

NGHIÊN CỨU ĐỘ LÚN CỦA ĐẤT LOẠI SÉT BẢO HÒA NƯỚC CHỊU CẮT TRƯỢT ĐỘNG CHU KỲ ĐƠN PHƯƠNG VÀ ĐA PHƯƠNG TRONG ĐIỀU KIỆN KHÔNG THOÁT NƯỚC

Trần Thanh Nhân^{1*}, Phạm Công Nhật²

¹Khoa Địa lý – Địa chất, Trường Đại học Khoa học Huế

²Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Công trình Giao thông 5

* Email: nhan_hueuni@yahoo.com

TÓM TẮT

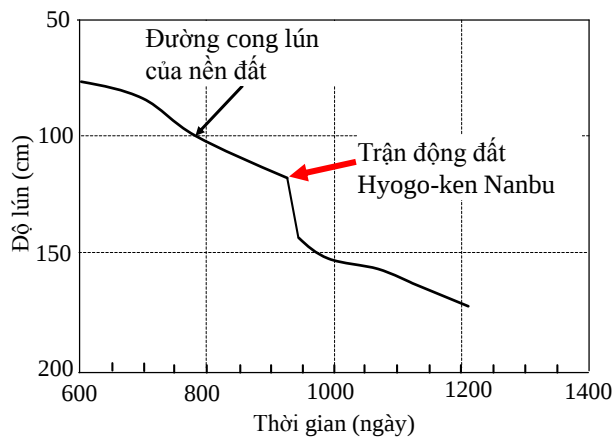
Trong bài báo này, đất sét kaolin bảo hòa có kết bình thường được thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước với độ biến dạng và phương cắt trượt khác nhau. Kết quả thí nghiệm cho thấy độ biến dạng trượt, phương cắt trượt và độ lệch pha có ảnh hưởng rất lớn đến tính chất áp lực nước lỗ rỗng và đặc tính nén lún của đất. Trong khi đó ảnh hưởng của áp lực cố kết, trong giới hạn từ 49 kPa đến 98 kPa, lên các tính chất này là không đáng kể, đồng thời đặc tính cố kết của mẫu đất không phụ thuộc vào lịch sử chịu tải trọng động. Hệ số áp lực nước lỗ rỗng và độ lún của đất sét kaolin trong điều kiện đơn phương và đa phương bằng nhau nếu độ biến dạng của thí nghiệm đơn phương gấp hai lần thí nghiệm đa phương. Phương pháp tính lún truyền thống có thể kết hợp với các chỉ số nén ép C_{dynU} và C_{dynM} để dự báo độ lún cho nền đất loại sét bảo hòa chịu cắt trượt động đơn phương và đa phương không thoát nước.

Từ khóa: Cắt trượt đơn giản chu kỳ, đất loại sét, độ lún, không thoát nước

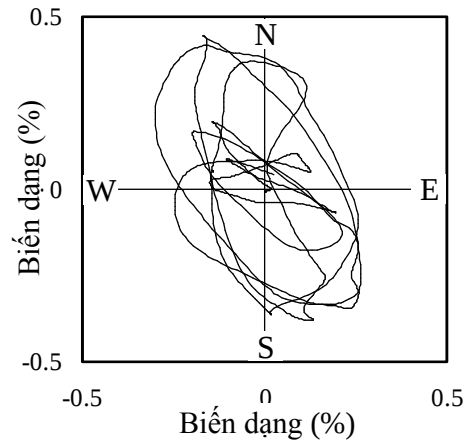
1. GIỚI THIỆU

Tác dụng của tải trọng động chu kỳ lên nền đất bảo hòa nước sẽ dẫn đến sự hình thành áp lực nước lỗ rỗng. Trong trường hợp thời gian gia tải ngắn như thời gian xảy ra một trận động đất (trung bình khoảng 20 ~ 30 giây) hoặc lớp đất chịu tải là đất loại sét có tính thấm nước kém thì tác động của tải trọng động được xem là trong điều kiện không thoát nước và trong điều kiện này, áp lực nước lỗ rỗng sẽ tích lũy và tăng lên cùng với quá trình gia tải. Sau khi kết thúc gia tải, nước lỗ rỗng trong đất thoát ra ngoài và áp lực nước lỗ rỗng giảm dần theo thời gian gây ra quá trình tái nén ép (recompression) trong đất mà trong thực tế người ta thường gọi là quá trình nén lún thẳng đứng. Độ lún sau cắt trượt (post-cyclic settlement) hay độ lún sau động đất (post-earthquake settlement) của nền đất đã được nghiên cứu và quan trắc sau nhiều trận động đất như động đất Hyogo-ken Nanbu năm 1995 (Hình 1) hoặc động đất Niigata năm 1964 tại Nhật Bản. Các nghiên cứu gần đây cho thấy, sau siêu động đất Tohoku Pacific năm 2011, độ lún của nền đất tại một số khu vực miền Đông Bắc Nhật Bản lên đến 60 cm gây lún và nghiêng nhiều công trình xây dựng [1]. Ngoài ra, nhiều nghiên cứu khẳng định rằng, nền đất bị biến dạng cắt trượt động đa phương với độ biến dạng trượt và tần số thay đổi liên tục khi chịu tác động của xung động từ động đất [2]. Hình 2

thể hiện quỹ đạo biến dạng cắt trượt của nền đất tại độ sâu 16m theo hai hướng Bắc Nam và Đông Tây trong động đất Hyogo-ken Nanbu năm 1995 [3], dễ dàng thấy rằng biến dạng của nền đất trong động đất là biến dạng cắt trượt động đa phương.



Hình 1. Độ lún nền đất tại cảng Port Island (Nhật Bản) trước và sau động đất Hyogo-ken Nanbu năm 1995 [4].



Hình 2. Quỹ đạo của độ biến dạng trượt trong trận động đất Hyogo-ken Nanbu năm 1995 [3].

Độ lún và đặc tính cổ kết của đất nền dưới tác dụng của tải trọng động chu kỳ có thể chia thành hai kiểu là kiểu dẫn đến phá hủy và kiểu không gây ra phá hủy [5]. Trong đó, độ lún do điều kiện cắt trượt động trong động đất gây ra thuộc vào kiểu thứ nhất và có thể được mô phỏng bằng thí nghiệm cắt trượt chu kỳ không thoát nước. Ohara và Matsuda [6] đã nghiên cứu ảnh hưởng của độ biến dạng trượt (γ), số lượng chu kỳ (n) và hệ số quá cố kết (OCR) lên sự hình thành và phát triển của áp lực nước lỗ rỗng và đặc tính nén lún sau cắt trượt bằng thiết bị cắt trượt động chu kỳ đơn phương theo mô hình điều khiển độ biến dạng (strain-controlled). Yasuhara và Andersen [7] đã nghiên cứu đặc tính cổ kết của đất loại sét cổ kết bình thường chịu chuỗi cắt trượt động chu kỳ đơn phương không thoát nước theo mô hình điều khiển ứng suất (stress-controlled) xen kẽ với các giai đoạn tái nén ép (cho thoát nước lỗ rỗng). Nhìn chung, tính chất áp lực nước lỗ rỗng và độ lún sau cắt trượt của đất loại sét chịu cắt trượt động cũng như phương pháp tính toán đã được nghiên cứu và đề xuất trong nhiều công trình khác nhau [2, 6]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này đều dựa trên kết quả thí nghiệm ba trục động hoặc thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương nên không thể phản ánh được ảnh hưởng của phương cắt trượt trong điều kiện cắt trượt động đa phương. Trong khi đó, ảnh hưởng của phương cắt trượt lên tính chất động học của đất loại cát bao gồm tính chất suy giảm ứng suất hữu hiệu và độ lún sau hóa lỏng đã được khẳng định, nghiên cứu định lượng trong nhiều công trình và được áp dụng vào tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu tải trọng động ở Nhật Bản từ năm 1990.

