



A STUDY OF THE SHEAR MODULUS OF COASTAL SAND IN QUANG BINH BY STANDARD PENETRATION, CYCLE TRIAXIAL AND DOWNHOLE SEISMIC TESTS

Hong Lam Dang^{*}, Phi Hong Thinh

University of Transport and Communications, No. 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 05/10/2022

Revised: 28/11/2022

Accepted: 30/01/2023

Published online: 15/02/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.3>

^{*} *Corresponding author*

Email: dang.hong.lam@utc.edu.vn

Abstract. A shear module plays an important role in modeling of soil behavior, especially in small strain structures such as vibration equipment foundation, wind turbine foundation, bridge foundation, retaining wall, tunnel, and so on. There are a lot of studies on soil shear modulus depending on the allowable shear strain in the world, but there is not much that study in Vietnam, especially in small strain structures. In this paper, to study the relationship between the shear modulus and the allowable shear strain, the authors used downhole seismic tests, cycle triaxial tests and standard penetration tests performed on coastal sand in Quang Binh province, Vietnam. The results from the shear modulus are compared with those in the classical literature to enrich the database of the shear modulus for engineering practices in Vietnam. The experimental results from the shear modulus show that the correlation between the shear modulus and the allowable shear strain is close to the lower limitation of the classical correlation curve in the literature.

Keywords: shear modulus, small strain, coastal sand, downhole seismic test, cycle triaxial test, standard penetration test

© 2023 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU MÔ ĐUN CẮT CỦA ĐẤT CÁT VEN BIỂN TỈNH QUẢNG BÌNH BẰNG THÍ NGHIỆM XUYÊN TIÊU CHUẨN, THÍ NGHIỆM BA TRỤC ĐỘNG THEO CHU KỲ VÀ THÍ NGHIỆM ĐỊA CHẤN

Đặng Hồng Lam^{*}, Phí Hồng Thịnh

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 05/10/2022

Ngày nhận bài sửa: 28/11/2022

Ngày chấp nhận đăng: 30/01/2023

Ngày xuất bản Online: 15/02/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.2.3>

** Tác giả liên hệ*

Email: dang.hong.lam@utc.edu.vn

Tóm tắt. Mô đun cắt đóng vai trò quan trọng trong việc mô hình hóa ứng xử của đất, đặc biệt là trong các kết cấu biến dạng nhỏ như móng của thiết bị rung, móng tuabin gió, móng cầu, tường chắn, hầm, v.v. Đã có nhiều nghiên cứu về mô đun cắt phụ thuộc vào biến dạng cắt cho phép ở trên thế giới, tuy nhiên chưa có nhiều nghiên cứu ở Việt Nam, đặc biệt là khi biến dạng nhỏ. Trong bài báo này, để nghiên cứu mối quan hệ giữa mô đun cắt với biến dạng cắt cho phép, nhóm tác giả đã sử dụng thí nghiệm địa chấn và thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ được thực hiện trên đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình, Việt Nam. Kết quả xác định mô đun cắt được so sánh với giá trị điển hình trong các tài liệu nghiên cứu trước đây để làm phong phú thêm cơ sở dữ liệu hiện có về mô đun cắt của đất cát ở Việt Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy tương quan giữa mô đun cắt của đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình và biến dạng cắt nằm tiệm cận với giới hạn dưới của đường cong biểu diễn tương quan điển hình.

Từ khóa: mô đun cắt, biến dạng nhỏ, đất cát ven biển, thí nghiệm địa chấn, thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ, thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tính toán dự báo biến dạng / độ lún của đất phụ thuộc vào các tương quan giữa ứng suất và biến dạng và các thông số địa chất. Hiện nay, đất có thể được mô hình hóa thành mô hình hai giai đoạn là giai đoạn đàn hồi hoàn toàn cho đến khi đạt được ứng suất phá hoại theo tiêu chí Mohr-Coulomb, sau đó là giai đoạn biến dạng dẻo sẽ xảy ra. Tuy nhiên, độ cứng cụ thể là mô đun biến dạng và mô đun cắt của đất phụ thuộc vào giá trị ứng suất cho phép và dạng biểu đồ ứng suất - biến dạng, ví dụ như quá trình tăng tải và dỡ tải của đất. Ngoài ra, biến dạng của đất còn có thể được mô hình thành đường cong, ví dụ như mô hình hyperbol theo kết quả nghiên cứu của Duncan và Chang [1].

Khi biến dạng nhỏ, hầu hết các loại đất có độ cứng cao hơn so với khi biến dạng lớn và mô đun cắt cũng thể hiện quy luật này. Do đó, giá trị mô đun cắt của đất khi biến dạng rất nhỏ thường được coi là mô đun cắt lớn nhất. Mô đun cắt của đất ở biến dạng rất nhỏ được xác định bằng thí nghiệm địa chấn thông qua việc đo vận tốc sóng cắt V_s [2]. Giá trị mô đun cắt của đất ở biến dạng rất nhỏ còn được gọi là mô đun cắt lớn nhất và được ký hiệu là G_{max} hoặc mô đun cắt ban đầu, được ký hiệu là G_0 . Đây là giá trị mô đun cắt cơ bản và đo được ở tất cả các loại đất và đá nứt nẻ. Mô đun cắt của đất ở biến dạng rất nhỏ được xác định từ thí nghiệm địa chấn tại hiện trường theo công thức (1)

