

NGHIÊN CỨU QUY LUẬT ĐỘ BỀN ĐỘNG CỦA ĐẤT VÀ MỘT SỐ KẾT QUẢ ÁP DỤNG CHO ĐẤT YẾU Ở VÙNG VEN BIỂN BẮC BỘ BẰNG THIẾT BỊ BA TRỤC ĐỘNG

NGUYỄN VĂN PHÓNG

Trường Đại học Mở - Địa chất

Tóm tắt: Để đánh giá ổn định nền đất dưới tác dụng của tải trọng động, người ta sử dụng đường bao tỷ sức kháng động, đó là đường cong biểu diễn quy luật độ bền động. Bài báo giới thiệu các phương pháp nghiên cứu quy luật độ bền động của đất, từ đó đưa ra phương pháp kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm để xác định đường bao tỷ sức kháng động. Kết quả áp dụng phương pháp này cho đất bùn cát pha (amQ_2^3) và bùn sét (mQ_2^3) phân bố ở vùng ven biển Bắc Bộ được đưa ra, theo đó các hệ số thực nghiệm của đường bao tỷ sức kháng động cho đất bùn cát pha là $a = 0,167$; $b = 6s$; đất bùn sét là $a = 0,07$; $b = 4s$.

1. Mở đầu

Khi nghiên cứu độ bền động, người ta thường sử dụng các phương pháp thí nghiệm trực tiếp như: cắt xoắn, cắt phẳng chu kỳ và ba trục động để xác định độ bền động (sức kháng động) của đất. Trong đó, phương pháp ba trục động cho phép mô phỏng được các điều kiện thực tế một cách dễ dàng. Để đánh giá điều kiện ổn định của đất nền khi chịu tải trọng động, người ta sử dụng đường bao tỷ sức kháng động (hay đường bao tỷ sức kháng hóa lỏng), đó là đường cong mô tả quy luật độ bền động của đất. Hiện nay, trên thế giới có hai phương pháp xác định đường cong này, đó là phương pháp lý thuyết và phương pháp thực nghiệm. Mỗi phương pháp đều có những hạn chế nhất định khi áp dụng.

Cấu trúc địa chất vùng ven biển Bắc Bộ có mặt nhiều loại đất yếu nhạy cảm với tác động của tải trọng động. Trong khi đó, tải trọng động trong vùng nghiên cứu khá đa dạng về nguồn gốc phát sinh như: động đất, sóng biển, nổ mìn, phương tiện di chuyển, máy công nghiệp, ... Trong điều kiện như vậy, nguy cơ mất ổn định nền móng công trình dưới tác động của tải trọng động là rất lớn và gây ảnh hưởng tới sự phát triển bền vững của vùng. Nội dung bài báo giới thiệu cơ sở lý thuyết và các phương pháp được sử dụng để xác định đường bao tỷ sức kháng động của đất, đồng thời đưa ra phương pháp nghiên cứu kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm và áp dụng phương pháp này cho một số loại đất yếu phân bố phổ biến ở vùng ven biển Bắc Bộ.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khái niệm và cơ sở lý thuyết độ bền động

Độ bền động là khả năng của đất chịu (phát huy) ứng suất động tối đa trong khoảng thời gian nào đó mà đất không bị phá hủy. Khi chịu tải trọng động, áp lực nước lỗ rỗng trong đất tăng theo thời gian dẫn tới độ bền của đất giảm. Ngược lại, khả năng kháng nhớt của đất làm chậm quá trình phát triển của biến dạng nên độ bền của đất tại thời điểm t nào đó lớn hơn độ bền tĩnh [4]. Mặt khác, tải trọng động là loại tải trọng tạm thời, tức là có thời gian tác dụng nhất định. Vì vậy, độ bền động là hàm số của nhiều biến số như: tần số, biên độ và thời gian tác dụng của tải trọng động; điều kiện ứng suất ban đầu; điều kiện thoát nước; thành phần và tính chất của đất.