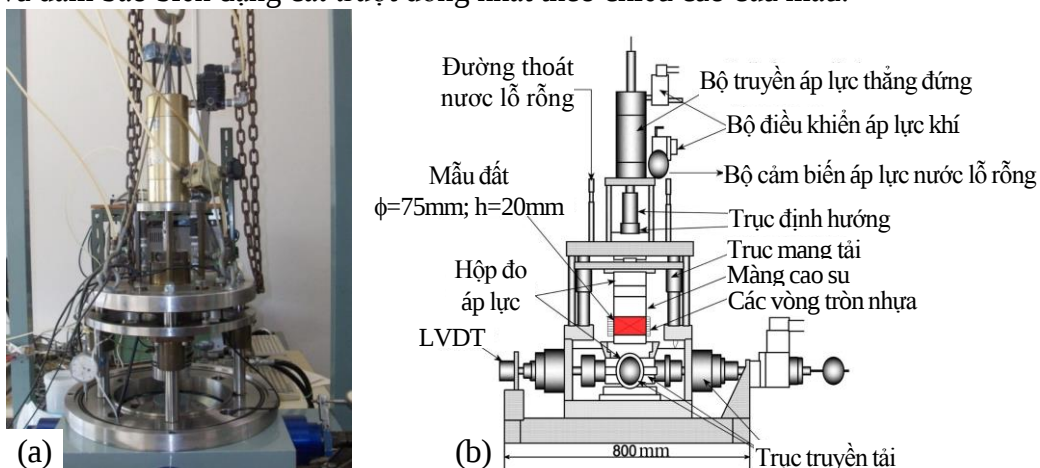
Vì vậy, trong nghiên cứu này, các mẫu đất sét kaolin cổ kết bình thường được thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước theo mô hình điều khiển độ biến dạng. Tính chất nén lún của đất sau quá trình cắt trượt động không thoát nước cũng như ảnh hưởng của phương cắt trượt lên tính chất này được

nguyên cứu chi tiết. Đồng thời, phương pháp tính toán độ lún cổ điển do Ohara và Matsuda [6] phát triển cho điều kiện cắt trượt động đơn phương sẽ được sử dụng và kiểm tra khả năng áp dụng vào điều kiện cắt trượt động đa phương.

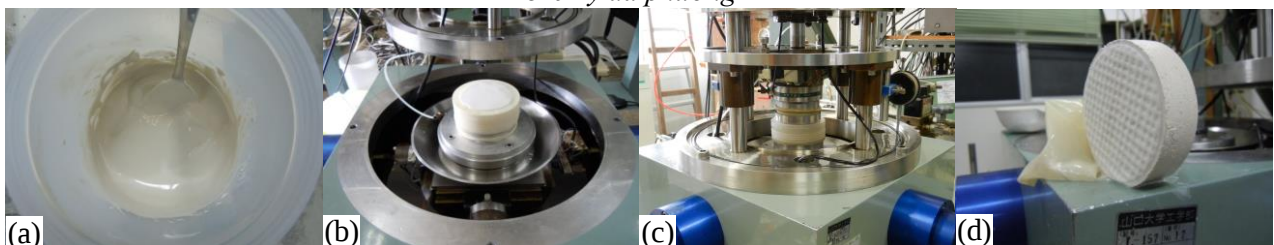
2. THÍ NGHIỆM CẮT TRƯỢT ĐỘNG ĐƠN PHƯƠNG VÀ ĐA PHƯƠNG KHÔNG THOÁT NƯỚC

2.1. Thiết bị thí nghiệm

Ảnh chụp và sơ đồ các bộ phận của thiết bị thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đa phương được thể hiện trong Hình 3. Thông qua hai phương cắt trượt vuông góc với nhau, thiết bị này cho phép tác dụng lên mẫu đất (đặt trong hộp cắt) nhiều kiểu tải trọng động khác nhau. Hình 4 là ảnh chụp mẫu đất cho các giai đoạn thí nghiệm. Hộp cắt trượt là hộp cắt kiểu Kjellman, trong đó mẫu đất được bảo vệ bằng màng cao su. Bên ngoài màng cao su là 15 đến 16 vòng nhựa xếp chồng lên nhau. Mỗi vòng có đường kính trong là 75,4mm, dày 2mm. Bằng cách sắp xếp này, mẫu đất không bị thay đổi thể tích theo phương ngang nhưng vẫn chịu biến dạng cắt trượt trong quá trình thí nghiệm. Bề mặt của mỗi vòng nhựa được bôi trơn bằng bột Silicate Magiê nhằm giảm thiểu ma sát và đảm bảo biến dạng cắt trượt đồng nhất theo chiều cao của mẫu.



Hình 3. Hình chụp (a) và sơ đồ các bộ phận (b) của thiết bị thí nghiệm cắt trượt động đơn giản chu kỳ đa phương



Hình 4. Ảnh chụp (a) đất sét kaolin dạng vữa sau khi hút khí trong bình chân không, (b) mẫu đất trong hộp cắt trước khi thí nghiệm cố kết, (c) mẫu đất trước khi thí nghiệm cắt trượt chu kỳ không thoát nước và (d) mẫu đất sau khi kết thúc thí nghiệm.

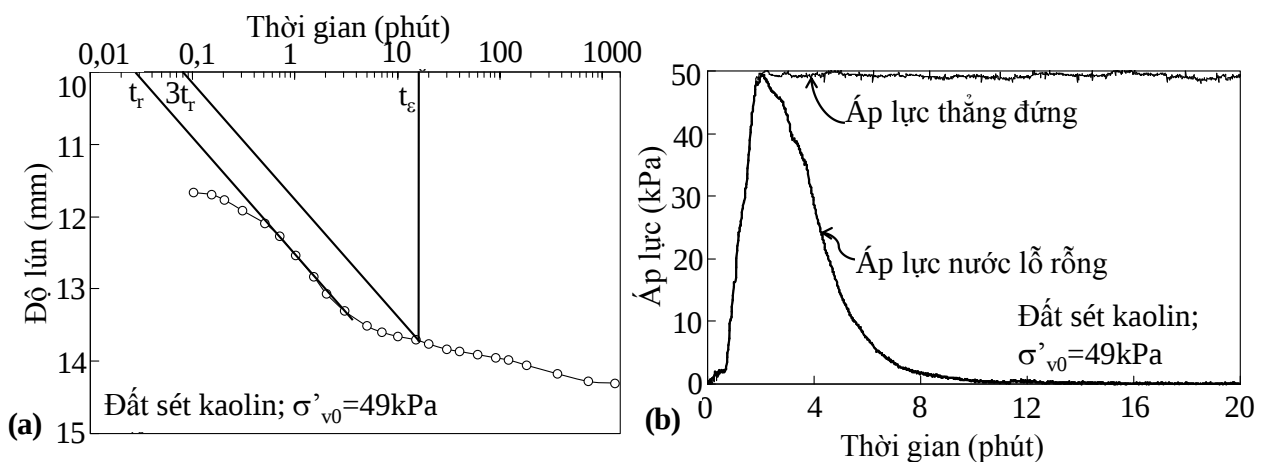
Áp lực nước lỗ rỗng được truyền từ đáy mẫu đến bộ cảm biến áp lực bằng ống

