

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH (TVU)

HỘI ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH
VÀ MÔI TRƯỜNG VIỆT NAM (VAEGE)



HỘI NGHỊ KHOA HỌC TOÀN QUỐC
ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT
VÀ MÔI TRƯỜNG PHỤC VỤ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG
(VIETGEO 2025)



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

MỤC LỤC

Chủ đề I: ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH VÀ ĐỊA KỸ THUẬT

1. PHÁT HIỆN SẠT LỖ ĐẤT DỰA TRÊN KỸ THUẬT HỌC SÂU
Nguyễn Kim Cường, Kei Kawamura, Nguyễn Trung Kiên 8
2. NGHIÊN CỨU CHẤT LƯỢNG CẤP PHỐI VỮA CHÈN LẤP VỎ HÀM TBM DỰ ÁN TUYẾN ĐƯỜNG SẮT ĐÔ THỊ THÍ ĐIỂM THÀNH PHỐ HÀ NỘI, ĐOẠN NHỒN - GA HÀ NỘI
Nguyễn Thị Nụ, Bùi Trường Sơn, Ngô Thị Thoan, Ngô Văn Luyện..... 15
3. GEOLOGICAL EVOLUTION AND GEOMORPHOLOGICAL HERITAGES OF THE NAM O ROCKY SHORE PLATFORM IN THE COASTAL AREA OF DANANG, VIETNAM
La Duong Hai, Pham Phuoc Toan, Do Quang Thien 22
4. XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU CHO DỰ TÍNH ĐỘ LÚN ỔN ĐỊNH CỦA NỀN ĐẤT YẾU BẰNG THÍ NGHIỆM DILATOMETER, ÁP DỤNG CHO KHU VỰC CẢI MẾP
Nguyễn Văn Phóng, Phan Tự Hường, Phan Thành Tiền, Trương Thanh Cần 32
5. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG PHÂN CẤP VÀ TIÊU CHÍ PHÂN ĐỊNH ĐỊA TẦNG ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH
Nguyễn Văn Phóng, Bùi Trường Sơn, Bùi Văn Bình, Nguyễn Song Thanh, Nguyễn Tiến Dũng 43
6. NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG LỮ Bùn ĐÁ TẠI TRÀ LENG, THÀNH PHỐ ĐÀ NẴNG BẰNG PHẦN MỀM IRIC - MORPHO 2DH
Vũ Văn Kiên, Nguyễn Châu Lâm, Đỗ Tuấn Nghĩa 53
7. KHẢO SÁT ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH CHO CÁC DỰ ÁN ĐIỆN GIÓ NGOÀI KHƠI: THỬ THÁCH VÀ KINH NGHIỆM THỰC TẾ
Trương Thanh Cần, Nguyễn Quỳnh Luân, Nguyễn Văn Phóng..... 64
8. ỨNG DỤNG PHẦN MỀM STATISTICAL PROCESS TRONG XỬ LÝ THỐNG KÊ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM ĐẤT ĐÁ
Phan Tự Hường, Đỗ Minh Tính..... 73
9. NGHIÊN CỨU, ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP XỬ LÝ THẨM QUA NỀN ĐẬP HỒ CHỨA NƯỚC SÔNG THAN, TỈNH KHÁNH HÒA
Phạm Thị Ngọc Hà, Nguyễn Tấn Sơn, Bùi Trường Sơn, Nguyễn Thành Dương 82
10. NGHIÊN CỨU ĐỊA KỸ THUẬT PHỤC VỤ QUY HOẠCH XÂY DỰNG ĐÔ THỊ ÁP DỤNG CHO PHƯỜNG HẢI DƯƠNG, THÀNH PHỐ HẢI PHÒNG
Đỗ Hồng Thắng 91
11. PHÂN TÍCH THẨM VÀ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT TRONG TRƯỜNG HỢP MỨC NƯỚC THƯỢNG LƯU HẠ THẤP NHANH
Nguyễn Văn Hường, Nguyễn Trung Quân, Nguyễn Thị Lộc, Nguyễn Văn Tươi, Nguyễn Quang Huy..... 99
12. ĐÁNH GIÁ ỔN ĐỊNH ĐẬP ĐẤT KHI XẢY RA ĐỘNG ĐẤT: ÁP DỤNG CHO ĐẬP ĐẤT THƯỢNG KON TUM
Nguyễn Trung Quân, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Thị Lộc, Lê Ngọc Viên, Nguyễn Văn Hường..... 109
13. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ BẢN ĐỒ ĐỊA CHẤT ĐẾN VIỆC CHỌN TUYẾN ĐƯỜNG CAO TỐC TUYẾN QUANG - HÀ GIANG, ĐOẠN QUA TỈNH TUYẾN QUANG CŨ
Nguyễn Đức Đàm, Phạm Thái Bình, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Công Định..... 120
14. NGHIÊN CỨU SỨC CHỐNG CẮT ĐẤT SÉT LẤN SẠN TRÊN MẪU CHẾ BỊ CÓ KÍCH THƯỚC KHÁC NHAU BẰNG THIẾT BỊ CẮT PHẪNG
Cao Trọng Công, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Châu Lâm, Phạm Thu Trang..... 127

XÁC ĐỊNH CÁC CHỈ TIÊU CHO DỰ TÍNH ĐỘ LÚN ỔN ĐỊNH CỦA NỀN ĐẤT YẾU BẰNG THÍ NGHIỆM DILATOMETER, ÁP DỤNG CHO KHU VỰC CÁI MÉP

