NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG HÓA LỎNG CỦA CÁT BẰNG THÍ NGHIỆM BA TRỤC ĐỘNG VÀ MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU Ở VIỆT NAM

INVESTIGATION OF SAND LIQUEFACTION POTENTIAL IN CYCLIC TRIAXIAL TEST AND SOME PREMILINARY RESEARCH RESULTS IN VIETNAM

Nguyễn Văn Phóng[1], Đồng Thị Minh Tâm[2], Chu Trần Anh[3]
[1] Trường Đại học Mỏ - Địa chất,
[2] Viện khoa học công nghệ xây dựng
[3] Công ty CPĐT Xây dựng và Khảo sát HDB Việt Nam
Email: [1] nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn, [2] tamdkt@yahoo.com, [3] chutrananh80@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-14

TÓM TẮT: Phương pháp ba trục động được áp dụng rộng rãi trên thế giới để nghiên cứu khả năng hóa lỏng và chỉ tiêu kháng chấn của đất, nhưng chưa được áp dụng phổ biến ở Việt Nam. Bài báo giới thiệu thiết bị ba trục động, phương pháp và thủ tục chế bị mẫu, thí nghiệm xác định khả năng hóa lỏng của cát dưới tác dụng của tải trọng chu kỳ. Kết quả nghiên cứu trên một số loại đất cát có hàm lượng hạt mịn cao, bão hòa nước ở Việt Nam bước đầu đã thu được kết quả đáng tin cậy. Trong đó, đặc điểm hóa lỏng của cát được đánh giá dựa trên các biểu đồ biến đổi của ứng suất, biến dạng và áp lực nước lỗ rỗng theo chu kỳ gia tải, từ đó xác định điểm hóa lỏng và xây dựng đường bao hóa lỏng cho đất cát mịn ở độ chặt khác nhau.

TỪ KHÓA: ba trục động; kháng chán; hóa lỏng.

ABSTRACTS: *In the world, cyclic triaxial tests are widely used to evaluate the liquefaction potential of soil and determine the cyclic parameters for seismic design. However, the application of cyclic trixial test for evaluation of soil liquefaction is still limited in Vietnam. This paper introduced the cyclic triaxial apparatus, method and testing procedure to access the liquefaction potential of sand under cyclic loading. The research on some saturated sandy soils with high fine-grained content in Vietnam showed that the research results of soil liquefaction potential is reliable. In which, the liquefaction characteristics of sand are evaluated based on the changes of stress, strain and pore water pressure according to the cyclic cycles, thereby determining the liquefaction point and liquefaction boundary for fine sandy soils at different density levels.*

KEYWORDS: Cyclic triaxial test, seismic design, soil liquefaction.

1. GIỚI THIỆU

Động đất là một trong những hiện tượng tự nhiên có tính nguy hại nhất với công trình. Ở động đất cấp 7-8 (5,0-6,8 độ richter) đã có thể gây phá hủy nhà cao tầng như trận động đất 6 độ richter tại Đài Bắc - Đài Loan ngày 6/2/2018 (hình 1a); Khi động đất cấp 9 xảy ra (6,9 – 7,6 độ richter) thì hầu hết các công trình không được thiết kế kháng chấn đều bị phá hủy như trận động đất 7,4 độ richter tại Nepal ngày 12/5/2015 (hình 1b); Đặc biệt, nếu nền đất bị hóa lỏng thì mọi công trình đều bị phá hủy như trận động đất 7,5 độ Richter tại đảo Sulawesi – Indonesia ngày 28/9/2018, hóa lỏng nền đất đã "nuốt chửng" một ngôi làng - hơn 700 ngôi nhà bị chôn vùi (hình 1c). Theo bản đồ phân cấp nhỏ động đất ở Việt Nam, nhiều khu vực trọng điểm phát triển kinh tế nằm trong vùng động đất mạnh cấp 7-8. Chính vì vậy vấn đề hóa lỏng nền đất trong xây dựng và phát triển Việt Nam cần phải đặc biệt quan tâm.