dẫn có đường kính 3mm chứa đầy nước (đã đuổi hết khí). Do chiều cao của mẫu thí nghiệm tương đối nhỏ so với đường kính và độ biến dạng trượt đồng nhất từ đáy đến đỉnh mẫu nên sự phân bố của áp lực nước lỗ rỗng được xem là đồng nhất trong toàn bộ thể tích mẫu [6].

2.2. Mẫu thí nghiệm

Vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này là đất sét kaolin có một số chỉ tiêu cơ lý như sau: tỷ trọng $G_s = 2,83$, độ ẩm giới hạn chảy $w_L = 47,8\%$, độ ẩm giới hạn dẻo $w_p = 22,3\%$ và chỉ số nén ép $C_c = 0,305$. Để chuẩn bị mẫu đất thí nghiệm, bột đất sét kaolin khô được trộn với nước cát đến độ ẩm 80% (dạng vữa). Sau khi giữ cho độ ẩm ổn định trong 1 ngày, đất được hút khí trong hộp chân không khoảng 30 phút và sau đó được đổ vào màng cao su đã đặt sẵn trong hộp cắt (Hình 4a và 4b). Phương pháp chuẩn bị mẫu này đã được mô tả và áp dụng trong nhiều công trình nghiên cứu trước đây [4, 6].

Do đối tượng của nghiên cứu này là đất loại sét yếu và có kết bình thường phân bố trong cấu trúc nền bão hòa có độ sâu từ 5m đến 10m nên chúng tôi sử dụng áp lực cố kết là $\sigma_{v0} = 49$ kPa và 98 kPa. Ngoài ra, các nghiên cứu của Ohara và Matsuda [6, 7] đã khẳng định, trong giới hạn áp lực từ 49 kPa đến 98 kPa, ảnh hưởng của áp lực cố kết lên đặc tính áp lực nước lỗ rỗng và độ lún của đất loại sét bão hòa chịu cắt trượt động đơn phương là không đáng kể. Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi thực hiện một số thí nghiệm cắt trượt động đa phương cho giá trị $\sigma_{v0} = 98$ kPa nhằm kiểm tra ảnh hưởng của áp lực cố kết lên các tính chất này trong điều kiện cắt trượt động đa phương.



Hình 5. (a) Tính toán thời gian kết thúc quá trình cố kết sơ cấp bằng phương pháp $3t_r$ và (b) sự suy giảm áp lực nước lỗ rỗng theo thời gian trong thí nghiệm cố kết trên đất sét kaolin trong hộp cắt

Kết quả tính toán thời gian kết thúc quá trình cố kết sơ cấp bằng phương pháp $3t_r$ [8] (đã và đang áp dụng tại Nhật Bản) và kết quả quan trắc sự suy giảm áp lực nước lỗ rỗng của mẫu đất trong hộp cắt trong hình 5a và 5b cho thấy quá trình cố kết sơ cấp của đất sét kaolin sử dụng trong nghiên cứu này kết thúc sau khoảng 10 ~ 15 phút. Sau khi kết thúc quá trình cố kết, mẫu thí nghiệm có hệ số rỗng ban đầu $e_0 = 1,11 - 1,19$ cho $\sigma_{v0} = 49$ kPa và 1,05 - 1,08 cho $\sigma_{v0} = 98$ kPa với đường kính là 75mm và chiều cao khoảng 20mm. Nhằm đảm bảo độ bão hòa cho thí nghiệm trong điều kiện không thoát nước, các

mẫu đất phải đạt hệ số áp lực lỗ rỗng (B -value) $B > 0,95$ trước khi thí nghiệm cắt trượt.

2.3. Các bước thí nghiệm

Sau khi kết thúc cố kết, mẫu đất được thí nghiệm cắt trượt chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước theo thông số đầu vào gồm số lượng chu kỳ (n), độ biến dạng (γ) và độ lệch pha (θ) đã được lập trình. Trong quá trình thí nghiệm, mẫu đất được đảm bảo không bị biến dạng thẳng đứng nhằm thỏa mãn điều kiện bảo toàn thể tích mẫu và điều kiện này cho phép mô phỏng điều kiện không thoát nước của thí nghiệm cắt trượt động.

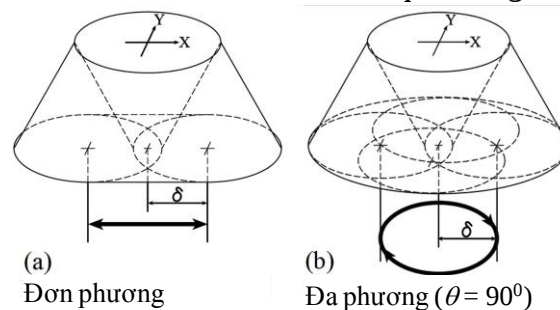
Bảng 1. Thông số của các thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương.

Thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương			
Tần số f (Hz)	Số lượng chu kỳ n	Độ biến dạng trượt γ (%) ⁽¹⁾	
0,5	200	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 2,0	
Thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đa phương			
Tần số f (Hz)	Số lượng chu kỳ n	Độ lệch pha θ (°)	Độ biến dạng trượt γ (%) ⁽²⁾
0,5	200	20, 45, 70, 90	0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 2,0

