

NGHIÊN CỨU KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM CẮT CỐ KẾT THOÁT NƯỚC VÀ CẮT VỚI ĐỘ ẨM KHÔNG ĐỔI

TS. TRINH MINH THU
Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Cường độ chống cắt của đất không bão hoà thường được xác định từ các thí nghiệm cắt cố kết thoát nước (thí nghiệm CD) hoặc thí nghiệm cắt với độ ẩm không đổi (thí nghiệm CW). Bài báo này trình bày sự so sánh về cường độ chống cắt từ thí nghiệm cắt CD và thí nghiệm cắt CW trên các mẫu đất sét pha đầm nén. Kết quả thí nghiệm cho thấy góc ma sát trong hiệu quả, ϕ' , và lực dính hiệu quả, c' , từ thí nghiệm cắt CD và thí nghiệm cắt CW là giống nhau. Góc biểu thị tốc độ tăng về độ bền chống cắt, ϕ^b , khi độ hút dính tăng lên từ kết quả thí nghiệm cắt CD và thí nghiệm cắt CW là bằng nhau khi độ hút dính nhỏ hơn giá trị khí vào. Điều này có thể giải thích rằng khi độ hút dính nhỏ hơn giá trị khí vào thì mẫu đất tồn tại ở trạng thái bão hoà ở cả thí nghiệm cắt CW và CD. Tương tự, góc ϕ^b có giá trị bằng nhau từ cả 2 dạng sơ đồ thí nghiệm cắt khi độ hút dính lớn hơn độ hút dính tàn dư (tức là đất ở trạng thái khô). Tuy nhiên góc, ϕ^b , từ thí nghiệm cắt CD và CW là khác nhau khi độ hút dính nằm trong khoảng từ giá trị khí vào và độ hút dính tàn dư. Sự khác nhau này là do đường bao độ bền chống cắt từ thí nghiệm cắt CW thấp hơn trường hợp thí nghiệm cắt CD. Nguyên nhân sự khác nhau là do hiện tượng trễ trong đường cong đặc trưng đất - nước và sẽ được giải thích chi tiết trong bài báo này.

I. MỞ ĐẦU

Cắt cố kết thoát nước (CD) hoặc cắt với độ ẩm không đổi (CW) thông thường dùng để xác định cường độ chống cắt của đất không bão hoà. Mục tiêu của bài báo này là so sánh kết quả thí nghiệm về cường độ chống cắt từ các thí nghiệm cắt ba trục CD và thí nghiệm cắt CW trên các mẫu đất sét pha đầm nén.

Fredlund và nnk. (1978) kiến nghị phương trình cường độ chống cắt cho đất không bão hoà bằng việc dùng các biến trạng thái ứng suất, (tức là $(\sigma - u_a)$) và độ hút dính, $(u_a - u_w)$) như sau:

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_f - u_a)_f \tan \phi' + (u_a - u_w)_f \tan \phi^b \quad [1]$$

Trong đó:

τ_{ff} = ứng suất cắt trên mặt trượt ở trạng thái phá hoại,

c' = lực dính hiệu quả từ đường bao phá hoại Mohr-Coulomb “kéo dài” trên trục ứng suất cắt khi ứng suất pháp thực và độ hút dính bằng không,

$(\sigma_f - u_a)_f$: ứng suất pháp thực trên mặt trượt khi ở trạng thái phá hoại,

σ_f : ứng suất pháp tổng trên mặt trượt khi ở trạng thái phá hoại,

u_a : áp lực khí lỗ rỗng,

ϕ' : góc ma sát trong ứng với ứng suất pháp thực, $(\sigma_f - u_a)$,

$(u_a - u_w)_f$ độ hút dính ở trạng thái phá hoại,

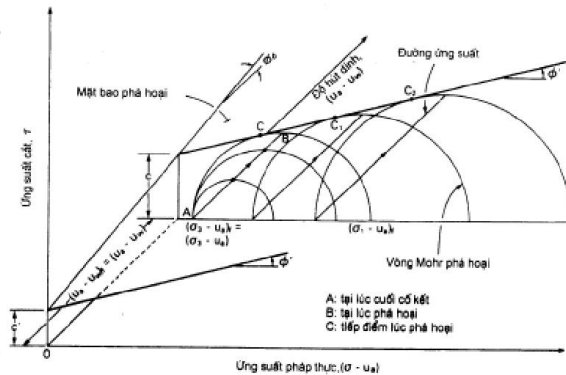
u_w áp lực nước lỗ rỗng, và

ϕ^b góc biểu thị tốc độ tăng về độ bền chống cắt ứng với sự tăng lên của độ hút dính, $(u_a - u_w)_f$, ở trạng thái phá hoại.

Đường các trạng thái ứng suất trong quá trình cắt cố kết thoát nước trên các mẫu với áp lực buồng thực khác nhau nhưng với cùng 1 giá trị độ hút dính được trình bày trên hình 1.