Nguyễn Văn Phóng^{1,*}, Phan Tự Hướng², Phan Thành Tiền³, Trương Thanh Cần⁴

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

²Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

³Công ty CP Tư vấn Xây dựng Địa Thông

⁴Công ty CP Hàng hải và Năng lượng Hải Mã

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

Tóm tắt

Đất yếu là đối tượng dễ bị xáo động nên kết quả thí nghiệm mẫu trong phòng chịu ảnh hưởng đáng kể bởi công tác lấy mẫu. Trong điều kiện đó, việc kết hợp giữa thí nghiệm trong phòng và ngoài hiện trường là cần thiết. Bài báo trình bày phương pháp xác định các chỉ tiêu dùng dự tính độ lún ổn định của nền đất yếu bằng thí nghiệm hiện trường Dilatometer (DMT) và áp dụng tại khu vực cảng Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu. Nội dung bài báo sử dụng các công thức thực nghiệm để xác định môđun tổng biến dạng (E_0) và áp lực tiền cố kết (P_c) của đất yếu bằng DMT, đồng thời so sánh với các phương pháp phổ biến hiện nay như thí nghiệm hộp nén (OED) và xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu). Kết quả áp dụng tại 4 điểm khảo sát thuộc khu vực cảng Cái Mép cho thấy, sử dụng DMT xác định E_0 với hệ số hiệu chỉnh $R_m = 0,8$ và xác định p_c bằng biểu thức Kamei cho kết quả phù hợp nhất.

Từ khóa: Đất yếu; Thí nghiệm Dilatometer (DMT); Môđun tổng biến dạng; Áp lực tiền cố kết.

1. Đặt vấn đề

Đất yếu là loại đất có khả năng chịu tải thấp, biến dạng lớn và lún theo thời gian, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến ổn định và độ bền của công trình xây dựng. Đặc biệt, đất yếu thường là trầm tích trẻ có nguồn gốc hồ - đầm lầy - biển, chứa nhiều hạt mịn và thành phần hữu cơ, dẫn đến độ bão hòa cao, độ lỗ rỗng lớn và tính không đồng nhất theo chiều sâu. Những đặc điểm này khiến việc xác định chính xác các chỉ tiêu phản ánh tính biến dạng của đất, như môđun tổng biến dạng (E_0), áp lực tiền cố kết (p_c) trở nên rất quan trọng trong dự báo lún và thiết kế nền móng.

Môđun E_0 là chỉ tiêu đặc trưng cho khả năng biến dạng toàn phần của đất nền dưới tác dụng tải trọng. Áp lực tiền cố kết p_c phản ánh lịch sử ứng suất của đất, ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng biến dạng, đặc biệt trong bài toán dự báo lún cố kết theo thời gian. Đây là các thông số cơ bản trong các bài toán tính lún. Tuy nhiên, đối với đất yếu, việc lấy mẫu nguyên dạng để thí nghiệm trong phòng thường gặp nhiều khó khăn do tính chất dễ bị xáo trộn. Một số thí nghiệm hiện trường có thể xác định E_0 cho đất yếu như: thí nghiệm bàn nén lại có hạn chế là phức tạp, tốn kém và khó áp dụng ở độ sâu lớn; thí nghiệm xuyên tĩnh CPTu chỉ cho phép xác định E_0 gián tiếp thông qua các hệ số thực nghiệm. Trong bối cảnh đó, phương pháp thí nghiệm hiện trường như Dilatometer (DMT) ngày càng được quan tâm nhờ khả năng đánh giá nhanh, trực tiếp và ít gây xáo động nền đất.

Thí nghiệm DMT đã được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến trên thế giới để đánh giá đặc trưng biến dạng và nhiều đặc tính khác của đất. Phương pháp này cung cấp chuỗi dữ liệu theo chiều sâu và nhiều chỉ tiêu có giá trị như: môđun biến dạng ngang (E_D), môđun tổng biến dạng (E_0), độ bền không thoát nước (S_u), hệ số áp lực hông (K_0), chỉ số quá cố kết (OCR), áp lực tiền cố kết, ... Tuy nhiên, tại Việt Nam, việc ứng dụng DMT còn hạn chế và chưa có nhiều nghiên cứu đánh giá khả năng xác định E_0 của DMT, đặc biệt chưa có so sánh với các phương pháp phổ biến khác.

Khu vực Cái Mép, tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (cũ) là vùng có đất yếu phân bố phổ biến, đồng thời là trung tâm phát triển cảng biển và công nghiệp trọng điểm phía Nam. Yêu cầu khảo sát địa kỹ thuật tại đây ngày càng cao, đòi hỏi các phương pháp thí nghiệm hiện trường hiệu quả và tin cậy.

Bài báo này trình bày ứng dụng thí nghiệm DMT trong xác định môđun tổng biến dạng (E_o) của đất yếu tại một vị trí điển hình ở khu vực Cái Mép, đồng thời so sánh với kết quả từ các phương pháp khác để đánh giá khả năng áp dụng và đề xuất hướng sử dụng DMT trong khảo sát nền đất yếu.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1 Lún ổn định của nền đất yếu, chỉ tiêu tính toán và phương pháp xác định

Biến dạng của đất là khả năng thay đổi hình dạng, thể tích của đất khi chịu tác dụng của tải trọng. Khi tải trọng tác dụng chưa vượt quá ngưỡng phá hủy (gây ra biến dạng dẻo), biến dạng của đất chủ yếu là do quá trình nén chặt, tức là quá trình giảm thể tích lỗ rỗng và đất chặt hơn. Đất yếu thường là đất có hệ số rỗng lớn nên có tính biến dạng cao, khi được sử dụng làm nền thường gây độ lún (biến dạng thẳng đứng) đáng kể cho công trình. Độ lún ổn định là độ lún lớn nhất mà nền đất có thể đạt được sau khoảng thời gian nào đó dưới tác dụng của tải trọng không đổi. Việc kiểm toán độ lún ổn định của nền đất là bài toán cơ bản trong lĩnh vực địa kỹ thuật, có ý nghĩa quyết định đến giải pháp nền móng, đặc biệt trong điều kiện nền đất yếu. Kết quả dự tính độ lún ổn định phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó việc lựa chọn chỉ tiêu và phương pháp xác định phù hợp cho tính toán là yếu tố then chốt. Do biến dạng của đất bao gồm biến dạng đàn hồi và biến dạng dư, phụ thuộc vào lịch sử ứng suất nên các chỉ tiêu cơ bản dùng cho tính lún ổn định là môđun tổng biến dạng E_o và áp lực tiền cố kết (P_c).