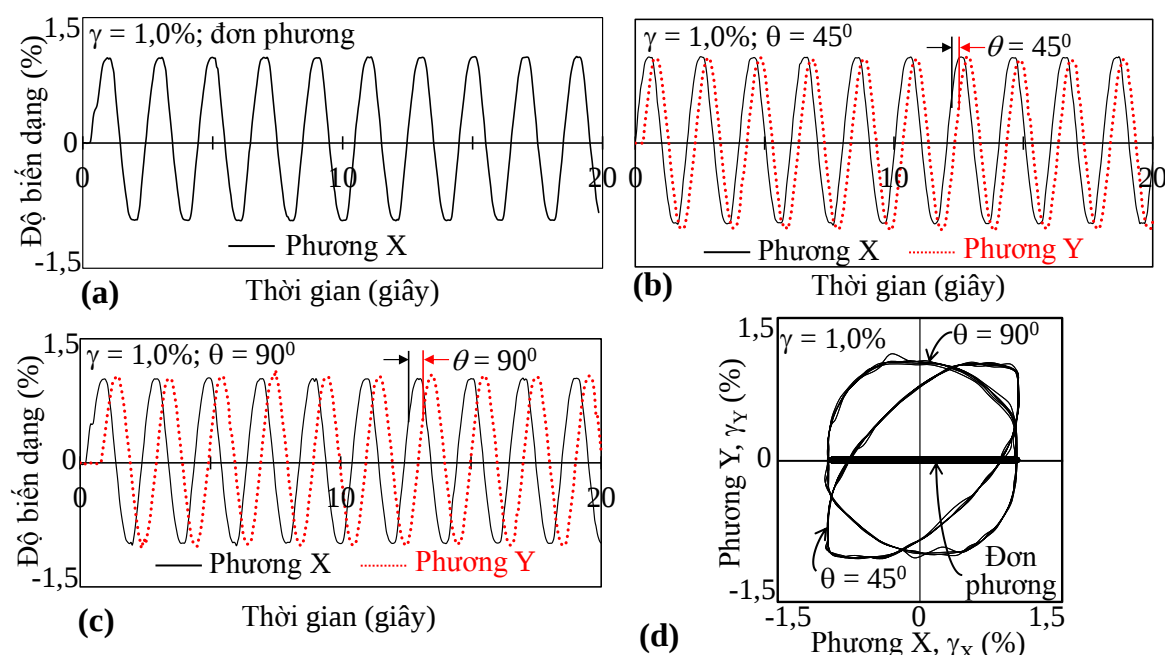
⁽¹⁾ Thí nghiệm đơn phương: $\gamma_x = \gamma$

⁽²⁾ Thí nghiệm đa phương: $\gamma_x = \gamma_y = \gamma$

Trong nghiên cứu này, các mẫu đất được thí nghiệm cắt trượt chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước theo mô hình điều khiển độ biến dạng. Thông số của các thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 1. Biên độ biến dạng thay đổi từ $\gamma = 0,1\%$ đến $\gamma = 2,0\%$, số lượng chu kỳ là $n = 200$ và các thí nghiệm đa phương có độ lệch pha là $\theta = 20^\circ, 45^\circ, 70^\circ$ và 90° . Biến dạng cắt trượt tác dụng lên mẫu đất có dạng hình sin với tần số $f = 0,5$ Hz và do đó thời gian cho mỗi thí nghiệm là 400 giây. Độ chính xác của việc quan trắc sự thay đổi áp lực nước lỗ rỗng trong các thí nghiệm cắt trượt có tần số và thời gian cắt trượt này đã được khẳng định và áp dụng trong các nghiên cứu trước đây [6, 9]. Trong quá trình thí nghiệm cắt trượt, áp lực nước lỗ rỗng, ứng suất thẳng đứng, độ biến dạng và ứng suất ngang theo hai phương X và Y được ghi lại với tốc độ 1 số liệu cho 0,05 giây và do đó 40 số liệu được máy tính ghi lại cho mỗi chu kỳ cắt trượt nhằm đảm bảo độ chính xác và chi tiết của kết quả thí nghiệm.



Hình 6. Mô hình biến dạng của mẫu đất trong thí nghiệm (a) đơn phương và (b) đa phương ($\theta = 90^\circ$)



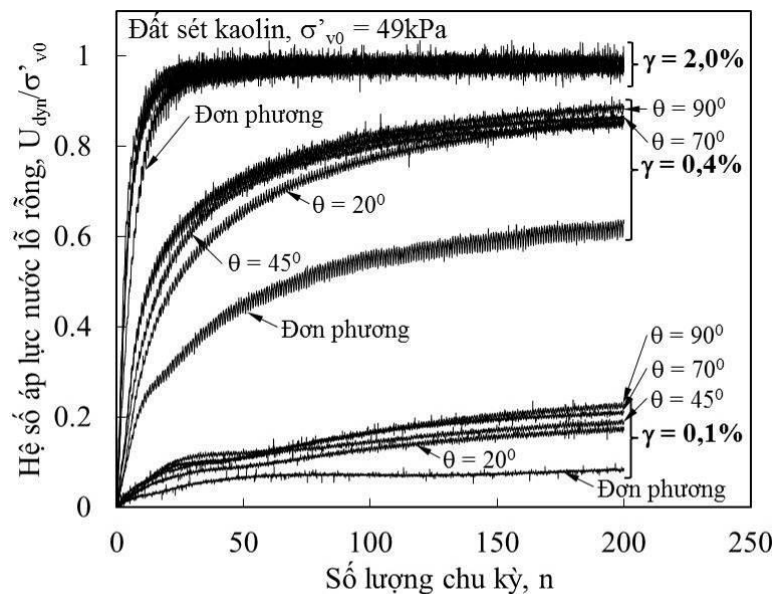
Hình 7. (a), (b) và (c) lần lượt là kết quả ghi lại sóng biến dạng trong các thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương, đa phương có $\theta = 45^\circ$ và đa phương có $\theta = 90^\circ$, và (d) là quỹ đạo đường biến dạng trên mặt phẳng nằm ngang.

Hình 6 thể hiện mô hình biến dạng đặt trung của mẫu trong điều kiện cắt trượt đơn phương (Hình 6a) và đa phương có $\theta = 90^\circ$ (Hình 6b). Độ biến dạng trượt được xác định bằng tỷ số giữa biên độ biến dạng ngang lớn nhất δ với chiều cao ban đầu của mẫu. Hình 7 là kết quả ghi lại sóng cắt trượt chu kỳ và quỹ đạo của độ biến dạng trượt trên mặt phẳng nằm ngang cho các thí nghiệm cắt trượt chu kỳ đơn phương và đa phương ($\theta = 45^\circ$ và 90°) có độ biến dạng $\gamma = 1,0\%$. Trong mỗi thí nghiệm, điều kiện cắt trượt đơn phương và đa phương có độ lệch pha khác nhau được máy tính điều khiển từ phương X và Y vuông góc với nhau. Trong thí nghiệm đơn phương, biến dạng trượt tác dụng lên mẫu đất chỉ từ một phương (trong nghiên cứu này là phương X, Hình 7a) nên quỹ đạo của độ biến dạng cắt trượt có dạng đường thẳng (Hình 7d). Trong các thí nghiệm đa phương, biến dạng trượt tác dụng đồng thời lên mẫu đất từ phương X (γ_X) và phương Y (γ_Y) có biên độ bằng nhau ($\gamma = 1,0\%$) nhưng có độ lệch pha khác nhau (Hình 7b, 7c), do đó quỹ đạo của độ biến dạng có dạng đường elip khi $\theta < 90^\circ$ (trong trường hợp này $\theta = 45^\circ$) và dạng đường tròn khi $\theta = 90^\circ$ (Hình 7d). Ảnh hưởng của phương cắt trượt và độ lệch pha lên hình dạng của đường biến dạng thể hiện rõ trong Hình 7d nên đây là thông số có vai trò quan trọng, ảnh hưởng đến tính chất động học của đất.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

