

# XÁC ĐỊNH CƯỜNG ĐỘ CHỐNG CẮT CỦA ĐẤT KHÔNG BẢO HÒA BẰNG THÍ NGHIỆM NÉN BA TRỤC CẢI TIẾN VỚI ĐỘ ẨM KHÔNG ĐỔI

Nguyễn Thị Ngọc Hương  
Trịnh Minh Thụ

## Tóm tắt:

Nhiều bài toán địa kỹ thuật về ổn định và cường độ đều liên quan đến sức chống cắt của đất. Trong thực tế xây dựng nhiều trường hợp đất thường là một hệ bảo hoà/không bảo hoà. Vì vậy, việc mô phỏng điều kiện này trong thí nghiệm nén ba trục độ ẩm không đổi (CW) để xác định các thông số cường độ chống cắt của đất là cần thiết. Bài báo này đề cập đến phương pháp xác định cường độ chống cắt cho đất không bảo hoà bằng thí nghiệm nén ba trục độ ẩm không đổi (CW) dùng thiết bị nén ba trục cải tiến của phòng thí nghiệm Địa Kỹ Thuật trường Đại học Thủy lợi.

**Từ khóa:** Cường độ chống cắt, đất không bảo hoà, thí nghiệm nén 3 trục với độ ẩm không đổi, lực hút dính.

## 1. Giới thiệu chung

Theo Fredlund và nnk. (1978), cường độ chống cắt của đất không bảo hoà có thể được lập theo các biến trạng ứng suất độc lập. Có thể dùng bất kỳ hai trong ba biến trạng ứng suất để lập phương trình cường độ chống cắt. Các biến trạng ứng suất  $(\sigma - u_a)$  và  $(u_a - u_w)$  là tổ hợp thuận lợi nhất trong thực tiễn.

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

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

trong đó:

- $\tau_{ff}$  - 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 lực hút dính bằng không,
- $(\sigma_f - u_a)_f$  - ứng suất pháp thực trên mặt trượt ở trạng thái phá hoại,
- $u_{af}$  - áp lực khí lỗ rỗng ở trạng thái phá hoại,
- $\sigma_{ff}$  - ứng suất pháp tổng trên mặt trượt ở trạng thái phá hoại,
- $\phi'$  - góc ma sát trong ứng với ứng suất pháp thực  $(\sigma_f - u_a)_f$ ,
- $(u_a - u_w)_f$  - lực hút dính ở trạng thái phá hoại,
- $u_{wf}$  - áp lực nước lỗ rỗng ở trạng thái phá hoại, và
- $\phi^b$  - góc ma sát biểu kiến biểu thị độ dốc của đường quan hệ lượng tăng ứng suất cắt và lực hút dính  $(u_a - u_w)_f$  giả thiết là tuyến tính, ở trạng thái phá hoại.

Cường độ chống cắt của đất không bảo hoà thường được xác định từ các thí nghiệm nén ba trục độ ẩm không đổi (CW). Các nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành trên các thí nghiệm nén ba trục cải tiến nhằm xác định cường độ chống cắt của đất không bảo hoà có sử dụng công thức (1) (Fredlund và Rahardjo, 1993).

## 2. Đặc trưng của đất dùng trong thí nghiệm

Mẫu đất dùng trong nghiên cứu thuộc mỏ vật liệu đất đắp đập dâng nước trong hệ thống công trình đầu mối hồ chứa nước Sông Sắt nằm trên địa phận xã Phước Thắng, huyện Bác Ái, tỉnh Ninh Thuận, cách thị xã Phan Rang 50 km về phía Tây Bắc (khu vực Nam Trung Bộ). Đất này thuộc loại sét pha nhẹ, màu xám vàng, dẻo mềm, chứa nhiều sỏi sạn, cát hạt vừa, lẫn hòn mảnh vụn phong hóa nhỏ.

Tính chất vật lý của đất được xác định theo qui trình thí nghiệm TCVN (1995) được nêu trong bảng 1.

Bảng 1. Tính chất cơ lý của mẫu đất dùng trong nghiên cứu

Các chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Vật liệu Sông sắt
Tỷ trọng	$G_s$		2,731
Giới hạn chảy	$W_l$	%	24,08

