

## **ẢNH HƯỞNG CỦA LỰC HÚT DÍNH ĐẾN ĐẶC TRƯNG CƯỜNG ĐỘ CHỐNG CẮT CỦA ĐẤT TÀN TÍCH PHONG HÓA TỪ ĐÁ SÉT BỘT KẾT HỆ TẦNG BÌNH LIÊU KHU VỰC TỈNH QUẢNG NINH**

**Nguyễn Thị Ngọc Hương<sup>1</sup>**

**Tóm tắt:** Cường độ chống cắt là một trong các thông số cơ bản của đất không bão hòa, đóng vai trò quan trọng đến ổn định trượt của sườn dốc không bão hòa. Bài báo nghiên cứu đặc tính cường độ chống cắt của đất tàn tích phong hóa từ đá sét bột kết hệ tầng Bình Liêu khu vực tỉnh Quảng Ninh bằng thí nghiệm nén ba trục có kết thoát nước+khí (CD) dùng thiết bị nén ba trục cải tiến của phòng thí nghiệm Địa Kỹ Thuật trường Đại học Thủy lợi. Kết quả thí nghiệm cho thấy khi lực hút dính trong đất không bão hòa tăng, góc ma sát trong  $\phi'$  của mẫu đất gần như không thay đổi nhưng góc  $\phi$  giảm dần, đồng thời cường độ chống cắt của mẫu tăng lên.

**Từ khóa:** Cường độ chống cắt (CĐCC), cơ học đất không bão hòa, thí nghiệm nén ba trục có kết thoát nước+khí (CD), lực hút dính.

### **1. GIỚI THIỆU CHUNG**

Cường độ chống cắt (CĐCC) là một trong các thông số cơ bản của đất không bão hòa, đóng vai trò quan trọng đến ổn định trượt của khối đất. Nhiều bài toán địa kỹ thuật có liên quan đến cường độ chống cắt không bão hòa của đất chế bị hay đất tự nhiên (đập đất, sạt lở đất, ...).

Theo Fredlund và nnk. (1978), cường độ chống cắt của đất không bão hòa có thể được lập theo các biến trạng thái ứng suất độc lập. Có thể dùng bất kỳ hai trong ba biến trạng thái ứng suất để lập phương trình cường độ chống cắt. Các biến trạng thái 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 bão hòa bằng việc dùng các biến trạng thái ứng suất  $(\sigma - u_a)$  và  $(u_a - u_w)$  như sau:

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

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,

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

$u_{af}$  - áp lực khí lỗ rỗng ở trạng thái phá hoại,

$u_{wf}$  - áp lực nước lỗ rỗng ở trạng thái phá hoại,

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

$\phi^b$  - 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 không bão hòa có thể được xác định bằng phương pháp thực nghiệm trong phòng thí nghiệm. Hiện nay, đất không bão hòa và các thông số của đất không bão hòa đang dần được quan tâm nghiên cứu ở Việt Nam. Tại trường Đại học Thủy lợi, nhiều đề tài nghiên cứu có liên quan đến cường độ chống cắt của đất không bão hòa (Trịnh Minh Thụ, Nguyễn Thị Ngọc Hương...). Phương pháp xác định CĐCC không bão hòa bằng máy nén ba trục khá phức tạp về qui trình thí nghiệm, đòi hỏi nhiều công sức và thời gian. Các nghiên cứu được thực hiện trước tác giả mới chỉ tập trung vào các phương pháp đơn giản hơn như phương pháp cắt trực tiếp hay xác định gián tiếp từ đường cong đặc trưng đất nước.

---

<sup>1</sup> Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

Bài báo trình bày phương pháp xác định cường độ chống cắt của đất không bão hòa bằng thí nghiệm nén ba trục cố kết thoát nước+khí (CD) trên thiết bị thí nghiệm nén ba trục của phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật trường Đại học Thủy lợi. Kết quả đạt được của bài báo là mặt bao phá hoại Mohr-Coulomb mở rộng cho đất không bão hòa và quy luật thay đổi của CĐCC không bão hòa của loại đất tàn tích phong hóa hoàn toàn theo lực hút dính. Trong nghiên cứu này, tác giả không đi sâu vào ứng dụng của các thông số đó đến ổn định mái đất.