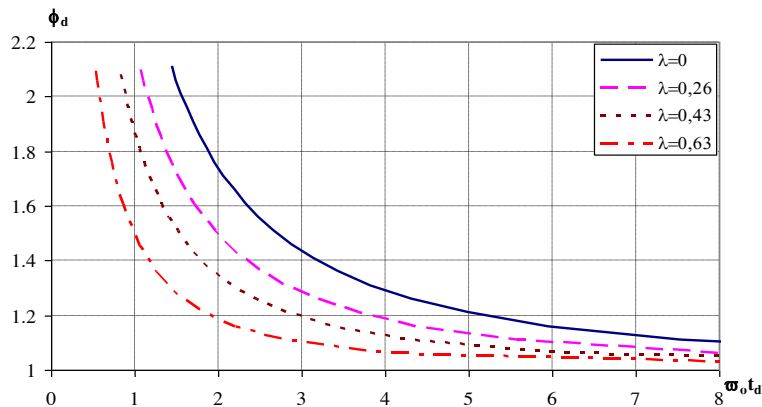
Các nghiên cứu thực nghiệm độ bền động của đất đã chỉ ra rằng, tải trọng động có biên độ càng lớn thì thời gian phá hủy mẫu càng nhanh và ngược lại [5]. Vì vậy, quy luật độ bền động của đất thường được mô tả bởi đường cong quan hệ giữa tỷ số sức kháng động giới hạn (CSR_{gh}) với thời gian chịu tải trọng động để đạt tới trạng thái phá hủy (t_d), được gọi là đường bao tỷ sức kháng động ([6], [7]). Trong đó, CSR_{gh} bằng tỷ số giữa sức kháng động τ_d với ứng suất cố kết trước σ'_c ($CSR_{gh} = \tau_d/\sigma'_c$).

Hiện nay, đường bao tỷ sức kháng động thường được xác định theo phương pháp thực nghiệm ([2], [7]). Theo đó, người ta tiến hành thí nghiệm nhiều thời mẫu đồng nhất trong cùng điều kiện, chỉ khác nhau về tỷ số ứng suất CSR. Kết quả thí nghiệm trên một thời mẫu sẽ xác định được điểm phá hủy động. Như vậy, để xác định được đường bao tỷ sức kháng động cần tiến hành thí nghiệm với khối lượng mẫu lớn và đòi hỏi các mẫu phải đồng nhất.

Để đơn giản cho nghiên cứu và giải thích các kết quả thực nghiệm, Geniev (1997) đã đưa ra mô hình và lý thuyết nghiên cứu độ bền động [4]. Theo đó, mô hình nghiên cứu là mô hình Kelvin - Voigt điều chỉnh (phần tử đàn hồi trong mô hình được thay bằng phần tử dẻo). Trên cơ sở phân tích mô hình này, quy luật biến đổi độ bền động được mô tả bởi biểu thức số 1 và biểu diễn trên hình 1 [4].

$$\omega_o t_d = (1-\lambda) \frac{2 \operatorname{arccot} \sqrt{\phi_d - 1}}{\sqrt{\phi_d - 1}} = (1-\lambda) f(\phi_d) \quad (1)$$

Trong đó, $\phi_d = \tau_d / \tau_{gh}$ (τ_{gh} là độ bền tĩnh của đất); λ là hệ số kể tới điều kiện ứng suất ban đầu; ω_o là hệ số liên quan đến tính chất của đất, $\omega_o = G_o / C$ với G_o là mô đun trượt ban đầu, C là hệ số cản nhớt của đất



Hình 1. Đường cong quan hệ $\phi_d - \omega_o t_d$ với các điều kiện ứng suất khác nhau [4]:

$\lambda = 0$ tương ứng với điều kiện cắt thuần túy (ứng suất pháp bằng không);

$\lambda = 0,26$ tương ứng với điều kiện cắt đơn trục;

$\lambda = 0,43$ tương ứng với điều kiện cắt ba trục với $\sigma_2 = \sigma_3 = 0,196 \sigma_1$;

$\lambda = 0,63$ tương ứng với điều kiện cắt ba trục với $\sigma_2 = \sigma_3 = 0,32 \sigma_1$;

Biểu thức 1 là cơ sở lý thuyết cho phép giải thích và định hướng nghiên cứu thực nghiệm độ bền động của đất được Geniev đưa ra năm 1997. Tuy nhiên, việc áp dụng lý thuyết này vẫn còn hạn chế do sự phức tạp của nó.

