



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021
PHÚ YÊN, 13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022**

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



**KỶ YẾU HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC ACEA-VIETGEO 2021
PHÚ YÊN, 13 - 14 THÁNG 5 NĂM 2022**

ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT VÀ XÂY DỰNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG KHU VỰC MIỀN TRUNG VÀ TÂY NGUYÊN

Mã ISBN: 978-604-67-2296-0



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

DỰ TÍNH TỶ SỐ ÁP LỰC NƯỚC LỖ RỒNG DƯ DO ĐỘNG ĐẤT CỦA CÁT BẢO HÒA TỪ THÍ NGHIỆM XUYỀN TIÊU CHUẨN, ÁP DỤNG CHO KHU KINH TẾ NHƠN HỘI

Nguyễn Văn Phóng^{1,*}, Nguyễn Tấn Sơn², Thái Bá Ngọc³

¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất, ²Công ty TNHH Nam Miền Trung

³Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt

Khi xảy ra động đất, sự rung lắc của công trình và đất nền làm cho áp lực nước lỗ rỗng trong đất bão hòa tăng. Phần áp lực nước lỗ rỗng gia tăng được gọi là áp lực nước lỗ rỗng dư (ΔU), được đánh giá thông qua tỷ số áp lực nước lỗ rỗng (R_u). Đây là thông số quan trọng trong đánh giá hóa lỏng và ổn định của nền móng công trình trong vùng động đất. Bài báo giới thiệu đặc điểm gia tăng R_u trong đất bão hòa khi chịu động đất; đồng thời phân tích, tổng hợp các kết quả nghiên cứu đã có để đề xuất phương pháp dự tính R_u từ kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT) cho cát bão hòa. Kết quả áp dụng ở khu kinh tế Nhơn Hội cho thấy: với động đất cấp 7, tỷ số áp lực nước lỗ rỗng $R_u = 0,10 - 0,11$ trong lớp cát hạt nhỏ lẫn bụi trạng thái chặt vừa và $R_u = 0,05 - 0,08$ trong lớp cát hạt nhỏ trạng thái chặt.

Từ khóa: Áp lực nước lỗ rỗng dư; tỷ số áp lực nước lỗ rỗng; hệ số bền; xuyên tiêu chuẩn.

1. Mở đầu

Việt Nam là nước nằm gần vành đai lửa, nhiều khu vực có cường độ động đất lớn. Tác động của động đất làm phát sinh áp lực nước lỗ rỗng dư trong đất bão hòa dẫn tới làm giảm độ bền, độ ổn định, thậm chí gây hóa lỏng nền đất. Việc dự báo áp lực nước lỗ rỗng dư do động đất có ý nghĩa quan trọng trong tính toán ổn định nền móng công trình chịu động đất hoặc tải trọng động khác.

Trên thế giới, nhiều nhà khoa học đã quan tâm nghiên cứu sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng trong đất bão hòa khi xảy ra động đất. Hầu hết các nghiên cứu đều dựa trên phương pháp thí nghiệm ba trục động với tải trọng mô phỏng động đất. Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã chỉ ra mức độ gia tăng áp lực nước lỗ rỗng phụ thuộc vào cường độ động đất, loại đất, đặc điểm thành phần hạt, mức độ biến dạng động và điều kiện ứng suất. Dựa trên kết quả thực nghiệm, một số nhà khoa học đã thiết lập được mối liên hệ giữa tỷ số áp lực nước lỗ rỗng (R_u) với mức độ biến dạng động, giữa tỷ số áp lực nước lỗ rỗng R_u với hệ số an toàn kháng hóa lỏng (FS_L), làm cơ sở dự báo sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng do động đất trong đất bão hòa. Ở nước ta, những nghiên cứu về vấn đề này còn ít. Một số kết quả nghiên cứu ban đầu được thực hiện trên thiết bị ba trục động (Nguyễn Văn Phóng, 2016, 2020) đã xác định được mức độ gia tăng tỷ số áp lực nước lỗ rỗng trong đất cát mịn phân bố ở Hà Nội và Sóc Trăng. Võ Phán và Nguyễn Đức Huy (2016) cũng đã đề cập đến việc xác định R_u theo liên hệ thực nghiệm trong đánh giá sức chịu tải của nền cát dưới móng bè. Nhìn chung, có hai nhóm phương pháp được sử dụng để xác định R_u là phương pháp thí nghiệm trực tiếp và phương pháp liên hệ thực nghiệm.