Kết quả của 1 số thí nghiệm về cường độ chống cắt của đất không bão hoà cho thấy tính phi tuyến của góc ϕ^b khi thí nghiệm cắt các mẫu trong khoảng biến thiên lớn về độ hút dính (Escario và Saez, 1996; Gan, 1986; Fredlund và nnk, 1987; Gan và nnk, 1988). Nhìn chung, góc ϕ^b thường nhỏ hơn hoặc bằng góc ma sát trong

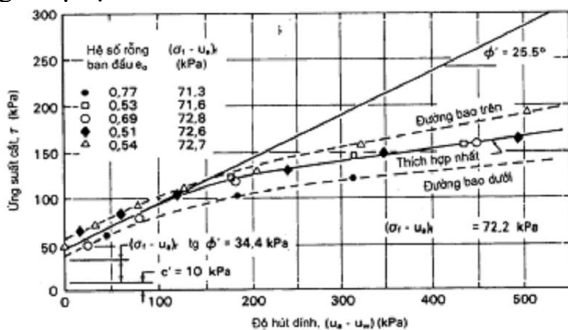
hiệu quả, ϕ' . Tuy nhiên từ kết quả thí nghiệm của một số nhà nghiên cứu khác (Gan, 1986; Escario và Saez, 1986) cho thấy góc ϕ^b có thể lớn hơn góc ma sát trong hiệu quả, ϕ' .



Hình 1: Các đường trạng thái ứng suất của thí nghiệm cắt cố kết thoát nước với các áp lực bùồng thực khác nhau, nhưng với cùng 1 giá trị độ hút dính (Fredlund và Rahardjo, 1993).

Gan (1986) thí nghiệm cắt gia tải nhiều bước trên đất sét pha nguồn gốc băng tích. Kết quả cho thấy đường bao cường độ chống cắt ứng với độ hút dính có tính phi tuyến. Góc của đường bao cường độ chống cắt ϕ^b là $25,5^\circ$ khi độ hút dính thấp và giảm đi tới giá trị $5^\circ - 7^\circ$ khi mẫu thí nghiệm có độ hút dính cao (Hình 2).

Fredlund và nnk. (1987) tính toán lại kết quả thí nghiệm về cường độ chống cắt của Satija (1978). Kết quả tính toán lại được giả thiết đường bao cường độ chống cắt là đường cong ứng với độ hút dính. Đường cong cường độ chống cắt có góc ϕ^b bằng ϕ' khi độ hút dính từ giá trị không. Góc ϕ^b bắt đầu giảm đi lớn khi giá trị độ hút dính lớn hơn 50 kPa.



Hình 2 Đường bao phá hoại của thí nghiệm

cắt cố kết thoát nước trên các mẫu đất nguồn gốc băng tích (Gan và nnk. 1986).

II. TÍNH CHẤT CỦA ĐẤT DÙNG TRONG THÍ NGHIỆM

Đất dùng trong nghiên cứu này là Kaolin hạt thô. Tính chất cơ bản của Kaolin được xác định dựa trên các qui trình thí nghiệm của ASTM (1997). Các tính chất vật lý cơ bản của Kaolin được trình bày trong bảng 1. Kaolin hạt thô ở đây được xác định là sét pha với tính dẻo cao (MH) theo hệ thống phân loại của ASTM D2487 - 93, 1997).

Bảng 1. Các tính chất của mẫu đất Kaolin đầm nén

Tính chất	Giá trị
Tỷ trọng, G_s	2.65
Giới hạn chảy, LL (%)	51
Giới hạn dẻo, PL (%)	36
Chỉ số dẻo, PI (%)	15
Bụi (%)	85
Sét (%)	15
Theo hệ thống phân loại (USCS)	MH (bụi có tính dẻo cao)
Trọng lượng đơn vị khô lớn nhất, γ_{kmax} (Mg/m^3)	1.35
Độ ẩm tốt nhất, w_{opt} (%)	22.0
Hệ số thấm khi bão hoà, k_s , (m/s)	6.4×10^{-8}

III. QUI TRÌNH VÀ CHƯƠNG TRÌNH THÍ NGHIỆM

Kết quả thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn đất sét pha được trình bày ở hình 3. Kết quả ở hình 3 cho thấy dung trọng khô lớn nhất, γ_{kmax} , đạt $1,35 Mg/m^3$, độ ẩm tốt nhất là $w_{opt} = 22\%$.