Hiện nay, ở nước ta, các phương pháp xác định trực tiếp chỉ tiêu biến dạng của đất được dùng phổ biến là thí nghiệm hộp nén ở trong phòng (OED), thí nghiệm bàn nén ở hiện trường. Ngoài ra, người ta còn sử dụng các phương pháp gián tiếp từ thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT), xuyên tĩnh (CPT), xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng (CPTu), nén ngang loại Menard (PMT) và nén ngang loại Dilatometer (DMT). Với đất yếu, việc lấy mẫu đảm bảo trạng thái tự nhiên thường gặp khó khăn nên việc xác định các chỉ tiêu cơ học của đất yếu cần kết hợp giữa phương pháp trong phòng và hiện trường để đảm bảo độ tin cậy. Các thí nghiệm hiện trường như SPT và CPT thường không được sử dụng do kém hiệu quả trong đất yếu. Thí nghiệm bàn nén có hạn chế là phức tạp và chủ yếu thí nghiệm cho lớp gần mặt đất. Như vậy, việc xác định chỉ tiêu cho tính lún ổn định của đất yếu có thể kết hợp giữa thí nghiệm OED và thí nghiệm hiện trường CPTu, nén ngang.

Theo TCVN 4200:2012, sử dụng thí nghiệm OED xác định môđun tổng biến dạng E_o theo từng cấp áp lực nén p_i :

$$E_{oi} = \frac{1+e_{i-1}}{(e_{i-1}-e_i)}(p_{i-1} - p_i) \quad (1)$$

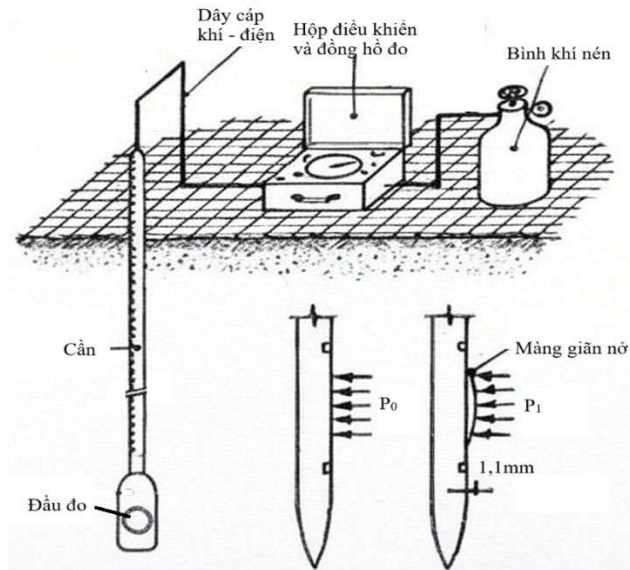
Trong đó: p_i là áp lực nén ở cấp thứ i ; e_i là hệ số rỗng của đất ở cấp áp lực p_i . Với đất yếu, $p_i = 12,5; 25; 50; 100; 200; 400$ kPa.

Sử dụng kết quả thí nghiệm CPTu, môđun tổng biến dạng của đất yếu được xác định theo các công thức thực nghiệm sau (Mayne, P.W và cộng sự, 2018):

$$E_o = m(q_t - \sigma_{vo}) \quad (2)$$

Trong đó, q_t là sức kháng mũi xuyên hiệu chỉnh; σ_{vo} là ứng suất địa tầng tổng; m là hệ số thực nghiệm. Trong điều kiện đất yếu Việt Nam, m có thể lấy nằm từ 4 đến 6 (Nguyễn Văn Phóng, 2012).

2.2 Xác định chỉ tiêu cho tính lún ổn định của đất yếu bằng thí nghiệm DMT



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo thiết bị DMT

Thí nghiệm nén ngang loại Dilatometer là một trong những phương pháp thí nghiệm tại hiện trường được sử dụng phổ biến trong khảo sát và phân tích địa kỹ thuật, đặc biệt trong việc đánh giá các đặc trưng cơ học của đất yếu (Marchetti, S., 1980, 2001, 2007, 2019; Monaco P., etc, 2007). Thiết bị thí nghiệm DMT gồm đầu đo dẹt (blade) bằng thép với màng kim loại tròn, mỏng, có đường kính 60 mm, được nối với bộ điều khiển trên mặt đất bằng ống khí nén-dây điện luồn theo các cần xuyên. Bộ điều khiển bao gồm các đồng hồ áp suất, đèn báo và âm thanh báo, các van để điều chỉnh áp suất khí nén được cung cấp từ bình khí nén (Hình 1). Trong quá trình thí nghiệm, đầu đo được ép xuống đất và thí nghiệm theo từng độ sâu.

Quá trình thí nghiệm DMT cần đo các thông số bao gồm: Áp suất ban đầu P_0 là áp suất để màng bắt đầu di chuyển (số đọc “A”); Áp suất P_1 là áp suất để màng dịch chuyển 1.1 mm (số đọc “B”) và áp suất P_2 là áp suất còn lại (số đọc “C”) sau khi xả áp để màng dịch chuyển về vị trí ban đầu. Từ các thông số đo được, các chỉ số DMT được xác định như sau (Marchetti 1980; Lutenegeger, 1988):

- Chỉ số vật liệu hay còn gọi là chỉ số loại đất (I_D):

$$I_D = (P_1 - P_0) / (P_0 - U_0) \quad (3)$$

- Chỉ số ứng suất theo phương ngang (K_D):

$$K_D = (P_0 - U_0) / \sigma_{vo}' \quad (4)$$

- Môđun nén ngang (E_D):

$$E_D = 34,7(P_1 - P_0) \quad (5)$$

- Hệ số áp lực nước lỗ rỗng:

$$U_D = (P_2 - P_0) / (P_0 - U_0) \quad (6)$$

Trong đó: U_0 là áp lực nước lỗ rỗng ban đầu (bằng áp lực thủy tĩnh); σ_{vo}' là ứng suất hiệu quả theo phương đứng.