Nội dung bài báo này dựa trên kết quả tổng hợp, phân tích các kết quả nghiên cứu đã có để đề xuất phương pháp dự tính R_u từ kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT), đồng thời áp dụng cho cát bão hòa phân bố ở Khu kinh tế Nhơn Hội.

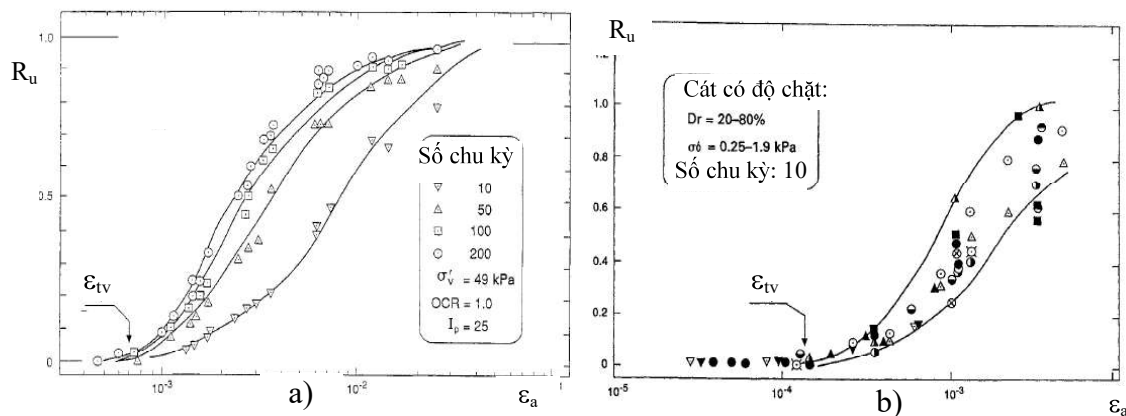
* Ngày nhận bài: 22/02/2022; Ngày phản biện: 31/3/2022; Ngày chấp nhận đăng: 10/4/2022

* Tác giả liên hệ: Email: nguyenvanphong.dcct@humg.edu.vn

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Sự gia tăng áp lực nước lỗ rỗng và giảm độ bền trong đất bão hòa khi chịu tải trọng động

Động đất là một trong những nguồn gây ra tải trọng động. Tải trọng động làm phát sinh áp lực nước lỗ rỗng dư ΔU trong đất bão hòa. Tác động của ΔU đến độ bền và khả năng hóa lỏng của đất bão hòa không những phụ thuộc vào loại đất mà còn phụ thuộc vào điều kiện ứng suất. Do vậy, trong tính toán người ta thường sử dụng tỷ số áp lực nước lỗ rỗng (R_u) là tỷ số giữa 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, ΔU có thể tăng đến trị số bằng σ'_c , tức là $R_u = 100\%$ ở thời điểm đất bị phá hủy (Seed H. B., 1971). Với đất cát, độ bền của đất chỉ có lực ma sát nên ở thời điểm này, ứng suất hiệu quả bằng không và cát bị hóa lỏng hoàn toàn. Mức độ gia tăng R_u phụ thuộc vào tải trọng và loại đất. Cường độ của tải trọng động càng lớn thì gây ra biến dạng động và R_u càng lớn. Theo kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả (hình 1), khi biến dạng bằng 0,5% bắt đầu có sự tăng đáng kể áp lực nước lỗ rỗng; ở khoảng biến dạng động bằng 1 - 2%, R_u tăng đến giá trị cực đại.