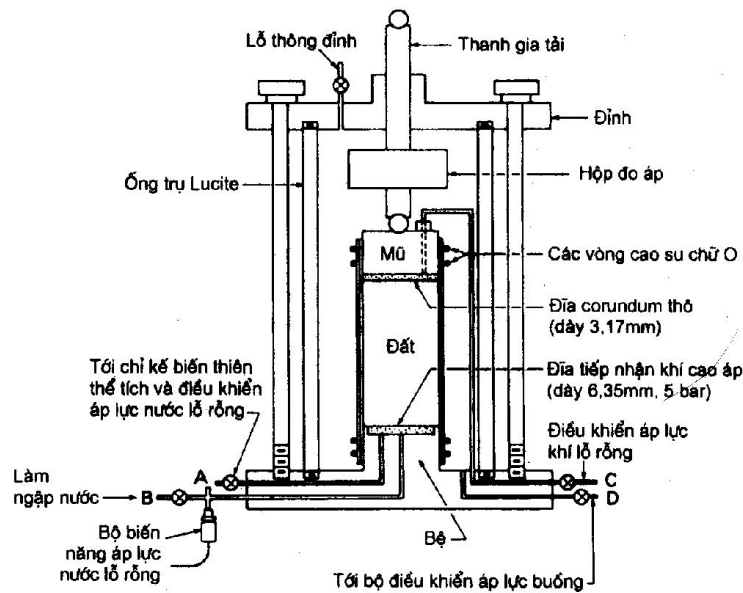
Giới hạn dẻo	$W_p$	%	15,16
Chỉ số dẻo	$I_p$	%	8,91
Khối lượng đơn vị khô lớn nhất	$\rho_{dmax}$	$T/m^3$	1,997
Độ ẩm tốt nhất	$W_{opt}$	%	10,97

### 3. Quy trình và thao tác thí nghiệm

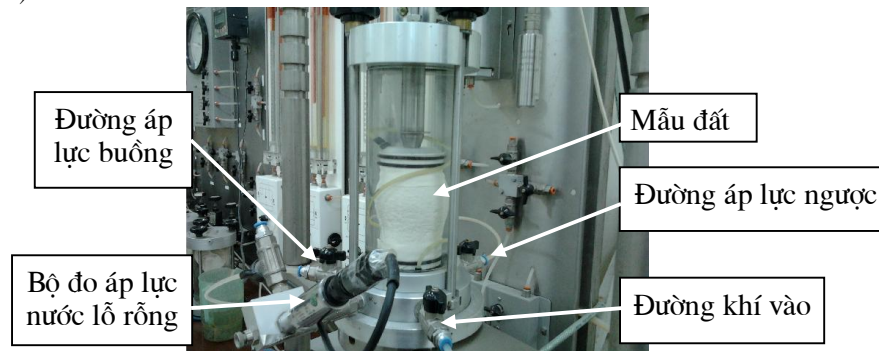
#### 3.1. Quy trình chuyển các mẫu đất đến các độ hút dính khác nhau

Thí nghiệm cắt mẫu đất không bão hòa trong nghiên cứu này được tiến hành trên máy nén 3 trục cải tiến. Thiết bị thí nghiệm tương tự loại dùng của Fredlund và Rahardjo (1993). Nó cho phép xác định áp lực nước lỗ rỗng  $u_w$  và khí lỗ rỗng  $u_a$ , để lập quan hệ  $\tau_{matrix} \sim (u_a - u_w)$  theo yêu cầu. Hình 1 nêu sơ đồ lắp đặt buồng thí nghiệm nén 3 trục mẫu đất không bão hòa. Đặc điểm của buồng này là tấm đá thấm đáy được thay bằng một đĩa gốm tiếp nhận khí cao áp để kiểm soát và đo áp lực khí lỗ rỗng của đất không bão hòa.

Thiết bị thí nghiệm nén ba trục cải tiến dùng cho nghiên cứu này thuộc phòng thí nghiệm Địa Kỹ Thuật trường Đại học Thủy lợi được mô tả trong hình 2, đã được tác giả nghiên cứu - cải tiến để có thể thí nghiệm được cho đất không bão hòa. Đĩa tiếp nhận khí cao áp dùng trong nghiên cứu là đĩa gốm loại 5 bar (500 kPa). Tác giả đã thiết kế và gia công mặt tấm đế dưới tạo hệ đường rãnh nối tiếp nhau để gắn được đĩa gốm tiếp nhận khí cao áp lên trên, như mô tả trong hình 3. Các đường rãnh trên mặt tấm đế dưới bên trong ngăn chứa nước được dùng như các đường dẫn nước để đuổi các bọt khí có thể bị giam hãm hay tích tụ do khuếch tán. Đĩa áp lực khí được trám đủ kín vào bề đáy bằng keo Epoxy theo chu vi của đĩa. Sự trám kín giữa đĩa và bề đáy bảo đảm khí không thể rò rỉ vào trong ngăn chứa nước.



Hình 1. Buồng ba trục cải tiến để thí nghiệm đất không bão hòa (theo Fredlund và Rahardjo, 1993)



Hình 2. Buồng ba trục cải tiến dùng trong phòng thí nghiệm Địa Kỹ Thuật, trường Đại học Thủy lợi



Hình 3. Ngăn chứa nước có các rãnh hình vòng tròn ở phần đầu của chân đế buồng ba trục và đĩa áp lực khí cao.