Thí nghiệm được dùng phổ biến để xác định nguy cơ hóa lỏng của đất là thí nghiệm ba trục động (Dynamic triaxial test). Đây là thí nghiệm gia tải dọc trục lên mẫu đất với tải trọng động ($F = F_{(t)}$), thường là tải chu kỳ với biên độ, tần số mô phỏng cho ứng suất động gây ra bởi động đất. Kết quả nghiên cứu được ứng dụng nhằm giải quyết các bài toán thực tế như hóa lỏng của cát khi chịu động đất, thiết kế móng máy, công trình ven biển… và đáp ứng yêu cầu về độ an toàn cao của các nhà máy điện gió, điện hạt nhân.

Hình 1a

Hình 1b

Hình 1c

Hình 1. Những công trình bị phá hủy do động đất

2. THIẾT BỊ VÀ QUY TRÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Thiết bị thí nghiệm

Thiết bị Tritech 50 của hãng Controls-Group (Italia, hình 2) cho phép thực hiện thí nghiệm ba trục với các tải trọng tĩnh, tuần hoàn và không tuần hoàn (Play back) trong điều kiện thoát nước và không thoát nước. Toàn bộ các bước thí nghiệm được tự động hoá nhờ bộ điều khiển có độ nhạy cao PID. Thiết bị tự động điều áp trong quá trình gia tải động và hiệu chỉnh, kiểm tra các kênh đo bằng phần mềm.

Các bước bão hoà, cố kết, gia tải được cài đặt tuỳ theo ứng xử của mẫu. Giới hạn của thiết bị như sau:

+ Điều khiển vòng lặp theo ứng suất và biến dạng cho cả ba trục.

+ Tần số thí nghiệm tối đa là 10 Hz.

+ Tải trọng dọc trục tối đa: 5kN (1300 kPa).

+ Áp lực buồng tối đa: 1000kPa.

+ Áp lực ngược tối đa: 1000 kPa.

+ Biến dạng tối đa: ±15mm.

Hình 2. Hệ thống thiết bị ba trục động loại máy Tritech 50

Các thông số đo trực tiếp trong quá trình thí nghiệm bao gồm: lực dọc trục (F, kN); áp lực buồng (σ_{cell}, kPa); áp lực ngược (σ_{back}, kPa); áp lực nước lỗ rỗng (u, kPa); biến dạng dọc trục (S, mm); thay đổi thể tích (ΔV, mm^3). Từ đó, xác định các thông số tính toán theo Bảng 1.

Bảng 1. Ký hiệu và công thức xác định các thông số thí nghiệm

Thông số	Ký hiệu	Công thức xác định
Áp lực nước lỗ rỗng dư (kPa)	Δu	$u - u_o$
Ứng suất cố kết trước	σ'_c	$\sigma_{cell} - \sigma_{back}$
Tỷ số áp lực nước lỗ rỗng (%)	R_u	$\Delta u/\sigma'_c$
Ứng suất dọc trục (kPa)	σ_a	$10^6 * F / Ac + \sigma_r$
Biên độ ứng suất dọc trục (kPa)	$\Delta\sigma_a$	$[Max(\sigma_a) - Min(\sigma_a)]/2$
Ứng suất dọc trục có hiệu (kPa)	$\sigma`_a$	$\sigma_a - \Delta u$
Ứng suất cắt (kPa)	τ	$(\sigma_a - \sigma_r) / 2$
Biến dạng dọc trục tương đối (%)	ε_a	$100 * S / H_c$
Biên độ biến dạng (%)	$\Delta\varepsilon_a$	$[Max(\varepsilon_a) - Min(\varepsilon_a)]/2$

Trong đó, Ac và Hc là diện tích mặt cắt ngang và chiều cao của mẫu sau bước cố kết.

2.2. Quy trình thí nghiệm

Thí nghiệm ba trục động cho phép xác định các chỉ tiêu tính chất động học của đất nền, bao gồm:

- Thí nghiệm xác định độ bền và khả năng hóa lỏng (theo ASTM D5311);

- Thí nghiệm xác định mô đun và hệ số giảm chấn (theo ASTM D3999);

- Thí nghiệm xác định mô đun đàn hồi của đất nền và vật liệu móng đường (theo AASHTO T307-99 hoặc theo TCCS 37: 2022/TCĐBVN).