Hình 1. Biến đổi R_u theo biến dạng của đất sét bão hòa (a) và đất cát bão hòa (b)
(Ishihara K., 2003)

Sự xuất hiện của áp lực nước lỗ rỗng dư trong cát bão hòa làm độ bền của đất giảm từ độ bền ban đầu (τ_o) đến (τ_{red}), từ biểu thức định luật Coulomb:

$$\tau_o = \sigma' \tan \phi \quad (1)$$

$$\tau_{red} = (\sigma' - \Delta U) \tan \phi \quad (2)$$

Mức độ suy giảm độ bền của đất khi chịu tải trọng động được Awad Ali Al-Karni (2001) đánh giá qua hệ số bền I_{red} :

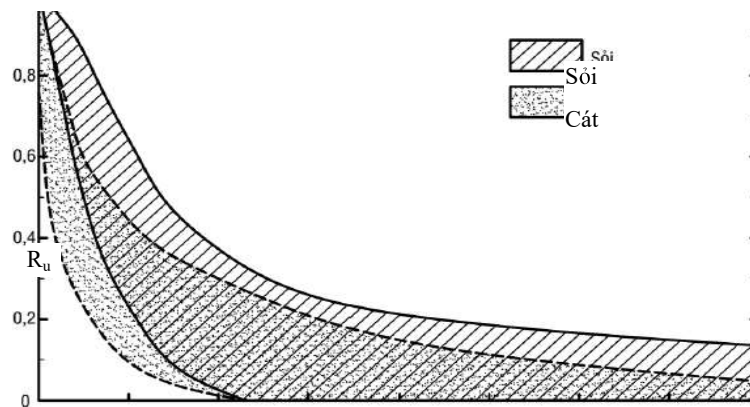
$$I_{red} = \frac{\tau_{red}}{\tau_o} = \frac{(\sigma' - \Delta U) \tan \phi}{\sigma' \tan \phi} = 1 - \frac{\Delta U}{\sigma'} = 1 - R_u \quad (3)$$

Khi chịu tải trọng động, áp lực nước lỗ rỗng dư ΔU xuất hiện trong đất tăng từ 0 đến giá trị bằng σ'_c hay R_u tăng từ 0 đến 1, do đó hệ số bền I_{red} giảm từ 1 đến 0. Hệ số bền phản ánh độ ổn định của đất cát với tải trọng động và là một thông số quan trọng cho phép đánh giá tác động của động đất đến ổn định của nền. Với đất cát bão hòa, hệ số bền được hoàn toàn xác định nếu biết R_u .

Hiện nay, có nhiều phương pháp xác định R_u như các phương pháp thí nghiệm trực tiếp (thí nghiệm ba trục động, cắt phẳng động) hoặc phương pháp xác định gián tiếp theo liên hệ thực nghiệm. Các phương pháp thí nghiệm trực tiếp cho phép xác định R_u với tải trọng thí nghiệm mô phỏng động đất hoặc tải trọng động khác. Phương pháp xác định gián tiếp chủ yếu dùng cho tải trọng động gây ra bởi động đất.

2.2. Phương pháp xác định R_u từ kết quả thí nghiệm SPT

Phương pháp dự tính R_u theo hệ số an toàn kháng hóa lỏng (FS_L) là phương pháp thường được sử dụng do tính tiện lợi của nó. Khả năng hóa lỏng của cát bão hòa được đánh giá qua hệ số FS_L , khi $FS_L \leq 1$, đất bị hóa lỏng; và $FS_L > 1$ đất an toàn với hóa lỏng. Trường hợp $FS_L > 1$ xảy ra khi điều kiện ứng suất, cường độ và thời gian tác dụng của tải trọng động chưa đủ gây ra hóa lỏng, nhưng vẫn làm phát sinh áp lực nước lỗ rỗng dư trong đất. Theo Marcuson và Hynes (1990), có thể dự tính R_u theo FS_L như biểu đồ hình 2. Theo đó, khi $FS_L < 1,3$ thì R_u có mức độ gia tăng đáng kể, đạt tới trị số lớn nhất bằng 1 khi $FS_L = 1$ (ngưỡng trạng thái hóa lỏng). FS_L càng lớn thì R_u càng giảm.