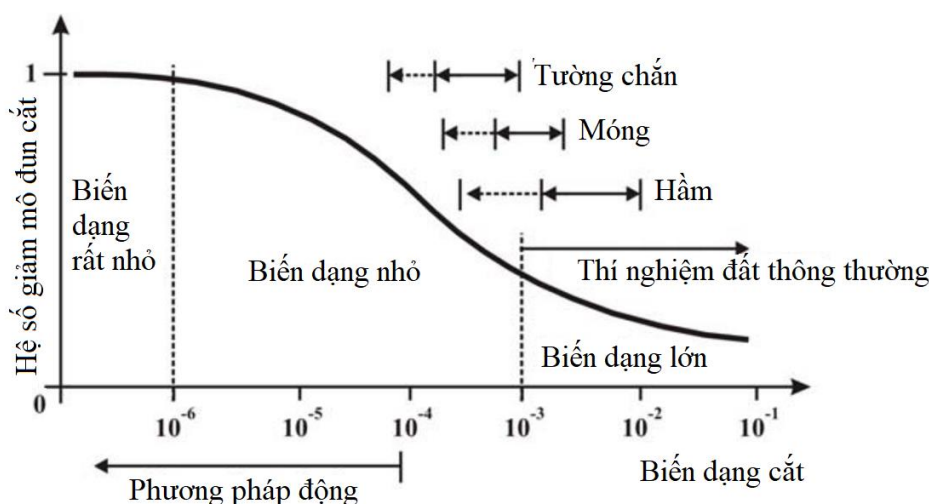
$$G_0 = \rho V_s^2 \quad (1)$$

trong đó ρ là khối lượng riêng của đất, V_s là vận tốc truyền sóng ngang,

Ngoài giá trị mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ, người ta còn quan tâm đến mô đun cắt của đất ở các biến dạng khác. Hình 1 cho thấy mô đun cắt của đất giảm khi biến dạng cắt tăng. G của đất cát được ước tính theo mối quan hệ với mô đun cắt ban đầu qua công thức (2)

$$G = R_M G_0 \quad (2)$$

trong đó: R_M là hệ số giảm mô đun cắt; G_0 là mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ ($<10^{-5}$). R_M phụ thuộc vào mức độ biến dạng cắt, có thể được chia thành hai cấp như sau: từ thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ phù hợp cho mức biến dạng thường từ 0,0001 đến 0,001; từ tính toán độ lún của móng phù hợp mức độ biến dạng thông thường từ 0,01 đến 0,001 theo các lý thuyết tính toán khác nhau được viết trong các tài liệu.



Hình 1. Mối quan hệ giữa mô đun cắt của đất và biến dạng cắt [3].

Hình 1 cho thấy mối quan hệ điển hình của hệ số giảm mô đun cắt R_M và biến dạng cắt của đất theo thang logarit [3]. Đường cong hình chữ S đặc trưng thể hiện cho hầu hết các loại đất. Cũng có thể nhận ra mô đun cắt của đất tương ứng với các mức biến dạng có thể được xác định một cách đáng tin cậy từ các thí nghiệm trong phòng, ví dụ như thí nghiệm ba trục, thí nghiệm nén không nở hông. Mối quan hệ phi tuyến dưới dạng đường hyperbolic đã được áp dụng để biểu diễn mối tương quan giữa hệ số giảm mô đun cắt khi tăng mức độ biến dạng [4-7].

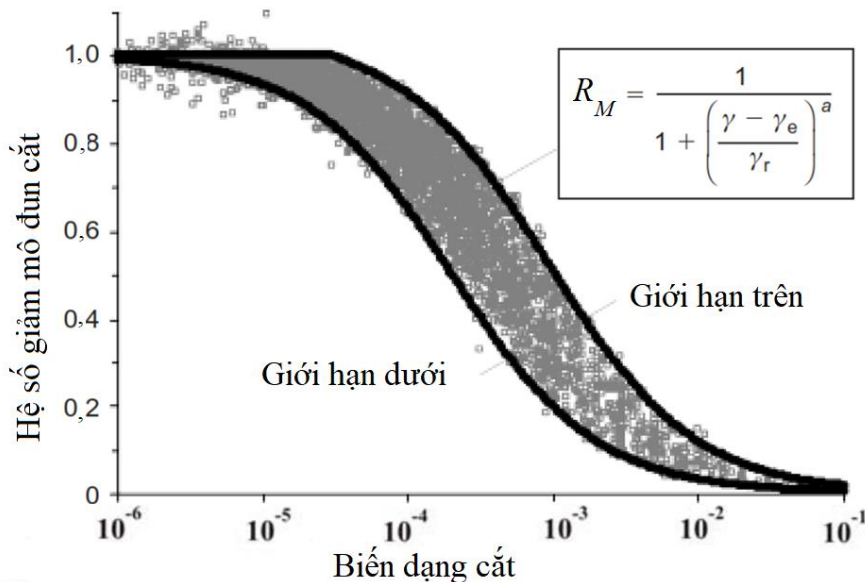
Mối quan hệ điển hình nhất hiện có đối với tương quan giữa hệ số giảm mô đun cắt và biến dạng cắt cho phép được thể hiện trong Hình 2 và công thức (3) theo đề xuất của Bolton và nnk [8]. Tuy nhiên, rất ít nghiên cứu về hệ số giảm mô đun cắt ở Việt Nam và đặc biệt là chưa có nghiên cứu hệ số giảm mô đun cắt cho đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình. Bài báo này tập trung vào việc tìm hiểu hệ số giảm mô đun cắt R_M cho đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình thông qua thí nghiệm địa chấn và thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ.

$$R_M = \frac{1}{1 + \left(\frac{\gamma - \gamma_e}{\gamma_r} \right)^a} \quad (3)$$

Ghi chú: khi $\gamma < \gamma_e$ thì lấy $R_M = 1,0$

Giới hạn dưới của tương quan, lấy $\gamma_e = 0$; $\gamma_r = 0,02\%$; $a = 0,88$

Giới hạn trên của tương quan, lấy $\gamma_e = 0,003\%$; $\gamma_r = 0,10\%$; $a = 0,88$