Các thông số DMT là cơ sở xác định các đặc trưng của đất như loại đất, độ bền không thoát nước (S_u), hệ số áp lực hông (K_0), hệ số quá cố kết (OCR), áp lực tiền cố kết (p_c) và một số chỉ tiêu khác. Trong đó, các chỉ tiêu cho tính lún ổn định được xác định như sau:

a) Môđun tổng biến dạng E_o

Môđun tổng biến dạng E_o là chỉ tiêu phản ánh mức độ biến dạng theo phương thẳng đứng. Trong khi môđun biến dạng ngang E_D phản ánh mức độ biến dạng theo phương ngang. Vì vậy, giữa E_o và E_D có mối liên hệ tương quan chặt chẽ với nhau liên quan đến tính chất nở hông của đất. Mối liên hệ này được phản ánh qua biểu thức:

$$E_o = R_m E_D \quad (7)$$

Trong đó, R_m là hệ số hiệu chỉnh (từ biến dạng ngang về biến dạng thẳng đứng), được xác định bằng thực nghiệm hoặc có thể xác định theo đề xuất của Marchetti (1980s): R_m phụ thuộc vào I_D và K_D , được xác định theo bảng 1. Việc xác định R_m theo cách này khá phức tạp. Với một loại đất và cùng trạng thái, các chỉ số I_D , K_D (liên quan đến hệ số áp lực hông) ít biến đổi nên có thể xem hệ số R_m là hằng số. Do đó, mỗi loại đất ở một khu vực cần được xác định hệ số R_m để tiện sử dụng.

Bảng 1. Xác định R_m theo I_D và K_D

Điều kiện	Biểu thức xác định R_m	Ghi chú
$I_D \leq 0,6$	$R_m = 0,14 + 2,36 \cdot \log(K_D)$	Đất loại sét
$I_D \geq 3$	$R_m = 0,5 + 2 \cdot \log(K_D)$	Cát chặt
$0,6 < I_D < 3$	$R_m = R_{m0} + (2,5 - R_{m0}) \cdot \log(K_D)$ với $R_{m0} = 0,14 + 0,15 \cdot (I_D - 0,6)$	Nội suy giữa hai trường hợp trên
$K_D > 10$	$R_m = 0,32 + 2,18 \cdot \log(K_D)$	Ưu tiên dùng biểu thức này nếu $K_D > 10$
Nếu $R_m < 0,85$	$R_m = 0,85$	Áp dụng sau cùng để giới hạn giá trị nhỏ nhất của R_m

b) Xác định hệ số quá cố kết (OCR) và áp lực tiền cố kết (p_c)

Hệ số quá cố kết (OCR) và áp lực tiền cố kết (p_c) là những chỉ tiêu quan trọng trong tính lún, phản ánh lịch sử ứng suất. Trong đó, p_c được dùng trực tiếp trong dự báo độ lún của nền đất và liên hệ với OCR qua biểu thức sau:

$$p_c = \sigma'_{vo} \cdot OCR \quad (8)$$

Áp lực tiền cố kết p_c được xác định trực tiếp từ thí nghiệm OED với mẫu nguyên trạng. Với đất yếu, để hiệu chỉnh ảnh hưởng của xáo động mẫu có thể tham chiếu với giá trị p_c xác định theo biểu thức (8) với trị số OCR xác định từ thí nghiệm DMT.

Trong đất loại sét, biểu thức ban đầu để xác định hệ số quá cố kết OCR từ chỉ số ứng suất ngang K_D được đề xuất bởi Marchetti (1980):

$$OCR = (0.5K_D)^{1.56} \quad (9)$$

Biểu thức này sau đó được Kamei và cộng sự (1995) điều chỉnh dựa trên nhiều dữ liệu tổng hợp từ nhiều khu vực khác nhau:

$$OCR = (0.47K_D)^{1.43} \quad (10)$$

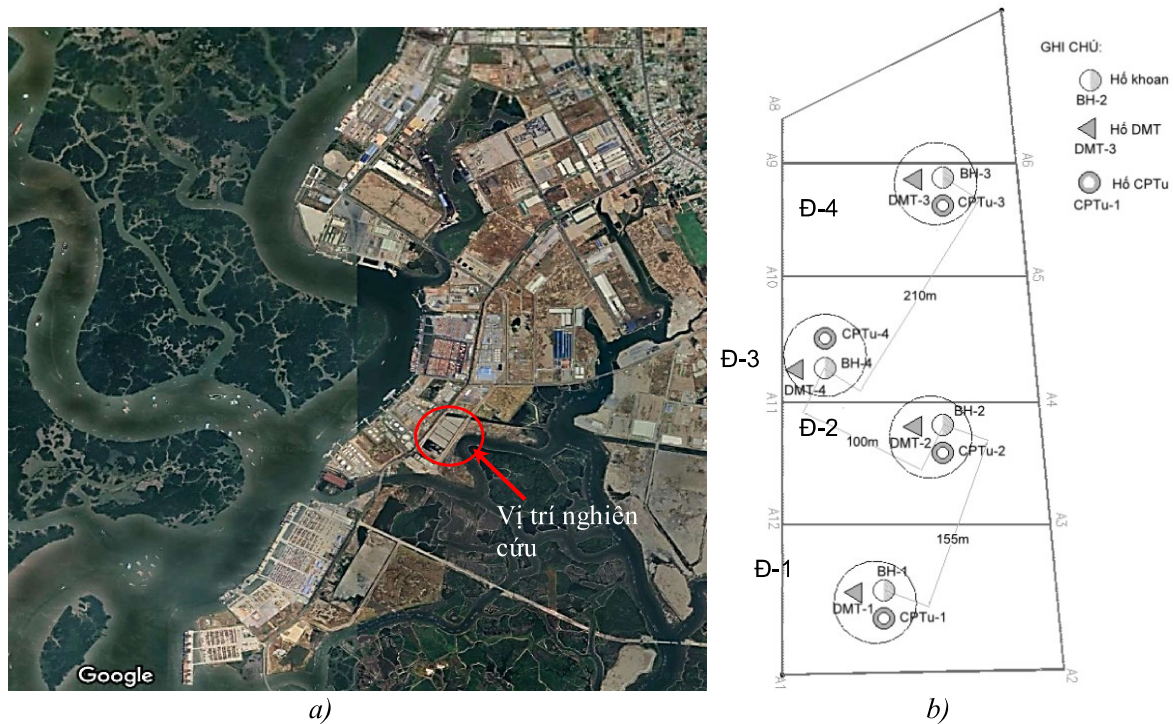
Các biểu thức (9), (10) đều là các biểu thức thực nghiệm. Việc áp dụng các biểu thức này cho mỗi loại đất cần có đánh giá sự phù hợp.