## 2. ĐẶC TRƯNG CỦA ĐẤT DÙNG TRONG THÍ NGHIỆM

Mẫu đất dùng trong nghiên cứu là đất phong hóa từ đá sét bột kết hệ tầng Bình Liêu ( $T_2ab_1$ ) thuộc khu 6 xã Lam Sơn, huyện Ba Chẽ, tỉnh Quảng Ninh. Hệ tầng Bình Liêu phân bố rộng rãi ở các vùng Minh Tân, Ba Chẽ và Đồng Ca. Vị trí lấy mẫu nằm cạnh đường tỉnh (km 10+500) đi Ba Chẽ cách tuyến đập 9.5 km về phía Đông Tây. Vùng đất nghiên cứu có diện tích phân bố khoảng 67.000m<sup>2</sup>, chiều sâu trung bình 3.0m. Đất này thuộc loại sét, màu nâu xám, nâu vàng, chứa dăm sạn.

Do qui trình thí nghiệm nén ba trục xác định mặt bao phá hoại Mohr-Coulomb mở rộng cho đất không bão hòa đòi hỏi nhiều thời gian, trong phạm vi bài báo, tác giả lựa chọn các mẫu đất tàn tích phong hóa hoàn toàn đại diện cho khu vực nghiên cứu để tiến hành thí nghiệm nén ba trục.

Tính chất cơ lý của đất được xác định theo qui trình thí nghiệm tiêu chuẩn Việt Nam, các chỉ tiêu đặc trưng được nêu trong bảng 1.

**Bảng 1. Một số chỉ tiêu tính chất cơ lý của mẫu đất dùng trong nghiên cứu**

Các chỉ tiêu	Ký hiệu	Đơn vị	Mẫu thí nghiệm
Tỷ trọng	$G_s$		2,710
Giới hạn chảy	$W_l$	%	52,60
Giới hạn dẻo	$W_p$	%	34,47
Chỉ số dẻo	$I_p$	%	18,13
Khối lượng đơn vị khô lớn nhất	$\rho_{dmax}$	T/m <sup>3</sup>	1,550
Độ ẩm tốt nhất	$W_{opt}$	%	24,50

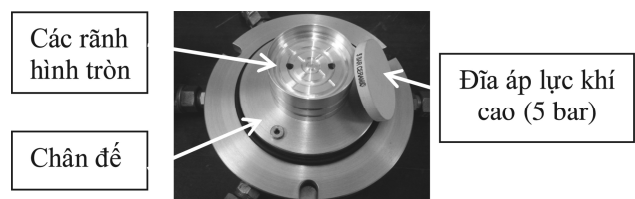
## 3. THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

### 3.1. Thiết bị thí nghiệm

Thí nghiệm cắt mẫu đất không bão hòa được tiến hành trên máy nén ba trục cải tiến (tương tự loại dùng của Fredlund và Rahardjo năm 1993), cho phép xác định áp lực nước lỗ rỗng  $u_w$  và khí lỗ rỗng,  $u_a$ . 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 1. Đặc điểm của buồng ba trục 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. Đĩa tiếp nhận khí cao áp dùng trong nghiên cứu là đĩa gốm loại 5 bar (500 kPa) như mô tả trong hình 2.



Hình 1. Hệ thống máy ba trục cải tiến dùng trong phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật, trường Đại học Thủy lợi



Hình 2. Ngăn chứa nước có các rãnh hình vòng tròn ở phần đầu của chân đế buồng ba trục và đĩa áp lực khí cao

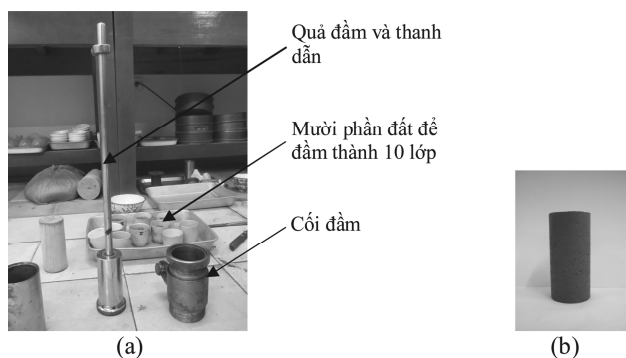
### 3.2. Phương pháp thí nghiệm

Cường độ chống cắt không bão hòa được xác định bằng thí nghiệm nén ba trục cố kết thoát nước+khí (CD). Tác giả áp dụng qui trình thí