### 3.2. Quy trình thí nghiệm

Tác giả áp dụng quy trình thí nghiệm nén 3 trục cho mẫu đất bão hòa (Head, 1986) và dùng quy trình thí nghiệm nén 3 trục cho đất không bão hòa (Fredlund - Rahardjo, 1993). Lực hút dính ban đầu được thiết lập dựa trên việc sử dụng kỹ thuật chuyển trục.

#### ✚ Chuẩn bị mẫu

Các mẫu đất thí nghiệm thuộc công trình Sông Sắt được đầm nén với giá trị khối lượng đơn vị khô bằng 95 % khối lượng đơn vị khô lớn nhất và độ ẩm tương ứng sau khi đầm nén. Mẫu đất được đầm nén từ 10 lớp đất với chiều dày mỗi lớp là 10mm để đảm bảo tính đồng nhất về độ chặt trong toàn mẫu. Chiều cao và đường kính mẫu tương ứng là 100mm và 50mm. Trọng lượng quả đầm là 0,715 (kG), trọng lượng quả đầm+thanh dẫn là 1,303 (kG), chiều cao quả đầm rơi là 30 cm.

#### ✚ Giai đoạn bão hòa mẫu

Tất cả các mẫu đất dùng trong chương trình thí nghiệm này đầu tiên được bão hòa nhằm tạo nên sự đồng nhất về độ ẩm và độ bão hòa ban đầu. Trong giai đoạn này, đường áp lực nước lỗ rỗng nối với thiết bị khống chế áp lực và thể tích nước, bơm nước vào trong mẫu từ đỉnh. Mẫu đất được bão hòa bởi quá trình tăng dần từng cấp áp lực buồng,  $\sigma_3$ , và áp lực ngược,  $u_w$ , dưới áp lực hiệu quả bằng 10kPa cho đến khi hệ số áp lực nước lỗ rỗng B đạt giá trị gần 1. Mẫu đất được coi là bão hòa hoàn toàn khi hệ số áp lực nước lỗ rỗng đạt giá trị lớn hơn hoặc bằng 0,95 (Head, 1986). Quá trình bão hòa mẫu thường kéo dài khoảng 10 ngày.

#### ✚ Giai đoạn cố kết

Sau khi giai đoạn bão hòa kết thúc, mẫu đất được cố kết dưới áp lực buồng,  $\sigma_3$ , và đo áp lực nước lỗ rỗng,  $u_w$ , do vậy có được áp lực hiệu quả yêu cầu,  $(\sigma_3 - u_w)$ . Giá trị độ lớn của áp lực cố kết được chọn tùy thuộc các giá trị áp lực thực  $(\sigma_3 - u_w)$  theo yêu cầu của giai đoạn cân bằng lực hút dính và giai đoạn cắt. Trong giai đoạn cố kết, mở van C để thoát nước và mở van D tạo áp lực buồng khống chế theo giá trị yêu cầu (Hình 1). Áp lực nước lỗ rỗng được đo bằng bộ biến năng đặt trên tấm đáy (hình 1). Lượng nước thoát ra từ mẫu thí nghiệm trong quá trình cố kết đẳng hướng được ghi lại bằng thiết bị đo biến thiên thể tích buret kép. Giai đoạn cố kết được coi là kết thúc khi thể tích nước thoát ra khỏi mẫu không thay đổi và áp lực nước lỗ rỗng dư đã hoàn toàn tiêu tán. Thời gian cho giai đoạn cố kết khoảng 1 giờ.

#### ✚ Giai đoạn tạo và cân bằng lực hút dính trong mẫu

Khi giai đoạn cố kết đã kết thúc, để tạo lực hút dính bên trong mẫu, đường áp lực nước nối với đỉnh của mẫu thí nghiệm sẽ được ngắt tại van C và thay vào đó bằng đường áp lực khí,  $u_a$ . Đường áp lực nước được nối với buồng nhỏ chứa nước dưới đáy mẫu tại van A. Lúc này, van A sẽ khống chế áp lực nước lỗ rỗng tại đáy mẫu trong khi áp lực khí lỗ rỗng bên trong mẫu được kiểm soát tại van C. Như vậy trong quá trình tạo lực hút dính, mẫu đất sẽ được cố kết bởi áp lực hông thực  $(\sigma_3 - u_a)$  và lực hút dính  $(u_a - u_w)$ . Giai đoạn cân bằng lực hút dính trong mẫu được coi là kết thúc khi lượng nước thoát ra hầu như bằng 0. Thời gian cho quá trình cân bằng lực hút dính thường kéo dài khoảng 3 đến 5 ngày.