Để tiện áp dụng trong thực tế đồng thời khắc phục hạn chế của mỗi phương pháp, chúng tôi đưa ra phương pháp sử dụng lý thuyết Geniev kết hợp với nghiên cứu thực nghiệm. Theo đó, biểu thức số 1 được biến đổi theo hướng đơn giản và sử dụng các khái niệm được dùng phổ biến hiện nay, cụ thể như sau:

- Độ bền tĩnh của đất τ_{gh} được xem là một chỉ tiêu đầu vào phản ánh thuộc tính của đất liên quan đến độ chặt hay ứng suất cố kết trước σ'_c (cùng một mẫu đất nhưng độ chặt khác nhau thì τ_{gh} khác nhau). Với đất cố kết thông thường, quan hệ giữa τ_{gh} với σ'_c được xác định bằng biểu thức:

$$\tau_{gh} = a \cdot \sigma'_c \quad (2)$$

với a là hệ số góc cắt, bằng hàm số tan của góc cắt giới hạn ($a = \tan \theta_{gh}$).

- Từ biểu thức (2) và biểu thức định nghĩa CSR_{gh} , quan hệ giữa ϕ_d và CSR_{gh} như sau:

$$CSR_{gh} = a \cdot \phi_d \quad (3);$$

Thay (3) vào (1) và đặt $b = 2 \frac{(1 - \lambda)}{\omega_o}$, ta được:

$$t_d = b \cdot \frac{\operatorname{arccot} \sqrt{\frac{CSR_{gh}}{a} - 1}}{\sqrt{\frac{CSR_{gh}}{a} - 1}} = f(CSR_{gh}) \quad (4)$$

Hệ số b có đơn vị là thời gian và được gọi là hệ số thời gian phá hủy động.

Biểu thức (4) là phương trình đặc trưng mô tả đường bao tỷ sức kháng động của đất, cho phép đánh giá ổn định của một điểm trong nền đất khi chịu tải trọng động. Phương trình này hoàn toàn được xác định khi biết các hệ số a , b . Trong đó, a là hệ số gia tăng độ bền theo ứng suất hiệu quả, b là hệ số phụ thuộc vào điều kiện ứng suất và tính chất ban đầu của đất. Các hệ số này được xác định bằng thực nghiệm.

Như vậy, biểu thức (4) đã mô tả được quy luật độ bền động theo biên độ tải trọng, thời gian tác dụng, điều kiện ứng suất và tính chất của đất. Biểu thức này được xây dựng trong điều kiện tần số ở xa dải cộng hưởng (không xét tới hiện tượng cộng hưởng), khi đó tần số chỉ ảnh hưởng đến độ bền động qua tốc độ gia tải và liên quan tới sức kháng nhớt của đất (nằm trong hệ số b). Sử dụng biểu thức này thích hợp cho nghiên cứu bằng thiết bị ba trục, cắt chu kỳ với tải trọng động gây ra bởi động đất, sóng biển, tàu xe (có tần số $f < 10\text{Hz}$).

2.2. Phương pháp xác định điểm phá hủy động

Điểm phá hủy động là thời điểm đất bị phá hủy dưới tác dụng của tải trọng động nhất định trong điều kiện ứng suất cho trước (điều kiện áp lực buồng và ứng suất cố kết trước). Nói cách khác, điểm phá hủy động là điểm có trị số ứng suất động tối đa (τ_d) và thời gian duy trì được trị số ứng suất đó (t_d) trong điều kiện ứng suất nhất định.