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Phương pháp tiến hành

Để áp dụng cơ sở lý thuyết trình bày trong mục 2 cho đất yếu khu vực cảng Cái Mép, một tổ hợp các phương pháp khảo sát và thí nghiệm được triển khai đồng thời tại 4 điểm nghiên cứu (Đ-1, Đ-2, Đ-3, Đ-4) đều thuộc khu vực Cảng Cái Mép, Thành phố Hồ Chí Minh (hình 2a).

Tại mỗi điểm nghiên cứu, tiến hành đồng thời một tổ hợp bao gồm: 01 hố khoan để xác định địa tầng và lấy mẫu; 01 hố xuyên tĩnh CPTu và 01 hố thí nghiệm DMT (hình 2b). Trong đó, khoảng cách giữa các hố khoan (BH), CPTu, DMT tại một vị trí cách nhau khoảng 2m nhằm đảm bảo địa tầng và tính chất cơ lý của đất tương tự nhau, đồng thời không ảnh hưởng đến trạng thái của đất. Các hố khoan, xuyên và DMT được ký hiệu theo thứ tự điểm nghiên cứu như hình 2b. Tổng hợp thiết bị sử dụng, khối lượng khảo sát, thí nghiệm được nêu chi tiết trong bảng 2.



Hình 2. Vị trí khu vực nghiên cứu (a) và các điểm khảo sát (b)

Bảng 2. Tổng hợp các phương pháp khảo sát áp dụng tại vị trí nghiên cứu

TT	Loại hình khảo sát	Loại thiết bị sử dụng	Khối lượng tại mỗi điểm khảo sát				Tiêu chuẩn áp dụng
			Đ-1	Đ-2	Đ-3	Đ-4	
1	Khoan (m)	XY - 100	33,0	33,0	33,0	33,0	TCVN 9437:2012
2	Lấy mẫu (mẫu)	Ống mẫu thành mỏng	12	12	12	12	ASTM D1587
3	CPTu (m)	Geomil -100kN	30,0	30,0	30,0	30,0	ASTM D5778
4	DMT (điểm)	Flat Dilatometer	10	10	10	10	ASTM D6635
5	OED (mẫu)	Tam Liên	7	7	7	7	TCVN 4200:2012

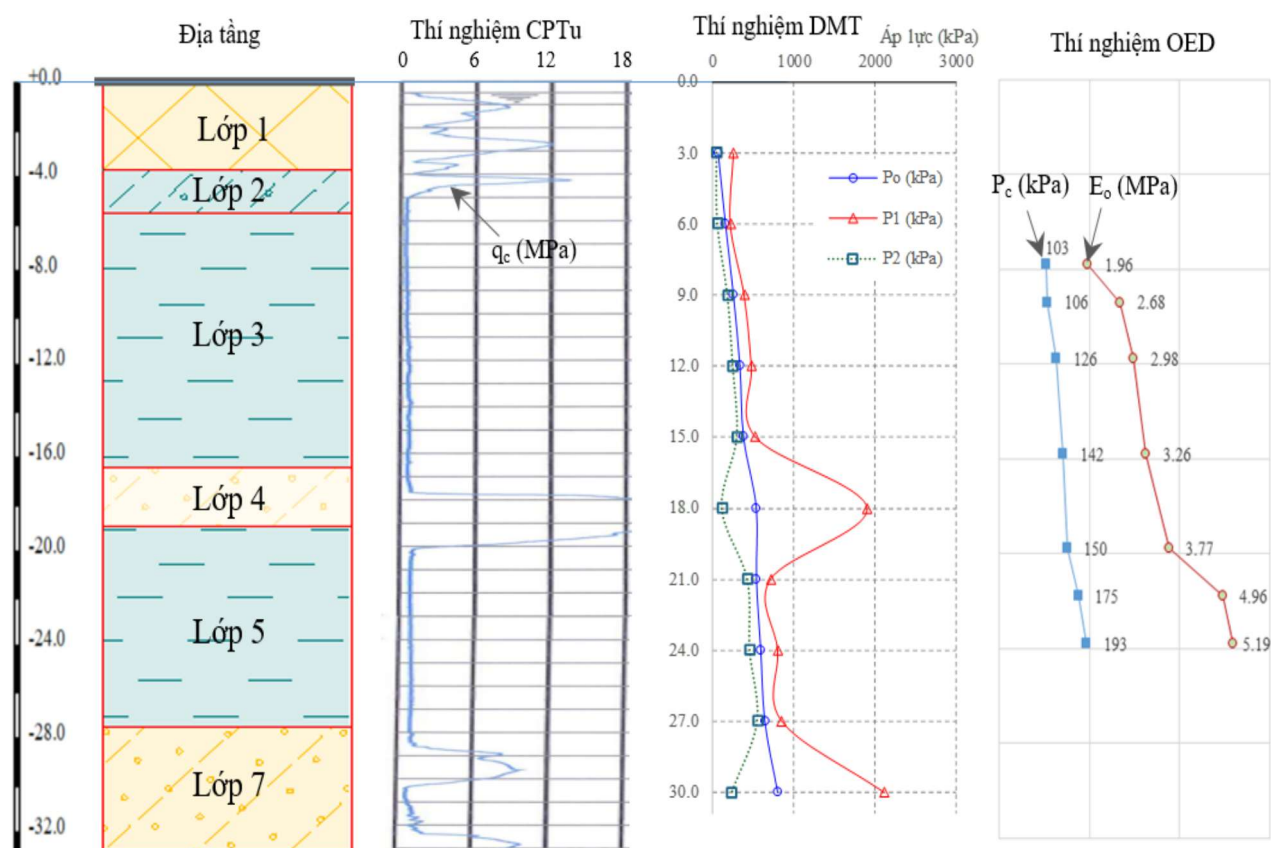
3.2 Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