#### ✚ Giai đoạn cắt mẫu

Khi điều kiện cân bằng lực hút dính trong mẫu đã đạt được dưới các áp lực tác dụng (tức là  $\sigma_3$ ,  $u_a$  và  $u_w$ ), mẫu đất được cắt bằng lực dọc trục trong các điều kiện thoát khí và không thoát nước lỗ rỗng, với một vận tốc bằng hằng số. Trong nghiên cứu này, tốc độ biến dạng được tính toán theo TCVN 8868 : 2011 và được chọn trên cơ sở bảo đảm khống chế áp lực khí lỗ rỗng  $u_a$  bằng áp lực khí lỗ rỗng tại cuối quá trình cố kết hay đầu quá trình cắt. Tác giả chọn tốc độ biến dạng là 0,02 mm/phút. Trong sơ đồ thí nghiệm này, mẫu đất được cắt dưới điều kiện pha khí thoát tự do, nhưng không cho pha nước thoát ra ngoài. Điều này có nghĩa là trong quá trình cắt

van của pha khí được mở (van C trong hình 1) và van của pha nước được đóng lại (van A và B trong hình 1). Giai đoạn cắt được coi là kết thúc khi độ lệch ứng suất,  $q = (\sigma_1 - \sigma_3)$  đã vượt qua điểm đỉnh và đạt tới giá trị không đổi hoặc đã quan sát được mặt phá hoại rõ ràng trên mẫu đất. Nếu không đạt được điều kiện phá hoại như nêu trên thì ngừng thí nghiệm khi đạt đến 25% biến dạng trục. Giai đoạn cắt kéo dài trong một ngày.

### 3.3. Chương trình thí nghiệm

Các thí nghiệm cắt ba trục độ ẩm không đổi (CW) được thực hiện tại các lực hút dính khác nhau và các áp lực hông thực khác nhau để nghiên cứu mặt phá hoại cho đất không bão hòa. Với mục đích thí nghiệm các mẫu đất có trạng thái từ bão hòa đến không bão hòa, các lực hút dính ban đầu được lựa chọn cho chương trình thí nghiệm lần lượt là: 0 kPa, 100 kPa và 200 kPa. Các áp lực hông thực được lựa chọn dựa trên khả năng chịu lực của hệ thống ba trục và buồng ba trục là: 50 kPa, 100 kPa và 200 kPa. Chương trình thí nghiệm cắt ba trục được trình bày trong bảng 2. Ký hiệu các mẫu đất thí nghiệm cắt ba trục độ ẩm không đổi là CW $x$ - $y$ , trong đó  $x$ - $y$  biểu thị thí nghiệm được thực hiện dưới áp lực buồng thực là  $x$  kPa và lực hút dính ban đầu là  $y$  kPa.

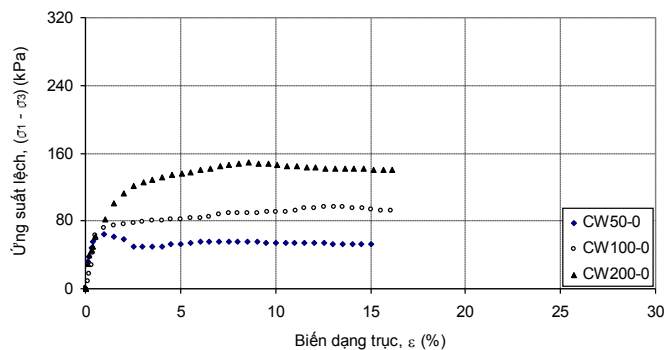
Bảng 2. Chương trình các thí nghiệm cắt ba trục độ ẩm không đổi (CW)

Áp lực buồng thực, (kPa)	Lực hút dính ban đầu, (kPa)		
	0	100	200
50	CW50-0	CW50-100	CW50-200
100	CW100-0	CW100-100	CW100-200
200	CW200-0	CW200-100	CW200-200

## 4. Kết quả thí nghiệm

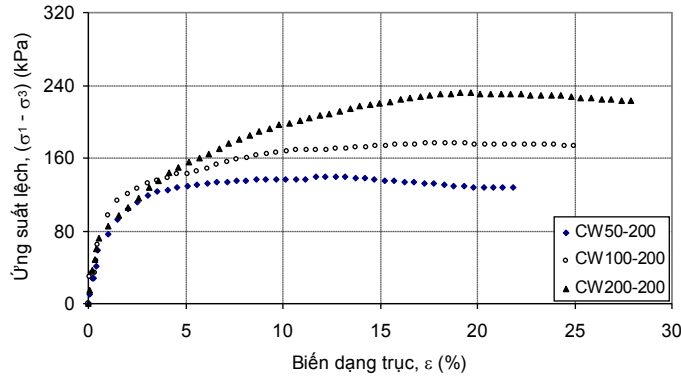
### 4.1. Các đặc tính cường độ chống cắt của các mẫu đất thí nghiệm

Hình 4 và hình 5 biểu diễn quan hệ giữa ứng suất lệch với biến dạng trục xác định được từ các thí nghiệm ba trục độ ẩm không đổi (CW) cho mẫu đất đầm nén Sông Sắt dưới các áp lực hông thực khác nhau (50 kPa, 100 kPa và 200 kPa) tác dụng lên mẫu đất với cùng lực hút dính lần lượt là 0 kPa và 200 kPa.