Khi thí nghiệm độ bền động, điểm phá hủy động được xác định dựa vào việc phân tích sự biến đổi tỷ số áp lực nước lỗ rỗng (R_u) và quan hệ ứng suất – biến dạng theo thời gian (chu kỳ gia tải) [7]. Tỷ số áp lực nước lỗ rỗng là tỷ số giữa áp lực nước lỗ rỗng dư (Δu) với ứng suất nén hiệu quả ban đầu (σ'_c), $R_u = \Delta u / \sigma'_c$. Khi chịu tác dụng của tải trọng động và trong điều kiện không thoát nước, R_u của đất bão hòa có thể tăng đến 100% ở thời điểm đất bị phá hủy. Với đất rời, độ bền của đất chỉ có lực ma sát nên khi R_u bằng 100% thì ứng suất hiệu quả bằng không và độ bền của đất không còn. Khi đó, đất được coi là hóa lỏng. Trong trường hợp này, điểm hóa lỏng được xác định khá dễ dàng khi $R_u = 100\%$ [7]. Với các loại đất khác, nếu chỉ dựa vào sự biến đổi của R_u sẽ không xác định được điểm phá hủy. Khi đó, cần phải phân tích quan hệ ứng suất – biến dạng [7]. Ở trạng thái phá hủy, khả năng duy trì ứng suất động của đất không còn, ứng suất bị sụt giảm và biến dạng tăng nhanh dẫn tới độ dốc của đường cong ứng suất – biến dạng tăng nhanh chóng. Vì vậy, điểm phá hủy động có thể được xác định bằng cách khảo sát quan hệ ứng suất – biến dạng theo thời gian.

Từ đường cong quan hệ ứng suất – biến dạng, điểm phá hủy động được xác định dựa theo các yếu tố sau:

- Mức biến dạng mà ở đó $R_u = 100\%$;
- Biến dạng động bằng 5%;
- Biến dạng bằng biến dạng gây ra phá hủy tĩnh;
- Điểm có độ dốc lớn hơn 2 lần so với điểm ở cấp tải trọng trước đó.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Cơ sở lựa chọn thiết bị và phương pháp nghiên cứu

Trong vùng nghiên cứu, phủ trên bề mặt chủ yếu là các loại đất thuộc hệ tầng Thái Bình và có nhiều loại đất yếu. Nội dung phần này giới thiệu kết quả nghiên cứu độ bền động của hai loại đất yếu phổ biến nhất có mặt trong vùng, đó là đất bùn cát pha màu xám đen $mQ_2^3tb_3$ (mẫu DY7) phân bố ở Thái Bình và đất bùn sét màu xám đen mQ_2^3 (mẫu DY20) phân bố ở Hạ Long. Các loại đất yếu này thường phân bố gần mặt đất, thuộc loại có kết thông thường và bão hòa nước. Như vậy, sử dụng cơ sở lý thuyết Geniev và biểu thức chuyển đổi cho đất có kết thông thường (biểu thức 4) là phù hợp để nghiên cứu độ bền động của các loại đất thuộc phạm vi nghiên cứu. Thành phần và tính chất cơ lý của các mẫu đất được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ tiêu thành phần và tính chất của mẫu đất

Ký hiệu mẫu	Thành phần hạt			Độ ẩm	K.lg thể tích tn	K.lg riêng	Chỉ số dẻo	Độ sệt	Hàm lượng hữu cơ	Hàm lượng muối dễ hòa tan
	Cát	Bụi	Sét	w	γ	γ_s	I_p	I_s		
	%	%	%	%	g/cm ³	g/cm ³	%		%	%
DY7	76,1	14,7	9,2	29,5	1,70	2,66	6,2	1,42	3,6	0,26
DY25	30,7	30,5	38,8	55,9	1,61	2,70	18,5	1,56	9,5	0,61