1. Giai đoạn chuẩn bị mẫu

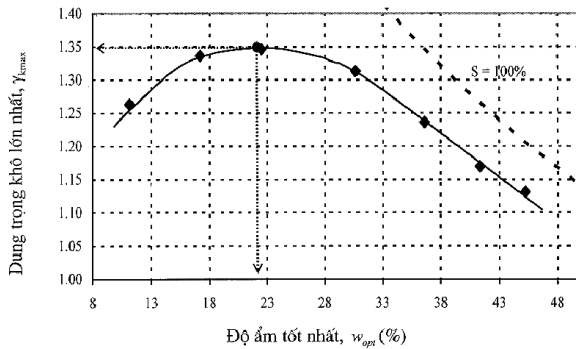
Để tạo nên mẫu đất có tính đồng nhất theo phương pháp đầm nén động là rất khó khăn. Vì vậy trong nghiên cứu này đã dùng phương pháp đầm nén tĩnh để tạo các mẫu thí nghiệm. Khối lượng Kaolin và nước được tính toán để tạo nên mẫu có dung trọng khô lớn nhất và độ ẩm tốt nhất sau khi đầm nén. Các mẫu đất giống nhau đã được chuẩn bị bằng cách đầm nén tĩnh Kaolin đạt tới dung trọng khô lớn nhất là $1,35 Mg/m^3$ và độ ẩm tốt nhất là 22%. Mỗi

mẫu được đầm nén tĩnh với 10 lớp và mỗi lớp có chiều dày 10mm. Chiều cao và đường kính mẫu tương ứng 100mm và 50mm. Để tạo nên tính đồng nhất trong mẫu và tránh sự tăng cao về áp lực nước lỗ rỗng trong quá trình đầm nén, đất được nén ép với tốc độ không đổi là 1 mm/phút.

2. Giai đoạn bão hoà mẫu

Thiết bị thí nghiệm cắt ba trục cải tiến dùng cho thí nghiệm CD và CW tương tự như thiết bị thí nghiệm cắt ba trục cải tiến đã được trình bày và mô tả bởi Fredlund và Rahardjo (1993) (Hình 4). Thiết bị cắt ba trục cải tiến cho phép khống chế cả áp khí và nước lỗ rỗng bằng kỹ thuật tịnh tiến trục (Hilf, 1956).

Tất cả các mẫu đất đầu tiên được bão hoà nhằm đưa chúng đồng nhất về độ ẩm và độ bão hoà. Trong quá trình bão hoà được tiến hành bằng áp lực ngược với áp lực buồng, σ_3 , và áp lực nước lỗ rỗng, u_w , đến khi hệ số áp lực nước lỗ rỗng đạt giá trị gần bằng 1. Mẫu được coi là bão hoà hoàn toàn khi hệ số áp lực nước lỗ rỗng có giá trị bằng hoặc lớn hơn 0.97 (Head, 1986). Quá trình bão hoà cho mỗi mẫu thường kéo dài khoảng 4 ngày.



Hình 3. Đường cong đầm nén tiêu chuẩn của đất Kaolin.

3. Quá trình cố kết và tạo độ hút dính trong mẫu

Trong quá trình cố kết, mẫu được cố kết bằng áp lực hông thực, $(\sigma_3 - u_a)$. Lượng nước thoát ra từ mẫu đất trong quá trình cố kết được đo bằng thiết bị điều khiển số tự động về áp lực và thể tích (DPVC). Quá trình cố kết được coi là kết thúc khi nước trong mẫu hầu như không thoát ra nữa hoặc quá trình tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng

đủ kết thúc. Thời gian để quá trình cố kết kéo dài khoảng 1 giờ.

Khi quá trình cố kết hoàn thành, thì giai đoạn tạo độ hút dính trong mẫu được bắt đầu tiến hành. Để tạo nên độ hút dính trong mẫu, đường áp lực nước được nối vào mũ trên đầu mẫu được ngắt và thay vào đó là đường áp lực khí. Đường áp lực nước được nối với buồng chứa nước dưới đáy mẫu (xem Hình 4). Như vậy trong quá trình tạo độ hút dính, mẫu đất sẽ được cố kết bởi áp lực hông thực $(\sigma_3 - u_a)$ và độ hút dính $(u_a - u_w)$. Lượng nước thoát ra từ mẫu trong quá trình cân bằng độ hút dính được ghi lại bằng thiết bị DPVC. Quá trình cân bằng về độ hút dính được coi là kết thúc khi lượng nước thoát ra từ mẫu hầu như bằng không. Thời gian cho quá trình này thường kéo dài khoảng từ 3 đến 5 ngày.

4. Tốc độ cắt và điều kiện kết thúc quá trình cắt

Trong thí nghiệm cắt dùng tốc độ gia tải dọc trục là 0.009 mm/phút và 0.0009 mm/phút tương ứng cho thí nghiệm cắt 3 trục CW và CD. Quá trình cắt kết thúc khi độ lệch ứng suất, $q = (\sigma_1 - \sigma_3)$, đã vượt qua điểm đỉnh và đạt giá trị không đổi hoặc mất phá hoại trên mẫu quan sát thấy rõ ràng hay biến dạng dọc trục lớn hơn 20%.