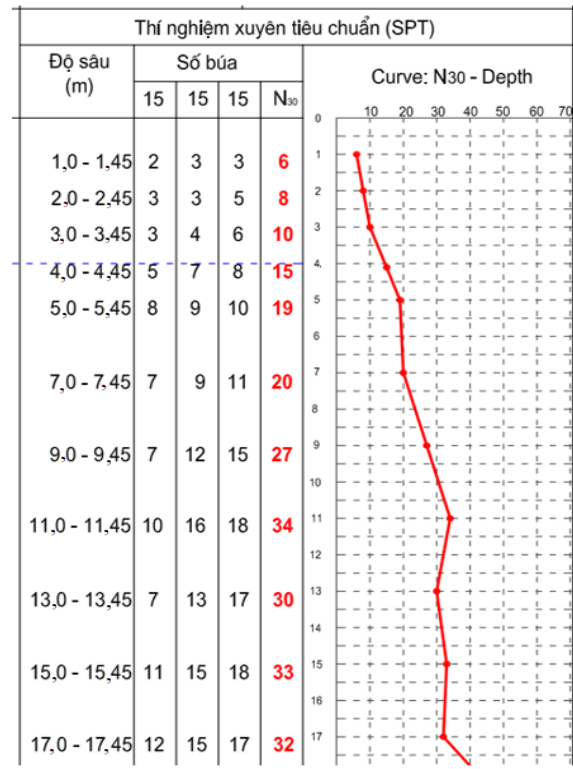
Hình 2. Tương quan giữa hệ số giảm mô đun cắt và biến dạng cắt cho phép [8].

2. SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THỰC HIỆN

2.1. Khu vực nghiên cứu và tính chất của đối tượng nghiên cứu

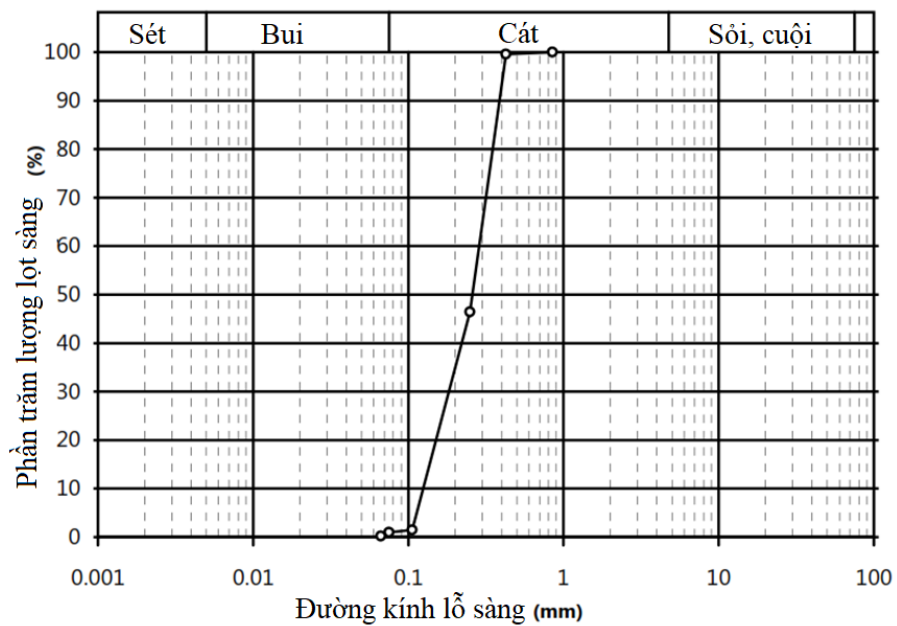
Khu vực nghiên cứu của bài báo là cát ven biển tỉnh Quảng Bình, Việt Nam. Lỗ khoan WP15 với biểu đồ giá trị N_{SPT} theo độ sâu (Hình 3) được lựa chọn để nghiên cứu, gồm lớp cát mặt rời rạc dày 3 m có giá trị N_{SPT} nhỏ hơn 10 búa, tiếp đến là lớp cát chặt vừa có giá trị N_{SPT} từ 10 đến 30 búa phân bố ở độ sâu từ 3 m đến 10 m, tiếp theo là lớp cát chặt có giá trị N_{SPT} lớn

hơn 30 búa phân bố từ độ sâu 10 m trở xuống.



Hình 3. Biểu đồ giá trị N_{SPT} điển hình tại khu vực nghiên cứu (của lỗ khoan WP15).

Mẫu đất cát được lấy ở độ sâu 4,0 ÷ 4,5 m của lỗ khoan WP15 với giá trị N_{SPT} là 15 búa. Thí nghiệm phân tích thành phần hạt được thực hiện trong phòng thí nghiệm và thu được kết quả trong Hình 4 và các đặc tính của cát thí nghiệm được tóm tắt trong bảng 1.



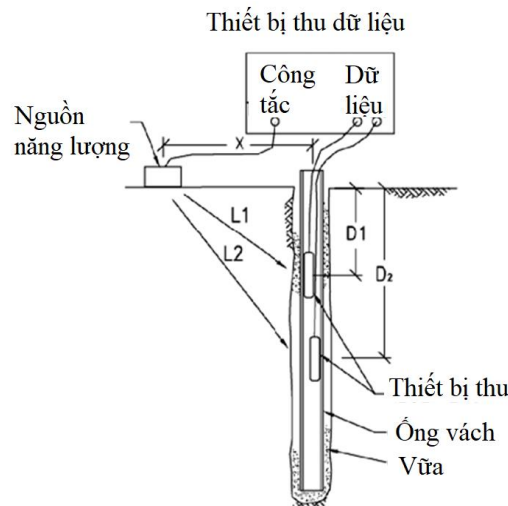
Hình 4. Biểu đồ thành phần hạt.

Bảng 1. Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm trong phòng.