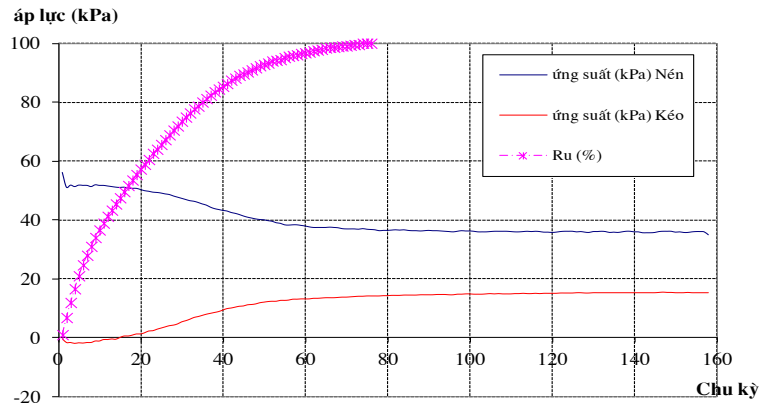
Tải trọng động xuất hiện ở phạm vi đới ven biển Bắc Bộ chủ yếu do động đất với tỷ số gia tốc nền $a_g = 0,11 \div 0,12$ (động đất mạnh), sóng biển và di chuyển của tàu xe. Đây là các loại tải trọng có tần số nhỏ và ở xa dải cộng hưởng. Vì vậy, sử dụng thiết bị ba trục động là hợp lý. Điều kiện ứng suất ban đầu được xác định là đẳng ứng suất với áp lực bùồng bằng từ 50 ÷ 100 kPa, tương ứng độ sâu phân bố thực tế.

3.2. Kết quả nghiên cứu

Các mẫu được thí nghiệm bằng thiết bị ba trục động loại Trittech 100 của hãng Controls-Group (Italia) theo tiêu chuẩn ASTM D5311. Các thời mẫu thí nghiệm có kích thước 70x140mm. Trong quá trình thí nghiệm, các biến đổi về ứng suất, biến dạng, áp lực nước lỗ rỗng, thể tích mẫu đều được ghi lại theo thời gian với tần suất là 0,01s. Kết quả thí nghiệm từng loại mẫu như sau:

a) Đất bùn cát pha, xám đen (DY7)

Loại đất DY7 được thí nghiệm với khối lượng 10 mẫu. Trước khi thí nghiệm gia tải động, các mẫu được chế bị, bão hòa và cố kết với áp lực bùồng bằng 55kPa nhằm khôi phục độ chặt ban đầu (do các mẫu cát pha khó giữ nguyên trạng khi gọt mẫu). Với loại đất này, nhận thấy mẫu bị phá hủy ngay khi tỷ số áp lực nước lỗ rỗng $R_u = 100\%$, biểu hiện ở sự sụt giảm ứng suất và tăng nhanh của biến dạng (hình 1). Vì vậy, đất được xem là hóa lỏng ở trạng thái đó và dựa vào R_u để xác định thời điểm hóa lỏng. Tổng hợp kết quả nghiên cứu cho trong bảng 2. Các đường bao lý thuyết và thực nghiệm được xây dựng sau khi loại bỏ sai số (các mẫu đất có độ chặt sai lệch nhiều so với trạng thái tự nhiên) và biểu diễn trên hình 2.

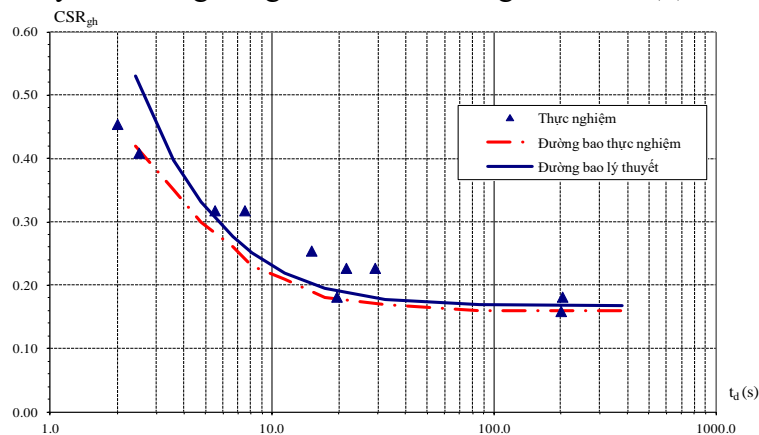


Hình 1. Biến đổi ứng suất và R_u của đất cát pha theo chu kỳ gia tải động (DY7-8)