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

### 3.2.1. Chuẩn bị mẫu

Các mẫu đất thí nghiệm 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. Số lượng mẫu đất đầm nén cho thí nghiệm là 9 mẫu.



Hình 3. Chế bị mẫu đất thí nghiệm:

(a) Bộ dụng cụ tạo mẫu; (b) Mẫu đất thí nghiệm sau khi được chế bị

### 3.2.2. 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 và Rahardjo, 1993). 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. 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.

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  $(\sigma_3 - u_a)$  theo yêu cầu của giai đoạn cân bằng lực hút dính và giai đoạn cắt. 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.

Quá trình thí nghiệm được chuyển sang giai đoạn cân bằng lực hút dính để tạo lực hút dính bên trong mẫu sau khi giai đoạn cố kết đã kết thúc. 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 hay áp lực nước lỗ rỗng dư tiêu tán hoàn toàn.

Khi đạt điều kiện cân bằng dưới các áp lực tác dụng (tức là  $\sigma_3$ ,  $u_a$  và  $u_w$ ), mẫu được cắt bằng cách nén với tốc độ biến dạng thích hợp. Trong nghiên cứu này, tác giả chọn tốc độ biến dạng là 0,02 mm/phút. Quá trình cắt kết thúc khi đạt chỉ tiêu phá hoại định trước (tức độ lệch ứng suất cực đại). Nếu không đạt được điều kiện phá hoại như nêu trên thì ngừng thí nghiệm khi đạt đến 25% biến dạng dọc trục.

Thí nghiệm nén ba trục cố kết thoát nước+khí (CD) được thực hiện tại các lực hút dính và các áp lực hông thực khác nhau để nghiên cứu mặt bao phá hoại cho đất không bão hòa. Lực hút dính ban đầu lớn nhất được chọn trong nghiên cứu này là 200 kPa. 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 để thí nghiệm 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. Các thí nghiệm ba trục cố kết thoát nước+khí được trình bày trong bảng 2. Ký hiệu các mẫu đất thí nghiệm là CDx-y, trong đó x-y nói lên rằng thí nghiệm được thực hiện dưới áp lực hông thực là x kPa và lực hút dính ban đầu là y kPa.

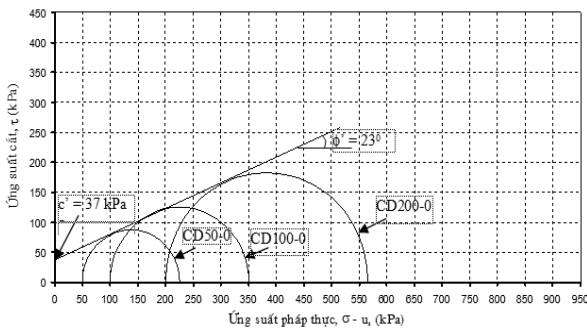
**Bảng 2. Các thí nghiệm ba trục có kết thoát nước+khí**

Áp lực buồng thực (kPa)	Lực hút dính, (kPa)		
	0	100	200
50	CD50-0	CD50-100	CD50-200
100	CD100-0	CD100-100	CD100-200
200	CD200-0	CD200-100	CD200-200

**4. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM**

Các ứng suất tại trạng thái phá hoại của các mẫu dùng để thiết lập các vòng tròn Mohr cho thí nghiệm nén ba trục có kết thoát nước+khí (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.