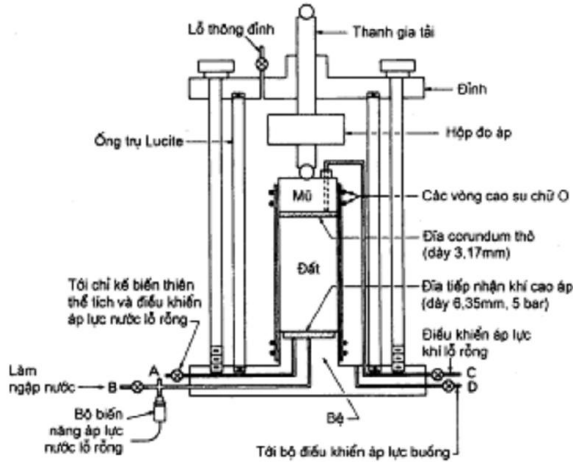
5. Cắt với độ ẩm không đổi (thí nghiệm CW)

Trong sơ đồ thí nghiệm này, các mẫu được cắt trong điều kiện pha khí thoát tự do, nhưng không cho pha nước thoát ra ngoài. Trong trường hợp này, van của áp lực khí được mở và giữ tại giá trị nhất định trong khi đó van của pha nước được đóng lại. Trong quá trình cắt, áp lực khí ở giai đoạn tạo cân bằng độ hút dính. Áp lực nước lỗ rỗng, u_w , tăng lên hay giảm đi phụ thuộc vào sự tăng hay giảm của thể tích mẫu đất trong quá trình cắt. Do đó độ hút dính trong mẫu biến đổi trong quá trình cắt.

6. Cắt cố kết thoát nước (thí nghiệm CD)

Trong thí nghiệm cắt cố kết thoát nước, mẫu đất được cắt trong điều kiện đường nối với áp lực pha khí và nước đều mở. Điều này có nghĩa là trong quá trình cắt, các van của pha khí và pha nước đều được mở và khống chế tại giá trị

bằng với giá trị áp lực khí và nước tương ứng trong giai đoạn tạo cân bằng độ hút dính. Như vậy trong quá trình cắt thì áp lực khí lỗ rỗng và áp lực nước lỗ rỗng trong mẫu không thay đổi và do đó độ hút dính không thay đổi.



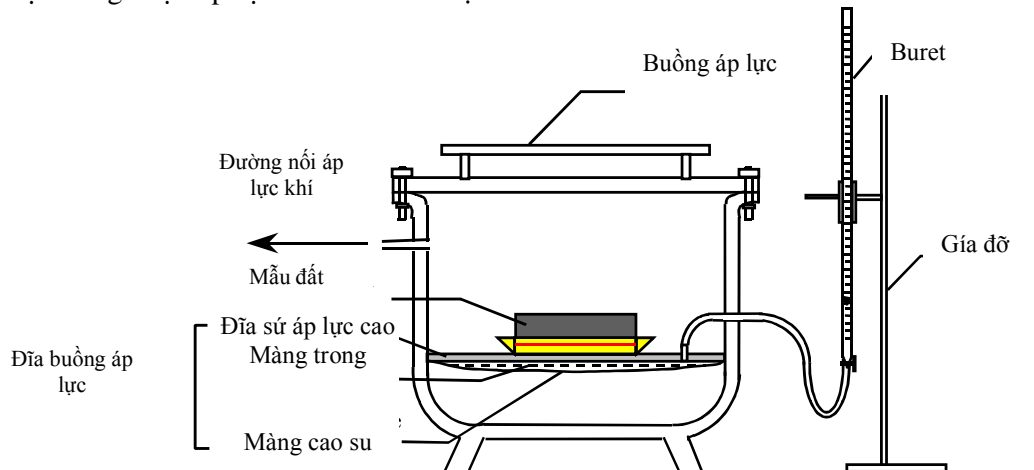
Hình 4. Thiết bị thí nghiệm 3 trục cải tiến dùng cho thí nghiệm đất không bão hoà (Fredlund and Rahardjo, 1993).

IV. THÍ NGHIỆM XÁC ĐỊNH ĐƯỜNG CONG ĐẶC TRƯNG ĐẤT - NƯỚC

Thiết bị buồng chịu áp lực khí cao đã được

dùng để xác định đường cong đặc trưng đất - nước (hình 5). Mẫu đất đầm nén với chiều dày 20mm và đường kính 50mm được dùng để thí nghiệm xác định đường cong đặc trưng đất - nước. Các mẫu thí nghiệm này được đầm nén bằng 2 lớp, mỗi lớp dày 10 mm. Quá trình đầm nén mẫu để xác định đường cong đặc trưng đất - nước hoàn toàn giống với quá trình đầm nén mẫu cho thí nghiệm cắt 3 trục.