Kết quả khoan khảo sát (4 hố khoan) và thí nghiệm cơ lý thông thường (48 mẫu đất) cho thấy, nền đất khu vực nghiên cứu đến độ sâu 33,0m bao gồm 7 lớp đất: Lớp 1 - Đất san lấp, cát pha xám đen; Lớp 2 - Sét pha, xám nâu, dẻo mềm; Lớp 3 - Sét, xám xanh, xám đen, dẻo chảy; Lớp 4 - Sét pha nhẹ, xám vàng, dẻo mềm; Lớp 5 - Sét, xám xanh, dẻo chảy; Lớp 6 - Sét pha, xám vàng, xám trắng, dẻo cứng; Lớp 7 - Sét pha, xen kẹp cát, xám vàng, dẻo cứng. Sự phân bố của các lớp đất tại các điểm khảo sát được biểu diễn trên các hình 3, 4, 5, 6. Tổng hợp kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu vật lý của các lớp đất được biểu thị trong bảng 3.

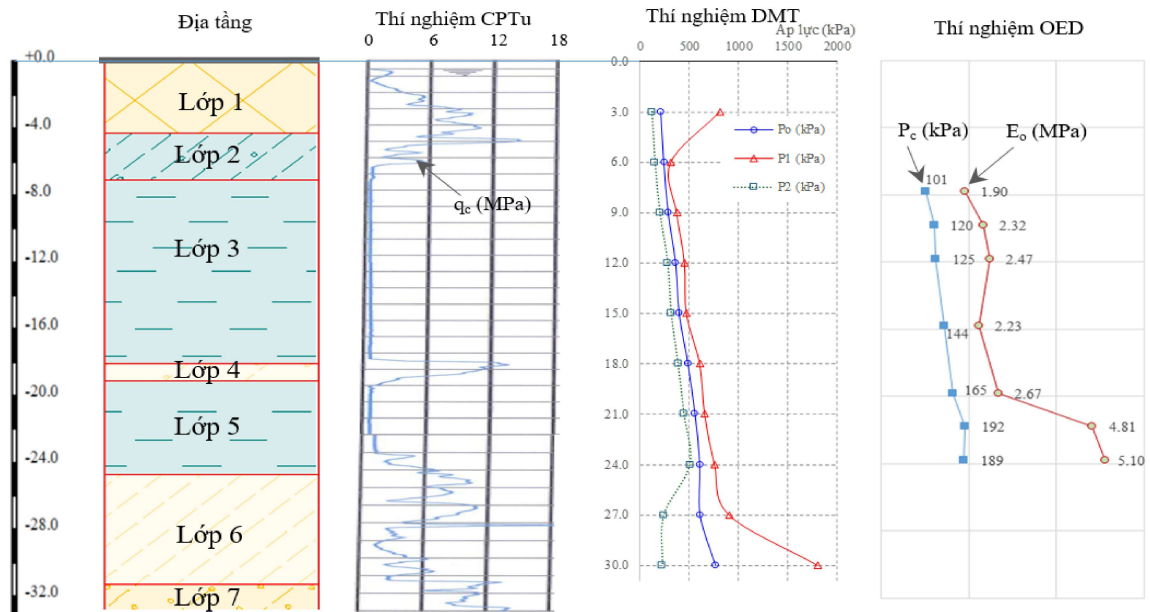
Bảng 3. Tổng hợp các chỉ tiêu vật lý của các lớp đất

Lớp đất	Độ ẩm (w)	Dung trọng tự nhiên (γ)	Dung trọng khô (γ_d)	Tỷ trọng hạt (G_s)	Hệ số rỗng (e)	Độ lỗ rỗng (n)	Độ bão hòa, S_r	Giới hạn chảy LL	Giới hạn dẻo PL	Chỉ số dẻo PI	Độ sệt I_s
	%	g/cm ³	g/cm ³	-	-	%	%	%	%	%	-
Lớp 2	30,5	1,85	1,40	2,69	0,902	47,2	90,9	38,1	22,0	16,1	0,53
Lớp 3	64,7	1,58	1,00	2,60	1,718	62,9	97,9	68,4	32,5	35,9	0,90
Lớp 4	23,9	1,89	1,50	2,66	0,744	42,4	85,6	26,8	17,4	9,4	0,73
Lớp 5	53,8	1,65	1,10	2,63	1,451	58,9	97,4	61,3	30,1	31,2	0,76
Lớp 6	28,0	1,89	1,50	2,70	0,830	45,0	90,5	37,2	21,2	16,0	0,41
Lớp 7	22,0	1,94	1,60	2,66	0,677	40,2	86,7	28,3	19,0	9,4	0,33