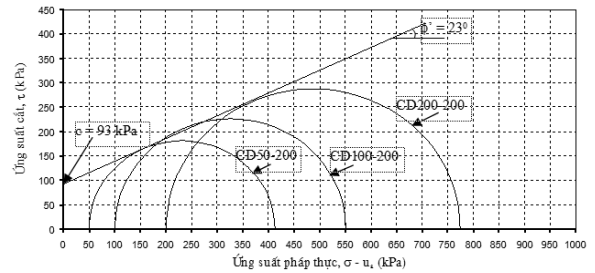
Đường bao phá hoại Mohr-Coulomb từ thí nghiệm ba trục có kết thoát nước+khí trên các mẫu đất đầm nén dưới các áp lực hông thực khác nhau (50kPa, 100kPa và 200kPa) và lực hút dính bằng 0 kPa được trình bày trong hình 4. Kết quả cho thấy khi lực hút dính của mẫu bằng 0 kPa (mẫu bão hòa), mẫu có lực dính  $c' = 37$  kPa và góc ma sát trong  $\phi' = 23^\circ$ .



*Hình 4. Đường bao phá hoại Mohr – Coulomb mở rộng xác định từ thí nghiệm ba trục có kết thoát nước+khí (CD) tại lực hút dính bằng 0 kPa*

Đường bao phá hoại Mohr-Coulomb cho mẫu đầm nén ứng với lực hút dính bằng 200 kPa được thể hiện trong hình 5. Khi mẫu không bão hòa với lực hút dính > 0kPa, lực dính trong mẫu là lực dính toàn phần bao gồm lực dính hiệu quả và lực hút dính. Như quan sát thấy ở hình 5, lực hút dính tăng lên 200 kPa làm lực dính toàn phần trong

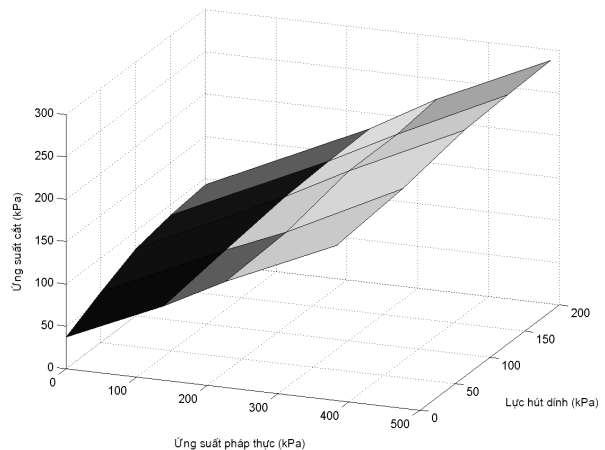
mẫu tăng,  $c = 93$  kPa. Góc ma sát trong của mẫu vẫn bằng  $23^\circ$ . Như vậy, ta thấy lực dính  $c$  tăng khi lực hút dính tăng.



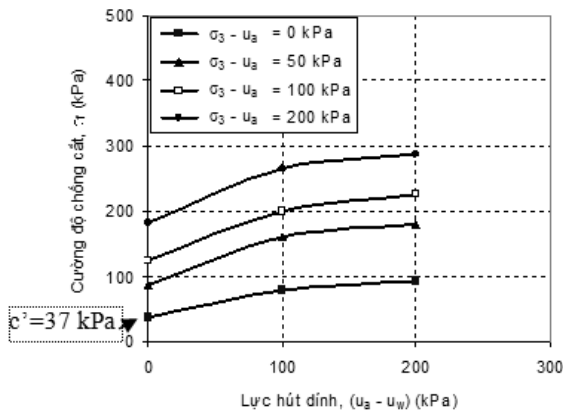
*Hình 5. Đường bao phá hoại Mohr – Coulomb mở rộng xác định từ thí nghiệm ba trục có kết thoát nước+khí (CD) tại lực hút dính bằng 200 kPa*

Mặt bao phá hoại Mohr-Coulomb mở rộng được cho trong hình 6. Trên hình 6, ta thấy: khi lực hút dính tăng, góc  $\phi^b$  sẽ giảm từ giá trị  $\phi^b = \phi'$  tại lực hút dính bằng 0 kPa đến giá trị  $\phi^b = 6^\circ$  ứng với giá trị lực hút dính bằng 200 kPa. Góc ma sát trong  $\phi'$  của mẫu dường như vẫn giữ nguyên bằng  $23^\circ$  khi lực hút dính tăng (hình 6). Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đó của các nhà khoa học trên thế giới (Ho và Fredlund, 1982).