Trong khuôn khổ bài báo này chỉ trình bày quy trình thí nghiệm và kết quả dự báo khả năng hóa lỏng của cát khi thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM D5311.

a) Chế bị mẫu

Yêu cầu với mẫu cát chế bị là phải đồng nhất về sự phân bố hệ số rỗng tại các vị trí và đạt độ chặt mong muốn. Do vậy, phương pháp rót khô được lựa chọn để chế bị các mẫu cát cho nghiên cứu này. Cát khô được cho vào đầy phễu hình nón với đường kính của miệng phễu vào khoảng 12 mm. Cát khô được rót vào hộp chế bị mẫu. Sau đó, tiến hành gõ nhẹ vào xung quanh hộp chế bị mẫu cho tới khi đạt được độ chặt yêu cầu. Tiếp theo, mẫu được bịt kín bằng các vòng cao su ở đỉnh và đáy mẫu, tác dụng lực hút chân không từ 2 - 5 kPa vào đỉnh mẫu nhằm giữ cho mẫu ổn định.

Để mẫu được chế bị đạt độ chặt mong muốn (D_{r0}), lượng cát khô (G_{dry}) được tính toán theo công thức sau:

$$G_{dry} = \frac{\gamma_s}{(1+e)}.V \quad (1)$$

$$e = e_{max} - D_{r0}\left(e_{max} - e_{min}\right) \quad (2)$$

Quá trình chế bị mẫu cần xác định lượng cát khô và kích thước thực tế để tính lại độ chặt D_r.

b) Bão hòa và cố kết mẫu

Quá trình bão hoà mẫu được thực hiện bằng cách tăng đồng thời áp lực buồng (σ_{cell}) và áp lực ngược (σ_{back}), với độ chênh áp lực buồng - ngược ($\sigma_r = \sigma_{cell} - \sigma_{back}$) bằng (10÷20) kPa. Sau khi trị số áp lực ổn định, tiến hành điền nước vào mẫu bằng cách mở van để nước chảy qua dụng cụ đo thể tích vào mẫu từ đường áp lực ngược. Quá trình bão hòa được tiến hành cho đến khi độ bão hoà (B) đạt trên 95% ($B = \Delta u/\Delta\sigma_{cell} \geq 0{,}95$; $\Delta\sigma_{cell}$ là gia số áp lực buồng và Δu là độ gia tăng áp lực nước lỗ rỗng). Nếu độ bão hòa B chưa đạt yêu cầu thì quá trình gia tăng áp lực buồng – ngược và điền nước lại được tiếp tục cho đến khi đạt.

Quá trình cố kết mẫu được thực hiện sau bước bão hòa mẫu, bằng cách giữ nguyên áp lực ngược và tăng áp lực buồng cho đến khi đạt áp lực cố kết (σ'_c) yêu cầu. Áp lực cố kết là hiệu giữa áp lực buồng và áp lực ngược ($\sigma'_c = \sigma_{cell} - \sigma_{back}$). Sau khi các trị số áp lực ổn định, mở van áp lực ngược để nước thoát ra. Quá trình cố kết kết thúc khi độ cố kết lớn hơn 95% (hoặc khi xác định nước lỗ rỗng không còn thoát ra). Trong suốt quá trình bão hoà và cố kết, các thay đổi về áp lực, biến dạng và thể tích mẫu (thể tích nước vào – ra) được ghi lại.

c. Gia tải chu kỳ

Theo tiêu chuẩn ASTM D5311, thí nghiệm gia tải chu kỳ được tiến hành theo sơ đồ điều khiển ứng suất (Sơ đồ A, cài đặt ứng suất theo chu kỳ và tần số cho trước và đo biến dạng). Thông số tải trọng chu kỳ được lựa chọn phù hợp với loại công trình, đặc điểm tải trọng động và các điều kiện cụ thể khác. Thông thường, tần số của tải trọng (f) thường được chọn trong khoảng f = 1 - 2Hz; biên độ của tải trọng được xác định theo tỷ số ứng suất mong muốn (CSR), với:

$$CSR = \frac{\Delta\sigma_a}{2\sigma'_c} \quad (3)$$

Với $\Delta\sigma_a$ là biên độ ứng suất chu kỳ, được dự tính theo đặc điểm tải trọng động; hoặc dự tính CSR theo tỷ số sức kháng chu kỳ (CRR). Trong thực tế, CRR có thể được được dự tính theo kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn.

