

CƠ HỌC ĐẤT

R. WHITLOW

Tập một





<https://fb.com/ebook.sos>
<https://ebooksos.blogspot.com>

BUYING EBOOKS ON AMAZON , KINDLE Hỗ trợ mua ebook trên amazon.com, Kindle Giá Rẻ

EBOOK SOS có thể giúp bạn mua ebook trên Amazon với giá rẻ. Giá hỗ trợ = 10~20% giá của ebook Amazon.

Ebook/ Amazon	Price support
< \$15	\$1.5 ~ 35.000 vnd
\$15 - \$30	\$3 ~ 70.000 vnd
\$30 - \$50	\$4 ~ 90.000 vnd
\$50 - \$70	\$6 ~ 130.000 vnd
\$70 - \$90	\$7 ~ 150.000 vnd
> \$90	10-20% ebook/ Amazon

✉ Email: ebooksos.vn@gmail.com

✉ Inbox: fb.com/ebook.sos

R.WHITLOW

CƠ HỌC ĐẤT

TẬP MỘT

(In lần thứ 2)

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC 1997

Basic soil mechanics

**Second Edition
R. Whitlow**

**Longman
Scientific &
Technical**

Copublished in the United States with
John Wiley & Sons, Inc., New York

Chịu trách nhiệm xuất bản :

**Giám đốc PHẠM VĂN AN
Tổng biên tập NGUYỄN NHƯ Ý**

Người dịch :

NGUYỄN UYÊN và TRỊNH VĂN CƯỜNG, Trường Đại học Thủy lợi Hà Nội

Người hiệu đính :

VŨ CÔNG NGŨ, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Biên tập :

PHẠM HÀ

Trình bày bìa :

ĐOÀN HỒNG

Biên tập kĩ thuật :

TRẦN THU NGÀ

Sửa bản in :

NGUYỄN UYÊN, PHẠM HÀ

Sắp chữ :

TRUNG TÂM VI TÍNH (NXB GIÁO DỤC)

MỤC LỤC

Lời giới thiệu cho bản dịch tiếng Việt	7
Lời giới thiệu	9
Lời mở đầu cho lần xuất bản thứ hai	11
Lời mở đầu cho lần xuất bản thứ nhất	12
Bản liệt kê các kí hiệu	14

★ Chương 1. NGUỒN GỐC VÀ THÀNH PHẦN CỦA ĐẤT

1.1. Nguồn gốc và cách thức hình thành đất	21
1.2. Ảnh hưởng của phong hóa	22
1.3. Ảnh hưởng của sự chuyển dời	23
1.4. Thành phần khoáng vật của đất	24
1.5. Bản chất và cấu trúc của khoáng vật sét	26
1.6. Các tính chất quan trọng của khoáng vật sét	31
1.7. Thuật ngữ đất xây dựng	36
1.8. Thuộc tính xây dựng của đất và các vấn đề khi xây dựng công trình	38
Bài tập	40

★ Chương 2. PHÂN LOẠI ĐẤT THEO MỤC ĐÍCH XÂY DỰNG

2.1. Các nguyên tắc phân loại đất	41
2.2. Phân loại đất ở hiện trường	42
2.3. Phân tích cỡ hạt	51
2.4. Các đặc trưng thành phần hạt	56
2.5. Thiết kế lớp lọc	63
2.6. Phân loại đất hạt mịn	65
2.7. Xác định các giới hạn sét	69
2.8. Thí nghiệm về chất lượng đất	75
Bài tập	79

Chương 3. CÁC TÍNH CHẤT VẬT LÝ CƠ BẢN CỦA ĐẤT

3.1. Mô hình đất và các tính chất cơ bản	82
3.2. Dung trọng của đất	87
3.3. Xác định độ rỗng và hệ số rỗng	93
3.4. Xác định tỉ trọng (hoặc trọng lượng riêng) của hạt đất	95
3.5. Sự đầm chặt đất	97
3.6. Xác định dung trọng ở ngoài trời	105
3.7. Quy trình kỹ thuật và giám sát chất lượng đầm chặt	110
Bài tập	113

Chương 4. SỰ PHÂN BỐ VÀ TÁC ĐỘNG CỦA NƯỚC TRONG ĐẤT

4.1. Sự phân bố của nước ngầm	116
4.2. Mặt nước ngầm	117
4.3. Nước mao dẫn	119
4.4. Tính hút ẩm của đất	122
4.5. Áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất hiệu quả	124
4.6. Áp lực nước lỗ rỗng trong đất bão hòa một phần	125
4.7. Hệ số áp lực nước lỗ rỗng	126
4.8. Tác động của hiện tượng đóng băng	130
4.9. Độ ẩm cân bằng	133
Bài tập	141

Chương 5. THẨM CỦA NƯỚC TRONG ĐẤT

5.1. Dòng thấm	144
5.2. Hệ số thấm	145
5.3. Vận tốc thấm và áp lực thấm	148
5.4. Điều kiện chảy và gradien thủy lực tới hạn	150
5.5. Xác định k trong phòng thí nghiệm	151
5.6. Thí nghiệm thấm với cột nước cố định	152
5.7. Thí nghiệm thấm với cột nước giảm dần	155
5.8. Thí nghiệm hộp thấm Rowe	158
5.9. Thí nghiệm thấm ở ngoài trời	162
5.10. Xác định nhanh hệ số thấm ở ngoài trời	171
5.11. Dòng thấm hai hướng	174
5.12. Lưới thấm ~ qui tắc lập và các điều kiện biên	178

5.13. Thẩm qua khối đắp và đập đất	185
5.14. Thẩm trong đất dị hướng	191
5.15. Sự mất ổn định do thẩm (xói ngầm)	198
5.16. Tháo khô hố móng	200
Bài tập	207

Chương 6. ỨNG SUẤT VÀ BIẾN DẠNG TRONG ĐẤT

6.1. Những khái niệm về ứng suất, biến dạng và các phương pháp xác định	214
6.2. Hậu quả của sự thoát nước và sự thay đổi thể tích	222
6.3. Phân tích ứng suất dựa vào vòng Mohr	227
6.4. Lí thuyết phá hoại Mohr - Coulomb	231
6.5. Phân tích bằng cách sử dụng các đường ứng suất	232
6.6. Lí thuyết trạng thái tối hạn	242
6.7. Áp suất tiếp xúc	256
6.8. Nền đất được coi như bán không gian đàn hồi	258
6.9. Ứng suất do tải trọng tập trung đặt trên bề mặt	259
6.10. Ứng suất do tải trọng phân bố đều theo đường thẳng	265
6.11. Ứng suất do tải trọng băng liên tục	269
6.12. Ứng suất do tải trọng phân bố đều trên diện tròn	279
6.13. Ứng suất thẳng đứng do tải trọng phân bố đều trên diện chữ nhật	284
6.14. Toán đồ ảnh hưởng của Newmark	288
6.15. Những chuyển vị đàn hồi	291
6.16. Sự phân bố ứng suất - những đường đẳng ứng suất (dạng bầu)	298
Bài tập	301

Chương 7. ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN CHỐNG CẮT CỦA ĐẤT

7.1. Độ bền chống cắt và mô hình ma sát	305
7.2. Phá hoại cắt và các thông số	312
7.3. Thí nghiệm hộp cắt	316
7.4. Độ bền chống cắt và các đặc trưng biến dạng	318
7.5. Ưu điểm và nhược điểm của thí nghiệm hộp cắt	323
7.6. Thí nghiệm nén ba trục	324
7.7. Giải thích các kết quả của thí nghiệm nén ba trục	326
7.8. Các loại thí nghiệm ba trục	331

7.9. Các thay đổi diện tích và thể tích trong lúc thí nghiệm ba trục	333
7.10. So sánh đồ thị Mohr – Coulomb cho các loại thí nghiệm khác nhau	334
7.11. Ảnh hưởng của lịch sử ứng suất	337
7.12. Sự biến đổi của độ bền không thoát nước	340
7.13. Các ví dụ mẫu khác để giải thích về thí nghiệm ba trục	344
7.14. Độ nhạy của đất sét	359
7.15. Xác định độ bền dư	360
7.16. Sự phát triển của phá hoại	363
7.17. Xác định hệ số áp lực nước lỗ rỗng A và B	363
7.18. Thí nghiệm đường ứng suất	369
7.19. Thí nghiệm cắt cánh	377
7.20. Đánh giá các thông số độ bền chống cắt từ các thí nghiệm về chỉ số	378
Bài tập	380
<i>Đáp số các bài tập</i>	385

Tập II⁽¹⁾

Chương 8. Áp lực hông của đất

Chương 9. Ổn định của mái dốc

Chương 10. Tính nén và độ lún của nền đất

Chương 11. Sức chịu tải của nền móng

Chương 12. Khảo sát hiện trường và thí nghiệm tại hiện trường

Phụ lục. Tiêu chuẩn châu Âu 7 về nền móng

Tài liệu tham khảo

(1) Nguyên bản sách in một tập. Để tránh sách quá dày, bản dịch tách thành 2 tập, nên ở mỗi tập chúng tôi đều in lại tên các chương của tập kia và một số mục cần thiết khác để bạn đọc tiện theo dõi

Lời giới thiệu cho bản dịch tiếng Việt

Cơ học đất là một môn học kĩ thuật cơ sở mà sinh viên của tất cả các ngành xây dựng công trình đều phải học với khối lượng đáng kể (khoảng 60 giờ học trên lớp) và phải nắm vững để có kiến thức cơ bản của người kĩ sư. Hàng năm, hàng ngàn sinh viên các ngành này đòi hỏi có sách Cơ học đất để học và các kĩ sư cần có sách để tham khảo. Trong khi đó thì các sách về Cơ học đất quá ít, quá thiếu. Lâu nay chúng ta đã quen thuộc với nguồn sách từ Liên Xô cũ, nhưng còn quá ít sách từ các nguồn Bắc Mỹ và Tây Âu, nên chúng tôi thấy cần chọn sách từ nguồn này.

Chúng tôi đã xem xét một số quyển, từ những cuốn có tính kinh điển (như của K.Terzaghi) đến những cuốn viết độc đáo lí thú (như của Lambe), hay viết rất tỉ mỉ đầy đủ (như cuốn *Advanced Soil Mechanics*), và cuối cùng đã chọn dịch quyển *Basic Soil Mechanics* xuất bản lần thứ 2 của R.Whitlow (đã được in lại liên tiếp trong các năm từ 1990 đến 1993) vì thấy nó thích hợp hơn cả cho sinh viên và kĩ sư Việt Nam chúng ta.

Quyển sách này đã đề cập đến tất cả các vấn đề của Cơ học đất theo một hệ thống sáng sủa và theo một cách thức tốt : một mặt giải thích rõ về bản chất vật lí, cơ học của vấn đề, mặt khác luôn luôn đi kèm với những ví dụ tính toán dự báo rất cụ thể, thường gặp trong thực hành của người kĩ sư. Khối lượng quyển sách cũng hợp lí ; nó tuy lớn so với giờ học lí thuyết thông thường trên lớp, nhưng là vừa phải để sinh viên có được những kiến thức và kĩ năng cần thiết.

Nếu theo qui ước (tính từ K.Terzaghi - 1925) thì lịch sử phát triển Cơ học đất là ngắn, nhưng thực ra những kiến thức, những lí thuyết về đất đã có từ rất lâu (ít nhất là từ J.C. Coulomb - 1788). Qua mấy thập kỉ gần đây, Cơ học đất đã phát triển phong phú đến

mức không thể nào gói ghém trong một quyển sách nhỏ. Quyển sách dịch này được tách làm 2 tập (tập I từ chương 1 đến chương 7 và tập II từ chương 8 đến chương 12) sẽ cung cấp cho người học, người đọc một hệ thống tạm gọi là đầy đủ những hiểu biết về Cơ học đất ở mức vừa phải.

Chắc chắn là, cùng với sự phát triển rất mạnh các công trình xây dựng ở nước ta, nhiều quyển sách về Cơ học đất khác sẽ sớm tiếp tục được ra mắt bạn đọc

Hà Nội, 10 - 1995
GS TS **Vũ Công Ngự**

Lời giới thiệu

Xây dựng và kĩ thuật công trình là một quá trình vừa đòi hỏi vừa kích thích trí tưởng tượng, trong đó các công trình đã được xây dựng là chỗ dựa vững chắc cho trí tưởng tượng, kĩ năng và óc sáng tạo của tất cả những ai tham gia vào. Để hiểu được về các quá trình này cần phải biết : công trình làm bởi vật liệu gì, được kết nối với nhau ra sao, khả năng chịu đựng, làm việc, vận hành và bảo dưỡng chúng ra sao ; chúng được sửa chữa và thậm chí bị lún sụt như thế nào. Các nghiên cứu liên quan đến cả quá trình và sản phẩm là những nghiên cứu đa ngành bao gồm nhiều kĩ năng và chuyên môn khác nhau. Bản thân các công trình được thiết kế để thỏa mãn các yêu cầu chức năng và thẩm mĩ khác nhau nên có hình dạng và kích thước thay đổi, từ nhà ở gia đình nhỏ cho tới công sở, cửa hàng, khách sạn, ngân hàng, nhà hát, đường giao thông, cầu, trạm năng lượng, đập, công trình cảng và công trình ven bờ. Mỗi công trình đặt ra các vấn đề riêng biệt và cần có những quá trình hình thành quyết định phức tạp.

Thuật ngữ xây dựng bao hàm nhiều người làm các ngành nghề khác nhau như : người xây dựng, kiến trúc sư, kĩ sư kết cấu và công trình dân dụng, kĩ sư môi trường, người đo vẽ địa hình và khối lượng, các nhân viên giám sát công trình cũng như người chủ công trình. Tất cả công trình xây dựng trên nền thiên nhiên phải đạt được sự ổn định cực hạn của chúng. Chính ở đây đòi hỏi kiến thức và kĩ năng chuyên môn của kĩ sư địa chất và kĩ sư chuyên về đất và đội ngũ đông đảo cán bộ kĩ thuật thuộc các lĩnh vực khác nhau này, phải kết hợp với nhau để tìm ra giải pháp cho nhiều bài toán xây dựng và thiết kế. Nhiều hư hỏng công trình là do thiếu kiến thức về đất ở dưới móng công trình. Có thể tránh được điều này nếu những dự đoán và đánh giá chính xác về điều kiện đất được đưa vào ngay từ giai đoạn thiết kế ban đầu cho mỗi dự án.

Cần nhớ rằng, các dự án xây dựng không cái nào giống cái nào và mỗi kết cấu trong chúng (trừ nhà ở có giá trị thấp) cũng đều

không lặp lại. Sản phẩm cuối cùng vừa rộng vừa phức tạp và đắt tiền, không thể loại bỏ, không có khuôn mẫu trước và không làm lại được. Do vậy, mỗi dự án mới đặt ra một loạt vấn đề mới cần các giải pháp mới, các giải pháp mới này lại đòi hỏi mỗi người kết hợp chặt chẽ kĩ năng, sự hiểu biết, kinh nghiệm, tài nhận xét và óc sáng tạo.

Mở đầu chương 11, tác giả cuốn sách này đã có suy nghĩ tổng quát khi nêu lên rằng : sức chịu tải không phải là tính chất nội tại của đất mà là đặc trưng chịu tương tác với móng công trình. Móng khác nhau trên cùng loại đất hay đất khác nhau ở dưới cùng loại móng sẽ có câu trả lời không giống nhau. Công trình tác động tới đất và đất tác động lại công trình. Nền (đất hay đá) là phần chủ yếu của công trình, nó chống đỡ cho công trình hay tự chống đỡ lấy. Khả năng thành tựu của bất cứ công trình nào (về kết cấu, vận hành hay kinh tế) phụ thuộc nhiều vào giải pháp xử lí các vấn đề liên quan tới nền công trình. Ngay cả trường hợp công trình có đại bộ phận là kết cấu nằm ở trên mặt đất thì thực tế phần giá trị khá lớn của hợp đồng vẫn luôn thuộc về kết cấu phần dưới của công trình.

Nhờ chuyên môn giỏi và kinh nghiệm phong phú ở Khoa Công trình và Bảo vệ môi trường thuộc Trường Đại học Bách khoa Bristol và với tư cách người cố vấn, tác giả đã làm nổi bật các yếu tố được đề cập trên trong cuốn sách này. Rất chính xác khi tác giả khẳng định là mọi nghiên cứu về vấn đề có bản chất kĩ thuật phức tạp như thế, phải bắt đầu với sự hiểu thấu một cách vững vàng các nguyên lí cơ bản. Bất cứ sinh viên nào theo đuổi sự nghiệp đi sâu vào công nghệ xây dựng phải có tối thiểu một số kiến thức và kĩ năng cơ bản về cơ học đất. Ý định đúng đắn của Whitlow đã được thể hiện trong các trang viết của cuốn sách. Các khái niệm và quan điểm được trình bày một cách sáng sủa, lại được củng cố thêm bằng các ví dụ mẫu và bài tập đa dạng vừa rất cần thiết cho việc đào sâu học tập của sinh viên vừa cập nhật và nâng cao kiến thức cho những người thực hành đã có nhiều kinh nghiệm.

Giáo sư Matthew M. Cusack
Chủ nhiệm Khoa Công trình và Bảo vệ
môi trường Trường Đại học Bách khoa Bristol

Lời mở đầu cho lần xuất bản thứ hai

Vào thời gian này, sau khoảng 10 năm kể từ lần xuất bản thứ nhất, hiện trạng kỹ thuật cơ học đất đã có những biến đổi lớn. Mục đích và đối tượng của cuốn sách vẫn giống như lần xuất bản thứ nhất – cuốn sách giáo khoa cơ sở để nghiên cứu môn học này. Tuy nhiên, trong một số chương, khía cạnh thiết kế đã được tăng cường để cung cấp nhiều nguyên tắc chỉ đạo hơn cho các kỹ sư thực hành.

Các chương 6 và 7 vẫn giữ nguyên trình tự ban đầu, trong chương 6 trình bày đầy đủ hơn các nghiên cứu lý thuyết hiện nay về đặc trưng ứng suất và biến dạng. Trong chương này, nay để cập thêm bài giảng về lý thuyết trạng thái giới hạn – đang được thừa nhận là mô hình tin cậy của trạng thái ứng suất và biến dạng thể tích. Khái niệm về trạng thái đất chịu tải có thoát nước và không thoát nước cũng được đưa vào trong kết cấu bài giảng ở chương này và các chương sửa đổi khác. Các tiến bộ mới nhất về thí nghiệm gia tải liên tục được đề cập trong chương 10. Trong chương 11, các yêu cầu cho thiết kế, đặc biệt là việc xác định các thông số bằng thí nghiệm hiện trường được nhấn mạnh nhiều hơn.

Về Tiêu chuẩn Châu Âu mới, tôi đã trình bày các nét chính của Tiêu chuẩn Châu Âu 7 về nền và móng công trình ở dạng phụ lục. Vì Tiêu chuẩn Châu Âu hiện chỉ là phác thảo nên còn quá sớm để đưa ra được các hướng dẫn hay dẫn giải chi tiết, nhưng độc giả có thể thấy sự thú vị với ý định chiến lược thiết kế chính dựa trên trạng thái giới hạn. Đề xuất phân loại công trình và vấn đề địa kỹ thuật theo các cấp địa kỹ thuật, mỗi cấp đòi hỏi mức độ chuyên môn và kinh nghiệm khác nhau, cũng được nhiều nhà thiết kế hoan nghênh.

Tôi đã được động viên nhiều bởi các lời khuyên và sự cổ vũ chân thành mà các độc giả đã viết cho tôi, và tôi hy vọng điều đó

sẽ còn tiếp tục. Cuốn sách dự định giúp cho công tác thực hành của các độc giả ở nhiều trình độ, và mọi nhận xét thúc đẩy cải tiến sẽ được nghiêm túc tiếp thu cho các lần xuất bản sau.

Tôi xin cảm ơn lời chỉ báo và giúp đỡ của Tiến sĩ Ian Francis cũng như của các bạn đồng nghiệp tại trường Đại học Bách Khoa Bristol. Người hỗ trợ và giúp đỡ tin cậy nhất của tôi, một lần nữa lại là Marion, vợ tôi. Tính kiên nhẫn và trí tuệ của cô đã làm cho tôi khâm phục và biết ơn.

Roy Whitlow
Bristol 7 - 1989

Lời mở đầu cho lần xuất bản thứ nhất

Cuốn sách này dự kiến dùng làm sách giáo khoa chính về lý thuyết và các nguyên lý cơ bản của cơ học đất nhằm đáp ứng yêu cầu cho sinh viên, kỹ thuật viên và kỹ sư thực hành trong lĩnh vực công trình và kỹ thuật xây dựng. Tác giả coi rằng, người đọc đã có kiến thức cơ bản về toán học và khoa học, đặc biệt là các môn cơ học cơ sở.

Sách biên soạn chủ yếu để dùng cho sinh viên học tập dưới sự giảng dạy của giáo viên. Các cơ sở và nguyên lý trình bày rõ ràng, vắn tắt nhưng cũng giải thích khá đủ và dễ hiểu. Tác giả mong muốn sinh viên, ngoài việc dựa vào sức mình, có được sự giúp đỡ và khuyến báo chuyên môn của các giáo viên giỏi. Nền móng của kiến thức tốt không thể chối cãi được phải là : nắm chắc các nguyên lý cơ sở.

Theo kinh nghiệm giảng dạy của tác giả, ứng dụng các nguyên lý là cách học tốt nhất. Do vậy, cuốn sách có nhiều ví dụ mẫu ngay trong bài giảng và ở các bài tập áp dụng cuối mỗi chương. Điều quan trọng đối với sinh viên là phải nắm vững nhanh nhất các bài

toán thực tiễn đơn giản, nên trong một số trường hợp riêng biệt lại giới thiệu bài toán trước khi trình bày phần lí thuyết.

Mặc dù tên sách chỉ là cuốn Cơ học đất cơ sở, nhưng rất có thể là nhiều độc giả còn muốn lưu giữ sách lại để nghiên cứu sâu hơn và sau này dùng cho thực tế xây dựng. Do vậy, ngoài kiến thức cơ sở, còn có một số chủ đề có nội dung và ví dụ ở mức độ cao hơn giành cho số bạn đọc có nhiều kinh nghiệm thực tế. Danh sách các tài liệu tham khảo cho ở cuối sách sẽ có ích cho sinh viên khi cần tìm đọc thêm. Số lượng các chủ đề khá toàn diện đủ để đáp ứng các yêu cầu của sinh viên mọi giai đoạn trong chương trình học tập cũng như cho công nhân và các kĩ sư chuyên ngành tự học thêm.

Tôi xin bày tỏ lòng biết ơn các Nhà xuất bản, các hội, các tổ chức và cá nhân cho phép sử dụng các tài liệu đã công bố.

Tôi xin cảm ơn sự giúp đỡ và động viên của các bạn đồng nghiệp tại trường Đại học Bách khoa Bristol và đặc biệt là Tiến sĩ M.M. Cusack, Chủ nhiệm khoa của tôi, đã viết lời giới thiệu cho cuốn sách. Cũng xin cảm ơn sự giúp đỡ của ngài C.R. Bassett cùng các đồng sự thuộc trường Cao đẳng Kỹ thuật Guilford. Cuối cùng, xin thành thật cảm ơn Marion, vợ tôi, không chỉ đánh máy giúp bản thảo mà còn nhiệt thành giúp đỡ, hỗ trợ tôi trong suốt thời gian viết cuốn sách này.

Roy Whitlow
Bristol 3 - 1983

BẢN LIỆT KÊ CÁC KÍ HIỆU

A	diện tích
$A, \bar{A}$	hệ số áp lực nước lỗ rỗng
A_r	hệ số áp lực nước lỗ rỗng khi phá hoại
A_T	tỷ số diện tích của dụng cụ lấy mẫu đất
A_v	hệ số rỗng không khí
a	diện tích
B	chiều rộng móng
$B, \bar{B}$	hệ số áp lực nước lỗ rỗng
b	chiều rộng
C_c	chỉ số nén
C_g	hệ số cấp phối, hệ số hiệu chỉnh g cho cuội, sỏi
C_k	hệ số để tính hệ số thấm của Hazen
C_N	hệ số hiệu chỉnh N cho lớp đất phủ
C_r	hệ số hiệu chỉnh r cho cần khoan
C_s	chỉ số trương nở, hệ số nén của cốt đất
C_u	hệ số đồng đều
C_v	hệ số nén của chất lỏng trong lỗ rỗng
C_w	hệ số hiệu chỉnh w cho mặt nước ngầm
C_α	hệ số cố kết thứ cấp
c	lực dính biểu kiến trong khái niệm ứng suất tổng
c'	lực dính biểu kiến trong khái niệm ứng suất hiệu quả
c_{cu}	lực dính biểu kiến trong khái niệm ứng suất tổng được xác định bằng thí nghiệm cố kết không thoát nước.
c'_r	lực dính biểu kiến dư trong khái niệm ứng suất hiệu quả

c_u	lực dính biểu kiến trong khái niệm ứng suất tổng ở điều kiện không thoát nước
c_{uc}	lực dính khi thí nghiệm nén một trục nở hông
c_v	hệ số cố kết
c_s	hệ số trương nở
c_w	độ dính giữa đất và bề mặt công trình
D	độ sâu, đường kính, hệ số độ sâu
D_d	độ chặt khô tương đối
D_{10}, D_{60}	các kích cỡ hạt đặc trưng
D_r	độ chặt tương đối
d	độ sâu, đường kính, chiều dài đường thoát nước
E	môđun đàn hồi Young
E'	môđun đàn hồi khi thoát nước
E_o	môđun đàn hồi một chiều
E_u	môđun đàn hồi khi không thoát nước
e	hệ số rỗng
e_c	hệ số rỗng tới hạn
e_o	hệ số rỗng ban đầu
F	hệ số an toàn
f	hệ số hiệu chỉnh
f_s	ma sát mặt ngoài
f_y	ứng suất chảy của thép
G	môđun cắt
G_s	trọng lượng riêng của hạt đất
g	gia tốc trọng trường (981m/s^2)
H	chiều cao, bề dày lớp, độ dốc của mặt Hvoslev
H_c	chiều cao giới hạn của mái đào thẳng đứng không có chống đỡ
h	chiều cao, cột nước thủy tĩnh hay cột nước tĩnh
$\bar{h}_c$	chiều cao mao dẫn
$\bar{h}$	chiều cao tới đường tổng hợp lực
I_b	chỉ số giòn
I_c	chỉ số nén (co ngót)
I_D	chỉ số độ chặt

I_L, I_p, I_q I_T, I_R, I_S	các hệ số ảnh hưởng ứng suất
I_z	thừa số ảnh hưởng biến dạng
I_p	hệ số ảnh hưởng chuyển vị
i	gradien thủy lực
i_c	gradien thủy lực giới hạn
J	lực thấm
j	áp lực thấm
K	môđun biến dạng thể tích
K_a, K_{AC}	hệ số áp lực đất chủ động
K_p, K_{PC}	hệ số áp lực đất bị động
K_o	hệ số áp lực đất tĩnh
K_s	hệ số áp lực đất (trong phương trình bài toán cọc)
k	hệ số thấm
L	chiều dài
LI	chỉ số chảy
LL	giới hạn chảy
LS	độ co ngót tuyến tính
l	chiều dài
M	khối lượng, độ dốc của đường trạng thái giới hạn
m	độ ẩm, hệ số ổn định của mái dốc
m_v	hệ số nén thể tích
N	thừa số ổn định mái dốc, số đo xuyên tiêu chuẩn (SPT)
N_c, N_q, N_γ	các hệ số của sức chịu tải
N_k	hệ số xuyên côn
n	độ rỗng, hệ số ổn định của mái dốc
P	lực, hợp lực của áp lực
P_A	hợp lực của áp lực chủ động
P_P	hợp lực của áp lực bị động
P_w	hợp lực của áp lực thủy tĩnh
PI	chỉ số dẻo
PL	giới hạn dẻo
p	áp lực, ứng suất pháp trung bình

p_m	ứng suất pháp lịch sử trung bình cực đại
p_F	chỉ số hút ẩm của đất
p_w	áp lực hông của nước dưới đất
pH	giá trị độ axít/độ kiềm
Q	lưu lượng dòng thấm, tổng tải trọng trên cọc
q	vận tốc thấm, sức chịu tải, độ lệch ứng suất
q_a	sức chịu tải cho phép
q_b	sức chịu tải của mũi cọc
q_c	sức kháng mũi xuyên (tĩnh)
q_{net}	sức chịu tải thực
q_o	áp lực phụ thêm trên mặt
q_s	sức chịu tải an toàn, sức kháng ma sát
	mặt ngoài của cọc
q_u	sức chịu tải cực hạn
R	bán kính, lực kháng
R_c	hệ số quá cố kết
R_r	hệ số dư
r	bán kính
r_i, r_p, r_s	các hệ số nén
r_u	hệ số áp lực nước lỗ rỗng
S_p	hệ số cọc
S_r	độ bão hòa
S_s	mật đặc trưng, áp lực hút ẩm của đất
S_i	độ nhạy (của đất sét)
SL	giới hạn co ngót
s	độ lún, bất biến ứng suất.
s_c	độ lún do cố kết
s_e, s_q, s_γ	các hệ số hình dạng (ở phương trình sức chịu tải)
s_i	độ lún tức thời
$\hat{s}_c, \hat{s}_i$	độ lún chấp nhận được
s_f	độ lún cuối cùng
T	lực căng bề mặt, lực xoắn, lực căng
T_v	yếu tố thời gian
t	nhiệt độ, thời gian, bất biến ứng suất

U, U_z	độ cố kết
$\bar{U}$	độ cố kết trung bình
u, u_o, u_1	áp lực nước lỗ rỗng
u_a	áp lực khí lỗ rỗng
u_w	áp lực nước lỗ rỗng
V	thể tích, thể tích riêng
V_a	thể tích pha khí
V_s	thể tích pha rắn
V_v	thể tích lỗ rỗng
V_w	thể tích pha nước
v	thể tích riêng, vận tốc
v_s	vận tốc thấm
W	trọng lượng, tải trọng, lực
w	độ ẩm (trong cuốn sách này biểu thị độ ẩm bằng chữ m)
x	khoảng cách theo hướng x
y	khoảng cách theo hướng y
z	độ sâu, khoảng cách theo hướng z
z_o	độ sâu khe nứt do chịu kéo
z	độ sâu tới đường hợp lực của áp lực
α	góc
α_f	góc của mặt phá hoại
α_r	hệ số ma sát của vòng đo
β	góc, góc của mái đất
β_c	góc giới hạn của mái đất
β_s	hệ số ma sát mặt ngoài (trong phương trình cọc)
Γ	phần bị chấn của thể tích riêng
γ	trọng lượng đơn vị thể tích
γ'	trọng lượng đơn vị hiệu quả (ngập trong nước)
γ_d	trọng lượng khô đơn vị
γ_s	trọng lượng đơn vị của hạt rắn
$\gamma_{sat.}$	trọng lượng đơn vị thể tích bão hòa
γ_w	trọng lượng đơn vị của nước
Δ	sai phân hữu hạn, độ lún chênh lệch
δ	góc ma sát ở vách (tường)

ε	biến dạng trực tiếp (pháp tuyến)
$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$	các biến dạng chính
ε_s	biến dạng cắt
ε_v	biến dạng thể tích
η	độ nhớt động
θ	góc
k	độ dốc của đường nở
k_1	hệ số nhiệt độ
λ	độ dốc của đường trạng thái giới hạn
μ	hệ số ma sát
μ_o, μ_1	các hệ số chuyển vị
ν, ν'	hệ số Poisson
ξ	hiệu suất của nhóm cọc, đặc trưng sai số
ρ	dung trọng tự nhiên, độ lún (chuyển vị bề mặt)
ρ'	dung trọng ngập nước
ρ_d	dung trọng khô
ρ_s	dung trọng của các hạt rắn
$\rho_{sat.}$	dung trọng bão hòa
ρ_w	dung trọng nước
ρ_α	suất điện trở biểu kiến
$\sum$	tổng, phép cộng
σ	ứng suất pháp tổng
σ'	ứng suất pháp hiệu quả
$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$	các ứng suất chính tổng
$\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$	các ứng suất hiệu quả tổng
$\sigma'_{ha}, \sigma'_{hp}$	áp lực hông chủ động và bị động
σ_d	độ lệch ứng suất
σ'_h	ứng suất hiệu quả theo phương ngang
σ_n	ứng suất pháp tổng
σ'_n	ứng suất pháp hiệu quả
σ'_o	ứng suất hiệu quả của lớp phủ
σ'_p	ứng suất cố kết trước
σ_r	ứng suất hướng tâm
σ'_v	ứng suất hiệu quả theo phương đứng

$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$	các thành phần ứng suất pháp theo hướng x, y và z
τ	ứng suất cắt
τ_f	cường độ chống cắt (ứng suất cắt khi phá hoại), cường độ chống cắt cao nhất (đỉnh)
$\tau_{\max}$	cường độ chống cắt cực đại
$\tau_m, \tau_{\text{mob.}}$	cường độ chống cắt được huy động
τ_r	cường độ chống cắt dư
ϕ	hàm thế
φ	góc của cường độ chống cắt trong khái niệm ứng suất tổng
φ'	góc của cường độ chống cắt trong khái niệm ứng suất hiệu quả
φ'_c	góc giới hạn của cường độ chống cắt
φ_{cu}	góc của cường độ chống cắt trong khái niệm ứng suất tổng được xác định bằng thí nghiệm cố kết không thoát nước
φ'_f	góc lớn nhất của cường độ chống cắt
$\varphi_m, \varphi_{\text{mob.}}$	góc huy động của cường độ chống cắt
φ'_r	góc dư của cường độ chống cắt
φ_u	góc của cường độ chống cắt xác định trong điều kiện không thoát nước
$\varphi'_{\text{ult.}}$	góc cực hạn của cường độ chống cắt
χ	hệ số ứng suất hiệu quả cho đất bão hòa một phần
Ψ	hàm dòng
ψ	góc
ω	góc nghiêng

Chương 1

NGUỒN GỐC VÀ THÀNH PHẦN CỦA ĐẤT

1.1. Nguồn gốc và cách thức hình thành đất

Trong những trường hợp khác nhau, thuật ngữ *đất* được dùng mang sắc thái khác nhau về ý nghĩa. Theo nhà địa chất, đất là các lớp vật liệu rời, hình thành do đá bị phong hóa và phân vụn ra không cố kết và phân bố từ mặt đất xuống tới đá cứng. Với người kỹ sư xây dựng thì lại khác - *đất* là nơi tiến hành công việc : ở trên nó, ở trong nó và bằng nó. Xét về mặt kỹ thuật thì đất là chất liệu có thể sử dụng mà không cần khoan hay nổ phá. Các nhà thổ nhưỡng, nông nghiệp, làm vườn và các nhà chuyên môn khác đều có định nghĩa riêng của mình về đất.

Thường khi nghiên cứu nguồn gốc của đất ta theo quan điểm của các nhà địa chất, còn về cách phân loại và tìm hiểu các tính chất cho mục đích xây dựng thì theo các định nghĩa kỹ thuật (xem phần 1.7).

Toàn bộ đất có nguồn gốc trực tiếp hay gián tiếp từ đá cứng ; các đá này có các cách thức hình thành như sau :

Đá macma thành tạo từ vật liệu nóng chảy lỏng ("macma") được nguội lạnh ở trong hay trên mặt vỏ quả đất, như các đá : granit, bazan, dolerit, andezit, gabro, sienit, pocfia.

Đá trầm tích thành tạo ở dạng lớp do các vật liệu lắng đọng trong nước tại biển, hồ,... như các đá : đá vôi, cát kết, đá sét, cuội kết,...

Đá biến chất thành tạo từ các đá đã tồn tại trước sau bị biến đổi do quá nóng (đá hoa, quaczit,...) hay áp lực quá cao (đá phiến,...).

Quá trình đá cứng biến đổi thành đất diễn ra ở mặt đất hay gần mặt đất và mặc dù phức tạp, rõ ràng nó chịu ảnh hưởng của các yếu tố sau đây :

- a) Bản chất và thành phần của đá gốc.
- b) Điều kiện khí hậu, đặc biệt là nhiệt độ và độ ẩm.
- c) Điều kiện địa hình và điều kiện chung của vùng đất, chẳng hạn như mức độ phủ kín hay xuất lộ, mật độ và loại thực vật,...
- d) Khoảng thời gian liên quan với các điều kiện đặc biệt chiếm ưu thế.
- e) Sự can thiệp của các yếu tố khác như bão, tai biến lớn, động đất, hoạt động của con người,...
- f) Cách thức và điều kiện vận chuyển.

Việc trình bày chi tiết các yếu tố trên nằm ngoài mục đích của cuốn sách này, vì thế để có được nhiều thông tin hơn, độc giả cần tham khảo các cuốn sách địa chất thích hợp. Tuy vậy, cũng cần nghiên cứu sâu hơn ảnh hưởng của các yếu tố này vì chúng gây ra các đặc trưng và các tính chất cho trầm tích cuối cùng của đất.

1.2. Ảnh hưởng của phong hóa

Phong hóa là thuật ngữ chung để chỉ một số quá trình tự nhiên trên mặt đất, do hoạt động riêng lẻ hay phối hợp của các yếu tố như gió, mưa, đóng băng, thay đổi nhiệt độ và trọng lực. Tác động đặc biệt của một quá trình riêng biệt tới một loại đá, ở mức độ nào đó, là duy nhất, nhưng một số trường hợp chung cần phải kể tới.

Nước trong các khoảng rỗng của đá, nở thể tích khi đóng băng đã làm *nứt vỡ* đá. Do vậy, vụn đá phong hóa sinh ra bằng cách này thì sắc và có góc cạnh. Hoạt động của gió có tác dụng ngược lại, các hạt thường tròn cạnh do bị cọ mòn. Ở nơi chủ yếu chịu tác động của quá trình hóa học, một số khoáng vật nhất định trong đá bị biến đổi, còn một số khoáng vật khác lại tỏ ra bền vững. Ví dụ, *granit* là đá magma tạo bởi khoáng vật chủ yếu là thạch anh, fenspat (octocla và plagiola), mica (muscovit và biotit). Cả thạch anh và muxcovit đều rất bền vững không bị biến đổi, trong khi đó

các khoáng vật khác bị phân hủy (hình 1-1) trong quá trình phân giải hóa học.

<i>Các khoáng vật tồn tại trong đá</i>	<i>Các khoáng vật có thể có của vận đá</i>	<i>Loại đất có khả năng hình thành</i>
thạch anh muscovit mica biotit	thạch anh muscovit clorit hay vecmiculit + dung dịch cacbonat Mg ilit hay kaolinit + dung dịch cacbonat K monmorilonit + dung dịch cacbonat Na hay Ca	đất cát đất cát chứa mica đất sét (sẫm màu) đất sét (sáng màu) đất sét trương nở, bùn vôi/đất sét hay macmor

Hình 1-1. Phong hóa của đá granit

1.3. Ảnh hưởng của sự chuyển dời

Đất không bị chuyển dời vẫn giữ nguyên trên đá gốc gọi là *đất tàn tích*. Loại đất này thành tạo ở nơi quá trình phong hóa hóa học ưu thế hơn phong hóa vật lý, như tại vùng địa hình bằng phẳng nhiệt đới. Thành phần đất cả về loại khoáng vật và kích thước hạt đều biến đổi mạnh trong phạm vi rộng. Vùng khí hậu nóng, phong hóa sẽ di chuyển đi một số khoáng vật, để lại lớp đất tập trung các khoáng vật khác có độ bền cao hơn như laterit, boxit, đất sét làm đồ sứ.

Tác dụng chính của chuyển dời là sự tuyển lựa. Trong quá trình di chuyển, các thành phần ban đầu bị phân chia ra dưới ảnh hưởng của cả bản chất lẫn kích thước đá gốc hay hạt khoáng vật. Ví dụ, nơi khí hậu khô nóng, bụi phong hóa thành hạt mịn thường biết đến như hoàng thổ, đã được mang đi rất xa trước khi bị trầm đọng. Dòng nước hoạt động dưới hình thức : hòa tan một số khoáng vật, mang theo một số hạt ở dạng lơ lửng, một số thì nhảy cóc hoặc lăn. Lượng bùn cát vận chuyển bởi sông hay suối phụ thuộc lớn vào vận tốc dòng chảy. Ở thượng lưu, vận tốc cao nên có thể vận chuyển cả đá tảng lớn. Tuy nhiên, khi sông chảy xuôi ra biển, vận

tốc sẽ giảm và sự trầm đọng diễn ra như sau : ở vùng trung lưu, đầu tiên là hạt cuội rồi đến cát hạt thô và hạt trung ; cuối cùng, ở vùng châu thổ hay cửa sông là cát hạt mịn và bụi. Các hạt sét do có kích thước nhỏ và dạng bông nên có xu hướng vận chuyển vào biển hay hồ. Như vậy, đất trầm tích sông (*bồi tích*) thường được tuyển lựa tốt, cấp phối kém hay đồng cỡ.

Trong khi vận chuyển, các hạt bị mài mòn do đụng chạm với đáy sông và với các hạt khác. Đất bồi tích có đặc trưng là các hạt tròn hay gần tròn. Ở trầm tích ven bờ (*ven biển*), các hạt khá tròn trĩnh là do bị mài mòn mạnh.

Các mảnh vụn phong hóa cũng được sông băng mang đi. Chẳng hạn, băng hà tựa như một băng tải di chuyển chậm, đôi khi mang khá xa cả những đá tảng lớn. Do trọng lượng, đá tảng chìm xuống qua lớp băng, tới đáy băng hà thì va chạm vào nền đá làm giảm kích thước, tạo nên các bụi đá hạt rất mịn. Do đó mà thành phần cỡ hạt của *sét tầng* rất rộng. Các vật liệu trầm đọng lúc băng hà bắt đầu tan và thu hẹp gọi là *băng tích* ; nó cũng bao gồm nhiều cỡ hạt và thường ở dạng một dãy đồi hay một loạt các gò cồn bằng phẳng.

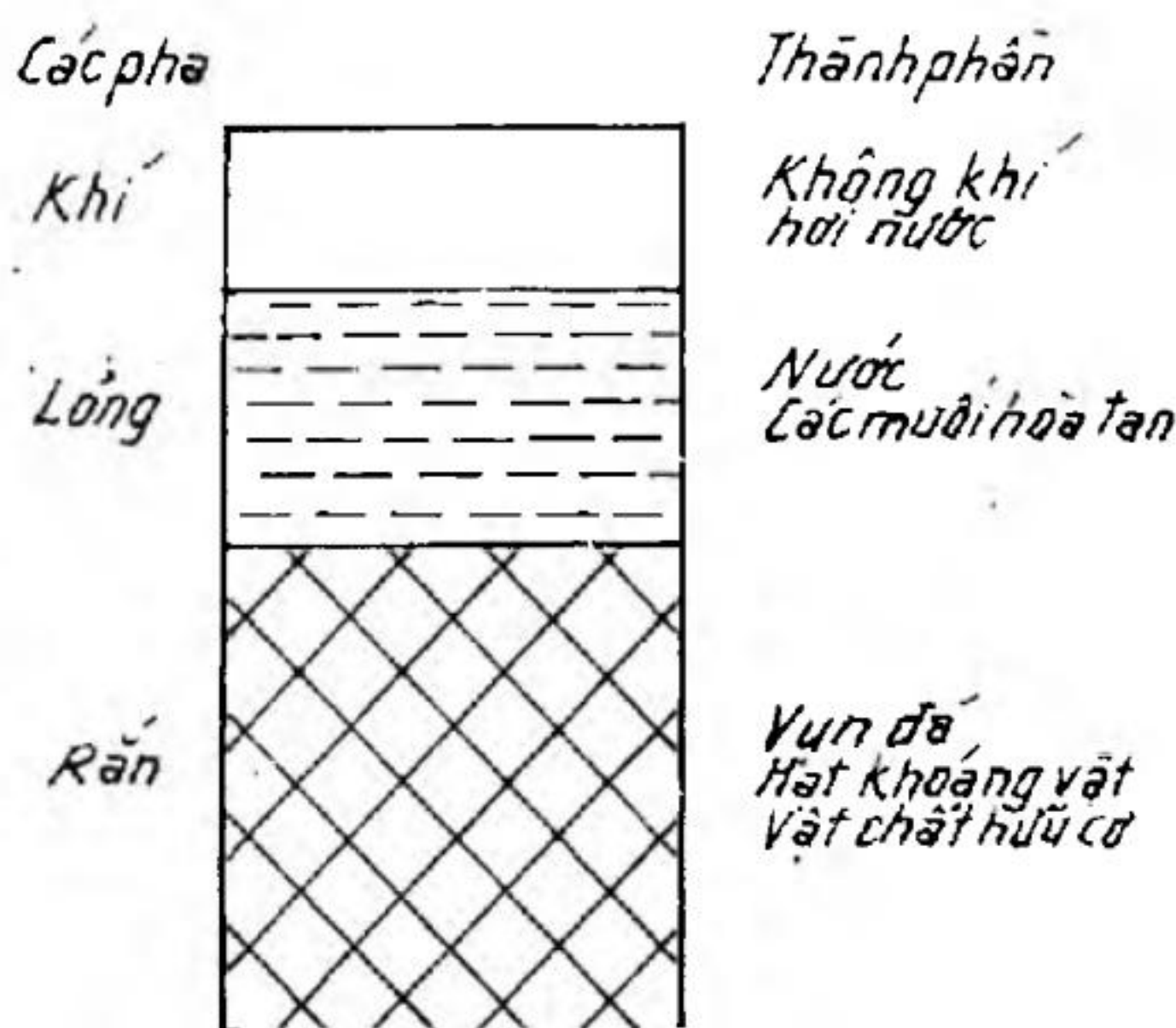
1.4. Thành phần khoáng vật của đất

Phần lớn đất là hỗn hợp bao gồm các hạt khoáng vật vô cơ cùng với một phần nhỏ nước và không khí. Do vậy, để thuận tiện coi mô hình đất gồm có ba pha : rắn, lỏng và khí (hình 1-2).

Các vụn đá. Đó là các mảnh đồng nhất của đá gốc chứa đựng một số khoáng vật. Trái ngược với các hạt khoáng vật, nói chung các vụn đá có kích thước lớn ($> 2\text{ mm}$), thuộc cỡ hạt cát tới hạt cuội. Độ bền chung của đất phụ thuộc vào mức độ phân hủy khoáng vật khác nhau trong các vụn đá riêng biệt. Ví dụ, các vụn đá granit bị kaolinit hóa làm giảm sút cường độ hay độ bền kháng cắt của đất.

Các hạt khoáng vật. Đó là các hạt của từng khoáng vật riêng biệt có khoảng kích thước từ cuội (2mm) tới sét (1 μm). Trong khi một số đất là hỗn hợp của các khoáng vật khác nhau thì số lớn chỉ bao gồm một loại khoáng vật. Ví dụ điển hình cho loại sau là các trầm tích cát rất phong phú, có khoáng vật chủ yếu là thạch anh độ bền cao như đã đề cập trước đây. Để thuận tiện, đất được chia

ra thành hai nhóm chính : *đất hạt thô* và *đất hạt mịn* (xem thêm chương 2).



Hình 1-2. Mô hình ba pha của đất

a) *Đất hạt thô* như **cát** và **cuội** có kích thước hạt $> 0,06\text{mm}$. Các hạt có thể *tròn* hay *góc cạnh* và thường chứa vụn đá, hoặc thạch anh hay ngọc bích, có mặt oxít sắt, canxit, mica. Dạng kích thước tương đối đều nhau là do kiến trúc kết tinh của khoáng vật và độ tròn phụ thuộc vào mức độ mài mòn.

b) *Đất hạt mịn* như **bụi** và **đất sét**, hạt nhỏ hơn $0,06\text{mm}$ và có dạng *bông* điển hình. Có các oxít và sunfua rất mịn, đôi khi có thể có vật chất hữu cơ. Dạng bông của khoáng vật sét làm cho diện tích bề mặt tăng cao nên có ý nghĩa lớn đến đặc trưng xây dựng của đất. Đặc tính này sẽ đề cập chi tiết trong phần 1.5.

Vật chất hữu cơ. Vật chất hữu cơ được tạo ra từ di tích của thực vật hay động vật ; sản phẩm cuối cùng của nó là *mùn* – hỗn hợp phức tạp của các hợp chất hữu cơ. *Tầng đất nằm trên cùng* có đặc tính đất hữu cơ, thường không dày hơn $0,5\text{m}$. *Đất bùn* chủ yếu có vật chất hữu cơ dạng thớ. Theo quan điểm xây dựng thì

vật chất hữu cơ có các đặc tính mà ta không muốn có. Ví dụ, nó có tính lún nén cao và hấp thụ nhiều nước, vì thế khi tải trọng và độ ẩm thay đổi sẽ làm thể tích biến đổi đáng kể, gây ra lún nghiêm trọng. Vật chất hữu cơ có độ bền chịu cắt rất thấp nên sức chịu tải nhỏ ; hơn nữa, khi có mặt sẽ tác động đến sự đông cứng của xi măng, gây khó khăn cho việc thi công bê tông và quá trình ổn định của đất.

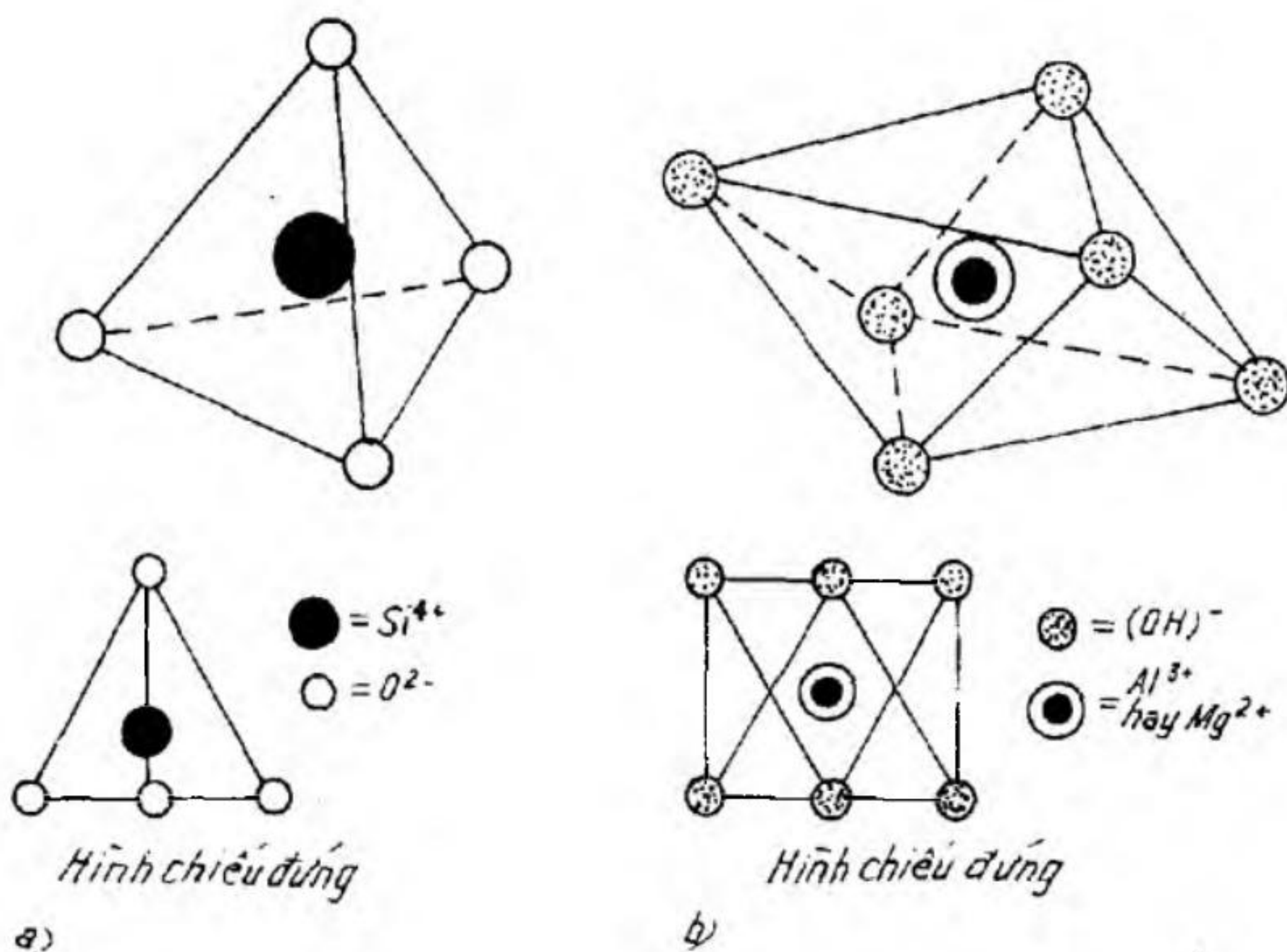
Nước. Nước là phần cơ bản của đất tự nhiên và thực tế, nó tác động đến tính chất xây dựng nhiều hơn các thành phần khác. Chuyển động của nước qua khối đất được đề cập tỷ mỉ khi nghiên cứu tính thấm và với đôi chút khác biệt khi nghiên cứu tính nén của đất. Nước không có độ bền kháng cắt, không chịu nén (tương đối), vì thế truyền trực tiếp áp lực. Với lí do này, khi nghiên cứu độ bền kháng cắt thì điều kiện thoát nước của khối đất có ý nghĩa lớn. Hơn nữa, nước có thể hòa tan và thành dung dịch có lượng muối và các phức chất khác thay đổi trong phạm vi rộng ; một số có tác động mà ta không muốn có. Ví dụ sunfat canxi có mặt khá phổ biến trong nhiều loại đất sét (và ở mức thấp hơn, sunfatmagiê và natri cũng vậy). Ion sunfat gây tác hại lớn tới một trong các hợp chất chứa trong xi măng portland và vì thế làm hư hoại móng và cấu trúc phần dưới công trình bê tông.

Không khí. Trong thực tế, đất được xem như hoàn toàn khô hay hoàn toàn bão hòa, hay nằm giữa hai giới hạn này. Đúng ra, hai giới hạn này không xảy ra trong đất. Khi gọi đất "khô" thì nó vẫn chứa hơi nước, đất "hoàn toàn bão hòa" vẫn có 2% lỗ rỗng khí. Dĩ nhiên, không khí chịu nén và hơi nước có thể đóng băng, nên chúng đều có ảnh hưởng tới tính chất xây dựng của đất.

1.5. Bản chất và cấu trúc của khoáng vật sét

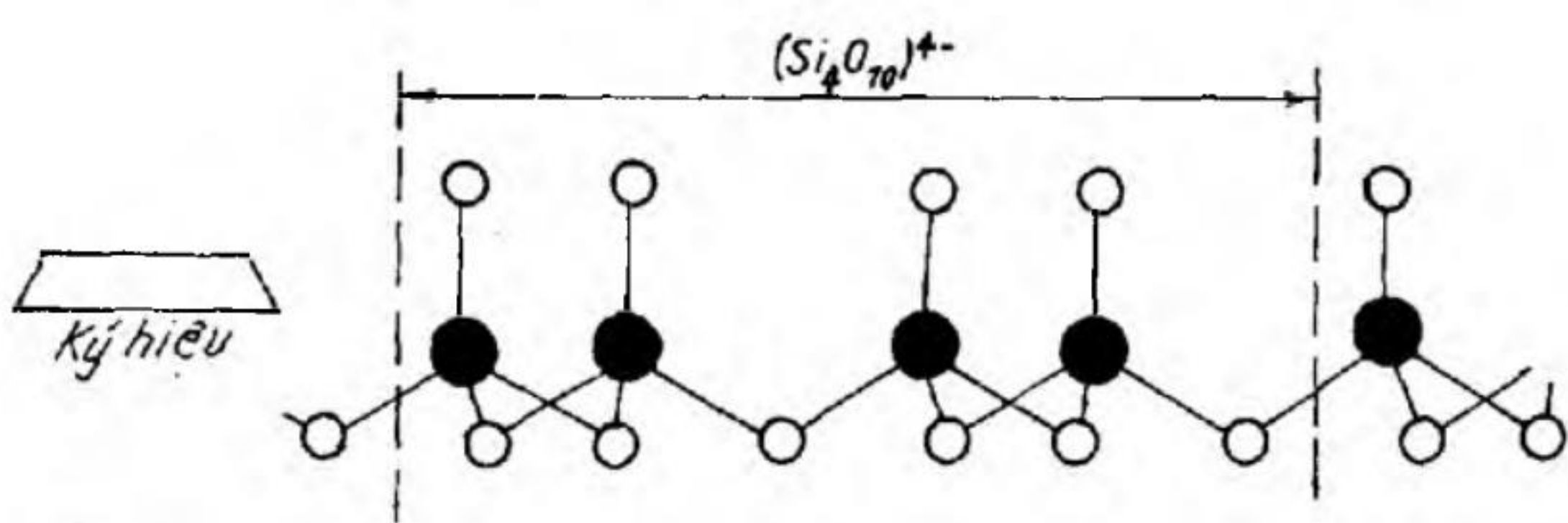
Khoáng vật sét được tạo ra chủ yếu từ fenspat và mica bị phong hóa (hình 1-1). Chúng là bộ phận của nhóm alumino-silicat phức tạp của natri, magiê và sắt, được gọi là *khoáng vật dạng lưới - lớp*. Chúng có kích thước rất nhỏ, dạng bông với diện tích bề mặt lớn. Hơn nữa, bề mặt chúng mang điện tích âm - một hiện tượng có ý nghĩa lớn khi tìm hiểu các tính chất xây dựng của đất sét.

Để hiểu biết sơ bộ các tính chất của khoáng vật sét, cần thiết nghiên cứu đặc trưng cơ bản là cấu trúc lưới - lớp của chúng. Hình 1-3 cho thấy hai đơn vị cấu trúc cơ sở : đơn vị khối bốn mặt gồm có một ion silic ở tâm với bốn ion oxy bao quanh và đơn vị khối tám mặt gồm có một ion ở tâm có thể là nhôm hay magiê, bao quanh là sáu ion hidroxin. Ghi nhớ là, trong cả hai đơn vị, kim loại (có hóa trị dương) ở phía trong và ion phi kim loại hóa trị âm hình thành ở phía ngoài.

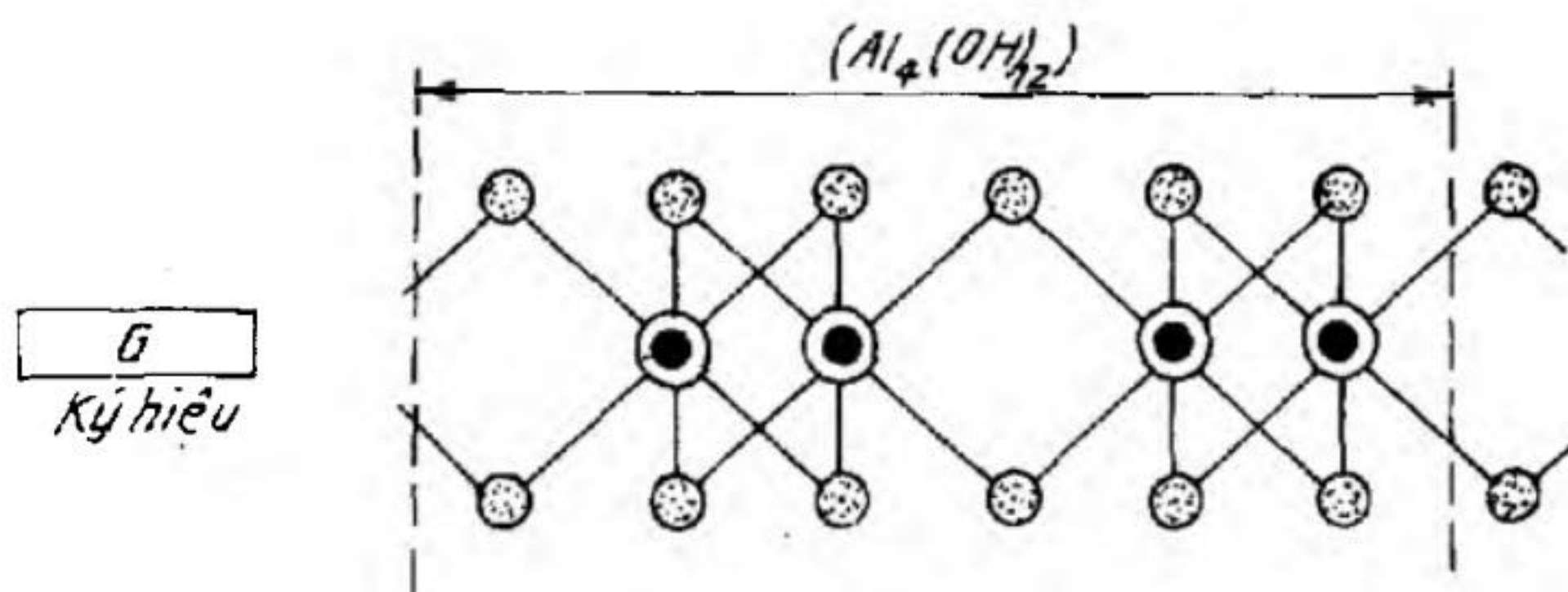


Hình 1-3. Phân tử đơn vị của khoáng vật sét
a) khối bốn mặt ; b) khối tám mặt

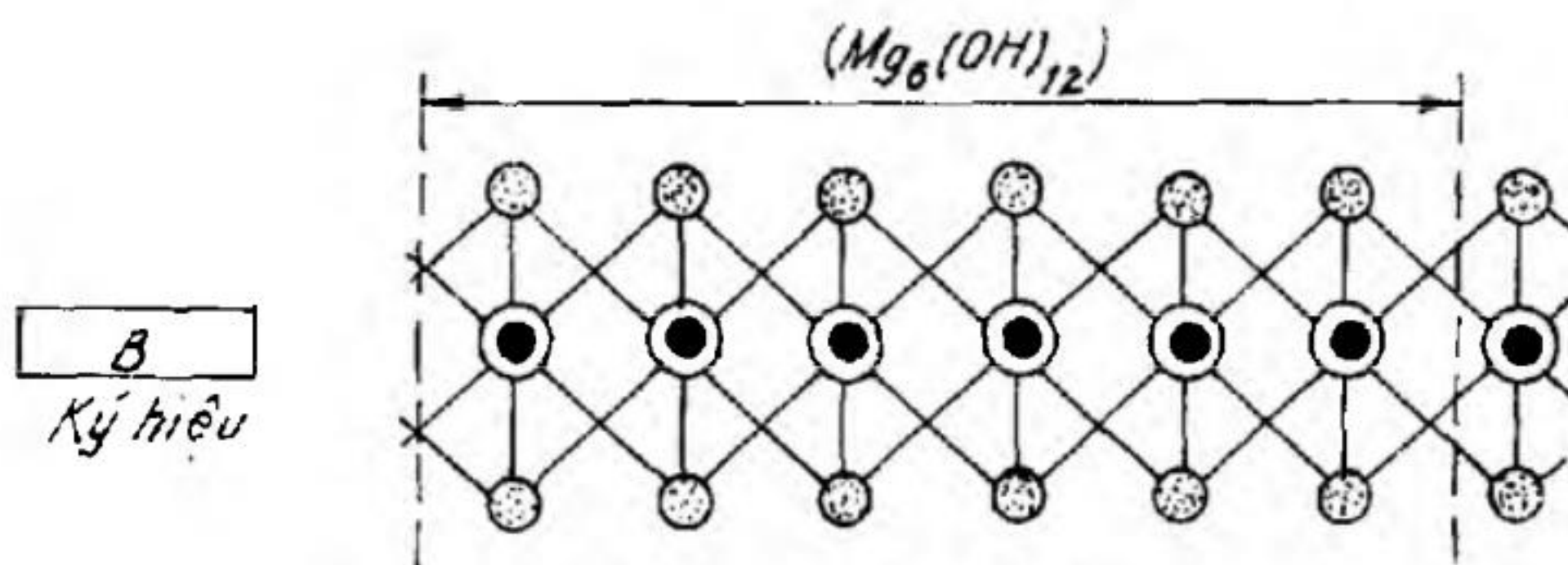
Cấu trúc lớp tạo nên khi ion oxy lập liên kết đồng hóa trị giữa các đơn vị. Vì thế, một lớp silic (hình 1-4a) tạo bởi khối bốn mặt được liên kết lại, có công thức tổng quát là $nSi_4O_{18}(OH)_2$. Các đơn vị khối tám mặt cũng liên kết với nhau tại đỉnh để hình thành lớp, hoặc là lớp gipsit $Al_4(OH)_6$, trong đó ion Al^{3+} chiếm tại 2/3 vị trí trung tâm cho ta cấu trúc hai khối tám mặt (hình 1-4b), hay lớp



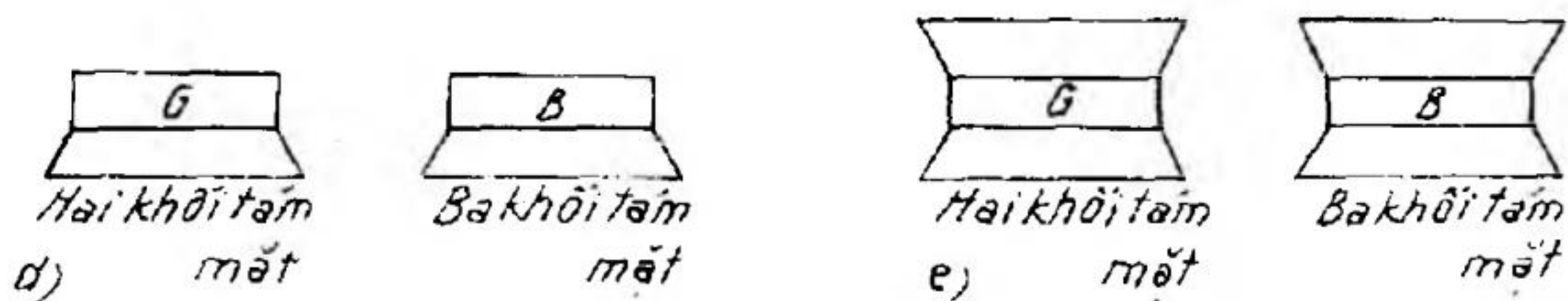
a)



b)



c)



Hình 1-4. Cấu trúc lưới - lớp

a) lớp silic ; b) lớp gipxit ; c) lớp bruxit ; d) lưới hai lớp ; e) lưới ba lớp

bruxit $Mg_6(OH)_6$, trong đó ion Mg^{2+} chiếm tất cả vị trí trung tâm, cho ta cấu trúc *ba khối tám mặt* (hình 1-4c).

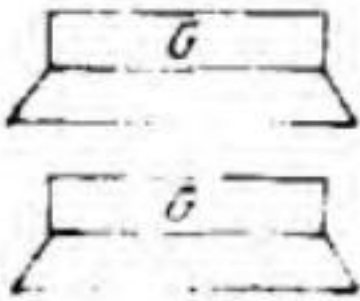
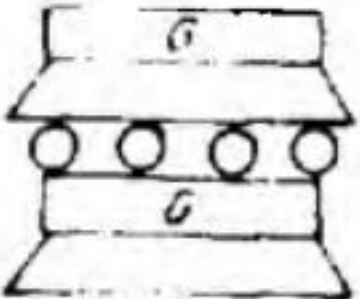
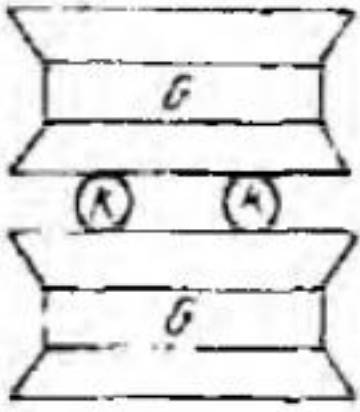
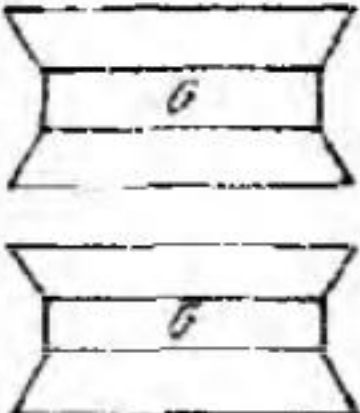
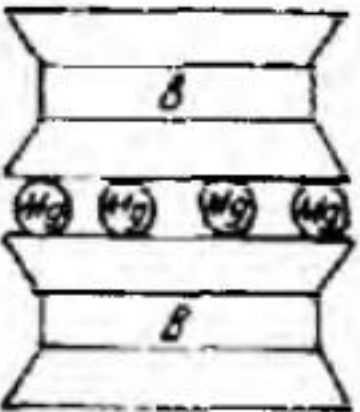
Trong các lớp của khối bốn mặt và tám mặt, các ion phía ngoài có khoảng cách khá tương tự nên liên kết được với nhau qua ion oxy hay hidroxin chung. Có thể xảy ra hai cách bố trí khung và cho ta cấu trúc hoặc *hai lớp* hoặc *ba lớp*. Trong lưới hai lớp (hình 1-4d), các lớp khối bốn mặt và tám mặt xen kẽ nhau ; trong khi sơ đồ ba lớp (hình 1-42) gồm một lớp khối tám mặt kẹp giữa hai lớp khối bốn mặt. Các hạt khoáng vật hình thành khi các lớp liên kết lại để tạo nên khung cấu trúc. Một số khoáng vật dạng lưới - lớp phổ biến cho trong bảng 1-1.

BẢNG 1-1. MỘT SỐ KHOÁNG VẬT DẠNG LƯỚI - LỚP

	<i>Hai khối tám mặt hay lớp gipsit</i>	<i>Ba khối tám mặt hay lớp bruxit</i>
2 lớp	Kaolinit Dickit Necrit	Serpentin Crizotin
3 lớp	Pirofilit Muscovit Monmorilonit Ilit	Tan Biotit Clorit Vecmiculit

Khoáng vật sét là bộ phận của nhóm lưới - lớp, gặp phổ biến trong các sản phẩm phong hóa của đá chứa fenspat và mica. Phụ thuộc vào sự xếp chồng cấu trúc lưới - lớp và ion liên kết giữa các lớp, có thể nhận ra bốn nhóm chính của khoáng vật sét : kao linit, ilit, monmorilonit và vecmiculit (xem hình 1-5).

Nhóm kaolinit. Đó là thành phần chính của đất sét kaolin và đất sét làm đồ sứ, sinh ra do fenspat octocla, khoáng vật chủ yếu của đá granit, bị phong hóa. Trầm tích sét làm đồ sứ thành tạo trong kỷ Devon và Cornwall phân bố rộng rãi ; sét kết hạch của Dorset và Devon cũng được thành tạo bằng cách này. Cấu trúc kaolinit là cấu trúc hai lớp liên kết chắc của silic và phiến gipsit thành 1 tầng. Bản thân kaolinit là một khoáng vật dạng bông điển hình với sự xếp chồng của khoảng 100 lớp thành một cấu trúc rất cân đối.

Tên khoáng vật	Biểu tượng cấu trúc	Giữa các lớp	Kích thước gần đúng (μm)	Bề mặt riêng (m^2/g)	Khả năng trao đổi gần đúng (me/100g)
Kaolinit		liên kết bởi H	$l = 0,2-2,0$ $t = 0,05-0,2$	10 - 30	5
Haloizit		H ₂ O	(ống) $l = 0,5$ $t = 0,05$	40 - 50	15
Illit		Liên kết bởi K ⁺	$l = 0,2-2,0$ $t = 0,02-0,2$	50 - 100	30
Monmorilonit		Liên kết ngang giữa ion Mg/Al yếu	$l = 0,1-0,5$ $t = 0,001-0,01$	200 - 800	100
Vecmiculit		Liên kết bởi Mg ²⁺	$l = 0,15-1,0$ $t = 0,01-0,1$	20 - 400	150

Hình 1-5. Cấu trúc và kích thước của các khoáng vật sét chính

Haloizit, một khoáng vật thuộc nhóm này, có các lớp bị các phân tử nước chia tách thường gặp ở một số đất vùng nhiệt đới. Các hạt haloizit có dạng ống hay que, trái ngược với dạng bông của hầu hết các loại sét khác. Ở nhiệt độ trên 60°C , haloizit bị khử nước, cần chú ý điều này khi tiến hành thí nghiệm đất có hàm lượng đáng kể haloizit.

Nhóm ilit. Trong điều kiện biến, mica (muscovit và xerixit) bị phân hủy tạo ra một nhóm khoáng vật tương tự nhau về cấu trúc gọi là *ilit*. Các đất sét và đá phiến biến như đất sét London và đất sét Oxford chứa chủ yếu nhóm khoáng vật này. Một số ilit cũng được sinh ra khi octola bị phong hóa và ion kali chưa bị di chuyển hết. Cấu trúc nhóm này gồm có các tầng gipsit ba lớp với ion K^+ liên kết các lớp silic kế nhau (hình 1-5). So với kaolinit, sự liên kết yếu hơn nên các hạt mỏng và nhỏ hơn.

Nhóm monmorilonit. Các khoáng vật của nhóm này được nói đến như *đất sét tẩy bẩn* và chúng là thành phần chủ yếu của sét bentonit, sét Fuller Earth, đất Black Cotton nhiệt đới. Monmorilonit thường do ilit phân hủy thêm tạo nên ; nó cũng còn được hình thành do phong hóa fenspat plagiocla trong các trầm đọng tro núi lửa. Cấu trúc cơ bản là xếp chồng ba lớp, trong đó lớp khối tám mặt ở giữa chủ yếu là gipsit, nhưng Al được thay thế phần nào bằng Mg. Các ion kim loại thay đổi (ion khác K^+) làm cho sự liên kết các tầng yếu đi (hình 1-5). Vì liên kết yếu các phân tử nước dễ dàng thâm nhập vào giữa các lớp, tạo ra khả năng co ngót và trương nở lớn cho các khoáng vật thuộc nhóm này.

Nhóm vecmiculit. Nhóm này bao gồm các sản phẩm phong hóa của biotit và clorit. Cấu trúc của vecmiculit tương tự monmorilonit, chỉ khác ở chỗ cation chính liên kết giữa các lớp là Mg (hình 1-5) kèm theo một số phân tử nước. Khả năng co ngót và trương nở, do vậy, cũng tương tự monmorilonit, tuy có kém hơn.

1.6. Các tính chất quan trọng của khoáng vật sét

Theo quan điểm xây dựng, dạng bông là đặc trưng có ý nghĩa nhất của bất kỳ khoáng vật sét nào. Một số tính chất xây dựng quan trọng là do yếu tố này trực tiếp đóng góp, kết hợp với các

yếu tố khác, như kích thước hạt khá nhỏ và bề mặt mang điện tích âm. Các tính chất chính được xem xét ở đây là : *diện tích bề mặt, diện tích và hấp phụ bề mặt, khả năng trao đổi cơ bản, sự kết bông và phân tán, co ngót và trương nở, tính dẻo và dính.*

Diện tích bề mặt. Khi hạt càng nhỏ và càng bông thì diện tích bề mặt càng lớn. Tỷ số của diện tích bề mặt trên đơn vị khối lượng gọi là *bề mặt riêng* S_s của đất. Xem xét một khối đất có kích thước mỗi chiều là d mm với trọng lượng riêng G_s .

Diện tích bề mặt là $6d^2 \text{ mm}^2$

Khối lượng bằng $d^3 G_s \times 10^{-3} \text{ g}$

Thì bề mặt riêng sẽ bằng :

$$\begin{aligned} S_s &= \frac{6 \times 10^3}{d G_s} \text{ mm}^2/\text{g} \\ &= \frac{6 \times 10^{-3}}{d G_s} \text{ m}^2/\text{g} \end{aligned}$$

Với vật rắn hình cầu, áp dụng cùng biểu thức trên. Chẳng hạn, một hạt thạch anh ($G_s = 2,65$) có đường kính giả sử là 1mm sẽ có bề mặt riêng vào khoảng $2,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{g}$. Khi so sánh với bề mặt riêng của monmorilonit là $800 \text{ m}^2/\text{g}$ (bảng 1-2) thì thấy rõ ràng diện tích bề mặt cực lớn của các khoáng vật sét. Để minh họa thêm điều đó, hãy xem xét một hạt monmorilonit giả thiết có dạng tấm đơn giản với khối lượng 1g. Bề dày của nó chỉ là 0,002mm, nhưng cho bề mặt riêng là $800 \text{ m}^2/\text{g}$ thì kích thước của nó (nhớ rằng nó có hai mặt) phải là $20\text{m} \times 20\text{m}$!

Các hạt bụi không bông như các hạt trong nhóm sét. Giá trị gần đúng của chúng như sau :

Bụi (0,002 - 0,06mm) $S_s = 1 \text{ đến } 0,04 \text{ m}^2/\text{g}$

Cát (0,06 - 2,0mm) $S_s = 0,04 \text{ đến } 0,001 \text{ m}^2/\text{g}$

BẢNG 1-2. LƯỢNG NƯỚC HẤP PHỤ GẦN ĐÚNG

Khoáng vật	Bề mặt riêng S_s (m^2/g)	Lượng nước hấp phụ gần đúng (%)
Cát thạch anh (0,1mm)	0,02	1×10^{-3}
Kaolinit	20	1
Illit	80	4
Monmorilonit	800	40

Diện tích và sự hấp phụ bề mặt. Các ion O^{2-} hoặc $(OH)^-$ hình thành bề mặt bằng phẳng của khoáng vật sét, vì thế bề mặt mang điện âm. Vì phân tử nước là lưỡng cực, có một đầu mang điện dương và một đầu mang điện âm, một lớp các phân tử nước này được giữ trên bề mặt khoáng vật bởi liên kết hydro $(H_3O)^+$. Sát bề mặt khoáng vật, các phân tử nước được giữ lại ở dạng lớp dính chắc (*hấp phụ*), nhưng càng xa bề mặt, liên kết yếu đi và nước trở nên lỏng hơn. *Nước hấp phụ* này có tính chất khác hẳn nước bình thường : độ nhớt, mật độ và điểm sôi cao hơn, điểm đóng băng thấp hơn. Khi xác định độ ẩm của đất sét, kiến nghị nên làm khô ở $105^\circ C$ để chắc chắn đuổi được toàn bộ nước hấp phụ ra.

Các tính toán cho thấy, bề dày của lớp hấp phụ vào khoảng 50nm. Vì vậy, có thể tính độ ẩm hấp phụ m_{AD} gần đúng theo :

$$m_{AD} = S_s t \rho_w = 0,05 S_s$$

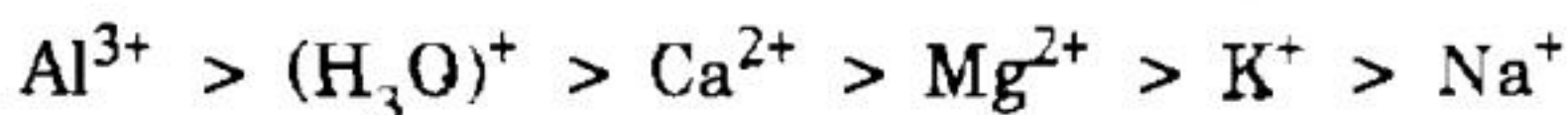
ở đây : t - bề dày của lớp, $t = 50 \times 10^{-9} m$

ρ_w - mật độ của nước, $\rho_w = 1 \times 10^6 g/m^3$

Phạm vi giá trị độ ẩm hấp phụ cho trong bảng 1-2. Ngoài ra, do những khoáng vật nhất định, như haloizit và vecmiculit giữ nước nằm yên giữa các tầng nên chúng có thể có mật độ thấp ở độ ẩm cao.

Khả năng trao đổi cơ bản. Tổng điện tích âm của các khoáng vật sét được trung hòa bằng nhiều cách : phần do các cation nội bộ, phần do liên kết hydro trong nước hấp phụ và phần do cation ở trong lớp hấp phụ. Sự cân bằng điện tích âm bề mặt không do nội bộ thỏa mãn được gọi là *khả năng trao đổi* của khoáng vật, có đơn vị là mili đương lượng cho mỗi 100g (me/100g). Phạm vi giá trị gần đúng của nó thấy ở hình 1-5.

Nói chung, một cân bằng được thiết lập giữa các cation ở trong lớp hấp phụ và những cation trong nước lỗ rỗng. Tuy nhiên, tỷ lệ tương đối các cation có thể thay đổi khi đưa các cation khác nhau vào nước lỗ rỗng, vì một số hóa hợp mạnh hơn số khác. Loại hóa hợp mạnh hơn sẽ thay thế loại hóa hợp yếu hơn trong lớp hấp phụ. Trong số các cation phổ biến, khả năng thay thế thường theo trật tự sau :



Vì thế, ở khí hậu nhiệt đới có độ ẩm cao, tính axit của đất tăng lên do $(\text{H}_3\text{O})^+$ thay thế Ca^{2+} ; trong đất bao quanh bê tông mới đổ, Ca^{2+} có xu hướng thay thế Na^+ . Sự có mặt các cation nhất định có thể làm tăng hay giảm bề dày lớp hấp phụ. Ví dụ, cần một số lượng ion hóa trị một (như Na^+) nhiều gấp đôi số lượng ion hóa trị hai (chẳng hạn Ca^{2+}) để cân bằng, do đó tạo ra lớp dày hơn. Các cation cũng có xu hướng bị các phân tử nước bao quanh khá gần gũi tại "đầu" âm của chúng.

Sự kết bông và phân tán. Lực tác động giữa hai hạt kéo chúng lại gần nhau, ở một thể huyền phù trong nước, chịu ảnh hưởng của hai nhóm lực :

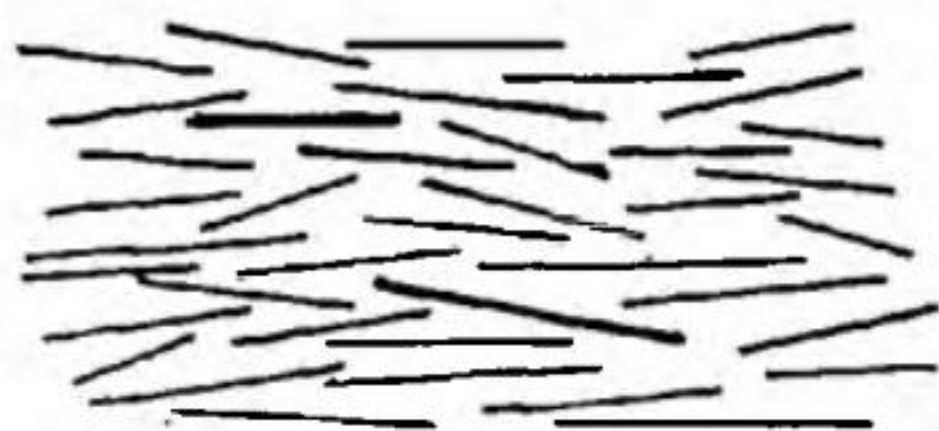
a) lực hấp dẫn giữa các hạt do lực Van der Waal hay lực liên kết thứ cấp ;

b) lực đẩy do bản chất mang điện âm của bề mặt hạt và lớp hấp phụ.

Lực hấp dẫn Van der Waal tăng nếu các hạt xích lại gần nhau, chẳng hạn như khi bề dày lớp hấp phụ giảm do quá trình trao đổi cơ bản. Trong đất, chỗ nào mà lớp hấp phụ dày, thì khả năng đẩy nhau lớn hơn và các hạt sẽ ở dạng tự do hay phân tán. Khi lớp hấp phụ đủ mỏng để lực hút chiếm ưu thế, sẽ xảy ra tiếp xúc cạnh với cạnh (âm với dương) hình thành nên nhóm hạt ; trong huyền phù, các nhóm này sẽ lắng chìm cùng với nhau, đó là quá trình *kết bông* và đất có hiện tượng này gọi là *đất kết bông* (hình 1.6a). Trong đất sét biển, đất sét tập trung cao các cation, lớp hấp phụ mỏng do đó tạo ra cấu trúc bông. Trong khi đó, đất sét hồ (nước ngọt) lại có cấu trúc *phân tán* (hình 1-6b).



a)



b)

Hình 1-6. Cấu trúc đặc biệt trong đất sét

a) kết bông ; b) phân tán

Trong thí nghiệm đất ở trong phòng, cấu trúc kết bông có thể phân tán nếu thêm các cation từ dung dịch muối thích hợp, như hexameta photphat natri. Một điểm ghi nhớ khác là đất kết bông thường thể hiện giới hạn chảy cao.

Trương nở và co ngót. Lực tương tác giữa các hạt và lớp hấp phụ có thể đạt cân bằng trong sự không đổi về áp lực bao quanh và điều kiện nhiệt độ do các phân tử nước chuyển động vào hay ra khỏi lớp hấp phụ. Độ ẩm của đất tương ứng điều kiện cân bằng này gọi là *độ ẩm cân bằng emc*. Bất kỳ sự thay đổi nào về các điều kiện bao quanh thì độ ẩm cũng biến đổi theo. Nếu thêm nước vào, áp lực trương nở sẽ tác động và làm tăng thể tích. Co ngót xảy ra nếu lớp hấp phụ bị ép, nước thoát ra hoặc do bốc hơi làm giảm độ ẩm.

Khả năng trương nở của sét monmorilonit rất cao. Đất chứa tỉ lệ ilit đáng kể, đặc biệt khi có nguồn gốc biển, có đặc tính trương nở khá cao ; trong khi đất kaolin kém nhạy cảm hơn. Nói chung, trong khối đất, co ngót tự biểu hiện ở loạt các vết nứt dạng hình nhiều góc bắt đầu từ mặt đất lan xuống phía dưới.

Tính dẻo và dính. Tính chất đặc trưng nhất của đất sét là tính dẻo – khả năng tạo và duy trì hình dạng mới khi ép hay nặn. Tính chất này quyết định bởi kích thước và bản chất của hạt khoáng sét cũng như của lớp hấp phụ. Tính dẻo và tính ép co rất mạnh khi đất có bề mặt riêng trung bình lớn, như sét monmorilonit.

Độ sệt của hỗn hợp sét/nước thay đổi rõ rệt theo độ ẩm - tỷ số khối lượng nước với khối lượng hạt đất. Khi độ ẩm thấp, nước chủ yếu ở trong lớp hấp phụ, vì thế giữa các hạt sét lực hấp dẫn nhau mạnh hơn. Tác động dính kết này hay tạo ra một dạng ứng suất trong, được gọi là *tính dính*. Khi độ ẩm tăng thì hiệu quả hút ẩm kém đi và tính dính giảm xuống. Đất đạt *giới hạn dẻo* khi lượng nước thích hợp cho phép các hạt trượt qua với nhau mà không xuất hiện các vết nứt trong đất. Khi độ ẩm tăng cao tới lúc không còn khả năng hút ẩm và hỗn hợp đất biểu hiện giống như một dịch thể (chảy tự do dưới trọng lượng bản thân) thì đất đạt *giới hạn chảy* (xem chương 2).

1.7. Thuật ngữ đất xây dựng

Như đã đề cập trong phần 1-1, thuật ngữ đất có thể giải nghĩa không giống nhau trong các lĩnh vực nghiên cứu và sử dụng khác nhau. Trong lĩnh vực xây dựng, thuật ngữ dùng phải cho các thông tin chính xác liên quan đến tính chất và quá trình xây dựng. Các thuật ngữ và định nghĩa sau đây gặp phổ biến trong các báo cáo, sách giáo khoa, tài liệu nghiên cứu, bài tạp chí và các tài liệu khác có liên quan với việc sử dụng và nghiên cứu đất trong xây dựng. Hiện đã có các tài liệu tra cứu phổ biến như : *Khảo sát xây dựng hiện trường* BS5930 ; *Sổ tay địa chất ứng dụng* của Hội các Kỹ sư Dân dụng (1976) ; *Từ điển Cơ học đất và Nền Móng công trình* của John A. Barker, Nhà Xuất bản Xây dựng, 1981. Trong khóa học, sinh viên nên tham khảo nhiều các tài liệu trên và các từ điển kỹ thuật khác cho việc học tập của mình.

Đá. Nguồn gốc macma, trầm tích hay biến chất, chiếm phần đáng kể vỏ quả đất, có liên kết cứng chắc. Với nhà địa chất, thuật ngữ đá biểu thị vật liệu của vỏ quả đất có gắn kết cứng, có tuổi trên 1 triệu năm. Các vật liệu mềm yếu như đất sét, đá phiến, cát được các nhà địa chất gọi là *đá*, trong khi người kỹ sư lại dùng thuật ngữ *đất*. Thường thì giải nghĩa xây dựng của đá bao hàm quan niệm phải nổ phá khi mở hố móng

Đất. Đó là bất kỳ vật liệu rời hay dễ đào nào mà ta sẽ tiến hành xây dựng ở trên hay bên trong nó hoặc dùng nó để xây dựng. *Lớp đất mặt* thường không nằm trong thuật ngữ phổ cập đất "xây

dựng", mặc dù cần bóc bỏ và thay thế trong quá trình xây dựng. *Tầng đất gốc* là thuật ngữ chủ yếu của nông nghiệp dùng gọi lớp đất tro nằm giữa lớp đất mặt và đá nền, nên tránh sử dụng thuật ngữ này trong xây dựng.

Đất hữu cơ. Đó là hỗn hợp giữa các hạt khoáng vật và vật chất hữu cơ, chủ yếu có nguồn gốc thực vật, ở các giai đoạn phân hủy khác nhau. Nhiều loại đất hữu cơ có nguồn gốc hồ, vũng vịnh, cửa sông, cảng biển, hồ chứa nước... Vật chất hữu cơ làm cho đất sẫm hơn, có màu sẫm và có mùi dễ cảm nhận.

Than bùn. Than bùn thực sự thì tạo bởi toàn là vật chất hữu cơ ; nó rất xốp, ép co mạnh và có khả năng đốt cháy cao. Các khoáng vật vô cơ cũng có thể có mặt và khi hàm lượng tăng lên, nó chuyển thành đất hữu cơ. Theo quan điểm xây dựng, than bùn có nhiều vấn đề do có hệ số rỗng, độ ẩm lớn, khả năng ép co cao, một số trường hợp có tính axit.

Đất tàn tích. Đó là tàn dư của đá bị phong hóa chưa bị di chuyển. Thường là cát hay cuội, hàm lượng oxit cao là do quá trình rửa đất xảy ra, như đất laterit, boxit, đất sét làm đồ sứ.

Đất bồi (aluvi). Đó là các vật liệu như cát, cuội, ... được trầm đọng từ sông, suối. Đặc trưng của đất bồi là tuyển lựa (cỡ hạt) tốt nhưng chúng cũng thường hình thành các tầng không liên tục và bất thường.

Đất dính. Đất chứa các hạt sét hay bụi vừa đủ để tạo được rõ tính dính và dẻo.

Đất không dính. Các đất, như cát và cuội, bao gồm các hạt tròn hay góc cạnh (không có dạng tấm) ; không biểu hiện tính dẻo và tính dính.

Đất sét chứa đá tảng (sét tảng). Đó là đất có nguồn gốc băng hà, gồm các hạt có kích thước trong phạm vi rộng từ bụi đá mịn tới đá tảng.

Trầm tích mới. Đó là thuật ngữ địa chất dùng chỉ các trầm tích trên mặt còn mới, chưa cố kết như đất bồi, băng tích và đất sét chứa đá tảng nguồn gốc sông băng, cát do gió, hoàng thổ,...

1.8. Thuộc tính xây dựng của đất và các vấn đề khi xây dựng công trình

Để nghiên cứu tính chất xây dựng của đất, cần sử dụng một số bộ môn khoa học như khoáng vật, hóa học, vật lý, thủy lực,... Trong phạm vi một số vấn đề thì yêu cầu toán học khá mạnh mẽ do các vấn đề thực tiễn đòi hỏi phải giải quyết trả lời bằng định lượng. Các biện pháp và yêu cầu kỹ thuật khi giải quyết các vấn đề xây dựng của đất thay đổi tùy theo loại vấn đề và tầm quan trọng tương đối của các đòi hỏi đặt ra, nhưng nói chung cần xem xét các nội dung sau đây :

a) Tính chất của đất, bao gồm việc xác định các tính chất xây dựng thích hợp của nó.

b) Hiểu biết về tình trạng hay nội dung vấn đề, bao hàm sự hiểu biết về các tính chất đặc trưng của đất trong các hoàn cảnh riêng.

c) Từ a) và b) đưa ra một (hay nhiều) mô hình, cách biểu diễn theo ngôn ngữ toán học hay cơ học của một (hay nhiều) tính chất tất yếu.

d) Sử dụng các yếu tố ảnh hưởng như thời gian, hệ số an toàn, mỹ học, quản lý kế hoạch, vật liệu hoặc thiết bị sẵn có, khả năng hiện thực của sự vận hành cũng như yếu tố giá thành – yếu tố thường có tầm quan trọng nổi trội hơn cả.

e) Đưa ra các giải pháp chủ yếu là giải pháp kỹ thuật, nhưng cũng phải xét đầy đủ tới các yếu tố khác.

Trong cơ học đất, các vấn đề phổ biến được tổng hợp lại cho thuận tiện như sau :

Đào đất (Hố móng). Để chuẩn bị hiện trường cho xây dựng và các công tác phục vụ nó, đất được đào và di chuyển đi. Bài toán ở đây liên quan chặt chẽ với các vấn đề chống đỡ.

Chống đỡ đất. Cần thiết xác định khả năng tự chống đỡ thực sự của các mái dốc tự nhiên và nhân tạo (khối đắp). Khi đào hố móng (hào, tầng hầm,...) và các công trình đào cắt khác (đường đào,...), cần thiết xác định nhu cầu và phạm vi đòi hỏi công trình

chống đỡ bên ngoài. Một số vấn đề này được đề cập trong chương 8 và 9.

Dòng thấm của nước. Tác động của nước trong khối đất được giải quyết trong chương 4 và 5. Khi đất có tính thấm và nước có thể chảy qua nó, các bài toán có liên quan đến lưu lượng và hiệu quả của chuyển động thấm được đặt ra.

Đất như là một môi trường chống đỡ. Khối đất ở dưới và kể với công trình là một phần của hệ nền móng và các tính chất của đất trong vai trò là môi trường chống đỡ phải được khảo sát. Bài toán thuộc loại này, có thể chia ra làm hai bài toán phụ sau :

a) *Bài toán về phá hoại cắt*, trong đó cần nghiên cứu cơ chế sụp đổ có khả năng xảy ra ở nơi mặt phá hoại xuất hiện do vượt quá độ bền kháng cắt của đất. Khái niệm độ bền kháng cắt được giới thiệu trong chương 6 và phát triển chi tiết cùng với một số áp dụng trong chương 7 ; các áp dụng khác xem chương 8 và 11.

b) *Bài toán về ép co.* Trong tất cả các loại đất, khi tải trọng ngoài tăng lên, thể tích bị giảm đi và trong đất bụi, đất sét, đất cát xốp rời tính chất này gây ra độ lún khá lớn. Quá trình và cơ chế thay đổi thể tích và ép co được đề cập trong chương 10 và quan hệ mật thiết với thiết kế móng ở chương 11.

Công trình xây dựng dùng đất. Đất được dùng phổ biến làm vật liệu xây dựng trong thi công đường, sân bay, đê đập, khối đắp,... Cũng giống như khi dùng các vật liệu khác như bê tông, thép,... cần xác định và đánh giá tính chất vật liệu trước khi sử dụng và tiến hành một số đo lường nhằm giám sát chất lượng để có được công trình tốt, bền vững. Nội dung của vấn đề này thể hiện ở trong chương 3.

Mô tả và phân loại. Trong hầu hết các vấn đề xây dựng, đầu tiên là phải mô tả chính xác vật liệu. Điều này có ý nghĩa với công trình cả về định tính lẫn định lượng. Việc nghiên cứu chi tiết các đặc trưng xây dựng của đất sẽ thuận lợi, một khi đã tiến hành mô tả và phân loại đất hợp lý ; nội dung này được trình bày trong chương 2.

BÀI TẬP

1. Trình bày tóm tắt về nguồn gốc của đất và các yếu tố tác động đến sự hình thành đất.
2. Bàn về thành phần của đất theo quan điểm xây dựng, chỉ ra ý nghĩa sự có mặt hay vắng mặt của các thành phần quan trọng.
3. Trình bày bản chất và cấu trúc của khoáng vật sét và giải thích tính chất xây dựng của chúng khi chúng là thành phần cấu tạo nên đất.
4. Liệt kê các khoáng vật sét phổ biến và tóm tắt các tính chất chủ chốt của chúng theo quan điểm xây dựng.
- 5.. Tóm tắt các dạng vấn đề xây dựng có liên quan với đất và bàn về bản chất của các đòi hỏi có thể phải đặt ra, do các tính chất của chúng và tác động đến các giải pháp thiết kế và thi công.

Chương 2

PHÂN LOẠI ĐẤT THEO MỤC ĐÍCH XÂY DỰNG

2.1. Các nguyên tắc phân loại đất

Việc đưa ra cách phân loại đất theo qui ước nhằm miêu tả các vật liệu khác nhau đã gặp trong hiện trường khảo sát là cần thiết. Hệ thống phân loại được chấp nhận cần bao trùm tất cả các loại đất trầm tích tự nhiên, kể cả những loại ít gặp nhưng vẫn phải bảo đảm tính hợp lý, tính hệ thống và xúc tích. Một hệ thống như thế là cần thiết nếu nó cho phép rút ra các kết luận đúng đắn từ sự hiểu biết về các loại vật liệu. Nếu không dùng một hệ thống phân loại thì các thông tin hoặc kiến nghị về thiết kế và thi công dựa trên loại vật liệu có khả năng bị lẫn lộn và sẽ khó khăn khi áp dụng các kinh nghiệm đã thu được cho các thiết kế sau này. Hơn nữa, nếu không chấp nhận một hệ thống tên gọi theo qui ước thì việc giải thích các thuật ngữ sử dụng sẽ mâu thuẫn, có thể lẫn lộn, làm cho quá trình trao đổi thông tin không được hiệu quả.

Để đáp ứng đầy đủ mục đích cơ bản này, một hệ thống phân loại phải thỏa mãn một số điều kiện :

- a) phải mô tả một số thuật ngữ xác định ; ngắn gọn nhưng đầy đủ cho người sử dụng ;
- b) các lớp và phụ lớp được định rõ theo các thông số tương đối dễ đo lường định lượng ;
- c) các lớp và phụ lớp phải tập hợp được các loại đất có các đặc trưng tính chất xây dựng tương tự lại với nhau.

Hầu hết các hệ thống phân loại đất đều chia đất thành ba nhóm chính : *hạt thô*, *hạt mịn* và *hữu cơ*. Các nhóm này có các đặc trưng chủ yếu khác biệt nhau như thấy ở bảng 2-1.

BẢNG 2-1. CÁC NHÓM ĐẤT XÂY DỰNG CHÍNH

	<i>Hạt thô</i>	<i>Hạt mịn</i>	<i>Hữu cơ</i>
Các loại đất	Đá tảng Cuội Cát	Bùn Sét	Than bùn
Dạng hạt	Tròn đến góc cạnh	Bông	Thở
Kích thước hạt	Thô	Mịn	-
Độ rỗng hay hệ số rỗng	Thấp	Cao	Cao
Tính thấm	Cao	Kém đến không thấm	Thay đổi
Lực dính giữa các hạt	Không có tới rất thấp	Cao	Thấp
Ma sát giữa các hạt	Cao	Thấp	Không có đến thấp
Tính dẻo	Không	Thấp đến cao	Thấp đến trung bình
Tính ép co	Rất thấp	Trung bình đến rất cao	Thường rất cao
Tốc độ cố kết	Tức thời	Trung bình đến chậm	Trung bình đến nhanh

Ở Anh, các nguyên tắc chỉ đạo và kiến nghị cho việc phân loại ở hiện trường và phân loại chi tiết được cho trong Tiêu chuẩn Anh 5930 (BS5930) *Khảo sát khu đất xây dựng* (1981). Người ta đã cho một biểu dễ hiểu (bảng 2-2) để có thể phân loại đất ở hiện trường với việc áp dụng một số thí nghiệm đơn giản. Khi có khả năng có nhiều tài liệu thí nghiệm trong phòng và đặc biệt là khi đất được dùng cho mục đích xây dựng, thì nên dùng Hệ thống phân loại đất cho mục đích xây dựng của Anh (bảng 2-3).

2.2. Phân loại đất ở hiện trường

Trong quá trình miêu tả và phân loại đất, giai đoạn này được tiến hành khi khảo sát ở hiện trường ; biện pháp kỹ thuật khảo sát được trình bày trong chương 12 cùng với một số cách thức thí nghiệm *ngoài trời*. Trong khi khảo sát, sự cố gắng miêu tả thật đầy đủ bản chất và sự hình thành của tất cả các loại vật liệu nằm

dưới mặt đất là rất quan trọng. Nếu có thể cần tiến hành phân loại sơ bộ, như thế các thông tin khả dĩ đầy đủ nhất đã được xét đến. Sự phân loại sâu và chi tiết hơn thường phải kèm theo một số thí nghiệm trong phòng.

Với mục đích nhận biết và phân loại ở ngoài trời, một loạt thí nghiệm đơn giản sẽ được tiến hành như sau.

Kích thước hạt. Nhận dạng các nhóm chính bằng mắt quan sát và "cảm nhận!". Hạt cuội ($>2\text{mm}$) được nhận ra dễ dàng; cát ($0,06\text{mm} < d < 2\text{mm}$) có cảm giác sạn đặc biệt giữa các ngón tay; bụi ($0,002\text{mm} < d < 0,06\text{mm}$) cảm giác hơi ráp nhưng không sạn; sét ($<0,002\text{mm}$) có cảm giác trơn tru.

Thành phần hạt. *Thành phần hạt* của đất để cập tới sự phân bố cỡ hạt; đất có *cấp phối tốt* thì có sự phân bố rộng của các cỡ hạt, trong khi đất *cấp phối xấu* hay đất *đồng đều* chỉ chứa các cỡ hạt trong phạm vi hẹp.

Để đánh giá nhanh được cỡ hạt và thành phần hạt, tiến hành *thí nghiệm lắng đọng ở ngoài trời* trong một bình hay chai cao. Lắc bình chứa nước và mẫu đất rồi dừng lại trong vài phút. Đầu tiên, các hạt thô nhất lắng chìm xuống đáy, tiếp đó là cỡ hạt nhỏ dần. Quan sát liên tục bản chất và bề dày các lớp trầm đọng sẽ cho phân lượng gần đúng các phạm vi kích thước.

Được xếp vào *đất thô* như **cát** hoặc **cuội** : ỏi khi có trên 65% các hạt lớn hơn $0,06\text{mm}$. Dùng thuật ngữ *đất mịn* như **bụi** hoặc **sét** khi có trên 35% các hạt nhỏ hơn $0,06\text{mm}$. Cơ sở để quyết định loại đất hợp thành được cho trong bảng 2-2.

Độ chặt. Có thể dùng xẻng hay cuốc chim, hoặc đóng cọc gỗ nhỏ vào đất để đánh giá độ chặt hay *độ bền ngoài trời*; theo đó đất sẽ được báo cáo là ở trạng thái *xốp rời*, *chật* hoặc *gắn kết yếu*.

Cấu tạo. Việc quan sát các đặc trưng cấu tạo rất ích lợi và tiến hành thuận tiện trong các hố thăm dò, mương hào và hố móng. Các thuật ngữ miêu tả như sau:

Đồng nhất - chủ yếu bao gồm một loại đất.

Phân lớp - các lớp hay dải các vật liệu khác nhau xen kẽ; phải báo khoảng cách giữa các mặt lớp (bề dày lớp) như chỉ dẫn trong bảng 2-2.

BẢNG 2-2. NHẬN BIẾT VÀ MIÊU TẢ ĐẤT Ở HIỆN TRƯỜNG
(Sao chép từ Tiêu chuẩn Anh 5930 (BS5930).
1981 : Khảo sát khu đất xây dựng)

Các loại đất cơ bản			Kích thước hạt (mm)	Nhận biết bằng mắt	Bản chất các hạt và tính dẻo
ĐẤT RẤT THỎ ĐẤT HẠT THỎ (hai kích thước cái và cuội sỏi trên 65%)	ĐÁ TẢNG		200	Chỉ nhìn thấy tròn vẹn trong hố đào hay vết lộ	Dạng hạt : góc cạnh nửa góc cạnh nửa tròn cạnh tròn cạnh phẳng kéo dài
	ĐÁ CUỘI		60	Thường khó lấy được từ hố khoan	
	CUỘI, SỎI	thô	20	Nhìn trực tiếp dễ dàng, có thể miêu tả hình dạng, thành phần hạt. Cấp phối tốt : phạm vi kích thước hạt rộng, phân bố tốt. Cấp phối xấu : cấp phối không tốt (có thể là đồng nhất – kích thước của hầu hết các hạt nằm giữa các giới hạn hẹp hay phân cỡ chênh nhau lớn – hạt có kích thước trung gian quá ít).	
		trung			
		mịn			
	CÁT	thô	2	Nhìn được bằng mắt thường ; khi khô không có hay có chút ít lực dính ; có thể miêu tả thành phần hạt. Cấp phối tốt : phạm vi kích thước hạt rộng, phân bố tốt. Cấp phối xấu : cấp phối không tốt (có thể là đồng nhất – kích thước của hầu hết các hạt nằm giữa các giới hạn hẹp hay phân cỡ chênh nhau lớn – hạt có kích thước trung gian quá ít).	Cấu tạo : nhám nhẵn bóng láng
			0,6		
		trung	0,2		
		mịn	0,06		

(hạt kích thước bụi sét trên 35 [°])	DẤT HẠT MỊN	thô	0.06	Chỉ có bụi thô nhìn rõ bằng mắt thường, biểu hiện chút ít tính dẻo, giãn nở rõ, sờ mượt hay cảm thấy chút sạn. Tan rã trong nước : vón khô nhanh ; có tính dính, tay bóp thành bột dễ dàng	Không dẻo hay có tính dẻo thấp
		trung	0.02		
		mịn	0.006		
	SÉT		0.002		
DẤT HỮU CƠ				Vón khô có thể vỡ nhưng tay bóp không thành bột ; tan rã trong nước nhưng chậm hơn bụi ; sờ trơn nhẵn ; biểu hiện tính dẻo nhưng không giãn nở ; dính vào ngón tay và khô chậm ; khi khô cơ ngót rõ ràng, thấy các khe nứt. Đất sét có độ dẻo trung bình và cao thì thể hiện các tính chất này trung bình và cao.	Tính dẻo trung bình (sét gày) Tính dẻo cao (sét béo)
	SÉT, BỤI hoặc CÁT HỮU CƠ	Biến đổi		Chứa nhiều vật chất hữu cơ thực vật	
	THAN Bùn	Biến đổi		Tàn tích thực vật là chủ yếu, thường có màu đen hay nâu xám, có mùi đặc trưng, mật độ thể tích thấp	

BẢNG 2-2 (tiếp theo)

Các loại đất cơ bản	Các loại đất hợp thành (hỗn hợp các loại đất cơ bản)		Độ chặt / cường độ	
			Thuật ngữ	Thí nghiệm ở hiện trường
ĐÁ TẢNG	Tỷ lệ thành phần phụ với đất hạt thô		Xốp rời	Bằng thăm dò độ rộng và xếp sắp của hạt
ĐÁ CUỘI	Thuật ngữ	% sét hay bụi	Chặt	
CUỘI SỎI	CUỘI SỎI chứa ít sét hay	dưới 5	Xốp rời	Có thể đào bằng xẻng ; dễ đóng cọc gỗ dài 50mm.
	CÁT chứa ít bụi CUỘI SỎI chứa sét hay	5 đến 15		
	CÁT chứa bụi CUỘI SỎI chứa nhiều sét hay	1 đến 35	Chặt	Đào bằng cuốc chim , khó đóng cọc gỗ dài 50mm.
	CÁT chứa nhiều bụi			
CÁT	CUỘI chứa cát	Cát hay cuội và thành phần quan trọng thứ hai của phần hạt thô	Gắn kết yếu	Nghiên cứu bằng mắt ; cuốc chim cuốc đất thành tầng có thể bị rã bở
	CÁT chứa cuội			
Cho loại đất hợp thành, miêu tả như sau : chứa sét : đất mịn, dẻo, dính chứa bụi : đất mịn, không dẻo hay tính dẻo thấp				

BỤI	Tỷ lệ thành phần phụ với đất hạt mịn		Mềm yếu hay xốp rời	Dễ nặn hay dùng tay bóp vụn
	Thuật ngữ	% cát hay cuội	Cứng chắc hay chặt	Có thể nặn hay khó bóp vụn
	SÉT chứa cát hay	35 đến 65	Rất mềm	Khi bóp, đất rỉ ra giữa các ngón tay
	BỤI chứa cuội			
	BỤI SÉT -	dưới 35	Mềm	Nặn được bằng ngón tay bóp nhẹ
SÉT	Ví dụ về các loại hợp thành (chỉ dẫn thứ tự thường miêu tả)		Cứng	Có thể nặn bằng ngón tay bóp mạnh
	CUỘI mịn đến thô, chứa nhiều cát, nửa góc cạnh, màu nâu, xốp rời, có các túi nhỏ đất sét yếu màu xám		Chặt	Không thể nặn bằng ngón tay : có thể dùng ngón tay cái bấm lõm
			Rất chặt	Có thể dùng móng tay cái bấm lõm
SÉT, BỤI hay CÁT HỮU CƠ	CÁT mịn đến trung, chứa sét, màu nâu sáng, độ chặt trung bình SÉT chứa cát, nứt nẻ, màu nâu da cam, chặt		Cứng	Các thớ đã được ép lại với nhau
THAN Bùn	SÉT và BỤI phân phối mỏng, màu nâu, cứng		Xốp (dạng bọt biển)	Ép co mạnh và cấu trúc lỗ hổng
	THAN Bùn vô định hình, màu nâu, dẻo		Dẻo	Có thể nặn trong tay và vấy bẩn các ngón tay

BẢNG 2-2 (tiếp theo)

Các loại đất cơ bản	Cấu tạo			Màu
	Thuật ngữ	Nhận biết ở hiện trường	Thang đo	
ĐÁ TẢNG	Dồng nhất	Trầm tích chủ yếu gồm một loại	Thang đo phân lớp	
ĐÁ CUỘI	Phân lớp	Các lớp khác loại xen kẽ hoặc có các dải hay thấu kính của vật liệu khác có thể dùng thang đo phân lớp	Thuật ngữ	Bề dày trung bình, mm
CUỘI SỎI	Không đồng nhất Bị phong hóa	Một hỗn hợp của các loại Các hạt bị yếu đi và có thể thấy lớp tập trung	Phân tầng rất dày	trên 2000
			Phân tầng dày	2000 đến 600
CÁT			Phân tầng trung bình	600 đến 200
			Phân tầng mỏng	200 đến 60
			Phân tầng rất mỏng	60 đến 20
			Phân lớp dày	20 đến 6
			Phân lớp mỏng	dưới 6
				Dò Hồng Vàng Xanh ôliu Xanh lá cây Xanh da trời Trắng Xám Đen v.v... Khi cần thiết bổ sung thêm : nhạt đậm lôm dôm v.v...

Đỏ
Hồng
Vàng
Xanh ôliu
Xanh lá cây
Xanh da trời
Trắng
Xám
Đen
v.v...
Khi cần thiết
bổ sung thêm:
nhạt
đậm
lôm đôm
v.v...

BỤI	Nút nẻ Không bị phá hủy	Vỡ thành các mảnh đa diện theo khe nứt. Có thể dùng thang đo khoảng mắt liên tục. Không có khe nứt	Thang đo khoảng mắt liên tục		và phốt hồng phốt đỏ phốt nâu phốt vàng v.v..
SÉT	Đồng nhất	Trám tích chủ yếu gồm một loại			
	Phân lớp	Các lớp khác loại xen kẽ. Có thể dùng thang đo bề dày lớp	Thuật ngữ	Khoảng cách trung bình, mm	
	Bị phong hóa	Thường có kiến trúc hạt hay khối nứt dạng trụ	Cách rất rộng Cách rộng Cách trung bình Cách gần	trên 2000 2000 đến 600 600 đến 200 200 đến 60	
SÉT, BỤI hoặc CÁT HỮU CƠ					
THAN Bùn	Dạng thớ	Tàn tích thực vật dễ nhận ra và giữ được chút ít độ bền	Cách rất gần	60 đến 20	
	Không định hình	Văng mặt tàn tích thực vật nhận ra được	Cách cực gần	dưới 20	

Không bị phân hủy - đất hạt mịn không có khe nứt.

Bị nứt nẻ - hướng, kích thước và khoảng cách các khe nứt phải được báo cáo theo thang chia trong bảng 2-2.

Tính dính, tính dẻo và độ sệt. Nếu các hạt đất bám vào nhau, đất có *tính dính* và nếu nặn được dễ dàng mà không có vết nứt thì đất có *tính dẻo*. Cả hai đặc trưng này phụ thuộc vào độ ẩm của đất. *Độ sệt* biểu kiến của đất - một chỉ số của trạng thái dính hay dẻo, được ghi chép ở hiện trường có nhiều ích lợi. Sau khi bỏ các hạt trên 2mm, bóp một nắm đất ở độ ẩm tự nhiên và thử nặn bằng tay rồi miêu tả độ sệt của đất như sau :

Rất yếu - nếu đất rỉ ra giữa các ngón tay.

Yếu - nếu rất dễ nặn và dính vào tay.

Cứng - nếu nặn dễ bằng tay bóp vừa.

Rất cứng - nếu chỉ nặn được bằng tay bóp mạnh.

Rắn - nếu không nặn được bằng tay.

Kết vón - nếu vỡ ra thành cục.

Tính giãn nở. Bỏ các hạt lớn hơn 2mm rồi làm ẩm đủ để đất yếu đi, nhưng không có tính dính. Mở lòng bàn tay, đặt miếng đất nhỏ vào và dùng tay kia đập nhẹ bất thành lình vào mu bàn tay ; lặp lại điều đó vài lần. Biểu hiện giãn nở do kết quả của việc đập nhẹ này là một màng nước láng bóng xuất hiện trên mặt khoanh đất. Nếu bây giờ khoanh đất được nén nhẹ, màng nước biến mất và khoanh đất trở nên chặt lại. Cát rất mịn và bụi và có biểu hiện tính giãn nở rõ rệt, trong khi đất sét và cát hạt trung đến thô không có đặc trưng này.

Độ bền khô. Cục đất ẩm dùng để thí nghiệm trương nở nay được làm khô đi, tốt nhất là trong lò nung, nhưng có thể sấy khô trong không khí nếu điều kiện khí hậu thích hợp. Độ bền khô của đất được đánh giá bằng cách bẻ vỡ cục đất khô bằng ngón tay. Độ bền khô cao biểu thị ở đất sét có tính dẻo cao ; bụi vô cơ biểu hiện độ bền khô thấp và khi chà xát sẽ thành bột. Sự có mặt của cát làm giảm độ bền khô của bụi và tạo ra cảm giác sạn khi chà xát.

Sự phong hóa. Điều kiện khí hậu tại mặt đất hay trên mặt vết lộ có thể làm đất bị *phong hóa*, dẫn đến làm giảm độ bền và tăng độ co nén. Phải báo cáo mức độ phong hóa rõ rệt ở đất mới lộ ra. Chandler (1969) đưa cách phân loại cho đá macơ Keuper và được tổng quát hóa để miêu tả trạng thái phong hóa cho đất cứng đến chặt nguyên thủy :

Không phong hóa : không thấy dấu hiệu phong hóa.

Phong hóa nhẹ : yếu rõ ràng dọc theo chỗ liên kết và khe nứt, nhưng khối đất ở giữa chưa bị phá hủy.

Phong hóa trung bình : phá vỡ một phần kết cấu, một số phần có độ ẩm cao hơn.

Phong hóa mạnh : phá vỡ và làm yếu nhiều kết cấu ; cấu trúc nguyên thủy khó thấy.

Phong hóa hoàn toàn : không còn cấu trúc, chất dính kết mềm yếu đi, yếu hơn nhiều so với đất nguyên thủy.

2.3. Phân tích cỡ hạt

Phạm vi cỡ hạt gặp trong đất rất rộng : từ khoảng 200mm xuống tới kích thước hạt keo của một số đất sét nhỏ hơn 0,001mm. Mặc dù đất tự nhiên là hỗn hợp của các hạt kích thước khác nhau, ta thường tìm kích thước ưu thế có trong dải kích thước hẹp. Khi bề rộng của dải kích thước này rất hẹp, đất được coi là *cấp phối xấu* ; nếu bề rộng dải lớn đất được coi là *cấp phối tốt* (xem thêm phần 2.4). Một số tính chất xây dựng như tính thấm, tính nhạy cảm với băng giá, tính nén chặt, liên quan trực tiếp hay gián tiếp với các đặc trưng cỡ hạt.

Hình 2-1 cho thấy phạm vi cỡ hạt theo Tiêu chuẩn Anh. Phân tích cỡ hạt của đất được tiến hành bằng xác định các phần trăm trọng lượng rơi vào trong băng kích thước biểu hiện bằng khoảng phân chia chính và phụ này. Trong trường hợp đất hạt thô, (các hạt mịn không có hay đã được tách bỏ) thường *phân tích hạt bằng rây*. Mẫu đất đại diện được chia nhỏ có hệ thống tới kích thước mẫu bé thuận lợi* rồi làm khô trong lò sấy. Mẫu này sau đó cho qua

* Qui trình thí nghiệm trong phòng cho thí nghiệm này và các thí nghiệm khác nêu chi tiết trong Tiêu chuẩn Anh 1377 : *Phương pháp thí nghiệm đất cho mục đích xây dựng dân dụng*.

BẢNG 2-3. HỆ THỐNG PHÂN LOẠI ĐẤT THEO MỤC ĐÍCH XÂY DỰNG CỦA ANH

Các nhóm đất (xem ghi chú 1)			Các nhóm phụ và nhận biết trong phòng thí nghiệm				
CUỘI và CÁT có thể còn phân ra CUỘI chứa cát và CÁT chứa cuội, ...			Kí hiệu nhóm (xem các ghi chú 2 và 3)	Kí hiệu nhóm phụ (xem ghi chú 2)	Hạt mịn (nhỏ hơn 0,06mm), %	Giới hạn chảy, %	Tên gọi
ĐẤT HẠT THỎ Vật liệu hạt mịn hơn 0,06mm dưới 35%	CUỘI Cổ hạt, cuội (hạt thô hơn 2mm) chiếm hơn 50% vật liệu hạt thô	CUỘI chứa sét hay chứa ít bụi	G ^{GW} GP	GW GPu GPg	0 đến 5		CUỘI cấp phối tốt CUỘI cấp phối xấu / đồng nhất / cách quãng
		CUỘI chứa bụi CUỘI chứa sét	G ^{-F} G ^{-M} G ^{-C}	GWM GPM GWC GPC	5 đến 15		CUỘI chứa bụi cấp phối tốt/cấp phối xấu CUỘI chứa sét cấp phối tốt/cấp phối xấu
		CUỘI chứa nhiều bụi CUỘI chứa nhiều sét	GF ^{GM} GC	GML, ... GCL GCI GCH GCV GCE	15 đến 35		CUỘI chứa nhiều bụi chia nhỏ như cho GC CUỘI chứa nhiều sét (sét có tính dẻo thấp trung bình cao rất cao cực cao)
	CÁT cổ hạt cát (mịn hơn 2mm) chiếm hơn 50% vật liệu hạt thô	CÁT chứa sét hay chứa ít bụi	S ^{SW} SP	SW SPu SPg	0 đến 5		CÁT cấp phối tốt CÁT cấp phối xấu/đồng nhất/cách quãng
		CÁT chứa bụi CÁT chứa sét	S ^{-F} S ^{-M} S ^{-C}	SWM SPM SWC SPC	6 đến 15		CÁT chứa bụi cấp phối tốt/cấp phối xấu CÁT chứa sét cấp phối tốt/cấp phối xấu
		CÁT chứa nhiều bụi CÁT chứa nhiều sét	SF SM SC	SML, ... SCL SCI SCH SCV SCE	15 đến 35		CÁT chứa nhiều bụi, chia nhỏ như cho SC CÁT chứa nhiều sét (sét có tính dẻo thấp, trung bình cao rất cao cực cao)

Vật liệu hạt mịn hơn 0,06mm trên 35%	ĐẤT HẠT MỊN	BỤI VÀ SÉT chứa cuội hoặc cát, hạt mịn chiếm 35% đến 65%	BỤI chứa cuội SÉT chứa cuội (xem ghi chú 4)	FG MG CG	MLG, ... CLG CIG CHG CVG CEG	< 35 35 đến 50 50 đến 70 70 đến 90 > 90	BỤI chứa cuội, chia nhỏ như cho CG SÉT chứa cuội có tính dẻo thấp, tính dẻo trung bình tính dẻo cao tính dẻo rất cao tính dẻo cực cao
		BỤI VÀ SÉT hạt mịn chiếm 65% đến 100%	BỤI chứa cát (xem ghi chú 4) SÉT chứa cát	FS MS CS	MLS, ... CLS, ...		BỤI chứa cát, chia nhỏ như cho CG SÉT chứa cát, chia nhỏ như cho CG
			BỤI (đất M) SÉT (xem ghi chú 5 và 6)	F M C	ML, ... CL CI CH CV CE	< 35 35 đến 50 50 đến 70 70 đến 90 > 90	BỤI ; chia nhỏ như cho C SÉT có tính dẻo thấp, tính dẻo trung bình tính dẻo cao tính dẻo rất cao tính dẻo cực cao

ĐẤT HỮU CƠ

Chữ "O" được thêm vào sau
kí hiệu của nhóm hay phụ
nhóm bất kì

Vật chất hữu cơ còn hoài nghi là thành phần quan trọng.
Ví dụ MHO là **BỤI** hữu cơ có tính dẻo cao

THAN BÙN

Pt

Đất than bùn bao gồm chủ yếu là các di tích thực vật ở dạng thối hay vô định hình

Ghi chú 1: Khi mô tả đất thường cho tên của nhóm đất, nếu yêu cầu thì thêm vào kí hiệu của nhóm, dấu rằng trong một số áp dụng bổ sung (như mặt cắt dọc) chỉ dùng một mình kí hiệu nhóm là thuận lợi.

Ghi chú 2: Kí hiệu của nhóm hay nhóm phụ phải đặt trong dấu ngoặc đơn nếu không dùng phương pháp thí nghiệm trong phòng để nhận biết, như (GC).

Ghi chú 3: Tên **ĐẤT HẠT MỊN** hay **HẠT MỊN**, F có thể dùng thay cho **BỤI**, M hay **SÉT**, C khi không có khả năng hoặc không yêu cầu phân biệt giữa chúng.

Ghi chú 4: Chứa cuội nếu cỡ hạt cuội chiếm trên 50% vật liệu hạt thô, chứa cát nếu cỡ hạt cát chiếm trên 50% vật liệu hạt thô.

Ghi chú 5: **BỤI (ĐẤT M)**, M là vật liệu được vẽ ở dưới đường A và có phạm vi dẻo hạn chế liên quan với giới hạn chảy của nó và độ dính tương đối thấp. Đất hạt mịn của loại này gồm có các vật liệu cỡ hạt bụi sạch và bụi đá, đất chứa nhiều mica và tảo, đá bột và đất núi lửa, đất chứa haloizit.

Tên thay thế "**ĐẤT M**" để tránh lẫn lộn với vật liệu chủ yếu có cỡ hạt bụi, loại này chỉ là một bộ phận của nhóm. Trên biểu đồ tính dẻo, đất hữu cơ cũng thường được vẽ ở dưới đường A khi chúng được đặt tên là **BỤI HỮU CƠ**, MO.

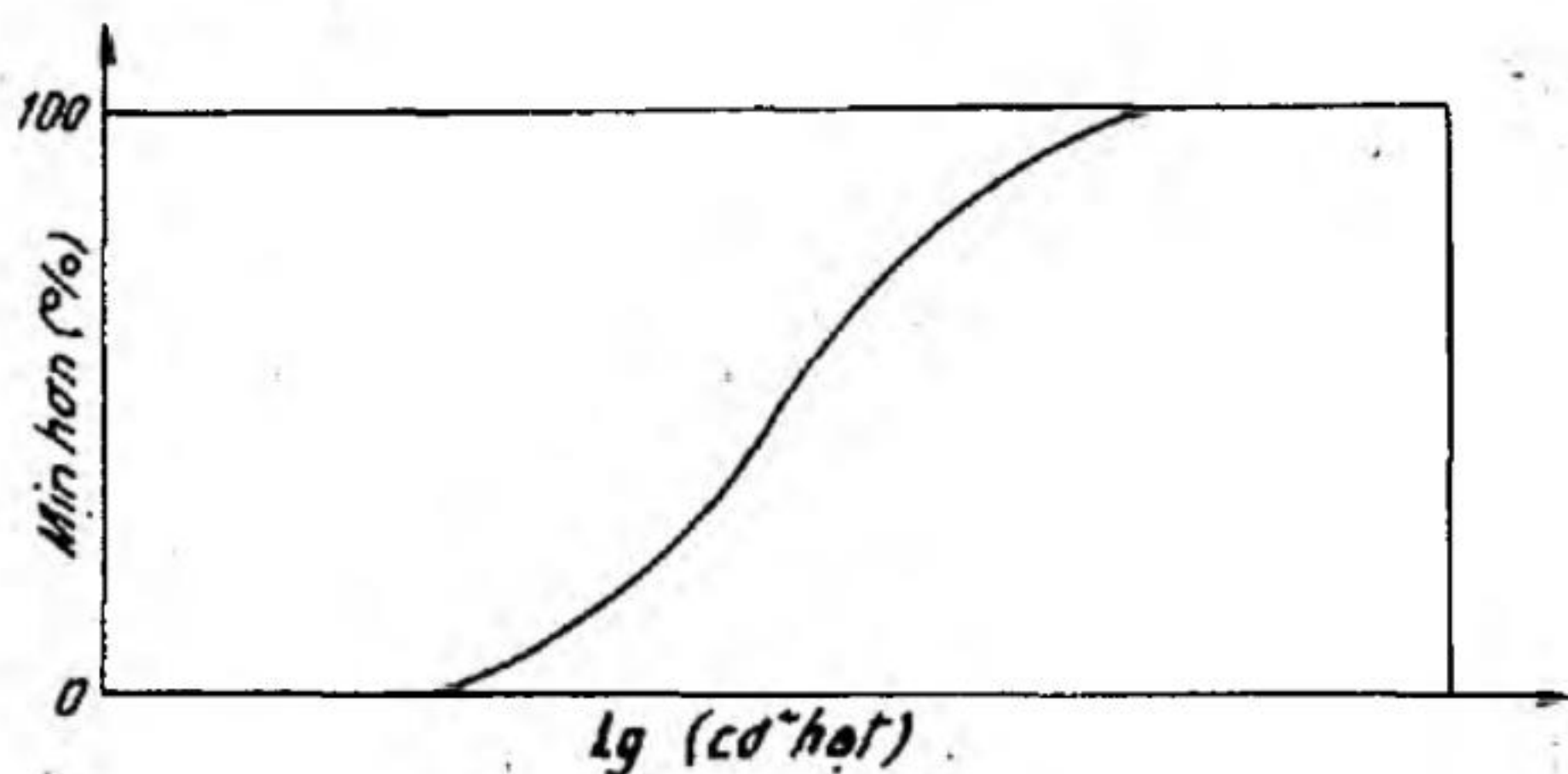
Ghi chú 6: **SÉT**, C là vật liệu vẽ ở trên đường A và hoàn toàn là dẻo trong mối liên hệ với giới hạn chảy của nó.

Sao chép từ Tiêu chuẩn Anh 5930 (BS5930) : *Khảo sát khu đất xây dựng*, với sự cho phép của Viện Tiêu chuẩn Anh.

Mịn				Thô						Rất thô		
Sét		Bụi			Cát			Cuội sỏi			Đá	
Keo →		mịn	trung	thô	mịn	trung	thô	mịn	trung	thô	đá cuội	đá tảng
	1	6	20		200	600		6	20		200	
	2			60			2			60		
μm							mm					

Hình 2-1. Phạm vi cỡ hạt theo Tiêu chuẩn Anh

một bộ rây thí nghiệm tiêu chuẩn, bố trí theo thứ tự nhỏ dần của kích thước lỗ. Trước hết lắc toàn bộ bộ rây rồi lắc cho từng rây riêng biệt, xác định trọng lượng của đất còn lại trên mỗi rây và tính phần trăm tích lũy của trọng lượng mẫu nhỏ qua mỗi rây. Từ các số liệu này, vẽ sự phân bố cỡ hạt ở dạng đường cong nửa lg (hình 2-2) gọi là *đường cong thành phần hạt*.



Hình 2-2. Đường cong thành phần hạt

Khi mẫu đất chứa hạt mịn, đầu tiên tiến hành giai đoạn rây ướt để tách hạt mịn và xác định phần trăm của phần bụi, sét kết hợp. Trước hết, một mẫu nhỏ có kích thước thích hợp, được làm

- khô trong lò sấy rồi rây để tách các hạt thô nhất ($> 20\text{mm}$). Mẫu nhỏ này sau đó được làm ngập trong nước có phụ gia phá keo (dung dịch hexameta phosphate natri 2g/l) và để yên trước khi được rửa qua rây lưới $63\mu\text{m}$. Phần còn lại được sấy khô lần nữa và cho qua bộ rây. Sau khi cân phần còn lại trên mỗi rây và tính phần trăm tích lũy qua mỗi rây, vẽ đường cong thành phần hạt. Phần bụi sét kết hợp được xác định từ hiệu số trọng lượng và biểu thị bằng phần trăm của tổng trọng lượng mẫu nhỏ. Phần thô nhất ($> 20\text{mm}$) cũng được rây và dùng kết quả để hoàn chỉnh đường cong thành phần hạt.

Trong phân hạt mịn, phương pháp rây không cho phép chia nhỏ hơn nữa sự phân bố cỡ hạt. Để đạt mục đích này thường tiến hành quá trình *lắng đọng*. Một mẫu đất nhỏ đầu tiên được xử lý phụ gia phá keo rồi rửa qua rây $63\mu\text{m}$. Tạo 500 ml huyền phù đất-nước, lắc mạnh một lúc rồi để cho lắng đọng.

Phương pháp thí nghiệm dựa trên định luật Stoke ; định luật phát biểu rằng : trong huyền phù, tốc độ các hạt hình cầu lắng đọng do trọng lượng được xác định theo biểu thức sau :

$$v = \frac{d^2(\gamma_g - \gamma_w)}{18\eta} \quad [2.1]$$

ở đây : d - đường kính hạt ;

γ_g - trọng lượng đơn vị của hạt ;

γ_w - trọng lượng đơn vị của chất lỏng (thường là nước) huyền phù ;

η - độ nhớt của chất lỏng huyền phù.

Sắp xếp lại biểu thức [2.1] có thể tính được đường kính các hạt đã lắng chìm ở một khoảng cách trong thời gian t đã cho :

$$d = \left[\frac{18\eta h}{(\gamma_g - \gamma_w) t} \right]^{1/2}$$

Thường $h = 100\text{mm}$, nên có :

$$d = \left[\frac{1800\eta}{(\gamma_g - \gamma_w) t} \right]^{1/2} \quad [2.2]$$

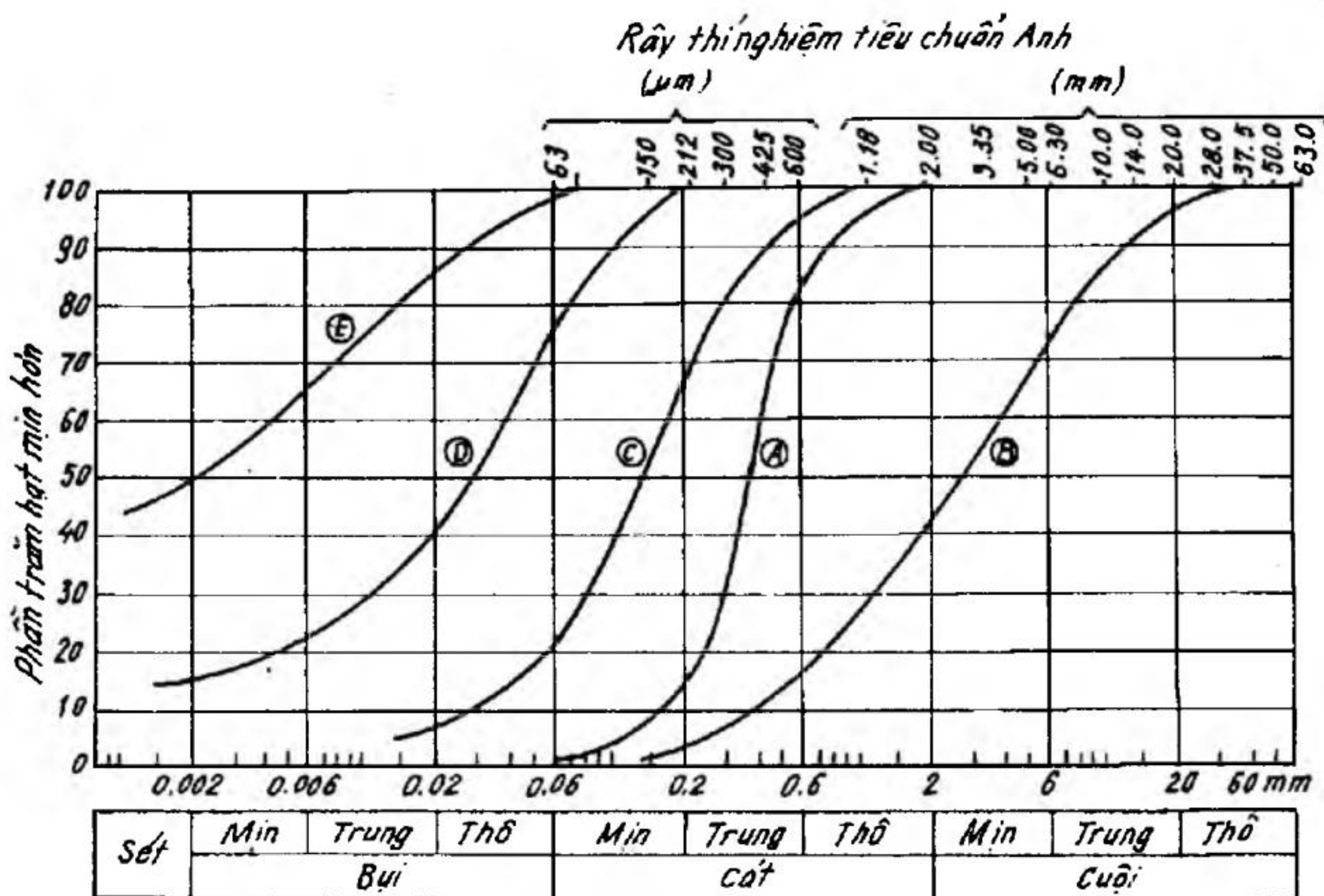
Tại mỗi thời gian trôi qua t, mẫu lấy ở độ sâu 100mm, do thế, không gồm có các hạt kích thước lớn hơn đường kính d cho bởi phương trình [2.2] ; nhưng tỉ lệ các hạt nhỏ hơn d trong huyền phù vẫn không thay đổi.

Trong phương pháp này, dùng tỉ trọng kế để đo dung trọng huyền phù ở độ sâu 100mm tại một chuỗi các khoảng thời gian trôi qua. Từ số đọc dung trọng, nhận được giá trị phần trăm tương ứng với hạt mịn hơn đường kính đặc biệt (có nghĩa là cỡ hạt) và do vậy có thể vẽ đường cong thành phần hạt cho phần hạt mịn. Để có giá trị dung trọng huyền phù, còn một phương pháp khác là dùng pipet đặc biệt rút ra một lượng nhỏ tại độ sâu quy định (chi tiết đầy đủ tham khảo ở Tiêu chuẩn Anh 1377 (BS1377)).

Trong ý nghĩa tuyệt đối, phương pháp lắng đọng không hoàn toàn chính xác vì có các sai số do một số yếu tố như : bản chất bông của các hạt mịn, kích thước gần bằng phân tử của các hạt rất mịn, sự phân tán không hoàn toàn, độ nhớt biến đổi do nhiệt độ thay đổi. Tuy nhiên, sự phân bố *đường kính hình cầu tương đương* nhận được bằng cách này là chỉ dẫn khá hữu ích cho mục đích xây dựng.

2.4. Các đặc trưng thành phần hạt

Đường cong thành phần hạt là sự biểu thị phân bố cỡ hạt bằng đồ thị và do vậy rất ích lợi khi làm phương tiện để miêu tả đất. Vì lí do này, bản sao đường cong thành phần hạt được đưa vào trong các báo cáo thí nghiệm trong phòng và báo cáo tương tự khác luôn luôn là một ý đồ hay. Cũng phải nhớ rằng, mục tiêu đầu tiên là cung cấp phương thức miêu tả cho loại đất. Điều đó thực hiện dễ dàng bằng sử dụng biểu đồ thấy ở hình 2-3, đánh giá phạm vi kích thước bao gồm trong phần đại diện nhất của đất. Ví dụ, đường cong A có thể đại diện cho "CÁT hạt trung cấp phối xấu" : *cấp phối xấu* là vì đường cong dốc đứng biểu thị phạm vi cỡ hạt là hẹp, và "CÁT hạt trung" là vì phân lượng lớn nhất của đất (khoảng 65%) nằm trong phạm vi nhỏ của cát hạt trung. Đường cong B biểu thị vật liệu *cấp phối tốt* do chứa phạm vi rộng cỡ hạt từ cát mịn đến cuội hạt trung ; đất này được miêu tả thích hợp là "CÁT CUỘI cấp phối tốt", vì cát và cuội đều chiếm một nửa. Đường

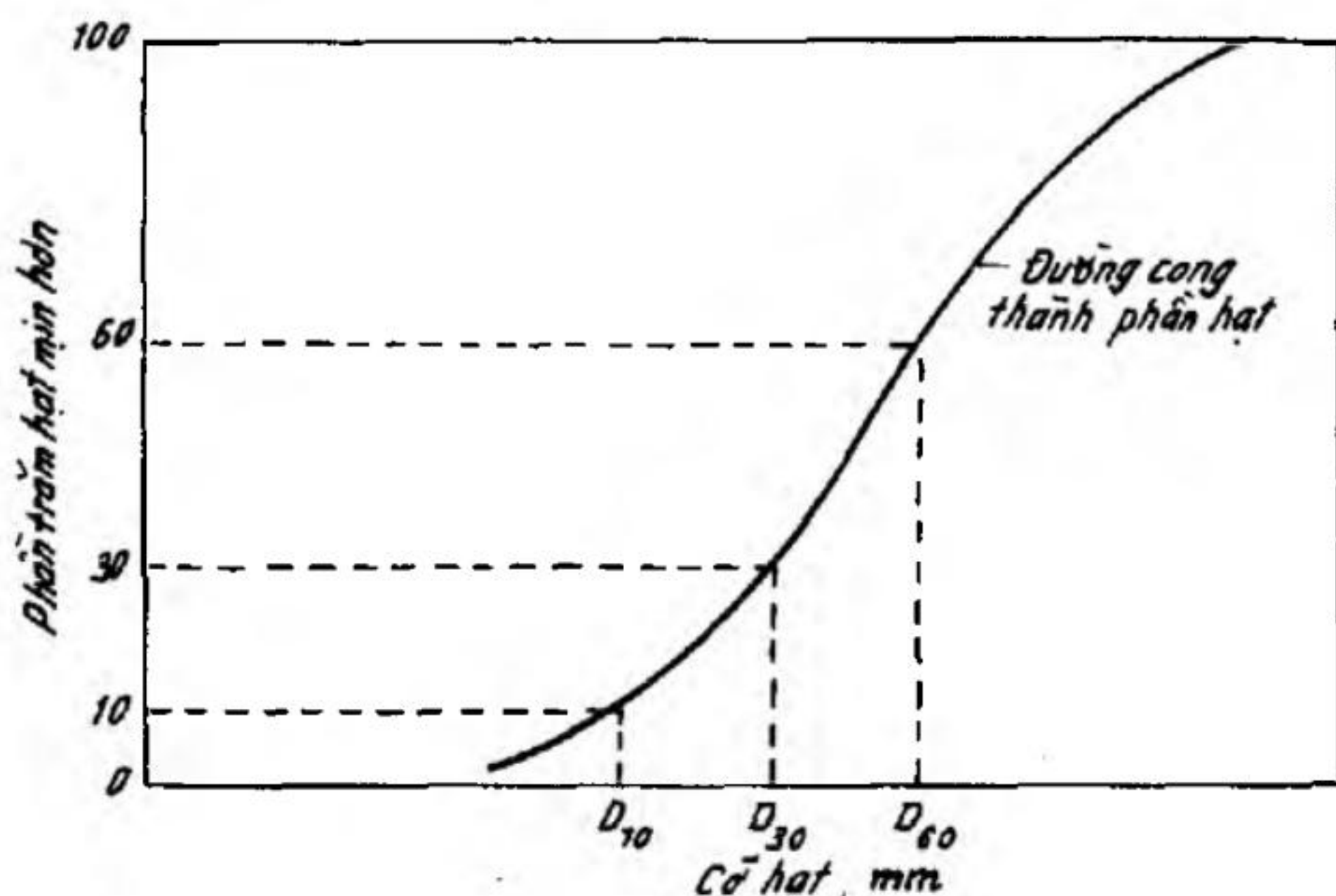


Hình 2-3. Đường cong phân bố cỡ hạt điển hình

cong C cũng biểu thị cho vật liệu cấp phối tốt, chủ yếu là cát, nhưng bụi chiếm phần quan trọng (khoảng 20%) ; đất này được miêu tả là "CÁT chứa nhiều bụi", danh từ thể hiện thành phần chủ yếu. Đường cong D biểu thị cho đất "BỤI chứa nhiều cát" như đất bụi ở cửa sông hay châu thổ ; đường cong E biểu thị cho đất "SÉT chứa bụi" điển hình như đất sét London hay đất sét Oxford.

Dùng các giá trị hình học xác định, được hiểu là các đặc trưng thành phần hạt để tiến hành phân tích định lượng thêm đường cong thành phần hạt. Trước hết, định vị trí ba điểm trên đường cong thành phần hạt để cho các kích thước đặc trưng sau (hình 2-4) :

- D_{10} - cỡ hạt cực đại chiếm ít nhất 10% mẫu.
- D_{30} - cỡ hạt cực đại chiếm ít nhất 30% mẫu.
- D_{60} - cỡ hạt cực đại chiếm ít nhất 60% mẫu.



Hình 2-4. Các đặc trưng thành phần hạt

Từ các cỡ hạt đặc trưng này, định nghĩa các đặc trưng thành phần hạt sau đây :

Kích thước hiệu quả D_{10} , mm [2.3]

Hệ số đồng đều $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ [2.4]

Hệ số cấp phối $C_g = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$ [2.5]

Đất có cùng cỡ hạt, cả C_u và C_g là đơn vị, khi $C_u < 3$ biểu thị cỡ hạt đồng đều và $C_u > 5$ khi đất có cấp phối tốt.

Đất cấp phối tốt nhất có đường cong thành phần hạt chủ yếu ngang thoải hay lồm chút ít, cho giá trị C_g ở giữa 0,5 và 2,0. Một áp dụng hữu hiệu được Hazen đề nghị để tính gần đúng hệ số thẩm k như sau :

$$k = C_k (D_{10})^2, \quad \text{m/s}$$

ở đây C_k - hệ số thay đổi nằm giữa 0,01 và 0,015.

Ví dụ mẫu 2.1. Theo kết quả thí nghiệm rây khô cho ở dưới đây hãy vẽ đường cong phân bố cỡ hạt và cho sự phân loại đất.

Kích thước rây (mm hay μm)	3,35	2,00	1,18	600	425	300	212	150	63
Khối lượng còn lại (g)	0	2,6	12,5	57,7	62,0	34,2	18,7	12,7	13,1

Lượng cân ban đầu là 217,2g, lượng qua rây 63 μm cân được 3,9g.

Bài giải

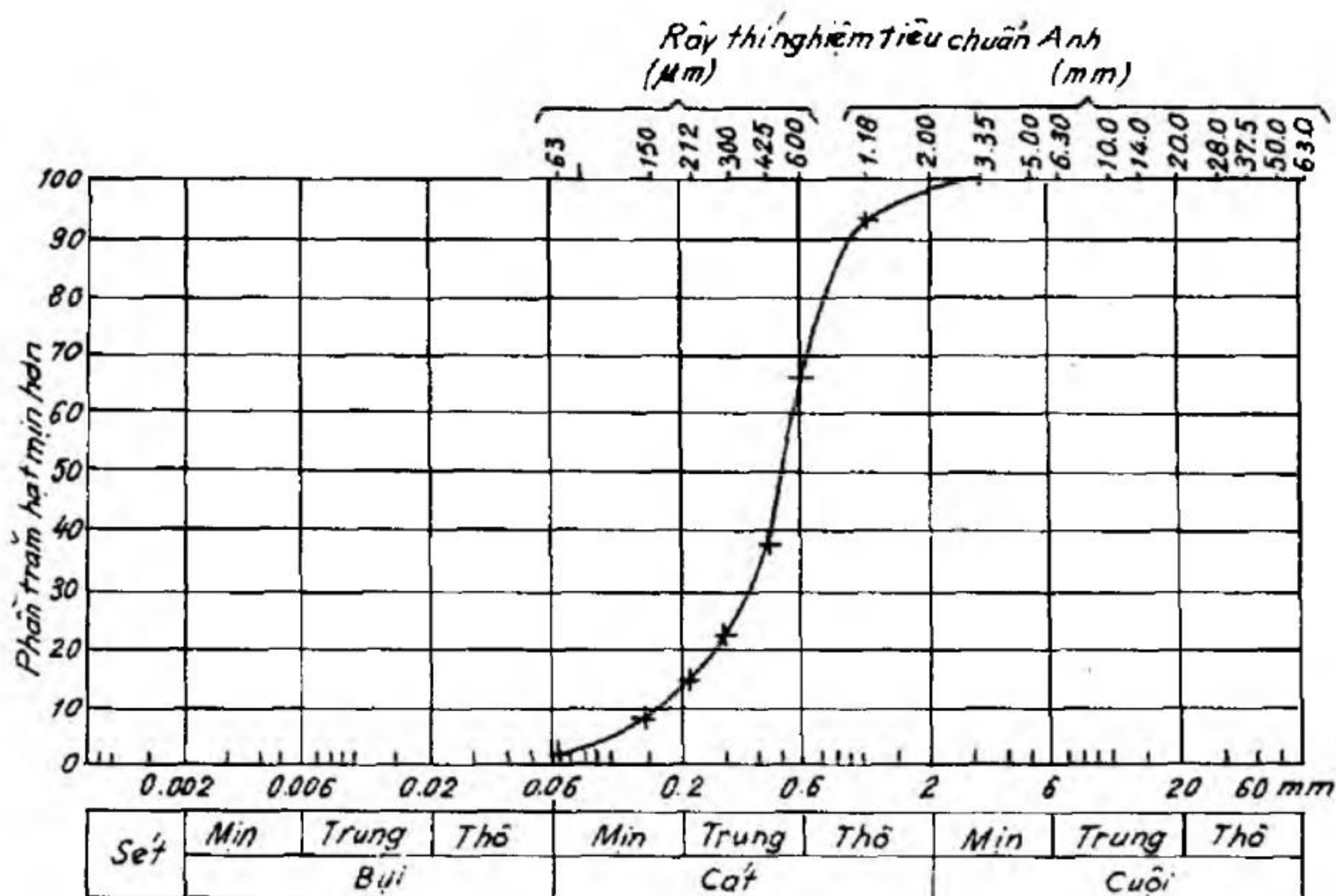
Đầu tiên biểu thị khối lượng còn lại là phần trăm của khối lượng tổng và phần trăm qua mỗi rây có được bằng cách trừ liên tiếp nhóm các nhóm các kết quả hoàn chỉnh lập trong bảng dưới đây.

Cỡ rây		Khối lượng còn lại (g)	% còn lại	% qua rây
mm	3,35	0	0	100,0
	2,0	2,6	1,2	98,8
	1,18	12,5	5,7	93,1
μm	600	57,7	26,6	66,5
	425	62,0	28,6	37,9
	300	34,2	15,7	22,2
	212	18,7	8,6	13,6
	150	12,7	5,8	7,8
	63	13,1	6,0	1,8
Đĩa cân		3,9	1,8	
Tổng		217,4g	100,0%	

Tổng nguyên thủy 217,2g (có nghĩa không có tổn thất lớn)

Đường cong phân bố cỡ hạt được vẽ như ở hình 2-5 ; xem xét đường cong thấy được các tỉ lệ chứa đựng sau đây :

Cát thô	33%
Cát trung	54%
Cát mịn	13%



Hình 2-5. Phân bố cỡ hạt ở ví dụ mẫu 2.1

Do vậy đất được phân loại là "CÁT thô đến trung, cấp phối tốt" và nhóm phụ phân loại đất có kí hiệu là SW.

Ví dụ mẫu 2-2. Phân tích rây khô và ướt trộn vụn cho các kết quả sau đây :

Giai đoạn 1. Tổng khối lượng mẫu là 3274g được sàng qua rây thí nghiệm 20mm Khối lượng còn lại là 104,8g, khối lượng qua rây là 3169g.

Giai đoạn 2. Khối đất còn lại trên rây 20mm được sàng trên cỡ lỗ rộng :

Cỡ rây (mm)	50	37,5	28	20
Khối lượng còn lại (g)	0	45,9	26,2	32,7

Giai đoạn 3. Khối đất qua rây 20mm được xẻ ra thành mẫu phụ khối lượng 2044g rồi sàng trên rây thí nghiệm 6,3mm :

Khối lượng còn lại là 201,0g, khối lượng qua rây là 1843g

Giai đoạn 4. Khối lượng còn lại trên rây 6,3mm được sàng trên cỡ lỗ rộng :

Cỡ rây (mm)	14	10	6,3
Khối lượng còn lại (g)	40,2	48,8	112,0

Giai đoạn 5. Khối lượng qua rây 6,3mm được xẻ ra thành mẫu phụ có khối lượng 272,4g rồi sàng trên cỡ lỗ nhỏ hơn.

Cỡ rây (mm hay μm)	5,0	3,35	2,0	1,18	600	425	300	212	150	63
Khối lượng còn lại (g)	22,5	69,4	58,4	43,4	20,9	10,3	9,1	5,6	4,7	7,2

Khối lượng qua rây 63 μm là 21,2g .

Vẽ đường cong phân bố cỡ hạt và cho sự phân loại đất.

Bài giải

Trước hết, hiệu chỉnh khối lượng còn lại để thể hiện chúng theo tỉ lệ với tổng khối lượng mẫu và các phần trăm khối lượng còn lại và qua rây. Nhóm kết quả hoàn chỉnh và tính toán được xếp thành bảng dưới đây.

Khối lượng mẫu tổng : 3274g

Cỡ rây (mm) (μ m)	Khối lượng còn lại (g)	Hiệu chỉnh	Khối lượng còn lại đã hiệu chỉnh	% còn lại trên rây	% qua rây
50,0	0,0	Không	0,0	0,0	100,0
37,5	45,9		45,9	1,4	98,6
28,0	26,2		26,2	0,8	97,8
20,0	32,7		32,7	1,0	96,8
Dĩa cân	3169	Xẻ ra		2044g	
14,0	40,2	$\times \frac{3169}{2044}$ = 1,55	62,3	1,9	94,9
10,0	48,8		75,9	2,3	92,6
6,3	112,0		173,6	5,3	87,3
Dĩa cân	1843	Xẻ ra		272,4g	
5,00	22,5	$\times \frac{3169}{2044}$	236,0	7,2	80,1
3,35	69,4		728,0	22,2	57,9
2,00	58,4		612,6	18,7	39,2
1,18	43,4		455,3	13,9	25,3
600	20,9	$\times \frac{1843}{272,4}$ = 10,49	219,2	6,7	18,6
425	10,3		108,0	3,3	15,3
300	9,1		95,5	2,9	12,4
212	5,6		58,7	1,8	10,6
150	4,7		49,3	1,5	9,1
63	7,2		75,5	2,3	6,8
Dĩa cân	21,2			222,4	6,8

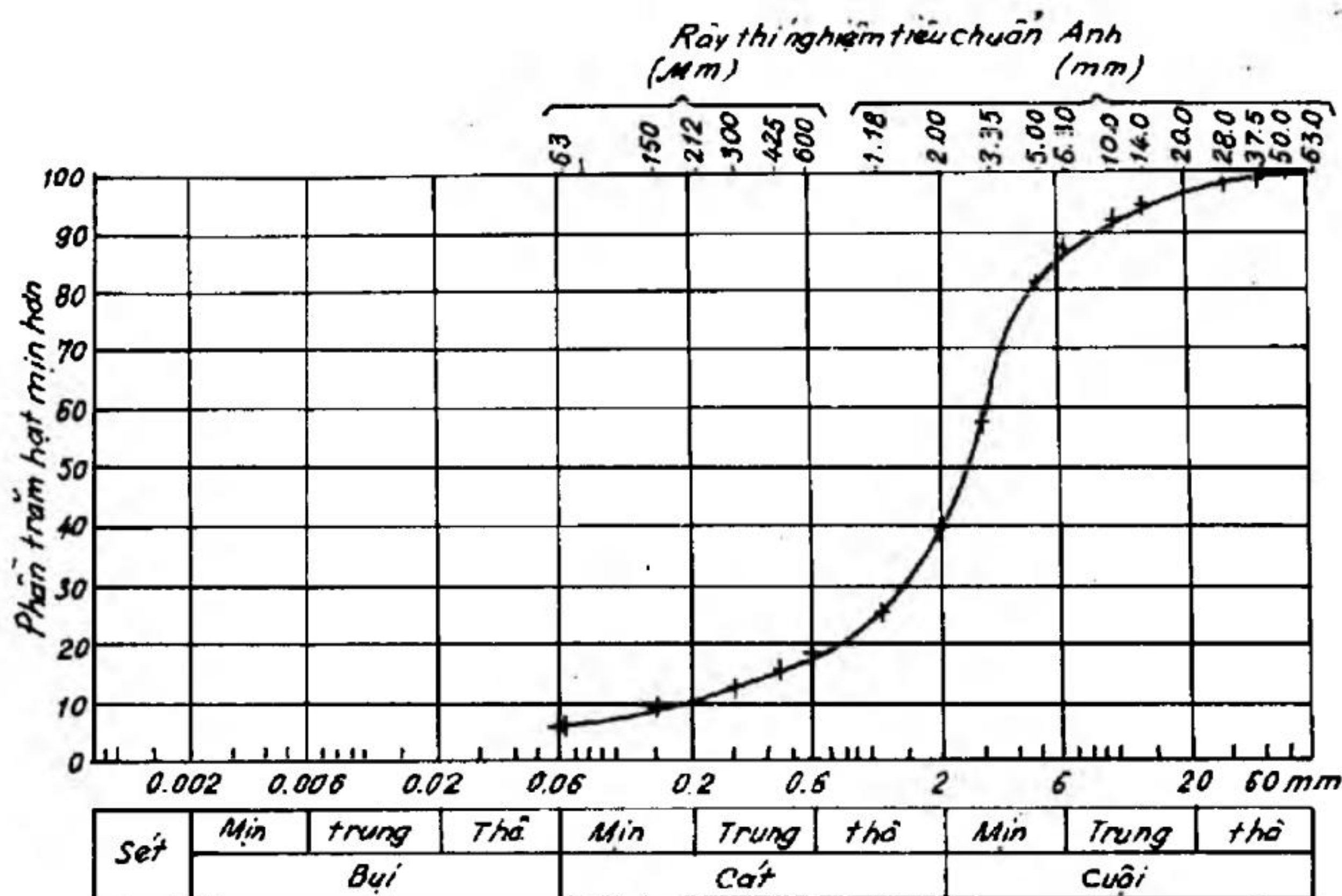
Vẽ đường cong phân bố cỡ hạt (hình 2.6) ; từ đường cong thấy được các tỉ lệ sau đây :

cuội sỏi chiếm 61% (cuội nhỏ 48%)

cát chiếm 32%

hạt mịn chiếm 7%

Vì thế đất được phân loại là "CUỘI nhiều cát chứa bụi" cấp phối tốt ; kí hiệu phân loại đất sẽ là GWM (kí hiệu đôi được dùng vì phần trăm hạt mịn nằm giữa 5% và 15%).



Hình 2-6. Sự phân bố cỡ hạt ở ví dụ mẫu 2.2

2.5. Thiết kế lớp lọc

Trong vận hành bơm hút nước và xây dựng đập đất, thường cần thiết bố trí lớp vật liệu lọc để ngăn không cho hạt mịn di chuyển vào ống, qua lưới lọc hay vào khoảng trống của vật liệu thô hơn. Dùng một số qui tắc đơn giản và dựa vào đặc trưng thành phần hạt của đất được bảo vệ để thiết kế vật liệu lọc có hiệu quả :

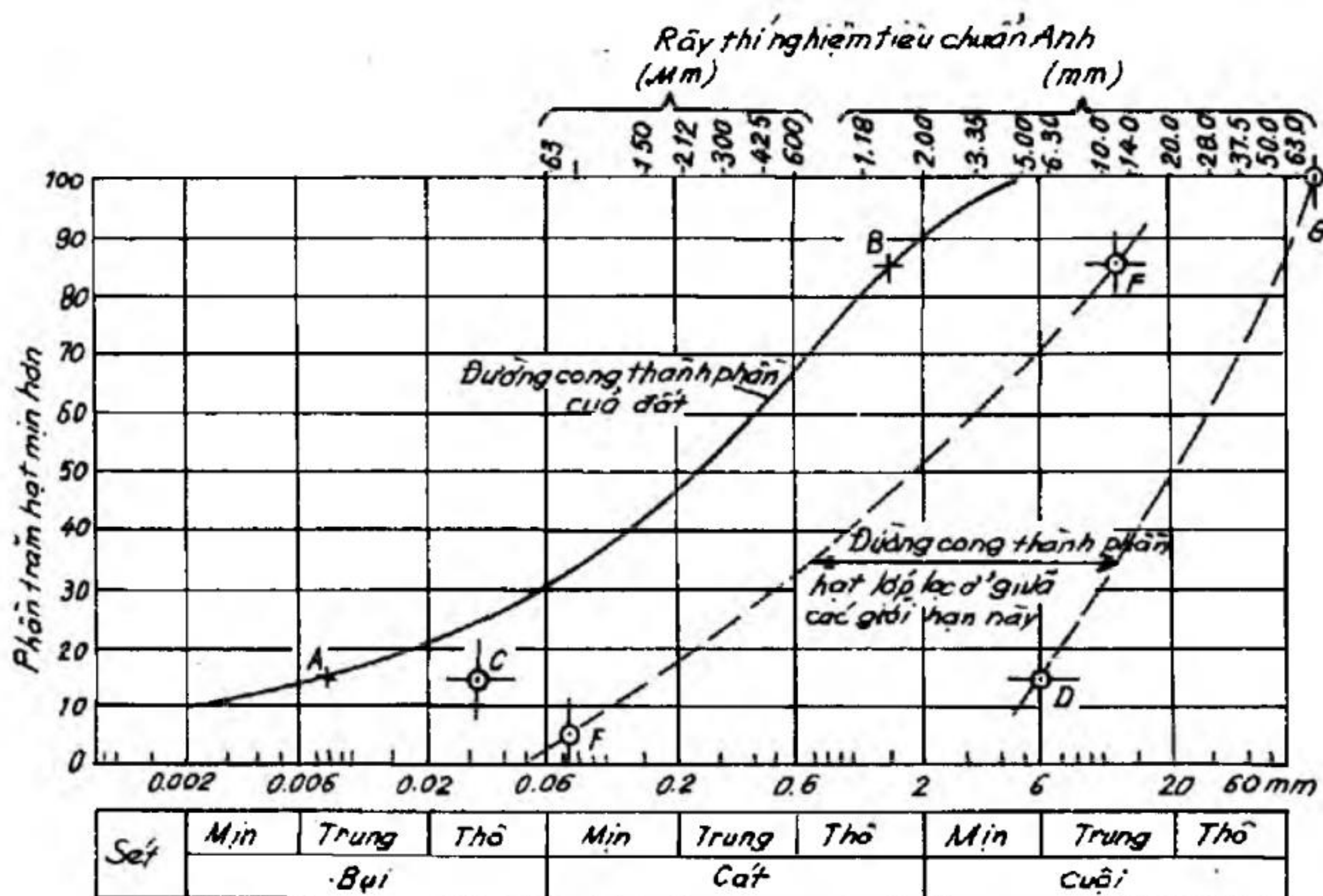
- a) Không tính hàm lượng đất có cỡ hạt vượt quá 19mm.
- b) Lớp lọc không chứa vật liệu có cỡ hạt lớn hơn 80mm.
- c) Lớp lọc phải có lượng hạt mịn (cỡ hạt $< 75\mu\text{m}$) không lớn hơn 5%.
- d) Đường cong thành phần hạt của lớp lọc và của đất gần cùng hình dạng.

e) Cỡ hạt D_{15} của lớp lọc phải nằm giữa 4 lần D_{15} và 4 lần D_{85} của đất, có nghĩa là :

$$4 \times D_{15} (\text{đất}) < D_{15} (\text{lớp lọc}) < 4 \times D_{85} (\text{đất}).$$

f) Cỡ hạt D_{85} của lớp lọc không nhỏ hơn 2 lần đường kính trong của ống hay cỡ lưới lọc (ở nơi sử dụng).

Ví dụ mẫu 2.3. Hình 2-7 cho thấy đường cong thành phần hạt của đất cần có lớp lọc cấp phối. Trong vận hành bơm hút, ống dùng được đục lỗ có đường kính 6mm. Hãy lập đường cong thành phần hạt cho lớp lọc cấp phối thích hợp có gần các điểm và cỡ hạt chủ chốt.



Hình 2-7. Đường cong thiết kế lớp lọc

Bài giải

Các đặc trưng thành phần hạt của đất :

$$D_{15} = 0,008\text{mm (điểm A)}$$

$$D_{85} = 1,50\text{mm (điểm B)}$$

Các đặc trưng yêu cầu cho lớp lọc :

$$D_{15} > 4 \times 0,008 = 0,032\text{mm (điểm C)}$$

$$D_{15} < 4 \times 1,50 = 6,0\text{mm (điểm D)}$$

hay $D_{85} > 2 \times 6,0 = 12,0\text{mm (điểm E)}$

$$D_5 > 75\mu\text{m (điểm F)}$$

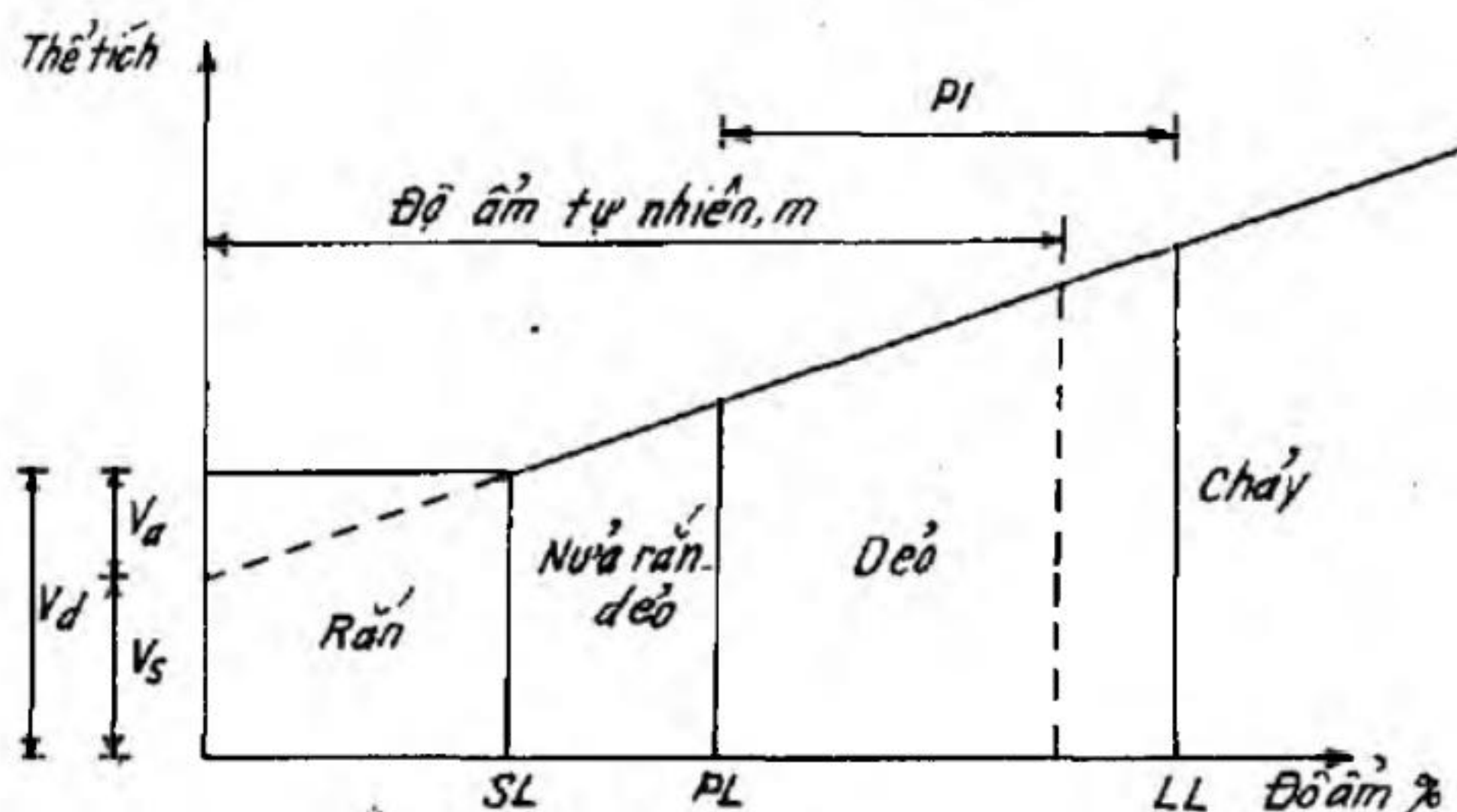
$$D_{100} < 80\text{mm (điểm G)}$$

2.6. Phân loại đất hạt mịn

Trong trường hợp đất hạt mịn (đất dính), hình dạng hạt ảnh hưởng đến tính chất xây dựng lớn hơn kích thước hạt. Sự kết hợp các hạt rất bông làm điều kiện độ ẩm thay đổi dẫn đến vật liệu (đất) có các tính chất nội tại luôn biến đổi. Ví dụ, độ bền chống cắt của đất dính thay đổi rõ rệt với biến đổi của độ ẩm. Cũng vậy, đất có hạt bông biểu hiện như vật liệu dẻo : khi ứng suất tác dụng tăng lên thường có biến dạng không phục hồi được trong khi thể tích không đổi hoặc bị giảm và không có dấu hiệu nào nứt nẻ hoặc gãy vỡ.