Bảng 2. Tổng hợp kết quả thí nghiệm độ bền động đất DY7

Mẫu	γ (g/cm ³)	γ_c (g/cm ³)	Áp lực buồng σ_3 (kPa)	Biên độ ứng suất σ_a (kPa)	CSR _{gh}	Chu kỳ hoá lỏng (N)	Thời gian hoá lỏng t_d (s)
DY7	1,72	1,24	55	20	0,18	406	203,0
DY7-2	1,59	1,25	55	35	0,32	11	5,5
DY7-4	1,70	1,17	55	50	0,45	4	2,0
DY7-5	1,70	1,27	55	45	0,41	5	2,5
DY7-8	1,65	1,25	55	25	0,23	58	29,0
DY7-9	1,70	1,23	55	25	0,23	43	21,5
DY7-10	1,69	1,28	55	20	0,18	39	19,5
DY7-11	1,69	1,29	55	17,5	0,16	400	200,0
DY7-12	1,73	1,32	55	35	0,32	15	7,5
DY7-13	1,76	1,34	55	28	0,25	30	15,0

Từ kết quả thí nghiệm, xác định được các hệ số thực nghiệm cho phương trình mô tả đường bao tỷ sức kháng động của đất theo dạng biểu thức (4): $a = 0,167$; $b = 6s$.

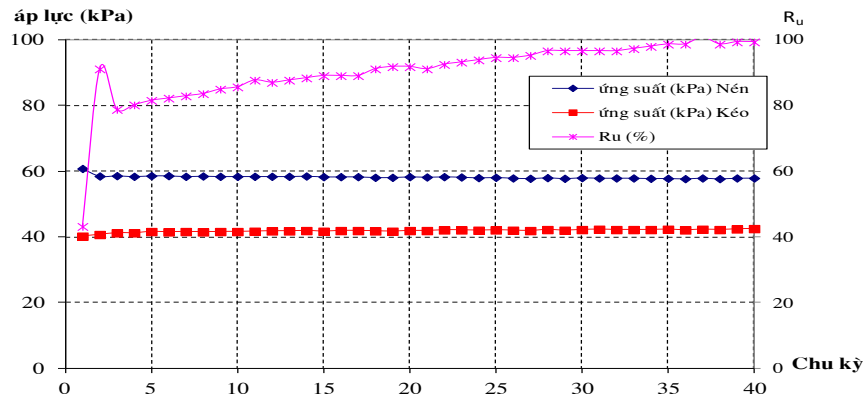


Hình 2. Đường bao tỷ sức kháng động theo thực nghiệm và lý thuyết (với $a = 0,167$; $b = 6s$)

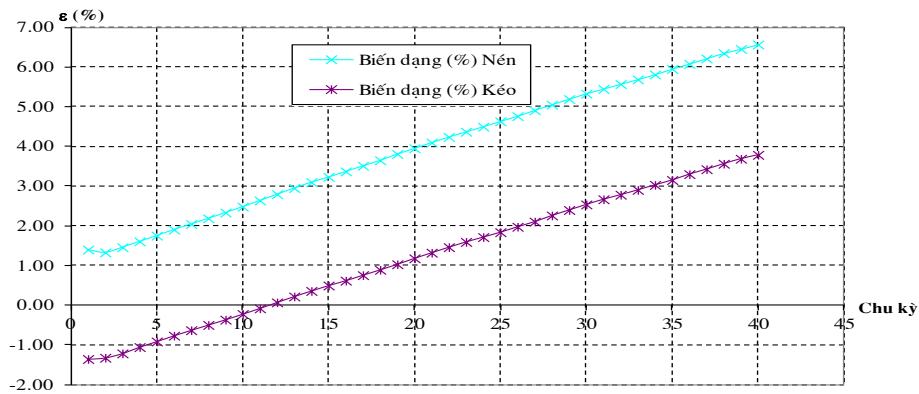
b) Đất bùn sét (DY25)