Mẫu được đặt trong buồng áp lực khí cao và tăng độ hút dính trong mẫu (nhánh khô) lên 20 kPa bằng cách tăng áp lực khí trong buồng lên 20 kPa và mở đường nước thoát ra ngoài không khí (nghĩa là $u_a = 20$ kPa và $u_w = 0$ kPa). Do độ hút dính trong mẫu tăng lên nên nước trong lỗ rỗng sẽ thoát ra ngoài thông qua đĩa sứ áp lực khí cao. Trọng lượng mẫu được ghi lại sau mỗi bước thời gian khoảng 24 giờ cho đến khi trọng lượng mẫu đạt tới giá trị ổn định. Quá trình này sẽ được lặp lại cho mỗi bước tăng giá trị độ hút dính lên 50, 100 kPa, 200kPa, 400kPa và 700 kPa. Trong khi đó với nhánh ướt thì giá trị độ hút dính được giảm xuống từng bước từ 700kPa xuống 500kPa, 300kPa, 200kPa, 100kPa, 70kPa, 40kPa, 20kPa và 0kPa.



Hình 5 Thiết bị thí nghiệm xác định đường cong đặc trưng đất - nước.

V. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

Các thí nghiệm cắt CW được tiến hành trên máy 3 trục cải tiến dưới áp lực hông thực lần lượt là 25 kPa, 50kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa, 250kPa, 300kPa và 350kPa với các độ hút dính

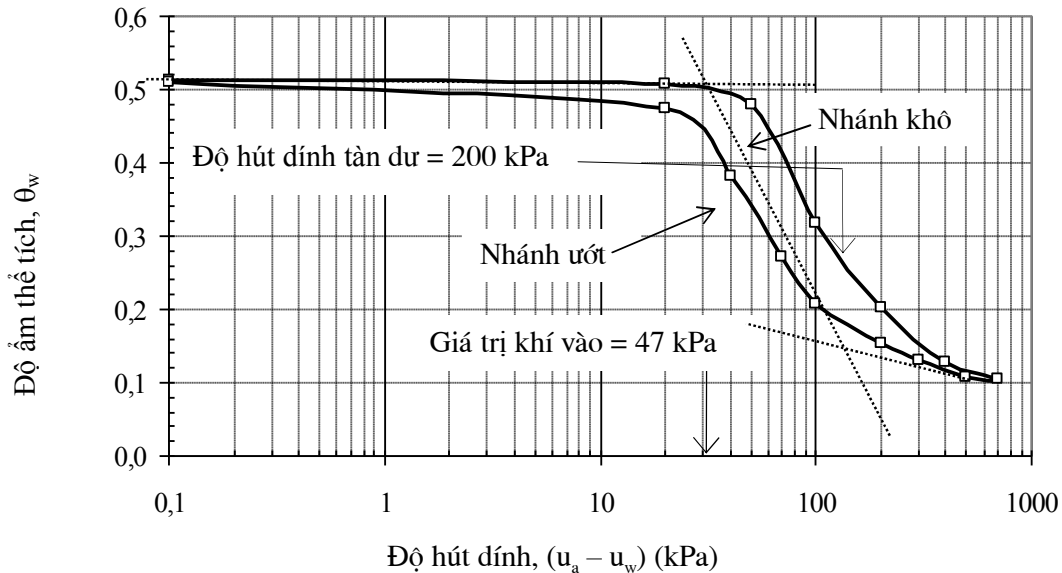
khác nhau (nghĩa là 0kPa, 100kPa, 150kPa, 200kPa và 300kPa). Các thí nghiệm cắt CD cũng được thực hiện trên cùng máy cắt 3 trục với áp lực buồng hiệu quả là 100kPa, 200kPa và 300kPa và độ hút dính lần lượt là 0kPa, 100kPa, 200kPa và

300kPa. Tên cho các mẫu được sử dụng dưới dạng quy ước thông thường: CW_x-y và CD_x-y, trong đó chỉ số x-y trong CW_x-y và CD_x-y nghĩa là mẫu đất được thí nghiệm dưới áp lực hông thực là x kPa và độ hút dính ban đầu là y kPa.

1. Đường cong đặc trưng đất nước

Hình 6 biểu diễn kết quả thí nghiệm đường cong đặc trưng đất nước cho mẫu sét pha đầm nén

nén. Như kết quả thể hiện trên hình 6, giá trị khí vào tối hạn của mẫu sét pha đầm nén ở dung trọng khô lớn nhất và độ ẩm tốt nhất là 47 kPa. Cũng trên hình vẽ này cho thấy giá trị độ hút dính tàn dư vào khoảng 200 kPa. Kết quả ở hình 6 cho thấy nhánh khô và nhánh ướt không nằm trùng nhau và hiện tượng này được gọi là hiện tượng trễ trong đường cong đặc trưng đất – nước.



Hình 6. Giá trị khí vào và độ hút dính tàn dư của mẫu sét pha đầm nén.