Vì tính dẻo của đất hạt mịn có ảnh hưởng quan trọng đến các tính chất xây dựng như độ bền chống cắt và độ ép co, độ sệt dẻo được dùng làm cơ sở để phân loại chúng. Độ sệt của đất là đặc trưng trạng thái vật lý tại một độ ẩm đã cho. Có thể định rõ ranh giới bốn trạng thái sệt của đất dính : rắn, nửa rắn - dẻo, dẻo và chảy. Sự thay đổi thể tích của đất dính bão hòa gần như tỉ lệ với sự thay đổi độ ẩm ; quan hệ tổng quát được thấy ở hình 2-8.

Trong thực tế, việc chuyển từ một trạng thái này sang trạng thái kế cận là dần dần ; tuy nhiên để thuận lợi cần phân định các giới hạn dứt khoát tương ứng với một độ ẩm thay đổi trạng thái :



Hình 2-8. Quan hệ độ sệt

LL - giới hạn chảy : tại độ ẩm này đất chuyển từ chảy sang dẻo.

PL - giới hạn dẻo : tại độ ẩm này đất chuyển từ dẻo sang nửa rắn - dẻo.

SL - giới hạn co ngót : tại độ ẩm này đất có ngót do khô khi ứng suất không còn là hằng số.

Hai giới hạn quan trọng nhất là giới hạn chảy và giới hạn dẻo biểu thị tương ứng biên trên và dưới của trạng thái dẻo, phạm vi trạng thái dẻo xác định bởi sự khác nhau này và được gọi là *chỉ số dẻo* PI :

$$PI = LL - PL \quad [2.6]$$

Trong Hệ thống Phân loại đất của Anh, để xác lập các nhóm phụ của đất mịn đã dùng quan hệ giữa chỉ số dẻo và giới hạn chảy ; hình 2-9 là *biểu đồ tính dẻo* được dùng cho mục đích này. Đường A là đường phân chia quy ước giữa bụi và sét, còn các phân khu thẳng đứng (của phần trăm giới hạn chảy) xác định rõ năm mức độ dẻo :

Tính dẻo	thấp :	LL < 35%
-	trung bình :	LL = 35% đến 50%
-	cao :	LL = 50% đến 70%
-	rất cao :	LL = 70% đến 90%
-	cực cao :	LL > 90%

**BẢNG 2-4. KÍ HIỆU NHÓM PHỤ TRONG HỆ THỐNG
PHÂN LOẠI ĐẤT CỦA ANH**

	<i>Chức thứ nhất</i>	<i>Chức thứ hai</i>
Dất hạt thô	G - cuội, sỏi S - cát	W - cấp phối tốt P - cấp phối xấu Pu - đồng nhất Pg - cấp phối gián đoạn
Dất hạt mịn	F - hạt mịn (không phân biệt được) M - bụi C - sét	L - dẻo thấp I - dẻo trung bình H - dẻo cao V - dẻo rất cao E - dẻo cực cao
Dất hữu cơ	P _t - than bùn	O - hữu cơ

Từ hình 2-9, rõ ràng thấy các giá trị quan trọng của LI là :

- LI < 0 : đất ở trạng thái *rắn* hay *nửa rắn - dẻo*.
 0 < LI < 1 : đất ở trạng thái *dẻo*.
 LI > 1 : đất ở trạng thái *chảy*.

Giới hạn sệt biểu thị đặc tính dẻo của đất nói chung. Dĩ nhiên, lượng và bản chất của khoáng vật sét có mặt là quyết định chủ yếu của tính dẻo. Như giải thích trong phần 1.5, các khoáng vật sét khác nhau có độ bông không giống nhau. Ngoài ra, ngay cả "sét" cũng chỉ bao gồm 40 - 50% khoáng vật sét. Mức độ dẻo của bản thân phần sét được gọi là *hoạt tính* của đất :

$$\text{Hoạt tính} = \frac{\text{PI}}{\% \text{ hạt sét } (< 2 \mu\text{m})} \quad [2.8]$$

Giá trị hoạt tính điển hình của một số khoáng vật sét và đất phổ biến cho trong bảng 2-5.

BẢNG 2-5. HOẠT TÍNH CỦA SÉT

<i>Các khoáng vật</i>	<i>Hoạt tính</i>	<i>Đất</i>	<i>Hoạt tính</i>
Muscovit	0,25	Đất sét kaolin	0,4 – 0,5
Kaolinit	0,40	Đất sét băng tích và hoang thổ	0,5 – 0,75
Illit	0,90	Hầu hết đất sét ở Anh, gồm cả đất sét London	0,75 – 1,25
Monmorilonit	> 1,25	Đất sét hữu cơ của sông	> 1,25

2.7. Xác định các giới hạn sét

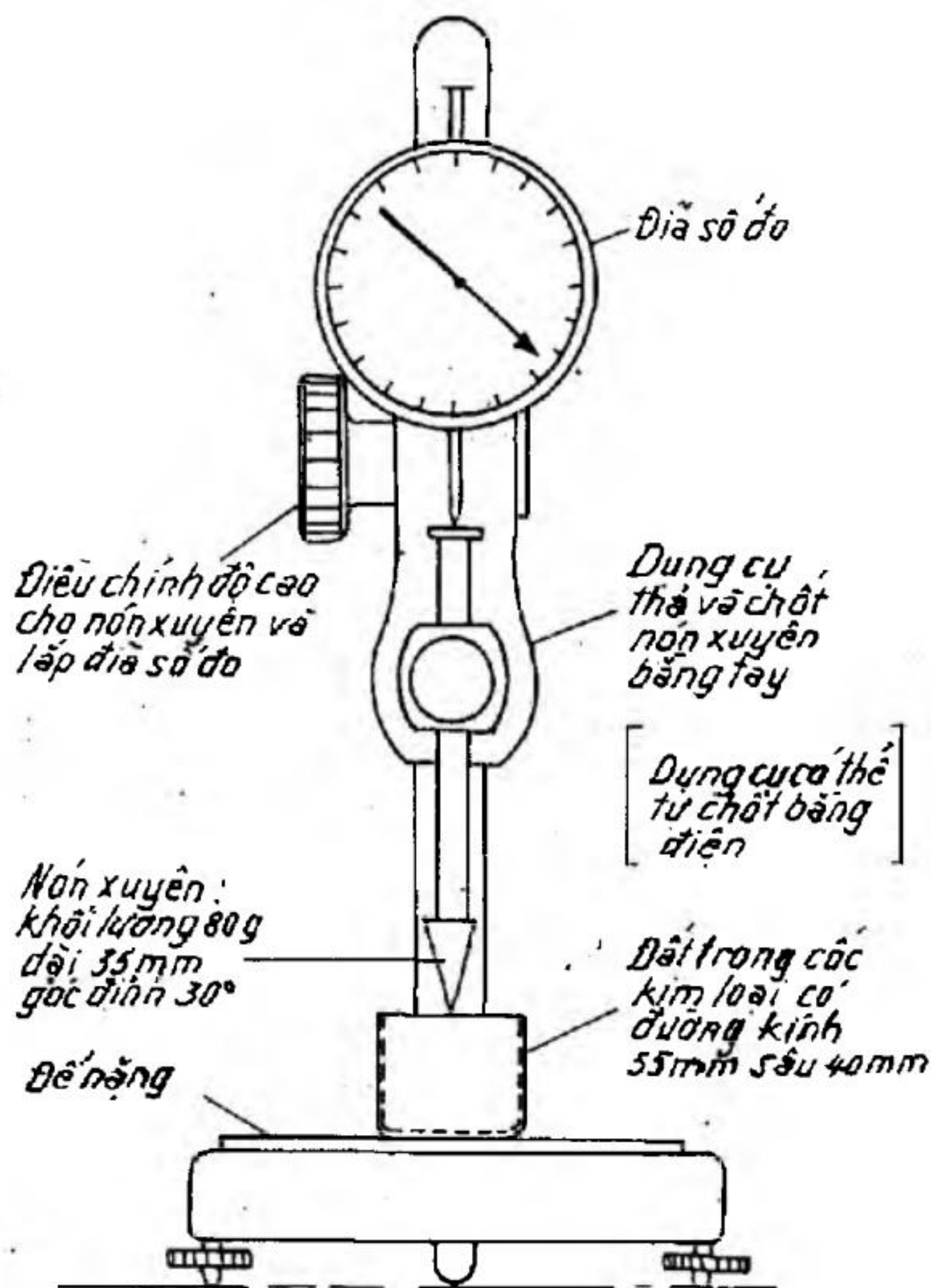
Ba giới hạn sét (LL, PL và SL) được xác định bằng các thí nghiệm qui ước ở trong phòng. Chi tiết đầy đủ về qui trình và thiết bị được cho trong Tiêu chuẩn Anh 1377 (BS 1377). Sinh viên cũng có thể nhận thấy ích lợi khi tham khảo thêm Vickers (1978) và Head (1980). Nguyên tắc chung của các thí nghiệm chủ yếu được trình bày ở dưới đây.

Xác định giới hạn chảy. Thiết bị (hình 2-10) cơ bản gồm một nón bằng thép không rỉ chiều dài 35mm với góc đỉnh là 30° và có khối lượng (bao gồm cả thân) là 80g. Nón được lắp trên giá cho phép rơi xuống được và giữ chắc vị trí trong khi đo chuyển vị thẳng đứng.

Trước tiên, đất được sấy khô đủ để làm vụn nát ra đến mức vừa và bột nhão (cẩn thận để không làm vỡ các hạt riêng biệt). Sau đó, đất được rây và chỉ lấy phần đất lọt qua lỗ rây $425\mu\text{m}$ đem làm thí nghiệm. Đất đó được trộn kĩ với nước cất để thành keo sền sệt trơn và lưu giữ trong hộp kín hơi trong 24 giờ để cho nước hoàn toàn thâm nhập.

Vào lúc thí nghiệm, trộn lại đất trong 10 phút và lấy một phần đất đặt vào trong cốc bằng đồng thau. Cẩn thận không được để có bọt không khí, rồi gạt bớt phần trên mặt cho ngang bằng miệng cốc. Sau khi đặt cốc trên đế giá (hình 2-4), nón được hạ thấp để vừa chạm và đánh dấu bề mặt của keo đất ; rồi đặt dụng cụ đo

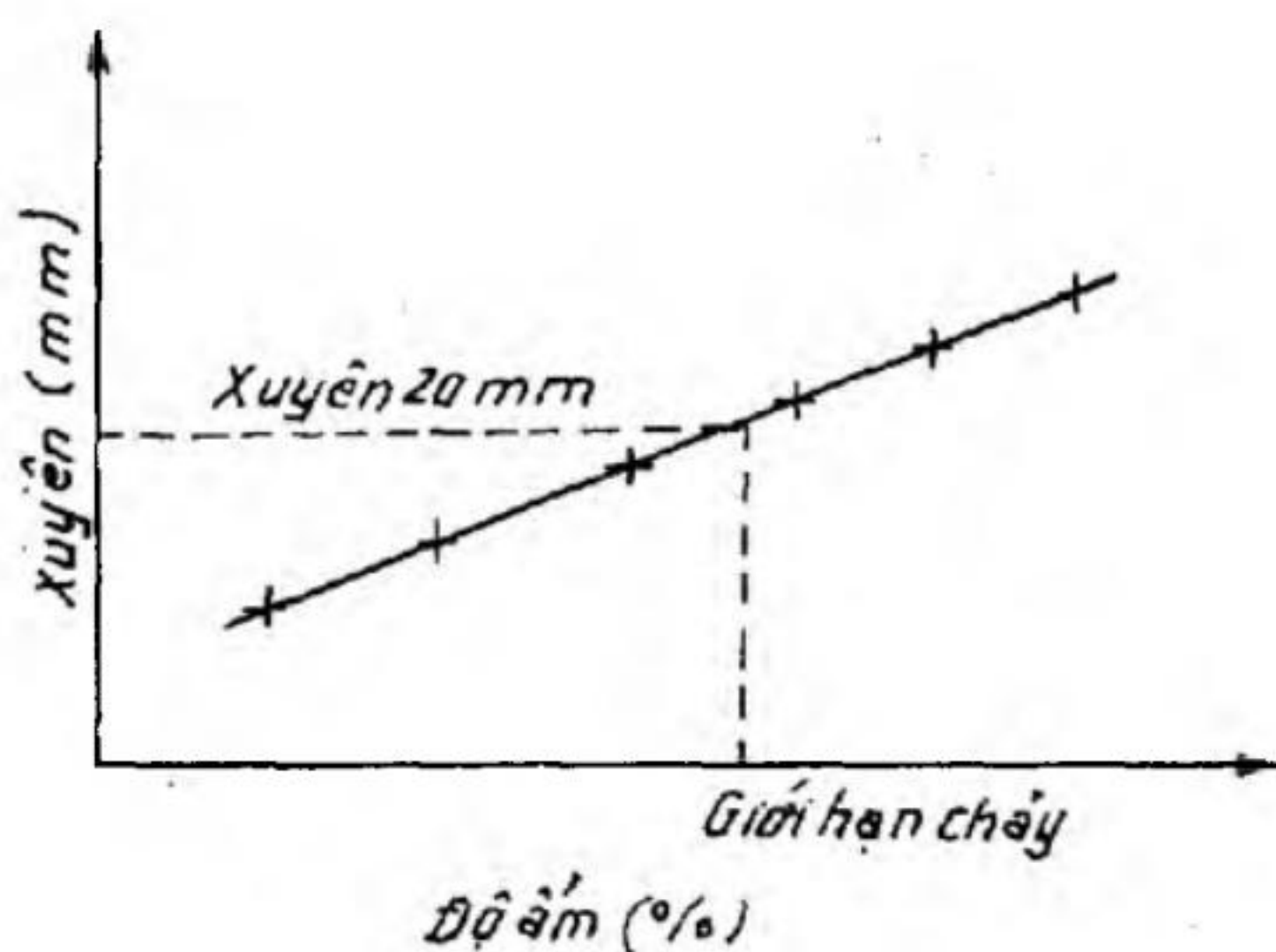
bằng đĩa số và ghi số đọc. Nón xuyên được nhả khớp để xâm nhập vào keo đất trong đúng 5 giây rồi khóa lại tại vị trí mới ; bây giờ ghi số đọc thứ hai của dụng cụ đo bằng đĩa số. Sự chênh lệch giữa số đọc thứ nhất và thứ hai cho ta giá trị xâm nhập của nón xuyên (mm).



Hình 2-10. Nón xuyên cho thí nghiệm giới hạn chảy

Trên cùng một hỗn hợp keo, lặp lại vài lần trình tự xuyên sẽ nhận được giá trị xâm nhập trung bình, sau đó lấy một mẫu đất nhỏ để xác định độ ẩm. Tiếp đó lặp lại, cả thấy năm hay sáu lần, toàn bộ trình tự xuyên với các hỗn hợp keo có độ ẩm khác nhau.

Vẽ đường quan hệ độ xuyên - độ ẩm (hình 2-11) và lấy giới hạn chảy bằng độ ẩm của đất tương ứng với độ xuyên là 20mm.



Hình 2-11. Đường quan hệ độ xuyên - độ ẩm

Xác định giới hạn dẻo. Thường chuẩn bị đủ đất tự nhiên hay đã sấy khô không khí thành dạng bột nhão với nước cho cả thí nghiệm giới hạn chảy và giới hạn dẻo. Nặn bằng tay khoảng 20g bột đất nhão cho tới khi đủ khô để xuất hiện các vết nứt. Rồi chia mẫu thành hai phần xấp xỉ bằng nhau (10g) và chia mỗi phần thành bốn mẫu phụ. Lấy một trong các mẫu phụ lăn thành viên bi rồi lăn nó trên tấm kính để thành một dây đất. Lăn bằng áp lực nhẹ của lòng bàn tay và ngón tay tiếp tục cho tới khi đường kính dây đất đạt 3mm. Đến lúc này, đất lại được tạo lại thành viên bi ; tác dụng của việc xử lý là làm khô đất, đất lại được lăn trên tấm kính (ở độ ẩm thấp hơn). Trình tự lăn đi lăn lại này tiếp tục cho tới khi dây đất bắt đầu vỡ vụn ngay khi đạt đường kính 3mm ; vào lúc này đem các mảnh vụn của dây đất đặt vào một hộp kín hơi. Quá trình như vậy được tiến hành cho cả ba mẫu nhỏ khác và các dây bị vỡ của cả bốn mẫu được tập hợp lại với nhau để tìm độ ẩm hỗn hợp của chúng. Với phần 10g khác cũng theo một trình tự như vậy. Giá trị trung bình của hai độ ẩm được báo cáo là giới hạn dẻo. Mặc dầu bản chất có vẻ tùy tiện của trình tự thí nghiệm

này, một kĩ thuật viên có kinh nghiệm có thể nhận được kết quả giới hạn dẻo với khả năng lặp lại giá trị rất tốt.

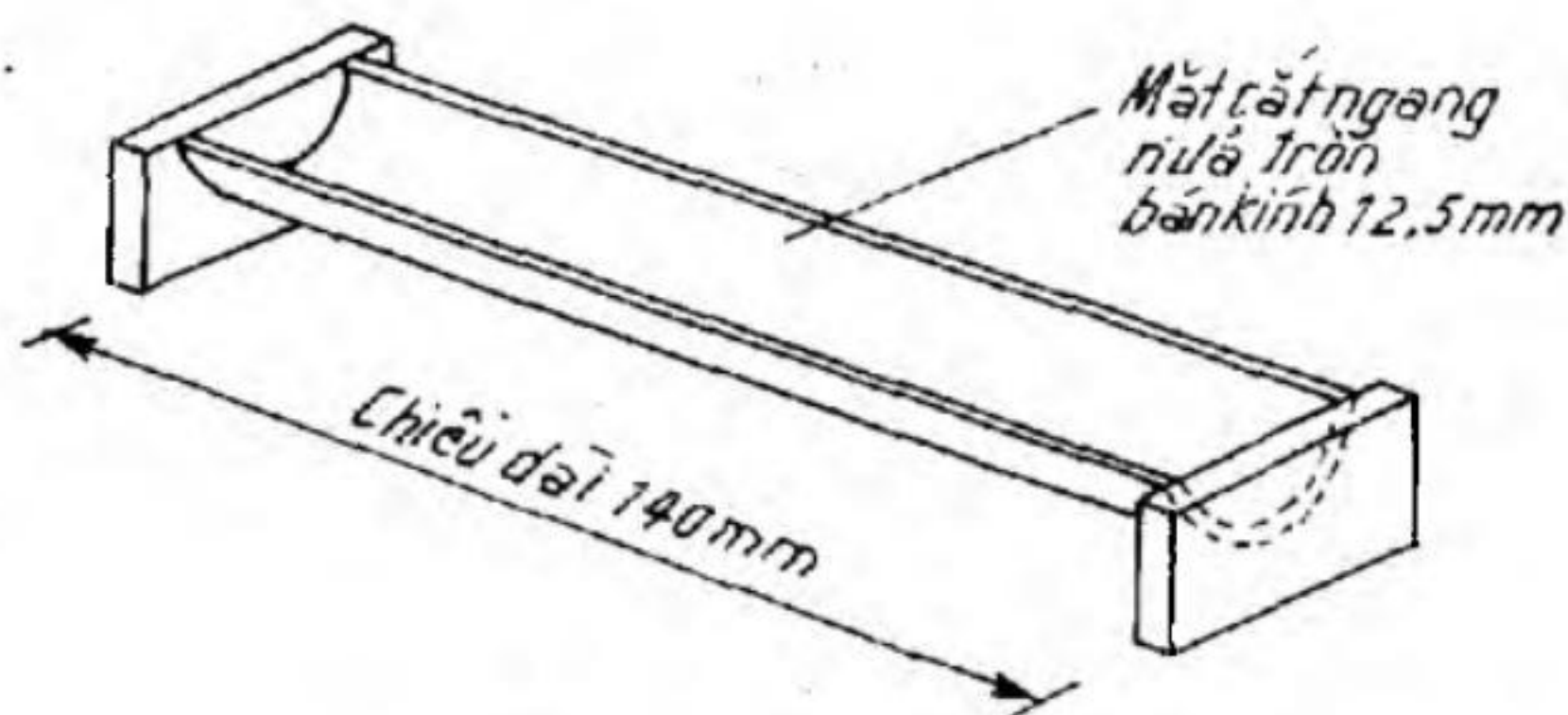
Thí nghiệm co ngót tuyến tính. Với đất có chứa lượng sét rất nhỏ, thí nghiệm giới hạn chảy và giới hạn dẻo không cho được kết quả tin cậy. Trong trường hợp như thế, đo độ co ngót tuyến tính và dùng biểu thức dưới đây có thể có được chỉ số dẻo gần đúng :

$$PI = 2,13 \times LS \quad [2.9]$$

Đất được chuẩn bị như cho thí nghiệm giới hạn chảy rồi lấy 150g mẫu để thí nghiệm co ngót ; mẫu đó lại trộn kĩ với nước cát để tạo được bột nhão đồng nhất trơn nhẵn xấp xỉ giới hạn chảy của đất (mặc dù độ ẩm chính xác chưa tới hạn). Bột nhão đất - nước được đặt vào trong một khuôn bằng đồng thau (hình 2-12), cẩn thận dùng để không khí đi vào và gát đất cho bằng bề mặt. Đất được làm khô trong không khí ở $60 - 65^{\circ}\text{C}$ cho tới khi thấy co ngót rõ ràng ở khuôn mẫu thì đem đặt vào lò sấy ở $105^{\circ} - 110^{\circ}\text{C}$ để làm khô hoàn toàn. Sau khi làm mát, đo chiều dài mẫu và tính độ co ngót tuyến tính như sau :

Phần trăm co ngót tuyến tính

$$LS = \left(1 - \frac{\text{chiều dài sau khi làm khô}}{\text{chiều dài ban đầu}} \right) 100 \quad [2.10]$$

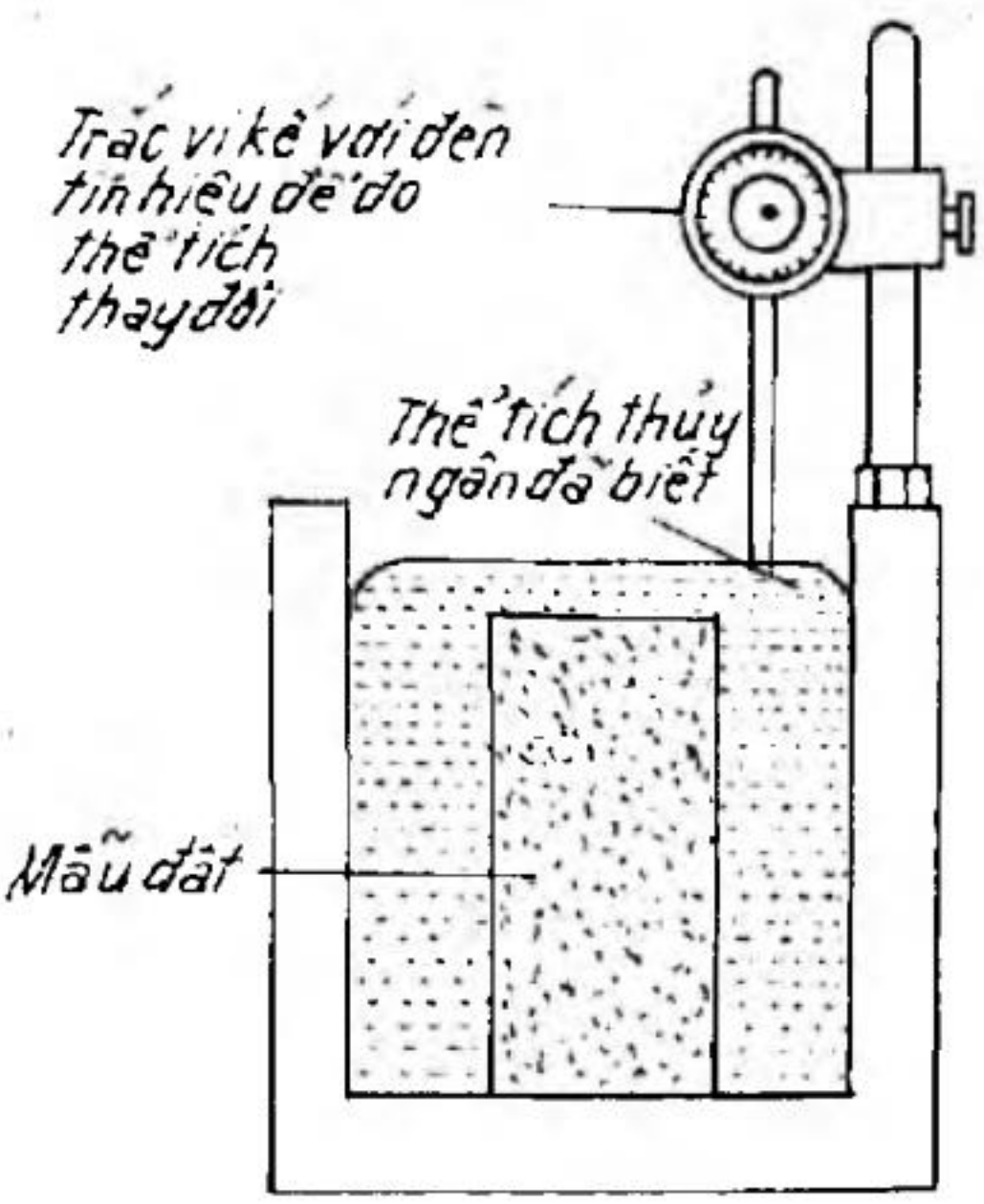


Hình 2-12. Khuôn thí nghiệm co ngót tuyến tính

Xác định giới hạn co ngót. Thí nghiệm giới hạn co ngót không được dùng nhiều bởi vì trong phân loại đất không dùng trực tiếp

SL như PL và LL. Tuy nhiên, giá trị SL cho được phần nào biểu hiện cấu trúc hạt của đất : cấu trúc *phân tán* có SL thấp, cấu trúc *kết bông* có SL cao (xem phần 1.6).

Lấy một mẫu đất dẻo cứng hình trụ để thí nghiệm ; thường có chiều dài 76mm và đường kính 38mm. Trong quá trình làm khô đất dần dần, ở các khoảng thời gian đều đặn, lấy số đo khối lượng và thể tích. Thường dùng bình chuyển vị thủy ngân để xác định thể tích (hình 2-13) ; mẫu bị nhúng ngập trong khối thủy ngân đã biết thể tích khi dùng trục vít để đo sự thay đổi của mực thủy ngân sẽ tính được thể tích biến đổi.



Hình 2-13. Thí nghiệm giới hạn co ngót

Vẽ đồ thị quan hệ thể tích - độ ẩm và tìm được giới hạn co ngót như thấy ở hình 2-8.

Ví dụ mẫu 2.4. Trong một thí nghiệm giới hạn chảy cho đất hạt mịn bằng nón xuyên đã ghi được các kết quả sau đây :

Độ xuyên của nón (mm)	15,9	17,7	19,1	20.3	21.5
Độ ẩm (%)	32,6	42,9	51,6	59.8	66,2

Cùng loại đất trên, thí nghiệm giới hạn dẻo cho giới hạn dẻo là 25%. Hãy xác định giới hạn chảy và chỉ số dẻo của đất và phân loại nó theo Hệ thống phân loại đất của Anh.

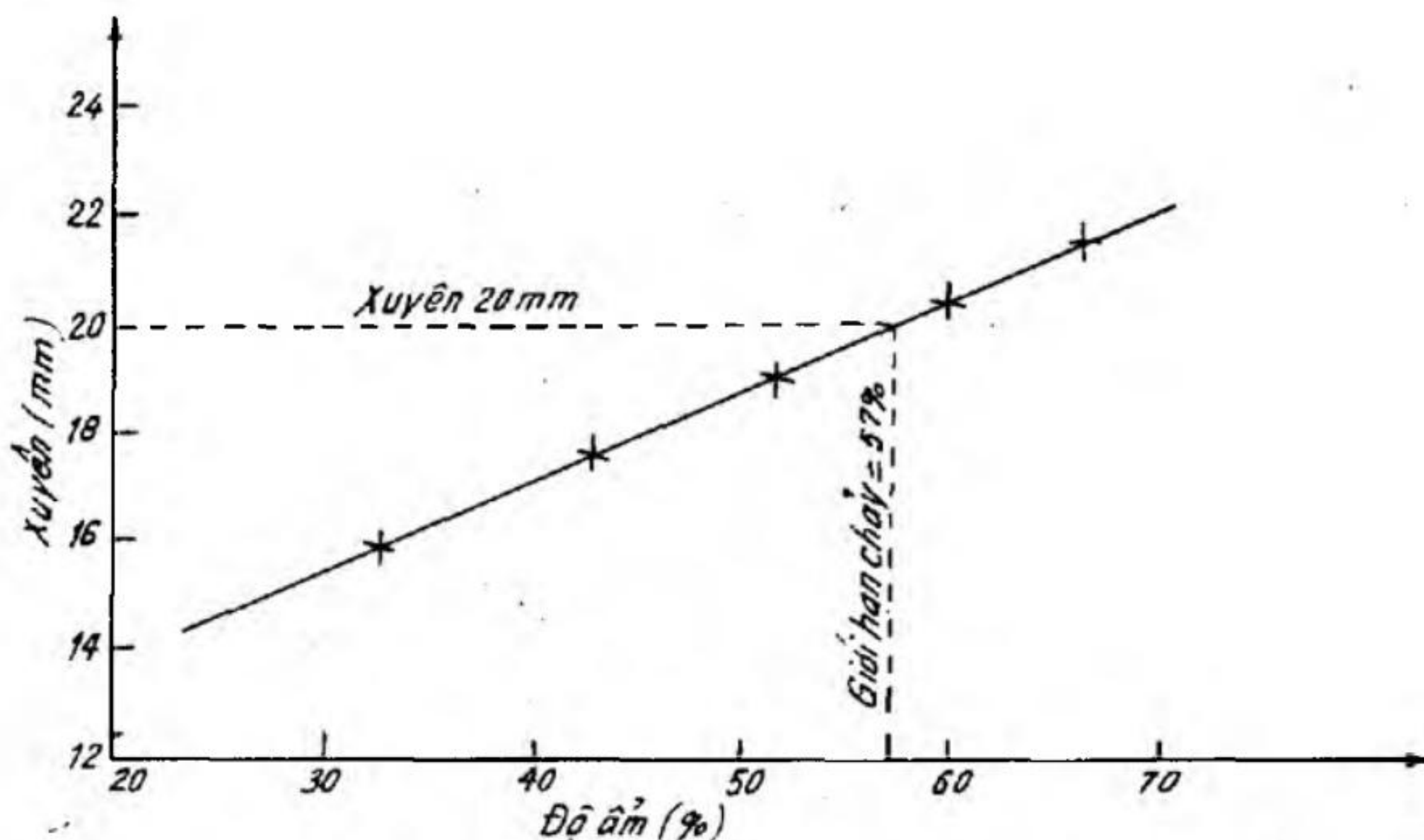
Bài giải

Vẽ đường quan hệ độ xuyên - độ ẩm (hình 2-14), tìm được giới hạn chảy là 57%.

Chỉ số dẻo tính được :

$$\begin{aligned}PI &= LL - PL \\ &= 57 - 25 = \underline{32}\end{aligned}$$

Từ biểu đồ tính dẻo (hình 2-9), điểm có tọa độ ($LL = 57$, $PI = 32$) rơi vào vùng có kí hiệu CH, có nghĩa là đất "SÉT có tính dẻo cao".



Hình 2-14. Đường quan hệ độ xuyên - độ ẩm ở ví dụ mẫu 2.4

Ví dụ mẫu 2.5. Sau một loạt các thí nghiệm trong phòng, đã xác minh các số liệu sau cho một đất hạt mịn :

$$LL = 45\% ; \quad PL = 18\%$$

Lượng hạt sét là 24,2% (hạt $< 2\mu m$)

a) Miêu tả đất theo Hệ thống phân loại đất của Anh.

b) Tính trị số hoạt tính của đất.

c) Xác định chỉ số chảy của đất khi độ ẩm tự nhiên là 29%.

Bài giải

a) Dùng biểu đồ tính dẻo (hình 2.9), đất thuộc về nhóm phụ CL, tức là đất SÉT có tính dẻo thấp.

$$b) \text{Hoạt tính} = \frac{PI}{\% \text{ hạt sét}} = \frac{45 - 18}{24,2} = 1,16$$

$$c) \text{Chỉ số chảy } LI = \frac{m - PL}{PI} \times 100 = \frac{29 - 18}{45 - 18} \times 100 = \underline{41\%}$$

Ví dụ mẫu 2.6. Kết quả của một thí nghiệm co ngót tuyến tính như sau :

Chiều dài trước khi làm khô là 140mm.

Chiều dài sau khi làm khô là 122,4mm.

Hãy tính độ co ngót tuyến tính và đánh giá chỉ số dẻo.

Bài giải

$$\begin{aligned} \text{Độ co ngót tuyến tính } LS &= \left(1 - \frac{122,4}{140,0} \right) 100 \\ &= 12,6\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Chỉ số dẻo} \quad PI &= 2,13 \times LS \\ &= 2,13 \times 12,6 = \underline{27\%} \end{aligned}$$

2.8. Thí nghiệm về chất lượng đất

Hầu hết đất tạo bởi các hạt khoáng vật hay vụn đá hỗn hợp với nước tương đối sạch hay nước có chứa tỉ lệ nhỏ muối có hại. Tuy nhiên, trong một số đất vì sự có mặt của các lớp chất axít hay chất kiềm và các hợp chất muối nhất định đất sẽ làm hư hỏng bộ phận công trình đặt vào, như ống thép, móng hoặc ống bằng bê tông.

*Các hợp chất đáng ngại nhất thường là :

Các sunfat hòa tan như sunfat canxi và magiê, chúng phản ứng với thành phần nhất định của xi măng pooclang để tạo hợp chất sunfat nhôm, ngăn chặn quá trình cứng hóa cũng như gây ra gãy vỡ của vữa xi măng dính các nhóm hạt với nhau. Do vậy xi măng bị phân hủy và trở nên xốp, khiến nước thấm vào và ăn mòn nhiều hơn nữa, dĩ nhiên cũng ăn mòn cả cốt thép.

Tổng lượng sunfat của đất được xác định bằng cách trước hết làm sôi đất trong axit clohydric loãng để nhận được dung dịch muối. Sau khi lọc, cho thêm dần dần clorit bary vào nước chiết thu được axit sẽ tạo ra chất kết tủa sunfat bary. Chất kết tủa được lọc rồi xác định khối lượng của nó sau khi đã đốt cháy giấy lọc.

Lượng sunfat được tính theo tỉ số của khối lượng kết tủa với khối lượng của mẫu đất và biểu thị như là phần trăm của SO_3 .

Lượng sunfat của nước dưới đất và lượng sunfat hòa tan trong nước của đất thì được xác định bằng phương pháp ion trao đổi và quá trình chuẩn độ. Các kết quả được biểu thị bằng *lượng sunfat g/l* hay là *phần của 100.000*. Chi tiết đầy đủ của hai thí nghiệm này cho ở trong Tiêu chuẩn Anh 1377 (BS 1377).

Đất có thể được phân loại theo tổng lượng sunfat hoặc lượng sunfat hòa tan trong nước hay sunfat có mặt trong nước ngầm. Sự phân loại như vậy được tóm tắt trong bảng 2-6 do Cơ quan nghiên cứu công trình xây dựng công bố (tập san của Cơ quan nghiên cứu công trình xây dựng số 250 - BRE Digest No 250). Với mỗi loại, biện pháp phòng ngừa tiến cử được liệt kê ra với các lời khuyên bảo chính về lượng và loại xi măng cần dùng cho bê tông ngầm trong đất.

Axit hữu cơ có tự nhiên trong đất than bùn có thể phản ứng với lượng vôi trong xi măng pooclang tạo ra muối canxi không hòa tan. Với bê tông chặt, không thấm nước có tỉ số nước/xi măng thấp thì hư hỏng gây ra do axit hữu cơ là không đáng kể.

Phần trăm vật chất hữu cơ được xác định bằng cách dùng dung dịch oxi hóa như dichromate kali, rồi được định phân dựa vào một dung dịch sunfat sắt chuẩn. Chi tiết đầy đủ thí nghiệm cho ở Tiêu chuẩn Anh 1377 (BS 1377).

BẢNG 2-6. CÁC SUNFAT TRONG ĐẤT VÀ NƯỚC NGẦM
(Theo Tập san BRE Digest No. 250 (6-1981))

<i>Lớp</i>	<i>Lượng sunfat (SO₃)</i>			<i>Loại xi măng kiến nghị</i>	<i>Lượng xi măng tối thiểu</i>
	<i>Tổng SO₃ (%)</i>	<i>SO₃ hòa tan trong nước (g/l)</i>	<i>SO₃ nước dưới đất (g/l)</i>		<i>Tỉ số nước/xi măng tối đa</i>
1	< 0,2	< 1,0	< 0,3	OPC hay RHPC	250 + 0,70
				Xi măng trộn, PBFC	300 0,60
2	0,2 - 0,5	1,0 - 1,9	0,3 - 1,2	OPC hay RHPC	330 0,5
				Xi măng trộn	310 0,55
				SRPC	290 0,55
3	0,5 - 1,0	1,9 - 3,1	1,2 - 2,5	Xi măng trộn	380 0,45
				SRPC	330 0,50
4	1,0 - 2,0	3,1 - 5,6	2,5 - 5,0	SRPC	370 0,45
5	> 2,0	> 5,6	> 5,0	SRPC + lớp phủ bảo vệ *	370 0,45

OPC - xi măng pooc lăng thông thường

RHPC - xi măng pooc lăng đông cứng nhanh

SRPC - xi măng pooc lăng chống sunfat

PBFC - xi măng pooc lăng xi lò cao

Xi măng trộn : OPC hay RHPC trộn với 70 - 90% xi lò cao nghiền thành đất hoặc với 25 - 40% tro đất tán thành bột theo Tiêu chuẩn Anh 3892 (BS 3892).

* Xem CP 102 : 1973

+ Cho bê tông không cốt thép

Giá trị pH. Trong một số đất tự nhiên đặc biệt là loại có chứa sunfua (như pirit sắt, galen) hoặc vi khuẩn khử sunfat, có thể thấy

lượng axit cao ; còn trong đất vôi thì có lượng kiềm cao. Sự có mặt của nước thải công nghiệp và các chất ô nhiễm cũng có thể tạo ra điều kiện axit hay kiềm và chắc chắn gây ra sự ăn mòn sắt và thép chôn ở dưới đất và trong một số trường hợp làm bê tông hư hỏng.

Khi xác định giá trị pH sẽ đo được tính axit, tính kiềm :

$$\text{pH} = -\log_{10} (\text{lượng ion hydro})$$

Một dung dịch có cân bằng chuẩn xác của ion H^+ và OH^- thì trung tính và có giá trị pH là 7 ; H^+ trội hơn ở trong dung dịch axit, vì thế $\text{pH} < 7,0$; nếu ion OH^- có mặt nhiều hơn, dung dịch là kiềm, vì thế $\text{pH} > 7,0$. Thí nghiệm để xác định giá trị pH với chi tiết đầy đủ có trong Tiêu chuẩn Anh 1377 (BS 1377).

Ximăng pooclăng thường thì chịu được kiềm ($\text{pH} > 7$) nhưng không nên dùng khi $\text{pH} \leq 6$; ximăng có lượng sunfat và nhôm cao có thể cho tới khi $\text{pH} = 4$; thép bị ăn mòn khi $\text{pH} < 9$. Trong các trường hợp giá trị pH tìm được $< 6,5$ hay $> 7,5$ phải tiến hành phân tích hóa học chi tiết hơn để biết chắc chắn bản chất thực sự của các hợp chất hoạt động có mặt trong đất.

Khảo sát chất lượng đất và nước ngầm. Ở nơi mà điều kiện đất và nước ngầm có khả năng ăn mòn các kết cấu thép, gỗ, bê tông chôn trong đất thì cần phải tiến hành nghiên cứu về chất lượng. Thu thập mẫu nước ngầm và mẫu đất phá hoại để gửi đi phân tích hóa học. Ban đầu cần thí nghiệm lượng sunfat và pH ; nếu được yêu cầu làm tiếp các thí nghiệm chi tiết hơn.

Cũng cần thiết lập mô hình chuyển động của nước ngầm bằng ống đo áp hay quan trắc áp kế ; cũng có thể dùng các hố đào thăm dò và dòng chảy tự nhiên. Vì sự có mặt của dung dịch muối và axit làm giảm điện trở của đất nên việc thăm dò điện trở có thể cho ta một phương tiện khảo sát nhanh và kinh tế. Phải tiến hành khảo sát thận trọng tại các thời gian nhất định trong năm và trong các điều kiện khí hậu khác nhau ; ví dụ, phải ghi chép sự biến đổi đáng kể của lượng sunfat sau một đợt khô hạn kéo dài rồi đem so sánh với sự biến đổi sau một thời gian mưa nặng hạt.

BÀI TẬP

1 ÷ 3. Các số liệu sau đây ghi chép được khi thí nghiệm phân tích cỡ hạt trong phòng. Hãy vẽ đường cong thành phần hạt cho mỗi trường hợp và xác định các đặc trưng thành phần hạt. Dùng thông tin này để phân loại đất theo Hệ thống Phân loại đất của Anh.

Đất 1

Cân kết quả phân tích bằng rây khô, lỗ nhỏ.

Cỡ rây (mm hay μm)	1,18	600	425	300	212	150	63
Khối lượng còn lại (g)	0	1,9	3,2	8,1	10,4	22,7	126,1

Tổng khối lượng mẫu 212,0g

Đất 2

Giai đoạn 1 : Tổng khối lượng 2752g, rây lỗ to

Cỡ rây (mm)	37,5	28	20
Khối lượng còn lại (g)	0	104,6	170,6

Lượng trên đĩa cân 2477g. Chia nhỏ thành 1382g

Giai đoạn 2 : rây lỗ vừa

Cỡ rây (mm)	14	10	6,3
Khối lượng còn lại (g)	115,3	127,6	190,6

Lượng trên đĩa cân 949g. Chia nhỏ thành 245,4g

Giai đoạn 3 : rây lỗ nhỏ

Cỡ rây (mm hay μm)	5	3,25	2,0	1,18	600	425	300	212	150	63
Khối lượng còn lại (g)	27,0	44,5	35,7	37,3	32,3	13,1	15,9	12,7	9,1	15

Lượng trên đĩa cân là 1,9g

Đất 3

Giai đoạn 1 : Rây khô và ướt mẫu khối lượng 574,5g

Phần lỗ vừa :

Cỡ rây (mm)	14	10	6,3
Khối lượng còn lại (g)	0	4,6	14,9

Giai đoạn 2 : Rây khô và ướm mẫu phụ khối lượng 168,2g

Phần lỗ nhỏ :

Cỡ rây (mm hay μm)	5,0	3,35	2,0	1,18	600	425	300	212	150	63
Khối lượng còn lại (g)	4,5	14,5	24	27,2	14,1	2,5	3,3	3,1	2,1	7,6

Khối lượng qua rây 63 μm là 63,7g.

Giai đoạn 3 : phân tích lắng đọng cho 63,7g qua rây 63 μm ở giai đoạn 2

Cỡ hạt (μm)	40	20	10	6	2
% thô hơn	13,1	16,9	25,4	12,0	20,8

4. Từ các đặc trưng thành phần hạt cho dưới đây phác thảo đường cong thành phần hạt cho ba loại đất sau :

	Đất		
	A	B	C
D ₁₀ (mm)	0,28	0,088	0,009
C _u	1,50	19,9	167
C _g	0,87	0,80	0,12
Loại đất	SP	SW	GM

5. Khi thí nghiệm nón xuyên cho một đất dính, các kết quả sau đây đã ghi chép được :

Độ xuyên trung bình (mm)	15,2	17,3	18,9	21,1	22,8
Độ ẩm trung bình (%)	33,4	42,6	49,2	59,4	66,8

a) Xác định giới hạn chảy của đất.

b) Nếu giới hạn dẻo của đất tìm được là 33%, hãy xác định chỉ số dẻo và phân loại đất này.

6. Các thí nghiệm trong phòng đã tiến hành cho bốn loại đất và xác định được các số liệu cho ở dưới đây. Với mỗi loại đất, cho sự phân loại theo Hệ thống Phân loại đất của Anh và tính giá trị hoạt tính và chỉ số chảy.

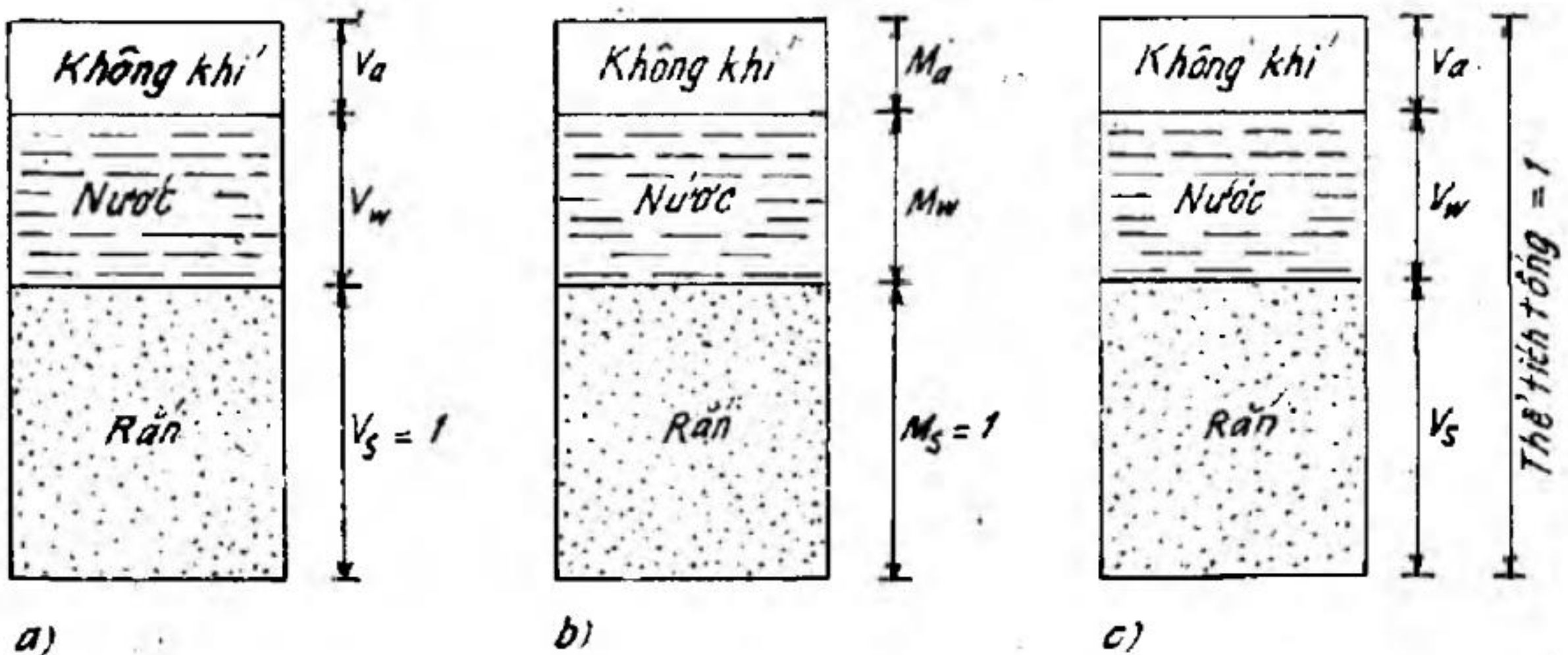
Các thí nghiệm	Đất			
	E	F	G	H
Giới hạn chảy (%)	42	59	26	74
Giới hạn dẻo (%)	16	37	20	29
Hạt < 2 μ m (%)	32,5	4,6	9,4	28,8
Độ ẩm tại chỗ (%)	24	45	18	64

Chương 3

CÁC TÍNH CHẤT VẬT LÝ CƠ BẢN CỦA ĐẤT

3.1. Mô hình đất và các tính chất cơ bản

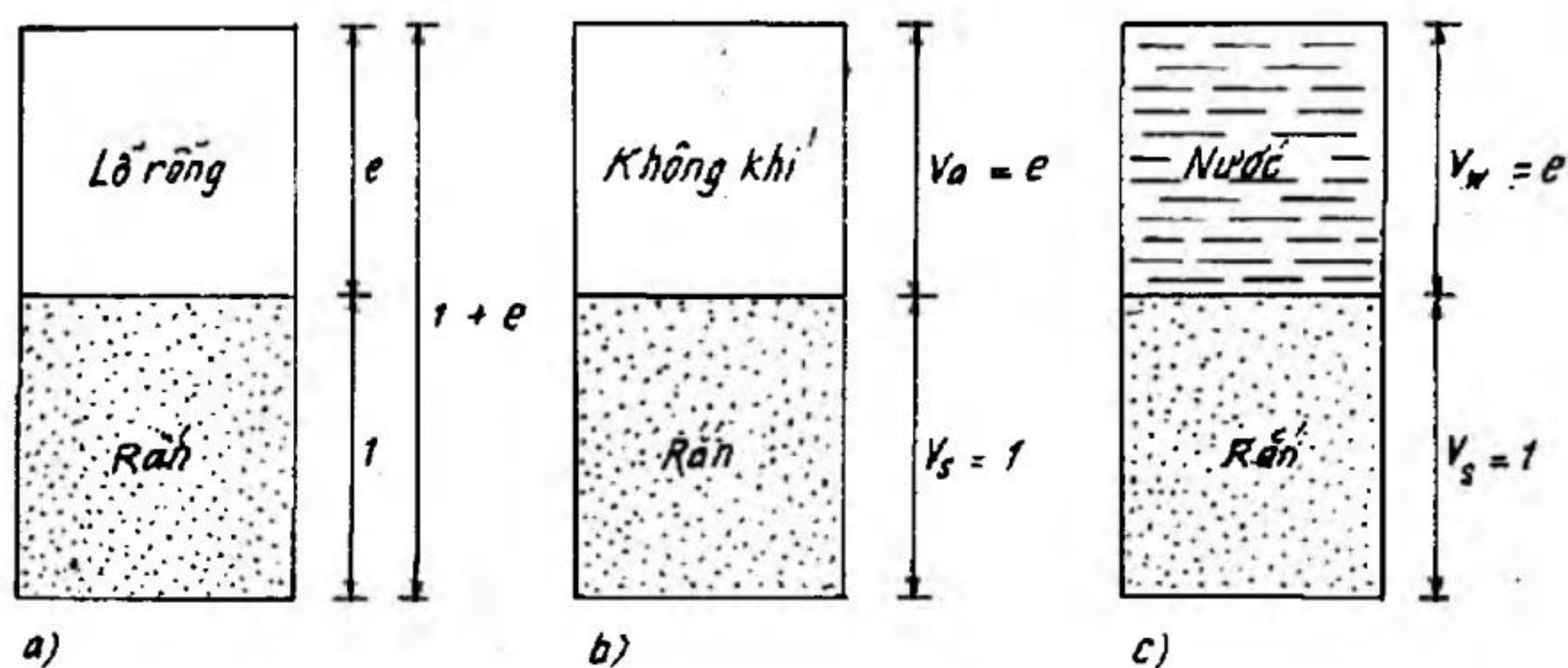
Các tính chất vật lý cơ bản của đất là các tính chất cần thiết để xác định trạng thái vật lý của nó. Vì mục đích phân tích và thiết kế công trình, cần phải định lượng ba pha thành phần (rắn, lỏng và khí) và có thể biểu thị quan hệ giữa chúng bằng ngôn ngữ số. Ví dụ, độ ẩm của đất đơn giản là tỉ số của khối lượng nước với khối lượng pha rắn. Dung trọng là mối quan hệ giữa khối lượng và thể tích và cũng là số đo quan trọng về trạng thái vật lý của đất. Trong đất điển hình, các pha rắn, lỏng (nước) và khí (không khí) trộn lẫn một cách tự nhiên, vì thế khó hình dung được tỉ lệ tương đối giữa chúng. Do vậy, để thuận tiện, người ta công nhận một mô hình đất, trong đó ba pha được tách rời ra với các lượng riêng biệt nhưng vẫn giữ tỉ lệ chuẩn xác giữa chúng.



Hình 3-1. Các mô hình đất ba pha

a) thể tích rắn đơn vị ; b) khối lượng rắn đơn vị ; c) thể tích tổng đơn vị

Một vài mô hình pha có nhiều khả năng đã được đề nghị (hình 3-1), tên của mỗi mô hình lấy theo pha lấy làm căn cứ đơn vị. Ví dụ, mô hình *thể tích rắn* đơn vị dựa trên 1 đơn vị thể tích là 1m^3 của vật liệu rắn ; mô hình *khối lượng rắn* đơn vị dựa trên 1 đơn vị khối lượng rắn là 1kg ; mô hình *thể tích tổng* đơn vị dựa trên 1 đơn vị thể tích của cả ba pha kết hợp với nhau. Với hầu hết các mục đích trong cơ học đất, thì mô hình *thể tích rắn đơn vị* là thuận lợi nhất, vì thành phần rắn của đất (trừ vật liệu than bùn) có thể coi như không chịu nén. Do vậy, mô hình được xây dựng nên về 1 đơn vị (1m^3) vật liệu rắn có thể xem là luôn luôn không đổi. Toàn bộ các lượng khác bây giờ sẽ quan hệ với lượng này. Bởi thế một loại đất bất kì sẽ được miêu tả như là thể tích ổn định của vật liệu rắn với lượng thay đổi của nước và không khí. Giá trị thể tích trong đất không do pha rắn chiếm được gọi là *thể tích rỗng* ; tỉ số thể tích rỗng với thể tích rắn biểu thị bằng e (hình 3-2a). Trong đất khô hoàn toàn sẽ không có nước và khoảng rỗng toàn bộ là không khí (hình 3-2b) ; trong đất bão hòa khoảng rỗng chứa đầy nước (hình 3-2c)



Hình 3-2.

a) hệ số rỗng ; b) khô hoàn toàn ; c) bão hòa

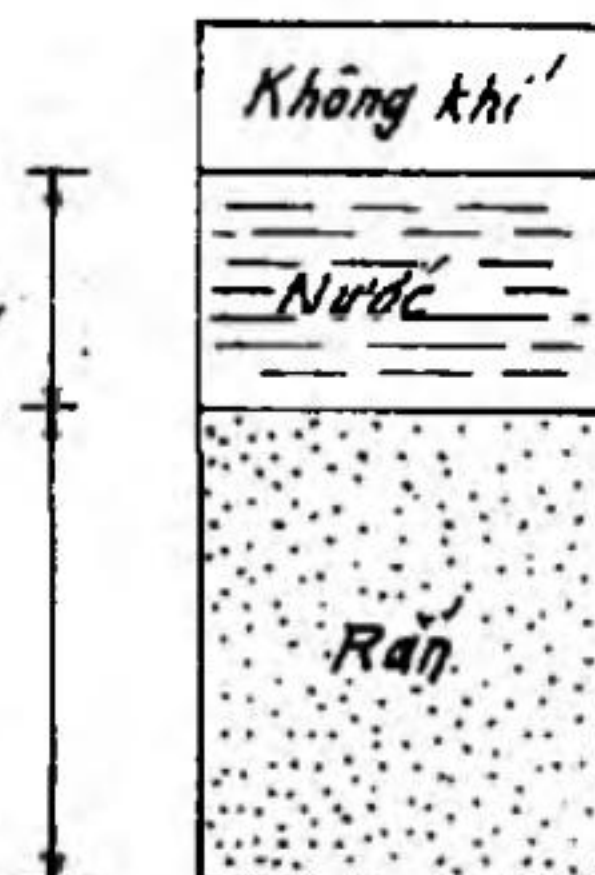
Hình 3-3 là mô hình đất chi tiết với sự biểu thị các lượng thể tích và khối lượng khác nhau. Từ mô hình cơ bản này, bây giờ có thể định nghĩa một số đặc trưng quan trọng của đất.

Khối lượng

$$M_a = 0$$

$$M_w = m G_s g_w$$

$$M_s = G_s g_w$$

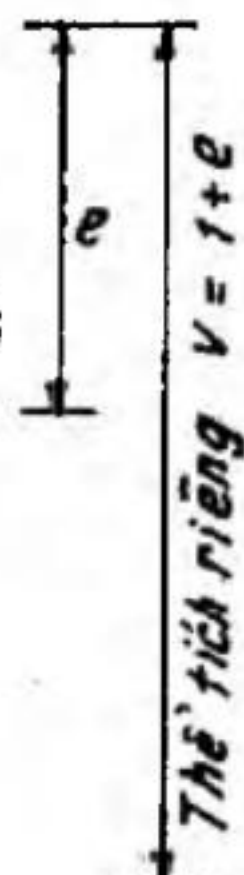


Thể tích

$$V_a = e (1 - S_r)$$

$$V_w = S_r g = m G_s$$

$$V_s = 1$$



Hình 3-3. Mô hình thể tích rắn đơn vị của đất

Hệ số rỗng e . *Thể tích lỗ rỗng* là thể tích không do pha rắn chiếm giữ mà là nước hoặc không khí hay hỗn hợp của chúng.

$$\text{Hệ số rỗng } e = \frac{\text{Thể tích lỗ rỗng}}{\text{thể tích pha rắn}} = \frac{V_v}{V_s} = \frac{V_a + V_w}{V_s} \quad [3.1]$$

Độ rỗng n . Biểu thị về lượng của lỗ rỗng theo một cách khác là liên hệ thể tích lỗ rỗng với thể tích tổng.

$$\text{Độ rỗng } n = \frac{\text{thể tích lỗ rỗng}}{\text{thể tích tổng}} = \frac{V_v}{V} = \frac{V_a + V_w}{V}$$

Từ hình 3-3, ta có :

$$n = \frac{e}{1 + e} \quad [3.2]$$

Thể tích riêng v . Từ hình 3-2, có thể thấy là thể tích tổng của mô hình đất bằng $1 + e$, lượng này được gọi là *thể tích riêng* của đất

$$\text{Thể tích riêng } v = 1 + e \quad [3.3]$$

Độ bão hòa S_r . Lượng nước trong đất có thể biểu thị bằng một phần của thể tích lỗ rỗng ; phần này được hiểu là *độ bão hòa*.

$$\text{Độ bão hòa } S_r = \frac{\text{thể tích nước}}{\text{thể tích lỗ rỗng}} = \frac{V_w}{V_v}$$

$$\text{hay } V_w = S_r e \quad [3.4]$$

Phần trăm bão hòa là $100S_r$

Đất khô hoàn toàn có $S_r = 0$, đất bão hòa $S_r = 1$.

Hệ số rỗng không khí A_v . Thể tích lỗ rỗng không khí của đất là phần thể tích lỗ rỗng không do nước chiếm giữ.

Thể tích lỗ rỗng không khí = thể tích lỗ rỗng - thể tích nước

$$\begin{aligned} V_a &= V_v - V_w \\ &= e - S_r e \\ &= e(1 - S_r) \end{aligned} \quad [3.5]$$

Hệ số rỗng không khí (hay lượng lỗ rỗng không khí) là tỉ số của thể tích lỗ rỗng không khí với thể tích riêng của đất

$$A_v = \frac{e(1 - S_r)}{1 + e} = n(1 - S_r) \quad [3.6]$$

hoặc vì $S_r = \frac{mG_s}{e}$ (xem phương trình [3.10] ở dưới) nên có :

$$A_v = \frac{e - mG_s}{1 + e} \quad [3.7]$$

Phần trăm lỗ rỗng không khí là $100 A_v$.

Ví dụ mẫu 3.1. Hãy xác định độ rỗng và hệ số rỗng - không khí cho đất có hệ số rỗng là 0,750 và phần trăm bão hòa là 85%.

Bài giải

Tính độ rỗng theo phương trình [3.2] :

$$n = \frac{0,750}{1 + 0,750} = \underline{0,429}$$

$$\text{Độ bão hòa } S_r = \frac{85}{100} = 0,85$$

Hệ số rỗng không khí tính theo phương trình [3.6]

$$A_v = 0,429 (1 - 0,85) = \underline{0,064}$$

hoặc phần trăm lỗ rỗng không khí là 6,4%

Tỉ trọng hạt G_s và trọng lượng riêng hạt ρ_s . Tỉ số giữa khối lượng của thể tích vật liệu đã cho với khối lượng của cùng thể tích nước được gọi là tỉ trọng của vật liệu. Trong mô hình đất (hình 3-3), khối lượng của một đơn vị thể tích pha rắn sẽ bằng :

$$M_s = G_s \rho_w \quad [3.8a]$$

ở đây : ρ_w - dung trọng của nước, có thể lấy bằng $1,00 \text{ Mg/m}^3$

Trọng lượng riêng hạt ρ_s là khối lượng cho mỗi đơn vị thể tích của các hạt rắn và bằng :

$$\rho_s = G_s \rho_w \quad [3.8b]$$

Trong mô hình đất, khối lượng của nước sẽ bằng :

$$M_w = S_r e \rho_w \quad [3.9]$$

Độ ẩm m . Tỉ số giữa khối lượng của nước với khối lượng của pha rắn được gọi là *độ ẩm* của đất.

$$\text{Độ ẩm } n = \frac{\text{khối lượng nước}}{\text{khối lượng pha rắn}} = \frac{M_w}{M_s}$$

Từ phương trình [3.8] và [3.9], ta có :

$$\begin{aligned} m &= \frac{S_r e \rho_w}{G_s \rho_w} \\ &= \frac{S_r e}{G_s} \end{aligned} \quad [3.10]$$

$$\text{hay} \quad m G_s = S_r e \quad [3.11]$$

Phần trăm độ ẩm là $100m$.

Ví dụ mẫu 3.2. Một hộp thiếc chứa đất ẩm cân được $37,82\text{g}$, riêng hộp có khối lượng $16,15\text{g}$. Sau khi sấy khô, cân lại hộp và đất

được 34,68g. Hãy xác định hệ số rỗng của đất nếu lượng lỗ rỗng không khí.

a) bằng không ;

b) 5% ($G_s = 2,70$).

Bài giải

$$\begin{aligned}\text{Độ ẩm} \quad m &= \frac{\text{khối lượng nước}}{\text{khối lượng đất khô}} \\ &= \frac{37,82 - 34,68}{34,68 - 16,15} = 0,169\end{aligned}$$

a) nếu lượng lỗ rỗng không khí bằng không thì $S_r = 1$.

Từ phương trình [3.11], sẽ tính được hệ số rỗng :

$$\begin{aligned}e &= mG_s \\ &= 0,169 \times 2,70 = \underline{0,456}\end{aligned}$$

b) Nếu lượng lỗ rỗng không khí là 5% thì $A_v = 0,05$

Sắp xếp lại phương trình [3.7], hệ số rỗng e tính theo biểu thức :

$$\begin{aligned}e &= \frac{mG_s + A_v}{1 - A_v} \\ &= \frac{0,169 \times 2,70 + 0,05}{0,95} = \underline{0,533}\end{aligned}$$

3.2. Dung trọng của đất

Dung trọng là tỉ số giữa *khối lượng* vật chất và *khoảng không gian* nó chiếm chỗ.

Có thể định nghĩa một số mối quan hệ *dung trọng* sau đây :

$$\text{Dung trọng khô} \quad \rho_d = \frac{\text{khối lượng pha rắn}}{\text{thể tích tổng}}$$

$$\text{Từ hình 3-3, sẽ có : } \rho_d = \frac{G_s \rho_w}{1 + e} = \frac{\rho_s}{1 + e} \quad [3.12]$$

Dung trọng tự nhiên :

$$\rho = \frac{\text{khối lượng tổng}}{\text{thể tích tổng}} = \frac{\text{khối lượng pha rắn} + \text{khối lượng nước}}{\text{thể tích tổng}}$$

Từ hình 3-3, có được :

$$\rho = \frac{G_s \rho_w + S_r e \rho_w}{1 + e} = \frac{\rho_s + S_r e \rho_w}{1 + e} \quad [3.13]$$

Tỉ số của hai dung trọng này cho ta quan hệ hay dùng sau :

$$\frac{\rho}{\rho_d} = \frac{\frac{G_s + S_r e}{1 + e} \rho_w}{\frac{G_s}{1 + e} \rho_w} = 1 + \frac{S_r e}{G_s}$$

Vì $S_r e = m G_s$ nên có :

$$\rho = (1 + m) \rho_d \quad [3.14]$$

Dung trọng bão hòa là dung trọng thể tích khi đất bão hòa, tức là khi $S_r = 1$. Vì thế dung trọng bão hòa tính theo biểu thức sau :

$$\rho_{\text{sat.}} = \frac{G_s + e}{1 + e} \rho_w \quad [3.15]$$

Dung trọng ngập nước hay *dung trọng hiệu quả* của đất là khối lượng hiệu quả cho mỗi thể tích (tổng) đơn vị khi bị ngập nước. Khi một thể tích (tổng) đơn vị của đất bị ngập trong nước, nó chiếm chỗ một thể tích tương đương của nước ; khối lượng thực của một thể tích đơn vị đất khi ngập sẽ bằng $\rho_{\text{sat.}} - \rho_w$ và được xem là *dung trọng ngập nước* ρ' :

$$\rho' = \rho_{\text{sat.}} - \rho_w \quad [3.16]$$

Trọng lượng đơn vị Trọng lượng của một thể tích đơn vị được gọi là *trọng lượng đơn vị*. Đơn vị của trọng lượng đơn vị sẽ là *lực* cho mỗi thể tích đơn vị, trong khi đơn vị của *dung trọng* là *khối lượng* cho mỗi thể tích đơn vị. Trọng lượng đơn vị liên hệ tương ứng với các dung trọng như sau :

$$\text{Trọng lượng đơn vị khô} \quad \gamma_d = \rho_d g \quad \text{kN/m}^3 \quad [3.17]$$

$$\text{Trọng lượng đơn vị thể tích} \quad \gamma = \rho g \quad \text{kN/m}^3 \quad [3.18]$$

$$\text{Trọng lượng đơn vị bão hòa} \quad \gamma_{\text{sat.}} = \rho_{\text{sat.}} g \quad \text{kN/m}^3 \quad [3.19]$$

$$\text{Trọng lượng đơn vị của nước} \quad \gamma_w = \rho_w g \quad \text{kN/m}^3 \quad [3.20]$$

$$\text{Trọng lượng đơn vị ngập nước} \quad \gamma' = \gamma_{\text{sat.}} - \gamma_w \quad \text{kN/m}^3 \quad [3.21]$$

Trong các phương trình từ [3.17] đến [3.21] ở trên, lấy giá trị gia tốc trọng trường g bằng $9,81 \text{ m/s}^2$.

Ví dụ mẫu 3.3. Một mẫu đất sét ẩm có hệ số rỗng là 0,78, độ bão hòa là 0,93. Giả thiết $G_s = 2,70$, hãy xác định dung trọng khô, dung trọng thể tích và độ ẩm.

Bài giải

Dung trọng khô xác định theo phương trình [3.12]

$$\rho_d = \frac{2,70 \times 1,00}{1 + 0,788} = \underline{1,51 \text{ Mg/m}^3}$$

Dung trọng thể tích theo phương trình [3.13] :

$$\rho = \frac{2,70 + 0,93 \times 0,788}{1 + 0,788} \times 1,00 = \underline{1,92 \text{ Mg/m}^3}$$

Độ ẩm tính theo phương trình [3.11] :

$$\begin{aligned} m &= \frac{S_r e}{G_s} \\ &= \frac{0,93 \times 0,788}{2,70} = 0,271 = \underline{27,1\%} \end{aligned}$$

Ví dụ mẫu 3.4. Dung trọng thể tích của cát ở điều kiện thoát nước nằm trên mực nước ngầm tìm được là $2,06 \text{ Mg/m}^3$ và độ ẩm là 18%. Giả thiết $G_s = 2,70$, hãy tính :

a) trọng lượng đơn vị thoát nước ;

b) trọng lượng đơn vị ngập nước và độ ẩm của cùng loại cát nhưng nằm dưới mực ngầm.

Bài giải

a) Dùng phương trình [3.17] tính trọng lượng đơn vị thoát nước :

$$\begin{aligned}\gamma &= \rho g \\ &= 2,06 \times 9,81 \\ &= \underline{20,2 \text{ kN/m}^3}\end{aligned}$$

b) Từ phương trình [3.14], rút ra biểu thức xác định :

$$\begin{aligned}e &= (1 + m) \frac{G_s \rho_w}{\rho} - 1 \\ &= \frac{1,18 \times 2,70 \times 1,00}{2,06} - 1 = \underline{0,547}\end{aligned}$$

Dùng phương trình [3.15] tính được dung trọng bão hòa ρ_{sat} .

$$\rho_{\text{sat}} = \frac{2,70 + 0,547}{1,547} \times 1,00 = 2,10 \text{ Mg/m}^3$$

Trọng lượng đơn vị ngập nước γ' sẽ bằng :

$$\begin{aligned}\gamma' &= (\rho_{\text{sat}} - \rho_w)g \\ &= (2,10 - 1,00) 9,81 = \underline{10,8 \text{ kN/m}^3}\end{aligned}$$

Độ ẩm khi cát ngập nước :

$$\begin{aligned}m &= \frac{e}{G_s} \\ &= \frac{0,547}{2,70} = 0,203 = \underline{20,3\%}\end{aligned}$$

Ví dụ mẫu 3.5. Sau khi thí nghiệm nén trong phòng, một mẫu đất sét bão hòa hình trụ xác định được khối lượng 157,28g và chiều dày 17,4mm. Sau đó sấy khô tới khi cân là không đổi, khối lượng sẽ là 128,22g. Nếu trọng lượng riêng hạt là 2,08, hãy tính :

a) độ ẩm lúc kết thúc thí nghiệm và hệ số rỗng ;

b) hệ số rỗng và độ ẩm lúc bắt đầu thí nghiệm khi chiều dày mẫu là 18,8 0mm ; giả thiết rằng đường kính mẫu không đổi và mẫu vẫn bão hòa.

Bài giải

a) Độ ẩm lúc kết thúc thí nghiệm :

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{157,28 - 128,22}{128,22} \\ &= \underline{0,2266 = 22,7\%} \end{aligned}$$

Vì đất bão hòa nên $S_r = 1$, cho nên hệ số rỗng sẽ bằng :

$$e_1 = mG_s = 0,2266 \times 2,68 = \underline{0,607}$$

b) Nếu đường kính mẫu không đổi thì độ thay đổi thể tích ΔV biểu thị bằng độ thay đổi chiều dày ΔH , cho nên :

$$\text{biến dạng thể tích } \frac{\Delta V}{V_0} = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1 + e_0}$$

ở đây V_0 , H_0 và e_0 là giá trị thể tích, chiều dày và hệ số rỗng tương ứng ban đầu.

Hệ số rỗng ban đầu

$$\begin{aligned} e_0 &= e_1 + \frac{\Delta H}{H_0} (1 + e_1) \\ &= 0,607 + \frac{(18,8 - 17,4)}{17,4} (1 + 0,607) = \underline{0,736} \end{aligned}$$

$$\text{Độ ẩm ban đầu } m_0 = 0,736/2,68 = \underline{0,275 = 27,5\%}$$

Ví dụ mẫu 3.6. Một mẫu đất sét được thí nghiệm ở trong phòng và các số liệu sau đây đã được tập hợp :

Khối lượng của mẫu ẩm $M_1 = 148,8g$

Khối lượng của mẫu khô $M_2 = 106,2g$

Thể tích của mẫu ẩm $V = 86,2cm^3$

Tỷ trọng hạt $G_s = 2,70$

Hãy xác định :

a) độ ẩm ;

b) dung trọng thể tích và dung trọng khô ;

c) hệ số rỗng và độ rỗng ;

d) độ bão hòa.

Bài giải

$$\text{a) Độ ẩm } m = \frac{M_1 - M_2}{M_2} = \frac{148,8 - 106,2}{106,2} = \underline{0,401} = \underline{40,1\%}$$

$$\begin{aligned} \text{b) Dung trọng thể tích } \rho &= \frac{\text{khối lượng tổng của đất ẩm}}{\text{thể tích}} \\ &= \frac{148,8 \times 10^{-6}}{86,2 \times 10^{-6}} = \underline{1,73 \text{ Mg/m}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dung trọng khô } \rho_d &= \frac{\text{khối lượng đất khô}}{\text{thể tích}} \\ &= \frac{106,2 \times 10^{-6}}{86,2 \times 10^{-6}} = \underline{1,232 \text{ Mg/m}^3} \end{aligned}$$

$$\text{c) Hệ số rỗng } e \text{ có thể nhận từ biểu thức } \rho_d = \frac{G_s \rho_w}{1 + e}$$

$$1 + e = \frac{G_s \rho_w}{\rho_d} = \frac{2,70 \times 1,00}{1,232} = 2,192$$

$$\text{Vì thế } e = 1,192$$

$$\text{d) Từ } S_r e = m G_s, \text{ rút ra :}$$

$$S_r = \frac{0,401 \times 2,70}{1,192} = \underline{0,908 \approx 91\%}$$

Độ chặt tương đối D_r hay chỉ số độ chặt I_D . Phụ thuộc vào trạng thái nén chặt, hệ số rỗng thực tế của đất nằm ở giá trị nào đó giữa trị số có khả năng lớn nhất $e_{\max}$ và nhỏ nhất $e_{\min}$. Trong trường hợp cát và cuội, có khá nhiều biến đổi nằm giữa hai thái cực. Sự đánh giá thuận tiện về trạng thái nén chặt có được theo quan hệ giữa các giá trị hệ số rỗng, gọi là *độ chặt tương đối D_r hay chỉ số độ chặt I_D* :

$$D_r = I_D = \frac{e_{\max.} - e}{e_{\max.} - e_{\min.}} \quad [3.22]$$

Vì thế, đất ở trạng thái chặt nhất có $D_r = 1$ và đất ở trạng thái rời rạc nhất có $D_r = 0$. Sự phân loại đơn giản được đề nghị cho trạng thái nén chặt nêu ra trong bảng 3-1. Giá trị hệ số rỗng có được từ các thí nghiệm trong phòng.

BẢNG 3-1. CÁC TRẠNG THÁI NÉN CHẶT TƯƠNG ĐỐI

Độ chặt tương đối (%)	0-15	15-35	35-65	65-85	85-100
Trạng thái nén chặt	Rất rời rạc	Rời rạc	Trung bình	Chặt	Rất chặt

3.3. Xác định độ rỗng và hệ số rỗng

Phương pháp thực dụng nhất để xác định độ rỗng và / hoặc hệ số rỗng của đất không dính gồm có việc làm đầy nước trong khuôn hay côngtenơ thích hợp (khuôn nén chặt, bình khí...), rồi thêm đất cho đầy khuôn. Có thể xác định thể tích hạt đất chiếm chỗ bằng cách so sánh khối lượng của nước và của đất + nước trong khuôn. Đất hoặc phải sấy khô (khi bản thân các hạt không rỗng) hoặc ở trong điều kiện làm khô bề mặt bão hòa.

Hệ số rỗng tối thiểu $e_{\min.}$ xác định bằng cách để một khuôn nén chặt tiêu chuẩn (khối lượng là M_0) ở dưới nước. Sau đó cho đất vào trong khuôn thành ba lớp có bề dày xấp xỉ bằng nhau, mỗi lớp được nén chặt hoàn toàn bằng búa rung. Cỗ khuôn được tháo bỏ, gạt đất làm bằng bề mặt và xác định khối lượng M_2 của khuôn + đất + nước.

nếu V - thể tích của khuôn

$$\text{Dung trọng bão hòa } \rho_{\text{sat.}} = \frac{M_2 - M_0}{V}$$

Cũng giả thiết là đất bão hòa, dung trọng thể tích tính theo phương trình [3-15]. Vì thế

$$\rho_{\text{sat. (max.)}} = \frac{G_s + e_{\min.}}{1 + e_{\min.}} \rho_w$$

Chuyển vế, sẽ có :

$$e_{\min.} = \frac{G_s \rho_w - \rho_{\text{sat. (max.)}}}{\rho_{\text{sat. (max.)}} - \rho_w} \quad [3.23a]$$

và
$$n_{\min.} = \frac{e_{\min.}}{1 + e_{\min.}} \quad [3.24a]$$

Hệ số rỗng tối đa $e_{\max}$ xác định gần đúng bằng cách đổ khuôn (hay côngtenơ thích hợp khác) dưới nước và đổ nhanh đất vào cho đúng tới miệng khuôn. Bỏ cổ khuôn đi, gạt đất cho bằng mặt khuôn rồi xác định khối lượng của khuôn + nước + đất. Giá trị $e_{\max}$ và $n_{\max}$ tính theo các công thức sau :

$$e_{\max.} = \frac{G_s \rho_w - \rho_{\text{sat. (min.)}}}{\rho_{\text{sat. (min.)}} - \rho_w} \quad [3.23b]$$

$$n_{\max.} = \frac{e_{\max.}}{1 + e_{\max.}} \quad [3.24b]$$

Ví dụ mẫu 3.7. Để tìm độ chặt tương đối của đất, người ta dùng một khuôn đầm chặt có khối lượng 5,225 kg và thể tích 944 ml. Khi đất trong khuôn được đầm chặt bằng động lực, khối lượng của đất và khuôn là 7,28 kg ; còn khi đất đổ vào ở trạng thái xốp rời, khối lượng là 6,883 kg. Nếu dung trọng khô tại chỗ của đất là $1,54 \text{ Mg/m}^3$ và $G_s = 2,70$, hãy tính độ chặt tương đối của đất.

Bài giải

Khối đầm chặt sẽ cho dung trọng bão hòa tối đa :

$$\rho_{\text{sat. (max)}} = \frac{7,289 - 5,225}{944 \times 10^{-3}} = 2,186 \text{ Mg/m}^3$$

Tính $e_{\min.}$ theo phương trình [3.23a] :

$$e_{\min.} = \frac{2,70 \times 1,00 - 2,186}{2,186 - 1,00} = 0,433$$

Khí xốp rời sẽ cho dung trọng bão hòa tối thiểu :

$$\rho_{\text{sat}(\text{min.})} = \frac{6,883 - 5,225}{994 \times 10^{-3}} = 1,756 \text{ Mg/m}^3$$

Tính $e_{\text{max.}}$ theo phương trình [3.23 b] :

$$e_{\text{max.}} = \frac{2,70 \times 1,00 - 1,756}{1,756 - 1,00} = 1,249$$

Từ phương trình [3.12], rút ra được biểu thức tính e :

$$\begin{aligned} e &= \frac{G_s \rho_w}{\rho_d} - 1 \\ &= \frac{2,70 \times 1,00}{1,54} - 1 = 0,753 \end{aligned}$$

Tính độ chặt tương đối theo phương trình [3.22] :

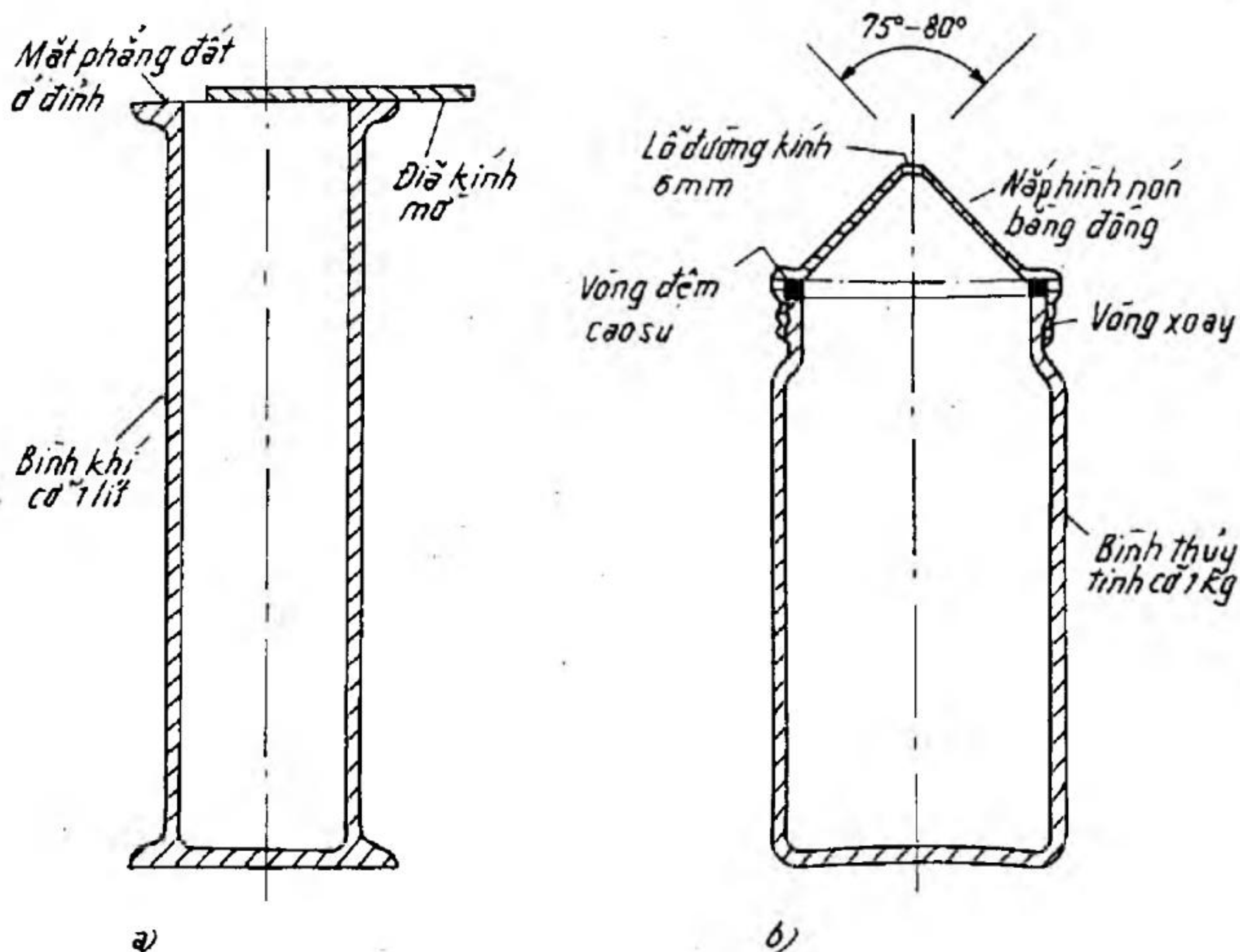
$$D_r = \frac{1,249 - 0,753}{1,249 - 0,433} = \underline{0,61} = \underline{61\%}$$

3.4. Xác định tỷ trọng (hoặc trọng lượng riêng) của hạt đất

Bình dung trọng dung tích 50ml dùng cho đất hạt mịn, côngtenno 500ml hoặc 1000ml dùng cho đất hạt thô, có thể là một bình hơi thông thường (hình 3-4a) hay một bình thủy tinh đặc biệt ăn khớp với một chóp bất vít hình nón được gọi là *pycnometer* (hình 3-4b).

Một lượng đất khô thích hợp (phụ thuộc vào cỡ hạt) được cho vào trong bình rồi cân. Tiếp đó cho nước đã đuổi không khí vào đầy bình và khuấy để làm mất các bọt không khí. Sau khi cho nước đầy áp một cách thận trọng, cân lại bình. Cuối cùng, để bình trống rỗng và lau sạch, rồi đổ nước đầy bình và cân lại.

Nếu gọi : M_1 - khối lượng của bình rỗng ;
 M_2 - khối lượng của bình + đất khô ;
 M_3 - khối lượng của bình + đất + nước ;
 M_4 - khối lượng chỉ của bình + nước.



Hình 3-4.
a) bình hơi ; b) pycnometer

Tỷ trọng của hạt đất được tính theo biểu thức :

$$\begin{aligned}
 G_s &= \frac{\text{khối lượng đất}}{\text{khối lượng nước bị đất chiếm chỗ}} \\
 &= \frac{M_2 - M_1}{(M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)} \quad [3.25a]
 \end{aligned}$$

(Ghi chú. Nếu xem khối lượng riêng của nước $G_w \approx 1$ thì G_s tính được theo [3.25a] là khối lượng riêng của hạt đất, ta hay gọi theo thói quen là trọng lượng riêng).

Một trình tự khác là cân bình trống rỗng rồi đổ đầy nước. Tiếp đó, cho lượng đất đã được cân trước vào bình và khuấy lên. Sau khi làm cho nước đầy áp một cách thận trọng, cân lại bình. Bây giờ, các lượng cân được như sau :

M_1 - khối lượng của bình rỗng ;

M_2 - khối lượng của đất ;

M_3 - khối lượng của bình + đất + nước ;

M_4 - khối lượng chỉ của bình + nước.

Tỷ trọng của hạt đất sẽ tính theo biểu thức :

$$G_s = \frac{M_s}{M_4 - M_3 + M_s} \quad [3.25b]$$

Ví dụ mẫu 3.8. *Thí nghiệm tỷ trọng hạt bằng pycrometer tìm được khối lượng khi bình rỗng là 524 g và khi chứa đầy nước sạch là 1557g. Một mẫu đất không dính được làm khô trong không khí có khối lượng 512g được đổ vào trong bình rồi khuấy lên để đuổi hết không khí còn bị kẹt lại. Tiếp đó, thận trọng đổ nước sạch đầy bình, lúc này khối lượng tổng là 1878g. Hãy xác định tỉ trọng của hạt đất.*

Bài giải

Có thể dùng phương trình [3.25b] để tính tỉ trọng của hạt đất trong đó : $M_1 = 524g$; $M_s = 512g$; $M_3 = 1878g$; $M_4 = 1557g$

$$\begin{aligned} G_s &= \frac{M_s}{M_4 - M_3 + M_s} \\ &= \frac{512}{1557 - 1878 + 512} = \underline{2,68} \end{aligned}$$

3.5. Sự đầm chặt đất

Quá trình đầm chặt làm tăng dung trọng đất là do thể tích lỗ rỗng khí giảm, còn thể tích nước không thay đổi. Điều đó thường

thực hiện bằng cách cơ học như đầm lăn, đầm nện hoặc rung đất. Trong xây dựng nền đường, đường băng, đập đất và khối đắp, đất đổ thành lớp có bề dày đã định, mỗi lớp được đầm chặt cho tới mức yêu cầu phụ thuộc vào loại thiết bị dùng. Bảng 3-2 là bảng liệt kê so sánh các loại thiết bị đầm chặt thường dùng.

BẢNG 3-2. SỰ THÍCH HỢP CỦA THIẾT BỊ ĐẦM CHẶT

<i>Loại thiết bị</i>	<i>Thích hợp cho</i>	<i>Không thích hợp cho</i>
Xe lu bánh nhẵn	Cát và cuội cấp phối tốt ; bụi và sét có tính dẻo thấp	Cát đồng nhất, cát chứa bụi ; sét yếu
Xe lu lưới sắt	Cát và cuội cấp phối tốt ; đá yếu ; đất dính chứa vụn đá	Cát đồng nhất ; cát chứa bụi sét chứa bụi.
Xe lu chân cừ (Xe lu đầm)	Cát và cuội có hạt mịn trên 20% ; hầu hết đất hạt mịn	Đất hạt rất thô ; cuội không có hạt mịn
Xe lu bánh lốp - chạy bằng khí	Hầu hết đất hạt thô và hạt mịn	Đất sét rất yếu ; đất có độ sét thay đổi mạnh
Xe lu rung động	Cát và cuội không có hạt mịn đất dính ẩm	Bụi và sét ; đất có hạt mịn 5% hay nhiều hơn ; đất khô
Thiết bị đầm rung	Đất có tới 12-15% hạt mịn vùng đầm nện hạn chế	Khối lượng công việc lớn
Đầm máy	Khối đắp chân khay ; công tác ở vùng hẹp hoặc nơi lối vào bị hạn chế	Khối lượng công việc lớn

Ba mục tiêu chính của việc đầm chặt đất là :

a) Giảm hệ số rỗng và vì thế giảm hệ số thấm của đất

(điều đó cũng có ảnh hưởng điều chỉnh sự hấp phụ nước và các thay đổi sau đó của độ ẩm).

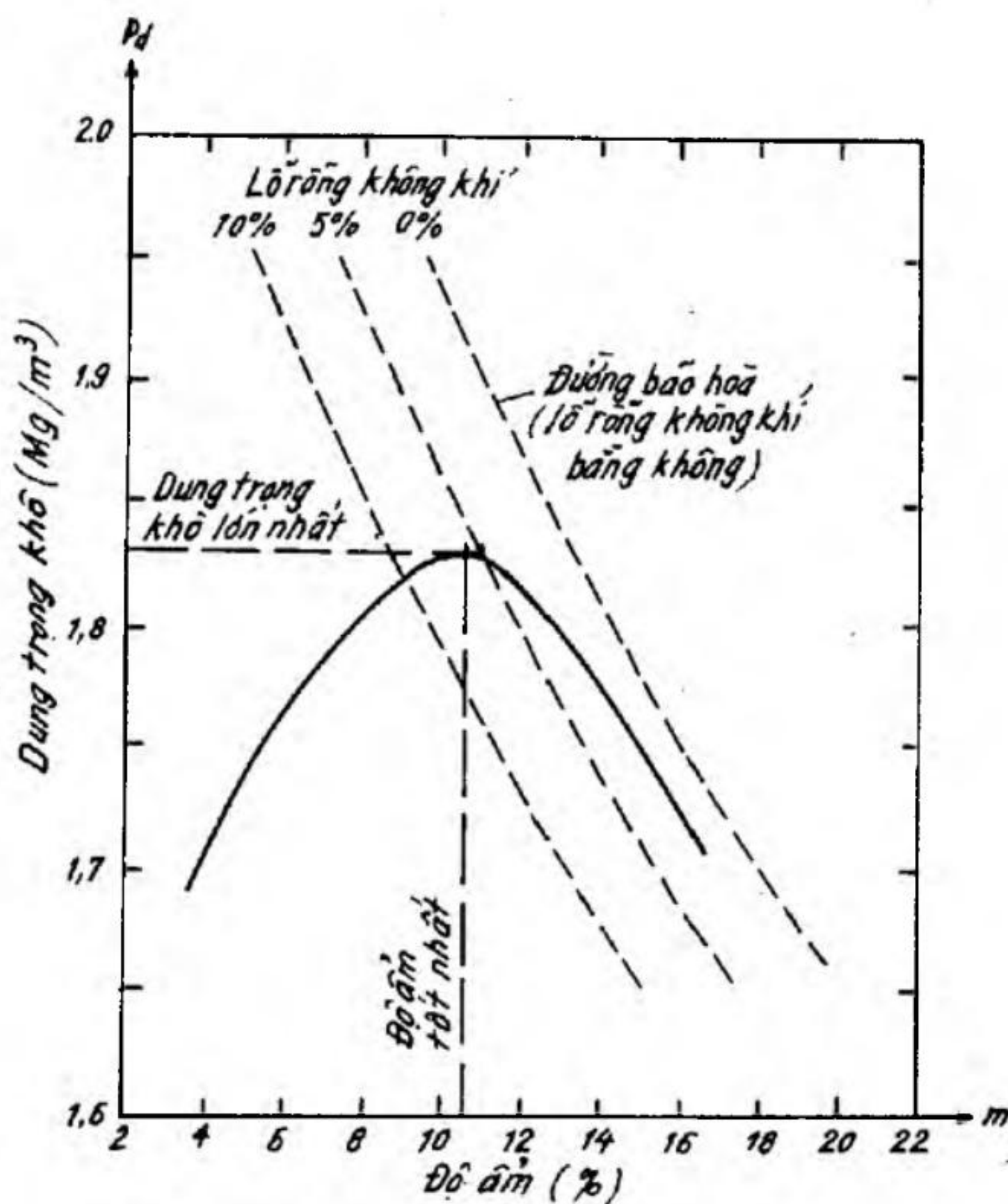
b) Tăng độ bền chống cát và do vậy tăng sức chịu tải của đất.

c) Làm cho đất kém nhạy cảm với các thay đổi thể tích tiếp đó và vì thế khuynh hướng bị lún dưới tải trọng hay do ảnh hưởng rung động giảm đi.

Hiệu quả của quá trình đầm chặt phụ thuộc vào một số yếu tố sau :

- a) Bản chất và loại đất (như cát hay sét, cỡ hạt đều hay cấp phối tốt, dẻo hay không dẻo).
- b) Độ ẩm vào lúc đổ đất.
- c) Trạng thái đầm chặt khả dĩ tối đa có thể đạt được cho đất.
- d) Giá trị đầm chặt tối đa có thể đạt được trong điều kiện ngoài trời.
- e) Loại thiết bị đầm chặt được dùng.

Quan hệ dung trọng khô tối đa - độ ẩm. Trạng thái đầm chặt của đất được đánh giá thuận lợi bằng dung trọng khô, giá trị



Hình 3-5. Đồ thị quan hệ dung trọng khô - độ ẩm

có thể đạt được của nó liên quan với độ ẩm. Khi thêm nước vào đất khô, màng nước hấp phụ sẽ hình thành ở quanh hạt. Khi bề dày màng nước hấp phụ tăng lên, các hạt trở nên bôi trơn và có xu hướng ghép lại gần nhau hơn, vì thế dung trọng tăng lên. Tuy nhiên, tới một điểm xác định màng nước hấp phụ bắt đầu đẩy xa các hạt và do thế độ ẩm tăng thêm lại làm dung trọng giảm đi. Bởi vậy, *dung trọng khô tối đa ứng với độ ẩm tốt nhất* như ở hình 3-5.

Để đánh giá khả năng đầm chặt của đất, có thể dùng một trong ba thí nghiệm tiêu chuẩn trong phòng, chi tiết xem Tiêu chuẩn Anh BS1377 (1975) và có thể tóm tắt như bảng 3-3.

BẢNG 3-3. CÁC THÍ NGHIỆM ĐẦM CHẶT THEO TIÊU CHUẨN ANH

	<i>Tên thí nghiệm thịnh hành</i>		
	<i>Thí nghiệm cối đầm tiêu chuẩn Proctor</i>	<i>Thí nghiệm AASHO cải tiến</i>	<i>Thí nghiệm búa rung</i>
Qui định của Tiêu chuẩn Anh	Phương pháp 2,5 kg	Phương pháp 4,5 kg	Phương pháp búa rung
Đất : khối lượng	5 kg	5kg	25kg
kích thước	20mm	20mm	37,5mm
Khuôn : thể tích	1000 cm ³	1000cm ³	2305cm ³
đường kính trong	105mm	105mm	152mm
chiều cao	115,5mm	115,5mm	127mm
Đầm : khối lượng	2,5kg	4,5kg	Búa
đường kính mặt	50mm	50mm	rung
độ rơi	300mm	450mm	Đường kính 145mm
Số lớp	3	5	3
Số cú nện cho mỗi lớp	27	27	Rung trong 60s

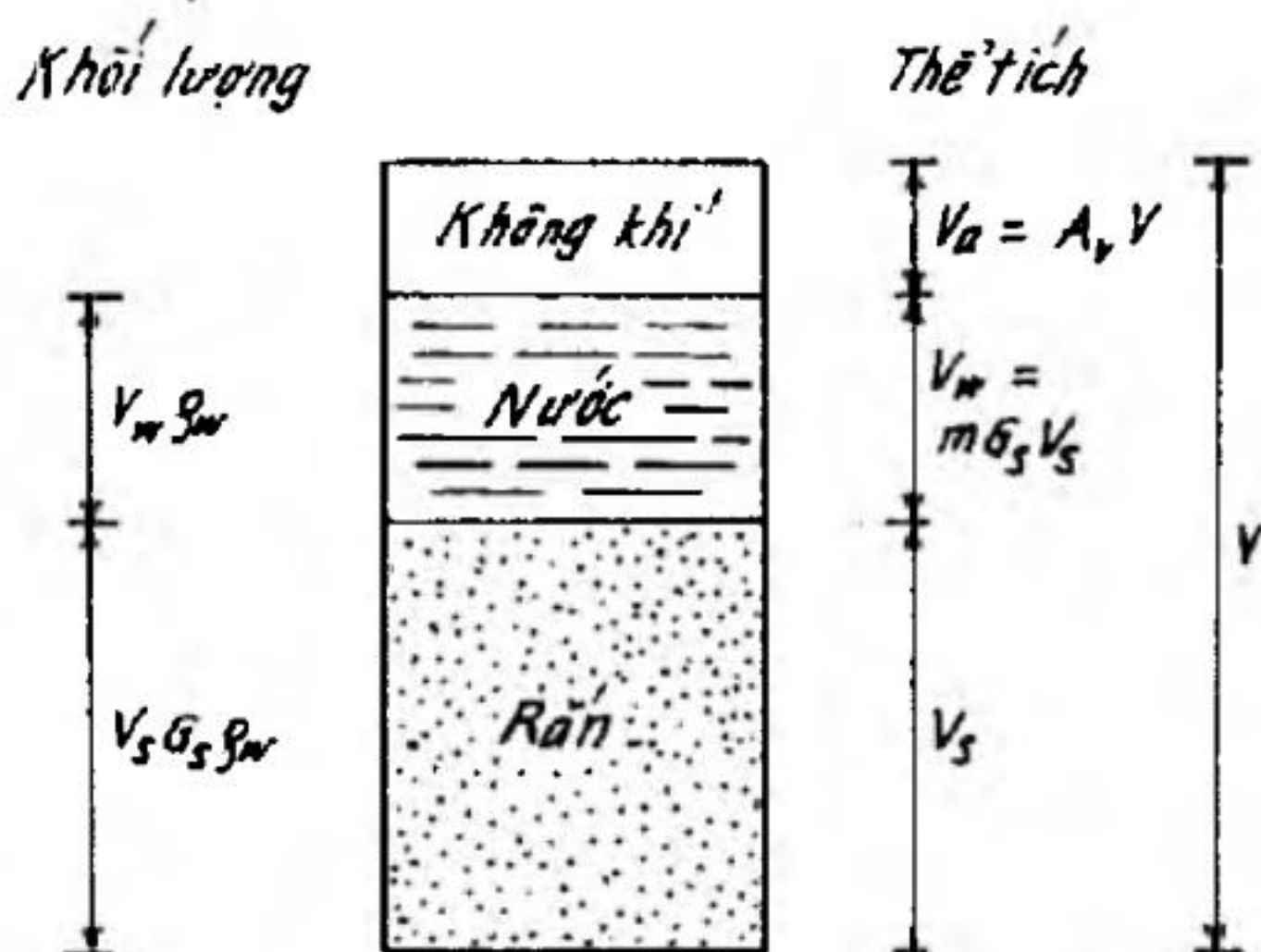
Phương pháp thí nghiệm chủ yếu bao gồm việc đưa đất vào trong khuôn thích hợp thành ba hay năm lớp như nhau, mỗi lớp chịu lực đầm chặt có giá trị đã định. Sau khi đầm chặt lớp cuối cùng, xác định dung trọng tự nhiên đất chứa trong khuôn và lấy mẫu đất để xác định độ ẩm. Rồi đất được lấy khỏi khuôn đem trộn lại với lượng nước thêm vào và trình tự thí nghiệm được lặp lại.

Phải tiến hành tổng cộng ít nhất là năm thí nghiệm với một loại đất đã cho. Đầu tiên, đất được làm khô trong không khí và tách bỏ các hạt lớn hơn 20mm.

Từ các giá trị của dung trọng tự nhiên và độ ẩm nhận được, dung trọng khô được tính theo phương trình [3.14].

$$\rho_d = \rho / (1 + m)$$

tiếp đó vẽ đồ thị quan hệ dung trọng khô - độ ẩm (hình 3-5). Từ đường cong, xác định được *dung trọng khô tối đa* ứng với giá trị của lực đầm chặt đó. Giá trị độ ẩm tương ứng với dung trọng khô tối đa, được gọi là *độ ẩm tốt nhất*, cũng được báo cáo.



Hình 3-6. Mô hình mẫu đất

Tại một độ ẩm đã cho, dung trọng khô khả dĩ tối đa được hiểu như là *dung trọng khô bão hòa*, ở trạng thái này đất có lỗ rỗng không khí bằng không, nghĩa là $A_v = 0$. Với giá trị $A_v > 0$, dung trọng khô tối đa có khả năng nhận được tính theo biểu thức sau :

$$\rho_d = \frac{G_s \rho_w}{1 + m G_s} (1 - A_v) \quad [3.26]$$

Biểu thức trên tìm được như sau. Xem xét mô hình mẫu đất ở hình 3-6, thấy là :

Thể tích tổng $V = V_a + V_w + V_s$

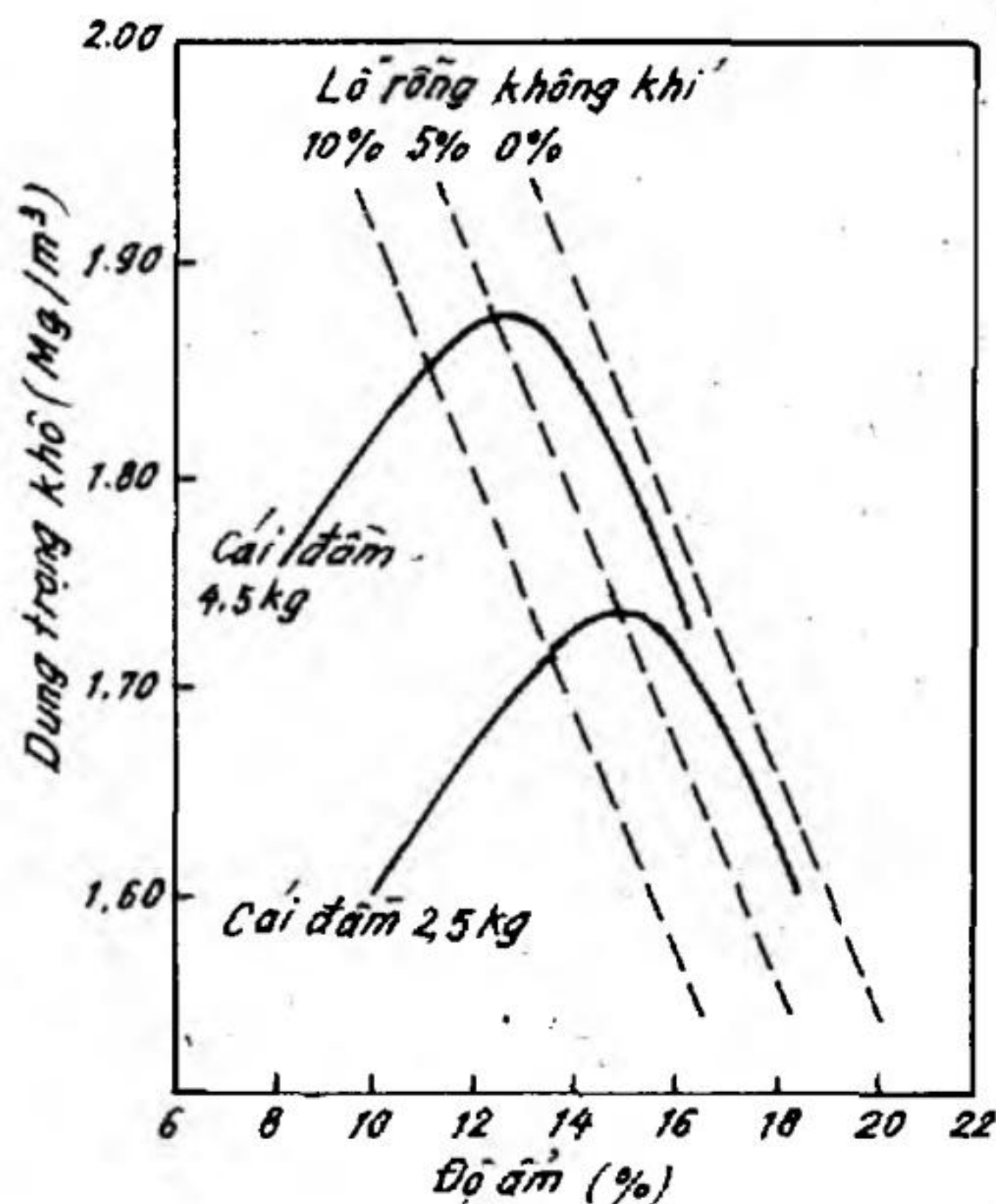
Tiến hành thay thế và chuyển vế, sẽ có :

$$V(1 - A_v) = V_s(1 + m G_s)$$

Cho ta :
$$\frac{V_s}{V} = \frac{1 - A_v}{1 + m G_s}$$

Bây giờ
$$\rho_d = \frac{V_s G_s \rho_w}{V}$$

Cuối cùng, rút ra
$$\rho_d = \frac{G_s \rho_w}{1 + m G_s} (1 - A_v)$$



Hình 3-7. Ảnh hưởng của lực đầm chặt khác nhau tới đường cong dung trọng khô - độ ẩm

Để đánh giá được lượng lỗ rỗng không khí trong đất, một nhóm các đường cong biểu thị 0%, 5% và 10% lỗ rỗng không khí được thêm vào đồ thị dung trọng khô - độ ẩm (hình 3-5). Sự tăng lực đầm chặt tạo ra dung trọng khô tối đa cao hơn tại một độ ẩm tốt nhất thấp hơn với hệ số rỗng không khí hầu như vẫn không thay đổi (hình 3-7).

Ví dụ mẫu 3-9. Trong một thí nghiệm đầm chặt theo Tiêu chuẩn Anh, có được các số liệu sau đây :

Độ ẩm (%)	5	8	10	13	16	19
Dung trọng thể tích (Mg/m ³)	1,87	2,04	2,13	2,20	2,16	2,09

$G_s = 2,70.$

a) Vẽ đồ thị quan hệ dung trọng khô - độ ẩm ; từ đường cong này xác định dung trọng khô tối đa và độ ẩm tốt nhất.

b) Trên cùng hệ trục, vẽ đường cong $\rho_d - m$ cho lỗ rỗng không khí 0% và 5% và từ đó xác định lượng lỗ rỗng không khí cho dung trọng khô tối đa.

Bài giải

Từ phương trình [3.14], rút ra : $\rho_d = \rho(1 + m)$

Độ ẩm (%)	5	8	10	13	16	19
Dung trọng khô (Mg/m^3)	1,77	1,89	1,94	1,95	1,86	1,76

Theo các số liệu này vẽ đường cong quan hệ dung trọng khô - độ ẩm như thấy ở hình 3-8.

Từ đường cong này xác định được dung trọng khô tối đa $1,96 \text{ Mg/m}^3$, độ ẩm tốt nhất là 11,9%.

b) Dùng phương trình [3.26], dung trọng khô tương ứng với lỗ rỗng không khí là 0% và 5% sẽ là :

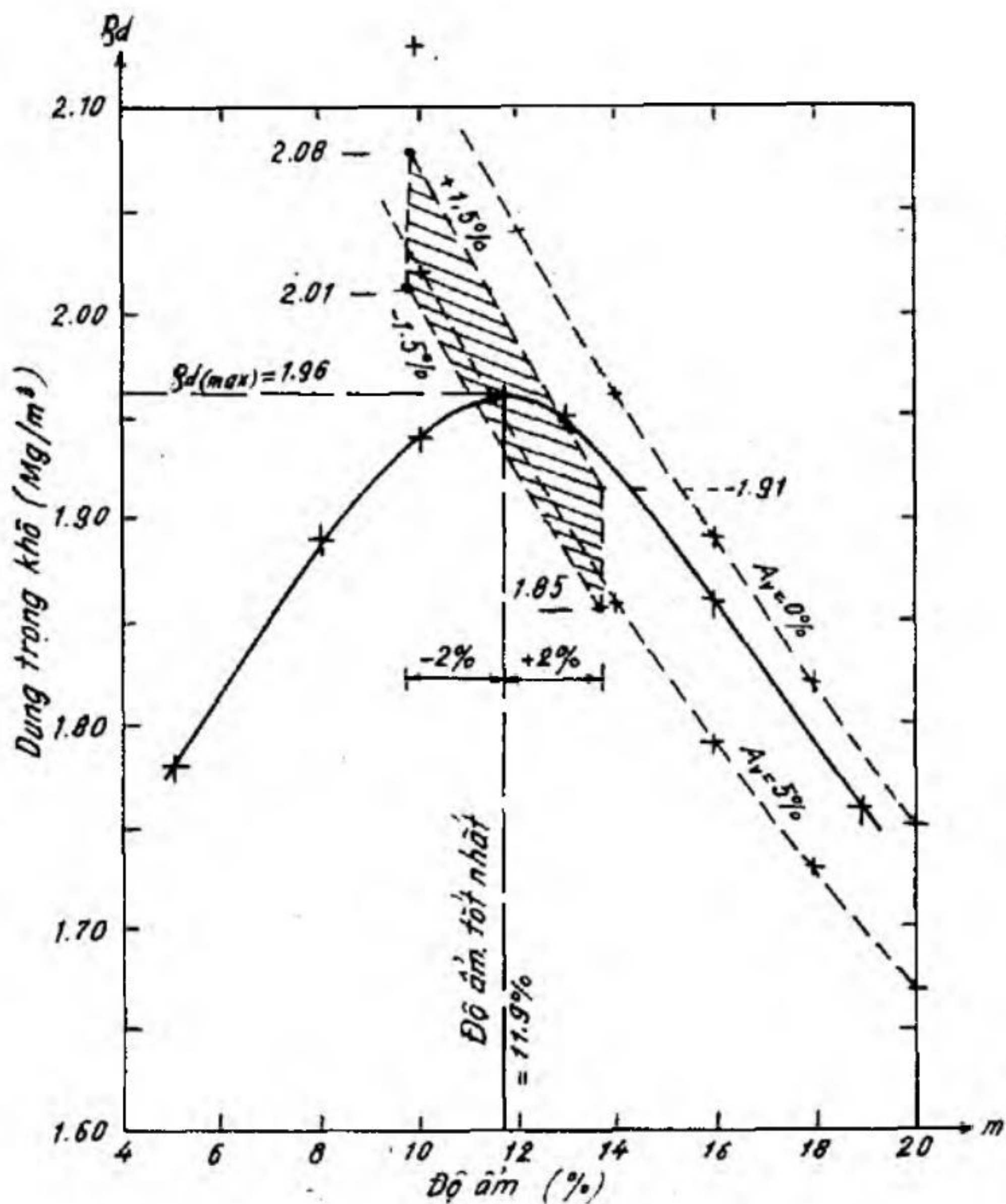
	Độ ẩm (%)					
	10	12	14	16	18	20
ρ_d khi $A_v = 0\%$	2,13	2,04	1,96	1,89	1,82	1,75
$A_v = 5\%$	2,02	1,94	1,86	1,79	1,73	1,67

Bằng hai đường cong vẽ được (hình 3-8), tại giá trị $\rho_{d(\max.)}$ nội suy ra $A_v = 4,0\%$.

Hoặc tính bằng phương trình [3.26] :

$$A_v = 1 - \frac{1,96}{2,7 \times 1,00} (1 + 2,7 \times 0,119) = \underline{0,0408} \approx \underline{4,1\%}$$

Giá trị A_v tại dung trọng khô tối đa đôi khi được xem như là hệ số rỗng không khí tốt nhất hay lượng chứa không khí tốt nhất.



Hình 3-8. Đường cong quan hệ dung trọng khô - độ ẩm ở ví dụ mẫu 3.9

Ví dụ mẫu 3.10. Trong điều kiện ngoài trời, các biến đổi của lực đầm chặt tác dụng có thể tạo nên lượng lỗ rỗng không khí thay đổi $\pm 1,5\%$. Cũng như vậy, độ ẩm ngoài trời dao động trên và dưới độ ẩm tốt nhất là 2% . Do vậy, hãy chỉ ra phạm vi dung trọng khô có thể tìm được sau khi đầm chặt ở ngoài trời.

Bài giải

Vùng gạch bóng đặt trên cùng của đường cong ở hình 3-8 biểu thị giới hạn được đánh giá cho các giá trị dung trọng khô dựa trên $A_v (\rho_{d(max.)}) = \pm 1,5\%$ và $m = m_{opt.} \pm 2\%$.

$$\text{Tại } m = m_{opt} - 2\% \quad \rho_d = 2,01 \text{ tới } 2,08 \text{ Mg/m}^3$$

$$\text{Tại } m = m_{opt} + 2\% \quad \rho_d = 1,85 \text{ tới } 1,91 \text{ Mg/m}^3$$

Mức kiểm tra tối thiểu yêu cầu để bảo đảm việc đầm chặt đầy đủ ở bên trong các giới hạn này có thể lấy từ vùng được đánh bóng là 1,91Mg/m³.

3.6. Xác định dung trọng ở ngoài trời

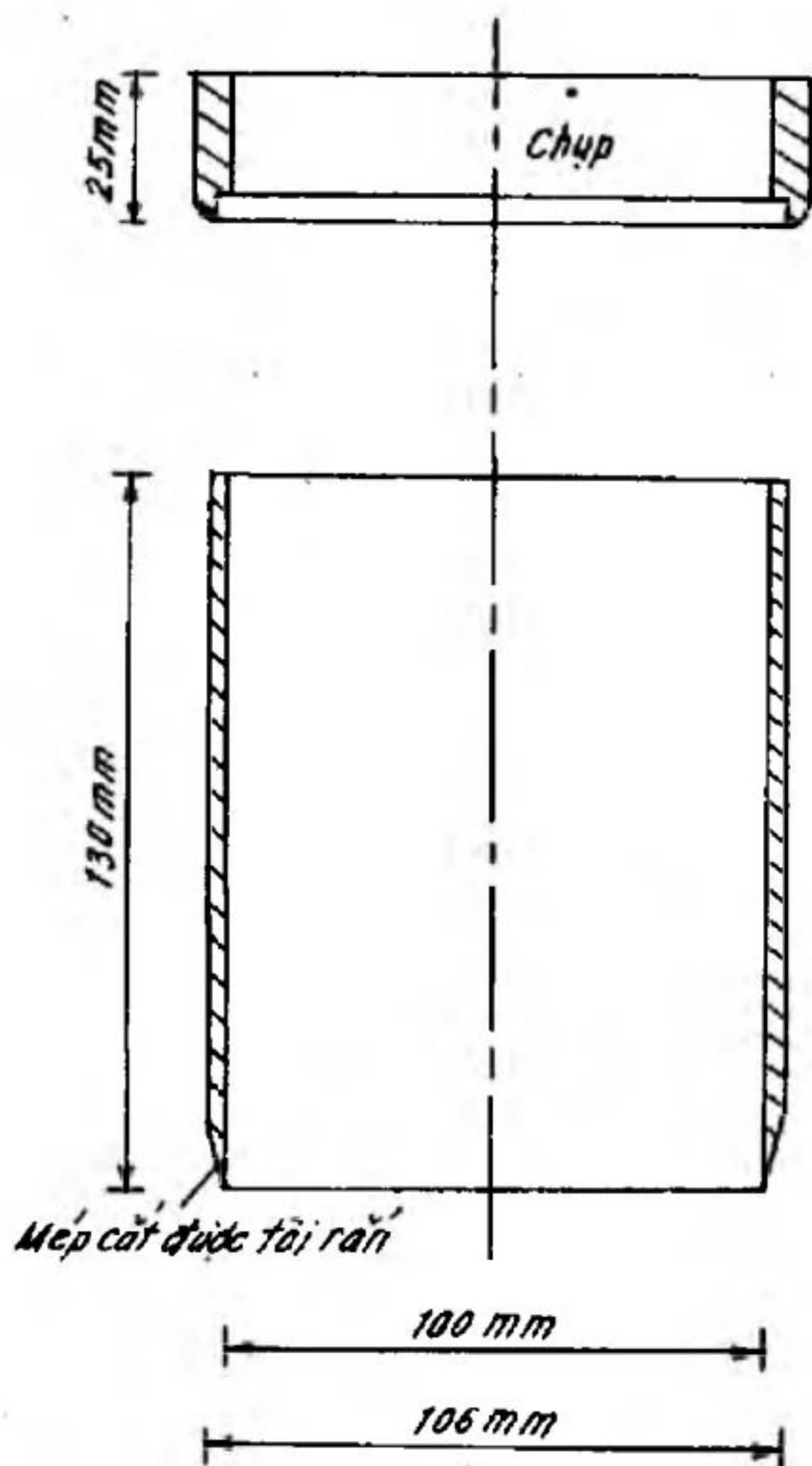
Dung trọng khô xác định ở ngoài trời sau khi đầm chặt phải so sánh với giá trị tối đa nhận được trong phòng thí nghiệm. Tiêu chuẩn chất lượng yêu cầu có thể định rõ bằng *phần trăm đầm chặt tương đối*.

$$\text{Đầm chặt tương đối} = \frac{\rho_d \text{ đạt được}}{\rho_d \text{ tối đa}} \times 100 \quad [3.27]$$

Một tóm tắt các chi tiết kĩ thuật cho đầm chặt được trình bày trong phần 3.7.

Để xác định được dung trọng khô đạt được ở hiện trường, cần xác định thường xuyên dung trọng thể tích và độ ẩm của vật liệu đắp. Phải lấy mẫu dọc theo đường tâm và các rìa của vùng đầm chặt với khoảng cách 20 – 50m hoặc theo một tần số xấp xỉ về pháp đo đạc cho mỗi 1000m². Với các lớp dày hơn 250 mm, phải tiến hành đo đạc trong 150mm đáy lớp. Một số phương pháp thường dùng và các chi tiết đầy đủ được cho trong Tiêu chuẩn Anh 1377 (BS 1377).

Phương pháp cát lõi. Phương pháp này thích hợp cho đất dính không có đá và được tiến hành như sau : dùng đầm thép được thiết kế đặc biệt để đóng một ống trụ bằng thép, có chụp bảo vệ,

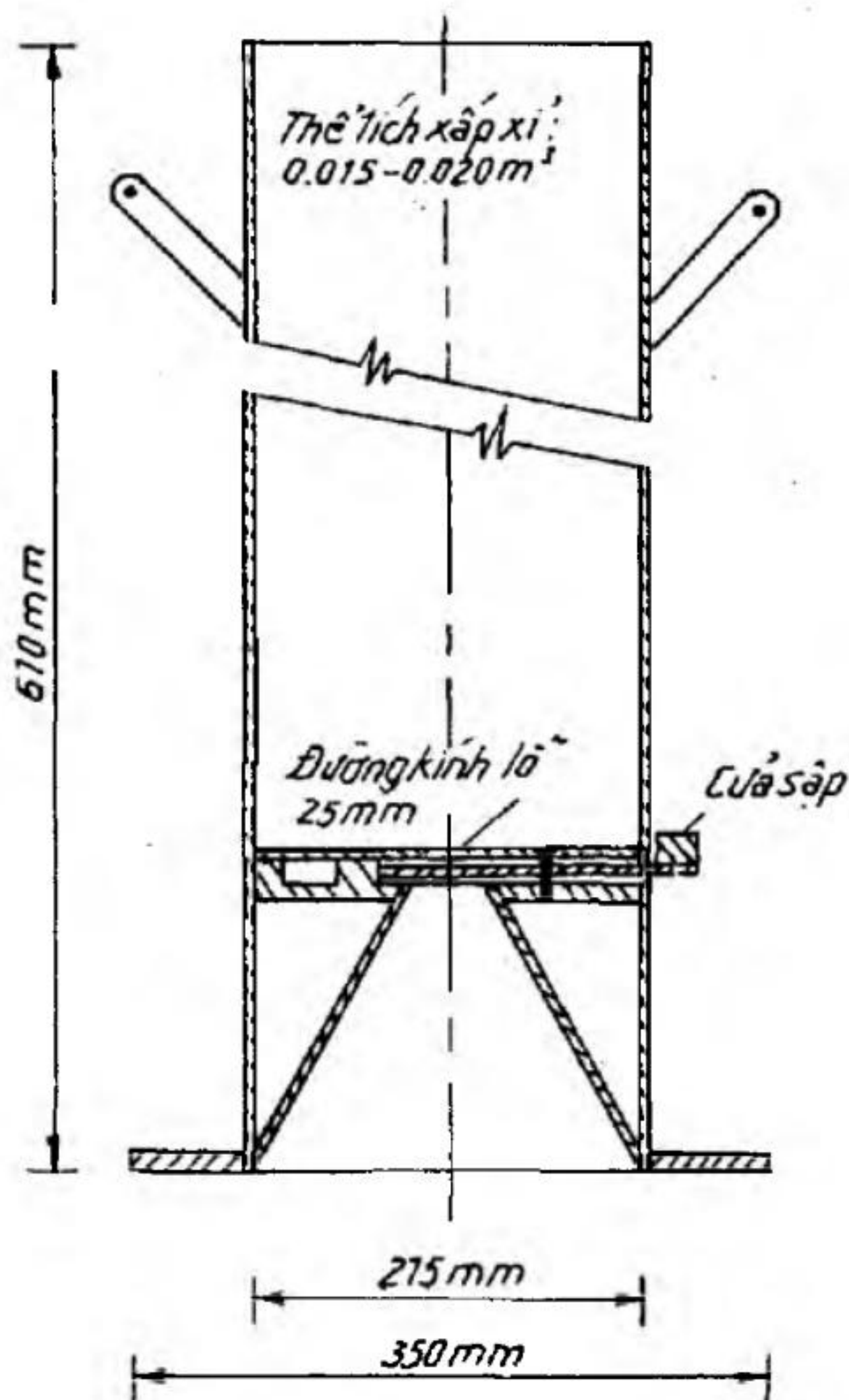


Hình 3-9. Dụng cụ cắt lõi và chụp bảo vệ

với mép cắt cứng vào trong đất (hình 3-9). Dụng cụ cắt sau đó được đào ra và gọt bớt đất cho ngang bằng ở mỗi đầu. Vì đã biết thể tích của dụng cụ cắt và cân tìm được khối lượng đất chứa trong ống trụ nên dung trọng thể tích có thể xác định dễ dàng. Đồng thời, lấy các mẫu đất nhỏ từ hai đầu để xác định độ ẩm.

Phương pháp thay thế bằng cát. Phương pháp này thích hợp cho đất dạng hạt và cần phải dùng một ống trụ để rót cát như thấy ở hình 3-10.

Trước tiên, đào một hố nhỏ có đường kính khoảng 100mm và độ sâu không lớn hơn 150mm, đất đào lên được cân cẩn thận. Rồi xác định thể tích hố bằng cách rót cát từ ống trụ vào trong hố. Cân ống trụ rót cát trước và sau khi rót sẽ xác định được khối lượng cát lấp đầy hố. Vì đã biết dung trọng của cát, có thể xác định thể tích của hố và do vậy tính được dung trọng tự nhiên của đất tại chỗ. Hai kích cỡ của ống trụ rót cát được đề nghị dùng là : loại nhỏ thích hợp cho đất hạt mịn và hạt trung còn loại lớn cho đất hạt mịn, hạt trung và hạt thô.



Hình 3-10. Ống trụ rót cát cỡ lớn

Ví dụ mẫu 3.11. Tiến hành thí nghiệm thay thế bằng cát để xác định dung trọng tự nhiên tại chỗ của một loại đất. Từ các số liệu thu thập ở dưới đây, xác định giá trị dung trọng yêu cầu tính.

Khối lượng đất đào từ hố là 2764 g.

Khối lượng tổng ban đầu của ống trụ rót cát là 5724g.

Khối lượng tổng cuối cùng của ống trụ rót cát là 3172g.

Thể tích của nón trong ống trụ rót cát là 248cm^3 .

Dung trọng của cát được rót là 1560kg/m^3 .

Bài gidi

Khối lượng cát chảy khỏi ống trụ :

$$(5724 - 3172)10^{-3} = 2,552 \text{ kg}$$

Khối lượng cát trong nón của ống trụ :

$$248 \times 10^{-6} \times 1560 = 0,387 \text{ kg}$$

Khối lượng cát cần để làm đầy hố :

$$2,552 - 0,387 = 2,165 \text{ kg}$$

Thể tích của hố :

$$\frac{2,165}{1560} = 1,388 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Dung trọng tự nhiên của đất tại chỗ :

$$\frac{2764 \times 10^{-6}}{1,388 \times 10^{-3}} = \underline{1,99 \text{ Mg/m}^3}$$

Phương pháp nhúng trong nước. Phương pháp này thích hợp cho đất dính hay đất ổn định và ở nơi cục đất lấy được chưa bị phá hủy có hình dạng bất kì. Mẫu cục được cân cho khối lượng M_s và sau khi bọc sáp parafin đem cân lại cho khối lượng M_w . Rồi treo lơ lửng mẫu đã bọc trong nước trên một đòn cân và ghi lại khối lượng ngập nước M_G .

Khối lượng của sáp parafin $M_p = M_w - M_s$.

Nếu dung trọng của sáp parafin là ρ_p và dung trọng của nước là ρ_w , thì thể tích mẫu tính theo biểu thức :

$$V_s = \frac{M_w - M_G}{\rho_w} - \frac{M_p}{\rho_p}$$

và dung trọng tự nhiên tính theo biểu thức sau :

$$\rho = \frac{M_s}{V_s}$$

Ví dụ mẫu 3.12. Một mẫu đất sét rắn chắc có dạng bất kì được cắt ra từ một hố thăm dò và gửi đi thí nghiệm ở trong phòng. Để xác định dung trọng tự nhiên, mẫu được bọc bằng sáp parafin và xác định thể tích bằng cách chiếm chỗ trong nước. Các số liệu tập hợp lại như sau :

Khối lượng khi nhận là 924,2g.

Khối lượng đất sau khi bọc bằng sáp parafin là 946,6g.

Thể tích nước thay thế là 513,1ml.

Trọng lượng riêng của sáp là 0,9.

Hãy xác định dung trọng tự nhiên của đất.

Bài giải

Khối lượng của sáp parafin đã dùng :

$$946,6 - 924,2 = 22,4\text{g}$$

Thể tích của sáp parafin đã dùng :

$$22,4/0,9 = 24,9 \text{ ml}$$

Thể tích của đất :

$$513,1 - 24,9 = 488,2\text{ml}$$

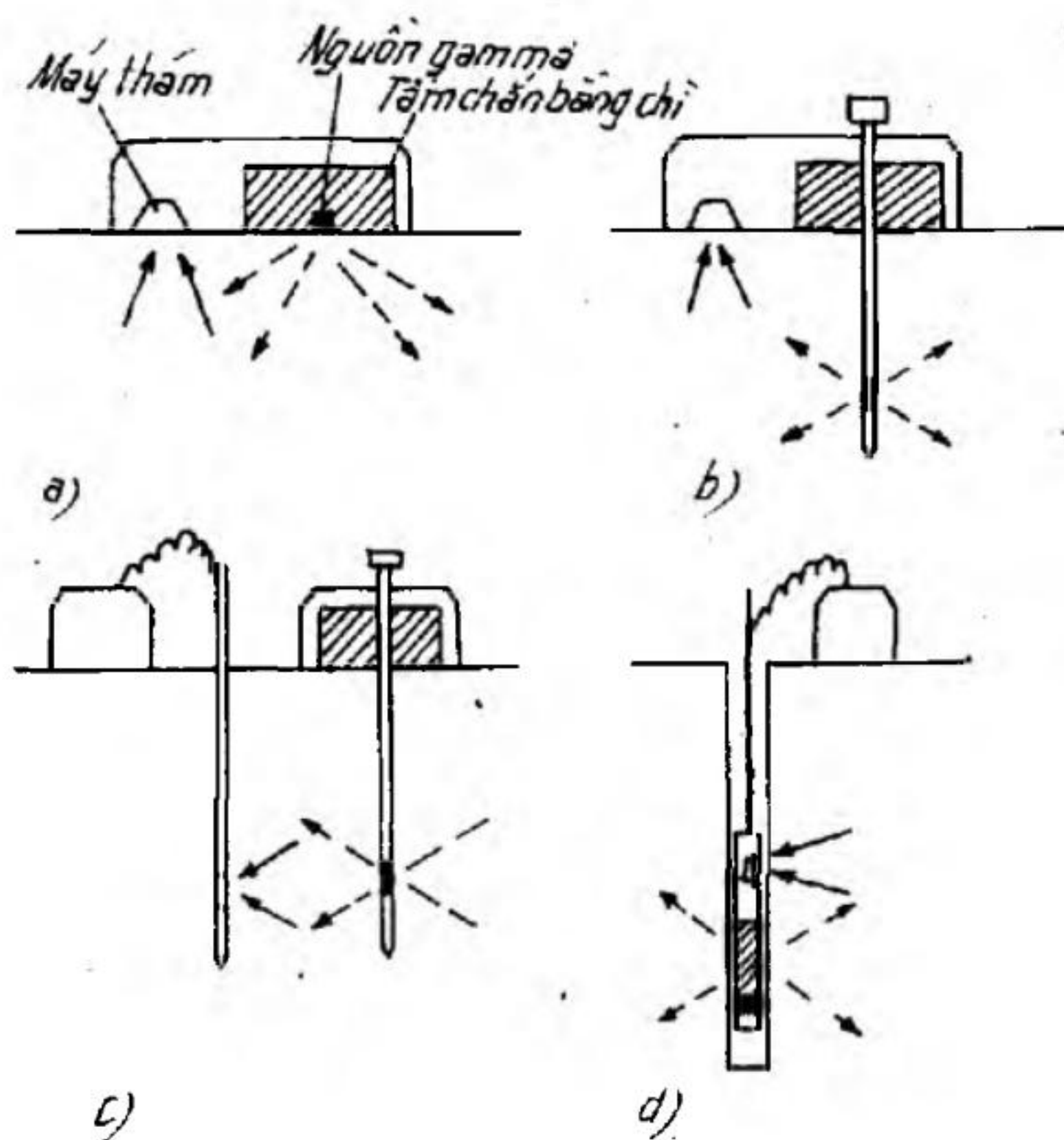
Dung trọng tự nhiên của đất :

$$\begin{aligned}\rho &= \text{khối lượng} / \text{thể tích} \\ &= \frac{924,2 \times 10^6}{488,2 \times 10^6} \\ &= \underline{1,89 \text{ Mg/m}^3}\end{aligned}$$

Phương pháp thay thế nước. Phương pháp này tương tự như phương pháp nhúng trong nước, chỉ khác là thể tích của mẫu bọc sáp tìm được bằng hạ thấp nó vào trong một thùng nước chứa có một ống xi phong dẫn nước ra ngoài và đo thể tích nước bị chuyển chỗ.

Phương pháp hạt nhân. Dùng kĩ thuật kiểm tra phát xạ gamma có thể đo được cả dung trọng tự nhiên lẫn độ ẩm của đất

tại chỗ. Thông thường, thiết bị gồm có một nguồn phát xạ nhỏ có bao che và một thiết bị phát hiện. Một số phương pháp đã được phát minh ra là : dùng cách phân tán ngược trên mặt, máy thám đơn và kép hay các dụng cụ ở trong lỗ thăm (hình 3-11). Cường độ truyền phát xạ hay phát xạ phân tán ngược thay đổi theo dung trọng và độ ẩm. Dùng các bảng tiêu định liên hệ cường độ phát xạ được thăm dò và các giá trị ghi được của đất đã biết cường độ phát xạ (ASSHTO, 1986 ; ASTM, 1986).

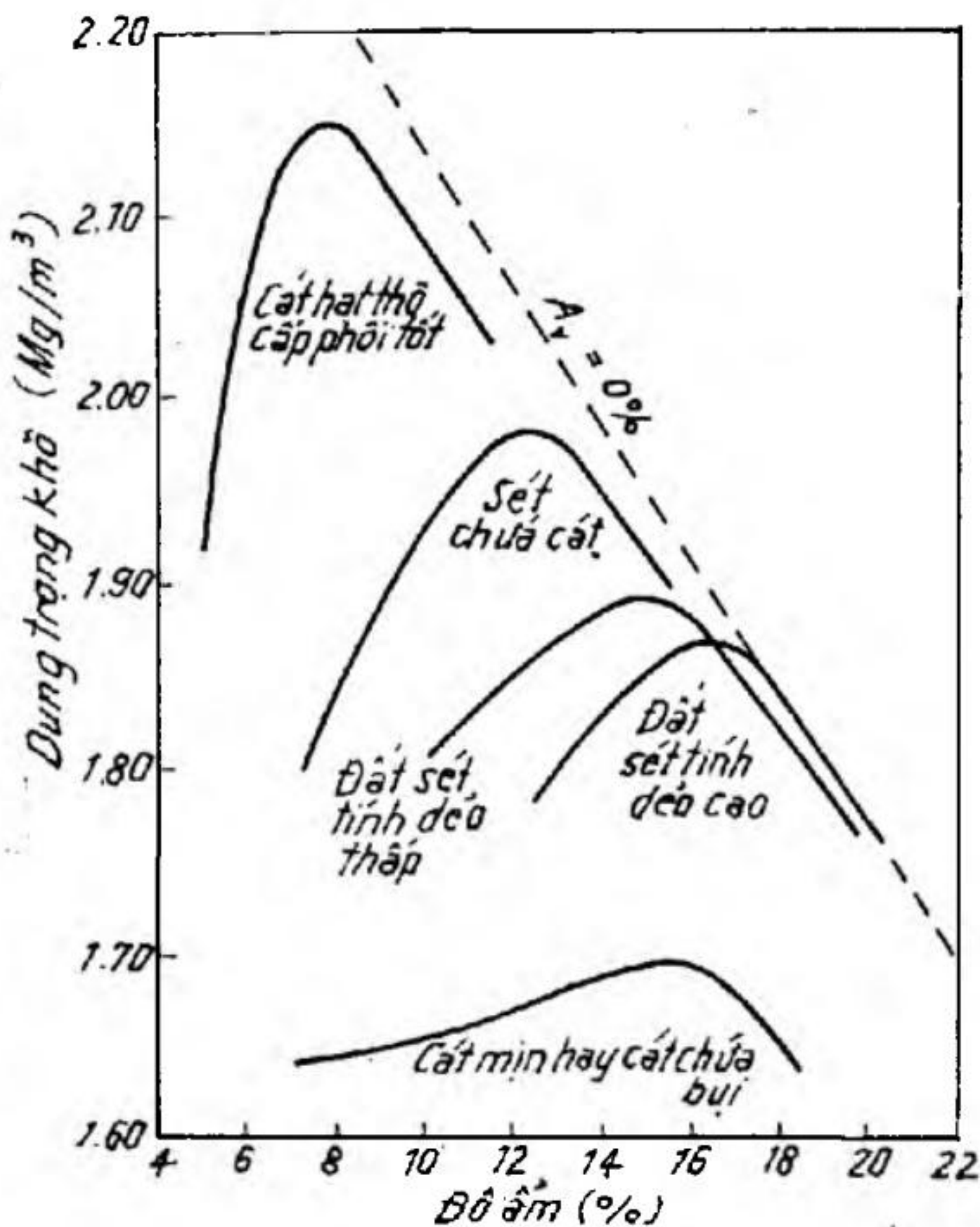


Hình 3-11. Xác định dung trọng và độ ẩm tại chỗ bằng phương pháp hạt nhân

- a) phân tán ngược trên mặt ; b) máy thám đơn ;
c) máy thám kép ; d) thiết bị trong lỗ thăm

3.7. Quy trình kĩ thuật và giám sát chất lượng đầm chặt

Chất lượng của việc đầm chặt đạt được ở công trường sẽ phụ thuộc vào :



Hình 3-12 Ảnh hưởng của loại đất đến đầm chặt

a) Độ lớn của lực đầm chặt tức là loại và khối lượng của thiết bị dùng, số lần qua lại khi đầm và bề dày của lớp cho mỗi lần đầm.

b) Độ ẩm ở ngoài trời, có thể cần được thay đổi trong điều kiện khô ráo hoặc ở nơi phải giảm độ bền chống cát để đầm chặt có hiệu quả (như ở lõi sét của đập và màn chống thấm).

c) **Loại đất** : đất sét có tính dẻo cao có thể có độ ẩm trên 30% cũng đạt độ bền tương tự với đất sét có tính dẻo thấp hơn có độ ẩm dưới 20%. Đất hạt thô cấp phối tốt có thể đầm chặt cho dung trọng cao hơn đất đồng nhất hay đất bụi (hình 3-12).

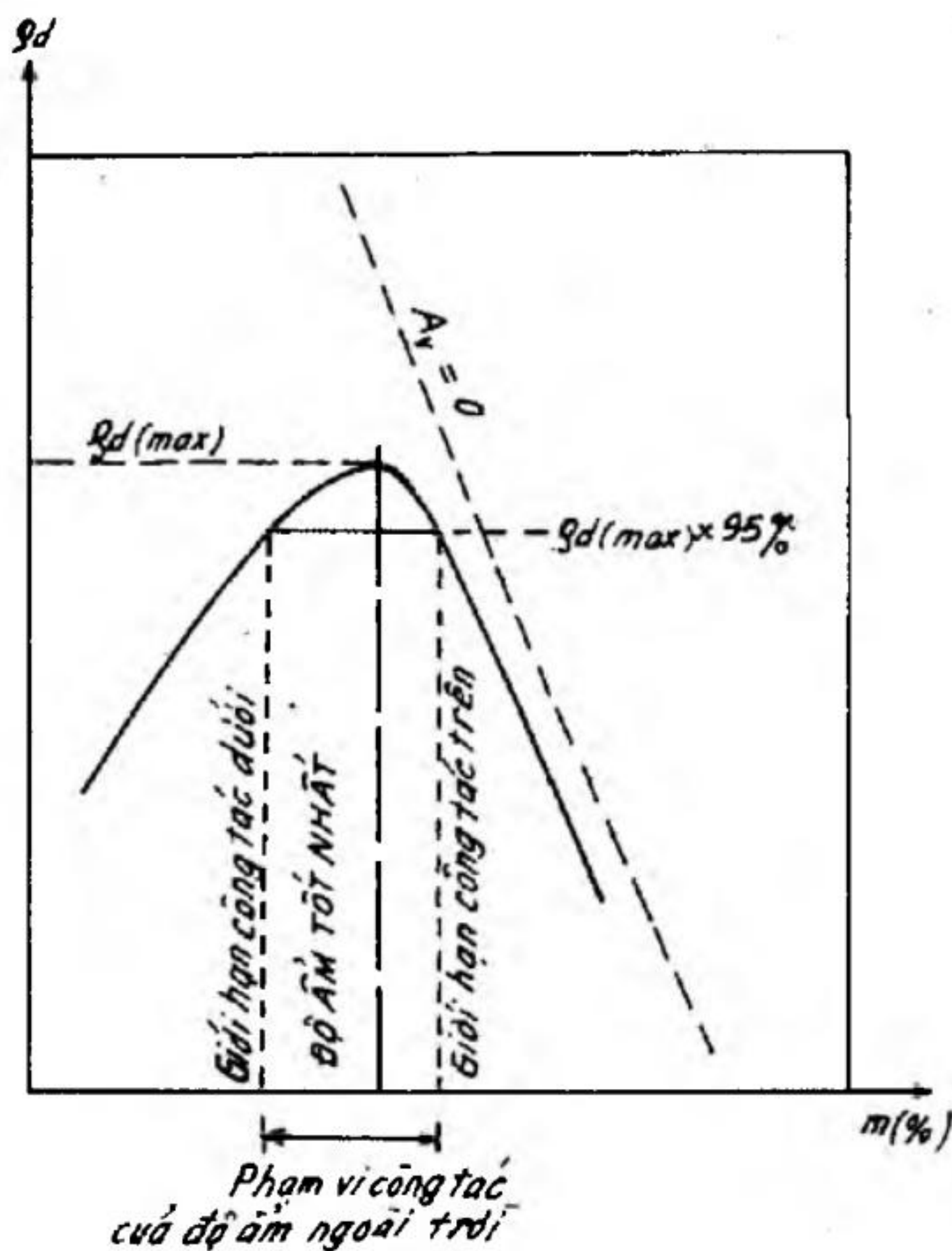
Quy trình kĩ thuật về chất lượng đầm chặt được chia thành hai nhóm riêng biệt (Parson, 1987).

Bản kê kết quả cuối cùng. Trong bản kê kết quả cuối cùng, người ta dùng một đặc trưng đo được của đất như dung trọng khô hay lượng lỗ rỗng không khí. *Độ đầm chặt tương đối* có thể biểu diễn bằng tỉ số giữa dung trọng ngoài trời đạt được và một giá trị tối đa quy ước nhận được trong phòng (xem phần 3.6). Độ chặt tương đối có thể tính cách khác cả từ dung trọng bão hòa (phương trình [3.22]) cũng như từ dung trọng khô :

Độ chặt khô tương đối

$$D_d = \frac{\rho_d \max (\rho_d \text{ hiện trường} - \rho_d \min)}{\rho_d \text{ hiện trường} (\rho_d \max - \rho_d \min)} \times 100 \quad [3.28]$$

Thường cần thiết định rõ phạm vi của độ ẩm công tác cùng với độ đầm chặt tương đối hay độ chặt tương đối, đặc biệt trong điều kiện đất khô (hình 3-13). Với đất ẩm hơn, bản kê dùng *lượng lỗ rỗng không khí* (phương trình [3.6, 3.7 và 3.26]) sẽ thích hợp hơn. Các giá trị riêng điển hình là giá trị tối đa 10% cho công tác đất khối lượng lớn và 5% cho các công tác quan trọng hơn.



Hình 3-13. Đặc trưng kĩ thuật của độ ẩm công tác

Quy trình kĩ thuật của phương pháp. Trong một quy trình kĩ thuật của phương pháp nêu lên trình tự tiến hành, đưa ra loại

thiết bị riêng, khối lượng của nó, tần số rung động (nếu sử dụng), bề dày của mỗi lớp và số lần qua lại thực hiện trên mỗi lớp. Loại quy trình kĩ thuật này đặc biệt thích hợp cho đất có độ ẩm lớn hơn độ ẩm tốt nhất, hay hơn nơi điều kiện thay đổi qua mỗi ngày, hoặc thay đổi từ bộ phận này sang bộ phận khác của công trường; các điều kiện như thế thường gặp ở Anh. Sơ đồ về quy trình kĩ thuật của phương pháp do Bộ Giao thông công bố và có thể nhận được từ HMSO (Anon, 1986) đã được thừa nhận rộng rãi.

BÀI TẬP

1. Thí nghiệm trong phòng, khối đất ẩm được đầm chặt trong một khuôn có thể tích 964cm^3 . Bằng cân tìm được khối lượng của đất là 1956g. Độ ẩm xác định là 13% và tỉ trọng hạt là 2,70.

Hãy tính :

- a) dung trọng tự nhiên và dung trọng khô ;
- b) Hệ số rỗng và độ rỗng ;
- c) độ bão hòa ;
- d) hệ số rỗng không khí của đất.

2. Dùng mô hình mẫu đất, chứng minh rằng :

$$e = \frac{mG + A_v}{1 - A_v} = \frac{G_s \rho_w - \rho}{\rho - S_r \rho_w}$$

$$= (1 + m) \frac{G_s \rho_w}{\rho} - 1$$

3. Một mẫu đất ẩm có độ rỗng 42%, tỉ trọng hạt 2,69 và độ bão hòa 84%. Hãy xác định :

- a) hệ số rỗng ;
- b) dung trọng tự nhiên và dung trọng khô ;
- c) độ ẩm ;
- d) dung trọng tự nhiên bão hòa (giả thiết không xảy ra trương nở).

4. Một ống trụ cắt lõi có đường kính trong 100mm, dài 125mm được dùng để lấy một mẫu cát của đập từ hố thăm. Sau khi gọt hai đầu, khối lượng tổng của ống trụ và đất là 3508g ; khối lượng ống trụ rỗng là 1525g. Sau khi sấy khô, riêng đất cân được 1633g. Nếu tỉ trọng tìm được là 2,71, hãy xác định trọng tự nhiên và dung trọng khô, độ ẩm, hệ số rỗng và hệ số rỗng - không khí của mẫu.

5. Cát thạch anh khô có dung trọng $1,61 \text{ Mg/m}^3$ và tỉ trọng hạt là 2,68. Hãy tính dung trọng tự nhiên và độ ẩm của đất khi bão hòa có cùng thể tích.

6. Một mẫu đất sét bão hòa hình trụ có đường kính 75,0mm và bề dày 18,75mm, cân được 155,1g. Nếu độ ẩm tìm được là 34,4%, hãy xác định dung trọng tự nhiên và hệ số rỗng của mẫu. Nếu bề dày ban đầu của mẫu là 19,84mm, hãy tìm hệ số rỗng ban đầu.

7. Đất cát có dung trọng bão hòa là $2,08 \text{ Mg/m}^3$. Khi thoát nước, dung trọng giảm xuống còn $1,84 \text{ Mg/m}^3$ và thể tích giữ không đổi. Nếu trọng lượng riêng hạt là 2,70, hãy xác định lượng nước (l/m^2) sẽ thoát khỏi từ một lớp cát dày 2,2m.

8. Một mẫu đất dính có hệ số rỗng 0,812 và độ ẩm là 22,0%. Trọng lượng riêng hạt là 2,70. Hãy xác định :

- a) dung trọng thể tích và độ bão hòa của đất ;
- b) dung trọng thể tích và hệ số rỗng mới nếu mẫu đất bị nén không thoát nước cho tới khi nó vừa bão hòa.

9. Đất cát có độ rỗng 38% và tỉ trọng hạt là 2,90. Hãy xác định :

- a) hệ số rỗng ;
- b) trọng lượng đơn vị khô ;
- c) trọng lượng đơn vị bão hòa ;
- d) trọng lượng đơn vị tự nhiên tại độ ẩm 27%.

10. Một mẫu thí nghiệm trong phòng được chuẩn bị bằng cách đầm đất ($G_s = 2,68$) ở trong khuôn hình trụ có đường kính 104mm. Mẫu lúc kết thúc có độ ẩm 16% và lượng lỗ rỗng không khí là 5%. Hãy xác định :

- a) hệ số rỗng và trọng lượng đơn vị khô của đất ;
- b) lượng đất khô và nước cần để hỗn hợp với nhau tạo được một mẫu dài 125mm.

11. Khi thí nghiệm thay thế bằng cát đã ghi được các số liệu sau :

Khối lượng đất đào khỏi hố là 1,914 kg.

Khối lượng đất sau khi sấy khô là 1,664kg.

Khối lượng tổng ban đầu của ống trụ rót cát là 3,426kg.

Khối lượng của ống trụ rót cát sau khi đã cho cát chảy vào hố là 1,594kg. Dung trọng của cát được rót là $1,62 \text{ Mg/m}^3$.

Khối lượng của cát trong nón của ống trụ rót cát là 0,248kg.

Hãy xác định trọng lượng đơn vị tự nhiên và khô của đất tại chỗ.

12. Trong khi thí nghiệm đầm chặt theo Tiêu chuẩn Anh, các số liệu sau đã được ghi chép :

Thể tích của khuôn là $0,945 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $G_s = 2,70$

Khối lượng đất ẩm trong khuôn (kg)	1,791	1,937	2,038	2,050	2,022	1,985
Độ ẩm (%)	8,4	10,6	12,9	14,4	16,6	18,6

a) Vẽ đường cong quan hệ dung trọng khô – độ ẩm và từ đó xác định dung trọng khô tối đa và độ ẩm tốt nhất cho đất được đầm chặt.

b) Trên cùng hệ trục, vẽ đường cong dung trọng khô – độ ẩm khi lỗ rỗng không khí 0% và 5% và từ đó tìm hệ số rỗng không khí của đất ở độ ẩm tốt nhất.

13. Trong một thí nghiệm đầm chặt theo Tiêu chuẩn Anh đã nhận được các kết quả sau :

Dung trọng tự nhiên (Mg/m^3)	1,866	2,019	2,112	2,136	2,105	2,065
Độ ẩm (%)	9,4	11,5	13,5	15,1	17,1	19,9

a) Vẽ đường cong dung trọng khô – độ ẩm và từ đó xác định dung trọng khô cực đại và độ ẩm tốt nhất cho đất được đầm chặt.

b) Tính hệ số rỗng không khí, hệ số rỗng và độ bão hòa của đất ở độ ẩm tốt nhất.

c) Trong điều kiện đầm chặt ngoài trời, hệ số rỗng không khí và độ ẩm tốt nhất có thể cùng thay đổi tới $\pm 2\%$. Do vậy, hãy tính giới hạn dưới ở ngoài trời của dung trọng khô tối đa.

Chương 4

SỰ PHÂN BỐ VÀ TÁC ĐỘNG CỦA NƯỚC TRONG ĐẤT

4.1. Sự phân bố nước ngầm

Nước nhạt dạng lỏng ở các lục địa chiếm chưa tới 1% lượng nước của quả đất, còn lại là nước muối trong biển và đại dương, hơi nước trong khí quyển. Nước trong các lục địa này được mưa cung cấp, rồi chảy dưới tác dụng của trọng lực. Suối, sông, hồ đã được hình thành ở trên mặt đất ; nhưng một phần lớn nước ngấm vào trong vỏ đất đá. Chiều sâu thâm nhập của nước ngấm phụ thuộc vào bản chất lỗ rỗng của đá ; theo các nhà địa chất, nước dưới đất hiếm hoặc không tồn tại ở dưới độ sâu 8km.

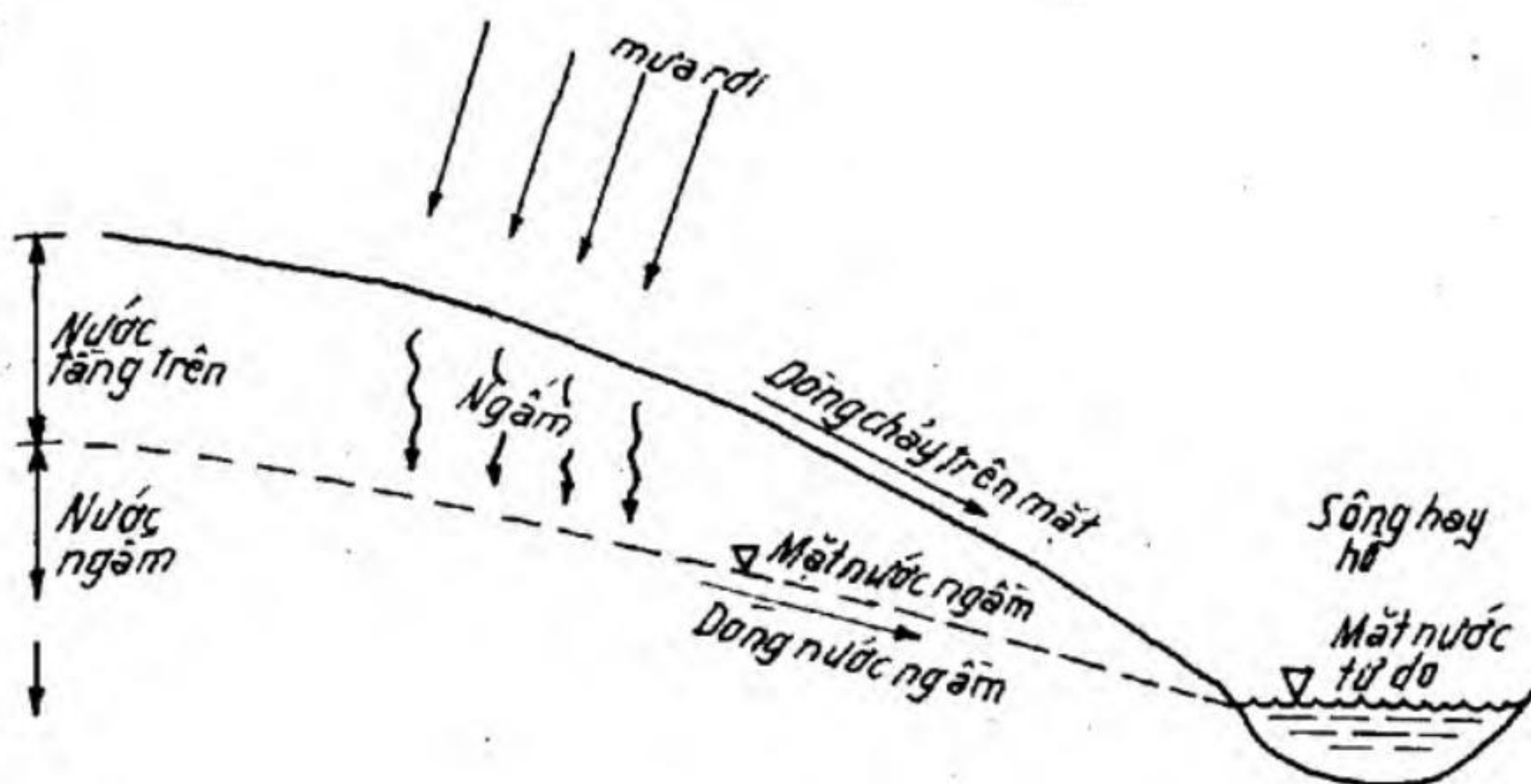
Theo quan điểm cơ học công trình, nước ngấm trong đất có thể tồn tại ở hai dạng nằm trong hai đới khác biệt nhau được phân chia bởi *mặt nước ngầm* (hình 4-1) :

a) *Nước ngầm* hay *nước trọng lực* là loại nước :

- chịu tác động của lực trọng trường ;
- ở dưới mực nước ngầm, cái lỗ rỗng được bão hòa ;
- áp lực nước lỗ rỗng lớn hơn áp lực khí quyển ;
- có xu hướng hình thành dòng chảy ngang.

b) *Nước tầng trên* là loại nước :

- ngấm tạm thời, di chuyển xuống dưới gia nhập vào nước ngầm ;
- nước mao dẫn được giữ ở trên mặt nước ngầm do lực căng bề mặt (với áp lực nước lỗ rỗng nhỏ hơn áp lực khí quyển).

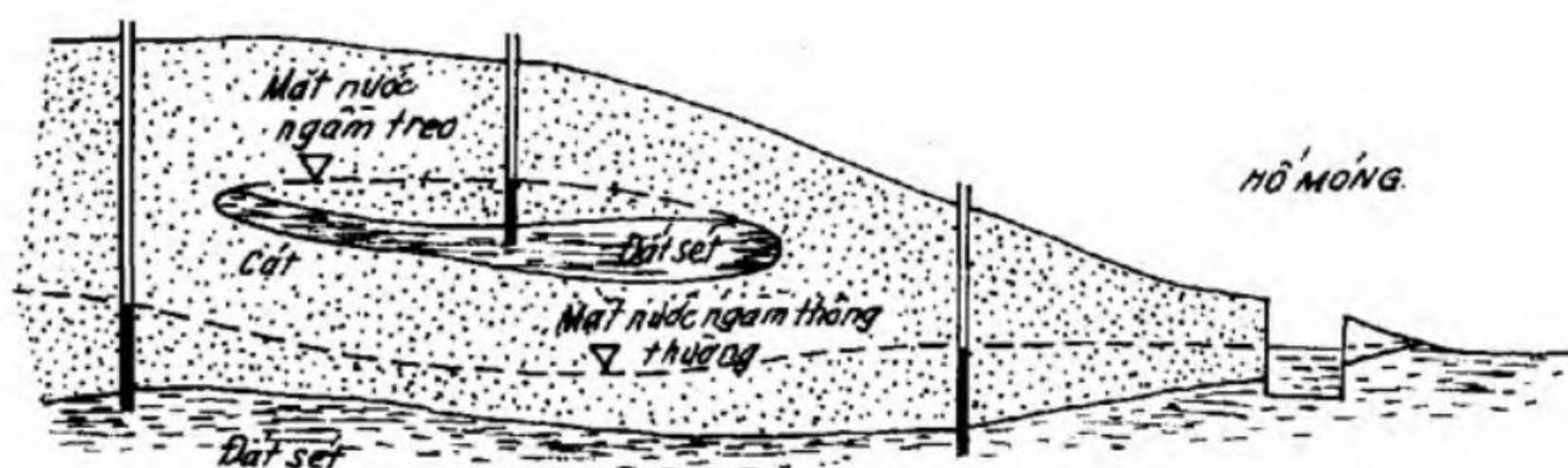


Hình 4-1. Sự phân bố nước ngầm

4.2. Mặt nước ngầm

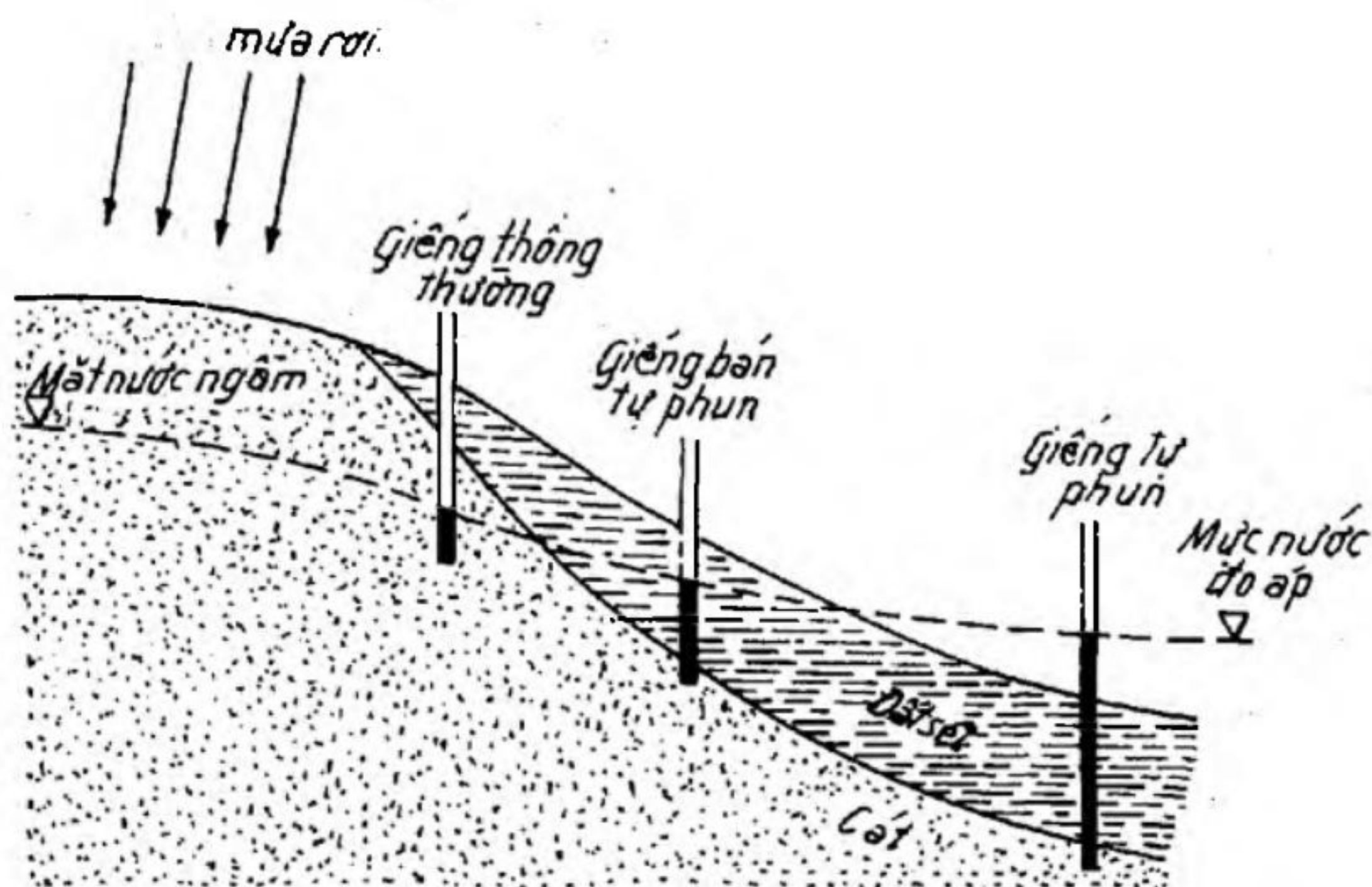
Đất tạo bởi các hạt rời rạc, các khoảng rỗng giữa chúng được thông với nhau cho nên nước có thể chuyển từ vùng có áp lực cao tới vùng có áp lực thấp. Mặt có áp lực nước lỗ rỗng bằng áp lực khí quyển được gọi là *mặt nước ngầm* (hình 4-1). Trong trường hợp khối nước ngầm không bị chặn xung quanh, mặt nước ngầm tương ứng mặt nước tự do, như khi thấy ở sông, hồ hay trong hố móng (hình 4-2). Nơi nước ngầm nằm trên khối đất cô lập, chẳng hạn như đất sét có tính thấm rất kém, xuất hiện *mặt nước treo* (hình 4-2).

Ở nơi *tầng chứa nước* - tầng đất tính thấm cao, bị chặn bởi tầng thấm nước kém ở phía trên và phía dưới, mặt nước ngầm không tồn tại như trên. *Cao trình của mặt nước ngầm* được biểu thị bằng mực nước trong ống đo áp hay giếng đào vào trong tầng chứa nước. Điều kiện có áp xảy ra khi mặt nước ngầm cao hơn mặt đất, điều kiện *bán áp* khi mặt nước ngầm nằm giữa mặt đất và tầng chứa nước (hình 4-3). Áp lực nước lỗ rỗng trong tầng chứa



Hình 4-2 Mặt nước ngầm và mặt nước treo

nước có chặn được không chế bởi các điều kiện tại nơi tầng đó được tự do ; nếu mặt nước tại đây dâng cao (do mưa) thì áp lực nước lỗ rỗng của tầng chứa nước cũng tăng lên tương ứng.