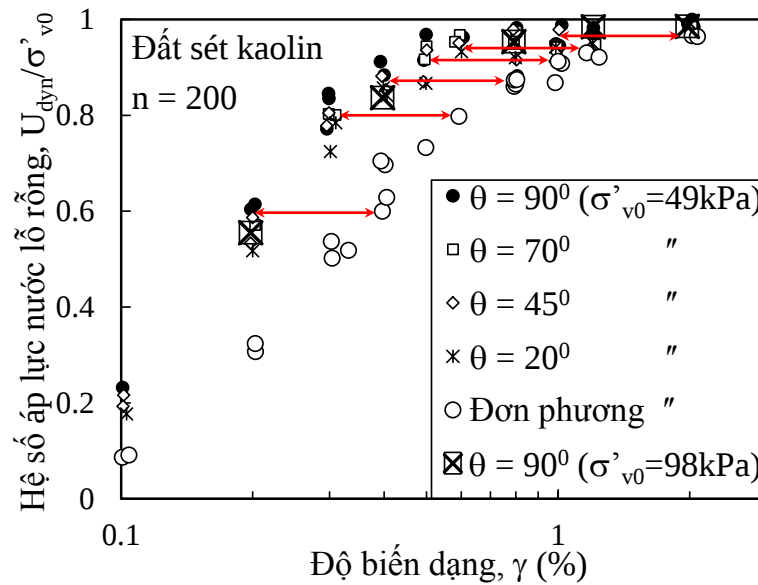
3.1. Áp lực nước lỗ rỗng của đất loại sét chịu cắt trượt động chu kỳ không thoát nước

Dưới điều kiện tải trọng động chu kỳ không thoát nước thì áp lực nước lỗ rỗng (U_{dyn}) trong đất sẽ tăng lên cùng với quá trình gia tải (hay tăng lên theo số lượng chu kỳ n). Sự thay đổi của hệ số áp lực nước lỗ rỗng, định nghĩa bằng U_{dyn}/σ'_{v0} với σ'_{v0} là ứng suất hữu hiệu ban đầu, trong các thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước có độ biến dạng $\gamma = 0,1\%$, $0,4\%$ và $2,0\%$ được thể hiện trong Hình 8. Kết quả thí nghiệm cho thấy áp lực nước lỗ rỗng trong mẫu đất tăng theo số lượng chu kỳ (n) và tại cùng số lượng chu kỳ, thí nghiệm có độ biến dạng trượt (γ) lớn hơn sẽ cho hệ số áp lực nước lỗ rỗng (U_{dyn}/σ'_{v0}) cao hơn. Ngoài ra, tại cùng một giá trị độ biến dạng, hệ số áp lực nước lỗ rỗng trong điều kiện cắt trượt động đa phương cao hơn rất nhiều so với giá trị trong thí nghiệm cắt trượt động đơn phương, và đối với các thí nghiệm động đa phương, áp lực nước lỗ rỗng tăng theo giá trị của độ lệch pha (θ). Kết quả tương tự cũng được thể hiện trong Hình 9 trong đó hệ số áp lực nước lỗ rỗng (U_{dyn}/σ'_{v0}) được vẽ theo độ biến dạng trượt.



Hình 8. Quan hệ giữa hệ số áp lực nước lỗ rỗng (U_{dyn}/σ'_{v0}) và số lượng chu kỳ (n) cho các thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương có $\gamma = 0,1\%$, $0,4\%$ và $2,0\%$

Vì vậy, có thể kết luận rằng, phương cắt trượt và độ biến dạng có ảnh hưởng quan trọng đến sự hình thành và phát triển của áp lực nước lỗ rỗng trong đất loại sét chịu tải trọng động chu kỳ đa phương không thoát nước. Cũng trong Hình 9, kết quả một số thí nghiệm cắt trượt động đa phương ($\theta = 90^\circ$) dưới áp lực thẳng đứng 98 kPa cũng được thể hiện. So sánh kết quả giữa hai giá trị áp lực cố kết cho thấy, trong giới hạn áp lực từ 49 kPa đến 98 kPa, ảnh hưởng của áp lực cố kết lên sự hình thành và phát triển áp lực nước lỗ rỗng trong đất loại sét chịu cắt trượt động đa phương là không đáng kể.



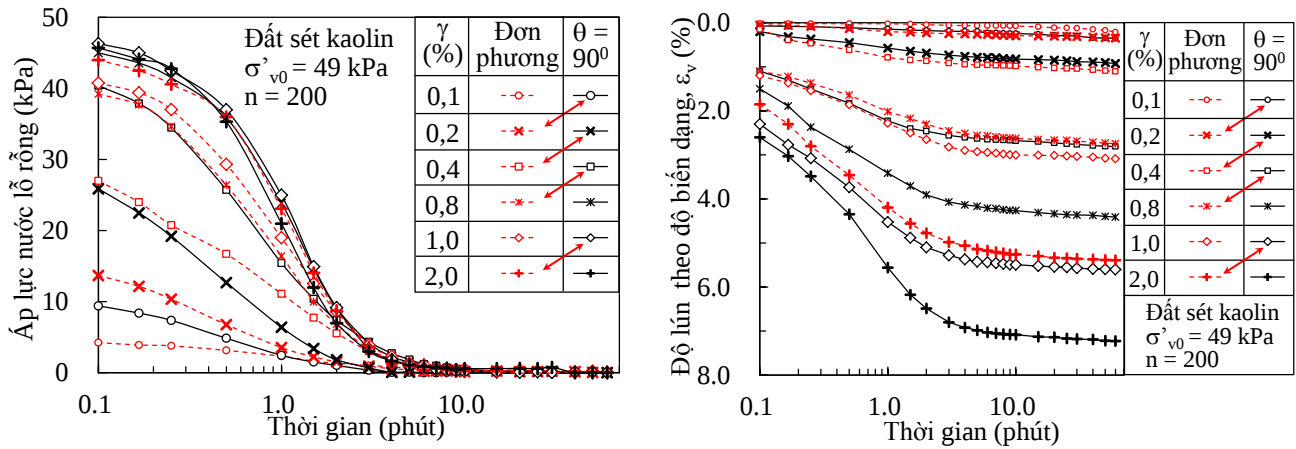
Hình 9. Quan hệ giữa hệ số áp lực nước lỗ rỗng ($U_{\text{dyn}}/\sigma'_{v0}$) và độ biến dạng trượt (γ) cho các thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương có độ lệch pha khác nhau

3.2. Sự suy giảm áp lực nước lỗ rỗng và tính chất nén lún của đất loại sét sau cắt trượt động chu kỳ không thoát nước

Sự suy giảm của áp lực nước lỗ rỗng và tính chất nén lún theo thời gian của đất sét kaolin sau khi chịu cắt trượt động không thoát nước được thể hiện trong Hình 10a và 10b cho một số thí nghiệm đặc trưng. Kết quả trong hai hình này cho thấy quá trình thoát nước lỗ rỗng trong mẫu đất và quá trình tái nén ép của mẫu đất cùng kết thúc sau khoảng 10 ~ 15 phút và thời gian này không phụ thuộc vào độ biến dạng trượt (γ) và phương cắt trượt (đơn phương, đa phương). Sau khoảng thời gian này, áp lực nước lỗ rỗng trong mẫu đất bằng 0 và đường cong quan hệ độ lún - thời gian gần như nằm ngang và không thay đổi. Kết quả này khá phù hợp với kết quả tính toán thời gian kết thúc cố kết sơ cấp bằng phương pháp 3t và kết quả quan trắc sự suy giảm áp lực nước lỗ rỗng được thể hiện trong Hình 5a và 5b. Do đó, có thể kết luận rằng, đối với đất sét kaolin có tính chất thấm tương đối cao thì thời gian thoát nước lỗ rỗng và thời gian kết thúc quá trình cố kết sơ cấp hầu như không chịu ảnh hưởng bởi lịch sử chịu tải trọng động.