2. Đường bao phá hoại Mohr– Coulomb cho các thí nghiệm CW và CD

Các ứng suất tại trạng thái phá hoại của các mẫu dùng để thiết lập các vòng tròn Mohr cho thí nghiệm cắt 3 trục CW và CD được xác định từ độ lệch ứng suất lớn nhất. Độ lệch ứng suất lớn nhất được xác định từ các đường quan hệ giữa độ lệch ứng suất và biến dạng dọc trục. Đường bao phá hoại Mohr–Coulomb từ thí nghiệm 3 trục CW và CD trên các mẫu bão hoà nước với các áp lực hông thực khác nhau được trình bày tương ứng trong hình vẽ 7 và 8. Kết quả thí nghiệm cho thấy góc ma sát trong, $\phi' = 32^\circ$ và lực dính hiệu quả, $c' = 0$ kPa bằng nhau trong cả 2 dạng sơ đồ cắt (xem hình 7 và 8).

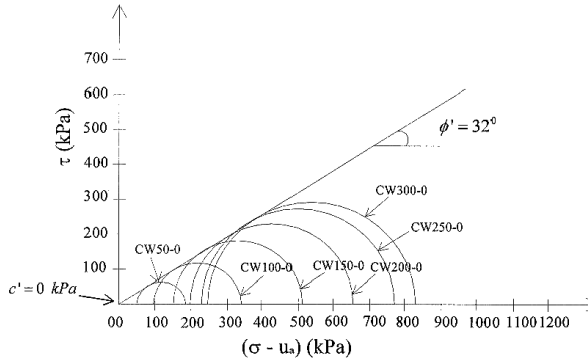
Đường bao phá hoại Mohr – Coulomb có thể xây dựng cho các mặt có độ hút dính khác nhau. Lực dính c từ kết quả thí nghiệm CW và CD được xác định là khoảng chặn trên trục ứng suất cắt khi kéo dài đường bao phá hoại Mohr– Coulomb với

giả thiết góc ma sát trong không đổi $\phi' = 32^\circ$.

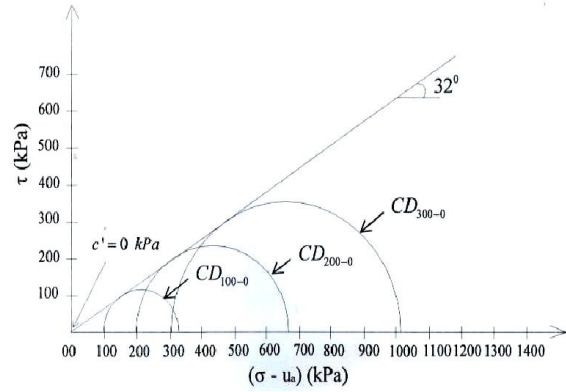
Hình 9 trình bày quan hệ giữa lực dính với độ hút dính từ kết quả thí nghiệm cắt CW và CD cho các mẫu sét pha đầm nén. Hình 9 cho thấy góc của đường bao độ bền chống cắt ứng với độ hút dính có giá trị trung bình là, $\phi^b = 32^\circ$ (nghĩa là, bằng với $\phi' = 32^\circ$) khi độ hút dính nhỏ (nghĩa là độ hút dính nhỏ hơn giá trị khí vào). Góc ϕ^b bắt đầu giảm rất nhanh khi độ hút dính nằm trong khoảng giá trị giữa 55 kPa và 150 kPa và đạt tới giá trị gần như là hằng số bằng 12° khi độ hút dính lớn hơn 200 kPa.

Hình 10 biểu diễn kết quả quan hệ giữa góc ϕ^b ứng với độ hút dính cho các mẫu sét pha đầm nén từ thí nghiệm cắt CW và CD. Tính phi tuyến của góc ϕ^b ứng với độ hút dính từ kết quả nghiên cứu này tương tự như kết quả đã

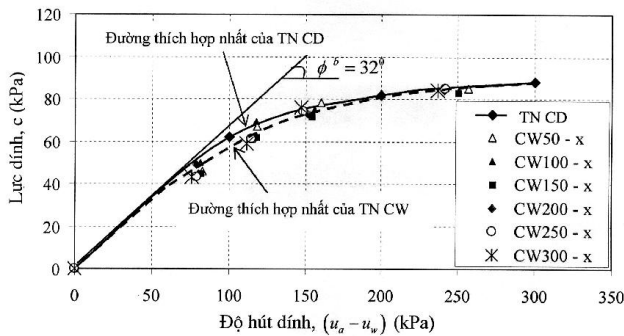
được công bố bởi Satija (1978), Fredlund nnk. (1987) và Gan nnk. (1988).



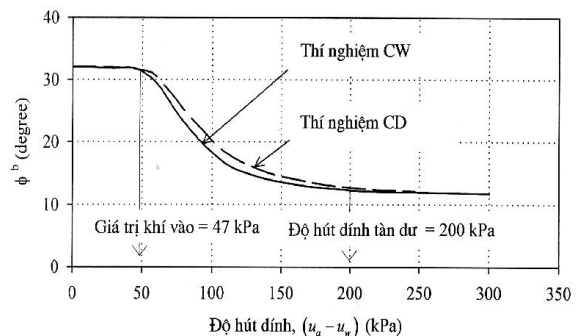
Hình 7. Đường bao phá hoại Mohr – Coulomb cho các mẫu đầm nén thí nghiệm trong điều kiện cắt với độ ẩm không đổi trên các mẫu bão hoà nước.