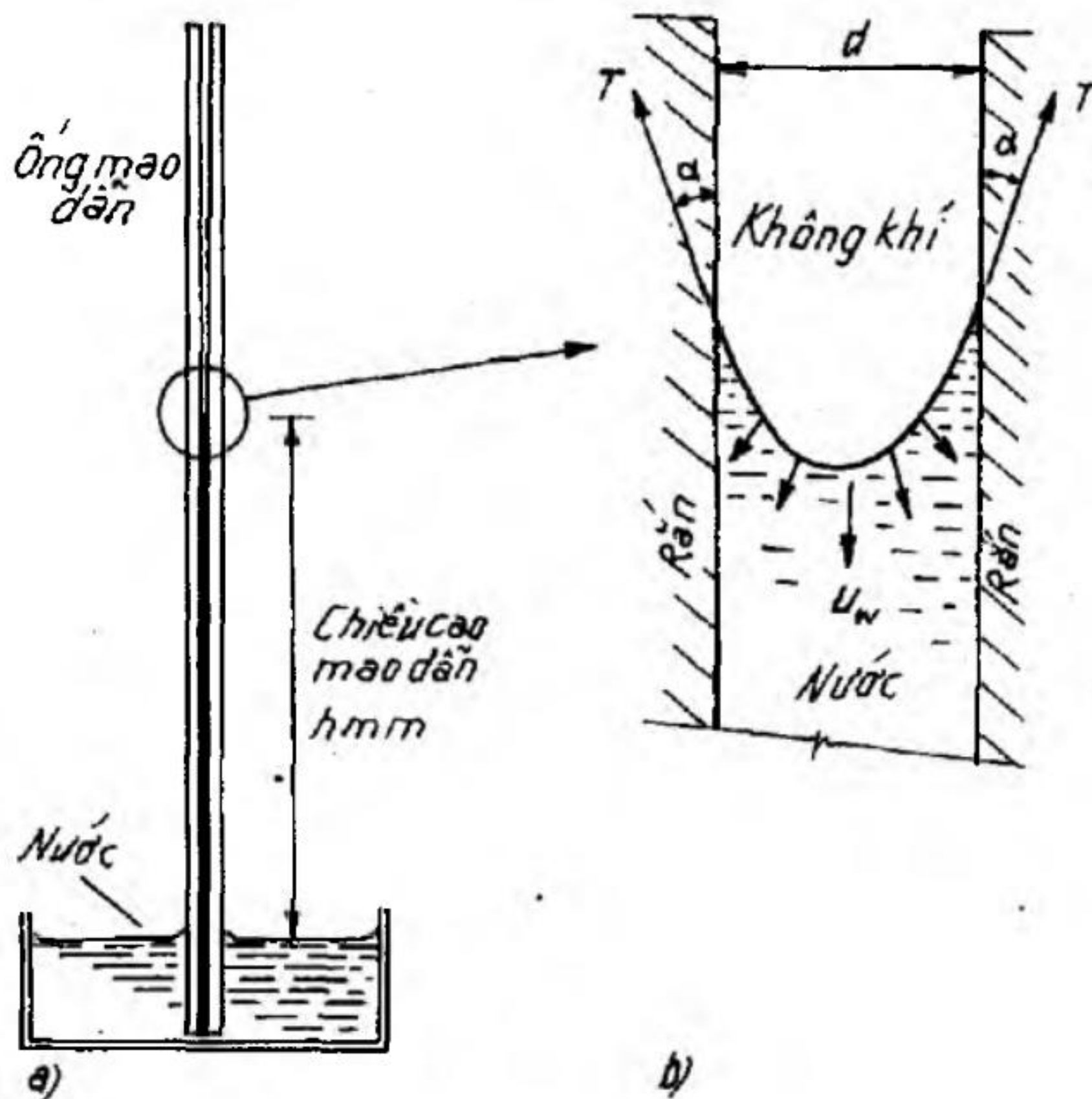


Hình 4-3. Nước ngầm bị giới hạn

4-3. Nước mao dẫn

Nước mao dẫn được duy trì ở trên mặt nước ngầm bởi lực căng bề mặt - lực hấp dẫn tác động ở bề mặt hay mặt phân cách giữa các vật chất ở trạng thái vật lý khác nhau như lỏng/khí, rắn/lỏng. Ví dụ như màng phân tử đàn hồi được hình thành tại bề mặt nước/không khí là do các phân tử nước ở dưới mặt đất, có mật độ cao hơn tạo sức hút lớn hơn các phân tử không khí. Tương tự, nước bị hút về phía mặt phân cách rắn, do các phân tử chất rắn có mật độ cao hơn và vì thế sức hút cũng lớn hơn.

Hãy xem xét một ống thủy tinh đường kính d nhỏ, có đầu dưới đặt ở trong nước (hình 4-4).



Hình 4-4. Chiều cao mao dẫn
a) ống mao dẫn ; b) chi tiết tại bề mặt

Tại mặt phân cách ba pha, mặt nước bị kéo lên hình thành mặt khum lõm với tổng lực kéo bề mặt T , tác động vòng quanh chu vi, tạo với vách ống một góc α . Do lực này, nước được kéo lên tới độ cao h , trọng lượng cột nước này sẽ cân bằng với độ lớn của lực căng bề mặt.

Khi áp lực khí quyển bằng 0, các lực thẳng đứng cân bằng tại bề mặt :

$$T \cos \alpha \pi d = \frac{\pi d^2}{4} u_w$$

$$\text{Cho áp lực nước lỗ rỗng mao dẫn } u_w = \frac{4T \cos \alpha}{d} \quad [4.1]$$

hay đặt $u_w = \gamma_w h_c$ (γ_w - trọng lượng đơn vị của nước)

$$\text{Chiều cao mao dẫn } h_c = \frac{4 T \cos \alpha}{\gamma_w d} \quad [4.2]$$

Khi tính gần đúng cho đất, dùng :

$$T = 0,000074 \text{ kN/m} ; \gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3 ; \alpha = 0$$

và $d \approx eD_{10}$ (D_{10} - đường kính hiệu quả, xem phần 2.4)

Ta được công thức tính chiều cao mao dẫn h_c :

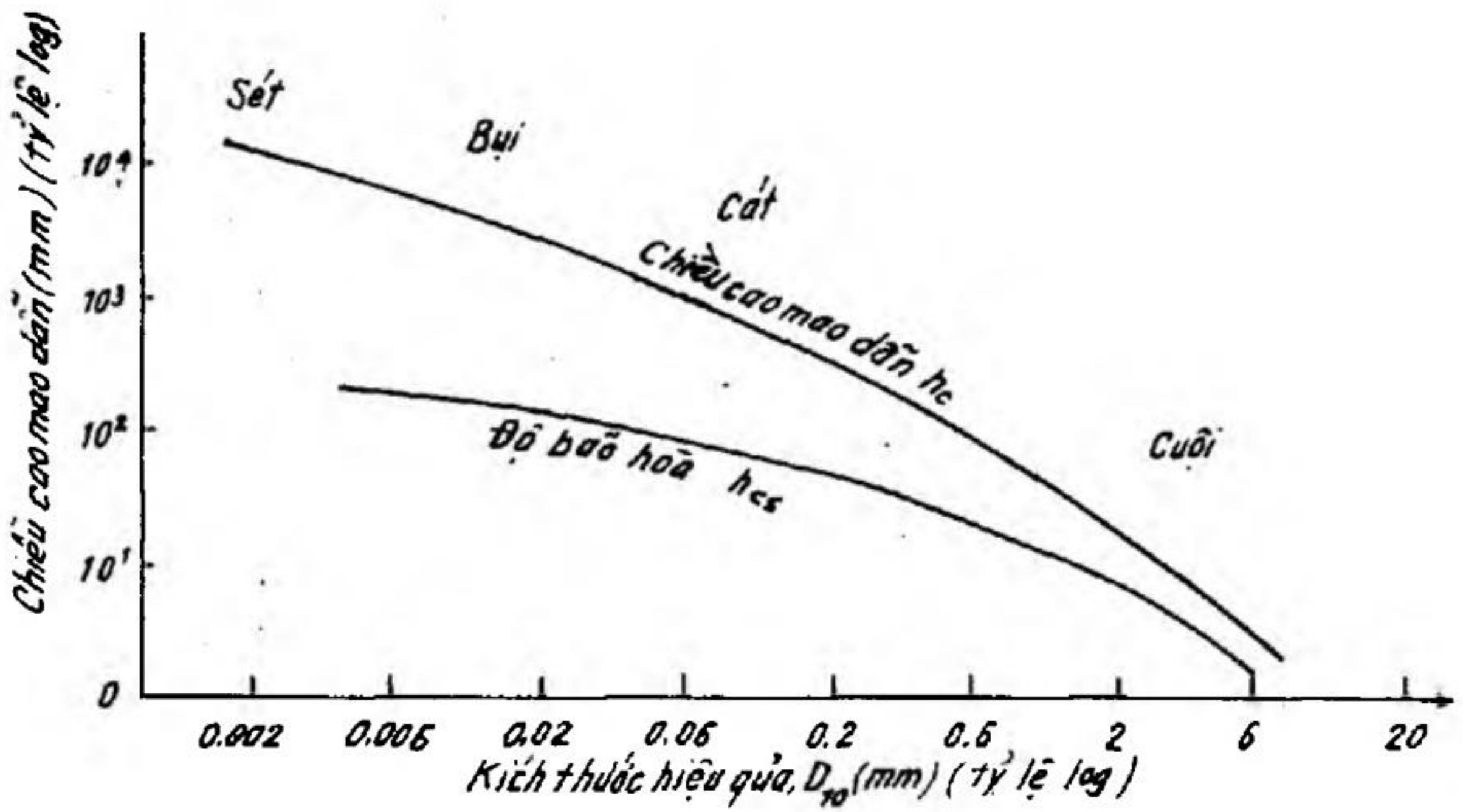
$$h_c \approx \frac{4 \times 0,000074 \times 10^6}{eD_{10} \times 9,81} = \frac{30}{eD_{10}}$$

Tính toán này có thể hoàn thiện hơn nếu xét đến ảnh hưởng của các đặc trưng về thành phần, hình dạng hạt, chẳng hạn như không đều, có dạng phiến (Terzaghi và Peck, 1948)

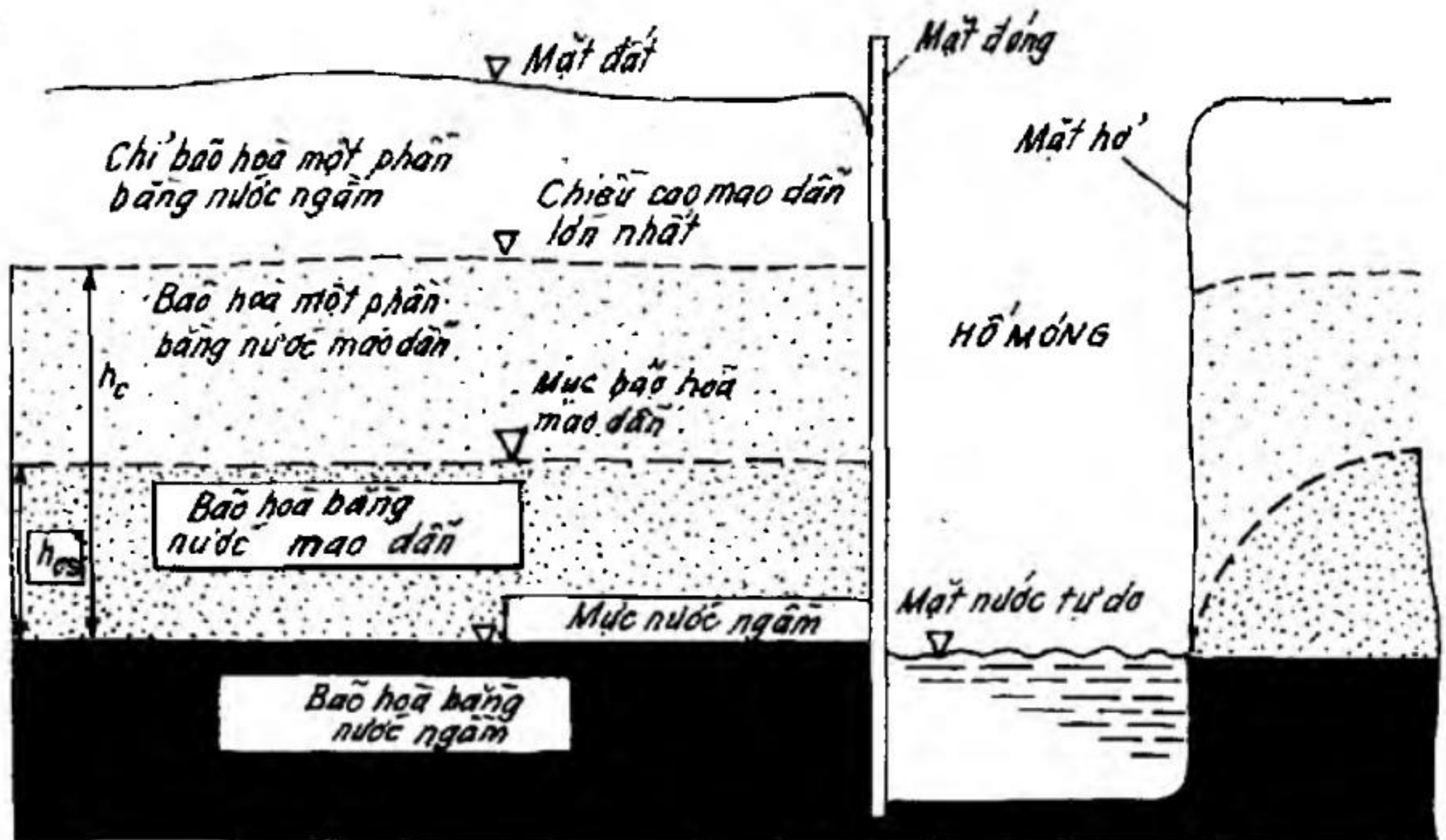
$$h_c = \frac{C}{eD_{10}} \quad [4.3]$$

ở đây : C - trị số nằm giữa 10 và 40 mm^2 .

Khi giá trị h_c biểu thị *chiều cao mao dẫn cực đại*, đất chỉ bão hòa với độ ẩm mao dẫn tới *mức mao dẫn bão hòa* h_{cs} thôi. Hình 4-5 cho thấy quan hệ gần đúng giữa chiều cao mao dẫn, mức mao dẫn bão hòa với loại đất. Vì thế, chế độ toàn cục của nước ngầm được chia ra làm 4 đới như thấy ở trong hình 4-6.



Hình 4-5. Quan hệ gần đúng giữa chiều cao mao dẫn và loại đất



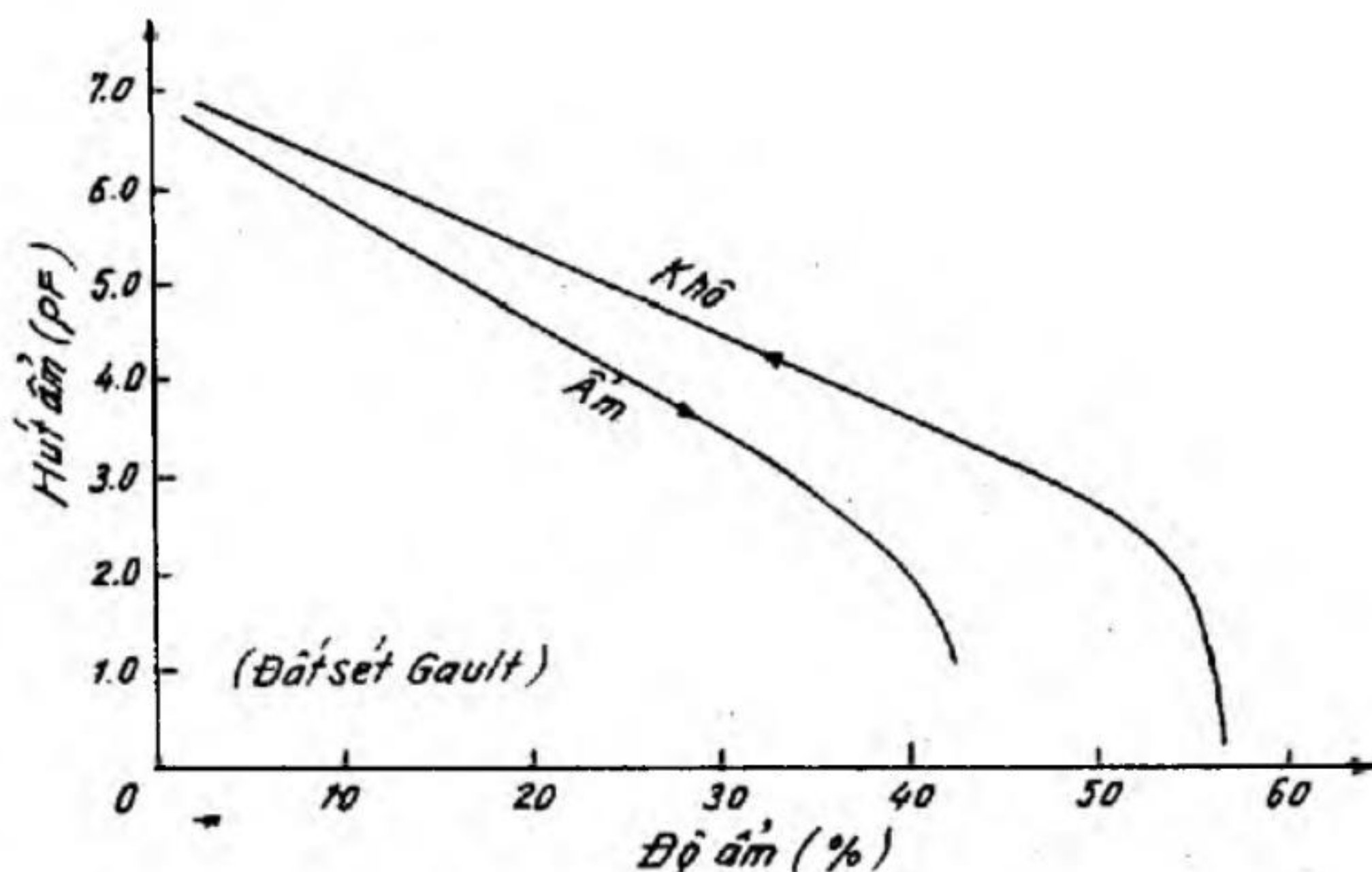
Hình 4-6. Các đới nước ngầm

4.4. Tính hút ẩm của đất

Áp lực nước lỗ rỗng mao dẫn u_c tương ứng chiều cao mao dẫn cực đại h_c là một số đo tính hút ẩm của đất với nước lỗ rỗng. Trong hình 4-5 thấy rõ là phạm vi các giá trị hút ẩm rất rộng. Vì thế, thuận lợi hơn là dùng tỉ lệ lg và định nghĩa lượng *chỉ số hút ẩm của đất* hay *chỉ số pF* :

$$\begin{aligned} pF &= \lg (\text{chiều cao hút ẩm mao dẫn bằng cm}) \\ &= \lg h_c \end{aligned} \quad [4.4]$$

Bằng thực nghiệm, chỉ số pF tìm được nằm trong phạm vi giữa 0 và 7, đất quá khô ứng với trị số cao. Trong cát, chiều cao mao dẫn hút ẩm hiếm khi quá 50cm ($pF = 1,7$). Cũng thấy rõ rằng quan hệ ngược liên tục giữa hút ẩm và độ ẩm với sự khác nhau không đáng kể, tùy theo đất là ẩm hay khô. Đường cong điển hình thể hiện quan hệ pF/độ ẩm ở trong hình 4-7.



Hình 4-7. Chỉ số hút ẩm và độ ẩm của đất

Trong trường hợp khối đất nguyên dạng cân bằng – khi ứng suất bên ngoài không tăng, áp lực nước lỗ rỗng sẽ cân bằng với hút ẩm :

$$u_c + S_s = 0$$

hay $S_s = -u_c$

ở đây : S_s - áp lực hút ẩm, $S_s = \gamma_w h_c$

Dĩ nhiên ứng suất bên ngoài sẽ làm giảm độ ẩm và thay đổi sự hút ẩm, vì thế với đất bão hòa :

$$S_s = -u_c + \alpha_c \sigma_z \quad [4.5]$$

ở đây : σ_z - thành phần ứng suất thẳng đứng tại độ sâu z ;

α_c - hệ số phụ thuộc vào độ ép co của đất.

Với vật liệu cứng, không ép co như đá và cát chặt, $\alpha = 0$; với đất sét bão hòa, ép co mạnh, $\alpha_c = 1$; với các đất khác α_c nằm giữa 0 và 1. Giá trị gần đúng α_c được tính từ chỉ số dẻo của đất, $\alpha_c \approx 0,025PI$ (cho PI tới 40%).

Khi đất tiếp xúc với không khí, khả năng làm khô khá mạnh mẽ. Sự làm khô đất xảy ra khi không khí bao quanh hút ẩm của bản thân đất. Khả năng hút ẩm gần đúng của không khí tính theo :

$$u_s = -150.000 (1 - R_H) \quad \text{kN/m}^2 \quad [4.6]$$

ở đây : R_H - độ ẩm tương đối

Do thế, chỉ số hút ẩm tương đương bằng :

$$\begin{aligned} pF_{(\text{không khí})} &\approx \lg[150.000 \times 10^{-2}(1 - R_H)/9,81] \\ &= 6,2 + \lg(1 - R_H) \end{aligned} \quad [4.7]$$

Khi khí hậu khô nóng, đất lộ trên mặt bị sấy khô và co ngót do mất nước ; với mẫu thí nghiệm không bảo vệ cũng xảy ra hiện tượng tương tự. Bảng 4-1 cho một số giá trị chỉ dẫn gần đúng. Thực vật hay lớp phủ trên mặt không hoạt động làm giảm ảnh hưởng này dù rằng khả năng hút ẩm của đất sét khá cao. Khi nghiên cứu đất cao nguyên ở Nam Phi, William và Pidgeon (1983), đã tìm ra giá trị pF là 4,8 và 3,8 ở độ sâu tương ứng 6m và 15m. Driscoll (1983) đề nghị là sự xâm nhập của sấy khô (dẫn đến co ngót) được tính theo tỉ số giữa độ ẩm và giới hạn chảy của đất

Bắt đầu sấy khô $pF = 2, \quad m = 0,5LL$

Co ngót mạnh $pF = 3, \quad m = 0,4LL$

BẢNG 4-1. CHỈ DẪN KHẢ NĂNG HÚT ẨM ĐẤT/KHÔNG KHÍ

<i>Điều kiện không khí</i>	<i>Độ ẩm tương đối (%)</i>	<i>Chiều cao hút ẩm (m)</i>	<i>Khả năng chỉ số hút ẩm (pF)</i>
	0	15000	0,2
Lò khô nóng	15	12750	6,1
Ngày khô nóng ($T = 40^{\circ}$)	30	10500	6,0
Phòng thí nghiệm bình thường	70	4500	5,7
Phòng lạnh ẩm	90	1500	5,2
Rất ẩm (trong/ngoài)	99	150	4,2
	99,999	0,15	1,2

4.5. Áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất hiệu quả

Khi ứng suất bên ngoài truyền lên khối đất bão hòa nước, áp lực nước lỗ rỗng sẽ tăng tức thời. Điều đó làm cho nước lỗ rỗng có xu hướng chảy thoát khỏi hệ lỗ rỗng, áp lực nước lỗ rỗng sẽ giảm đi và ứng suất tác dụng truyền cho kết cấu hạt của đất. Tại một thời điểm sau khi đặt tải, ứng suất tổng tác dụng sẽ cân bằng bởi hai thành phần nội ứng suất.

Áp lực nước lỗ rỗng u là áp lực gây ra trong chất lỏng (nước, hoặc hơi nước và nước) chứa đầy lỗ rỗng. Chất lỏng trong lỗ rỗng có thể truyền ứng suất pháp nhưng không truyền được ứng suất tiếp, vì thế không tạo được sức chống cắt. Với lí do này, áp lực nước lỗ rỗng đôi khi được coi là *áp lực trung tính*.

Ứng suất hiệu quả σ' là ứng suất truyền cho kết cấu đất qua chỗ tiếp xúc giữa các hạt. Chính thành phần ứng suất này đã điều khiển cả biến dạng thay đổi thể tích và sức chống cắt của đất vì ứng suất pháp và ứng suất tiếp truyền qua được chỗ tiếp xúc hạt với hạt. Terzaghi (1943) chỉ ra rằng, với đất bão hòa, ứng suất hiệu quả có thể xác định theo sự chênh lệch giữa ứng suất tổng và áp lực nước lỗ rỗng :

$$\sigma' = \sigma - u \quad [4.8]$$

Tuy nhiên, phải ghi nhớ là, ứng suất hiệu quả không phải là ứng suất tiếp xúc thực giữa hạt với hạt, mà là ứng suất *trung bình* giữa các hạt trên một diện tích phẳng bên trong khối đất. Tuy thế,

bằng thực nghiệm đã xác nhận là, biểu thức trên có độ tin cậy cao khi hạt đất không chịu nén và diện tiếp xúc giữa các hạt nhỏ. Sai số lớn không xảy ra với đất ; còn với đá có kết cấu cứng thì yêu cầu có cải biến nào đó.

Trong điều kiện hiện trường tự nhiên không có dòng thấm, áp lực nước lỗ rỗng thủy tĩnh được đặc trưng bởi mặt nước ngầm hay mức nước ngầm. Nếu mặt nước ngầm nằm sâu dưới mặt đất d_w thì tại độ sâu z , áp lực nước lỗ rỗng thủy tĩnh tính theo $u_z = \gamma_w(z - d_w)$. Khi $z > d_w$, u_z có giá trị dương ; còn khi $z < d_w$ và nước mao dẫn duy trì trên mặt nước ngầm thì u_z có giá trị âm (vì hút ẩm, xem phần 4-4).

Trong nhiều bài toán, ứng suất hiệu quả tĩnh của lớp phủ cần tính tại một độ sâu đã cho, theo phương trình [4.8], ta có :

$$\sigma'_z = \sigma_z - u_z$$

Ví dụ tính toán ứng suất hiệu quả của lớp phủ và sơ đồ ứng suất hiệu quả / ứng suất tổng xem trong ví dụ mẫu 4.2 đến 4.6 tại cuối chương này.

4.6. Áp lực nước lỗ rỗng trong đất bão hòa một phần

Trong trường hợp đất bão hòa một phần, dung dịch lỗ rỗng sẽ gồm có nước lỏng thực tế không ép co và không khí / hơi nước ép co mạnh. Hai thành phần của áp lực nước lỗ rỗng là : áp lực nước lỗ rỗng u_w và áp lực khí lỗ rỗng u_a . Do sức căng bề mặt sự có mặt của không khí làm giảm áp lực nước lỗ rỗng ; Bishop (1955) đề nghị quan hệ sau :

$$u = u_a - \chi (u_a - u_w)$$

ở đây : χ - thông số phụ thuộc chủ yếu vào độ bão hòa và ở chừng mực thấp hơn, vào kết cấu đất.

Có thể xác định χ bằng thực nghiệm và nó dường như biến đổi tuyến tính từ 0 với $S_r = 0$ (đất khô) tới 1 với $S_r = 1$ (đất bão hòa). Tuy nhiên, với đất ẩm ướt hơn độ ẩm tốt nhất, S_r có xu hướng bằng 0,9 hay lớn hơn vì thế χ sẽ rất gần 1. Trong các trường hợp này, lượng nhỏ không khí có mặt sẽ ở dạng bọt kín ảnh hưởng đến tính ép co của dung dịch lỗ rỗng, mà không làm giảm nhiều áp lực

nước lỗ rỗng. Vì thế, khi $m > m_{opt}$ phương trình [4.8] không gây ra sai số không chấp nhận được.

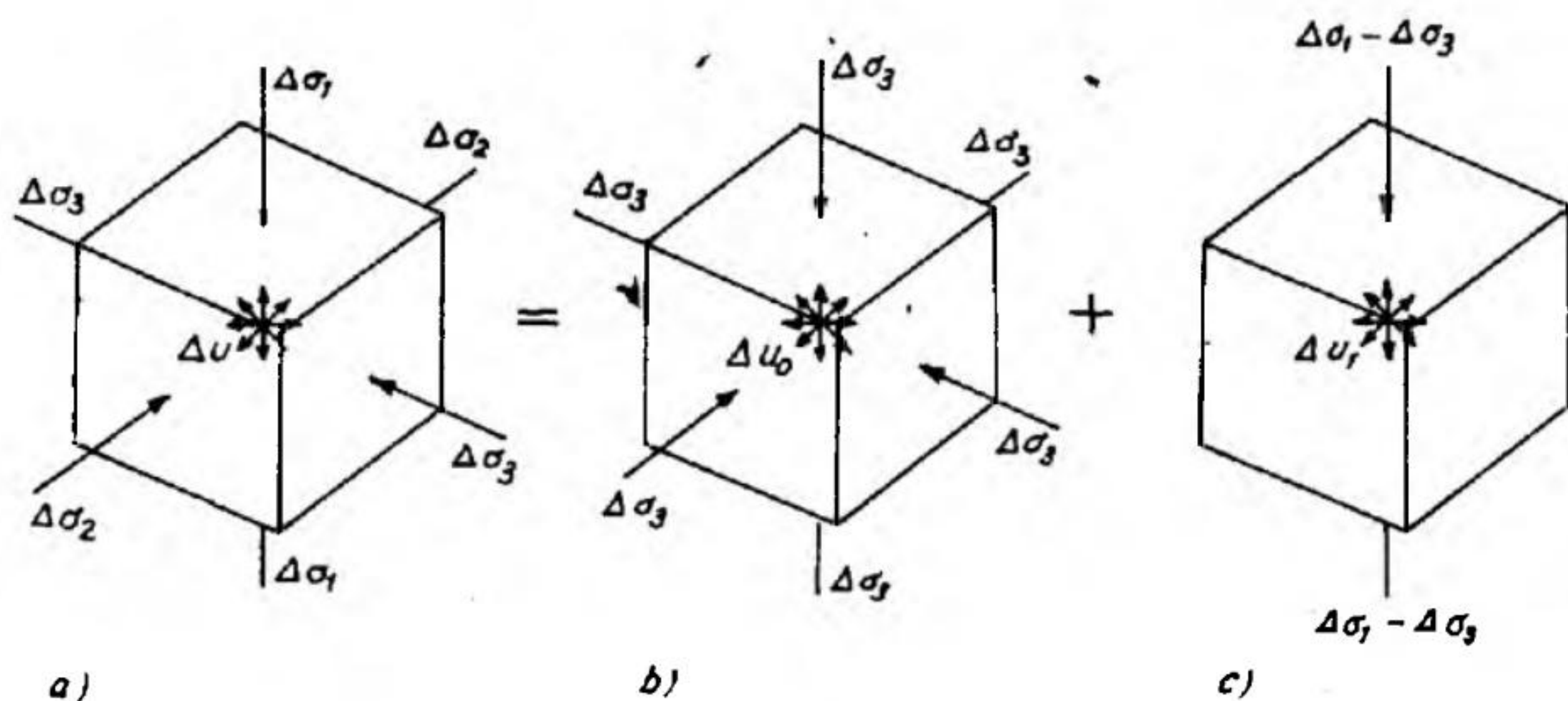
Nếu thí nghiệm nén hay sức chống cát thực hiện trên đất khô hơn độ ẩm tốt nhất thì dung dịch lỗ rỗng chịu nén sẽ làm sai lệch các kết quả. Các yếu tố khác như kết cấu đất, đất đang ẩm hay khô cũng có thể có ý nghĩa đáng kể càng làm cho dự định đo chính xác χ bằng thí nghiệm trở nên không thực tế. Như là một nguyên tắc chung và an toàn hơn là chỉ tiến hành thí nghiệm nén và cường độ chống cát cho đất bão hòa tự nhiên hay làm cho bão hòa trước khi làm thí nghiệm.

4.7. Hệ số áp lực nước lỗ rỗng

Hệ số áp lực nước lỗ rỗng được dùng để biểu thị sự tăng áp lực nước lỗ rỗng theo sự tăng của ứng suất tổng. Trong phần lớn các bài toán cơ học đất, để thiết lập quan hệ này được thuận lợi, người ta coi ứng suất tổng được tạo bởi hai thành phần :

- a) ứng suất *đẳng hướng*
- b) ứng suất *lệch* một trục

Hãy xem xét một nguyên tố đất có thể tích V và độ rỗng n , từ sự cân bằng và trong điều kiện không thoát nước, chịu sự tăng



Hình 4-8. Ứng suất trong một nguyên tố đất

- a) hệ ứng suất ba hướng tổng quát ; b) ứng suất đẳng hướng ;
- c) ứng suất lệch hay ứng suất một trục.

ứng suất tổng với $\Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$ và $\Delta\sigma_1 > \Delta\sigma_3$ (hình 4-8a). Giả thiết áp lực nước lỗ rỗng tăng tương ứng là Δu tạo bởi hai thành phần phụ thêm là Δu_0 - do độ tăng ứng suất đẳng hướng $\Delta\sigma_3$ (hình 4-8b) và Δu_1 - do độ tăng ứng suất một trục $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$ (hình 4-8c).

Độ tăng đẳng hướng về ứng suất. Vì độ tăng ứng suất là đồng nhất $\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$, độ tăng tương ứng của áp lực nước lỗ rỗng bằng Δu_0 và độ tăng ứng suất hiệu quả đẳng hướng $\Delta\sigma'_3 = \Delta\sigma_3 - \Delta u_0$.

Bây giờ, đặt C_s - hệ số nén của cốt đất ;

C_v - hệ số nén của dung dịch lỗ rỗng,

thì độ giảm thể tích cốt đất $\Delta V_s = C_s V (\Delta\sigma_3 - \Delta u_0)$ và độ giảm thể tích lỗ rỗng $\Delta V_v = C_v n V \Delta u_0$.

Nếu giả thiết hạt đất không nén được và không thoát nước thì $\Delta V_s = \Delta V_v$

$$C_s V (\Delta\sigma_3 - \Delta u_0) = C_v n V \Delta u_0$$

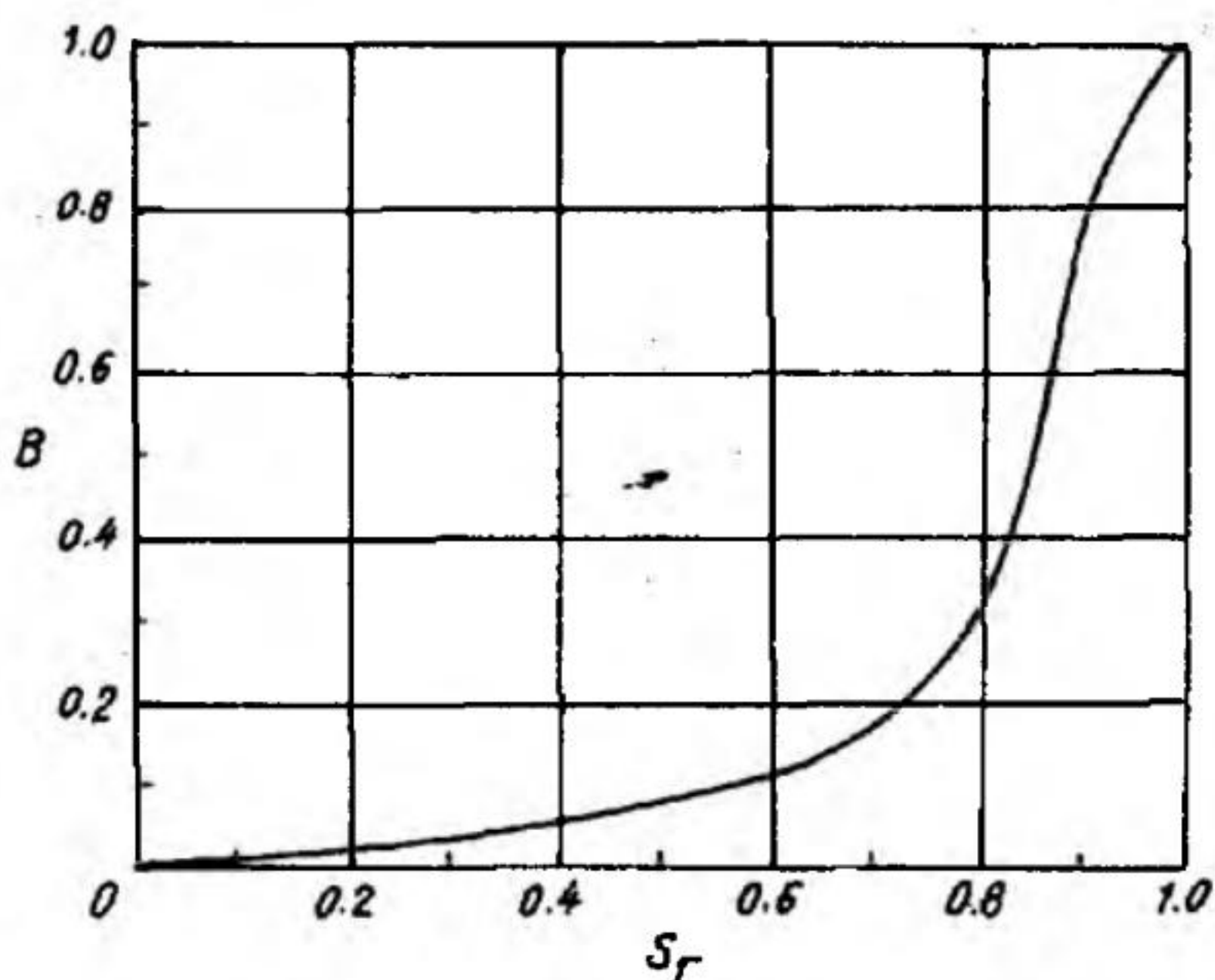
Cho ta :

$$\Delta u_0 = \frac{1}{1 + nC_v/C_s} \Delta\sigma_3$$

Đặt $\frac{1}{1 + nC_v/C_s} = B$ (B - hệ số áp lực nước lỗ rỗng)

Nên $\Delta u_0 = B \Delta\sigma_3$ [4.9]

Trong đá, độ cứng của kết cấu khung có ý nghĩa lớn, còn khung của đất thì ép co lớn, nên giá trị B phụ thuộc nhiều vào độ bão hòa như thấy ở trong hình 4-9. Bảng 4-2 cho biết các giá trị điển hình dùng tính toán cho đất và đá bão hòa. Thực tế, lấy $B = 1$ cho đất bão hòa. Giá trị B có thể nhận được bằng thực nghiệm qua thiết bị thí nghiệm ba trục, trong điều kiện không thoát nước, thay đổi áp lực hộp nén và ghi lại các biến đổi tương ứng của áp lực nước lỗ rỗng (xem phần 7.17).



Hình 4-9. Quan hệ điển hình B-S_r

BẢNG 4-2. GIÁ TRỊ TÍNH TOÁN CỦA HỆ SỐ ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỖNG

Đá / đất	C_s ($m^2/kN \times 10^{-4}$)	n (%)	B
Đá thấm	0,06	15	0,468
Đá phần	0,25	30	0,647
Đất cát chặt	15	40	0,9880
Đất sét chặt sít	80	42	0,9976
Đất sét yếu	400	55	0,9994

Độ tăng ứng suất một trục. Độ tăng ứng suất một trục là độ chênh lệch ứng suất hay thành phần lệch $\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$ để tạo ra độ tăng áp lực nước lỗ rỗng Δu_1 tương ứng. Vì thế, độ tăng ứng suất hiệu quả sẽ là :

$$\Delta\sigma'_1 = (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) - \Delta u_1$$

$$\Delta\sigma'_1 = \Delta\sigma'_3 = -\Delta u_1$$

Với vật liệu hoàn toàn đàn hồi, độ giảm thể tích cốt đất tính theo :

$$\begin{aligned}\Delta V_s &= \frac{1}{3} C_s V [\Delta \sigma'_1 + \Delta \sigma'_2 + \Delta \sigma'_3] \\ &= \frac{1}{3} C_s V [(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) - 3\Delta u_1]\end{aligned}$$

và độ giảm thể tích lỗ rỗng :

$$\Delta V_v = C_v n V \Delta u_1$$

Như trước đây $\Delta V_s = \Delta V_v$

$$\frac{1}{3} C_s V [(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) - 3\Delta u_1] = C_v n V \Delta u_1$$

Cho ta :

$$\begin{aligned}\Delta u_1 &= \frac{1}{3} \frac{1}{1 + nC_v/C_s} (\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \\ &= \frac{1}{3} B(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)\end{aligned}$$

Tuy nhiên, vì đất không hoàn toàn đàn hồi, hằng số biến dạng thể tích 1/3 phải được thay bằng hệ số biến đổi A, nên biểu thức tổng quát sẽ là :

$$\Delta u_1 = A.B(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad [4.10a]$$

$$= \bar{A}(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) \quad [4.10b]$$

ở đây : $\bar{A} = A.B$.

Hệ số áp lực nước lỗ rỗng A thay đổi theo mức ứng suất tác dụng, theo tốc độ biến dạng và cả theo ứng suất tăng hay giảm. Giá trị A còn chịu ảnh hưởng của điều kiện thoát nước và lịch sử gia tải (đất cố kết bình thường hay đất quá cố kết). Vì thế, cần liên hệ giá trị đo riêng biệt của A với thông số riêng biệt ứng suất / biến dạng như ứng suất lệch cực đại hay hệ số quá cố kết. Số liệu tập hợp khi thí nghiệm nén ba trục có thể dùng để xác định giá trị A (xem phần 7-17).

Giá trị A vào lúc phá hoại cát - A_f thường được coi là giá trị hướng dẫn. Bảng 4-3 nêu tập hợp các dãy giá trị của A_f .

BẢNG 4-3. CÁC GIÁ TRỊ CỦA HỆ SỐ ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỒNG A_r

Loại đất	A_r (A lúc đất phá hoại)
Đất sét nhạy cảm cao	1,2-2,5
Đất sét cố kết bình thường	0,7-1,3
Đất sét quá cố kết nhẹ	0,3-0,7
Đất sét quá cố kết nặng	-0,5-0
Đất cát mịn rất rời xốp	2,0-3,0
Đất cát mịn trung bình	0-1,0
Đất cát mịn chặt	-0,3-0

Biểu thức tổng quát áp lực nước lỗ rỗng. Biểu thức tổng quát cho độ tăng áp lực nước lỗ rỗng tương ứng với độ tăng kết hợp của ứng suất đẳng hướng và ứng suất một trục nhận được bằng cách cộng đơn giản phương trình [4.9] và [4.10a] :

$$\begin{aligned}
 \Delta u &= \Delta u_0 + \Delta u_1 \\
 &= B\Delta\sigma_3 + AB(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \\
 &= B[\Delta\sigma_3 + A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)] \quad [4.11]
 \end{aligned}$$

4.8. Tác động của hiện tượng đóng băng

Trong điều kiện lạnh, khi nhiệt độ mặt đất giảm xuống dưới 0°C , nước trong đất sẽ đóng băng, nở thể tích được gọi là *hiện tượng đông nở*. Tốc độ tăng chiều sâu của lớp được đóng băng phụ thuộc vào nhiệt độ và thời gian đông lạnh. Qua một đêm, đông lạnh xâm nhập được vài cm, nhưng càng xuống dưới, tốc độ phát triển của lớp đóng băng càng chậm hơn. Ở Vương quốc Anh, sự đóng băng dưới độ sâu 0,5 m là không bình thường và chỉ đạt nửa trị số đó trong gần một tuần lễ.

Theo quan điểm công trình, các hiện tượng kết hợp với hoạt động băng giá xảy ra ở trong loại đất nhất định là quan trọng vì có thể gây ra các sự cố nguy hiểm. Hai nội dung vấn đề cần phải xác định là :

- Tác động của hiện tượng đóng băng.
- Tác động của hiện tượng tan băng.

Hiện tượng đông nở. Hiện tượng đông nở là hiện tượng nở trời mặt đất theo phương thẳng đứng do nước đóng băng trong đất. Có hai khía cạnh khác nhau của hiện tượng này. Thứ nhất, khi đóng băng, thể tích nước tăng khoảng 9%, vì thế thể tích đất tăng chừng 0,09n cho mỗi thể tích đơn vị tức là từ 2% đến 6%, tùy thuộc vào hệ số rỗng của đất. Ví dụ, đất có hệ số rỗng 0,5 thì đóng băng đến độ sâu 0,4m, giá trị nở trời đơn thuần do đông nở là 12mm.

Thứ hai, khi nước đóng băng, các hiện tượng khác cũng xảy ra. Vì băng có áp lực hơi nước thấp hơn nhiều của nước nên có độ hút ẩm cao, nước bị hút lên về phía lớp đất đóng băng này rồi bị đông lạnh và làm tăng kích thước của các tinh thể băng. Ngoài ra, khi đóng băng, nhiệt ẩn của nước tỏa ra vào khoảng 80 J/kg. Nếu tốc độ phân tán nhiệt về phía mặt đất bằng tốc độ phóng thích nhiệt ẩn thì bề dày của lớp đất đóng băng sẽ không thay đổi. Các thấu kính băng hình thành, do băng phát triển theo hướng cục bộ khá cao, có thể làm bề dày lớp đóng băng tăng lên tới 30%.

Áp lực tạo ra do hiện tượng đông nở có thể đủ để hè đường, mặt đường và ngay cả móng của các công trình nhẹ bị đẩy trời lên. Các thấu kính băng hình thành ở trong phạm vi nền đường và các bậc phụ cũng gây ra các sự cố. Chúng làm cho mặt đường bị rạn hay nứt nẻ trở nên xốp rỗng, nước dễ xâm nhập vào và dẫn đến nền đường bị hư hỏng.

Tác động của hiện tượng tan băng. Sự tan băng xảy ra khá nhanh ở lớp đất đóng băng có chứa các thấu kính băng làm cho lớp đất ở gần mặt đất có độ ẩm quá mức. Độ ẩm thêm (chủ yếu do các thấu kính băng tan ra) không có khả năng giải thoát qua lớp đất còn đóng băng ở phía dưới.

Vì thế đất dường như ở trạng thái không ổn định nhất là khi mặt đất dốc nghiêng. Độ bền chống cát và / hoặc các đặc trưng ép lún của đất sẽ sút kém, vì thế khi chất tải trên mặt chắc chắn gây ra chuyển vị và sự cố cho công trình.

ra các thấu kính băng. Vì thế, đất nhạy cảm với hiện tượng đóng băng thường là đất có lượng cát mịn hay bụi chiếm ưu thế và xảy ra khi mặt nước ngầm thấp hơn ít nhất 600mm so với mặt nước ngầm hình hành.

Trong hệ phân hoạch thiết kế cho đất đóng băng của Hội Kỹ sư Quân đội Mỹ (1965), phần trăm của hạt đất nhỏ hơn 0,02mm được coi là dấu hiệu chỉ đạo, trong khi Croney và Jacobs (1967) và sau đó là Phòng thí nghiệm nghiên cứu đường giao thông (1970) kiến nghị một tập hợp của chỉ số dẻo và phần trăm hạt nhỏ hơn $75\mu\text{m}$. Bảng 4-4 cho thấy cách phân loại đất nhạy cảm với hiện tượng đóng băng của tác giả dựa trên các cơ sở nêu ở trên, các cơ sở khác và các nghiên cứu trong phòng thí nghiệm.

4.9 Độ ẩm cân bằng

Trong điều kiện ứng suất và thoát nước là không đổi, độ ẩm trong khối đất sẽ đạt điều kiện cân bằng. Trong điều kiện cân bằng này, giá trị đặc biệt của độ ẩm tại chiều sâu nào đó được gọi là *độ ẩm cân bằng emc*. Nếu trong đất bão hòa, điều kiện ứng suất và thoát nước biến đổi thì nước sẽ di chuyển vào hay thoát ra khỏi đất, thể tích thay đổi bằng thể tích nước thêm vào hay chuyển đi.

Kết cấu mặt đường và hệ đường không thấm sẽ ngăn cản lượng nước di chuyển qua bề mặt do thấm hay bốc hơi. Trong khí hậu khô, đất được che phủ bằng cách này thì khi độ ẩm tại chỗ thấp hơn độ ẩm cân bằng sẽ có chiều hướng bị trương nở. Vì thế, dự kiến đánh giá khả năng nở / co ngót và so sánh các sơ đồ độ ẩm / độ sâu và emc / độ sâu là rất thiết thực.

Cách thường dùng để tính emc là xác định độ hút ẩm và dùng đường cong pF / độ ẩm. Trong các vùng không khô cằn, nơi mặt nước ngầm ở gần mặt đất (không sâu hơn 0,7m cho đất sét và từ 1 đến 1,5 m cho đất cát), độ hút ẩm có thể tính đơn giản bằng γ_w $\times$ chiều sâu tới mặt nước ngầm.

Ví dụ mẫu 4.1. Vào mùa hè, lớp phủ chống thấm được làm cho đường giao thông trên lớp phủ sa chứa sét. Các quan trắc cho thấy mực nước ngầm ổn định ở dưới mức lớp phủ là 1,7m. Sử

dụng các số liệu cho ở dưới, lập sơ đồ độ ẩm cân bằng và so sánh với độ ẩm tại chỗ.

Các số liệu cho :

$$LL = 66\% \quad PL = 35\% \quad \gamma \text{ trung bình} = 18,7 \text{ kN/m}^3$$

$$\text{Áp lực tiếp xúc tại mức đáy lớn phủ} = 7,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Đường cong ẩm (pF = 1,0 đến 4,0) : emc} \approx 49 - 9,0 \text{ pF}$$

Độ sâu dưới mức lớp phủ (m)	0,1	0,5	1,5	2,5	4,0	5,0	6,0
Độ ẩm tại chỗ trước khi xây dựng (%)	24,7	25,3	25,8	25,0	24,5	24,0	23,8

Bài giải

Độ hút ẩm tính theo phương trình [4.5] :

$$\begin{aligned} \text{Khi } \alpha_c &= 0,025 \text{ PI} \quad (\text{PI} = LL - PL = 66 - 35 = 31) \\ &= 0,025 \times 31 = 0,775 \end{aligned}$$

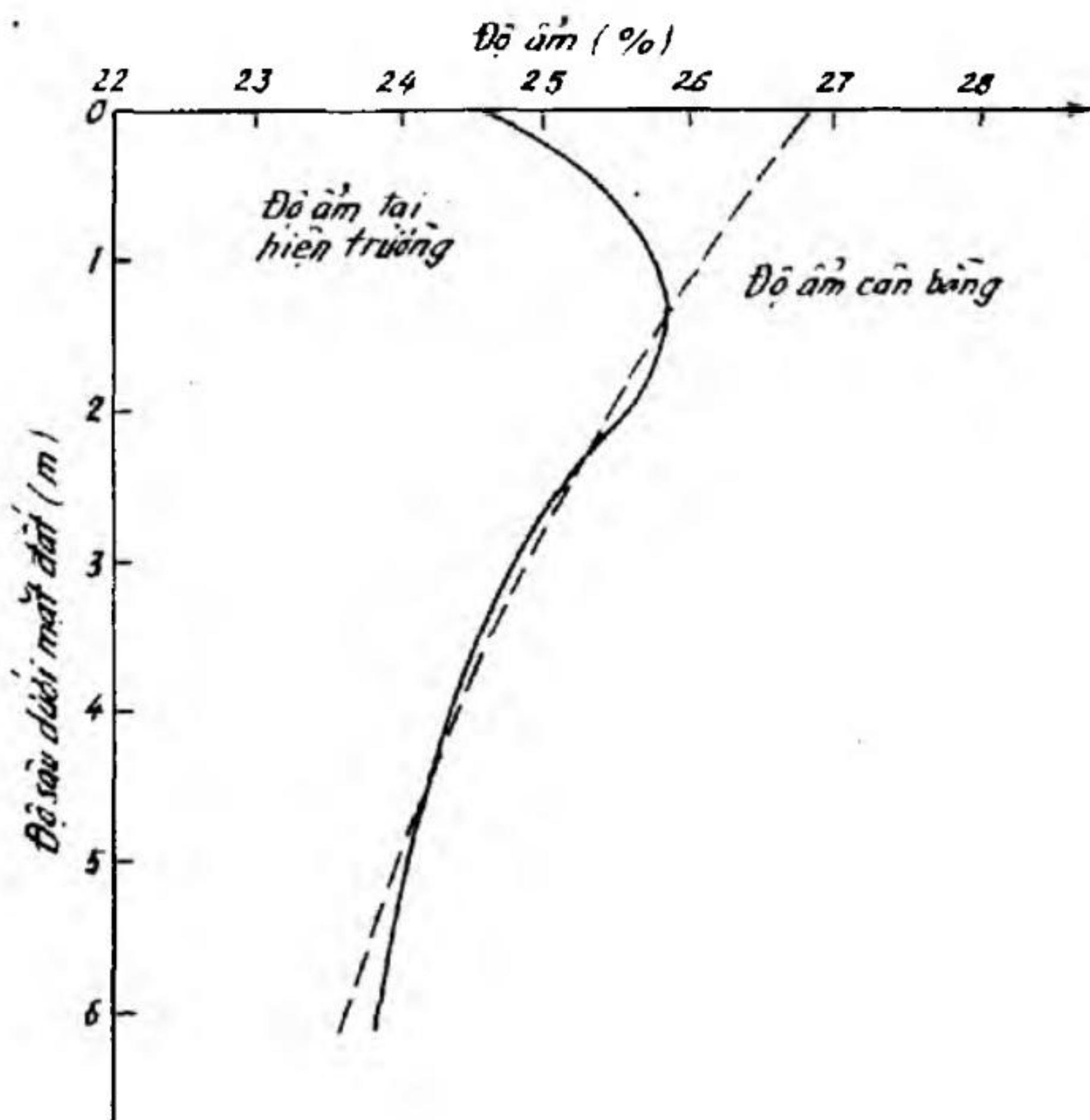
$$\text{Ứng suất thẳng đứng : } \sigma_z = \gamma z + 7,5 \text{ kN/m}^2$$

Độ hút ẩm :

$$S_s = \alpha_c \sigma_z - u_c$$

Giữa giá trị pF = 1,0 và 4,0, đường cong ẩm gần như là đường thẳng, cho nên emc = 49 - 9,0 pF.

Độ sâu (m)	γz (kN/m ²)	σ_z (kN/m ²)	$\alpha_c \sigma_z$ (m nước)	u_c (m)	S_s (m)	pF = lg 100 S_s	emc (%)
0,0	0,0	7,5	0,59	-1,70	2,29	2,36	26,8
0,5	9,35	16,9	1,34	-1,20	2,54	2,40	26,4
1,0	18,70	26,2	2,07	-0,70	2,77	2,44	26,0
1,5	28,05	35,6	2,81	-0,20	3,04	2,48	25,7
2,0	37,40	44,9	3,55	0,30	3,25	2,51	25,4
2,5	46,75	54,3	4,29	0,80	3,49	2,54	25,1
3,0	56,10	63,6	5,02	1,30	3,72	2,57	24,9
4,0	74,8	82,3	6,50	2,30	4,20	2,62	24,4
5,0	93,5	101,0	7,98	3,30	4,68	2,67	24,0
6,0	112,2	119,7	9,46	4,30	5,16	2,71	23,6



Hình 4-10. So sánh biểu đồ độ ẩm tại chỗ và độ ẩm cân bằng (emc) và theo đó dự đoán trương nở có thể xảy ra ở lớp đất 2m trên cùng

Các ví dụ mẫu về tính toán ứng suất hiệu quả

Ví dụ mẫu 4.2. Các lớp đất tại một công trường gồm có :

0-4m cát chứa cuội ($\gamma_{sat} = 20,0 \text{ kN/m}^3$, $\gamma = 19,2 \text{ kN/m}^3$)

4-9m đất sét ($\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3$)

Vẽ sơ đồ ứng suất hiệu quả / ứng suất tổng từ 0 đến 9m, khi mặt nước ngầm ở trên đỉnh lớp sét 1m.

Bài giải

Lớp cát chứa cuội ở dưới mặt nước ngầm là bão hòa và có trọng lượng đơn vị tự nhiên là $20,0 \text{ kN/m}^3$, cho nên độ tăng ứng suất tổng theo độ sâu là :

$$\Delta\sigma_z = \gamma_{\text{sat}} \cdot \Delta z = 20,0 \cdot \Delta z \text{ kN/m}^3.$$

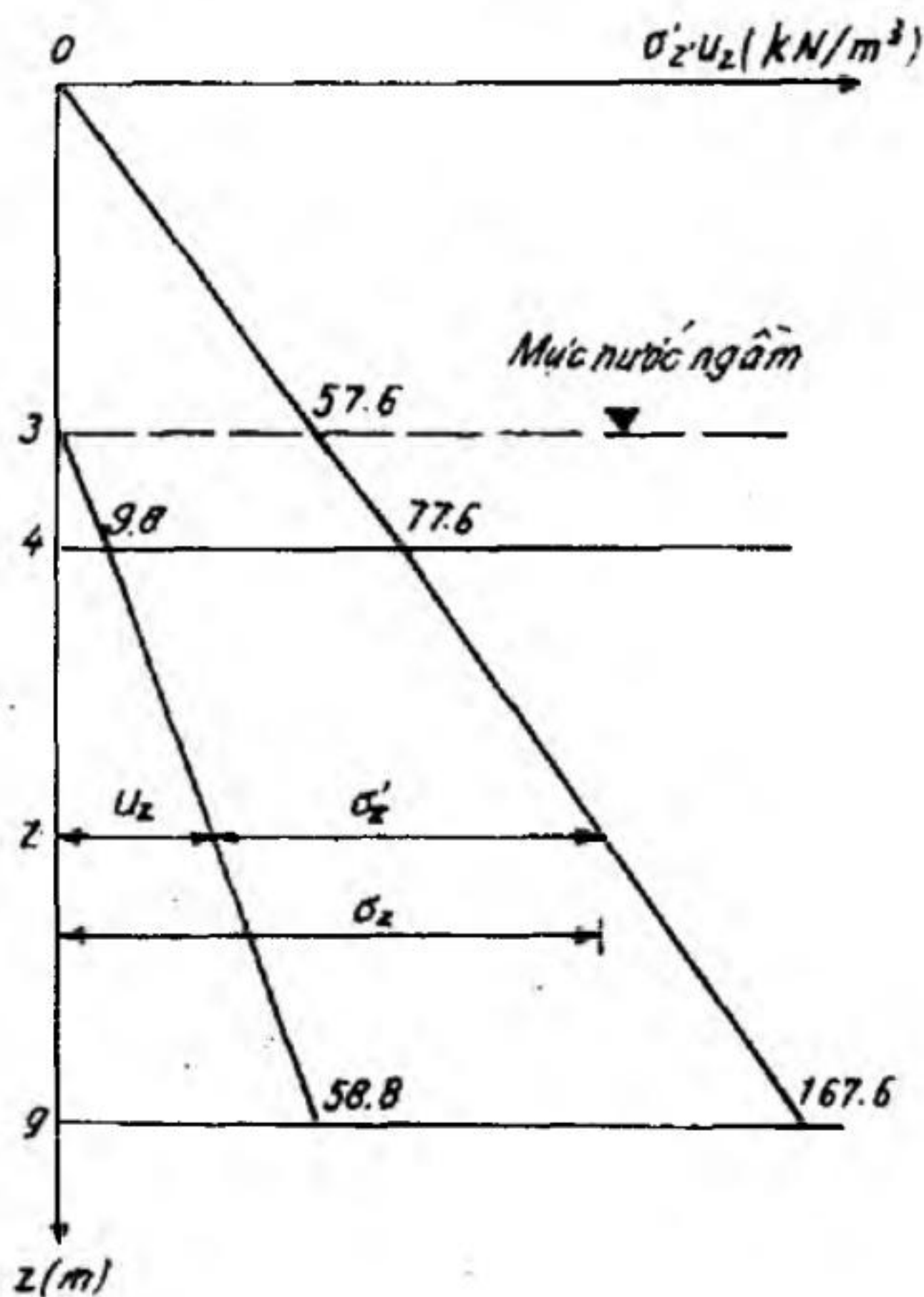
Trên mặt nước ngầm, đất không bão hòa có trọng lượng đơn vị là $19,2 \text{ kN/m}^3$ và :

$$\Delta\sigma_z = \gamma \cdot \Delta z = 19,2 \cdot \Delta z \text{ kN/m}^3$$

Trong lớp sét, vì có tính thấm nhỏ kết hợp với độ hút ẩm cao nên luôn tạo ra sự bão hòa ở trên mặt nước ngầm.

Ứng suất hiệu quả tại độ sâu đã cho :

$$\sigma'_z = \sigma_z - u_z$$



ở đây : u_z - áp lực nước lỗ rỗng tạo bởi mực nước ngầm tĩnh.

Các tính toán được xếp vào trong bảng dưới đây và sơ đồ ứng suất trình bày ở trong hình 4-11.

Hình 4-11. Sơ đồ ứng suất hiệu quả và ứng suất tổng

Độ sâu (m)	Ứng suất (kN/m^2)			
	Ứng suất tổng		Áp lực nước lỗ rỗng u_z	Ứng suất hiệu quả $\sigma_z = \sigma_z - u_z$
	$\Delta\sigma_z$	σ_z		
0	0	0	0	0
3	$19.2 \times 3 = 57.6$	57.6	0	57.6
4	$20.0 \times 1 = 20.0$	77.6	$9.81 \times 1 = 9.8$	67.8
9	$18.0 \times 5 = 90.0$	167.6	$9.81 \times 6 = 58.8$	108.8

Ví dụ mẫu 4.3. Tại một công trường, lớp cát bụi trên mặt dày 5m nằm trên lớp sét bùn dày 4m, phía dưới là đá không thấm. Hãy vẽ sơ đồ ứng suất hiệu quả / ứng suất tổng cho các điều kiện sau đây :

a) mặt nước ngầm bằng mặt đất ;

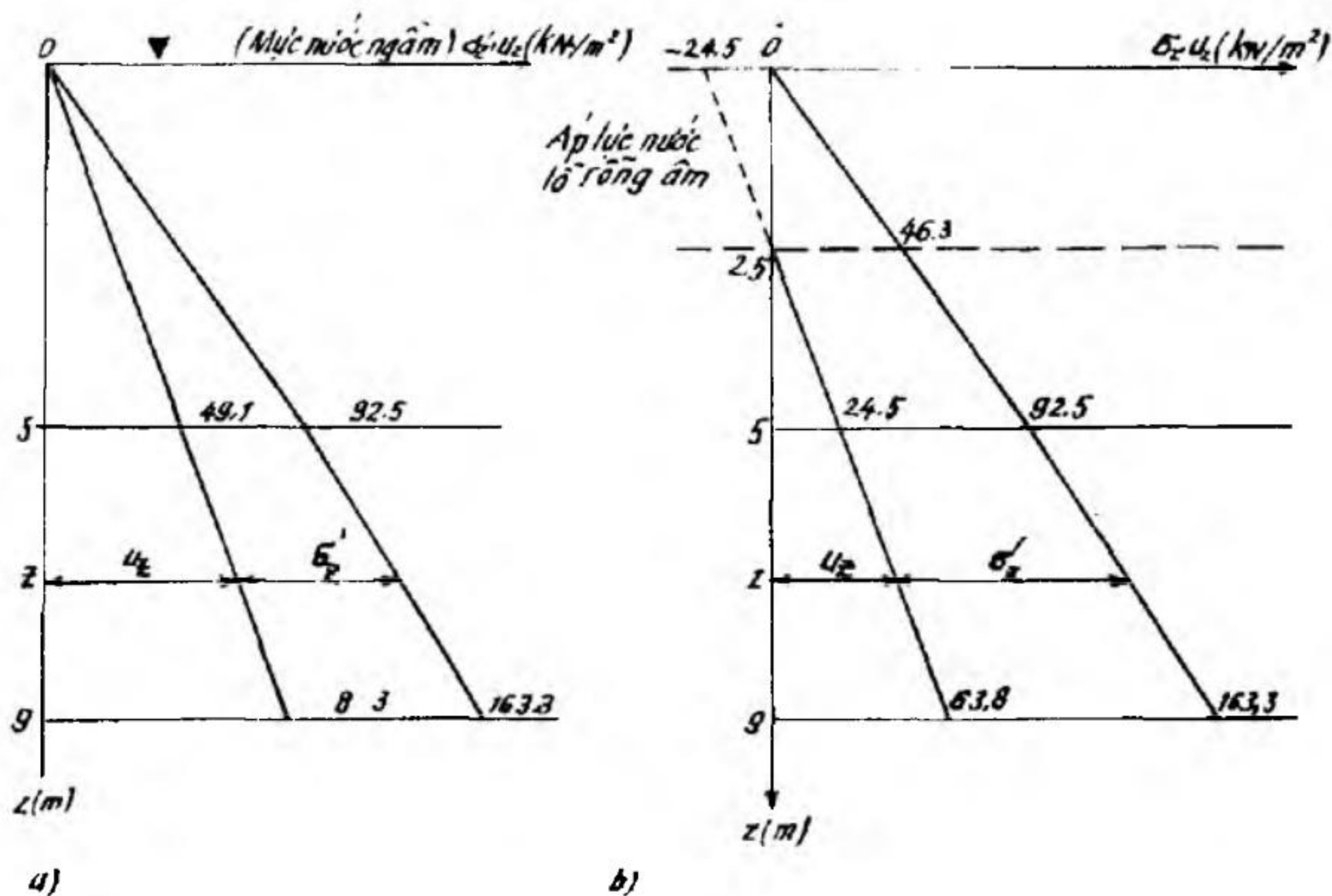
b) mặt nước ngầm ở độ sâu 2,5m, lớp cát bụi ở trên mặt nước ngầm được bão hòa bằng nước mao dẫn.

Trọng lượng đơn vị của cát bụi là $18,5 \text{ kN/m}^3$, của đất sét là $17,7 \text{ kN/m}^3$.

Bài giải

a) Khi mặt nước ngầm bằng mặt đất, toàn bộ đất bị ngập nước, khi đó trọng lượng đơn vị $= \gamma_{\text{sat}}$ và áp lực nước lỗ rỗng bằng $9,81z$. Kết quả tính toán được xếp thành bảng ở dưới đây, còn sơ đồ ứng suất thẳng đứng ở hình 4-12a.

Độ sâu (m)	Ứng suất (kN/m^2)			
	Ứng suất tổng		Áp lực nước lỗ rỗng, u_z	Ứng suất hiệu quả $\sigma_z = \sigma_z - u_z$
	$\Delta\sigma_z$	σ_z		
0	0	0	0	0
5	$18.5 \times 5 = 92.5$	92.5	$9.81 \times 5 = 49.1$	43.4
9	$17.7 \times 4 = 70.8$	163.3	$9.81 \times 9 = 88.3$	75.0



Hình 4-12

b) Lớp đất nằm trên mực nước ngầm đã bão hòa và áp lực nước lỗ rỗng sẽ âm :

$$u = 9,81(z - 2,5)$$

Dưới mực nước ngầm, áp lực nước lỗ rỗng là dương :

$$u = 9,81(z - 2,5).$$

Các tính toán được xếp trong bảng dưới đây và sơ đồ ứng suất của lớp phủ thể hiện trong hình 4-12b.

Độ sâu (m)	Ứng suất (kN/m ²)			
	Ứng suất tổng		Áp lực nước lỗ rỗng. u_z	Ứng suất hiệu quả $\sigma_z = \sigma_z - u_z$
	$\Delta\sigma_z$	σ_z		
0.0	0	0.0	$-9.81 \times 2.5 = -24.5$	-24.5
2.5	$18.5 \times 2.5 = 46.25$	46.3	0	46.3
5.0	$18.5 \times 2.5 = 46.25$	92.5	$9.81 \times 2.5 = 24.5$	68.0
9.0	$17.7 \times 4.0 = 70.8$	163.3	$9.81 \times 6.5 = 63.7$	99.6

Ví dụ mẫu 4.4. Một tầng cát chứa nước bị chặn dày 4m được phủ bởi lớp sét dày 3m và nằm trên tầng đá không thấm. Trọng lượng đơn vị của cát và sét tương ứng là $19,8 \text{ kN/m}^3$ và $18,2 \text{ kN/m}^3$. Xác định ứng suất hiệu quả do lớp phủ gây ra tại đỉnh và đáy lớp cát khi mực nước ngầm trong ống đo áp (đóng qua lớp sét để đặt vào trong tầng cát) là :

a) dưới mặt đất 2m ;

b) trên mặt đất 2m.

Bài giải

a) Nước trong ống đo áp biểu thị mặt nước ngầm ; do vậy, áp lực nước lỗ rỗng sẽ bằng :

$$\text{Đỉnh lớp cát : } u_z = 9,81 (3 - 2) = 9,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Đáy lớp cát : } u_z = 9,81 (3 + 4 - 2) = 49,1 \text{ kN/m}^2$$

Ứng suất hiệu quả được tính theo :

$$\begin{aligned} \text{Đỉnh lớp cát : } \sigma'_z &= \sigma_z - u \\ &= 3 \times 18,2 - 9,8 = \underline{44,8 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

$$\text{Đáy lớp cát } \sigma'_z = (3 \times 18,2 + 4 \times 19,8) - 49,1 = \underline{84,7 \text{ kN/m}^2}$$

b) Đỉnh lớp cát :

$$u_z = 9,81 (3 + 2) = 49,1 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_z = 3 \times 18,2 - 49,7 = \underline{5,5 \text{ kN/m}^2}$$

Đáy lớp cát :

$$u_z = 9,81 (3 + 4 + 2) = 88,3 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_z = (3 \times 18,2 + 4 \times 19,8) - 88,3 = 45,5 \text{ kN/m}^2$$

Ví dụ mẫu 4.5. Một trầm tích đầm hồ có lớp nước dày 4m trên lớp sét dày 3m, dưới là lớp cát dày 4m rồi đến đá không thấm. Hãy tính toán ứng suất hiệu quả tại đỉnh lớp sét và tại đỉnh và đáy lớp thứ hai trong các điều kiện sau :

a) ban đầu, trước khi có bất kì trầm tích nào được trầm đọng ;

b) sau khi có 2m trầm tích cát bụi hạt mịn ;

c) sau khi rút nước trong vụng tới đáy, vẫn còn lớp trầm tích có cùng chiều dày là 2m.

Trọng lượng đơn vị của đất sét là : 18 kN/m^3 ; của cát là : 20 kN/m^3 ; của trầm tích là : 16 kN/m^3 .

Bài giải

a) Ban đầu, trước khi có bất kì trầm tích nào được lắng đọng :

Đỉnh lớp sét :

$$\sigma_z = 9,81 \times 4 = 39,2 \text{ kN/m}^2$$

$$u_z = 9,81 \times 4 = 39,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_z = \sigma_z - u_z = 0$$

Đỉnh lớp cát :

$$\sigma_z = 39,2 + 18 \times 3 = 93,2 \text{ kN/m}^2$$

$$u_z = 9,81 \times 7 = 68,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_z = 24,5 \text{ kN/m}^2$$

Đáy lớp cát :

$$\sigma_z = 93,2 + 20 \times 4 = 173,2 \text{ kN/m}^2$$

$$u_z = 9,81 \times 11 = 107,9 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma'_z = 65,3 \text{ kN/m}^2$$

b) Khi 2m lớp trầm tích được lắng đọng nó sẽ thay cho 2m nước, vì thế làm tăng ứng suất thẳng đứng :

$$\Delta \sigma_z = (16,0 - 9,81) \cdot 2 = 12,4 \text{ kN/m}^2$$

Dỉnh lớp sét :

$$\sigma_z = 12,4 \text{ kN/m}^2$$

Dỉnh lớp cát :

$$\sigma_z = 24,5 + 12,4 = 36,9 \text{ kN/m}^2$$

Đáy lớp cát :

$$\sigma_z = 65,3 + 12,4 = 77,7 \text{ kN/m}^2$$

c) Khi xảy ra giảm mực nước đi 4m, độ tăng tương ứng của ứng suất hiệu quả :

$$\Delta \sigma_z = -\Delta u_z = 9,81 \times 4 = 39,2 \text{ kN/m}^2$$

Dỉnh lớp sét : $\sigma_z = 12,4 + 4 \times 9,81 = 51,6 \text{ kN/m}^2$

Dỉnh lớp cát $\sigma_z = 36,9 + 4 \times 9,81 = 76,1 \text{ kN/m}^2$

Đáy lớp cát $\sigma_z = 77,7 + 4 \times 9,81 = 116,9 \text{ kN/m}^2$

BÀI TẬP

1. Giải thích sự khác nhau giữa nước ngầm và nước tầng trên.
2. Tính toán gần đúng chiều cao mao dẫn trong đất có các đặc trưng sau : $e = 0,80$, đường kính hiệu quả $D_{10} = 0,052$ (giả thiết $C = 25$).
3. Tính toán áp lực hút ẩm cần để tạo ra chiều cao mao dẫn là 1,8m.
4. Định nghĩa các thuật ngữ : ứng suất tổng, ứng suất hiệu quả, áp lực nước lỗ rỗng và biểu diễn quan hệ giữa chúng.
5. Tính hệ số áp lực nước lỗ rỗng B cho đất có độ rỗng là 45%, hệ số ép co của cốt đất là $120 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{kN}$. Giả thiết hệ số ép co của nước là $0,454 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{kN}$.
6. Trình bày tác động của sự đóng băng ở lớp đất trên mặt và giải thích tại sao một số loại đất nhạy cảm nhiều hơn với hiệu ứng đóng băng.
7. Thí nghiệm đất ở lớp móng của đường giao thông cho : giới hạn chảy là 54%, giới hạn dẻo là 20%, mật độ thể tích là $18,6 \text{ kN/m}^3$. Mực nước ngầm ổn định tại độ sâu 1,5m dưới mực móng đường. Độ ẩm tại độ sâu 0,5m dưới đáy lớp móng đường xác định được

là 23% ngay trước khi thi công. Lớp móng đường truyền áp lực tiếp xúc là 5.8 kN/m^2 . Giả thiết quan hệ độ ẩm trung bình/độ hút ẩm là : $m = 50 + 10 \text{ pf}$.

Hãy tính độ ẩm cân bằng cho đất tại độ sâu đó và xác định có khả năng co ngót và trương nở sau khi thi công không ?

8. Tại một công trường, lớp đất sỏi pha cát trên mặt dày 6m, dưới là lớp sét dày 5m rồi đến đá không thấm. Hãy lập sơ đồ ứng suất tổng/ứng suất hiệu quả cho tới đáy của lớp sét trong các trường hợp sau :

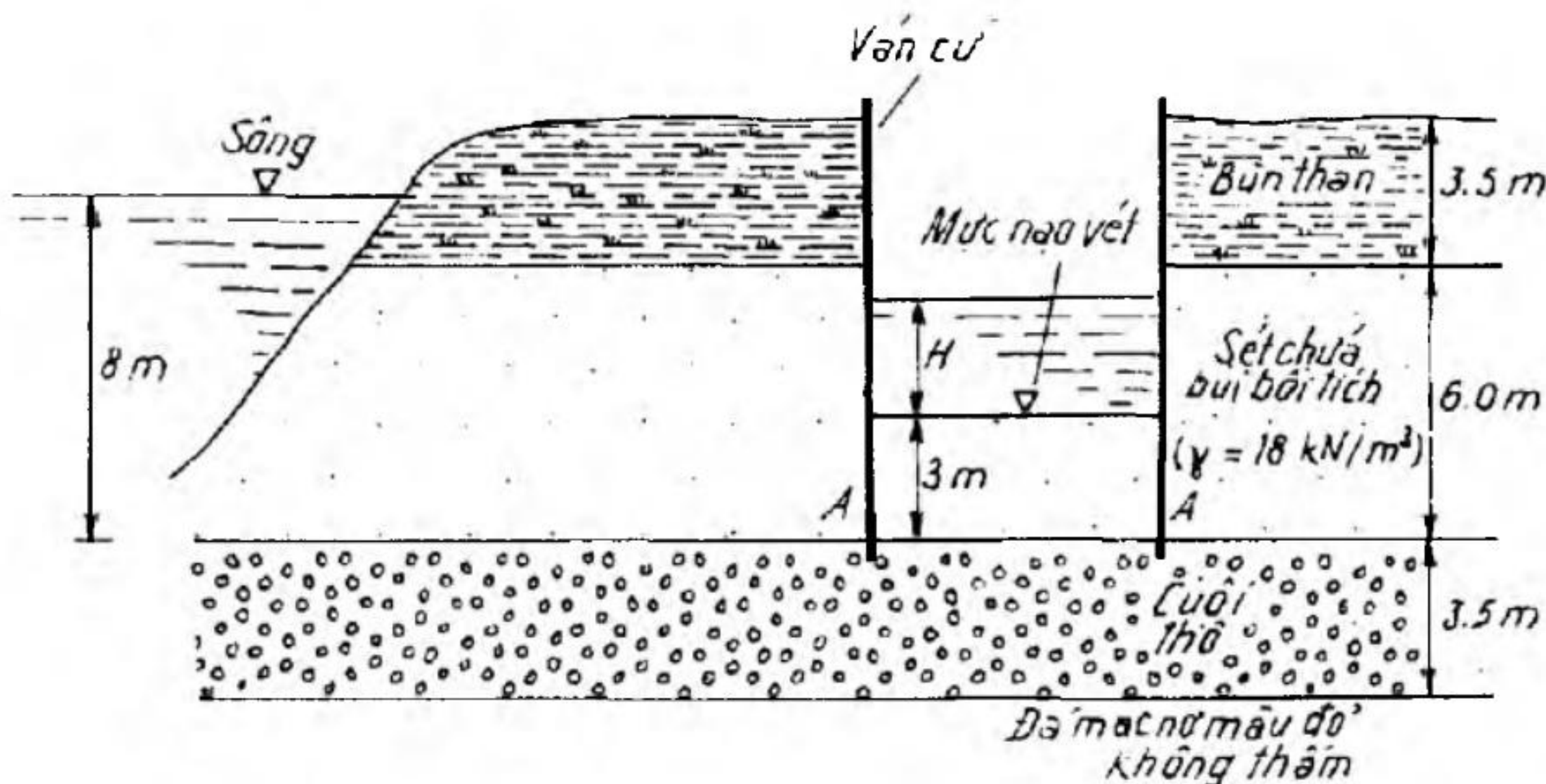
- mức nước ngầm bằng mặt đất ;
- mức nước ngầm tại mặt phân cách lớp sỏi pha cát và lớp sét ;

Trọng lượng đơn vị của sỏi pha cát (bão hòa) là : 21 kN/m^3 ;
 của sỏi pha cát (đã thoát nước) là : 18 kN/m^3 ;
 của đất sét là : 19 kN/m^3 .

9. Trên một công trường cải tạo đất, lớp đất đắp cấp phối ($\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$) được đầm chặt trải ở trên lớp sét bùn đã có ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$), với bề dày là 3m. Phía dưới là lớp sỏi dày 2m ($\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$). Giả thiết là, mức nước ngầm ở bề mặt lớp sét bùn. Hãy vẽ sơ đồ ứng suất tổng/ứng suất hiệu quả cho các trường hợp sau :

- trước khi đắp đất ;
- ngay sau khi đất được đắp.

10. Hình 4-13 là mặt cắt ngang của một hố móng đào dọc theo sông. Hãy viết biểu thức tính ứng suất hiệu quả tại mức A-A và dùng nó để xác định độ sâu H mà nước



Hình 4-13

trong hố móng có thể giảm xuống trước khi gây ra sự mất ổn định. Giả thiết tổn thất áp lực thấm là 30% tại mức A-A của lớp cuối.

11. Một hố móng rộng được đào tại một công trường, nơi các lớp đất có các đặc trưng sau :

- | | |
|----------------------|--|
| 0 - 2m sỏi hạt trung | $\gamma_{sat} = 21.8 \text{ kN/m}^3$
$\gamma_{drained} = 18.5 \text{ kN/m}^3$ |
| 2 - 6m cát bụi | $\gamma_{sat} = 19.6 \text{ kN/m}^3$
$\gamma_{drained} = 18.4 \text{ kN/m}^3$ |
| 6 - 21m đất sét nặng | $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ |

Dưới 21m là đá cát kết thấm nước.

Mức nước ngầm ở cách mặt đất 1.5m và áp lực tầng nước có áp trong đá cát kết tương ứng với cột nước tĩnh nằm cao hơn mặt đất 5m.

- Tính ứng suất hiệu quả ban đầu tại đỉnh và đáy của lớp sét.
- Có thể tiến hành bơm hút đến độ sâu nào, mà đáy hố móng chưa bị vỡ bục ?
- Nếu hố móng cần sâu tới 10m và hệ số an toàn là 1.5, thì để chống hiện tượng bục vỡ đáy hố móng, hãy tính độ giảm cột nước tĩnh tương đương cần cho tầng đá cát kết (bằng cách giảm nhẹ bơm hút nước).

Chương 5

THẨM CỦA NƯỚC TRONG ĐẤT

5.1. Dòng thấm

Đất gồm các hạt phân tán, khoảng rỗng giữa chúng hoàn toàn thông với nhau nên nước chảy tự do được ở bên trong khối đất. Trong môi trường rỗng như vậy, nước sẽ chảy từ vùng có áp lực cao tới vùng có áp lực thấp. Khi nghiên cứu các bài toán thấm, áp lực biểu thị bằng *cột áp lực* hay *cột nước*. Theo phương trình Bernoulli, *tổng cột nước H* tạo ra dòng thấm bằng tổng của ba cột nước thành phần :

$$H = h_z + \frac{u}{\gamma_w} + \frac{v^2}{2g} \quad [5.1]$$

ở đây : h_z - vị trí hay cao trình cột nước ;

$\frac{u}{\gamma_w}$ - cột nước áp lực do áp lực nước lỗ rỗng u ;

$\frac{v^2}{2g}$ - cột nước vận tốc khi vận tốc dòng thấm là v .

Do đất có kết cấu hạt, dòng thấm chịu sức cản lớn nên v thường quá nhỏ, vì vậy thường bỏ qua cột nước vận tốc trong các bài toán thấm. Cột nước gây ra dòng thấm qua khối đất sẽ chỉ gồm hai thành phần cột nước đầu mà thôi.

Trong điều kiện bão hòa, dòng một hướng tuân theo định luật Dacxi : vận tốc thấm tỉ lệ với gradien thủy lực :

$$v \text{ tỉ lệ với } i \quad \text{hay} \quad v = ki \quad [5.2]$$

ở đây : v - vận tốc thấm ;

k - hằng số thấm hay hệ số thấm ;

i - gradien thủy lực, $i = \frac{\Delta H}{\Delta L}$ (hình 5-1) ;

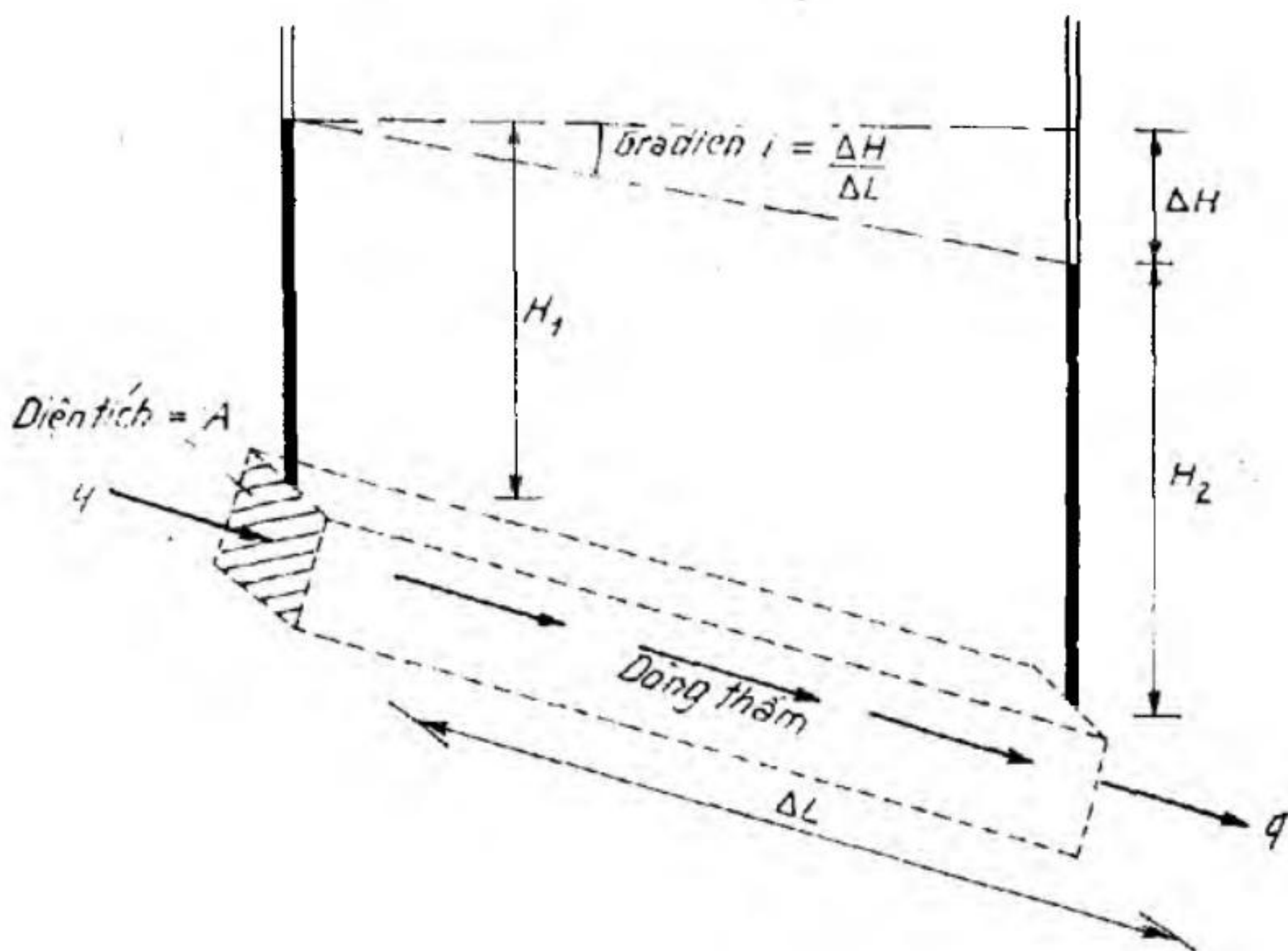
ΔH - độ chênh cột trước áp lực trên chiều dài dòng thấm ΔL ;

Vì thế, lưu lượng thấm sẽ bằng :

$$q = A.v = Aki \quad [5.3]$$

ở đây : q - lưu lượng thấm trong đơn vị thời gian ;

A - diện tích dòng thấm đi qua.



Hình 5-1. Dòng thấm một hướng trong đất

5.2. Hệ số thấm

Tính thấm (hay *tính dẫn thủy lực*) là khả năng của đất cho nước đi qua. *Hệ số thấm* k có thể định nghĩa là vận tốc thấm khi

gradien thủy lực bằng đơn vị (xem phương trình [5.2]). Giá trị k được dùng để đo sức cản của đất với dòng thấm và chịu ảnh hưởng của một số yếu tố sau :

- a) độ rỗng của đất ;
- b) sự phân bố thành phần hạt ;
- c) hình dạng và định hướng của hạt đất ;
- d) độ bão hòa/có mặt không khí ;
- e) loại cation và bề dày lớp hấp phụ hút bám với khoáng vật sét (nếu có mặt).
- f) độ nhớt của nước trong đất ; nó biến đổi theo nhiệt độ.

Giá trị k biến đổi trong phạm vi rộng, từ 1000 m/s cho cuội rất thô tới gần bằng 0 với đất sét. Trong đất rời, k biến đổi tỉ lệ nghịch với giá trị bề mặt riêng (xem phần 1.6), còn trong đất dính, quan hệ sẽ phức tạp hơn. Trong đất sét, các yếu tố như độ ẩm và nhiệt độ có ý nghĩa lớn, còn khi nghiên cứu tính thấm của khối lớn thì sự có mặt các khe nứt cũng có ý nghĩa lớn. Phạm vi các giá trị k trung bình và khả năng thoát nước cho các loại đất khác nhau được thấy ở trong bảng 5-1.

BẢNG 5-1. PHẠM VI CÁC GIÁ TRỊ k

10^2 -		
10^1 -		
1 - Cuội sạch		Thoát nước rất tốt
10^{-1} -		
10^{-2} -		
10^{-3} - Cát sạch, cát và cuội hỗn hợp		Thoát nước tốt
10^{-4} -	Đất sét phong hóa và nứt nẻ	
10^{-5} - Cát rất mịn		
10^{-6} - Bụi và cát bụi		Thoát nước kém
10^{-7} -		
10^{-8} - Bụi sét (> 20% sét) Đất sét không nứt nẻ		Thực tế không thấm nước
10^{-9} -		

Giá trị k gần đúng. Một số quan hệ gần đúng bằng thực nghiệm giữa k và các đặc trưng khác được đề nghị là :

k tỉ lệ với D_{10}^2 , hoặc với $(D_{10})^2$, với $\frac{e^3}{1+e}$, với e^2 , với lge

Tuy nhiên, khi nghiên cứu so sánh thì thấy rõ là không có quan hệ nào là hoàn toàn tin cậy và thực tế nhất là nên tính k theo thí nghiệm hút nước ngoài trời hay thí nghiệm trong phòng.

Cho cát lọc, một trong các công thức gần đúng hay dùng nhất là công thức do Hazen đề nghị :

$$k = C_k D_{10}^2 \text{ (mm s)} \quad [5.4]$$

ở đây : D_{10} - đường kính hiệu quả (mm) ;

C_k - hệ số kinh nghiệm phụ thuộc vào bản chất của đất.

Khi dùng công thức Hazen cho nhiều loại đất, bằng chứng thực nghiệm cho thấy có thể chấp nhận được các giá trị k gần đúng này. Bảng 5-2 cho biết các giá trị của hệ số C_k .

BẢNG 5-2. GIÁ TRỊ HỆ SỐ C_k CỦA HAZEN

$C_k \text{ (s/mm)}$	Loại đất	Phạm vi $D_{10} \text{ (mm)}$
8 - 12	Cát đồng nhất ($U_c < 5$)	0,06 - 3,0
5 - 8	Cát cấp phối tốt và cát bụi ($U_c \geq 5$)	0,003 - 0,6

Ảnh hưởng của nhiệt độ. Vì cả độ nhớt và mật độ của nước biến đổi rõ rệt theo nhiệt độ, dẫn đến giá trị hệ số thấm cũng chịu ảnh hưởng của những thay đổi nhiệt độ. Về lý thuyết, với dòng thấm tầng trong khối đất bão hòa thì :

k phụ thuộc vào $\frac{\gamma_w}{\eta}$

ở đây : γ_w - trọng lượng đơn vị của nước ;

η - độ nhớt của nước.

Ảnh hưởng của nhiệt độ được hiệu chỉnh như sau :

$$k_t = K_t \cdot k_{20} \quad [5.5]$$

ở đây : k_t – giá trị k ở nhiệt độ t .

k_{20} – giá trị k ở nhiệt độ 20°C (nhiệt độ phòng tiêu chuẩn) ;

K_t – hệ số hiệu chỉnh nhiệt độ.

Các giá trị K_t được cho trong bảng 5-3, tại 20°C thì $K_t = 1,0$ vì ở nhiệt độ này hầu hết sự chia độ trong phòng đã được tiêu chuẩn hóa.

BẢNG 5-3. GIÁ TRỊ HỆ SỐ HIỆU CHỈNH NHIỆT ĐỘ K_t

$^\circ\text{C}$	K_t	$^\circ\text{C}$	K_t
0	1,779	25	0,906
4	1,555	30	0,808
10	1,299	40	0,670
15	1,133	50	0,550
20	1,000	60	0,468
		70	0,410

5.3. Vận tốc thấm và áp lực thấm

Chuyển động của nước qua khối đất nói chung được gọi là thấm. Trên tỉ lệ cực nhỏ thì khi qua các lỗ rỗng trong đất nước sẽ theo các đường quanh co. Tuy vậy theo quan điểm thực tế, ta giả định nước thấm theo đường thẳng. Trong phương trình Darcy, vận tốc v được hiểu là *vận tốc biểu kiến* hay *vận tốc bề mặt* vì vận tốc liên hệ với diện tích mặt cắt A của đất. *Vận tốc thực* v_s qua lỗ rỗng sẽ lớn hơn vận tốc thấm.

Hãy xem xét đất có độ rỗng $n = A_v/A$.

Lưu lượng thấm ứng với vận tốc thấm đã cho :

$$q = Av = A_v v_s$$

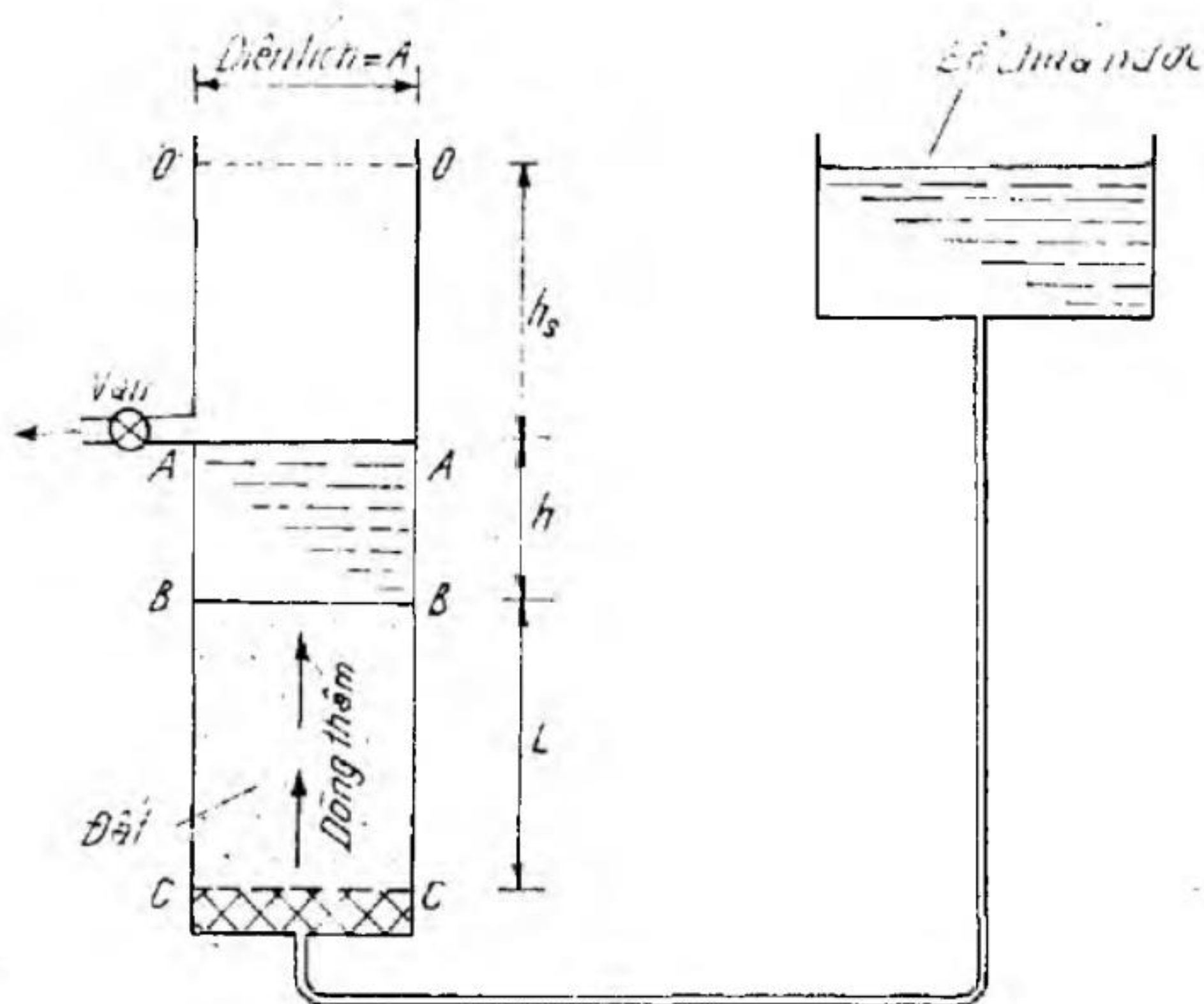
ở đây : A – diện tích mặt cắt của đất (vuông góc với hướng thấm).

A_v – diện tích mặt cắt của lỗ rỗng.

Vận tốc thực sẽ tính theo :

$$v_s = v \frac{A}{A_v} = \frac{v}{n} = \frac{ki}{n} \quad [5.6]$$

Công của nước khi thấm tạo ra *lực thấm* J tác động lên các hạt đất. Hãy xem xét cột đất ở hình 5-2. Khi mở rộng van tại mức A-A, dòng thấm diễn ra dưới ảnh hưởng của cột nước h_s , sinh ra lực thấm hướng lên tác động tới các hạt đất ở giữa mức C-C và B-B.



Hình 5-2. Áp lực thấm

Khi van ở mức A-A đóng lại, mức nước sẽ dâng tới O-O rồi ổn định. Tại vị trí này thấm sẽ không xảy ra. Có thể kết luận được rằng, lực thấm bây giờ đã cân bằng với trọng lượng nước thêm ở giữa A-A và O-O.

Vì thế lực thấm $J = \gamma_w h_s A$

Do vận tốc thấm là hằng số nên lực thấm tác động lên đất giữa mức C-C và B-B cũng không đổi.

Bởi vậy, lực thấm cho mỗi đơn vị thể tích $j = \frac{\gamma_w h_s A}{LA}$. Vì

$\frac{h_s}{L} = i$ (i - gradient thủy lực), nên ta có :

$$j = i\gamma_w \quad [5.7]$$

Lực thấm cho mỗi đơn vị thể tích j thường được xem là *áp lực thấm*.

5.4. Điều kiện chảy và gradient thủy lực tới hạn

Trong khối đất, áp lực thấm tạo bởi dòng thấm có hướng đi lên tác động tới các hạt đất sẽ làm cho ứng suất hiệu quả hay ứng suất giữa các hạt giảm đi. *Điều kiện chảy* xảy ra nếu vận tốc thấm đủ lớn để áp lực thấm triệt tiêu được hoàn toàn ứng suất hiệu quả. Đó là điều kiện chủ yếu nhất, khi đó đất sẽ không có độ bền kháng cắt vì ứng suất giữa các hạt đã giảm tới không. Hãy xem lại tình thế trong hình 5-2.

Ở điều kiện chảy, tại C-C dòng thấm sẽ tạo lực thấm bằng và ngược chiều với ứng suất hiệu quả do trọng lượng đất gây ra.

Tại C-C, cân bằng các lực ta sẽ có :

$$\gamma_w(L + h + h_s)A = \gamma_{sat}L + \gamma_w h$$

từ đó rút ra được :

$$\gamma_w h_s = (\gamma_{sat} - \gamma_w)L$$

hay : $\gamma_w i_c = \gamma'$

ở đây : i_c - *gradient thủy lực tới hạn*, tức là gradient thủy lực tương ứng điều kiện chảy.

Giá trị i_c được tính theo công thức sau :

$$\begin{aligned} i_c &= \frac{\gamma'}{\gamma_w} = \frac{\gamma_{sat} - \gamma_w}{\gamma_w} \\ &= \frac{(G_s + e)\gamma_w / (1 + e) - \gamma_w}{\gamma_w} \\ &= \frac{G_s - 1}{1 + e} \end{aligned} \quad [5.8]$$

Trong đất không dính, với cát hạt trung tới mịn, điều kiện chảy xảy ra khi gradien thủy lực bằng khoảng 1,0. Nơi điển hình cho hiện tượng này diễn ra nhiều là ở tại các bãi bồi được lắng đọng đột ngột sau khi con nước triều dâng cao và tại đáy vùng đổ đá thải sau đó có mưa dữ dội. Thuật ngữ dân gian "cát chảy" xuất phát ở chỗ, hiện tượng này thường xảy ra ở trong loại đất cát mịn tới cát trung, tại nơi tính thấm và gradien thủy lực có sự kết hợp đặc biệt làm tăng nhanh tới điều kiện chảy. Tuy nhiên, nó khác và không phải là điều kiện "cát chìm". "Cát chảy" thiếu sức chống cát, thực sự là một dịch thể, nhưng có mật độ gấp 2 lần nước, vì thế cơ thể con người sẽ nổi ở dạng bán ngập.

Trong đất dính kết như bụi và đất sét, tiêu chuẩn gradien thủy lực tới hạn không áp dụng được là vì các loại đất này có ít nhiều độ bền kháng cắt ngay cả khi ứng suất pháp bằng không.

5.5. Xác định k trong phòng thí nghiệm

Hệ số thấm k được xác định bằng thí nghiệm ngoài trời hay ở trong phòng. Mức độ tin cậy của việc thí nghiệm ở trong phòng phụ thuộc vào các vấn đề liên quan đến :

- a) việc nhận được các mẫu đất có tính đại diện tốt ;
- b) việc tái lập lại các đo lường thí nghiệm ;
- c) việc tạo lại các điều kiện ở ngoài trời.

Độ tin cậy của mẫu. Tính thấm của khối đất phụ thuộc vào cả vi kết cấu (kích thước, hình dạng hạt, sự sắp xếp...) và kết cấu vĩ mô (có sự phân tầng hay không, có các khe nứt, đường dẫn, thấu kính, ...). Thực tế hiển nhiên là vì kích thước mẫu lấy cho thí nghiệm trong phòng quá nhỏ nên không đại diện và thỏa mãn các đặc trưng kết cấu vĩ mô cần lưu ý của đất. Trong chừng mực nào đó, nhược điểm này có thể khắc phục bằng cách lựa chọn cẩn thận các nhóm mẫu thí nghiệm.

Độ tin cậy khi đo lường trong phòng. Mục đích của bất kì quy trình thí nghiệm nào là phải cho được cái kết quả lặp lại tương tự khi dùng cùng quy trình và phù hợp với kết quả khi sử dụng quy trình khác. Trong thí nghiệm thấm ở trong phòng, kết quả khác biệt có thể xảy ra do :

- a) có bọt khí ở trong nước thấm ;
- b) dung trọng và độ rỗng của mẫu đất thay đổi ;
- c) nhiệt độ thay đổi dẫn đến độ nhớt của nước thấm cũng biến đổi.

Tạo lại các điều kiện ở ngoài trời. Nói chung, khá khó khăn để có được mẫu nguyên dạng thí để mô phỏng được ở trong phòng thí nghiệm điều kiện dòng thấm và ứng suất thực ngoài trời lại càng khó khăn hơn. Sự khác biệt chủ yếu giữa điều kiện thí nghiệm trong phòng và ngoài trời là :

- a) dung trọng và độ rỗng thay đổi ;
- b) với lớp nền, hướng dòng thấm thay đổi ;
- c) mẫu nhỏ, hạn chế khả năng mô phỏng điều kiện dị hướng,
- d) điều kiện áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất hiệu quả biến đổi.

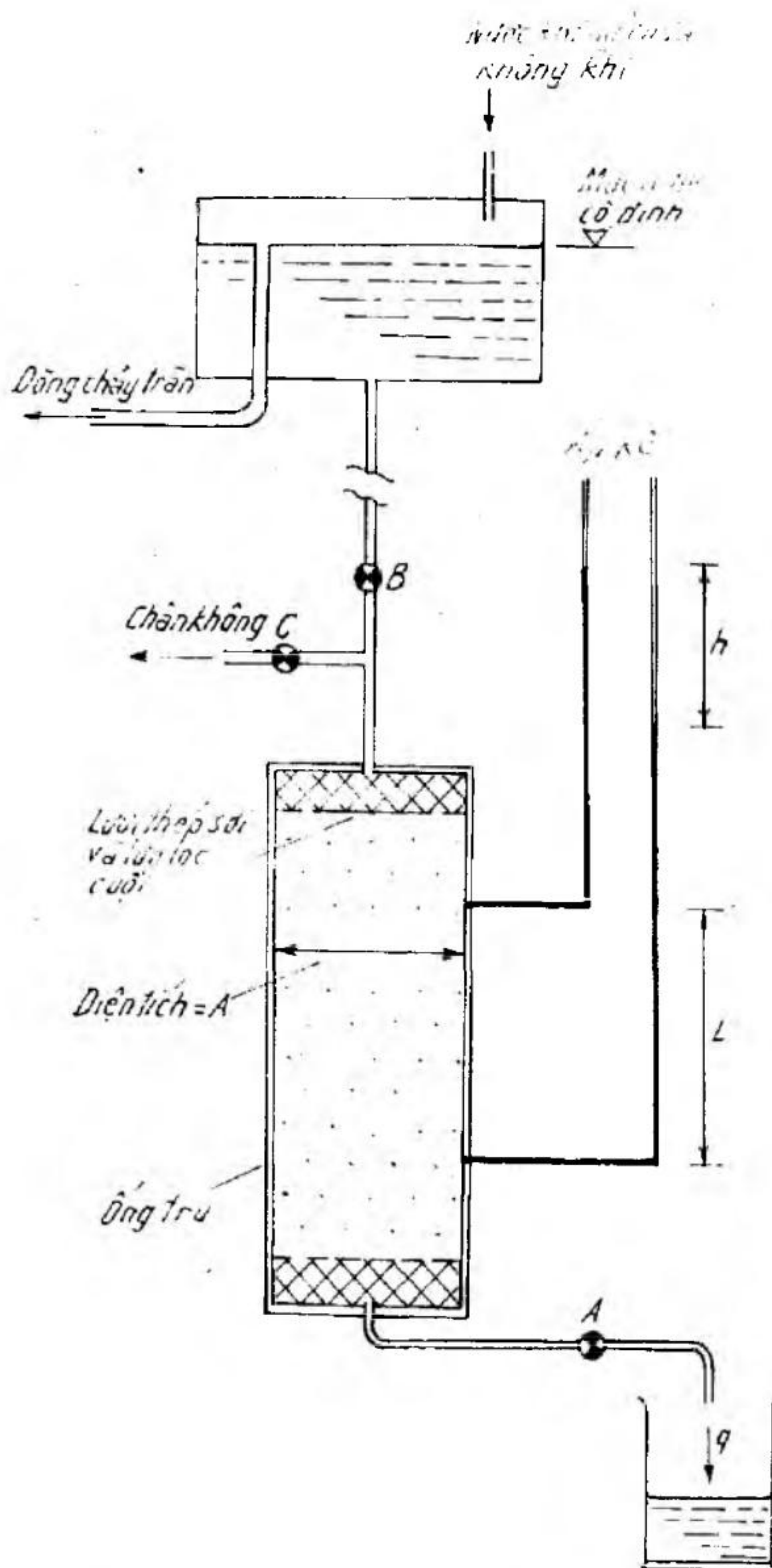
Vì những lí do này, bất cứ lúc nào có khả năng và thích hợp là phải tiến hành thí nghiệm trong phòng nhiều hơn thí nghiệm ở ngoài trời.

Giá trị k có phạm vi rộng, nên tùy theo loại đất mà chọn phương pháp và thiết bị thí nghiệm khác nhau. Hiện nay, các phương pháp thí nghiệm phổ biến nhất được dùng là :

- a) *Thí nghiệm cột nước cố định* : thích hợp cho cuội và cát có $k > 10^{-4}$ m/s.
- b) *Thí nghiệm cột nước giảm dần* : thích hợp cho cát mịn, bụi và đất sét có k nằm giữa 10^{-4} và 10^{-7} m/s.
- c) *Thí nghiệm hộp thấm Rowe* : thích hợp cho đất có tính thấm rất kém ; xác định được tính thấm theo cả phương đứng và phương ngang.

5.6. Thí nghiệm thấm với cột nước cố định

Thí nghiệm cột nước cố định được dùng để xác định hệ số thấm k của đất hạt thô như cuội và cát có giá trị k trên 10^{-4} m/s. Thiết bị được dùng gọi là *thấm kế* với cột nước cố định có sơ đồ như ở hình 5-3.



Hình 5-3. Thiết bị thí nghiệm cột nước cố định

Mẫu đất được đặt trong một ống trụ, có lưới thép sợi và lớp cuội lọc ở phía trên và dưới. Một số áp kế tại các điểm nối tiếp gắn ở thành bên ống trụ cho số đọc của từng cặp cột nước áp lực thu được (trong sơ đồ chỉ có một cặp áp kế). Nước thấm qua mẫu đất được cấp từ thùng hay bể nước với thiết kế duy trì được cột nước cố định còn lưu lượng đo theo lượng nước ở chậu hứng.

Cần giảm đến mức tối thiểu lượng không khí ở trong hệ thống vì bọt khí có ảnh hưởng lớn đến kết quả thí nghiệm. Đầu tiên, có thể khắc phục bằng cách chỉ cung cấp nước đã thoát khí cho bể chứa nước có cột nước cố định và tiếp đó tạo chân không cho mẫu trước khi bắt đầu thí nghiệm. Thí nghiệm tiến hành : mở van A và B, đóng van C, dùng van A để khống chế vận tốc thấm. Dòng thấm diễn ra liên tục cho đến khi đạt *trạng thái ổn định* - khi các mực nước ở trong các ống áp kế không thay đổi. Lúc này, đo lưu lượng dòng thấm trong khoảng thời gian đã cho và ghi lại các mức của hai áp kế. Sau đó, vận tốc thấm sẽ thay đổi và lặp lại trình tự thí nghiệm. Phải tiến hành thí nghiệm với các vận tốc thấm và cột nước khác nhau để tính giá trị k trung bình.

Sử dụng định luật Darcy để xác định giá trị k .

Từ phương trình [5.3] $q = kA_i$, ta rút ra :

$$k = \frac{q}{A_i} = \frac{QL}{Aht} \quad \text{mm/s} \quad [5.9]$$

ở đây : Q - lưu lượng thu được trong thời gian $t(s)$;

$$Q = Q(\text{ml}) \times 10^3 \text{ (mm}^3\text{)} ;$$

A - diện tích mặt cắt ngang của mẫu (mm^2) ;

h - độ chênh của mực áp kế (mm) ;

L - khoảng cách giữa các điểm gắn áp kế (mm).

Ví dụ mẫu 5.1. Tiến hành thí nghiệm bằng thấm kế cột nước cố định có được các số liệu sau đây. Hãy xác định giá trị k trung bình. Biết đường kính của mẫu là 100mm , khoảng cách giữa các điểm gắn áp kế $L = 150\text{mm}$.

Lưu lượng thu được trong 2 phút (ml)	541	503	509	479
Độ chênh của mức áp kế (mm)	76	72	68	65

Bài giải

Diện tích tiết diện ngang của mẫu $A = 100^2 \times \frac{\pi}{4} = 7854 \text{ mm}^2$

Lưu lượng thấm $Q = Q(\text{ml}) \times 10^3 \text{ mm}^3$

Thời gian thấm $t = 2 \times 60 = 120\text{s}$

Từ phương trình [5.9], ta có :

$$k = \frac{QL}{Aht} = \frac{Q \times 10^3 \times 150}{7854 \times h \times 120}$$

$$= 0,159 \text{ Q/h mm/s}$$

Kết quả tính được thống kê trong bảng

Lưu lượng thấm Q (ml)	Độ chênh cột nước h (mm)	$k = 0,159 \text{ Q/h (mm/s)}$
541	76	1,13
503	72	1,11
509	68	1,19
474	65	1,16

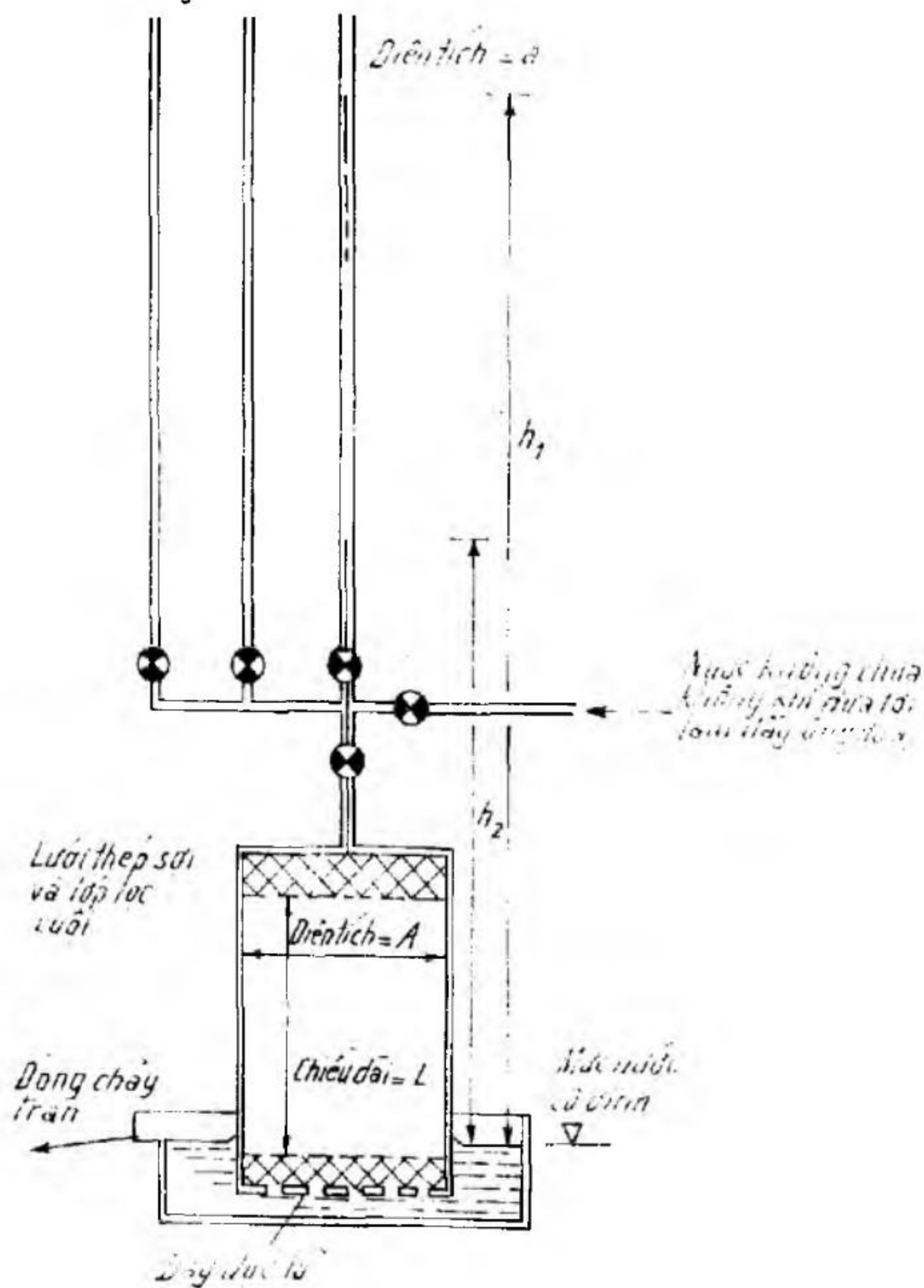
$k \text{ trung bình} = 1,15 \text{ mm/s}$

5.7. Thí nghiệm thấm với cột nước giảm dần

Thí nghiệm với cột nước giảm dần dùng để xác định hệ số thấm của đất hạt mịn như cát mịn, bụi và đất sét. Với các loại đất này, vận tốc của dòng nước qua chúng quá nhỏ, không có khả năng đo chính xác được bằng thấm kế với cột nước cố định. Hình 5-4 là sơ đồ thấm kế với cột nước giảm dần.

Mẫu đất nguyên dạng được đặt trong ống trụ, thường có đường kính 100mm, có thể là ống lấy mẫu U100 hay ống cắt mẫu khoan như khi dùng trong thí nghiệm xác định dung trọng ngoài trời. Mẫu có thể chuẩn bị bằng cách đầm chặt trong một khuôn đúc tiêu chuẩn. Lưới thép sợi và lớp cuội lọc được đặt ở đỉnh và đáy

Các ống nhỏ có
đường kính khác nhau



Hình 5-4. Thiết bị thí nghiệm cột nước giảm dần

của mẫu. Đáy của ống trụ đặt trong bể nước tạo được dòng chảy tràn ở mức cố định, còn đỉnh ống trụ nối tiếp với một ống đo áp bằng thủy tinh đã biết đường kính.

Thí nghiệm tiến hành với việc làm đầy ống đo áp bằng nước không chứa không khí và cho thấm qua mẫu đất. Trong lúc thí nghiệm, sau các khoảng thời gian, ghi lại chiều cao của nước trong ống đo áp ; thí nghiệm lặp lại với các ống đo áp có đường kính khác nhau. Theo các kết quả thí nghiệm, tính toán xác định giá trị k trung bình. Thường phải báo cáo cả trọng lượng đơn vị ban đầu và khi kết thúc thí nghiệm, cũng như độ ẩm của mẫu đất.

Xuất phát từ định luật Darcy (phương trình [5.3]) :

$$q = kAi$$

Nhưng lưu ý tới hình 5-4, nếu mực nước trong ống đo áp giảm thấp là dh trong thời gian dt , thì :

$$q = -a \frac{dh}{dt}$$

và gradien thủy lực $i = \frac{h}{L}$

vì thế $q = -a \frac{dh}{dt} = kA \frac{h}{L}$

ở đây : a - diện tích mặt cắt ngang của ống đo áp ;

A - diện tích mặt cắt ngang của mẫu đất.

Sắp xếp lại rồi tích phân phương trình trên, ta được :

$$-\int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} = \frac{kA}{aL} \int_{t_1}^{t_2} dt$$

$$-\log_e \frac{h_2}{h_1} = \frac{kA}{aL} (t_2 - t_1)$$

Rút ra công thức tính k :

$$k = \frac{aL \log_e (h_1/h_2)}{A (t_2 - t_1)} \quad [5.10a]$$

hay $k = \frac{2,3aL \lg(h_1/h_2)}{A (t_2 - t_1)} \quad [5.10b]$

Ví dụ mẫu 5.2. Trong thí nghiệm dùng thấm kế cột nước giảm, đã ghi được các số liệu sau đây. Hãy xác định giá trị k trung bình. Biết đường kính của mẫu đất là 100 mm, chiều dài mẫu 150 mm.

Bài giải

Diện tích mặt cắt ngang của mẫu đất $A = 100^2 \times \frac{\pi}{4}$.

Diện tích mặt cắt ngang của ống đo áp $a = d^2 \times \frac{\pi}{4}$.

Từ phương trình [5.10a], thay các giá trị vào :

$$k = \frac{aL \log_e (h_1/h_2)}{A (t_2 - t_1)}$$

$$= \frac{d^2 \times 150 \log_e (h_1/h_2)}{100^2 (t_2 - t_1)} = \frac{0,015d^2 \log_e (h_1/h_2)}{t_2 - t_1} \text{ mm/s}$$

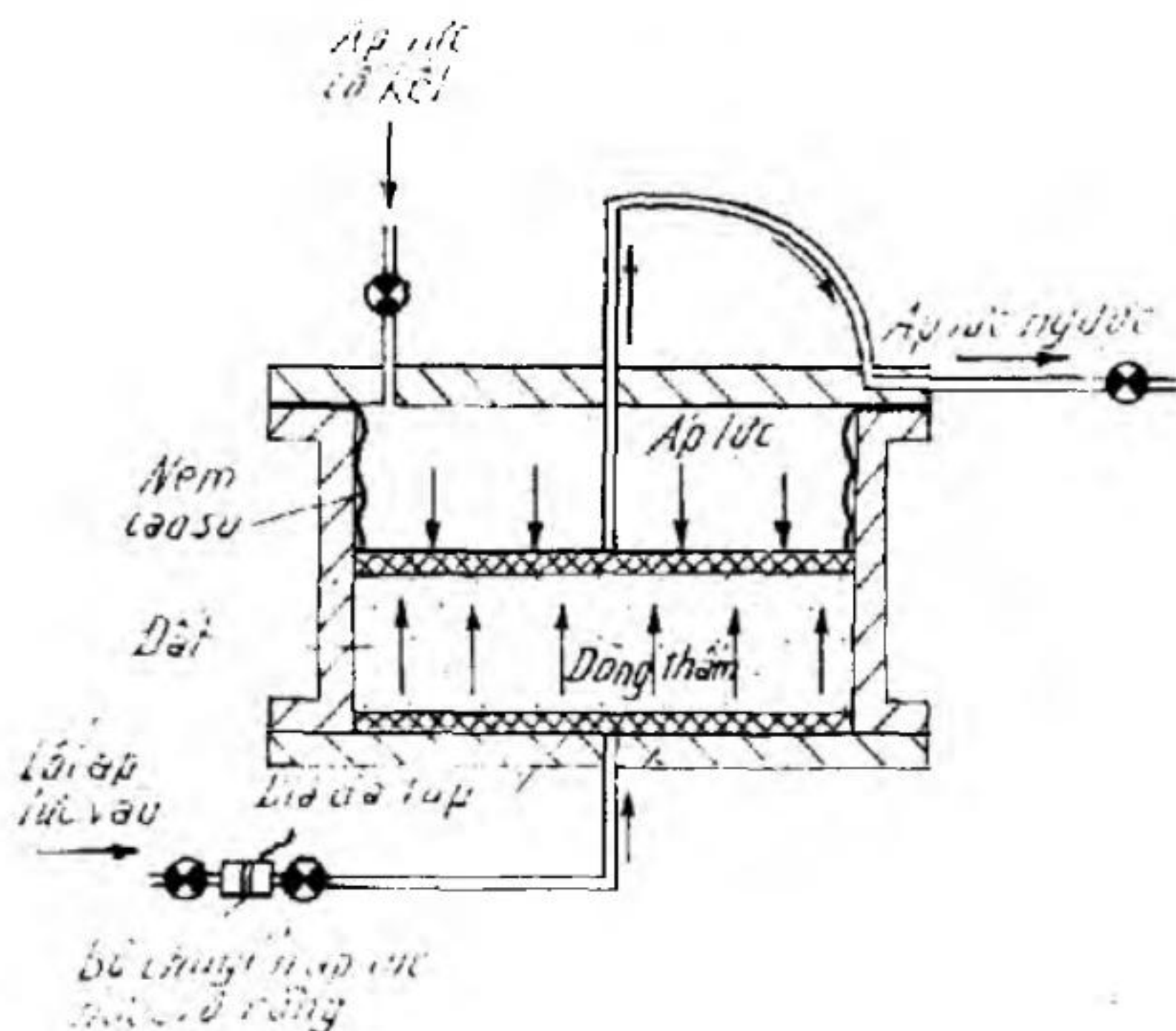
Số liệu ghi được				Tính toán	
Đường kính ống đo áp d (mm)	Mức trong ống đo áp		Khoảng thời gian $t_2 - t_1$ (s)	$\log_e \frac{h_1}{h_2}$	k (mm/s)
	Ban đầu h_1 (mm)	Cuối cùng h_2 (mm)			
5.00	1200	800	82	0.4054	1.853×10^{-3}
	800	400	149	0.6931	1.744×10^{-3}
9.00	1200	900	177	0.2877	1.975×10^{-3}
	900	700	169	0.2513	1.807×10^{-3}
	700	400	368	0.5596	1.847×10^{-3}
12.50	1200	800	485	0.4054	1.959×10^{-3}
	800	400	908	0.6931	1.789×10^{-3}
				k trung bình $= 1,85 \times 10^{-3} \text{ mm/s}$ $= 1,85 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$	

5.8. Thí nghiệm hộp thấm Rowe

Hộp Rowe được Rowe và Barden (1966) đưa ra để tiến hành thí nghiệm cố kết. Nó đã được cải tiến để xác định tính thấm.

Thiết bị đo được khả năng thấm theo phương đứng hay theo phương ngang với độ tin cậy cao. Đó là loại thí nghiệm cột nước không đổi, mô phỏng gần sát các giá trị như hệ số rỗng, áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất hiệu quả của đất ở hiện trường.

Độ thấm theo phương đứng. Bộ trị thiết bị để xác định độ thấm theo phương đứng được thấy ở hình 5-5. Một mẫu đất nguyên dạng vừa vụn đặt trong hộp thấm nằm giữa các đĩa rỗng và được cố kết tới áp lực hiệu quả phù hợp với điều kiện ở hiện trường bằng kích nén thủy lực. Chỗ thoát ở đáy được nối với hệ thống tạo áp lực không đổi. Nó mô phỏng được các mức áp lực nước lỗ rỗng ở ngoài trời. Một hệ thống tạo áp lực cố định thứ hai nối tiếp với thiết bị thoát nước ở phía trên và tạo ra được áp lực thấp hơn chút ít so với tại chỗ thoát ở đáy. Độ chênh áp lực được giám sát bằng một hộp kích chênh áp hay dùng một cặp thiết bị biến áp ở giữa các ống dẫn nước vào và ra. Thường duy trì ít nhất 10% giá trị ứng suất hiệu quả tác động lên mẫu đất.



Hình 5-5. Xác định độ thấm theo phương đứng bằng hộp thấm Rowe

Lưu lượng thấm xác định theo các quan sát ở hai đồng hồ đo thể tích thay đổi (đã được kiểm tra trước) bố trí ở phía dẫn nước vào và dẫn nước ra. Khi lưu lượng thấm ở cả ống dẫn nước vào và dẫn nước ra khác nhau dưới 10% thì trạng thái thấm được coi là ổn định, lúc này tiến hành đo các kết quả thí nghiệm.

Sử dụng định luật Darcy (phương trình [5.3]) :

$$q = kAi$$

ta có :

$$k = \frac{q}{Ai} = \frac{qL}{Ah} \quad [5.11]$$

ở đây : q - lưu lượng thấm (mm^3/s) ;

L - chiều dài mẫu đất ;

i - bề dày mẫu đất sau khi cố kết ban đầu (mm) ;

A - diện tích mặt cắt ngang của mẫu đất (mm^2) ;

h - độ chênh cột nước áp lực (mm nước).

Ví dụ mẫu 5.3. Thí nghiệm xác định hệ số thấm của đất theo phương đứng bằng hộp thấm Rowe được các số liệu sau đây. Bề dày của mẫu đất sau khi cố kết là 73,00 mm ; đường kính của mẫu đất 254 mm ; độ chênh áp lực giữa chỗ dẫn nước vào và ra là 65,2 cm nước, lưu lượng thấm là $2,39 \text{ mm}^3/\text{s}$. Hãy tính hệ số thấm theo phương đứng k_v .

Bài giải

Độ chênh cột nước áp lực $h = 652 \text{ mm}$ nước

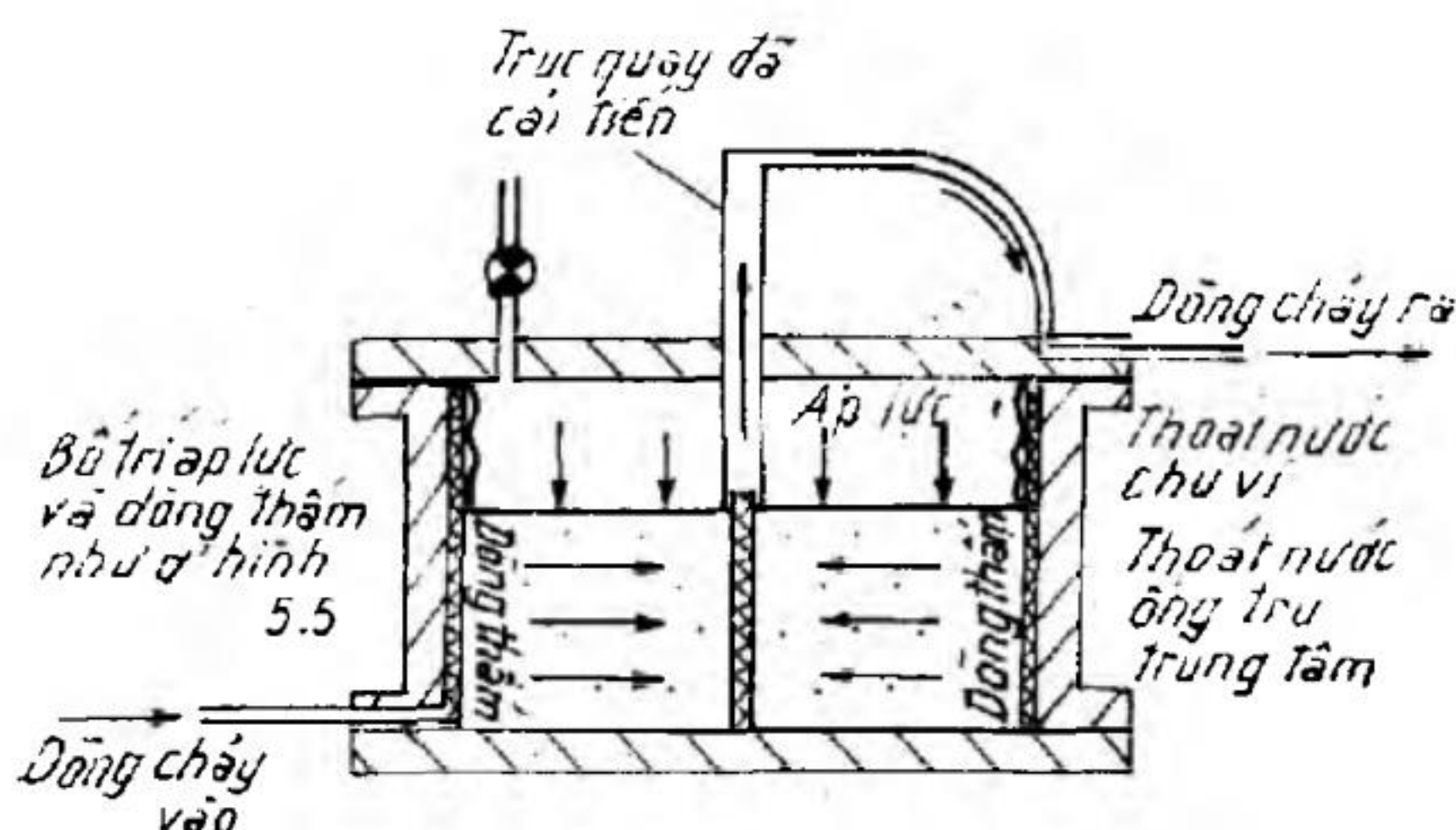
Diện tích mẫu đất $A = 254^2 \times \frac{\pi}{4} = 50671 \text{ mm}^2$

Chiều dài mẫu đất $L = 73,00 \text{ mm}$

Sử dụng phương trình [5.11], tính hệ số thấm theo phương đứng k_v :

$$\begin{aligned} k_v &= \frac{qL}{Ah} \\ &= \frac{2,39 \times 73,00}{50671 \times 652} = 5,29 \times 10^{-6} \text{ mm/s} \end{aligned}$$

Độ thấm theo phương ngang. Bố trí thiết bị để xác định độ thấm theo phương ngang thấy ở hình 5-6. Dòng thấm hướng tâm hình thành với vật liệu rỗng thoát nước bao quanh biên giới ống trục tạo ra bề mặt dẫn nước vào và một thiết bị tiêu nước xếp đặt ở tâm là chỗ dẫn nước ra. Đường kính chung của mẫu đất nhỏ hơn chút ít so với mẫu thí nghiệm thấm theo phương đứng là vì thiết bị dẫn nước vào có bề dày khoảng 3,5 mm. Thiết bị thoát nước ở tâm thường có dạng một ống trục bằng đồng.



Hình 5-6. Xác định độ thấm theo phương ngang bằng hộp thấm Rowe

Cũng giống như khi thí nghiệm độ thấm theo phương đứng, dòng thấm được đo bằng các đồng hồ đo thể tích thay đổi, còn độ chênh áp lực bằng một kích chênh áp hay một cặp biến áp.

Hệ số thấm theo phương ngang được tính theo :

$$k_H = \frac{q}{2\pi L} \frac{\log_e (R/r)}{h} \quad [5.12]$$

ở đây : q – lưu lượng thấm (mm^3/s) ;

L – chiều dài mẫu đất, bằng bề dày mẫu sau khi được cố kết ban đầu (mm) ;

R – bán kính ngoài của mẫu đất (mm) ;

r – bán kính trong của mẫu đất, bằng bán kính của ống trục đồng ở tâm (mm) ;

h – độ chênh cột nước áp lực (mm nước).

5.9. Thí nghiệm thấm ở ngoài trời

Như đã trình bày trong phần 5.5, có nhiều yếu tố tác động đến độ tin cậy khi thí nghiệm thấm ở trong phòng, vì vậy khi hệ số thấm có ý nghĩa quan trọng thì phải tiến hành thí nghiệm thấm ở hiện trường. Thí nghiệm hút nước từ giếng phức tạp và tốn kém, nhưng có độ tin cậy cao vì đã phản ánh được ảnh hưởng các đặc trưng kết cấu vĩ mô của đất. Các lỗ khoan khảo sát sau đó được sử dụng để tiến hành bơm hút và quan trắc, cần có kế hoạch trước và giám sát cẩn thận, thì sẽ kinh tế hơn.

Thí nghiệm bơm hút ở trạng thái ổn định. Thí nghiệm bơm hút gồm có việc đo lưu lượng bơm từ một giếng cùng với việc quan sát độ hạ thấp mực nước ngầm ở các giếng khác. Ứng với lưu lượng bơm không đổi, trạng thái ổn định đạt được khi mực nước trong các giếng quan sát cũng không thay đổi. Ghi chép lại lưu lượng bơm và mức nước trong hai hay nhiều giếng quan sát. Các kết quả được phân tích tùy thuộc vào tầng chứa nước bị chặn hay không bị chặn.

a) Thí nghiệm bơm hút trong tầng chứa nước bị chặn

Trong tầng chứa nước bị chặn, lưu lượng bơm không cần lớn để mực nước trong giếng giảm thấp hơn đỉnh của tầng chứa nước. Đường dòng tại đỉnh hình thành theo giao diện giữa đỉnh của tầng chứa nước và tầng không thấm nằm trên nó.

Hình 5-7 là sơ đồ bố trí một giếng hút và hai giếng quan sát. Giả thiết mặt áp lực cao hơn mặt đỉnh tầng chứa nước và gradien thủy lực là hằng số tại bán kính đã cho.

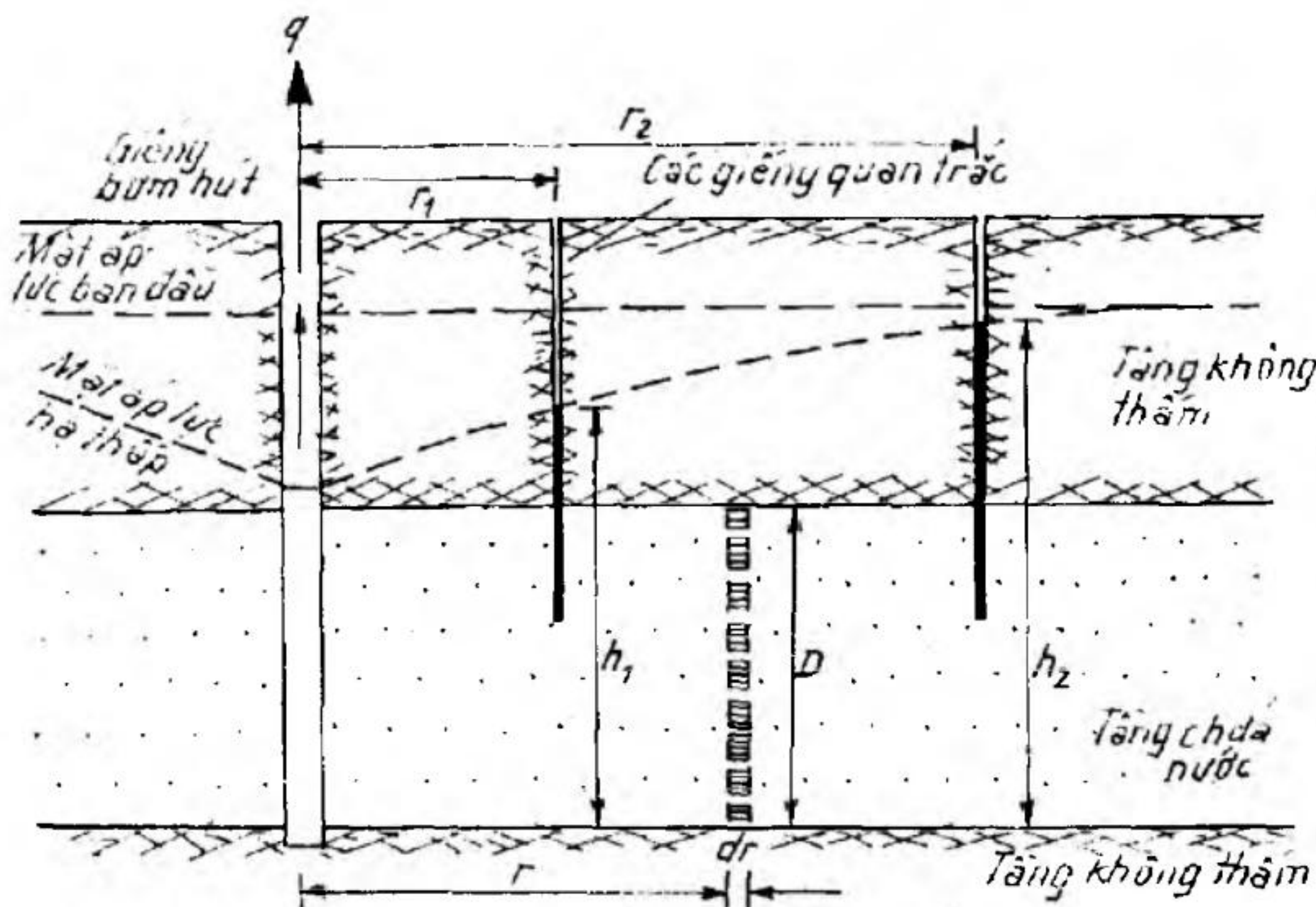
Ở trạng thái thấm ổn định, xem xét dòng thấm qua một nguyên tố hình trụ có bán kính r , bề dày dr và chiều cao h

Gradien thủy lực (từ ngoài vào trong) $i = \frac{dh}{dr}$.

Diện tích dòng thấm $A = 2\pi rD$

Sử dụng phương trình Darcy (phương trình [5.3]), ta có :

$$\begin{aligned} q &= Aki \\ &= 2\pi rDk \frac{dh}{dr} \end{aligned}$$



Hình 5-7. Thí nghiệm bơm hút trong tầng chứa nước bị chặn

hay
$$\frac{dr}{r} = \frac{2\pi}{q} Dkdh$$

Sau khi tích phân, sẽ có :
$$\ln(r_2/r_1) = \frac{2\pi Dk}{q} (h_2 - h_1)$$

Rút ra được :
$$k = \frac{q}{2\pi D} \frac{\ln(r_2/r_1)}{h_2 - h_1} \quad [5.13]$$

Khi chỉ có một giếng quan sát, giếng bơm hút có thể dùng như là một giếng quan sát. Nên dùng bán kính hiệu quả bằng 1,2 bán kính giếng thực là vì ở xung quanh giếng đất bị phá hoại. Phải hiệu chỉnh độ hạ thấp quan sát được ở giếng bơm hút do, nói chung, mặt áp lực nước tại giếng, trong khi bơm hút, cao hơn mực nước thật trong giếng. Mức tổn thất khi bơm hút được đánh giá theo thí nghiệm hạ thấp mực nước theo từng cấp hoặc dựa trên kinh nghiệm (khoảng 20%). Trong phương trình [5.13] cần thực hiện sự thay thế sau :

$$r_1 = 1,2 \times r_w \text{ (} r_w \text{ - bán kính thực của giếng bơm hút)}$$

$$h_1 = h_0 - d_w$$

ở đây : d_w - độ hạ thấp mực nước đã hiệu chỉnh của giếng bơm hút (bằng $0,8 \times$ độ hạ thấp mực nước quan trắc được).

Một cách khác có thể cho kết quả gần đúng là xét *bán kính ảnh hưởng* r_0 khi bơm hút. Khi $r = r_0$ tức là ngoài phạm vi bán kính ảnh hưởng cột nước áp lực được giả định là không bị hạ thấp. Bởi thế, có thể sử dụng phương trình [5.13] với các thay thế sau :

$$r_2 = r_0 \quad \text{và} \quad h_2 = h_0$$

Dùng quy tắc ngón tay cái để xác định vị trí r_0 khi không quan sát rõ ràng được : $r_0 = 10h_0$; $r_0 = 10D$ hay $r_0 = 10r_1$.

Chỉ từ lưu lượng thấm q , độ hạ thấp mực nước đã được hiệu chỉnh của giếng bơm hút d_w và bề dày tầng chứa nước D , dùng một quy tắc ngón tay cái khác có thể tính sơ bộ hệ số thấm. Giả định $r_0/r_w = 2000$, thì từ phương trình [5.13], ta có :

$$k = \frac{q}{2\pi D} \frac{\ln(2000)}{h_0 - d_w} = \frac{1,21q}{D(h_0 - d_w)}$$

$$\text{Nếu } r_0/r_w = 5000 \text{ thì } k = \frac{1,36q}{D(h_0 - d_w)}$$

Vì thế, hệ số thấm k gần đúng khá dễ được tính theo :

$$k = \frac{1,25q}{D(h_0 - d_w)} \quad [5.14]$$

Ví dụ mẫu 5.4. *Thí nghiệm bơm hút nước để xác định hệ số thấm được tiến hành ở một giếng đào trong tầng cát chặt bị chặn. Bố trí giếng bơm hút và các giếng quan sát cùng với các kích thước cần thiết cho trong hình 5-8. Mặt áp lực nước ban đầu ở độ sâu 2,5m. Khi đạt trạng thái ổn định, với lưu lượng bơm hút là 37,4 m³/h, độ hạ thấp mực nước quan sát được như sau :*

Giếng bơm hút : $d_w = 4,46m$,

Giếng quan sát 1 : $d_1 = 1,15m$,

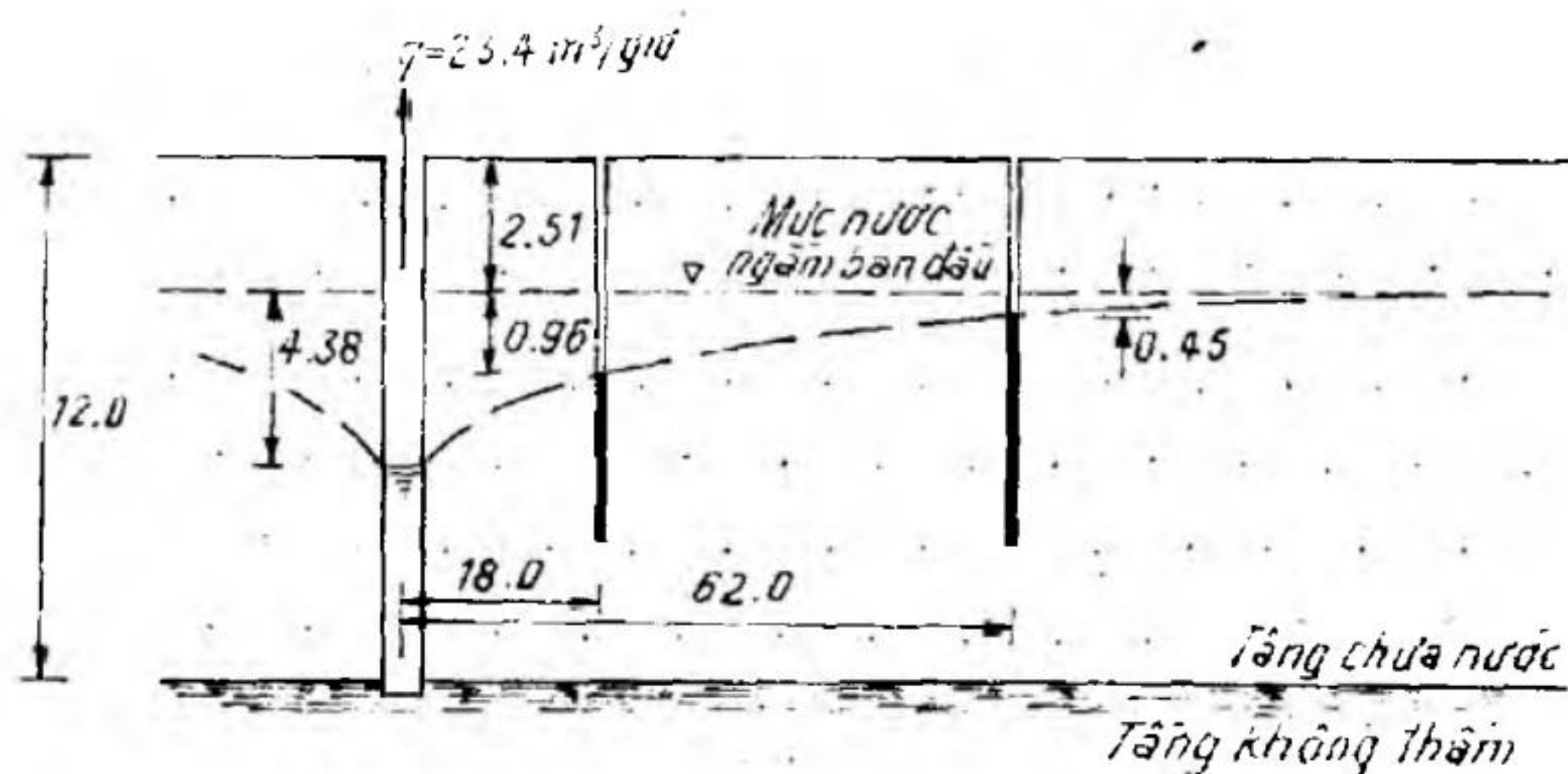
Giếng quan sát 2 : $d_2 = 0,42m$.

a) Tính hệ số thấm của tầng cát khi dùng :

1) số liệu của giếng quan sát ;

2) mức hạ thấp mực nước được hiệu chỉnh ở giếng bơm hút ;

b) Xác định bán kính ảnh hưởng tương ứng lưu lượng bơm hút này.



Hình 5-8

Bài giải

a) 1) Số liệu của giếng quan sát : $r_1 = 15m$; $r_2 = 50m$;

$$h_0 = 11,7 + 7,4 - 2,5 = 16,6m$$

$$h_1 = h_0 - d_1 = 16,6 - 1,15 = 15,45m$$

$$h_2 = h_0 - d_2 = 16,6 - 0,42 = 16,18m$$

Còn có $q = 37,4/3600 \text{ m}^3/s$ và $D = 11,7m$

Hệ số thấm của tầng cát tính theo :

$$k = \frac{q}{2\pi D} \frac{\ln(r_2/r_1)}{h_2 - h_1} = \frac{37,4 \times \ln(50/15)}{2\pi \times 11,7 \times 3600(16,18 - 15,45)}$$

$$= 2,33.10^{-4} \text{ m/s}$$

2) giả định tổn thất 20%, độ hạ thấp mực nước hiệu chỉnh của giếng bơm hút $d_w = 0,8 \times 4,46\text{m}$

$$\text{Vì thế } h_1 = h_w = 16,6 - 0,8 \times 4,46 = 13,03\text{m}$$

$$\text{và cũng giả định là } r_1 = r_w = 0,1\text{m}$$

Hệ số thấm tầng cát tính theo :

$$k = \frac{37,4 \times \ln(50/0,1)}{2\pi \times 11,7 \times 3600(16,18 - 13,03)} = \underline{2,79 \times 10^{-4} \text{ m/s}}$$

b) Khi $r = r_0$ (bán kính ảnh hưởng) thì không có độ hạ thấp mực nước, do đó $h = h_0$. Thay $r_1 = 50\text{m}$ và $h_1 = 16,18\text{m}$ vào công thức tính :

$$\frac{\ln(r_0/50)}{16,60 - 16,18} = \frac{2,33 \times 10^{-4} \times 2\pi \times 11,7 \times 3600}{37,4}$$

$$\text{Bán kính ảnh hưởng } r_0 \text{ tính được : } r_0 = \underline{100\text{m}}$$

b) Thí nghiệm bơm hút nước trong tầng chứa nước không bị chặn

Tầng chứa nước không bị chặn là tầng có đáy không thấm nước, bề mặt thoát nước tự do. Trong môi trường đồng nhất, khi bơm hút đạt trạng thái ổn định thì gradien thủy lực tại bán kính đã cho là hằng số. Hình 5-9 cho thấy sự bố trí giếng bơm hút và hai giếng quan sát. Xem xét dòng thấm vào qua hình trụ phân tố có bán kính r , bề dày dr và chiều cao h .

$$\text{Gradien thủy lực (hướng từ ngoài vào trong) } i = \frac{dh}{dr},$$

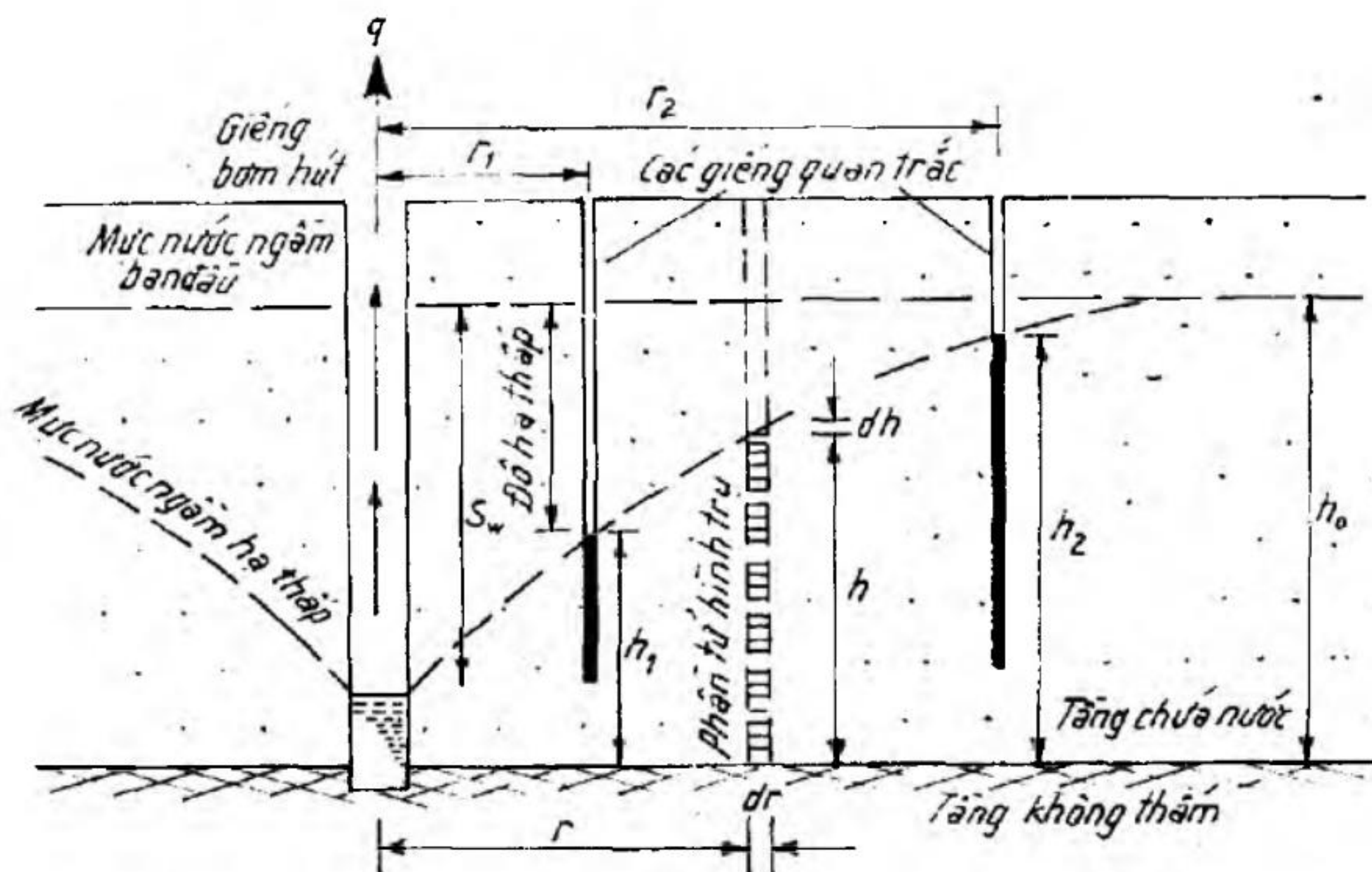
$$\text{Tiết diện dòng thấm } A = 2\pi r,$$

Từ phương trình Darcy (phương trình [5.3]), ta có :

$$q = Aki$$

$$= 2\pi r h k \frac{dh}{dr}$$

$$\text{hay } \frac{dr}{r} = \frac{2\pi}{q} kh dh$$



Hình 5-9. Thí nghiệm bơm hút trong tầng chứa nước không bị chặn

Tích phân phương trình, sẽ được :

$$\ln(r_2/r_1) = \frac{2\pi}{q} k (h_2^2 - h_1^2)$$

Rút ra biểu thức tính k :

$$k = \frac{q}{\pi} \frac{\ln(r_2/r_1)}{h_2^2 - h_1^2} \quad [5.15]$$

Khi độ hạ thấp mực nước là đáng kể so với bề dày tầng bão hòa thì vận tốc thấm cao hơn và tổn thất do ma sát tăng lên. Độ hạ thấp mực nước được hiệu chỉnh d_c như sau :

$$d_c = d - \frac{d^2}{2h_0} \quad [5.16]$$

ở đây : d - độ hạ thấp mực nước quan sát được ;

h_0 - chiều cao bão hòa ban đầu của tầng chứa nước.

Khi chỉ có một giếng quan sát, sử dụng phương trình [5.15] với sự thay thế bởi r_o và h_o hoặc r_w và h_w , như đã giải thích cho trường hợp thí nghiệm bơm hút nước trong tầng chứa nước bị chặn.

Dùng giả định tương tự như khi lập phương trình [5.14], chỉ từ số liệu của giếng bơm hút, tính được khá gần đúng hệ số thấm k :

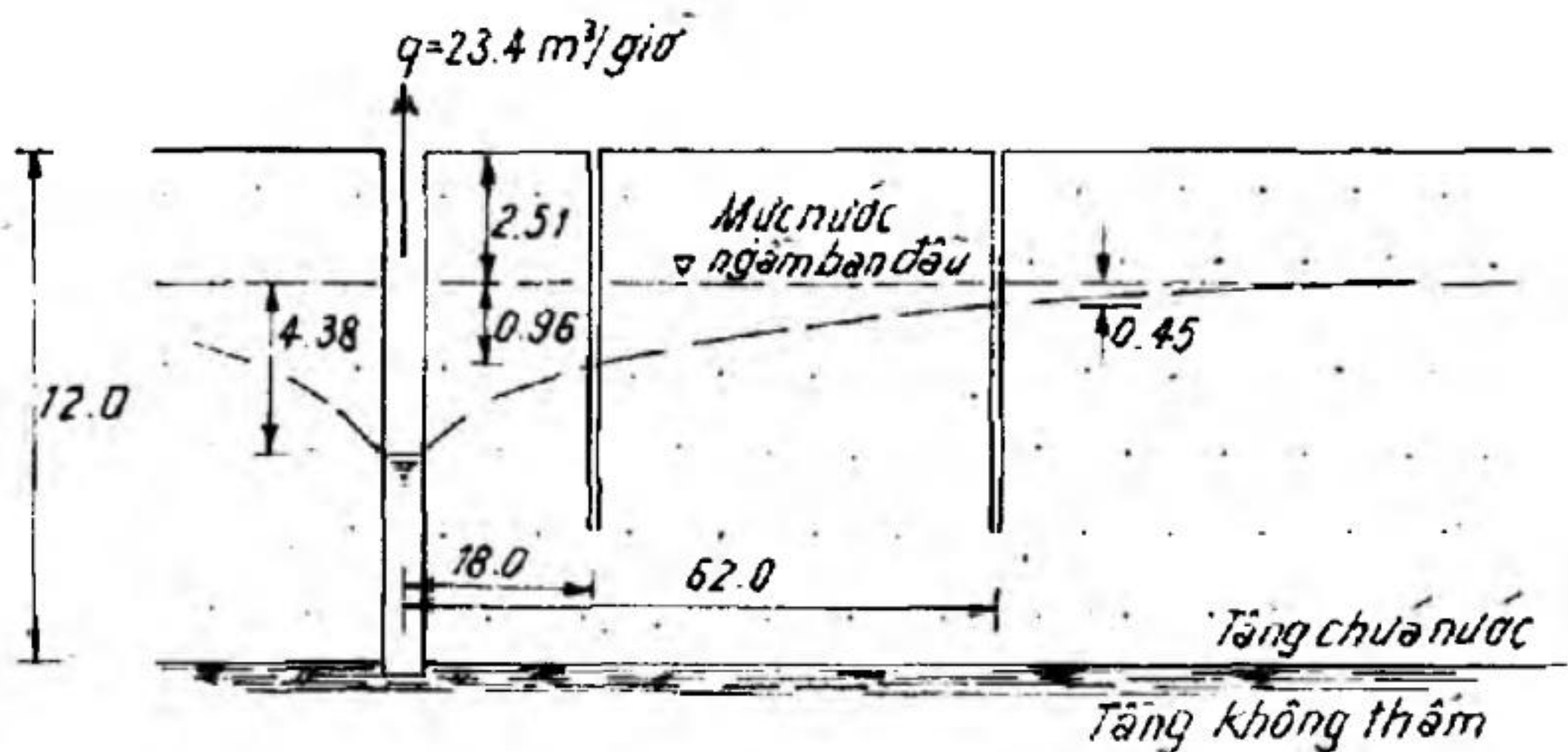
$$k \approx \frac{2,5q}{h_w(2 - h_w)} \quad [5.17]$$

Ví dụ mẫu 5.5. Thí nghiệm thấm được tiến hành tại giếng đào trong lớp cát chặt trung bình ở trên mặt. Hình 5-10 cho thấy sơ đồ bố trí giếng bơm hút và các giếng quan sát cùng với các kích thước cần thiết. Mực nước ngầm ban đầu nằm sâu 2,5m. Khi đạt trạng thái ổn định với lưu lượng bơm hút là $23,4 \text{ m}^3/\text{h}$, các độ hạ thấp mực nước quan sát được như sau :

Giếng bơm hút : $d_w = 3,64\text{m}$,

Giếng quan sát 1 : $d_1 = 0,96\text{m}$,

Giếng quan sát 2 : $d_2 = 0,48\text{m}$.



Hình 5-10

a) Tính hệ số thấm của lớp cát khi dùng :

1) số liệu của giếng quan sát ;

2) mức hạ thấp mực nước được hiệu chỉnh ở giếng bơm hút

b) Xác định bán kính ảnh hưởng tương ứng lưu lượng bơm hút này.

Bài giải

a) 1) Số liệu của giếng quan sát : $r_1 = 18\text{m}$; $r_2 = 62\text{m}$;

$$h_o = 12,0 - 2,5 = 9,5\text{m}$$

$$h_1 = h_o - d_1 = 9,50 - 0,96 = 8,54\text{m}$$

$$h_2 = h_o - d_2 = 9,50 - 0,48 = 9,02\text{m}$$

Khi $q = 23,4/3600 \text{ m}^3/\text{s}$

thì hệ số thấm k tính theo :

$$k = \frac{q}{\pi} \frac{\ln(r_2/r_1)}{h_2^2 - h_1^2} = \frac{23,4 \times \ln(62/18)}{3600\pi \times (9,02^2 - 8,54^2)} \\ = 3,04 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

2) Độ hạ thấp mực nước hiệu chỉnh của giếng bơm hút được tính theo phương trình [5.16] :

$$d_c = d_o - \frac{d_w^2}{2h_o} = 3,64 - \frac{3,64^2}{2 \times 9,50} = 2,94\text{m}$$

Vì $h_1 = h_w = 9,50 - 2,94 = 6,56\text{m}$

và giả định $r_1 = r_w = 0,1\text{m}$

thì hệ số thấm k tính theo :

$$k = \frac{23,4 \times \ln(62/0,1)}{3600\pi \times (9,02^2 - 6,56^2)} = 3,47 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

b) Khi $r = r_o$ (bán kính ảnh hưởng), không có độ hạ thấp mực nước nên $h = h_o$. Thay $r_1 = 62\text{m}$ và $h_1 = 9,02\text{m}$ vào phương trình :

$$\frac{\ln(r_o/62)}{9,50^2 - 9,02^2} = \frac{3,04 \times 10^{-4} \times 3600\pi}{23,4}$$

Bán kính ảnh hưởng r_o tính được $r_o = 229\text{m}$

Các thí nghiệm ở lỗ khoan. Có thể xác định hệ số thấm bằng một số phương pháp chỉ với một lỗ khoan. Thí nghiệm cột nước dâng lên bằng cách bơm hút nước khỏi lỗ khoan rồi quan trắc vận tốc dâng của mực nước. Trong thí nghiệm dòng thấm vào, nước được đưa vào trong lỗ khoan ; thí nghiệm cột nước thay đổi thì tiến hành quan trắc vận tốc sụt của mực nước, trong khi thí nghiệm cột nước cố định thì duy trì cột nước tại một mức đã cho bằng cách điều chỉnh và đo lưu lượng thấm ở các khoảng thời gian kể từ khi bắt đầu thí nghiệm.

Nói chung, thí nghiệm cột nước cố định cho kết quả chính xác hơn, áp lực nước thấp hơn giá trị có thể làm đất bị nứt vỡ hay xáo động. Ở đây, quy tắc ngón tay cái nhằm giữ độ tăng áp lực nước thấp hơn một nửa áp lực hiệu quả của lớp phủ. Nơi có vận tốc thấm cao ($k > 10^{-3}$ m/s), sai số tăng lên, vì thế thí nghiệm bơm hút ở ngoài trời là thích hợp hơn.

Ở dạng thí nghiệm đơn giản nhất, lỗ khoan được chuẩn bị bằng cách làm sạch đất rời hay các mảnh vỡ. Để kết quả được chính xác hơn, đặt một ống có đục lỗ hay ống đo áp (xem phần 12.6) trong bộ lọc bằng cuội sỏi.

Một số công thức được đề nghị để tính hệ số thấm k , đã được đưa vào BS 5930 : 1981, như sau :

a) Thí nghiệm cột nước thay đổi

$$k = \frac{A}{FT} \quad [5.18]$$

$$k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \ln(H_1 - H_2) \quad [5.19]$$

b) Thí nghiệm cột nước cố định

Phân tích thời gian trễ của Hvorslev :

$$k = \frac{q}{FH_c} \quad [5.20]$$

Phương pháp cân thời gian của Gibson :

$$k = \frac{q_{\infty}}{FH_c} \quad [5.21]$$

ở đây : A – diện tích mặt cắt ngang của ống đo áp hay ống chống lỗ khoan.

F – hệ số dẫn nước vào, phụ thuộc điều kiện tại đáy lỗ khoan (hình 7 và 8 của BS 5930 : 1981) ;

T – thời gian trễ cơ bản (hình 9 của BS 5930 : 1981) ;

H_1, H_2 – cột nước thay đổi đo tại các khoảng thời gian trôi qua tương ứng t_1 và t_2 ;

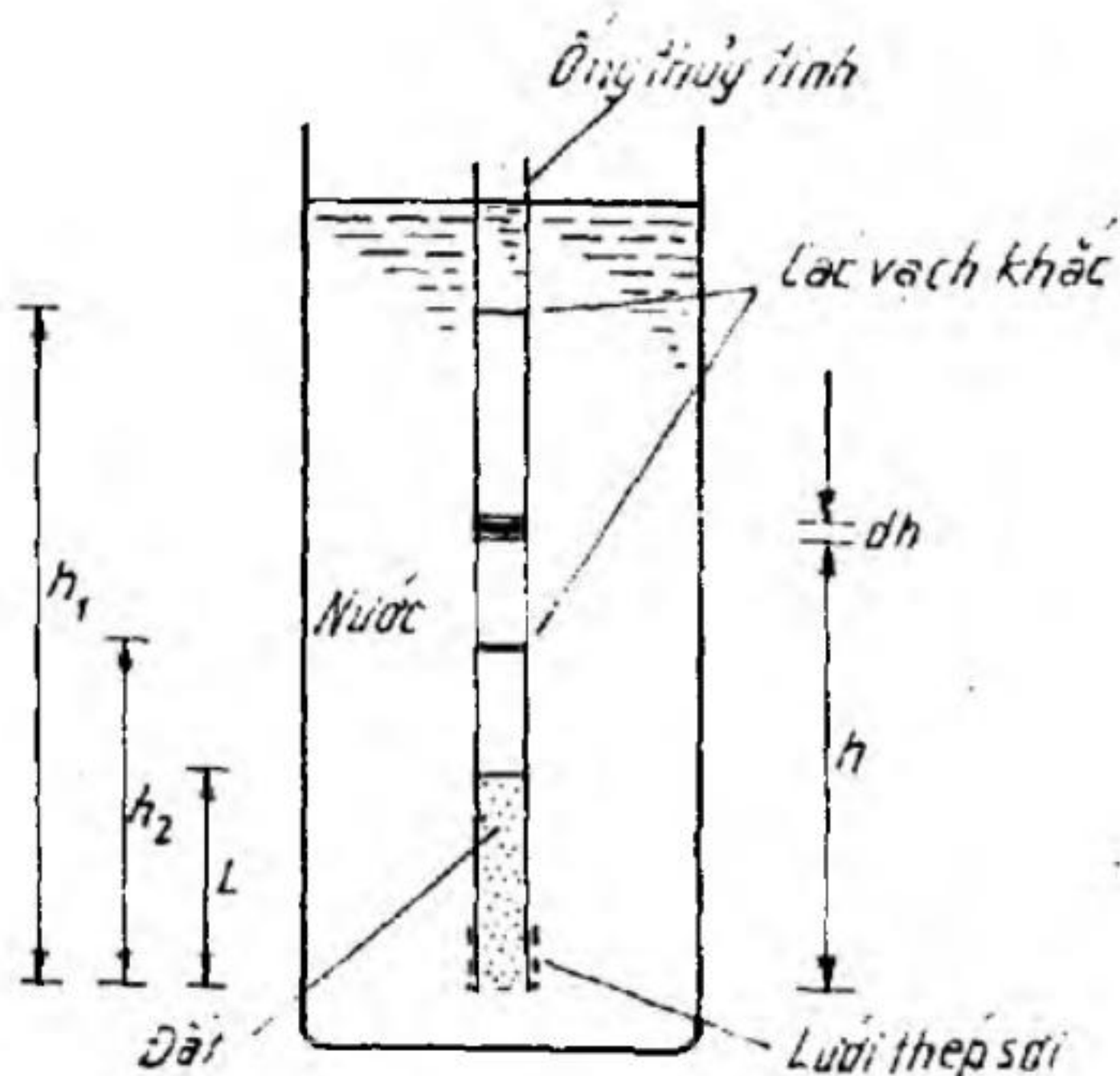
H_c – cột nước cố định ;

q – lưu lượng dòng thấm vào ;

q_{∞} – lưu lượng ổn định dòng thấm vào, xác định theo đồ thị của q thay đổi theo $1/\sqrt{t}$ tại $1/\sqrt{t} = 0$ (hình 10 của BS 5930 : 1981).

5.10. Xác định nhanh hệ số thấm ở ngoài trời

Sử dụng thiết bị ở trong hình 5-11 có thể tiến hành thí nghiệm nhanh cột nước hạ thấp ở ngoài trời cho đất không dính. Nó gồm có một ống thủy tĩnh đường kính 50 mm, chiều dài 500 mm hay kích thước gần như thế và một thùng lớn chứa nước. Ở phần trên của ống có khắc hai vạch cách xa nhau 200 – 250 mm, còn đầu dưới có lưới thép mắt nhỏ bao phủ.