Độ sâu (m)	Khối lượng thể tích ρ (kg/m ³)	Thông số thành phần hạt					Phân loại đất
		D_{10}	D_{30}	D_{60}	C_u	C_c	
4,0 ÷ 4,5	1910	0,12	0,18	0,29	2,40	0,90	Đất cát cấp phối kém

2.2. Thí nghiệm địa chấn trong lỗ khoan

Mục đích của thí nghiệm địa chấn là xác định các thông số động lực học của đất như vận tốc sóng ngang V_s theo tiêu chuẩn ASTM D7400 [9]. Thí nghiệm địa chấn được lắp đặt như trong Hình 5.



Hình 5. Sơ đồ thí nghiệm địa chấn trong lỗ khoan.

Năng lượng địa chấn được tạo ra bởi một quả búa trên một tấm kim loại sẽ truyền đến máy thu bao gồm cả sóng nén (P) và sóng cắt (S).

Cảm biến là một thiết bị ba chiều (3D) bao gồm một thành phần thẳng đứng và hai thành phần ngang trực giao. Máy thu thành phần thẳng đứng bắt sóng nén (sóng P), thành phần xuyên tâm thu sóng cắt (sóng SV) có phương dao động thẳng đứng và sóng cắt (sóng SH) có phương dao động ngang.

Hệ thống ghi: Để thu được sóng địa chấn, các cảm biến ba chiều (3D) và máy đo địa chấn của hãng Geo-Mala, ABEM sản xuất tại Thụy Điển đã được sử dụng. Tần số chính của cảm biến ba chiều là 10 Hz. Máy đo địa chấn 24 kênh Terraloc Pro-ABEM dùng để thu sóng địa chấn ở tần số từ 8 đến 2000 Hz với dải động học 96 db và tốc độ ghi đo số liệu từ 0,025 msec đến 4 msec. Dữ liệu đo sẽ được lưu trữ trong bộ nhớ của hệ thống và được chuyển sang PC bằng USB để xử lý.

Trình tự thực hiện như sau:

Bước 1: Lắp dựng nguồn gây chấn động (búa và tấm kim loại) cách miệng lỗ khoan 2 m.

Bước 2: Lắp đặt cảm biến ba chiều cố định vào thành giếng khoan ở độ sâu 0,5 m.

Bước 3: Tạo chấn động bằng cách đập búa vào tấm kim loại, ghi sóng P và sóng SV, SH.

Bước 4: Kiểm tra tín hiệu sóng địa chấn trên giản đồ sóng.

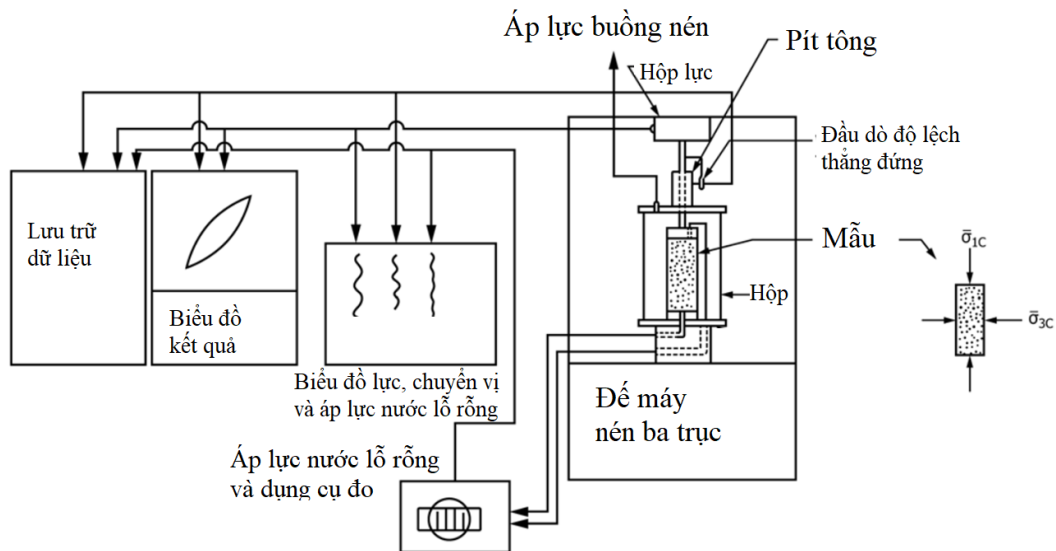
Bước 5: Di chuyển cảm biến ba chiều tới độ sâu khác trong khoảng 1,5 m rồi lặp lại các bước từ 3 đến 4.

Bước 6: Tính mô đun cắt biến dạng nhỏ (hay còn gọi là mô đun cắt ban đầu) được tính theo công thức 1.

2.3. Thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ

Thí nghiệm ba trục động được thực hiện trên các loại đất khi cần đánh giá các đặc tính cường độ và biến dạng của chúng trong các điều kiện gia tải theo chu kỳ. Các điều kiện này có thể bao gồm tải chu kỳ từ động đất, xe cộ và tàu hỏa chạy qua, sóng biển, gió, máy rung, v.v. Có nhiều loại thí nghiệm ba trục động theo các phương pháp khác nhau và nên chọn phương pháp mô phỏng phù hợp nhất các điều kiện tại hiện trường. Thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ có thể tiến hành theo 2 kiểu, gồm: kiểm soát tải trọng là việc áp đặt ứng suất lệch trục theo chu kỳ tải trọng và kiểm soát biến dạng là việc điều khiển biến dạng dọc trục trên mẫu đất cố kết trong điều kiện không thoát nước. Biến dạng dọc trục và ứng suất dọc trục được đo và được sử dụng để tính toán mô đun biến dạng. Thiết bị thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ tương tự như thiết bị được sử dụng cho thí nghiệm nén ba trục thông thường, tuy nhiên, có những tính năng đặc biệt được mô tả trong các phần phía dưới. Sơ họa các chi tiết của thiết bị thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ được thể hiện trong Hình 6 [10].

Thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ được thực hiện theo 5 bước: Chuẩn bị mẫu, lắp đặt thiết bị, bước bão hòa mẫu, bước cố kết mẫu, bước gia tải theo chu kỳ được minh họa trong Hình 7. Bước cuối cùng là tính toán các thông số của đất được thể hiện trong các phương trình (4-11). Thiết bị thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ được sử dụng trong nghiên cứu này là Tritech 50 kN của Wykeham Farrance [11]. Mẫu chế bị hình trụ có đường kính $D = 69$ mm và chiều cao $H = 139,3$ mm. Ghi chú các giá trị đo được của mẫu có sai khác nhỏ so với đường kính dự kiến 70 mm và chiều cao 140 mm. Mẫu chế bị là cát khô có hệ số rỗng 0,658 và độ chặt tương đối $D_r = 0,212$ được tạo ra tương ứng với hệ số rỗng nhỏ nhất và lớn nhất lần lượt là 0,490 và 0,702. Sau khi mẫu khô được tạo ra, quá trình bão hòa mẫu sẽ được tiến hành để mẫu bão hòa hoàn toàn.



Hình 6. Sơ đồ thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ.

Ứng suất nén dọc trục:

$$\sigma_a = \frac{P}{A_{con}} + P_{Cell} - P_{back} \quad (4)$$

Lưu ý: P là tải trọng dọc trục; A_{con} là diện tích mặt cắt ngang của mẫu, P_{Cell} là áp lực buồng nén, P_{back} là áp lực nước lỗ rỗng trong mẫu. Trong thí nghiệm, hai giá trị được ghi lại là ứng suất nén dọc trục và ứng suất kéo dọc trục tương ứng với tải trọng nén dọc trục và tải trọng kéo dọc trục.

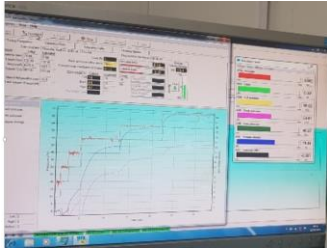
Ứng suất xuyên tâm:

$$\sigma_r = P_{Cell} - P_{back} \quad (5)$$

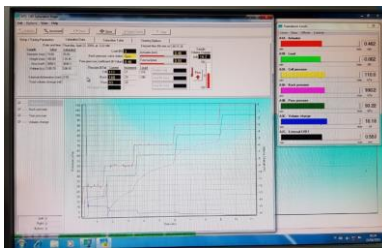


a) Chuẩn bị mẫu

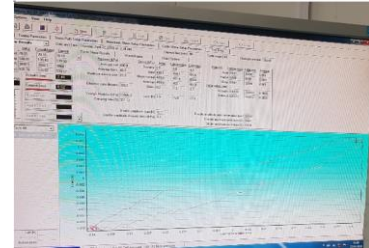
b) Lắp đặt mẫu vào buồng nén



c) Bảo hòa mẫu



d) Cố kết mẫu



e) Tải trọng lập

Hình 7. Các bước thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ.

Độ lệch ứng suất:

$$\sigma_d = \sigma_a - \sigma_r \quad (6)$$

Trong thí nghiệm, hai giá trị được ghi lại: độ lệch ứng suất nén và tổng độ lệch ứng suất khi xét cả nén và kéo kết hợp tương ứng với tải trọng nén dọc trục và tải trọng kéo dọc trục. Do đó, tổng độ lệch ứng suất xét tổng hợp cả nén và kéo được xác định:

$$\sigma_{d(double)} = \sigma_{d(com.)} - \sigma_{d(ext.)} \quad (7)$$

Biến dạng dọc trục:

$$\varepsilon_a = 100\Delta H / H_{init} \quad (8)$$

Trong thí nghiệm, hai giá trị được ghi lại: biến dạng nén dọc trục và biến dạng kéo dọc trục tương ứng với tải trọng nén dọc trục và tải trọng kéo dọc trục. Do đó, biến dạng tổng khi xét cả nén và kéo được xác định:

$$\varepsilon_{a(double)} = \varepsilon_{a(comp.)} - \varepsilon_{a(ext.)} \quad (9)$$

Mô đun biến dạng tương ứng với biến dạng $\varepsilon_{a(double)}$ được xác định như sau:

$$E = \sigma_{d(double)} / \varepsilon_{a(double)} \quad (10)$$

Mô đun cắt được tính từ thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ được tính theo công thức sau:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (11)$$

Lưu ý: ν là hệ số Poisson thường nằm trong khoảng $0,18 \div 0,32$ đối với đất cát (Xiaoqiang Gu và nnk, 2013 [12]). Trong nghiên cứu này, hệ số Poisson được lấy bằng 0,2.

2.4. Mô đun cắt từ thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn

Một số nghiên cứu nhằm xác định mô đun cắt của đất từ kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn [13-15], mô đun biến dạng E của đất cát có thể được ước tính theo các công thức nêu trong bảng 2. Từ giá trị mô đun biến dạng E , mô đun cắt G được tính theo công thức (11).

Bảng 2. Công thức xác định mô đun biến dạng của đất từ giá trị N_{SPT} .

TT	Công thức	Đơn vị	Tài liệu tham khảo
1	$E = 500(N_{SPT} + 15)$	kPa	[16]
2	$E = 766 N_{SPT}$	kPa	[17]

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CHO ĐẤT CÁT VEN BIỂN TỈNH QUẢNG BÌNH

Giá trị mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ G_0 được xác định từ kết quả thí nghiệm địa chấn, thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ và thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn của đất cát ở lỗ khoan WP15, được thể hiện trong trong bảng 3, 4 và 5.

Từ kết quả các thí nghiệm nêu trong bảng 3, nhóm tác giả đề xuất công thức thể hiện mối quan hệ giữa giá trị mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ G_0 theo kết quả thí nghiệm địa chấn và giá trị N_{SPT} từ kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn.

Bảng 3. Kết quả tính giá trị mô đun cắt từ thí nghiệm địa chấn.