Kết quả thí nghiệm được biểu diễn trên các biểu đồ biến đổi ứng suất, biến dạng và tỷ số áp lực nước lỗ rỗng theo chu kỳ gia tải. Điểm hóa lỏng được xác định dựa trên việc phân tích các biểu đồ này.

3. MỘT SỐ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM Ở VIỆT NAM

3.1. Mẫu đất thí nghiệm

Trong bài báo này, ba loại cát đều thuộc trầm tích Holocen (Q_2^{2-3}) được lấy ở ba địa điểm khác nhau. Các mẫu cát được đối sánh địa tầng địa chất khu vực để xác định tuổi nguồn gốc.

Bảng 2. Vị trí lấy mẫu, loại đất, thành phần hạt và một số chỉ tiêu vật lý của các mẫu cát

Địa điểm/Độ sâu mẫu		Thanh Trì, Hà Nội/ 12,0m	Tiền Hải, Thái Bình/ 1,0m	Vĩnh Châu, Sóc Trăng/ 3,0m
Ký hiệu mẫu và loại đất		C_{hn}: Cát mịn, xám xanh (aQ_2^3tb)	C_{tb}: Cát bụi, xám đen ($amQ_2^{2-3}tb_3$)	C_{st}: Cát bụi, xám đen (amQ_2^{2-3})
Hàm lượng nhóm hạt (%)	2 - 1	0,1	0	1,7
	1 - 0,5	0,2	0	6,6
	0,5 - 0,25	11,1	9	32,0
	0,25 - 0,1	75,2	46,7	33,5
	< 0,1	13,5	44,3	26,2
Khối lượng riêng, γ_s (g/cm^3)		2,69	2,62	2,65
Hệ số rỗng	e_{min}	0,585	0,602	0,589
	e_{max}	0,992	1,160	1,052

3.2. Kết quả chế bị, bão hòa và cố kết các mẫu

Áp dụng thủ tục trình bày ở mục 2, tiến hành chế bị, bão hòa và cố kết mẫu. Các mẫu ở các khu vực khác nhau được chế bị với độ chặt khác nhau, phù hợp với độ chặt thực tế ở vị trí lấy mẫu (theo kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn).

Bảng 3. Thông số của các mẫu sau bước chế bị

Ký hiệu mẫu	Khối lượng cát khô thực tế G_{dry} (g)	Kích thước mẫu thực tế (mm)		Khối lượng thể tích khô	Hệ số rỗng	Độ chặt tương đối
		Đường kính, D	Chiều cao, H	γ_c (g/cm³)	e_0	D_r
C_{hn}	833,0	70,1	139,9	1.512	0.779	0.522
C_{tb}	672,5	70.1	137,0	1.320	0.985	0.314
C_{st}	754,0	70.0	141,5	1.389	0.915	0.292

Sau khi chế bị xong, các mẫu được cân đo lại và đưa vào buồng ba trục tiến hành bão hòa, cố kết. Trong quá trình thực hiện hai bước này, độ chặt của mẫu có thay đổi do áp lực nước đi vào trong mẫu và áp lực cố kết, nhưng sự thay đổi khá nhỏ. Kết quả được trình bày chi tiết ở bảng 4.