Hình 8. Đường bao phá hoại Mohr – Coulomb cho các mẫu đầm nén thí nghiệm trong điều kiện cắt có kết thoát nước trên các mẫu bão hoà nước.



Hình 9. Lực dính từ các thí nghiệm cắt với độ ẩm không đổi và cắt có kết thoát nước trên mặt mà áp lực hông thực bằng không.



Hình 10. Mối quan hệ phi tuyến giữa ϕ^b và độ hút dính của các mẫu sét pha đầm nén

3. So sánh các thông số độ bền kháng cắt từ kết quả thí nghiệm CW và CD

Các thông số về độ bền kháng cắt (nghĩa là ϕ' , ϕ^b và c) thu được từ thí nghiệm cắt 3 trục CW so với kết quả từ thí nghiệm cắt CD được tóm tắt trên các hình 9 và 10. Hình 9 cho thấy lực dính của đường bao phá hoại trên mặt có áp lực hông thực bằng không ($(\sigma_3 - u_a) = 0$) từ các thí nghiệm cắt CD và CW. Đường bao lực dính từ thí nghiệm cắt CW khá gần với đường bao lực dính từ kết quả thí nghiệm cắt CD. Hình 9 cho thấy sự tăng đồng nhất về lực dính ứng với sự tăng lên về độ hút dính cho cả 2 loại thí nghiệm cắt CD và CW. Lực dính hiệu quả, c' , bằng 0 kPa từ cả 2 loại thí nghiệm cắt CD và CW trong điều kiện bão hoà (nghĩa là độ hút

dính bằng không). Tính phi tuyến của đường quan hệ giữa góc ϕ^b và độ hút dính cho cả 2 dạng sơ đồ cắt CD và CW thể hiện trên hình 10.

Rahardjo và nnk. (2004) giải thích rằng độ bão hoà của mẫu đất biểu thị diện tích của áp lực nước lỗ rỗng trong tương tác với các hạt đất, nó còn tạo nên sự tăng về cường độ chống cắt của đất. Điều này có thể chú ý rằng sự khác nhau về độ bão hoà có thể tồn tại trong 1 loại đất không bão hoà khi đó độ hút dính là như nhau. Khi độ hút dính nhỏ hơn 47 kPa, mẫu đất thí nghiệm có thể tồn tại ở trạng thái bão hoà (xem hình 6) và lực dính bằng nhau cho cả 2 dạng sơ đồ cắt CD và CW (xem hình 9). Tuy nhiên, khi độ hút dính biến thiên trong khoảng từ 47 kPa tới 200 kPa thì lực dính thu được từ thí nghiệm cắt 3 trục CD lớn hơn lực dính thu được từ thí nghiệm cắt CW. Sự

khác nhau về lực dính từ 2 dạng sơ đồ thí nghiệm cắt CW và CD có thể giải thích bằng sự khác nhau về độ bão hoà tại điểm phá hoại cho thí nghiệm CW và CD. Điều khác nhau về lực dính tại điểm phá hoại khi độ hút dính như nhau có thể là do hiện tượng trễ như đã quan sát được trong đường cong đặc trưng đất - nước (xem hình 6). Cường độ chống cắt của mẫu đất theo nhánh khô (thí nghiệm cắt CD) sẽ lớn hơn cường độ chống cắt của cùng loại đất theo nhánh ướt (thí nghiệm cắt CW) mặc dù chúng ở cùng trạng thái ứng suất cho cả 2 dạng sơ đồ cắt. Sự khác nhau về cường độ kháng cắt có thể do độ bão hoà của đất trên nhánh khô (nghĩa là trong thí nghiệm CD) thấp hơn độ bão hoà của đất trên nhánh ướt (nghĩa là trong thí nghiệm CW). Do đó, lực dính từ kết quả thí nghiệm CD cao hơn lực dính từ kết quả thí nghiệm CW. Điều này cũng có thể giải thích sự giống và khác nhau về góc ϕ^b cho 2 dạng sơ đồ thí nghiệm CW và CD. Góc ϕ^b tồn tại ở trị gần như hằng số bằng 12° cho cả dạng sơ đồ cắt CW và CD khi độ hút dính của mẫu lớn hơn 200 kPa. Điều này có thể là do khi mẫu đất có độ hút dính cao (nghĩa là độ hút dính cao hơn độ hút dính tàn dư) hiện tượng trễ có thể không còn tồn tại trong các mẫu thí nghiệm cắt. Do đó lực dính và góc ϕ^b gần như hội tụ tại cùng giá trị cho cả

hai dạng sơ đồ thí nghiệm cắt CW và CD.