Quan hệ giữa độ lún (theo độ biến dạng ε_v) với độ biến dạng trượt (γ) được thể hiện trong hình 11 cho các thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương khác nhau. Có thể thấy rằng, tại cùng số lượng chu kỳ, độ lún của mẫu đất tăng theo độ biến dạng trượt (γ) và tại cùng giá trị độ biến dạng, độ lún do thí nghiệm đa phương lớn hơn thí nghiệm đơn phương. Đối với các thí nghiệm cắt trượt động đa phương có cùng độ biến dạng thì độ lún tăng nhẹ theo độ lệch pha (θ). Cũng trong Hình 11, độ lún sau cắt trượt động đa phương giữa áp lực thẳng đứng 49 kPa và 98 kPa khá phù hợp với nhau và do đó có thể kết luận rằng, trong giới hạn áp lực từ 49 kPa đến 98 kPa, ảnh hưởng của áp lực cố kết lên độ lún sau cắt trượt đa phương là không đáng kể. Kết luận

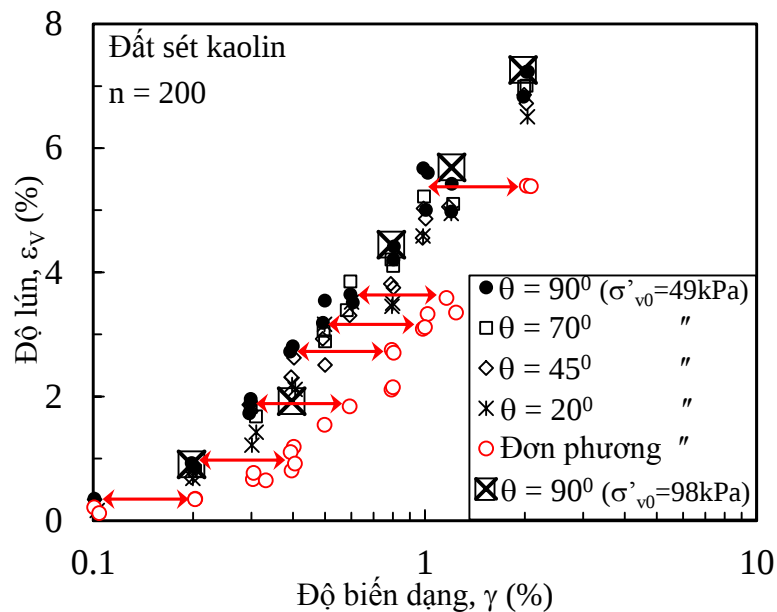
tương tự đã được Ohara và Matsuda [6] khẳng định cho trường hợp cắt trượt động chu kỳ đơn phương.



(a) Quan hệ giữa áp lực nước lỗ rỗng với thời gian

(b) Quan hệ giữa độ lún với thời gian

Hình 10. Quá trình thoát nước lỗ rỗng và tái nén ép theo thời gian của đất sét kaolin sau khi chịu cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước



Hình 11. Quan hệ giữa độ lún (ϵ_v) sau cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước với độ biến dạng trượt (γ)

Ngoài ra, để tìm hiểu thêm ảnh hưởng của phương cắt trượt lên tính chất áp lực nước lỗ rỗng và độ lún sau cắt trượt động, một số so sánh về hệ số áp lực nước lỗ rỗng và độ lún giữa thí nghiệm đơn phương và đa phương được thể hiện bằng mũi tên trong Hình 9, 10 và 11. Có thể thấy rằng, hệ số áp lực nước lỗ rỗng và độ lún do cắt trượt động chu kỳ không thoát nước gây ra sẽ bằng nhau nếu tỷ lệ độ biến dạng trượt giữa thí nghiệm đơn phương và đa phương là 2:1 và tỷ lệ này không phụ thuộc vào yếu tố thời gian trong giai đoạn nén ép. Matsuda và nnk. [10] nghiên cứu ảnh hưởng của phương

cắt trượt trong điều kiện cắt trượt động đa phương lên tính chất của đất loại cát (gồm đất cát Toyoura, đất cát Genkai và đất cát nhân tạo từ xỉ luyện thép - granulated blast furnace slag (GBFS)) trên cùng thiết bị thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đa phương và kết luận rằng sự suy giảm ứng suất hữu hiệu và độ lún trong thí nghiệm đơn phương sẽ bằng với giá trị trong thí nghiệm đa phương nếu tỷ lệ độ biến dạng trượt là (1,5 ~ 2,0):1.

3.3. Tính toán độ lún của đất loại sét bão hòa chịu cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước

3.3.1. Công thức tính toán độ lún

Ohara và Matsuda [6] tính toán sự thay đổi hệ số rỗng Δe và độ lún theo độ biến dạng ε_v (%) sau tải trọng động thông qua “chỉ số nén ép do tải trọng động - compression index induced by cyclic loading, C_{dyn} ”. Về sau Yasuhara [5], Yasuhara và Andersen [7] gọi là “chỉ số tái nén ép chu kỳ - cyclic recompression index, $C_{r,cy}$ ”. ε_v được định nghĩa bằng công thức sau:

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} = \frac{C_{dyn}}{1+e_0} \log \left(\frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_v} \right) \quad (1)$$

trong đó, e_0 là hệ số rỗng ban đầu, H_0 chiều cao ban đầu của mẫu, ΔH là độ lún của mẫu đất and σ'_v là ứng suất hữu hiệu tại thời điểm kết thúc thí nghiệm cắt trượt động. Khi áp lực nước lỗ rỗng được tính toán bằng công thức: $U_{dyn} = \sigma'_{v0} - \sigma'_v$, công thức (1) trở thành:

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_0} = \frac{\Delta e}{1+e_0} = \frac{C_{dyn}}{1+e_0} \log \left(\frac{1}{1 - \frac{U_{dyn}}{\sigma'_{v0}}} \right) = \frac{C_{dyn}}{1+e_0} \log SRR \quad (2)$$

Thông số $1/(1-U_{dyn}/\sigma'_{v0})$ được gọi là “hệ số suy giảm ứng suất - stress reduction ratio” và được kí hiệu bằng “SRR” [4] đã được sử dụng trong tính toán độ lún của đất loại sét chịu tải trọng động trong nhiều công trình nghiên cứu trước đây [11, 12]. Trong nghiên cứu này, hệ số áp lực nước lỗ rỗng U_{dyn}/σ'_{v0} (trong hệ số suy giảm ứng suất) được xác định bằng công thức (3) như sau:

$$\frac{U_{dyn}}{\sigma'_{v0}} = \frac{n}{\alpha + \beta n} \quad (3)$$

trong đó α và β là tham số thí nghiệm phụ thuộc vào độ biến dạng (γ) và được biểu diễn:

$$\alpha = A(\gamma)^m \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\gamma}{B + C\gamma} \quad (5)$$

A , B , C và m là hằng số thí nghiệm và được xác định thực nghiệm bằng phương pháp “hiệu chỉnh đường cong - curve fitting”. Các bước áp dụng phương pháp hiệu

chính đường cong được trình bày chi tiết trong các công trình nghiên cứu trước đây [6]. Giá trị các hằng số A , B , C và m thu được cho đất sét kaolin chịu các điều kiện cắt trượt động nghiên cứu này được thể hiện trong bảng 2.