Hình 5-11. Thí nghiệm cột nước hạ thấp nhanh

Ống được giữ ở trong thùng nước (hình 5-11), dùng phễu với một ống cao su kéo dài để lắng đọng cẩn thận một lớp đất dày 50 - 100 mm trên lưới. Khi nhấc ống thủy tinh khỏi thùng nước, mực nước trong ống bắt đầu hạ thấp. Ghi lại thời gian để mực nước hạ thấp giữa hai vạch khác. Giá trị khá gần đúng k lấy theo trị số trung bình của vài lần thí nghiệm.

Trong thời gian dt , mực nước biến đổi là dh .

Lưu lượng thấm trong đơn vị thời gian

$$q = d^2 \frac{\pi dh}{4dt}$$

Diện tích mặt cắt ngang mẫu đất $A = d^2 \frac{\pi}{4}$.

Gradien thủy lực $i = \frac{h}{L}$.

Sử dụng định luật Darcy (phương trình [5.3]) :

$$q = Aki$$

$$d^2 \frac{\pi}{4} \frac{dh}{dt} = d^2 \frac{\pi}{4} k \frac{h}{L}$$

hay
$$\frac{dh}{h} = \frac{k}{L} dt$$

Sau khi tích phân, ta được : $\ln (h_1/h_2) = \frac{k}{L} (t_2 - t_1)$

Thay vào thời gian trôi qua $t = t_2 - t_1$, hệ số thấm sẽ xác định theo công thức :

$$k = \frac{L \times \ln (h_1/h_2)}{t} \quad [5.22]$$

Ví dụ mẫu 5.6. Trong thí nghiệm cột nước giảm nhanh, sử dụng ống thủy tinh có đường kính 50 mm. Lớp cát ở đáy ống có bề dày 75 mm ; hai vạch khác cách đáy ống tương ứng là 200 mm và 100 mm (xem hình 5-11). Trong 5 lần thí nghiệm, thời gian

cần thiết cho mực nước trong ống hạ thấp giữa hai vạch khác là 66, 68, 65, 69 và 67s.

Bài giải

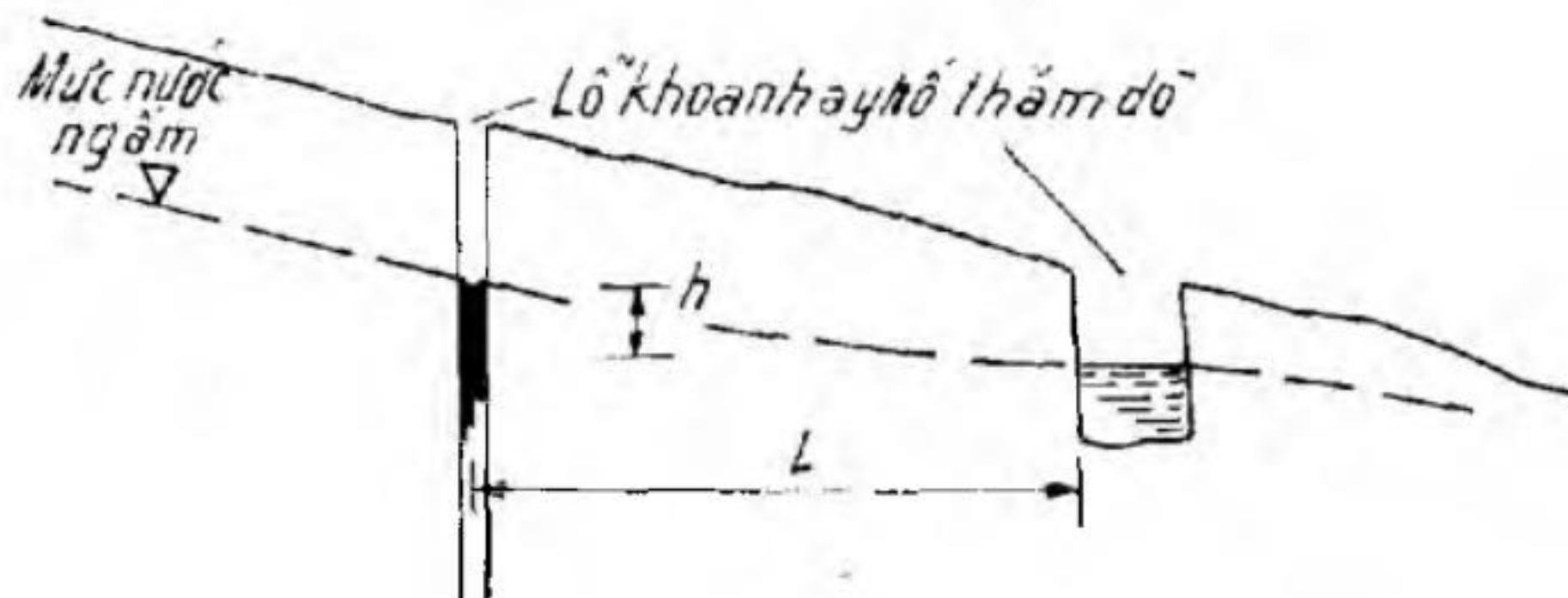
Hệ số thấm xác định theo phương trình [5.22] :

$$k = \frac{75 \times \ln(200/100)}{t} = \frac{52}{t}$$

Các giá trị k tính được là : 0,788, 0,765, 0,800, 0,754 và 0,776.

Giá trị k trung bình = 0,78 mm/s.

Phương pháp khác để xác định nhanh gần đúng hệ số thấm ở ngoài trời cho đất hạt thô là đo vận tốc thấm trung bình. Hai lỗ khoan hay hố đào được bố trí ở nơi giữa chúng có gradien thủy lực tự nhiên (hình 5-12). Thuốc nhuộm được cho vào lỗ khoan có cột áp cao, rồi ghi thời gian t cần để nó xuất hiện ở lỗ khoan kia.



Hình 5-12. Thí nghiệm thấm ngoài trời

Vận tốc thấm $v_s = L/t,$

Gradien thủy lực $i = h/L,$

Sử dụng định luật Darcy $v = ki$

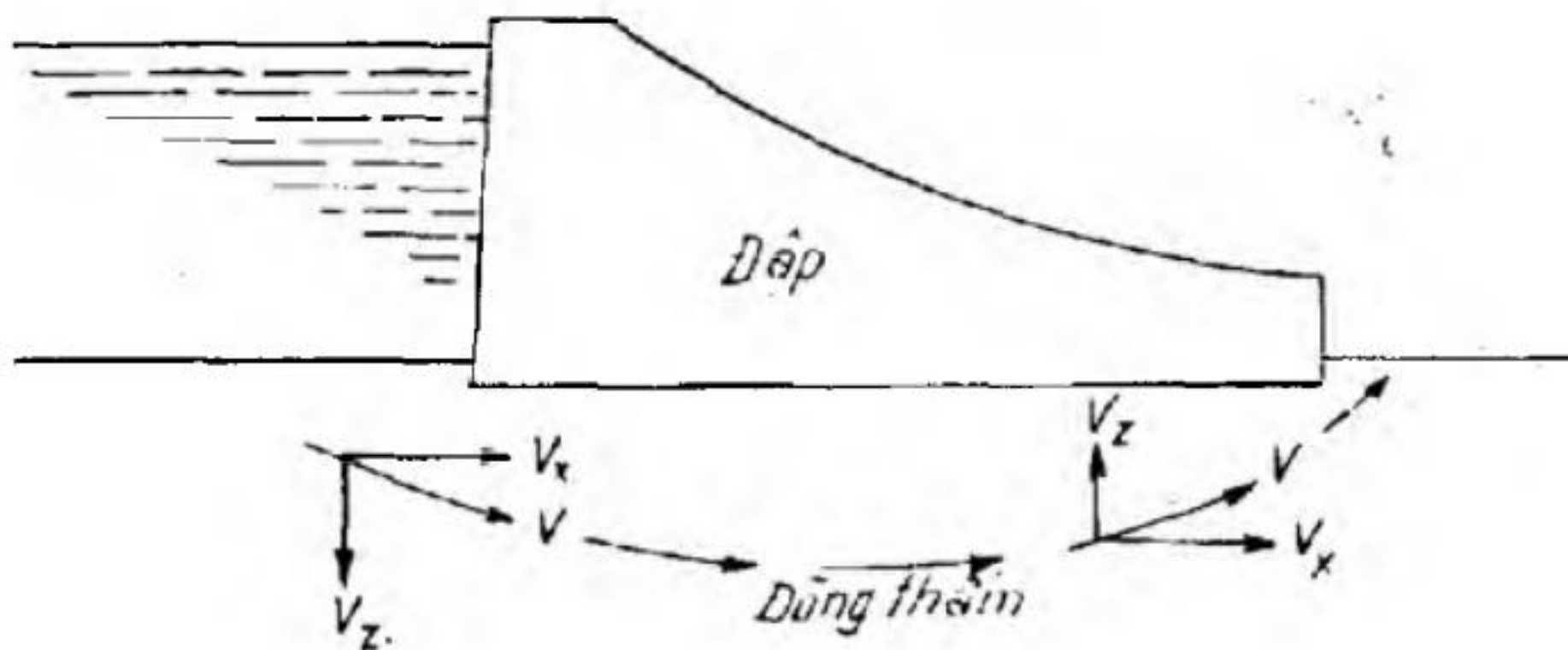
$$k = \frac{v}{i} = \frac{nv_s}{i}$$

Thay thế vào, có công thức xác định hệ số thấm k :

$$k = \frac{L^2}{ht} \quad [5.23]$$

5.11. Dòng thấm hai hướng

Dòng thấm xảy ra ở xung quanh cọc cừ, đập, dưới các công trình chắn nước khác, qua khối đắp và đập đất là dòng thấm hai hướng. Như vậy nghĩa là thành phần vận tốc thẳng đứng và nằm ngang từ điểm này đến điểm kia trong mặt cắt ngang của khối đất bị thay đổi (hình 5-13). Trước tiên, xem xét trường hợp tổng quát dòng thấm hai hướng trong khối đất *đồng nhất và đẳng hướng* (khi $k_H = k_V$), rồi cách trình bày bằng đồ thị gọi là sơ đồ lưới thấm sẽ được giới thiệu.

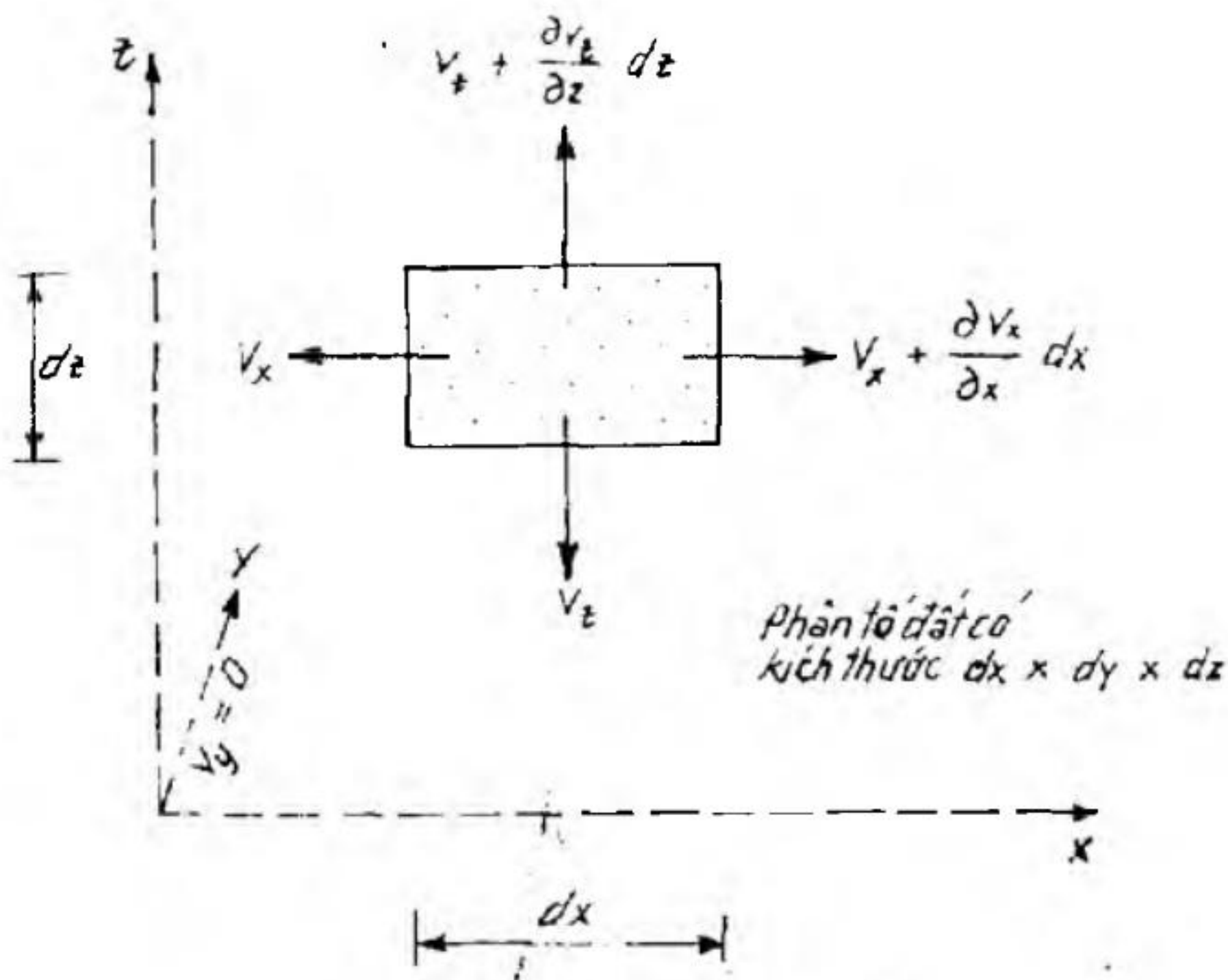


Hình 5-13. Dòng thấm hai hướng

Phương trình tổng quát dòng thấm. Trong hình 5-14 là một phân tố đất bão hòa có kích thước dx , dy và dz , với dòng thấm chỉ xảy ra trong mặt phẳng xz . Gradient vận tốc theo hướng x và z tương ứng là $\partial v_z / \partial z$ và $\partial v_x / \partial x$.

Giả thiết nước không chịu nén và cốt đất không thay đổi thể tích :

Lưu lượng dòng thấm vào nguyên tố = lưu lượng dòng thấm ra khỏi nguyên tố. Thay thế vào



Hình 5-14. Điều kiện dòng thấm hai hướng tổng quát

$$v_x dydz + v_z dydx = \left(v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) dydz + \\ + \left(v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \right) dydx$$

Vì vậy
$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0 \quad [5.24]$$

Như đã biết, đó là phương trình liên tục của dòng thấm.

Bây giờ, từ định luật Darcy $v = ki$:

$$v_x = -k \frac{\partial h}{\partial x} \quad \text{và} \quad v_z = -k \frac{\partial h}{\partial z}$$

Hai phương trình Laplace có thể rút ra để biểu diễn cho điều kiện thấm dựa trên hai hàm số được xác định như sau :

Cho
$$v_x = -k \frac{\partial h}{\partial x} = \frac{\partial \Phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

$$\text{và} \quad v_z = -k \frac{\partial h}{\partial z} = \frac{\partial \Phi}{\partial z} = \frac{\partial \psi}{\partial z}$$

trong chúng $\Phi_{(x,z)}$ - hàm thế vì $\phi = -kh$

và $\psi_{(x,z)}$ - hàm dòng.

Thay thế vào phương trình [5.24], ta có :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad [5.25]$$

cũng có thể thấy được rằng :

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} = 0 \quad [5.26]$$

Biểu diễn phương trình dòng thấm bằng đồ thị. So sánh định nghĩa của hàm thế ϕ và hàm dòng ψ , thấy là :

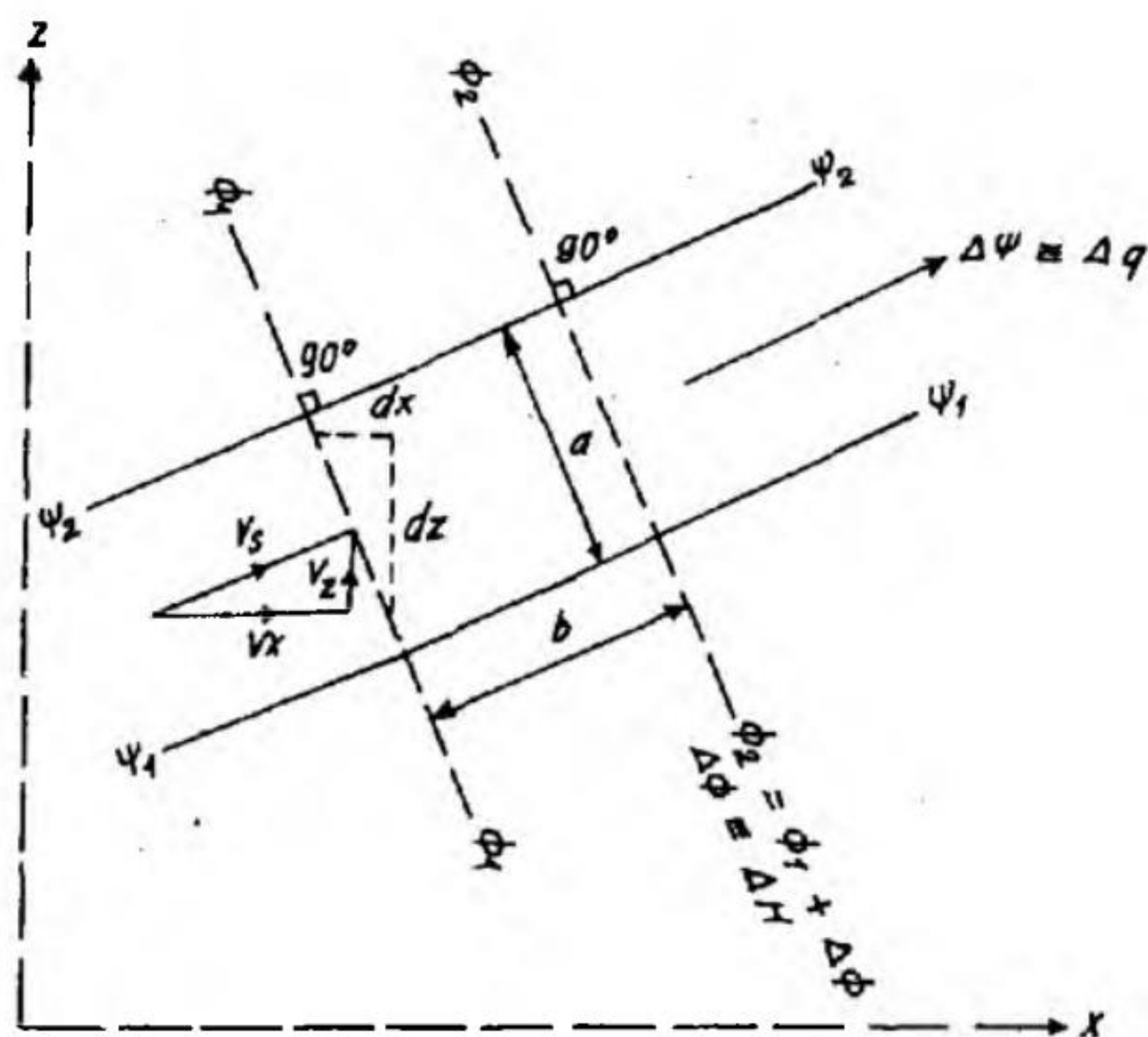
$$\begin{aligned} \text{lấy vi phân } \Phi_{(x,z)} : d\Phi &= \frac{\partial \Phi}{\partial x} dx + \frac{\partial \Phi}{\partial z} dz \\ &= v_x dx + v_z dz \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{và lấy vi phân } \psi_{(x,z)} : d\psi &= \frac{\partial \psi}{\partial x} dx + \frac{\partial \psi}{\partial z} dz \\ &= -v_z dz + v_x dz \end{aligned}$$

$$\text{Do đó, nếu } \phi \text{ là hằng số : } d\Phi = 0 \text{ thì } \frac{dz}{dx} = \frac{-v_x}{v_z}$$

$$\text{và nếu } \psi \text{ là hằng số : } d\psi = 0 \text{ thì } \frac{dz}{dx} = \frac{v_z}{v_x}$$

Vì thế, đường cong biểu diễn giá trị không đổi của $\phi_{(x,z)}$ (và do đó cột nước h cố định) sẽ cắt vuông góc đường cong biểu diễn giá trị không đổi của $\psi_{(x,z)}$. Ngoài ra tiếp tuyến với đường cong $\psi_{(x,z)}$ biểu diễn hướng của vận tốc thấm tổng (hình 5-15).



Hình 5-15. Biểu diễn dòng thấm bằng đồ thị

Bởi vậy, có thể thấy là phương trình Laplace được trình bày bằng hai họ đường cong trực giao : các đường cong ϕ là hằng số gọi là *đường đẳng thế*, và các đường cong ψ là hằng số gọi là *đường dòng*. Kết cấu đồ thị của các đường dòng và đường thế được gọi là *lưới thấm*.

Các đặc trưng của lưới thấm. Có thể dùng đặc trưng đồ thị của *lưới thấm* đã lập được để giải các bài toán thấm như xác định lưu lượng và áp lực thấm. Nhằm đạt mục đích này, lưới thấm được lập sao cho khoảng cách giữa các đường đẳng thế kế nhau biểu thị *độ chênh cột nước* ΔH không đổi và khoảng cách giữa các đường dòng kế nhau biểu thị *lưu lượng dòng thấm* Δq không đổi (hình 5-15).

Tổn thất toàn bộ cột nước

$$\begin{aligned} H &= \Delta H \times \text{số các khoảng đẳng thế} \\ &= \Delta H \times N_0 \end{aligned}$$

và lưu lượng thấm tổng

$$\begin{aligned} q &= \Delta q \times \text{số các khoảng của đường dòng (đường dẫn)} \\ &= \Delta q \times N_f \end{aligned}$$

Sử dụng định luật Darcy (phương trình [5.3]) cho bề dày đơn vị theo hướng y :

$$\begin{aligned} \Delta\psi &= \Delta q = \Delta A k i \\ &= a k \frac{\Delta H}{b} = \frac{a}{b} \Delta\Phi \end{aligned}$$

Tuy nhiên có thể chọn tỉ lệ sao cho lưới thấm được vẽ có $\Delta\phi = \Delta\psi$, tức là $a/b = 1$. Trong thực tế, điều đó đạt được khi bảo đảm rằng trường giới hạn bởi các đường đẳng thế và đường dòng là "hình vuông" (hay càng gần hình vuông thì càng tốt).

Lưu lượng tổng dòng thấm tính theo :

$$q = k \Delta H N_f$$

nhưng
$$\Delta H = \frac{H}{N_e}$$

Nên có được công thức sau :

$$q = k H \frac{N_f}{N_e} \quad [5.27]$$

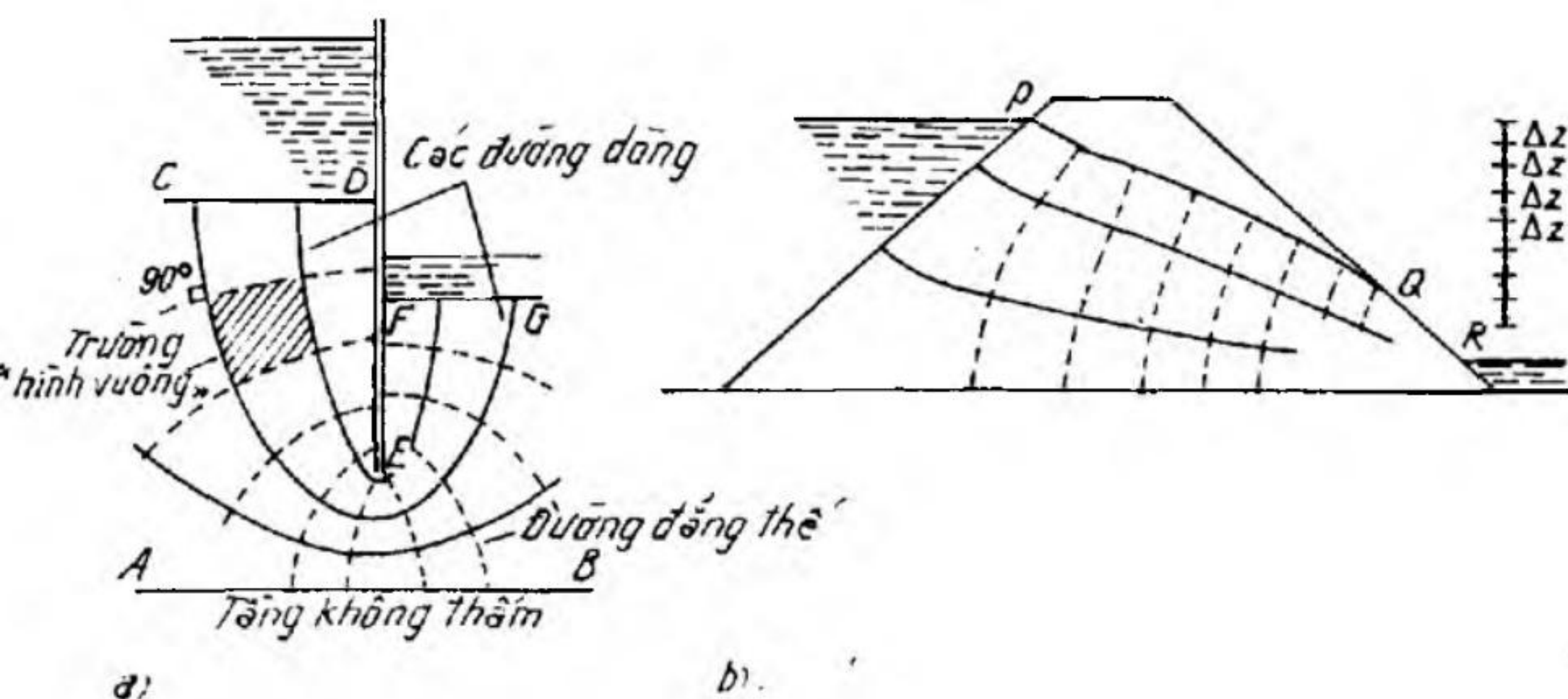
5.12. Lưới thấm - quy tắc lập và các điều kiện biên

Trong phần trước, lưới thấm được giới thiệu ở dạng dựng đồ thị để biểu hiện các điều kiện của dòng thấm hai hướng. Một khi lưới thấm vẽ xong, có thể đánh giá định lượng được lưu lượng thấm và cột nước áp lực. Để dựng lưới thấm được đúng, phải tuân theo một số quy tắc sau đây (xem hình 5-16).

Trường thấm hình vuông : vùng giới hạn bởi các đường đẳng thế và đường dòng phải càng gần hình vuông càng tốt.

Giao nhau góc vuông : các đường đẳng thế và đường dòng phải giao nhau góc 90° .

Biên không thấm : vì không có dòng thấm qua biên không thấm, tại đó ψ là hằng số, nên một biên là một đường dòng (AB và DEF).



Hình 5-16. Các biên của lưới thấm

Biên thấm : biên thấm ngập nước, dọc theo nó cột nước là hằng số, nên sẽ là một đường đẳng thế (CD và FG).

Mặt nước ngầm : dọc theo mặt nước ngầm PQ (cũng được hiểu là *đường dòng đỉnh*) áp lực nước lỗ rỗng $u = 0$, vì thế $\Delta\phi = -k\Delta H = -k\Delta Z$ và do ψ là hằng số nó cũng là đường thấm.

Bề mặt thấm : bề mặt thấm có tại nơi mặt nước ngầm cát tiếp tuyến với mặt đất QR ; nó có cùng đặc trưng biên như mặt nước ngầm.

Để lập lưới thấm, trước tiên theo một tỉ lệ đã chọn vẽ mặt cắt ngang với tất cả các biên phụ thuộc vào hiện trường, công trình, ... Sau đó, theo các quy tắc vừa nêu trên, vẽ thử bằng bút chì vài đường dòng và đường đẳng thế. Khi cách khoanh "hình vuông" được bổ sung thì hình thành lưới thấm. Ta làm một loạt các lần vẽ thử bằng bút chì và tẩy với mục đích cuối cùng là lưới thấm được vẽ có tất cả các phần đều tuân theo các quy tắc nêu trên. Cần thực hành nhiều, vẽ thử càng nhiều lưới thấm càng tốt, sinh viên sẽ trở nên thành thạo trong quá trình phác thảo.

Về lí thuyết, số đường dòng vẽ càng nhiều thì việc tính toán sau đó càng chính xác hơn. Tuy nhiên, trong thực tiễn để đơn giản,

chỉ vẽ một số đường dòng ; thường không cần thiết phải vẽ nhiều hơn 5 hay 6 đường dòng.

Ví dụ mẫu 5.7. Hình 5-17a là mặt cắt ngang một dây cù đóng tới độ sâu 7m vào lớp cát đồng nhất dày 12m, dưới là tầng không thấm. Độ sâu mực nước ban đầu ở một bên cọc là 5,5m, do hút nước mà giảm tới độ sâu 0,5m. Hãy vẽ lưới thấm cho điều kiện thấm này và dùng nó để xác định :

a) lượng nước thấm dưới cù cho mỗi mét của tuyến ;

b) áp lực nước lỗ rỗng trong đất tại điểm P và Q.

Hệ số thấm của lớp cát $k = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ mm/s}$.

Bài giải

Biên lưới thấm được vẽ cho khu vực thấm như sau :

Biên không thấm : dọc theo màn cù BCD và dọc theo tầng không thấm GG ; BCD và GG do vậy, là các đường dòng.

Biên thấm : dọc theo B'B cột nước áp lực là hằng số bằng 5m, dọc theo DD' cột nước áp lực bằng không ; do vậy, B'B và DD' là đường thẳng thế có giá trị tương ứng $h = 5$ và $h = 0$.

Bằng các thử nghiệm nối tiếp, lưới thấm được vẽ như thấy ở hình 5-17b, dù rằng số đường dòng có thể khác nhau. Cũng chú ý là số các lòng dẫn của dòng thấm không cần thiết là một số chẵn. Đối với lưới thấm đã nói

Số các khoảng đẳng thế $N_e = 11$

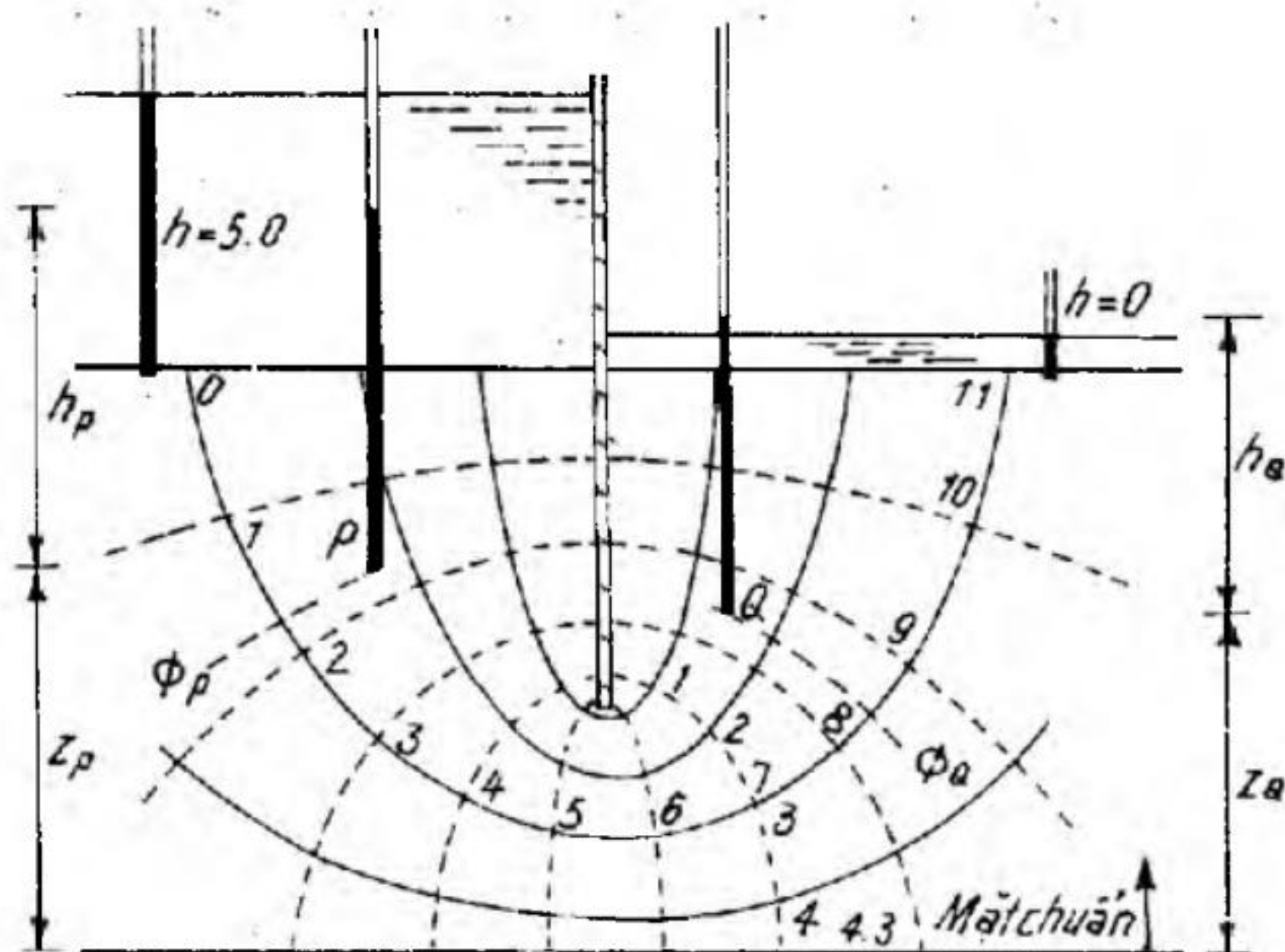
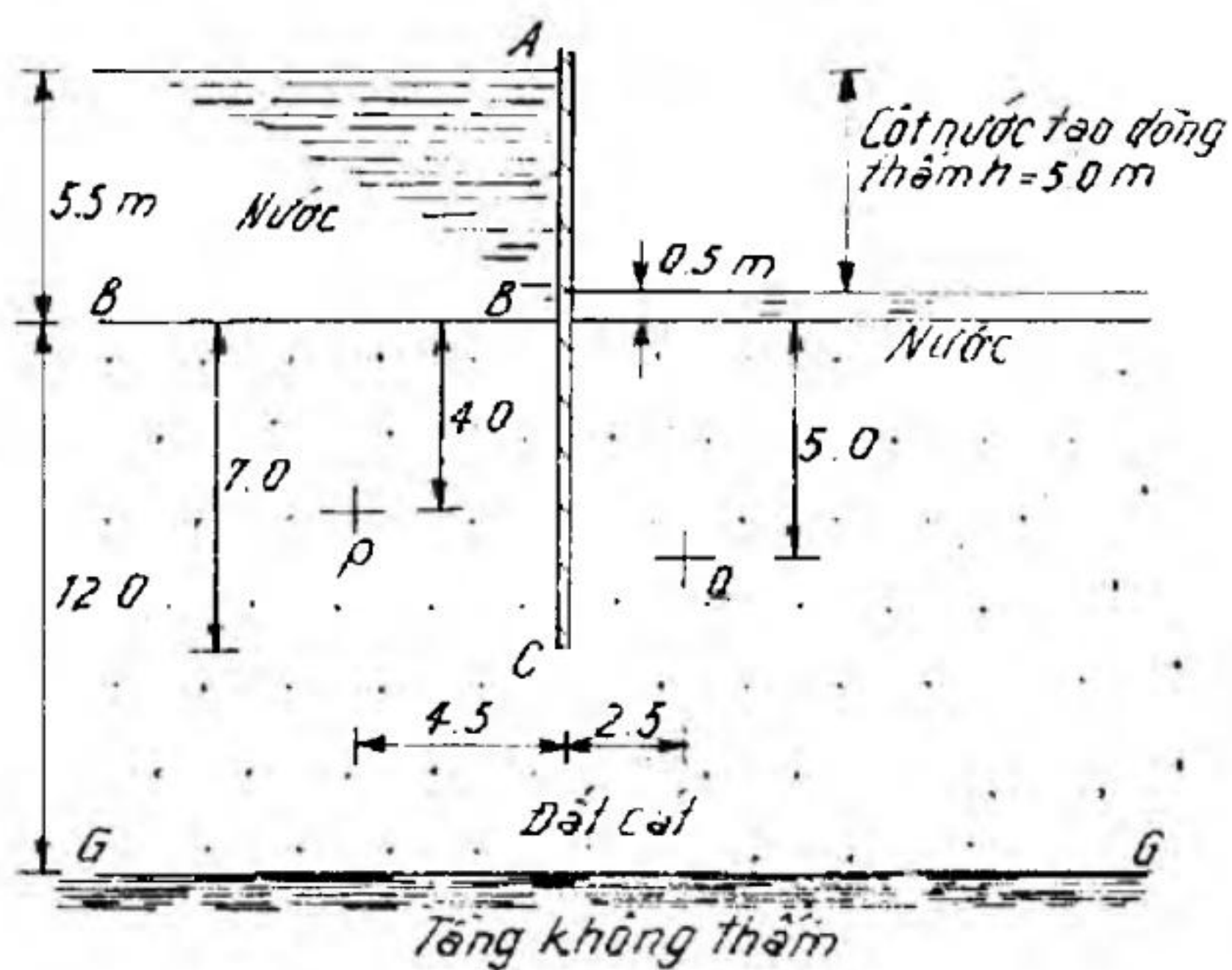
Số lòng dẫn của dòng thấm $N_f = 4,3$.

a) Lưu lượng thấm ở dưới cọc cù được tính theo phương trình [5.27].

$$q = kH \frac{N_f}{N_e}$$

$$= 7,2 \cdot 10^{-3} \times 5,0 \times \frac{4,3}{11} = 14,07 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s cho mỗi m}$$

$$\text{hay } q = 14,07 \times 10^{-6} \times 3600 = 0,0507 \text{ m}^3/\text{h cho mỗi m.}$$



Hình 5-17

b) Tại điểm i bất kì, cột nước tổng trên mặt chuẩn bằng cột nước áp lực + cột nước tại vị trí, tức là

$$H_i = h_i + z_i$$

Tại biên vào B'B,

$$H_{B'B} = 5,0 + 12,0 = 17,0\text{m}$$

Trong lưới thấm, cột nước tổng tại mỗi đường đẳng thế giảm đi một lượng là ΔH :

$$\Delta H = \frac{H}{N_e} = \frac{5,0}{11} = 0,455\text{m}$$

Theo số đường đẳng thế, đường đẳng thế qua điểm P phải có giá trị $\phi_p = 1,75$, cho nên :

Cột nước tổng tại P : $H_p = 17,0 - 1,75 \times 0,455$

Vì $H_p = h_p + z_p$

Cho nên cột nước áp lực tại P :

$$h_p = 17,0 - 7,5 - 1,75 \times 0,455 = 8,71\text{m}$$

và áp lực nước lỗ rỗng tại P : $u_p = 9,81 \times 8,71 = \underline{85,4\text{kN/m}^2}$.

Tương tự, cột nước áp lực tại Q :

$$h_Q = 17,0 - 6,5 - 8,4 \times 0,455 = 6,68\text{m}$$

và áp lực nước lỗ rỗng : $u_Q = 9,81 \times 6,68 = \underline{65,5\text{kN/m}^2}$.

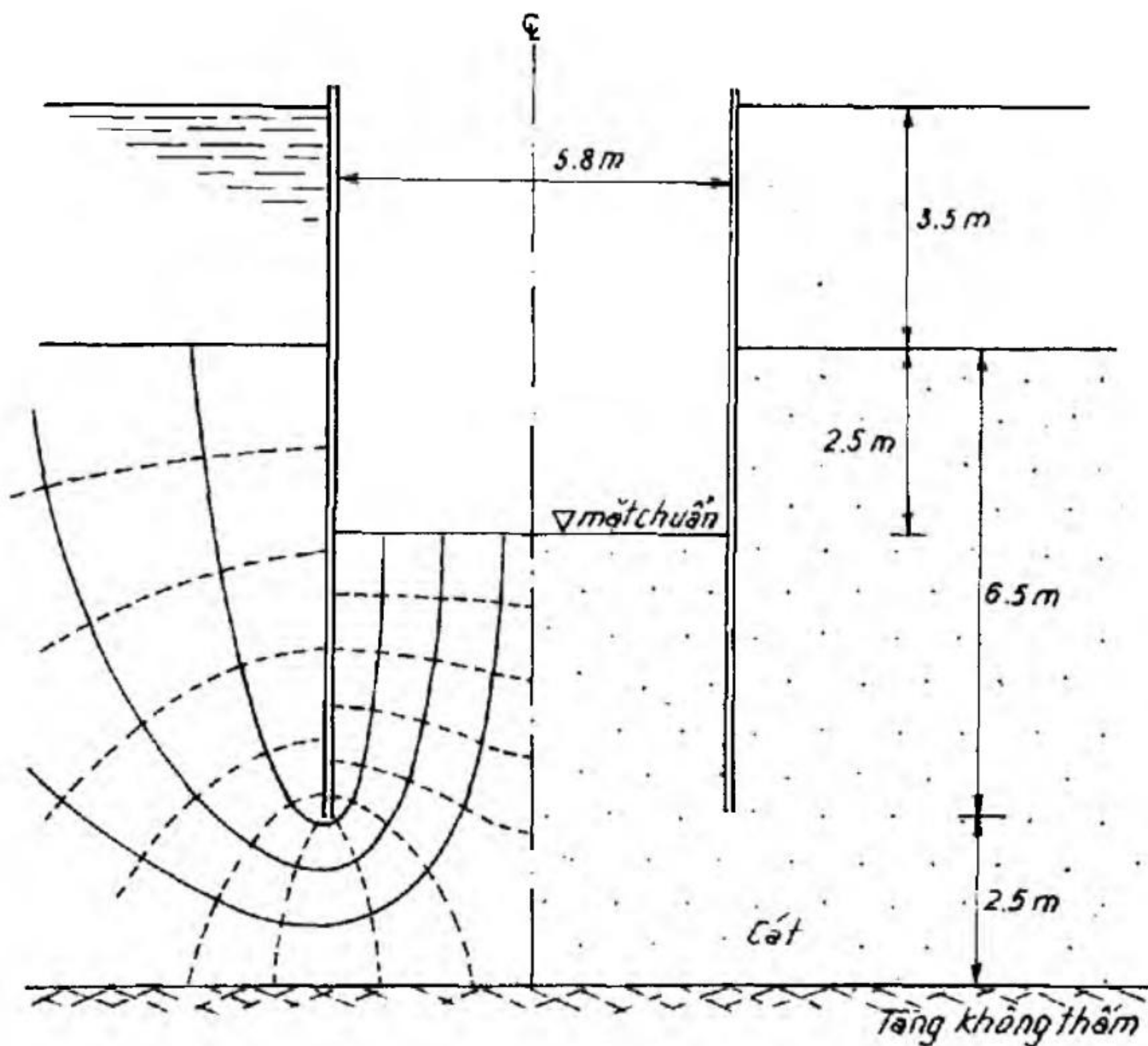
Ví dụ mẫu 5.8. Hình 5-18 là mặt cắt ngang của tường quay hố móng kéo dài bằng cách đóng hai dãy cọc cừ song song với nhau vào lớp cát. Bên trong hố móng, cát đào tới mức chỉ rõ trên hình vẽ và tiến hành bơm để nước được giữ ở mức này. Hãy vẽ lưới thấm và dùng nó để xác định lưu lượng cần bơm cho mỗi mét ($k = 4,5 \cdot 10^{-5}\text{m/s}$).

Bài giải

Vì lưới thấm đối xứng với đường tâm nên chỉ cần vẽ một bên. Trong trường hợp này, để thỏa mãn các điều kiện biên, chọn số lẻ các lòng dẫn, đường trung tâm của lòng dẫn ở giữa trùng với đường tâm của tường quay. Trong hình thấy được lưới thấm gồm có bảy lòng dẫn và mười ba khoảng đẳng thế.

$$N_f = 7,0 \quad \text{và} \quad N_e = 13$$

Lưu lượng thấm và chính đó là lưu lượng bơm hút, sẽ là :



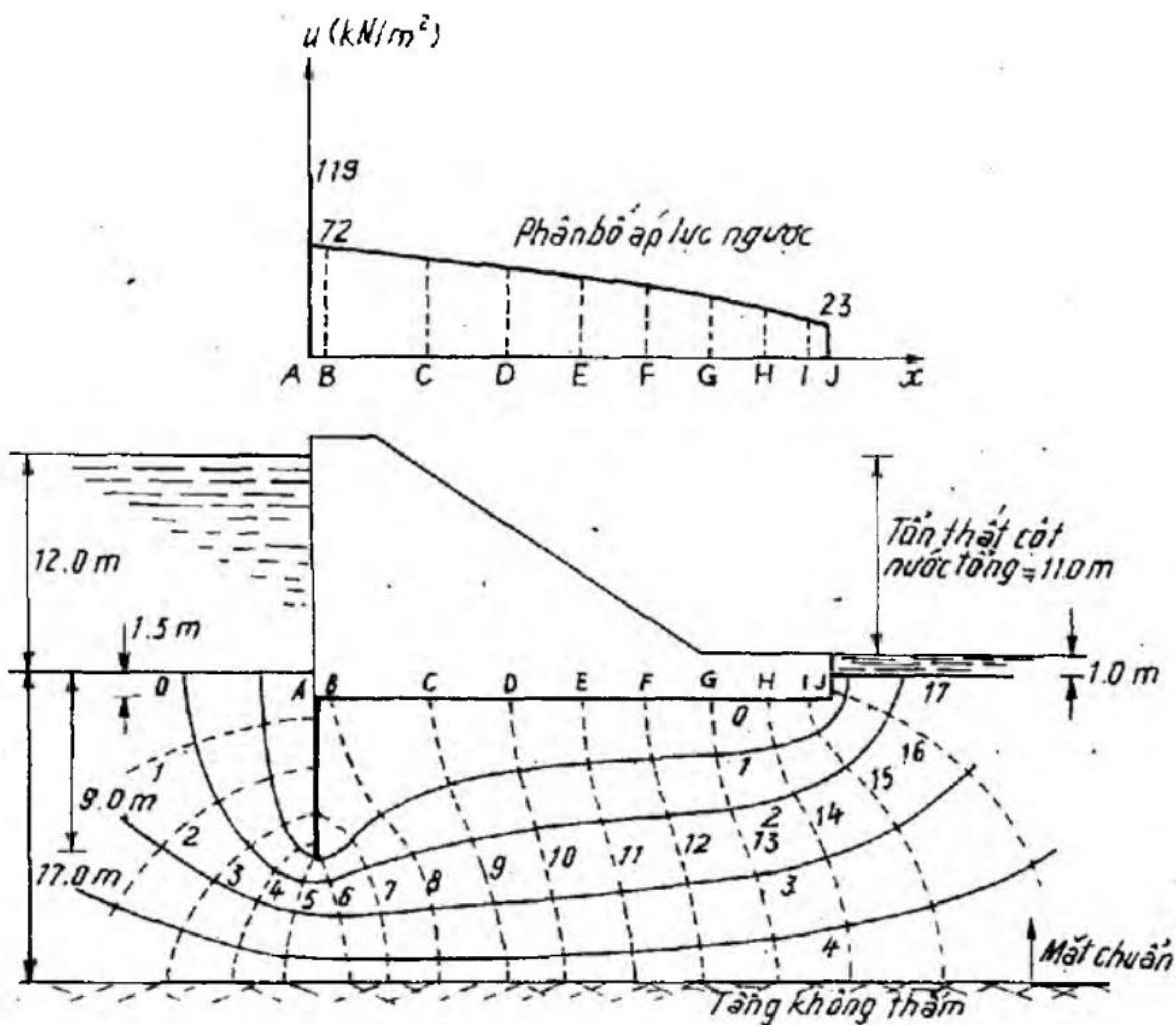
Hình 5-18

$$q = kH \frac{N_f}{N_c} = 4,5 \times 10^{-5} \times 6,0 \times \frac{7}{13}$$

$$= 14,54 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s} \text{ cho mỗi m}$$

$$\text{hay } q = 14,54 \times 10^{-5} \times 3600 = \underline{0,52 \text{ m}^3/\text{h} \text{ cho mỗi m}}$$

Ví dụ mẫu 5.9. Hình 5-19 cho thấy mặt cắt ngang của đập trên tầng thấm nước, dưới nó là tầng không thấm. Một dây màn cù đóng gần một thượng lưu đập để giảm lưu lượng thấm. Vẽ lưới thấm để thể hiện các điều kiện thấm và từ lưới thấm :



Hình 5-19

- a) xác định lưu lượng thấm cho mỗi mét dài ($k = 5,2 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$);
 b) vẽ sự phân bố của áp lực đẩy ngược tác động lên đáy đập.

Bài giải

Lưới thấm thấy ở trong hình gồm có 4,4 lòng dẫn và 17 khoảng đẳng thế

$$N_f = 4,4 \quad \text{và} \quad N_e = 17$$

a) Do vậy, lưu lượng thấm sẽ bằng :

$$q = kH \frac{N_f}{N_e}$$

$$q = 5,2 \times 10^{-5} \times 11 \times \frac{4,4}{17} = 1,48 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \text{ cho mỗi m}$$

$$\text{hay } q = 0,533 \text{ m}^3/\text{h} \text{ cho mỗi m}$$

b) Tại điểm i bất kì ở đáy đập có giá trị thế là ϕ_i , cột nước tổng sẽ là :

$$H_i = 17,0 + 11,0 - \phi_i \Delta h = h_i + z_i$$

$$\begin{aligned} \text{Vì thế, áp lực đẩy ngược } u_i &= 9,81 h_i \\ &= 9,81 (28,0 - z_i - \phi_i \Delta h) \end{aligned}$$

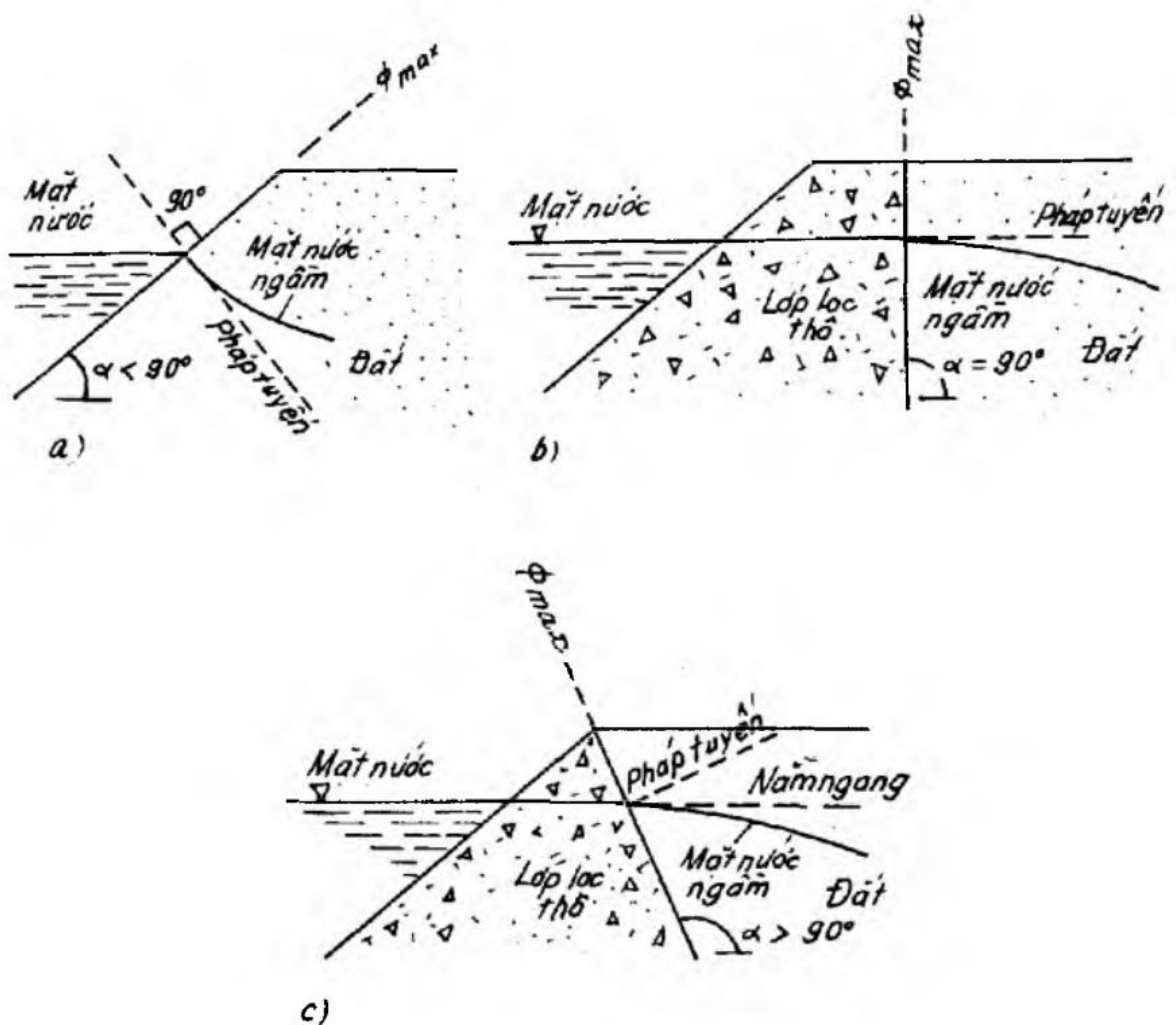
Các giá trị ϕ_i và z_i nhận được từ lưới thấm và áp lực đẩy ngược được hệ thống trong bảng sau :

	Vị trí ($z_i = 15,5\text{m}$ cho mỗi vị trí)									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
ϕ_i	0,5	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	15,7
$u_i(\text{kN/m}^2)$	119	72	65	59	53	46	40	34	27	23

5.13. Thấm qua khối đập và đập đất

Dòng thấm dưới các công trình không thấm như màn cừ, đập bê tông, đập đá xây là dòng thấm bị chặn, còn qua các công trình thấm nước, như đập đất, là dòng thấm không bị chặn. Trong bài toán này, biên phía trên của đới thấm là mặt nước ngầm – đường dòng tại đỉnh và áp lực dọc theo đường này là áp lực khí quyển. Khi vẽ lưới thấm, cho dòng thấm qua khối đập hay đập, bước đầu tiên là định vị và vẽ mặt nước ngầm hay đường dòng đỉnh.

Vì cột nước áp lực dọc theo mặt nước ngầm bằng không, (áp lực khí quyển) như đã thiết lập ở trong phần 5.11, với khoảng cách vị trí thẳng đứng bằng nhau (hình 5-16b) độ giảm cột nước tổng phải như nhau. Như thế, về phương diện toán học, mặt nước ngầm có dạng cơ bản là parabol. Mặc dù lời giải này được thừa nhận rộng rãi, vẫn cần một số cải biến để đáp ứng mâu thuẫn xảy ra ở nơi giao nhau giữa mặt nước ngầm với bề mặt đập tại lối vào và lối ra của dòng thấm. Dưới đây trình bày tổng hợp các cải biến này, tiếp đó là phương pháp cơ bản dựng bề mặt parabol của nước ngầm.

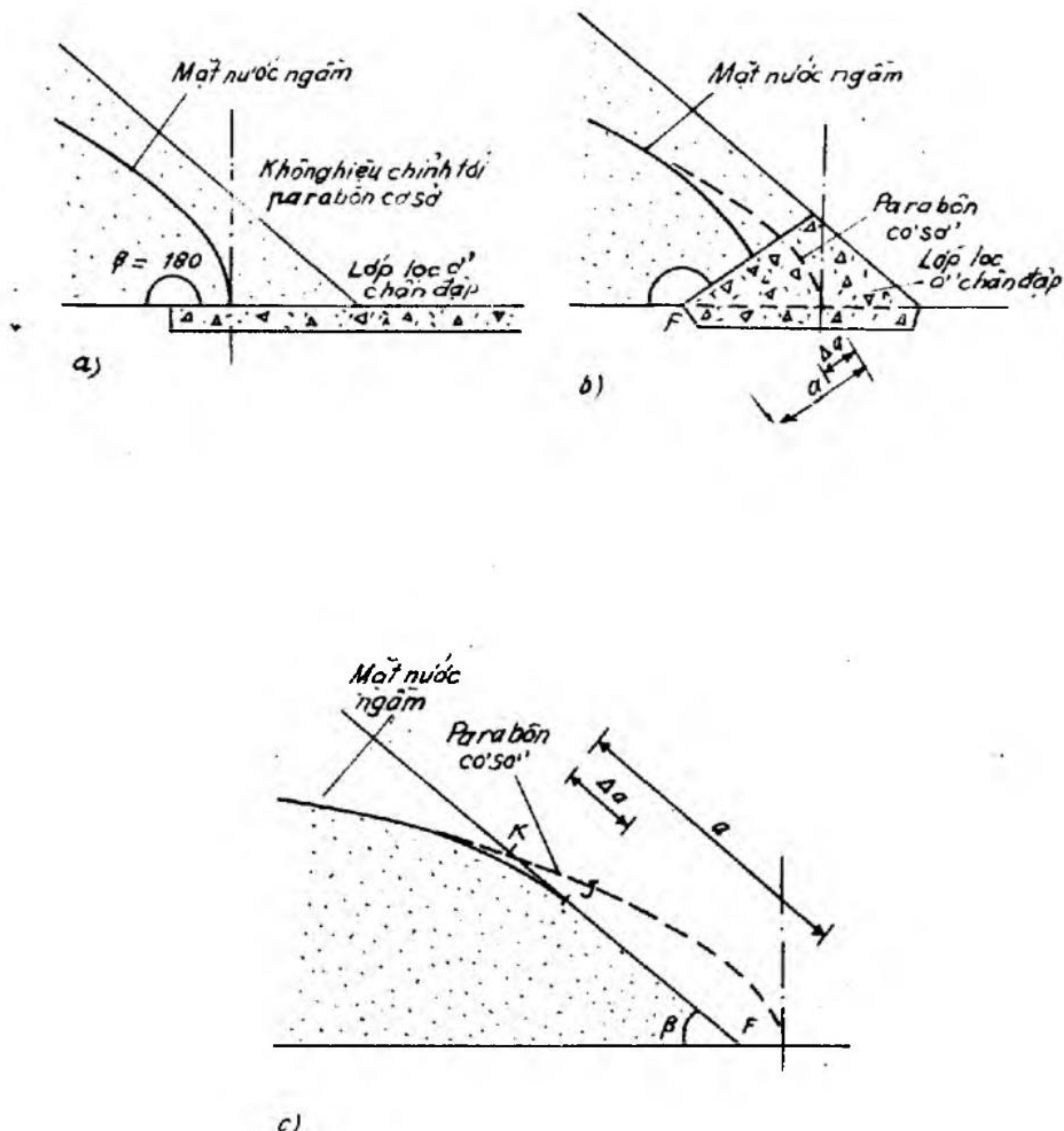


Hình 5-20. Chi tiết bề mặt nước ngầm tại lối vào vùng thấm

Các điều kiện dòng thấm vào và ra. Bề mặt thượng lưu đập là bề mặt vào vùng thấm, vì nó là đường đẳng thế ϕ_{max} - biểu thị cột nước áp lực cực đại, cho nên các đường dòng phải cắt vuông góc với nó. Thực ra thì độ dốc của $\phi_{max} \leq 90^\circ$ (hình 5-20a). Trong các trường hợp xác định, có bộ lọc hạt thô ở thượng lưu, có thể độ dốc $\phi_{max} > 90^\circ$. Bề mặt nước ngầm tại lối vào sẽ nằm ngang, vì khi áp lực nước lỗ rỗng bằng không, nước không thể thấm ngược lên được (hình 5-20b).

Tại hạ lưu hay bề mặt ra, đường parabol lý thuyết được cải biến phụ thuộc vào điều kiện tại chân má. Khi mặt ra nằm ngang (hình 5-21a), đường parabol cơ sở không cần hiệu chỉnh. Nơi bộ lọc ở chân bằng vật liệu hạt thô tạo một góc bề mặt ra và $\beta < 180^\circ$

(hình 5-21b), thực hiện hiệu chỉnh bằng cách bố trí lại điểm ra của mặt nước ngầm theo phương pháp do Casagrande đề nghị.



Hình 5-21. Chi tiết bề mặt nước ngầm tại chỗ ra khỏi vùng thấm

Nếu đường parabol cơ sở cắt mặt ra tại điểm K và mặt ra cát đáy không thấm tại F, vị trí hiệu chỉnh của mặt nước ngầm được đặt tại J dựa theo tỉ số $\Delta a/a$:

Ở đây $a = FK$

và $\Delta a/a$ nhận được theo bảng 5-4

Do đó $KJ = \Delta a$

BẢNG 5-4. CÁC HỆ SỐ HIỆU CHỈNH CHO LƯỚI THẨM DẬP ĐẤT
THEO CASAGRANDE (1940)

β	30°	60°	90°	120°	150°	180°
$\Delta a/a$	(0,36)	0,32	0,26	0,18	0,10	0

Trong trường hợp đáy của chân mái không thấm (không có bộ lọc ở chân mái hạ lưu), lối ra của mặt nước ngầm tiếp tuyến dọc theo mái dốc hạ lưu (hình 5-21c). Điểm ra này cũng được định vị theo phương pháp đã trình bày ở trên.

Dựng đường parabol cơ sở. Tất cả các đường dòng và đường thế là các đường cong parabol có một tiêu điểm chung. Khi vẽ lưới thấm, bước thứ nhất là dựng đường parabol cơ sở, đó là mặt nước ngầm. Thực hiện điều này bằng phương pháp đồ thị của Albert Casagrande (1937) bao gồm vẽ một đường parabol đối xứng rồi hiệu chỉnh chỗ vào và chỗ ra, như đã trình bày ở trên.

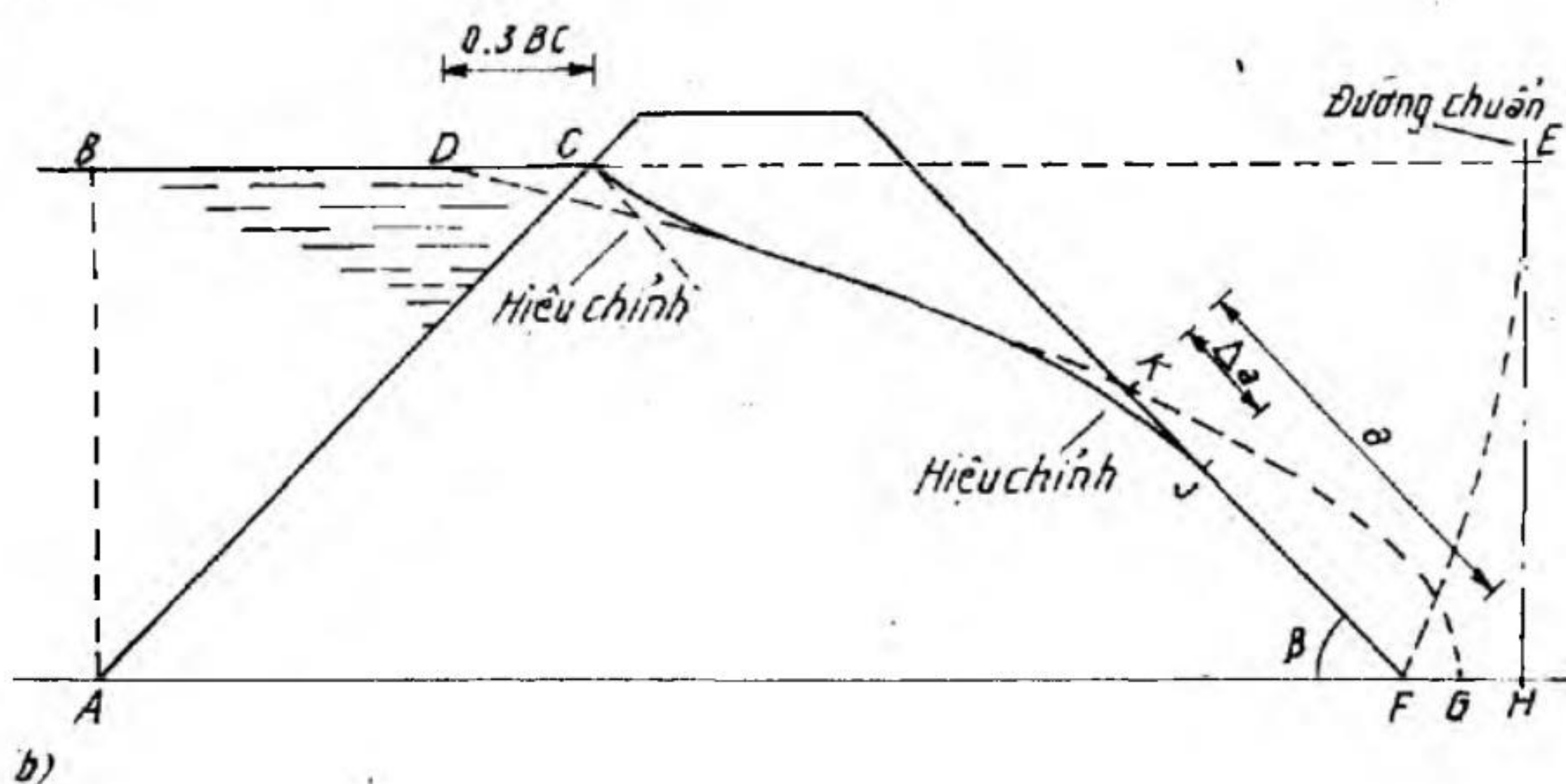
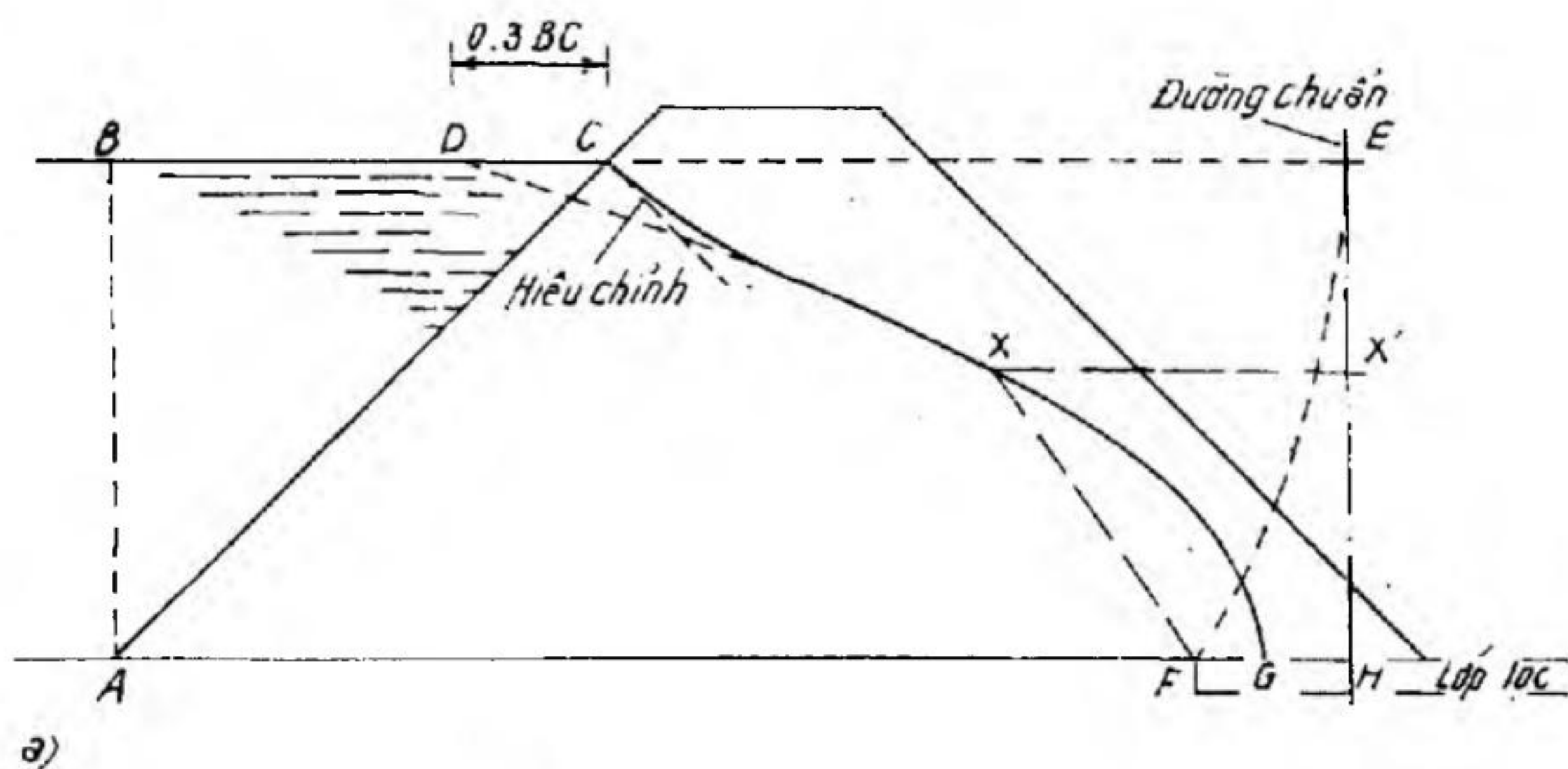
Hình 5-22a cho thấy một đập đất điển hình với một mặt nằm ngang. Giả thiết đường parabol bắt đầu tại D (nơi có $CD = 0,3BC$) và có tiêu điểm F. Đường chuẩn được định vị bằng cung có bán kính DF quay quanh điểm D (tức là $DE = DF$). Tiếp tuyến thẳng đứng $\overline{EH}$ với cung này là đường chuẩn. Vì tất cả các điểm trên một đường parabol cách đều đường chuẩn và tiêu điểm nên :

$$\overline{FG} = \overline{GH}$$

và cho tất cả điểm X có : $\overline{XX'} = \overline{FX}$

Như thế, đường parabol được dựng ở giữa điểm D và G. Chi tiết lối vào tại điểm C được hiệu chỉnh như các dẫn giải ở trên.

Khi chỗ ra của mặt nước ngầm tiếp tuyến với mặt hạ lưu của đập (hình 5-22b) thì tiến hành trình tự tương tự, có khác là tiêu điểm ở chân của mái dốc hạ lưu. Yêu cầu hiệu chỉnh điểm ra từ K đến J theo thủ tục đã trình bày.



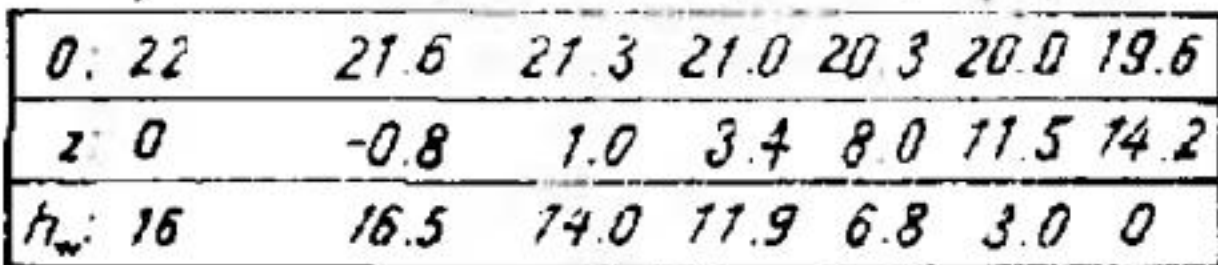
Hình 5-22. Dạng mặt nước ngầm cho đập đất

a) lối ra là mặt phẳng nằm ngang ; b) lối ra tiếp tuyến với bề mặt hạ lưu

Ví dụ mẫu 5.10. Hình 5-23a là mặt cắt của một đập đất đồng nhất, hệ số thấm của đất là $6,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. Dụng lưới thấm và dùng nó để :

a) tính lưu lượng thấm ;

b) vẽ sự phân bố áp lực nước lỗ rỗng dọc theo cung tròn AS.



a) các kích thước ; b) lưới thấm ;
c) phân bố áp lực nước lỗ rỗng dọc theo cung AS

Đầu tiên phải vẽ mặt nước ngầm (hình 5-23b). Vẽ đường thẳng đứng AB, rồi định vị điểm D.

Dựng một cung có bán kính DF cắt hình chiếu nằm ngang BDC tại E. Vẽ đường thẳng đứng EH - đường chuẩn của parabol. Bây giờ dựng đường parabol cơ sở từ tiêu điểm F. Cắt biến mặt nước ngầm tại bề mặt vào cho đi qua C. Rồi vẽ các đường dòng khác và đường đẳng thế và nhớ rằng tất cả chúng (về cơ bản) là những đường parabol.

$$N_e = 22 \qquad N_f = 3,5$$

a) Do vậy, lưu lượng thấm tính theo :

$$\begin{aligned} q &= kH \frac{N_l}{N_e} \\ &= 6,0 \times 10^{-6} \times 16 \times \frac{3,5}{22} = 15,3 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s} \\ &= \underline{5,5 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{h}} \end{aligned}$$

b) Tính giá trị thế tại mỗi điểm nơi cung AC cắt đường dòng. Tại các điểm này, cột nước áp lực lỗ rỗng h_w bằng

$$\begin{aligned} h_w &= H \frac{\phi_h}{N_e} - z \\ &= 0,727\phi_h - z \end{aligned}$$

Hình 5-23c cho thấy đường phân bố cột nước áp lực lỗ rỗng dọc theo AS.

5.14. Thấm trong đất dị hướng

Dòng thấm ngang và thẳng đứng trong đất phân lớp. Nơi có nhiều lớp đất, mỗi lớp có hệ số thấm khác nhau thì độ thấm theo phương ngang và thẳng đứng không giống nhau. Các lớp cát mỏng (độ thấm cao) ở giữa các lớp đất dính (độ thấm thấp) làm cho lưu lượng thấm theo phương ngang tương đối cao. Nguyên lý này được khai thác khi thi công khối đập trong đó người ta đưa vào những đường thoát nước bằng cát để đẩy nhanh việc thoát nước lỗ rỗng dư và vì thế làm tăng tốc độ cố kết.

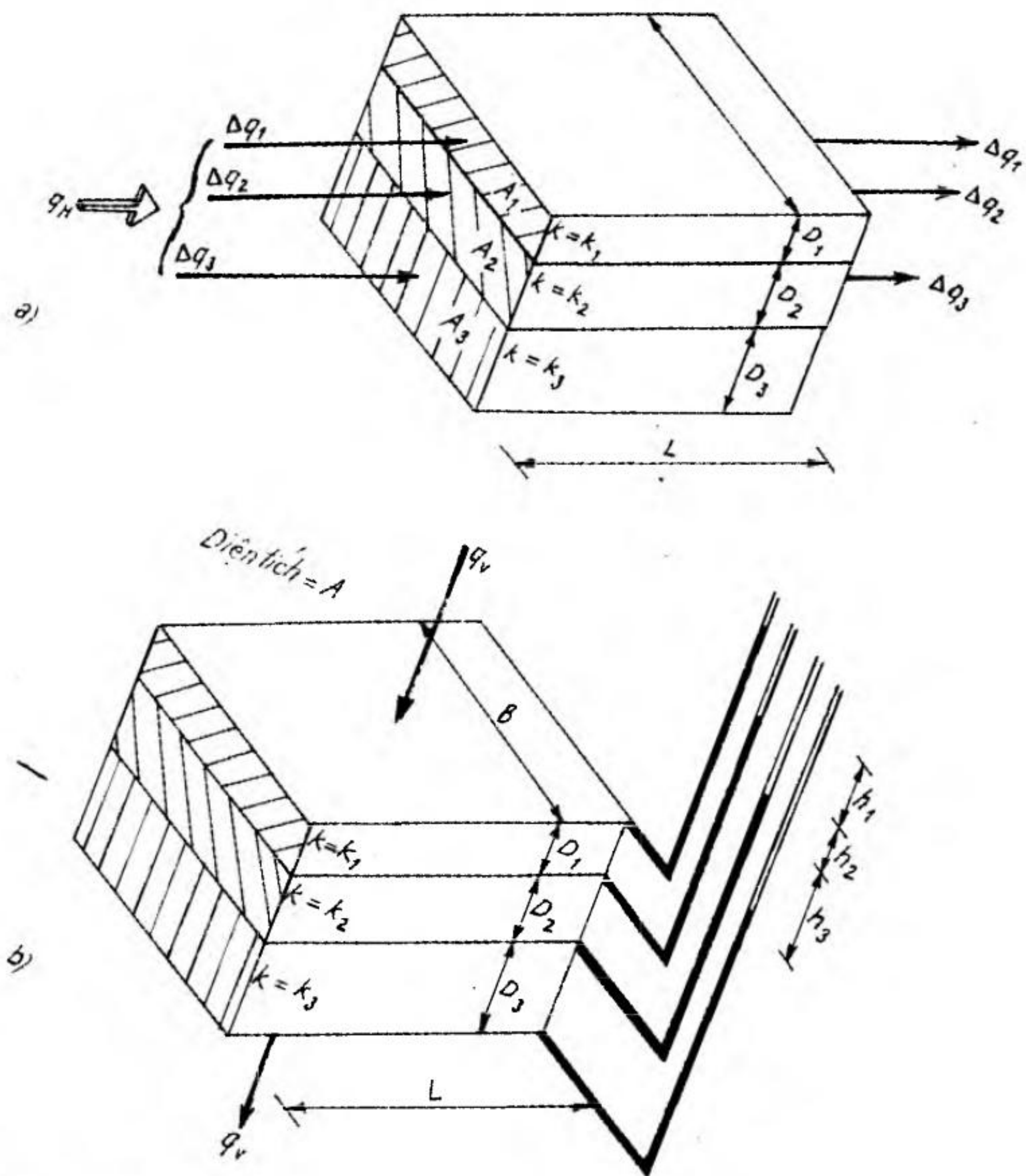
Hãy xem xét khối đất gồm có ba lớp khác nhau về hệ số thấm (hình 5-24).

Dòng thấm ngang (tiếp tuyến với lớp) : Với mỗi lớp, tổn thất cột nước giữa mặt vào và ra là như nhau :

$$h_1 = h_2 = h_3 = h$$

Vì thế có cùng gradien thủy lực :

$$i_1 = i_2 = i_3 = i$$



Hình 5-24. Dòng thấm trong đất phân lớp
a) dòng thấm ngang ; b) dòng thấm thẳng đứng

Sử dụng định luật Darcy ($q = Aki$) cho dòng thấm ở các lớp :

$$\Delta q_1 = A_1 k_1 i_1 ; \Delta q_2 = A_2 k_2 i_2 ; \Delta q_3 = A_3 k_3 i_3$$

Vì $A_1 = BD_1$, $A_2 = BD_2$, $A_3 = BD_3$ và $\bar{A} = B(D_1 + D_2 + D_3)$ nên lưu lượng tổng q_H tính theo :

$$q_H = \Delta q_1 + \Delta q_2 + \Delta q_3 = \bar{A} k_H i$$

ở đây k_H - hệ số thấm trung bình theo phương ngang.

Thay thế $BD_1 k_1 i_1 + BD_2 k_2 i_2 + BD_3 k_3 i_3 = B(D_1 + D_2 + D_3) k_H i$
Ta sẽ có :

$$k_H = \frac{D_1 k_1 + D_2 k_2 + D_3 k_3}{D_1 + D_2 + D_3} \quad [5.28]$$

Dòng thấm thẳng đứng (pháp tuyến với lớp) : Lưu lượng thấm ở các lớp là như nhau :

$$\Delta q_1 = \Delta q_2 = \Delta q_3 = q_v$$

Tổn thất cột nước ở mỗi lớp là h_1 , h_2 và h_3 với các gradien thủy lực như sau :

$$i_1 = h_1/D_1, i_2 = h_2/D_2, i_3 = h_3/D_3$$

Sử dụng định luật Darcy ($q = Aki$), lưu lượng tổng tính theo :

$$q_v = k_v \bar{A} i = k_v A \frac{\bar{h}}{L}$$

Nhưng tổn thất cột nước tổng $\bar{h} = h_1 + h_2 + h_3$ và $L = D_1 + D_2 + D_3$.

Vì $h_1 = \frac{qD_1}{Ak_1}$, ... nên có :

$$q_v = \frac{k_v A \left(\frac{qD_1}{Ak_1} + \frac{qD_2}{Ak_2} + \frac{qD_3}{Ak_3} \right)}{D_1 + D_2 + D_3}$$

Do vậy, hệ số thấm theo phương đứng xác định bằng công thức :

$$k_v = \frac{D_1 + D_2 + D_3}{D_1/k_1 + D_2/k_2 + D_3/k_3} \quad [5.29]$$

Trong hai công thức [5.28] và [5.29], số các phân tử ở tử số và mẫu số bằng số lớp đất.

Ví dụ mẫu 5.11. Địa tầng của một khu vực gồm có các lớp cát và bụi xen kẽ nhau. Các lớp cát thường dày 150mm, có hệ số thấm $k = 6,5 \times 10^{-1} \text{ mm/s}$, lớp bụi dày 1,80m, có hệ số thấm $k = 2,5 \times 10^{-4} \text{ mm/s}$. Giả thiết dòng thấm trong mỗi lớp là đẳng hướng, hãy xác định tỉ số giữa hệ số thấm theo phương ngang với phương đứng.

Bài giải

Một "chu kì" địa tầng sẽ gồm có một lớp cát (1) và một lớp bụi (2). Ta có :

$$\begin{aligned} k_1 &= 6,5 \times 10^{-1} \text{ mm/s} ; & k_2 &= 2,5 \times 10^{-4} \text{ mm/s} \\ D_1 &= 150 \text{ mm} ; & D_2 &= 1800 \text{ mm} \end{aligned}$$

Từ phương trình [5.28], hệ số thấm ngang bằng :

$$\begin{aligned} k_H &= \frac{D_1 k_1 + D_2 k_2}{D_1 + D_2} \\ &= \frac{150 \times 6500 + 1800 \times 2,5}{150 + 1800} \times 10^{-4} \text{ mm/s} \end{aligned}$$

và từ phương trình [5.29], hệ số thấm đứng bằng :

$$\begin{aligned} k_v &= \frac{D_1 + D_2}{D_1/k_1 + D_2/k_2} \\ &= \frac{150 + 1800}{150/6500 + 1800/2,5} \times 10^{-4} \text{ mm/s} \end{aligned}$$

Vì thế xác định được tỉ số $\frac{k_H}{k_v}$:

$$\frac{k_H}{k_v} = \frac{(150 \times 6500 + 1800 \times 2,5)(150/6500 + 1800/2,5)}{(150 + 1800)^2} = \underline{186}$$

Dòng thấm trong đất dị hướng. Trong đất dị hướng $k_x \neq k_z$, giá trị k_f theo hướng trung bình của dòng thấm sẽ nằm giữa k_x và k_z . Phương trình Laplace cho dòng thấm hai hướng (xem phương trình [5.25]) có dạng :

$$k_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_z \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \quad [5.30]$$

hay
$$\frac{\partial^2 h}{(k_z/k_x) \partial x^2} = 0$$

Đặt $x^2 \frac{k_z}{k_x} = x_T^2$ tức là $x_T = \sqrt{\left(\frac{k_z}{k_x}\right)}$ [5.31]

thì phương trình liên tục sẽ là : $\frac{\partial^2 h}{\partial x_T^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0$ [5.32]

Phương trình [5.31] cho một hệ số tỉ lệ để chuyển vùng thấm dị hướng thực tế về vùng thấm đẳng hướng quy ước. Hệ số thấm theo hướng chảy sẽ bằng giá trị đẳng hướng tương đương.

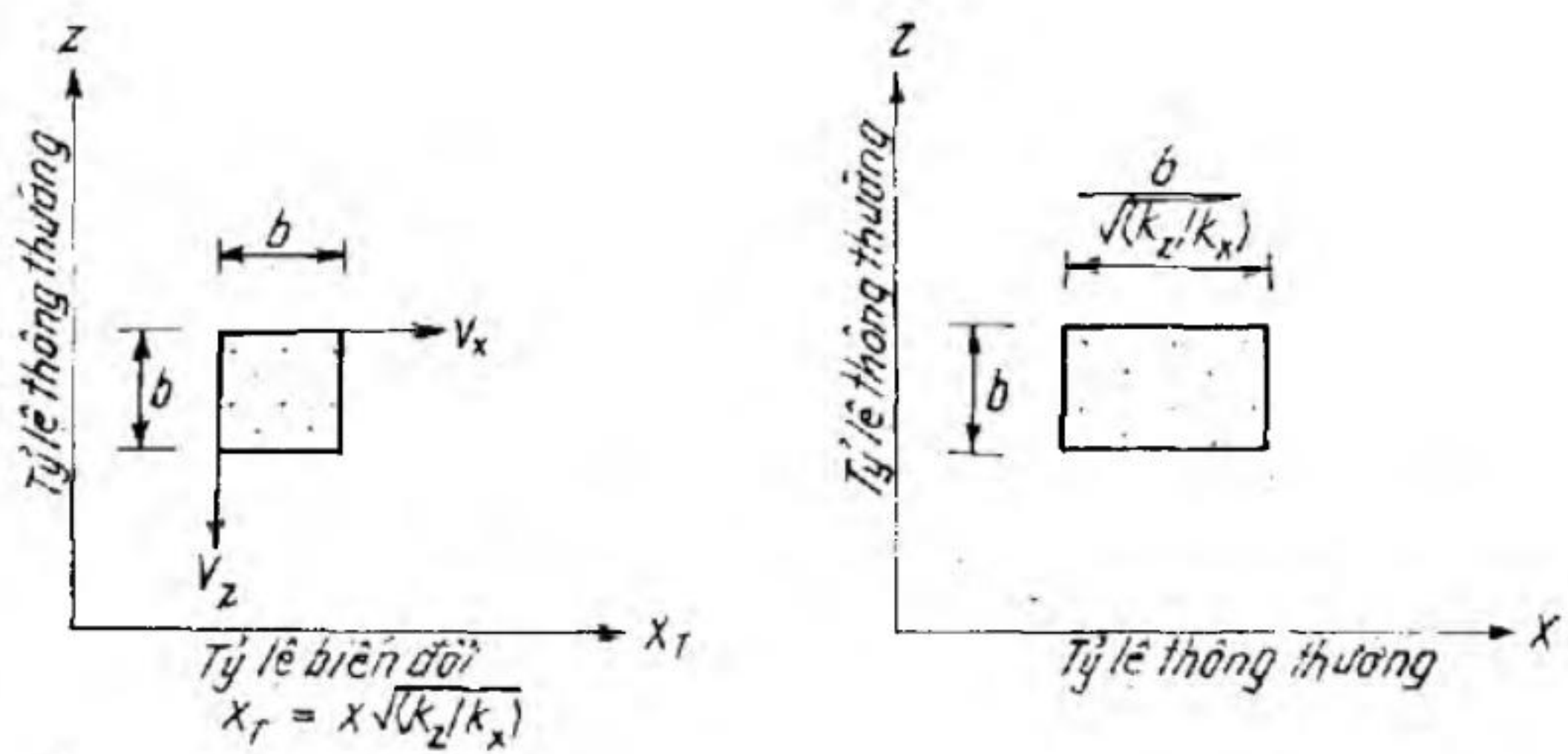
$$k_f = k_x \sqrt{\left(\frac{k_z}{k_x}\right)} = \sqrt{(k_x k_z)} \quad [5.33]$$

Vì vậy, lưu lượng thấm lấy theo lưới thấm đã biến đổi sẽ bằng :

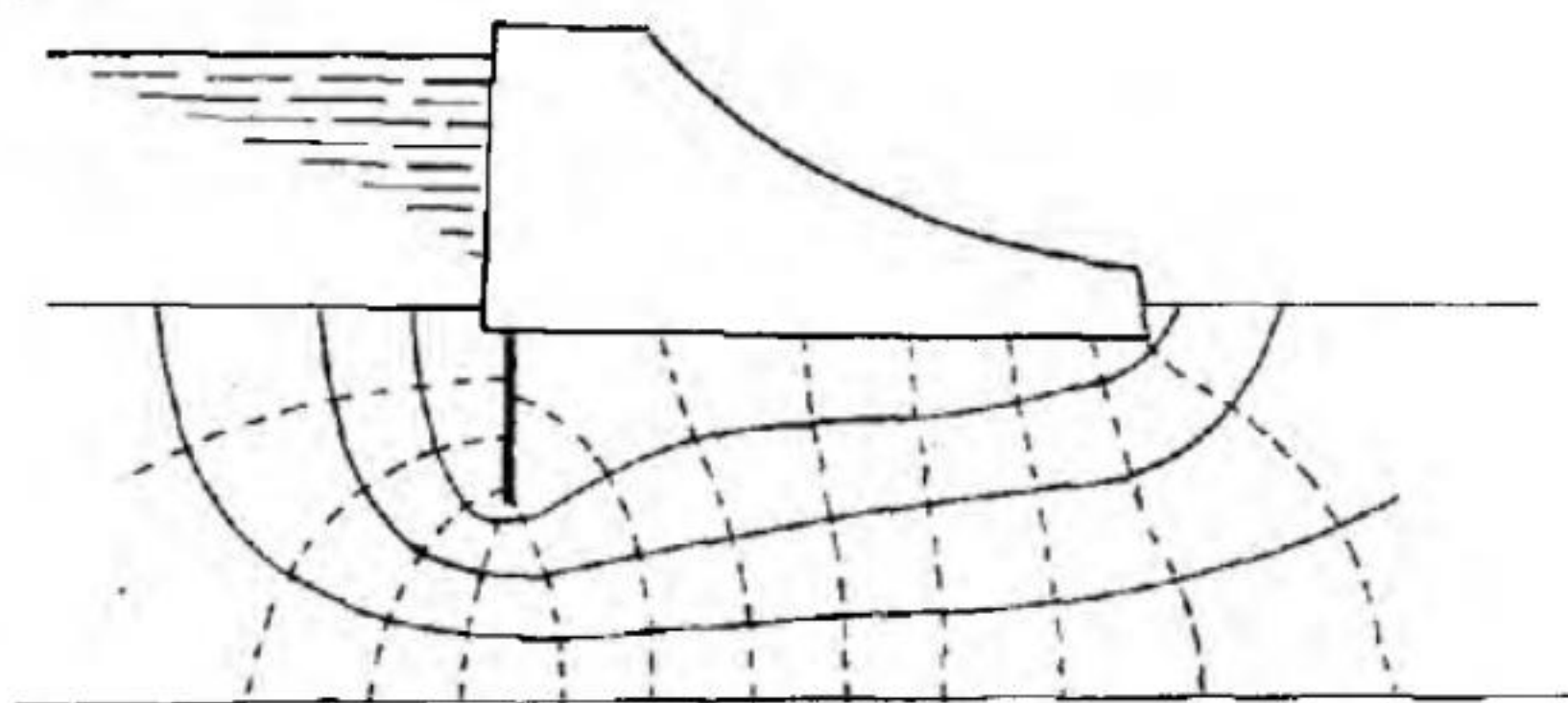
$$q = Ak_f \frac{N_f}{N_e} = A \frac{N_f}{N_e} \sqrt{(k_x k_z)} \quad [5.34]$$

Khi dựng lưới thấm, đầu tiên dùng tỉ lệ đứng bình thường (trục z) và tỉ lệ ngang biến đổi (trục x) để vẽ mặt cắt ngang của vùng thấm (hình 5.25a).

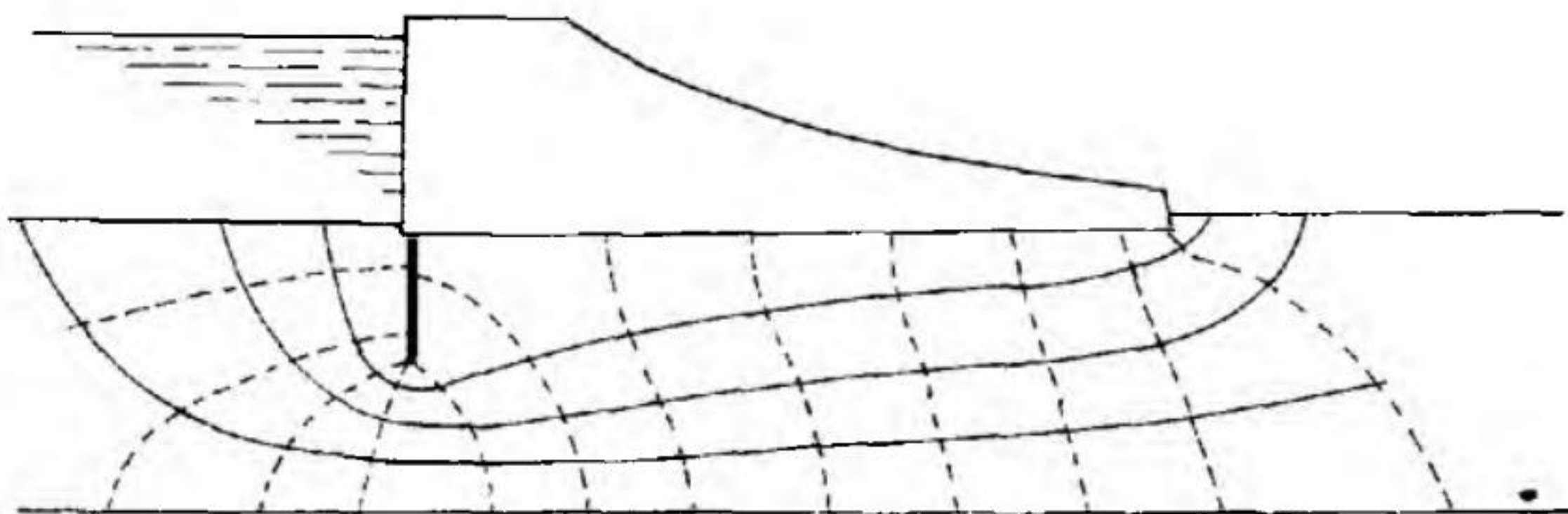
Trên mặt cắt này vẽ lưới thấm với giả thiết điều kiện đẳng hướng nghĩa là có các trường "hình vuông" và giao nhau 90° . Vẽ lại mặt cắt này dùng cùng tỉ lệ theo hướng x và z sẽ có được lưới thấm thực (hình 5-25c). Khoảng cách ngang giữa các đường lưới thì thay đổi theo phép chia cho hệ số $\sqrt{(k_z/k_x)}$. Lưới thấm thực thể hiện đúng đắn các điều kiện dị hướng, mặc dù trường không vuông và các đường không trực giao nhau.



a)



b)



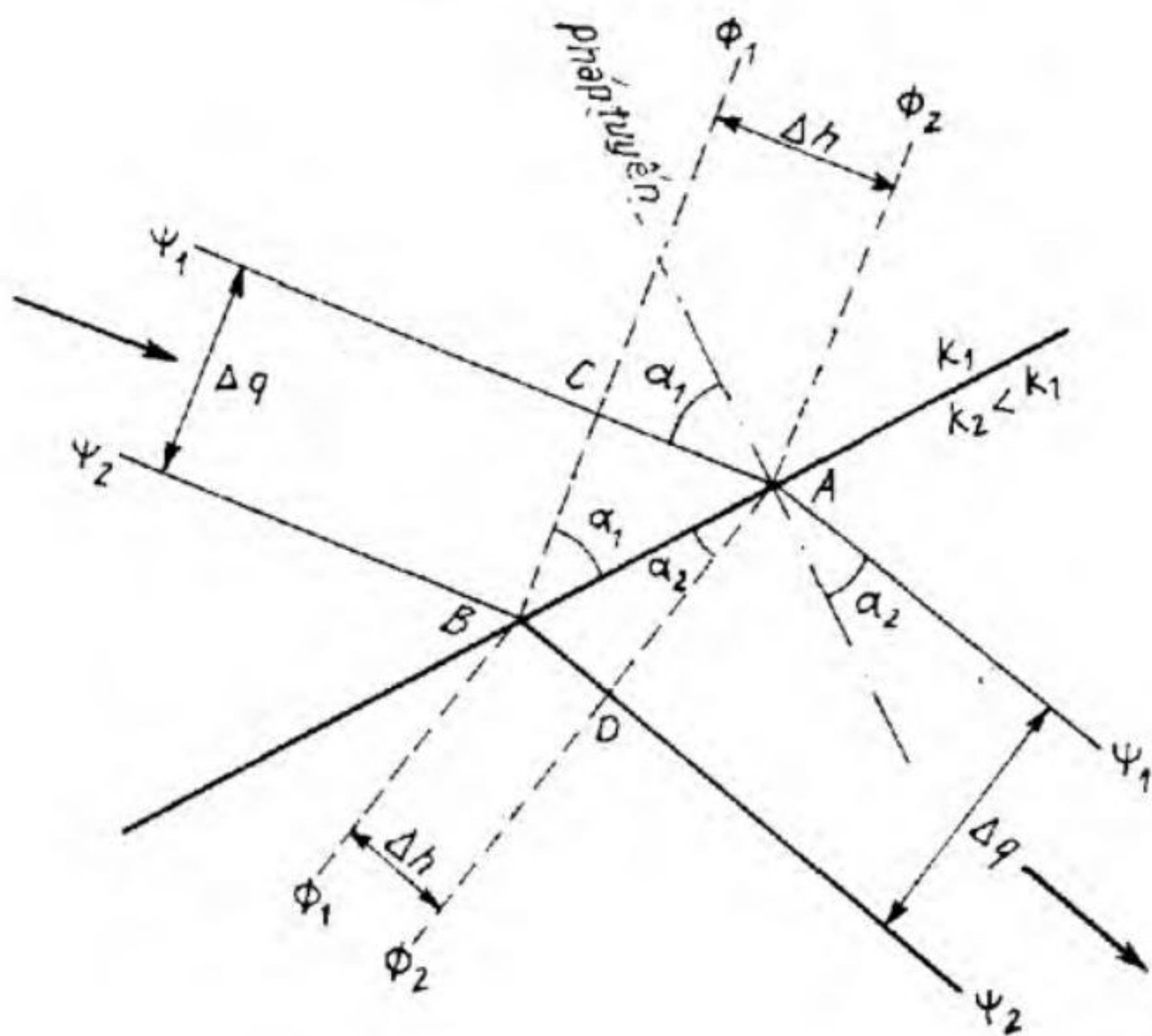
c)

Hình 5-25. Dụng lưới thấm cho đất dị hướng
a) cải biến phần tử thấm ; b) lưới thấm vẽ theo tỷ lệ cải biến ;
c) lưới thấm vẽ lại theo tỷ lệ bình thường

Dòng thấm qua bề mặt phân ranh giới lớp đất. Trong điều kiện dị hướng, tại biên hay mặt ranh giới các lớp đất có hệ số thấm khác nhau mặt này nghiêng so với hướng dòng thấm, thì đường dòng bị khúc xạ. Nói cách khác, hướng của dòng thấm biến đổi đột ngột tại mặt phân lớp. Nếu dòng thấm đi vào lớp đất thấm kém hơn ($k_1 > k_2$), thì đường dòng khúc xạ gần với pháp tuyến tại mặt phân lớp, và xa pháp tuyến nếu $k_1 < k_2$.

Mặt ranh giới hai lớp đất có hệ số thấm k_1 và k_2 thấy ở hình 5-26. Xem xét hai đường dòng ψ_1 và ψ_2 cắt biên và tạo với pháp tuyến các góc α_1 và α_2 tương ứng. Đường đẳng thế tại chỗ giao nhau là ϕ_1 và ϕ_2 .

Lúc này tổn thất cột nước Δh là : $\Delta h = \phi_1 - \phi_2$ và lưu lượng dòng thấm qua mặt phân lớp giữa A và B là Δq . Vì liên tục nên lưu lượng thấm vào bằng lưu lượng thấm ra.



Hình 5-26. Lưu thấm cắt qua mặt phân lớp

$$A_1 k_1 i_1 = A_2 k_2 i_2$$

$$\text{hay} \quad BC k_1 \frac{\Delta h}{\frac{1}{2} AC} = AD k_2 \frac{\Delta h}{\frac{1}{2} BD}$$

$$\text{nhưng } BC = AB \cos \alpha_1 \text{ và } AD = AB \cos \alpha_2$$

$$\text{Sau khi thay } \frac{AB}{AC} \cos \alpha_1 k_1 = \frac{AB}{CD} \cos \alpha_2 k_2$$

$$\text{ta có :} \quad \frac{k_1}{\operatorname{tg} \alpha_1} = \frac{k_2}{\operatorname{tg} \alpha_2}$$

$$\text{hay} \quad \frac{k_1}{k_2} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} \quad [5.35]$$

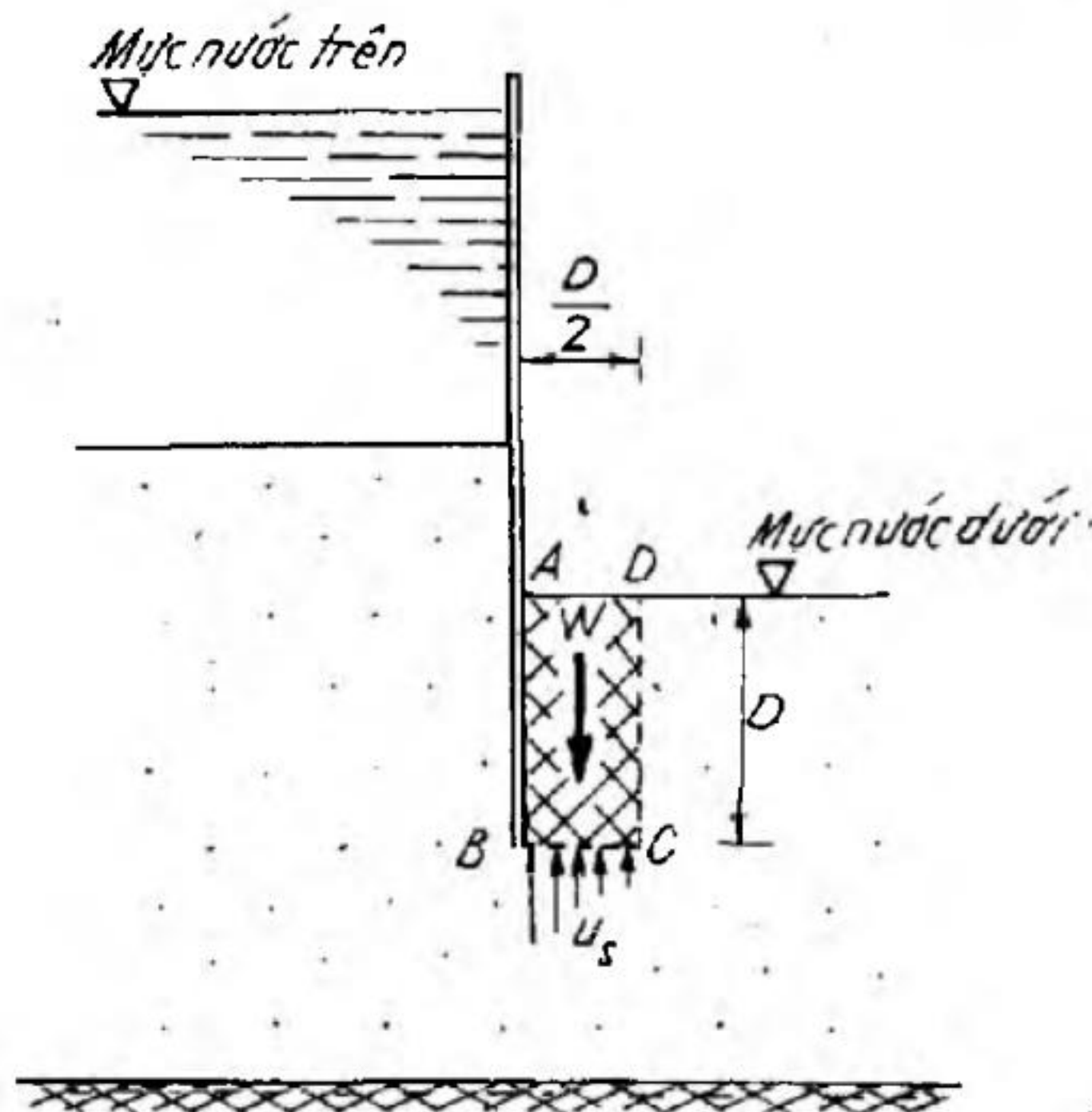
5.15. Sự mất ổn định do thấm (xói ngầm)

Thuật ngữ *xói ngầm* được dùng để mô tả điều kiện không ổn định xảy ra khi thành phần áp lực thấm thẳng đứng hướng lên vượt quá trọng lượng của đất hướng xuống. Lúc lực thấm hướng lên bằng trọng lượng ngập nước của đất, giữa các hạt đất không còn sức cản ma sát. Hỗn hợp đất - nước vì thế không có độ bền kháng cắt và hoạt động như một dịch thể.

Nếu lực thấm theo hướng lên vượt trọng lượng ngập nước, các hạt đất di chuyển lên, trầm đọng ở mặt đất. Một "ống dẫn" được hình thành trong đất ở gần mặt đất. Xói ngầm có thể dẫn tới móng bị phá hoại hoàn toàn hay làm cho công trình chống đỡ bị sụt lở chẳng hạn như rãnh tiêu nước của đập, phần của đê quay. Do vậy, cần thiết kiểm tra khả năng không ổn định này khi thiết kế các công trình chắn nước.

Khi đã vẽ được lưới thấm, có thể dùng phương pháp quy tắc ngón tay cái đơn giản để xác định hệ số an toàn đối với hiện tượng xói ngầm. Tiến hành xem xét một lăng trụ đất kề với mặt hạ lưu của công trình. Trường hợp nghiên cứu ở đây là tường cọc ván (hình 5-27). Trọng lượng hiệu quả của lăng trụ đất ABCD sẽ là :

$$W = (\gamma_{\text{sat.}} - \gamma_w)D \times \frac{D}{2}$$



Hình 5-27. Hệ số an toàn với xói ngầm

Từ lưới thấm, biết được sự phân bố áp lực thấm tại đáy BC của lăng trụ. Giả sử giá trị trung bình là u_s , thì lực thấm hướng lên tại

$$BC = u_s \times \frac{D}{2}$$

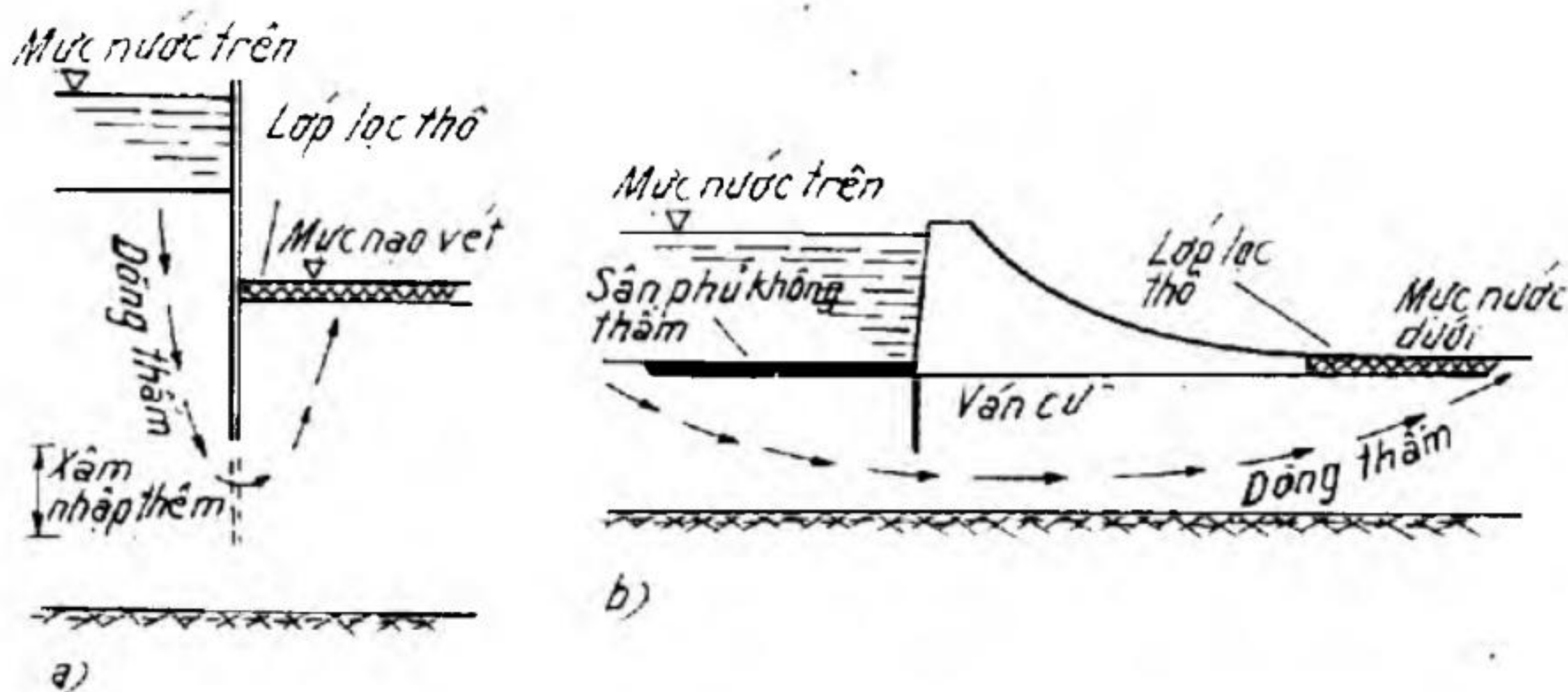
Vì xói ngầm xảy ra khi lực thấm hướng lên bằng W, hệ số an toàn với xói ngầm tính theo :

$$F_{\text{(xói ngầm)}} = \frac{\text{trọng lượng hướng xuống}}{\text{lực thấm hướng lên}} = \frac{W}{u_s \frac{D}{2}} = \frac{(\gamma_{\text{sat}} - \gamma_w)D}{u_s}$$

[5.36]

Phương pháp tính u_s được mô tả trong ví dụ mẫu 5.7. Hệ số an toàn đối với xói ngầm có thể tăng bằng nhiều cách. Ví dụ, trong trường hợp đê quay, tăng chiều sâu của cọc hay bố trí lớp lọc thô ở phía hạ lưu trước khi xả xuống tới mức cuối cùng.

Với đập, việc tăng chiều dài đường thấm sẽ làm tăng hệ số an toàn với xói ngầm và giảm lưu lượng thấm. Điều này thực hiện bằng cách đóng một dãy màn cừ ở tại hoặc gần mặt thượng lưu, hay bố trí tấm đáy hay sân phủ không thấm ở thượng lưu. Một khả năng khác là đặt lớp lọc bằng vật liệu thô ở phía hạ lưu (xem hình 5-28).



Hình 5-28. Các phương pháp cải tạo điều kiện thấm
a) đê quai ; b) đập bê tông hay đá xây

5.16. Tháo khô hố móng

Cần thiết hạ thấp mực nước ngầm hay mực áp lực ở trong và xung quanh hố móng để đạt được một hay nhiều mục đích sau :

- tạo điều kiện làm việc "khô" ;
- ngăn chặn đáy hố móng bị trương nở hay đẩy trôi ;
- giảm áp lực ngang lên tường chắn tạm thời của thành hố móng ;
- tăng ổn định của mái đất đào của hố móng ;
- giảm độ ẩm của đất được đào bằng các lỗ khoan.

Công tác tháo khô hầu như chỉ được bố trí tạm thời để công việc thi công và sửa chữa thuận lợi. Hệ thống tháo khô duy trì vĩnh cửu bằng bơm hút thì đắt tiền và thường khó điều hành khi thời gian kéo dài. Hiện nay có ba phương pháp tháo khô như sau :

a) *Bơm hút từ giếng tập trung nước ở trong hố móng.* Thích hợp cho hố móng nhỏ, thời gian vận hành ngắn và để hỗ trợ cho các phương pháp khác. Sơ đồ bố trí và kích thước của giếng tập trung nước có thể thay đổi nhanh cho nên rất linh hoạt.

b) Bơm hút từ giếng nằm ngoài hố móng. Khoan các giếng sâu, đặt ống chống rồi bơm bằng máy bơm hút hay máy bơm đẩy ; các giếng điểm thì nông hơn và được hạ tới vị trí bằng tia nước có áp lực cao. Mục đích chủ yếu của bơm hút từ giếng là hạ thấp mực nước ngầm (hay mực áp lực cho toàn bộ bề mặt tầng chứa nước bị chặn).

c) Tường chống thấm. Sử dụng tường chống thấm tạo dựng bằng cách phụt vữa, phụt hóa chất, nhựa, vách cứng thì có thể kiểm tra thường xuyên và an toàn hơn. Phương pháp này tỏ ra hữu hiệu khi quản lý nước dưới đất ở các vùng bị nhiễm bẩn như tại các khu công nghiệp cổ.

Sơ đồ bố trí đơn giản các phương pháp khác nhau được thấy ở hình 5-29a. Để có thông tin chi tiết hơn về thiết bị và vận hành của hệ thống tháo khô cần tham khảo các sách chuyên môn về công tác đất của Powers (1976), Tomlinson (1986), Cedergren (1987), Corbett (1987).

Trong nội dung thiết kế công trình và điều hành thi công cần đánh giá lưu lượng bơm hút đòi hỏi và tính mực áp lực giảm ở gần hố móng. Giả thiết là đã tiến hành các thí nghiệm thích hợp để xác định hệ số thấm k trung bình, lưu lượng thấm vào có thể tính toán hợp lý theo công thức [5.13] hay [5.15] với các thay thế sau :

$r_1 = \bar{r}_w$ - bán kính trung bình của các giếng bơm hút tính từ tâm hố móng ;

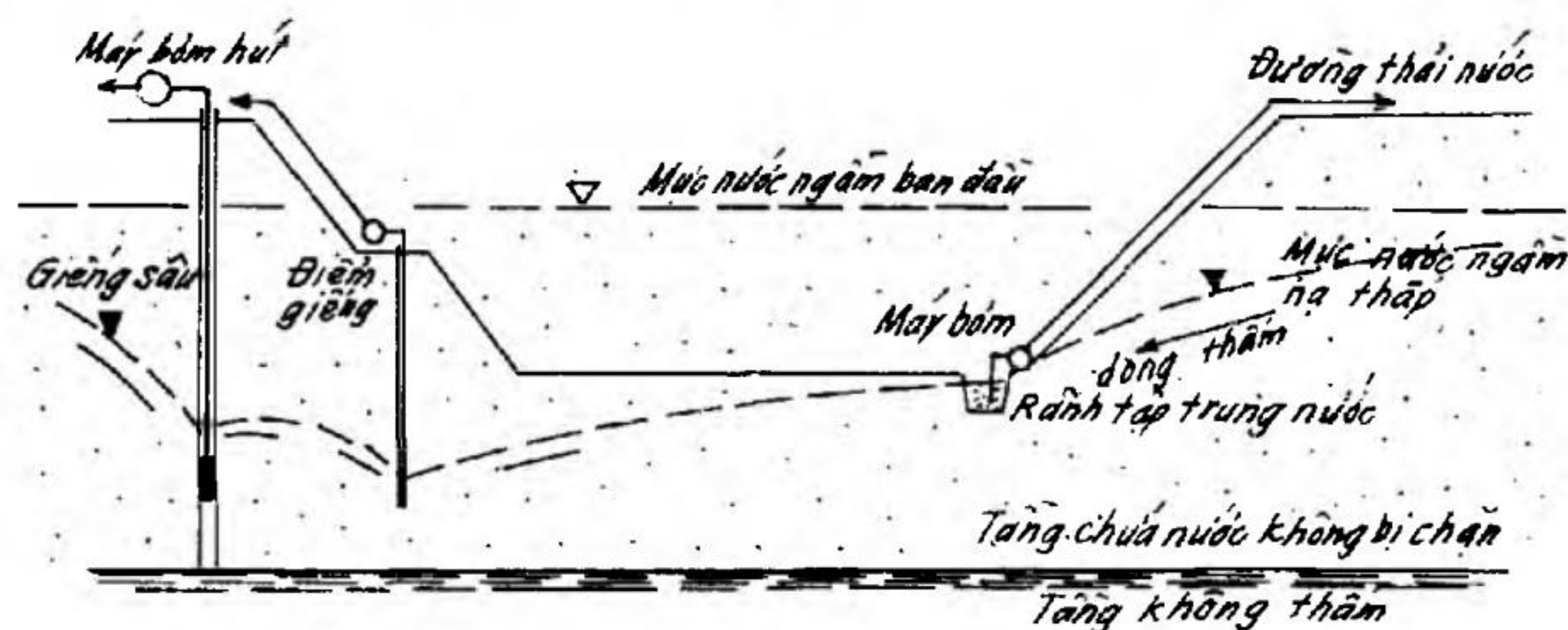
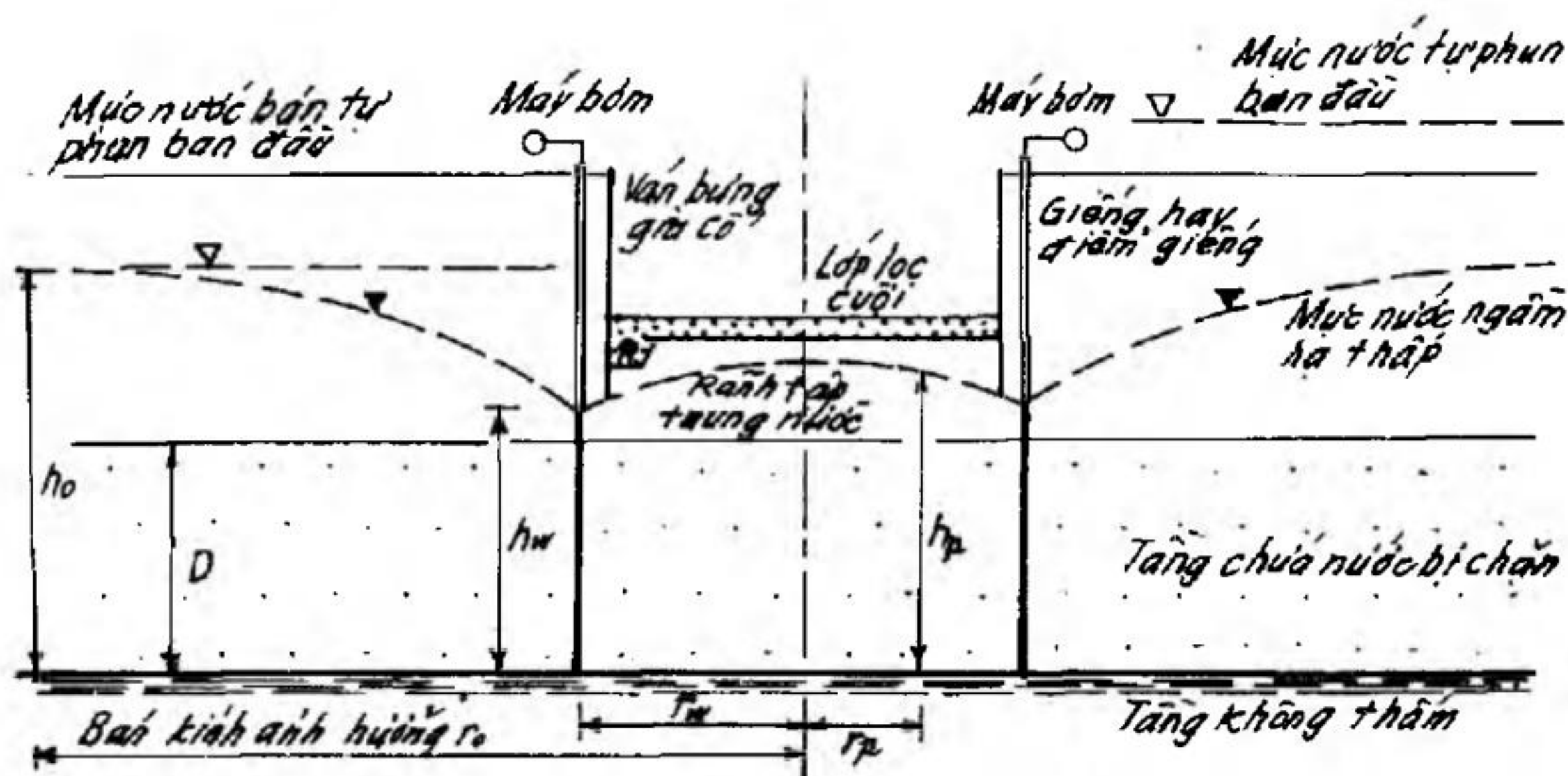
$h_1 = \bar{h}_w$ - mực áp lực trung bình ở các giếng bơm hút ;

$r_2 = \bar{r}_o$ - bán kính ảnh hưởng trung bình của vùng bơm hút, tính từ tâm hố móng ;

$h_2 = h_o$ - mực áp lực ban đầu.

Với hố móng ở trên tầng chứa nước bị chặn (hình 5-29b), việc đánh giá áp lực đẩy ngược có tầm quan trọng đặc biệt khi tính hệ số an toàn đối với hiện tượng đẩy trôi ở đáy hố.

Tại một điểm P đã cho, có bán kính r_p , giả thiết là độ hạ thấp mực nước tổng bằng kết quả cộng đơn giản các độ hạ thấp mực nước do các giếng riêng lẻ tác động tới điểm đó.



Hình 5-29. Tháo khô hố móng

- a) giảm mức áp lực trong tầng chứa nước bị chặn ;
- b) phương pháp chọn cho tầng chứa nước không bị chặn.

Vì thế, từ phương trình [5.13], độ hạ thấp mức nước tổng tại P cho n giếng được tính theo :

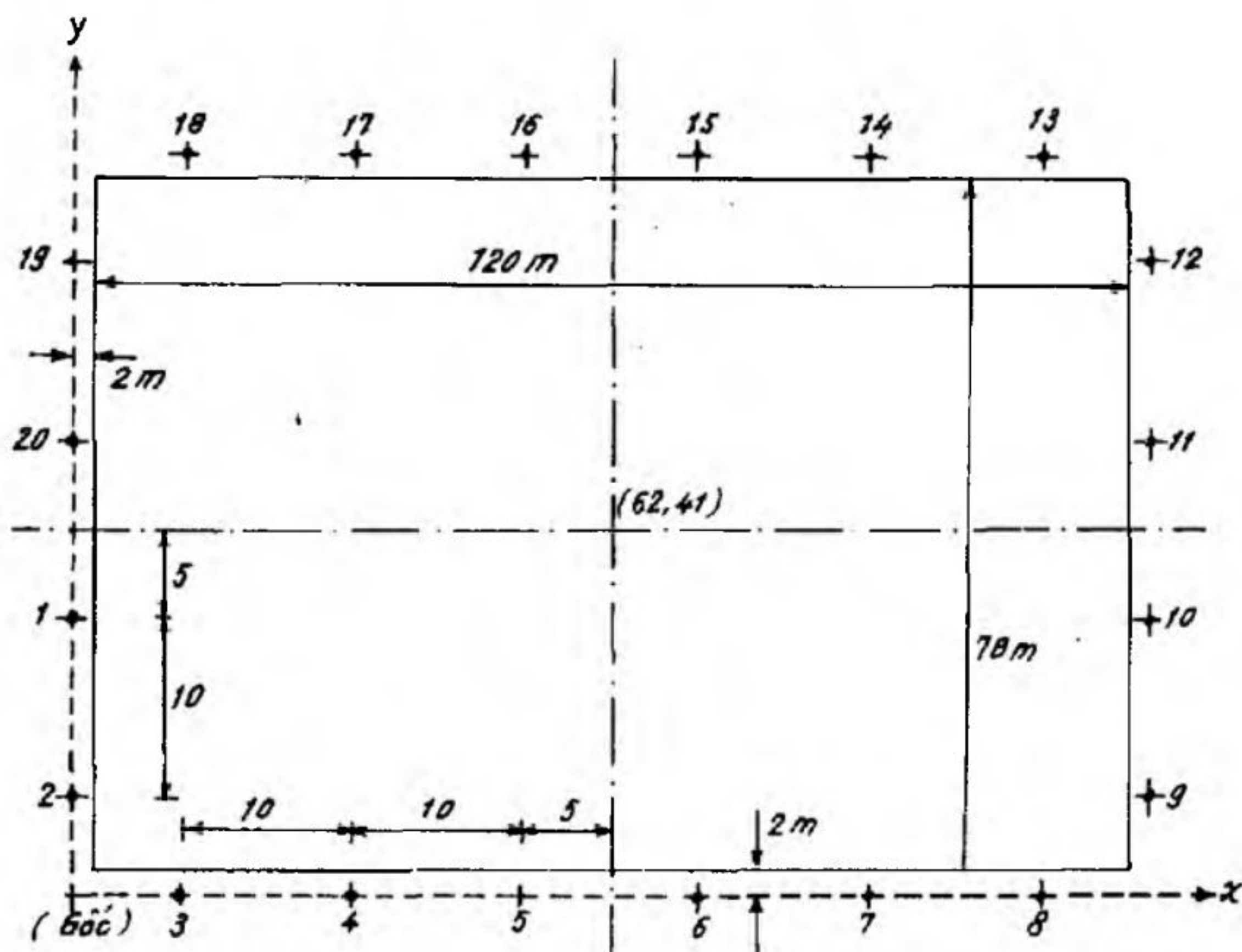
$$d_p = h_0 - h_p = \frac{1}{2\pi Dk} \sum_{i=1}^n [q_i \ln(r_0/r_i)] \quad [5.37]$$

ở đây : q_i - lưu lượng thấm vào giếng i ;

r_i - bán kính của giếng i , tính từ điểm P .

Phải ghi nhớ là độ giảm áp lực đẩy ngược không chỉ phụ thuộc vào độ hạ thấp mực nước đạt được mà còn vào mực áp lực ban đầu, áp lực này chịu tác động của khí hậu, thủy triều hay các biến đổi khác của điều kiện môi trường. Vì vậy, cần phải giám sát mực áp lực tại một số điểm chiến lược ở trong hay theo dọc hố móng. Lưu lượng bơm hút có thể hiệu chỉnh lại cho thích hợp với các biến đổi hay các dị thường của điều kiện công trường.

Ví dụ mẫu 5.12. Một hố móng sâu đặt trong tầng sét bụi bởi tích nằm trên tầng cát chứa nước bị chặn. Khi đào hố móng ở đây, hệ thống tháo khô (hình 5-30) được dùng, vì nếu không áp lực của tầng chứa nước có áp trong cát sẽ tạo ra áp lực đẩy ngược



Hình 5-30

không thể chấp nhận được. Bằng thí nghiệm ở hiện trường, đã xác định được hệ số thấm trung bình của lớp cát là $4,3 \times 10^{-5}$ m/s và bán kính ảnh hưởng của vùng bơm hút là 750m.

a) Tính lưu lượng tối thiểu của máy bơm cần cho mỗi giếng, giả thiết là dùng cùng loại máy bơm cho mọi giếng.

b) Xác định độ hạ thấp áp lực dự đoán mực nước tại tâm và góc hố móng khi lưu lượng bơm hút từ tất cả 20 giếng bằng giá trị tính toán theo a).

c) tính độ hạ thấp mực nước tương tự tại các điểm khác, bình luận về sự bố trí các giếng.

Bài giải

a) Bán kính trung bình $\bar{r}_w$ có thể lấy bằng bán kính của hình tròn có cùng diện tích hố móng :

$$\bar{r}_w = \sqrt{(124 \times 82/\pi)} = 56,9\text{m}$$

Tuy nhiên, trong trường hợp này, vì độ hạ thấp mực nước đã được tính toán, có thể nhận được bán kính thực trung bình.

Các tính toán được xếp thành bảng ở phía dưới,

Bán kính trung bình $\bar{r}_w = 58,2\text{m}$

Tổng lực lượng máy bơm

$$q_{\text{reqd}} = 2\pi Dk = \frac{h_2 - h_1}{\ln(r_2/r_1)}$$

Tuy nhiên $h_2 - h_1 = h_o - \bar{h}_w = d_w$ (độ hạ thấp mực nước yêu cầu)
 $= 7,5\text{m}$

$$r_2 = \bar{r}_o = 750\text{m} \text{ và } r_1 = \bar{r}_w = 58,2\text{m}$$

Vì thế, lực lượng yêu cầu là

$$\begin{aligned} q_{\text{reqd}} &= \frac{2\pi \times 13,6 \times 0,0043 \times 60000 \times 7,5}{\ln(750/58,2)} \\ &= 64674 \text{ l/ph} \end{aligned}$$

PHÂN TÍCH HỆ CÁC GIẾNG ĐIỂM (ví dụ mẫu 5.12)

Bán kính ảnh hưởng (m) 750

Độ hạ thấp mức nước tối thiểu yêu cầu (m) 7.5

Hệ số thấm (m/s) 0,0043

Bề dày lớp chứa nước (m) 13,6

Lưu lượng thấm (l/ph) 64674

Công suất máy bơm yêu cầu (l/ph) 3234

Độ hạ thấp mức nước ở tâm (m) 7.94

STT của giếng	(từ gốc)		(từ tâm)		Độ hạ thấp mức nước tại điểm P = 7,51								
	X	Y	x	y	r	$\ln(r_o / r_i)$	q	$\ln() \times q$	x_p	y_p	r_p	$\ln(r_o/r_p)$	$\ln() \times q$
Gốc	0	0	62	41					2	2			
1	72	82	10	41	42,20	2,88	3400	9784	70	80	106,30	1,95	6643
2	92	82	50	41	50,80	2,69	3400	9153	90	80	120,42	1,83	6219
3	112	82	60	41	64,66	2,45	3400	8333	110	80	136,01	1,71	5805
4	124	74	62	33	70,24	2,37	3400	8052	122	72	141,66	1,67	5667
5	124	52	62	11	62,97	2,48	3400	8423	122	50	131,85	1,74	5911
6	124	30	62	-11	62,97	2,48	3400	8423	122	28	125,17	1,79	6087
7	124	8	62	-33	70,24	2,37	3400	8052	122	6	122,15	1,81	6170
8	112	0	50	-41	64,66	2,45	3400	8333	110	-2	110,02	1,92	6526
9	92	0	30	-41	50,80	2,69	3400	9153	90	-2	90,02	2,12	7208
10	72	0	10	-41	42,20	2,88	3400	9784	70	-2	70,03	2,37	8062
11	52	0	-10	-41	42,20	2,88	3400	9784	50	-2	50,04	2,71	9205
12	32	0	-30	-41	50,80	2,69	3400	9153	30	-2	30,07	3,22	10937
13	12	0	-50	-41	64,66	2,45	3400	8333	10	-2	10,20	4,30	14613
14	0	8	-62	-33	70,24	2,37	3400	8052	-2	6	6,32	4,78	16237
15	0	30	-62	-11	62,97	2,48	3400	8423	-2	28	28,07	3,29	11170
16	0	52	-62	11	62,97	2,48	3400	8423	-2	50	50,04	2,71	9205
17	0	74	-62	33	70,24	2,37	3400	8052	-2	72	72,03	2,34	7966
18	12	82	-50	41	64,66	2,45	3400	8333	10	80	80,62	2,23	7583
19	32	82	-30	41	50,80	2,69	3400	9153	30	80	85,44	2,17	7386
20	52	82	-10	41	42,20	2,88	3400	9784	50	80	94,34	2,07	7049

Với 20 máy bơm có cùng công suất, p cho mỗi máy bơm là 3234 l/ph. Bởi vậy, ta dùng máy bơm có công suất 3400 l/ph.

b) Tâm hố móng có tọa độ (62,41). Giả thiết rằng máy bơm hoạt động 3400 l/ph, thì có được lưu lượng tổng $\sum [q_i \ln(r_o/r_i)]$.

Độ hạ thấp mực nước tại tâm :

$$\begin{aligned} d_c &= \frac{1}{2\pi D k} \sum_{i=1}^n [q_i \ln(r_o/r_i)] \\ &= \frac{3400 \sum [\ln(750/r_i)]}{2\pi \times 13,6 \times 0,0045 \times 60000} = \underline{7,94 \text{ m}} \end{aligned}$$

Tại góc hố móng gần gốc nhất có tọa độ (2, 2) ; bán kính giếng từ góc này xem trong cột r_p .

Độ hạ thấp mực nước d_p tại góc P tính theo :

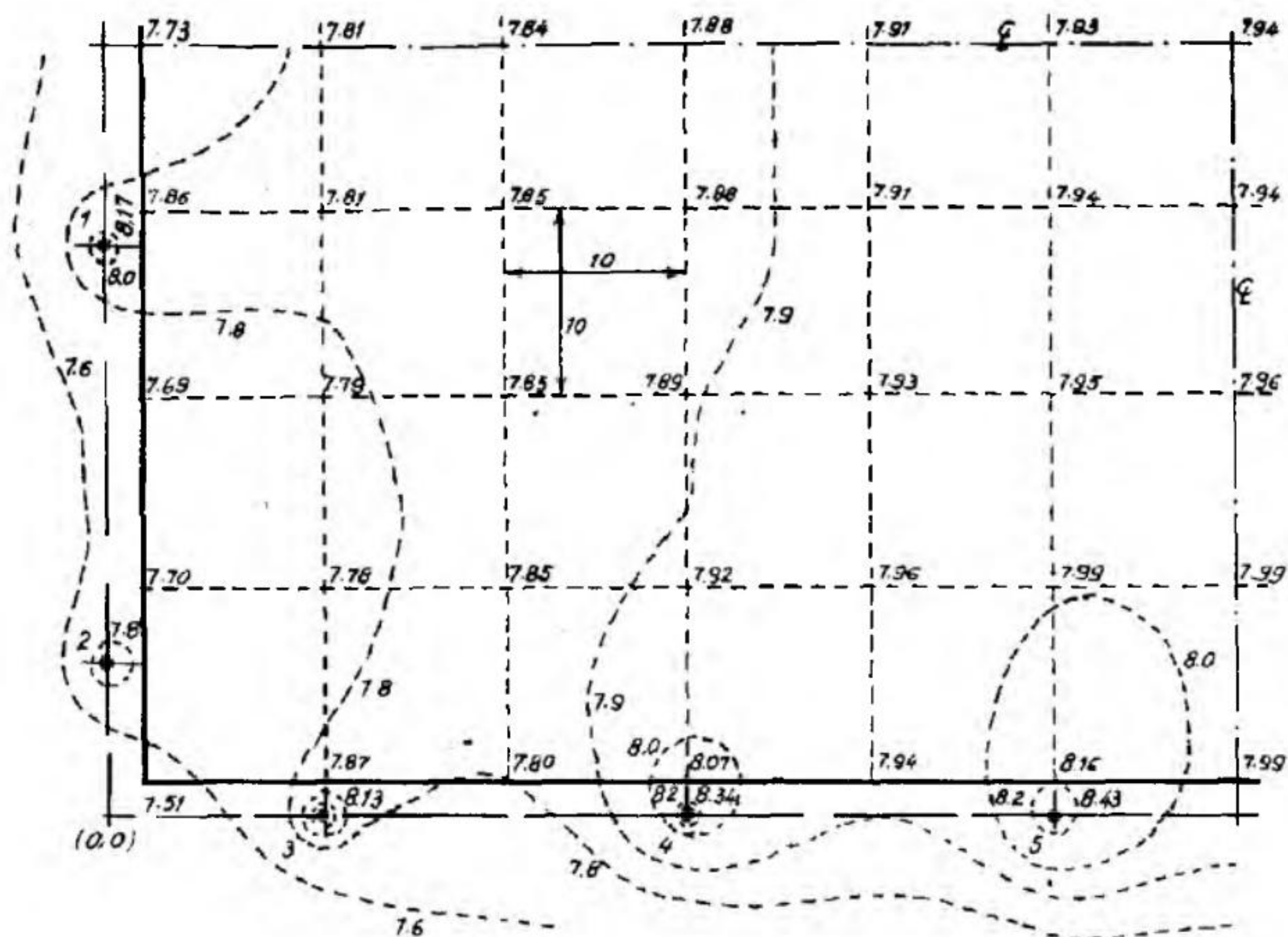
$$d_p = \frac{3400 \sum [\ln(750/r_p)]}{2\pi \times 13,6 \times 0,0045 \times 60000} = \underline{7,51 \text{ m}}$$

Ba góc khác cũng nhận được cùng giá trị. Đó là độ hạ thấp mực nước tối thiểu đạt được với chế độ bơm hút này và thỏa mãn giá trị tối hạn yêu cầu.

c) Độ hạ thấp mực nước (không phải mực giếng) tại các giếng bơm hút được tính theo cách tương tự khi điền giá trị tọa độ của giếng tính từ gốc tại cột nước cho các cột x_p và y_p . Chẳng hạn giếng 1 tại $x = 0$ và $y = 15\text{m}$, có độ hạ thấp mực nước là 8,17m.

Trên mặt bằng khu vực hố móng (hình 5-31) có ghi độ hạ thấp mực nước tính toán tại mỗi giếng và các điểm của lưới tọa độ $10 \times 10\text{m}$. Các đường đồng mức hạ thấp mực nước được vẽ thêm để làm rõ sơ đồ của các giá trị. Trị số hạ thấp mực nước nhỏ nhất (do vậy là xấu nhất) ở tại các góc, trong khi trị số cao nhất là tại các giếng nằm giữa cạnh dài nhất.

Bố trí các giếng có thể làm tốt hơn bằng cách tăng khoảng cách giữa chúng trên cạnh dài nhất, như chuyển giếng 3, 8, 13 và 18 về gần các góc hơn và do đó làm tăng độ hạ thấp mực nước tại góc. Để cho việc giám sát có hiệu quả nên đặt các ống đo áp quan sát tại mỗi góc.



Hình 5-31

Như vậy, nếu mực áp lực nguyên thủy ở dưới mặt đất, chẳng hạn 1,3m và hố móng tại một góc xuống tới 7,2m, thì mực áp lực giảm tại điểm này phải ở dưới mặt đất 8,8m và dưới mực hố móng là 1,6m.

BÀI TẬP

1. a) Giải thích thuật ngữ điều kiện chảy và gradient thủy lực tới hạn.
b) Rút ra biểu thức gradient thủy lực tới hạn i_c cho đất rời tính theo dung trọng hạt G_s và hệ số rỗng e . Giá trị i_c là bao nhiêu nếu $G_s = 2,70$ và $e = 0,60$?
2. Trong thí nghiệm thấm với cột nước cố định, các số liệu sau được ghi lại :
Đường kính trong của thấm kế là 75mm.

Tồn thất cột nước trên chiều dài mẫu 180mm là 247mm.

Lượng nước thu được trong 60s là 626ml.

Hãy tính hệ số thấm của đất.

3. Một thấm kế cột nước cố định có đường kính trong 62,5mm, gắn 3 áp kế ở sườn tại các điểm A, B và C. Thí nghiệm cho mẫu cát được các số liệu sau :

Số thí nghiệm	Lượng nước thu được trong 5 phút (ml)	Mức áp kế (mm) trên mặt chuẩn		
		A	B	C
1	136,2	62	90	117
2	184,5	84	122	164
3	309,4	112	175	244

Chiều dài giữa các điểm gắn áp kế

A - B = 120mm,

B - C = 125mm.

Xác định hệ số thấm của đất (trung bình của 6 giá trị)

4. Thí nghiệm thấm với cột nước giảm dần cho các số liệu sau :

Đường kính trong của thấm kế là 75,2mm

Chiều dài mẫu đất : 122,0mm

Đường kính trong của ống đo áp : 6,25mm

Mức ban đầu trong ống đo áp : 750,0mm

Mức trong ống đo áp sau 15 phút : 247,0mm

Tính hệ số thấm của đất.

5. Một thấm kế với cột nước giảm dần có đường kính trong là 75mm được nối tiếp với một ống đo áp có đường kính 12,5mm. Mẫu đất dính thí nghiệm có chiều dài 80mm đặt ở giữa hai lưới thép sợi mảnh. Cột nước trong ống đo áp sụt từ 950mm xuống 150mm và các thời gian ghi được như sau :

thời gian cần khi chỉ có đĩa lưới tại đó : 4,4s

thời gian cần khi đã có mẫu đất : 114,8s

Tính hệ số thấm của đất.

6. Trong thí nghiệm cột nước giảm nhanh, người ta dùng một ống thủy tinh có đường kính 37,5mm có một lớp cát dày 60mm ở đáy. Thời gian trung bình để mực nước trong ống giảm giữa hai vạch khắc cách đáy 200mm và 100mm là 84,6s. Tính hệ số thấm của cát.

7. Để thí nghiệm bơm hút ở ngoài trời, một giếng đào qua lớp cát nằm ngang có bề dày 14,4m ; nằm dưới là lớp sét. Hai giếng quan sát đào cách giếng bơm hút là 18m và

64m. Mức nước ngầm ban đầu cách mặt đất 2,2m. Khi lực lượng bơm hút ở trạng thái ổn định là 328 l/ph, thì độ hạ thấp mực nước ở hai giếng quan sát tương ứng là 1.92 và 1.16m. Tính hệ số thấm của lớp cát.

8. Một lớp cát nằm ngang dày 6,2m, trên là lớp sét dày 5.8m có bề mặt nằm ngang. phía dưới là lớp đất không thấm. Để tiến hành thí nghiệm bơm hút, đào một giếng tới đáy của lớp cát và hai giếng quan sát qua lớp sét vào lớp cát, cách giếng bơm hút 14m và 52m. Khi lưu lượng đạt trạng thái ổn định là 650 l/ph, mực nước trong các giếng quan sát giảm tương ứng là 2.31m và 1.82m. Hãy tính hệ số thấm của lớp cát, nếu mực nước ngầm ban đầu cách mặt đất 1,0m.

9. Tại một công trường, cho tới nóc của lớp đá không thấm có ba lớp đất nằm ngang như sau :

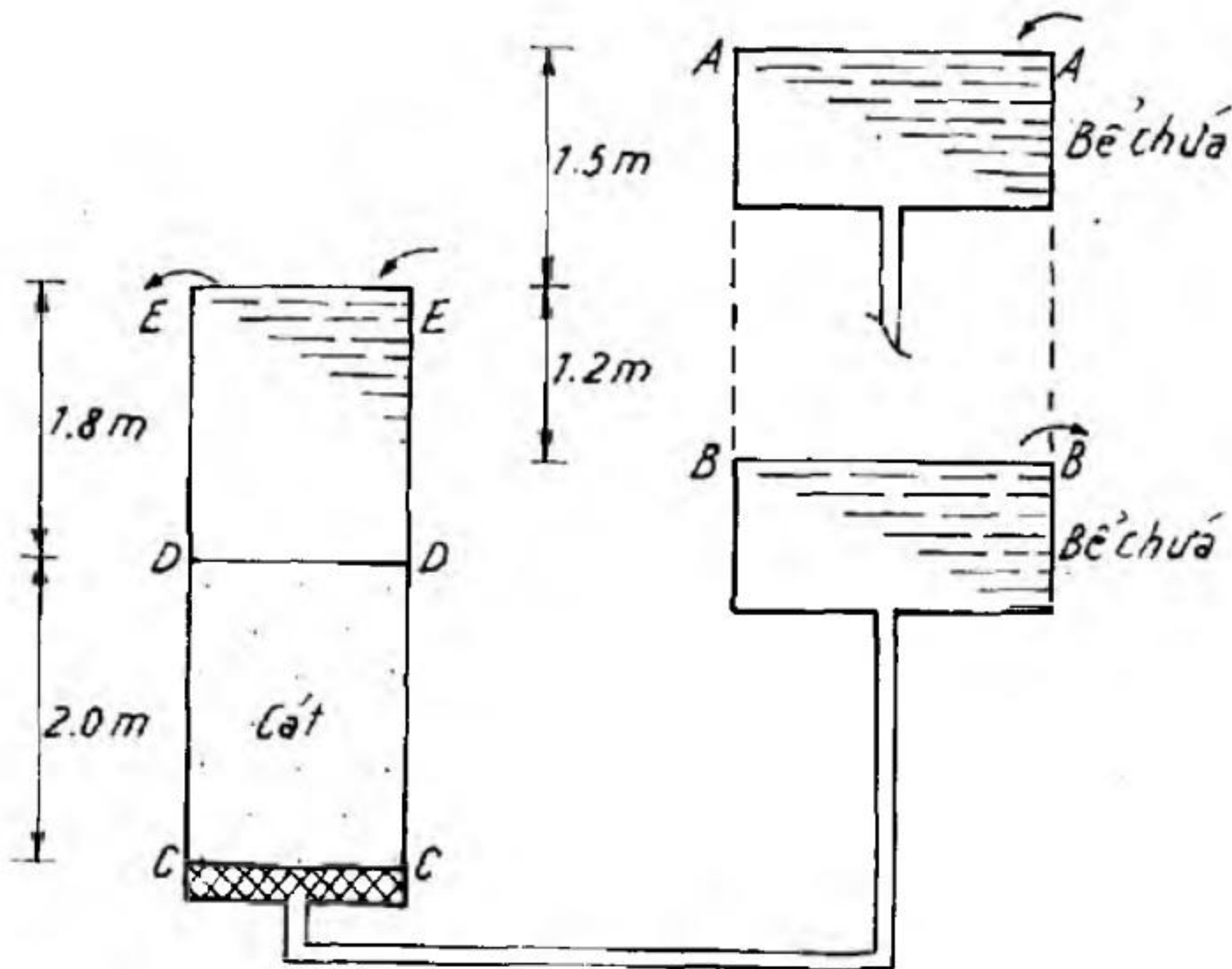
Lớp A có bề dày 3,5m, hệ số thấm $k = 2.5 \times 10^{-5}$ m/s.

Lớp B có bề dày 1,8m, hệ số thấm $k = 1.4 \times 10^{-7}$ m/s.

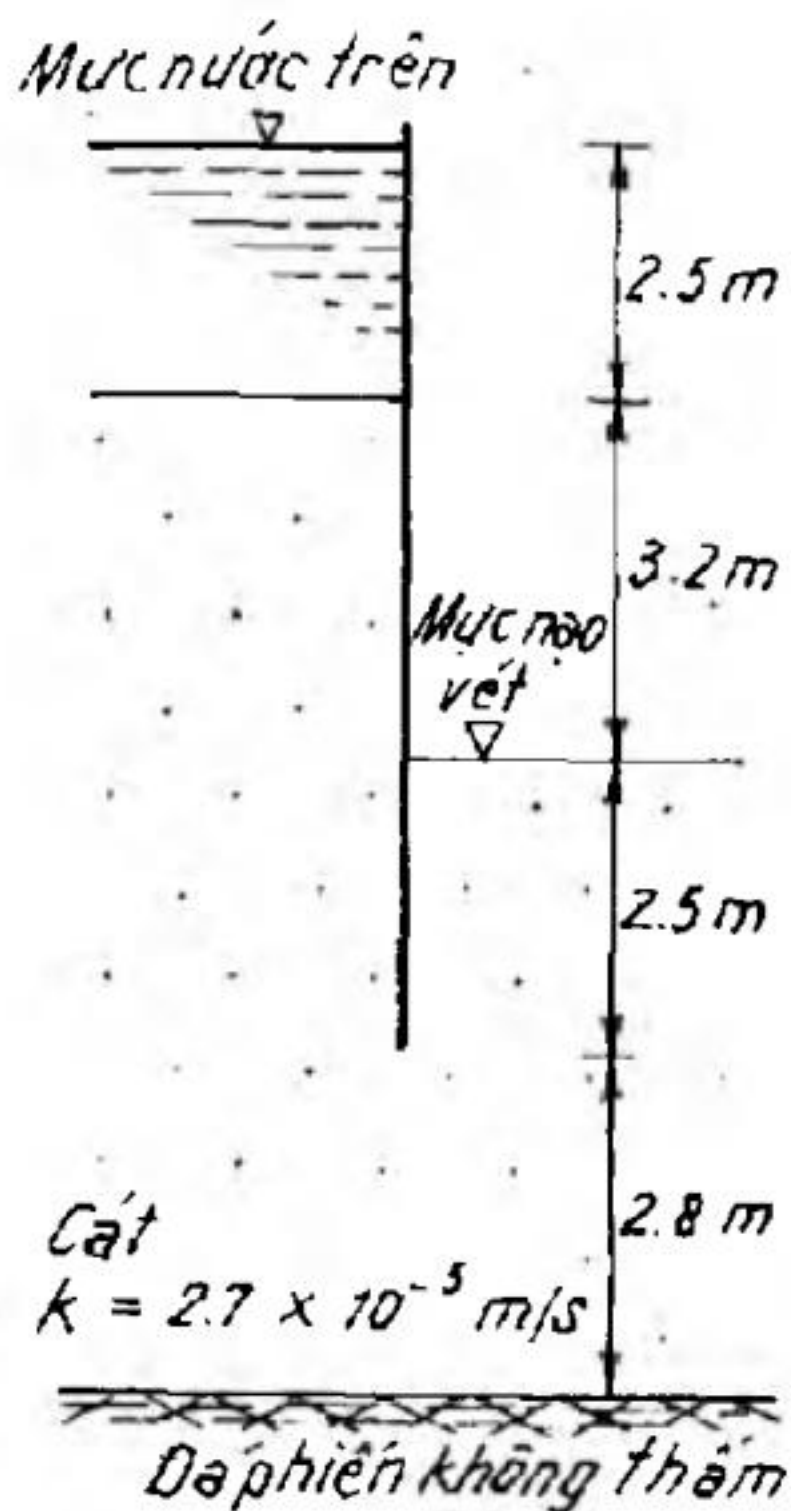
Lớp C có bề dày 4,2m, hệ số thấm $k = 5.6 \times 10^{-3}$ m/s.

Tính hệ số thấm ngang và đúng trung bình cho đất nằm giữa mặt đất và nóc lớp đá.

10. Trong bố trí được thấy ở hình 5-32, điều kiện thấm ở trạng thái ổn định được duy trì nhờ mực nước có bề chứa tại A-A hay B-B. Trọng lượng đơn vị bão hòa của



Hình 5-32

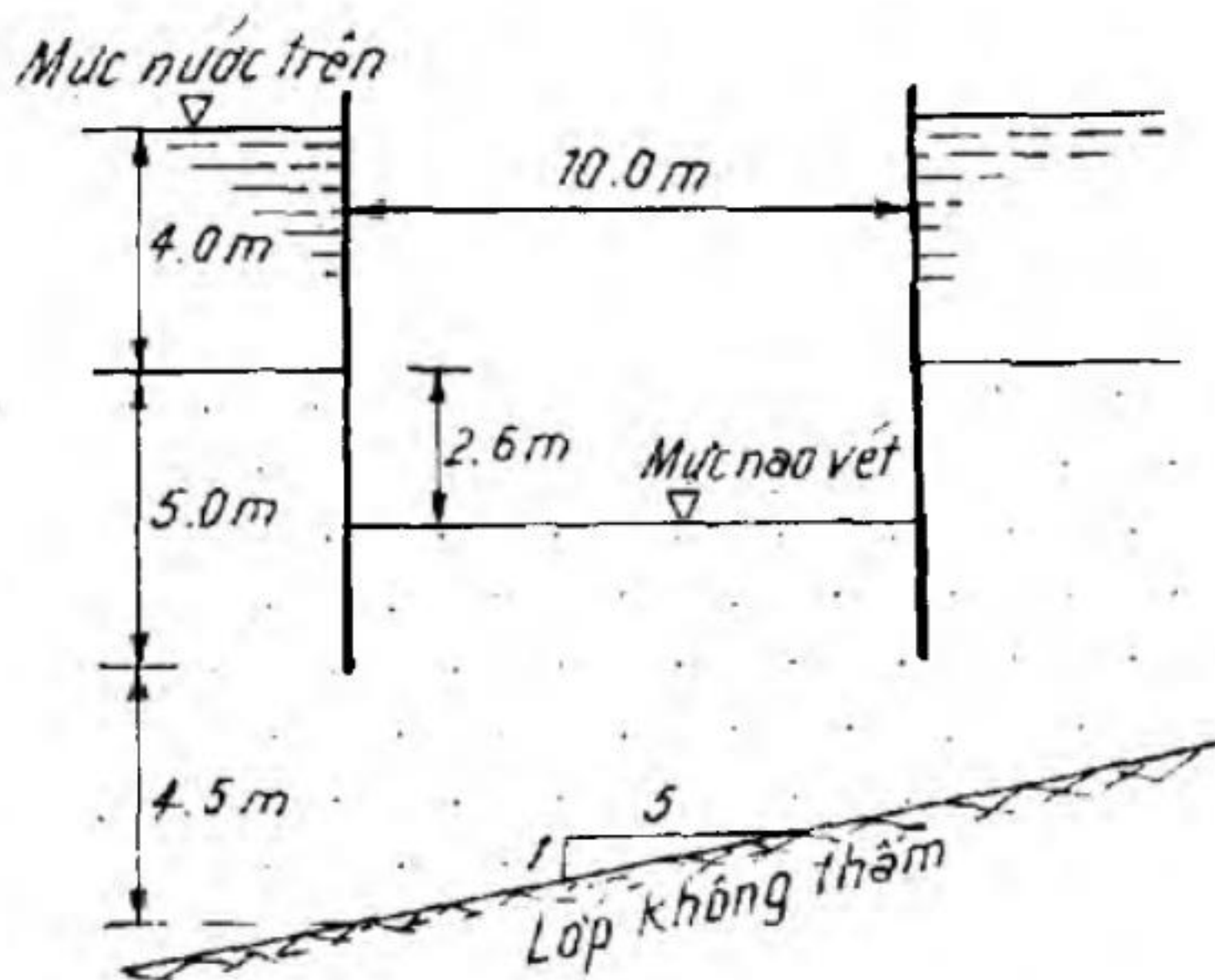


Hình 5-33

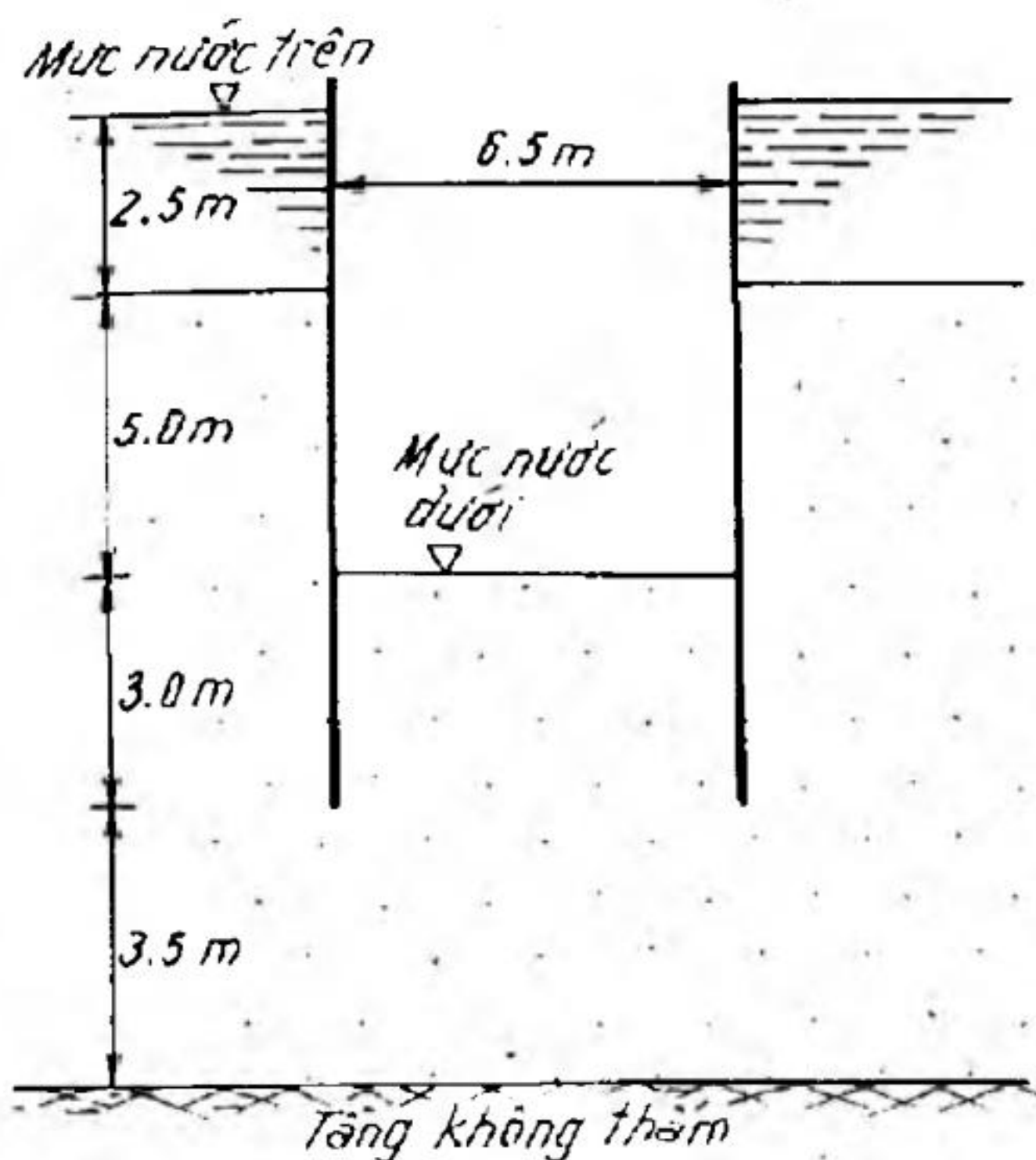
đất là 20 kN/m^3 . Tính áp lực thấm và ứng suất hiệu quả tại mực C-C cho cả hai vị trí của bể nước khi mực nước tại E-E không thay đổi.

11. Vẽ phác lưới thấm dưới ván cừ (hình 5-33) và tính tổn thất thấm (bằng m^3/h) cho mỗi mét cừ.

12. Một dè vây hố móng thi công tại cửa sông vùng triều bằng cách đóng các dầy màn cừ như ở hình 5-34. Vẽ phác lưới thấm vào lúc triều cao và tính lưu lượng bơm hút (m^3/h cho mỗi mét cừ) giữ cho hố móng khô tại tuyến nạo vét bùn. Lớp cát đồng nhất, đẳng hướng có hệ số thấm là $4,5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

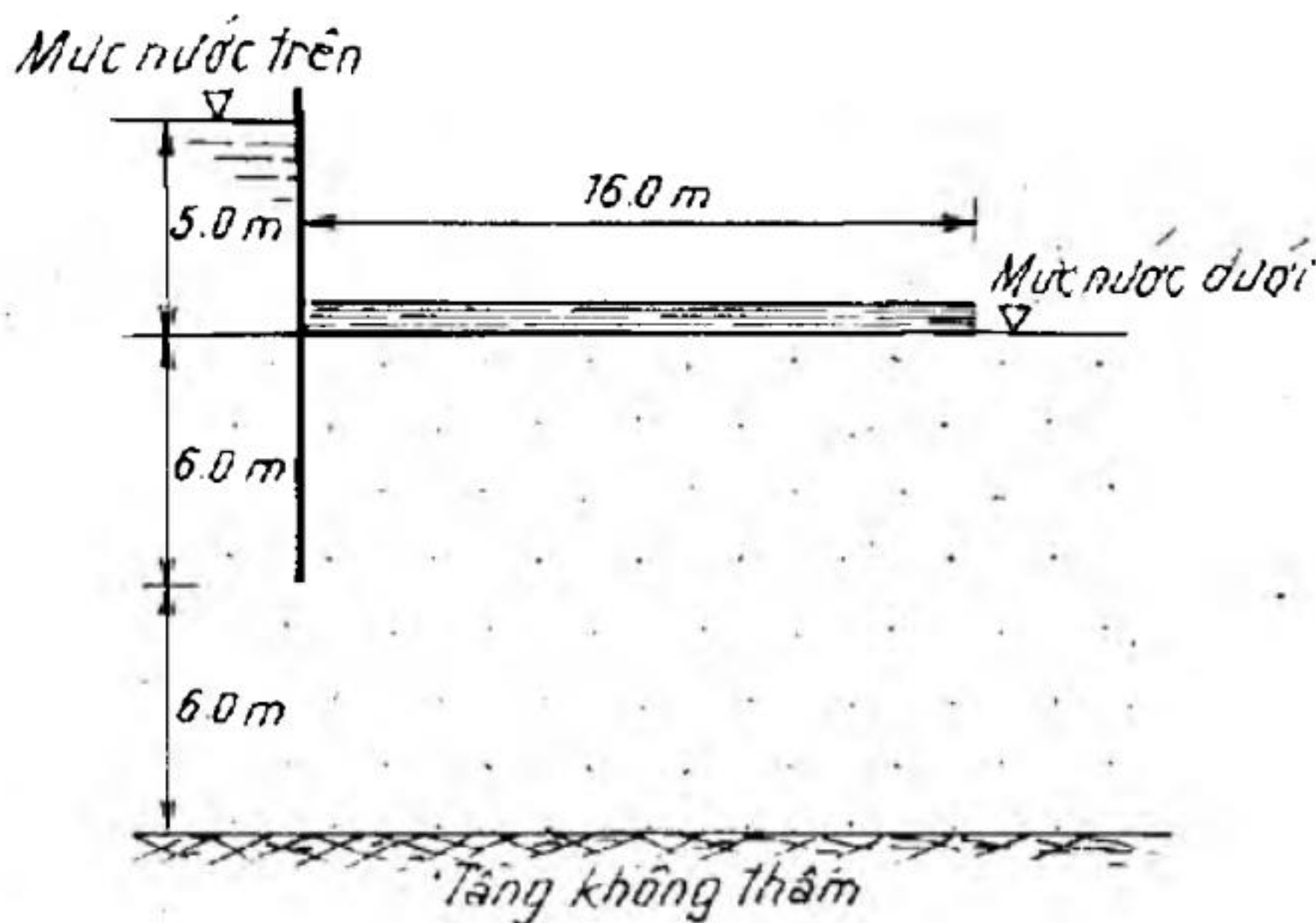


Hình 5-34



Hình 5-35

(hình 5-36) nhằm chặn nước, có độ sâu cực đại là 5m. Đặt tấm bê tông đáy để giảm tổn thất thấm. Hệ số thấm của lớp cát bụi là $7,5 \times 10^{-6}$ m/s.



Hình 5-36

13. Hình 5-35 là mặt cắt ngang của một đê quai hố móng tạo bởi các dầm màn cừ song song đóng vào lớp cát dề hướng.

a) Vẽ phác lưới thấm (chỉ cần một nửa) và tính lưu lượng thấm (bằng m^3/h) cho mỗi mét cừ nếu $k = 6,5 \times 10^{-4}$ m/s.

b) Tính hệ số an toàn đối với sự phá hoại đáy hố móng do đẩy trôi (trọng lượng đơn vị bão hòa của đất là $20,4 \text{ kN/m}^3$).

14. Một tường bằng màn cừ được đóng vào đáy của lớp cát bụi nằm ngang

a) Vẽ phác lưới thấm và dùng nó xác định lưu lượng thấm cực đại (m^3/n) cho mỗi mét cù.