Hình 4. Quan hệ giữa ứng suất lệch và biến dạng trục dưới các áp lực hông thực khác nhau tác dụng lên mẫu với cùng lực hút dính ban đầu là 0 kPa.

Quan sát trên hình 4, ta thấy ứng suất lệch đỉnh thể hiện rất rõ ràng. Quan hệ giữa ứng suất lệch và biến dạng trục dưới các áp lực hông thực khác nhau nhưng ở cùng lực hút dính là 200 kPa (các mẫu CW50-200, CW100-200 và CW200-200) được thể hiện trong hình 5.

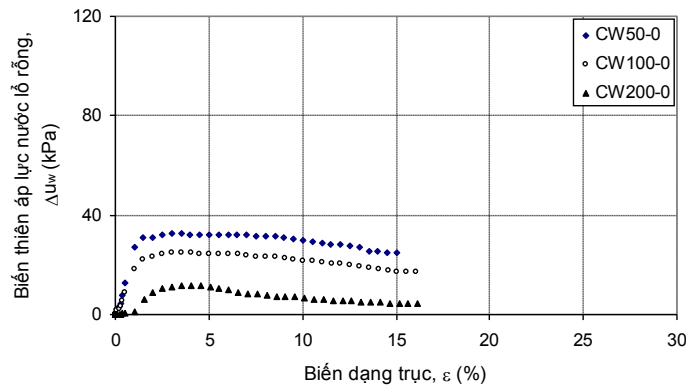


Hình 5. Quan hệ giữa ứng suất lệch và biến dạng trục dưới các áp lực hông thực khác nhau tác dụng lên mẫu với cùng lực hút dính ban đầu là 200 kPa.

So sánh với các kết quả ứng với lực hút dính bằng 0 kPa, ta thấy kết quả trên hình 5 nói lên rằng mẫu càng không bão hòa thì cường độ chống cắt càng tăng.

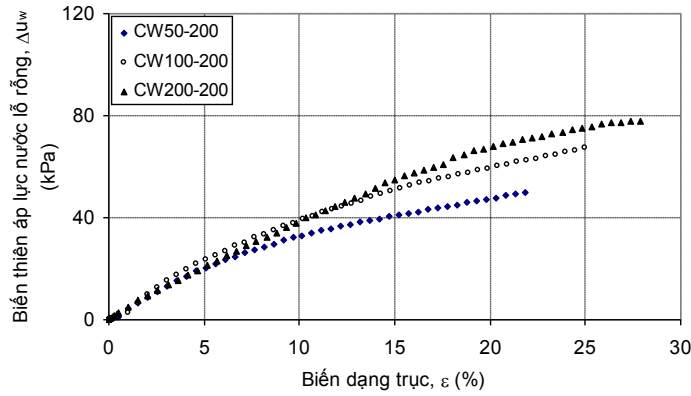
#### 4.2. Áp lực nước lỗ rỗng dư

Hình 6 biểu diễn sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong khi cắt của thí nghiệm ba trục độ ẩm không đổi (CW) trên các mẫu đất bão hòa dưới các áp lực hông thực khác nhau. Như thấy trên hình 6, lượng biến thiên áp lực nước lỗ rỗng tăng khi áp lực hông thực tăng. Điều này cũng có thể nói lên rằng ứng suất pháp thực tăng làm độ bão hòa bên trong mẫu đất tăng và tương ứng áp lực nước lỗ rỗng dư trong khi cắt tăng lên. Xu hướng biến thiên áp lực nước lỗ rỗng của ba mẫu (CW50-0, CW100-0 và CW200-0) gần như tương tự nhau. Sự biến thiên áp lực nước lỗ rỗng tăng nhanh trong giai đoạn đầu của quá trình cắt mẫu và sau đó giảm dần.



Hình 6. Quan hệ giữa  $\Delta u_w$  và  $\epsilon$  từ thí nghiệm cắt ba trục CW mẫu Sông Sắt dưới các ứng suất pháp thực khác nhau tại cùng lực hút dính ban đầu bằng 0 kPa.