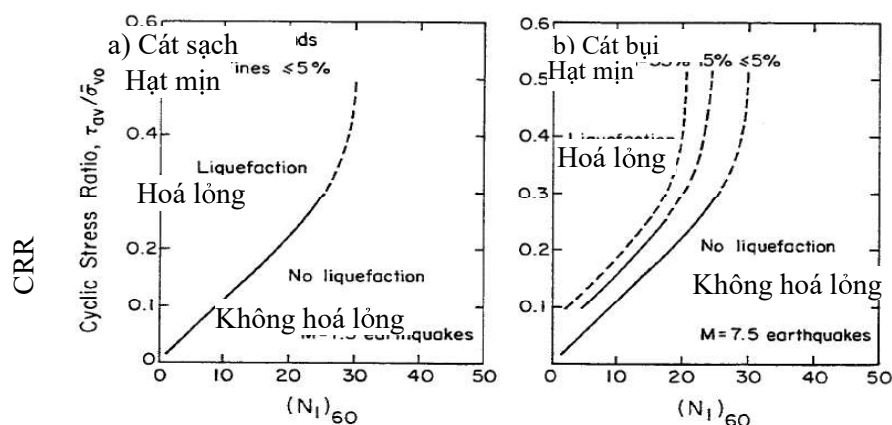


Hình 2. Quan hệ giữa FS_L với R_u của cát và sỏi (Marcuson và Hynes, 1990)

Như vậy, để xác định R_u cần xác định FS_L . Theo Seed và Idriss (1971), hệ số FS_L bằng tỷ số giữa tỷ sức kháng hóa lỏng (CRR) với tỷ ứng suất động (CSR):

$$FS_L = \frac{CRR}{CSR} \quad (4)$$

Tỷ sức kháng hóa lỏng CRR (Cyclic Resistance Ratio) phụ thuộc vào loại cát, hàm lượng hạt mịn và độ chặt của cát, có thể được xác định bằng các liên hệ thực nghiệm với thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT), xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu) hoặc bằng thí nghiệm trực tiếp. Dựa vào trị số SPT ứng với 60% năng lượng của búa $(N_1)_{60}$, Seed và Alba (1986) đã xây dựng biểu đồ cho phép xác định CRR tương ứng với cường độ động đất $m = 7.5$ cho đất cát sạch và cát bụi (theo hàm lượng hạt mịn, FC) như hình 3.



Hình 3. Quan hệ giữa CRR với $(N_1)_{60}$ (Seed và Alba, 1986)

Giá trị $(N_1)_{60}$ được xác định theo biểu thức (5):

$$(N_1)_{60} = N \cdot C_E \cdot 9,79 \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,5} \quad (5)$$

trong đó, N là trị số SPT đo được thực tế; σ'_{vo} (tính theo kPa) là ứng suất địa tầng hiệu quả; C_E là hệ số năng lượng hiệu quả, có thể lấy bằng 0,5 - 0,9.

Tỷ ứng suất động CSR là tỷ số giữa ứng suất cắt động gây ra bởi động đất với ứng suất địa tầng hiệu quả, được xác định theo Seed (1971):

$$CSR = 0,65 \left(\frac{a_g}{g} \right) r_d \left(\frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \quad (6)$$

Trong đó, a_g là đỉnh gia tốc nền được xác định theo bảng phân vùng nhỏ động đất; r_d là hệ số điều chỉnh theo độ sâu, $r_d = 1 - 0,012z$, với z là độ sâu (m); σ_{vo} là áp lực địa tầng tổng.

Như vậy, có thể sử dụng kết quả thí nghiệm SPT để xác định CRR theo biểu đồ hình 3, kết hợp với các biểu thức (4), (6) sẽ xác định được FS_L từ đó xác định R_u .

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Đặc điểm địa tầng đặc trưng Khu kinh tế Nhơn Hội

Khu kinh tế Nhơn Hội nằm trên địa bàn thành phố Quy Nhơn và một phần của các huyện Tuy Phước, Phù Cát. Theo bản phân vùng gia tốc nền lãnh thổ Việt Nam (TCVN 9386:2012), khu vực này có đỉnh gia tốc nền a_g bằng 0,0941g đến 0,1070g, tương đương động đất cấp 7 theo thang MSK-64. Dựa trên Bản đồ Địa chất - Khoáng sản tỉnh Bình Định (Liên đoàn Địa chất Trung Trung Bộ, 2006), có thể thấy Khu kinh tế Nhơn Hội thuộc địa hình tích tụ bởi trầm tích biển - gió mvQ_2^3 (Hình 4).