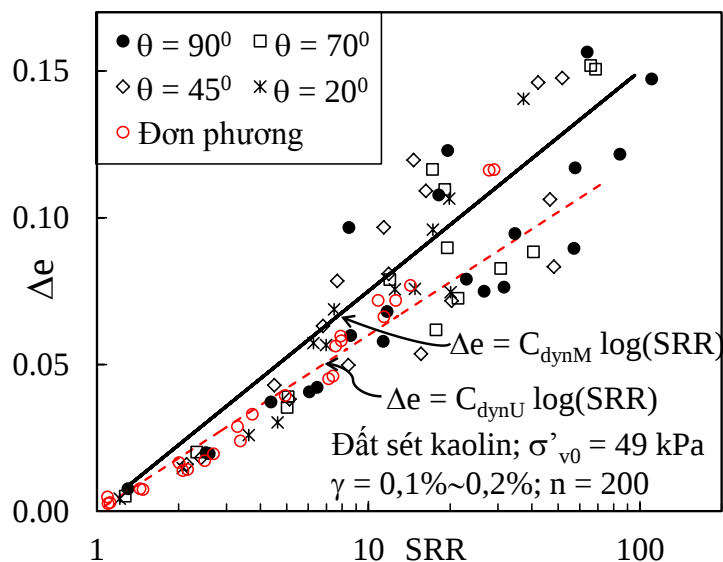
Bảng 2. Giá trị các hằng số thí nghiệm A , B , C và m .

Điều kiện phương cắt trượt	Hằng số thí nghiệm			
	A	B	C	m
Đơn phương	7,000	-0,080	1,030	-2,500
Đa phương ($\theta = 20^\circ, 45^\circ, 70^\circ$ và 90°)	3,900	-0,050	1,018	-2,200

Ishihara và Yoshimine [13] cho rằng tính chất nén ép và độ lún sau tải trọng động của đất loại cát có tương quan chặt chẽ với sự hình thành của áp lực nước lỗ rỗng và mối tương quan này cũng như việc áp dụng công thức (2) chỉ thích hợp với trường hợp tiền hóa lỏng (chưa hóa lỏng), nghĩa là áp lực nước lỗ rỗng nhỏ hơn ứng suất hữu hiệu ban đầu hay hệ số áp lực nước lỗ rỗng $U_{dyn}/\sigma'_{v0} < 1$. Đối với đất loại cát vốn dễ dàng bị hóa lỏng dưới tác dụng của tải trọng động thì công thức (2) không thể áp dụng nhưng do đất loại sét hầu như không bị xức biến ngay khi chịu tác động của điều kiện tải trọng động mạnh như động đất nên việc sử dụng công thức (2) để tính toán độ lún là phù hợp [4, 6, 8, 12].

3.3.2. Sự thay đổi hệ số rỗng

Quan hệ giữa hệ số thay đổi hệ số rỗng (Δe) với logarit của hệ số suy giảm ứng suất (SRR) sau thí nghiệm cắt trượt động đơn phương và đa phương không thoát nước được thể hiện trong Hình 12 cho các độ biến dạng trượt khác nhau. Kí hiệu trong hình này là kết quả thí nghiệm và đường thẳng nét đứt và nét liền lần lượt là kết quả tính toán bằng công thức (2) cho trường hợp đơn phương và đa phương. Kết quả thí nghiệm và giá trị tính toán phù hợp với nhau.

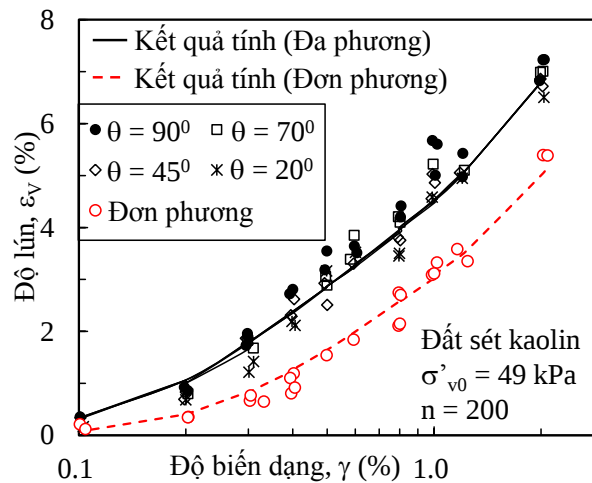


Hình 12. Sự thay đổi hệ số rỗng trong giai đoạn tái nén ép.

Đối với đất sét kaolin sử dụng trong nghiên cứu này thì chỉ số nén ép của trường hợp cắt trượt động đơn phương và đa phương, được kí hiệu lần lượt là C_{dynU} và C_{dynM} , có giá trị là $C_{dynU} = 0,060 = 0,197 C_c$ và $C_{dynM} = 0,075 = 0,246 C_c$, trong đó C_c là chỉ số nén ép trong thí nghiệm cố kết. Các giá trị này phù hợp với quan hệ $C_{r,cy} = 0,225 C_c$ cho đất sét Drammen cố kết bình thường chịu cắt trượt động chu kỳ không thoát nước được thực hiện bằng thiết bị cắt trượt động chu kỳ tại Viện Địa kỹ thuật Navy (NGI) [7, 12]. Như vậy, chỉ số nén ép C_{dyn} trong công thức (1) và (2) sẽ chuyển thành C_{dynU} cho trường hợp cắt trượt động đơn phương và C_{dynM} cho trường hợp đa phương. Ngoài ra, quan hệ trong Hình 12 cho thấy Δe tăng tỷ lệ (proportion) với logarit của hệ số suy giảm ứng suất (SRR). Ngoài ra, Δe không phụ thuộc độ biến dạng trượt (γ) nhưng chịu ảnh hưởng của phương cắt trượt trong điều kiện cắt trượt động đa phương.

3.3.3. Tính toán độ lún sau cắt trượt động không thoát nước

Sự thay đổi của độ lún sau cắt trượt ε_v (%) với độ biến dạng trượt (γ) được thể hiện trong Hình 13 cho các thí nghiệm cắt trượt động đơn phương và đa phương. Kí hiệu trong hình này là kết quả thí nghiệm và đường cong nét đứt và nét liền lần lượt là kết quả tính toán bằng công thức (2) cho trường hợp đơn phương và đa phương, trong đó giá trị của chỉ số nén ép $C_{dynU} = 0,060$ và $C_{dynM} = 0,075$ được sử dụng. Dễ dàng thấy rằng giá trị tính toán phù hợp với kết quả thí nghiệm. Vì vậy, có thể sử dụng công thức (2) kết hợp với các giá trị của chỉ số nén ép C_{dynU} và C_{dynM} để tính toán và dự báo độ lún cho đất loại sét chịu cắt trượt động chu kỳ có độ biến dạng trượt và phương cắt trượt khác nhau.