Đất bùn sét được thí nghiệm với khối lượng 4 mẫu ở trạng thái tự nhiên với áp lực buồng bằng 100kPa, áp lực ngược bằng 50kPa. Kết quả thí nghiệm trong loại đất

này cho thấy: R_u tăng rất nhanh ngay khi gia tải động và sau đó tăng dần đến 100% (hình 3); sự suy giảm ứng suất có diễn biến chậm (hình 3); biến dạng tăng gần như tuyến tính theo thời gian với biên độ tương đối ổn định (hình 4). Như vậy, nếu chỉ dựa vào các biểu đồ này sẽ rất khó xác định điểm phá hủy.

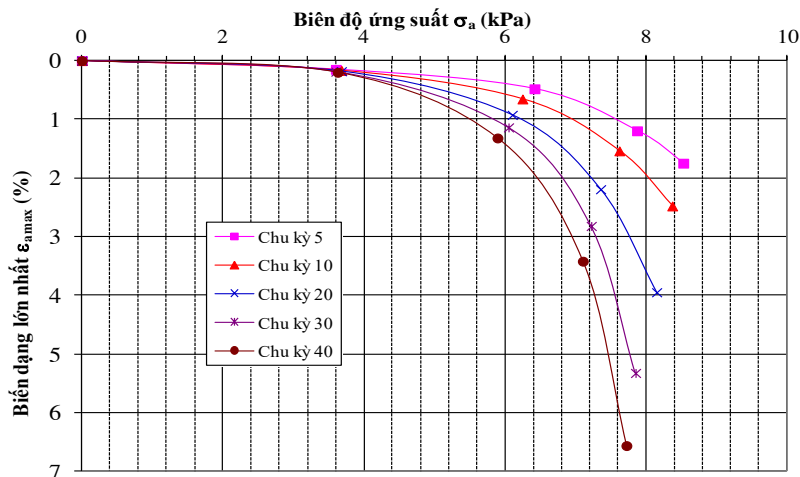


Hình 3. Biến đổi ứng suất và R_u của đất bùn sét theo chu kỳ gia tải động



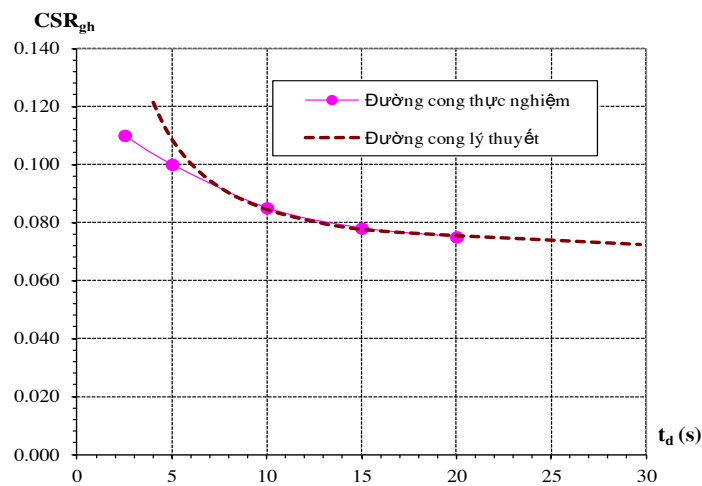
Hình 4. Biến dạng theo chu kỳ tác dụng của đất DY25

Trong trường hợp này, cần phải khảo sát quan hệ ứng suất – biến dạng theo thời gian để xác định điểm phá hủy cùng với thời gian gây phá hủy. Từ các đường cong quan hệ ứng suất – biến dạng theo thời gian (hình 5), điểm phá hủy được xác định tương ứng với điểm có biến dạng động bằng 5% và cũng đảm bảo điều kiện là điểm có độ dốc lớn hơn 2 lần so với điểm ở cấp tải trọng trước đó. Kết quả xác định các điểm phá hủy động theo thời gian chịu tải động được cho trong bảng 3. Từ đó, xây dựng được các đường bao lý thuyết và thực nghiệm như hình 6. Các hệ số thực nghiệm cho đường cong lý thuyết được xác định là $a = 0,07$; $b = 4s$.