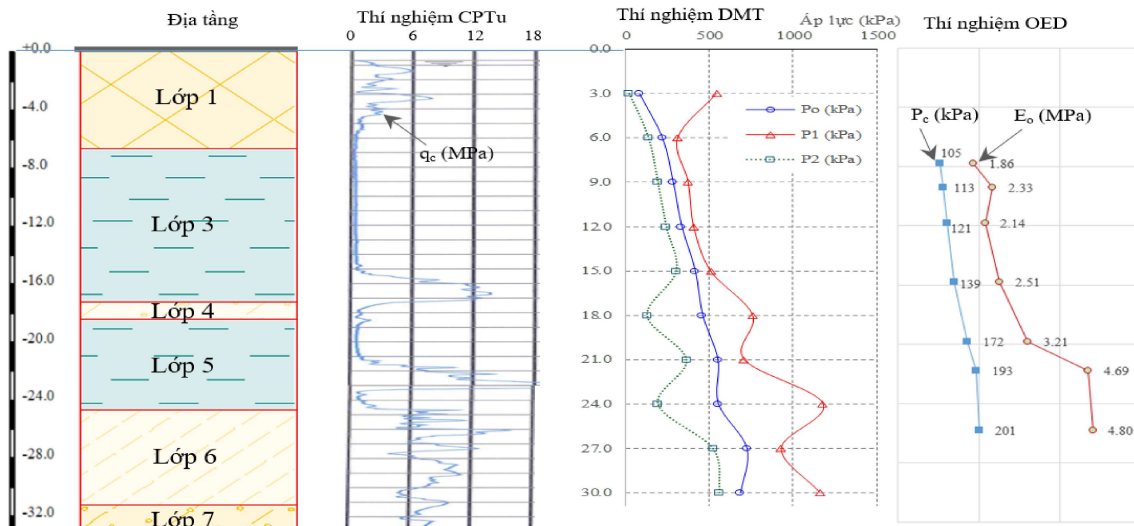
Theo kết quả tổng hợp trong bảng 3, nền đất khu vực có lớp 3 và lớp 5 đều thuộc loại đất sét ở trạng thái dẻo chảy (độ sệt $0,75 < I_s < 1$), có hệ số rỗng, độ ẩm và độ bão hòa lớn ($e > 1$, $w > 50\%$, $S_r > 97\%$), do đó chúng được xem là đất yếu. Trong đó, lớp 5 có tính chất xây dựng tốt hơn lớp 3 do độ sệt, độ ẩm, hệ số rỗng nhỏ hơn, dung trọng tự nhiên lớn hơn. Kết quả thí nghiệm hiện trường CPTu, DMT và thí nghiệm OED tại các điểm khảo sát được biểu diễn trên các hình 4, 5, 6, 7.



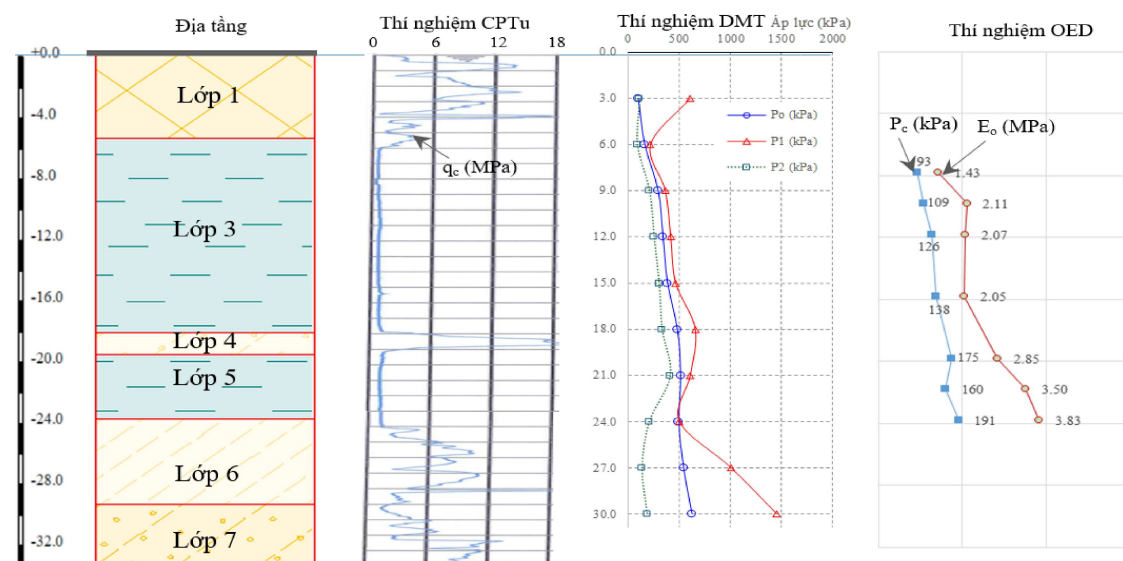
Hình 3. Kết quả thí nghiệm CPTu, DMT và OED tại Đ-1.



Hình 4. Kết quả thí nghiệm CPTu, DMT và OED tại Đ-2.



Hình 5. Kết quả thí nghiệm CPTu, DMT và OED tại Đ-3.



Hình 6. Kết quả thí nghiệm CPTu, DMT và OED tại Đ-4.

Thí nghiệm OED được tiến hành theo TCVN 4200: 2012 với các cấp áp lực nén được lựa chọn phù hợp với đất yếu là $p_i = 12,5; 25; 50; 100; 200; 400$ kPa. Kết quả thí nghiệm đã xác định được P_c và E_o . Trong đó, mô đun tổng biến dạng E_o được xác định cho từng cấp áp lực theo biểu thức (1) và được chọn tương ứng với áp lực tại độ sâu lấy mẫu thí nghiệm. Tổng hợp kết quả xác định P_c và E_o được cho trong bảng 4.