Bảng 4. Các thông số thí nghiệm bước bão hòa, cố kết mẫu

Ký hiệu mẫu	Bão hòa			Cố kết			Độ chặt sau cố kết, D_r
	σ_{cell} (kPa)	σ_{back} (kPa)	Thay đổi thể tích, ΔV (ml)	σ_{cell} (kPa)	σ_{back} (kPa)	σ'_c (kPa)	
C_{hn}	90	75	234	100	75	25.0	0.523
C_{tb}	50	30	204,8	60	30	30,0	0.314
C_{st}	100	80	255	120	80	40.0	0.291

3.3. Kết quả thí nghiệm gia tải chu kỳ

Tải trọng chu kỳ tác dụng lên mẫu là tải trọng điều hòa (hình sin) với tần số f = 2Hz (mẫu C_{hn}, C_{tb}), f = 1 Hz (mẫu C_{st}). Biên độ ứng suất $\Delta\sigma_a$ và tỷ số ứng suất CSR cho từng mẫu được biểu diễn trong bảng 4. Trong quá trình gia tải trọng chu kỳ, các thay đổi về ứng suất, biến dạng, áp lực nước lỗ rỗng được ghi lại và biểu diễn trên các biểu đồ hình 3,4,5. Trong đó, khả năng hóa lỏng được đánh giá dựa vào tỷ số áp lực nước lỗ rỗng ($R_u = \Delta u/\sigma'_c$). Khi chịu ứng suất động, áp lực nước lỗ rỗng dư (Δu) trong đất tăng làm cho ứng suất hiệu quả giảm, dẫn tới độ bền của đất giảm. Với đất cát, độ bền chỉ có lực ma sát nên thời điểm ứng suất hiệu quả giảm về không (R_u =100%) là lúc cát mất hẳn độ bền và chuyển sang trạng thái hóa lỏng. Trong thí nghiệm, điểm hóa lỏng (chu kỳ hóa lỏng) được xác định theo đặc điểm sau:

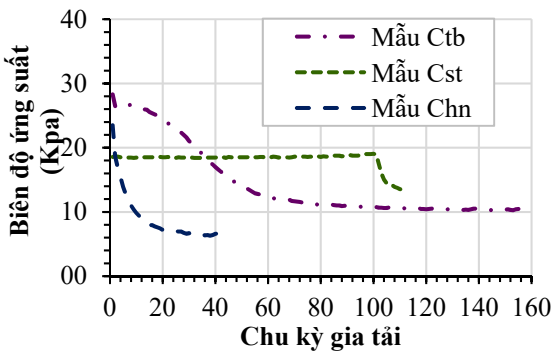
- Chu kỳ có tỷ số ứng suất R_u =100%. Trường hợp này, mẫu được xem là bị hóa lỏng hoàn toàn.

- Chu kỳ có sự thay đổi đột ngột của ứng suất và biến dạng. Trong một số trường hợp, R_u không tăng đến 100%, nhưng có sự sụt giảm biên độ ứng suất và biến dạng vượt quá 5%, khi đó mẫu được xem là bị phá hủy.

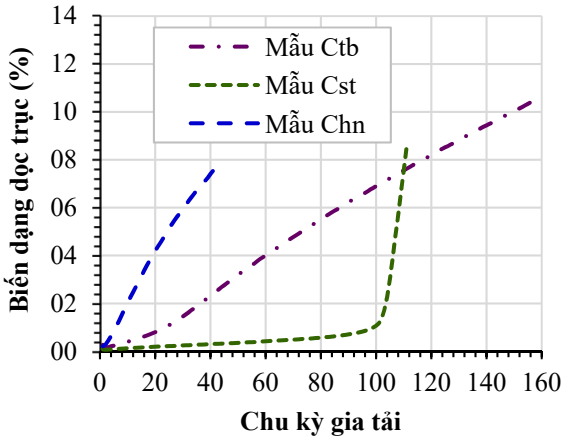
Theo kết quả thí nghiệm ba mẫu với độ chặt D_r và tỷ số ứng suất khác nhau (CSR = 0,23 ÷ 0,48) tất cả các mẫu đều bị hóa lỏng khi R_u đạt đến 100%. Biến dạng dọc trục của các mẫu tại thời điểm hóa lỏng đều lớn hơn 5%, thay đổi từ 7,55% đến 10,46%. Nhìn chung, các mẫu đều thuộc loại cát mịn, bụi có hàm lượng hạt mịn lớn (nhóm hạt có kích thước nhỏ hơn 0,1mm - FC>10%), nên khá tương đồng về thành phần hạt. Vì vậy, tỷ số ứng suất gây hóa lỏng (CSR_{hl}) phụ thuộc chủ yếu vào độ chặt D_r. Khi độ chặt chuyển từ 0,291 (xốp) đến 0,330 (ngưỡng giữa xốp - chặt vừa), tỷ số ứng suất gây hóa lỏng tăng đáng kể. Quan hệ này được biểu diễn trên hình 6. Trên biểu đồ hình 3 và 4 có thể thấy mẫu C_{st} (ở độ chặt thấp nhất, D_r = 0,291) có sự biến đổi ứng suất và biến dạng khá đột ngột khi gần tới điểm hóa lỏng; trong khi hai mẫu ở độ chặt lớn hơn có sự gia tăng biến dạng và giảm ứng suất một cách đều đặn hơn.