Mặt bao phá hoại chiếu trên mặt phẳng  $\tau \sim (u_a - u_w)$  theo các đường đồng mức như mô tả trong hình 7. Hình chiếu mặt bao phá hoại biểu thị sự tăng cường độ chống cắt khi lực hút dính tăng tại một ứng suất pháp thực riêng. Quy luật tăng của cường độ chống cắt theo lực hút dính có tính phi tuyến. Tại cùng lực hút dính, áp lực hông thực càng lớn thì cường độ chống cắt càng tăng.



*Hình 6. Mặt bao phá hoại Mohr-Coulomb mở rộng xác định được từ thí nghiệm nén ba trục có kết thoát nước+khí (CD) mẫu đất tàn tích*



Hình 7. Các hình chiếu ngang của mặt bao phá hoại trên mặt phẳng  $\tau \sim (u_a - u_w)$  xác định từ thí nghiệm nén ba trục CD của mẫu đất thí nghiệm

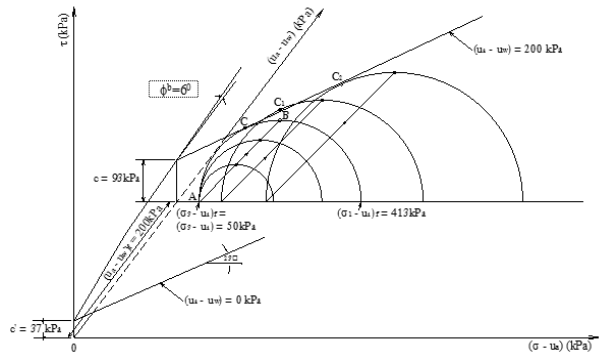
Các đường ứng suất trong thí nghiệm cố kết thoát nước+khí khi lực hút dính không đổi được trình bày trong hình 8. Điểm ứng suất A biểu thị trạng thái ứng suất lúc cuối cố kết khi mẫu đất có áp lực hạn hông thực là  $(\sigma_3 - u_a) = 50\text{kPa}$  và lực hút dính  $(u_a - u_w) = 200\text{ kPa}$ . Vì đất bị nén trong khí cắt, điểm ứng suất chuyển từ A tới B dọc theo đường ứng suất  $\overline{AB}$ . Điểm ứng suất B biểu thị trạng thái ứng suất tại điều kiện phá hoại.

Khi chuyển từ điểm ứng suất A tới điểm ứng suất B, đường kính vòng Mohr hay độ lệch ứng suất tăng cho tới khi đạt điều kiện phá hoại tại điểm ứng suất B. Một tiếp tuyến với các vòng Mohr lúc phá hoại (qua các điểm ứng suất C, C<sub>1</sub> và C<sub>2</sub>) biểu thị đường bao phá hoại ứng với lực hút dính dùng trong thí nghiệm. Đường bao phá hoại có góc dốc  $\phi' = 23^\circ$  đối với trục  $(\sigma - u_a)$ . Góc ma sát bằng góc ma sát trong hiệu quả, nhận được từ các thí nghiệm cường độ chống cắt trên các mẫu đất bão hòa.

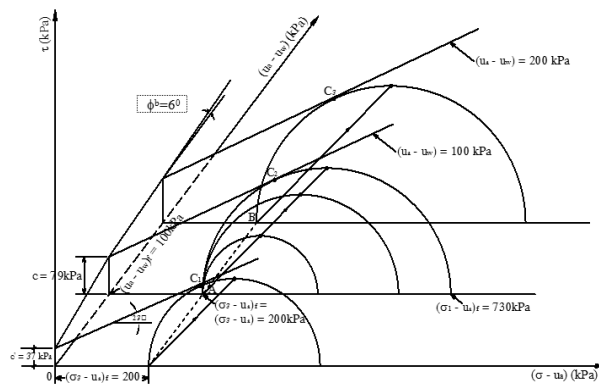
Hình 9 biểu thị các đường ứng suất trong thí nghiệm dưới áp lực hông thực không đổi với các lực hút dính khác nhau. Đường kính vòng Mohr phá hoại tăng khi lực hút dính lúc phá hoại tăng. Vòng Mohr lúc phá hoại tiếp tuyến với đường bao phá hoại ứng với lực hút dính dùng trong thí nghiệm (tại các điểm ứng suất C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> và C<sub>3</sub>).