Hình 7 biểu diễn sự biến thiên áp lực nước lỗ rỗng trong khi cắt của thí nghiệm ba trục độ ẩm không đổi (CW) dưới các ứng suất pháp thực khác nhau tại cùng lực hút dính ban đầu là 200 kPa. Như trình bày trong hình 7, biến thiên áp lực nước lỗ rỗng tăng trong khi cắt dưới điều kiện độ ẩm không đổi. Hình 7 cho thấy các mẫu có ứng suất pháp thực cao sẽ cho độ biến thiên áp lực nước lỗ rỗng lớn và độ biến thiên của áp lực nước lỗ rỗng tăng theo sự tăng của ứng suất pháp thực. Xu hướng biến đổi áp lực nước lỗ rỗng trong khi cắt là như nhau. Sự thay đổi giữa các biến thiên áp lực nước lỗ rỗng trong khi cắt các mẫu đất dưới các ứng suất pháp thực khác nhau tại cùng lực hút dính ban đầu bằng 200 kPa là tương đối nhỏ.

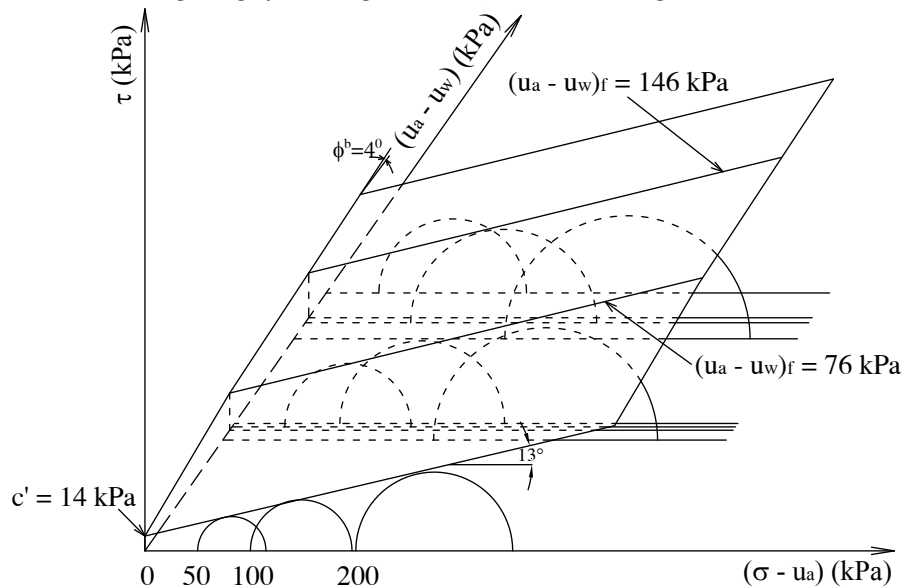


Hình 7. Quan hệ giữa  $\Delta u_w$  và  $\varepsilon$  từ thí nghiệm CW mẫu Sông Sắt dưới các ứng suất pháp thực khác nhau tại cùng lực hút dính ban đầu bằng 200 kPa.

Các kết quả trên hình 7 nói lên rằng các mẫu đất có ứng suất pháp thực cao làm cho biến thiên áp lực nước lỗ rỗng cao trong quá trình cắt. Điều này cho thấy là ứng suất pháp thực càng lớn thì hệ số rỗng bên trong mẫu đất càng thấp và độ bão hòa của mẫu càng cao. Do đó, độ lớn của áp lực nước lỗ rỗng trong khi cắt sẽ cao.

#### 4.3. Mặt bao phá hoại Mohr-Coulomb mở rộng

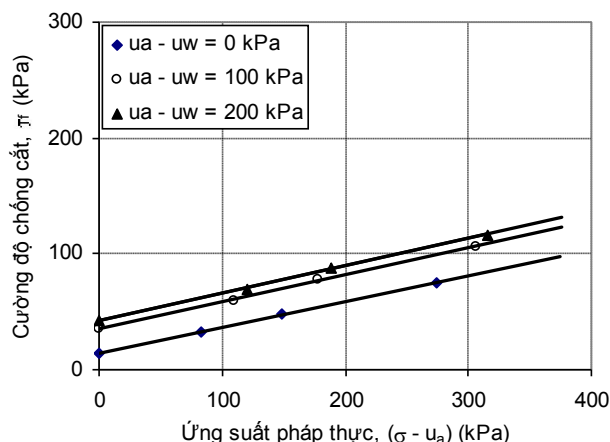
Mặt bao phá hoại Mohr-Coulomb mở rộng được cho trong hình 8. Các ứng suất cắt lúc phá hoại của các mẫu đất dùng để vẽ nên các vòng tròn Mohr cho các thí nghiệm cắt ba trục CW là các ứng suất lệch đỉnh từ các đường cong ứng suất - biến dạng. Hình 8 cho thấy khi lực hút dính của mẫu bằng 0 kPa (mẫu bão hòa), mẫu có lực dính hiệu quả  $c' = 14$  kPa và góc ma sát trong hiệu quả  $\phi' = 13^\circ$ . Các giá trị 76 kPa và 146 kPa là các giá trị trung bình của các lực hút dính lúc phá hoại (tại các ứng suất lệch đỉnh) trong các thí nghiệm cắt ba trục CW dưới các áp lực hông thực khác nhau (50 kPa, 100 kPa và 200 kPa) nhưng tại cùng lực hút dính ban đầu lần lượt là 100 kPa và 200 kPa. Trên hình 8, ta thấy: khi lực hút dính tăng, góc  $\phi^b$  giảm từ giá trị  $\phi^b = \phi'$  tại lực hút dính bằng 0 kPa đến giá trị  $\phi^b = 4^\circ$  ứng với giá trị lực hút dính bằng 200 kPa. Góc ma sát trong  $\phi'$  của mẫu vẫn giữ nguyên bằng  $13^\circ$  dù lực hút dính tăng.