Bảng 5. Các thông số và kết quả thí nghiệm gia tải chu kỳ

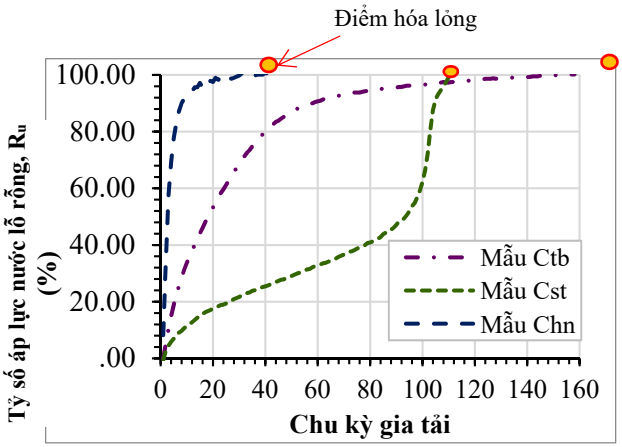
Ký hiệu mẫu	Tần số F (Hz)	Biên độ ứng suất ban đầu $\Delta\sigma_a$ (kPa)	Tỷ số ứng suất CSR	Biến dạng lớn nhất $\varepsilon_{a(max)}$ (%)	Tỷ số R_u lớn nhất $R_{u(max)}$ (%)	Chu kỳ hóa lỏng N
C_{hn}	2	24	0.48	7.55	100	41
C_{tb}	2	27.5	0.33	10.46	100	157
C_{st}	1	18.0	0.23	8.44	100	104



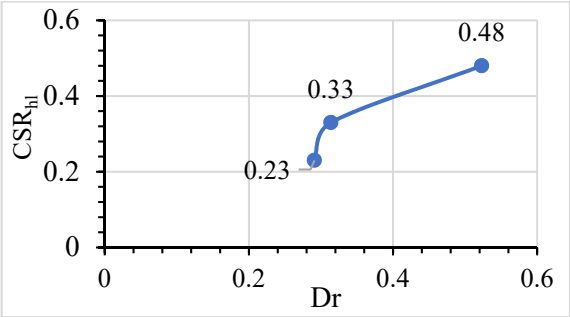
Hình 3. Sự biến đổi biên độ ứng suất theo chu kỳ gia tải