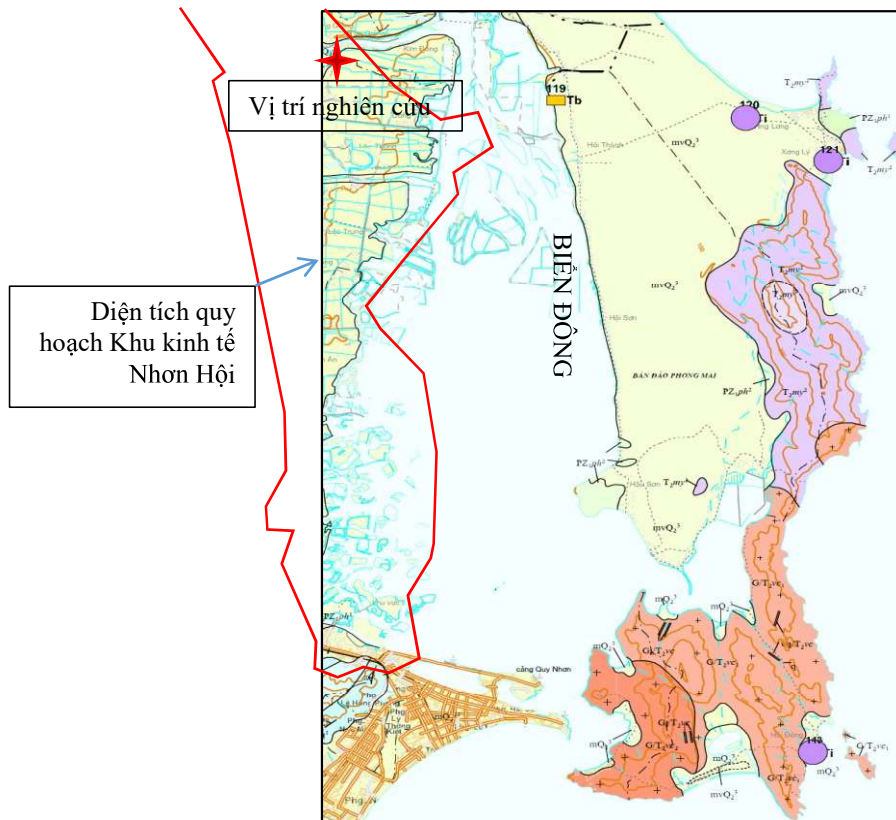
Tại vị trí nghiên cứu, đã thực hiện 06 hố khoan khảo sát địa chất công trình, mỗi hố sâu 50m. Thí nghiệm SPT với tần suất 2m/lần trong tất cả các hố khoan với tổng khối lượng 150 lần thí nghiệm. Theo tài liệu khoan khảo sát, địa tầng khu vực chủ yếu có mặt cát hạt nhỏ, trạng thái từ chặt vừa đến rất chặt phủ trên lớp sét pha nửa cứng - cứng (bảng 1). Như vậy, địa tầng đặc trưng khu vực tính đến độ sâu 30m (khi vượt quá độ sâu này, $CSR \approx 0$ do áp lực địa tầng quá lớn; Nguyễn Văn Phóng, 2016) có hai loại cát: Lớp 1 - Cát hạt nhỏ, lẫn bụi màu vàng nhạt, trạng thái chặt vừa, hàm lượng hạt mịn $FC = 10,6\%$; Lớp 2 - Cát hạt nhỏ, màu vàng, vàng nâu, trạng thái chặt, hàm lượng hạt mịn $FC = 6,4\%$. Đặc điểm thành phần hạt của các lớp cát được cho chi tiết trong bảng 2. Nước dưới đất trong phạm vi nghiên cứu phân bố chủ yếu trong lớp 2, mực nước ở độ sâu từ (3,0 - 7,5)m tùy theo cao độ địa hình. Phần trên mực nước, từ độ sâu khoảng (2,0 - 4,0)m cát được bão hòa bằng nước mao dẫn.