Hình 13. Quan hệ giữa độ lún (ε_v) và độ biến dạng trượt (γ) cho các thí nghiệm cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước.

4. KẾT LUẬN

(1) Các thông số của điều kiện cắt trượt động đơn phương và đa phương gồm độ biến dạng trượt, số lượng chu kỳ và độ lệch pha có ảnh hưởng rất lớn đến sự hình thành và phát triển áp lực nước lỗ rỗng trong quá trình cắt trượt và tính chất nén lún sau cắt trượt của đất loại sét. Tại cùng số lượng chu kỳ, độ biến dạng trượt càng lớn thì hệ số áp lực nước lỗ rỗng và độ lún càng cao. Tại cùng số lượng chu kỳ và độ biến dạng trượt, hệ số áp lực nước lỗ rỗng và độ lún sau cắt trượt trong thí nghiệm đa phương lớn hơn rất nhiều so với thí nghiệm đơn phương và đối với các thí nghiệm đa phương có độ lệch pha khác nhau thì hệ số áp lực nước lỗ rỗng và độ lún sau cắt trượt tăng theo độ lệch pha. Tuy nhiên, trong giới hạn áp lực từ 49 kPa đến 98 kPa thì ảnh hưởng của áp lực cố kết lên các tính chất này là không đáng kể.

(2) Thời gian để kết thúc quá trình thoát nước lỗ rỗng và quá trình cố kết cơ cấp của mẫu đất chịu cắt trượt động tương tự với kết quả thu được từ thí nghiệm cố kết trên mẫu đất chưa bị cắt trượt động. Điều này cho thấy, đối với đất sét kaolin có tính chất thấm nước cao thì lịch sử chịu tải trọng động không ảnh hưởng đến thời gian cố kết của đất.

(3) Hệ số áp lực nước lỗ rỗng và độ lún của đất loại sét chịu cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước sẽ bằng nhau nếu tỷ lệ độ biến dạng giữa thí nghiệm đơn phương và thí nghiệm đa phương là 2:1. Đối với đất loại cát bão hòa thì tỷ lệ này là (1,5 ~ 2):1.

(4) Sự thay đổi hệ số rỗng của đất loại sét sau quá trình cắt trượt động không thoát nước (Δe) tăng theo tỷ lệ với logarit của hệ số suy giảm ứng suất, Δe không phụ thuộc vào độ biến dạng trượt nhưng chịu ảnh hưởng của phương cắt trượt trong điều kiện cắt trượt động đa phương. Ngoài ra, phương pháp tính toán độ lún cổ điển do Ohara và Matsuda [6] phát triển cho trường hợp cắt trượt động đơn phương có thể kết hợp với các giá trị chỉ số nén ép khác nhau (C_{dynU} và C_{dynM}) để dự báo độ lún của nền đất loại sét bão hòa chịu cắt trượt động chu kỳ đơn phương và đa phương không thoát nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Tokimatsu K, Katsumata K (2012). Liquefaction-induced damage to buildings in Urayasu city during the 2011 Tohoku Pacific earthquake. *Proc. Int. Symp. on Engineering Lessons Learned from the 2011 Great East Japan Earthquake*; 665-674.
- [2]. Ansal A, Iyisan R, Yildirim H (2001). The cyclic behavior of soils and effects of geotechnical factors in microzonation. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*; 21(5): 445-452.
- [3]. Matsuda H, Shinozaki H, Okada N, Takamiya K, Shinyama K (2004). Effects of multi-directional cyclic shear on the post-earthquake settlement of ground. *Proc. of 13th World Conf. on Earthquake Engineering*; No. 2890.
- [4]. Matsuda H (1997). Estimation of post-earthquake settlement-time relations of clay layers. *Journal of JSCE Division C, JSCE*; 568(III-39): 41-48 (in Japanese).
- [5]. Yasuhara K (1995). Consolidation and settlement under cyclic loading. *Proc. Int. Symp. on Compression and Consolidation of Clayey Soils*; 979-1001.
- [6]. Ohara S, Matsuda H (1988). Study on the settlement of saturated clay layer induced by cyclic shear. *Soils and Foundations*; 28(3): 103-113.
- [7]. Matsuda H, Ohara S (1989). Threshold strain of clay for pore pressure buildup. *Proc. of 12th World Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Rio De Janeiro; 127-130.
- [8]. JGS (2000). *Soil test procedure and explanation*, (in Japanese).
- [9]. Hyde A F L, Yasuhara K, Hirao K (1993). Stability criteria for marine clay under one-way cyclic loading. *J. Geotechnical Eng., ASCE*, 119(11), 1771-1788.
- [10]. Matsuda H, Shinozaki H, Okada N, Takamiya K, Shinyama K (2004). Effects of multi-directional cyclic shear on the post-earthquake settlement of ground. *Proc. of 13th World Conf. on Earthquake Engineering*; No. 2890.
- [11]. Hyodo, M., Yasuhara, K. and Hirao, K. (1992). Prediction of clay behavior in undrained and partially drained cyclic triaxial tests. *Soils and Foundations*, Vol. 32, No. 4, pp. 117-127.
- [12]. Yasuhara, K., Murakami, S., Toyota, N. and Hyde, A. F. L. (2001). Settlements in fine-grained soils under cyclic loading. *Soils and Foundations*, Vol. 41, No. 6, pp. 25-36.
- [13]. Ishihara, K. and Yoshimine, M. (1992). Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes. *Soils and Foundations*, Vol. 32, No. 1, pp. 173-188.

**STUDY ON THE SETTLEMENT OF A SATURATED CLAY SUBJECTED
TO UNDRAINED UNI-DIRECTIONAL AND MULTI-DIRECTIONAL
CYCLIC SHEARS**

Tran Thanh Nhan^{1*}, Pham Cong Nhat²

¹Department of Geography and Geology, Hue University of Sciences

²Transport Engineering Consultant Joint Stock Company No.5

* Email: nhan_hueuni@yahoo.com

ABSTRACT

In this paper, saturated-normally consolidated kaolin was tested under undrained uni-directional and multi-directional cyclic shears with different shear strain amplitudes and cyclic shear directions. It is indicated from the test results that the shear strain amplitude, cyclic shear direction and phase difference importantly affect the pore water pressure and post-cyclic recompression characteristics of the soil. Meanwhile, the effect of consolidation pressure, in the range from 49 kPa to 98 kPa, on these properties is negligible and in addition, the consolidation characteristics of the soil is not affected by cyclic shear histories. The pore water pressure ratio and the post-cyclic settlement of kaolin under uni-directional and multi-directional cyclic shears equal to each other if the shear strain amplitude in the uni-directional tests is as twice as that in the multi-directional cases. The conventional estimation method of the post-cyclic settlement can be used in combination with the compression indices C_{dynU} and C_{dynM} for predicting the settlement of clay layers subjected to undrained uni-directional and multi-directional cyclic shears.

Keywords: *Cyclic simple shear, clay, settlement, undrained*