Hình 4. Sự biến đổi của biến dạng dọc trục theo chu kỳ gia tải



Hình 5. Sự biến đổi tỷ số R_u theo chu kỳ gia tải



Hình 6. Quan hệ giữa CSR_{hl} với D_r

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Thí nghiệm xác định khả năng hóa lỏng của cát bằng thiết bị ba trục động được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM D 5311 tại phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật công trình – Trường Đại học Mỏ địa chất. Quá trình thí nghiệm trải qua 4 bước: chế bị, bão hòa, cố kết và gia tải động. Khả năng hóa lỏng của mẫu được đánh giá qua tỷ số áp lực nước lỗ rỗng (R_u). Khi gia tải trọng chu kỳ hình sin với sơ đồ điều khiển ứng suất (sơ đồ A), cả ba mẫu đều bị hóa lỏng khi R_u đạt tới 100% và biến dạng dọc trục thay đổi từ 7,55% đến 10,46%. Khả năng hóa lỏng của các mẫu cát (mịn, bụi thuộc Q_2^{2-3}) được quyết định bởi điều kiện ứng suất (áp lực ban đầu), tỷ số ứng suất CSR, chu kỳ gia tải và độ chặt của mẫu. Độ chặt càng tăng thì tỷ số ứng suất gây hóa lỏng (CSR_{hl}) càng lớn. Mức độ gia tăng CSR_{hl} lớn khi độ chặt chuyển từ 0,291 (xốp) đến 0,330 (ngưỡng giữa xốp - chặt vừa). Các mẫu thuộc hệ tầng thường nằm nông, độ chặt thấp và bão hòa nên nguy cơ hóa lỏng rất cao. Do vậy, khi sử dụng loại cát này làm nền các công trình có tải trọng động hoặc trong vùng động đất mạnh cần thiết phải quan tâm nghiên cứu khả năng hóa lỏng. Để đánh giá khả năng hóa lỏng nền cát một cách đầy đủ hơn, cần tiến hành thí nghiệm với số lượng mẫu đủ lớn để xác định được đường bao hóa lỏng (đường cong quan hệ giữa CSR_{hl} với số chu kỳ) trong điều kiện (về độ chặt, trạng thái ứng suất) phù hợp với thực tế.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Bộ Giáo dục và Đào tạo đã hỗ trợ kinh phí và Viện Khoa học công nghệ xây dựng đã phối hợp cùng thực hiện nhiệm vụ nghiên cứu khoa học này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] ASTM-D5311, 2013. *Standard test method for load controlled cyclic triaxial strength of soil.* Annual Book of ASTM 11.

[2] Juneja, A., Raghunandan, M.E., 2010. *Effect of sample preparation on strength of sands*, in: Indian Geotechnical Conference, Mumbai, India, 327–330.

[3] Juneja, A., Raghunandan, M.E., 2008. *Comparison of methods of sample preparation for triaxial tests on sands,* in: Proceedings of Indian Geotechnical Conference, 14–17.

[4] Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971. *Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential.* Journal of Soil Mechanics & Foundations Div, 1249-1273.

[5] Seed, H.B., Peacock, W.H., 1971. *Test procedures for measuring soil liquefaction characteristics.* Journal of Soil Mechanics & Foundations Div, 1099-1119.

[6] Nguyen Van Phong (2016), *Research on mechanical properties of Quaternary sediments distributed in Hanoi area under dynamic loads*, PhD thesis, Hanoi University of Mining and Geology.

[7] Nguyen Van Phong (2015), *Study the rules of soil dynamic strength and some applied results of soft soil in Bac Bo coastal area by using Cyclic triaxial tests*, Scientific - Technical Journal of Mining and geology, Hanoi, No. 52/10 pp 26-32.

[8] Le Trong Thang, Nguyen Van Phong (2015), *Evaluate the liquefaction potential of sand in Thai Binh formation in Hanoi area during earthquake*, Proceedings of The 2nd International conference HANOIGEO 2015, pp 293-298.

[9] Nguyễn Văn Phóng, 2020. *Độ bền động và khả năng hóa lỏng của cát khu vực ven biển Sóc Trăng dưới tác dụng của tải trọng tuabin điện gió.* Hội nghị Toàn quốc Khoa học trái đất và Tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD, 2020), 85-91

[10] Nguyễn Văn Phóng, Nguyễn Thành Dương, Bùi Trường Sơn, 2020. *Liquefaction Characteristics of Sandy Soil Distributed in Wind Power Farms, Soc Trang Province, Vietnam. Iraqi Geological Journal,* Vol. 55, No.2E,2022,doi.org/10.46717/igj.55.2E.15ms-2022-11-29.

[11] Nguyễn Văn Phóng, 2022. *Phương pháp khôi phục trạng thái của mẫu đất rời trong thí nghiệm ba trục động, áp dụng cho đất loại cát khu vực ven biển Sóc Trăng.* Hội nghị khoa học toàn quốc Acea-Vietgeo 2021.