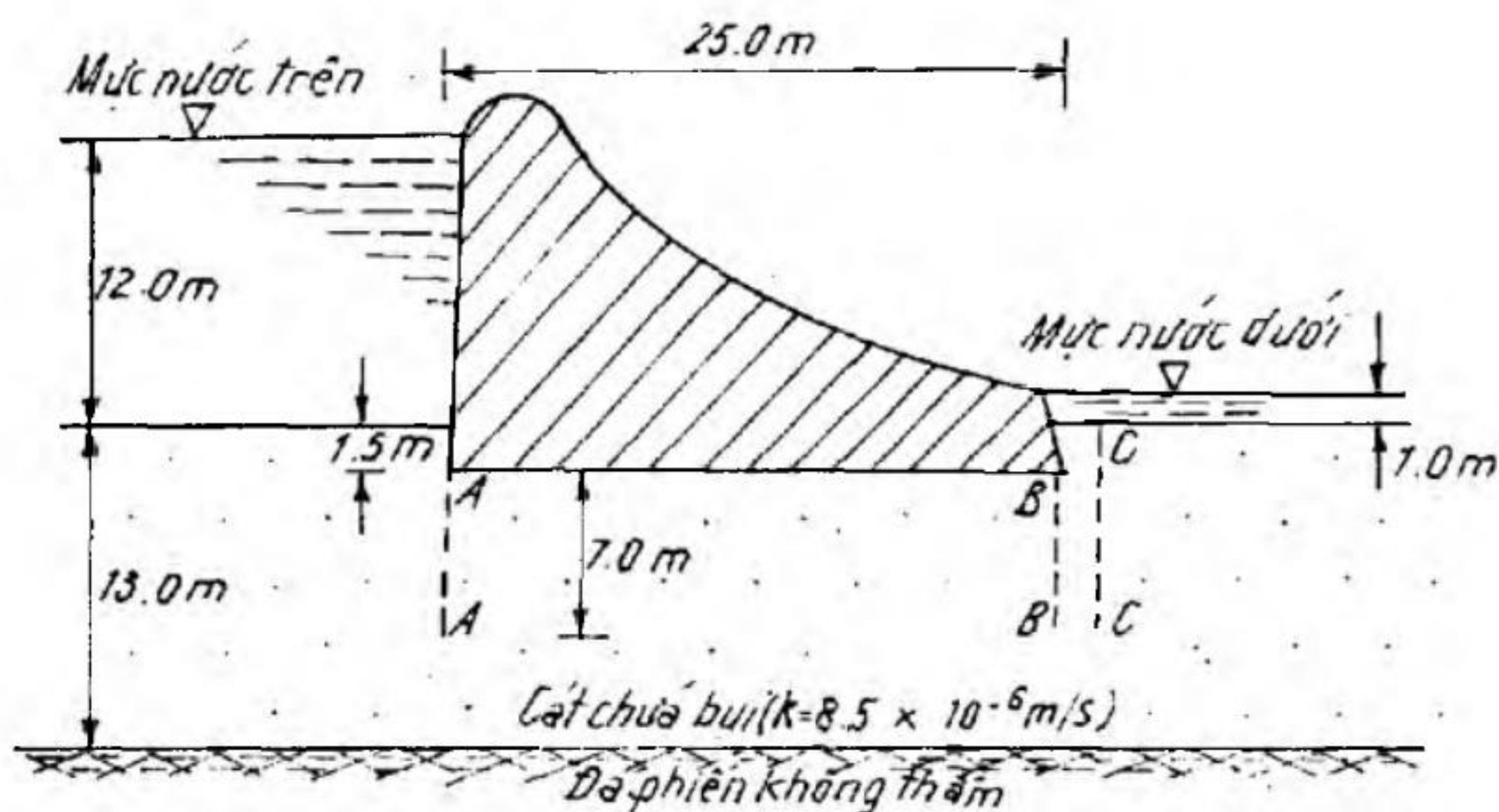
b) Vẽ đường cong phân bố áp lực đẩy ngược thủy tĩnh lên tấm bê tông đáy.

15. Hình 5-37 là mặt cắt ngang của một đập bê tông nằm trên lớp cát bụi đẳng hướng, ở dưới là lớp không thấm.

a) Vẽ phác lưới thấm và xác định lưu lượng thấm ở dưới đập

b) Vẽ phác hai lưới thấm khác sau khi đã bố trí màn cù chống thấm tại A-A và B-B.

c) Bình luận về hiệu quả bố trí màn cù chống thấm tại C-C.



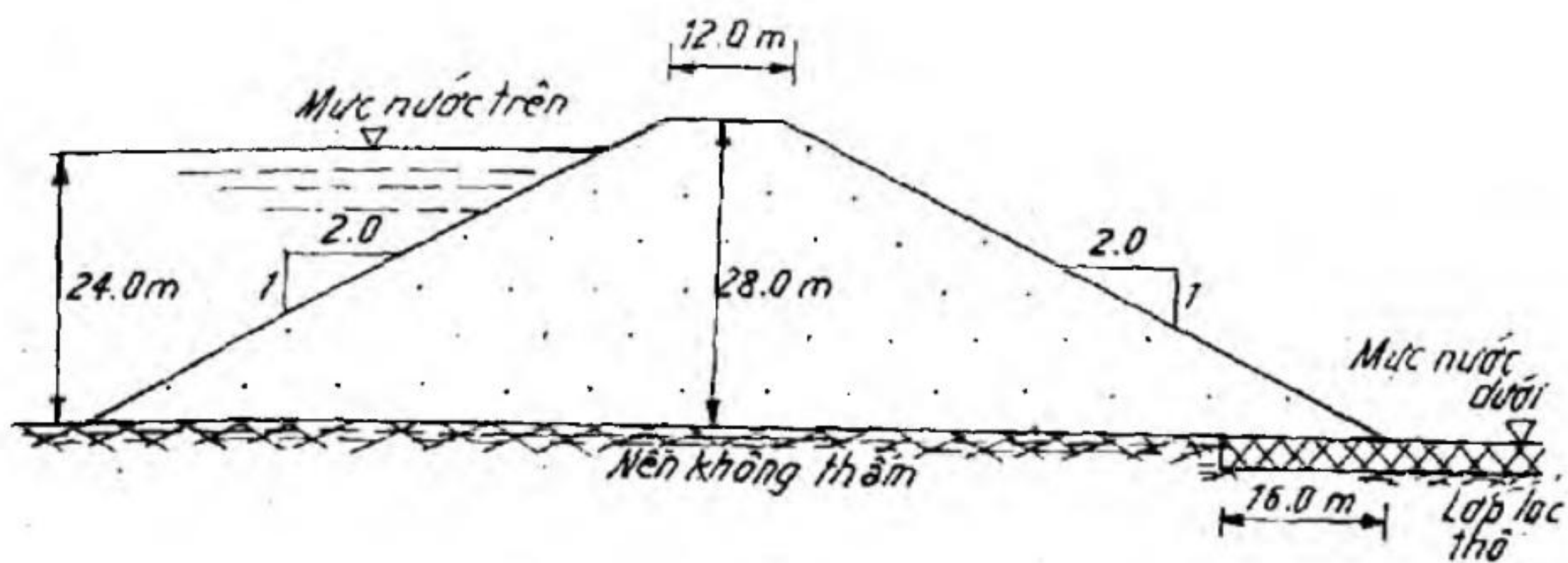
Hình 5-37

16. Làm lại câu a của bài tập 15 cho trường hợp điều kiện đất không đẳng hướng có $k_h = 2,8 \times 10^{-5} \text{ m/s}$ và $k_v = 7,6 \times 10^{-6} \text{ m/s}$.

17. Hình 5-38 là mặt cắt ngang của một đập đất đồng chất. Hệ số thấm của đất là $5,0 \times 10^{-6} \text{ m/s}$. Vẽ phác lưới thấm và xác định lưu lượng thấm (bằng $\text{m}^3/\text{ngđ}$) cho mỗi mét đập khi :

a) có bộ lọc ở chân mái hạ lưu (hình 5-38) ;

b) không có bộ lọc ở chân mái hạ lưu.



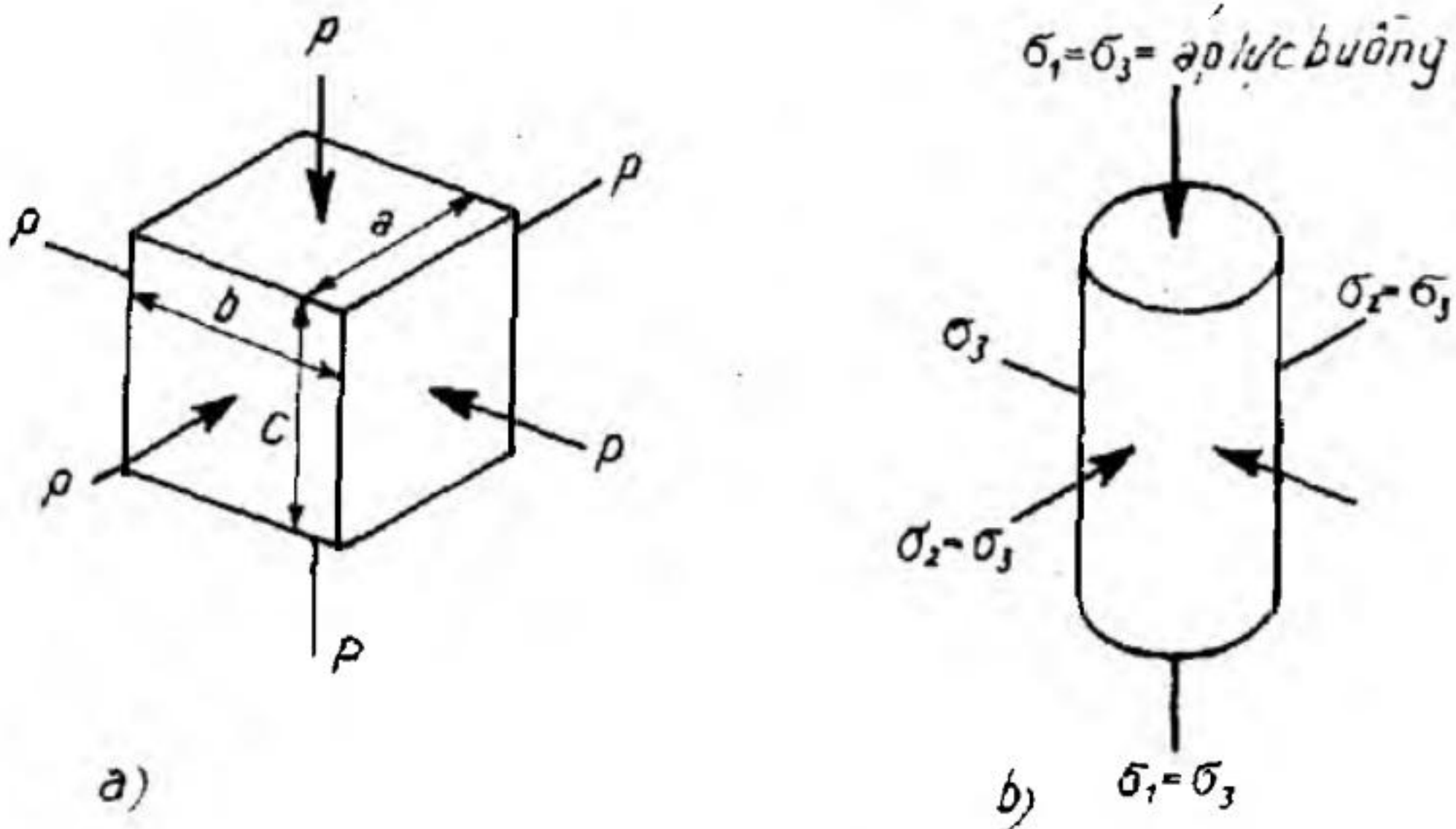
Hình 5-38

Chương 6

ỨNG SUẤT VÀ BIẾN DẠNG TRONG ĐẤT

6.1 Những khái niệm về ứng suất, biến dạng và các phương pháp xác định

Rất nhiều vấn đề công trình đất đòi hỏi sự hiểu biết trạng thái ứng suất, biến dạng của đất. Với mục đích này, những miêu tả và những mô hình toán học đã được phát triển từ các lý thuyết đàn hồi và lý thuyết dẻo cổ điển. Tuy nhiên, đất khác một cách rõ rệt so với những vật liệu xây dựng khác (như thép hoặc bê tông) do tính phân tán và tính rỗng vốn có của chúng. Do sự thay đổi tải trọng bên ngoài và sự thoát nước, khối đất sẽ có sự thay đổi đáng kể cả về thể tích và độ ẩm. Độ chặt, cường độ và các đặc trưng biến dạng tất cả đều bị thay đổi không phục hồi nên những thay đổi gia tải tiếp theo thực ra đã tác động lên một loại đất khác.



Hình 6-1. Dạng ứng suất

a) trên phân tố hình hộp ; b) trên mẫu thí nghiệm ba trục

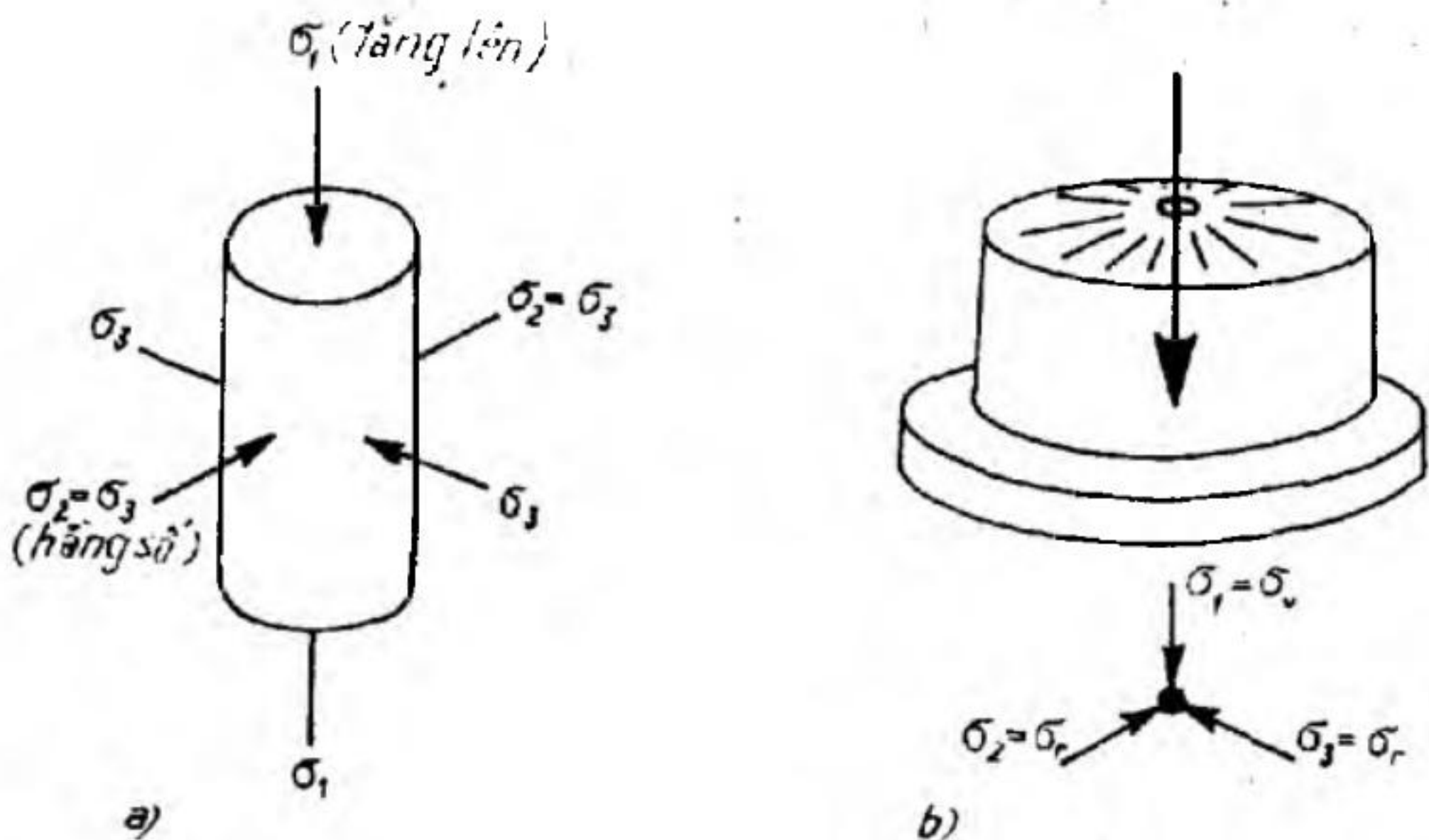
Một số quan hệ cơ bản được nghiên cứu từ việc xem xét nhiều tổ hợp ứng suất tác dụng lên một phân tố đất (hình 6-1a).

Khi có trạng thái ứng suất *đẳng hướng* tác dụng, nghĩa là ứng suất theo cả 3 phương đều như nhau, kích thước ban đầu của phân tố là a, b, c sẽ trở thành $a(1 - \varepsilon), b(1 - \varepsilon)$ và $c(1 - \varepsilon)$, do đó *biến dạng thể tích* của đất được tính như sau (bỏ đi những lượng rất nhỏ)

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{\Delta V}{V} = \frac{abc - [(1 - \varepsilon)(1 - \varepsilon)(1 - \varepsilon)abc]}{abc} \\ &= -3\varepsilon\end{aligned}\quad [6.1]$$

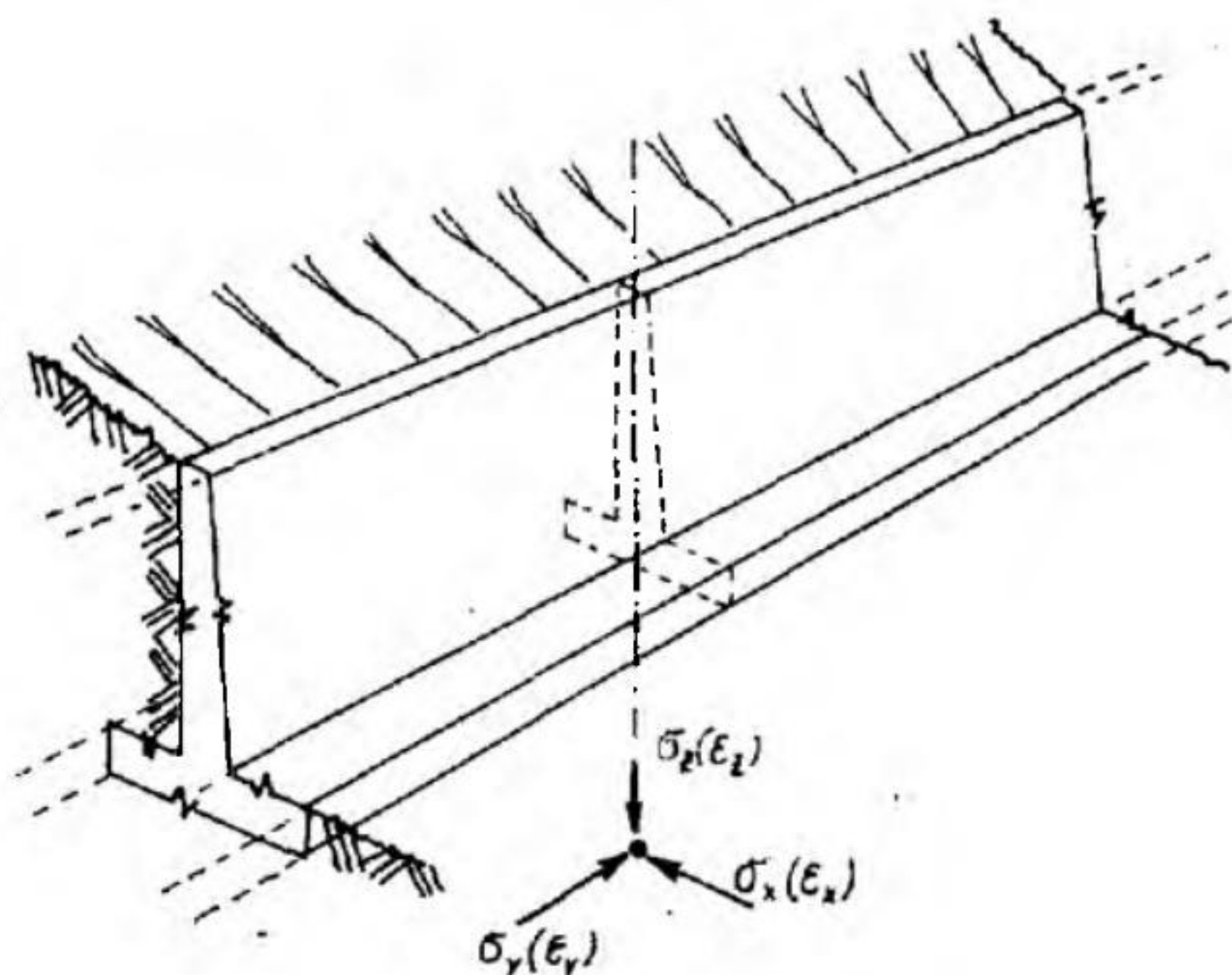
Ở đây : ε là biến dạng dài

Ví dụ thực tế về trạng thái ứng suất đẳng hướng (để cho gọn, sau đây gọi là đẳng ứng suất) có thể thấy ở giai đoạn đầu của thí nghiệm ba trục (xem mục 7.6) : Khi áp suất buồng đã được tăng thì ứng suất 3 phương lúc này là như nhau, nghĩa là $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = p$ (hình 6-1b). Khi ứng suất hai phương như nhau và khác với ứng suất thứ ba như ở giai đoạn hai của thí nghiệm ba trục thì ứng suất được coi là *đối xứng trục* (hình 6-2a). Ứng suất dưới tâm của



Hình 6-2. Những ứng suất đối xứng trục
a) trên mẫu thí nghiệm ba trục khi tăng tải dọc trục ;
b) dưới tâm của diện đặt tải hình tròn

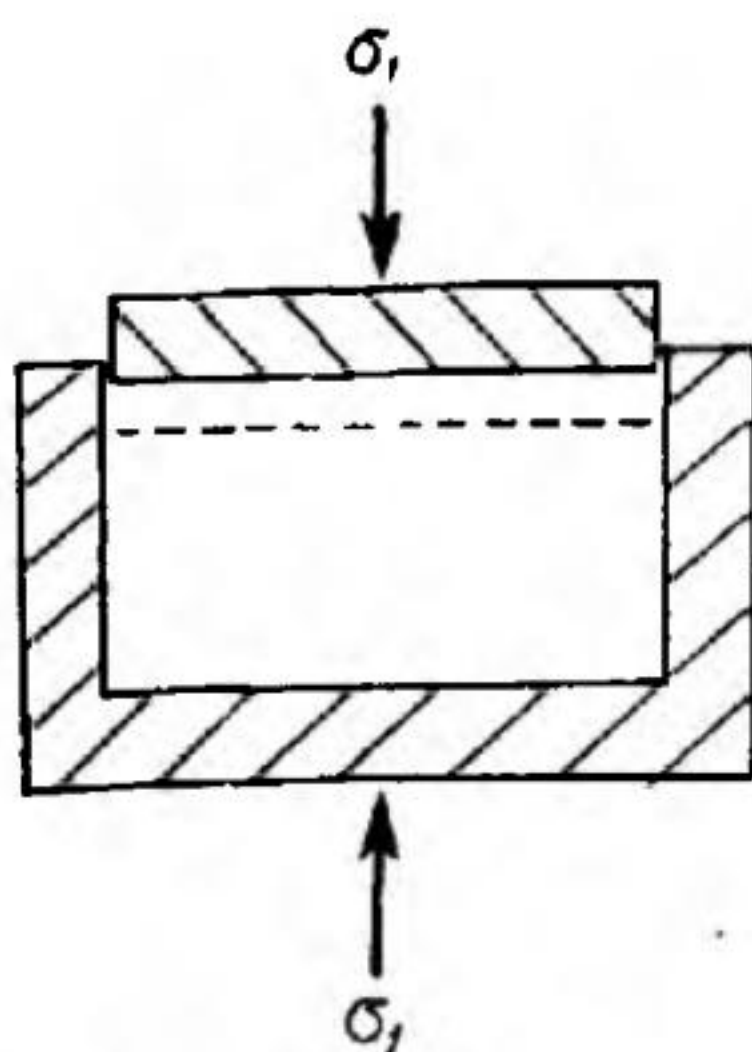
diện đặt tải hình tròn, như móng các bể chứa, cũng là đối xứng trục vì $\sigma_x = \sigma_y$. Dưới những công trình rất dài như tường chắn đất và các móng băng không có biến dạng theo phương dài ($\varepsilon_y = 0$), trừ hai đầu mút, được coi là trạng thái *biến dạng phẳng* (hình 6-3).



Hình 6-3. Biến dạng phẳng dưới tường chắn

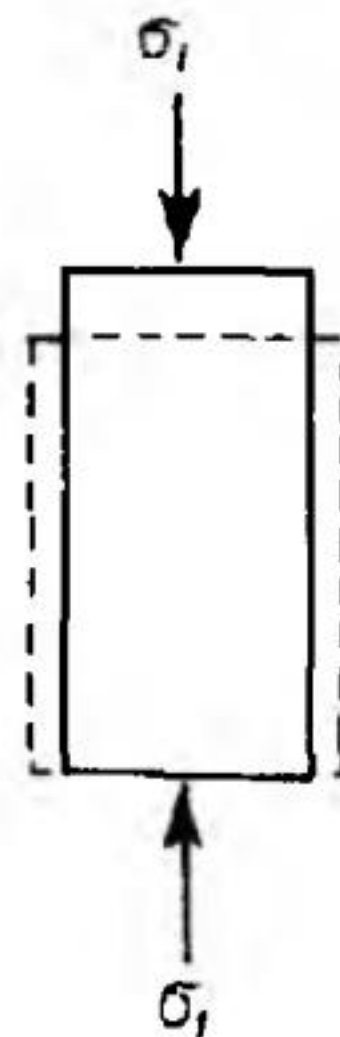
Dưới những diện đặt tải rộng như các móng bè, biến dạng theo cả hai phương ngang có thể coi bằng không, được xem là chỉ *biến dạng theo phương thẳng đứng*. Trạng thái tương tự của biến dạng một phương có trong mẫu đất khi thí nghiệm nén không nở hông (ocdometer) (mục 10.3) ; ở đây mẫu đất bị chặn theo phương ngang do có vòng kim loại (hình 6-4a). Trong thí nghiệm nén một trục không chặn, hai ứng suất ngang bằng không (hình 6-4b)

Trước khi tìm hiểu thêm về các trạng thái ứng suất, cần nhắc lại và định nghĩa rõ những hàng số đàn hồi cơ bản được sử dụng trong cơ học vật rắn.



Vòng kim loại
chèn xung
quanh mẫu đất

a)



b)

Hình 6-4. Nén một trục

a) nén bị chặn ($\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0$) ;

b) nén không bị chặn ($\sigma_2 = \sigma_3 = 0$)

Modun đàn hồi (môđun Young) :

$$E = \frac{\text{ứng suất dọc trục}}{\text{biến dạng dọc trục (dài)}} = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad [6.2]$$

Modun cắt (môđun cứng) :

$$G = \frac{\text{ứng suất cắt}}{\text{biến dạng cắt}} = \frac{\tau}{\varepsilon_s} \quad [6.3]$$

Modun biến dạng thể tích :

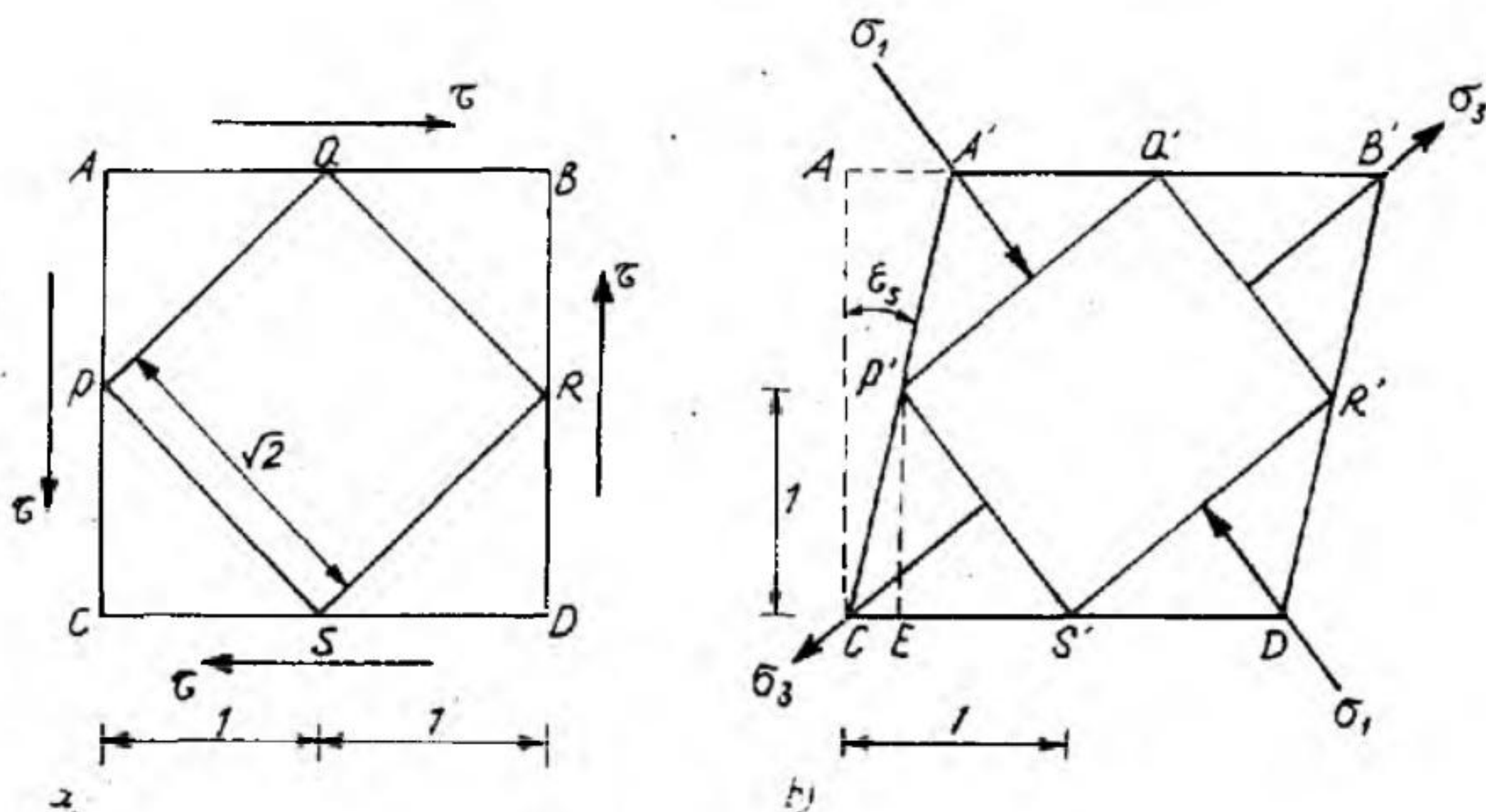
$$K = \frac{\text{đẳng ứng suất}}{\text{biến dạng thể tích}} = \frac{p}{\varepsilon_v} \quad [6.4]$$

(Modun biến dạng kích thước)

Hệ số Poisson :

$$\nu = \frac{\text{Biến dạng ngang}}{\text{Biến dạng dọc}} \quad [6.5]$$

Mối quan hệ giữa các hằng số đàn hồi cũng rất quan trọng bởi vì khi biết giá trị một số hằng số đàn hồi có được từ thí nghiệm, một số khác có thể tìm được từ những suy diễn toán học. Trước hết xem xét điều kiện cắt : Hình 6-5a chỉ ra mặt cắt của một phần tử lập phương chịu *cắt đơn*, kích thước cạnh là 2 đơn vị. Hiệu quả do cắt đơn gây nên là biến đổi hình dạng như trên hình 6-5b ; độ lệch của cạnh gọi là biến dạng góc ϵ_s .



Hình 6-5. Xác định cắt đơn và cắt thuần túy.

Ta thấy là các cạnh PS và QR bị ngán lại thành P'S' và Q'R'. Hình vuông ban đầu PQRS bây giờ là hình chữ nhật P'Q'R'S' và các mặt biến dạng chính hiển nhiên là song song với P'Q' và P'S'. Ứng suất pháp tác dụng lên mặt chính gọi là *ứng suất chính* ; σ_1 và σ_3 là ứng suất chính *lớn nhất* và *nhỏ nhất* tương ứng. Bởi vậy các ứng suất σ_1 và σ_3 tạo nên trạng thái ứng suất *cắt thuần túy* và gây ra trạng thái biến dạng cũng tương tự như trạng thái cắt đơn.

Hình 6-6 biểu thị vòng Mohr ứng suất và biến dạng đối với trường hợp cắt thuần túy. Ứng suất cắt (τ) và biến dạng cắt (ϵ_s) có thể viết như sau :

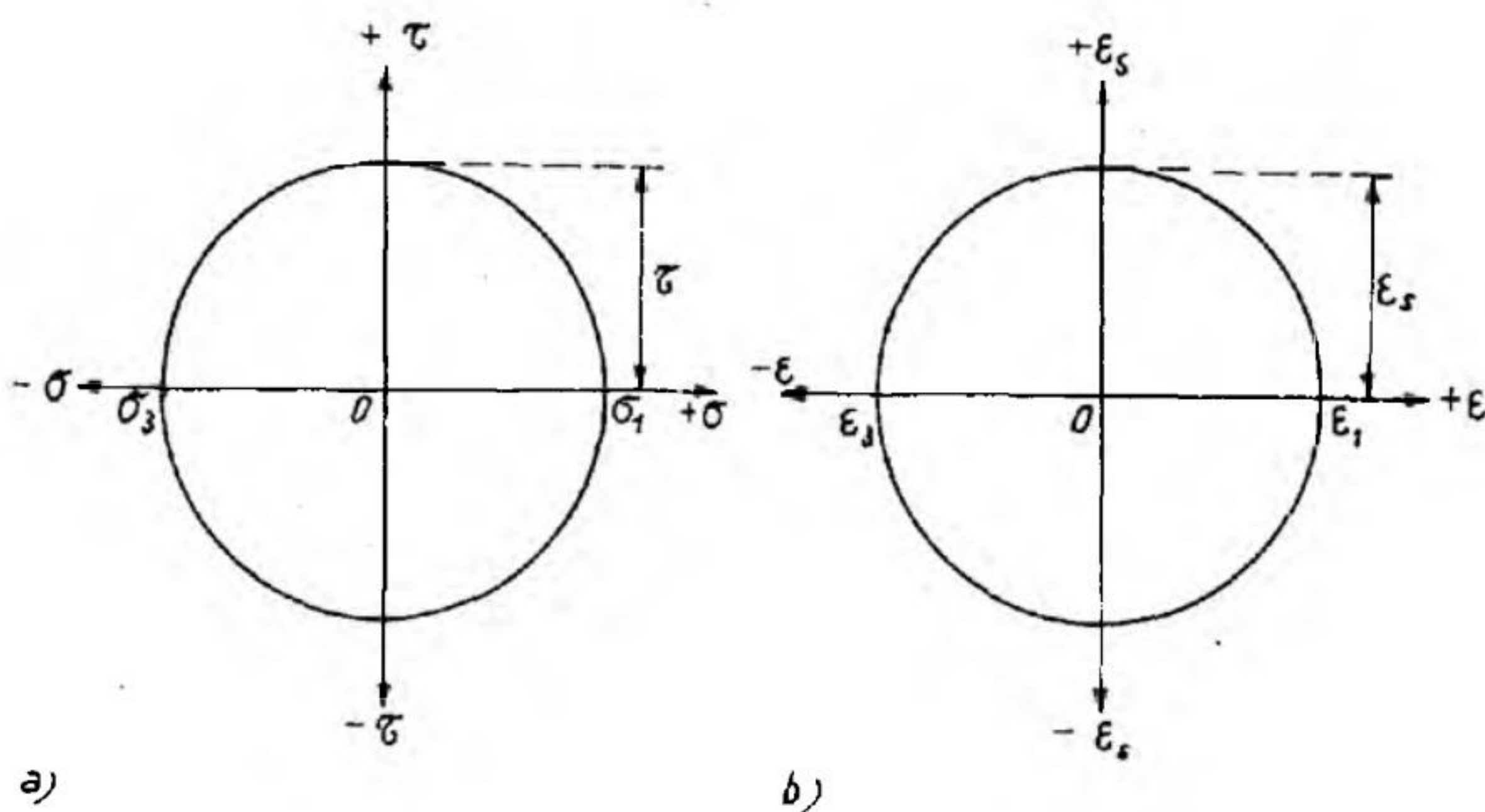
$$\tau = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \quad [6.6a]$$

$$\epsilon_s = (\epsilon_1 - \epsilon_3) \quad [6.6b]$$

Xem như phân tố lập phương là vật thể đàn hồi đẳng hướng [$E_1 = E_2 = E_3 = E$] chịu tác dụng bởi các ứng suất chính $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$. Các biến dạng tương ứng sẽ là :

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{1}{E} (\sigma_1 - \nu\sigma_2 - \nu\sigma_3) \\ \epsilon_2 &= \frac{1}{E} (-\nu\sigma_1 + \sigma_2 - \nu\sigma_3) \\ \epsilon_3 &= \frac{1}{E} (-\nu\sigma_1 - \nu\sigma_2 + \sigma_3) \end{aligned} \quad [6.7]$$

Các trạng thái ứng suất, biến dạng khác nhau sẽ được trình bày trên cơ sở các đẳng thức biến dạng ở trên.



Hình 6-6. Các vòng tròn Mohr đối với cắt thuần túy
a) vòng tròn Mohr ứng suất, b) vòng tròn Mohr biến dạng

Dạng ứng suất

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = p \text{ và } \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \frac{1}{E} (1 - 2\nu)$$

Từ đẳng thức [6.4] : $K = \frac{p}{e_v} = \frac{p}{3\varepsilon_3}$

Do đó $K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$ [6.8]

Cắt thuần túy

$$\sigma_2 = 0 \quad \text{và} \quad \sigma_3 = -\sigma_1$$

$$\varepsilon_2 = 0 \quad \text{và} \quad \varepsilon_3 = -\varepsilon_1$$

Từ đẳng thức [6.7] :

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_1 - 0 + \nu\sigma_1) = \frac{\sigma_1}{E} (1 + \nu)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} (-\nu\sigma_1 - 0 - \sigma_1) = \frac{-\sigma_1}{E} (1 + \nu)$$

Thay đẳng thức [6.6] vào đẳng thức [6.3] :

$$G = \frac{\frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3)}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} = \frac{\sigma_1}{2\varepsilon_1}$$

Do đó :

$$G = \frac{\sigma_1}{2} \cdot \frac{E}{\sigma_1(1 + \nu)} = \frac{E}{2(1 + \nu)} \quad [6.9]$$

Biến dạng phẳng

$$\varepsilon_2 = 0, \quad \sigma_2 = \nu(\sigma_1 - \sigma_3)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1 + \nu}{E} \left[(1 - \nu)\sigma_1 - \nu\sigma_3 \right]$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1 + \nu}{E} \left[-\nu\sigma_1 + (1 - \nu)\sigma_3 \right]$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_1 + \varepsilon_3 = \frac{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{E} (\sigma_1 + \sigma_3)$$

Nếu đặt $S = \frac{1}{2} (\sigma_1 + \sigma_3)$

$$\varepsilon_v = \frac{2(1 + \nu)(1 - 2\nu)}{E} S = \frac{S}{K_{ps}}$$

Ở đây K_{ps} là môđun biến dạng thể tích đối với biến dạng phẳng

Do đó $K_{ps} = \frac{E}{2(1 + \nu)(1 - 2\nu)}$ [6.10]

Đối xứng trục

$$\sigma_2 = \sigma_3 \quad \text{và} \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_3$$

Từ đẳng thức [6.7] :

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_1 - 2\nu\sigma_3)$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = \frac{1}{E} [-\nu\sigma_1 + (1 + \nu)\sigma_3]$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \frac{(1 - 2\nu)}{E} (\sigma_1 + 2\sigma_3)$$

Nếu đặt ứng suất pháp trung bình $p = \frac{1}{3} (\sigma_1 + 2\sigma_3)$

$$\varepsilon_v = \frac{3(1 - 2\nu)}{E} p = \frac{p}{K}$$

Do đó $E_v = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$ như đẳng thức [6.8]

Nén một trục không nở hông

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = 0 \quad \text{và} \quad \sigma_2 = \sigma_3$$

Từ đẳng thức [6.7] :

$$(-\nu\sigma_1 + \sigma_2 - \nu\sigma_3) = (-\nu\sigma_1 - \nu\sigma_2 + \sigma_3) = 0$$

Nhận được $\sigma_2 = \sigma_3 = \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma_1$ [6.11]

Thay vào sẽ có

$$\begin{aligned}\varepsilon_1 &= \frac{1}{E} \left[\sigma_1 - \nu \left(\frac{\nu}{1-\nu} \sigma_1 \right) - \nu \left(\frac{\nu}{1-\nu} \sigma_1 \right) \right] \\ &= \frac{\sigma_1}{E} \left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu} \right)\end{aligned}$$

Ta cũng có $\varepsilon_v = \varepsilon_1$ và độ cứng dọc trục trong nén không nở hông có thể biểu thị $E_o = \sigma_1/\varepsilon_1$

$$\text{Do đó} \quad E_o = \frac{E}{\left(1 - \frac{2\nu^2}{1-\nu} \right)} \quad [6.12]$$

Cũng có $E_{v_o} = E_o$ và chú ý rằng khi $\nu = 0,5$, $E_o = \infty$, nghĩa là không thể xảy ra sự thay đổi thể tích khi không có sự thoát nước.

Nén đơn

$$\begin{aligned}\sigma_2 &= \sigma_3 = 0 \\ \text{Từ đẳng thức [6.7]:} \quad \varepsilon_1 &= \sigma_1/E \\ \varepsilon_2 &= \varepsilon_3 = -\nu \sigma_1/E\end{aligned}$$

$$\varepsilon_v = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \frac{1-2\nu}{E} \sigma_1 = \frac{p}{E_{vuc}}$$

Vì $\varepsilon_1 = p$.

$$\text{Do đó} \quad E_{vuc} = \frac{E}{1-2\nu} \quad [6.13]$$

(Chú ý rằng khi $\nu = 0,5$, $K_{uc} = \infty$, nghĩa là không xảy ra thay đổi thể tích khi không có thoát nước)

6.2. Hậu quả của sự thoát nước và sự thay đổi thể tích

Đất có thể coi là sự kết hợp mật thiết của nước và các hạt rắn, cả hai đều có đặc tính đàn hồi. Đất khác với hầu hết các vật liệu rắn ở chỗ tỉ lệ thể tích tương đối giữa nước và hạt đất có thể thay đổi dưới tác dụng của ứng suất. Khi nước lỗ rỗng của khối đất bão hòa nước chịu sự gia tăng áp suất thì nước có xu hướng chảy ra vùng xung quanh, nơi có áp suất lỗ rỗng thấp hơn hoặc không tăng. Tốc độ chuyển động của dòng chảy này phụ thuộc vào tính

thấm của đất. Trong đất cát và sạn sỏi tốc độ thấm lớn, ngược lại trong đất sét và bụi thì rất nhỏ. Sau khi sự gia tăng áp suất nước lỗ rỗng bị tiêu tán hoàn toàn, ứng suất tác dụng được xem như là để tăng ứng suất hữu hiệu do kết cấu hạt của đất.

Những điều kiện ở lúc ban đầu và lúc kết thúc của quá trình này tương ứng được gọi là những điều kiện *không thoát nước* và *thoát nước*.

Điều kiện không thoát nước. Những điều kiện không thoát nước xảy ra khi mọi sự thoát nước đều bị ngăn cản (như trong thí nghiệm ba trục không thoát nước) hoặc khi tốc độ tăng tải quá nhanh, nước hầu như chưa kịp thoát ra (như ngay sau lúc xây dựng công trình trên nền đất sét). Biến dạng của khối đất không thoát nước liên quan đến độ cứng của nước lỗ rỗng và của bản thân các hạt đất.

$$K(\text{nước}) \approx 2,3 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2,$$

$$K(\text{hạt khoáng vật}) \approx 5 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2.$$

Đối với những ứng suất nhỏ hơn 1000 kN/m^2 (thường gặp trong công trình đất), biến dạng thể tích tương đối rất ít khi vượt quá $2 \cdot 10^{-4}$. Nếu bỏ qua lượng sai lệch không đáng kể này thì ta có :

$$\varepsilon_{vu} = 0, \nu_u = 0,5 \text{ và } K_u = \infty.$$

Nghĩa là sẽ không có sự thay đổi thể tích khi tăng đẳng ứng suất.

Đối với trường hợp tăng ứng suất một hướng :

$$\text{Nén không nở hông} \quad E_{ou} = K_u = \infty$$

$$\text{Nén đơn} \quad E_u = \sigma_1 / \varepsilon_1$$

Ở đây σ_1 là độ gia tăng của tổng ứng suất.

Điều kiện thoát nước. Khi tốc độ tăng tải đủ chậm để áp suất nước lỗ rỗng không tăng, trạng thái đàn hồi của đất có thể được xác định bằng những ứng suất hữu hiệu. Các hằng số là :

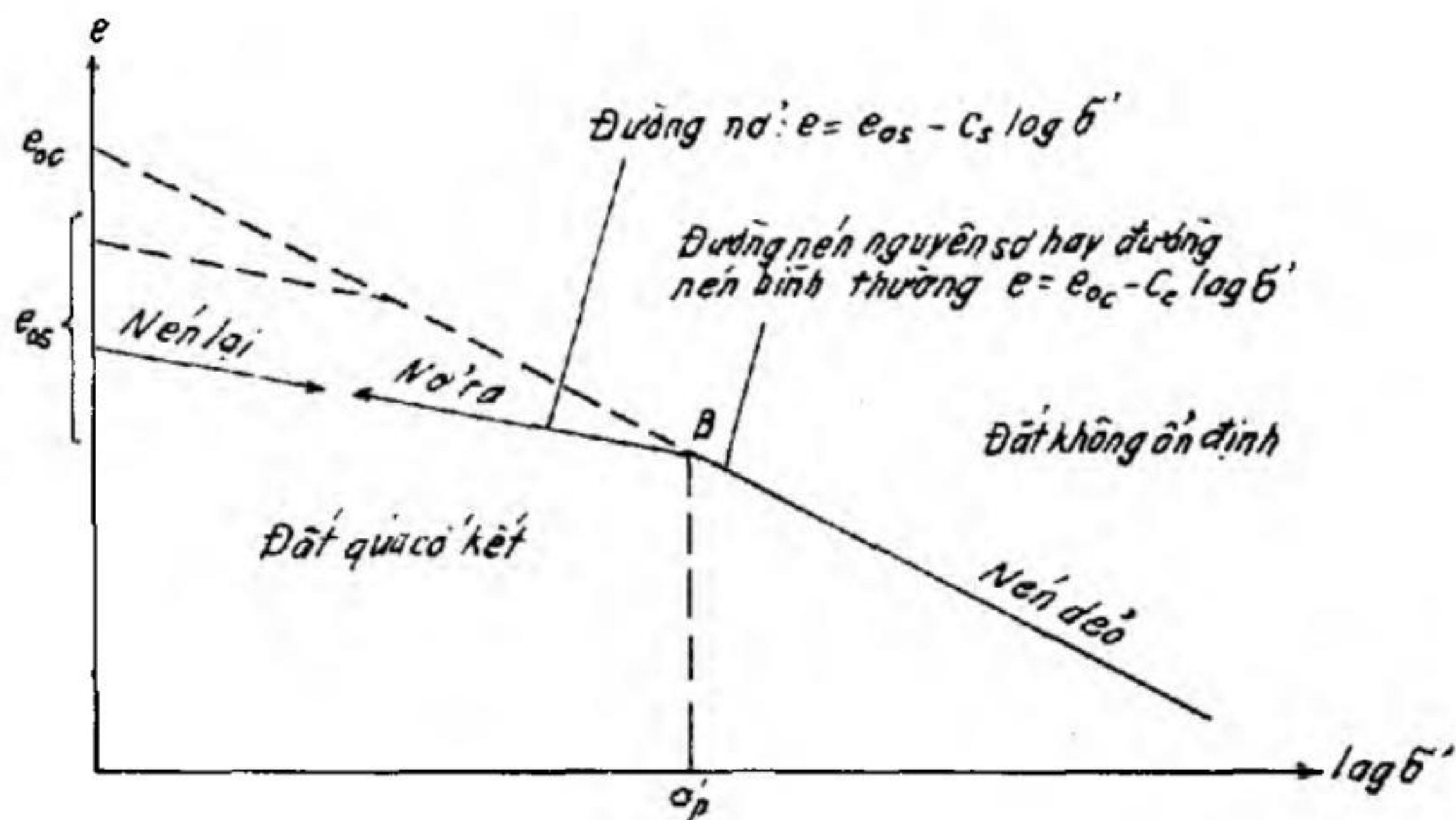
$$K' = \frac{P'}{\varepsilon_v}; \quad G' = \frac{\tau}{\varepsilon_s}; \quad E' = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_1} \quad \text{và} \quad \nu'.$$

Từ $\sigma'_1 - \sigma'_3 = \sigma_1 - \sigma_3$ ta có $G' = G$

Cũng từ đẳng thức [6.9] có :

$$E_u = E' \times \frac{1,5}{1 + \nu'} \quad [6.14]$$

Tính chất thoát nước khi thí nghiệm nén không nở hông (ocdometer) nhận được dạng đường cong gần như đường cong nén đã lí tưởng hóa trình bày trên hình 6-7.



Hình 6-7. Đường cong nén lí tưởng đối với đất

Biến dạng dài có thể biểu thị bằng sự thay đổi chiều dày (Δh) hoặc bằng sự thay đổi hệ số rỗng (Δe) :

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta e}{1 + e} \quad \text{hoặc} \quad d\varepsilon = -\frac{dh}{h} = -\frac{de}{1 + e} \quad [6.15]$$

Khi e được vẽ theo $\log \sigma'$, đồ thị các đường nén, đường nở và đường nén lại - một cách lí tưởng - bao gồm hai đường thẳng. Bắt đầu với loại đất như bùn chảy, hệ số rỗng cao, chịu ứng suất thấp, thì việc nén chậm liên tục về lí thuyết sẽ cho ta đường nén nguyên sơ hoặc đường nén bình thường. Nếu trong thời gian nào đó có

những bất thường (như sự xáo trộn, đào hố móng) làm tăng hệ số rỗng và rơi vào vùng bên trên đường cố kết bình thường, thì khi đó điều kiện là không ổn định và đất sụt trở lại đường này. Tiếp theo khi giảm ứng suất hữu hiệu, đất sẽ nở ra theo *đường thẳng* nở (lí tưởng). Nếu sau đó đất được *nén lại*, sự giảm thể tích lại theo đường thẳng nở nhưng có chiều ngược lại, nghĩa là đất được xem như vật thể *đàn hồi* lí tưởng tới chỗ giao nhau với đường cố kết bình thường (điểm B). Còn khi tăng tiếp nữa ứng suất hữu hiệu thì sẽ gây nên sự nén *đéo* dọc theo đường cố kết bình thường. Mức ứng suất tương ứng với điểm B được gọi là *ứng suất trước cố kết* (σ'_p) hoặc đôi khi gọi là ứng suất nén trước. Giá trị σ'_p biểu thị mức ứng suất cao nhất mà (về mặt lịch sử) đất đã từng phải chịu trước ứng suất tác dụng hiện tại. Đất được gọi là *cố kết bình thường* nếu như giá trị ứng suất tác dụng bởi các lớp đất trên hoặc hệ số rỗng *thực tế* hiện trường của nó nằm trên đường cố kết bình thường, còn khi giá trị đó nằm thấp hơn người ta gọi là đất *quá cố kết*.

Giá trị ứng suất trước cố kết có thể nhận được từ độ dốc của các đường cố kết bình thường và đường nở.

Từ đường cố kết bình thường có :

$$e = e_{oc} - C_c \log \sigma' \quad [6.16(a)]$$

Từ đường nở có $e = e_{os} - C_s \log \sigma' \quad [6.16(b)]$

Ở đây : C_c - là độ dốc của đường cố kết bình thường được gọi là *chỉ số nén*.

C_s - là độ dốc của đường nở hoặc đường nén lại được gọi là *chỉ số nở*.

Ở chỗ giao nhau của hai đường đó về mặt lí thuyết sẽ có cùng một giá trị e :

$$e = e_{oc} - C_c \log \sigma'_p = e_{os} - C_s \log \sigma'_p$$

Do đó $\log \sigma'_p = \frac{e_{oc} - e_{os}}{C_c - C_s} \quad [6.17]$

Thực tế không thể sử dụng đẳng thức [6.17] để xác định σ'_p từ những kết quả thí nghiệm trong phòng, do sự không ổn định trong đường cong nở và đường cong nén lại. Phương pháp xác định σ'_p

một cách hợp lí sẽ trình bày trong mục 10.2. Giá trị σ'_p rất có ý nghĩa : nếu như đất chưa chịu ứng suất vượt quá điểm này thì một cách hợp lí có thể cho rằng biến dạng (độ lún) là *dàn hồi*.

Modun đàn hồi đối với bài toán nén một phương có thể nhận được như sau :

$$E'_o = \frac{d\sigma'}{de} = -(1 + e) \frac{d\sigma'}{de} \quad (\text{từ đẳng thức [6.15]})$$

Mặt khác, lấy vi phân đẳng thức [6.16b] : $\frac{de}{d\sigma'} = -\frac{C_s}{\sigma'}$

$$\text{Do đó} \quad E'_o = (1 + e) \frac{\sigma'}{C_s} \quad [6.18]$$

Độ lớn E'_o có thể tính được khi biết giá trị C_s , nghĩa là từ các kết quả thí nghiệm nén không nở hông (oedometer). Cách khác, giá trị gần đúng C_c có thể nhận được từ bảng 6-1, sau đó thừa nhận ước lượng $\frac{C_c}{10} < C_s < \frac{C_c}{4}$.

BẢNG 6-1. CÁC GIÁ TRỊ GẦN ĐÚNG CỦA CHỈ SỐ NÉN (C_c)

Loại đất	Tính dẻo (BS5930)	Phạm vi C_c
Sét cổ kết bình thường và Sét bụi	Đặc biệt cao	$> 0,72$
	Rất cao	$0,54-0,72$
	Cao	$0,36-0,54$
	Trung bình	$0,22-0,36$
	Thấp	$< 0,22$
Sét cát và bụi	Thấp	$< 0,1$

Ví dụ nếu đất sét có chỉ số nén $C_c = 0,02$, C_s có thể dự tính là 0,05.

Sau đó, nếu $e = 0,5$; $E'_o \approx 30\sigma'$

nếu $e = 0,8$; $E'_o \approx 36\sigma'$

Vì σ' thường gần như tỉ lệ với chiều sâu tính từ mặt đất, cho nên E'_o cũng tăng gần như bậc nhất với chiều sâu. Đối với mục đích tính chuyển vị thẳng đứng (độ lún) yêu cầu cần xác định giá

trị E' . Sử dụng đẳng thức [6.12] và thừa nhận ν có giá trị trong khoảng 0,10 đến 0,30.

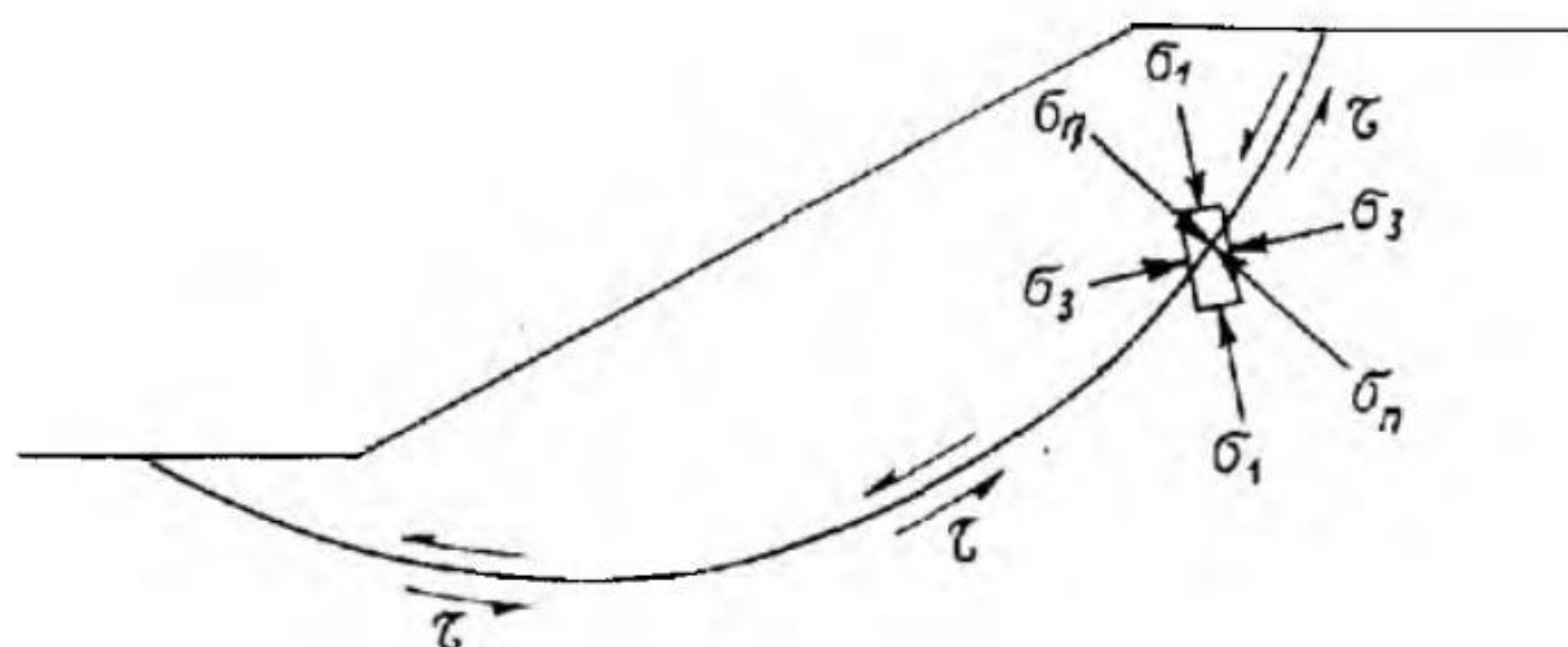
$$E' = E_o \left(1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu} \right) = 0,98E_o \text{ đến } 0,74 E_o \quad [6.19]$$

Cũng vậy $G' = 0,45E_o$ đến $0,28E_o$.

6.3. Phân tích ứng suất dựa vào vòng Mohr

Vòng Mohr ứng suất cho ta một phương pháp thuận tiện để phân tích trạng thái ứng suất hai phương. Độc giả sẽ tìm được những khía cạnh đầy đủ hơn và những bước xây dựng vòng Mohr trong bất kì tài liệu cơ bản nào về sức bền vật liệu. Đối với mục đích yêu cầu ở đây chỉ trình bày một cách khái quát.

Hình 6-8 nêu ra một trường hợp điển hình : Một phân tố đất dưới mái đất đào bị cắt bởi mặt phá hoại. Yêu cầu phân tích các giá trị và phương các ứng suất chính (σ_1, σ_3), ứng suất pháp và ứng suất tiếp (σ_n, τ) trên mặt phá hoại.



Hình 6-8. Các ứng suất chính trên phân tố đất

Sự giải thích khái quát vấn đề này được thể hiện trên hình 6-9. Vòng Mohr ứng suất (hình 6-9a) có thể xác định được bằng các ứng suất trục giao ($\sigma_z, \sigma_x, \tau_{xz}, \tau_{zx}$) ở vị trí các điểm P và Q. Khi vòng Mohr đã được vẽ, các điểm A và B tương ứng biểu thị các ứng suất chính nhỏ nhất và lớn nhất.

$$OA = \sigma_3 \quad \text{và} \quad OB = \sigma_1$$

và góc của các mặt chính được cho bởi $\widehat{CPB} = \theta$.

Trong nhiều trường hợp, chẳng hạn như phân tích các kết thí nghiệm ba trục, vòng tròn Mohr ứng suất được vẽ trực tiếp với các giá trị của ứng suất chính. Mục đích trong trường hợp này là để tìm được các giá trị của ứng suất pháp và ứng suất tiếp trên mặt đặc biệt, có thể là mặt trượt (phá hoại cắt).

Xét mặt AA' đi qua phân tố với góc nghiêng α so với phương ứng suất chính nhỏ nhất. Điểm D trên vòng Mohr biểu thị các ứng suất trên mặt này :

Ứng suất pháp, σ'_n là hoành độ điểm D.

Ứng suất tiếp, τ là tung độ điểm D.

Do đó ứng suất tiếp (τ) sẽ thay đổi từ 0 khi $\alpha = 0$, tới giá trị cực đại khi $\alpha = 45^\circ$ và lại đến 0 khi $\alpha = 90^\circ$. Giá trị của chúng có thể nhận được như sau :

$$\tau = DE = CD \sin(180^\circ - 2\alpha) = CD \sin 2\alpha.$$

$$\text{Nhưng vì } CD = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3)$$

$$\text{Do đó} \quad \tau = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) \sin 2\alpha \quad [6.20]$$

Một cách tương tự, ứng suất pháp sẽ là :

$$\sigma'_n = OE = OA + AE = \sigma'_3 + AD \cos \alpha.$$

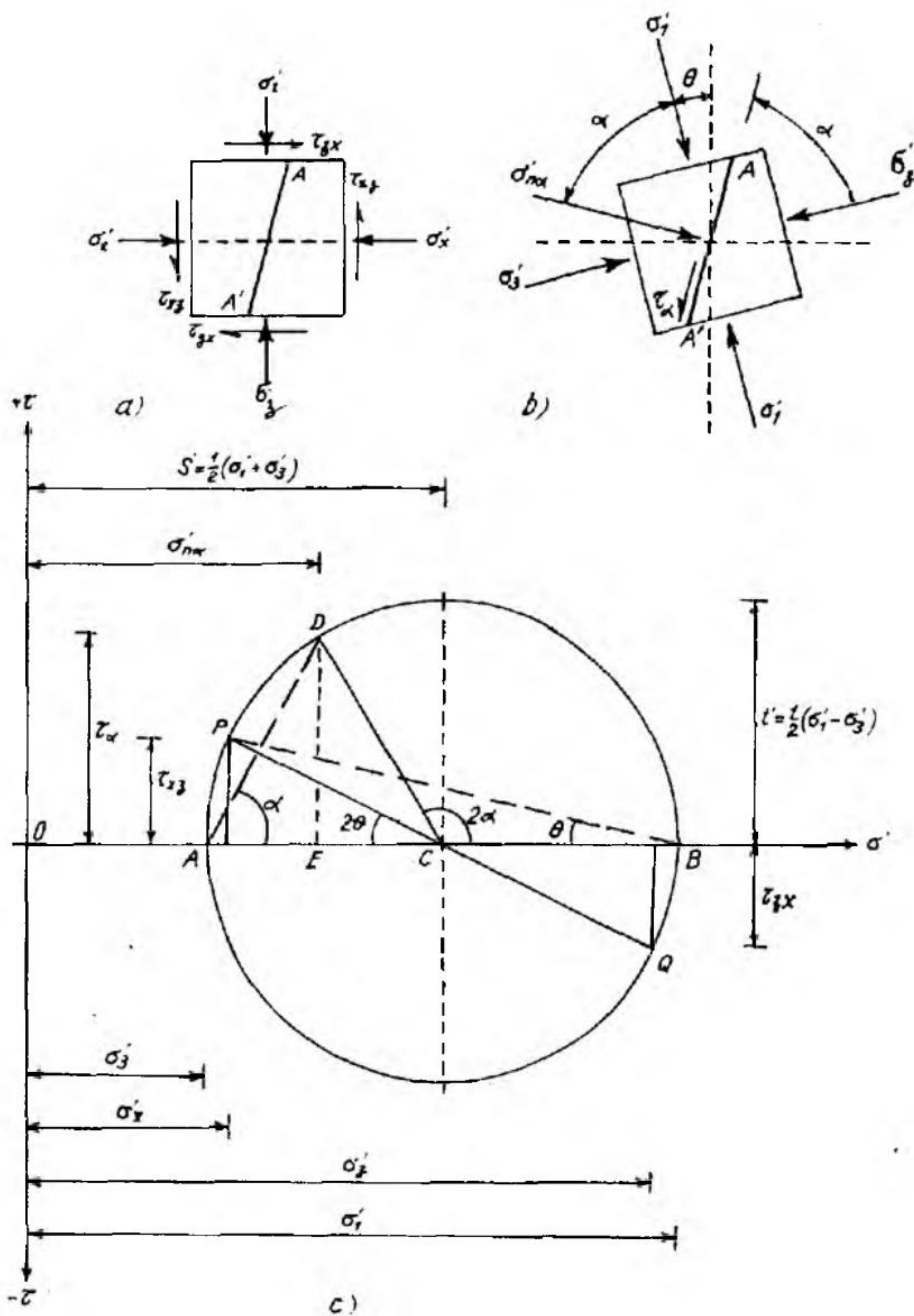
$$\text{Nhưng vì } AD = 2AC \cos \alpha = AB \cos \alpha = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos \alpha$$

$$\begin{aligned} \text{Do đó } \sigma'_n &= \sigma'_3 + (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos^2 \alpha \\ &= \frac{1}{2} (\sigma'_1 + \sigma'_3) + \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cos 2\alpha \end{aligned} \quad [6.21]$$

Thuận lợi chủ yếu việc sử dụng vòng Mohr là trạng thái các ứng suất tiếp và ứng suất pháp có thể dễ dàng được biểu diễn tương ứng với các trạng thái ứng suất đặc biệt.

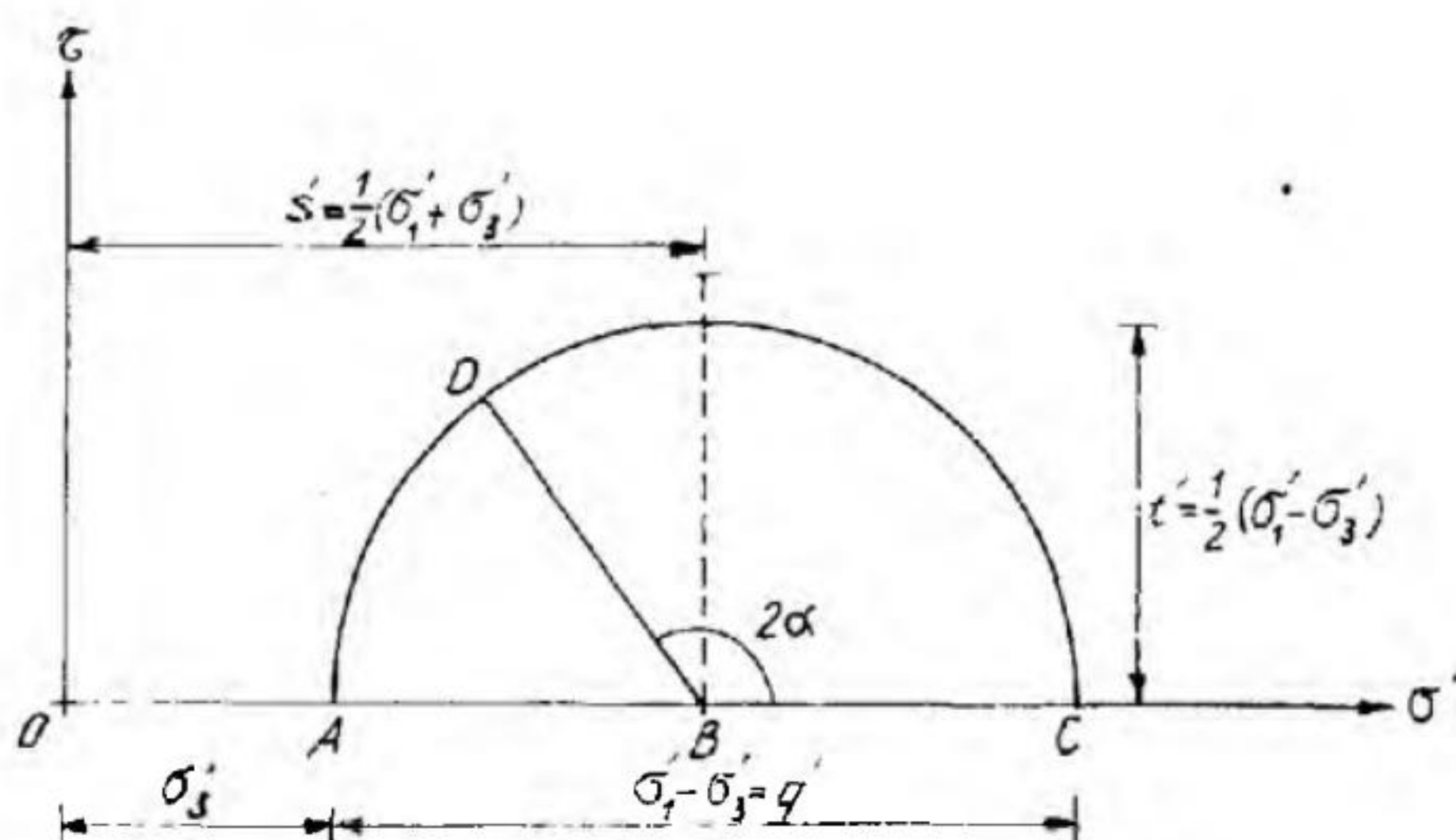
Hình 6-10 chỉ rõ cách biểu thị độ lệch ứng suất (q') bằng đường kính vòng Mohr

$$q' = (\sigma'_1 - \sigma'_3)$$



Hình 6-9. Vòng Mohr ứng suất

a) các ứng suất trực giao ; b) các ứng suất chính ; c) vòng tròn hình học.



Hình 6-10

Điểm T trên vòng tròn biểu thị ứng suất tiếp cực đại ($\alpha = 45^\circ$) và có các tọa độ (s' , t') là những bất biến ứng suất

$$s' = \frac{1}{2} (\sigma'_1 + \sigma'_3) \quad [6.22a]$$

$$t' = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3) \quad [6.22b]$$

Khi vòng tròn tương ứng được xây dựng đối với các ứng suất tổng, nó sẽ có cùng đường kính nhưng bị dịch chuyển sang phải dọc theo trục ứng suất pháp một giá trị tương đương với áp suất lỗ rỗng (u) (hình 6-11).

Ứng suất tổng : $\sigma_1 = \sigma'_1 + u$

$$\sigma_3 = \sigma'_3 + u$$

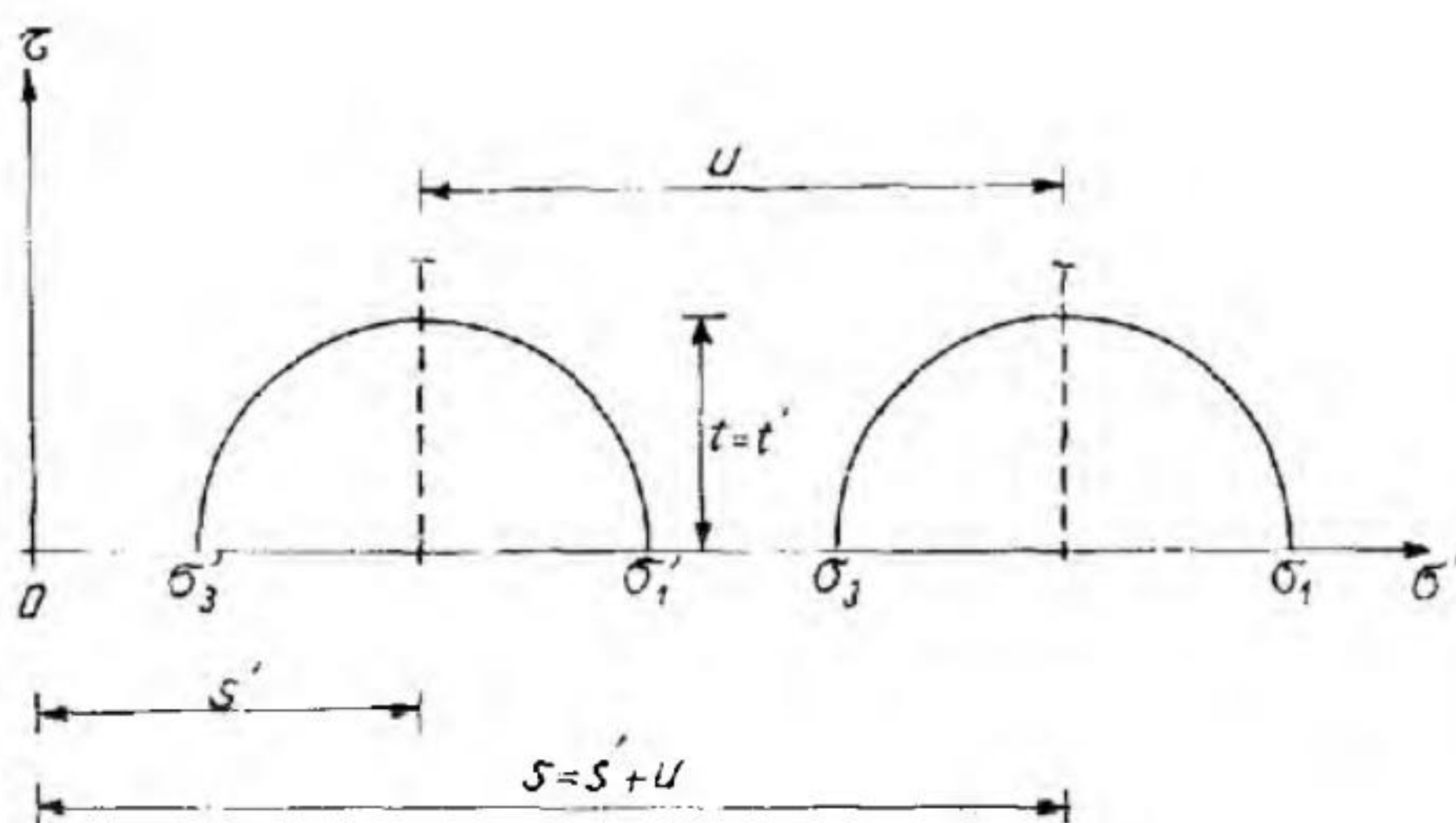
Hiệu số : $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma'_1 - \sigma'_3$

Hoặc là $q = q'$ [6.23]

Cũng có $s = s' + u$

Và $t = t'$ [6.24]

Tương tự $p = p' + u$ [6.25]



Hình 6-11

6.4. Lí thuyết phá hoại Mohr - Coulomb

Trong trường hợp phá hoại trượt hoặc biến dạng dẻo liên tục, vòng Mohr biểu thị ứng suất pháp và ứng suất tiếp trên mặt trượt là vòng tròn giới hạn. Các vòng Mohr giới hạn với các ứng suất pháp khác nhau có một đường tiếp tuyến chung được gọi là *đường bao phá hoại* (hình 6-12).

Phương trình của đường bao phá hoại này (thường được gọi là *biểu thức Coulomb*) là :

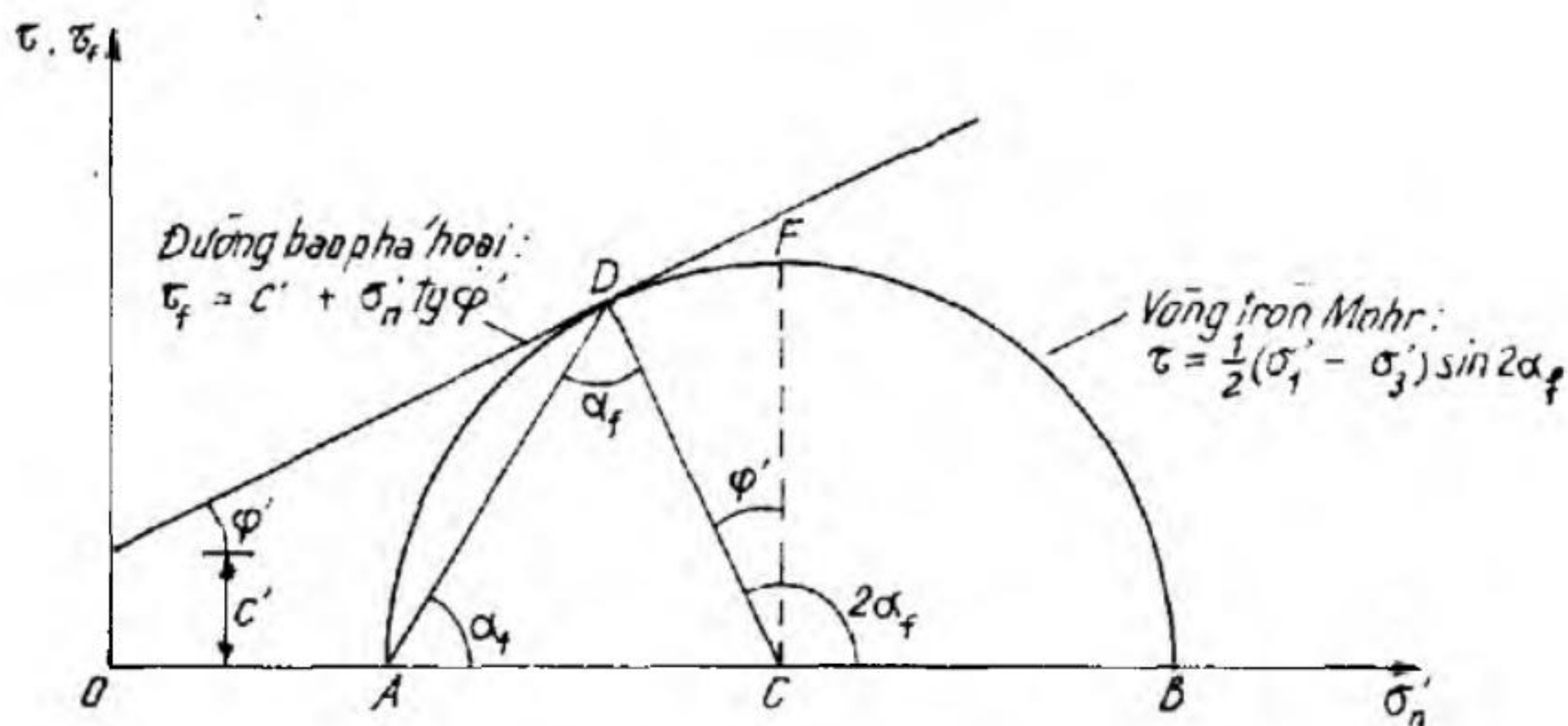
$$\tau_f = c' + \sigma'_n \operatorname{tg} \varphi' \quad [6.26]$$

Ở đây : φ' - góc ma sát hoặc góc sức kháng cắt,

c' - lực dính đơn vị.

Từ quan hệ hình học của vòng Mohr và đường phá hoại ta có góc của mặt phá hoại là :

$$\alpha_f = \frac{1}{2}(90^\circ + \varphi') = 45^\circ + \varphi'/2 \quad [6.27]$$



Hình 6-12. Lý thuyết phá hoại Mohr - Coulomb

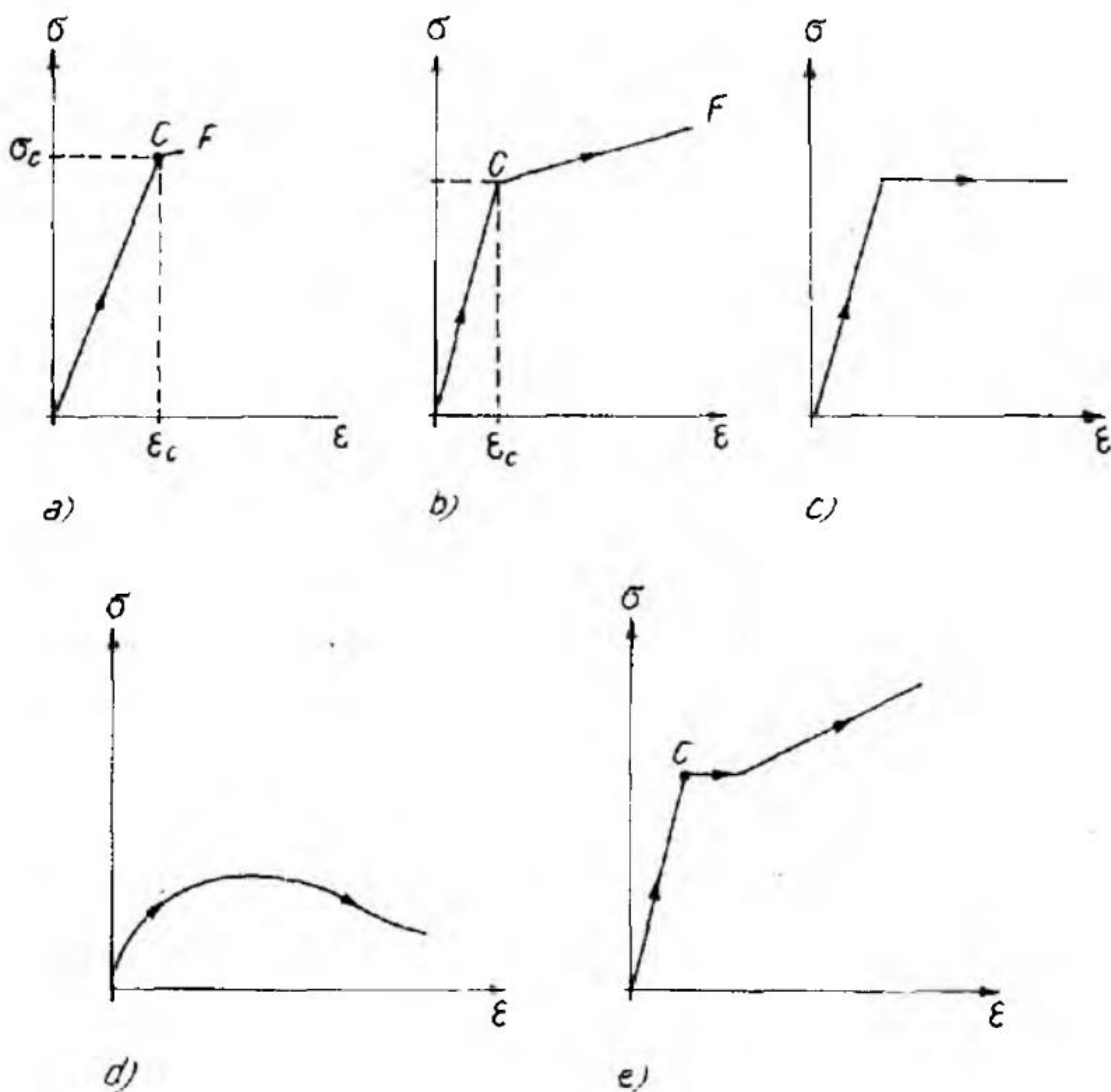
Nếu ta lấy được một loạt mẫu của cùng một loại đất đạt tới trạng thái *phá hoại trượt* hoặc *biến dạng dẻo liên tục* và đo được các ứng suất chính (σ_1', σ_3') thì vẽ được vòng Mohr-Coulomb để xác định đường phá hoại và từ đó xác định được các thông số c' và φ' .

6.5. Phân tích bằng cách sử dụng các đường ứng suất

Trong vật thể đàn hồi, biến dạng gây nên do sự thay đổi tải trọng có thể dự đoán được từ giá trị E' và *sự thay đổi tải trọng tổng cộng*. Giá trị biến dạng cuối cùng không bị ảnh hưởng bởi những biến đổi trung gian trong kiểu chất tải mà chỉ phụ thuộc tổng thay đổi tải trọng. Tuy nhiên, khi đất chuyển sang trạng thái *đàn-dẻo*, kiểu chất tải hoặc dỡ tải có thể ảnh hưởng đáng kể đến kết quả cuối cùng.

Trong phân tích tính chất đàn - dẻo việc vẽ hình những thay đổi ứng suất đã xảy ra trên toàn bộ con đường gia tải là có tính định hướng. Những biểu đồ hoặc những đồ thị của các thay đổi ứng suất được gọi là *những biểu đồ đường ứng suất*. Tùy thuộc loại phân tích yêu cầu mà những biểu đồ này sẽ có một số dạng khác nhau.

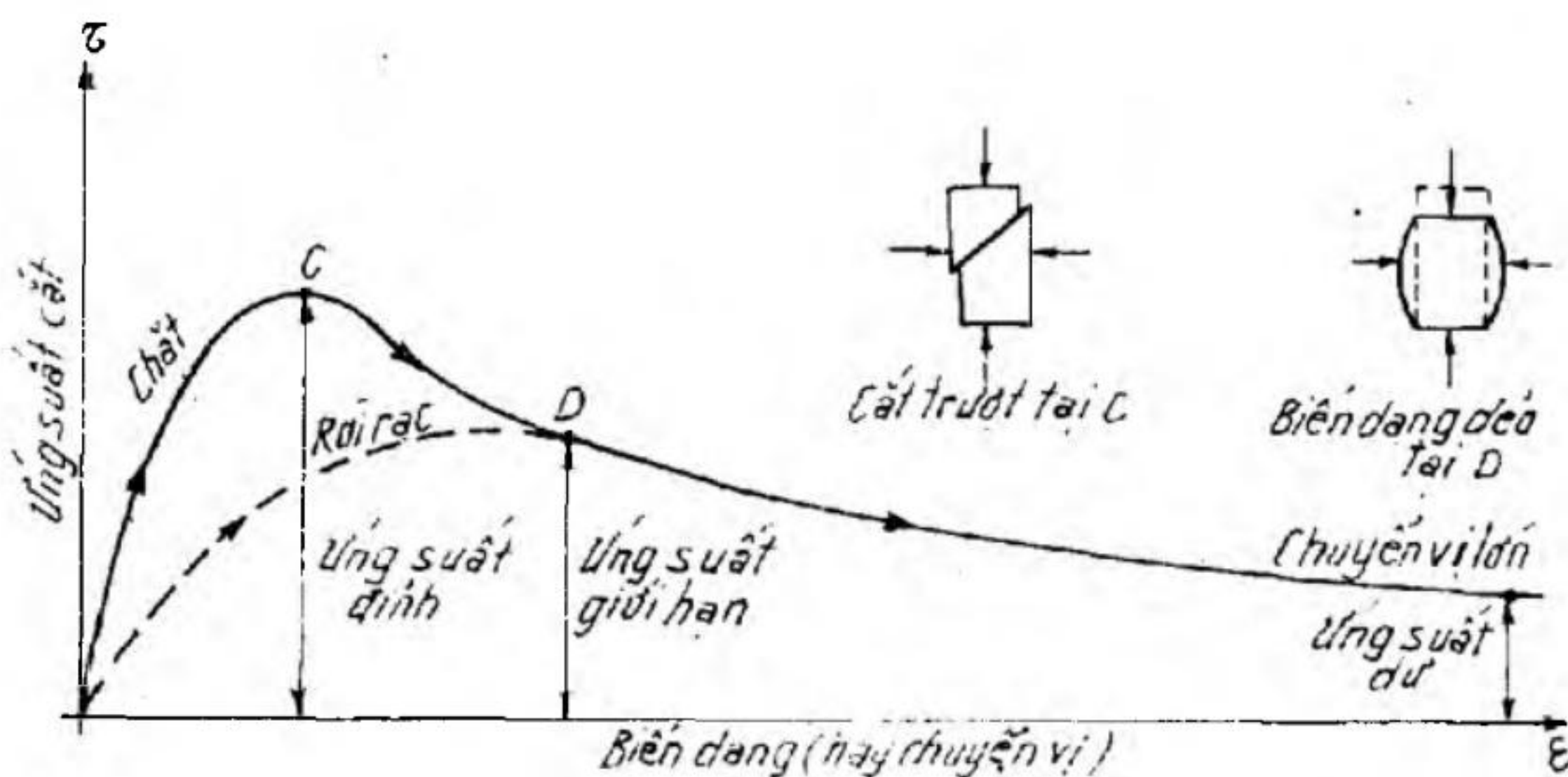
Các đường ứng suất trong hệ tọa độ σ/ε . Hình 6-13 chỉ ra những đồ thị ứng suất - biến dạng được lí tưởng hóa để biểu thị tính chất chịu kéo của những kim loại khác nhau. Những mũi tên chỉ hướng thay đổi ứng suất, còn các đường $O \rightarrow F$ là những đường ứng suất. Một cách điển hình, tính đàn hồi được thể hiện khi biến dạng (ε) tương ứng với cùng một giá trị ứng suất (σ) bất kể những thay đổi trung gian trong quá trình gia tải. Đường ứng suất $O \rightarrow C$ là đường thẳng, vì vậy nó biểu thị định luật Hooke, nghĩa là $d\sigma/d\varepsilon = \text{const}$.



Hình 6-13. Trạng thái ứng suất - biến dạng

- a) đàn hồi cứng (giòn) ; b) đàn hồi mềm (dễ uốn) ; c) dẻo hoàn toàn ;
d) không đàn hồi : mềm - ứng suất ; e) đàn hồi mềm : cứng - ứng suất

Tại điểm C (*điểm dẻo*) xuất hiện sự tăng biến dạng đột ngột và vật liệu hết tính chất hoàn toàn đàn hồi. Sự tăng tải trọng tiếp theo sẽ gây ra biến dạng dẻo, biến dạng này không hồi phục lại được khi dỡ tải trọng. Đối với vật liệu *cứng giòn*, giới hạn phá hoại xuất hiện ngay sau điểm dẻo (hình 6-13a), ngược lại, những vật liệu *mềm dẻo* sẽ biểu lộ lượng biến dạng dẻo đáng kể trước khi bị phá hoại (đứt gãy) (hình 6-13b). Trong trạng thái *dẻo hoàn toàn*, vật liệu tiếp tục biến dạng mặc dù không tăng ứng suất (hình 6-13c). Đối với những vật liệu như chì, nhôm và nhiều loại chất dẻo, biến dạng không đàn hồi là chủ yếu và tính mềm về biến dạng có thể xuất hiện (giảm ứng suất ứng với điểm dẻo) (hình 6-13d). Đối với những vật liệu như thép và đồng xuất hiện tính cứng về biến dạng (tăng ứng suất ứng với điểm dẻo) (hình 6-13e).



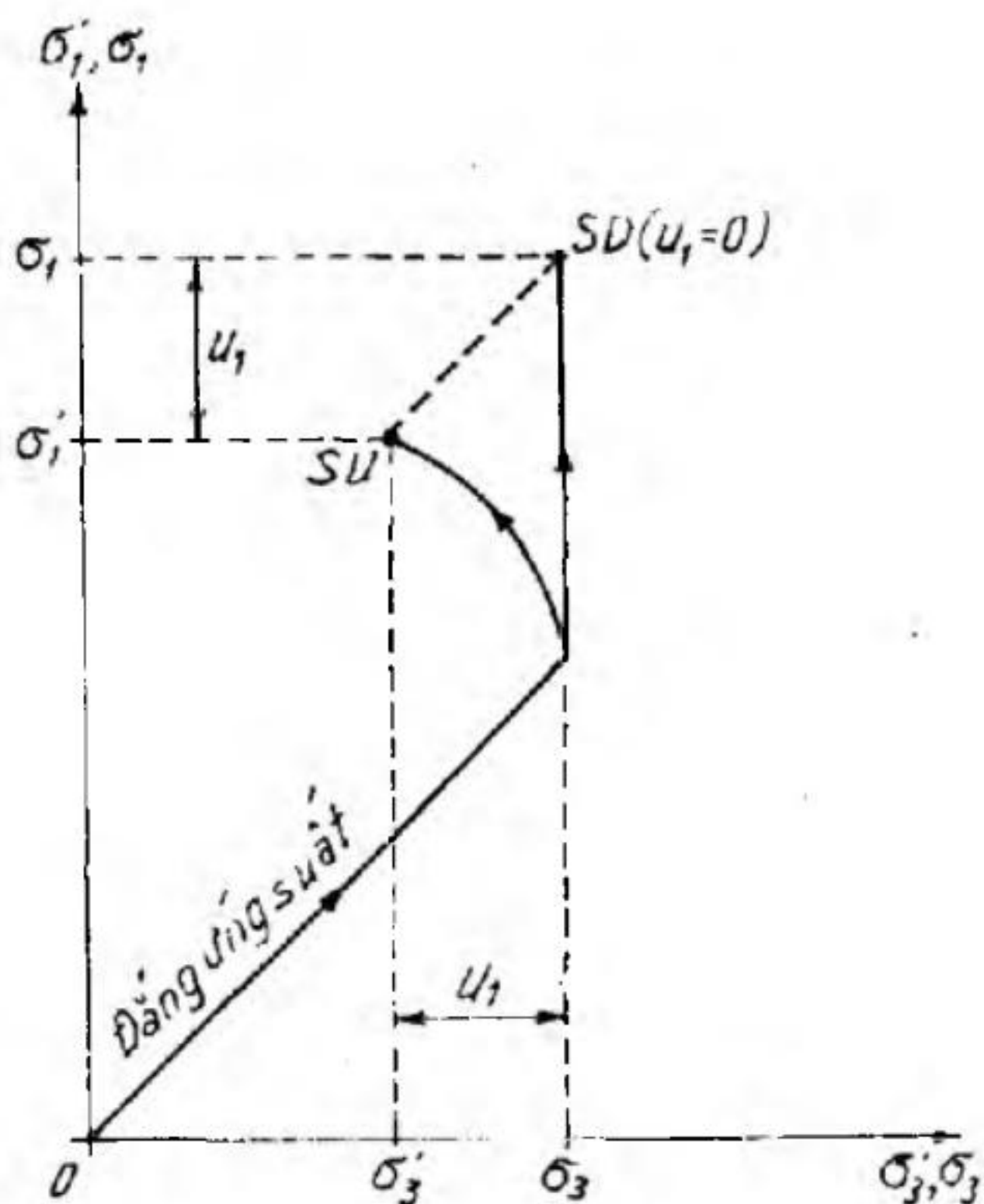
Hình 6-14. Đường cong ứng suất - biến dạng của thí nghiệm cát đất

Những loại đất rời xốp và đất mềm khi bị nén nói chung chúng thể hiện tính cứng về biến dạng, nghĩa là chúng bị co thể tích và trở nên cứng hơn. Sức kháng cắt của đất thì phức tạp hơn và phụ thuộc chủ yếu vào độ chặt. Đất cát chặt và đất sét quá cố kết, sự phá hoại cứng vỡ dưới hình thức cắt trượt xảy ra ở giá trị ứng

suất lớn nhất. Đối với đất rời xốp hoặc đất mềm, biến dạng kéo xảy ra tới điểm dẻo sau đó là biến dạng liên tục với ứng suất cực hạn không đổi hoặc có giảm xuống (hình 6-14).

Ở những nơi có biến dạng rất lớn ($> 1m$) như là sụt lở sườn đồi hoặc khối đắp, ứng suất cực hạn có thể tiếp tục giảm xuống tới ứng suất dư thấp hơn, đó là một hình thức của tính chất mềm của biến dạng. Sử dụng các đường ứng suất để nghiên cứu loại biến dạng nay được nêu tiếp trong mục 7.18.

Các đường ứng suất trong hệ tọa độ σ'_1/σ'_3 . Có nhiều vấn đề và trong việc diễn giải các kết quả thí nghiệm cắt thường yêu cầu so sánh giữa trạng thái *thoát nước* với *không thoát nước* và giữa ứng suất *hữu hiệu* với ứng suất *tổng cộng*. Người ta có thể sử dụng các đường ứng suất vẽ trên hệ trục ứng suất chính. Trên hình 6-15, $O \rightarrow C$ thể hiện sự tăng đẳng ứng suất ($\Delta\sigma_1 = \Delta\sigma_2 = \Delta\sigma_3$) trong điều kiện thoát nước ($\Delta u = 0$). Nếu như chỉ tăng σ_1 ($\sigma_2 = \sigma_3 = \text{const}$), đường ứng suất trong điều kiện thoát nước là



Hình 6-15. Các đường ứng suất trong hệ tọa độ σ'_1/σ'_3 .

$C \rightarrow SD$; ngược lại, nếu không thoát nước, áp suất nước lỗ rỗng tăng lên và đường ứng suất sẽ là $C \rightarrow SU$, vì $\sigma' = \sigma - u$. Các đường ứng suất trong hệ tọa độ σ'_1, σ'_3 đối với thí nghiệm ba trục điển hình sẽ được thảo luận tiếp trong mục 7.17.

Các đường ứng suất trong hệ tọa độ t'/s' . Các trạng thái ứng suất có thể được biểu thị thuận tiện dựa vào vòng Mohr và điều này còn liên quan tới việc xác định tiêu chuẩn phá hoại.

Các tọa độ của điểm có ứng suất cắt lớn nhất trên vòng Mohr được cho bởi đẳng thức [6.22a, b]

$$s' = \frac{1}{2} (\sigma'_1 + \sigma'_3)$$

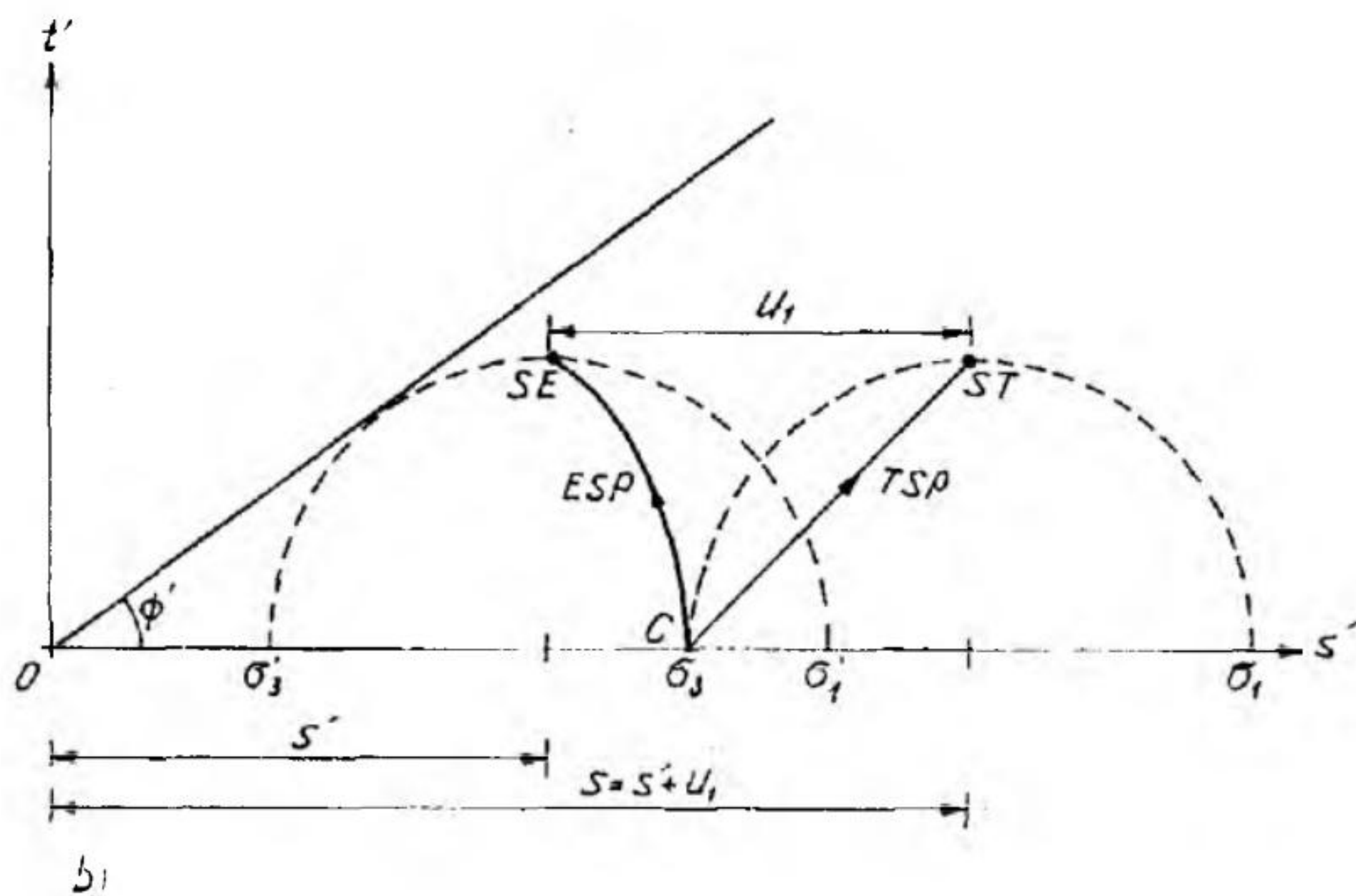
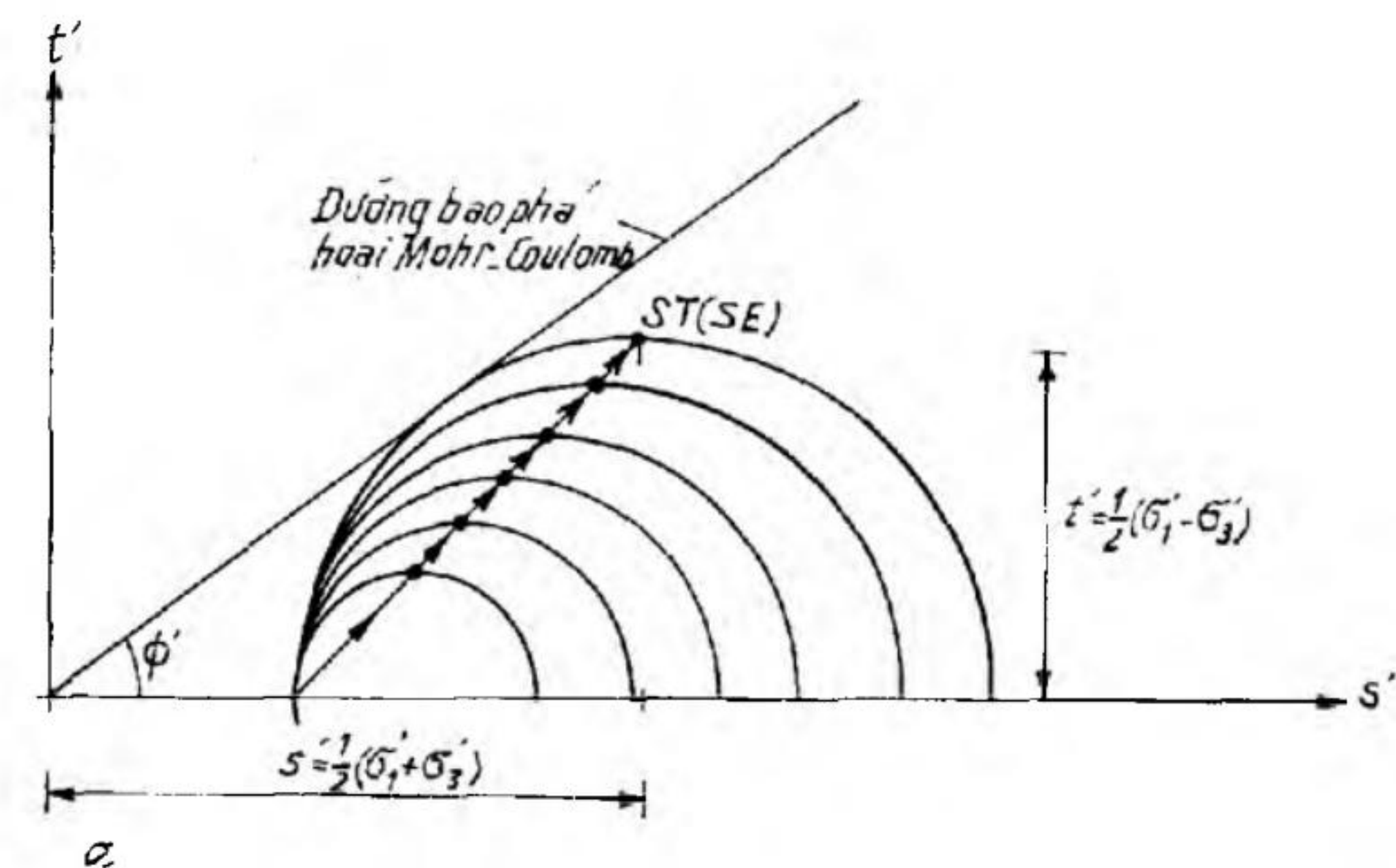
$$t' = \frac{1}{2} (\sigma'_1 - \sigma'_3)$$

Do đó, đường ứng suất vẽ trong hệ tọa độ t'/s' có liên quan đến tiêu chuẩn phá hoại.

Hình 6-16 chỉ ra các đường ứng suất, trong trường hợp có thoát nước và không có thoát nước khi chỉ tăng ứng suất σ_1 .

Từ trạng thái ứng suất ban đầu $\sigma'_1 = \sigma'_3 = OC$ và với điều kiện thoát nước hoàn toàn, các đường ứng suất tổng cộng và hữu hiệu cùng đi theo một đường : $C \rightarrow ST$ (SE). Đối với trường hợp không thoát nước (trong các đất bão hòa), áp suất nước lỗ rỗng tăng với sự tăng σ_1 . Đường ứng suất tổng cộng (TSP) lại vẫn theo góc 45° : $O \rightarrow ST$. Khi đó đường ứng suất hữu hiệu là đường cong có hướng ngược lại (ESP), vì $s' = s - u$: $C \rightarrow SE$.

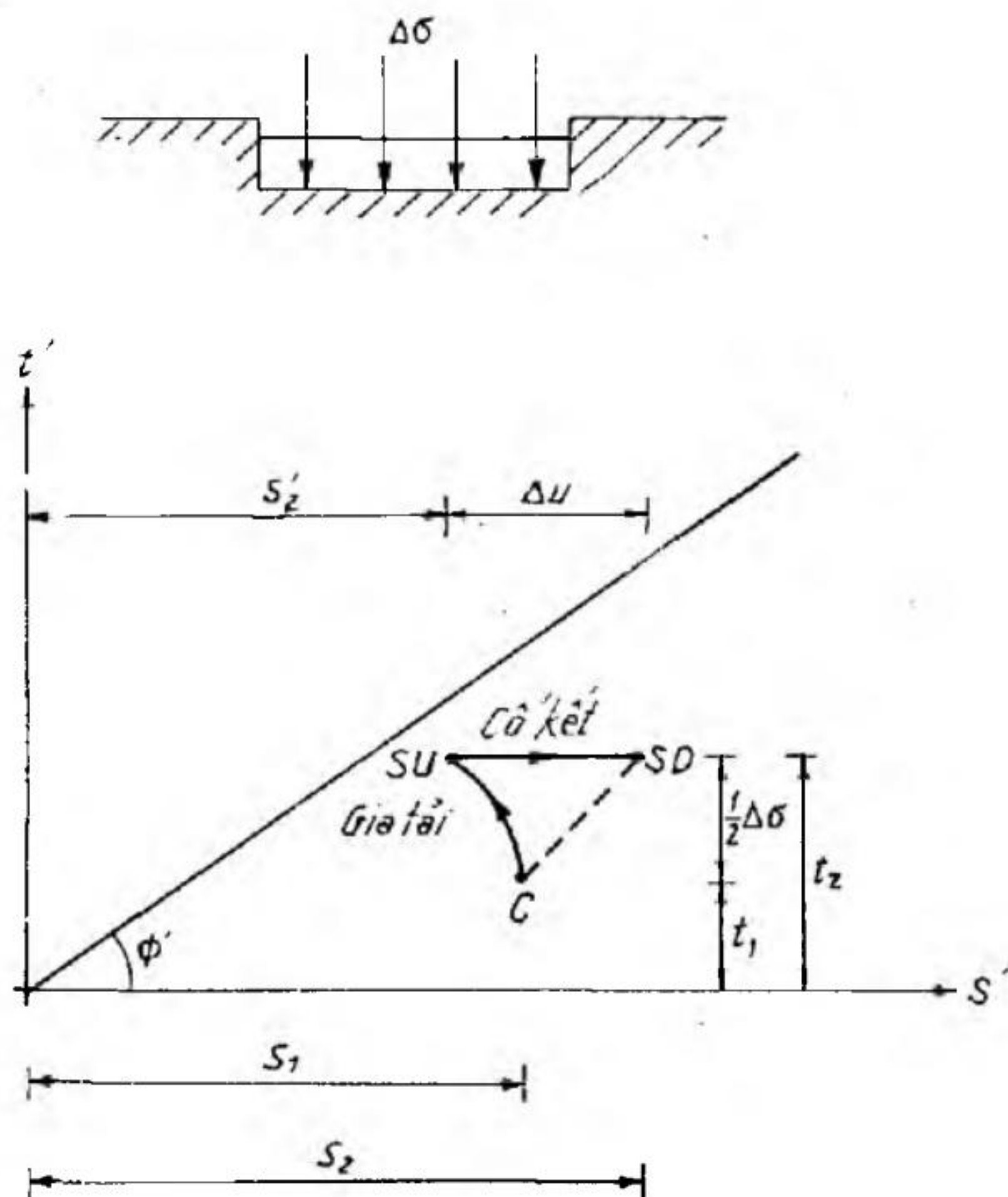
Tính chất so sánh của đất do sự tăng và giảm ứng suất có thể được minh họa bằng cách sử dụng các đường ứng suất trong hệ tọa độ t'/s' . Trên hình 6-17 chỉ ra đường ứng suất đối với điểm nằm dưới móng băng trong đất sét. Trong thời gian xây dựng, ứng suất tăng nhanh so với các giá trị ban đầu của chúng σ_v và σ_h . Trong điều kiện thực sự không thoát nước, áp suất nước lỗ rỗng tăng là Δu . Sau một khoảng thời gian nào đó, áp suất nước lỗ rỗng bị tiêu tán do thoát nước cố kết ($SU \rightarrow SD$). Điều quan trọng cần nhận xét rằng, điểm ứng suất cuối cùng cách xa đường bao phá



Hình 6-16. Các đường ứng suất trong hệ tọa độ t'/s'

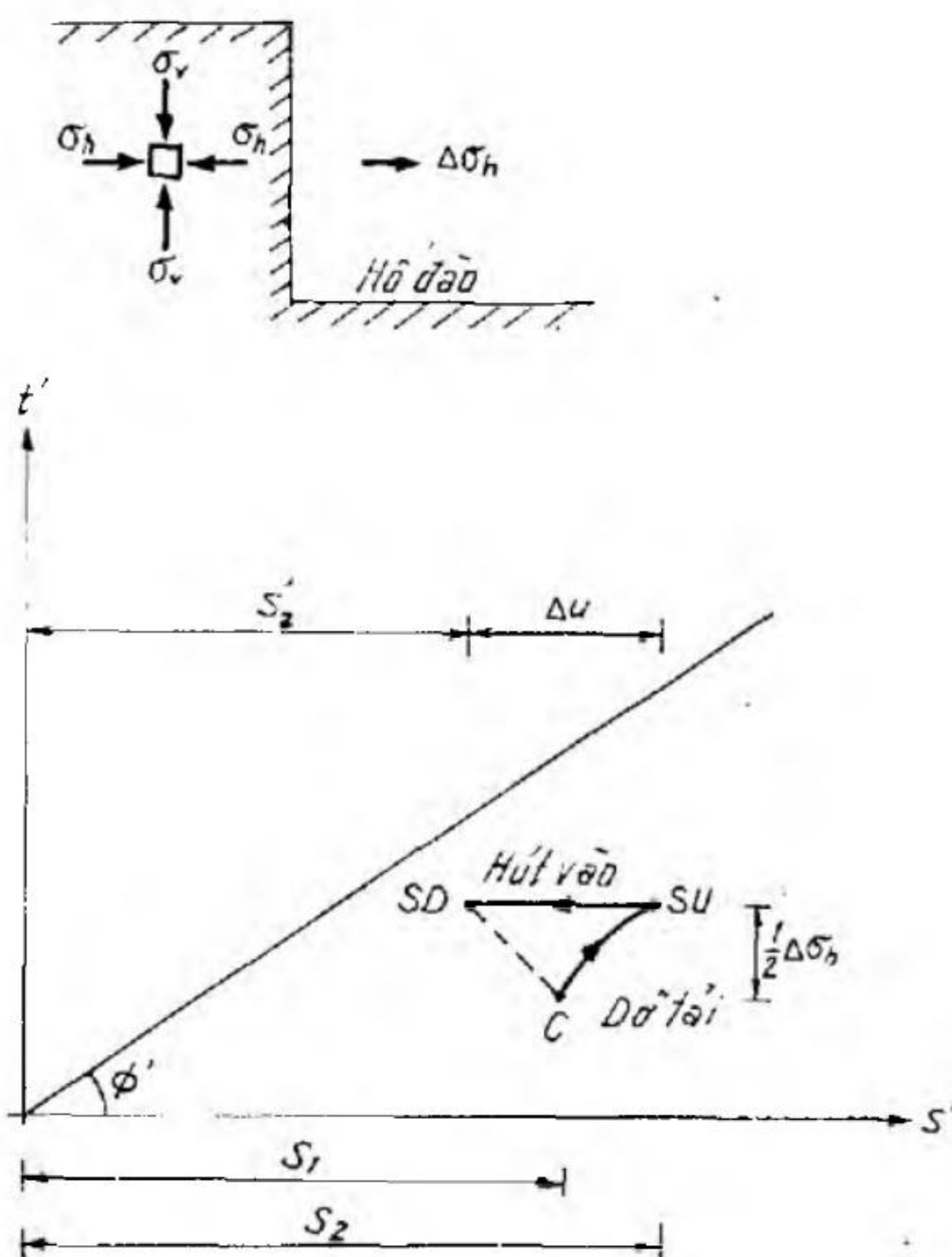
- a) đường ứng suất khi tầng tải có thoát nước ;
b) các đường ứng suất tổng và hiệu quả khi tầng tải không thoát nước

hoại, dẫn đến kết luận là trong thời hạn ngắn sự tăng tải không có thoát nước sẽ bất lợi hơn so với sự tăng tải có thoát nước ở dưới đáy móng.



Hình 6-17. Đường ứng suất đối với tải trọng từ móng bằng

Trên hình 6-18 chỉ ra đường ứng suất đối với sự tăng tải không có thoát nước tại một điểm bên cạnh hố đào. Trong trường hợp này sự giảm ứng suất gây nên áp suất lỗ rỗng âm (sức hút) ($-\Delta u$), do đó đường ứng suất tức thời, hoặc không thoát nước là $C \rightarrow SU$. Tương ứng với sự hút, độ ẩm sẽ tăng dần đến khi phần dư áp suất lỗ rỗng âm bị triệt tiêu, đường ứng suất là $SU \rightarrow SD$. Điểm ứng suất cuối cùng sẽ gần đường bao phá hoại hơn, vì vậy cường độ lâu dài có thoát nước là bất lợi hơn đối với những vấn đề liên quan đến ổn định các hố đào và sự bạt các mái dốc.



Hình 6-18. Đường ứng suất đối với trường hợp dỡ tải tại điểm cạnh hồ đào

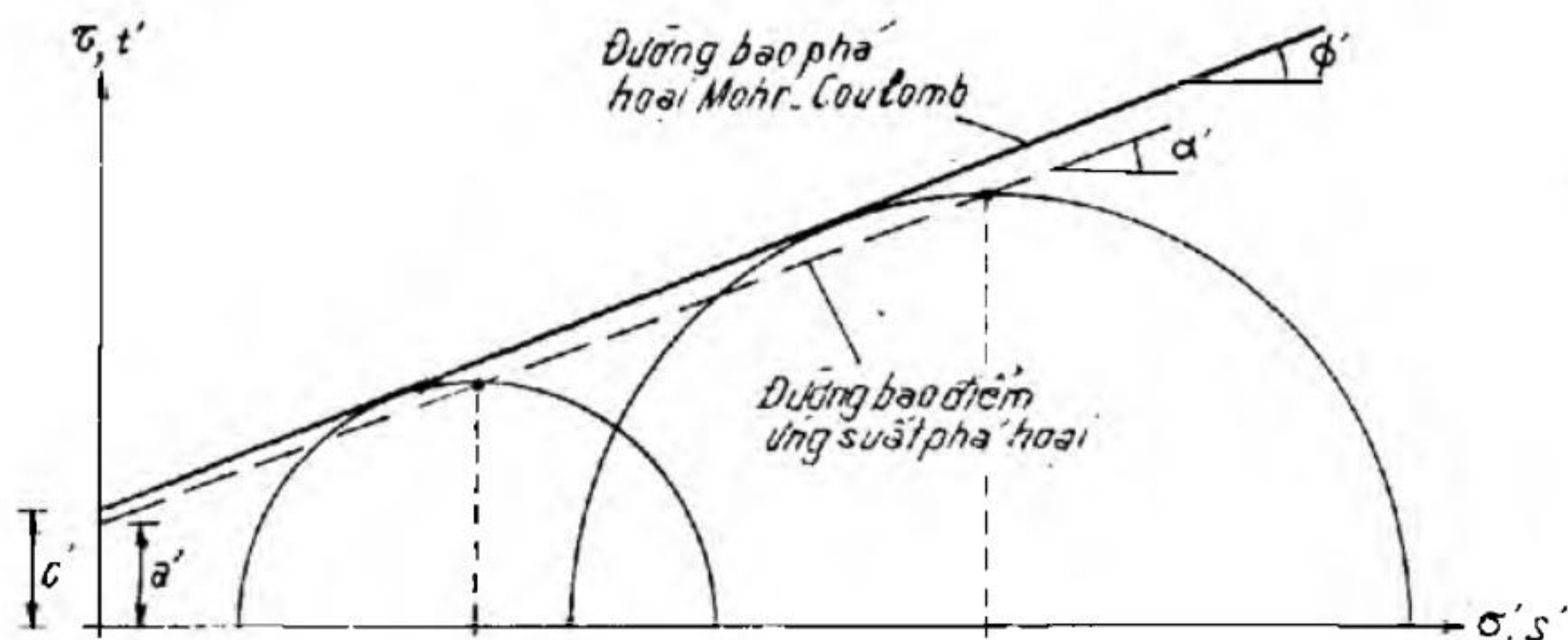
Tại điểm bị phá hoại, vòng tròn Mohr sẽ tiếp xúc với đường bao phá hoại Mohr - Coulomb. Do đó điểm ứng suất (t'_f, s'_f) trên vòng tròn này là thông số so sánh của điều kiện phá hoại. Đường vẽ qua một loạt các điểm ứng suất như thế trên các vòng tròn phá hoại được gọi là *đường bao điểm ứng suất phá hoại* và được sử dụng làm một tiêu chuẩn phá hoại thay thế (hình 6-19) :

$$t'_f = a' + s'_f \operatorname{tg} \alpha' \quad [6.28]$$

Các thông số của đường bao điểm ứng suất phá hoại có liên quan tới những thông số của tiêu chuẩn Mohr-Coulomb như sau :

$$\sin \varphi' = \operatorname{tg} \alpha' \quad [6.29a]$$

$$c' \cos \alpha' = a' \quad [6.29b]$$



Hình 6-19. Đường bao điểm ứng suất phá hoại

Các đường ứng suất trong hệ tọa độ q'/p' . Mặc dù các phương pháp đường ứng suất đã miêu tả ở trên là rất thuận tiện đối với những vấn đề liên quan đến biến dạng phẳng, nhưng nói chung phần nào còn bị hạn chế vì chúng không dễ dàng biểu thị được những điều kiện bài toán ba chiều thực sự. Nếu ứng suất trung bình p' và độ lệch ứng suất q' được sử dụng để thay thế cho s' và t' thì các trạng thái ứng suất - biến dạng phẳng, đối xứng trục và ba chiều thực tế đều có thể được biểu thị dễ dàng như nhau.

Đối với ứng suất ba chiều thực sự ($\sigma'_1 \neq \sigma'_2 \neq \sigma'_3$) :

Ứng suất trung bình
$$p' = \frac{1}{3} (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)$$

$$p = p' + u$$

Độ lệch ứng suất
$$q' = \sigma'_1 - \sigma'_3$$

$$q = q'$$

Đối với trạng thái ứng suất ba chiều đối xứng trục : (thí nghiệm ba trục) :

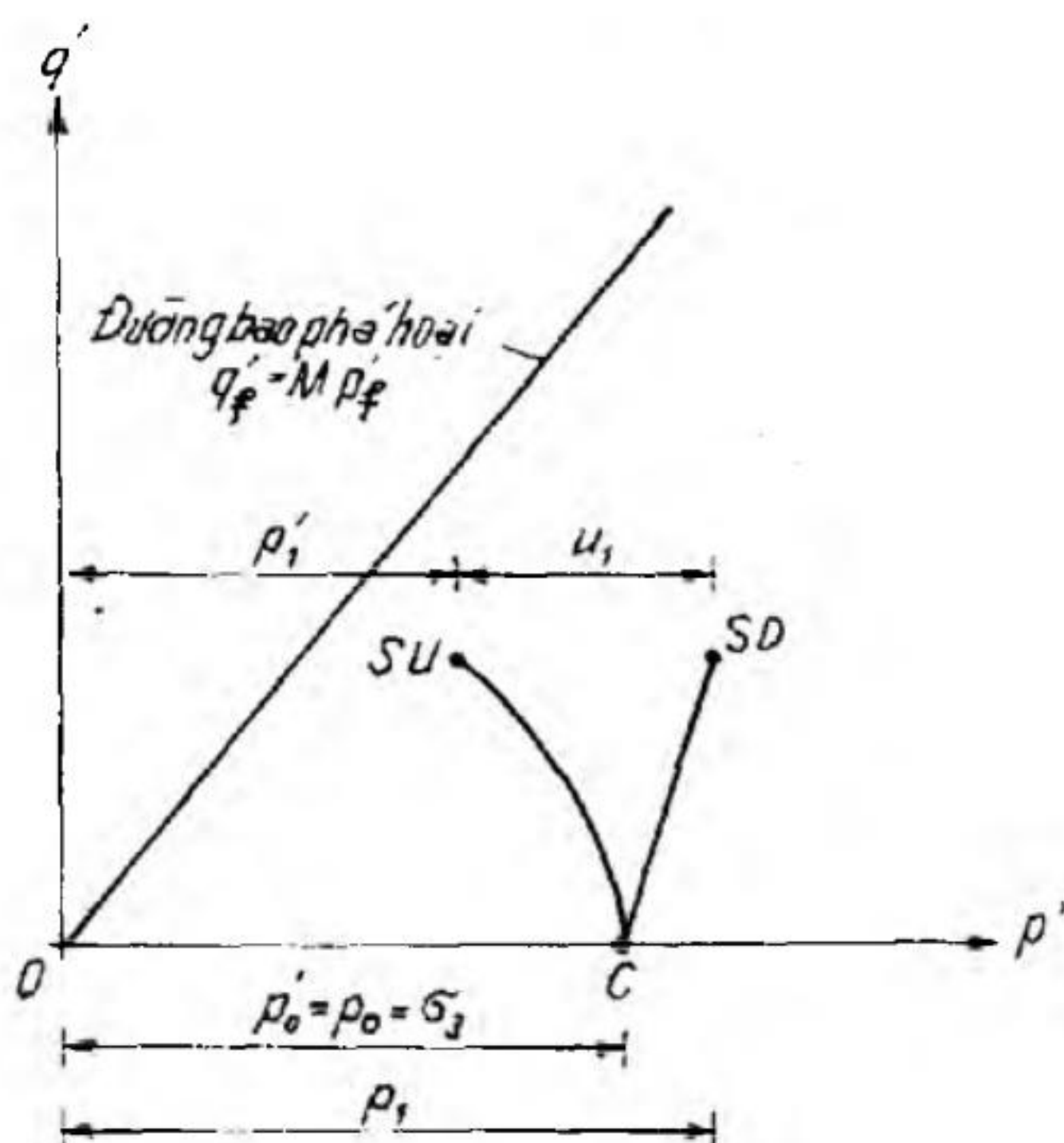
$$p' = \frac{1}{3} (\sigma'_1 + 2\sigma'_3)$$

và $p = p' + u$

$$q' = \sigma'_1 - \sigma'_3$$

và $q = q'$

Hình 6-20 chỉ ra diễn hình của thí nghiệm ba trục không thoát nước vẽ trong hệ tọa độ q'/p' . Giai đoạn cố kết đẳng ứng suất theo đường



Hình 6-20. Các đường ứng suất trong hệ tọa độ q'/p'

$0 \rightarrow C$ và tại C :

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 \quad \text{và} \quad u_0 = 0$$

Ta có $p'_0 = p_0 = \sigma'_3 = \sigma_3$

Khi chỉ tăng σ_1 thì đường ứng suất tổng cộng là $C \rightarrow SD$ và có độ dốc $dq'/dp' = \frac{1}{3}$.

$$p' = \frac{1}{3} (\sigma'_1 + 2\sigma'_3) = \frac{1}{3} (\sigma'_1 - \sigma'_3 + 3\sigma'_3) = \frac{1}{3} q' + \sigma'_3$$

Lấy vi phân ta có $dp'/dq' = \frac{1}{3}$.

Khi mẫu đất không thoát nước trong lúc chỉ tăng σ_1 , áp suất nước lỗ rỗng tăng từ 0 đến u_1 và đường ứng suất hữu hiệu là $C \rightarrow SU$.

Đường bao phá hoại có thể được xác định tương ứng với các giá trị q' và p' tại lúc phá hoại :

$$q'_f = Mp'_f \quad [6.30]$$

Quan hệ giữa M và góc ma sát φ' tương ứng xác định bởi đường bao phá hoại Mohr-Coulomb có thể nhận được như sau :

Từ vòng tròn Mohr (hình 6-16a), khi $c' = 0$

$$\sin\varphi' = \frac{\frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3)}{\frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)}$$

Biến đổi ta có :
$$\frac{\sigma'_3}{\sigma'_1} = \frac{1 - \sin\varphi'}{1 + \sin\varphi'}$$

Từ đẳng thức [6.30] :
$$M = \frac{q'}{p'} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\frac{1}{3}(\sigma'_1 + 2\sigma'_3)}$$

Thay thế vào nhận được :
$$M = \frac{3(\sigma'_1 - \frac{1 - \sin\varphi'}{1 + \sin\varphi'} \sigma'_1)}{\sigma'_1 + \frac{2(1 - \sin\varphi')}{1 + \sin\varphi'} \sigma'_1}$$

$$= \frac{3(1 + \sin\varphi' - 1 + \sin\varphi') \sigma'_1}{(1 + \sin\varphi' + 2 - 2\sin\varphi') \sigma'_1}$$

$$= \frac{6\sin\varphi'}{3 - \sin\varphi'}$$

Sau khi biến đổi ta có :
$$\sin\varphi' = \frac{3M}{6 + M} \quad [6.31]$$

6.6. Lí thuyết trạng thái tới hạn

Như đã thảo luận trong mục 6.1, tính phân tán tự nhiên và tính rỗng của đất dẫn tới sự thay đổi thể tích đáng kể do điều kiện gia tải nén hoặc cắt. Đồng thời do phạm vi thay đổi tính thấm nước

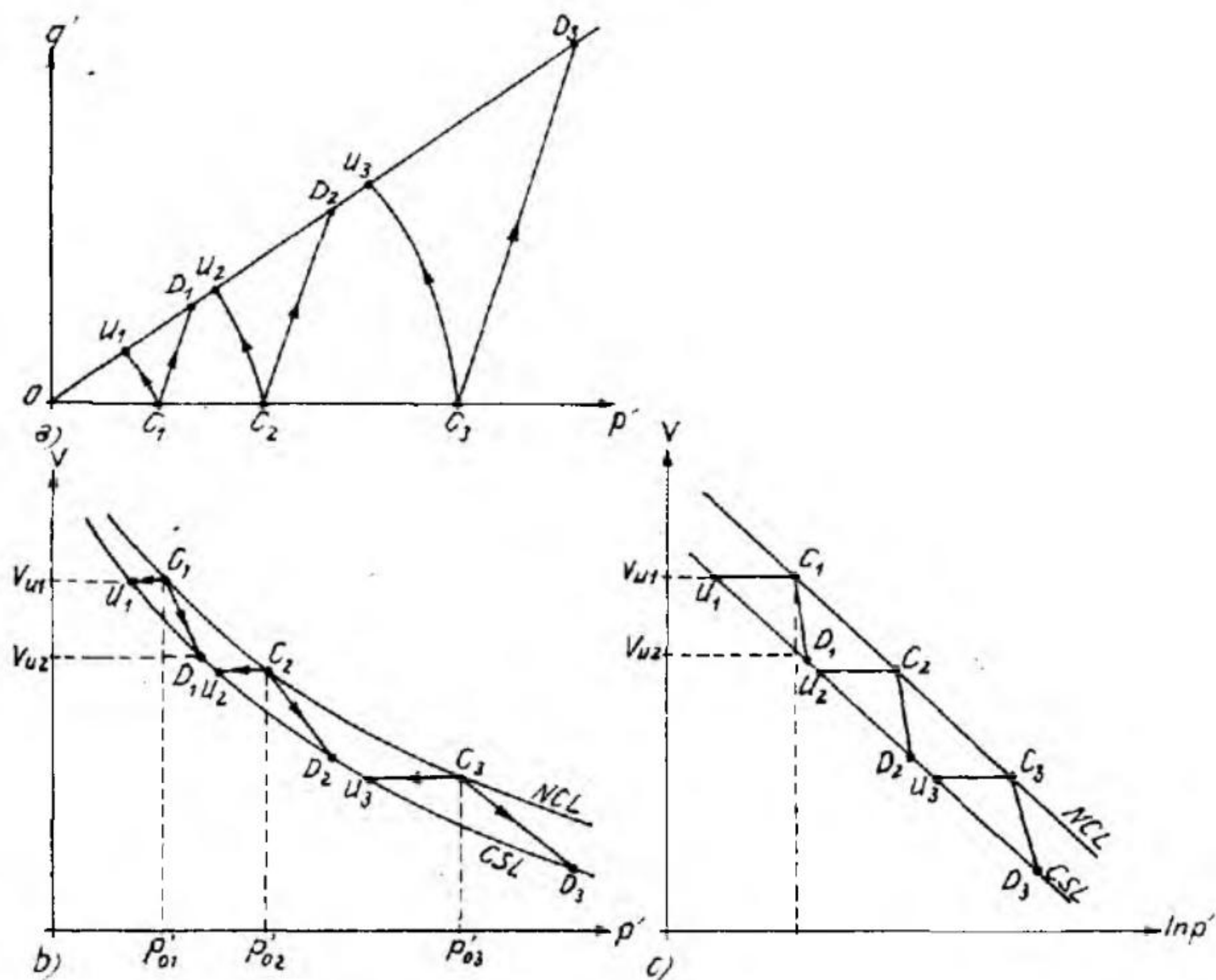
rất rộng, tốc độ thay đổi thể tích trong một số loại cát, nhanh đến mức như xảy ra ngay lập tức, ngược lại trong đất sét điều đó có thể chậm hơn chục triệu lần. Do đó, cần thiết phải có quan hệ về sự thay đổi trạng thái ứng suất nào đó với sự thay đổi thể tích trong thời gian ngắn hoặc thời gian dài. Các thông số φ' , c' và c_u được xác định từ sự phân tích trạng thái ứng suất dựa theo tiêu chuẩn phá hoại Mohr-Coulomb đối với loại đất đã cho có giá trị chỉ ở một thể tích nhất định và có thể rất khác ở những thể tích khác. Chẳng hạn, cường độ kháng cát không thoát nước c_a liên quan trực tiếp tới độ ẩm của đất.

Lí thuyết trạng thái tới hạn nêu ra mô hình thống nhất cho tính chất của đất, trong đó các trạng thái ứng suất và các trạng thái thể tích có mối quan hệ mật thiết. Khái niệm đầu tiên được nêu ra vào năm 1958 do Roscoe, Scholfield và Wroth trong bài báo nói về sự dẻo của đất. Những tác phẩm tiếp theo chủ yếu của Khoa công trình Trường đại học Cambridge lần lượt được các tác giả công bố : Parry (1960), Roscoe và Burland (1968), Scholfield và Wroth (1968), Atkinson và Bransby (1978), Atkinson (1981). Đã nêu ra mô hình trong đó đất chuyển sang dẻo ở *thể tích giới hạn* ($v_c = 1 + e_c$), nghĩa là chuyển từ tính chất đàn hồi thuận túy đến tính chất đàn - dẻo. Sự dẻo hoặc sự trượt cát được xem như xảy ra do tổ hợp của ứng suất hữu hiệu ($\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3$) và thể tích riêng (v) trùng với một *mặt trạng thái biên*. Mặt trạng thái biên này có thể xem là tương tự ba chiều của đường phá hoại theo tiêu chuẩn Mohr-Coulomb. Nghiên cứu một nhóm gồm 6 mẫu thí nghiệm nén ba trục của cùng loại đất sét cổ kết bình thường, trong đó từng cặp mẫu được cố kết với cùng giá trị đẳng ứng suất (p'_0) trước khi tăng ứng suất chính lớn nhất tới điểm dẻo. Hình 6-21 nêu ra các đường ứng suất đối với 6 thí nghiệm vẽ trong hệ tọa độ q'/p' .

Các giai đoạn cố kết : $0 \rightarrow C_1, 0 \rightarrow C_2, 0 \rightarrow C_3$.

Những mẫu không thoát nước : $C_1 \rightarrow U_1, C_2 \rightarrow U_2, C_3 \rightarrow U_3$.

Những mẫu thoát nước : $C_1 \rightarrow D_1, C_2 \rightarrow D_2, C_3 \rightarrow D_3$.



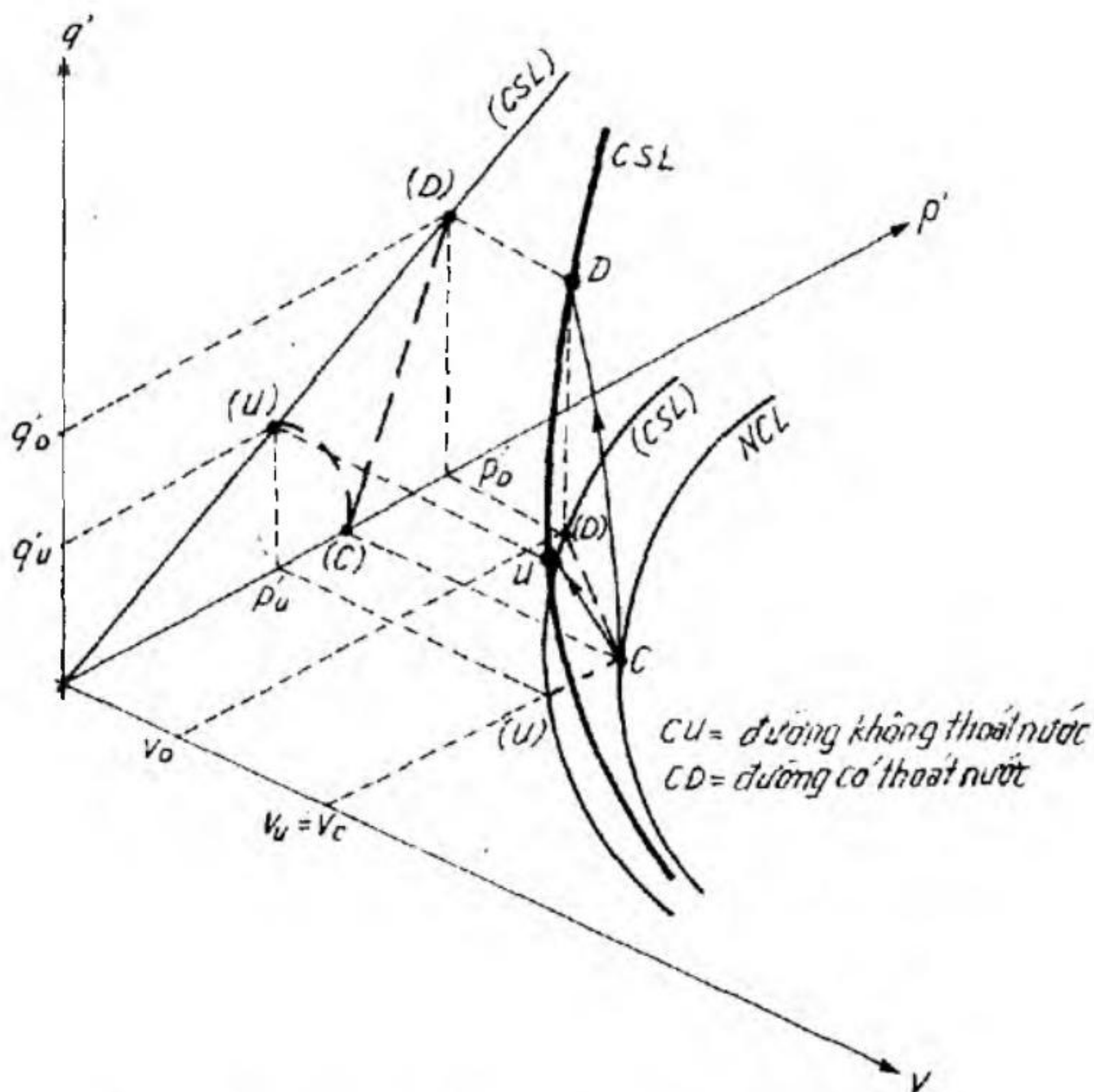
Hình 6-21

Các đường ứng suất kết thúc trên cùng một đường phá hoại ($q'_f = Mp'$) tại các điểm dẻo tương ứng. Tuy nhiên trong khi tăng σ_1 đối với các thí nghiệm có thoát nước, sự thay đổi thể tích sẽ xảy ra ; ngược lại, trong các thí nghiệm không thoát nước, thể tích không thay đổi. Do đó, đối với mô hình đầy đủ tính chất ứng suất - biến dạng, những thay đổi thể tích gắn liền với những thay đổi ứng suất cần phải được kết hợp chặt chẽ.

Khi cố kết dưới tác dụng đẳng ứng suất, đường thay đổi thể tích sẽ dịch chuyển dọc theo đường cố kết bình thường (NCL) như chỉ dẫn trên hình 6-21b. Các đường thể tích - ứng suất vẽ trong hệ tọa độ v/p' , ở đây v là thể tích riêng ($= 1 + e$). Các đường có

thoát nước $C \rightarrow D$ chỉ ra sự giảm thể tích, còn các đường *không thoát nước* $C \rightarrow U$ chỉ ra thể tích không đổi. Đường cong vẽ qua các điểm U_1, D_1, U_2, D_2, U_3 và D_3 biểu thị tiêu chuẩn phá hoại trong hệ tọa độ v/p' , đó là một hình ảnh của tiêu chuẩn phá hoại trong hệ tọa độ q'/p' .

Như vậy các hình 6-21a và 6-21b tương ứng là độ cao và mặt bằng của đường tiêu chuẩn phá hoại không gian ba chiều trong hệ tọa độ $q'/v/p'$; đường này được gọi là *đường trạng thái tới hạn* (CSL). Đó là một đường cong vẽ trên mặt biên trạng thái trong không gian ba chiều để biểu thị tính dẻo của đất, có nghĩa đó là ranh giới giữa tính đàn hồi và tính dẻo. Để thuận tiện trong biểu thị toán học, hình chiếu bằng của đường CSL thường được vẽ trong hệ tọa độ v/lnp' (hình 6-21c).



Hình 6-22. Hình chiếu lên ba phương của đường trạng thái tới hạn

Mô hình trạng thái tới hạn được phát triển do việc sử dụng các loại đất sét bão hòa đã chế bị, nhưng nó có thể được thừa nhận là đủ đại diện cho các loại đất sét trong tự nhiên, cung cấp cho ta một mô hình khái quát tính chất của đất. Những phương trình định nghĩa và những mối quan hệ có liên quan đến nay đã được thiết lập. Đường CSL được chiếu lên ba phương như chỉ dẫn trong hình 6-22.

Việc sử dụng các sơ đồ cao độ q'/p' và mặt bằng $v/\ln p'$ là rất thuận tiện đối với mục đích giải tích.

Các kích thước tọa độ :

Độ lệch ứng suất $q' = \sigma'_1 - \sigma'_3$

Ứng suất pháp trung bình $p' = \frac{1}{3} (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)$

Thể tích riêng $v = 1 + e$

Phương trình xác định đường CSL (hình 6-23) :

$$q' = Mp' \quad [6.32a]$$

$$v = \Gamma - \lambda \ln p' \quad [6.32b]$$

Ở đây Γ - giá trị thể tích riêng (v) tại $p' = 1,0 \text{ kN/m}^2$;

λ - độ dốc của đường CSL trong hệ $v/\ln p'$.

Phương trình xác định đường cố kết bình thường trong hệ tọa độ $v/\ln p'$ (hình 6-24) là :

$$v = N - \lambda \ln p' \quad [6.33]$$

Ở đây : N - giá trị thể tích riêng (v_o) tại $p' = 1,0 \text{ kN/m}^2$;

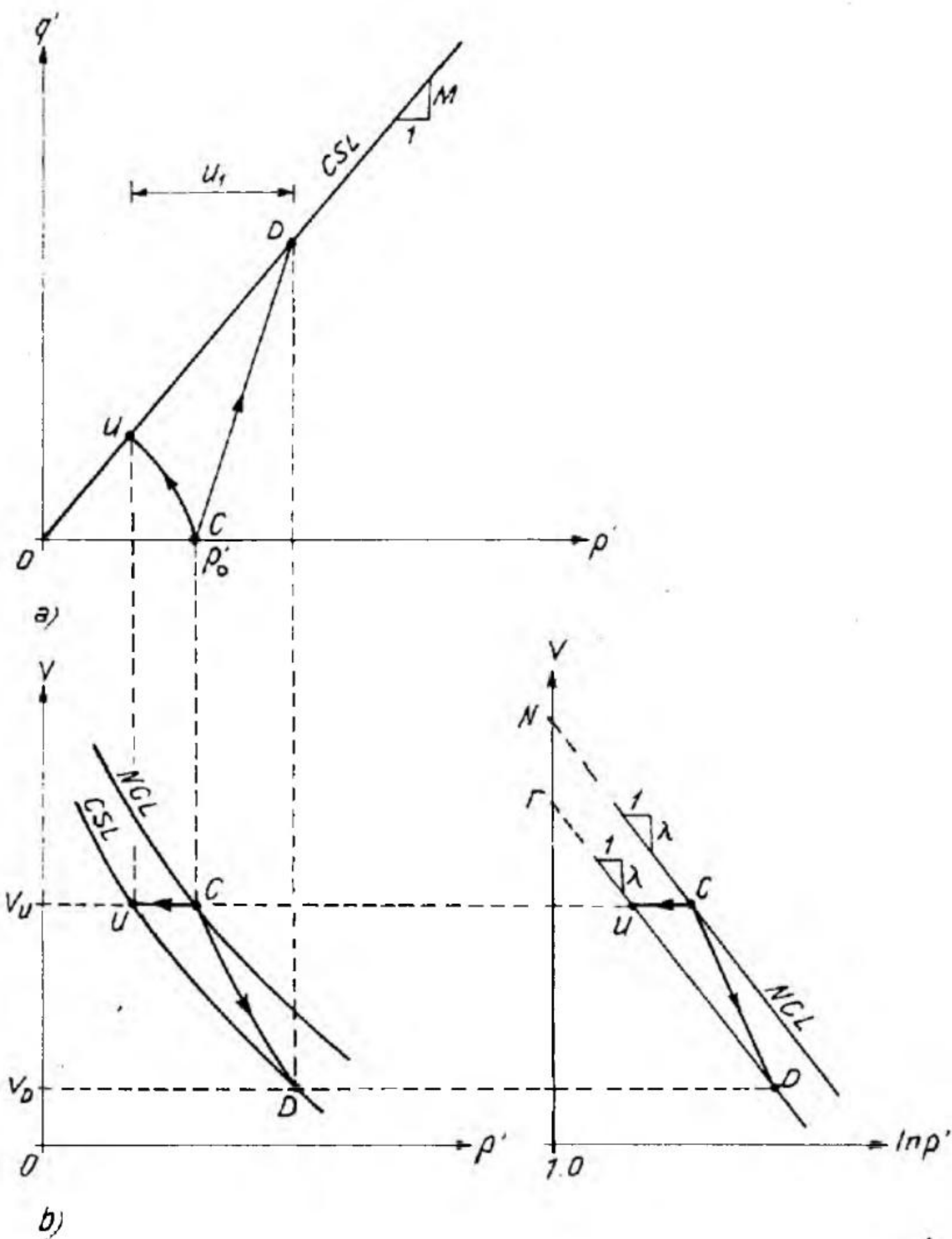
λ - độ dốc của đường NCL trong hệ tọa độ $v/\ln p'$

(được coi là cùng độ dốc với đường CSL).

Biến đổi đẳng thức [6.32b] :

$$p' = \exp \frac{\Gamma - v}{\lambda} \quad [6.34]$$

$$\text{Ta có} \quad q' = Mp' = M \cdot \exp \frac{\Gamma - v}{\lambda} \quad [6.35]$$



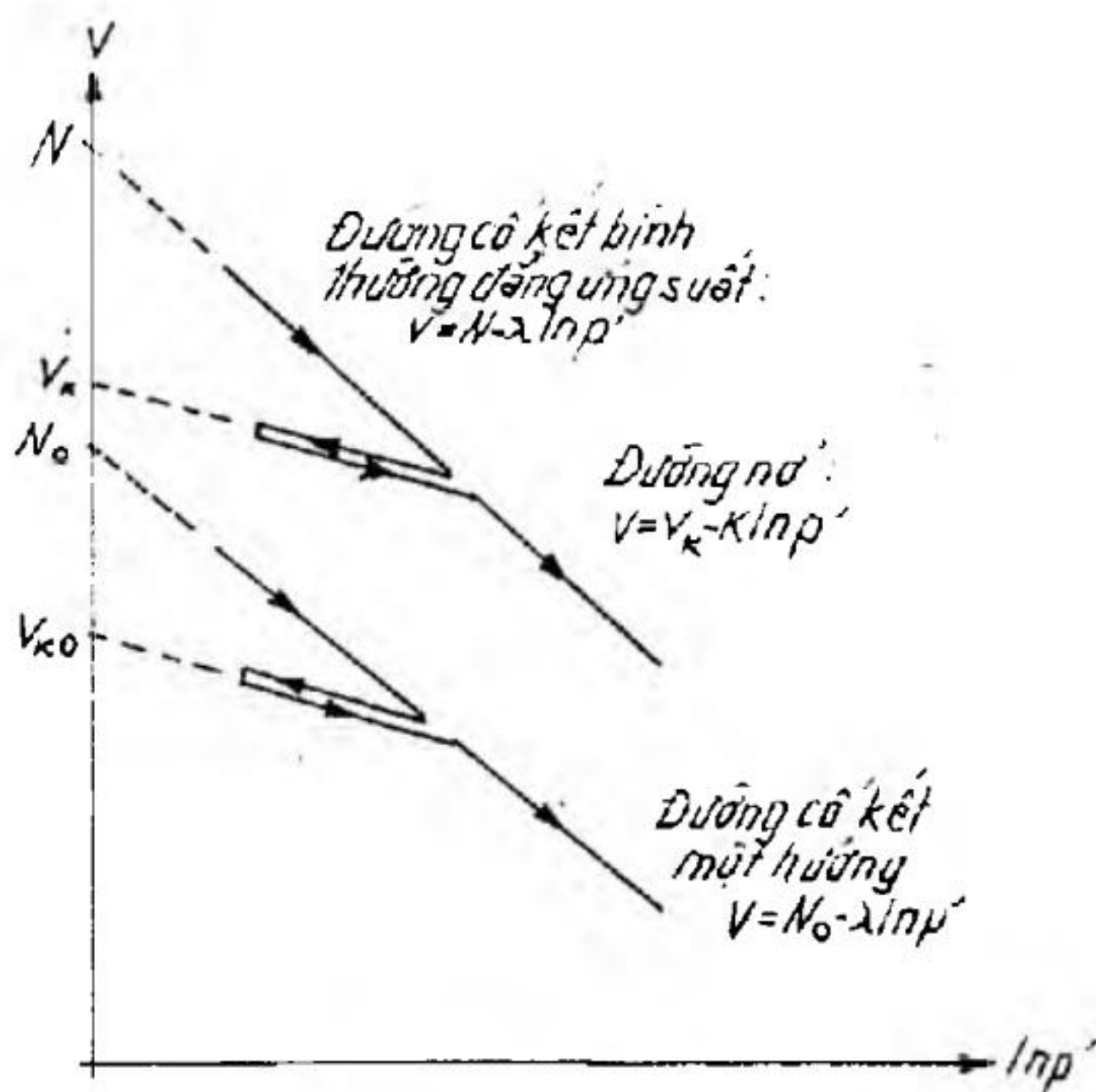
Hình 6-23. Đường trạng thái tới hạn và các đường ứng suất khí chất tải không thoát nước trên đất sét cổ kết bình thường.

Phương trình đường nở trong hệ $v/\ln p'$ là :

$$v = v_x - k \ln p' \quad [6.36]$$

Các đường cố kết bình thường và các đường nở đối với trường hợp cố kết đẳng ứng suất và cố kết một phương có thể coi là song song với nhau và có cùng các độ dốc (λ và k). Tuy nhiên các giá trị trên trục thể tích riêng đối với trường hợp cố kết một phương (N_0 và k_{vo}) sẽ thấp hơn (hình 6-24). Các đường này cũng song song với các đường vẽ trong hệ $e/\log p'$ (hình 6-7), do đó :

$$C_c = 2,3\lambda \text{ và } C_s = 2,3k \quad [6.37]$$



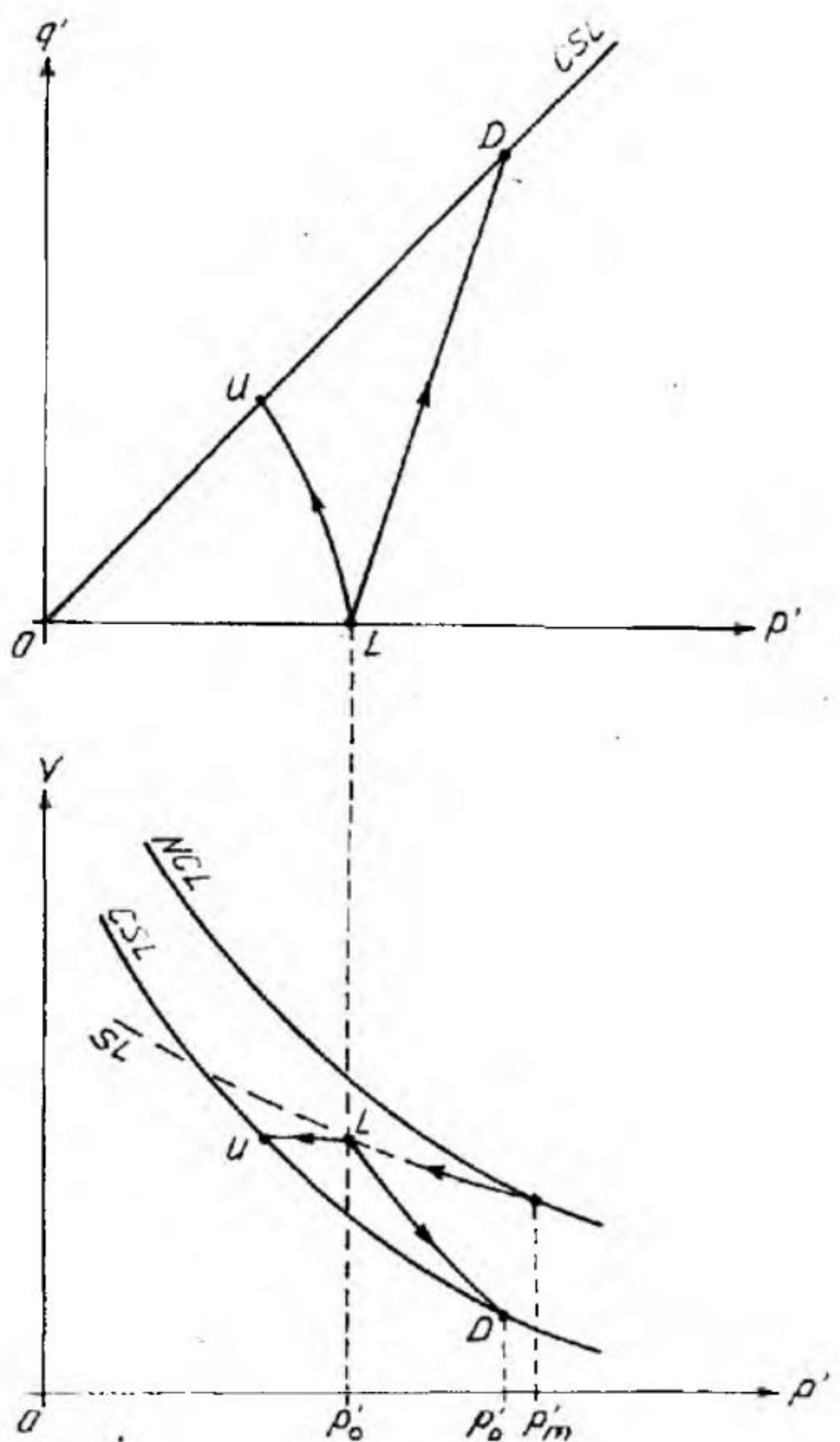
Hình 6-24. Đường cố kết và đường nở trong hệ tọa độ $v/\ln p'$.

Xem lại hình 6-21, thấy họ các đường ứng suất $C \rightarrow U$ và $C \rightarrow D$ có các dạng tương tự. Thực vậy, các đường này nằm trên mặt không gian ba chiều mà các biên của chúng là CSL và NCL. Rõ ràng đó là một phần của mặt trạng thái tới hạn được gọi là *mặt Roscoe* (theo tên gọi mới đây của giáo sư

K.H. Roscoe). Vị trí của đường ứng suất trên mặt Roscoe được xác định bởi áp suất cố kết (p'_0).

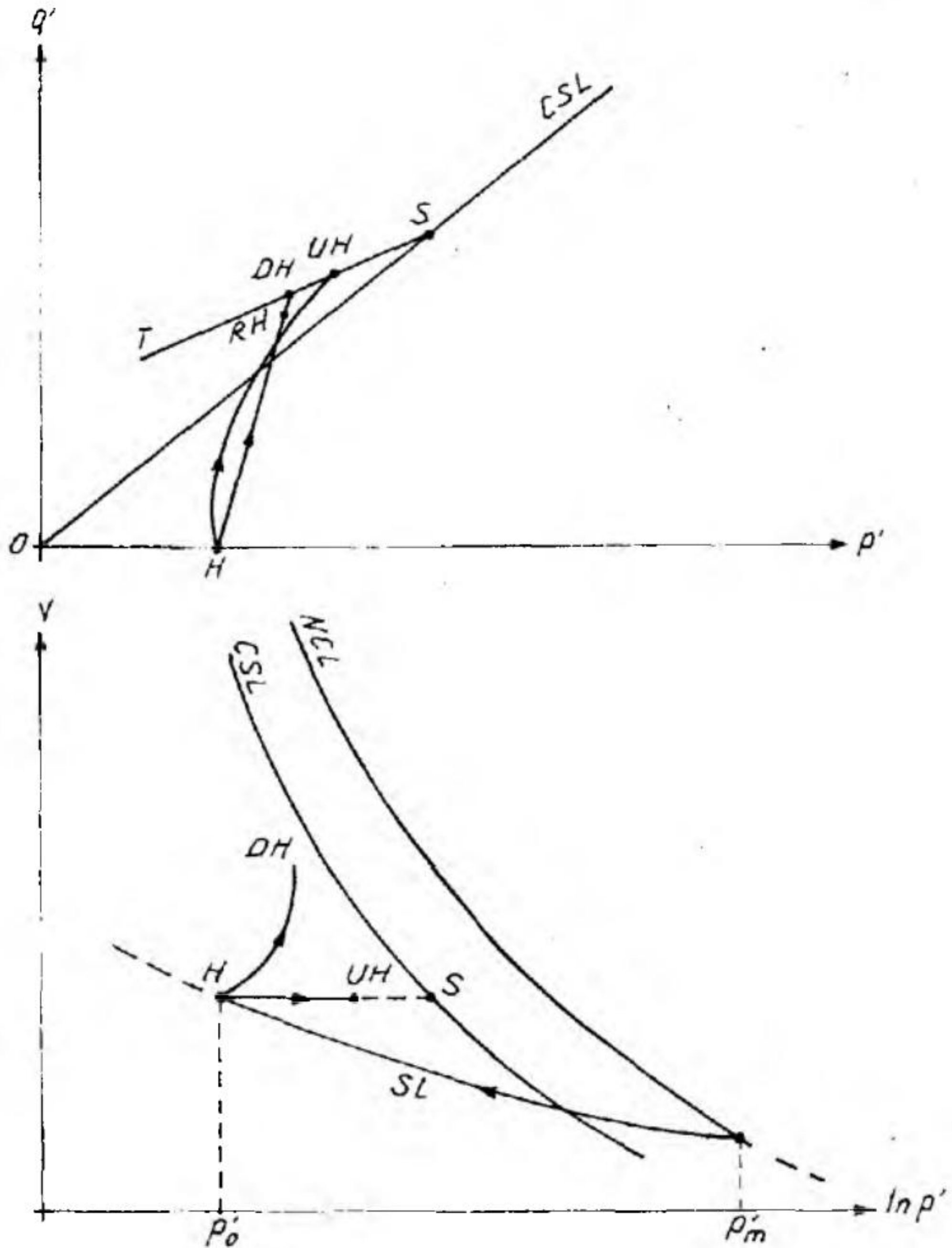
Trong trường hợp đất *hơi quá cố kết*, đường ứng suất sẽ bắt đầu trên đường nở tại điểm (L) giữa NCL và CSL (hình 6-25), nghĩa là ở thể tích lớn hơn thể tích tới hạn và độ ẩm lớn hơn độ ẩm tới hạn. Dưới tác dụng gia tải không thoát nước đường ứng suất là $L \rightarrow UL$ (thể tích không đổi) và với gia tải có thoát nước đường

ứng suất là $L \rightarrow DL$: Đối với đất quá cố kết nhiều thì cố kết sẽ xảy ra đến điểm nằm trên đường nở dưới đường CSL (Điểm H trên hình 6-26). Dưới tác dụng gia tải không thoát nước, thể tích đất không đổi, đường ứng suất là $H \rightarrow UH$. Ở đây UH là điểm nằm



Hình 6-25. Sơ đồ trạng thái tới hạn đối với đất hơi quá cố kết

phía trên hình chiếu của CSL đi qua gốc hệ q'/p' . Sau khi hóa dẻo, đường ứng suất sẽ tiếp tục kéo dài dọc theo đường thẳng (TS) gặp đường CSL tại S. Trạng thái tới hạn chỉ có khả năng đạt được trong vùng đất gần kề với mặt trượt có thể phát triển. Đất có mức độ quá cố kết càng lớn thì càng cần có biến dạng lớn hơn để đất đạt trạng thái tới hạn.



Hình 6-26. Sơ đồ trạng thái tới hạn đối với đất quá cố kết mạnh

Dưới tác dụng gia tải có thoát nước đất quá cố kết nhiều sẽ giãn nở ra và thể tích tiếp tục tăng sau khi chuyển sang dẻo. Đường ứng suất là $H \rightarrow DH$, ở đây DH là điểm phá hoại, cũng nằm trên đường TS. Sau khi chuyển sang dẻo, sự tăng thể tích gây nên sự giảm ứng suất tới giá trị còn dư (RH), giá trị này có thể nằm trên hoặc dưới đường CSL. Vùng đất lân cận mặt trượt sẽ bị ảnh hưởng nhiều do đó trở nên yếu hơn.

Như vậy TS biểu thị một phân của mặt biên trạng thái, nó điều khiển sự dẻo của đất quá cố kết nhiều và được gọi là *mặt Hvorslev* (theo giáo sư M.J. Hvorslev). Phần thứ ba của mặt biên trạng thái nằm giữa O và T trong mặt phẳng q'/p' . Mặt này thể hiện không có ứng suất kéo ($\sigma'_3 = 0$) là giới hạn được thừa nhận đối với mọi loại đất và được gọi là *mặt giới hạn không bị kéo*. Hình 6-27 chỉ ra (trong hệ tọa độ q'/p') phần có thể tích không đổi của toàn bộ mặt biên trạng thái, mà các phương trình định nghĩa của chúng là :

$$\text{Mặt giới hạn không bị kéo (OT)} : q' = 3p' \quad [6.38]$$

$$\text{Mặt Hvorslev (TS)} : q' = Hp' + (M - H) \exp \frac{\Gamma - v}{\lambda} \quad [6.39]$$

$$\text{Mặt Roscoe (SC)} : q' = Mp' \left[1 + \frac{\Gamma - v - \ln p'}{\lambda - k} \right] \quad [6.40]$$

Khi nghiên cứu trạng thái ứng suất biến dạng phẳng, để thuận tiện cần xác định lại các thông số thích hợp như sau [hình 6-28] :

$$\text{CSL} : t'_f = \sin \varphi'_c s'_l \quad [6.41]$$

$$v_f = \Gamma_{ps} - \lambda \ln s'_f \quad [6.42]$$

$$\text{NCL} : v = N_{ps} - \lambda \ln s' \quad [6.43]$$

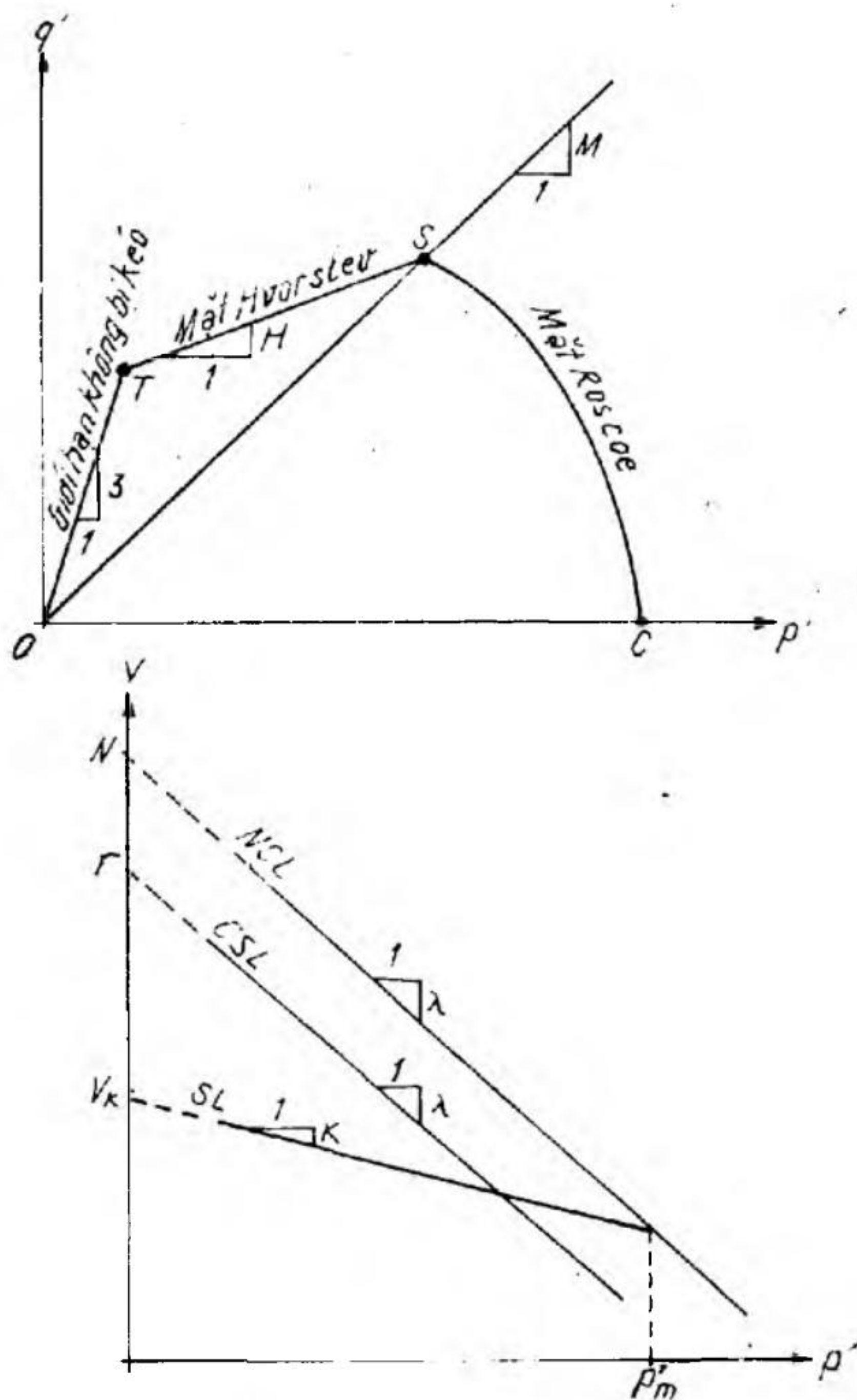
$$\text{SL} : v = v_k - k \ln s' \quad [6.44]$$

Mặt Hvorslev :

$$t' = s' \sin \varphi'_h + (\sin \varphi'_c - \sin \varphi'_h) \exp \frac{\Gamma_{ps} - v}{\lambda} \quad [6.45]$$

Mặt Roscoe :

$$t' = s' \sin \varphi_c \left[1 + \frac{\Gamma_{ps} - v - \lambda \ln s'}{\lambda - k} \right] \quad [6.46]$$



Hình 6-27. Mặt biên trạng thái tới hạn

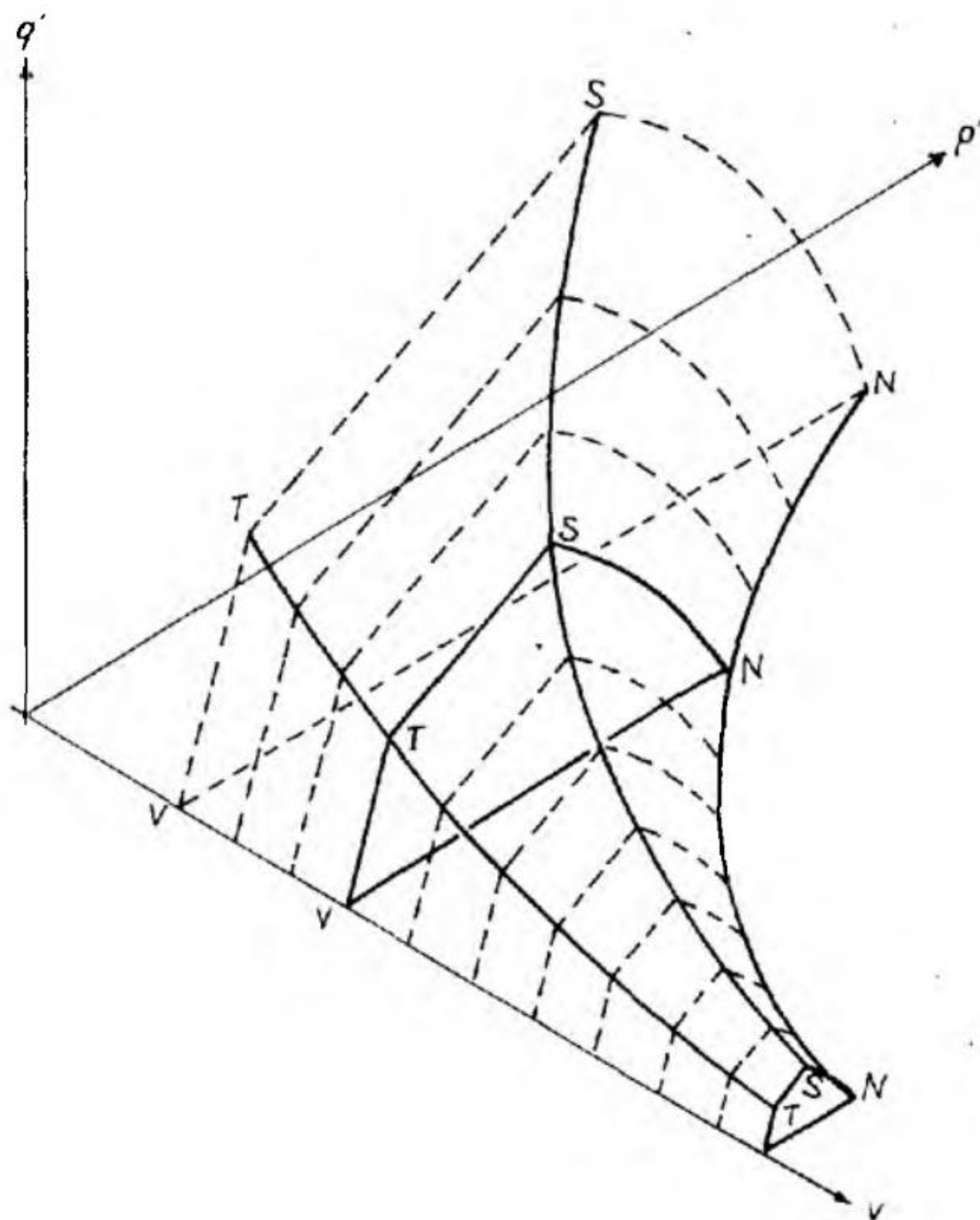
6-29, trong đó SS là đường trạng thái tới hạn, NN là đường cố kết bình thường và ba mặt hợp thành là :

VVTT là mặt giới hạn không bị kéo ;

TTSS là mặt Hvorslev ;

SSNN là mặt Roscoe.