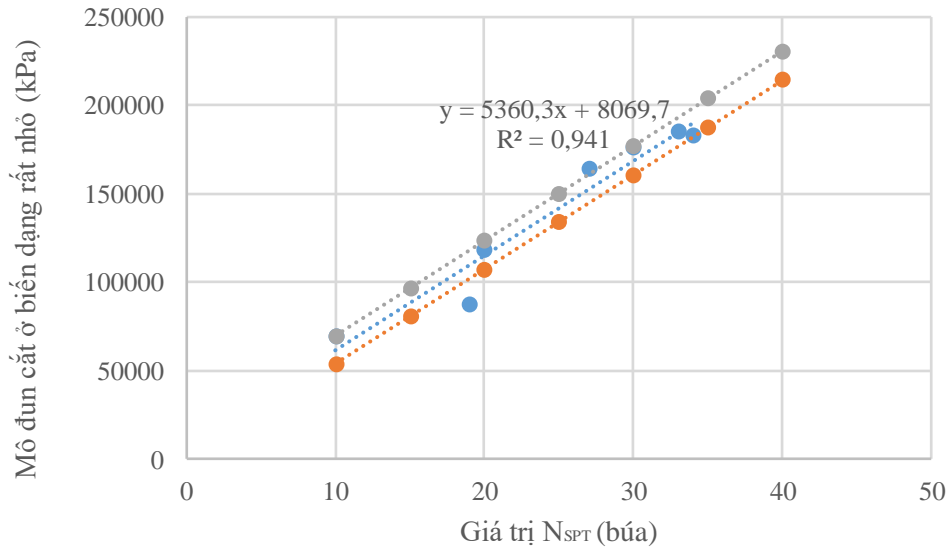
Độ sâu	Giá trị N_{SPT}	Khối lượng thể tích ρ	Vận tốc truyền sóng ngang V_s	Mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ G_0
m	búa	Tấn/m ³	m/s	kPa
3	10	1,91	191	69394
5	19	1,91	214	87205
7	20	1,93	248	118559
9	27	1,93	291	163985
11	34	1,93	308	182684
13	30	1,93	302	176502
15	33	1,93	310	185485

Từ tương quan trong Hình 8, nhóm tác giả đề xuất giá trị giới hạn dưới và giá trị giới hạn trên của mô đun cắt theo công thức (12)

Giá trị giới hạn dưới: $y = 5360,3x + 0$

Giá trị giới hạn trên: $y = 5360,3x + 2 \cdot 8069,7$ (12)

Trong đó y là mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ (đơn vị là kPa) và x là giá trị N_{SPT} (búa)



Hình 8. Tương quan giữa mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ G_0 và giá trị N_{SPT} .

Kết quả thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ của mẫu đất cát ở lỗ khoan WP15 được thể hiện trong Bảng 4. Mô đun cắt của đất được tính toán dựa trên các công thức 4÷10. Giá trị mô đun cắt nhỏ nhất thu được là 18381 kPa và lớn nhất là 23898 kPa.

Dựa trên kết quả thí nghiệm địa chấn và thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ của mẫu cát lấy ở độ sâu 4,0 m của lỗ khoan WP15 cho kết quả mô đun cắt tại biến dạng 0,00001 của thí nghiệm địa chấn; tại biến dạng 0,0006 của thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ và tại biến dạng 0,01 từ tương quan với giá trị N_{SPT} thể hiện trong Hình 8, giá trị mô đun cắt của đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình được thống kê trong bảng 5 và được tổng hợp trong Hình 9. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị hệ số giảm mô đun cắt tại giá trị biến dạng tương đối lớn cho bài toán tĩnh 0,01 cho đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình trong khoảng 0,12 ÷ 0,16, khoảng giá trị này lớn hơn khoảng giá trị theo lý thuyết 0,03 ÷ 0,12 [8]. Ngược lại, với giá trị biến dạng nhỏ cho bài toán động 0,0006, giá trị hệ số giảm mô đun cắt cho đất cát-nghiên cứu trong khoảng 0,19 ÷ 0,25, khoảng giá trị này nhỏ hơn khoảng giá trị theo lý thuyết đã nghiên cứu 0,28 ÷ 0,62.

Bảng 4. Kết quả thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ và giá trị mô đun cắt.

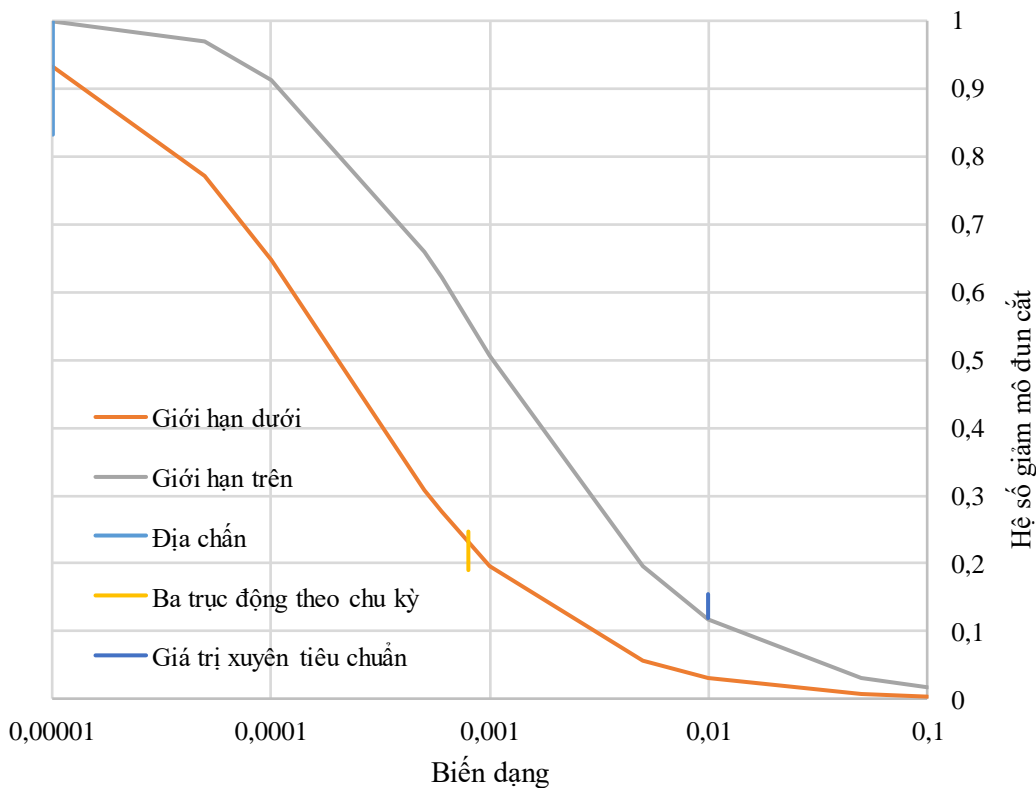
Chu kỳ	Tải trọng		Áp lực		Biến dạng		Áp lực tổng (xét cả nén và kéo)	Biến dạng tổng (xét cả nén và kéo)	Mô đun biến dạng	Hệ số Poisson	Mô đun cắt
	Nén	Kéo	Buồng nén	Nước lỗ rỗng trong mẫu	Nén	Kéo					
	N	N	kPa	kPa	mm	mm					