Hình 5. Quan hệ ứng suất – biến dạng theo thời gian (chu kỳ) của đất bùn sét (DY20)
 Bảng 3. Tổng hợp kết quả xác định điểm phá hủy động cho đất DY20

Chu kỳ	Thời gian, t_d (s)	Theo biến dạng giới hạn $\epsilon_a = 5\%$	
		Sức kháng động giới hạn, τ_d (kPa)	Tỷ số sức kháng động giới hạn, CSR_{gh}
5	2,5	5,5	0,110
10	5	5	0,100
20	10	4,25	0,085
30	15	3,9	0,078
40	20	3,75	0,075



Hình 6. Đường bao tỷ sức kháng động giới hạn của đất bùn sét theo thực nghiệm và lý thuyết ($a = 0,07$; $b = 4s$)

4. Nhận xét và kiến nghị

Từ kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm ở trên, có thể rút ra một số nhận xét và kiến nghị sau:

- Đường bao tỷ sức kháng động của đất có thể được biểu diễn bằng biểu thức toán học (biểu thức 4). Biểu thức này được xây dựng trên cơ sở lý thuyết Geniev kết hợp với thực nghiệm, bằng cách đưa vào các hệ số thực nghiệm a, b. Các hệ số này đặc trưng cho mỗi loại đất và điều kiện ứng suất. Sử dụng biểu thức 4 sẽ dễ dàng đánh giá ổn định nền đất với tải trọng động thông qua bài toán mô hình;

- Điểm phá hủy động của đất bùn cát phá được xác định theo tỷ số áp lực nước lỗ rỗng (khi $R_u = 100\%$), của đất bùn sét được xác định theo đường cong quan hệ ứng suất biến dạng với mức biến dạng bằng 5%;

- Dựa vào kết quả nghiên cứu trong báo cáo này, các nghiên cứu tiếp theo có thể dễ dàng lựa chọn tỷ số ứng suất (CSR) cho thí nghiệm, đồng thời sử dụng sơ đồ thí nghiệm điều khiển biến dạng (không chế biên độ biến dạng 5%) để giảm khối lượng thí nghiệm và xác định được đường cong tốt nhất;

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ASTM D5311, *Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil*.
- [2] R.Dobry, D.J. Powell, F.Y. Yokel và R.S. Ladd (1980), *Liquefaction potential of saturated sand- The stiffness methods*
- [3] G.A. Geniev (1971), *Deformation theory of plasticity of a granular medium*, Stroit. Mekh. Raschet Sooruzh., No. 4, 8- 10.
- [4] G.A. Geniev (1997), *Dynamic strength of Cohesive Soils*, Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 34, No. 4
- [5] H.Bolton Seed và Lee, K.L. (1966), *Liquefaction of saturated sands during cyclic loading*, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, 92:SM6, 105-134
- [6] H.Bolton Seed và Izzat M. Idriss (1971), *Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potentia*., Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division.
- [7] Kenji Ishihara (2003), *Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics*, Oxford Science Publications

SUMMARY

Study the rules of soil dynamic strength and some applied results of soft soil in Bac Bo coastal area by using Cyclic triaxial tests

Nguyen Van Phong *Ha Noi University of Mining and Geology*

Abstract: *The boundary of Soil Cyclic Resistance Ratio (CRR) is used to evaluation stability of the ground under dynamic loads. This paper presents the theoretical and experimental methods of determining CRR and provides a new method of combining theoretical and experimental. Results applying this method to determine CRR for clayer sand mud (amQ_2^3) and clay mud (mQ_2^3) distributed in the Bac Bo coastal area are also given, whereby the experimental coefficient of CRR for clayer sand mud is $a = 0.167$; $b = 6s$; clay mud is $a = 0.07$; $b = 4s$.*