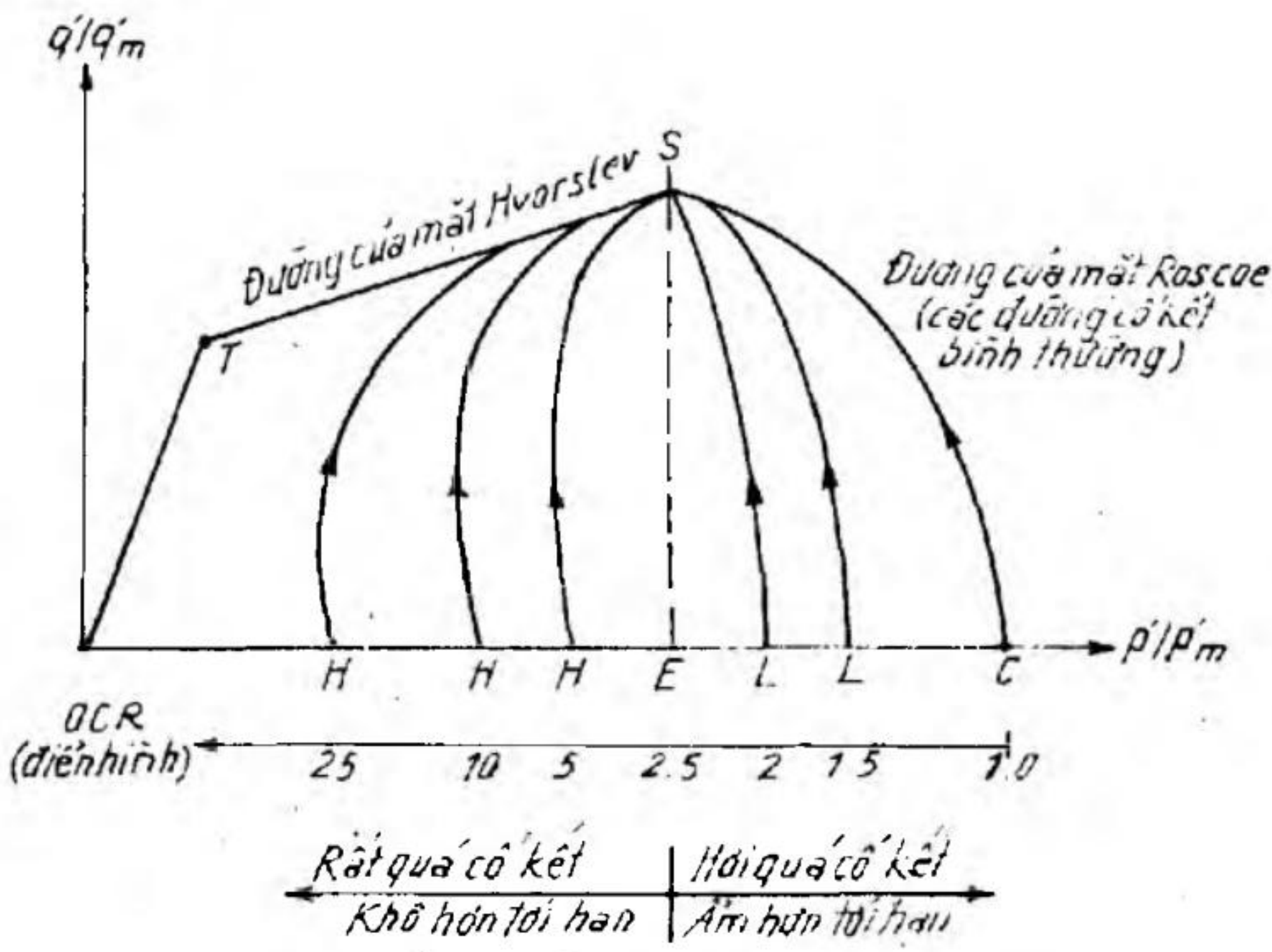
Điều quan trọng là cần phân biệt tính chất của đất cố kết bình thường và đất quá cố kết.



Hình 6-29. Sơ đồ ba chiều của toàn bộ mặt biên trạng thái tới hạn.

Các đường ứng suất đối với đất cô kết bình thường sẽ nằm trên mặt Roscoe ; ngược lại các đường ứng suất đối với đất quá cô kết nằm phía dưới mặt này và càng xa khi mức độ cô kết càng tăng.

Vị trí của đường ứng suất được quyết định bởi ứng suất trước cô kết. Nếu các giá trị q' và p' được chia cho ứng suất trước cô kết thì chúng được coi là chuẩn hóa. Hình 6-30 chỉ ra hình vẽ đã chuẩn hóa, nghĩa là q'/p'_m biến đổi với p'/p'_m thể hiện phần thể tích không đổi của mặt biên trạng thái. Như vậy, đối với đất cô kết bình thường ($p'_o = p'_m$) các đường ứng suất đi ngang qua mặt Roscoe gặp đường CSL tại S. Cũng như thế, với đất quá cô kết $p'_o < p'_m$ các đường ứng suất bắt đầu từ giữa E và C. Những loại đất hơi quá cô kết ít chặt hơn và ẩm ướt hơn ở trạng thái tới hạn và các đường ứng suất của chúng ($L \rightarrow S$) gặp đường CSL từ phía dưới. Còn các loại đất quá cô kết nhiều sẽ chặt hơn và khô hơn



Hình 6-30. Ảnh hưởng của OCR đến các đường ứng suất không thoát nước

khi ở trạng thái tới hạn và các đường ứng suất của chúng bắt đầu từ giữa O và E, và hơi cong theo hướng ngược lại khi chúng lên cao về phía Hvorslev. Sau đó chúng đi theo mặt Hvorslev nếu biến dạng tiếp tục không có sự thoát nước, hoặc là hơi hạ xuống khi có sự thoát nước.

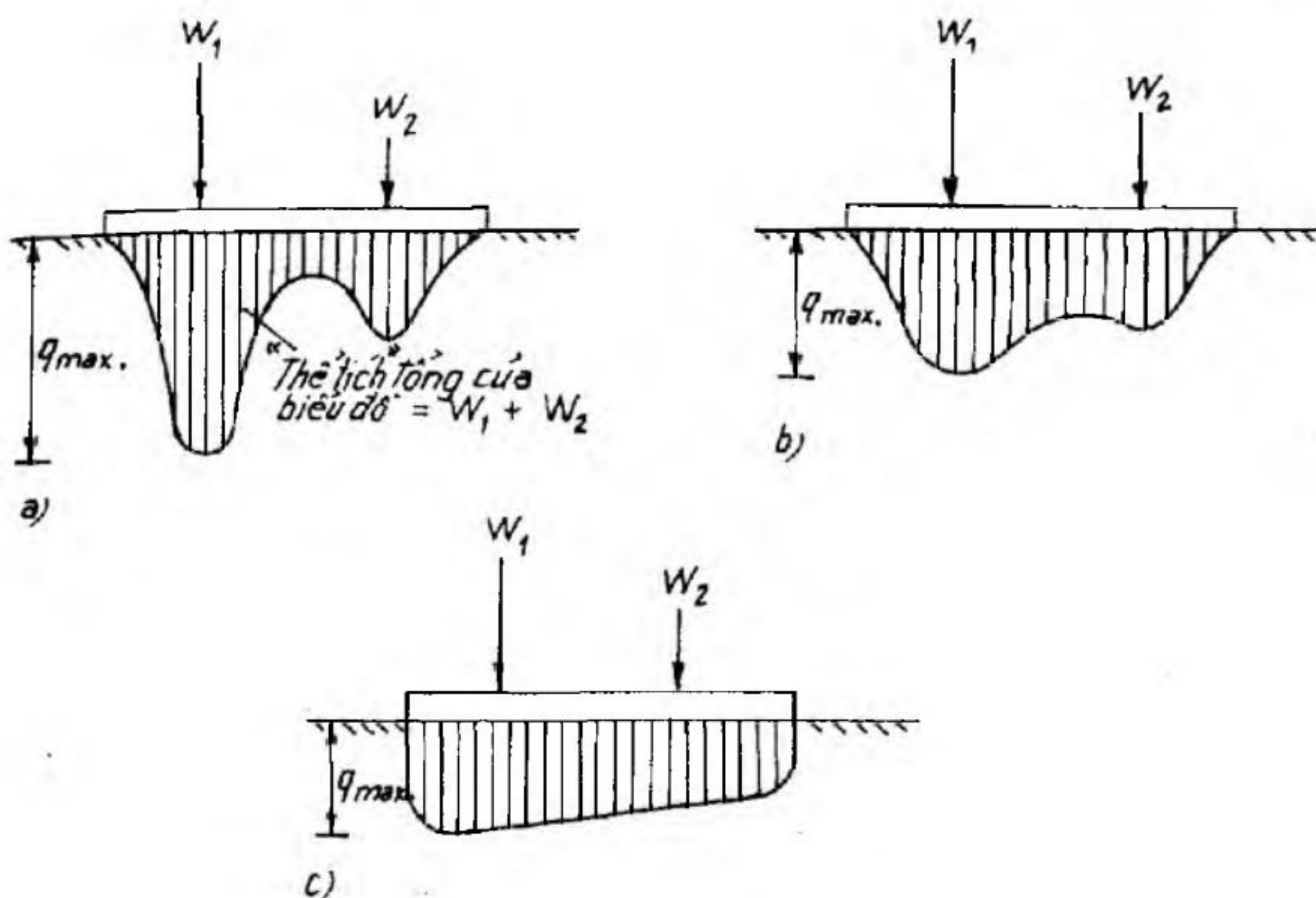
Điều rất quan trọng là cần nhận biết được 3 trạng thái ứng suất có ý nghĩa đặc trưng trong trường hợp đất quá cố kết nhiều. *Ứng suất cắt lớn nhất* có được khi đường ứng suất đạt tới bề mặt Hvorslev, ngược lại *ứng suất tới hạn* xuất hiện ở đường CSL. Sau khi bị biến dạng nhiều, đặc biệt dọc theo các mặt trượt trạng thái ứng suất dẻo sẽ sụt giảm tới giá trị dư thấp hơn. Khái niệm này là rất cần thiết trong việc giải thích các thí nghiệm cắt và áp dụng những thông số đo được vào các vấn đề thiết kế. Các ví dụ bằng số và các ví dụ giải thích xem trong chương 7.

6.7. Áp suất tiếp xúc

Áp suất tiếp xúc là cường độ tải trọng được truyền từ đáy móng tới đất nền. Sự phân bố áp suất tiếp xúc phụ thuộc cả vào độ cứng của móng và độ cứng nền đất.

Xét một móng chịu tải trọng tập trung của cột như chỉ dẫn trên hình 6-31. Khi móng tựa lên đất cứng hoặc đá có môđun biến dạng lớn, tải trọng được truyền lên phạm vi diện tích tương đối nhỏ gây nên cường độ ứng suất lớn (hình 6-31a). Trên nền đất có độ cứng nhỏ hơn, tải trọng sẽ được phân bố sang phía bên làm cho giá trị áp suất tiếp xúc nhỏ hơn ; đối với nền đất mềm yếu áp suất tiếp xúc có thể là gần như phân bố đều (hình 6-31b) và (hình 6-31c).

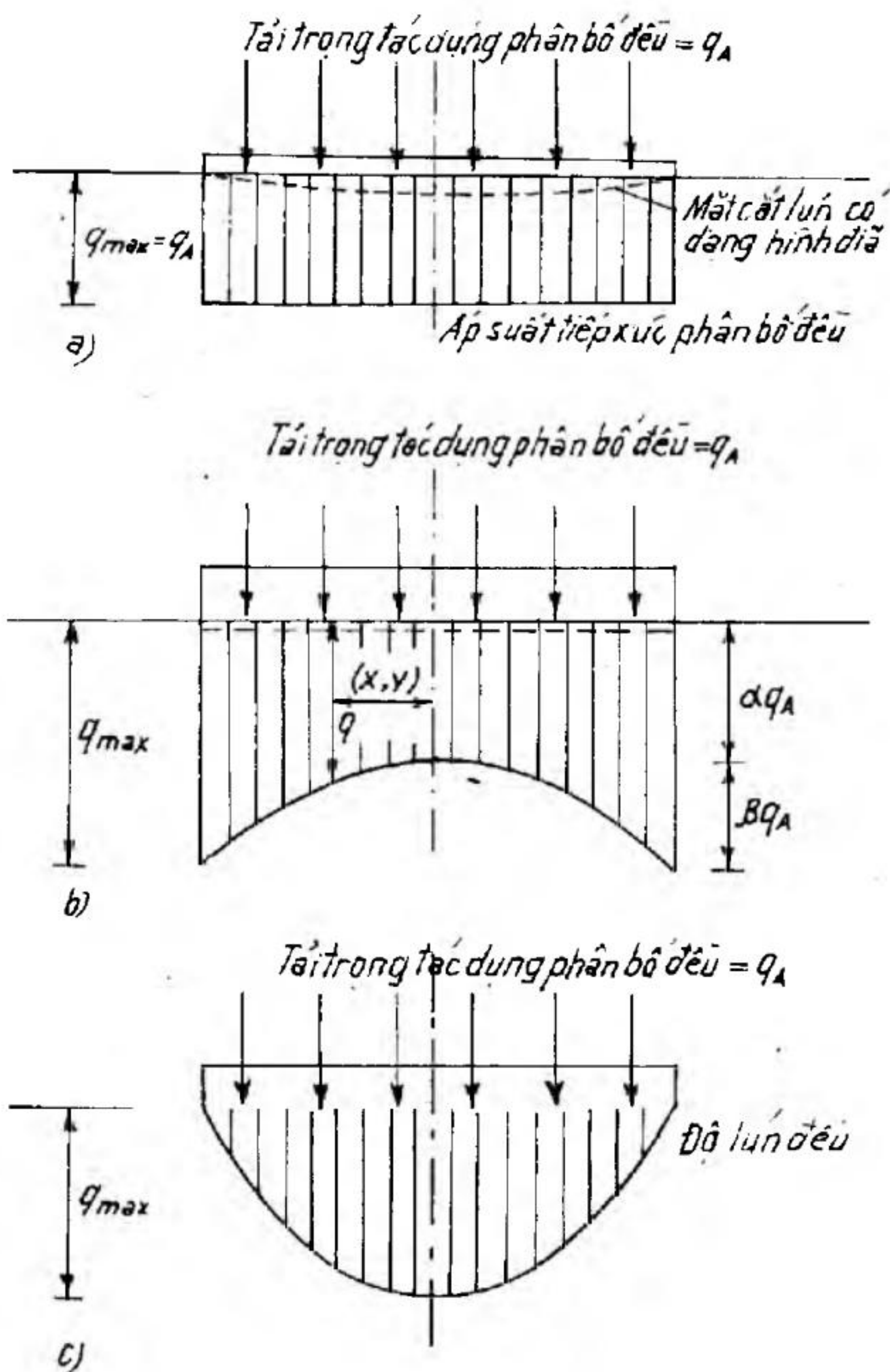
Khi có một lớp đất chịu nén tương đối dày ở phía dưới móng, biểu đồ lún trở nên không đều (dạng đĩa). Móng hoàn toàn mềm chịu tải trọng phân bố đều về mặt lý thuyết sẽ truyền áp suất tiếp xúc như nhau để gây nên độ lún không đều (hình 6-32a). Móng hoàn toàn cứng sẽ lún đều trong phạm vi của nó. Do đó, móng cứng bố trí đều trên đất chịu nén, sẽ truyền đi một áp suất tiếp xúc lớn hơn ở nơi gần phía mép móng. Tuy nhiên, không thể xuất hiện các ứng suất đặc biệt rất lớn ; vì do tính dẻo của đất mà một phần tải trọng sẽ được truyền vào phía trong, tạo nên sự phân bố áp suất như trên hình 6-32b.



Hình 6-31. Ảnh hưởng các loại đất đến áp suất tiếp xúc :
a) đá ; b) đất cứng ; c) đất yếu

Trong đất cát, áp suất tiếp xúc gần mép móng sẽ nhỏ hơn (hướng tới bằng không dưới các móng nông) và dưới tâm móng, áp suất sẽ lớn hơn do có áp suất hạn chế ở phía bên lớn (hình 6-32c). Dưới các móng sâu hơn, ngay tại mép móng cũng có áp suất hạn chế ở phía bên do đó áp suất tiếp xúc phân bố đều hơn.

Trong thực tế, hầu hết các móng không phải là mềm hoàn toàn hoặc cứng hoàn toàn, do đó sự phân bố áp suất thực sẽ theo sơ đồ nào đó nằm trong phạm vi giữa những sơ đồ cực đoan trên. Khi thiết kế những móng bê tông cốt thép có kích thước lớn, để tìm được sự phân bố áp suất tiếp xúc cần phải chú ý đến cả độ cứng của móng và của đất nền. Cũng cần nhớ rằng sự phân bố áp suất tiếp xúc ảnh hưởng đến mômen uốn trong móng. Đối với mục đích tính toán ứng suất và chuyển vị trong khối đất nền có thể thừa nhận áp suất tiếp xúc phân bố đều cũng đạt độ chính xác đủ dùng.



Hình 6-32. Ảnh hưởng độ cứng của móng đến áp suất tiếp xúc
a) móng mềm ; b) móng cứng trên nền đất dính ; c) móng cứng trên nền đất rời

6.8. Nền đất được coi như bán không gian đàn hồi

Trong khuôn khổ tự nhiên nhất, khối đất có bề mặt phía trên nằm ngang với các kích thước phía dưới (phương z) và phía ngang

(phương x và y) là rất lớn, là bán vô hạn so với kích thước công trình. Do đó mô hình được dùng để phân tích ứng suất là một *bán không gian vô hạn đàn hồi*. Nói cách khác, khối đất được xem là có ranh giới phía dưới và phía ngang rất xa và không ảnh hưởng đến việc phân tích.

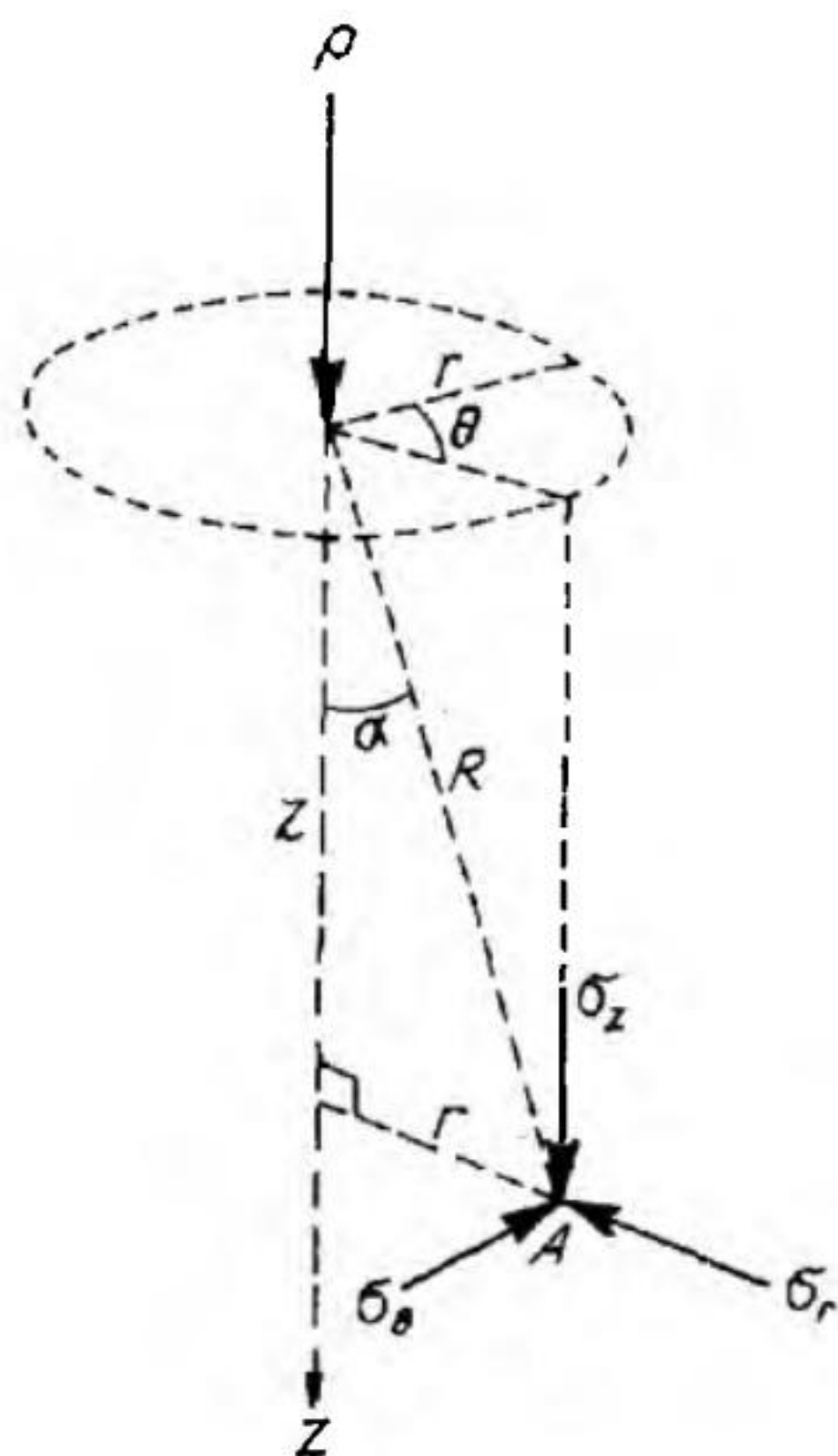
Cũng cần thiết phải thừa nhận mô hình khối đất là đồng nhất và là đàn hồi đẳng hướng. Việc chấp nhận những giả định trên có ý nghĩa với điều kiện là các giá trị ứng suất còn nhỏ hơn ứng suất gây nên sự dẻo của đất và các giới hạn phía dưới và phía ngang ở khoảng cách khá xa so với kích thước công trình. Mức độ sai số phát sinh từ những giả định trên phụ thuộc chủ yếu vào phạm vi còn có khả năng áp dụng định luật Hooke và vào lượng thay đổi cổ kết thể tích thường xuyên xảy ra.

6.9. Ứng suất do tải trọng tập trung đặt trên bề mặt

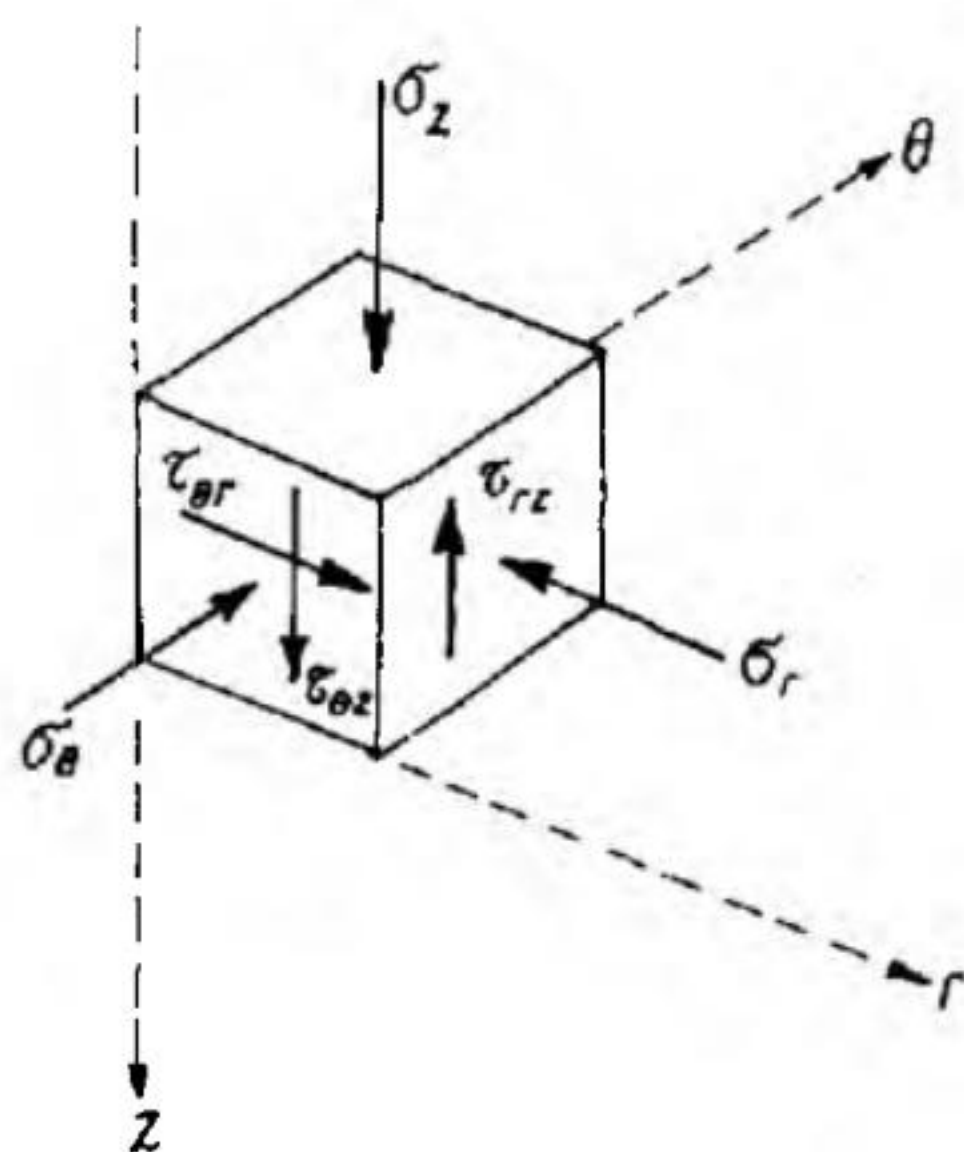
Việc xác định ứng suất do tải trọng tập trung tác dụng trên bề mặt bán không gian vô hạn đàn hồi đã được Boussinesq nêu ra vào năm 1885. Sử dụng các tọa độ cực (r , θ và z) thì các thành phần ứng suất tại một điểm đã cho (hình 6-33) dưới mặt nền là :

$$\begin{aligned}\sigma_z &= \frac{P}{z^2} \frac{3}{2\pi} \frac{z^5}{R^5} = \frac{P}{z^2} \frac{3}{2\pi} \cos^5 \alpha \\ \sigma_r &= \frac{P}{z^2} \left(\frac{3z^3 r^2}{2\pi R^5} - \frac{(1-2\nu)z^2}{R(R+z)} \right) \\ \sigma_\theta &= \frac{P}{z^2} \frac{(2\nu-1)}{2\pi} \left(\frac{z^3}{R^3} - \frac{z^2}{R(R+z)} \right) \quad [6.47] \\ \tau_{rz} &= \frac{P}{z^2} \cdot \frac{3}{2\pi} \frac{z^4 r}{R^5} = \sigma_z \frac{r}{z} \\ \tau_{\theta z} &= \tau_{\theta r} = 0\end{aligned}$$

Hệ số Poisson (ν) sẽ là 0,5 nếu không có sự thay đổi thể tích. Thừa nhận điều này ta có $\sigma_\theta = 0$ và $\sigma_r = \sigma_z (r^2/z^2)$.

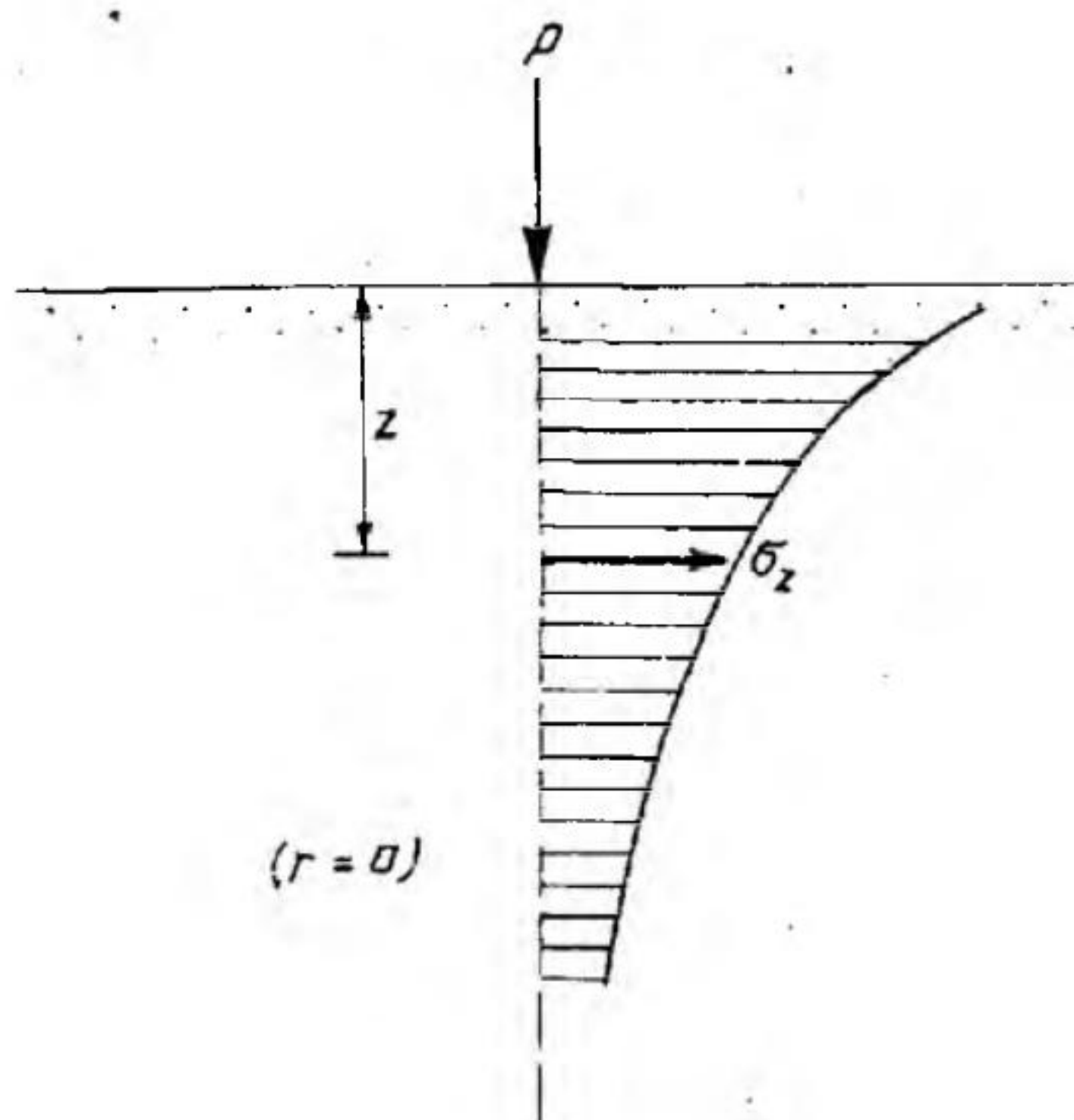


a)

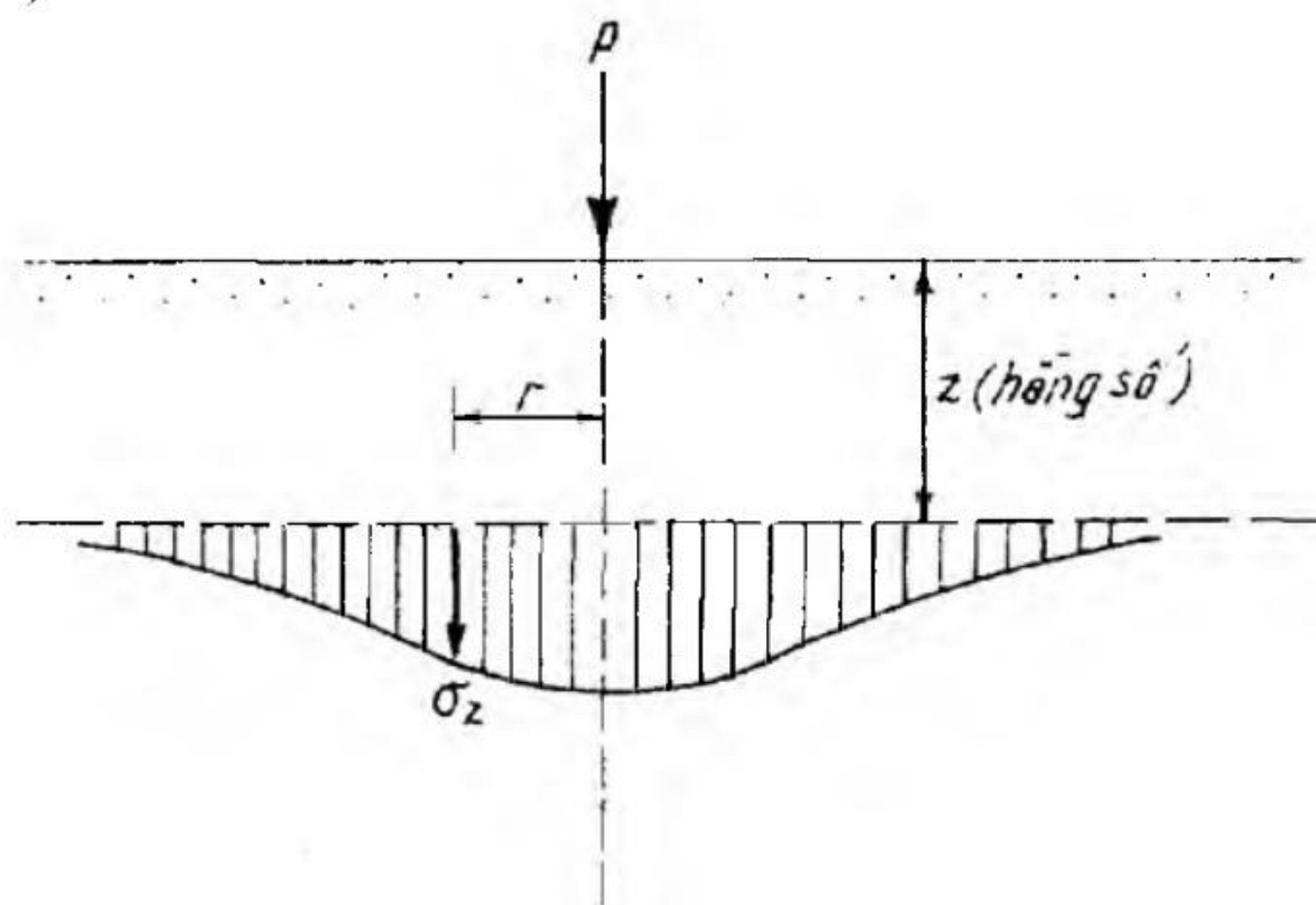


b)

Hình 6-33. Ứng suất do tải trọng tập trung



a)



b)

Hình 6-34. Sự thay đổi ứng suất do tải trọng tập trung
a) thay đổi σ_z với z ; b) thay đổi σ_z với r

Do đó thành phần cơ bản là σ_z có thể được viết :

$$\sigma_z = \frac{P}{z^2} \cdot I_p \quad [6.48]$$

Ở đây I_p được gọi là *thừa số ảnh hưởng* của tải trọng tập trung :

$$I_p = \frac{3}{2\pi} \frac{z^5}{R^5} = \frac{3}{2\pi} \left[\frac{1}{1 + (r/z)^2} \right]^{5/2} \quad [6.49]$$

Vì vậy có thể thấy rằng I_p thay đổi theo các giá trị r/z . Các giá trị I_p được lập thành bảng 6-2. Hình 6-34 chỉ ra sự thay đổi của thành phần ứng suất pháp thẳng đứng dọc theo các mặt phẳng nằm ngang và thẳng đứng.

Việc xác định ứng suất do tải trọng tập trung gây ra có thể áp dụng đối với các bài toán mà áp suất tiếp xúc được xem như là một loạt các tải trọng tập trung. Sau đó áp dụng nguyên lý cộng tác dụng cho từ 1 đến k tải trọng tập trung sẽ tính được ứng suất pháp và ứng suất tiếp theo phương thẳng đứng tại điểm đã cho là :

$$\sigma_z = \frac{1}{z^2} \sum^k (P I_p) \quad [6.50a]$$

$$\tau_{rz} = \frac{1}{z^2} \sum^k \left(P \frac{r}{z} I_p \right) \quad [6.50b]$$

Ví dụ mẫu 6.1. Một móng cho trên hình 6-35a chịu tác dụng tải trọng phân bố đều có cường độ 250 kN/m^2 trên diện tích có gạch nghiêng và cường độ 150 kN/m^2 trên diện tích không gạch. Xác định trị số ứng suất pháp và ứng suất tiếp theo phương thẳng tại điểm ở chiều sâu 3m bên dưới góc A.

Bài giải

Để có được lời giải ta sử dụng các thừa số ảnh hưởng của tải trọng tập trung. Móng được chia ra thành nhiều hình vuông có độ dài cạnh là 1m và tải trọng phân bố đều được coi là một loạt tải trọng tập trung đặt tại trọng tâm các hình vuông (hình 6-35b).

Tải trọng tập trung trên mỗi hình vuông có gạch nghiêng là 250kN. Tải trọng tập trung trên mỗi hình vuông không gạch nghiêng là 150kN. Những tính toán được lập thành bảng ở dưới.

Các tọa độ x và y được xác định đối với mỗi một hình vuông từ gốc chung tại A. Sau đó tính $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ và tính r/z .

Các hình vuông	Số (N)	x và y hoặc y và x	r	$\frac{r}{z}$	I_p^*	$I_p \times N_s$	P	$I \frac{r}{z} N_s$
1,4	2	1,5 2,5	2,915	0,972	0,0905	0,1810	150	0,1759
2,3	2	0,5 2,5	2,550	0,850	0,1226	0,2452		0,2084
5,15	2	1,5 1,5	2,121	0,707	0,1733	0,3466		0,2450
9,13,16	3	0,5 1,5	1,581	0,527	0,2587	0,7761		0,4090
14	1	0,5 0,5	0,707	0,236	0,4170	0,4170		0,0984

$$\sum(I_p) = 1,9659$$

$$\sum \left(I_p \frac{r}{z} \right) = 1,1367$$

8	1	1,5 1,5	2,121	0,707	0,1733	0,1733	250	0,1225
6,7,12	3	0,5 1,5	1,581	0,527	0,2587	0,7761		0,4090
10,11	2	0,5 0,5	0,707	0,236	0,4170	0,8340		0,1968

$$\sum(I_p) = 1,7834$$

$$\sum \left(I_p \frac{r}{z} \right) = 0,7283$$

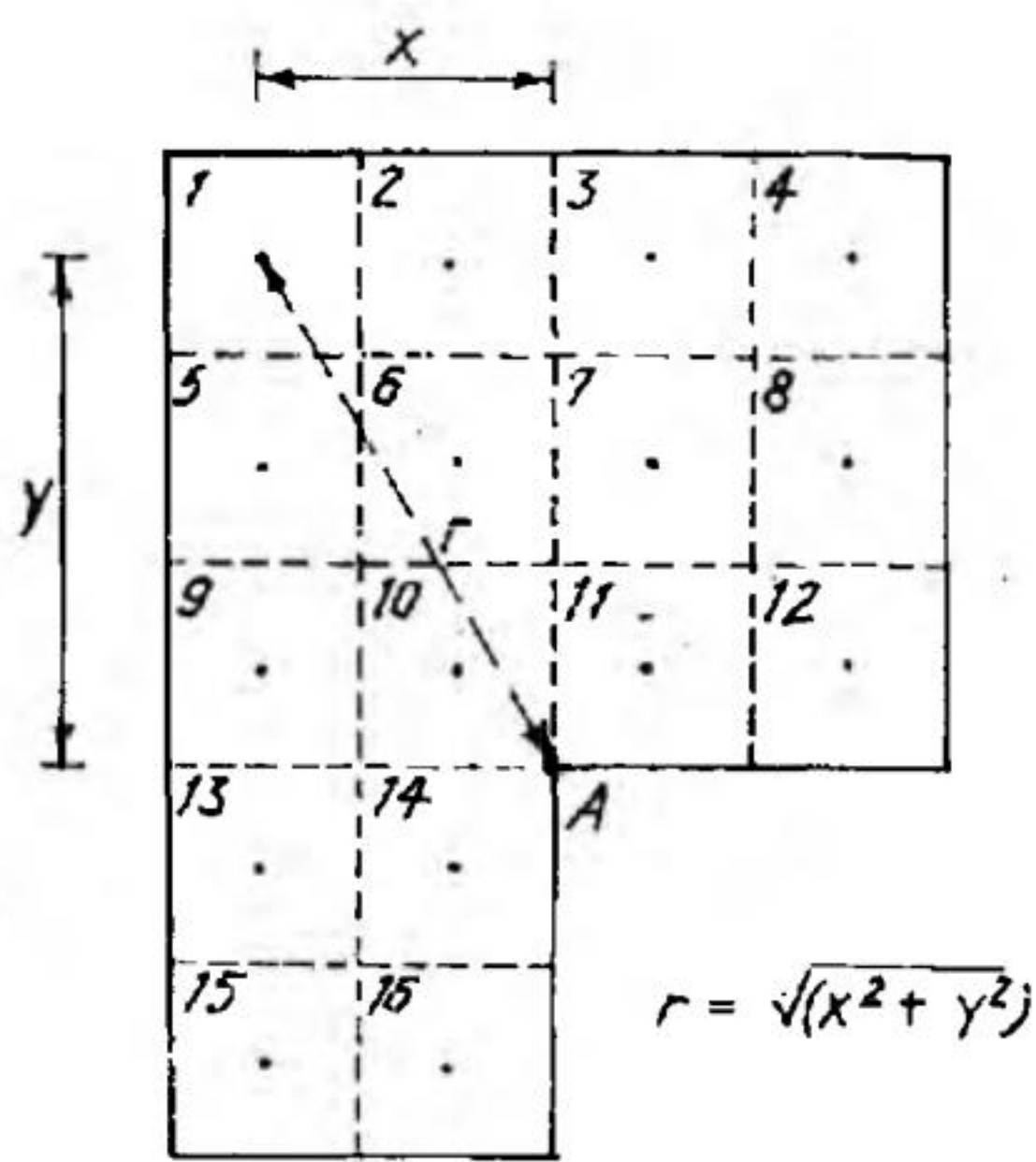
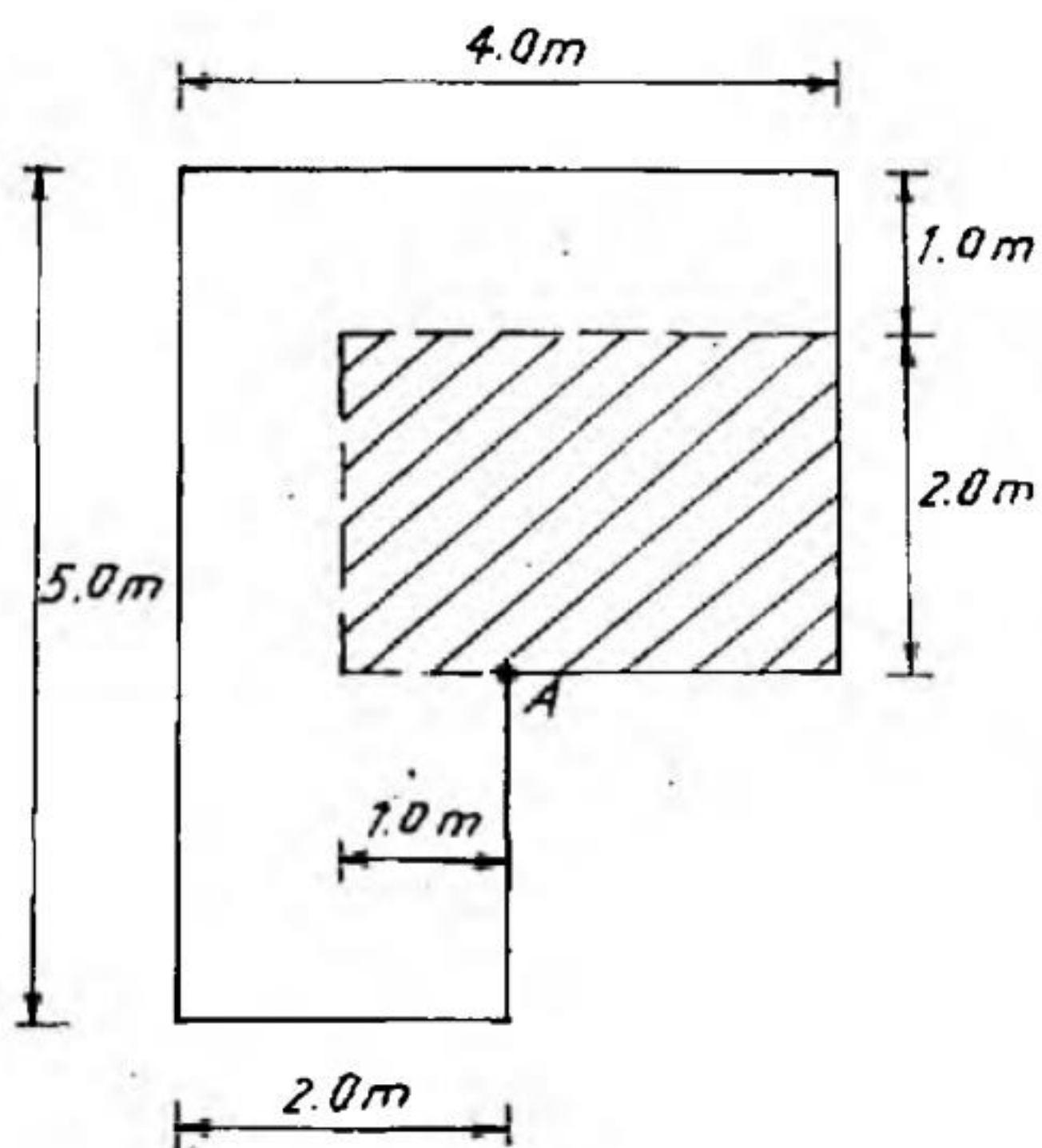
Các giá trị I_p ở đây được tính theo đẳng thức [6.49]. Nếu áp dụng phương pháp xác định I_p từ bảng 6-2 thì cần nội suy tuyến tính giữa các giá trị đã cho. Mặc dù phương pháp này có mắc phải những sai sót nhỏ nhưng rất thuận lợi khi không có sẵn máy tính.

Từ đẳng thức [6-50a] có :

Ứng suất pháp thẳng đứng $\sigma_z = \frac{1}{z^2} \sum(P I_p)$

Tổng cộng theo hai diện chất tải :

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \frac{1}{z^2} \left[\sum(P I_p)_{\text{có gạch}} + \sum(P I_p)_{\text{không gạch}} \right] \\ &= \frac{1}{9} (250 \times 1,7834 + 150 \times 1,9659) \\ &= \underline{82,30 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$



Hình 6-35

Tương tự từ đẳng thức [6.50b] có :

$$\begin{aligned}
 \tau_{rz} &= \frac{1}{z^2} \sum \left(P \frac{r}{z} I_p \right) \\
 &= \frac{1}{9} (250 \times 0,7283 + 150 \times 1,1367) \\
 &= \underline{39,2 \text{ kN/m}^2}
 \end{aligned}$$

**BẢNG 6-2. THỪA SỐ ẢNH HƯỞNG (I_p) ĐỐI VỚI ỨNG
SUẤT THẲNG DỨNG DO TẢI TRỌNG TẬP TRUNG**

r/z	I_p	r/z	I_p	r/z	I_p	r/z	I_p
0,00	0,4775	0,50	0,2733	1,00	0,0844	1,50	0,0251
0,02	0,4770	0,52	0,2625	1,02	0,0803	1,55	0,0224
0,04	0,4756	0,54	0,2518	1,04	0,0764	1,60	0,0200
0,06	0,4732	0,56	0,2414	1,06	0,0727	1,65	0,0179
0,08	0,4699	0,58	0,2313	1,08	0,0691	1,70	0,0160
0,10	0,4657	0,60	0,2214	1,10	0,0658	1,75	0,0144
0,12	0,4607	0,62	0,2117	1,12	0,0626	1,80	0,0129
0,14	0,4548	0,64	0,2024	1,14	0,0595	1,90	0,0105
0,16	0,4482	0,66	0,1934	1,16	0,0567	2,00	0,0084
0,18	0,4409	0,68	0,1846	1,18	0,0539	2,20	0,0058
0,20	0,4329	0,70	0,1762	1,20	0,0513	2,40	0,0040
0,22	0,4243	0,72	0,1681	1,22	0,0489	2,60	0,0028
0,24	0,4151	0,74	0,1602	1,24	0,0465	2,80	0,0021
0,26	0,4054	0,76	0,1527	1,26	0,0443	3,00	0,0015
0,28	0,3954	0,78	0,1455	1,28	0,0422	3,20	0,0011
0,30	0,3849	0,80	0,1386	1,30	0,0402	3,40	0,0009
0,32	0,3742	0,82	0,1320	1,32	0,0383	3,60	0,0007
0,34	0,3632	0,84	0,1257	1,34	0,0365	3,80	0,0005
0,36	0,3521	0,86	0,1196	1,36	0,0348	4,00	0,0004
0,38	0,3408	0,88	0,1138	1,38	0,0332	4,50	0,0002
0,40	0,3295	0,90	0,1083	1,40	0,0317	5,00	0,00014
0,42	0,3181	0,92	0,1031	1,42	0,0302	6,00	0,00006
0,44	0,3068	0,94	0,0981	1,44	0,0288	7,00	0,00003
0,46	0,2955	0,96	0,0933	1,46	0,0275	8,00	0,00001
0,48	0,2843	0,98	0,0887	1,48	0,0263	10,00	0,00000

$$\sigma_z = \frac{P}{z^2} I_p \quad \tau_{xz} = \frac{P}{z^2} I_p \frac{r}{z}$$

6.10. Ứng suất do tải trọng phân bố đều theo đường thẳng

Chắc chắn các tải trọng của những con đường giao thông (đường sắt, đường bộ) và tải trọng từ những bức tường có thể được giải quyết là những *tải trọng đường thẳng*, chúng có chiều dài dọc theo

một đường đã cho còn chiều rộng không có (về mặt lý thuyết). Lời giải của Boussinesq có thể được mở rộng để có được các thành phần ứng suất tại một điểm đã cho do tải trọng đường gây ra. (hình 6-36) :

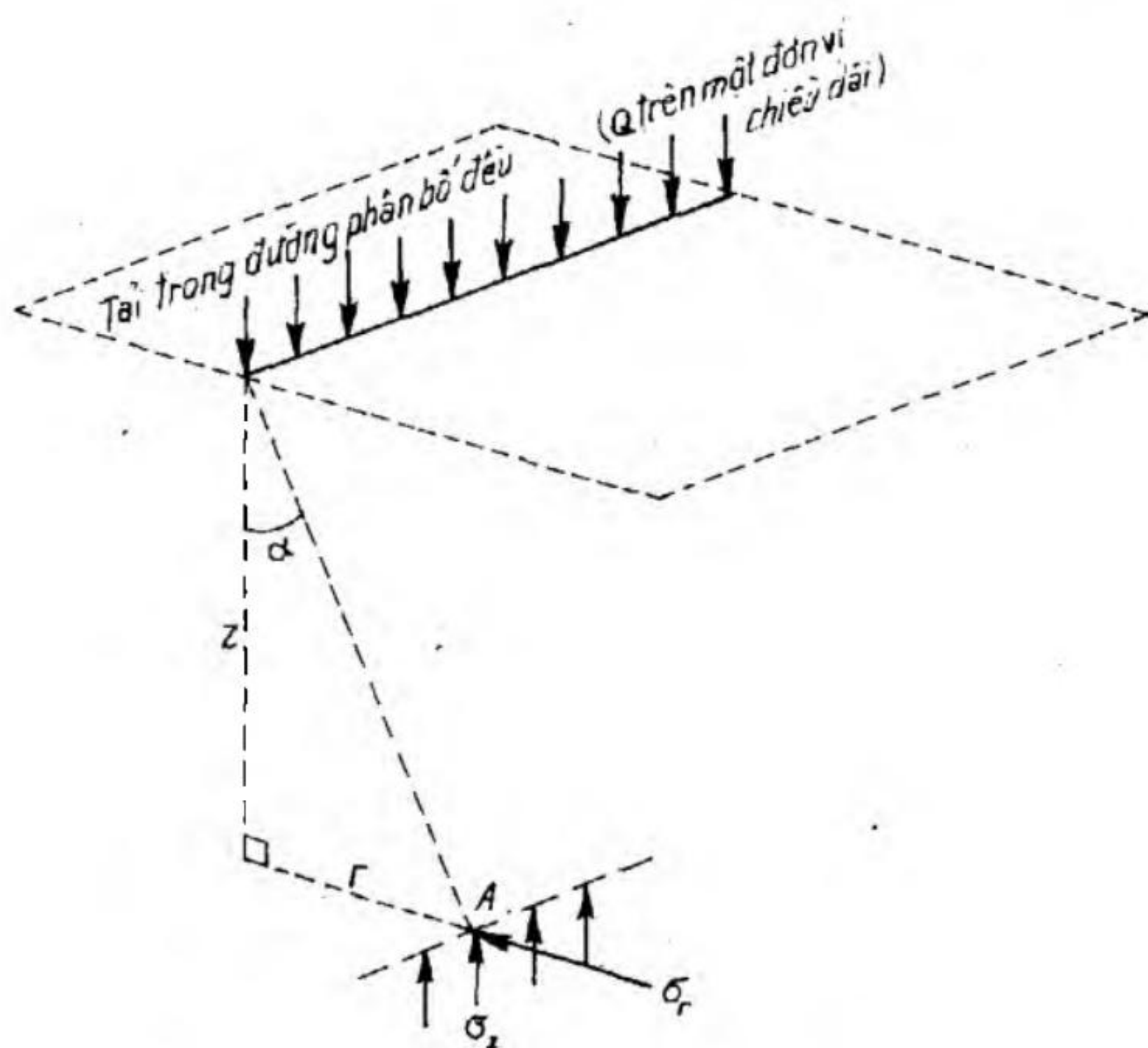
$$\text{Tại điểm A (r, z) : } \sigma_z = \frac{Q}{z} I_L \quad [6.51]$$

$$\sigma_r = \frac{Q}{z} I_L \left(\frac{r}{z} \right)^2 \quad [6.52]$$

$$\tau_{rz} = \frac{Q}{z} I_L \left(\frac{r}{z} \right) \quad [6.53]$$

Ở đây thừa số ảnh hưởng của tải trọng đường :

$$I_L = \frac{2}{\pi} \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2} \right]^2 \quad [6.54]$$



Hình 6-36. Các ứng suất do tải trọng đường

Các giá trị I_L cho trong bảng 6-3.

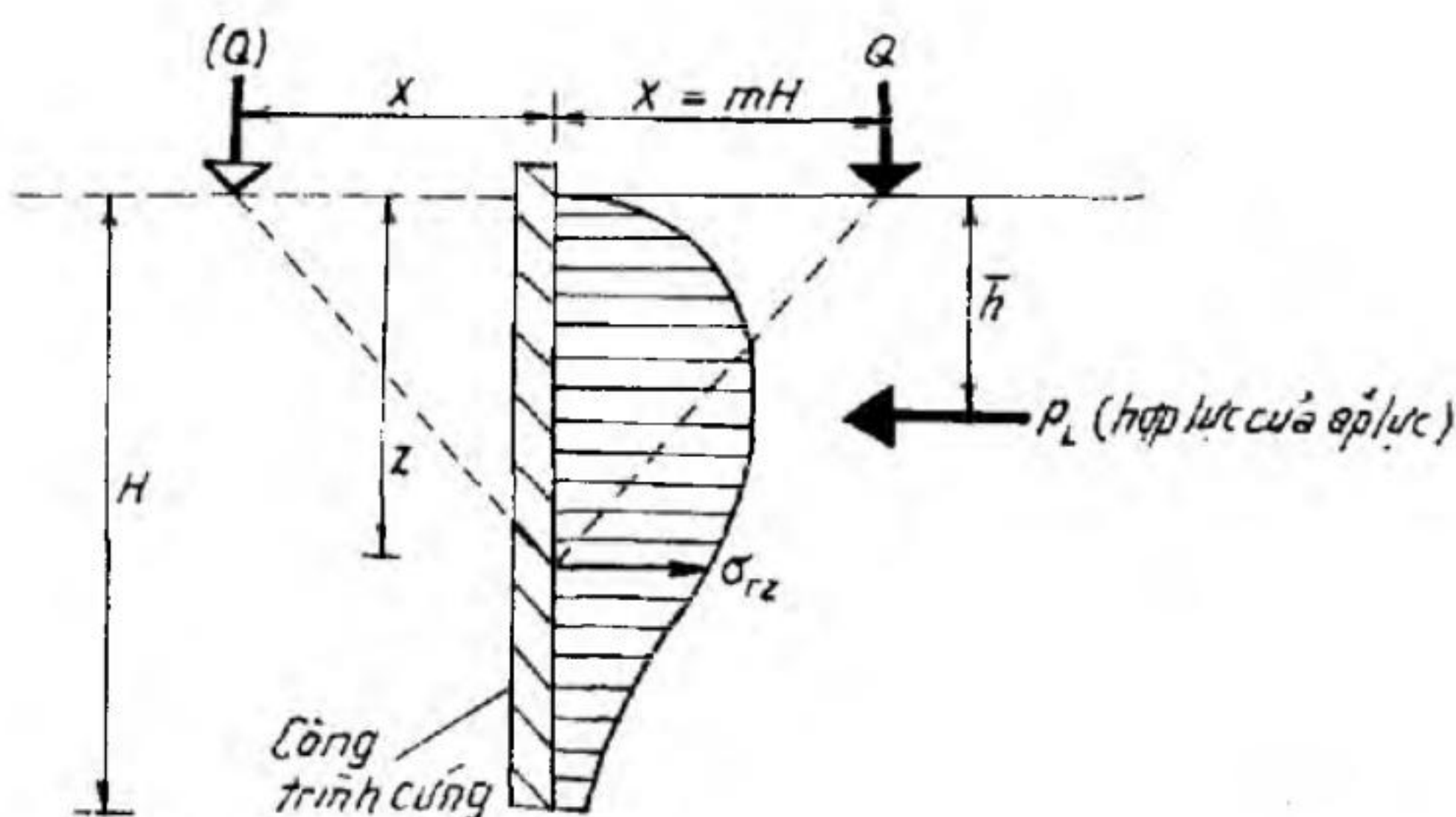
BẢNG 6-3. NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG (I_L) ĐỐI VỚI ỨNG SUẤT
THẲNG DỨNG DO TẢI TRỌNG ĐƯỜNG

r/z	I_L	r/z	I_L	r/z	I_L
0,00	0,637	0,75	0,261	2,0	0,025
0,05	0,633	0,80	0,237	2,1	0,022
0,10	0,624	0,85	0,215	2,2	0,019
0,15	0,609	0,90	0,194	2,3	0,016
0,20	0,589	0,95	0,176	2,4	0,014
0,25	0,564	1,00	0,159	2,5	0,012
0,30	0,536	1,10	0,130	2,6	0,011
0,35	0,505	1,20	0,107	2,7	0,009
0,40	0,473	1,30	0,088	2,8	0,008
0,45	0,440	1,40	0,073	2,9	0,007
0,50	0,407	1,50	0,060	3,0	0,006
0,55	0,375	1,60	0,050	3,5	0,004
0,60	0,344	1,70	0,042	4,0	0,002
0,65	0,315	1,80	0,035	5,0	0,001
0,70	0,287	1,90	0,030	6,0	0,000

$$\sigma_z = \frac{Q}{z} I_L \quad \tau_{xz} = \frac{Q}{z} I_L \frac{r}{z} \quad (\text{xem hình 6-36})$$

Chú thích : lực ép ngang do tải trọng đường gây ra xem tiếp
ở mục 8.3 và bảng 8-1.

Đẳng thức [6.52] biểu thị thành phần ứng suất theo phương ngang có thể được sử dụng để xác định áp lực ngang tác dụng vào các công trình chấn đất như là cọc cừ, tường bê tông. Cần thừa nhận những công trình như thế là cứng và áp lực ngang trên thực tế là do hai tải trọng đường : một tải trọng có thực và một tải trọng tương đương được đặt ở một khoảng cách tương đương về phía khác của công trình (hình 6-37).



Hình 6-37. Lực ép ngang lên công trình cứng do tải trọng đường

Ứng suất ngang ở chiều sâu z cho tải trọng đường có thể nhận được từ :

$$\sigma'_{rz} = 2\sigma_r = \frac{4Q}{\pi} \frac{x^2 z}{(x^2 + z^2)^2}$$

Đối với công trình có chiều cao (hoặc chiều sâu) H , lực ép ngang có thể tìm được bằng cách tích phân biểu thức trên :

$$\begin{aligned} P_L &= \int_0^H \sigma'_{rz} dz \\ &= \frac{4Q}{\pi} \int_0^H \frac{x^2 z dz}{(x^2 + z^2)^2} = \frac{2Q}{\pi} \frac{H^2}{x^2 + H^2} \end{aligned}$$

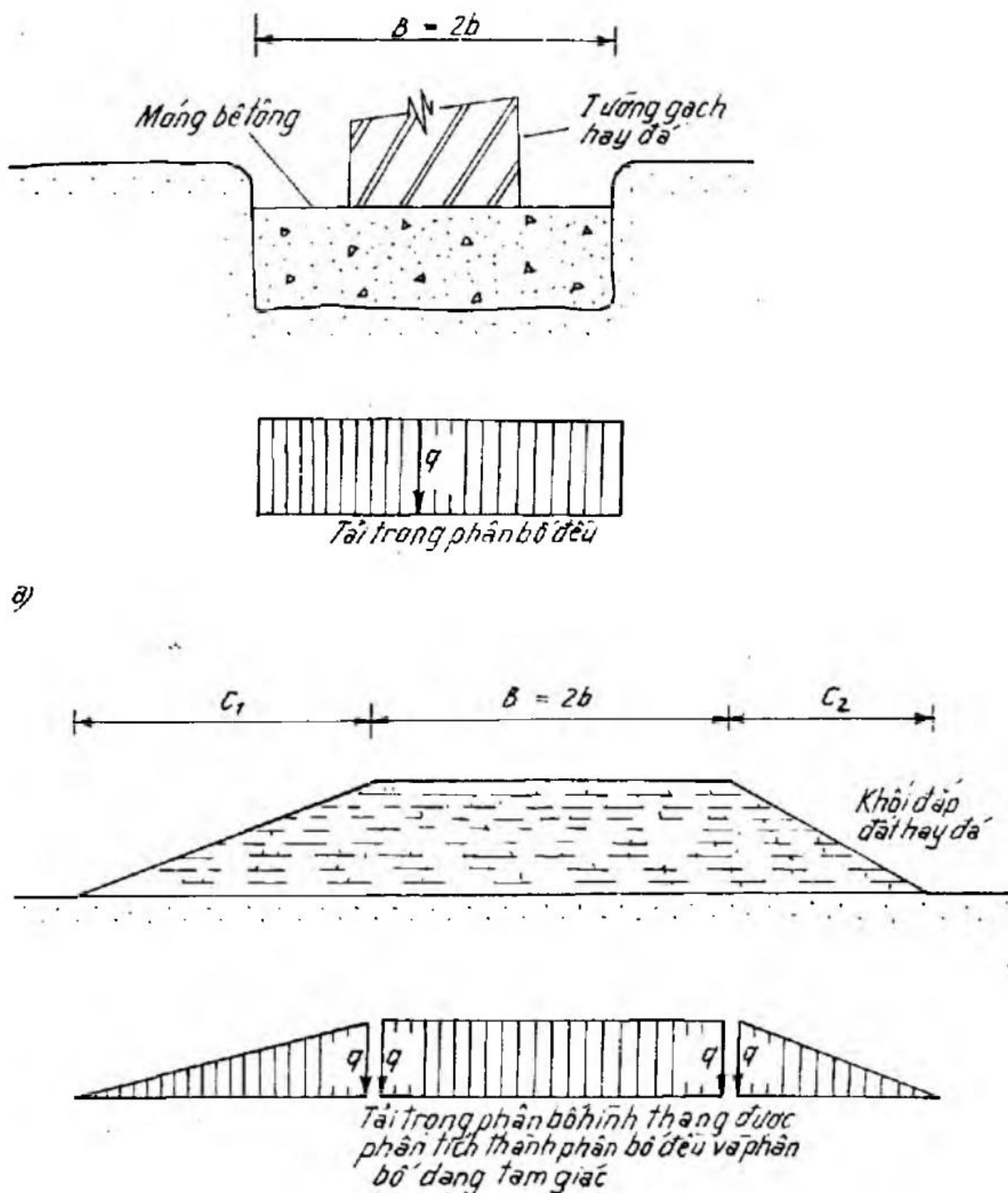
Hoặc đặt $x = mH$

$$P_L = \frac{2Q}{\pi} \cdot \frac{1}{m^2 + 1} \quad [6.55]$$

Lực P_L đi qua trọng tâm diện tích biểu đồ phân bố, vị trí của nó có thể được xác định bằng cách lấy mômen diện tích biểu đồ. Lời giải đối với lực P_L và vị trí của nó cho trong bảng 8-1 (xem ở mục 8.2).

6.11. Ứng suất do tải trọng băng liên tục

Móng băng là các móng có kích thước chiều dài rất lớn so với chiều rộng. Chúng thường tác dụng một tải trọng phân bố đều



Hình 6-38. Tải trọng băng phân bố đều và dạng tam giác
a) tải trọng của móng băng ; b) tải trọng do đắp đường.

hoặc gần như đều dọc theo chiều dài. Trong trường hợp như vậy chiều dài được coi là vô hạn và đó là bài toán hai chiều. Xét sự phân bố tải trọng theo mặt cắt ngang có hai dạng chung dùng làm cơ sở để giải quyết hầu hết các trường hợp thực tế :

a) Tải trọng băng phân bố đều - không đổi theo mặt cắt ngang.

b) Tải trọng băng dạng tam giác - thay đổi tuyến tính theo mặt cắt ngang.

Hình 6-38 minh họa việc áp dụng các dạng cơ bản trên đối với các bài toán như các móng băng dưới tường, chúng có thể được xem như truyền áp suất tiếp xúc phân bố đều, còn tải trọng do những con đường thì phần giữa là phân bố đều, các phần ở hai bên mái phân bố dạng tam giác. Tải trọng lệch tâm có thể xảy ra do gió hoặc do các lực ngang khác hoặc như do hậu quả tác dụng áp lực ngang của đất trong trường hợp các tường chắn. Ứng suất tại một điểm bất kỳ dưới các tải trọng băng có thể nhận được từ phương pháp cộng tác dụng do các thành phần phân bố khác nhau gây ra.

Tải trọng băng phân bố đều. Phương pháp giải tích trong trường hợp này trước hết là tìm các ứng suất chính (σ_1 , σ_3) ở điểm đã cho. Sau đó dùng vòng Mohr ứng suất xác định các ứng suất theo các phương trục giao dựa vào các góc α và β . (hình 6-39).

Các ứng suất chính :

$$\sigma_1 = \frac{q}{\pi} (\beta + \sin\beta),$$

$$\sigma_3 = \frac{q}{\pi} (\beta - \sin\beta).$$

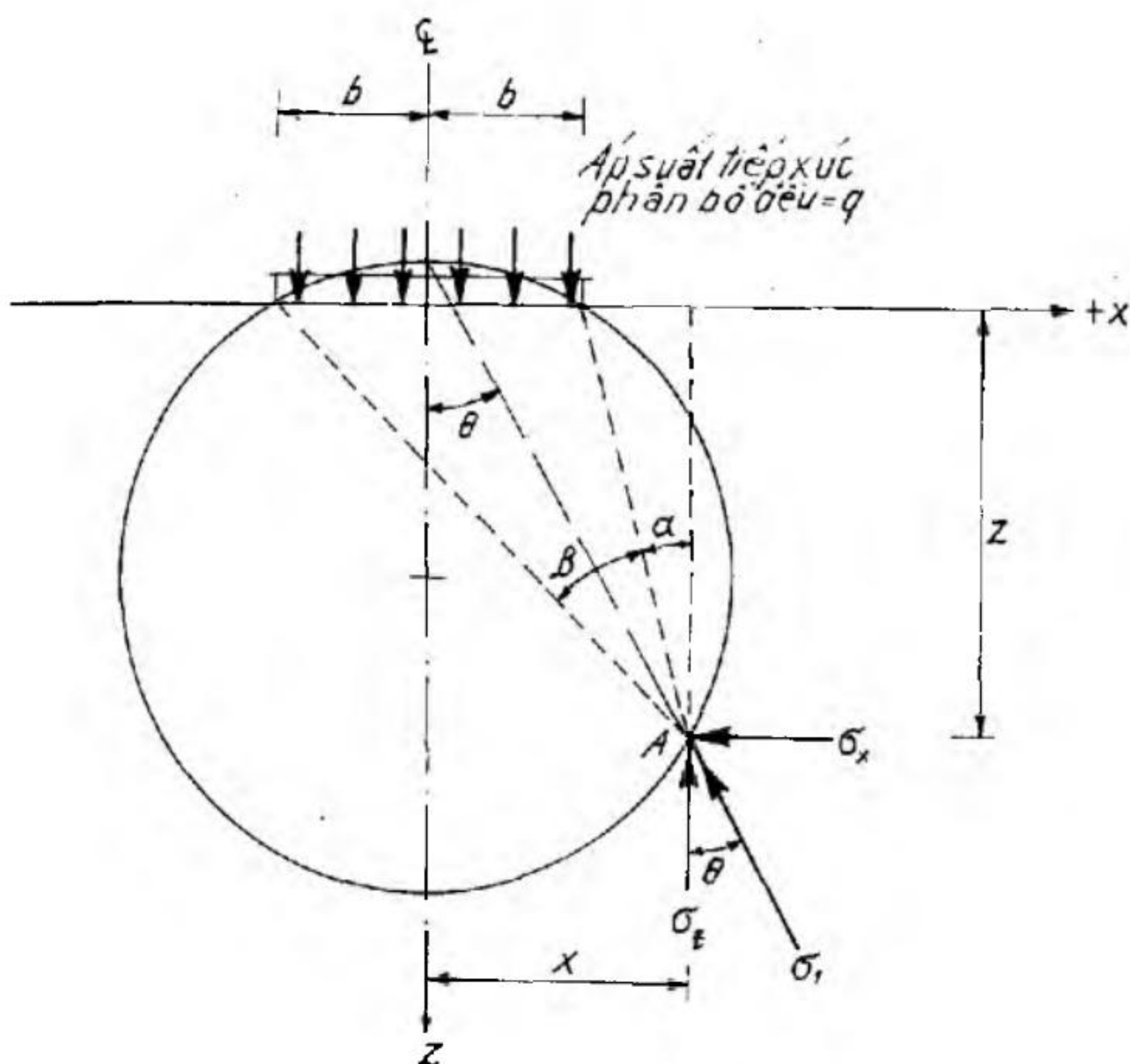
Những ứng suất theo các phương trục giao

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} [\beta + \sin\beta \cos(2\alpha + \beta)] \quad [6.56]$$

$$\sigma_x = \frac{q}{\pi} [\beta - \sin\beta \cos(2\alpha + \beta)] \quad [6.57]$$

Ứng suất tiếp thẳng đứng :

$$\tau_{xz} = \frac{q}{\pi} [\sin\beta \cos(2\alpha + \beta)] \quad [6.58]$$



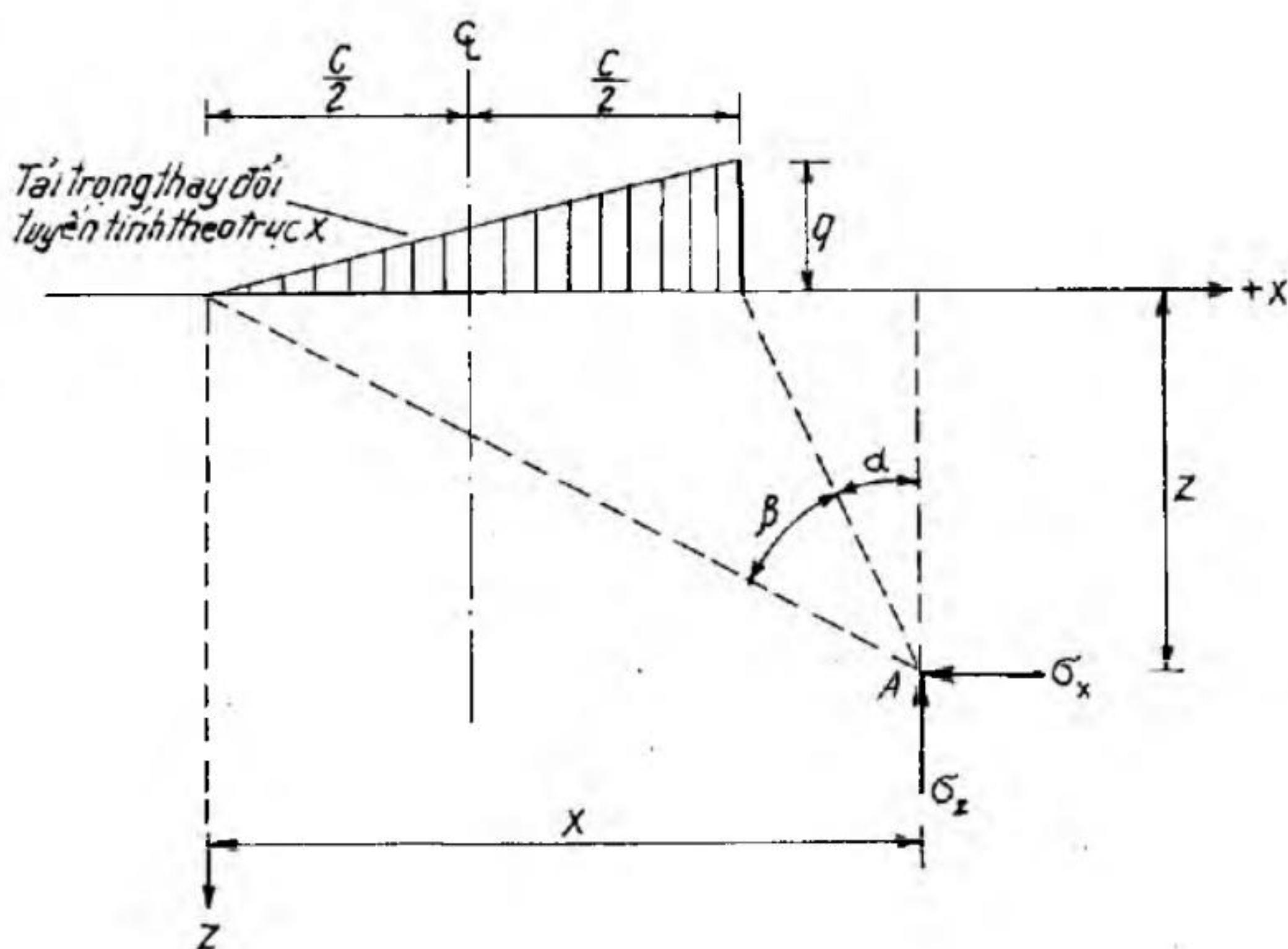
Hình 6-39. Các ứng suất do tải trọng băng phân bố đều

Các giá trị của góc α và β có thể xác định được từ những tọa độ của điểm cần tính ứng suất theo hình học thuần túy. Tuy nhiên đối với thực tế, thuận tiện hơn là sử dụng biểu thức thừa số ảnh hưởng.

$$\sigma_z = q \cdot I_s \quad [6.59]$$

Ở đây I_s là thừa số ảnh hưởng đối với tải trọng băng phân bố đều suy ra từ đẳng thức [5.56]. Các giá trị I_s tương ứng với các tỷ số z/b và x/b cho trong bảng 6-4.

Tải trọng băng dạng tam giác. Ở đây áp suất tiếp xúc được coi là thay đổi tuyến tính theo chiều rộng (theo trục x). Các ứng suất theo các phương trục giao tại điểm A đã cho (hình 6-40) là :



Hình 6-40. Các ứng suất do tải trọng bằng dạng tam giác.

$$\sigma_z = \frac{q}{\pi} \left[\frac{x}{c} \beta - \frac{1}{2} \sin 2\alpha \right] \quad [6.60]$$

$$\sigma_x = \left[\frac{x}{c} \beta + \frac{1}{2} \sin 2\alpha - \frac{z}{c} \log_c \left(\frac{x^2 - z^2}{x^2 - c^2 - z^2} \right) \right] \quad [6.61]$$

Ứng suất tiếp thẳng đứng là :

$$\tau_{zx} = \frac{q}{2\pi} \left[1 + \cos 2\beta - \frac{2z}{c} \alpha \right] \quad [6.62]$$

Các giá trị của góc α và β có thể được xác định từ những tọa độ của điểm cần tính ứng suất theo hình học thuần túy. Tuy nhiên đối với thực tế để thuận tiện người ta sử dụng biểu thức thừa số ảnh hưởng :

$$\sigma_z = qI_T \quad [6.63]$$

Ở đây I_T là thừa số ảnh hưởng đối với tải trọng bằng phân bố dạng tam giác suy ra từ đẳng thức [6.60]. Các giá trị I_T tương ứng với các tỷ số z/c và x/c cho trong bảng 6-5.

BẢNG 6-4. THỈƯA SỐ ẢNH HƯỞNG (I) ĐỐI VỚI ỨNG SUẤT
THẲNG ĐỨNG DO TẢI TRỌNG BẰNG PHÂN BỐ ĐỀU

x/b z/b	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0	1,25	1,50	2,0	3,0	5,0	10,0
0,0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,2	0,997	0,996	0,992	0,979	0,909	0,775	0,500	0,059	0,011	0,002	0,000	0,000	0,000
0,4	0,977	0,973	0,955	0,906	0,773	0,651	0,498	0,178	0,059	0,011	0,001	0,000	0,000
0,6	0,937	0,928	0,896	0,825	0,691	0,598	0,495	0,258	0,120	0,030	0,004	0,000	0,000
0,8	0,881	0,869	0,829	0,755	0,638	0,566	0,489	0,305	0,173	0,056	0,010	0,001	0,000
1,0	0,818	0,805	0,766	0,696	0,598	0,540	0,480	0,332	0,214	0,084	0,017	0,002	0,000
1,2	0,755	0,743	0,707	0,646	0,564	0,517	0,468	0,347	0,243	0,111	0,026	0,004	0,000
1,4	0,696	0,685	0,653	0,602	0,534	0,495	0,455	0,354	0,263	0,135	0,037	0,005	0,000
1,6	0,642	0,633	0,605	0,562	0,506	0,474	0,440	0,356	0,276	0,155	0,048	0,008	0,000
1,8	0,593	0,585	0,563	0,526	0,497	0,453	0,425	0,358	0,284	0,172	0,060	0,010	0,000
2,0	0,550	0,543	0,524	0,494	0,455	0,433	0,409	0,348	0,288	0,185	0,071	0,013	0,001
2,5	0,462	0,458	0,445	0,426	0,400	0,386	0,370	0,328	0,285	0,205	0,095	0,022	0,002
3,0	0,396	0,393	0,385	0,372	0,355	0,345	0,334	0,305	0,274	0,211	0,114	0,032	0,003
3,5	0,345	0,343	0,338	0,329	0,317	0,310	0,302	0,281	0,258	0,210	0,127	0,042	0,004
4,0	0,306	0,304	0,301	0,294	0,285	0,280	0,275	0,259	0,242	0,205	0,134	0,051	0,006
5,0	0,248	0,247	0,245	0,242	0,237	0,234	0,231	0,222	0,212	0,188	0,139	0,065	0,010
6,0	0,208	0,208	0,207	0,205	0,202	0,200	0,198	0,192	0,186	0,171	0,136	0,075	0,015
8,0	0,158	0,157	0,157	0,156	0,155	0,154	0,153	0,150	0,147	0,140	0,122	0,083	0,025
10,	0,126	0,126	0,126	0,126	0,125	0,125	0,124	0,123	0,121	0,117	0,107	0,082	0,032
15	0,085	0,085	0,085	0,084	0,084	0,084	0,084	0,083	0,083	0,087	0,078	0,069	0,041
20	0,064	0,064	0,064	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,062	0,061	0,056	0,041
50	0,025												
100	0,013												

$\sigma_z = q I_s$ (xem hình 9-39)

BẢNG 6-5. THỪA SỐ ẢNH HƯỞNG (I_T) ĐỐI VỚI ỨNG SUẤT THẲNG ĐỨNG
DO TẢI TRỌNG BẢNG DẠNG TAM GIÁC

x/c z/c	-2,0	-1,5	-1,0	-0,5	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0*	1,25	1,5	2,0
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,200	0,400	0,600	0,800	0,900	0,500	0,000	0,000	0,000
0,2	0,000	0,000	0,000	0,002	0,061	0,209	0,395	0,577	0,697	0,648	0,437	0,050	0,009	0,001
0,4	0,000	0,001	0,003	0,013	0,110	0,227	0,372	0,497	0,527	0,475	0,379	0,136	0,042	0,007
0,6	0,001	0,003	0,008	0,031	0,140	0,232	0,334	0,409	0,414	0,380	0,328	0,177	0,080	0,018
0,8	0,003	0,006	0,016	0,049	0,155	0,226	0,294	0,339	0,337	0,317	0,287	0,187	0,106	0,032
1,0	0,005	0,011	0,025	0,064	0,159	0,211	0,258	0,286	0,283	0,270	0,250	0,184	0,121	0,046
1,2	0,008	0,016	0,034	0,075	0,157	0,195	0,227	0,245	0,243	0,235	0,221	0,175	0,126	0,057
1,4	0,011	0,021	0,041	0,083	0,151	0,179	0,202	0,215	0,213	0,207	0,197	0,165	0,127	0,066
1,6	0,015	0,026	0,048	0,087	0,143	0,165	0,182	0,190	0,189	0,184	0,178	0,154	0,124	0,072
1,8	0,018	0,031	0,053	0,089	0,135	0,152	0,164	0,171	0,170	0,166	0,161	0,143	0,120	0,076
2,0	0,021	0,035	0,057	0,089	0,127	0,140	0,150	0,155	0,154	0,151	0,148	0,134	0,115	0,078
2,5	0,028	0,042	0,062	0,086	0,110	0,117	0,122	0,125	0,124	0,123	0,121	0,113	0,103	0,078
3,0	0,033	0,046	0,062	0,085	0,095	0,100	0,103	0,105	0,104	0,104	0,102	0,098	0,091	0,074
3,5	0,037	0,048	0,060	0,073	0,084	0,087	0,089	0,090	0,090	0,089	0,089	0,085	0,081	0,069
4,0	0,038	0,048	0,058	0,067	0,075	0,077	0,078	0,079	0,079	0,079	0,078	0,076	0,073	0,064
5,0	0,039	0,045	0,051	0,057	0,061	0,062	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,062	0,060	0,055
6,0	0,037	0,041	0,046	0,049	0,052	0,052	0,053	0,053	0,053	0,053	0,053	0,052	0,051	0,048
8,0	0,032	0,035	0,037	0,038	0,039	0,039	0,040	0,040	0,040	0,040	0,040	0,039	0,039	0,038
10,0	0,028	0,029	0,030	0,031	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,031	0,031
15,0	0,020	0,020	0,021	→										0,021
20,0	0,0125	0,016	0,0126	→										0,016
50,0	0,006	→												

(Xem hình 6-40)

* Tại $x/c = 0,9999$ và $z/c = 0$, $I_T = 0,9999$

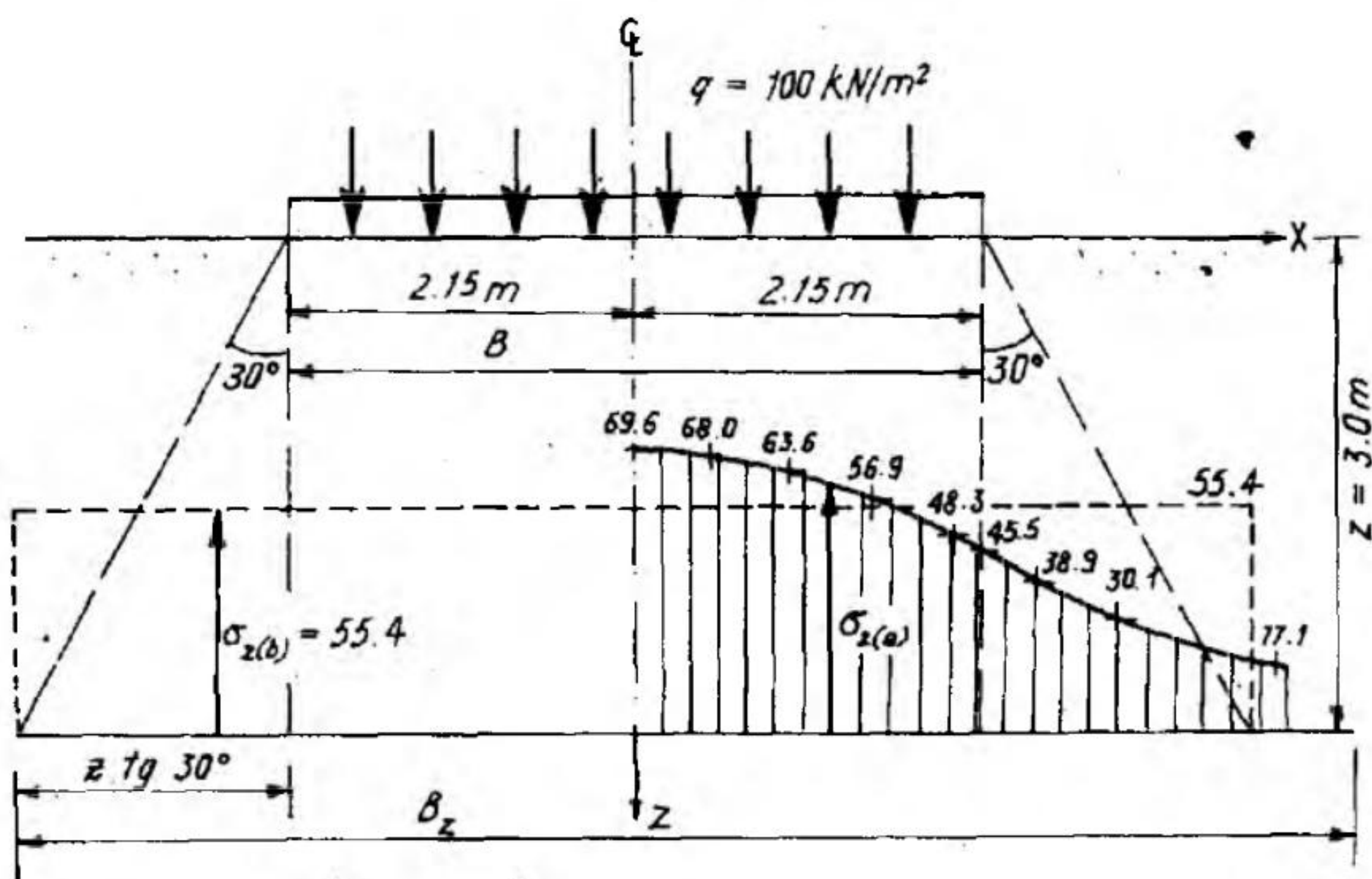
Ví dụ mẫu 6.2. Một móng băng liên tục rộng 4,3m tác dụng tải trọng phân bố đều cường độ 100 kN/m^2 .

a) Vẽ sự phân bố ứng suất thẳng đứng trên mặt nằm ngang ở độ sâu 3m, từ đáy móng.

b) So sánh sự phân bố này với sự phân bố có được khi áp dụng phương pháp "tải trọng lan truyền" dưới góc 30° , đánh giá mức độ sai số.

Bài giải

a) Do tải trọng phân bố đều, sự phân bố ứng suất thẳng đứng đối xứng qua đường trung tâm móng. Ứng suất thẳng đứng tại những khoảng cách khác nhau x được lập thành bảng ở dưới và được vẽ trong hình 6-41.



Hình 6-41

x(m)	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.15	2.5	3.0	4.0
x/b (hình 6-39)	0	0,233	0,465	0,698	0,930	1,000	1,163	1,395	1,860
z/b (hình 6-39)	1,4								
I_s (bảng 6-4)	0,696	0,680	0,636	0,569	0,483	0,455	0,389	0,301	0,171
$\sigma_z = 100I_s$ (kN/m ²)	69,6	68,0	63,6	56,9	48,3	45,5	38,9	30,1	17,1

* Các giá trị trung gian nhận được bằng cách nội suy :

Ví dụ cho $x = 0,5$,

$$x/b = 0,233$$

$$I_s = 0,685 - (0,685 - 0,653) \frac{0,233 - 0,200}{0,400 - 0,200} = 0,680$$

b) Phương pháp "tải trọng lan truyền" dưới góc 30° nhiều khi cũng được áp dụng để sơ bộ tính áp suất thẳng đứng dưới móng. Tuy nhiên, phương pháp này có những sai số đáng kể. Cho rằng cùng một tải trọng trên chiều rộng B ở tại đáy móng sẽ được phân bố đều trên chiều rộng B_z ở chiều sâu z :

$$\text{Ở đây : } B_z = B + 2 \times 3 \text{tg}30^\circ.$$

Đối với móng đã cho :

$$B_z = 4,3 + 2 \times 3 \cdot \text{tg}30^\circ = 7,76\text{m}.$$

$$\text{Khi đó } \sigma_z = 100 \cdot 4,3/7,76 = \underline{55,4\text{kN/m}^2}$$

Sự phân bố này được biểu thị bằng đường nét đứt quăng trên hình 6-41.

Thừa nhận sơ đồ nhận được từ phần (a) là đúng, những sai số xuất hiện do phương pháp tải trọng lan truyền dưới góc 30° là :

Ở tại tâm móng :

$$\xi = (55,4 - 69,6) \frac{100}{69,6} = -20,4\% \quad (\text{nhỏ hơn dự tính})$$

Ở mép móng :

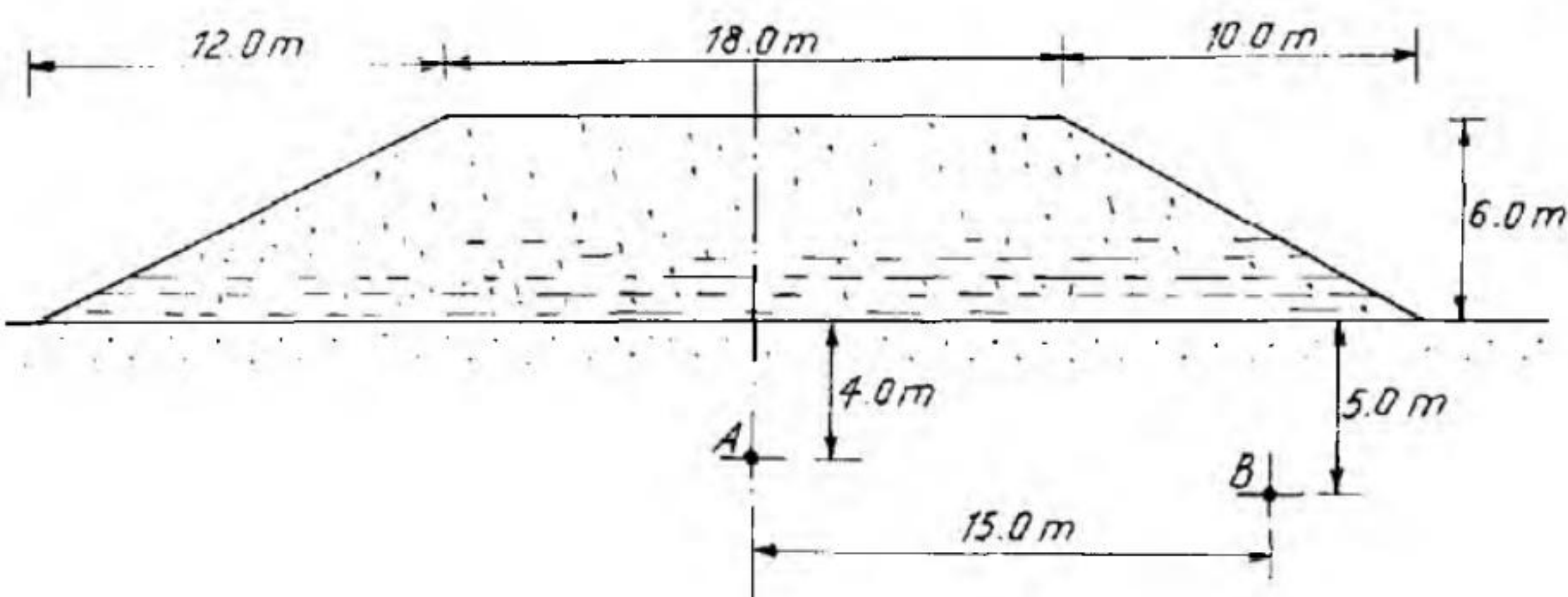
$$\xi = (55,4 - 45,5) \frac{100}{45,5} = 21,8\% \quad (\text{lớn hơn dự tính})$$

Ở vị trí giới hạn tải trọng lan truyền :

$$\xi = (55,4 - 18,4) \frac{100}{18,5} = 199\% \quad (\text{lớn hơn dự tính})$$

Do đó, rõ ràng phương pháp "tải trọng lan truyền" để tính ứng suất thẳng đứng là tốt nhất, trừ khi cần tìm ứng suất tại một điểm đã cho.

Ví dụ mẫu 6.3. Mặt cắt ngang con đường được chỉ ra trên hình 6-42. Sử dụng những thừa số ảnh hưởng cho trong bảng 6-4 và 6-5 để tính ứng suất thẳng đứng tăng thêm ở chiều sâu 4,0m dưới điểm A và B khi đã xây dựng xong con đường. Cho trọng lượng riêng đối với đất đắp đường là 20 kN/m^3 .



Hình 6-42

Bài giải

Cường độ tải trọng tại mặt nền của phần trung tâm :

$$q = 20 \times 6 = 120 \text{ kN/m}^2$$

Xem hình 6-39 và 6-40

Tại điểm A :

Đối với phần trung tâm tải trọng phân bố đều :

$$x = 0, \quad x/b = 0, \quad z/b = 4,0/9,0 = 0,444$$

$$\rightarrow I_s = 0,968$$

Đối với mái bên trái :

$$x = 21,0\text{m}, \quad \frac{x}{c} = \frac{21,0}{12,0} = 1,75$$

$$\frac{z}{c} = \frac{4,0}{12,0} = 0,333$$

$$I_T (\text{trái}) = 0,018$$

Đối với mái bên phải :

$$x = 19,0\text{m}, \quad \frac{x}{c} = \frac{19,0}{10,0} = 1,90$$

$$\frac{z}{c} = \frac{4,0}{10,0} = 0,40$$

$$I_T (\text{phải}) = 0,014$$

$$\sigma_z(A) = q(I_s + I_{T(\text{trái})} + I_{T(\text{phải})})$$

$$\sigma_z = 120 (0,968 + 0,018 + 0,014) = \underline{120\text{kN/m}^2}$$

Tại điểm B :

Đối với phần trung tâm tải trọng phân bố đều :

$$x = 15,0\text{m}, \quad \frac{x}{b} = \frac{15,0}{9,0} = 1,666$$

$$\frac{z}{b} = \frac{5,0}{9,0} = 0,555$$

$$I_s = 0,080$$

Đối với mái bên trái :

$$x = 36,0\text{m}, \quad \frac{x}{c} = \frac{36,0}{12,0} = 3,00$$

$$\frac{z}{c} = \frac{5,0}{12,0} = 0,417$$

$$I_{T(\text{trái})} = 0,001$$

Đối với mái bên phải :

$$x = 4,0\text{m}, \quad \frac{x}{c} = \frac{4,0}{10,0} = 0,400$$

$$\frac{z}{c} = \frac{5,0}{10,0} = 0,500$$

$$I_{T(\text{phải})} = 0,353$$

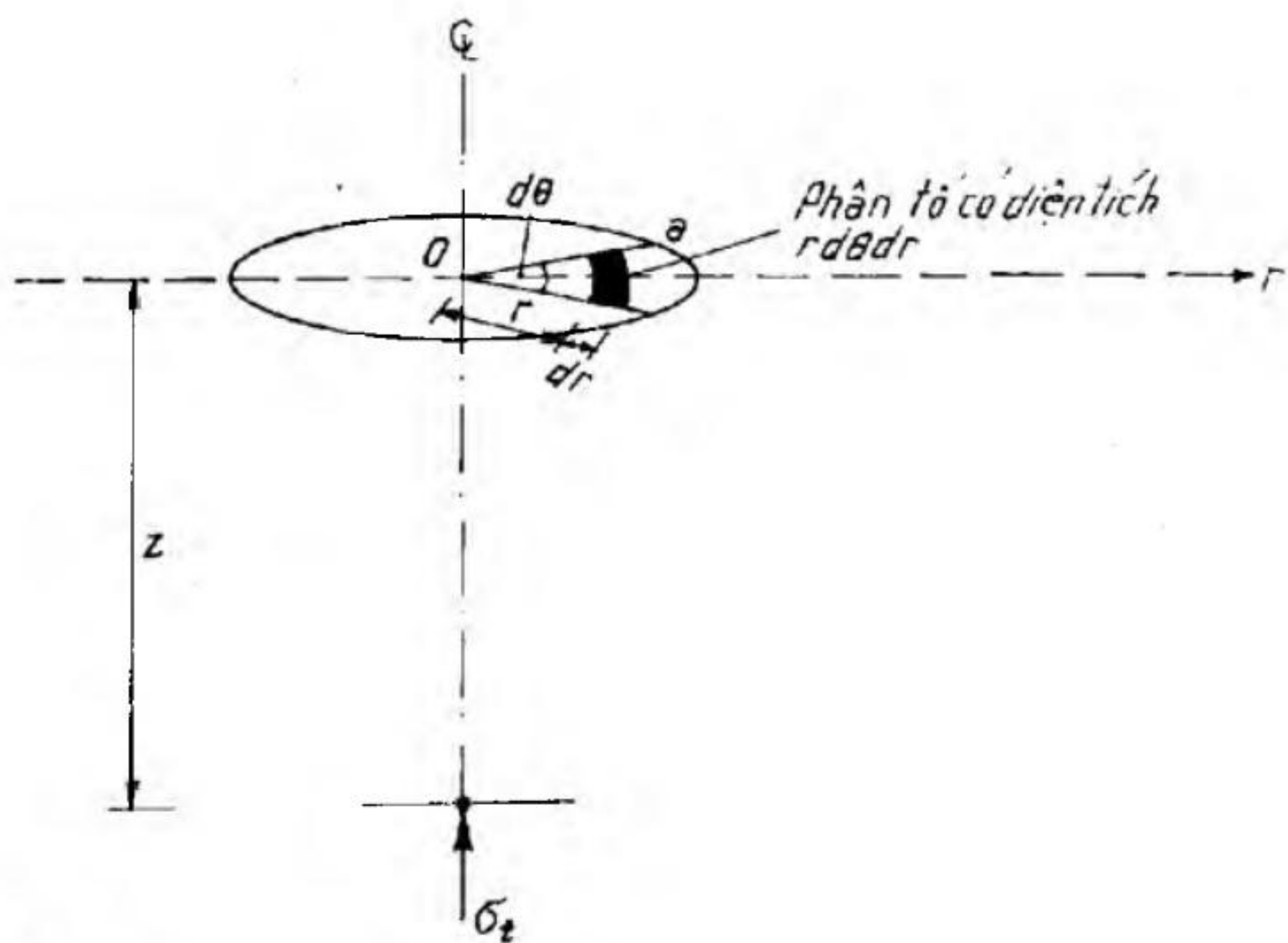
$$\sigma_{z(B)} = 120 (0,080 + 0,001 + 0,353) = 53\text{kN/m}^2$$

6.12. ứng suất do tải trọng phân bố đều trên diện tròn

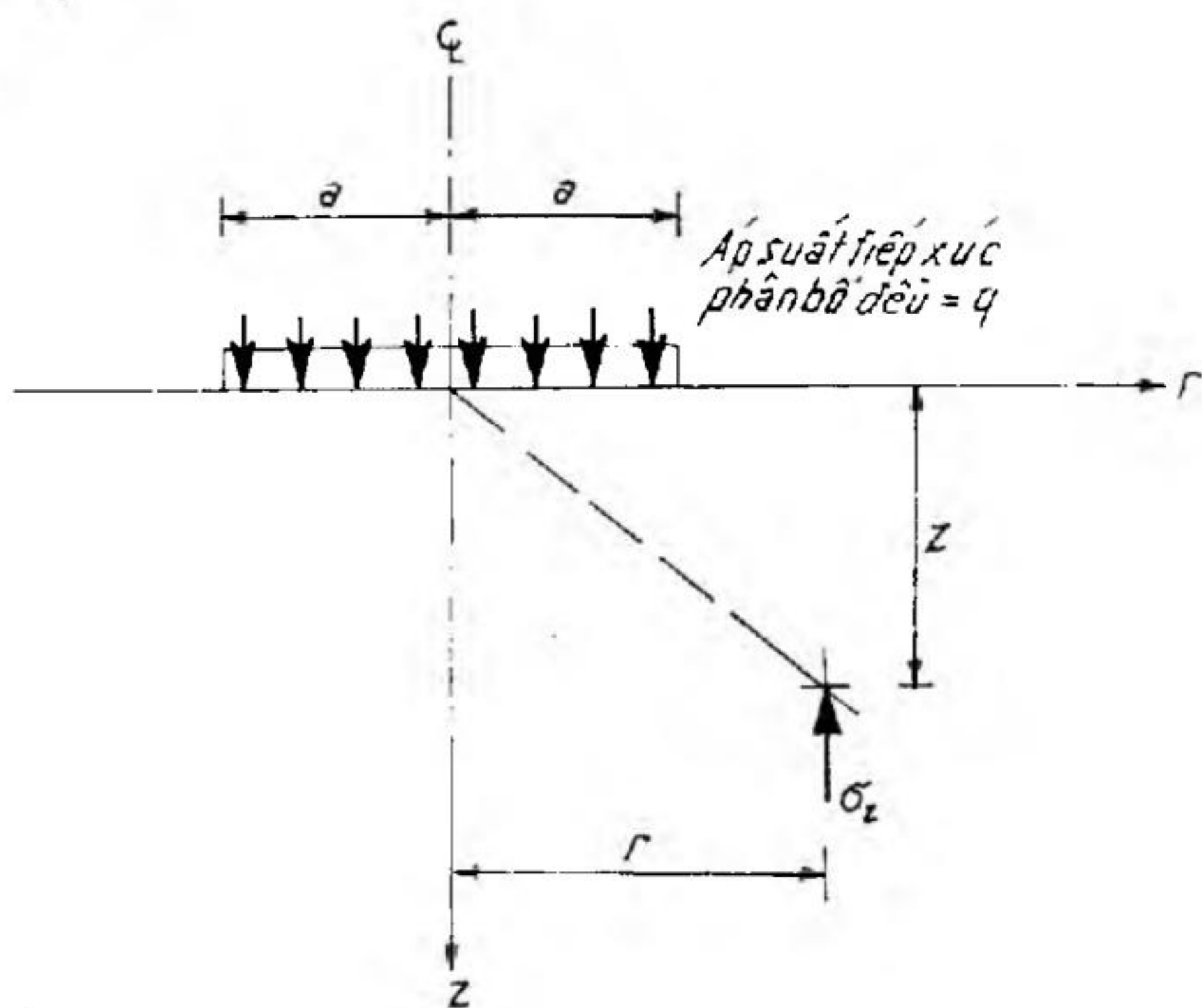
Trường hợp tải trọng phân bố đều trên diện tích nào đó có thể sử dụng biểu thức Boussinesq rồi lấy tích phân theo diện tích đó. Trước hết xác định ứng suất thẳng đứng dưới tâm của móng bán kính là a chịu tải trọng phân bố đều (hình 6-43a) :

Tải trọng trên phần tử diện tích nhỏ là $qrd\theta dr$ được áp dụng như tải trọng tập trung trong các công thức [6.47] và [6.48]. Sau đó tích phân trên diện tròn nhận được ứng suất thẳng đứng ở chiều sâu z là :

$$\begin{aligned} \sigma_z &= \int_0^{2\pi} \int_0^a \frac{q r d\theta dr}{z^2} \frac{3}{2\pi} \left(\frac{1}{1 + (r/z)^2} \right)^{5/2} \\ &= \frac{3q}{2\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^a \frac{z^3}{(z^2 + r^2)^{5/2}} r d\theta dr \\ &= 3q \int_0^a \frac{z^3}{(z^2 + r^2)^{5/2}} r dr \\ &= q \left\{ 1 - \frac{z^2}{(z^2 + a^2)^{3/2}} \right\} \\ &= q \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{a}{z}\right)^2} \right]^{3/2} \right\} \end{aligned} \quad [6.64]$$



a)



b)

Hình 6-43. Ứng suất thẳng đứng do tải trọng phân bố đều trên diện tròn
 a) ứng suất dưới tâm diện tròn ;
 b) trường hợp ứng suất thẳng đứng dưới điểm bất kỳ

Rất đáng tiếc là lời giải giải tích đối với ứng suất thẳng đứng tại điểm bất kỳ, nghĩa là ở các tọa độ (r, z) trong hình 6-43b còn chưa tìm được. Có một số lời giải được công bố bằng việc sử dụng các phương pháp số và từ đó có khả năng nhận được các giá trị ứng suất và biến dạng với độ chính xác chấp nhận được, theo cách đó :

$$\sigma_z = q(A + B) \tag{6.65}$$

$$\varepsilon_z = q(1 + \nu) [(1 - 2\nu) A + B]/E$$

Ở đây A và B là những thừa số ảnh hưởng bộ phận cho trong bảng 6-6.

Ví dụ mẫu 6.4. Một móng hình tròn đường kính 10m truyền áp suất tiếp xúc cường độ 150kN/m². Vẽ biểu đồ ứng suất thẳng đứng do tải trọng này gây ra tại các mặt cắt sau :

- a) dưới tâm móng xuống tới chiều sâu z = 10m ;
- b) trên mặt ngang ở độ sâu 6m, vẽ từ tâm đến khoảng cách 12m.

Bài giải

Xem hình 6-43 và bảng 6-6 :

$$\sigma_z = q(A + B) = 150 (A + B)$$

a) Các giá trị ứng suất thẳng đứng ở độ sâu khác nhau dưới tâm móng đã được lập thành bảng ở dưới và vẽ trên hình 6-44a.

a = 5,0m, tại tâm r/a = 0

z(m)	0	1	2	3	4	5	6	8	10
z/a	0	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,60	2,00
A	1,00	0,804	0,629	0,486	0,375	0,293	0,232	0,156	0,106
B	0	0,188	0,320	0,378	0,381	0,353	0,315	0,241	0,179
$\sigma_{zo}(kN/m^2)$	150	149	142	130	113	97	82	60	43

BẢNG 6-6. NHỮNG NHÂN TỐ ẢNH HƯỞNG (A VÀ B) ĐỐI VỚI ỨNG SUẤT THẲNG DỨNG DO TẢI TRỌNG PHÂN BỐ ĐỀU TRÊN DIỆN TRÒN

$\frac{r/a}{z/a}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0
0	1,0 0,0	1,0 0,0	1,0 0,0	1,0 0,0	1,0 0,0	0,5 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0	0,0 0,0
0,2	0,804 0,188	0,798 0,193	0,779 0,208	0,735 0,235	0,630 0,260	0,383 0,085	0,154 -0,078	0,053 -0,044	0,017 -0,016	0,004 -0,004
0,4	0,629 0,320	0,620 0,323	0,592 0,327	0,538 0,323	0,443 0,269	0,310 0,124	0,187 -0,008	0,086 -0,045	0,031 -0,025	0,008 -0,008
0,6	0,486 0,378	0,477 0,375	0,451 0,363	0,404 0,382	0,337 0,254	0,256 0,144	0,180 0,045	0,100 -0,021	0,041 -0,025	0,011 0,010
0,8	0,375 0,381	0,368 0,374	0,347 0,351	0,312 0,307	0,266 0,238	0,213 0,153	0,162 0,075	0,102 0,006	0,048 -0,018	0,014 -0,010
1,0	0,293 0,353	0,288 0,346	0,270 0,321	0,247 0,278	0,215 0,220	0,179 0,154	0,143 0,092	0,098 0,028	0,052 -0,010	0,017 -0,011
1,2	0,232 0,315	0,228 0,307	0,217 0,285	0,199 0,248	0,176 0,201	0,151 0,149	0,126 0,100	0,092 0,044	0,053 0,000	0,019 -0,010
1,5	0,168 0,256	0,166 0,250	0,159 0,233	0,148 0,207	0,134 0,174	0,119 0,137	0,103 0,102	0,080 0,057	0,051 0,014	0,021 -0,007
2,0	0,106 0,179	0,104 0,181	0,101 0,166	0,096 0,152	0,090 0,134	0,083 0,113	0,075 0,093	0,063 0,064	0,045 0,028	0,022 0,000
3,0	0,051 0,095	0,051 0,094	0,050 0,091	0,049 0,086	0,047 0,080	0,045 0,073	0,042 0,066	0,038 0,054	0,032 0,035	0,020 0,011
4,0	0,030 0,057	0,030 0,057	0,029 0,056	0,028 0,054	0,028 0,051	0,027 0,048	0,026 0,045	0,025 0,040	0,022 0,031	0,016 0,015
5,0	0,019 0,038	0,019 0,038	0,019 0,037	0,019 0,036	0,019 0,035	0,018 0,034	0,018 0,031	0,018 0,028	0,016 0,025	0,012 0,015
10,0	0,005 0,010	0,005 0,009	0,005 0,009	0,005 0,009	0,005 0,009	0,005 0,009	0,005 0,009	0,005 0,009	0,004 0,008	0,004 0,008

Dòng trên = A, dòng dưới = B

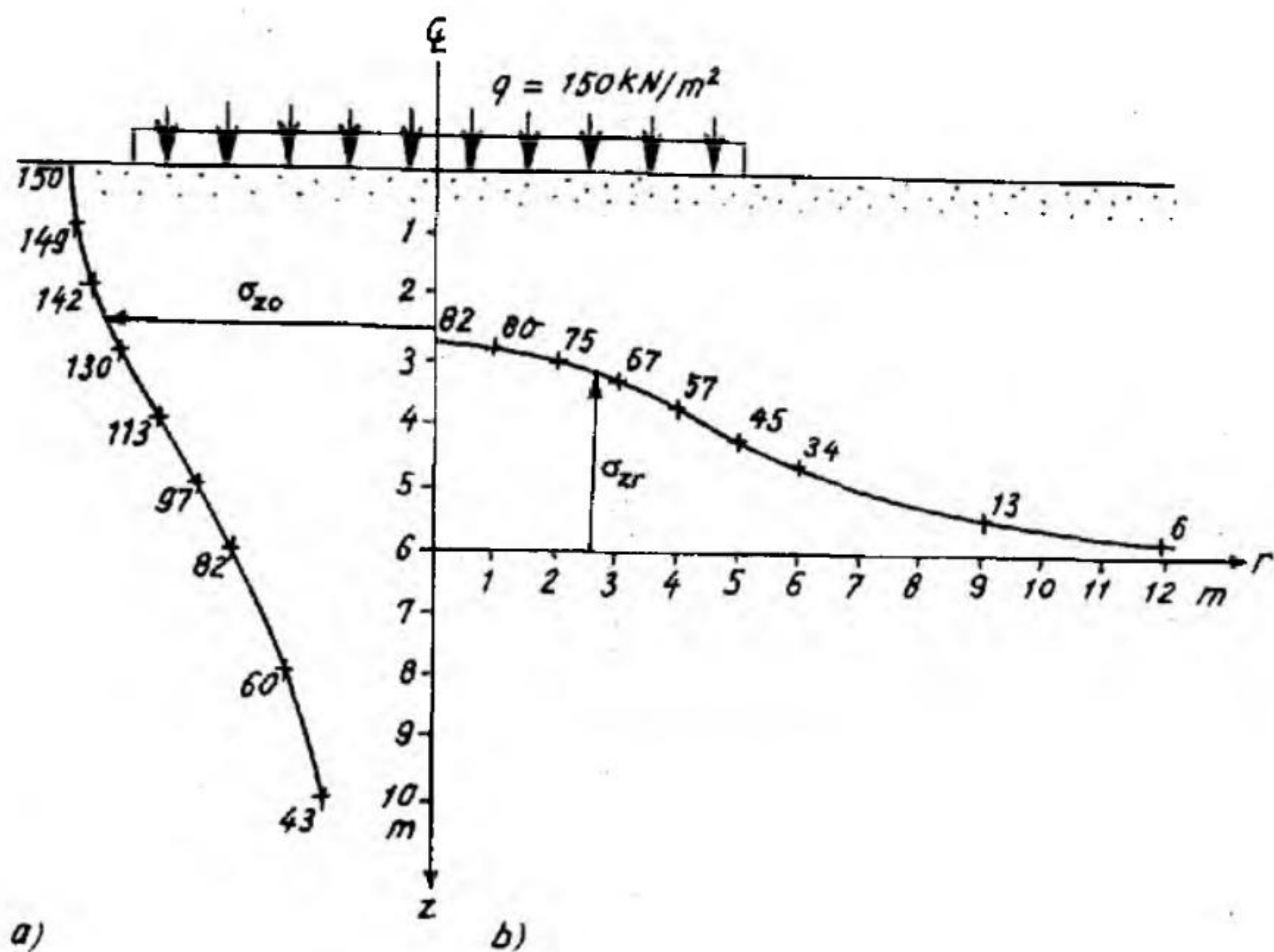
$\sigma_z = q(A + B)$ (xem hình 6-43)

$\epsilon_z = q(1 + \nu) [(1 - 2\nu)A + B]/E$

b) Các giá trị ứng suất thẳng đứng ở mặt nằm ngang tại độ sâu 6m thay đổi từ tâm đến khoảng cách 12m được lập thành bảng ở dưới và vẽ trên hình 6-44b.

$$a = 5,0\text{m}, z/a = 6,0/5,0 = 1,20$$

$z(\text{m})$	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	9,0	12,0
z/a	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,8	2,4
A	0,232	0,228	0,217	0,199	0,176	0,151	0,126	0,069	0,039
B	0,315	0,307	0,285	0,248	0,201	0,149	0,100	0,018	0,000
$\sigma_{zr} (\text{kN/m}^2)$	82	80	75	67	57	45	34	13	6



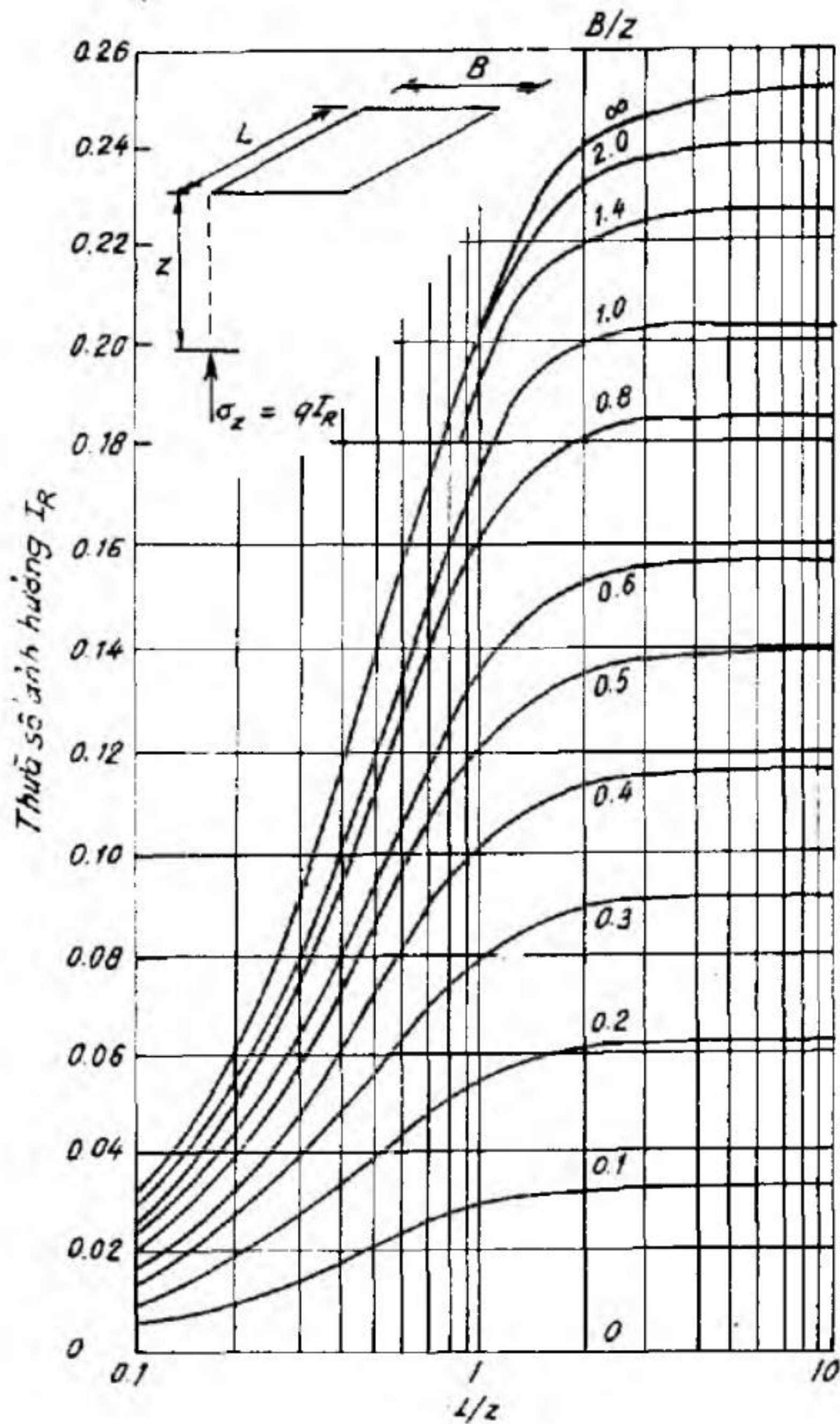
Hình 6-44.

a) ứng suất thẳng đứng tại đường trung tâm ;

b) ứng suất thẳng đứng trên mặt nằm ngang

6.13. Ứng suất thẳng đứng do tải trọng phân bố đều trên diện chữ nhật

Cũng bằng cách tính phân biểu thức Boussinesq trên diện chữ nhật có thể nhận được các thành phần ứng suất cần tìm. Thành



Hình 6-45. Toán đồ Fadum

phần quan trọng nhất đối với mục đích thiết kế công trình là ứng suất pháp theo phương thẳng đứng cũng đã có một vài lời giải được công bố. Fadum (1948) đã vẽ dưới các đường cong đối với I_R . Ở đây I_R là hàm của B/z và L/z (hình 6-45) để tìm ứng suất thẳng đứng ở chiều sâu z dưới góc diện chữ nhật chiều dài L và chiều rộng B chịu tải trọng phân bố đều q :

$$\sigma_z = qI_R \quad [6.66]$$

Các giá trị I_R có thể xác định được bằng cách giải tích và lập thành bảng theo các trị số L/z và B/z (bảng 6-7). Sử dụng bảng 6-7 có thể xác định được ứng suất dưới điểm bất kì bởi vì một móng nào đó có biên thẳng đều có thể xem như một loạt các diện chữ nhật, mỗi diện có một góc trùng nhau ở điểm mà dưới nó ta cần xác định ứng suất ; sau đó dùng phương pháp cộng tác dụng có thể xác định được ứng suất dưới điểm này.

Ví dụ mẫu 6.5. Hình 6-46 chỉ ra bình đồ của móng chữ nhật truyền áp suất tiếp xúc phân bố đều cường độ 120kN/m^2 . Sử dụng các thừa số ảnh hưởng cho trong bảng 6-7 xác định ứng suất thẳng đứng gây ra do tải trọng trên :

- a) tại chiều sâu 10m dưới điểm A ;
- b) tại chiều sâu 5m dưới điểm B.

Bài giải

Xem như bốn diện chữ nhật (1, 2, 3, 4) mỗi diện có góc tại A (hình 6-46b) : Ứng suất thẳng đứng dưới điểm A là tổng các ứng suất được gây ra bởi mỗi diện chữ nhật :

$$\begin{aligned} \sigma_{z(A)} &= \sigma_{z(1)} + \sigma_{z(2)} + \sigma_{z(3)} + \sigma_{z(4)} \\ &= q(I_{R(1)} + I_{R(2)} + I_{R(3)} + I_{R(4)}) \end{aligned}$$

Những tính toán được lập thành bảng ở dưới.

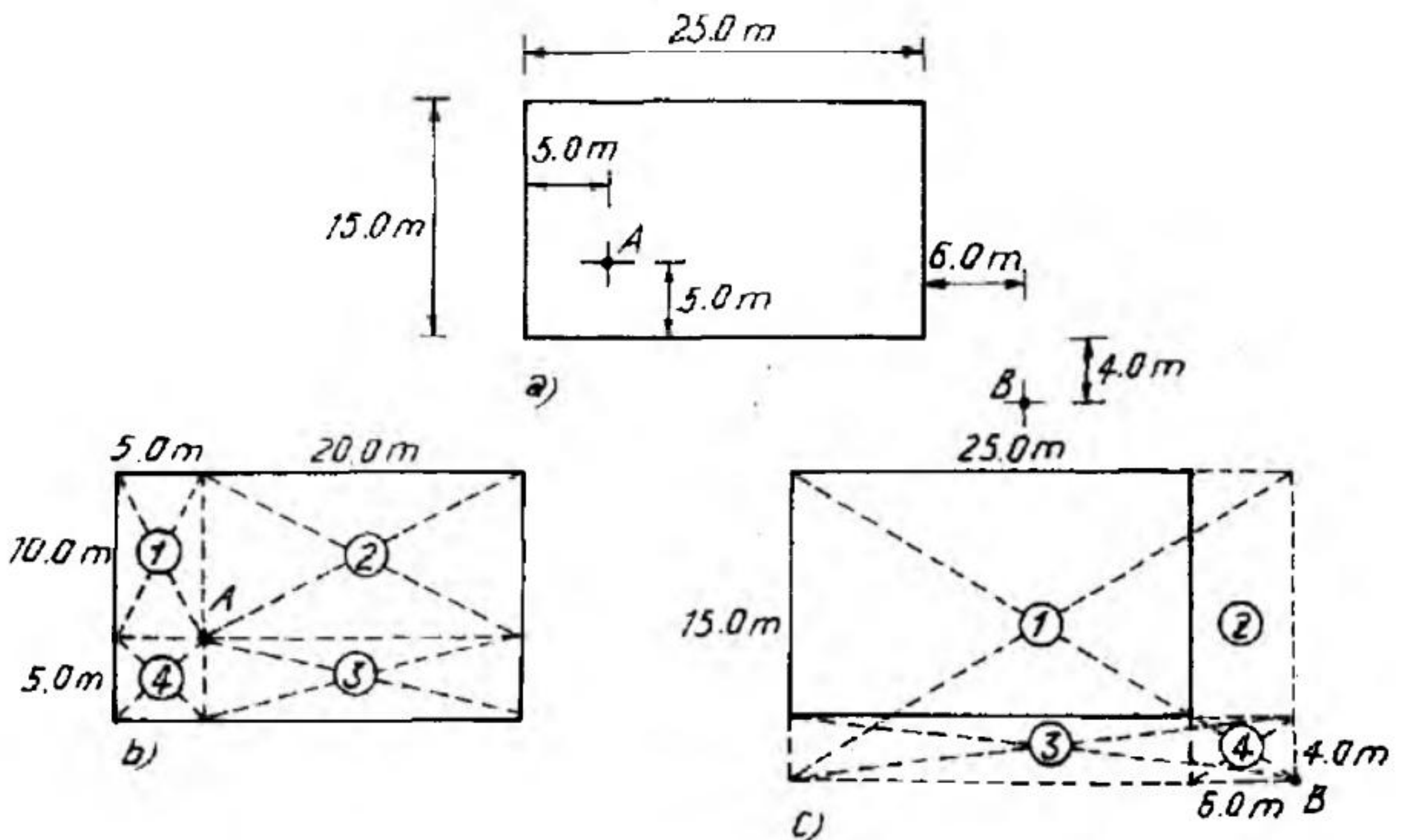
(Xem bảng 6-7)

Diện chữ nhật	L/z	B/z	I _R
1	5/10 = 0,5	10/10 = 1,0	0,1202
2	20/10 = 2,0	10/10 = 1,0	0,1999
3	20/10 = 2,0	5/10 = 0,5	0,1350
4	5/10 = 0,5	5/10 = 0,5	0,0840

Do đó $\sigma_{z(A)} = 120 (0,1202 + 0,1999 + 0,1350 + 0,0840)$
 $= 120 \cdot 0,5391 = \underline{65 \text{ kN/m}^2}$

b) Xem như có 4 diện chữ nhật (1, 2, 3, 4), mỗi diện có góc ở điểm B (hình 6-46c). Chú ý đối với diện chữ nhật 1 có L = 31m và B = 19m. Ứng suất thẳng đứng dưới B nhận được như sau :

$$\sigma_{z(B)} = q(I_{R(1)} - I_{R(2)} - I_{R(3)} + I_{R(4)})$$



Hình 6-46

Những tính toán được lập thành bảng ở dưới :

**BẢNG 6-7. HỆ SỐ ẢNH HƯỞNG I_R ĐỐI VỚI ỨNG SUẤT THẲNG DỨNG
TẠI MỘT GÓC CỦA TẢI TRỌNG PHÂN BỐ ĐỀU TRÊN HÌNH CHỮ NHẬT**

L/z B/z	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,4	2,0	3,0	5,0	∞
0,1	0,0047	0,0092	0,0132	0,0168	0,0198	0,0222	0,0242	0,0258	0,0270	0,0279	0,0301	0,0311	0,0315	0,0316	0,0316
0,2	0,0092	0,0179	0,0259	0,0328	0,0387	0,0435	0,0474	0,0504	0,0528	0,0547	0,0589	0,0610	0,0620	0,0620	0,0620
0,3	0,0132	0,0259	0,0374	0,0474	0,0560	0,0630	0,0686	0,0731	0,0766	0,0794	0,0856	0,0887	0,0898	0,0901	0,0902
0,4	0,0168	0,0328	0,0474	0,0602	0,0711	0,0801	0,0873	0,0931	0,0977	0,1013	0,1094	0,1134	0,1150	0,1154	0,1154
0,5	0,0198	0,0387	0,0560	0,0711	0,0840	0,0947	0,1034	0,1104	0,1158	0,1202	0,1300	0,1350	0,1368	0,1374	0,1375
0,6	0,0222	0,0435	0,0629	0,0801	0,0947	0,1069	0,1168	0,1247	0,1310	0,1361	0,1475	0,1533	0,1555	0,1561	0,1562
0,7	0,0240	0,0474	0,0686	0,0873	0,1034	0,1168	0,1277	0,1365	0,1436	0,1491	0,1620	0,1686	0,1711	0,1719	0,1720
0,8	0,0258	0,0504	0,0731	0,0931	0,1104	0,1247	0,1365	0,1461	0,1537	0,1598	0,1739	0,1812	0,1841	0,1849	0,1850
0,9	0,0270	0,0528	0,0766	0,0977	0,1158	0,1311	0,1436	0,1537	0,1619	0,1684	0,1836	0,1915	0,1947	0,1956	0,1958
1,0	0,0279	0,0547	0,0794	0,1013	0,1202	0,1361	0,1491	0,1598	0,1684	0,1752	0,1914	0,1999	0,2034	0,2044	0,2046
1,4	0,0301	0,0589	0,0856	0,1094	0,1300	0,1475	0,1620	0,1739	0,1836	0,1914	0,2102	0,2206	0,2250	0,2263	0,2266
2,0	0,0311	0,0610	0,0887	0,1134	0,1350	0,1533	0,1686	0,1812	0,1915	0,1999	0,2206	0,2325	0,2378	0,2395	0,2399
3,0	0,0315	0,0618	0,0898	0,1150	0,1368	0,1555	0,1711	0,1841	0,1947	0,2034	0,2250	0,2378	0,2420	0,2461	0,2465
5,0	0,0316	0,0620	0,0901	0,1154	0,1374	0,1561	0,1719	0,1849	0,1956	0,2044	0,2263	0,2395	0,2461	0,2486	0,2491
∞	0,0316	0,0620	0,0902	0,1154	0,1375	0,1562	0,1720	0,1850	0,1958	0,2046	0,2266	0,2399	0,2465	0,2492	0,2500

$\sigma_z = q/R$

(Xem hình 6-45)

$$z = 5,0\text{m}$$

(Xem bảng 6-7)

Diện chữ nhật	L/z	B/z	I _R
1	31/5 = 6,2	19/5 = 3,8	0,2472
2	6/5 = 1,2	19/5 = 3,8	0,2147
3	31/5 = 6,2	4/5 = 0,8	0,1849
4	6/5 = 1,2	4/5 = 0,8	0,1669

$$\begin{aligned}\text{Do đó } \sigma_{Z(B)} &= 120 (0,2472 - 0,2147 - 0,1849 + 0,1669) \\ &= \underline{2 \text{ kN/m}^2}\end{aligned}$$

6.14. Toán đồ ảnh hưởng của Newmark

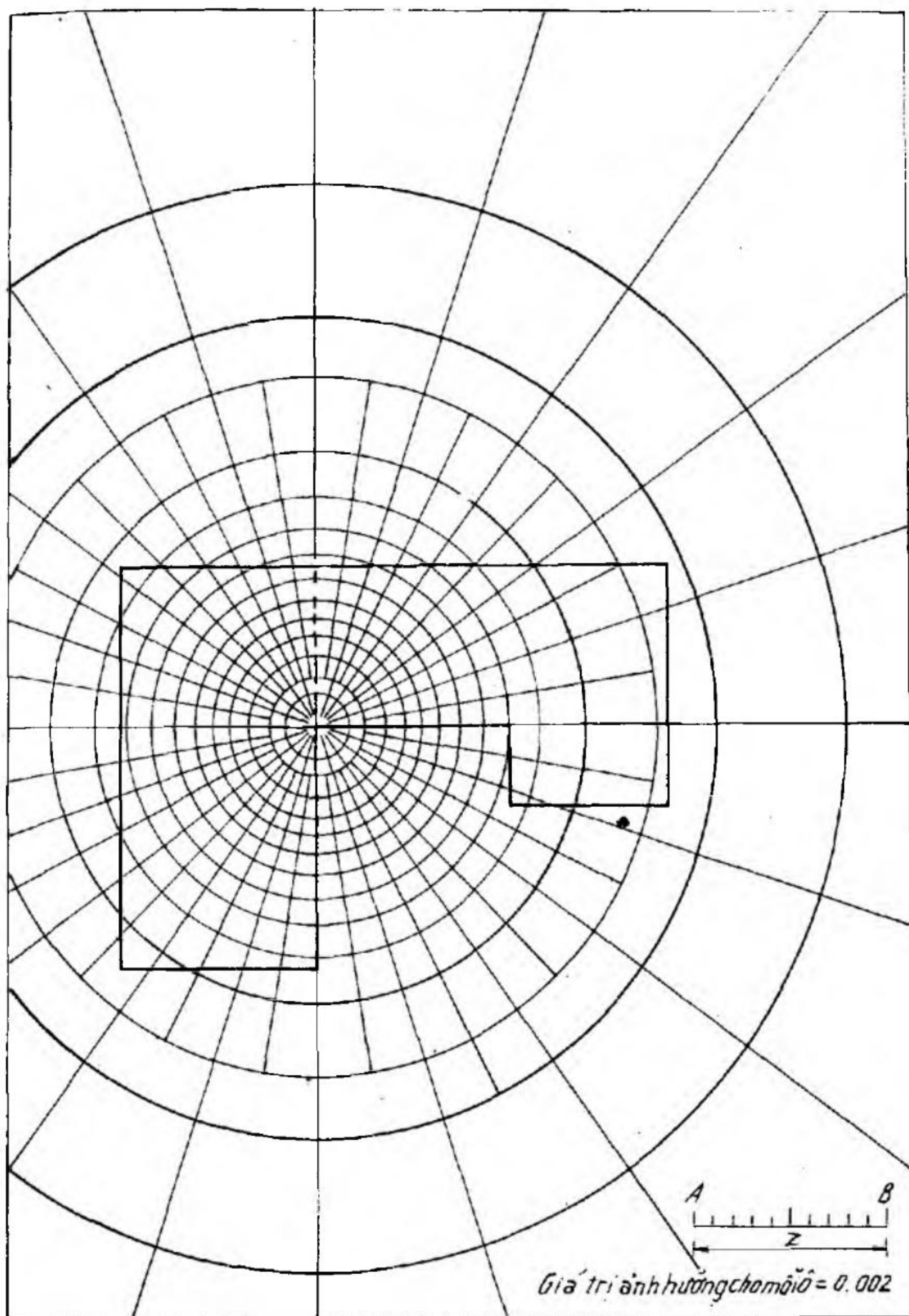
Newmark (1942) đã đề nghị sử dụng một toán đồ cho ta phương tiện đồ thị gần đúng thực hiện sự tích phân. Biểu đồ được chia thành nhiều ô, mỗi ô biểu thị lượng ứng suất với cùng tỉ lệ như nhau. Bình đồ diện đặt tải được vẽ lên biểu đồ với tỉ lệ đã định trước. Sau đó đặt điểm cần xác định ứng suất dưới nó vào tâm biểu đồ (hình 6-47). Tính số ô được bao phủ bởi bình đồ. Cuối cùng tính được ứng suất theo công thức :

$$\sigma_z = (\text{số ô được bao phủ}) \times I_N \times q$$

Ở đây I_N là thừa số tỉ lệ của toán đồ, nghĩa là giá trị ảnh hưởng của một ô với tải trọng đơn vị phân bố đều. Các toán đồ có thể được xây dựng với các giá trị khác nhau của thừa số ảnh hưởng và cho các thành phần ứng suất khác nhau. Chúng đặc biệt thuận tiện để sử dụng trong các trường hợp diện đặt tải có hình dạng không đều hoặc phức tạp.

Để vẽ toán đồ Newmark đối với ứng suất thẳng đứng, đẳng thức [6-64] đã được giải để có được nghiệm dương :

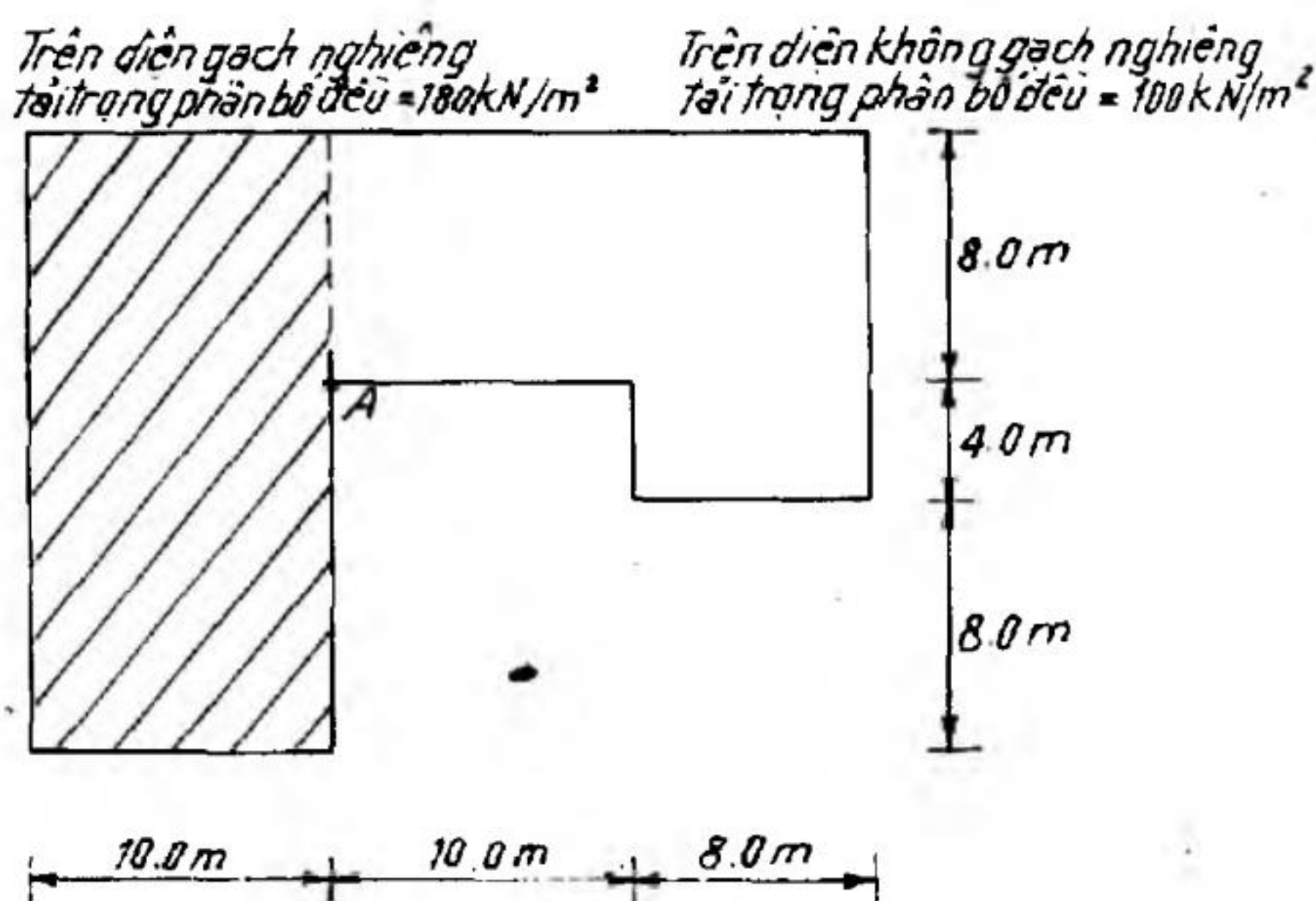
$$\frac{a}{z} = \left[\left(1 - I_q \right)^{-\frac{2}{3}} - 1 \right]^{\frac{1}{2}}$$



Hình 6-47. Toán đồ ảnh hưởng Newmark đối với ứng suất thẳng đứng

Ở đây $I_q = \frac{\sigma_z}{q}$; đó là hệ số kích thước của một diện tròn chịu tải trọng phân bố đều q , diện này cho hệ số ứng suất đặc trưng I_q . Bằng cách thay các giá trị I_q vào đẳng thức trên sẽ nhận được các giá trị $\frac{a}{z}$ và chúng được sử dụng để vẽ một loạt các hình tròn đồng tâm. Các hình tròn này sau đó được chia nhỏ ra bằng các đường thẳng qua tâm để có số ô mong muốn.

Ví dụ mẫu 6.6. Xây dựng toán đồ ảnh hưởng Newmark đối với ứng suất pháp thẳng đứng có giá trị ảnh hưởng 0,002 cho một ô. Sử dụng toán đồ này xác định ứng suất thẳng đứng sinh ra ở độ sâu 10m dưới điểm A của móng cho trong hình 6-48.



Hình 6-48

Bài giải

Với giá trị ảnh hưởng là 0,002 tổng số ô sẽ bằng 500. Cho nhóm những vành khuyên chính, mỗi vành gồm có 40 ô, với các vành khuyên ở phía trong và ở phía ngoài mỗi vành gồm 20 ô. Cho giá trị tỉ lệ $z = 40\text{mm}$.

Những tính toán đã được lập thành bảng phía dưới và biểu đồ vẽ được như trên hình 6-47.

Hình tròn	Số ô	Toàn bộ hình tròn I_q	$\frac{a}{z} = [(I - I_q)^{2/3} - 1]^{1/2}$	Bán kính hình tròn $a(\text{mm})$ (với tỉ lệ $z = 40\text{mm}$)
1	20	0,04	0,166	6,6
2	40	0,08	0,239	9,6
3	80	0,16	0,351	14,0
4	120	0,24	0,448	17,9
5	160	0,32	0,542	21,7
6	200	0,40	0,637	25,5
7	240	0,48	0,739	29,6
8	280	0,56	0,854	34,2
9	320	0,64	0,988	39,5
10	360	0,72	1,156	46,2
11	400	0,80	1,387	55,5
12	440	0,88	1,764	70,6
13	460	0,92	2,094	83,8
14	480	0,96	2,748	110,0

Theo tỉ lệ độ dài AB là 10m, nghĩa là bằng độ sâu z , bình độ của móng được vẽ (thường là trên giấy can) phủ lên toán đồ ảnh hưởng với điểm A được đặt trực tiếp vào tâm toán đồ (hình 6-47). Tính số ô được bao phủ như sau :

Diện tích có gạch nghiêng gồm có 168 ô.

Diện tích không có gạch nghiêng gồm có 94 ô.

Do đó, ứng suất thẳng đứng ở chiều sâu 10m dưới điểm A là :

$$\begin{aligned}\sigma_z &= 168 \times 0,002 \times 180 + 94 \times 0,002 \times 100 \\ &= \underline{79 \text{ kN/m}^2}\end{aligned}$$

6.15. Những chuyển vị đàn hồi

Việc xem đất dưới móng là vật thể đàn hồi cũng được chấp nhận để xác định chuyển vị bề mặt, nghĩa là độ lún do sự nén ép đàn hồi. Hậu quả của tính không đồng nhất chỉ gây nên những sai số đáng kể khi có sự khác nhau lớn giữa các tầng đất. Trong trường

hợp tải trọng phân bố đều, chuyển vị thẳng đứng bề mặt của một lớp đất có chiều sâu vô hạn được xác định bằng công thức sau :

$$S = \frac{qB}{E}(1 - \nu^2)I_p \quad [6.67]$$

Ở đây : q - cường độ áp suất tiếp xúc ;

B - kích thước ngang nhỏ nhất (chiều rộng hoặc đường kính),

ν - hệ số Poisson ;

E - modun đàn hồi ;

I_p - thừa số ảnh hưởng đối với chuyển vị thẳng đứng.

Việc áp dụng hệ thức [6-67] để tính độ lún của móng xem ở mục 10.2 và ví dụ mẫu 10.1.

Thừa số ảnh hưởng I_p . Thừa số ảnh hưởng chuyển vị thẳng đứng I_p phụ thuộc vào hình dạng và độ cứng của móng. Các giá trị I_p tính được dựa theo lí thuyết đàn hồi đối với chuyển vị ở tâm hoặc ở góc diện chữ nhật chịu tải trọng phân bố đều cho trong bảng 6-8.

BẢNG 6-8. THỪA SỐ ẢNH HƯỞNG I_p ĐỐI VỚI CHUYỂN VỊ THẲNG ĐỨNG DO NÉN DÀN HỒI LỚP ĐẤT CÓ CHIỀU DÀY VÔ HẠN

Hình dạng	Móng mềm*			Móng cứng ⁺
	tâm	góc	trung bình	
Tròn	1,00	0,64	0,85	0,79
Chữ nhật				
$\frac{L}{B}$ 1,0	1,122	0,561	0,946	0,82
1,5	1,358	0,679	1,148	1,06
2,0	1,532	0,766	1,300	1,20
3,0	1,783	0,892	1,527	1,42
4,0	1,964	0,982	1,694	1,58
5,0	2,105	1,052	1,826	1,70
10,0	2,540	1,270	2,246	2,10
100,0	4,010	2,005	3,693	3,47

* Theo Giroud (1968)

+ Theo Skempton (1951)

Hệ số Poisson ν . Khoảng các giá trị ν có thể nhận được theo lý thuyết đàn hồi. Xét biến dạng theo hướng σ_3 trong phân tố đồng nhất như đã nêu ở mục 6.1, với điều kiện nén không nở hông (đẳng thức [6.11]) :

$$\sigma'_3 = K_o \sigma'_1 = \frac{\nu}{1 - \nu} \sigma'_1$$

Do đó
$$K_o = \frac{\nu}{1 - \nu}$$

Ta có

$$\nu = \frac{K_o}{1 + K_o}$$

Đối với đất bão hòa $K_o = 1,0, \quad \nu = 0,5$

Đối với cát $K_o = 0,5, \quad \nu = 0,33.$

K_o thường được xem như *hệ số áp lực đất ở trạng thái tĩnh*. Đối với đất cát và đất sét cổ kết bình thường, quan hệ dựa theo thực nghiệm đáng tin cậy có thể được sử dụng để tính K_o từ số liệu thí nghiệm ba trục :

$$K_o \approx 1 - \sin \varphi'$$

Phạm vi thay đổi điển hình của các giá trị ν cho trong bảng 6-9. Giá trị ν cũng có thể xác định được dựa vào tỉ số biến dạng thể tích và biến dạng dọc trục nhận được trong thí nghiệm ba trục :

$$\nu' = - \frac{d\varepsilon_3}{d\varepsilon_1} \quad \text{và} \quad d\varepsilon_v = d\varepsilon_1 + 2d\varepsilon_3$$

Vì vậy
$$\nu' = 0,5 \left(1 - d\varepsilon_v / d\varepsilon_1 \right) \quad [6.68]$$

BẢNG 6-9. CÁC GIÁ TRỊ ĐIỂN HÌNH CỦA HỆ SỐ POISSON

<i>Loại đất</i>	<i>ν</i>
Đất sét bão hòa	0,4 - 0,5
Sét không bão hòa hoặc pha cát	0,2 - 0,4
Cát : $\varphi = 40^\circ$	0,2
$\varphi = 20^\circ$	0,5

Xác định modun đàn hồi. Giá trị modun đàn hồi không thoát nước không phải là hằng số mà thay đổi theo trị số ứng suất, theo hệ số rỗng và theo lịch sử chịu tải của đất. Vì E_u thay đổi theo ứng suất nên nó thay đổi theo chiều sâu. Đối với mục đích thiết kế, trong những phạm vi thay đổi chiều sâu tương đối nhỏ, E_u có thể được coi như hằng số trong các loại đất sét bão hòa chịu gia tải không thoát nước. Trong các loại cát và loại đất dính không bão hòa, xác định E_u cần dựa vào độ sâu và những điều kiện tại điểm quan tâm. Dưới các móng bè rộng, E_u tăng theo chiều hướng tâm.

Các giá trị E' có thể nhận được từ các đường cong quan hệ giữa độ lệch ứng suất và biến dạng dọc trục theo kết quả thí nghiệm ba trục :

$$E' = \frac{d\sigma'_1}{d\varepsilon_1} = \frac{dq'}{d\varepsilon_1} \quad [6.69]$$

Nếu độ dốc (k) của đường nở và đường nén lại đã nhận được (đẳng thức [6.38]), thì modun tổng biến dạng K' có thể được xác định :

$$\begin{aligned} dv &= -kd (\ln p') = -kdp'/p' \\ \text{Do đó} \quad d\varepsilon_v &= -kdp'/vp' \\ \text{Vì vậy} \quad K' &= vp'/k \end{aligned} \quad [6.70]$$

và từ đẳng thức [6.8] sẽ có :

$$E' = 3vp'(1 - 2\nu')/k \quad [6.71]$$

Thông thường người ta đo lường *modun cát tuyến* bằng cách vẽ đường thẳng từ gốc tọa độ tới một điểm mốc trên đường cong. Vị trí điểm này thường ở tại một nửa giá trị ứng suất lớn nhất. Skempton (1951) đề xuất điểm này, nên ở tại 0,65 giá trị ứng suất lớn nhất để nó tương đương với giá trị ứng suất có khả năng được tác dụng cho ta hệ số an toàn là 3. Một cách khác là đo E ở mức biến dạng 0,01, vì ở mức cao hơn, biến dạng có thể không phải là thực sự đàn hồi.

Hậu quả do mẫu bị xáo động làm giảm giá trị E_u . Do đó những thí nghiệm tức thời không thoát nước thường cho các trị số quá nhỏ. Trạng thái ứng suất hữu hiệu ở *hiện trường* cần phải được

tái tạo bằng cách cho đất cố kết trước, hoặc là dưới áp suất buồng thể hiện được ứng suất hữu hiệu dự định trước, hoặc là dưới những điều kiện tương tự. Sau đó sẽ cắt không thoát nước (xem tiếp mục 7.2).

Các giá trị lớn hơn và đáng tin cậy hơn sẽ nhận được từ những thí nghiệm *hiện trường* hoặc từ những quan sát thực tế tiếp theo sự phân tích ngược lại (Burland và đồng nghiệp 1966 ; Marsland 1971 ; Hooper 1973 ; Crawford và Burn 1952). Những giá trị nhận được bằng những phương pháp như vậy đã được công bố, chúng thường lớn gấp 4 hoặc 5 lần giá trị trong phòng thí nghiệm. D'Applonia và đồng nghiệp (1991) kiến nghị giá trị thực E_u gấp 1,5 lần giá trị nhận được từ những kết quả thí nghiệm cố kết không thoát nước.

Việc đo E_u ở *hiện trường* từ những thí nghiệm nén ngang (pressuremeter) đã tìm ra mối quan hệ chặt chẽ với các giá trị nhận được từ các tỉ số E_u/c_u (Calhoon, 1972) và các phương pháp khác của Mair và Wood, 1987). Điều cơ bản là pressuremeter có khả năng đo được biến dạng ngang hoặc biến dạng thể tích ở lỗ khoan tương ứng với sự thay đổi áp suất. Sau khi áp dụng những hiệu chỉnh đơn vị đo lường (xem mục 12.5), các kết quả được thể hiện dưới dạng hoặc là đường cong áp suất và thể tích buồng đo hoặc là đường cong áp suất và biến dạng buồng đo (hình 6-49).

Sau đó có thể nhận được modun cắt G :

$$(1) \quad G = \frac{dp}{dV} \cdot V$$

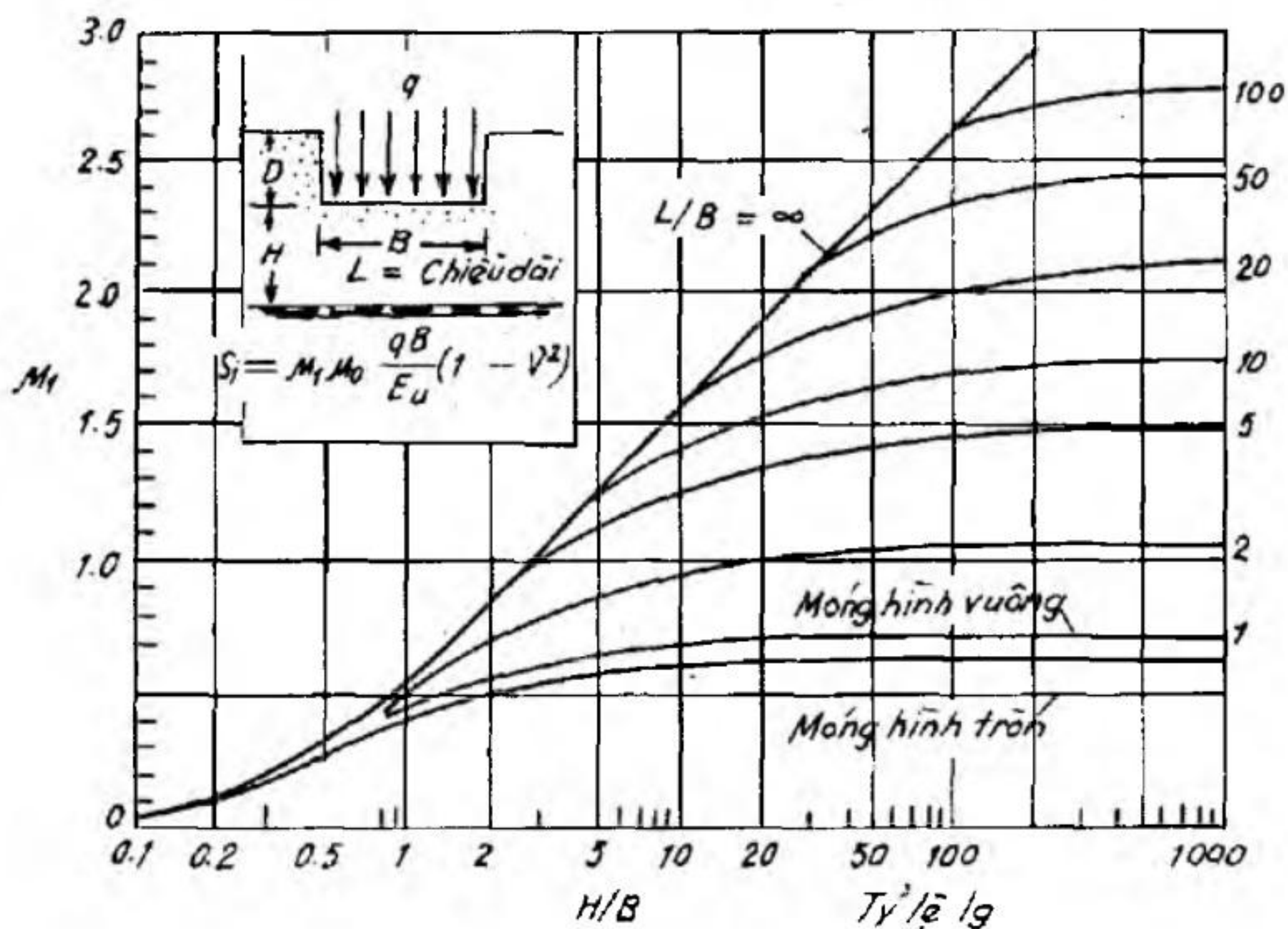
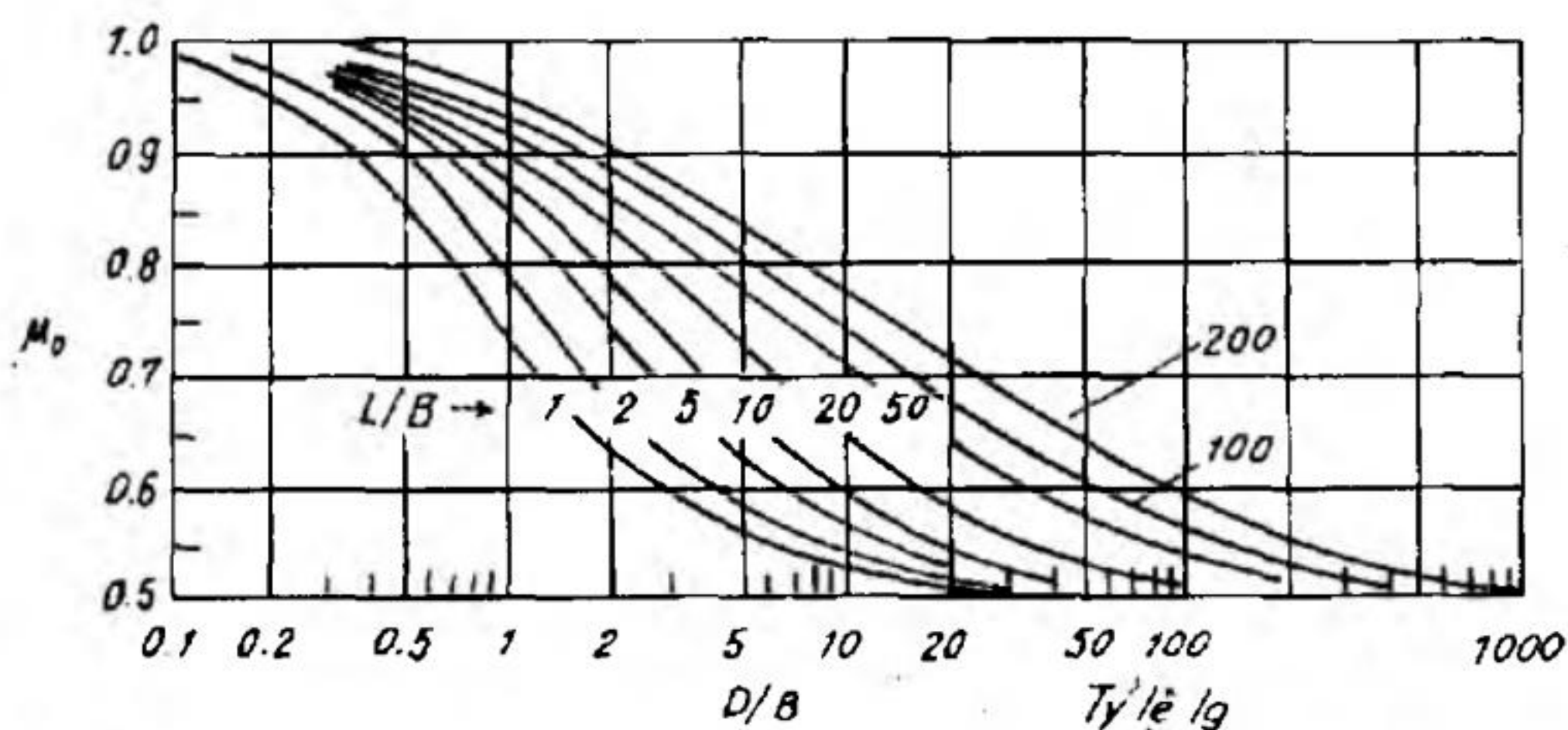
$$(2) \quad G = \frac{1}{2} \frac{dp}{d\varepsilon_c}$$

Ở đây : dp/dV – độ dốc của đường cong áp suất và thể tích buồng đo ;

$dp/d\varepsilon_c$ – độ dốc của đường cong áp suất và biến dạng buồng đo ;

V – thể tích buồng đo.

Những giá trị độ dốc có thể được đo trực tiếp từ phần đường cong ứng với giai đoạn đàn hồi hoặc là từ những chu kì dỡ tải và



Hình 6-49. Các hệ số đối với chuyển vị dưới móng mềm
(theo Janbu và đồng nghiệp, 1956)

nén lại được tiến hành ở những áp suất cao. Sau đó các giá trị E_u có thể xác định từ đẳng thức [6.9] :

$$E_u = 2(1 + \nu_u)G = 3G \quad [6.72]$$

$$(\text{vì } \nu_u = 0,5)$$

Trong những loại đất không đẳng hướng, độ cứng phương ngang có thể cao hơn nhiều so với độ cứng phương đứng cần xác định : trong trường hợp không trực tiếp đo được hệ số không đẳng hướng, đề nghị cần đưa vào thừa số giảm là $0,25 \div 0,30$.

Chuyển vị trong lớp đất mỏng. Trong hầu hết các vấn đề thực tế, lớp đất thường có chiều dày hạn chế, và ở phía dưới lại thường có những tầng tương đối cứng hay rắn. Trong những trường hợp như vậy, việc sử dụng đẳng thức [6.67] chỉ nên áp dụng đối với các lớp có chiều dày lớn hơn 2 lần chiều rộng móng.

Đối với các trường hợp mà chiều dày lớp nhỏ hơn $2B$, và $\nu \approx 0,5$ thì có thể sử dụng lời giải (Janbu và đồng nghiệp, 1956) như sau :

$$s_i = \frac{qB}{E_u} \mu_o \mu_1 (1 - \nu) \quad [6.73]$$

Ở đây μ_o, μ_1 là những hệ số phụ thuộc vào chiều rộng, chiều sâu đặt móng cũng như chiều dày lớp đất dưới đáy móng (hình 6-49).

Steinbrenner (1934) đã trình bày lời giải tổng quát gần đúng đối với chuyển vị dưới góc móng mềm diện chữ nhật trên lớp đất dày hữu hạn :

$$s_i = \frac{qB}{E} (1 - \nu^2) I_p \quad [6.74]$$

Ở đây ν là hệ số Poisson

$$I_p = F_1 + \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} F_2$$

F_1 và F_2 là các thừa số ảnh hưởng phụ thuộc các tỉ số chiều dài trên chiều rộng và chiều sâu trên chiều rộng (bảng 6-10).

Độ lún đàn hồi của móng. Để tính độ lún đàn hồi dưới các móng bằng cách sử dụng phương pháp ở trên, xem mục 10.2.