1	128,3	-54,3	120,0	29,9	0,09	-0,02	48,8	0,0009	57356	0,2	23898
2	63,3	-59,7	120,0	29,9	0,06	-0,03	32,9	0,0007	48850	0,2	20354
3	69,6	-56,3	120,0	30,0	0,06	-0,03	33,7	0,0006	53177	0,2	22157
4	71,6	-52,6	120,0	30,0	0,06	-0,03	33,2	0,0007	50677	0,2	21116
5	73,2	-47,8	120,0	30,0	0,06	-0,03	32,4	0,0007	48626	0,2	20261
6	71,7	-47,3	120,0	30,0	0,06	-0,03	31,8	0,0006	51548	0,2	21478
7	71,0	-46,2	120,0	30,0	0,06	-0,03	31,3	0,0006	51669	0,2	21529
8	71,4	-45,6	120,0	29,9	0,06	-0,03	31,3	0,0007	44116	0,2	18381
9	72,2	-44,3	120,0	29,9	0,06	-0,03	31,2	0,0006	51544	0,2	21477
10	70,8	-44,9	120,0	30,0	0,06	-0,03	30,9	0,0006	52245	0,2	21769
11	69,7	-44,3	120,0	30,0	0,06	-0,03	30,5	0,0006	50140	0,2	20892
12	71,1	-44,1	120,0	29,9	0,06	-0,03	30,8	0,0006	51581	0,2	21492
13	71,0	-42,3	120,0	29,9	0,06	-0,02	30,3	0,0006	51980	0,2	21658
14	69,7	-42,7	120,0	30,0	0,06	-0,03	30,1	0,0006	50027	0,2	20845
15	69,1	-41,7	120,0	30,0	0,06	-0,03	29,6	0,0006	45812	0,2	19088
16	70,6	-40,1	120,0	29,9	0,06	-0,03	29,6	0,0006	50169	0,2	20904
17	70,6	-40,0	120,0	30,0	0,06	-0,02	29,6	0,0006	51183	0,2	21326
18	69,1	-38,8	120,0	29,9	0,06	-0,02	28,9	0,0006	49933	0,2	20805
19	69,7	-40,6	120,0	30,0	0,06	-0,02	29,5	0,0006	50604	0,2	21085
20	69,9	-40,4	120,0	30,0	0,06	-0,02	29,5	0,0006	50604	0,2	21085
21	69,6	-38,9	120,0	30,0	0,06	-0,02	29,0	0,0006	50211	0,2	20921
22	69,0	-39,2	120,0	30,0	0,06	-0,02	28,9	0,0006	49156	0,2	20482
23	68,5	-42,1	120,0	29,9	0,06	-0,02	29,6	0,0006	50741	0,2	21142
24	69,1	-40,7	120,0	30,0	0,06	-0,02	29,4	0,0006	50812	0,2	21172
25	68,2	-38,9	120,0	30,0	0,06	-0,02	28,6	0,0006	49563	0,2	20651
26	69,0	-38,9	120,0	29,9	0,06	-0,02	28,9	0,0006	49933	0,2	20805
27	67,4	-40,1	120,0	30,0	0,06	-0,03	28,7	0,0006	49625	0,2	20677
28	68,1	-40,7	120,0	30,0	0,06	-0,03	29,1	0,0006	49732	0,2	20722
29	69,3	-38,9	120,0	29,9	0,06	-0,02	28,9	0,0006	49640	0,2	20683
30	67,7	-38,6	120,0	30,0	0,06	-0,02	28,4	0,0006	49686	0,2	20703
31	67,1	-40,6	120,0	30,0	0,06	-0,02	28,8	0,0006	49841	0,2	20767
32	69,3	-38,9	120,0	29,9	0,06	-0,02	28,9	0,0006	50072	0,2	20863
33	69,0	-39,1	120,0	30,0	0,06	-0,02	28,9	0,0006	50528	0,2	21053
34	67,7	-38,6	120,0	30,0	0,06	-0,02	28,4	0,0006	49686	0,2	20703
35	67,4	-40,4	120,0	30,0	0,06	-0,03	28,8	0,0006	49763	0,2	20735
36	68,8	-40,6	120,0	30,0	0,06	-0,02	29,3	0,0006	50627	0,2	21095

37	68,2	-38,6	120,0	30,1	0,05	-0,02	28,6	0,0006	50426	0,2	21011
38	67,7	-38,9	120,0	30,0	0,05	-0,03	28,5	0,0006	49702	0,2	20709
39	69,1	-40,3	120,0	29,9	0,06	-0,02	29,3	0,0006	51135	0,2	21306
40	70,6	-39,2	120,0	30,0	0,06	-0,02	29,4	0,0006	50812	0,2	21172

Bảng 5. Kết quả xác định giá trị mô đun cắt của đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình.