Kéo dài đường bao phá hoại tới cắt mặt phẳng cường độ chống cắt theo  $(u_a - u_w)$  sẽ cho các khoảng chặn lực dính (hình 9). Một đường nối các

khoảng chặn lực dính tại các lực hút dính khác nhau cho ta góc  $\phi^b$ .



Hình 8. Các đường ứng suất trong thí nghiệm cố kết thoát nước+khí (CD) tại các áp lực hạn hông thực khác nhau dưới lực hút dính không đổi



Hình 9. Các đường ứng suất trong thí nghiệm cố kết thoát nước+khí (CD) tại các lực hút dính khác nhau dưới áp lực hông thực không đổi

## 5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày kết quả 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 cố kết thoát nước+khí (CD). Các kết quả thí nghiệm cho thấy: tại trạng thái bão hòa các mẫu đất thí nghiệm có góc ma sát trong  $\phi' = 23^\circ$  và lực dính đơn vị  $c' = 37\text{ kPa}$ , khi lực hút dính tăng, góc  $\phi^b$  sẽ giảm dần từ giá trị  $\phi^b = \phi' = 23^\circ$  tại lực hút dính bằng 0 kPa đến giá trị  $\phi^b = 6^\circ$  ứng với giá trị lực hút dính bằng 200 kPa. Góc ma sát trong  $\phi'$  của mẫu đất nén dẹt như vẫn giữ nguyên tương ứng bằng  $23^\circ$  khi lực hút dính tăng. Cường độ chống cắt trong mẫu tăng khi lực hút dính tăng. Quy luật tăng của cường độ chống cắt theo lực hút dính

có tính phi tuyến. Sự tăng cường độ chống cắt của đất không bão hòa theo lực hút dính trong đất là một trong các yếu tố quan trọng dẫn đến làm tăng tính ổn định của mái đất không bão hòa.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- FREDLUND, D.G., RAHARDJO, H. (1998), "*Cơ học đất cho đất không bão hòa*" (bản dịch), tập 1+2. NXB Giáo dục.
- TCVN 4195-1995 ÷ 4202-1995 (1996), Tiêu chuẩn Việt Nam: "*Đất xây dựng*", Bộ Xây dựng. NXB Xây dựng. Hà Nội.
- Fredlund, D.G. and Rahardjo, H. (1993), "*Soil Mechanics for Unsaturated Soils*", John Wiley & Sons, Inc.
- Fredlund, D.G., Morgenstern, N.R., and Widger, R.A. (1978), "*The shear strength of unsaturated soils*", Canadian Geotechnical Journal, 15(3): 313–321.
- Head, K.H. (1986), "*Manual of Soil Laboratory Testing*", John Wiley and Sons, Inc., Vol. 3, pp. 942-945.
- 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:

#### THE INFLUENCE OF THE MATRIC SUCTION TO THE SHEAR STRENGTH CHARACTERISTIC OF RESIDUAL SOIL WEATHERED FROM MUDSTONE OF BINH LIEU FORMATION IN QUANG NINH REGION

*Shear strength is one of the basis parameters of unsaturated soils and plays an important role in soil slope stability. This paper researches on the shear strength characteristic of the residual soil weathered from mudstone of Binh Lieu formation in Quang Ninh region by the consolidated drained triaxial shearing test (CD) which uses the modified triaxial apparatus in the Geotechnical laboratory in Thuyloi University. The results show that angle of internal friction,  $\phi'$ , of the soil is nearly constant but the angel  $\phi$  decreases and the shear strength increases when the matric suction of the unsaturated soil increases.*

**Keywords:** Shear strength, unsaturated soil mechanics, consolidated drained triaxial tests (CD), matric suction.

---

Ngày nhận bài: 17/10/2020

Ngày chấp nhận đăng: 29/12/2020