VI. KẾT LUẬN

Các kết quả cho thấy rằng góc ma sát trong hiệu quả, ϕ' , và lực dính hiệu quả, c' , của đất sét pha đầm nén thu được từ cả dạng sơ đồ thí nghiệm CD và CW là giống nhau. Các kết quả từ thí nghiệm CW và CD cho góc ma sát trong hiệu quả, ϕ' , và lực dính hiệu quả, c' , của đất sét pha đầm nén tương ứng là 32° và 0 kPa. Tính phi tuyến về quan hệ giữa góc ϕ^b và độ hút dính từ thí nghiệm CW và CD trên đất sét pha đầm nén. Góc ϕ^b có giá trị bằng góc ma sát trong hiệu quả ϕ' (nghĩa là 32°) khi mẫu đất có độ hút dính thấp (nghĩa là độ hút dính thấp hơn giá trị khí vào). Góc ϕ^b giảm xuống tới giá trị 12° khi độ hút dính trong mẫu tăng cao (nghĩa là độ hút dính lớn hơn độ hút dính tàn dư). Tuy nhiên, góc ϕ^b từ kết quả thí nghiệm CD lớn hơn góc ϕ^b thu nhận được từ kết quả thí nghiệm CW khi độ hút dính biến thiên trong khoảng từ giá trị áp lực khí vào tới độ hút dính tàn dư. Sự khác nhau này là do đường bao cường độ kháng cắt ứng với độ hút dính từ thí nghiệm CW thấp hơn so với đường bao phá hoại từ thí nghiệm CD. Sự khác nhau này là do hiện tượng trễ của đường cong đặc trưng đất - nước.

Tài liệu tham khảo

ASTM D 2487 – 93. (1997). Standard Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System), 1993 *Annual Books of ASTM Standards*. 1. 04.08, Section 4, Philadenphia, P.A., 217-227.

Fredlund, D.G. and Morgenstern, N.R. (1977). “Stress State Variables for Unsaturated Soils”. *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE.*, 103 (GT5), 447-466.

Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R., and Widger, R.A. (1978). “The Shear Strength of Unsaturated Soils”. *Canadian Geotechnical Journal*. Vol. 15 (3), 313-321.

Fredlund, D.G., Rahardjo, H. and Gan, J. (1987). “Nonlinearity of Strength Envelope for Unsaturated soils”. In proceeding of the 6th *International Conference Expansive Soils*. New Delhi, India, 1, 49-54.

Fredlund, D.G. and Rahardjo, H. (1993). *Soil Mechanics for Unsaturated Soils*. John Wiley and Sons Inc., New York.

Gan, J., Fredlund, D.G., and Rahardjo, H. (1988). “Determination of the Shear Strength Parameters of an Saturated Soil using the Direct Shear test”. *Canadian Geotechnical Journal*, 25

(3), 277-283.

Head, K.H. (1986). *Manual of Soil Laboratory Testing*. John Wiley and Sons, Inc., 3, 942-945.

Hilf, J.W. (1956). *An Investigation of Pore-water Pressure in Compacted Cohesive Soils*. Ph.D. Dissertation. Tech. Memo. No. 654, U.S. Dep. of the Interior, Bureau of Reclamation, Design and Construction Div., Denver, C.O.

Rahardjo, H., Heng, O.B., and Leong, E.C. (2004). "Shear Strength of a Compacted Residual Soil from Consolidated Drained and the Constant Water Content Triaxial Tests". *Canadian Geotechnical Journal*, 41, 1-16.

Satija, B.S. (1978). *Shear Behaviour of Partly Saturated Soil*. PhD. thesis, Indian Institute of Technology, Delhi, India.

Abstract:

**STUDY RESULTS FROM CONSTANT WATER CONTENT
AND CONSOLIDATED DRAINED TRIAXIAL TEST**

Shear strength of unsaturated soil is commonly obtained from Consolidated Drained (CD) or Constant Water content (CW) triaxial tests. A series of CD and CW tests was carried out on statically compacted silt specimens. The results indicate that the effective angles of internal friction, ϕ' , and the effective cohesions, c' , of the compacted silt as obtained from both the CD and CW tests are identical. The ϕ^b angles from the CD and CW triaxial tests are essentially identical at matric suctions lower than the air-entry value. This could be attributed to the fact that the soil specimens remain saturated at matric suctions lower than the air-entry value in both the CD and CW tests. Similarly the ϕ^b angles from both tests are the same at matric suctions higher than the residual matric suction when the soil is at a relatively dry condition. However, the ϕ^b angles from the CD and CW tests are different at matric suctions between the air-entry value and the residual matric suction value. The difference is due to the lower failure envelope with respect to matric suction from the CW tests as compared to the failure envelope from the CD tests. This difference can be attributed to the hysteretic behavior of soil-water characteristic curve of the soil which will be explained in detail in the paper.