Bảng 1. Tổng hợp địa tầng tại vị trí nghiên cứu

Ký hiệu lớp	Độ sâu (m)		Bề dày trung bình (m)	Hệ tầng	Loại đất	Giá trị SPT/trị số trung bình (búa)
	Mặt lớp	Đáy lớp				
1	0	4,5-10,0	6,5	mvQ_2^{2-3}	Cát hạt nhỏ, lẫn bụi màu vàng nhạt, trạng thái chặt vừa. $FC = 10,6\%$	$\frac{12 - 26}{16}$
2	4,5-10,0	38,0-43,5	32,0	m, amQ_2^{2-} $_3$	Cát hạt nhỏ, màu vàng, vàng nâu, trạng thái chặt. $FC = 6,4\%$	$\frac{31 - 51}{43}$
3	38,0-43,5	50	11,5	amQ_1^3	Sét pha, màu xám vàng, nâu đỏ, trạng thái nửa cứng đến cứng	21-50

Bảng 2. Đặc điểm thành phần hạt các lớp cát

Nhóm hạt (mm)	Cát					Bụi		Sét
	2,0 - 1,0	1,0 - 0,5	0,5 - 0,25	0,25 - 0,08	0,08 - 0,06	0,06 - 0,01	0,01 - 0,002	< 0,002
Lớp 1	0	24,1	43,8	22,1	1,2	3,7	3,6	3,3
Lớp 2	0,7	21,3	48,8	21,1	1,7	2,6	1,7	2,1



Hình 4. Đặc điểm phân bố địa tầng địa chất Khu kinh tế Nhơn Hội
(Theo Bản đồ Địa chất - Khoáng sản tỉnh Bình Định, 2006)

3.2. Kết quả xác định R_u theo kết quả thí nghiệm SPT

Trên cơ sở phương pháp đã trình bày ở mục 2, tiến hành áp dụng xác định R_u cho cát bão hòa ở trạng thái chặt vừa (lớp 1) đến chặt (lớp 2). Sử dụng kết quả thí nghiệm SPT theo độ sâu (trị số N là trị số trung bình theo độ sâu, bảng 3) tại vị trí nghiên cứu xác định được trị số $(N_1)_{60}$ theo biểu thức (5). Từ đó tra biểu đồ hình 3 với hàm lượng hạt mịn của từng loại cát để xác định tỷ sức kháng hóa lỏng CRR. Tỷ số ứng suất động CSR do động đất được tính theo biểu thức (6) với đỉnh gia tốc nền lớn nhất trong khu vực là $a_g = 0,1070g$. Từ đó, xác định được hệ số an toàn kháng hóa lỏng FS_L theo biểu thức (4) và R_u theo biểu đồ hình 2. Tổng hợp kết quả tính toán được cho trong bảng 1.

Bảng 2. Kết quả xác định FS_L theo thí nghiệm SPT

Lớp đất	z (m)	N	C_E	$\sigma_{vo}^{(1)}$ (kPa)	$U^{(2)}$ (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	$(N_1)_{60}$	CRR	r_d	CSR	FS_L	R_u
Lớp 1	4	15	0.70	78.0	9.8	68.2	14.9	0.16	0.952	0.08	2.00	0,11
	6	23	0.70	117.0	29.4	87.6	16.8	0.18	0.928	0.09	2.09	0,10
Lớp 2	8	31	0.70	156.0	49.1	107.0	20.5	0.22	0.904	0.09	2.40	0,06
	10	33	0.70	196.0	68.7	127.3	20.0	0.22	0.88	0.09	2.34	0,07

Lớp đất	z (m)	N	C _E	$\sigma_{vo}^{(1)}$ (kPa)	U ⁽²⁾ (kPa)	σ'_{vo} (kPa)	(N ₁) ₆₀	CRR	r _d	CSR	FS _L	R _u
	15	37	0.70	296.0	117.7	178.3	19.0	0.21	0.82	0.09	2.22	0,08
	20	43	0.70	396.0	166.8	229.2	19.5	0.21	0.76	0.09	2.30	0,07
	25	47	0.70	496.0	215.8	280.2	19.2	0.21	0.7	0.09	2.44	0,06
	30	51	0.70	596.0	264.9	331.1	19.2	0.21	0.64	0.09	2.62	0,05

Ghi chú: (1) - σ_{vo} được tính với dung trọng bão hòa trong lớp 1 là $\gamma_{bh1} = 19,5 \text{ kN/m}^3$; trong lớp 2 là $\gamma_{bh2} = 20,0 \text{ kN/m}^3$; (2) - Nước dưới đất giả thiết ở độ sâu 3m.