**BẢNG 6-10. CÁC THỪA SỐ ẢNH HƯỞNG F_1 VÀ F_2 ĐỐI VỚI CHUYỂN VI
THẲNG DỨNG DƯỚI GÓC-DIỆN DẶT TẢI CHỦ NHẬT PHÂN BỐ ĐỀU
TRÊN LỚP DÀN HỒI CÓ CHIỀU DÀY HỮU HẠN
(THEO STEINBRENNER, 1934)**

L/B D/B	1	2	5	10	∞
0,5	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10
1	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13
	0,09	0,11	0,13	0,13	0,13
2	0,29	0,30	0,27	0,27	0,27
	0,06	0,10	0,14	0,15	0,13
3	0,36	0,40	0,38	0,37	0,37
	0,05	0,08	0,13	0,15	0,16
4	0,41	0,48	0,48	0,47	0,45
	0,04	0,07	0,12	0,15	0,16
5	0,44	0,53	0,55	0,54	0,52
	0,03	0,06	0,11	0,14	0,16
6	0,46	0,57	0,61	0,60	0,58
	0,02	0,05	0,10	0,14	0,16
8	0,48	0,61	0,69	0,69	0,66
	0,02	0,04	0,08	0,12	0,16
10	0,48	0,64	0,75	0,76	0,73
	0,02	0,03	0,07	0,11	0,16

$$s_i = \frac{qB(1 - \nu^2)}{E} I_s$$

$$I_s = F_1 + \frac{1 - 2\nu}{1 - \nu} F_2 \quad \frac{F_1}{F_2}$$

L : chiều dài,

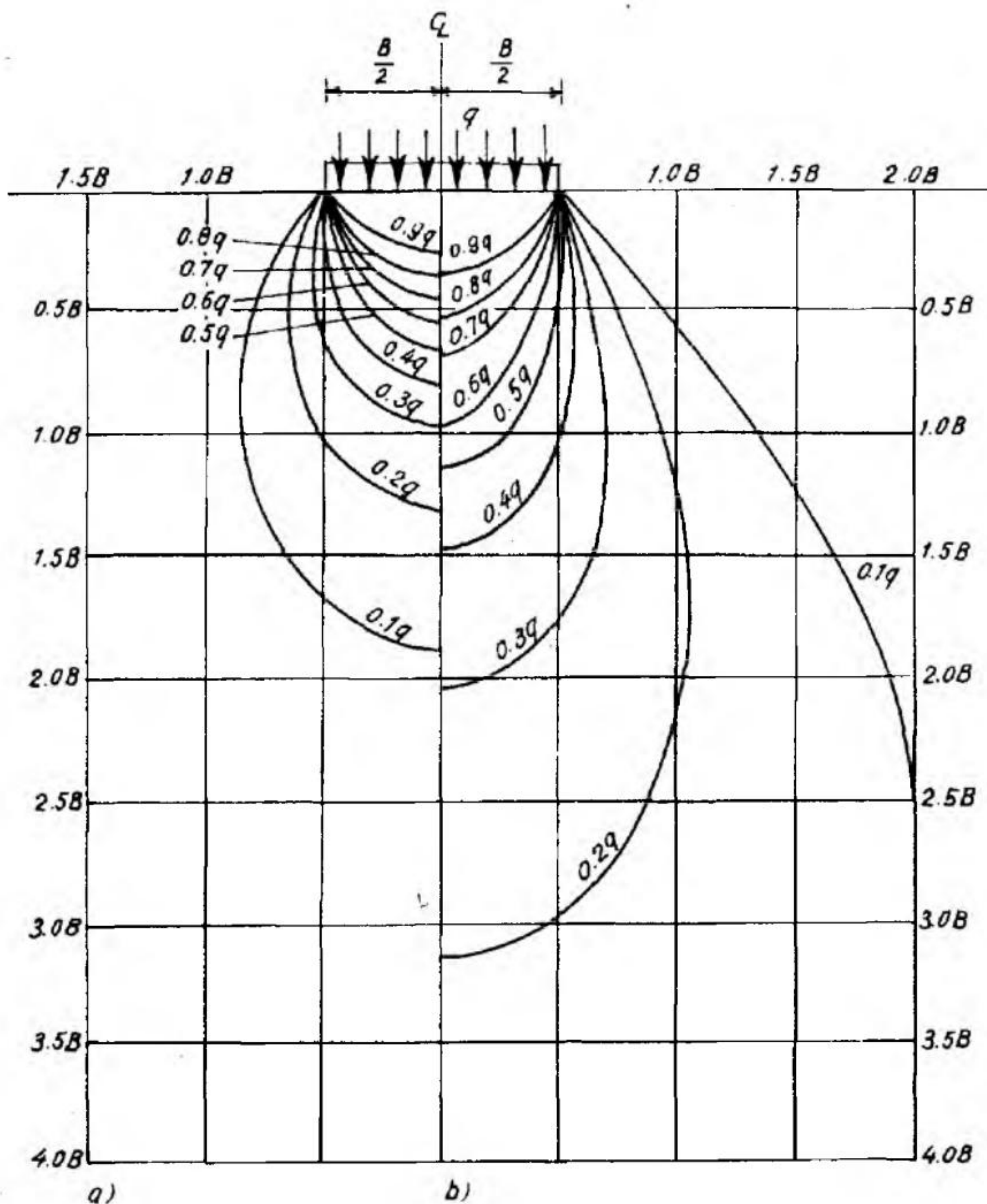
B : chiều rộng

D : chiều sâu dưới móng

6.16. Sự phân bố ứng suất - những đường đẳng ứng suất (dạng bầu)

Từ những sự phân tích ở trên, trong chương này cần thấy rằng cường độ ứng suất dưới móng được sinh ra do móng chịu tải sẽ giảm dần cả theo phương đứng và phương ngang. Do đó, tới một

độ sâu hoặc một khoảng cách ngang nào đó kể từ móng, cường độ ứng suất sẽ trở thành không quan trọng đối với từng bài toán cụ thể trong thực tế.



Hình 6-50. Các đường đẳng ứng suất đối với ứng suất thẳng đứng
a) móng hình tròn ; b) móng băng

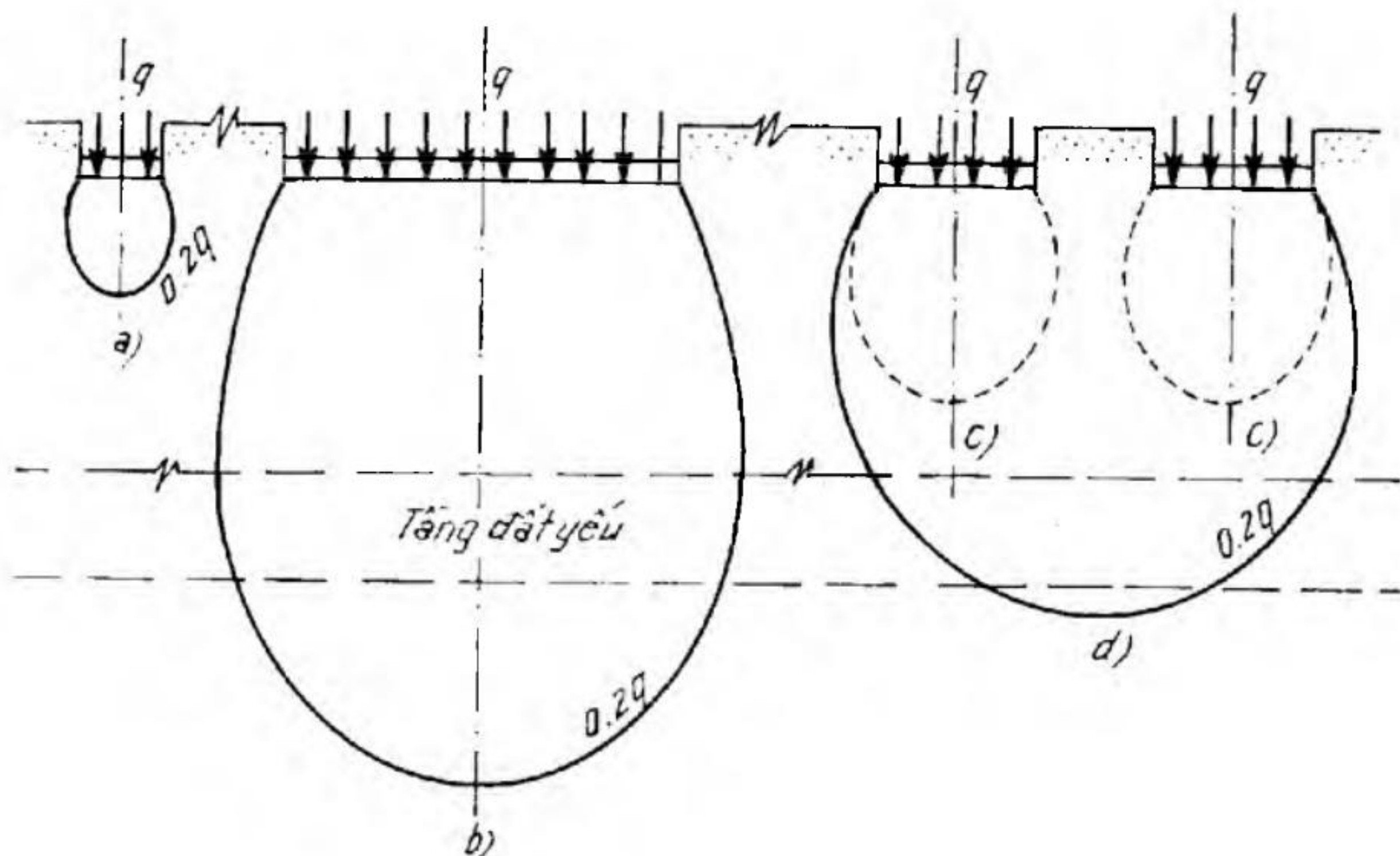
Nếu ta vẽ những đường đi qua các điểm có cùng một giá trị ứng suất trong một mặt cắt thì sẽ nhận được các đường đẳng ứng suất dạng bầu Hình 6-50 chỉ ra các đường đẳng ứng suất dạng bầu vẽ cho các loại móng khác nhau. Ở đây ứng suất được cho dưới dạng phân lượng của tải trọng tác dụng và vẽ theo chiều rộng móng. Phạm vi đường đẳng ứng suất ở một giá trị đã cho rất thuận tiện khi muốn biết phạm vi nào của khối đất dưới móng sẽ chịu ảnh hưởng đáng kể của tải trọng tác dụng. Đặc biệt cần chú ý phạm vi theo chiều sâu và bề ngang của các đường đẳng ứng suất biểu thị các giá trị $0,2q$ và $0,1q$. Hai trường hợp cuối cùng này do tải trọng bằng và tải trọng trên diện tròn phân bố đều gây ra đã được thể hiện ở bảng dưới đây, còn tải trọng phân bố đều trên diện chữ nhật sẽ cho những giá trị trung gian. Sử dụng bảng 6-4 và 6-6 có thể nhận được các giá trị gần đúng cho chiều sâu và bề rộng của các đường đẳng ứng suất $0,2q$ và $0,1q$ như dưới đây :

	<i>Tải trọng diện tròn phân bố đều</i>		<i>Tải trọng bằng phân bố đều</i>	
	<i>0,2q</i>	<i>0,1q</i>	<i>0,2q</i>	<i>0,1q</i>
Chiều sâu lớn nhất của đường đẳng ứng suất phía dưới trung tâm của móng	1,3B	1,9B	3,2B	6,6B
Nửa chiều rộng lớn nhất của đường đẳng ứng suất (nghĩa là khoảng cách ngang từ trung tâm của móng)	0,7B	0,9B	1,1B	2,1B

Kích thước đường đẳng ứng suất cho ta chỉ dẫn ích lợi để quyết định phạm vi khảo sát cần thực hiện. Chiều sâu tối thiểu của những hố khoan khảo sát thường được lấy bằng $1,5B$. Nhưng trong một số trường hợp điều đó có thể không thỏa đáng như các hình vẽ trên chỉ dẫn. Cũng cần nhấn mạnh rằng các đường đẳng ứng suất kết hợp của các móng lân cận sẽ sâu hơn các đường đó của một móng đứng riêng biệt.

Trong hình 6-51 đã chỉ ra kết quả ảnh hưởng do cả chiều rộng móng và do nhóm móng kết hợp. Tầng mềm không chịu ứng suất

đáng kể như đối với móng (a) nhưng lại phải chịu ứng suất lớn hơn $0,2q$ như móng (b) và cũng do hậu quả kết hợp (d) của các móng cạnh nhau (c).



Hình 6-51. Các đường đẳng ứng suất chỉ ra chiều sâu tới đó đất chịu ứng suất đáng kể

BÀI TẬP

1. Để xác định các chuyển vị đàn hồi cần tính mô đun đàn hồi của một lớp đất sét. Kết quả thí nghiệm trong phòng cho biết hệ số rỗng $e = 0,75$; chỉ số nén $C_c = 0,25$ và hệ số Poisson $\nu' = 0,30$. Tính các giá trị E' và E_u theo ứng suất hữu hiệu (σ').

2. Đầu tiên áp dụng các đẳng thức biến dạng ba hướng đối với trường hợp nén một hướng chứng minh $\sigma_3/\sigma_1 = \frac{\nu}{1-\nu}$. Sau đó xác định các giá trị ν và E_0 trong trường hợp không thoát nước.

3. Bốn cột có tải trọng tương ứng là 900kN, 800kN, 200kN và 500kN được đặt tại 4 góc của hình vuông cạnh 4m trên bề mặt khối đất. Một công ngầm nằm sâu 4m (tính đến đỉnh) đi chéo qua hình vuông trực tiếp dưới tải trọng 900kN và 200kN. Tính ứng

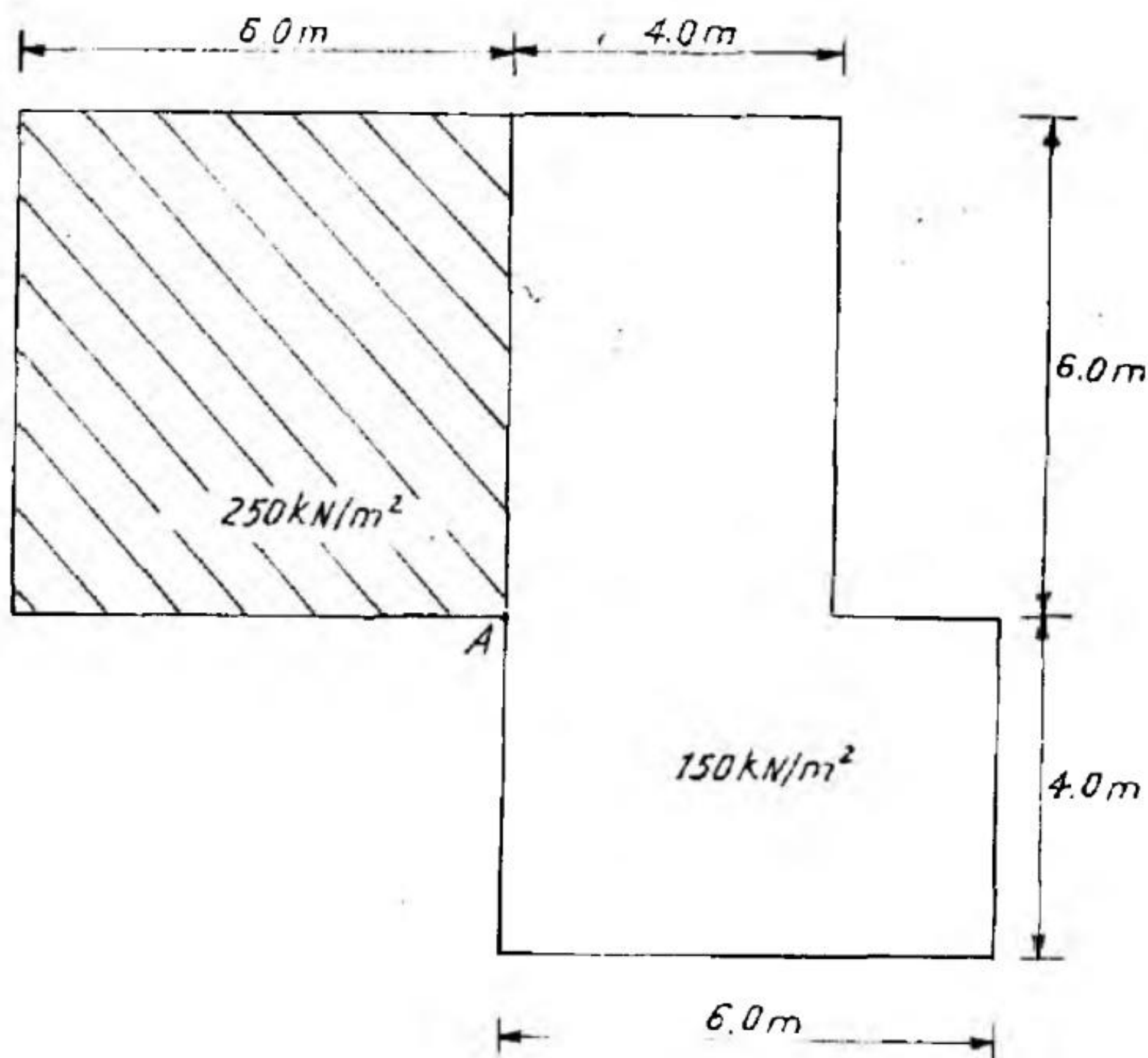
suất thẳng đứng ép lên công do 4 tải trọng gây ra tại 3 điểm : dưới tải trọng 900kN, dưới tải trọng 200kN và ở điểm giữa chúng.

4. Một móng bè bê tông như trên hình 6-52 chịu những tải trọng phân bố đều 250 kN/m^2 và 150 kN/m^2 tương ứng trên các diện có gạch nghiêng và không có gạch. Tính cường độ ứng suất sinh ra tại một điểm trong đất sâu 3m dưới góc A :

a) sử dụng thừa số ảnh hưởng trong bảng 6-2 ;

b) sử dụng thừa số ảnh hưởng trong bảng 6-7 ;

c) sử dụng biểu đồ trong hình 6-47.



Hình 6-52

5. Hai tải trọng đường song song tương ứng là 100 kN/m và 80 kN/m cách nhau 2 m tác dụng theo phương thẳng đứng lên mặt đất nằm ngang.

a) Sử dụng các thừa số ảnh hưởng trong bảng 6-3 tính ứng suất thẳng đứng sinh ra do tải trọng này ở độ sâu 2m : Tại các điểm trực tiếp dưới mỗi tải trọng, ở giữa và ở 1/4 giữa chúng.

b) Từ sự phân bố có được, xác định các ứng suất pháp lớn nhất theo phương thẳng đứng và nằm ngang và ứng suất tiếp lớn nhất theo phương thẳng đứng ở độ sâu này, và chỉ ra điểm xuất hiện các ứng suất đó.

6. Một móng băng dai truyền áp suất tiếp xúc là 215 kN/m^2 có chiều rộng 3,5m. Móng được đặt vào lớp cát chiều dày 6m và phía dưới là lớp sét dày 3m. Xác định chiều sâu đặt móng lớn nhất để sự tăng ứng suất thẳng đứng tại tâm lớp đất sét không vượt quá 70 kN/m^2 . Cho mực nước ngầm ở rất sâu dưới đáy móng và trọng lượng đơn vị thể tích của cát là 19 kN/m^3 .

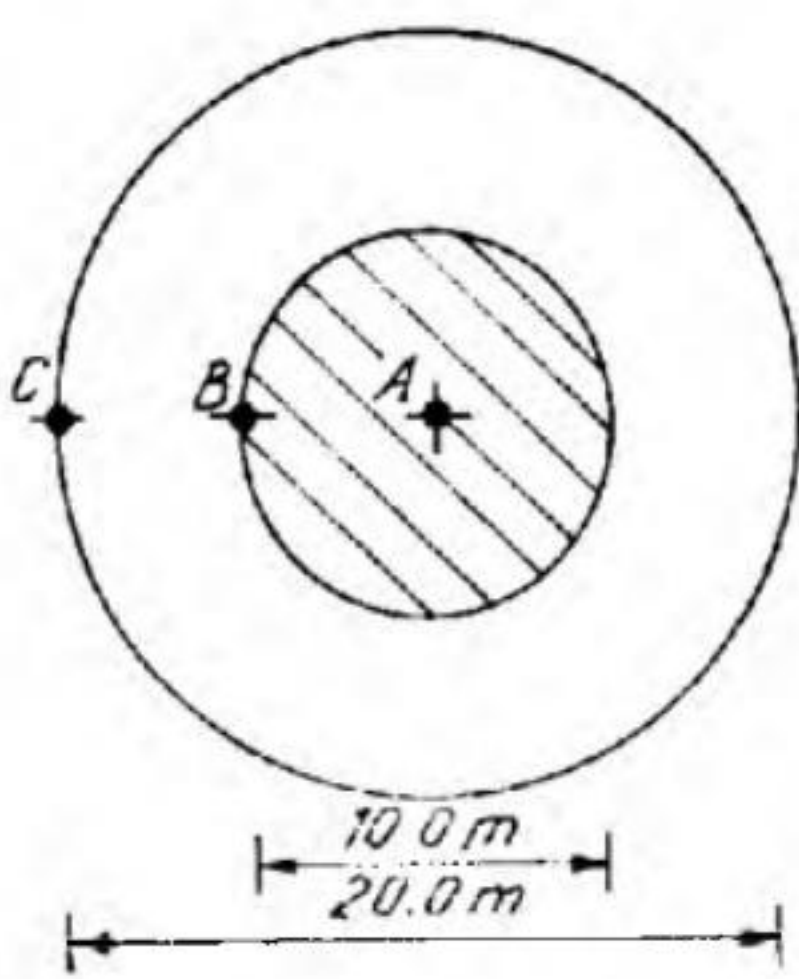
7. Cho 3 móng song song, mỗi móng rộng 3m và cách nhau 5m tính từ tâm móng và truyền các áp suất tiếp xúc tương ứng là 200 kN/m^2 , 150 kN/m^2 và 100 kN/m^2 . Sử dụng các thừa số ảnh hưởng trong bảng 6-4 tính cường độ ứng suất thẳng đứng dưới tâm mỗi móng ở độ sâu 3m do tải trọng kết hợp gây ra.

8. Hàng hóa được xếp thành một đồng rất dài có đáy rộng 28m và hai mái bên rộng 8m. Điều quan trọng là sự tăng ứng suất thẳng đứng ở chiều sâu 4m phía dưới đáy không được vượt quá 120 kN/m^2 .

a) Xác định chiều cao đều nhau lớn nhất cho phép đối với phần trung tâm của đồng hàng hóa ($\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$).

b) Tính cường độ lớn nhất của ứng suất thẳng đứng sinh ra (nghĩa là khi đạt tới chiều cao cực đại) ở các điểm sâu 4m dưới đáy trực tiếp dưới đỉnh và mép của mái.

9. Hình 6-53 chỉ ra bình đồ của móng bè rộng hình tròn : diện tích phần tâm (gạch nghiêng) truyền áp suất tiếp xúc 80 kN/m^2 và diện tích vành khuyên bên ngoài truyền áp suất tiếp xúc 200 kN/m^2 . Sử dụng các thừa số ảnh hưởng trong bảng 6-6 tính cường độ ứng suất thẳng đứng sinh ra ở các điểm trong khối đất có chiều sâu 6m dưới các điểm A, B và C.

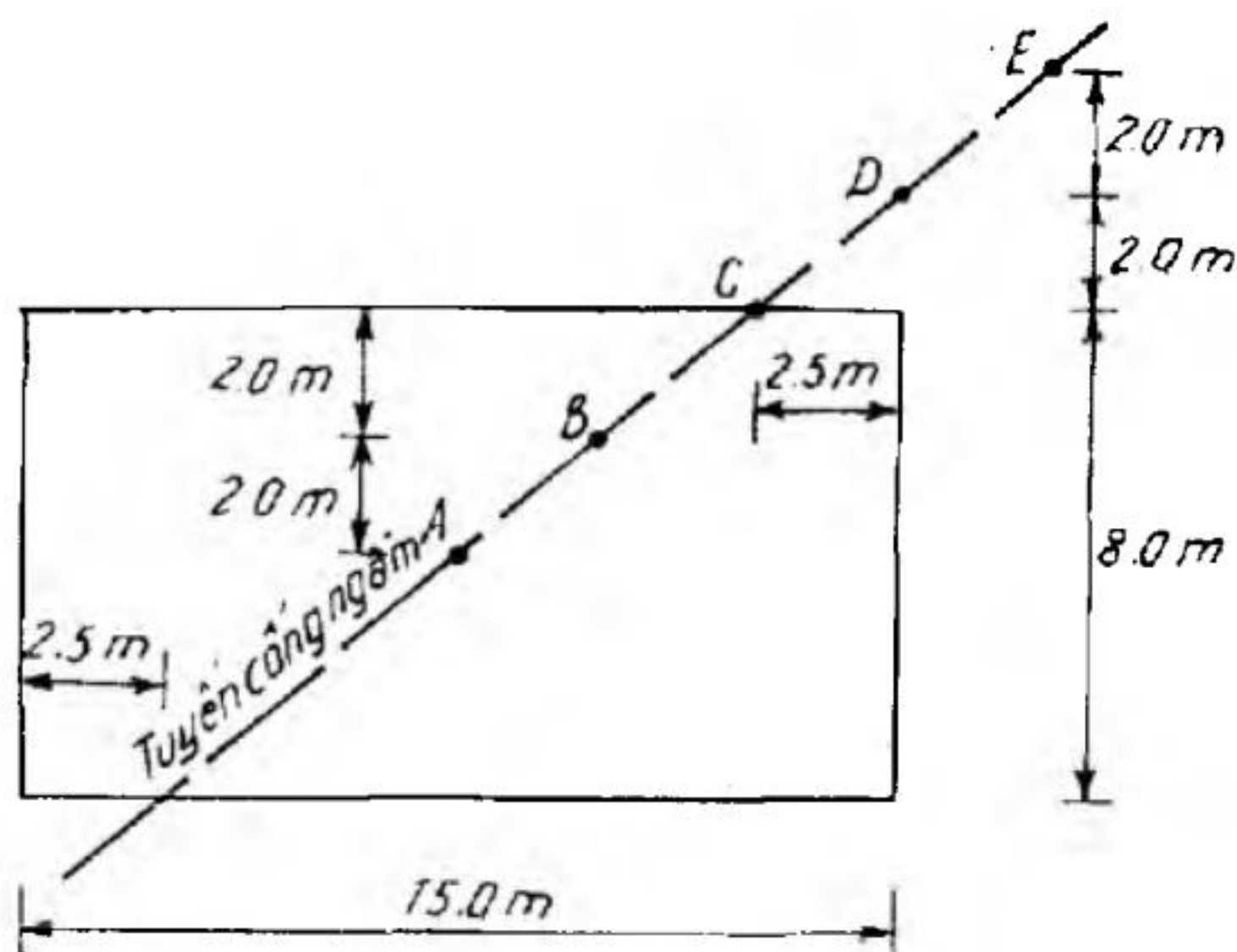


Hình 6-53

10. Hình 6-54 chỉ ra bình đồ móng bè chữ nhật truyền áp suất tiếp xúc phân bố đều 180 kN/m^2 tới đất phía dưới. Một tuyến của đường ống

ngầm cũng được chỉ ra, tuyến đi qua phía dưới móng bê ở độ sâu 3m. Tính cường độ ứng suất thẳng đứng do tải trọng bê gây ra cho tuyến ống ở các điểm A, B, C, D và E đã chỉ ra trên hình vẽ.

- Sử dụng các thừa số ảnh hưởng cho trong bảng.
- Sử dụng toán đồ Newmark chỉ ra trên hình 6-47.



Hình 6-54

Chương 7

ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN CHỐNG CẮT CỦA ĐẤT

7.1. Độ bền chống cắt và mô hình ma sát

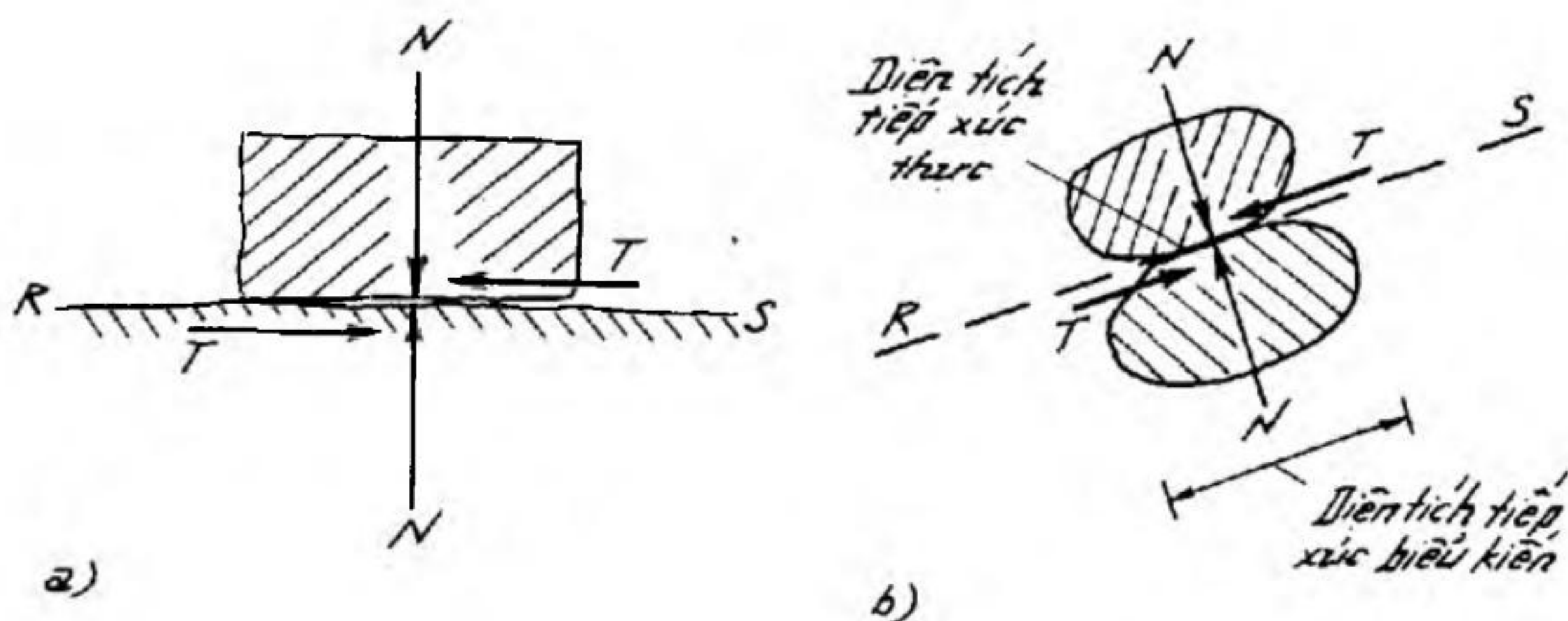
Độ bền chống cắt của đất được định nghĩa bằng giá trị ứng suất chống cắt tối đa hay giới hạn mà đất có thể tạo ra bên trong khối đất trước khi nó bị chảy. Trong hoàn cảnh xác định, chảy sẽ dẫn tới sự tạo thành *mặt trượt cắt*, trên đó có thể xảy ra sự di chuyển trượt tương đối lớn như trượt đất, mái dốc trượt xoay và phá hoại hố móng. Việc đánh giá các thông số của độ bền chống cắt là một phần cần thiết của trình tự phân tích và thiết kế có dính liú với nền móng công trình, tường chắn và mái đất. Độ bền chống cắt ở bên trong khối đất chủ yếu là do sự phát triển của sức kháng ma sát giữa các hạt kề nhau và vì thế việc phân tích chủ yếu dựa trên *mô hình ma sát*.

Lực truyền giữa hai vật thể tại chỗ tiếp xúc tĩnh (hình 7-1) có thể phân tích thành hai thành phần : thành phần *pháp tuyến* N vuông góc với bề mặt giao tiếp và thành phần *tiếp tuyến* T song song với bề mặt giao tiếp. Khi sự di chuyển trượt cắt xảy ra dọc theo bề mặt này, tỉ số T/N sẽ đạt một giá trị giới hạn là *hệ số ma sát* μ :

$$T_{\text{giới hạn}} = \mu N$$

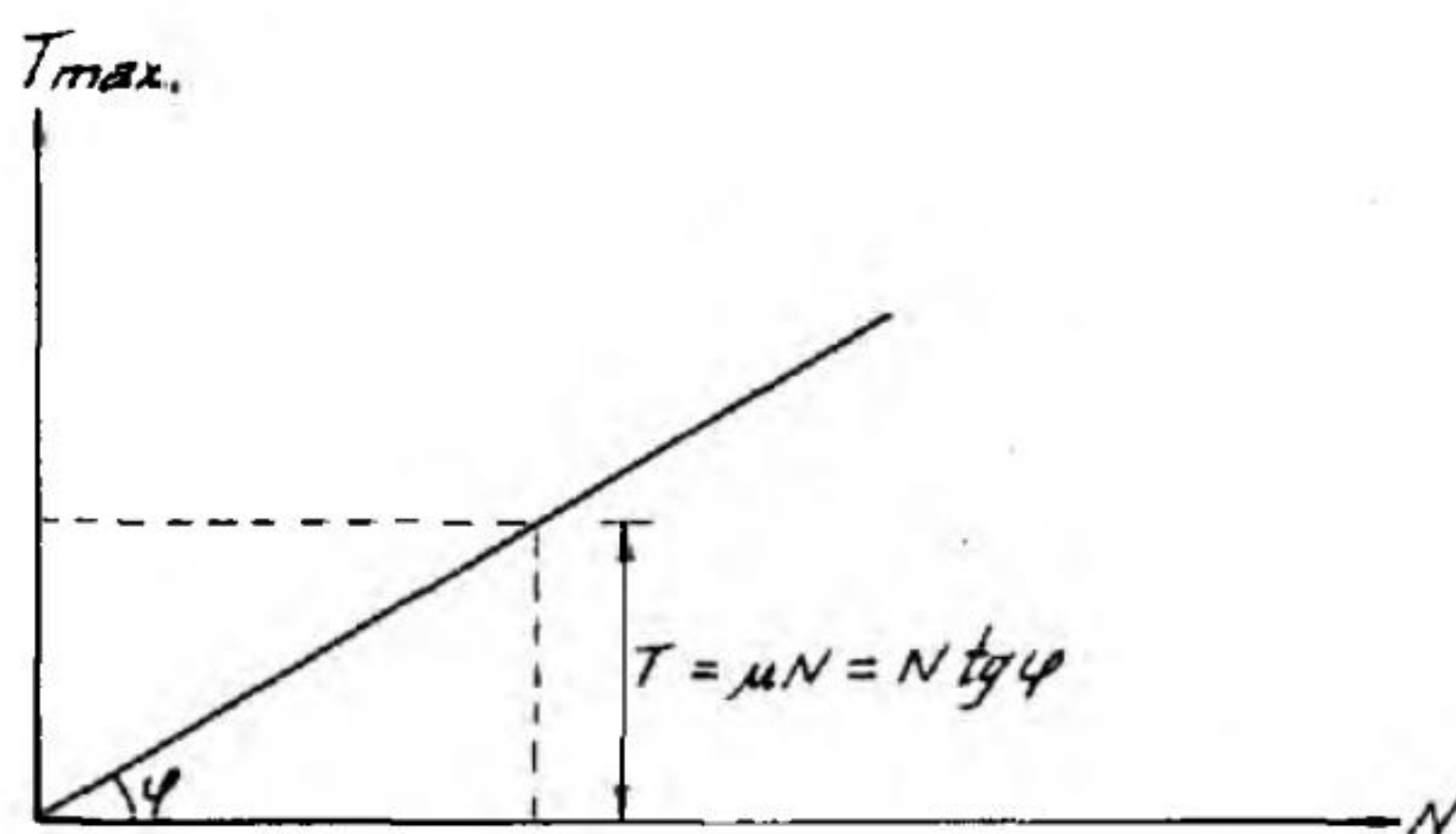
Nếu giả thiết giá trị trung bình của T/N là hằng số với một vật liệu đã cho, giá trị giới hạn của T có thể viết như sau :

$$T_{\text{giới hạn}} = N \tan \varphi' \quad [7.1]$$



Hình 7-1. Mô hình ma sát

ở đây φ' được định nghĩa là góc ma sát, hay đơn giản là góc ma sát, có nghĩa là góc cho bởi đồ thị của T/N (hình 7-2).



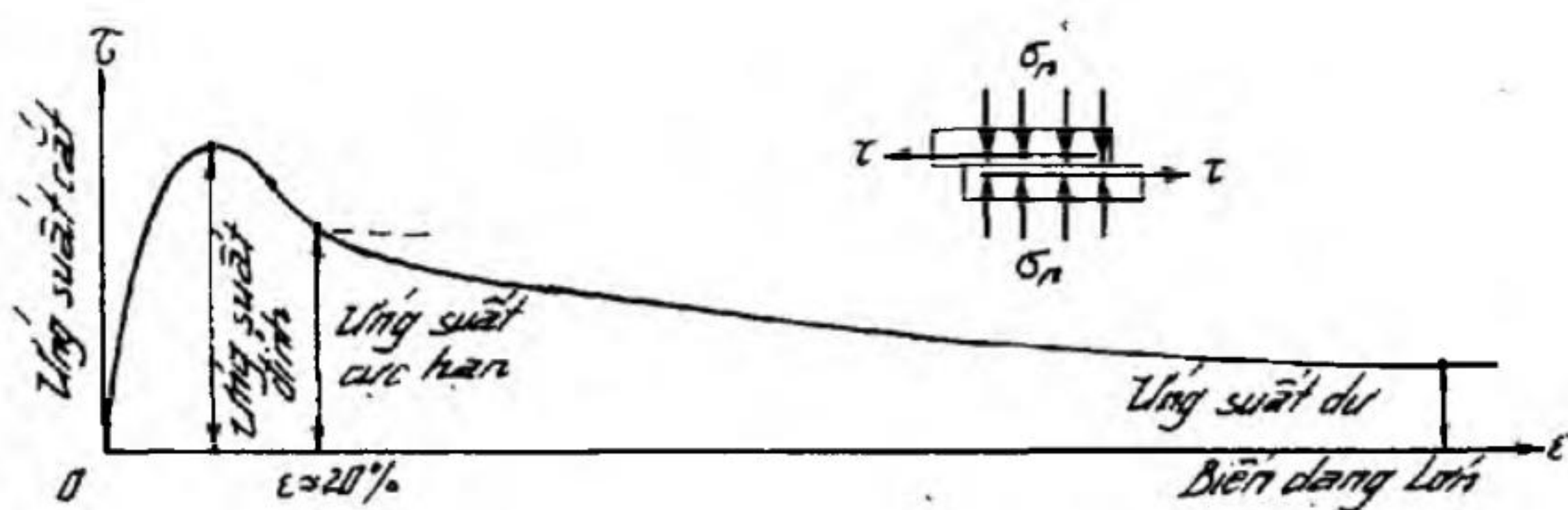
Hình 7-2. Góc ma sát trong

Một nguồn gốc của sức cản ma sát được đưa ra (Bowden và Tabor, 1950 và 1964) là tại các điểm tiếp xúc thực, các hạt được gắn kết hoặc khóa chặt với nhau. Để trượt xảy ra được, vật liệu cản phải bị chảy cục bộ tại các điểm tiếp xúc. Ứng suất chảy của

một vật liệu có thể đánh giá gần đúng bằng đo độ cứng rạch. Giá trị điển hình cho thép chế tạo dụng cụ là 4000 MN/m^2 và cho thạch anh là 7000 MN/m^2 . Bởi vậy, với thép chế tạo dụng cụ được truyền ứng suất pháp là 100 MN/m^2 , diện tích tiếp xúc thực chỉ xấp xỉ $1/40$ diện tích biểu kiến. Trong trường hợp của một loại cát điển hình, ứng suất pháp tạo bởi lớp phủ dày 25m sẽ là $0,5 \text{ MN/m}^2$, để cho diện tích tiếp xúc thực giữa các hạt rất nhỏ chỉ bằng $1/14000$ diện tích bề mặt (hình 7-1b).

Mô hình ma sát cho một cơ sở hữu ích để từ đó hình thành mô tả bằng toán học về trạng thái cát của đất. Tuy nhiên, nó phải được mở rộng để bao hàm một số yếu tố quan trọng riêng cho đất. Ví dụ, bất kì sự đặt tải nào tới khối đất cũng sẽ tạo ra các biến đổi lớn về thể tích, và trong đất bão hòa sự thay đổi độ ẩm sẽ xảy ra với tốc độ được khống chế bởi tính thấm. Trong hoàn cảnh hiện tại, phạm vi tính thấm từ cát tới đất sét gồm có vài chục loại độ lớn vì thế tốc độ biến đổi thể tích tương ứng là khác nhau nhiều. Ngoài ra, giá trị ứng suất cát giới hạn chịu tác động bởi cả độ lớn lẫn tốc độ biến dạng cũng như lịch sử ứng suất của đất (xem thêm chương 6).

Trước tiên, ta xem xét các ảnh hưởng của độ lớn biến dạng. Hình 7-3 cho thấy một đường cong ứng suất cát - chuyển vị (biến dạng) cho sự cát của một phần tử lạng trụ đất. Khi phần tử bị cát với ứng suất pháp σ_n là hằng số, đầu tiên ứng suất cát tăng nhanh



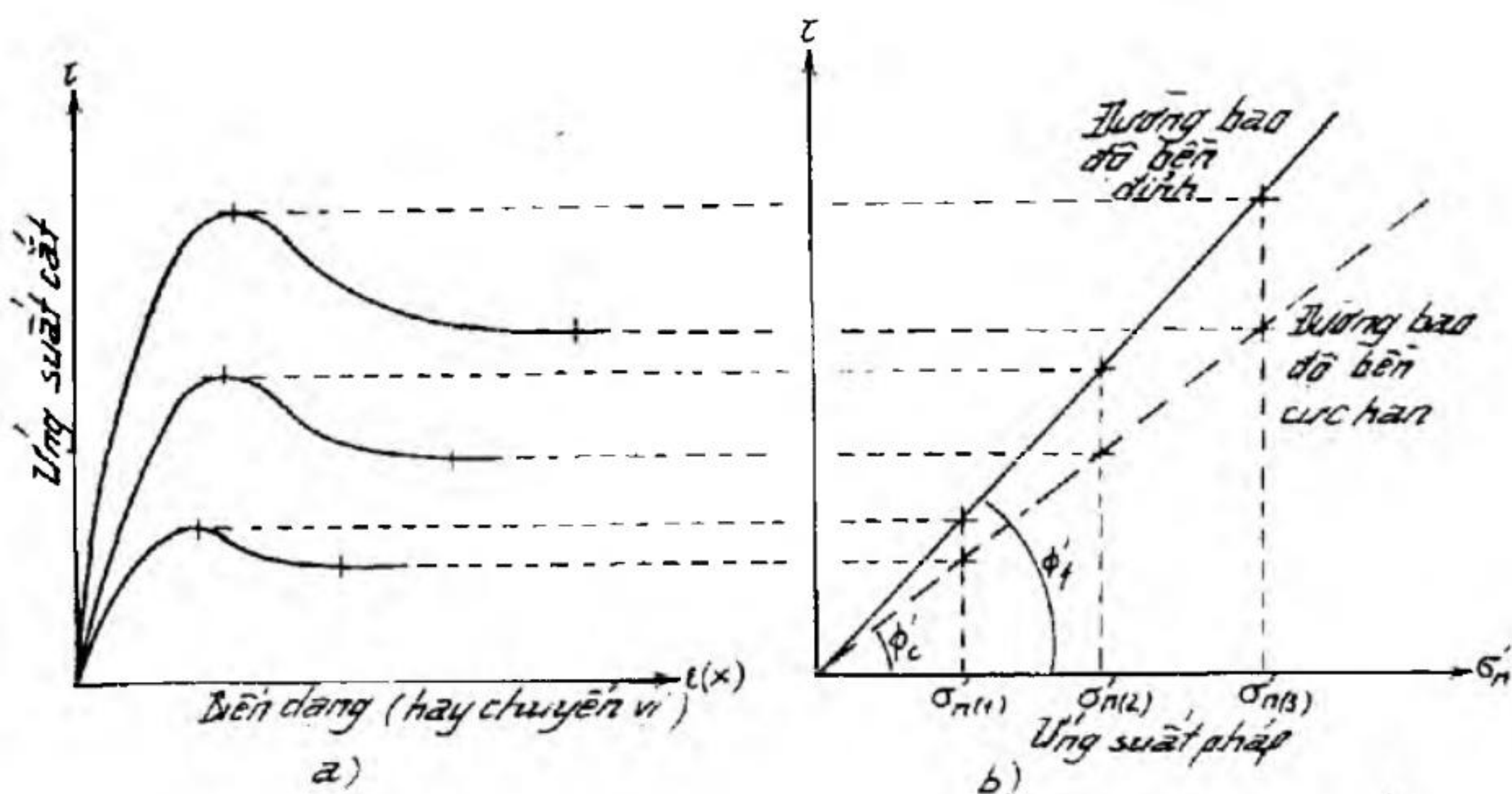
Hình 7-3. Ứng suất giới hạn định, cực hạn và dư

trong khi biến dạng tăng chậm. Khi đất chảy, biến dạng tăng đột ngột trong khi ứng suất cát san bằng và rồi bắt đầu giảm. Giá trị ứng suất cát tối đa này vào lúc chảy được gọi là *ứng suất đỉnh* và biểu thị giá trị giới hạn tương ứng với giá trị của ứng suất pháp khi đó. Ứng suất cát tiếp tục giảm cho tới lúc san bằng lại tại giá trị thấp hơn được gọi là *ứng suất cực hạn*. Ứng suất cực hạn biểu thị độ bền chống cắt của vật liệu tại thể tích giới hạn của nó (xem thêm phần 6.6). Trong hầu hết các trường hợp, giá trị cực hạn sẽ đạt vào lúc biến dạng nằm giữa 10% và 20%.

Lúc biến dạng rất lớn, như trên bề mặt trượt chủ động trong đất sét, ứng suất cát giới hạn còn giảm nhiều hơn nữa và vào lúc chuyển vị trên một mét, nó có thể giảm tới giá trị thấp, bằng 10% của ứng suất đỉnh. Giá trị biến dạng rất lớn này được lấy làm cơ sở cho *ứng suất dư*. Giá trị ứng suất dư liên quan với sự sắp xếp lại dần dần các hạt sét dọc trên bề mặt trượt và có lẽ cũng liên quan với ảnh hưởng của sự mài mòn hoặc mài bóng do trượt.

Đường bao ứng suất. *Đường bao ứng suất* là sự miêu tả bằng đồ thị điều kiện giới hạn riêng biệt ($\tau - \varphi_n$). Các điểm ở dưới đường bao tương ứng với hệ số ứng suất cao nhất có được trước khi chảy, trong khi các điểm trên đường bao tương ứng với hệ số ứng suất lúc chảy. Thực tế không thể tồn tại các điểm cao trên đường bao.

Hình 7-4a cho thấy đồ thị ứng suất - biến dạng theo kết quả của thí nghiệm cát thoát nước trên ba mẫu có cùng độ chặt hay đất quá cố kết tại các ứng suất pháp $\sigma_{n(1)} < \sigma_{n(2)} < \sigma_{n(3)}$. Khi các giá trị ứng suất cát đỉnh ($\tau_f - \sigma_n$) và ứng suất cực hạn ($\tau_c - \sigma_n$) được chuyển chỗ (dùng cùng tỉ lệ) trên tung độ dọc theo trục ứng suất pháp (hình 7-4b), đường thẳng tốt nhất đi qua các điểm đã vẽ sẽ cho ta đường bao tương ứng. Góc giữa đường bao và trục ứng suất pháp được gọi là *góc kháng cắt* φ' và có thể dùng để đánh giá tốt góc ma sát được đưa ra trong mô hình ma sát (phương trình [7.1]).



Hình 7-4. Đường bao ứng suất đỉnh và cực hạn
a) đường cong ứng suất - biến dạng ; b) đường bao ứng suất

Để định rõ điều kiện trạng thái, cần thiết viết thêm chữ ở phía dưới cho φ' :

φ'_f - góc kháng cắt đỉnh ;

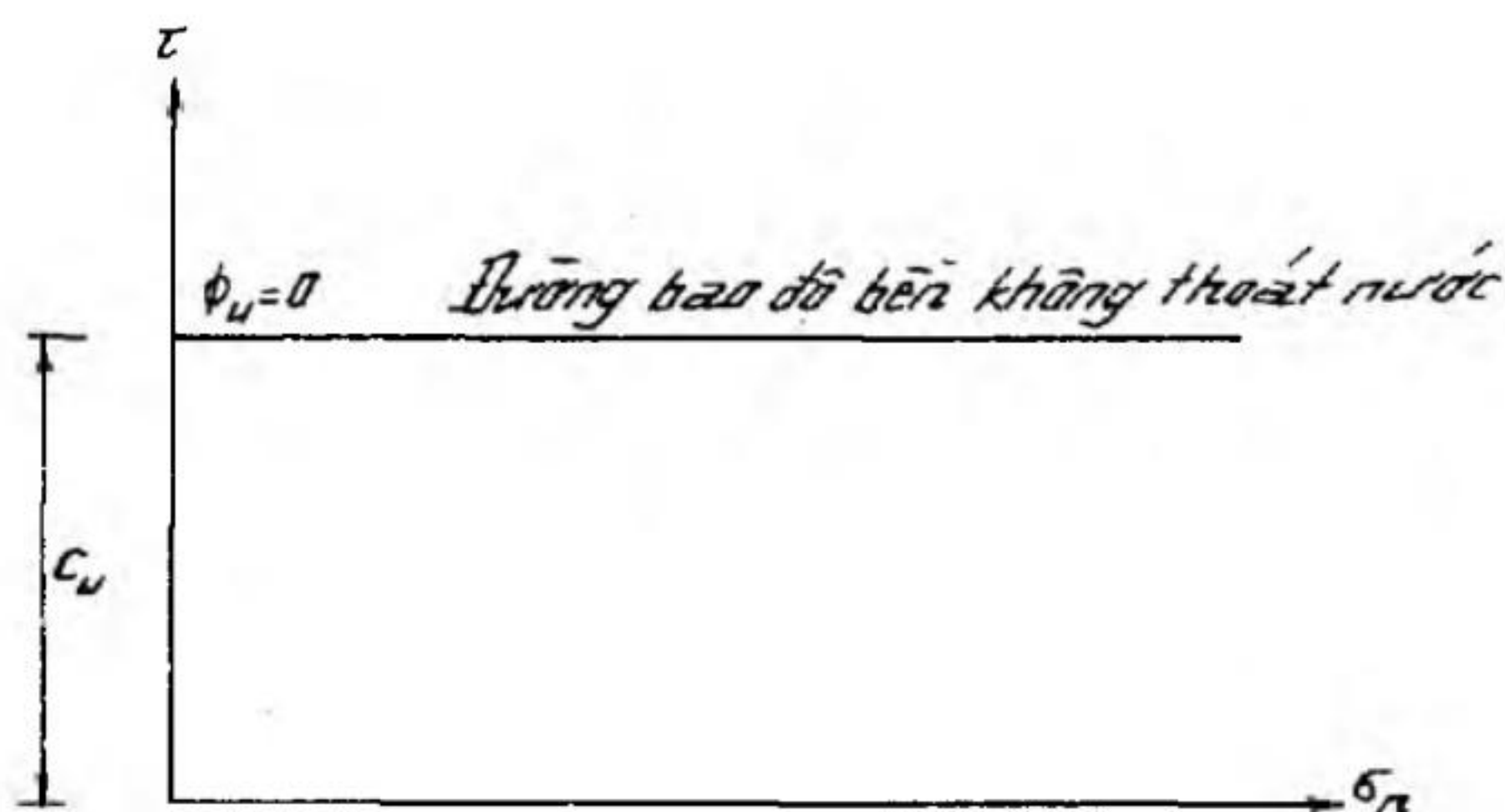
$\varphi'_{ult.}$ - góc kháng cắt cực hạn ;

φ'_c - góc kháng cắt giới hạn (có thể lấy bằng $\varphi'_{ult.}$) ;

φ'_r - góc kháng cắt dư.

Độ bền chống cắt không thoát nước và lực đỉnh. Đồ thị thấy ở trên liên hệ với điều kiện tải thoát nước, có nghĩa là nó không làm cho áp lực nước lỗ rỗng tăng lên. Trong điều kiện *không thoát nước*, đất bão hòa rõ ràng có một ứng suất cắt giới hạn không đổi tại tất cả các giá trị ứng suất pháp, vì rằng từ phương trình [4.8] có $\Delta\sigma'_n = \Delta\sigma_n - \Delta u$. Bởi vậy, một sự tăng ứng

suất pháp tổng sẽ dẫn tới một sự tăng tương tự áp lực nước lỗ rỗng, vì thế ứng suất pháp hiệu quả luôn là hằng số. Một nhóm các thí nghiệm không thoát nước cho mẫu bão hòa của cùng loại đất được tiến hành với các ứng suất pháp khác nhau, sẽ cho một đồ thị đường bao độ bền tương tự hình 7-5.

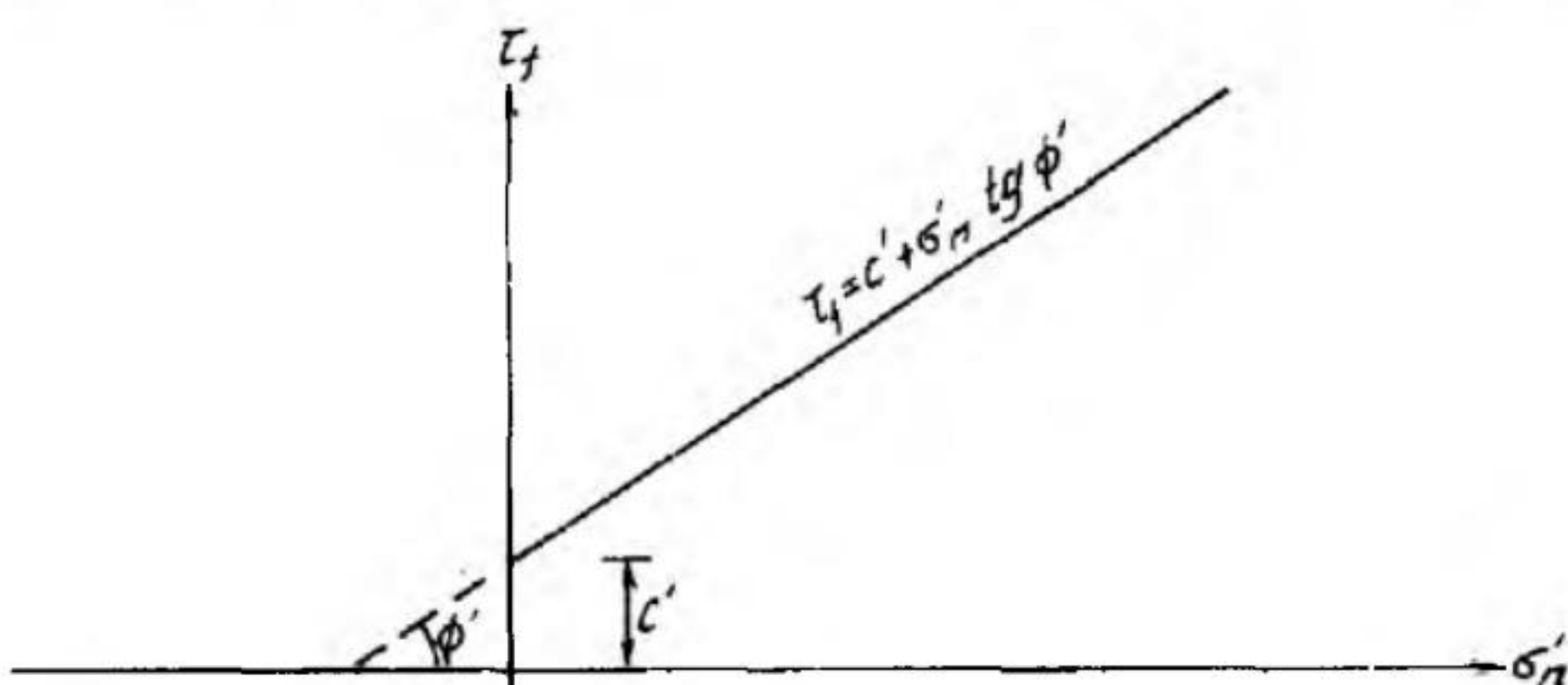
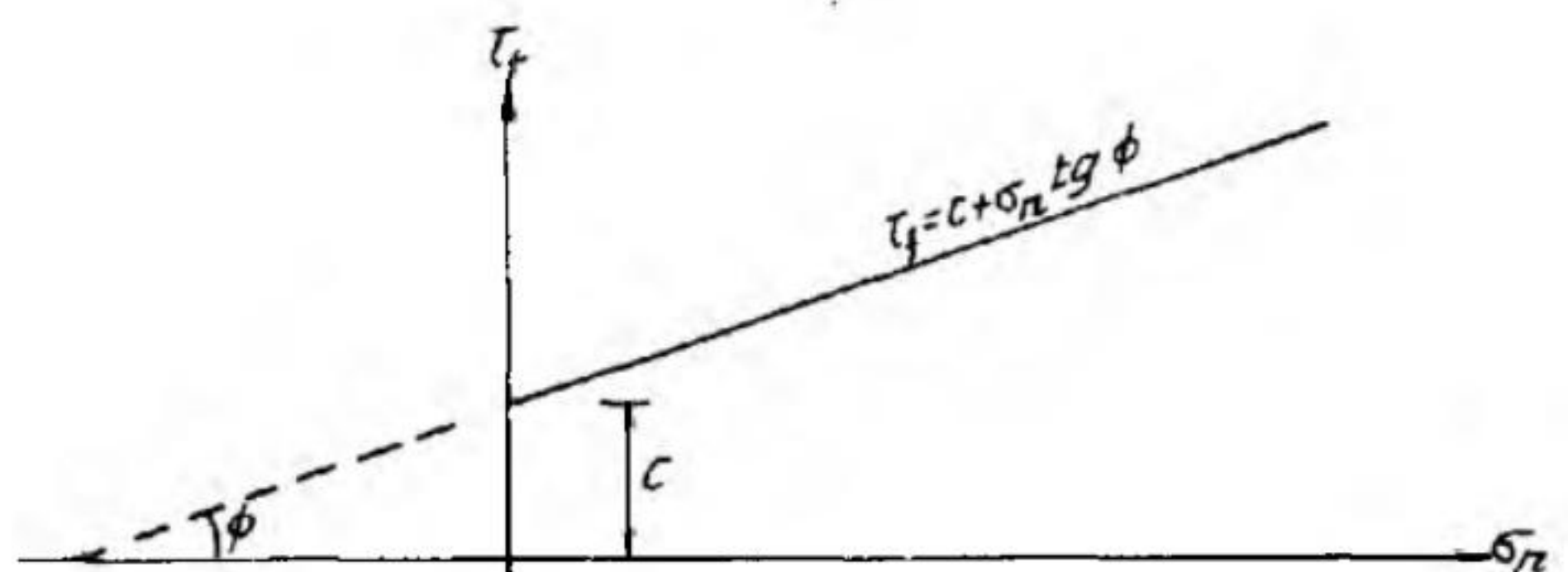


Hình 7-5. Đường bao độ bền chống cắt không thoát nước

Góc kháng cắt biểu kiến φ_u bằng không và đường bao độ bền chặn trực ứng suất cắt tại một giá trị được gọi là *độ bền chống cắt không thoát nước* hoặc *lực dính không thoát nước* c_u của đất. Độ bền chống cắt không thoát nước của đất bão hòa rõ ràng là hằng số. Tuy nhiên, phải lưu ý hai điều kiện quan trọng liên hệ với giá trị quan sát bất kì của c_u . Trước hết, giá trị chỉ thích ứng cho khối đất không thoát nước, và thứ hai, giá trị tương ứng với một độ ẩm riêng biệt (và thể tích riêng). Tại một độ ẩm (hoặc thể tích riêng) khác sẽ có một giá trị độ bền chống cắt không thoát nước khác.

Thuật ngữ *lực dính* dễ bị đánh lừa và thường bị hiểu lầm. Quan điểm lúc đầu về bản chất của lực biểu kiến giữ các hạt đất với nhau được tập trung vào sự liên kết giữa các hạt phát sinh từ điều kiện tĩnh điện trên bề mặt của khoáng vật sét. Trong trường hợp đất tải không thoát nước, lực dính biểu kiến liên hệ với các ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng. Với đất sét quá cố kết, tiến hành

thí nghiệm cắt thoát nước cho khoảng chặn lực dính c' , được đề nghị thừa nhận là lực dính thực có thể tồn tại giữa các hạt đất (hình 7-6). Tuy nhiên, điều đó không chắc có thực, vì rằng thí nghiệm thoát nước cho mẫu cùng loại đất trong điều kiện cố kết thông thường rõ ràng cho khoảng chặn của $c' = 0$. Khả chắc chắn là, giá trị nhận được cho $c' > 0$ là kết quả của công thức hiện thêm (trong trường hợp mẫu quá cố kết) đối với sự tăng thể tích. Với đất sét chế bị bao gồm cả đất sét ở vùng lân cận bề mặt trượt biến dạng lớn (có điều kiện dư), giá trị c' phải lấy bằng không.



Hình 7-6. Phương trình Coulomb và đường bao phá hoại

a) đối với ứng suất tổng ; b) đối với ứng suất hiệu quả

c_u – độ bền chống cắt không thoát nước (hoặc lực dính không thoát nước) ;

c' – lực dính biểu kiến (liên quan với ứng suất hiệu quả).

7.2. Phá hoại cắt và các thông số

Vào năm 1776, Coulomb là người đầu tiên đưa ra lý thuyết và một phương trình đơn giản liên hệ độ bền chống cắt của đất với ứng suất pháp tác dụng. Với một loại đất đã cho, lực dính kháng cắt được giả thiết là hằng số và không phụ thuộc vào ứng suất tác dụng, trong khi sức cản ma sát biến đổi trực tiếp với độ lớn của ứng suất pháp biểu lộ trên bề mặt trượt cắt. Vì thế phương trình đường thẳng cho ứng suất cắt giới hạn có dạng :

$$\tau_f = c + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi \quad [7.2]$$

ở đây : c – lực dính biểu kiến ;

σ_n – ứng suất pháp trên mặt trượt ;

φ – góc ma sát trong.

Hình 7-6a miêu tả bằng đồ thị phương trình Coulomb. Từ hình, có thể thấy là, giá trị *lực dính* c là khoảng chặn trên trục ứng suất cắt và $\operatorname{tg} \varphi$ là độ dốc của đường.

Hiện nay, nói chung thừa nhận rằng, trong thực tế độ bền chống cắt liên hệ với *ứng suất hiệu quả* (hình 7-6b), do vậy biểu thức trở thành :

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \operatorname{tg} \varphi' \quad [7.3]$$

ở đây : c' – lực dính biểu kiến tạo bởi ứng suất hiệu quả ;

σ'_n – ứng suất pháp hiệu quả trên mặt trượt ;

$\sigma'_n = \sigma_n - u$ (phương trình [4.6]) ;

u – áp lực nước lỗ rỗng tác động lên mặt trượt ;

φ' – góc ma sát trong tạo bởi ứng suất hiệu quả.

Với một loại đất đã cho, các thông số độ bền chống cắt c' và φ' có giá trị là hằng số, với điều kiện là hệ số rỗng, dung trọng và áp lực nước lỗ rỗng cũng là hằng số với các giá trị ứng suất pháp khác nhau. Điều đó không thể có cả ở thí nghiệm ngoài trời cũng như thí nghiệm trong phòng, vì rằng trong điều kiện đặt tải thoát nước thể tích sẽ thay đổi và trong điều kiện đặt tải không thoát

nước áp lực nước lỗ rỗng sẽ biến đổi. Do vậy, cần thiết liên hệ giá trị đo với loại thí nghiệm và điều kiện được đo.

Tiêu chuẩn phá hoại Mohr – Coulomb và các khái niệm quan trọng khác của phá hoại đất được đề cập đầy đủ hơn trong chương 6.

Đo lường độ bền chống cắt và các thông số thực dụng. Mục đích của thí nghiệm độ bền chống cắt là xác định các giá trị thực nghiệm cho các thông số của độ bền chống cắt. Điều kiện thoát nước trong lúc thí nghiệm có ý nghĩa đặc biệt và ảnh hưởng nhiều tới giá trị đo. Điều quan trọng là, giá trị lực dính và góc ma sát đo được liên quan với điều kiện thí nghiệm. Thí nghiệm độ bền chống cắt được tiến hành trong hai giai đoạn chính, bao gồm các dạng điều kiện thoát nước sau đây.

Thí nghiệm không thoát nước. Trong thí nghiệm không thoát nước (đôi khi được coi là thí nghiệm *nhANH* – *không thoát nước*), nước lỗ rỗng không được thoát ra, vì thế sự tăng nào đó của ứng suất tổng tạo nên sự tăng tương ứng của áp lực nước lỗ rỗng (xem phần 4.6 và 4.7). Trong trường hợp đất bão hòa hoàn toàn (hệ số áp lực nước lỗ rỗng $B = 1$), độ tăng áp lực nước lỗ rỗng sẽ bằng độ tăng ứng suất tổng ; và vì thế không xảy ra sự tăng ứng suất hiệu quả.

Nếu $\Delta u = \Delta \sigma_n$, thì $\Delta \sigma' = 0$

Từ hình 7-6, cho được : $\tau_f = c_u$ [7.4]

ở đây : c_u – lực dính không thoát nước (độ bền chống cắt không thoát nước).

Bởi vì áp lực nước lỗ rỗng không được đưa vào tính toán, độ bền không thoát nước xác định bằng cách này chỉ quan hệ với ứng suất tổng và chỉ tin cậy nếu mẫu thí nghiệm được biết là bão hòa ; với đất bão hòa, $\varphi_u = 0$. Giá trị φ_u cũng phụ thuộc vào hệ số rỗng (hoặc thể tích riêng) của đất và tương ứng với ứng suất *cực hạn* (trạng thái giới hạn) ; một ứng suất *dính* cao hơn không thấy thể hiện.

Thí nghiệm cố kết – không thoát nước. Trong phương pháp này, mẫu thí nghiệm trước tiên được cho cố kết trong điều kiện ứng suất đẳng hướng là hằng số và thoát nước hoàn toàn, sau đó tăng tải dọc trục và không cho thoát nước. Giai đoạn cố kết ban đầu chuyển đất tới trạng thái thể tích và áp lực nước lỗ rỗng đã quy

định, từ đó có thể đo đạc chính xác các thay đổi tiếp theo của thể tích hoặc áp lực nước lỗ rỗng.

Thí nghiệm cố kết - không thoát nước được dùng để xác định các thông số của ứng suất hiệu quả là c' và φ' , sự thay đổi thể tích và các đặc trưng độ cứng của đất. Nếu các thông số của độ bền chống cắt không thoát nước được đánh giá, chúng phải được coi là c_{cu} và φ_{cu} .

Thí nghiệm thoát nước. Giống như trong thí nghiệm cố kết - không thoát nước, mẫu thí nghiệm trước tiên được cố kết trong điều kiện ứng suất đẳng hướng là hằng số và thoát nước hoàn toàn. Khi giai đoạn cố kết hoàn thành, tăng tải dọc trục với tốc độ nhỏ đủ để bảo đảm rằng không xảy ra việc tăng áp lực nước lỗ rỗng. Độ tăng ứng suất hiệu quả, do vậy bằng độ tăng ứng suất tổng ($\Delta\sigma' = \Delta\sigma$).

Ứng suất đỉnh biểu lộ trong đất chặt hay cố kết quá mức làm đường bao phá hoại dâng lên.

$$\tau_f = c' = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_f \quad [7.5]$$

ở đây : φ_f - góc ma sát đỉnh.

Với đất cố kết thông thường, đường bao phá hoại dựa trên ứng suất hiệu quả cực hạn đi qua gốc tọa độ, có nghĩa $c' = 0$, vì thế :

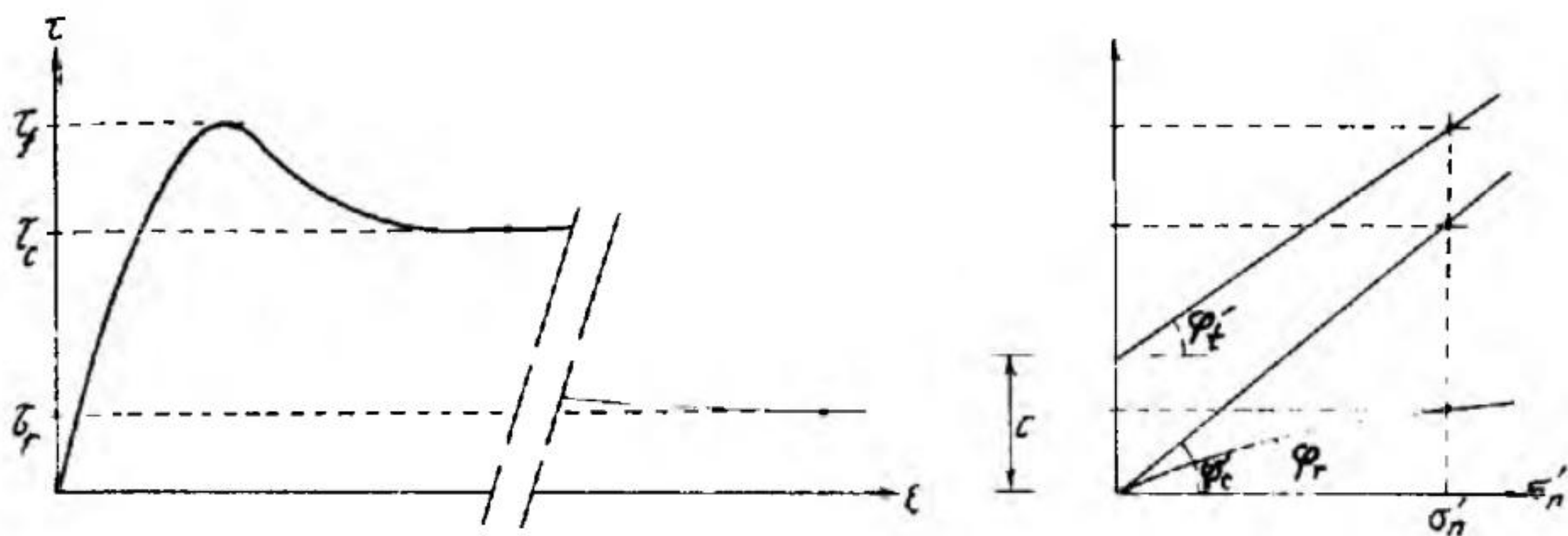
$$\tau_f = \sigma \operatorname{tg} \varphi_c \quad [7.6]$$

ở đây : φ_c - góc ma sát giới hạn.

Với điều kiện dư liên quan với biến dạng lớn, đường bao phá hoại hơi cong tại các ứng suất thấp và c_r có xu hướng tiến tới không. Góc ma sát dư φ_r , do vậy phụ thuộc ứng suất (xem thêm phần 7.14), nhưng thường dùng quan hệ sau đây :

$$\tau_f = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_r \quad [7.7]$$

Hình 7-7 cho thấy ba đường bao độ bền (phá hoại) trong mối liên hệ với đường cong ứng suất - biến dạng.



Hình 7-7. Độ bền dính, giới hạn và dư

Các loại thí nghiệm cắt. Nhiều loại thí nghiệm cắt có thể sử dụng ; một số được dùng trong phòng thí nghiệm và một số được dùng ở *hiện trường*. Chúng được liệt kê khái quát ở dưới đây, các phương pháp phần nào quan trọng sẽ được trình bày ở các phần sau. Tất cả các phương pháp thí nghiệm có một đặc trưng chung là thí nghiệm với *mẫu*, hoặc được tiến hành ở ngoài trời hoặc trên mẫu mang về phòng thí nghiệm. Nhằm có được kết quả tin cậy, điều chủ yếu là mẫu phải đại diện chính xác cho các vật liệu ở hiện trường tham dự vào quá trình xây dựng. Việc lấy mẫu, đóng gói và vận chuyển mẫu từ hiện trường về phòng thí nghiệm phải hết sức thận trọng ; đặc biệt ở nơi yêu cầu *mẫu nguyên dạng*, phải bảo vệ cấu trúc, dung trọng và độ ẩm tự nhiên của đất.

Các thí nghiệm trong phòng :

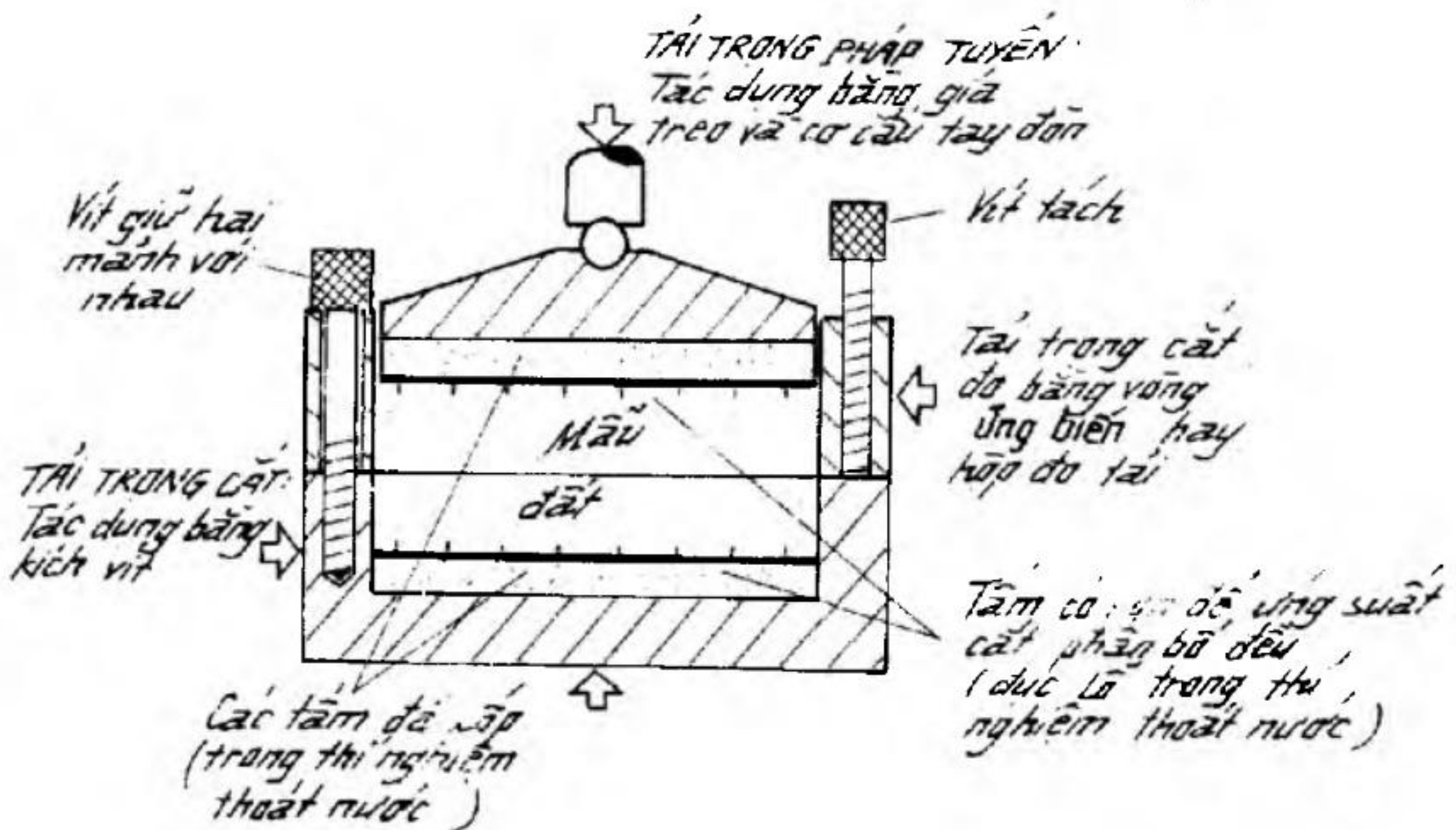
Hộp cát	(mục 7.3)
Nén ba trục	(mục 7.6)
Cố kết đẳng hướng	(mục 7.12)
Cắt vòng	(mục 7.14)
Đường ứng suất	(mục 7.17)

Các thí nghiệm hiện trường :

Hộp cát <i>hiện trường</i>	
Cắt cánh	(mục 7.18)
Xuyên	(mục 11.8 và 12.5)

7.3. Thí nghiệm hộp cát

Thí nghiệm này đôi khi gọi là thí nghiệm cát *trực tiếp*, bởi vì ứng suất pháp và ứng suất cắt trên mặt phá hoại được đo trực tiếp. Một lăng trụ vuông được cắt cẩn thận từ một mẫu đất (hoặc chế bị lại nếu cần) và cho vừa khít bên trong một hộp kim loại vuông được tách thành hai nửa nằm ngang (hình 7-8). Loại thiết bị tiêu chuẩn thì hộp có kích thước 60mm × 60mm, nhưng để thí nghiệm cho đất hạt thô và đất sét nứt nẻ phải dùng loại lớn hơn.



Hình 7-8. Hộp cắt

Với hai nửa hộp được giữ lại với nhau, mẫu đất ở trong hộp được kẹp giữa các tấm kim loại có gợn và gợn xốp. Một tấm đệm áp lực được đặt ở đỉnh và bản thân hộp đặt trong một hộp bao ngoài (nó cũng có tác dụng như một bồn nước), hộp này chuyển động ngang trên các ổ lăn. Rồi đặt tải trọng thẳng đứng lên mẫu bằng cách treo quả cân tĩnh. Sau khi bỏ vít giữ hai nửa hộp với nhau, đất được cắt bởi lực nằm ngang tác dụng bằng một kích vít với tốc độ biến dạng không đổi. Độ lớn của lực cắt được đo bằng một vòng ứng biến hoặc hộp đo lực bằng điện.

Trình tự lập lại cho bốn hay năm mẫu của cùng loại đất. Giá trị ứng suất pháp và ứng suất tiếp được tính và vẽ thành đồ thị ; trong các thiết bị hiện đại, thường dùng máy vẽ x – y hoặc máy vi tính để hoàn thành việc đó. Đường bao độ bền chống cắt tương ứng với ứng suất đỉnh và ứng suất cực hạn là phù hợp khi đường thẳng tốt nhất vẽ được qua các điểm của đồ thị $\tau - \sigma_n$.

Ví dụ mẫu 7.1. Tiến hành thí nghiệm hộp cát cho một mẫu sét chứa cát được các kết quả sau đây :

Tải trọng pháp tuyến (N)	108	202	295	390	484	576
Tải trọng cắt lúc phá hoại (N)	172	227	266	323	374	425

Diện tích bề mặt cát là $60 \times 60 \text{ mm}$.

Hãy xác định lực dính biểu kiến và góc ma sát của đất.

Bài giải

Diện tích bề mặt cát : $60 \times 60 \times 10^{-4} \text{ m}^2$.

Vì thế, đối với mẫu thứ nhất :

$$\text{Ứng suất pháp } \sigma'_n = \frac{108 \times 10^{-3}}{3,6 \times 10^{-3}} = 30,0 \text{ kN/m}^2.$$

$$\text{Ứng suất cắt lúc phá hoại } \tau_f = \frac{172 \times 10^{-3}}{3,6 \times 10^{-3}} = 47,8 \text{ kN/m}^2.$$

Tương tự, các giá trị khác sẽ là :

Ứng suất pháp σ'_n (kN/m ²)	30,0	56,1	81,9	108,3	134,4	160,0
Ứng suất cắt tối đa τ_f (kN/m ²)	47,8	63,1	73,9	89,7	103,9	118,1

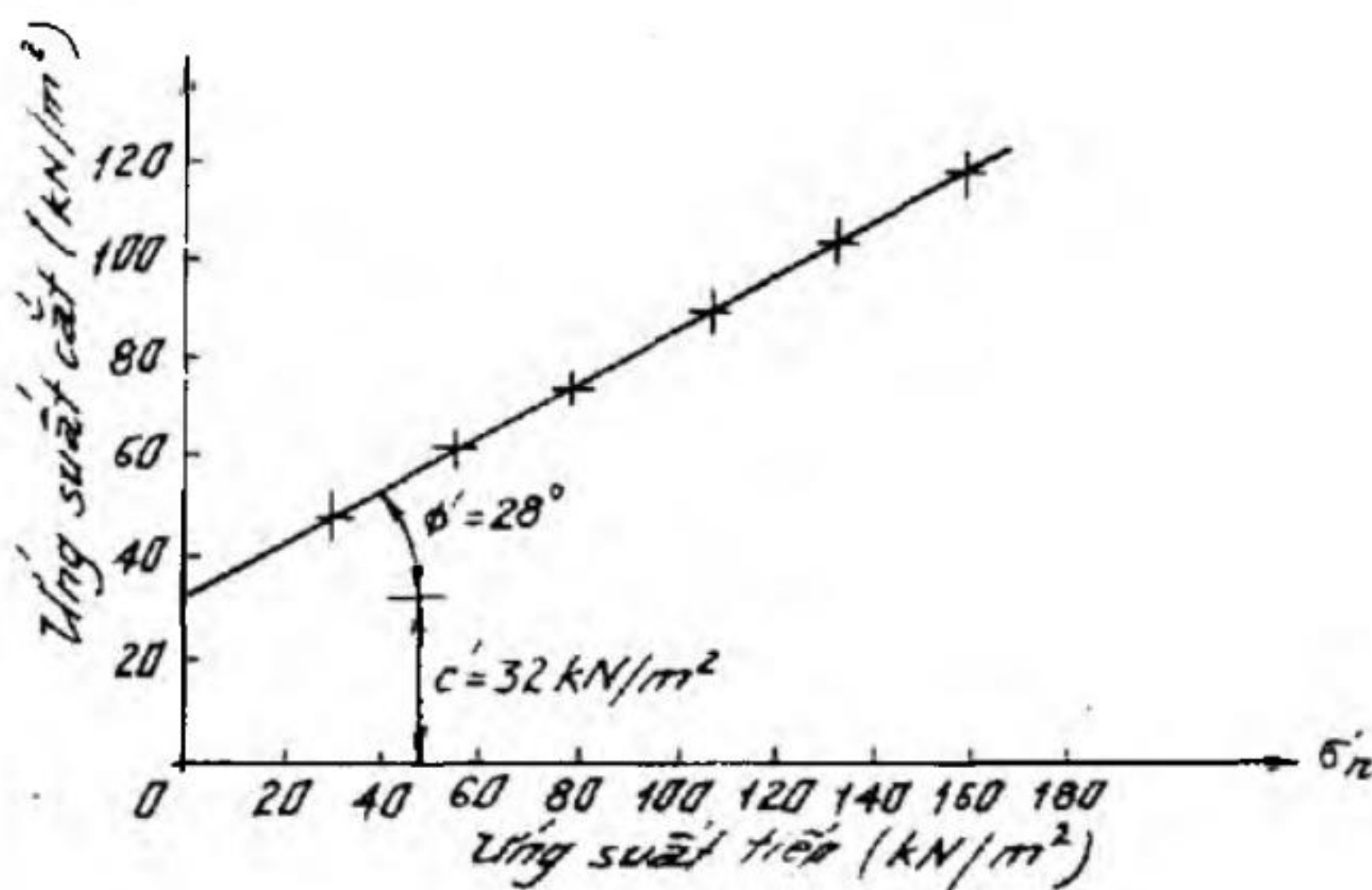
Hình 7-9 cho thấy đồ thị ứng suất cắt đỉnh đối với ứng suất pháp và đường thẳng tốt nhất vẽ qua các điểm cho ta đường bao độ bền chống cắt. Từ đồ thị các thông số độ bền chống cắt đo được là :

Lực dính biểu kiến

$$c' = 33 \text{ kN/m}^2.$$

Góc ma sát đỉnh

$$\varphi' = 28^\circ.$$



Hình 7-9. Đồ thị ứng suất cắt – ứng suất pháp ở ví dụ mẫu 7.1

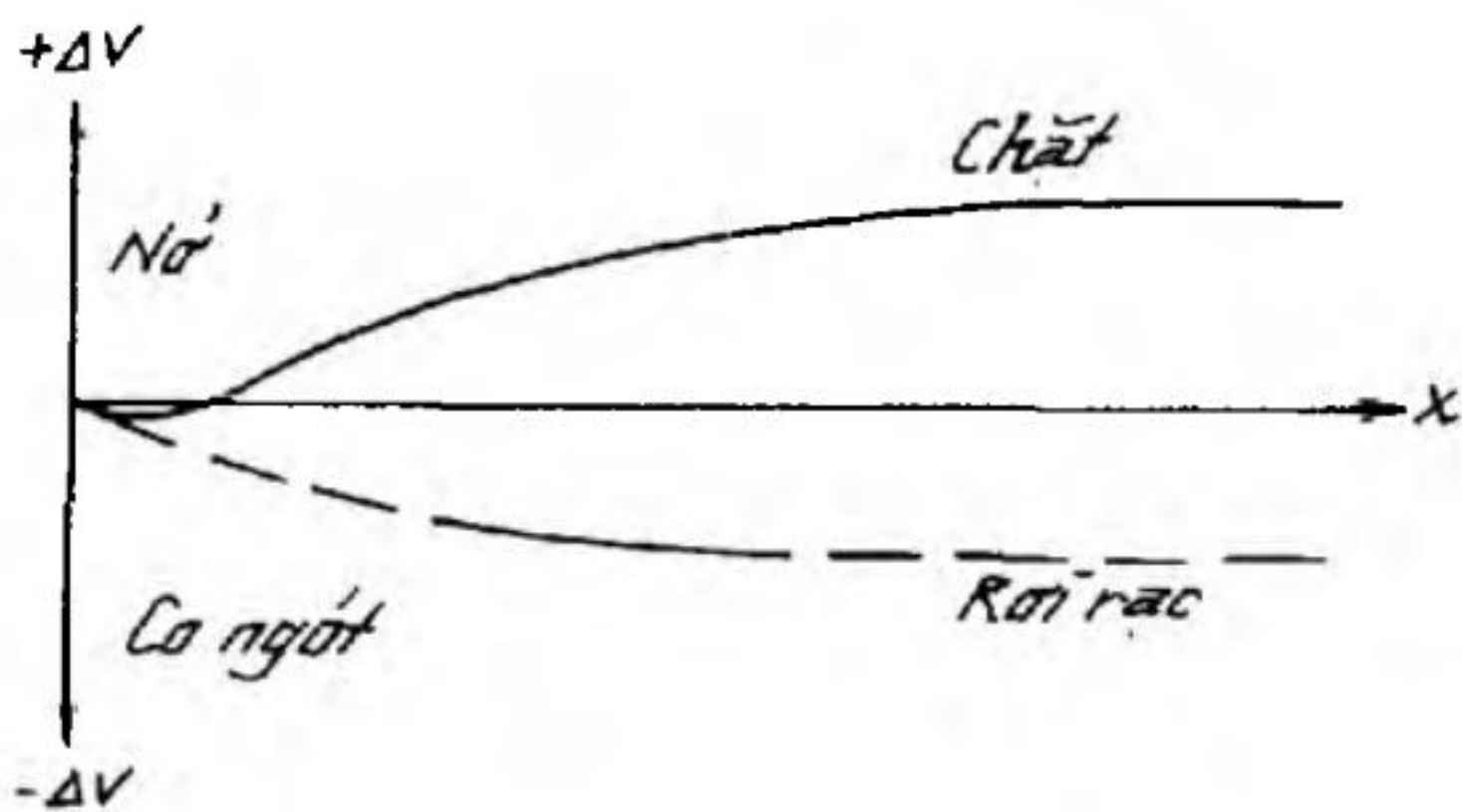
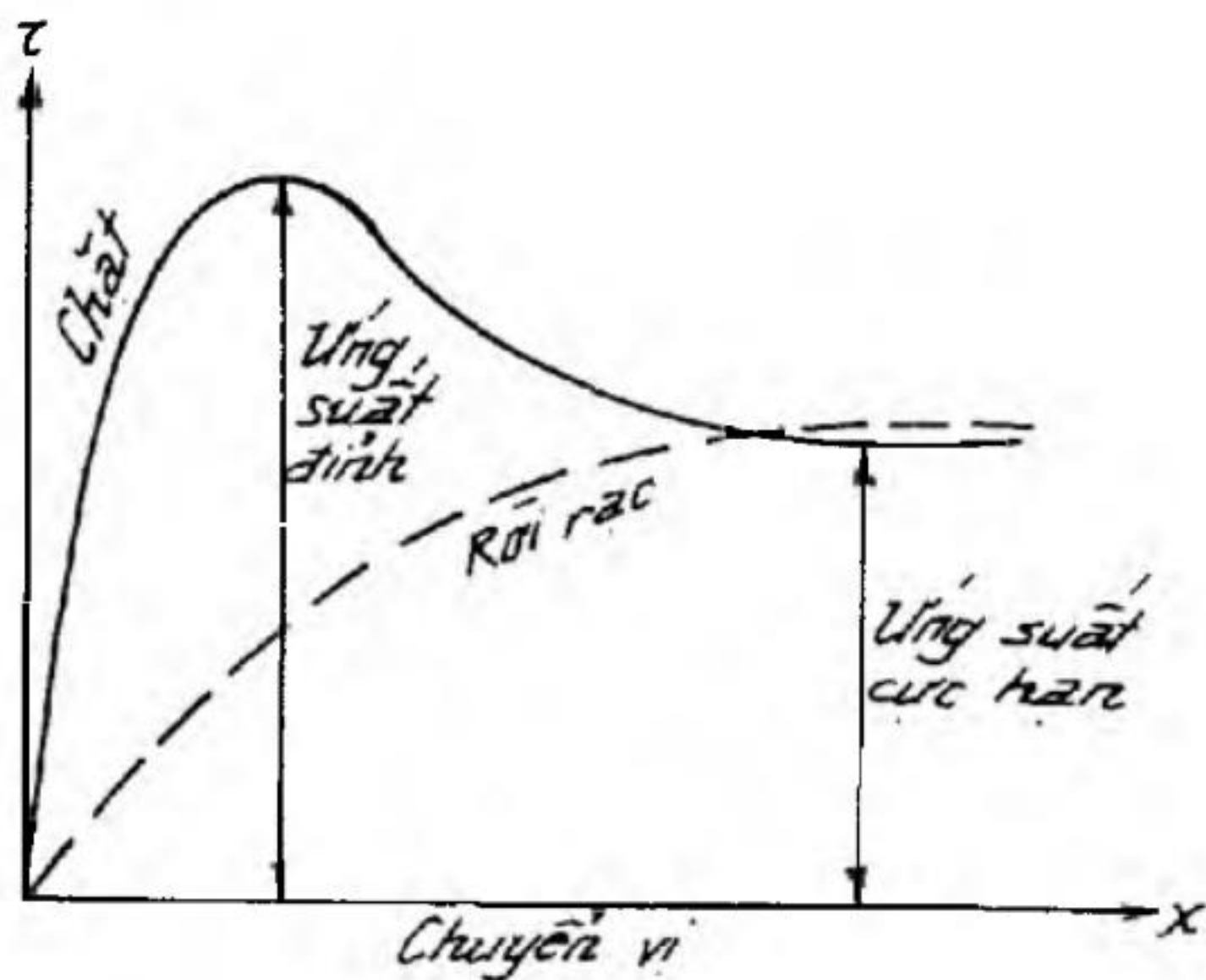
7.4. Độ bền chống cắt và các đặc trưng biến dạng

Quan hệ giữa độ bền chống cắt và các đặc trưng biến dạng của đất chủ yếu phụ thuộc vào sự thay đổi thể tích trong quá trình cắt. Trong trường hợp của cát, mức độ cài vào nhau giữa các hạt lớn hơn khi đất chèn chặt. Để phá vỡ sự ma sát do các hạt đất cài vào nhau tại các điểm tiếp xúc thì cần có sự giãn hay nở ban đầu. Vì thế, lúc đầu ứng suất cắt tăng đột ngột tới giá trị đỉnh tại một trị số chuyển vị tương đối thấp (và chính là biến dạng) và với sự tăng thể tích tương ứng (hình 7-10). Tại thể tích mới này, sự cài vào nhau giảm đi và do đó chuyển vị tiếp tục mà ứng suất cắt sụt xuống và cuối cùng giữ ở mức giá trị cực hạn.

Tính chất này của cát chặt trái ngược với tính chất của cát chèn xốp rời, bởi vì ở loại đất sau ứng suất cắt tăng ổn định khi chuyển vị tăng lên (hình 7-10). Thể tích giảm đi và đất chuyển sang trạng thái chặt hơn khi ứng suất cắt tăng lên để đạt tới cùng giá trị cực hạn. Thể tích không đổi đạt được tại ứng suất cực hạn tương ứng

với trạng thái thể tích giới hạn (xem thêm phần 6.6). Sự khác nhau giữa giá trị đỉnh và giá trị cực hạn rõ ràng phụ thuộc vào thể tích ban đầu của đất : đất chặt hơn thể tích giới hạn sẽ nở, trong khi đất rời rạc hơn thể tích giới hạn sẽ co ngót. Hơn nữa, *ứng suất đỉnh* là hàm số của trạng thái chèn và thể tích ban đầu.

Trong trường hợp cát rất rời rạc, thể tích lớn hơn nhiều giá trị giới hạn và vì thế một giá trị chuyển vị nhỏ sẽ kèm theo sự thay đổi lớn về thể tích. Loại đất như thế chắc chắn dễ đầm chặt bằng tải trọng tương đối nhỏ hay rung động, gây ra co ngót và lún.



Hình 7-10. Đặc tính ứng suất của đất chặt và đất rời rạc

Góc tự nhiên mà đồng cát hay cuội khô nằm nghiêng được ổn định không phải chông đỡ, được coi là góc *nghi* và nó tương đương với $\varphi'_{\text{rơi rạc}}$ hoặc với giá trị cực hạn φ'_c . Tuy nhiên, phải ghi nhớ là, nếu đất ẩm ướt, sự hút ẩm lỗ rỗng làm tăng ứng suất hiệu quả giữa các hạt và vì thế góc dốc nghiêng sẽ lớn hơn, ví dụ như các thành tạo cát ven biển (xem thêm phần 9.2).

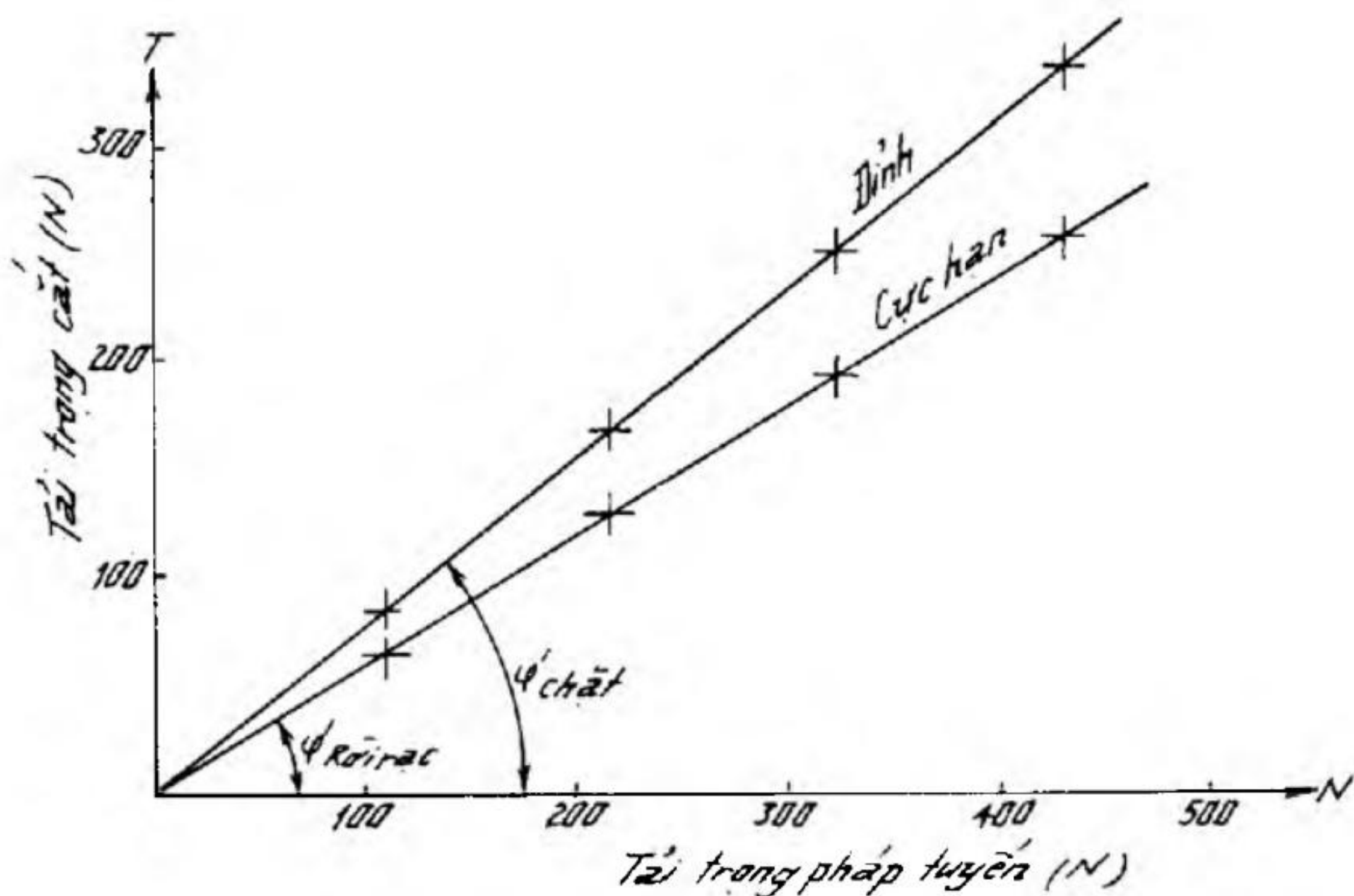
Ví dụ mẫu 7.2. Trong thí nghiệm hộp cát cho mẫu đất cát được đầm chặt, các kết quả sau đây đã ghi chép được.

Tải trọng pháp tuyến (N)	110	216	324	432
Tải trọng cắt cực hạn (N)	66	131	195	261
Tải trọng cắt đỉnh (N)	85	170	253	340

Hãy xác định góc ma sát đỉnh và cực hạn.

Bài giải

Hình 7 - 11 cho thấy đồ thị dựa trên các số liệu này.



Hình 7-11

Hai đường bao độ bền vẽ được cho ta :

Độ bền đỉnh : $\varphi'_f = 38^\circ$

Độ bền cực hạn : $\varphi'_c = 31^\circ$

Nhớ rằng, góc ma sát đỉnh có thể cao hơn hay thấp hơn phụ thuộc vào trạng thái lèn chặt ban đầu.

Ví dụ mẫu 7-3. Trong thí nghiệm hộp cát cho các mẫu cát chế bị, các số đọc ghi được như ở dưới đây. Trong cả hai trường hợp, ứng suất pháp không đổi là 210 kN/m^2 . Ở thí nghiệm 1, mẫu cát chuẩn bị ở trạng thái rời rạc ; ở thí nghiệm 2, cát được đầm chuyển sang trạng thái chặt.

Vẽ đường cong chuyển vị - ứng suất cát cho hai thí nghiệm và xác định góc ma sát đỉnh và cực hạn. Ngoài ra, vẽ đồ thị sự thay đổi thể tích đối với chuyển vị ngang và bình luận về các thay đổi thể tích quan sát được.

Thí nghiệm 1 - trạng thái rời rạc

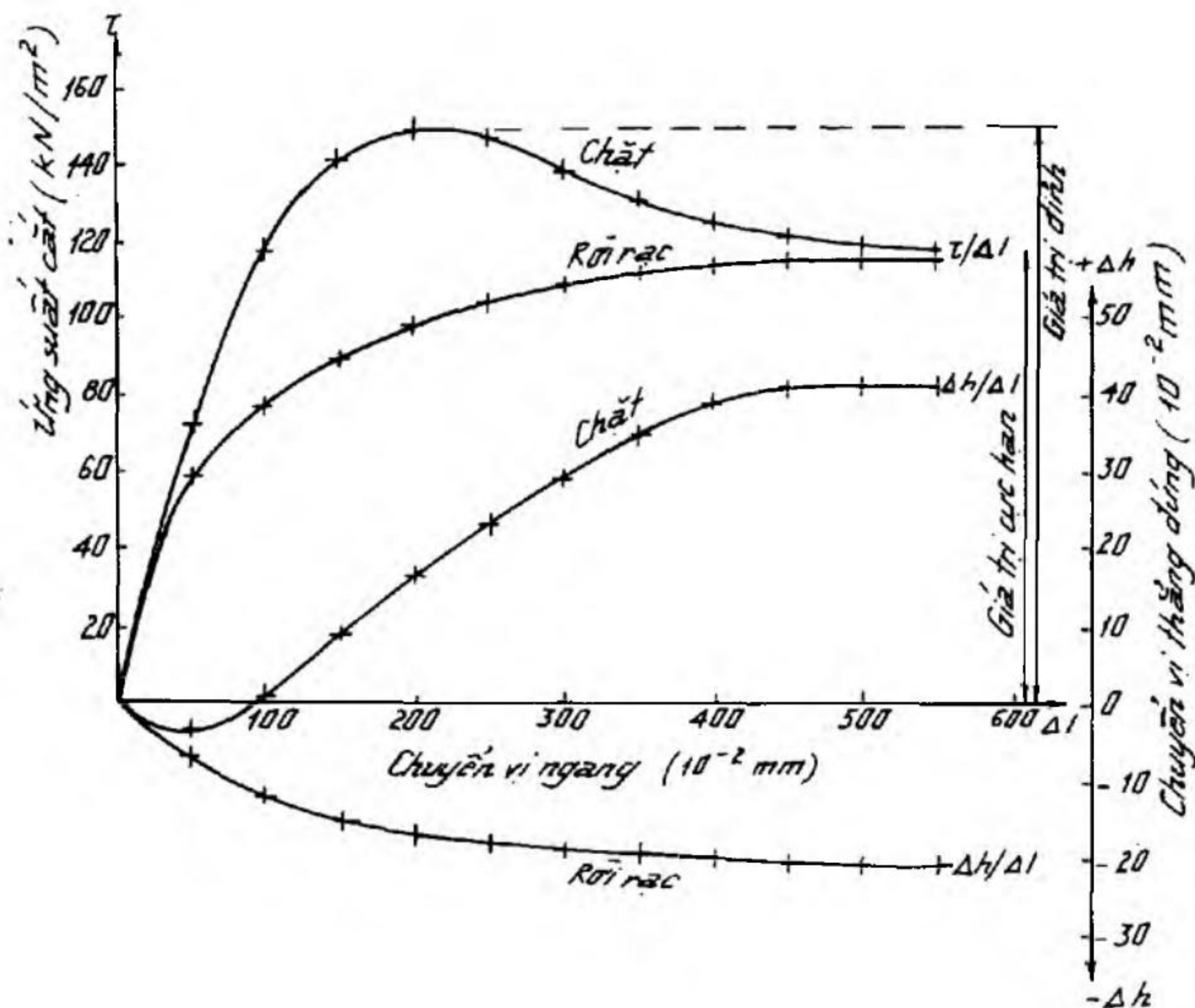
Chuyển vị ngang (10^{-2} mm)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Chuyển vị đứng (10^{-2} mm)	0	-6	-12	-15	-17	-18	-19	-19	-20	-20	-21	-21
Ứng suất cát (kN/m^2)	0	59	78	91	99	106	111	113	114	116	116	116

Thí nghiệm 2 - trạng thái chặt

Chuyển vị ngang (10^{-2} mm)	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
Chuyển vị đứng (10^{-2} mm)	0	-3	1	9	17	23	29	35	39	41	41	41
Ứng suất cát (kN/m^2)	0	73	118	143	152	149	139	133	126	122	120	119

Bài giải

Các kết quả được thấy trên đồ thị ở hình 7-12. Có thể phát hiện là, trong hai thí nghiệm, cát đạt trạng thái giới hạn khi chuyển vị khoảng 5mm, sau đó thể tích giữ cố định. Trước khi đạt trạng thái giới hạn, cát rời rạc (thí nghiệm 1) co ngót trong khi cát chặt (thí nghiệm 2) nở ra.



Hình 7-12

Trong thí nghiệm 1, ứng suất cát tăng ổn định tới giá trị cực hạn là 116kN/m² ; nhưng trong thí nghiệm 2, có sự tăng nhanh

tới giá trị đỉnh là 152 kN/mm^2 , trước khi giảm về giá trị cực hạn tương tự như giá trị cực hạn trong thí nghiệm 1.

Trạng thái rời rạc :

$$\tau_f = \sigma'_n \operatorname{tg} \varphi'_c$$

$$116 = 210 \operatorname{tg} \varphi'_c$$

Vì thế : $\varphi'_c = \operatorname{arctg}(116/210) = \underline{29^\circ}$.

Trạng thái chặt :

$$\tau_f = \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_f$$

$$152 = 210 \operatorname{tg} \varphi_f$$

Vì thế : $\varphi'_f = \operatorname{arctg}(152/210) = \underline{36^\circ}$.

7.5. Ưu điểm và nhược điểm của thí nghiệm hộp cát

Thí nghiệm hộp cát là thí nghiệm cát *trực tiếp*, tức là ứng suất cát và pháp tuyến trên mặt phá hoại được đo trực tiếp. Tuy nhiên, thí nghiệm độ bền chống cát được dùng rộng rãi nhất là thí nghiệm cát không trực tiếp : *thí nghiệm nén ba trục* (phần 7.6). Các ưu điểm của phương pháp hộp cát so với phương pháp ba trục được tóm tắt dưới đây.

Các ưu điểm :

a) Cả ứng suất cát lẫn ứng suất pháp trên mặt trượt được đo trực tiếp, các thông số của độ bền chống cát (c' và φ') được xác định đối với các ứng suất trực tiếp này.

b) Trong suốt thí nghiệm có khả năng duy trì một ứng suất pháp không đổi.

c) Thí nghiệm dễ hơn cho đất không dính, như cát và cuội và thí nghiệm thoát nước cho loại đất như thế được tiến hành trong thời gian tương đối ngắn.

d) Trong lúc thí nghiệm dễ dàng đo được sự thay đổi thể tích.

e) Dùng hộp cát *đảo ngược* có khả năng tiến hành thí nghiệm bao hàm các chuyển vị lớn như thí nghiệm độ bền dư cho đất sét (phần 7-14).

Các nhược điểm :

a) Giả thiết ứng suất cắt phân bố đều trên mặt trượt, nhưng thực tế không phải như vậy.

b) Không có khả năng giám sát sự thoát nước từ mẫu hoặc đo áp lực nước lỗ rỗng ở bên trong mẫu. Do vậy, chỉ có thể đo ứng suất tổng, trừ khi tốc độ cắt được khống chế chậm đủ để bảo đảm không làm tăng áp lực nước lỗ rỗng, như ở trong đất không dính.

c) Ứng suất pháp không thể thay đổi dễ dàng.

7.6. Thí nghiệm nén ba trục

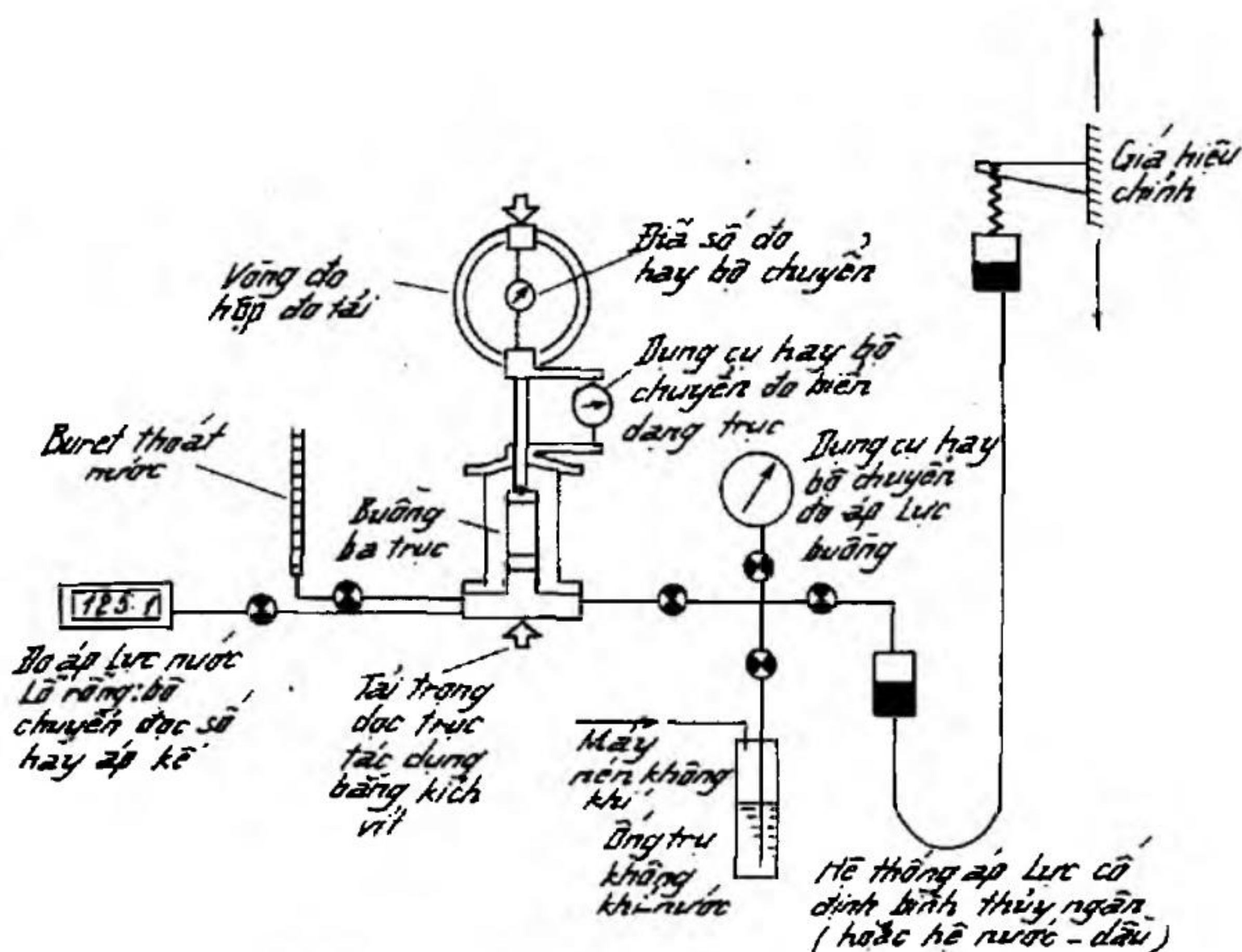
Thí nghiệm nén ba trục là thí nghiệm độ bền chống cắt được dùng rộng rãi nhất : nó thích hợp cho tất cả các loại đất, trừ đất sét rất nhạy, và có thí nghiệm theo nhiều qui trình khác nhau. Sự miêu tả chi tiết về qui trình thí nghiệm nén ba trục có thể tìm thấy trong Bishop và Henkel (1962), Head (1982), Vickers (1983) và trong Tiêu chuẩn Anh 1377 (1975 đã sửa đổi lại).

Thí nghiệm được thực hiện trên một mẫu đất hình trụ có tỉ số chiều cao / đường kính là 2 : 1 ; kích thước thường là 76 × 38mm và 100 × 50mm. Sự bố trí chung của thiết bị thấy ở hình 7-13.

Thí nghiệm không thoát nước. Mẫu trước tiên được gọt cẩn thận hoặc chuẩn bị trong một thiết bị tạo mẫu, rồi cho vào giữa các đầu mú cứng bên trong một màng cao su mỏng bao kín nó khỏi buồng nước. Các vòng hình chữ "O" bằng cao su khít ở trên màng để bịt kín.

Với buồng được tháo rời, mẫu được đặt trên bệ và cuối màng cao su được căng ra trùm lên bệ và giữ ở vị trí bằng một vòng chữ "O". Rồi buồng được lắp lại theo sự bố trí như ở hình 7-13. Mẫu chịu một ứng suất đẳng hướng bằng cách chứa nước đầy buồng và tăng áp lực cho tới giá trị quy định. Với áp lực buồng giữ không đổi, tải trọng dọc trục được tăng lên bằng kích vít vận hành bằng động cơ cho tới khi mẫu bị cắt hoặc đạt tới ứng suất cực hạn.

Thí nghiệm thoát nước. Trong thí nghiệm thoát nước, nước lỗ rỗng từ bên trong mẫu được phép thoát qua chỗ ra khác ở đáy buồng. Có thể đặt các dải giấy thấm thẳng đứng ở xung quanh mẫu bên trong màng cao su để giúp cho việc thoát nước. Mũ đỉnh được đục lỗ và nối tiếp với đáy ở bên trong buồng bằng một ống nhựa dài. Hình 7-13 cho thấy sự bố trí điển hình này.

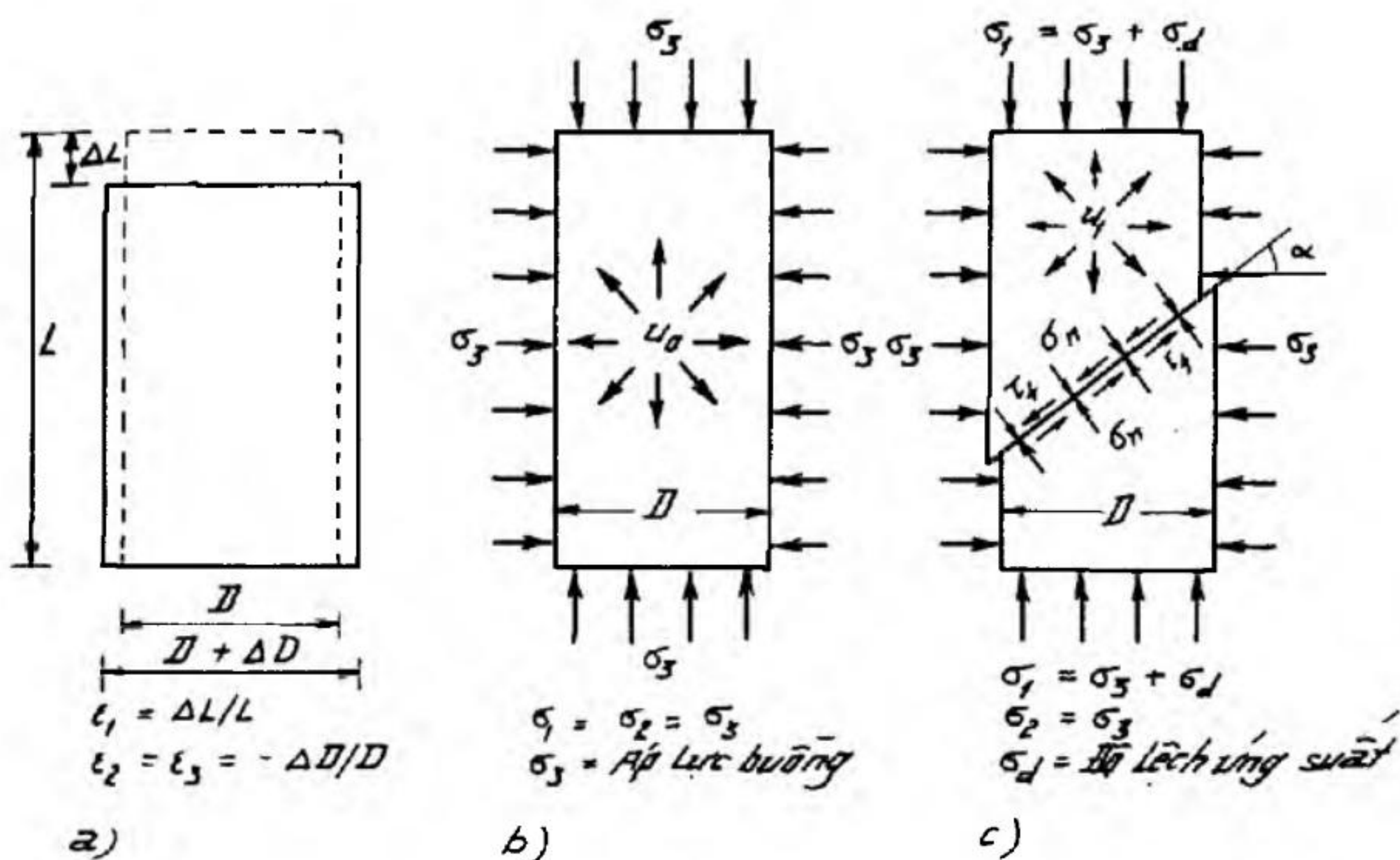


Hình 7-14. Bố trí điển hình thí nghiệm ba trục

7.7. Giải thích các kết quả của thí nghiệm nén ba trục

Như tên gọi đã bao hàm, mẫu trong thí nghiệm nén ba trục chịu ứng suất nén tác dụng theo ba trục vuông góc với nhau. Sự tác dụng của các ứng suất này có thể được xem xét trong các giai

đoạn (hình 7-15). Đầu tiên, dùng áp lực nước của buồng, gây nên một ứng suất đẳng hướng σ_3 , có nghĩa $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 =$ áp lực của buồng. Nếu giai đoạn này không thoát nước, áp lực nước lỗ rỗng sẽ tăng tới u_0 ; nếu thoát nước thể tích riêng sẽ giảm tới v_0 .



Hình 7-15. Ứng suất và biến dạng trong thí nghiệm ba trục

a) các biến dạng chính ; b) chỉ có áp lực buồng ;

c) các ứng suất chính lúc phá hoại cát

Bây giờ, thí nghiệm tiếp tục bằng cách tăng tải dọc trục để ứng suất nén dọc trục (thẳng đứng) tăng $\Delta\sigma_1$, nghĩa là $\sigma_1 = \sigma_3 + \Delta\sigma_1$. Hai ứng suất hông giữ không đổi và bằng $\sigma_2 = \sigma_3 =$ áp lực buồng. Khi phá hoại cát xảy ra (hoặc đạt tải trọng cực hạn), ứng suất nén thẳng đứng tăng thêm σ_d , được gọi là độ lệch ứng suất (dinh hay cực hạn). Nếu giai đoạn này không thoát nước, áp lực nước lỗ rỗng sẽ tăng tới u_f ; nếu thoát nước, thể tích riêng sẽ giảm tới v_f .

Vì ứng suất cắt không có ở mặt bên thành mẫu, ứng suất trục thẳng đứng và ứng suất hông là các ứng suất chính.

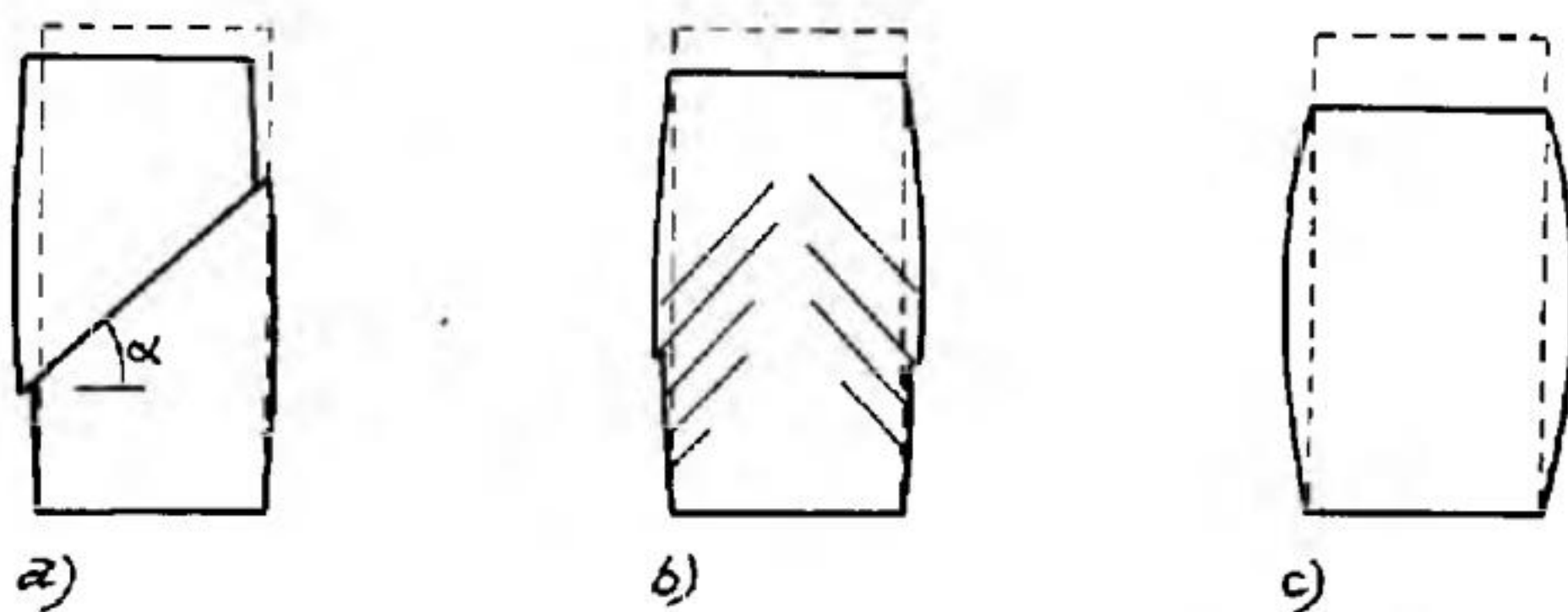
Ứng suất trục thẳng đứng σ_1 - ứng suất chính lớn nhất.

Ứng suất hông σ_3 - ứng suất chính nhỏ nhất.

Lúc phá hoại, sự khác nhau giữa các ứng suất chính là độ lệch ứng suất :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_d \quad (\text{cũng có thể viết } q_f \text{ (phần 6.5)})$$

Các dạng phá hoại. Dưới sự tăng của tải trọng dọc trục, mẫu ngấn lại và đường kính mẫu sẽ tăng lên. Với đất chặt hay quá cố kết mạnh khi đạt tới ứng suất đỉnh thì mẫu được cắt trơn tru theo một mặt trượt dễ dàng xác định : đó là phá hoại *trượt giòn* (hình 7-16a). Với đất hơi quá cố kết, sự cắt thường kém rõ ràng (hình 7-16b) với đất rời rạc hay cố kết bình thường, *chảy dẻo* diễn ra mà không có sự hình thành một mặt trượt, tạo nên bề ngoài có dạng trống tròn (hình 7-16c). Trong trường hợp cuối cùng này, một giá trị giới hạn xác định cho độ lệch ứng suất có thể không thấy rõ được ; vì thế một giá trị qui ước được lấy tương ứng với biến dạng trục là 20%.



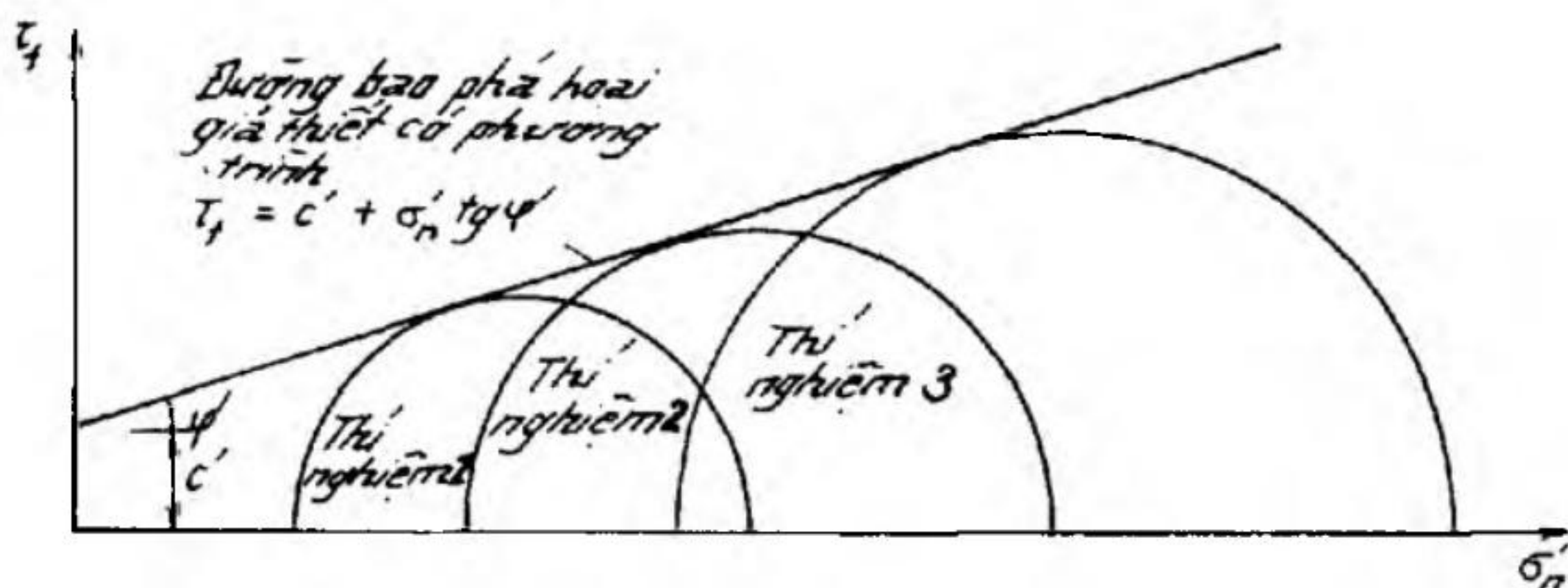
Hình 7-16. Các dạng phá hoại trong thí nghiệm ba trục

a) phá hoại cắt giòn ; b) phá hoại cắt từng phần ; c) phá hoại chảy dẻo

Tiêu chuẩn phá hoại Mohr - Coulomb. Hầu hết các bài toán trong đồ án cơ học đất cần đến các thông số độ bền chống

cắt liên hệ với các giá trị và ứng suất giới hạn trên mặt trượt. Trong các trường hợp như thế, có thể dùng tiêu chuẩn phá hoại Mohr-Coulomb (phần 6.3 và 6.4) để giải thích các kết quả thí nghiệm nén ba trục.

Thí nghiệm một số mẫu (thường là ba) của cùng loại đất tại các giá trị ứng suất của buồng (σ_3) khác nhau và vẽ một vòng tròn Mohr (hoặc nửa vòng tròn) cho mỗi ứng suất phá hoại đỉnh hay cực hạn. Sau đó, vẽ một tiếp tuyến chung cho các vòng tròn phá hoại này bằng sự điều chỉnh hợp lý cho phù hợp và có thể lấy đó làm đường bao độ bền cho đất ; từng đường này , có thể xác định được giá trị lực dính c' và góc ma sát φ' theo tỷ lệ đã dùng (hình 7-17). Để có được một kết quả tin cậy, cần tối thiểu là ba vòng tròn.



Hình 7-17. Đường bao Mohr - Coulomb

Ví dụ mẫu 7.4. Thí nghiệm nén ba trục thoát nước được tiến hành với ba mẫu của cùng loại đất đã cho các kết quả sau đây :

Thí nghiệm số	1	2	3
Áp lực buồng (kN/m^2)	100	200	300
Độ lệch ứng suất cực hạn (kN/m^2)	210	438	644

Hãy vẽ đường bao độ bền chống cắt và xác định các thông số độ bền chống cắt, giả thiết rằng áp lực nước lỗ rỗng là hằng số trong giai đoạn đặt tải dọc trục.

Bài giải

Các ứng suất chính cực hạn nhận được như sau :

Ứng suất chính tối thiểu $\sigma_3 =$ áp lực buồng.

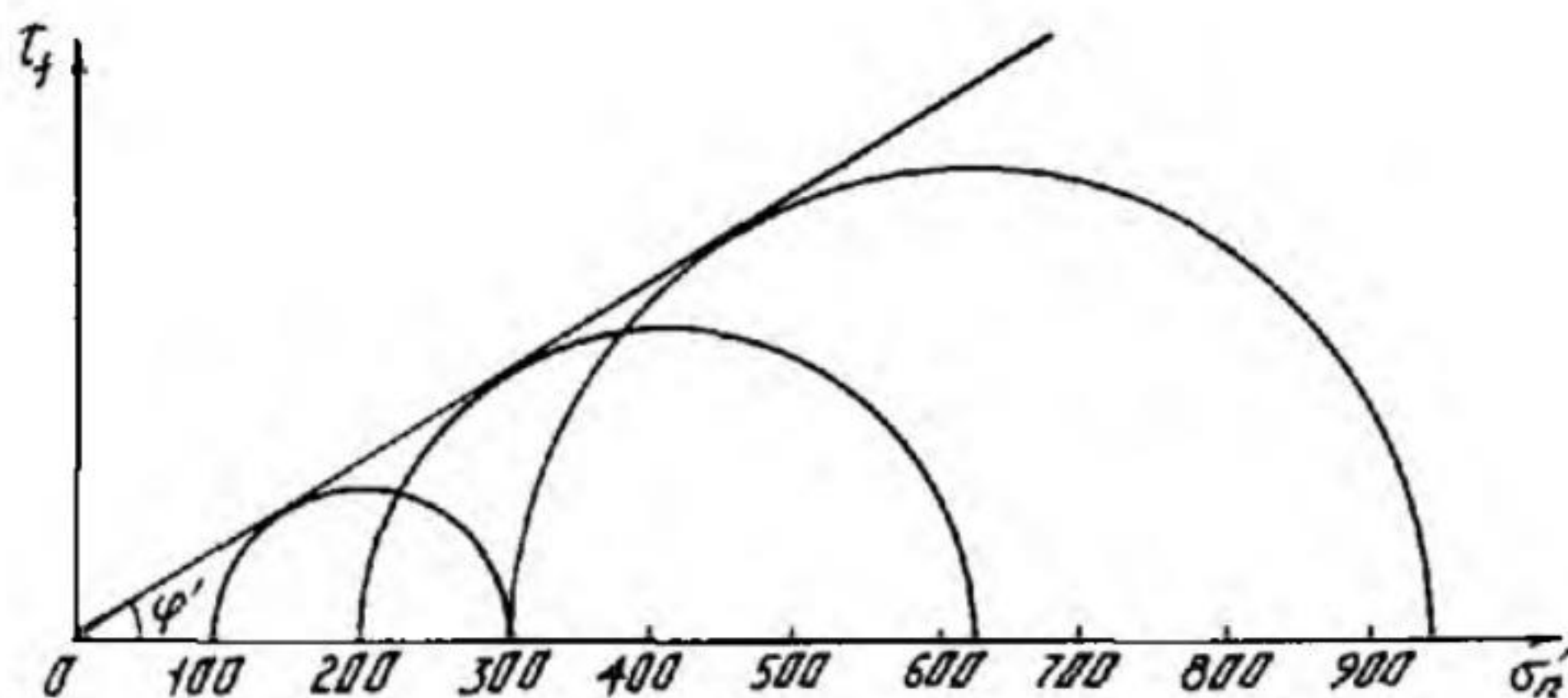
Ứng suất chính tối đa $\sigma_1 =$ áp lực buồng + độ lệch ứng suất.

Bởi vì $u_f = 0$, $\sigma'_1 = \sigma_1$ và $\sigma'_3 = \sigma_3$

Thí nghiệm số	1	2	3
σ_3 (kN/m ²)	100	200	300
σ_1 (kN/m ²)	310	638	944

Các vòng tròn Mohr được thấy ở hình 7-18 ; khi vẽ tiếp tuyến chung thích hợp nhất sẽ nhận được đường bao độ bền Mohr - Coulomb, từ đường này ta có :

$$c' = 0 \quad \text{và} \quad \varphi' = 31^\circ$$



Hình 7-18

7.8. Các loại thí nghiệm ba trục

Thiết bị dùng để thí nghiệm ba trục là đa năng và thích nghi dễ dàng với sự thay đổi của qui trình thí nghiệm. Các loại thí nghiệm ba trục cơ bản như sau :

a) Thí nghiệm độ bền chống cắt

1) *Thí nghiệm không thoát nước (thí nghiệm nhanh - không thoát nước)*. Mẫu vừa khít nằm giữa các đầu mú rần vì thế ngăn cản sự thoát nước. Sau khi thiết lập áp lực buồng đẳng hướng, bắt đầu tăng tải dọc trục một cách đột ngột. Độ lệch ứng suất tăng tương đối nhanh và không bị thoát nước, nhưng không lấy số đo áp lực nước lỗ rỗng ; vì thế các kết quả chỉ được biểu thị theo ứng suất tổng. Thời gian thí nghiệm vào khoảng 10 đến 15 phút. Thí nghiệm này dùng xác định độ bền không thoát nước c_u và thực ra chỉ thích hợp cho đất sét bão hòa, khi $\varphi_u = 0$.

2) *Thí nghiệm cố kết - không thoát nước*. Mẫu trước hết được cố kết với sự thoát nước hoàn toàn tại một áp lực buồng thí nghiệm đẳng hướng đã định trước. Khi áp lực nước lỗ rỗng dư bị tiêu tan trở lại giá trị áp lực ban đầu, van thoát nước đóng lại và tải dọc trục tăng lên. Vì thế, mẫu được lấy theo điểm chảy không thoát nước. Trong giai đoạn đã đặt tải dọc trục, có thể dùng một trong các ống nối ở đáy buồng để đo áp lực nước lỗ rỗng. Do vậy, các thông số độ bền chống cắt nhận được có quan hệ cả với ứng suất tổng lẫn ứng suất hiệu quả. Thời gian kéo dài của giai đoạn cố kết phụ thuộc vào loại đất và kích thước của mẫu, nhưng trong một số trường hợp có thể mất tới 48 giờ ; giai đoạn đặt tải dọc trục thay đổi từ 10 phút tới khoảng 2 giờ. Thí nghiệm này được dùng để xác định các thông số ứng suất hiệu quả c' và φ' và ngoài ra cả các thông số không thoát nước - c_{cu} và φ_{cu} .

3. *Thí nghiệm thoát nước*. Mẫu trước tiên được cố kết dưới một áp lực buồng đẳng hướng như trong (2). Tiến hành đặt tải dọc trục với sự thoát nước hoàn toàn và với một tốc độ bảo đảm rằng áp lực nước lỗ rỗng trong mẫu đất vẫn là không đổi. Dùng một trong các ống nối ở đáy buồng để giám sát áp lực nước lỗ rỗng và dùng ống nối khác để đo sự thay đổi thể tích của mẫu. Thí nghiệm được dùng để xác định các thông số độ bền cắt c'_d và φ'_d .

b) *Thí nghiệm để xác định các hệ số áp lực nước lỗ rỗng A và B.* Xem phần 7.16.

c) *Thí nghiệm cố kết đẳng hướng.* Xem ví dụ mẫu 7.14, Bishop và Henkel (1962).

d) *Thí nghiệm đường ứng suất.* Xem phần 7.17.

Nguồn gốc sai số trong thí nghiệm ba trục :

Thí nghiệm không thoát nước :

a) Xáo động trong khi lấy và chuẩn bị mẫu.

b) Các bọt không khí bị giữ lại giữa đất và màng cao su hoặc dầu mỡ.

c) Màng cao su quá dày hoặc bị thủng.

d) Sự kín nước tại đầu mũ kém ; có bọt không khí trong đường nước lỗ rỗng.

e) Ứng suất hông tác động qua đầu mũ (phải bôi trơn để ngăn cản điều đó).

f) Đất không bão hòa, có nghĩa là có chứa không khí chịu nén.

Thí nghiệm thoát nước :

a) Tốc độ đặt tải quá nhanh làm cho áp lực nước lỗ rỗng dư không giữ bằng không được.

b) Bịt kín không hiệu quả trong hệ thống thay đổi thể tích.

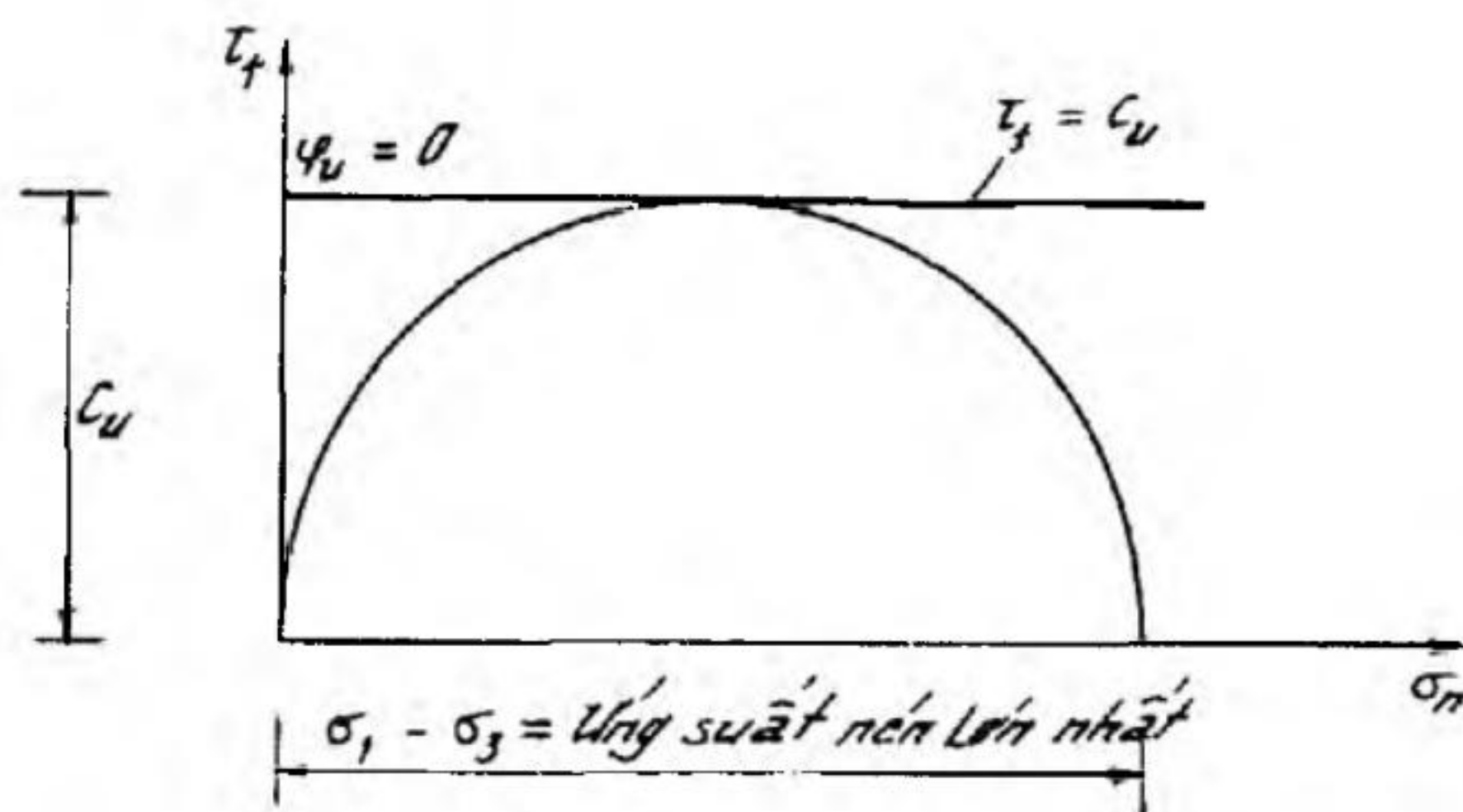
c) Sai số tiêu định trong hệ thống thay đổi thể tích.

d) Tổn thất tải trọng trong pittông gia tải dọc trục do làm trơn kém.

e) Sự đo không nhạy lúc biến dạng còn nhỏ là do độ cứng của đất lúc đầu cao (khắc phục bằng cách khống chế tốc độ ứng suất không đổi thay cho việc khống chế tốc độ biến dạng không đổi).

Thí nghiệm nén nở hông. Thực sự đó là một trường hợp đặc biệt của nén ba trục được tiến hành với áp lực buồng bằng không, có nghĩa $\sigma_3 = 0$. Đồ thị Mohr - Coulomb của các kết quả thí nghiệm thấy ở hình 7-19. Vì chỉ có thể vẽ một vòng tròn (tương ứng với $\sigma_3 = 0$), thí nghiệm chỉ dùng khi $\varphi_u = 0$, có nghĩa là đất sét không nứt nẻ bão hòa hoàn toàn.

Thí nghiệm có thể tiến hành trong phòng thí nghiệm bằng thiết bị ba trục tiêu chuẩn hay được cải tiến đôi chút ; không cần có buồng áp lực bằng chất dẻo và màng cao su. Hiện cũng có loại thiết bị cầm tay (nhưng không kiến nghị) để tiến hành thí nghiệm ở ngoài trời (Tiêu chuẩn Anh 1377, 1975).



Hình 7-19. Đồ thị Mohr - Coulomb cho thí nghiệm nén nở hông

7.9. Các thay đổi diện tích và thể tích trong lúc thí nghiệm ba trục

Khi tải trọng thẳng đứng lên mẫu tăng thì chiều dài mẫu sẽ ngắn lại cùng với sự tăng tương ứng của đường kính mẫu. Hơn nữa, khi có thoát nước thể tích mẫu cũng giảm đi. Thiết bị đo biến dạng hoặc bộ đo chuyển cho biết sự thay đổi chiều dài của mẫu (hình 7-13).

Tại đỉnh của mẫu có tạo ra một đường nối thoát nước để ghi lại các thay đổi thể tích. Một đĩa gốm xốp đặt giữa đất và mũ đục lỗ với một ống chất dẻo nối giữa đầu mũ với một lỗ thoát nước ở đáy buồng (hình 7-14). Thiết bị đo sự thay đổi thể tích có thể là một ống hút bằng thủy tinh đơn giản (đọc đặc tới 0,1ml) hoặc một thiết bị thể tích có trang bị bộ đo chuyển khi cần giám sát bằng máy tính. Thể tích nước thu được biểu thị sự thay đổi thể tích của mẫu bão hòa.

Với mục đích tính độ lệch ứng suất từ tải trọng tác dụng dọc trục, có thể tính diện tích tiết diện ngang thay đổi của mẫu theo biểu thức sau đây :

$$A = A_0 \frac{1 - \Delta V/V_0}{1 - \Delta l/l_0} \quad [7.8a]$$

ở đây : A_0 - diện tích mặt cắt ngang ban đầu của mẫu ;
 V_0 - thể tích ban đầu của mẫu ;
 l_0 - chiều dài ban đầu của mẫu
 ΔV - thay đổi thể tích ;
 Δl - thay đổi chiều dài.

trước khi tăng tải
 dọc trục nhưng
 sau khi cố kết

Trong trường hợp thí nghiệm không thoát nước, ΔV sẽ bằng không.

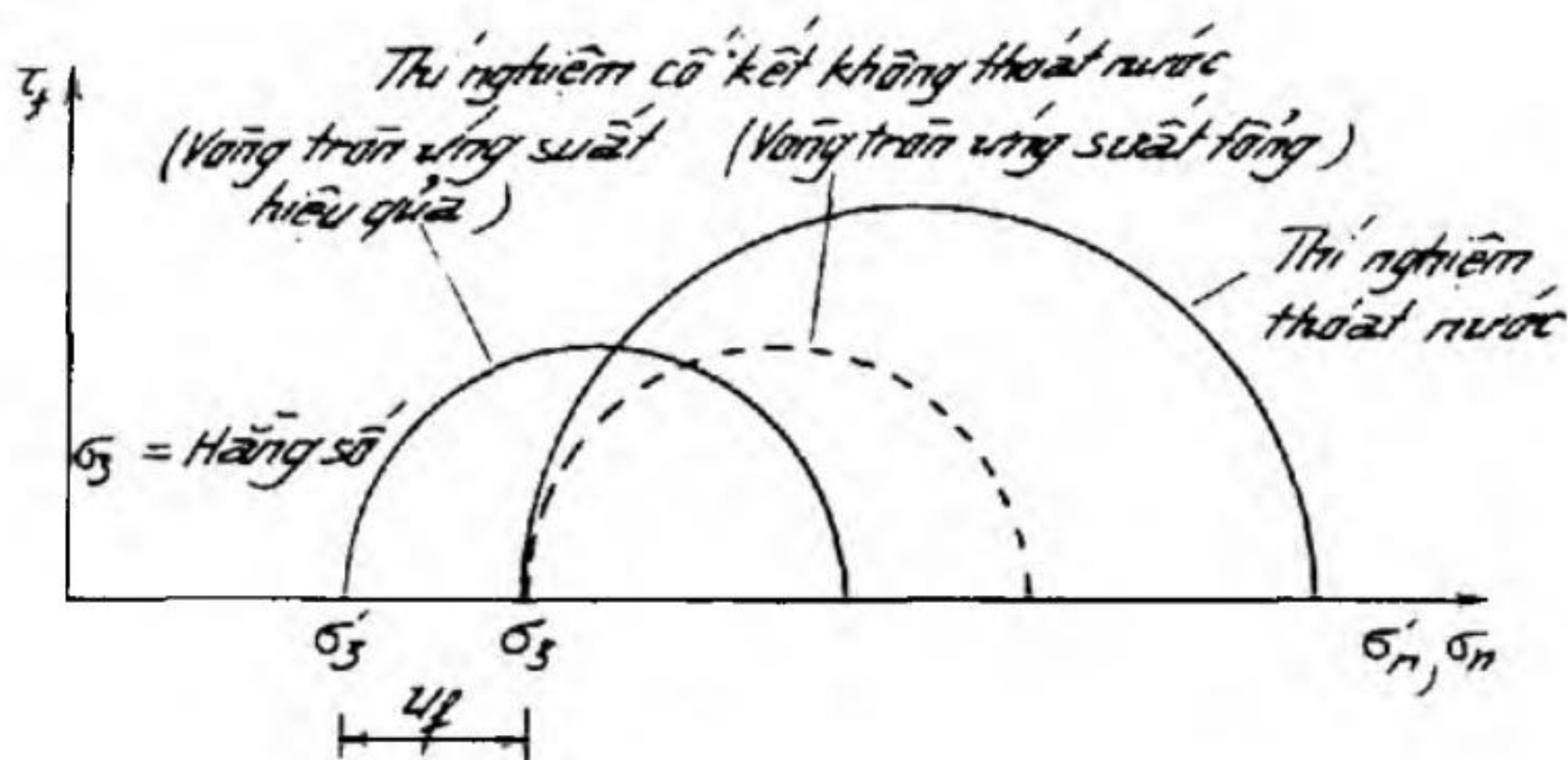
Vì thế
$$a = \frac{A_0}{1 - \Delta l/l_0}$$

hoặc
$$A = \frac{A_0}{1 - \varepsilon} \quad [7.8b]$$

ở đây : ε - biến dạng dọc trục, $\varepsilon = \Delta l/l_0$.

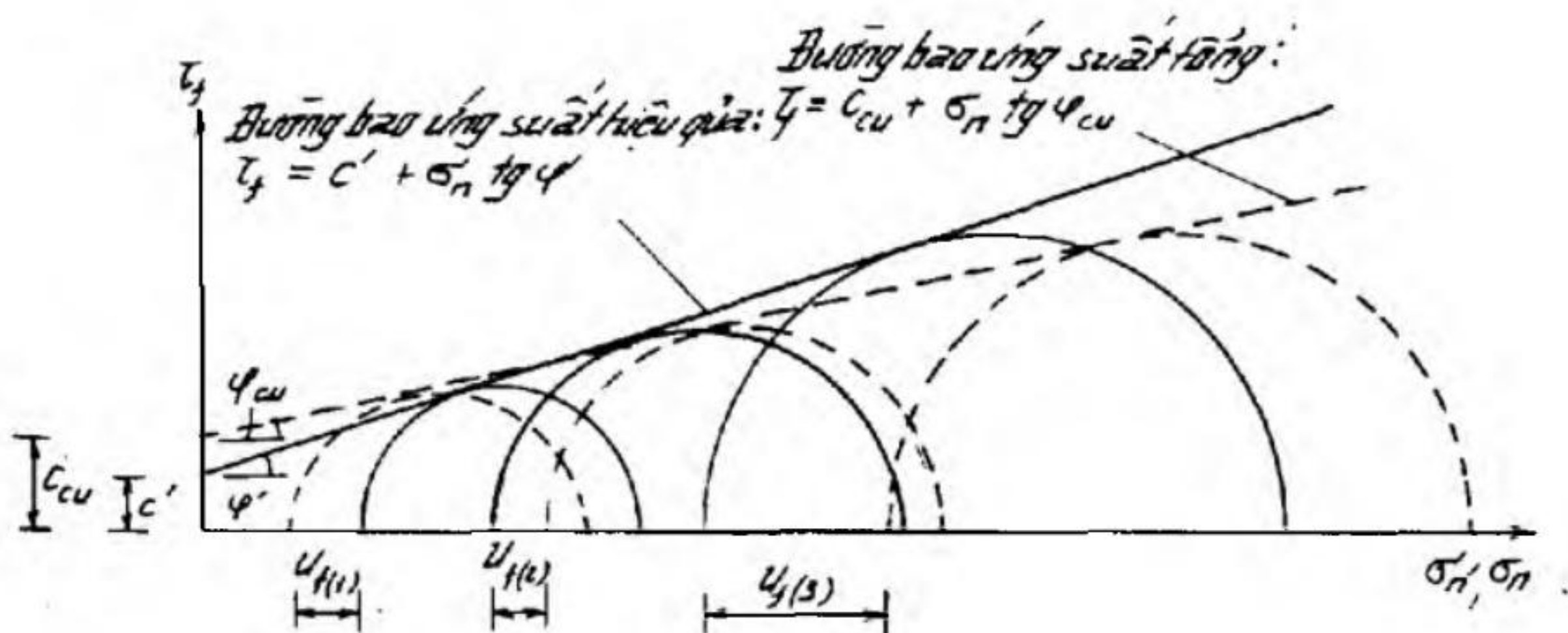
7-10. So sánh đồ thị Mohr - Coulomb cho các loại thí nghiệm khác nhau

Có thể vẽ ba vòng tròn Mohr để biểu thị một thí nghiệm ba trục đơn ứng với một áp lực buông đã cho. Nếu điều kiện thí nghiệm là *cố kết - không thoát nước*, áp lực nước được tiến hành đo đạc trong khi đặt tải dọc trục thì có thể vẽ hai vòng tròn : một đối với ứng suất tổng và một đối với ứng suất hiệu quả (hình 7-20). Thí nghiệm *thoát nước* tiến hành trên cùng loại đất đã cố kết tại cùng áp lực buông thì phải vẽ vòng tròn thứ ba (ứng suất hiệu quả). Vì sự giảm thể tích trong giai đoạn đặt tải dọc trục của thí nghiệm thoát nước, đất trở nên cứng rắn hơn và do vậy lúc phá hoại, độ lệch ứng suất $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ sẽ lớn hơn độ lệch ứng suất đã ghi được cho thí nghiệm cố kết - không thoát nước.



Hình 7-20. So sánh thí nghiệm thoát nước và không thoát nước được tiến hành với áp lực buồng như nhau

Với thí nghiệm cố kết - không thoát nước, trên hình 7-21 chỉ rõ một nhóm ba vòng tròn Mohr cho ứng suất tổng và ứng suất hiệu quả. Có thể nhận ra rằng, mặc dù mục tiêu chính là xác định các giá trị c' và φ' , nó cũng có khả năng nhận được giá trị c_{cu} và φ_{cu} .

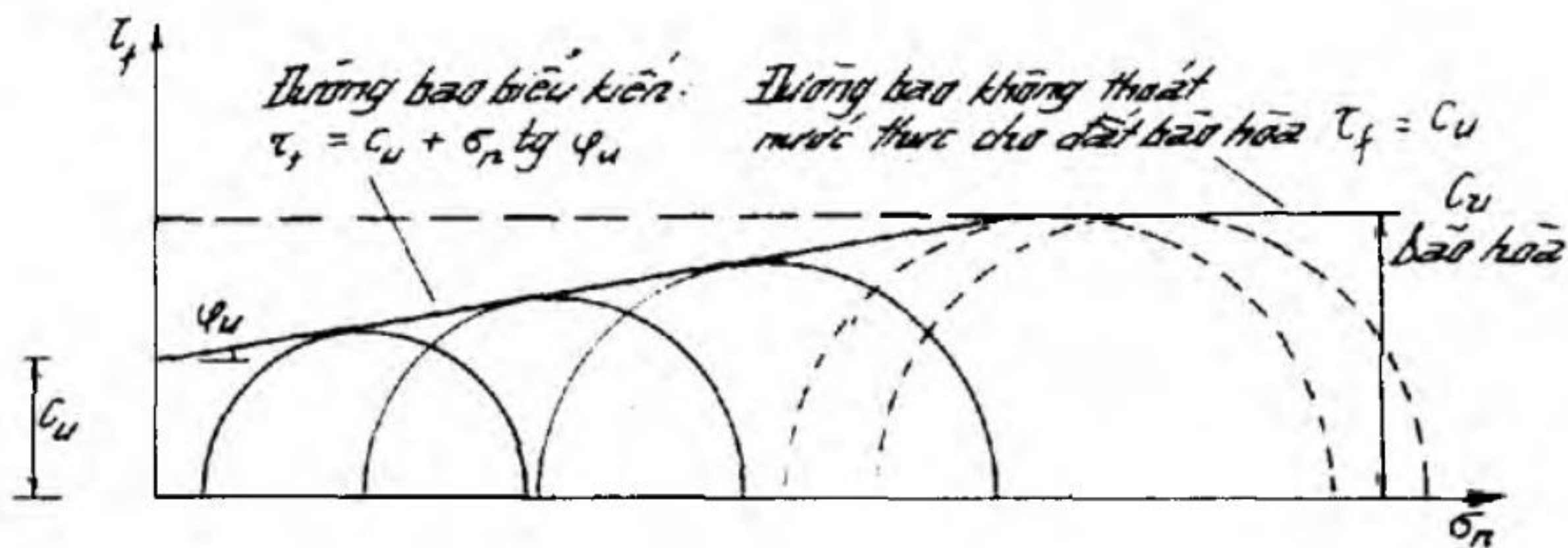


Hình 7-21. Đồ thị ứng suất tổng và ứng suất hiệu quả cho thí nghiệm cố kết - không thoát nước

Tuy c_{cu} và φ_{cu} là kết quả hợp logic của việc vẽ đồ thị các vòng tròn ứng suất tổng nhưng cần phải thận trọng khi lấy đó làm các

giá trị thiết kế. Độ bền không thoát nước liên quan với độ ẩm (hoặc thể tích riêng) của đất và vì thế phải ghi lại các thay đổi thể tích do cố kết.

Vấn đề xác định độ bền không thoát nước được minh họa thêm ở hình 7-22, cho thấy đồ thị điển hình của một thí nghiệm nhanh - không thoát nước cho các mẫu của một đất dính. Đầu tiên, hình như là độ bền chống cắt của đất cho bởi đường $\tau_f = c_u + \sigma_n \operatorname{tg} \varphi_u$. Tuy nhiên, đó là sự nhầm tưởng, bởi vì có thể nhận được các giá trị khác nhau của c_u và φ_u nếu thí nghiệm tiến hành ở các tốc độ khác nhau hoặc tại áp lực buồng không giống nhau, và trong thực tế đường bao ứng suất tổng là đường cong. Sự biến đổi này chủ yếu là do không khí có trong mẫu hòa tan vào nước lỗ rỗng khi ứng suất tăng lên. Vì tính thấm kém của đất dính, cần thời gian cho quá trình hòa tan nội bộ này; tại ứng suất đủ cao, toàn bộ không khí bị hòa tan và đất trở nên bão hòa chỉ có giá trị c_u liên hệ với trạng thái *tại chỗ* (ứng suất ngang và thẳng đứng, độ ẩm) là có thể sử dụng được.



Hình 7-22. Đồ thị ứng suất tổng của các kết quả không thoát nước

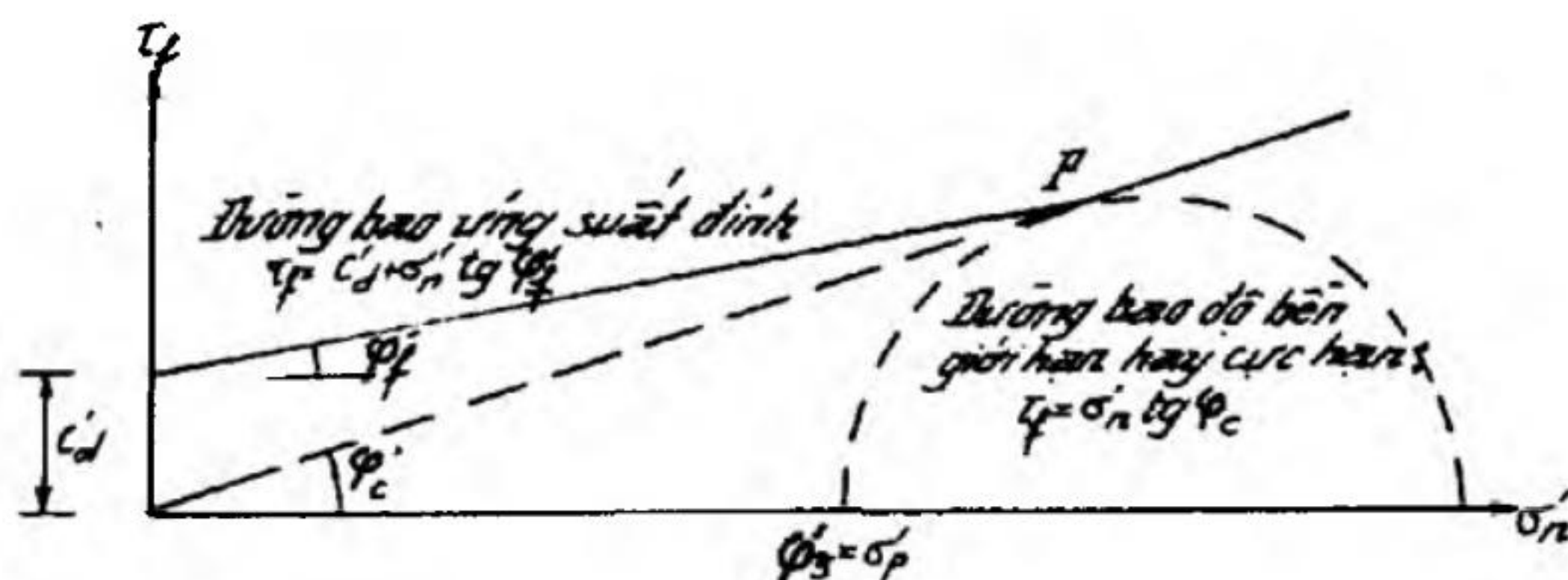
Trong việc diễn dịch thí nghiệm thoát nước cũng nảy sinh các vấn đề tương tự. Nếu một số mẫu được cố kết ở các mức ứng suất khác nhau đạt tới trạng thái giới hạn trước khi đặt tải dọc trục thì đường bao độ bền thoát nước phải qua gốc tọa độ, có nghĩa $\varphi'_c = 0$ (hình 7-23).

Nên
$$\tau_f = \sigma'_n \operatorname{tg} \varphi'_c$$

Tuy nhiên, khi đất ở phía chặt (khô) của giới hạn, kết quả thí nghiệm thoát nước sẽ cho đường bao độ bền đỉnh :

$$\tau_f = c'_d + \sigma'_n \operatorname{tg} \varphi'_f$$

Điều này sẽ dùng cho cát chặt và đất sét quá cố kết mạnh, cả hai loại này đều phải nở để đạt được trạng thái giới hạn. Điểm hội tụ P của đường bao độ bền đỉnh và giới hạn biểu thị điều kiện phá hoại của mẫu đã cố kết tại áp lực buống bằng ứng suất cố kết lịch sử tối đa σ'_p .



Hình 7-23. Đồ thị độ bền đỉnh và giới hạn của các kết quả thí nghiệm thoát nước

7.11. Ảnh hưởng của lịch sử ứng suất

Trạng thái ứng suất - biến dạng của đất, đặc biệt là đất sét, chịu ảnh hưởng của lịch sử ứng suất của nó. Tại một độ sâu đã cho, một phân tử đất chịu ứng suất thẳng đứng và nằm ngang tạo bởi trọng lượng của lớp đất nằm trên và tải trọng thêm nào đó trên mặt đất. Ứng suất hiệu quả thẳng đứng và nằm ngang tại độ sâu z sẽ là :

$$\sigma'_v = \gamma z + \text{ứng suất do tải trọng trên mặt đất} - u_z$$

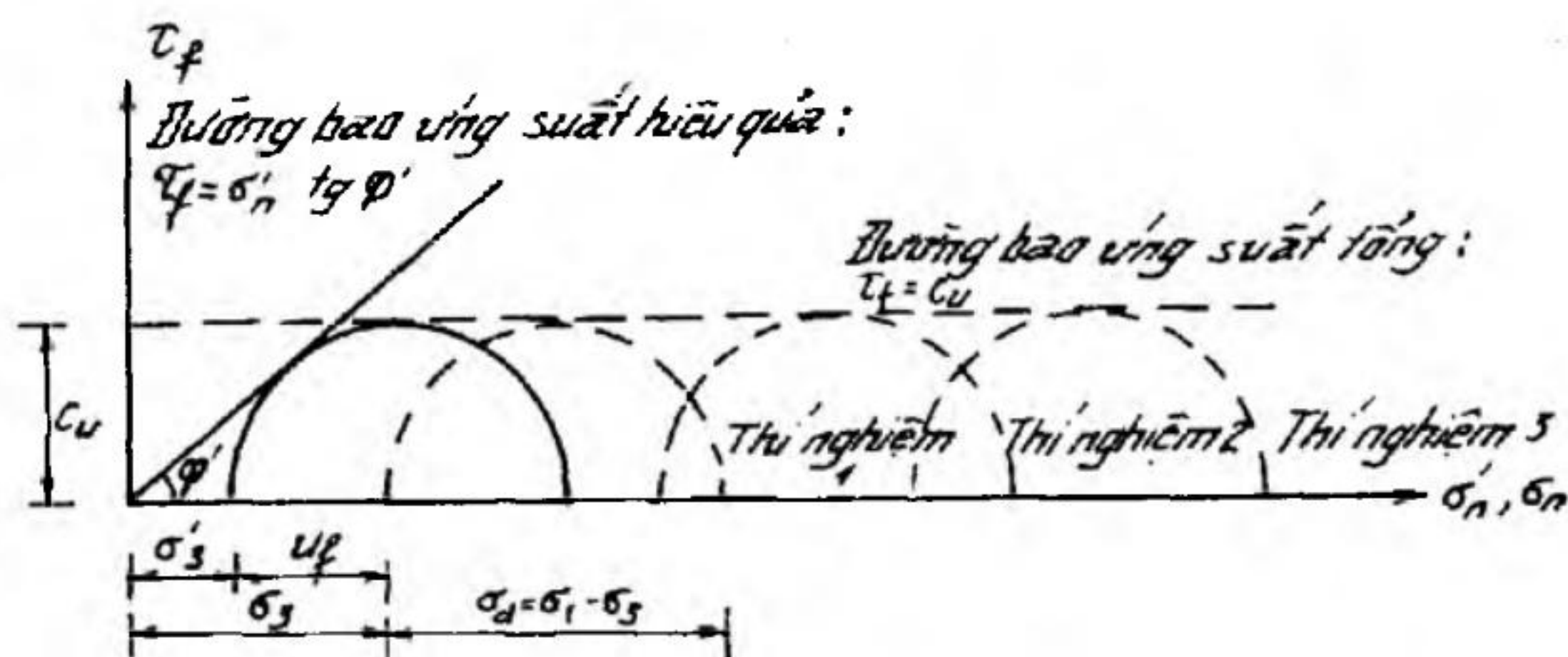
$$\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$$

ở đây : K_0 - hệ số áp lực đất tĩnh ;

u_z - áp lực nước lỗ rỗng tại độ sâu z .

Dưới ảnh hưởng của các ứng suất này, đất được cố kết trong suốt thời gian kể từ khi trầm tích và vì thế hiện tại nó ở một trạng thái cố kết. Đất *cố kết thông thường* là vật liệu chưa bao giờ chịu ứng suất lớn hơn ứng suất tồn tại hiện nay. Đất *quá cố kết* là vật liệu mà đôi khi trong quá khứ, đã chịu ứng suất cố kết lớn hơn ứng suất tồn tại hiện nay. Điều này có thể nảy sinh, chẳng hạn ở nơi lớp phủ đã bị bào mòn phần nào, hoặc khu vực lớp băng dày đã có lần tạo tải trọng phụ trên mặt trước khi bị tan chảy (xem thêm phần 6.2).

Đất sét cố kết thông thường. Nếu sự thoát nước từ mẫu thí nghiệm bão hòa bị ngăn chặn, thì sự tăng nào đó của ứng suất tổng sẽ tạo ra sự tăng bằng như thế của áp lực nước lỗ rỗng, còn ứng suất hiệu quả không thay đổi. Một số mẫu bão hòa giống hệt nhau được thí nghiệm không thoát nước tại các áp lực buống khác nhau, bị phá hoại tại cùng độ lệch ứng suất. Đồ thị Mohr - Coulomb được thấy ở hình 7-24 ; các vòng tròn ứng suất tổng có cùng đường kính và đường bao có độ dốc bằng không ($\varphi_u = 0$).