Hình 8. Mặt bao phá hoại Mohr-Coulomb mở rộng xác định được từ thí nghiệm cắt ba trục độ ẩm không đổi (CW) mẫu đất thí nghiệm công trình Sông Sắt

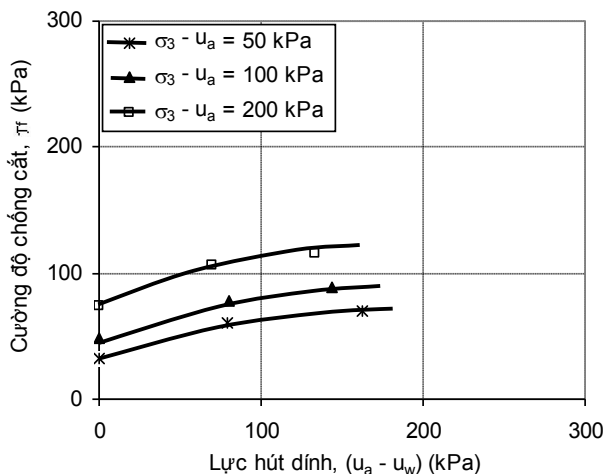
Hình 9 biểu diễn hình chiếu của mặt bao phá hoại trên mặt phẳng  $\tau \sim (\sigma - u_a)$ . Các đường có các khoảng chặn lực dính tăng dần khi lực hút dính tương ứng của chúng tăng. Khoảng chặn lực dính trở thành lực dính hiệu quả  $c' = 14$  kPa khi lực hút dính tiến tới không. Tất cả các đường đồng lực hút dính có cùng góc dốc  $\phi' = 13^\circ$ . Quan hệ trên hình 9 cũng cho thấy cường độ chống cắt của mẫu tăng khi ứng suất pháp thực tăng. Tại một ứng suất pháp thực xác định, cường độ chống cắt tăng khi lực hút dính tăng. Với ứng suất pháp thực bằng 0 kPa, cường độ chống cắt nhỏ

nhất là 14 kPa tại lực hút dính ban đầu bằng 0 kPa, lớn nhất là 45 kPa tại lực hút dính ban đầu bằng 200 kPa. Các kết quả thí nghiệm cho thấy các đường bao phá hoại hầu như là các đường thẳng tịnh tiến hướng lên song song, thể hiện rằng lượng tăng cường độ chống cắt là do lực hút dính của đất tăng.



Hình 9. Các hình chiếu ngang của mặt bao phá hoại trên mặt phẳng  $\tau \sim (\sigma - u_a)$  xác định từ thí nghiệm cắt ba trục CW của mẫu đất đầm nén Sông Sắt

Hình 10 biểu diễn hình chiếu của mặt bao phá hoại trên mặt phẳng  $\tau \sim (u_a - u_w)$ . Hình chiếu biểu thị lượng tăng cường độ chống cắt khi lực hút dính tăng. Các quan hệ trên hình 10 cho thấy quan hệ giữa cường độ chống cắt và lực hút dính là quan hệ phi tuyến. Lực hút dính tăng làm cường độ chống cắt của mẫu tăng lên. Áp lực hông thực tăng cũng làm cường độ chống cắt của mẫu tăng theo tương ứng. Kết quả thu được này phù hợp với các nghiên cứu trước đó của các nhà khoa học trên thế giới như Ho và Fredlund (1982),...