Biến dạng	Theo kết quả thí nghiệm					Theo lý thuyết	
	G_{lower} (kPa)	G_{upper} (kPa)	G_{lower}/G_o	G_{upper}/G_o	Thí nghiệm	G_{lower}/G_o	G_{upper}/G_o
0,00001	80405	96544	0,83	1,00	Địa chấn	0,93	1,00
0,0006	18381	23898	0,19	0,25	Ba trục động theo chu kỳ	0,28	0,62
0,01	11490	15000	0,12	0,16	Xuyên tiêu chuẩn	0,03	0,12



Hình 9. Tương quan giữa hệ số giảm mô đun cắt và biến dạng cắt.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày nghiên cứu về giá trị mô đun cắt của đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình theo kết quả thí nghiệm ba trục động theo chu kỳ, thí nghiệm địa chấn trong lỗ khoan và thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn. Tương quan giữa mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ và giá trị xuyên

tiêu chuẩn tại vị trí nghiên cứu đã được các tác giả đề xuất. Từ đó, hệ số giảm mô đun cắt theo các biến dạng khác nhau so với mô đun cắt ở biến dạng rất nhỏ của đất cát ven biển tỉnh Quảng Bình đã được các tác giả trình bày. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị hệ số giảm mô đun cắt có xu hướng tiệm cận với giới hạn dưới của đường cong biểu diễn tương quan giữa hệ số giảm mô đun cắt và biến dạng cắt điển hình hiện có cho bài toán động ứng với biến dạng nhỏ. Kết quả nghiên cứu làm phong phú thêm các nghiên cứu về giá trị hệ số giảm mô đun cắt theo biến dạng, cho phép các kỹ sư xây dựng có thể tham khảo khi thiết kế công trình chịu tải trọng động.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường đại học Giao thông vận tải trong mã đề tài số T2022-CT-007. Các tác giả xin chân thành cảm ơn các thí nghiệm viên và chuyên gia bộ môn Địa chất công trình, Trường đại học Mở địa chất đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. J. M. Duncan, C. Y. Chang, Nonlinear analysis of stress and strain in soils, Journal of Soil Mechanics & Foundations Div, 1970. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001458>
- [2]. J.B. Burland, Small is beautiful: The stiffness of soils at small strains, Canadian Geotechnical Journal, 26 (1989) 499-516. <https://doi.org/10.1139/t89-06>
- [3]. F. El-Nahas, Y. El-Mossallamy, The role of small strain constitutive model for predicting differential settlement above tunnels, The 13th International Conference on Structural and Geotechnical Engineering, 2009. <https://doi.org/10.13140/2.1.4956.0968>
- [4]. B.O. Hardin, V.P. Drnevich, shear Modulus and Damping in Soils: Measurement and Parameter Effects, Journal of the Soil Mechanics & Foundations Div, 98 (1972) 667-692. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001756>
- [5]. M. Fahey, J. Carter, A finite element study of the pressuremeter using a nonlinear elastic plastic model, Canadian Geotechnical Journal, 30 (1993) 348-362. <https://doi.org/10.1139/t93-029>
- [6]. K. Xiandong, F. Wang, Dynamic-Triaxial Tests of Dynamic Shear Modulus and Damping Ratio for sandy silt in Beijing area, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 490 (2019) 062090. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/490/6/062090>
- [7]. T. Wichtmann, I. Kimmig, T. Triantafyllidis, On correlations between “dynamic” (small-strain) and “static” (large-strain) stiffness moduli – An experimental investigation on 19 sands and gravels, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 98 (2017) 72-83.
- [8]. M. Bolton, S. Oztoprak, Stiffness of sands through a laboratory test database, Géotechnique, 63 (2013) 54-70. <http://doi.org/10.1680/geot.10.P.078>
- [9]. ASTM D7400-08, Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2014.
- [10]. ASTM D3999 / D3999M-11e1, Standard Test Methods for the Determination of the Modulus and Damping Properties of Soils Using the Cyclic Triaxial Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2011.
- [11]. Wykeham Farrance, Soil Mechanics Testing Systems, Manual, 18th Edition (2011), Soil Mechanics Division of controls.
- [12]. G. Xiaoqiang, Y. Jun, H. Maosong, Laboratory measurements of small strain properties of dry sands by bender element, Soils and Foundations, 53 (2013) 735-745. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2013.08.011>

- [13].E. E. Abdelfattah, Estimation of Guide Values for the Modulus of Elasticity of Soil, Bulletin of Faculty of Engineering, Assiut University, 19 (1991) 1.
- [14].M.V. Kumar, S. K.P Pasupula, Prediction of modulus of elasticity and its impact on settlement, 9th Conference on Deep Foundation Technologies for Infrastructure Development in India, 2019
- [15].H.L. Dang, T.Q.C Hoang, B.D. Nguyen, A practical approach for modeling twin-tunnel excavation in Ho Chi Minh city, Transport and Communications Science Journal, 73 (2022) 724-734. <https://doi.org/10.47869/tcsj.73.7.6>
- [16].D.L. Webb, Settlement of Structures on Deep Alluvial Sandy Sediments in Durban, SouthAfrica, Proceedings of the Conference on In Situ Investigations in Soils and Rocks, BGS., 1969, p.p 181-187.
- [17].J.H. Schmertmann, Static Cone to Compute Static Settlement Over Sand, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, 96 (1970) 1011-1043. <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001418>