Kết quả tính toán trong bảng 1 cho thấy: Lớp cát hạt nhỏ, lẫn bụi màu vàng nhạt, hàm lượng hạt mịn FC = 10,6%, trạng thái chặt vừa, phân bố đến độ sâu 6,5m có $R_u = (0,10 - 0,11)$; Lớp cát hạt nhỏ, màu vàng, vàng nâu, hàm lượng hạt mịn FC = 6,4%, trạng thái chặt, phân bố từ 6,5m đến 30,0m có $R_u = (0,05 - 0,08)$.

4. Kết luận và kiến nghị

Dự tính tỷ số áp lực nước lỗ rỗng R_u có ý nghĩa quan trọng trong tính toán ổn định nền móng công trình chịu động đất hoặc tải trọng động khác. Trị số R_u phụ thuộc vào đặc điểm thành phần hạt, tăng theo cấp động đất, giảm theo độ chặt (qua trị số SPT) và độ sâu (điều kiện ứng suất). Phương pháp dự tính R_u có thể sử dụng kết hợp các liên hệ thực nghiệm của Marcuson và Hynes (biểu đồ hình 2), Seed và Alba (biểu đồ hình 3) từ kết quả thí nghiệm SPT. Tại khu kinh tế Nhơn Hội, ở độ sâu nhỏ hơn 30m, tỷ số áp lực nước lỗ rỗng $R_u = 0,10 - 0,11$ trong lớp cát hạt nhỏ lẫn bụi trạng thái chặt vừa và $R_u = 0,05 - 0,08$ trong lớp cát hạt nhỏ trạng thái chặt. Tuy nhiên, kết quả này dựa trên liên hệ thực nghiệm ở nước ngoài, cần tiếp tục có những nghiên cứu bằng thí nghiệm trực tiếp ở điều kiện nước ta trước khi được áp dụng rộng rãi.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Mở - Địa chất và Phòng thí nghiệm Địa kỹ thuật công trình - Bộ môn Địa chất công trình đã tạo điều kiện để hoàn thiện bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- Nguyễn Văn Phóng, 2016. Nghiên cứu tính chất cơ học của trầm tích Đệ tứ phân bố ở khu vực Hà Nội dưới tác dụng của tải trọng động. Luận án tiến sĩ Kỹ thuật địa chất, Trường Đại học Mở - Địa chất, Hà Nội.
- Nguyễn Văn Phóng và nnk, 2020. Đánh giá ảnh hưởng của tỷ số áp lực nước lỗ rỗng đến sức chịu tải của móng cọc tuabin điện gió khu vực duyên hải Sóc Trăng. Hội nghị toàn quốc khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2020).
- Võ Phán, Nguyễn Đức Huy, 2016. Đánh giá sức chịu tải của nền cát hóa lỏng dưới móng bè. *Tạp chí khoa học Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh*, số 51 (6) 2016.
- Liên đoàn Địa chất Trung Trung Bộ, 2006. Bản đồ Địa chất - Khoáng sản tỉnh Bình Định, tỷ lệ 1:50.000 Cục địa chất khoáng sản Việt Nam.
- TCVN 9386:2012, 2012. Thiết kế công trình chịu động đất. Tiêu chuẩn Quốc gia.
- Awad Ali Al-Karni, 2001. Shear Strength Reduction Due to Excess Pore Water Pressure. International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, 30 Mar 2001, Missouri University of Science and Technology.

- Marcuson, W.F. and Haynes, M.E., 1990. Stability of Slopes and Embankments During Earthquakes. Proc. ASCE/Pennsylvania Department of Transportation Geotechnical Seminar, Hershey, Pennsylvania.
- Dobry R., Powell, D.J. et al (1980), Liquefaction potential of saturated sand- The stiffness methods. Proceedings of the 7th World Conference on Earthquake Engineering, Istanbul, Turkey, Vol. 3, pp. 25-32.
- Ishihara K. (2003), Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics, Oxford Science Publications.
- Seed H. B. and Izzatm. Idriss (1971), Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division.
- Seed H. B., and De Alba (1986), Use of SPT and CPT tests for evaluating the liquefaction resistance of sands, Proc., INSITU '86, ASCE Spec. Conf. on Use of In Situ Testing in Geotech. Engrg., Spec.Publ. No.6, ASCE, New York, N.Y
- Vuceticm. (1994), Cyclic threshold shear strains in soils, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, vol. 120, no. 12.