Hình 10. Các hình chiếu ngang của mặt bao phá hoại trên mặt phẳng  $\tau \sim (u_a - u_w)$  xác định từ thí nghiệm cắt ba trục CW của mẫu đất đầm nén Sông Sắt

## 5. Kết luận

Tác giả đã tiến hành nghiên cứu thực nghiệm xác định cường độ chống cắt của đất không bão hòa ứng với các lực hút dính khác nhau trên thiết bị nén ba trục cải tiến cho đất không bão hòa theo sơ đồ nén ba trục độ ẩm không đổi (CW). Kết quả nghiên cứu cho thấy hình chiếu của mặt bao phá hoại trên mặt phẳng  $\tau \sim (\sigma - u_a)$  là các đường có các khoảng chặn lực dính tăng dần khi lực hút dính tương ứng của chúng tăng. Khoảng chặn lực dính trở thành lực dính hiệu quả  $c' = 14$  kPa khi lực hút dính tiến tới không. Tất cả các đường đồng lực hút dính là các đường thẳng tịnh tiến hướng lên song song và có cùng góc dốc  $\phi' = 13^\circ$ , thể hiện rằng lượng tăng cường độ chống cắt là do lực hút dính của đất tăng. Hình chiếu của mặt bao phá hoại trên mặt phẳng  $\tau \sim (u_a - u_w)$  cho thấy quan hệ giữa cường độ chống cắt và lực hút dính là quan hệ phi tuyến. Quan hệ trên hình 10 biểu thị sự tăng cường độ chống cắt khi lực hút dính tăng. Áp lực hông thực tăng cũng làm cường độ chống cắt của mẫu tăng theo tương ứng. Từ kết quả nghiên cứu ta rút ra rằng

trong đất không bão hoà, khi lực hút dính tăng lên thì lực dính c tăng làm cường độ chống cắt của đất tăng. Mẫu đất thí nghiệm có góc ma sát trong  $\phi' = 13^0$  và lực dính đơn vị  $c' = 14$  kPa. Khi lực hút dính tăng, góc ma sát trong gần như không thay đổi ( $\phi' \approx 13^0$ ) nhưng lực dính c tăng làm cường độ chống cắt của mẫu tăng lên, góc  $\phi'$  giảm dần. Kết quả nghiên cứu của đề tài là cơ sở để tính toán giảm khối lượng đất đắp trong trường hợp khu vực xây dựng khan hiếm về vật liệu địa phương.

#### **6. Tài liệu tham khảo**

1. FREDLUND, D.G., RAHARDJO, H. (1998), "*Cơ học đất cho đất không bão hoà*" (bản dịch), tập 1+2. NXB Giáo dục.
2. TCVN 4195-1995 ÷ 4202-1995 (1996), Tiêu chuẩn Việt Nam: "*Đất xây dựng*", Bộ Xây dựng. NXB Xây dựng. Hà nội.
3. TCVN 8868:2011 (2011), Tiêu chuẩn quốc gia: "*Đất xây dựng - Phương pháp xác định sức kháng cắt không cố kết không thoát nước, cố kết không thoát nước và cố kết thoát nước của đất dính trên thiết bị nén ba trục*" (xuất bản lần 1), Viện Tiêu chuẩn Chất lượng Việt nam. Hà nội.
4. Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R., and Widger, R.A. (1978), "*The shear strength of unsaturated soils*", Canadian Geotechnical Journal, 15(3): 313–321.
5. Fredlund, D.G., Rahardjo, H., and Gan, J.K.M. (1987), "*Non-linearity of strength envelope for unsaturated soils*", Proceedings, 6th International Conference on Expansive Soils, New Delhi, India, pp. 49–54.
6. Fredlund, D.G. and Rahardjo, H. (1993), "*Soil Mechanics for Unsaturated Soils*", John Wiley & Sons, Inc.
7. Head, K.H. (1986), "*Manual of Soil Laboratory Testing*", John Wiley and Sons, Inc., Vol. 3, pp. 942-945.
8. Ho, D.Y.F., and Fredlund, D.G. (1982), "*Increase in shear strength due to soil suction for two Hong Kong soils*", Proceedings, ASCE, Geotechnical Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, Hawaii, pp. 263–295.

#### **Abstract:**

#### **DETERMINING SHEAR STRENGTH OF A UNSATURATED SOIL BY THE CONSTANT WATER CONTENT TRIAXIAL TESTS**

*Many geotechnical problems for stability and strength are related to the shear strength of a soil. In general, most of soils in real constructions are the saturated/unsaturated soil system. Therefore, it is necessary to simulate this condition in a constant water content triaxial test (CW) to determine shear strength of the soil. This research presents the method of determining shear strength of the unsaturated soil by the constant water content triaxial shearing tests (CW). The equipment for this research is the modified triaxial apparatus in the Geotechnical laboratory in Hanoi Water Resources University.*

**Keywords:** *Shear strength, unsaturated soil, constant water content triaxial tests, matric suction.*