Hình 7-24. Đường bao thí nghiệm không thoát nước cho đất cố kết thông thường

Trong thí nghiệm 1 :

$$\sigma'_{3(1)} = \sigma_3 - u_{(1)}$$

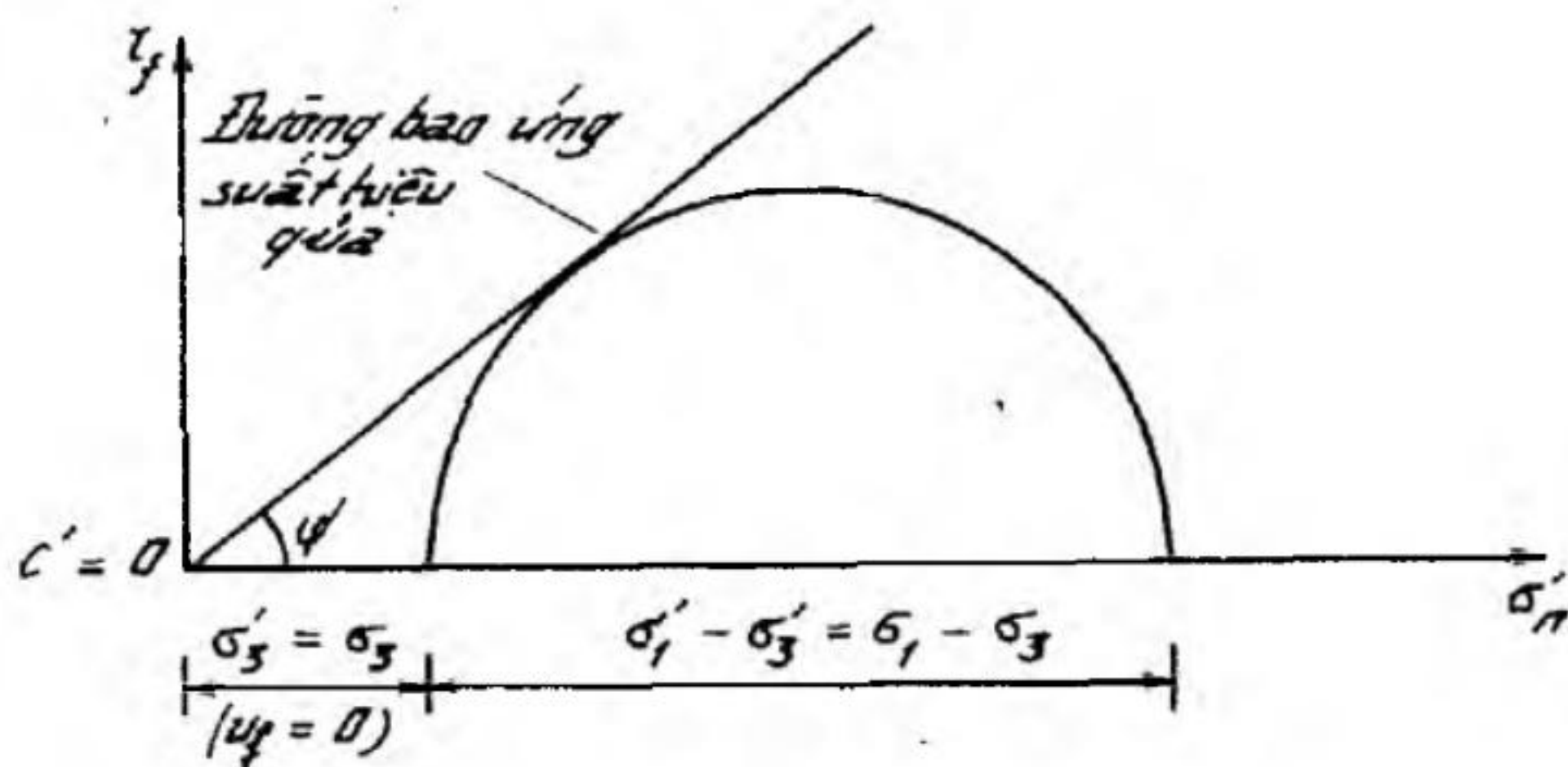
Trong thí nghiệm 2 :

$$\sigma'_{3(2)} = \sigma_3 + \Delta\sigma_3 \quad \text{và} \quad u_{(2)} = u_{(1)} + \Delta u$$

Nhưng $\Delta u = \Delta \sigma_3$

Do vậy $\sigma'_{3(2)} = \sigma_3 + \Delta \sigma_3 - (u_{(1)} + \Delta \sigma_3) = \sigma_3 - u_{(1)}$

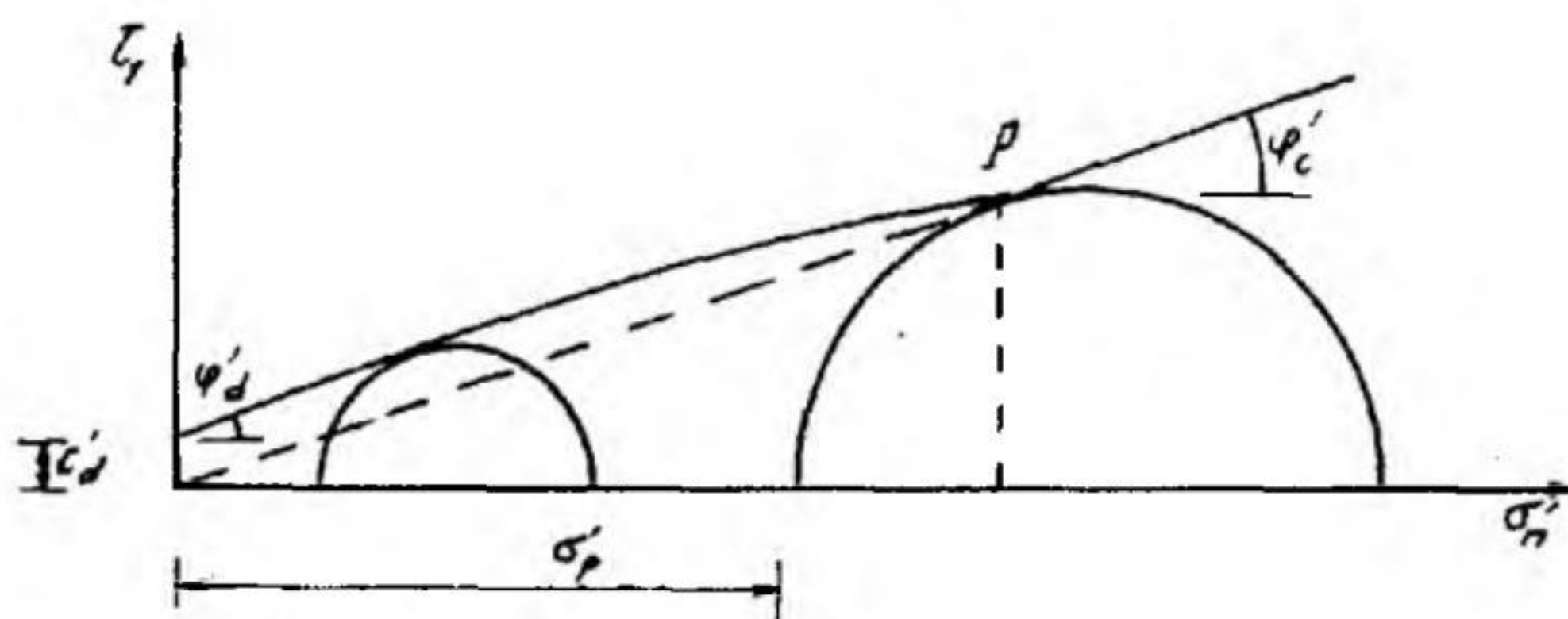
Khi đất bão hòa được cắt chậm cùng với nước thoát tự do, và vì thế áp lực nước lỗ rỗng dư vẫn bằng không, ứng suất hiệu quả bằng ứng suất tổng và đường bao phá hoại lý tưởng đi qua gốc tọa độ (hình 7-25). Với đất sét cổ kết bình thường, thông số ứng suất hiệu quả c' do vậy phải bằng không.



Hình 7-25. Đường bao thí nghiệm thoát nước cho đất sét cổ kết bình thường

Đất sét quá cổ kết. Vì mẫu đất sét quá cổ kết ở phía chặt của giới hạn nên đất có xu hướng nở trong khi cắt. Trong điều kiện *không thoát nước*, chiều hướng nở dẫn đến sự giảm áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất hiệu quả tăng lên. Do vậy, độ bền không thoát nước lớn hơn độ bền thoát nước, ngược với đặc trưng của đất sét cổ kết bình thường.

Khi áp lực cổ kết ($p' = \sigma'_3$) vượt ứng suất cổ kết trước σ'_p , mẫu sẽ theo đường cổ kết bình thường, thể tích mẫu sẽ giảm và do thế áp lực nước lỗ rỗng tăng lên. Đường bao độ bền cho mẫu cổ kết bình thường đi qua gốc tọa độ (hình 7-26), nhưng cho mẫu quá cổ kết ($\sigma'_3 < \sigma'_p$) thì đường bao kém dốc đứng hơn và tạo ra khoảng chặn lực dính c'_d . Mặc dù phần quá cổ kết của đường bao độ bền rõ ràng hơi cong, cả hai phần vẫn giả thiết là đường thẳng.



Hình 7-26. Đường bao thí nghiệm thoát nước cho đất sét quá cố kết

7.12. Sự biến đổi của độ bền không thoát nước

Độ bền không thoát nước của đất không phải là một tính chất nội tại ổn định mà bị quy định bởi trạng thái thể tích của nó. Thể tích riêng của đất, đến lượt nó lại một hàm số của lịch sử ứng suất của nó và có thể xác định bằng hệ số rỗng hoặc độ ẩm. Trong điều kiện trầm tích tự nhiên, hệ số rỗng và độ ẩm của đất biến đổi theo độ sâu và độ bền không thoát nước cũng vậy ; độ bền không thoát nước *tăng* theo độ sâu. Lí thuyết trạng thái giới hạn (phần 6.6) có thể dùng để đánh giá độ bền không thoát nước.

Theo sau sự trầm tích tự nhiên, đất sẽ cố kết một chiều theo đường cố kết thông thường để đạt thể tích riêng hiện thời của nó (hình 6-24) :

$$v = N = \lambda \ln p'$$

Trong điều kiện không thoát nước, phá hoại sẽ xảy ra vào lúc thể tích riêng cũng như thế, tại một điểm trên đường trạng thái giới hạn (hình 6-23), tại đó :

$$q' = Mp' \quad \text{và} \quad v = \Gamma - \lambda \ln p'$$

Sắp xếp lại và thay thế $q' = M \cdot \exp. \left(\frac{\Gamma - v}{\lambda} \right)$

Lúc này, độ bền không thoát nước $c_u = \frac{1}{2} q'$

Với đất cố kết thông thường $c_u = \frac{1}{2} M \cdot \exp \left(\frac{\Gamma - v}{\lambda} \right)$ [7.9]

Tuy nhiên, với cố kết một chiều tự nhiên thì

$$v = N_0 - \lambda \ln p'_z$$

ở đây : p'_z - ứng suất hiệu quả pháp tuyến trung bình tại độ sâu z

$$\begin{aligned} \text{Do vậy } c_u &= \frac{1}{2} M \cdot \exp \left(\frac{\Gamma - N_0 + \lambda \ln p'_z}{\lambda} \right) \\ &= \frac{1}{2} M \cdot \exp \left(\frac{\Gamma - N_0}{\lambda} + \ln p'_z \right) \end{aligned} \quad [7.10]$$

Vì cả M và $(\Gamma - N_0)/\lambda$ là hằng số, trong đất sét cố kết bình thường thấy rằng, c_u tăng *tuyến tính* với độ sâu.

Dùng phương trình [7.9] có thể chứng minh tương tự sự thay đổi độ bền không thoát nước với độ ẩm.

Với đất bão hòa, từ phương trình [3.11] có $e = mG_s$.

Tiếp đó $v = 1 + mG_s$

$$\text{và } c_u = \frac{1}{2} M \cdot \exp \left(\frac{\Gamma - 1 - mG_s}{\lambda} \right) \quad [7.11]$$

Trong trường hợp của đất *quá cố kết*, thể tích riêng tại chỗ hiện thời sẽ là $v = v_{ko} - k \ln p'_z$

$$\text{Vì thế } c_u = \frac{1}{2} M \cdot \exp \left(\frac{\Gamma - v_{ko} + k \ln p'_z}{\lambda} \right) \quad [7.12]$$

có nghĩa là tăng *không tuyến tính* với độ sâu.

Ví dụ mẫu 7.5. *Thí nghiệm nén trong hộp nén và thí nghiệm nén ba trục cho đất sét mới, nguồn gốc hồ nông cố kết bình thường, được các thông số sau đây : $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$; $m = 1,09$; $\Gamma = 2,51$; $e_0 = 1,59$; $C_c = 0,299$.*

Dùng lý thuyết trạng thái giới hạn, vẽ mặt cắt dự đoán c_u - tới độ sâu 40m, giả thiết mực nước ngầm bằng mặt đất.

Bài giải

Ứng suất hiệu quả thẳng đứng và nằm ngang tại độ sâu z là :

$$\sigma'_v = \gamma' z = (\gamma_{\text{sat.}} - \gamma_w)z$$

$$\sigma'_h = K_o \sigma'_v$$

ở đây : $K_o = 0,5$ cho điều kiện không thoát nước.

$$\begin{aligned}\text{Ứng suất pháp trung bình } p_z &= \frac{1}{3} (\sigma'_v + 2\sigma'_h) \\ &= \frac{1}{3} \sigma'_v (1 + 2K_o) \\ &= \frac{2}{3} (18,0 - 9,81)z \\ &= 5,46z \quad \text{kN/m}^2.\end{aligned}$$

Đồ thị $e - \log \sigma'$ (hình 6-7) dựa theo kết quả thí nghiệm nén trong hộp nén ; các thông số tương ứng cho đường $v - \ln p'$ ở trong phương trình [6.33] :

$$\lambda = c_c/2,3 = 0,130$$

$$N_o = 1 + e_o = 2,59$$

Rời từ phương trình [7.10]

$$\begin{aligned}c_u &= \frac{1}{2} M \cdot \exp \left(\frac{\Gamma - N_o}{\lambda} + \ln p'_z \right) \\ &= \frac{1}{2} \times 1,09 \cdot \exp \left[\frac{2,51 - 2,59}{0,130} + \ln(5,46z) \right] \\ &= 0,545 \cdot \exp [-0,015 + \ln(5,46z)]\end{aligned}$$

Các giá trị xếp thành bảng

$z(\text{m})$	1	2	5	10	15	20	25	30	35	40
$c_u(\text{kN/m}^2)$	1.8	4	9	18	27	36	45	54	63	72

Gần đúng $c_u = 1,8z \text{ kN/m}^2$

Ví dụ mẫu 7.6. Thí nghiệm trong phòng cho mẫu đất sét quá cố kết không nứt nẻ cho các thông số sau đây :

$$M = 0,96 ; \lambda = 0,21 ; \Gamma = 3,09 ; \gamma = 18 \text{ kN/m}^3 ;$$

$$K = 0,052 ; V_{ko} = 2,17 ; K_o = 0,8.$$

Đánh giá sự thay đổi độ bền cát không thoát nước sẽ xảy ra sát cạnh một hố móng sâu 12m.

Bài giải

$$\text{Từ phương trình [7.12] : } c_u = \frac{1}{2} M \cdot \exp \left(\frac{\Gamma - v_{ko} + k \ln p'_z}{\lambda} \right)$$

Trước khi đào móng, độ bền không thoát nước ở gần mặt đất là :

$$c_u = \frac{1}{2} \times 0,96 \exp \left[(3,09 - 2,17) / 0,21 \right] = 38 \text{ kN/m}^2$$

Tại độ sâu 12m, giả thiết mực nước ngầm nằm dưới độ sâu đào, ứng suất pháp trung bình là :

$$\begin{aligned} p_z &= \frac{1}{3} \sigma'_v (1 + 2K_o) \\ &= \frac{1}{3} \times 12 \times 18 (1 + 2 \times 0,8) = 187,2 \text{ kN/m}^2 \\ c_u &= \frac{1}{2} \times 0,96 \exp \left(\frac{3,09 - 2,17}{0,21} + \frac{0,052}{0,21} \ln p'_z \right) \\ &= 0,48 \exp (4,38 + 0,248 \ln 187,2) = 140 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Sau khi đào móng, ứng suất nằm ngang ở bề mặt cát giảm xuống không, vì thế :

$$p'_z = \frac{1}{3} \sigma'_v (1 + K_o) = \frac{1}{3} \times 12 \times 18 \times 1,80 = 129,6 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{và } c_u = 0,48 \exp (4,38 + 0,248 \ln 129,6) = 128 \text{ kN/m}^2$$

có nghĩa là độ bền không thoát nước giảm khoảng 9%.

Sự giảm thêm xảy ra khi hố móng tiếp tục lộ ra và độ ẩm (và do thế thể tích riêng) tăng lên. Độ bền chống cát ở ngay dưới tâm hố móng cũng bị giảm và có thể giảm xuống 38 kN/m².

7.13. Các ví dụ mẫu khác để giải thích thí nghiệm ba trục

Ví dụ mẫu 7.7. Các kết quả sau đây nhận được từ thí nghiệm cố kết – không thoát nước cho mẫu đất sét cố kết bình thường bão hòa.

Áp lực buồng (kN/m^2)	100	200	300
Độ lệch ứng suất cực hạn (kN/m^2)	137	210	283
Áp lực nước lỗ rỗng cực hạn (kN/m^2)	28	86	147

Hãy xác định :

- các thông số của ứng suất hiệu quả c' và φ' ;
- các thông số độ bền thoát nước biểu kiến c_{cu} và φ_{cu} .

Bài giải

Các ứng suất hiệu quả giới hạn :

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u_f$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f$$

Vì thế $\sigma'_1 - \sigma'_3 = \sigma_1 - \sigma_3$, cho ta (kN/m^2)

σ_3	100	200	300
σ_3	78	114	153
$\sigma_1 - \sigma_3$	137	210	283

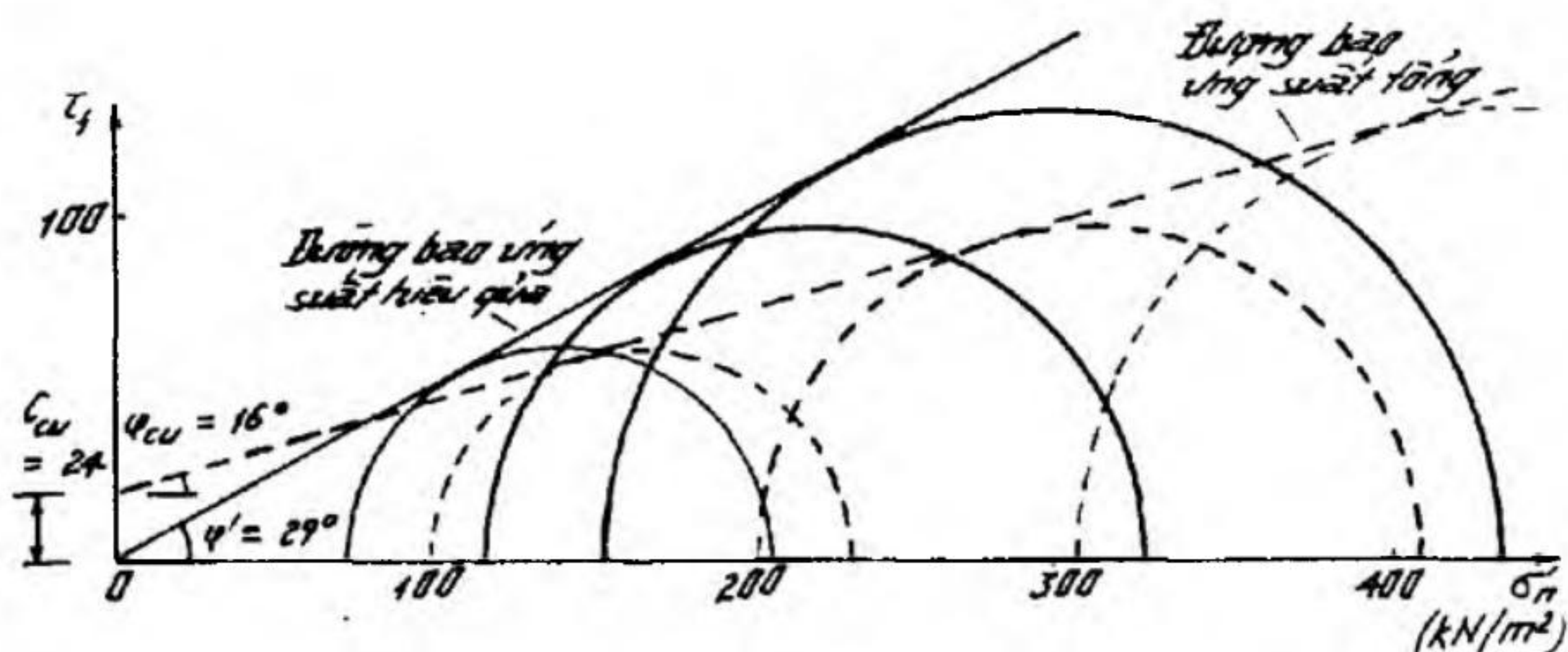
Đồ thị Mohr – Coulomb thấy ở hình 7-27, từ đồ thị có thể nhận được các giá trị sau đây :

$$a) c' = \underline{0} ;$$

$$\varphi' = \underline{29^\circ}$$

$$b) c_{cu} = \underline{24 \text{ kN/m}^2} ;$$

$$\varphi_{cu} = \underline{16^\circ}$$



Hình 7-27

Ví dụ mẫu 7.8. Các kết quả sau đây nhận được từ thí nghiệm cố kết không thoát nước cho mẫu đất sét quá cố kết.

Áp lực buồng (kN/m^2)	100	250	400
Độ lệch ứng suất cực hạn (kN/m^2)	340	410	474
Áp lực nước lỗ rỗng cực hạn (kN/m^2)	-42	64	177

Hãy xác định các thông số của ứng suất hiệu quả c' và φ' .

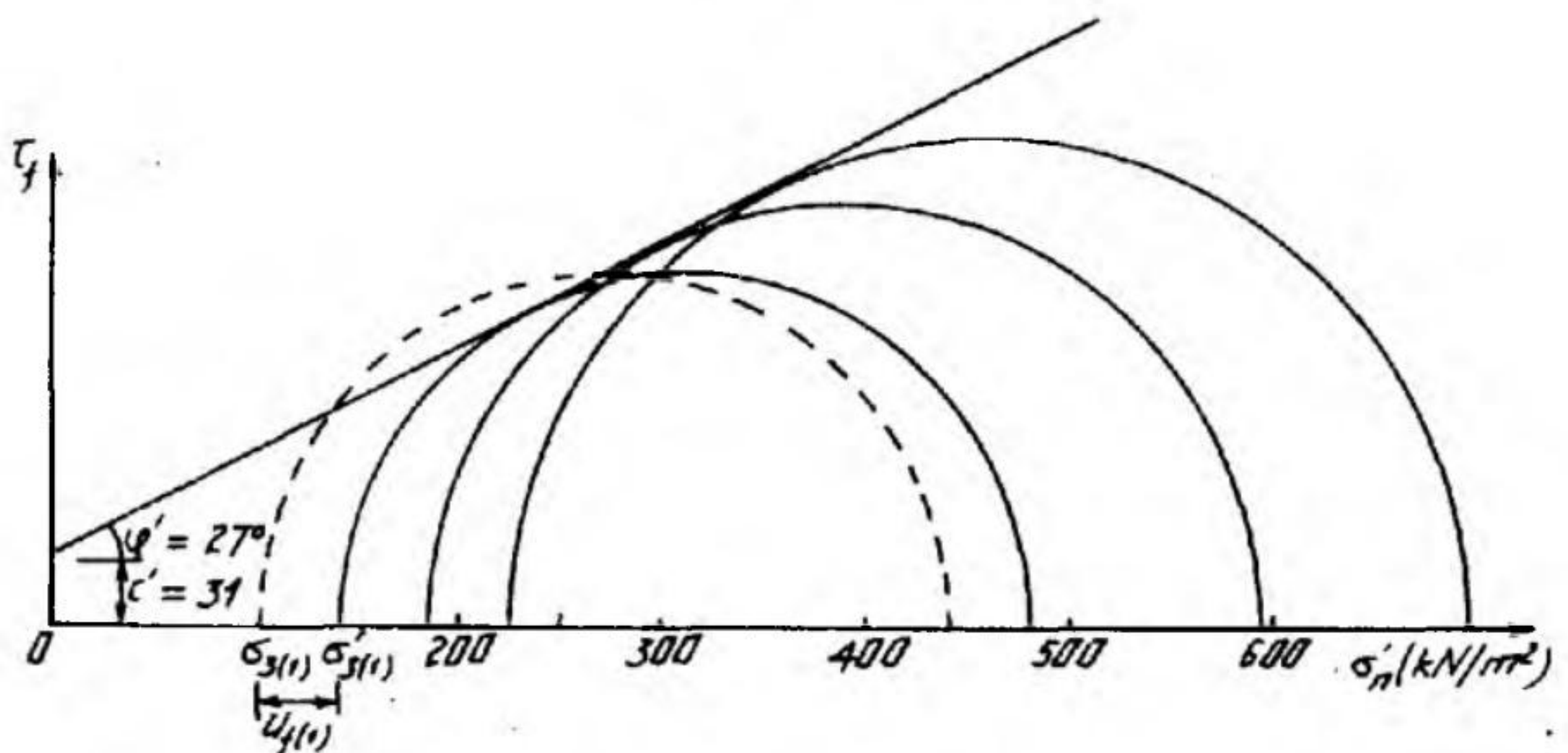
Bài giải

Kết quả tính tập hợp trong bảng sau (kN/m^2)

σ_3	100	250	400
u_f	-42	64	177
$\sigma'_3 = \sigma_3 - u_f$	142	186	223
$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1 - \sigma_3$	340	410	474

Ghi chú : Ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng âm là cho $\sigma'_3 > \sigma_3$. Đồ thị Mohr - Coulomb thấy ở hình 7-28, từ đồ thị xác định

$$c' = 31 \text{ kN/m}^2 \text{ và } \varphi' = 27^\circ$$



Hình 7-28

Ví dụ mẫu 7.9. Trong một thí nghiệm ba trục cố kết - không thoát nước cho một mẫu đất sét cố kết bình thường tại áp lực buồng là 150 kN/m^2 , độ lệch ứng suất cực hạn là 260 kN/m^2 và áp lực nước lỗ rỗng cực hạn là 50 kN/m^2 . Hãy vẽ đường bao độ bền chống cắt thích đáng và xác định các thông số tương ứng khác khi :

- $\varphi_u = 0$;
- $c' = 0$.

Bài giải

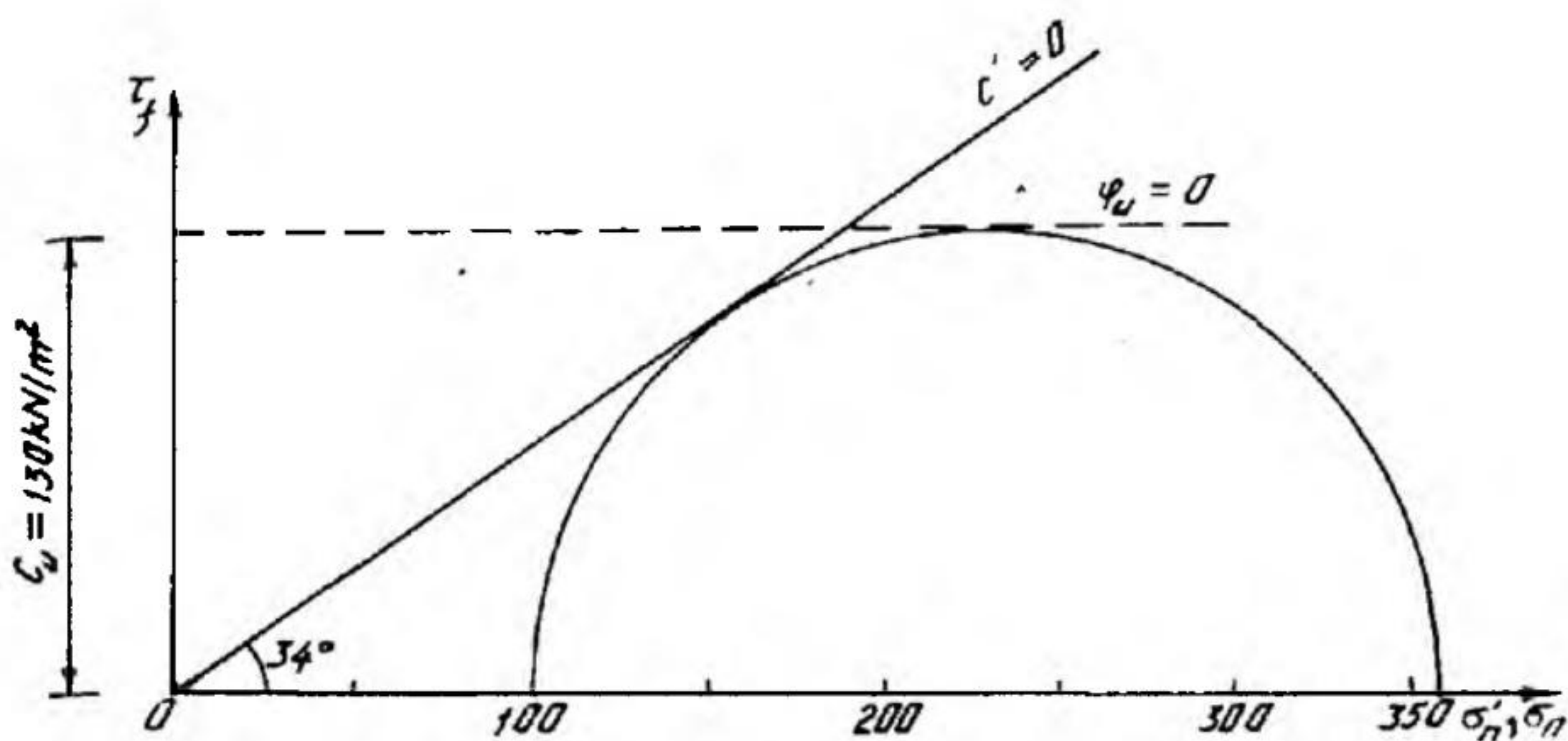
Hình 7-29 cho đồ thị đường bao.

- Khi $\varphi_u = 0$, đường bao song song với trục σ_n

Vì vậy : $\tau_f = c_u = 130 \text{ kN/m}^2$.

- Lúc phá hoại $\sigma'_3 = 150 - 50 = 100 \text{ kN/m}^2$.

Đường bao đi qua gốc tọa độ và $\varphi' = 34^\circ$



Hình 7-29

Ví dụ mẫu 7.10. Các thông số độ bền chống cắt của một đất sét cổ kết bình thường tìm được là $c' = 0$ và $\varphi' = 26^\circ$. Thí nghiệm ba trục đã tiến hành cho ba mẫu đất.

a) Trong thí nghiệm 1, mẫu được cố kết dưới một ứng suất đẳng hướng là 200 kN/m^2 và giai đoạn đặt tải dọc trục thì không thoát nước. Hãy xác định độ lệch ứng suất cực hạn nếu áp lực nước lỗ rỗng cuối cùng là 50 kN/m^2 .

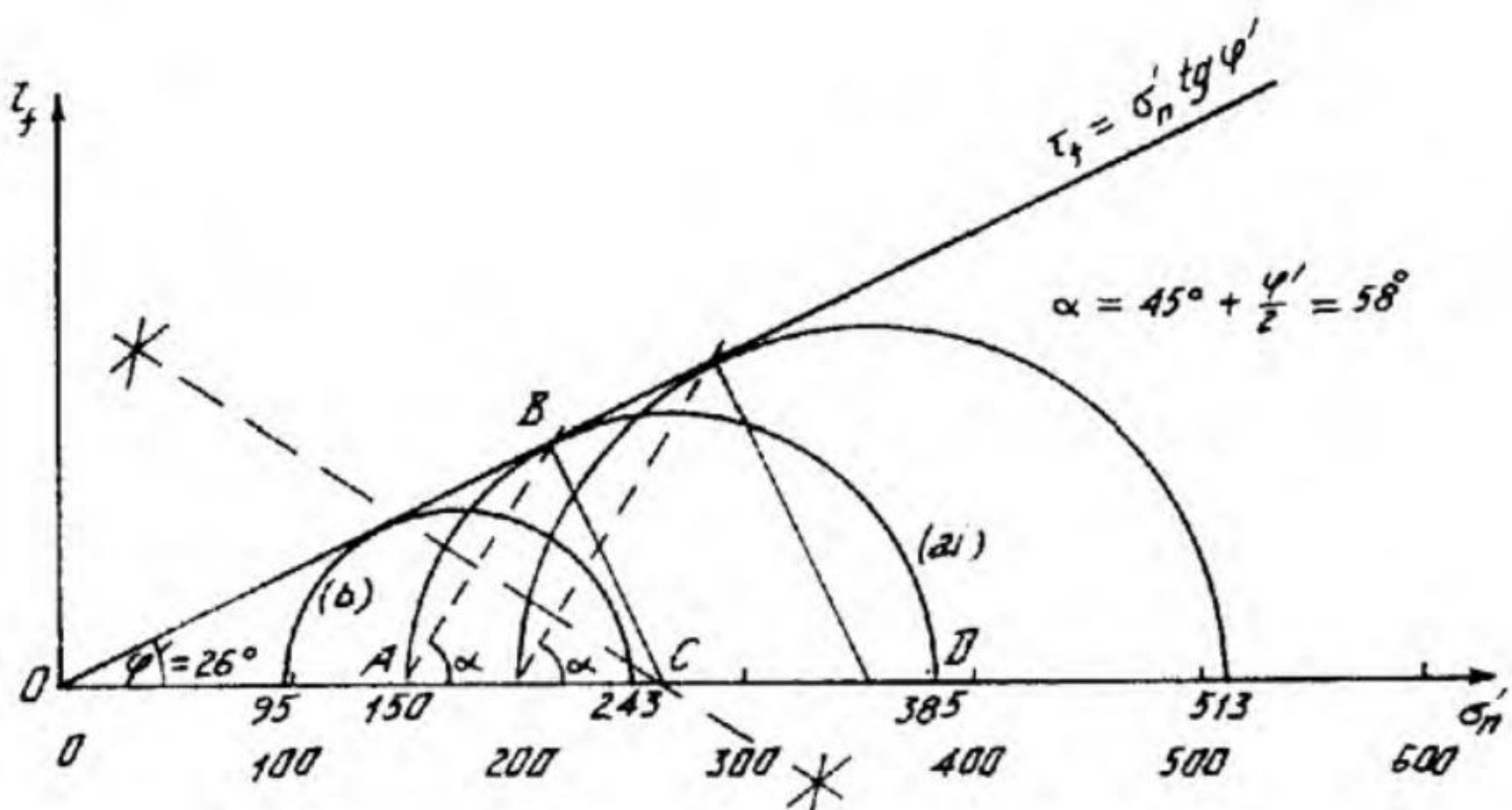
b) Trong thí nghiệm 2, mẫu được cố kết đẳng hướng dưới một ứng suất đẳng hướng là 200 kN/m^2 và giai đoạn đặt tải dọc trục thì cho thoát nước với áp lực lồi lại giữ bằng không. Hãy tính độ lệch ứng suất cực hạn.

c) Trong thí nghiệm 3, cả hai giai đoạn đều thoát nước. Hãy xác định áp lực nước lỗ rỗng chờ có khi mẫu đạt độ lệch ứng suất giới hạn là 148 kN/m^2 , giả thiết là mẫu trong suốt quá trình là bão hòa.

Bài giải

Đồ thị đường bao thấy ở hình 7-30

a) $\sigma'_1 - \sigma'_3 = \sigma_1 - \sigma_3 =$ độ lệch ứng suất giới hạn



Hình 7-30

$$\sigma'_3 = 200 - 50 = 150 \text{ kN/m}^2$$

Để có được vòng tròn Mohr, trước tiên vẽ dây cung AB từ $\sigma'_3 = 150 \text{ kN/m}^2$ với góc $\alpha = 45^\circ + \varphi'/2$. Đường vuông góc với AB qua trung điểm cắt trục σ'_n tại C và đó là tâm vòng tròn có bán kính $AC = BC$.

$$\sigma'_1 - \sigma'_3 = AD = 235 \text{ kN/m}^2$$

Lời giải có thể nhận được theo cách khác, bằng giải tích :

Trong hình 7-30 $\sin \varphi' = \frac{BC}{OC} = \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{\sigma'_1 + \sigma'_3}$

Từ đó $\frac{\sigma'_1}{\sigma'_3} = \frac{1 - \sin \varphi'}{1 + \sin \varphi'} = \text{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2} \right)$

Rồi nếu $\varphi' = 26^\circ$ thì $\text{tg}^2(45^\circ - 13^\circ) = 0,390$

và $\sigma'_1 = \sigma'_3 / 0,390 = 150 / 0,390 = 385 \text{ kN/m}^2$

Cho ta : $\sigma'_1 - \sigma'_3 = 385 - 150 = \underline{235 \text{ kN/m}^2}$.

b) Áp lực nước lỗ rỗng lúc phá hoại bằng không, do vậy $\sigma'_3 = \sigma_3 = 200 \text{ kN/m}^2$. Vòng tròn Mohr được vẽ như trước, cho ta :

$$\sigma'_1 - \sigma'_3 = 313 \text{ kN/m}^2$$

Hoặc bằng giải tích : $\sigma'_1 = 200/0,390 = 514 \text{ kN/m}^2$

Cho ta : $\sigma'_1 - \sigma'_3 = \underline{313 \text{ kN/m}^2}$

c) Độ lệch ứng suất cực hạn là đường kính của vòng tròn Mohr, đường bao độ bền là tiếp tuyến của vòng tròn này, cho ta :

$$\sigma'_1 = 243 \text{ kN/m}^2 \text{ và } \sigma'_3 = 95 \text{ kN/m}^2.$$

Vì thế áp lực nước lỗ rỗng cuối cùng sẽ là :

$$u_f = \sigma_3 - \sigma'_3 = 200 - 95 = \underline{105 \text{ kN/m}^2}$$

Ví dụ mẫu 7.11. Thí nghiệm bằng hộp cát cho một loại đất sét với tải trọng cắt tức thời sau khi đặt tải trọng pháp tuyến đã cho các kết quả sau đây :

Ứng suất pháp (kN/m^2)	120	230	340	450
Ứng suất cắt giới hạn (kN/m^2)	133	150	168	186

a) Xác định lực dính không thoát nước biểu kiến và góc ma sát của đất.

b) Nếu thí nghiệm ba trục không thoát nước được tiến hành sau khi đất đã cố kết tại ứng suất đẳng hướng là 150 kN/m^2 , độ lệch ứng suất đón đợi lúc phá hoại là bao nhiêu ?

c) Nếu tiến hành thí nghiệm nén (một trục) nở hông cho mẫu cùng loại đất thì giá trị độ bền chống cắt không thoát nước là bao nhiêu ?

Bài giải

a) Ứng suất cắt có thể vẽ trực tiếp đối với ứng suất pháp như thấy ở hình 7-31. Vì thí nghiệm cắt nhanh, mẫu có thể coi như không thoát nước và đồ thị cho các giá trị c_u và φ_u .

$$c_u = \underline{112 \text{ kN/m}^2} \quad \text{và} \quad \varphi_u = \underline{9^\circ}$$

b) Trong trường hợp này để có vòng tròn Mohr, trước tiên vẽ dây cung AB từ điểm A ($OA = \sigma_3 = 150 \text{ kN/m}^2$) với góc $45^\circ + \varphi'/2$.

Đường vuông góc với AB qua trung điểm cắt trục σ_n tại C, tâm của vòng tròn. Vẽ vòng tròn để đường bao là một tiếp tuyến, và cho :

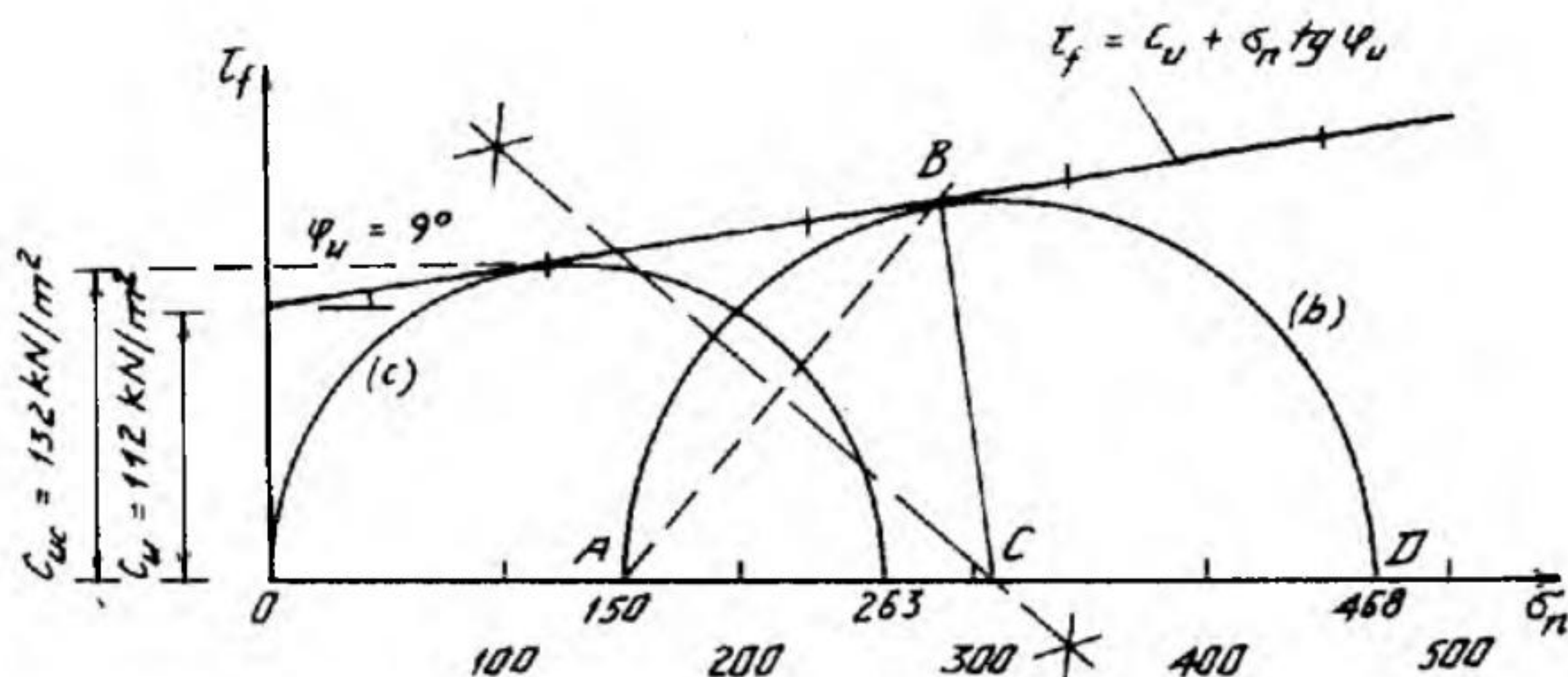
$$\sigma_1 = 468 \text{ kN/m}^2 \quad \text{và} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = 318 \text{ kN/m}^2$$

c) Với thí nghiệm nén (một trục) nở hông, $\sigma_3 = 0$. Vòng tròn Mohr được dựng trên và cho :

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_1 = 263 \text{ kN/m}^2$$

Giá trị độ bền chống cắt không thoát nước biểu kiến ở thí nghiệm nén (một trục) nở hông này là :

$$c_{uc} = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) = 132 \text{ kN/m}^2$$



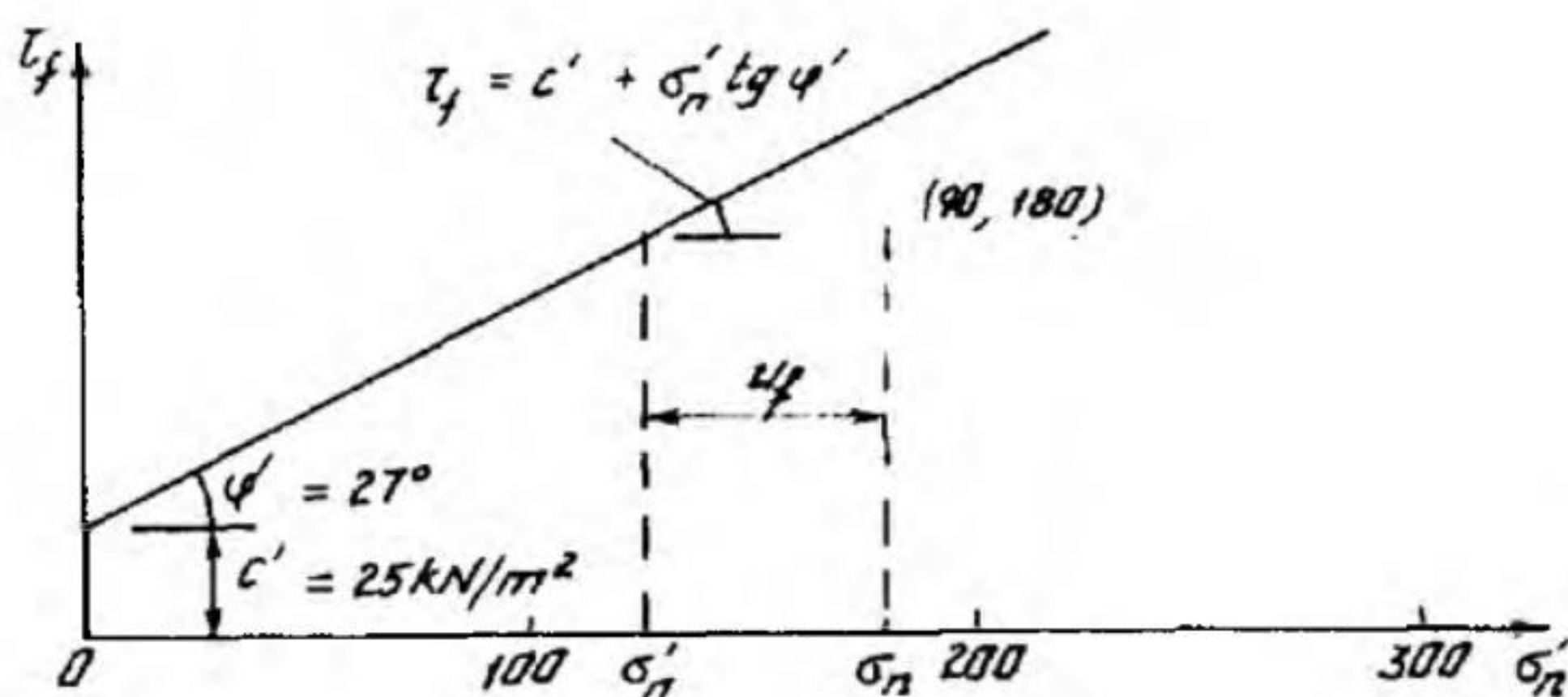
Hình 7-31

Ví dụ mẫu 7.12. Thí nghiệm cố kết - không thoát nước cho một mẫu đất sét bão hòa bằng thiết bị hộp cắt đã ghi được các số liệu sau :

Ứng suất cắt giới hạn bằng 90 kN/m^2 .

Ứng suất pháp không đổi bằng 180 kN/m^2 .

Nếu đã biết các thông số của ứng suất hiệu quả là $c' = 25 \text{ kN/m}^2$ và $\varphi' = 27^\circ$, áp lực nước lỗ rỗng giới hạn trong mẫu là bao nhiêu ?



Hình 7-32

Bài gidi

Đường bao độ bền chống cắt thấy ở hình 7-32 và cho bởi phương trình :

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \operatorname{tg} \varphi' = 25 + 0,15 \sigma'_n$$

Với ứng suất cắt giới hạn là 90 kN/m^2 , ứng suất pháp hiệu quả tương ứng sẽ là :

$$\sigma'_n = (90 - 25) / 0,51 = 128 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{và áp lực nước lỗ rỗng giới hạn } u_f &= \sigma_n - \sigma'_n \\ &= 180 - 128 = \underline{52 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Ví dụ mẫu 7.13. Một loại đất sét có kết bình thường đã biết được các thông số sau đây :

$$M = 0,96 ; \quad \lambda = 0,22 ; \quad N = 3,18 ; \quad \Gamma = 306.$$

Trong thí nghiệm nén ba trục, mẫu đất sét được cố kết dưới áp lực buồng đẳng hướng là 300 kN/m^2 .

a) Tính giá trị giới hạn đón dọi cho ứng suất pháp trung bình p'_p , độ lệch ứng suất q'_p , ứng suất chính tối đa σ'_1 và hệ số rỗng e_f nếu giai đoạn dặt tải dọc trục là thoát nước hoàn toàn.

b) Tính giá trị giới hạn của p'_p , q'_p và σ'_1 cho thí nghiệm giai đoạn dặt tải dọc trục là không thoát nước. Trong trường hợp này, áp lực nước lỗ rỗng giới hạn u_f là bao nhiêu ?

Bài giải

a) Trong giai đoạn đặt tải dọc trục thoát nước :

$$du = 0, \quad d\sigma_3 = 0 \quad \text{và} \quad dq'/dp' = 3 \quad [\text{phần 6.4d}]$$

Do thế, lúc phá hoại $q'_f = 3(p'_f - p'_o)$

ở đây : p'_f - ứng suất pháp trung bình lúc phá hoại ;

p'_o - áp lực buồng đẳng hướng pháp tuyến trung bình, $p'_o = \sigma'_3$.

Từ phương trình [6.32a] cũng có : $q'_f = Mp'_f$

Do thế, ứng suất pháp trung bình cực hạn :

$$p'_f = \frac{3p'_o}{3 - M} = \frac{3 \times 300}{3 - 0,96} = \underline{441,2 \text{ kN/m}^2}$$

Độ lệch ứng suất cực hạn $q'_f = 0,96 \times 441,2 = \underline{423,5 \text{ kN/m}^2}$

$$\begin{aligned} \text{Ứng suất chính tối đa cực hạn } \sigma'_1 &= q'_f + \sigma'_3 \\ &= \underline{723,5 \text{ kN/m}^2} \end{aligned}$$

Thế tích riêng cực hạn sẽ ở trên đường trạng thái giới hạn :

$$\begin{aligned} v_f &= \Gamma - \lambda \ln p'_f \\ &= 3,06 - 0,22 \ln 441,2 = \underline{1,720} \end{aligned}$$

b) Trong giai đoạn đặt tải dọc trục không thoát nước, thế tích vẫn là hằng số, có nghĩa là bằng thế tích đã được đưa tới trên đường cố kết thông thường :

$$v_f = v_o = N - \lambda \ln p'_o = 3,18 - 0,22 \ln 300 = 1,925$$

Rồi từ phương trình [6.33b] :

$$p'_f = \exp \left(\frac{\Gamma - v_f}{\lambda} \right) = \exp \left(\frac{3,06 - 1,925}{0,22} \right) = \underline{174,0 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{và} \quad q'_f = 0,96 \times 174,0 = \underline{167 \text{ kN/m}^2}$$

$$\sigma'_1 = 167,0 + 300 = \underline{467 \text{ kN/m}^2}$$

$$\text{Lúc này ứng suất tổng } p_f = p'_o + \frac{1}{3} q'_f = 355,7 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Vì thế, áp lực nước lỗ rỗng cực hạn } u_f = p_f - p'_f = \underline{181,7 \text{ kN/m}^2}$$

Ví dụ mẫu 7.14. Trong thí nghiệm cố kết đẳng hướng cho một mẫu đất sét, các số liệu sau đây đã ghi được :

p' (kN/m ²)	25	50	100	200	300	400	600	25
Thay đổi thể tích (ml)	0	0,67	1,39	2,23	4,57	6,54	8,92	5,69

Các tính chất vật lý của mẫu tại $p' = 25\text{kN/m}^2$

$G_s = 2,72$; $\gamma = 18,6\text{kN/m}^3$; $w = 34\%$; thể tích = 86,19ml

a) Vẽ đường cong $v-\ln p'$ và từ đó xác định giá trị các thông số λ , k , N và v_k .

b) Xác định sự biến thiên biểu hiện trong độ cứng thể tích E'_v với ứng suất pháp trung bình p' .

Bài giải

a) Trước tiên cần thiết xác định thể tích riêng tương ứng với $p' = 25\text{kN/m}^2$.

Dung trọng khô $\rho_d = \frac{18,6}{9,81(1 + 0,34)} = 1,415\text{Mg/m}^3$

Thể tích riêng $v = 2,72/1,415 = 1,922$

Biến dạng thể tích $\varepsilon_v = \frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta v}{v}$

Do vậy $\Delta v = (1,922/86,19)\Delta V$

Thể tích riêng tương ứng với p' có thể được tính như sau :

p'	25	50	100	200	300	400	600	25
Δv	0	0,015	0,031	0,052	0,106	0,146	0,199	0,127
v	1,922	1,907	1,891	1,870	1,816	1,776	1,723	1,795

Hình 7-33 cho thấy đồ thị $v-\ln p'$.

Thông số k là độ dốc phần đầu của đường cong :

$$k = \frac{1,922 - 1,891}{\ln(100/25)} = 0,0224$$

Thông số này có thể thẩm tra theo độ dốc của đường đỡ tải :

$$k = \frac{1,795 - 1,793}{\ln(600/25)} = 0,0227$$

Thông số λ là độ dốc của đường cố kết bình thường :

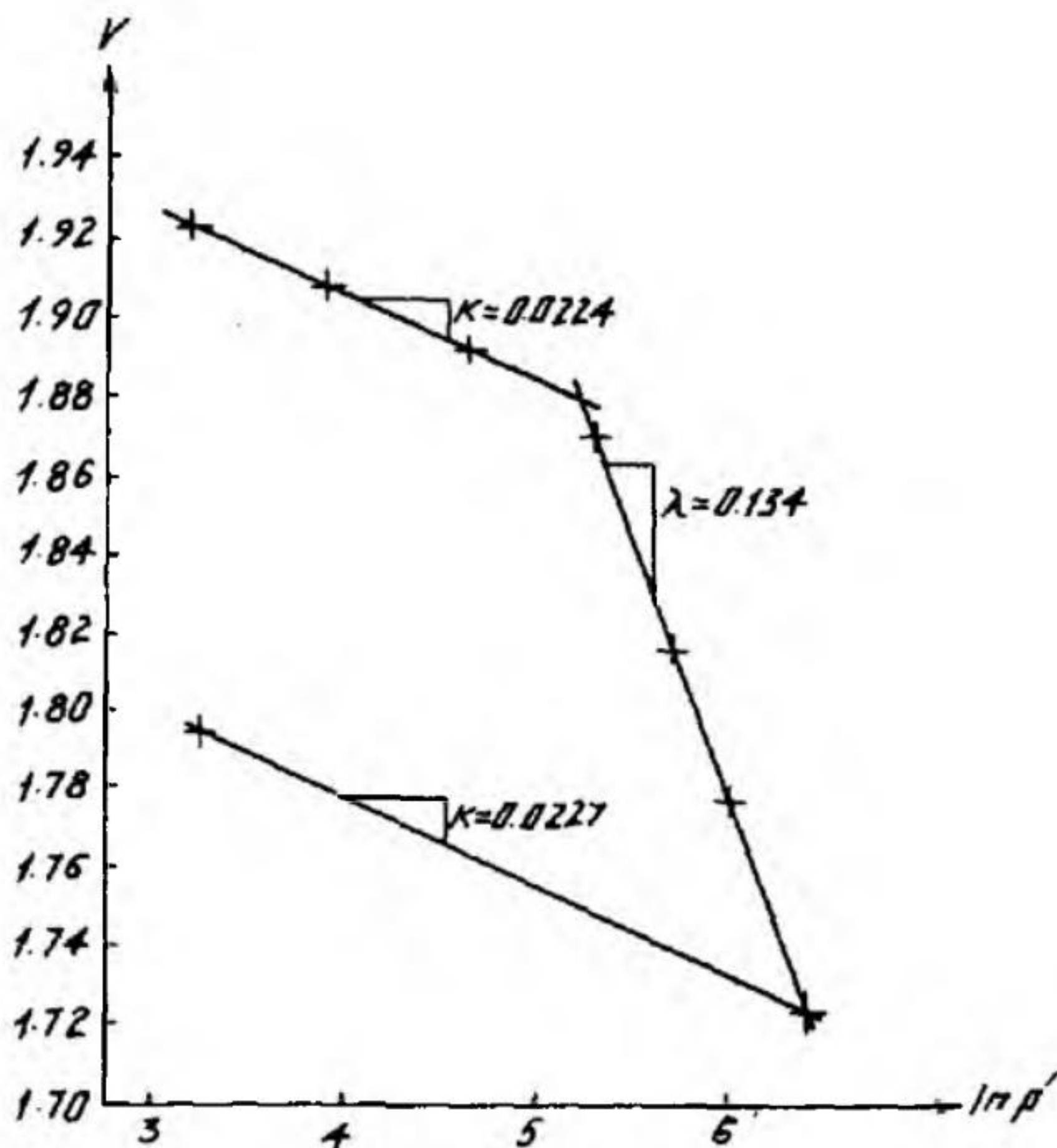
$$\lambda = \frac{1,870 - 1,723}{\ln(600/200)} = 0,134$$

N - khoảng chặn của đường cố kết bình thường tại $p' = 1,0 \text{ kN/m}^2$

$$N = 1,870 + 0,134 \times \ln 200 = 2,580.$$

v_k - khoảng chặn của đường cong nở - lẹp tải tại $p' = 1,0 \text{ kN/m}^2$

$$v_k = 1,922 + 0,224 \times \ln 25 = 1,994$$



Hình 7-33

b) Độ cứng thể tích $E'_v = \frac{dp'}{d\varepsilon_v}$

Nhưng $d\varepsilon_v = \frac{dv}{v}$ và $dv = -kd(\ln p') = -k \frac{dp'}{p'}$

Do đó $E'_v = \frac{vp'}{k}$

Vì vậy, với $p' = 100 \text{ kN/m}^2$ thì $E'_v = \frac{1,891 \times 100}{0,0224} = 8442 \text{ kN/m}^2$

$p' = 50 \text{ kN/m}^2$ thì $E'_v = \frac{1,907 \times 50}{0,0224} = 4257 \text{ kN/m}^2$

Đất quá cố kết được xem là có biểu hiện dẻo, trong trường hợp này xảy ra khi $25 < p' < 180$:

$$E'_v \approx 85p' \quad \text{kN/m}^2$$

Ví dụ mẫu 7.15. Tiến hành thí nghiệm ba trục thoát nước cho ba mẫu đất sét bão hòa ghi được các số liệu sau đây : Kích thước mẫu ban đầu : dài 76cm, đường kính 38cm

Mẫu	1	2	3
Áp lực buồng (kN/m ²)	100	200	400
Tải trọng dọc trục giới hạn (kN)	0,168	0,344	0,696
Thay đổi chiều dài (mm)			
trong lúc cố kết Δl_c	0,73	1,77	2,82
trong lúc đặt tải dọc trục Δl_a	9,38	12,24	15,38
Thay đổi thể tích (ml)			
trong lúc cố kết ΔV_c	2,48	6,02	9,90
trong lúc đặt tải dọc trục ΔV_a	5,93	6,05	6,07

a) Dùng lí thuyết phá hoại Mohr - Coulomb xác định các thông số độ bền chống cắt thoát nước c'_d và φ'_d .

b) Dùng số liệu để đánh giá các thông số trạng thái giới hạn M , λ và Γ . Giả thiết là đường cố kết thông thường dằng hướng có thông số $\lambda = 0,17$ và $N = 2,98$.

Bài giải

a) Diện tích mặt cắt ngang lúc phá hoại có thể đánh giá theo phương trình [7.8a] :

$$A = A_0 \frac{1 - \Delta V/V_0}{1 - \Delta l/l_0}$$

ở đây : $\Delta V = \Delta V_c + \Delta V_a$ và $\Delta l = \Delta l_c + \Delta l_a$.

Thể tích ban đầu $V_0 = \frac{\pi}{4} \times 38^2 \times 76/1000 = 86,19\text{ml}$

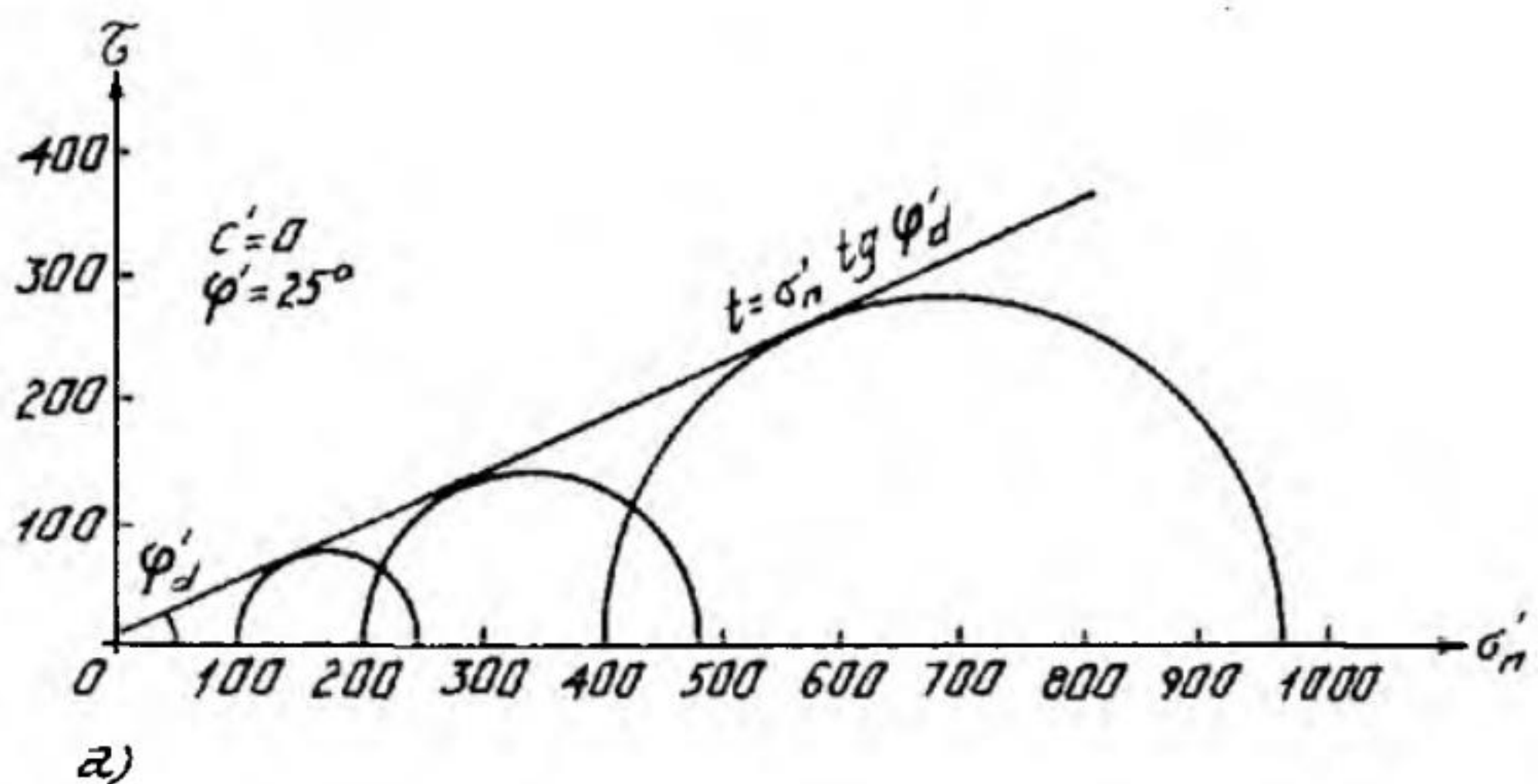
Diện tích ban đầu $A_0 = \frac{\pi}{4} \times 38^2 = 1134\text{mm}^2$

như mẫu 1 :

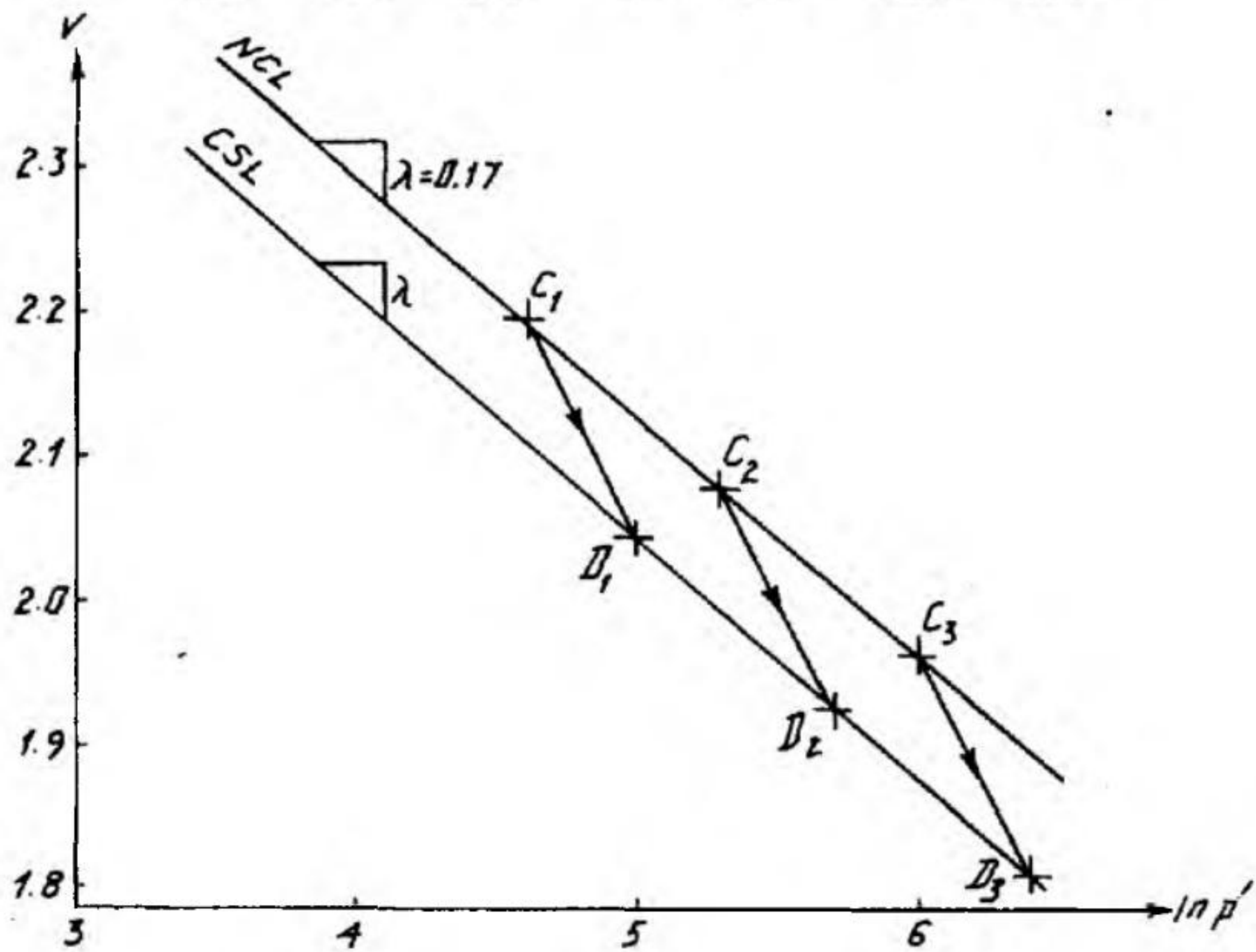
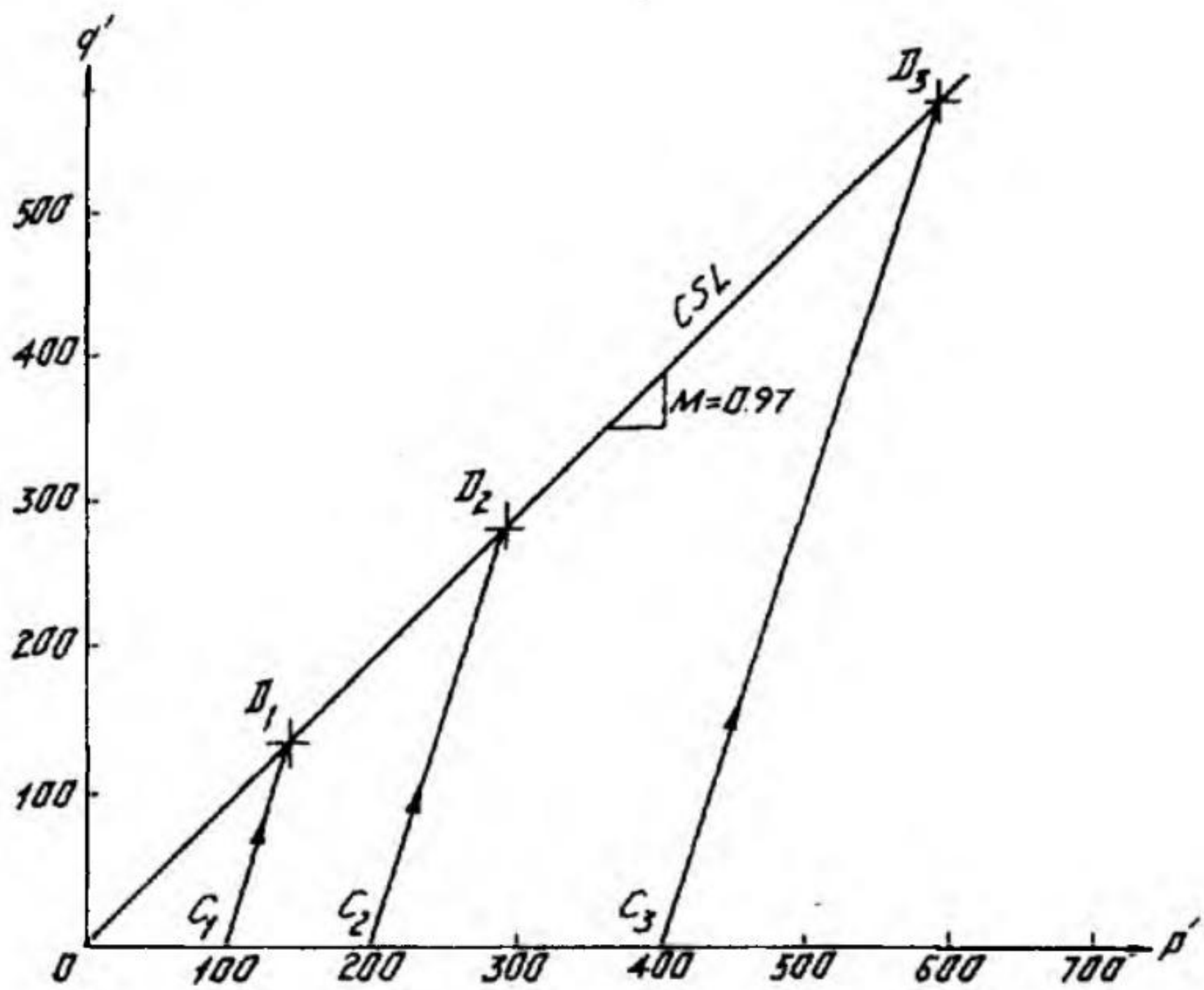
$$A = 1134 \times \frac{1 - (2,48 + 5,93)/86,19}{1 - (0,73 + 9,38)/76,0} = 1180\text{mm}^2$$

Các tính toán được tập hợp thành bảng dưới đây :

Mẫu	1	2	3
$1 - \Delta V/V_0$	0,9024	0,8600	0,8147
$1 - \Delta l/l_0$	0,8670	0,8157	0,7605
Diện tích cuối cùng (mm^2)	1180	1196	1215
Độ lệch ứng suất $\sigma'_1 - \sigma'_3$ (kN/m^2)	142	288	573



Hình 7-34



b)

Hình 7-34

Đồ thị Mohr-Coulomb thấy ở hình 7-34a, từ đó xác định được các thông số của độ bền chống cắt thoát nước :

$$c'_d = \underline{0} \quad \text{và} \quad \varphi'_d = \underline{25^\circ}$$

Giá trị trung bình của φ'_d được tính từ

$$\text{tg}^2(45^\circ - \varphi'/2) = \sigma'_3/\sigma'_1 \text{ là } 24,7^\circ.$$

b) Trước hết, phải tính ứng suất pháp trung bình :

$$\text{Ứng suất cố kết} \quad p'_c = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3) = \sigma'_3$$

$$\text{Ứng suất cực hạn} \quad p'_f = \frac{1}{3}(\sigma'_1 + 2\sigma'_3)$$

Các giá trị của thể tích riêng v sau khi cố kết sẽ nằm trên đường cố kết thông thường, và trên đường trạng thái giới hạn lúc phá hoại (v_f). Vì thế, với mẫu 1 :

$$\text{Ứng suất chính lớn nhất } \sigma'_1 = \sigma'_3 + q'_f = 242 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Ứng suất pháp trung bình } p'_f = \frac{1}{3}(242 + 2 \times 100) = 147 \text{ kN/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Thể tích riêng cố kết } v_c &= N - \nu \ln p'_c \\ &= 2,98 - 0,17 \ln 147 = 2,197 \end{aligned}$$

$$\text{Thể tích riêng cuối cùng } v_f = v_c + \Delta v$$

Biến dạng thể tích trong khi đặt tải dọc trục :

$$\frac{\Delta V_a}{V} = \frac{\Delta v}{v}$$

$$\text{Vì thế,} \quad \Delta v = \frac{2,197 \times 5,93}{86,19 - 2,48} = 0,156$$

$$\text{Do vậy} \quad v_f = 2,197 - 0,156 = 2,041$$

và các thông số của đường cố kết thông thường :

$$M = q'_f / p'_f = \underline{0,970}$$

$$\Gamma = 2,197 + 0,17 \ln 147 = \underline{2,89}$$

Các kết quả được xếp thành bảng dưới đây

Mẫu	1	2	3
$p_c = \sigma_3 \text{ (kN/m}^2\text{)}$	100	200	400
$q_1 \text{ (kN/m}^2\text{)}$	142	288	573
$\sigma_1 \text{ (kN/m}^2\text{)}$	242	488	973
$p_1 \text{ (kN/m}^2\text{)}$	147	296	591
v_c	2.197	2.079	1.961
Δv	0.156	0.157	0.156
v_1	2.041	1.922	1.805
M	0.970	0.973	0.970
Γ	2.89	2.89	2.89

7.14. Độ nhạy của đất sét

Một số loại đất sét, đặc biệt là loại có nguồn gốc băng hà muộn, nhạy cảm với sự phá hoại cấu trúc bên trong tự nhiên của chúng bởi hiện tượng chế bị mẫu. Tỷ số của độ bền không thoát nước của mẫu nguyên dạng với độ bền không thoát nước của mẫu chế bị gọi là *độ nhạy* của đất sét

$$\text{Độ nhạy } S_i = \frac{\text{độ bền không thoát nước mẫu nguyên dạng}}{\text{độ bền không thoát nước mẫu chế bị}} \quad [7.13]$$

Hầu hết đất sét thông thường có giá trị độ nhạy lên tới 4, trong khi một số đất sét quá cố kết với chỉ số chảy thấp có độ nhạy rất nhỏ và được gọi là không nhạy ; một số được gọi là đất sét *chảy* có độ nhạy trên 100. Bjerrum (1954) phát hiện đất sét Naury với độ muối thấp có độ nhạy cao tới 500 và độ nhạy của đất sét Canadian Leda được thông báo là trên 700 (Sangrey, 1972). Có hai khả năng giải thích về đặc trưng độ nhạy này.

Ở nơi bụi chứa sét và bụi pha sét biến được nâng lên vào khi băng hà muện thì nước trong lỗ rỗng chứa muối natri ban đầu bị pha loãng bởi nước mưa, đã làm xuất hiện cấu trúc khung hờ. Một cấu trúc hờ tương tự có thể là do gắn kết xi măng ở cấu trúc ban đầu đã bị phá vỡ sau đó. Các cấu trúc hờ này yếu ớt nên khi bị xáo động do cát sẽ suy sụp rất nhanh kèm theo là sự tăng nhanh của áp lực nước lỗ rỗng. Ứng suất hiệu quả giữa các hạt giảm đột ngột và vì thế mà độ bền chống cát cũng giảm, gây ra sự hóa lỏng trong nhiều đất nhạy dẫn tới các hiện tượng trượt dòng và trượt đất gây thảm họa lớn.

Sự phân loại độ nhạy cho trong bảng 7-1.

BẢNG 7-1. ĐỘ NHẠY CỦA ĐẤT SÉT

Độ nhạy S_u	Mô tả
1	Không nhạy
1-4	Nhạy thấp
4-8	Nhạy
8-16	Cực nhạy
> 16	Chảy

7.15. Xác định độ bền dư

Trong một nghiên cứu tỉ mỉ về sự ổn định lâu dài của các hố móng trong đất sét London, giáo sư A.W.Skempton (1964) đã quan sát thấy rằng, độ bền chống cát trên bề mặt trượt được hình thành lâu dài có chiều hướng nhỏ hơn nhiều độ bền đỉnh tương ứng trong phòng thí nghiệm. Ông cũng nhận xét rằng, mặt trượt càng cũ và chuyển vị càng lớn hơn thì độ bền chống cát nhận được bằng phân tích ngược càng nhỏ.

Những nghiên cứu sâu hơn của Bishop và các cộng tác viên (1971), khi dùng thiết bị cát vòng theo thiết kế mới, đã xác nhận rằng, trong đất có lượng hạt sét lớn (> 50%), sự hạ thấp độ bền đột ngột xảy ra với chuyển vị không ngừng lớn (> 1m). Các giá trị đo trong thí nghiệm điển hình được báo cáo và xác định bằng phân tích - ngược các mặt trượt thực tế là :

	Độ bền dính		Độ bền dư	
	c'	φ'	c'_r	φ'_r
Đất sét London màu nâu	12 kN/m ²	22°	1kN/m ²	11°
Đất sét Atherfield	21kN/m ²	18°	1kN/m ²	16°
Đất sét Weald	48kN/m ²	23°	4kN/m ²	10°

Rõ ràng là, thời gian đầu của sự trượt giá trị φ'_r tương tự hay nhỏ hơn chút ít giá trị φ'_p , đưa tới kết luận *giá trị biến dạng* là quan trọng. Một giải thích có lẽ đúng là, các hạt sét dạng bông nằm kề với mặt trượt được định hướng lại theo sự sắp xếp song song nhiều hơn, do đó đã sinh ra một mặt nhẵn hơn. Chuyển vị vài mm chỉ có ảnh hưởng nhỏ tới sự giảm φ' , nhưng chuyển dịch vài mét hay lớn hơn đủ làm giảm đáng kể độ bền.

Một điều quan trọng nữa là độ cong của đường bao độ bền chống cắt dư (Bromhead và Dixon, 1986 ; Lupini,..., 1981). Hawkins và Privett (1985, 1986) chỉ ra rằng không nên vẽ đồ thị $\tau'_r - \sigma'_r$ chỉ dựa trên ba thí nghiệm, vì nó dẫn tới ấn tượng của một đường bao thẳng ($\tau'_r = \sigma'_n \tan \varphi'_r$). Khi sáu hay nhiều điểm hơn được vẽ bao trùm phạm vi rộng của giá trị σ'_n , độ cong của đường bao trở nên đáng chú ý, đặc biệt tại các giá trị σ'_n thấp. *Đồ thị của hệ số ma sát dư* ($\tan \varphi'_r = \tau'_r / \sigma'_r$) là một cách biểu thị các đặc trưng của độ bền dư sáng sủa hơn.

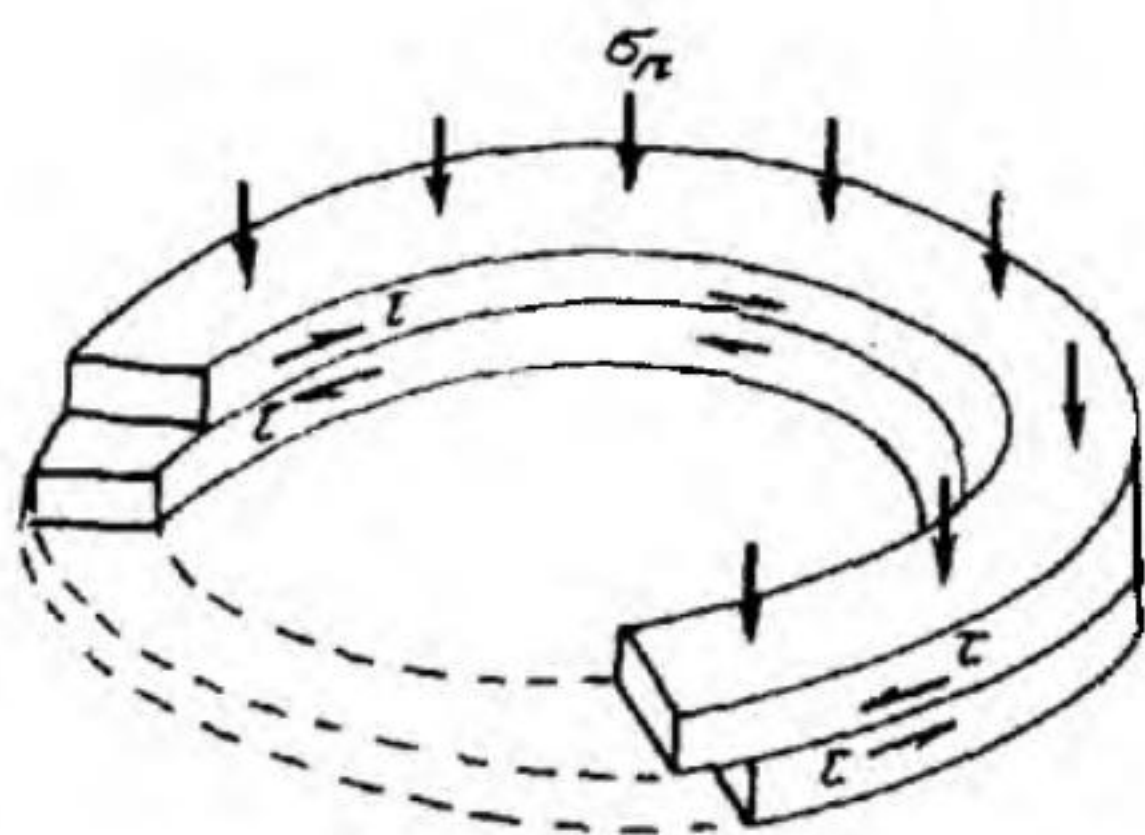
Thí nghiệm độ bền dư

a) *Thí nghiệm ba trục hoặc bằng hộp cắt trên mặt trượt tự nhiên.* Mẫu, có một phần của mặt trượt đã tồn tại, lấy từ nơi xảy ra trượt được gọt cẩn thận và thí nghiệm theo cách thông thường bằng các thiết bị như dùng hộp cắt hoặc máy ba trục. Khó khăn chủ yếu khi thực hiện là ở quá trình lấy mẫu và sự định hướng tiếp đó của mặt trượt. Phương pháp này không thích hợp cho các mục đích thông thường.

b) *Thí nghiệm bằng hộp cắt đảo ngược.* Dùng một hộp cắt đặc biệt đã được sửa lại, trong hộp hướng của chuyển vị tương đối của hai

nửa mẫu có thể đảo ngược một số lần không giới hạn. Do vậy chuyển vị tích lũy có thể được mở rộng từ một vài mm cho tới vài mét nếu cần. Tốc độ cắt dĩ nhiên phải chậm đủ cho sự tiêu tán toàn bộ áp lực nước lỗ rỗng dư. Thường sẽ cần ít nhất mười lần đảo ngược để biểu lộ được trạng thái dư thực tế và kiến nghị rằng tiến hành ít nhất sáu thí nghiệm bao trùm phạm vi ứng suất pháp thích hợp.

c) *Thiết bị cắt vòng.* Thiết bị cắt vòng, do Hvorslev đầu tiên đề xuất vào năm 1930 và được Bishop, ... (1964) tiến hành sửa đổi. Năm 1979, Bromhead công bố thiết kế của một thiết bị tương đối không đắt tiền và hiện giờ vẫn sẵn có bán. Một mẫu đất nhỏ được



Hình 7-35. Mẫu thí nghiệm cắt vòng

chế bị, chuẩn bị ở dạng một cái vòng có tiết diện vuông. Nửa vòng trên xoay được so với nửa vòng dưới (hình 7-35), trong lúc đó đo ứng suất pháp σ'_n và ứng suất cắt τ' .

Một mặt phá hoại ban đầu được

tạo nên bằng cách xoay nhanh vòng. Rồi tốc độ giảm dần và sự xoay duy trì cho tới khi trạng thái dư biểu lộ. Bằng cách thay đổi ứng suất pháp, có thể nhận tương đối dễ dàng một số điểm trên đường bao $\tau'_f - \sigma'_n$.

Theo một số nghiên cứu (Hawkins và Privett, 1985 ; Bromhead và Dixon, 1986 và các tác giả khác) rõ ràng là các kết quả cắt vòng rất phù hợp với thí nghiệm trên mặt trượt tự nhiên và các kết quả của phân tích ngược. Các kết quả của thí nghiệm cắt vòng và thí nghiệm hộp cắt đảo ngược hình như cũng khá gần nhau. Tuy nhiên, việc chuẩn bị các mẫu vòng đơn giản hơn (từ đất chế bị) và đạt được số lượng điểm vừa ý của đường bao dễ hơn.

7.16. Sự phát triển của phá hoại

Lí thuyết Mohr-Coulomb dựa vào giả thiết là mặt trượt thực phát triển trong khối đất. Khi đó, có thể sử dụng sự phân tích *tải trọng cực hạn* hay *trạng thái giới hạn* trong đó ứng suất cắt dọc theo mặt phá hoại được lấy làm giá trị giới hạn. Sự giải thích thông thường các kết quả thí nghiệm ba trục và phân tích ổn định mái dốc bằng phương pháp cung trượt là các ví dụ của phương cách này. Tuy nhiên cũng thấy rõ là, trong nhiều trường hợp không biểu lộ mặt trượt xác định, mà vì đất bị chảy nên lại xảy ra co ngót.

Nguyên nhân của điều đó là do sự khác nhau cơ bản về tính chất giữa các điều kiện cát của đất có hệ số rỗng nhỏ hơn giá trị giới hạn và của đất có hệ số rỗng lớn hơn giá trị giới hạn (xem phần 6.6). Những đất ở phía *khô* hay *chật* của giới hạn có xu hướng nở ra rồi tụt xuống do trượt không liên tục dọc theo một mặt trượt xác định rõ. Giá trị độ bền chống cắt đỉnh liên quan với loại phá hoại này được dự đoán hợp lí bằng lí thuyết Mohr - Coulomb.

Ngược lại, trong đất cổ kết bình thường có hệ số rỗng ở phía ẩm hay rời rạc của giới hạn, cấu trúc có xu hướng co ngót và thậm chí sụt lở hay chảy ; mặt trượt không biểu hiện. *Trượt dòng* có chiều hướng biểu lộ bằng cách này tại các mái đất sét, khi hệ số rỗng tăng lên do quá trình đóng băng - tan băng. Hệ số rỗng có thể tăng cục bộ ở đỉnh các đồng đất đào do thoát nước ở phía dưới. Các chuyển vị cục bộ nhỏ làm giảm độ bền chống cắt có thể dẫn tới phá hoại loại trượt dòng phát triển không ngừng.

Trong một số đất sét *nứt nẻ* quá cổ kết như đất sét London, đặc biệt khi bị lộ ra không khí chịu phong hóa sẽ bị suy giảm dần độ bền. Tác động này bắt đầu ở khe nứt và có thể dẫn tới sự phá hoại tăng dần. Để tính ổn định, đề nghị phải lấy *độ bền ở trạng thái giới hạn* ($\tau = \sigma'_n \tan \varphi'_c$) hơn là độ bền đỉnh ($\tau = c' + \sigma'_n \tan \varphi'_f$).

7.17. Xác định các hệ số áp lực nước lỗ rỗng A và B

Trong phần 4.7 đã biết rằng, sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng tạo bởi sự thay đổi ứng suất đẳng hướng hoặc ứng suất đơn trục,

hoặc cả hai, có thể nhận được theo biểu thức tổng quát sau đây (phương trình [4.10]) :

$$\Delta u = B[\Delta\sigma_3 - A(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3)]$$

trong đó A và B được gọi là các hệ số áp lực nước lỗ rỗng. Thiết bị thí nghiệm ba trục là phù hợp lý tưởng cho các kỹ thuật được tạo ra để đo các hệ số áp lực nước lỗ rỗng. Mẫu đất trước tiên được cố kết và duy trì một áp lực lồi lại để cho có một áp lực nước lỗ rỗng ban đầu. Thường thường, áp lực lồi lại chọn mô phỏng theo được các điều kiện tại chỗ.

Khi giai đoạn cố kết đã hoàn thành, tăng áp lực buồng lên ($\Delta\sigma_3$) và không cho thoát nước, ghi chép phản ứng của áp lực nước lỗ rỗng (Δu_0). Hệ số B được tính theo :

$$B = \Delta u_0 / \Delta\sigma_3 \quad [7.14]$$

Để xác định hệ số A, cần tác dụng một số gia riêng của tải trọng dọc trục nhằm tạo độ tăng của độ lệch ứng suất ($\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3$). Sự thay đổi sinh ra của áp lực nước lỗ rỗng Δu_1 được ghi lại và tiếp đó :

$$AB = \bar{A} = \Delta u_1 / (\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) \quad [7.15]$$

Có thể nhận được một hệ số tổng quát tương ứng với sự thay đổi của ứng suất chính lớn nhất :

$$\bar{B} = (\Delta u_0 + \Delta u_1) / \Delta\sigma_1 - B[1 - (1 - A)(1 - \Delta\sigma_3 / \Delta\sigma_1)] \quad [7.16]$$

ở đây B nhận được lúc biến dạng hông không đổi, bằng cách duy trì cùng tỉ số σ_3 / σ_1 , khi σ_1 và σ_3 tăng cùng với nhau.

Ví dụ mẫu 7.16. Dùng máy ba trục, một mẫu đất trước tiên được cố kết với áp lực buồng đẳng hướng là 600 kN/m^2 , áp lực lồi lại duy trì tại 300 kN/m^2 . Rồi, đóng đường thoát nước, tăng áp lực buồng lên tới 720 kN/m^2 làm cho áp lực nước lỗ rỗng tăng tới 415 kN/m^2 . Tiếp đó, giữ áp lực buồng không đổi, tăng tải trọng dọc trục để độ lệch ứng suất tăng 500 kN/m^2 . Số dọc áp lực nước

lỗ rỗng cuối cùng là 562 kN/m^2 . Hãy tính các hệ số áp lực nước lỗ rỗng B , A và $\bar{B}$.

Bài giải

Theo sau độ tăng của ứng suất đẳng hướng $\Delta\sigma_3 = 720 - 600$, sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng $\Delta u_0 = 415 - 300$.

$$\text{Do vậy} \quad B = \frac{\Delta u_0}{\Delta\sigma_3} = \frac{415 - 300}{720 - 600} = \underline{0,958}$$

Tiếp đó, độ tăng của độ lệch ứng suất $(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) = 550$ tạo ra sự thay đổi thêm của áp lực nước lỗ rỗng $\Delta u_1 = 562 - 415$.

Do vậy

$$AB = \frac{\Delta u_1}{\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3} = \frac{562 - 415}{550} = 0,267$$

Vì thế

$$A = \frac{0,267}{0,958} = \underline{0,279}$$

Hệ số tổng quát $\bar{B}$ là tỉ số của sự thay đổi tổng quát áp lực nước lỗ rỗng với sự thay đổi tổng quát của ứng suất chính lớn nhất.

Do vậy

$$\bar{B} = \frac{\Delta u_1}{\Delta\sigma_1} = \frac{\Delta u_0 + \Delta u_1}{(\Delta\sigma_1 - \Delta\sigma_3) + \Delta\sigma_3} = \frac{562 - 300}{550 + 120} = \underline{0,391}$$

Ví dụ mẫu 7.17. Trong thí nghiệm ba trục cố kết – không thoát nước, các số liệu sau đây đã được ghi chép :

Thay đổi chiều dài mẫu (mm)	0	0,75	1,50	3,00	6,00	9,10	10,6
Độ lệch ứng suất (kN/m^2)	0	120	200	280	360	420	460
Áp lực nước lỗ rỗng (kN/m^2)	0	103	153	192	215	232	248

Áp lực buồng là 250kN/m^2 . Chiều dài mẫu ban đầu là 76mm .

Hãy xác định quan hệ giữa hệ số áp lực nước lỗ rỗng và biến dạng trục.

Bài giải

Biến dạng trục $\varepsilon = \Delta l/l_0$.

Với $\Delta l = 0,75\text{mm}$

$$\varepsilon = 0,75/76 = 0,01$$

Hệ số áp lực nước lỗ rỗng $A = \frac{\Delta u_1}{\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3}$ (giả thiết $B = 1,0$).

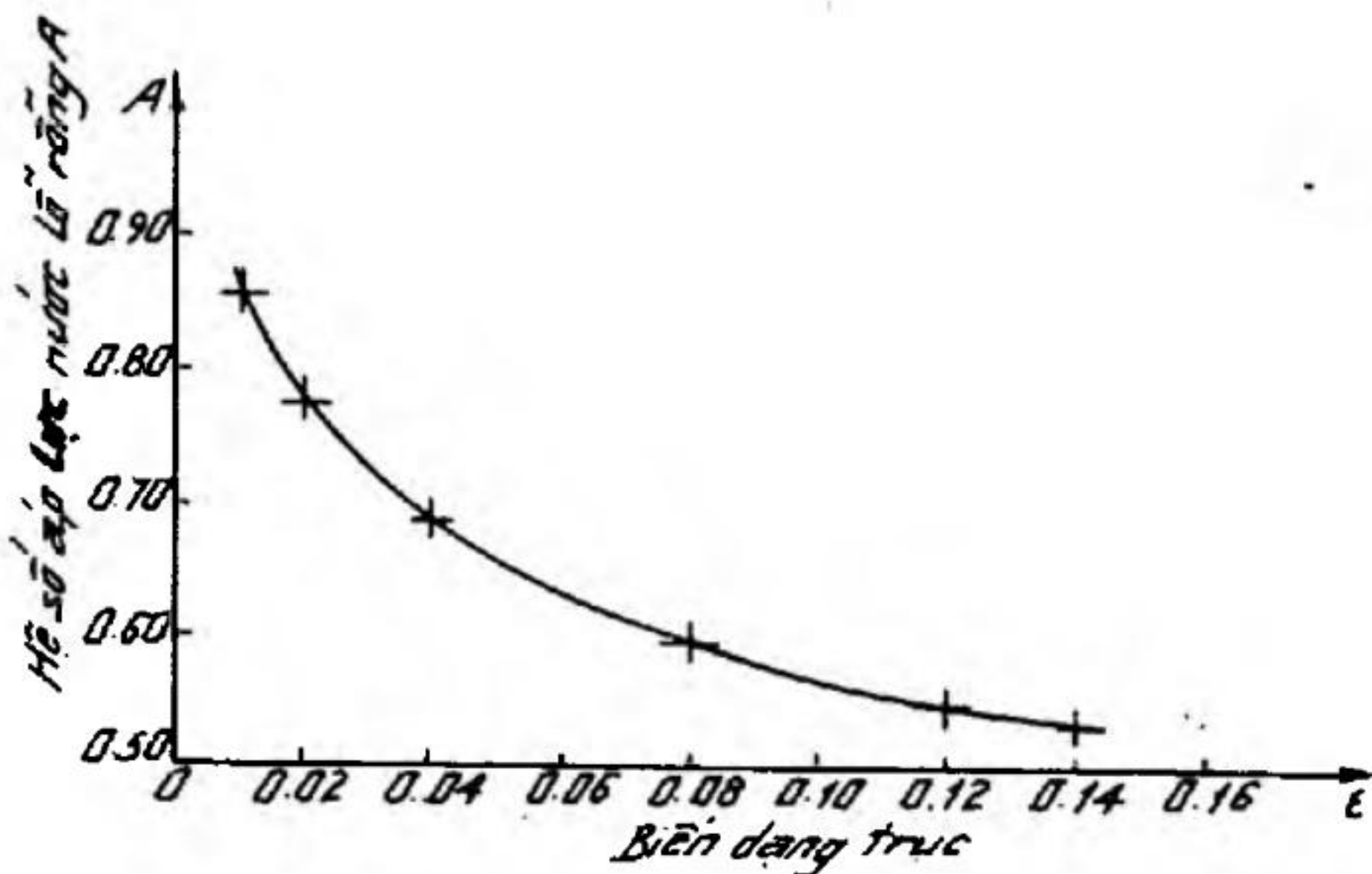
Với $(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3) = 120\text{kN/m}^2$.

$$A = 103/120 = 0,858$$

Nhóm các tính toán hoàn chỉnh được xếp trong bảng sau :

$(\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3)$	0	120	200	280	360	420	460
Biến dạng trục ε	0	0.01	0.02	0.04	0.08	0.12	0.14
Hệ số áp lực nước lỗ rỗng A	0	0.858	0.765	0.686	0.597	0.552	0.539

Hình 7-36 cho thấy đồ thị của $A - \varepsilon$



Hình 7-36

Ví dụ mẫu 7.18. Một loạt thí nghiệm cố kết – không thoát nước cho một đất sét quá bão hòa đã ghi được các số hiệu sau đây :

Áp lực buồng (kN/m^2)	100	200	350	500
Độ lệch ứng suất cực hạn (kN/m^2)	286	374	513	625
Áp lực nước lỗ rỗng cực hạn (kN/m^2)	-43	-12	39	87

Hãy xác định

- các thông số độ bền chống cắt c' và φ' của đất ;
- quan hệ giữa hệ số áp lực nước lỗ rỗng A và hệ số quá cố kết R_c , nếu ứng suất cố kết trước $\sigma'_p = 600 \text{ kN/m}^2$.

Bài giải

- Đồ thị Mohr-Coulomb thấy ở hình 7-37a, từ đó xác định :

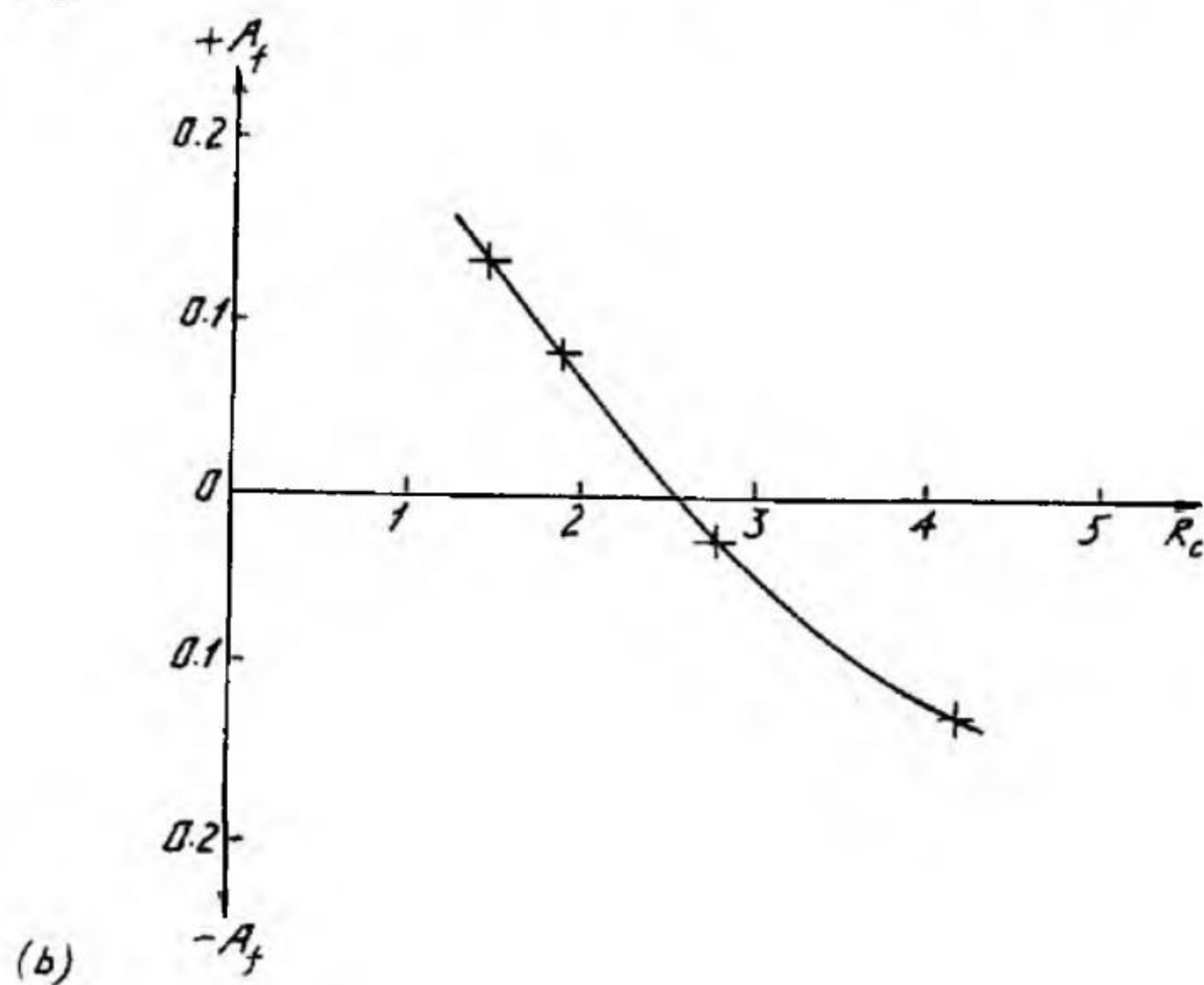
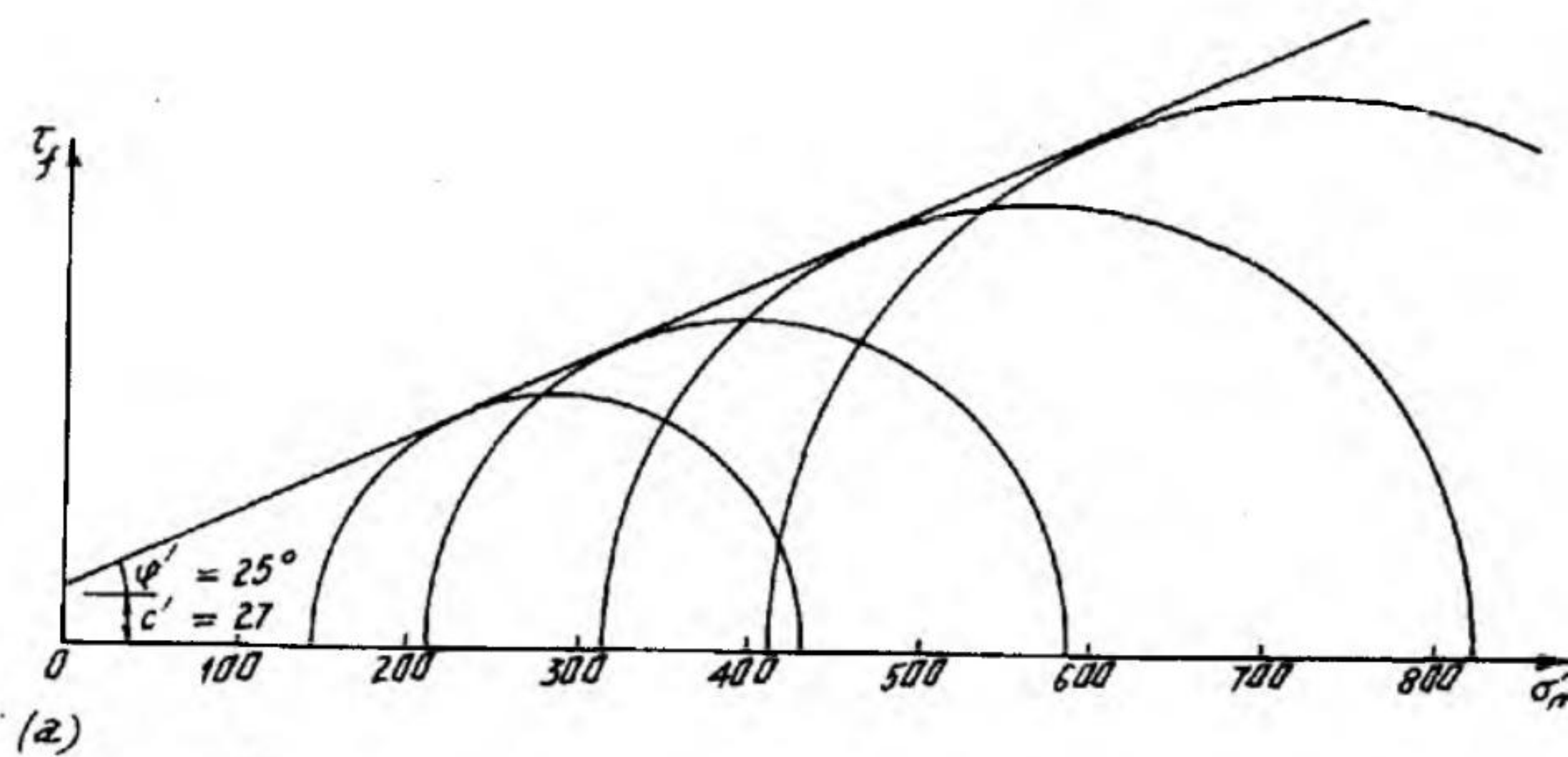
$$c' = \underline{27 \text{ kN/m}^2} \quad \text{và} \quad \varphi' = \underline{25^\circ}$$

- Hệ số quá cố kết $R_c = \sigma'_p / \sigma'_3$

$$\text{và} \quad A_f = \frac{\Delta u_1}{\Delta \sigma_1 - \Delta \sigma_3} \quad [\text{giả thiết } B = 1,0]$$

Các kết quả được xếp trong bảng dưới đây và đồ thị $A_f - R_c$ thấy ở hình 7-37b.

σ'_3	143	212	311	413
R_c	4,2	2,8	1,9	1,45
A_f	-0,15	-0,03	0,08	0,13



Hình 7-37

Ví dụ mẫu 7.19. Bằng thí nghiệm ba trục cố kết - không thoát nước, các thông số độ bền chống cắt tìm được là :

$$c' = 10\text{kN/m}^2 ; \quad \varphi' = 24^\circ$$

Ở điều kiện tại chỗ, giá trị A_f đánh giá là $-0,18$. Trong thí nghiệm nén một trục nở hông mẫu được cắt tại ứng suất nén 162kN/m^2 . Hãy xác định giá trị ban đầu của áp lực nước lỗ rỗng hút ẩm trong đất.

Bài giải

Ứng suất nén cực đại $\sigma_1 - \sigma_3 = 162\text{kN/m}^2$.

$$\text{và } \sigma_3 = 0$$

Do vậy $u_1 = -0,18 \times 162 = -29,16\text{kN/m}^2$

Cho áp lực nước lỗ rỗng ban đầu là u_0

Nên lúc phá hoại

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u_0 + 29,16 = 29,16 - u_0$$

$$\sigma'_1 = -29,16 - u_0 + 162 = 132,8 - u_0$$

Bây giờ từ đồ thị Mohr - Coulomb :

$$\frac{c' \operatorname{ctg} \varphi' + \sigma'_3}{c' \operatorname{ctg} \varphi' + \sigma'_1} = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi'}{2} \right)$$

Rút ra : $c' \operatorname{ctg} \varphi' = 10 \times \operatorname{ctg} 24^\circ = 22,46\text{kN/m}^2$

và $\operatorname{tg}^2(45^\circ - \varphi'/2) = 0,422$

Cho ta $u_0 = \frac{-65 + 51,6}{0,578} = \underline{\underline{-24,0\text{kN/m}^2}}$

7.18. Thí nghiệm đường ứng suất

Thường người ta lấy các kết quả thí nghiệm tiến hành trong điều kiện chảy cuối cùng để xác định các chỉ tiêu thiết kế tổng quát. Diễn biến của sự thay đổi ứng suất trong quá trình thí nghiệm hoặc trong các bài toán thiết kế cần dùng các thông số này đã bị

bỏ qua. Trong khi như vậy là đủ thỏa mãn đa số công tác thiết kế thông thường, thì lại rất cần có các thông số thiết kế đặc biệt cho các bài toán địa kĩ thuật phức tạp hơn, như các biến đổi tỉ mỉ của áp lực nước lỗ rỗng hoặc biến dạng cát và biến dạng thể tích.

Trạng thái ứng suất - biến dạng - thể tích của đất thì phụ thuộc vào diễn biến của các thay đổi ứng suất, có nghĩa là phụ thuộc vào *đường ứng suất* (xem thêm phần 6.5). *Thí nghiệm đường ứng suất* mới là mô phỏng các thay đổi chờ đợi sẽ xảy ra trong bài toán địa kĩ thuật. Phải thiết kế phương pháp thí nghiệm để giám sát và theo dõi được tất cả các biến đổi của ứng suất, biến dạng, áp lực nước lỗ rỗng và thể tích trong suốt quá trình thí nghiệm.

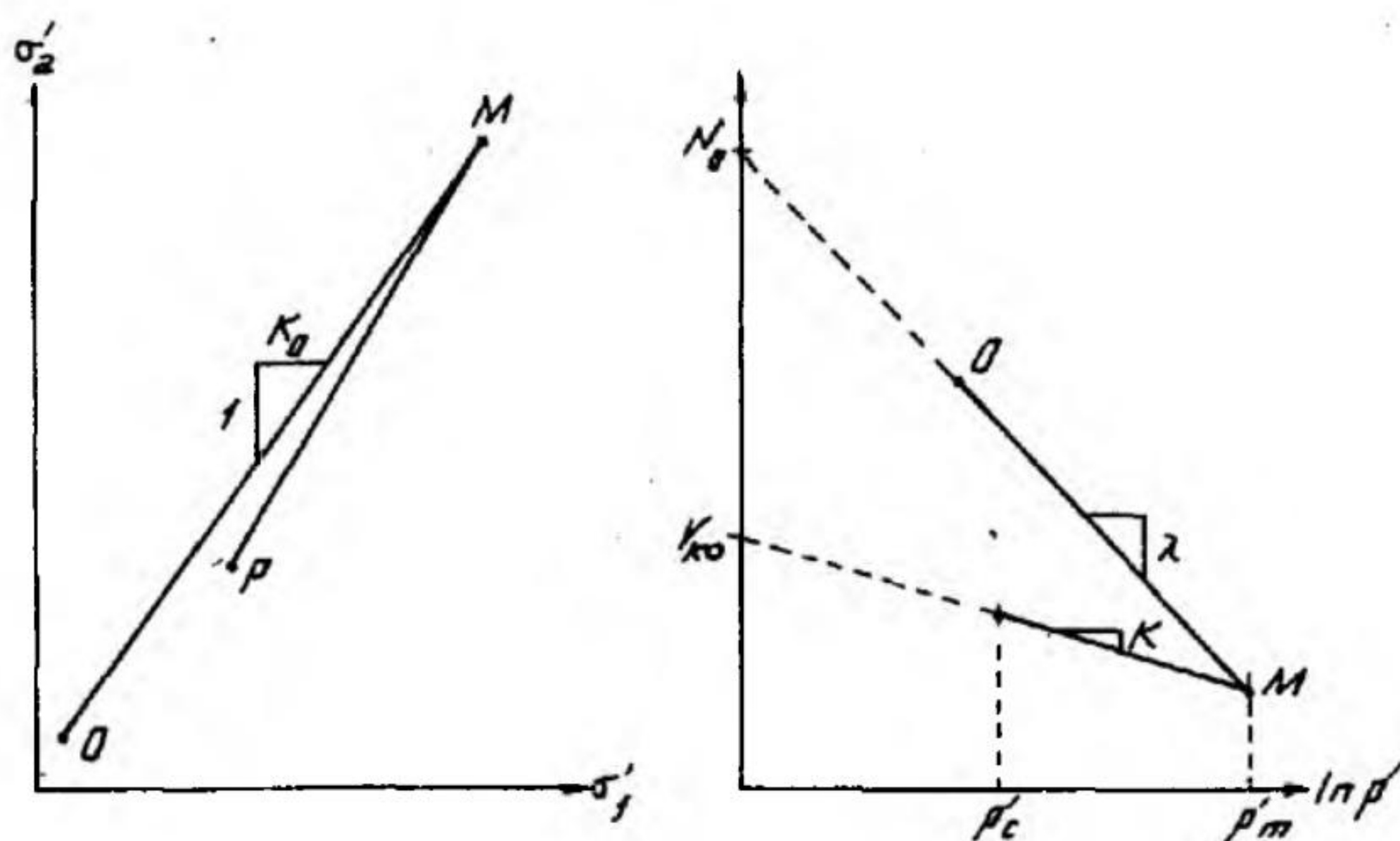
Thiết bị cần cho thí nghiệm đường ứng suất về cơ bản là thiết bị dùng để thí nghiệm cố kết - không thoát nước thông thường cho mẫu đường kính 100mm (Atkinson và Clinton, 1986). Sự thay đổi chủ yếu là ~~phải~~ thêm một buồng đặt tải dọc trục bằng thủy lực để thuận tiện ~~cho~~ việc khống chế ứng suất bằng tải trọng. Điều đó cho phép xác định trạng thái ứng suất - biến dạng lúc biến dạng nhỏ được chính xác hơn khi thực hiện trong thí nghiệm với tốc độ biến dạng không đổi. Dùng hộp đo tải bằng điện để đo tải dọc trục và dùng bộ truyền áp lực để đo áp lực nước lỗ rỗng. Một bộ truyền chuyển vị được dùng để đo biến dạng trục và một thiết bị tương tự được hợp nhất trong dụng cụ để đo thay đổi thể tích.

Dùng máy vi tính để giám sát và ghi lại các biến đổi của thí nghiệm ở các khoảng thời gian liên tục. Máy tính cũng có thể được chương trình để đáp ứng các số liệu được giám sát và dùng các động cơ gears để điều hành van thủy lực cứ điều chỉnh. Vì thế, có thể theo dõi đường ứng suất xác định trước và các thay đổi xảy ra được giám sát và ghi lại liên tục. Tiếp đó, máy tính sẽ xử lí các kết quả và hiện lên màn hình video (VDU) hoặc lấy số liệu ra bằng bản sao.

Một số nghiên cứu (Atkinson và Clinton, 1986 ; Atkinson, Evans và Richardon, 1986 ; và các tác giả khác) cho biết rằng, trong khi góc ma sát và độ cứng của đất hầu như không ảnh hưởng thì các

giá trị trung gian và đặc biệt là áp lực nước lỗ rỗng không thoát nước và tính chất biến dạng phụ thuộc nhiều vào đường ứng suất. Do vậy, sự ổn định không thoát nước, các biến đổi thể tích, biến dạng cát và áp lực nước lỗ rỗng phải được đánh giá với việc dùng thí nghiệm đường ứng suất. Trong phương pháp giới thiệu, mẫu nguyên dạng hay đúc lại (đường kính 100mm) được cố kết đẳng hướng tới ứng suất đôi khi cao hơn ứng suất *tại chỗ* và sau đó cho nở để trở lại tới một giá trị định trước, đó là ứng suất *tại chỗ*. Biện pháp này cũng đã được giới thiệu trong phương pháp SHANSEP* - phương pháp lịch sử ứng suất và tính chất xây dựng được tiêu chuẩn hóa (Ladd và Foott, 1974 ; Coatsworth, 1986).

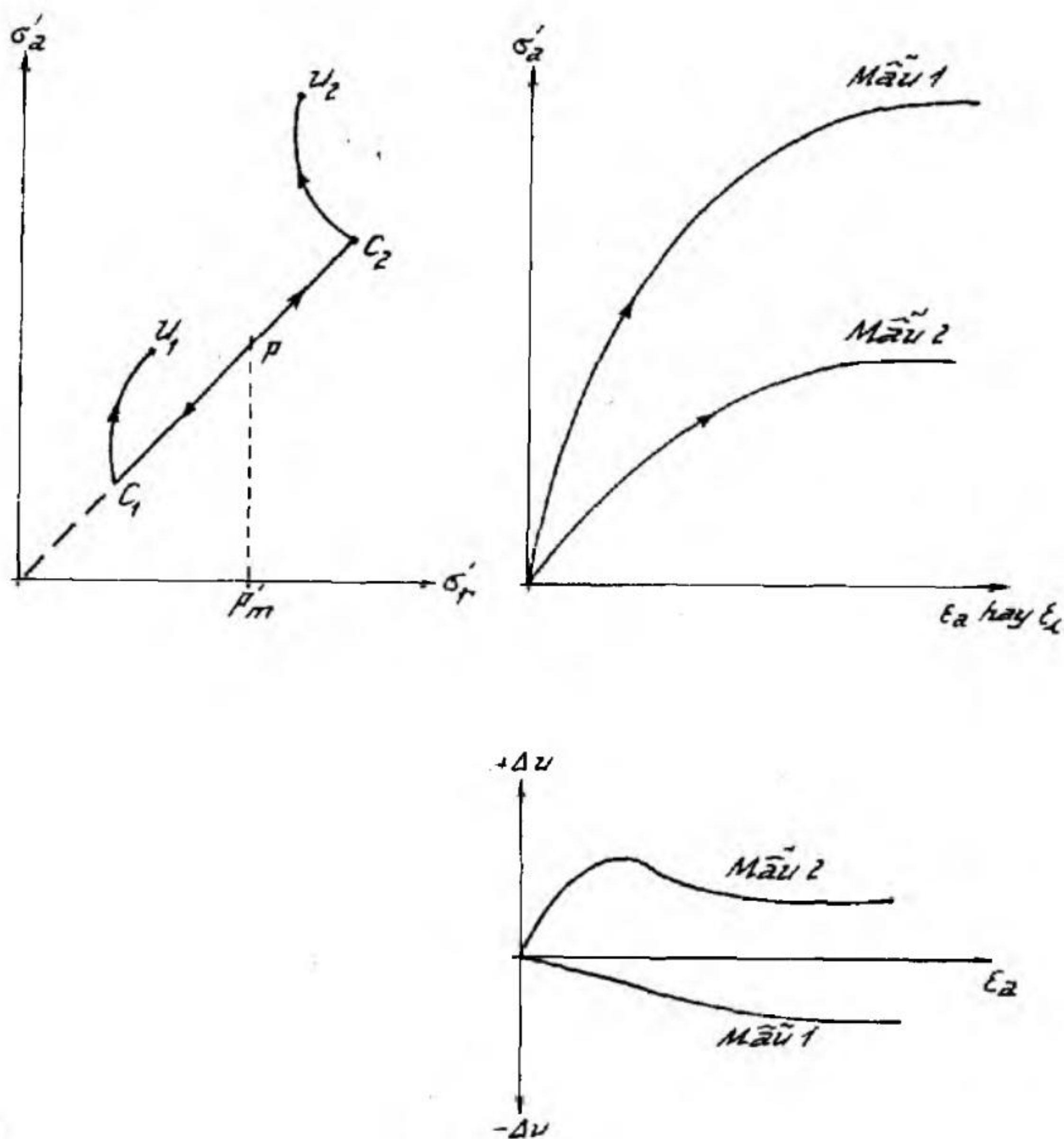
Cố kết thông thường và đường K_0 . Đây là phương pháp đơn giản dùng để xác định các thông số cố kết thông thường cho tải trọng đẳng hướng hoặc tải trọng một trục, cũng như đánh giá K_0 hoặc để chuẩn bị cho những thí nghiệm đường ứng suất sâu hơn. Mẫu đúc lại được cố kết trong một kiểu buồng đường ứng suất tới



Hình 7-38. Đường ứng suất cho nở và cố kết một chiều

SHANSEP - Stress history and normalised engineering properties method

một ứng suất tối đa cao vừa phải, như $p'_m = 700 \text{ kN/m}^2$, và rồi cho nở tới ứng suất cố kết yêu cầu p'_c . Hình 7-38 cho thấy một đồ thị đường ứng suất (OMP) điển hình cho nở và cố kết một chiều, từ đó xác định được λ , k , N_c và K_o .



Hình 7-39. Đường ứng suất cho thí nghiệm ba trục cố kết - không thoát nước

Nén ba trục không thoát nước thông thường. Trong một thể thức nén ba trục thông thường, mẫu được cố kết đẳng hướng trước khi chịu nén ba trục bằng cách tăng ứng suất trục σ_a , trong khi giữ ứng suất hướng tâm σ_r (áp lực của buồng) không đổi. Đường ứng suất cho hai mẫu thấy ở hình 7-39. Mẫu 1 quá cố kết ($p'_o < p'_m$) và do vậy áp lực nước lỗ rỗng giảm khi σ_a tăng. Mẫu 2 cố kết thông thường ($p'_o > p'_m$), vì thế áp lực nước lỗ rỗng tăng.

Đường ứng suất mô phỏng bài toán. Hình 7-40a cho thấy năm kiểu đồ án địa kỹ thuật điển hình. Các điểm *trên quan tâm*, tất cả ban đầu đều ở cùng độ sâu và có lịch sử ứng suất giống nhau, nhưng ở trong các công trình được xem xét (móng, áp lực chủ động áp lực bị động, hố móng và mái dốc), chúng sẽ bị thay đổi theo các đường ứng suất khác nhau (hình 7-40b). Lúc thí nghiệm trong phòng, đường ứng suất chọn cố gắng mô phỏng được đường ứng suất dự tính trong bài toán.

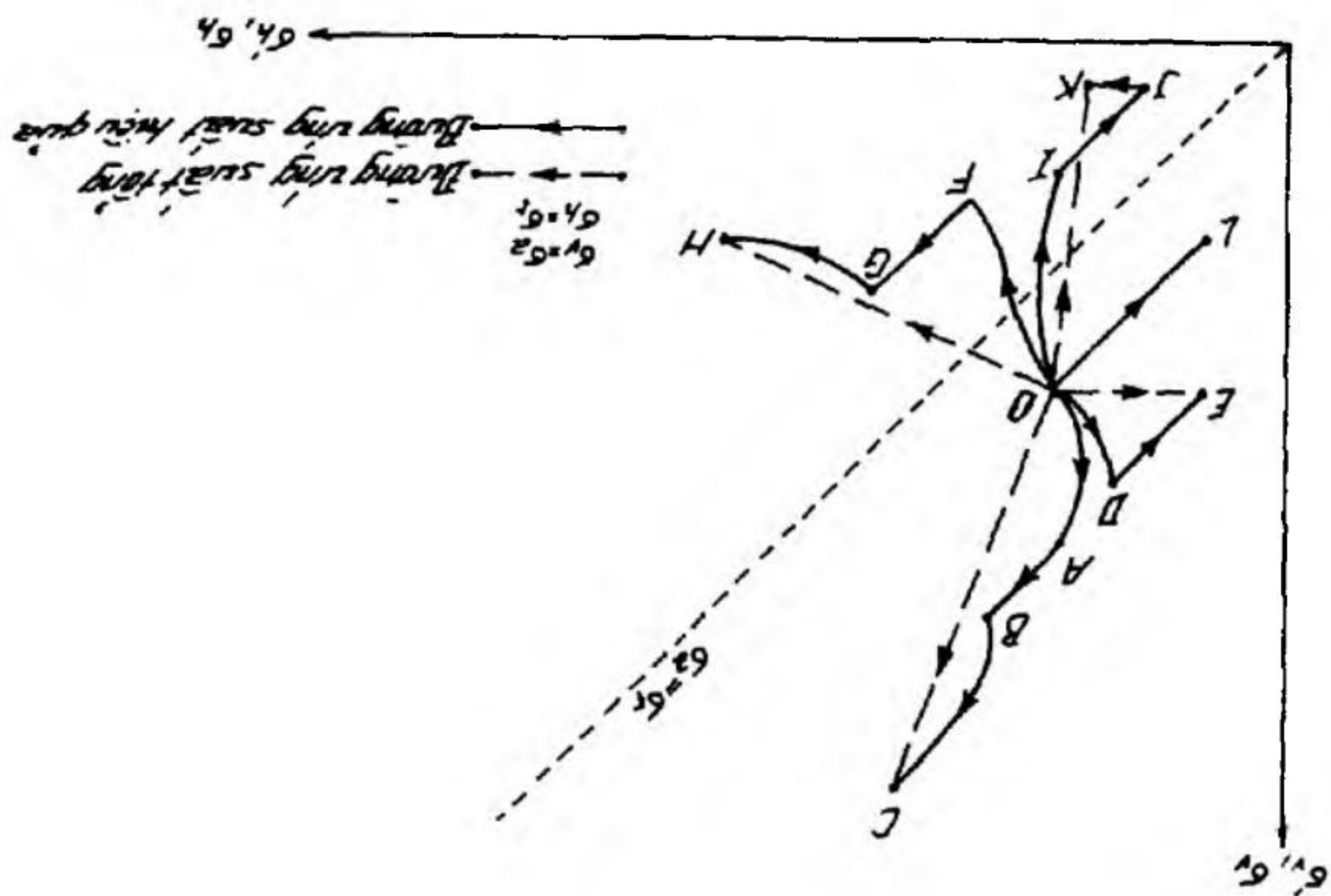
a) Ở dưới móng. Giai đoạn đầu, biểu thị sự xây dựng tương đối nhanh, thì không thoát nước (OA) ; tiếp theo là giai đoạn cố kết (AB), trong đó xảy ra sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng. Cuối cùng, gia tải không thoát nước tiếp tục cho tới phá hoại (BC).

b) Phía chủ động của tường chắn. Hố móng ở phía trước tường làm cho ứng suất tổng nằm ngang giảm, nhưng ứng suất tổng thẳng đứng hầu như không đổi. Trong giai đoạn thứ nhất, áp lực buồng được hạ xuống (OD) với ứng suất trục tổng giữ cố định trong điều kiện không thoát nước. Rồi cho mẫu nở (DE) tại áp lực lui lại ban đầu cho tới khi phá hoại xảy ra.

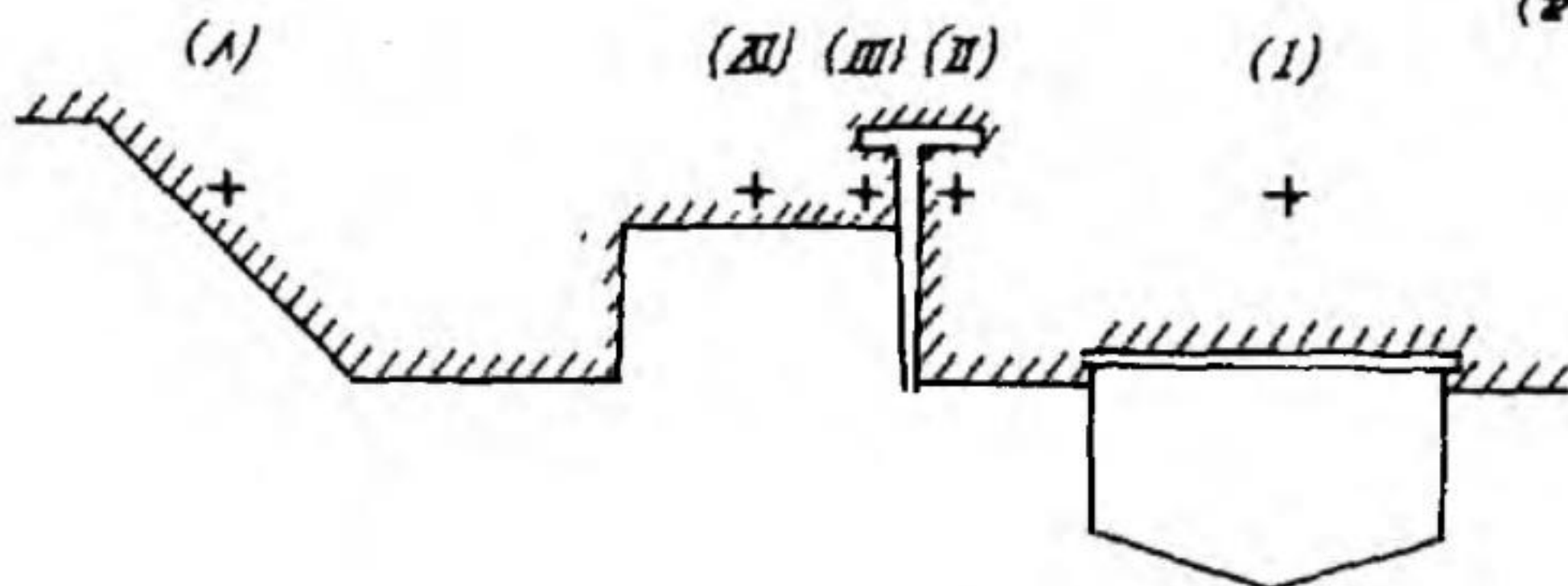
c) Phía bị động của tường chắn. Hố móng đào sẽ làm giảm ứng suất thẳng đứng nhưng chiều hướng di chuyển tường làm tăng ứng suất nằm ngang. Tình trạng này biểu thị bằng đường ứng suất không thoát nước (OF), sau đó áp lực nước lỗ rỗng gia tăng được tiêu tán đi (FG) và rồi sự gia tải cứ tiếp tục cho đến khi sự phá hoại (ở trạng thái kéo) xảy ra.

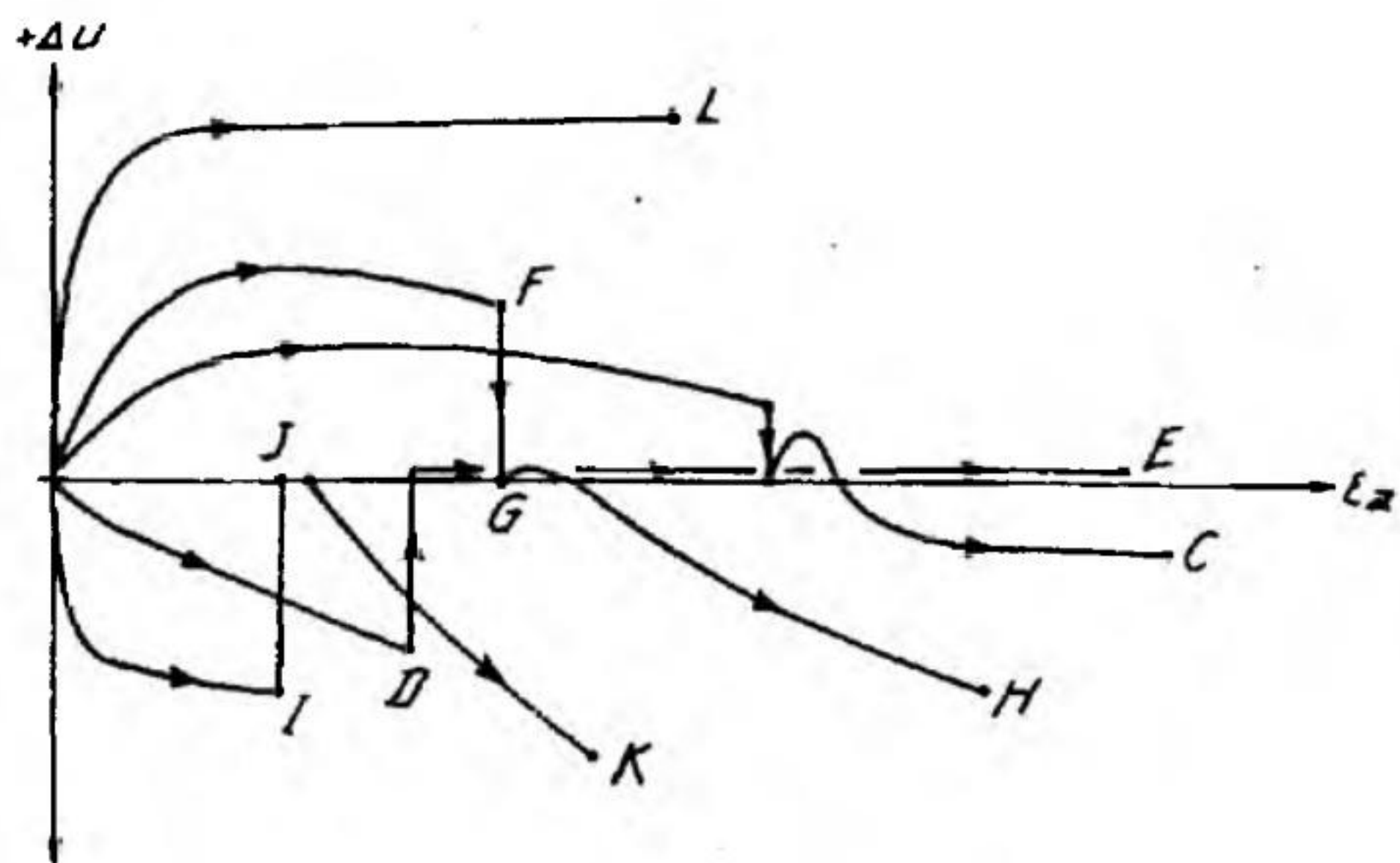
d) Do kết quả của việc đào đất hố móng. Việc đào đất làm giảm ứng suất thẳng đứng tổng và kèm theo, ở một phạm vi ít hơn, sự

(b)

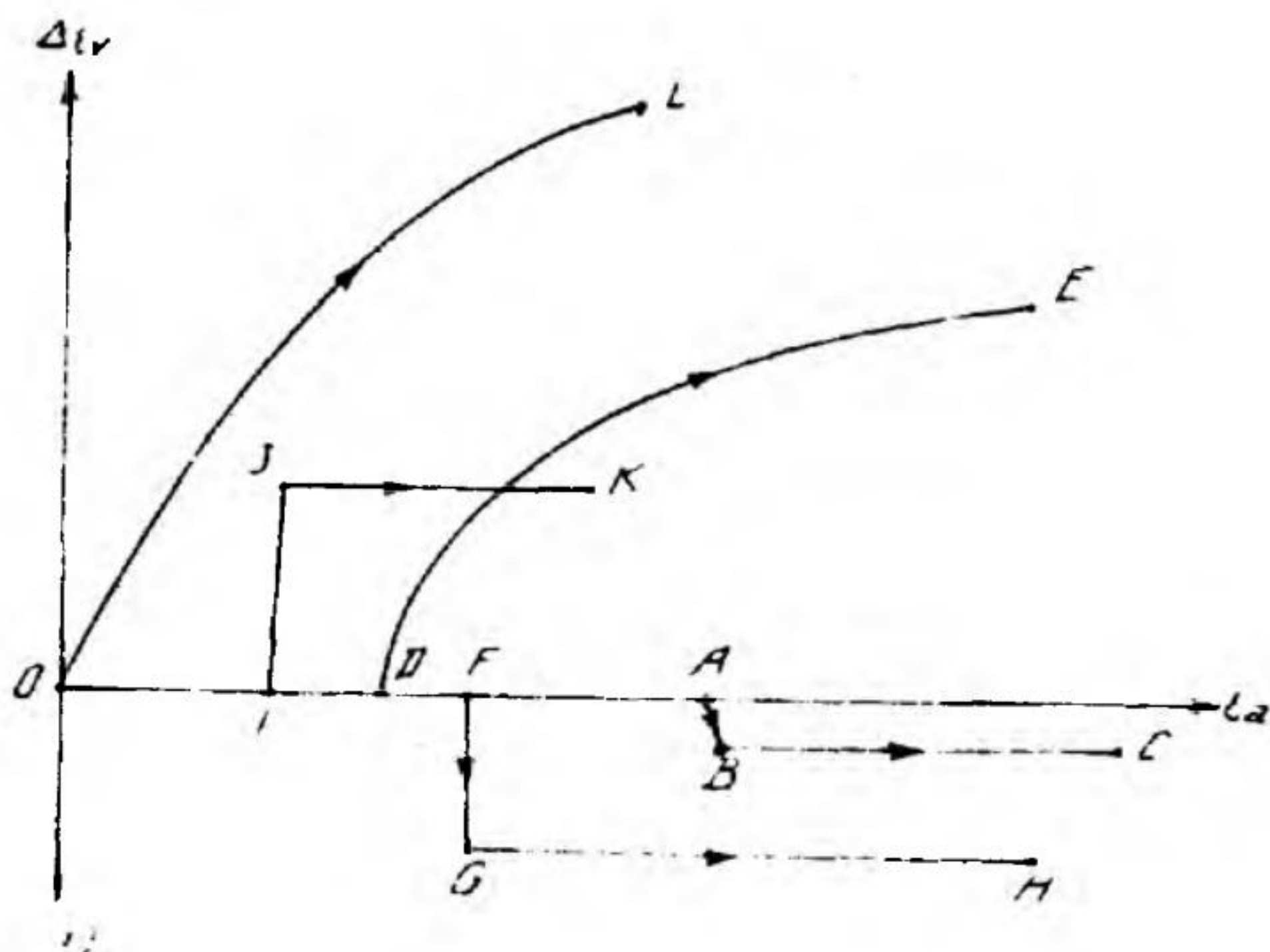


(x)





(c)



Hình 7-40. Thí nghiệm đường ứng suất mô phỏng bài toán (sao lại với sự cho phép của Hội Địa kỹ thuật dựa theo Atkinson và Clinton, 1986)

giảm ứng suất nằm ngang tổng. Theo điều kiện ban đầu, ứng suất trục tổng giảm trong điều kiện không thoát nước (OI), sau đó cho mẫu nở (IJ). Cuối cùng, đường ứng suất là JK và mặc dù có thể không đạt tới phá hoại, các thay đổi áp lực nước lỗ rỗng và biến dạng vẫn được quan tâm.

e) Thay đổi áp lực nước lỗ rỗng ở mái dốc. Phá hoại mái dốc thường do áp lực nước lỗ rỗng tăng, trong khi ứng suất nằm ngang và thẳng đứng tổng vẫn là hằng số. Trong quy trình thí nghiệm, do vậy giữ σ_a và σ_r không đổi trong khi đó áp lực đã lui lại tăng chậm. Đường ứng suất hiệu quả là đường OL ; không có đường ứng suất tổng.

Thí nghiệm đường ứng suất chứng minh là trạng thái ứng suất - biến dạng của đất khi kéo (đường c và d) khác xa trạng thái khi nén (đường a và b). Tuy nhiên điều có ý nghĩa lớn hơn là các khác nhau trong thay đổi áp lực nước lỗ rỗng và độ cứng đối với biến dạng. Bảng thí nghiệm đường ứng suất cho mẫu chế bị của đất sét London, Atkinson, Evans và Richardson (1986) đã làm rõ các sự khác nhau này (bảng 7-2). Năm mẫu chuẩn bị từ một dung dịch sét lỏng và được cố kết một chiều tới $p'_m = 600\text{kN/m}^2$ trước khi cho nở tới $p'_c = 200\text{kN/m}^2$.

BẢNG 7-2. TÓM TẮT CÁC THÍ NGHIỆM ĐƯỜNG ỨNG SUẤT CHO ĐẤT SÉT LONDON (sao lại với sự cho phép của Hội Địa kỹ thuật dựa theo Atkinson, Evans và Richardson 1986)

Thí nghiệm	E_u^* (MN/m ²)	p'_{c0} (kN/m ²)	v_o	c_u (kN/m ²)	E_u $v p'_{c0}$	$\frac{E_u}{c_u}$	Tài trọng
1	5.2	50	1.80	63	60	135	Ba trục u/d
2	17.5	200	1.73	133	50	130	σ_a tăng
3	13.6	400	1.70	171	20	80	σ_r không đổi
4	15.3	200	1.73	113	45	135	σ_a không đổi
5	6	200	1.72	120	20	50	σ_r giảm σ_a giảm σ_r không đổi

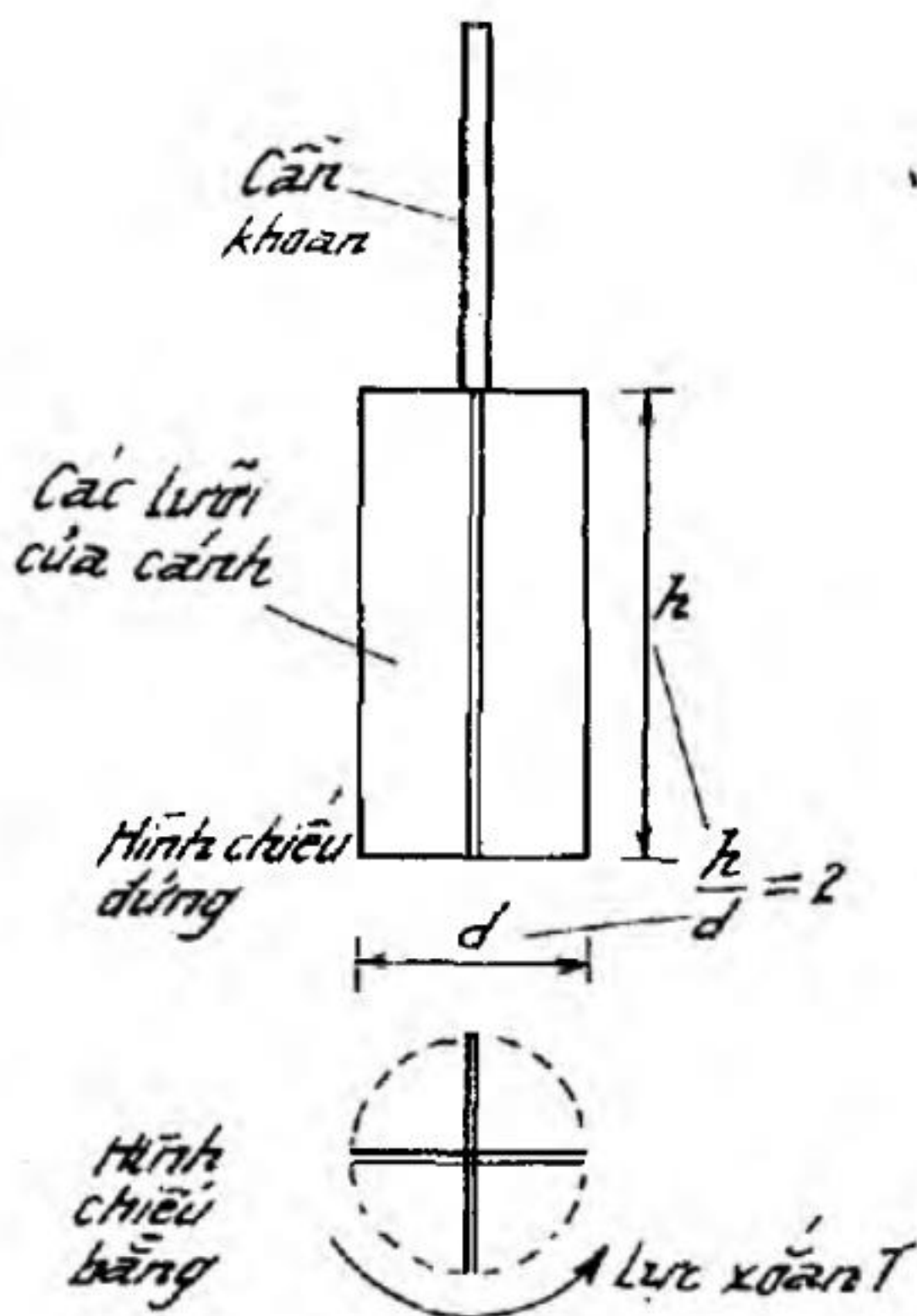
* tại $\epsilon_a = 1\%$

7.19. Thí nghiệm cắt cánh

Trong đất bụi và đất sét mềm, đặc biệt loại có độ nhạy cao, ảnh hưởng của sự xáo động khi lấy mẫu có tác động lớn đến độ bền chống cắt đo được sau đó ở trong phòng thí nghiệm. Thí nghiệm độ bền chống cắt tại chỗ được thực hiện bằng thiết bị cắt cánh, như thế sẽ tránh được việc cần thiết là phải lấy mẫu nguyên dạng. Chi tiết về thiết bị và quy trình được trình bày trong phần 12.5.

Thí nghiệm cắt cánh thích hợp để xác định độ bền chống cắt không thoát nước của đất sét bão hòa không nứt nẻ và đất bụi bão hòa. Nó không đủ tin cậy cho đất nứt nẻ hoặc các cấu trúc phân phối.

Về cơ bản, cánh gồm có bốn lưỡi chữ nhật tạo nên hình chữ thập tại một đầu cán bằng thép (hình 7-41). Sau khi cánh được ấn vào trong đất, tác dụng một lực xoắn ở đầu cán trên mặt đất để xoay cánh. Ban đầu, cánh xoay $6^\circ - 12^\circ$ cho mỗi phút để xác định độ bền chống cắt chưa phá hoại, rồi xoay nhanh để đo độ bền được đúc lại. Mặt cắt tạo ra bao gồm chu vi và đáy của một hình trụ. Độ bền chống cắt không thoát nước xác định được bằng cách cân bằng lực xoắn tác dụng với mômen kháng cắt.



Hình 7-41. Dụng cụ cắt cánh

$$T = c_u \left(\pi h d \times \frac{d}{2} + 2\pi \frac{d^2}{4} \times \frac{d}{3} \right)$$

Vì thế

$$c_u = \frac{T}{\pi \left(\frac{1}{2} h d^2 + \frac{1}{6} d^3 \right)} = \frac{T}{\frac{1}{2} \pi d^2 \left(h + \frac{1}{3} d \right)} \quad [7.17]$$

Ví dụ mẫu 7.20. Thí nghiệm tại chỗ cho một đất sét yếu bằng cát cánh có đường kính 75mm, chiều dài 150mm. Lực xoắn trung bình ghi được sau khi xoay chậm và tiếp đó xoay nhanh tương ứng là 64 và 26Nm. Hãy xác định độ bền chống cắt không thoát nước của đất sét và độ nhạy của nó.

Bài giải

Đặc trưng kích thước của cánh là :

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \pi d^2 \left(h + \frac{1}{3} d \right) &= \frac{1}{2} \pi \times 0,075^2 \left(0,150 + \frac{1}{3} \times 0,075 \right) \\ &= 1,546 \times 10^{-3} \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Độ bền không thoát nước của đất chưa phá hoại :

$$c_u = \frac{64 \times 10^{-3}}{1,546 \times 10^{-3}} = \underline{41,4 \text{ kN/m}^2}$$

Độ bền không thoát nước của đất chế bị :

$$c_{uR} = \frac{16 \times 10^{-3}}{1,546 \times 10^{-3}} = \underline{10,3 \text{ kN/m}^2}$$

Độ nhạy $S_l = \frac{41,4}{10,3} = \underline{4,0}$

7.20. Đánh giá các thông số độ bền chống cắt từ các thí nghiệm về chỉ số

Thực tế phổ biến hiện nay là dùng các thí nghiệm về chỉ số tiêu chuẩn để phân loại và mô tả đất, ví dụ như giới hạn chảy và giới hạn dẻo. Chỉ số dẻo PI biểu thị phạm vi độ sệt dẻo của đất và chỉ số chảy LI cho số đo của độ sệt tương đối tại chỗ.

Phương trình [2.6] : $PI = LL - PL$

$$\text{Phương trình [2.7]} : LI = \frac{m - P L}{P I}$$

Sự đánh giá sơ bộ độ bền và các thông số độ cứng là rất hữu ích khi thiết kế sơ bộ và nghiên cứu tính khả thi ; chúng cũng làm cho chương trình thí nghiệm chi tiết lập ra có tính hiện thực. Một số những tương quan định lượng giữa PI và độ nén (C_c hoặc λ), giữa LI và độ bền chống cát không thoát nước đã được đề nghị. Tuy toàn bộ các tương quan như thế phải được xử lý với sự thận trọng và một số khá nhạy cảm với các sai số trong các số liệu đưa vào, nhưng ít nhất, chúng vẫn có thể dùng để thiết lập một hình dung sơ bộ về độ bền và độ cứng tự nhiên của đất. Các ví dụ sau đây không phải là ngoại lệ, cũng không yêu cầu độ tin cậy chung cao ; tuy nhiên chúng có ưu điểm là đơn giản. Khi dùng nó với một trực giác tốt và với kỹ năng kỹ thuật do kinh nghiệm, thì đánh giá này sẽ cung cấp được các chứng cứ hữu ích cho mục đích thiết kế sơ bộ.

Đánh giá độ cứng. Sau khi khảo sát một số đất ở Anh, Skempton và Northey (1953) phát hiện rằng độ bền chống cát tại giới hạn dẻo bằng 100 lần độ bền chống cát tại giới hạn chảy :

$$q'_{PL} = 100q'_{LL}$$

và bởi vì $q' = Mp'$ nên :

$$p'_{PL} = 100p'_{LL}$$

chúng là các điểm trên đường trạng thái giới hạn có các tọa độ thể tích riêng là :

$$v_{PL} = \Gamma - \lambda \ln p'_{PL}$$

$$v_{LL} = \Gamma - \lambda \ln p'_{LL}$$

Bây giờ xét cho đất bão hòa, $v = 1 + mG_s$.

Vì thế :

$$m_{LL} - m_{PL} = \frac{\lambda \ln(p'_{PL}/p'_{LL})}{G_s} = \frac{\lambda \ln 100}{G_s} = \frac{4,6 \lambda}{G_s}$$

Nhưng $m_{LL} - m_{PL} = PI/100$.

Bởi vậy, có thể đánh giá độ dốc của đường trạng thái giới hạn theo :

$$\lambda = \frac{P I \cdot G_s}{461} \quad [7.18]$$

Tương tự, chỉ số nén được đánh giá theo :

$$C_c = \lambda \ln 10 = \frac{P I \cdot G_s}{200} \quad [7.19]$$

ở đây PI theo phần trăm đơn vị.

BÀI TẬP

1. a) Phác thảo một đồ thị ứng suất - biến dạng để thấy được ý nghĩa của độ bền đỉnh, độ bền giới hạn và độ bền dư.

b) Thuật ngữ trạng thái giới hạn có ý nghĩa gì ? Khi đất rời rạc hơn và chặt hơn trạng thái giới hạn có đặc trưng khác nhau khi cắt như thế nào ?

c) Giải nghĩa thuật ngữ góc nghỉ.

2. Trong thí nghiệm bằng hộp cát cho các mẫu của một loại đất cát đã ghi được các số đọc cho ở dưới đây. Mặt cắt đo được 60 X 60mm. Hãy xác định góc ma sát của cát khi :

a) ở trạng thái rời rạc ;

b) ở trạng thái chặt do đầm

Tải trọng pháp tuyến (N)	Tải trọng cắt (N)	
	Đỉnh	Giới hạn
110	97	61
230	198	128
350	301	198

3. Trong thí nghiệm bằng hai hộp cát cho các mẫu của cùng loại đất cát đã có các số đọc ở dưới đây. Trong cả hai trường hợp ứng suất pháp không đổi bằng 160 kN/m². Trong thí nghiệm 1, cát ở trạng thái rời rạc ; trong thí nghiệm 2, ở trạng thái chặt. Hãy vẽ đồ thị ứng suất cắt - chuyển vị cho hai thí nghiệm và xác định góc ma sát đỉnh và cực hạn.

Thí nghiệm 1

Chuyển vị ngang (10^{-2} mm)	0	50	100	150	250	350	450	550
Chuyển vị đứng (10^{-2} mm)	0	-11	-17	-21	-26	-28	-29	-29
Ứng suất cắt (kN/m^2)	0	34	53	64	78	86	89	90

Thí nghiệm 2

Chuyển vị ngang (10^{-2} mm)	0	50	100	150	250	350	450	550
Chuyển vị đứng (10^{-2} mm)	0	-5	-4	1	29	47	53	56
Ứng suất cắt (kN/m^2)	0	59	90	110	121	111	97	93

4. Một đất sét có kết dính thông thường đã biết các thông số sau :

$$M = 1.17 ; \lambda = 0.18 ; N_o = 2.82 ; \Gamma = 2.73 ; G_s = 2.72.$$

Trong thí nghiệm ba trục, hai mẫu đất được cố kết đẳng hướng với áp lực buồng là 300 kN/m^2 . Trong trường hợp của mẫu A, tải trọng dọc trục tăng lên trong điều kiện thoát nước, trong khi mẫu B là không thoát nước.

a) Tính ứng suất pháp trung bình cực hạn, độ lệch ứng suất, hệ số rỗng và độ ẩm mong đợi lúc kết thúc thí nghiệm thoát nước.

b) Tính ứng suất pháp trung bình cực hạn, độ lệch ứng suất và áp lực nước lỗ rỗng mong đợi lúc kết thúc thí nghiệm không thoát nước.

c) Tính giá trị tương đương của góc ma sát giới hạn φ'_c .

5. a) Dùng đồ thị và biểu đồ phác thảo, giải thích lý thuyết Mohr-Coulomb khi dùng để xác định độ bền chống cắt của đất.

b) Phác thảo các đường bao Mohr-Coulomb điển hình cho các thí nghiệm độ bền chống cắt sau : không thoát nước, cố kết - không thoát nước, thoát nước.

c) Cho một ví dụ về bài toán địa kỹ thuật có điều kiện tải trọng giống như ở phần b).

6. Các thông số độ bền chống cắt của đất đã biết là $c' = 18 \text{ kN/m}^2$ và $\varphi' = 30^\circ$, hãy tính độ bền chống cắt bên trong khối đất bão hòa trên một mặt có ứng suất pháp tổng là 278 kN/m^2 và áp lực nước lỗ rỗng là 94 kN/m^2 .

7. Thí nghiệm ba trục cố kết – không thoát nước cho một đất sét đã ghi được các kết quả sau đây :

Áp lực buồng (kN/m^2)	150	300	500
Độ lệch ứng suất cực hạn (kN/m^2)	192	385	638
Áp lực nước lỗ rỗng cực hạn (kN/m^2)	70	139	234

a) Xác định các thông số độ bền chống cắt sau đây : c' , φ' , c_{cu} và φ_{cu} .

b) Các kết quả thí nghiệm cho biết đất sét cố kết thông thường hay quá cố kết ?

8. Một thí nghiệm ba trục cố kết – không thoát nước cho đất sét quá cố kết có được các kết quả sau

Áp lực buồng (kN/m^2)	100	300	500
Độ lệch ứng suất cực hạn (kN/m^2)	208	410	590
Áp lực nước lỗ rỗng cực hạn (kN/m^2)	-18	68	168

Xác định các thông số độ bền chống cắt c' , φ' , c_{cu} và φ_{cu} .

9. Một loạt ba thí nghiệm nén ba trục được tiến hành trên các mẫu của một đất sét bão hòa, áp lực buồng ở mỗi thí nghiệm là không đổi bằng 200 kN/m^2 . Các thông số độ bền chống cắt tìm được là : $c' = 0$ và $\varphi' = 24^\circ$.

a) Trong thí nghiệm không thoát nước, áp lực nước lỗ rỗng lúc phá hoại là 125 kN/m^2 . Xác định độ lệch ứng suất cực hạn.

b) Trong thí nghiệm cố kết – không thoát nước, độ lệch ứng suất tới đa là 160 kN/m^2 . Xác định áp lực nước lỗ rỗng cực hạn.

c) Xác định độ lệch ứng suất cực hạn trong thí nghiệm thoát nước, nếu áp lực lui lại là 80 kN/m^2 và giữ không thay đổi.

10. Một đất sét quá cố kết đã xác định được các thông số sau :

$$M = 0.96 ; \quad \Gamma = 3.15 ; \quad H = 0.66 ; \quad \lambda = 0.18 ;$$

$$K = 0.049 ; \quad v_{k0} = 2.30 ; \quad \gamma = 18.4 \text{ kN/m}^3$$

a) Tính độ bền không thoát nước của đất tại độ sâu 1m, 2m và 5m, giả thiết rằng mực nước ngầm ở tại mặt đất.

b) Tính ứng suất lịch sử trước cố kết của đất.

11. Một đất dính đã xác định được các thông số độ bền chống cắt không thoát nước là $c_u = 35 \text{ kN/m}^2$ và $\varphi_u = 17^\circ$.

a) Trong thí nghiệm ba trục không thoát nước, mẫu đất bị phá hoại khi ứng suất trục tổng là 360 kN/m^2 . Xác định áp lực buồng đã dùng.

b) Xác định trị số độ bền chống cắt không thoát nước trong thí nghiệm nén một trục có nở hông.

12. a) Viết lại biểu thức tổng quát cho sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng đối với các thay đổi ứng suất đẳng hướng và độ lệch ứng suất. Giải thích vì sao với đất bão hòa $B = 1$.

b) Tại một điểm đã cho trong một khối đất sét bão hòa, ứng suất thẳng đứng tổng là 240 kN/m^2 , ứng suất nằm ngang tổng là 160 kN/m^2 và áp lực lỗ rỗng là 60 kN/m^2 . Giả thiết rằng hệ số $A = 0.75$, xác định áp lực nước lỗ rỗng trong một mẫu đất sét sau khi lấy lên khỏi chỗ, có nghĩa là khi ứng suất tổng giảm xuống không.

c) Nếu một mẫu đất được cắt từ mẫu lấy lên, chịu nén ba trục không thoát nước tại áp lực buồng là 150 kN/m^2 và phá hoại lúc độ lệch ứng suất là 320 kN/m^2 , xác định áp lực nước lỗ rỗng và ứng suất chính hiệu quả lúc phá hoại.

13. Một đất bụi chứa sét và than bùn đã biết các thông số sau : $c' = 18 \text{ kN/m}^2$; $\varphi' = 20^\circ$; $A = 0.4$; $B = 0.8$.

Xác định áp lực nước lỗ rỗng lúc bắt đầu và kết thúc của từng giai đoạn liên tiếp nhau sau đây trong một thí nghiệm ba trục :

a) cố kết đẳng hướng tại áp lực buồng là 200 kN/m^2 ;

b) tải trọng dọc trục không thoát nước tại áp lực buồng lên tới 400 kN/m^2 .

14. Trong một thí nghiệm ba trục không thoát nước cho một đất sét tại áp lực buồng là 400 kN/m^2 đã ghi được các kết quả dưới đây. Lúc áp lực buồng bằng không, áp lực nước lỗ rỗng cũng bằng không.

Biến dạng trục (%)	0	2	4	6	8	10	12	14
Độ lệch ứng suất (kN/m^2)	0	258	440	588	681	729	713	662
Áp lực nước lỗ rỗng (kN/m^2)	368	557	672	665	578	529	495	482

a) Vẽ các đường cong của độ lệch ứng suất và áp lực nước lỗ rỗng đối với biến dạng trục và suy ra giá trị lớn nhất của $(\sigma_1 - \sigma_3)$ và áp lực nước lỗ rỗng tương ứng u_f .

b) Tính giá trị của hệ số áp lực nước lỗ rỗng B .

c) Vẽ đường cong của hệ số áp lực nước lỗ rỗng A đối với biến dạng trục và dùng nó để xác định giá trị A_f .

15. Trước khi tiến hành đo biến dạng trong một máy ba trục, một mẫu đất được cố kết tại ứng suất pháp trung bình là 150 kN/m^2 và độ lệch ứng suất là 75 kN/m^2 . Sau khi cố kết, áp lực nước lỗ rỗng bằng không và thể tích riêng là 2.09. Đất được biết có các tính chất sau :

$$M = 0.96 ; \quad H = 0.66 ; \quad \lambda = 0.18 ; \quad k = 0.046 ;$$

$$\Gamma = 3.12 ; \quad N = 3.21.$$

a) Xác định trạng thái này nằm trên hay dưới mặt Hvorslev và do vậy sự tăng thêm ứng suất sẽ có tạo ra biến dạng đàn hồi hay không.

b) Tính biến dạng thể tích xảy ra khi trong điều kiện thoát nước, ứng suất hướng trục ngang tăng lên 5 kN/m^2 và cùng lúc đó, ứng suất trục thẳng đứng tăng lên 15 kN/m^2 .

c) Tính độ tăng áp lực nước lỗ rỗng sinh ra do độ tăng ứng suất tương tự trong điều kiện không thoát nước.

ĐÁP SỐ CÁC BÀI TẬP

Chương 2

1. 0.042 mm, 2.45, 13 ; SM
2. 0.3, 20, 1.25 ; GW
3. 0.005, 280, 0.128 ; GM/SM
4. A : $D_{60} = 0.42\text{mm}$, $D_{30} = 0.32\text{mm}$
 B : $D_{60} = 1.75\text{mm}$, $D_{30} = 0.35\text{mm}$
 C : $D_{60} = 1.50\text{mm}$, $D_{30} = 0.40\text{mm}$
5. a) 54%
 b) 21, MH
6. a) 46%
 b) 24, CL
7. E : CL, 0.80, 31%
 F : MH, 4.8, 36%
 G : CL-MI, 0.64, -0.33%
 H : CH, 1.56, 78%

Chương 3

1. a) 2.029 Mg/m^3 , 1.796 Mg/m^3
 b) 0.504, 0.335
 c) 70%
 d) 10.2%
3. a) 0.724
 b) 1.913 Mg/m^3 , 1.560 Mg/m^3
 c) 22.6%
 d) 1.980 Mg/m^3

4. 2.020 Mg/m^3 , 1.663 Mg/m^3 ,
 21.4%, 0.630, 3.1%
5. 2.009 Mg/m^3 , 24.8%
6. 1.872 Mg/m^3 , 0.920, 1.032
7. 316800 l/m^3
8. a) 1.818 Mg/m^3 , 73.2%
 b) 2.066 Mg/m^3 , 0.594
9. a) 0.613
 b) 16.36 kN/m^3
 c) 20.09 kN/m^3
 d) 19.14 kN/m^3
10. a) 0.504, 17.48 kN/m^3
 b) 1892g, 303ml
11. 19.2 kN/m^3 , 16.7 kN/m^3
12. a) 1.911 Mg/m^3 , 13.3%
 b) 3.8%
13. a) 1.867 Mg/m^3 , 14.1%
 b) 4.5%, 0.446, 85.4%
 c) 1.76 Mg/m^3

Chương 4

2. 0.6m
3. 17.7 kN/m^2
4. $\sigma = \sigma' + u$
5. 0.9983
6. 26.4%, sẽ trương nở

8. a) tại $z = 6\text{m}$:

$$\sigma_z' = 67.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 126.0 \text{ kN/m}^2$$

tại $z = 11\text{m}$:

$$\sigma_z' = 113.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 221.0 \text{ kN/m}^2$$

b) tại $z = 6\text{m}$:

$$\sigma_z' = 126.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 126.0 \text{ kN/m}^2$$

tại $z = 11\text{m}$:

$$\sigma_z' = 172.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 221.0 \text{ kN/m}^2$$

9. a) tại $z = 3\text{m}$:

$$\sigma_z' = 24.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 54.0 \text{ kN/m}^2$$

tại $z = 5\text{m}$:

$$\sigma_z' = 45.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 94.0 \text{ kN/m}^2$$

b) tại $z = 0\text{m}$:

$$\sigma_z' = 55.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 55.0 \text{ kN/m}^2$$

tại $z = 3\text{m}$:

$$\sigma_z' = 79.6 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 109.0 \text{ m}^2$$

tại $z = 5\text{m}$:

$$\sigma_z' = 100.0 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_z = 149.0 \text{ kN/m}^2$$

10. $\sigma_{AA}' = 687H - 9.75$; 1.42m

11. a) 73.0 kN/m^2 , 162.0 kN/m^2

b) 8.3m

c) 11.0m

Chương 5

1. 1.06

2. $1.72 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

3. $0.633 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

4. $1.04 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

5. $3.7 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

6. $0.49 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

7. $1.36 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

8. $0.25 \times 10^{-3} \text{ m/s}$

9. $2.49 \times 10^{-3} \text{ m/s}$.

$7.31 \times 10^{-7} \text{ m/s}$

10. 14.7 kN/m^2 , 5.7 kN/m^2 .

-11.76 kN/m^2 , 32.16 kN/m^2

11. $0.23 \text{ m}^3/\text{giờ}$ (mỗi mét)

12. $0.89 \text{ m}^3/\text{giờ}$ (mỗi mét)

13. a) $12.0 \text{ m}^3/\text{giờ}$ (mỗi mét)

b) 1.11

14. a) $0.044 \text{ m}^3/\text{giờ}$ (mỗi mét)

b) tại các khoảng cách 4m
từ màn cử :

24, 23, 18, 12 và 0 kN/m^2

15. a) $0.10 \text{ m}^3/\text{giờ}$ (mỗi mét)

b) $0.077 \text{ m}^3/\text{giờ}$ (mỗi mét)

$0.077 \text{ m}^3/\text{giờ}$ (mỗi mét)

c) phá hoại do xói ngầm chắc
chắn xảy ra

16. $0.26 \text{ m}^3/\text{giờ}$ (mỗi mét)

17. a) $2.1 \text{ m}^3/\text{ngày}$ (mỗi mét)

b) $1.8 \text{ m}^3/\text{ngày}$ (mỗi mét)

Chương 6

1. 210° , 240°
2. 0,5, ∞
3. $34,5 \text{ kN/m}^2$, $14,5 \text{ kN/m}^2$,
 $26,0 \text{ kN/m}^2$
4. a) 124 kN/m^2
b) 123 kN/m^2
c) 124 kN/m^2
5. a) 76,4, 77,3, 73,3, 71,2
và $66,9 \text{ kN/m}^2$
b) 78,1, 13,8 và $23,3 \text{ kN/m}^2$;
tại một điểm cách tải trọng
100 kN/m là 0,3m.
6. 2,65m
7. 120 kN/m^2 , 101 kN/m^2 ,
 66 kN/m^2
8. a) 6,7m
b) $102,8 \text{ kN/m}^2$, $18,5 \text{ kN/m}^2$
9. 107 kN/m^2 , 124 kN/m^2 ,
 74 kN/m^2
10. 158, 142, 77, 14 và 6 kN/m^2

Chương 7

2. a) 29°
b) 41°
3. a) 30°
b) 37°
4. a) 492 kN/m^2 , 575 kN/m^2 ,
0,614, 0,226

b) -182 kN/m^2 , 213 kN/m^2 ,
 189 kN/m^2

c) 29°

6. 124 kN/m^2
7. a) 0 , 23° ; 0 , 33°
b) cố kết thông thường
8. 40 kN/m^2 , 19° ; 0 , 28°
9. a) 103 kN/m^2
b) 83 kN/m^2
c) 164 kN/m^2
10. a) 65 kN/m^2 , 79 kN/m^2 ,
 101 kN/m^2
b) 827 kN/m^2
11. a) $145,5 \text{ kN/m}^2$
b) 47 kN/m^2
12.
b) -204 kN/m^2
c) 67 kN/m^2 ; 83 kN/m^2 ;
 303 kN/m^2
13. a) 0, 0
b) 160 kN/m^2 , $230,5 \text{ kN/m}^2$
14. a) 730 kN/m^2 , 518 kN/m^2
b) 0,92
c) 0,21
Thấp hơn : biến dạng đàn hồi
15. b) $-1,22 \times 10^{-3}$
c) $8,33 \text{ kN/m}^2$

40 NĂM

NHÀ XUẤT BẢN GIÁO DỤC
1957 - 1997

CƠ HỌC ĐẤT
TẬP MỘT

Mã số: 182H017

17 2.000 tờ, khổ 14,5 x 20,5

Tại Xi nghiệp tại Ninh Bình

Số in: 14 96 XB: 52/348 07

In xong và nộp bản cuối

Ngày 8 tháng 1997

Giá: 23.700đ