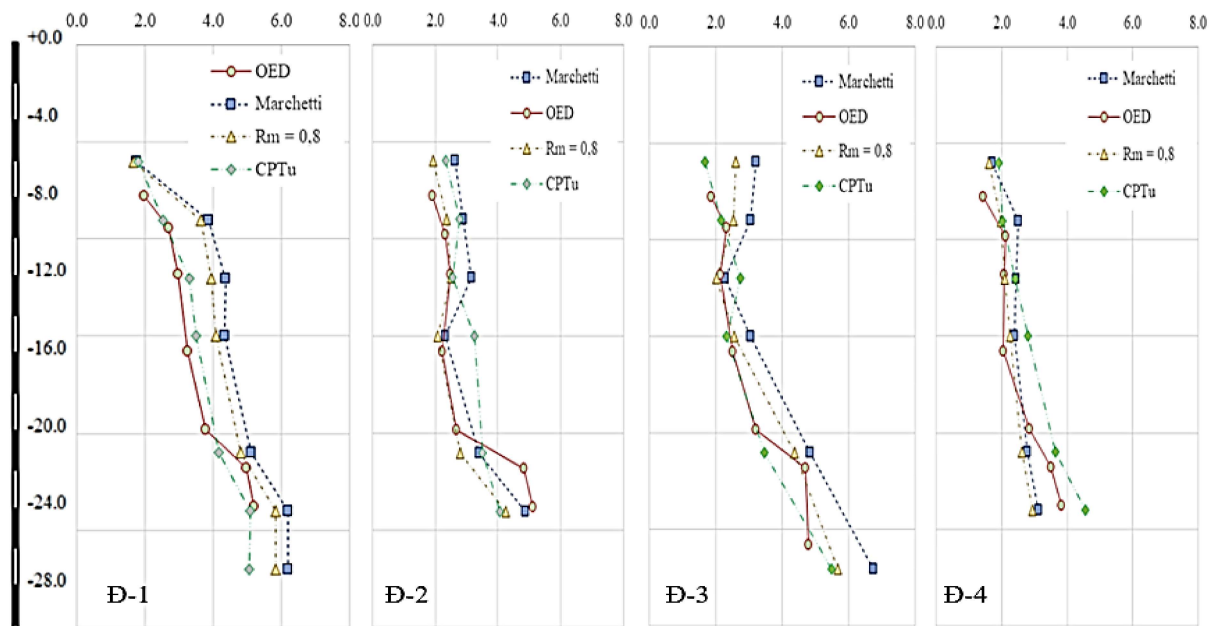
Bảng 4. Tổng hợp kết quả thí nghiệm OED trong các lớp đất yếu

Lớp đất yếu	Độ sâu	Đ-1		Đ-2		Đ-3		Đ-4	
		p_c kPa	E_o Mpa	p_c kPa	E_o Mpa	p_c kPa	E_o Mpa	p_c kPa	E_o Mpa
Lớp 3	7,8	103,1	1,96	101,2	1,90	104,8	1,86	93,4	1,43
	9,8	106,4	2,68	120,3	2,32	112,6	2,33	108,5	2,11
	11,8	126,3	2,98	124,7	2,47	121,5	2,14	126,4	2,07
	15,8	141,8	3,26	143,8	2,23	139,3	2,51	138,2	2,05
	Trung bình	119,4	2,72	122,5	2,23	119,5	2,21	116,6	1,91
Lớp 5	19,8	150,3	3,77	164,6	2,67	171,5	3,21	175,2	2,85
	21,8	175,3	4,96	191,8	4,81	193,4	4,69	160,1	3,50
	23,8	193,4	5,19	189,1	5,10	201,0	4,80	191,2	3,83
	Trung bình	173,0	4,64	181,8	4,19	188,7	4,23	175,5	3,39

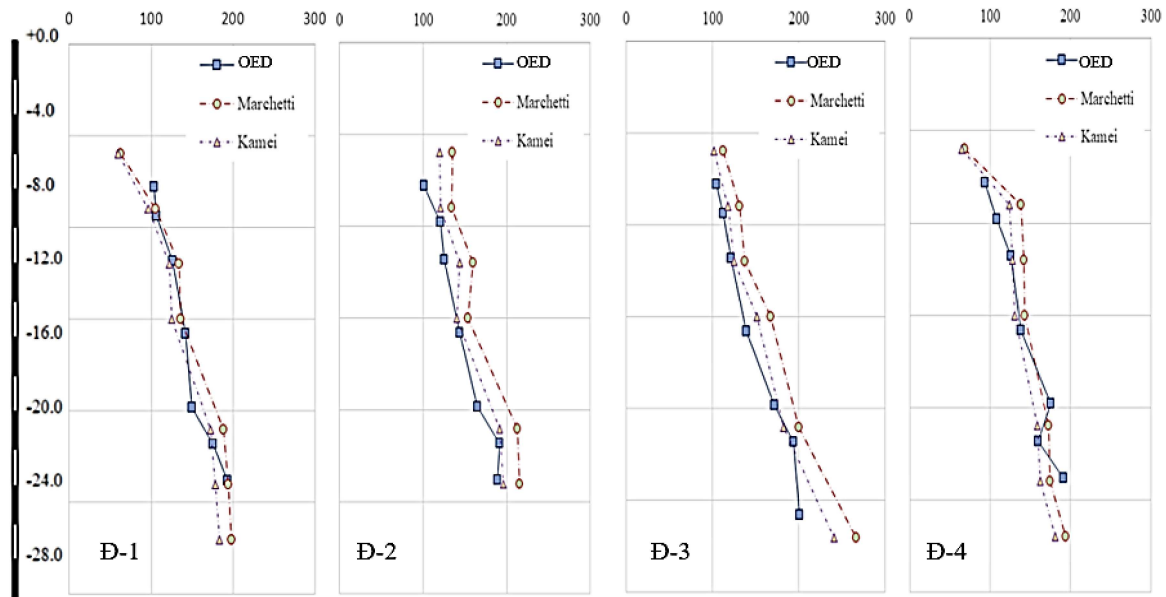
Ghi chú: Trị số E_o ở các độ sâu được lấy phù hợp với các cấp áp lực nén.

Ngoài việc sử dụng thí nghiệm OED, các chỉ tiêu E_o và p_c còn được xác định từ thí nghiệm hiện trường CPTu, DMT. Theo CPTu, E_o được xác định theo biểu thức (2) với hệ số m được chọn bằng 5,5. Theo kết quả thí nghiệm DMT, mô đun E_o được xác định theo biểu thức (7) với hệ số R_m xác định theo Machetti (bảng 2) và theo nhóm tác giả đề xuất là $R_m = 0,8$; áp lực tiền cố kết p_c được tính theo biểu thức (8) với hệ số OCR được xác định theo Machetti (biểu thức 9) và Kamei (biểu thức 10).

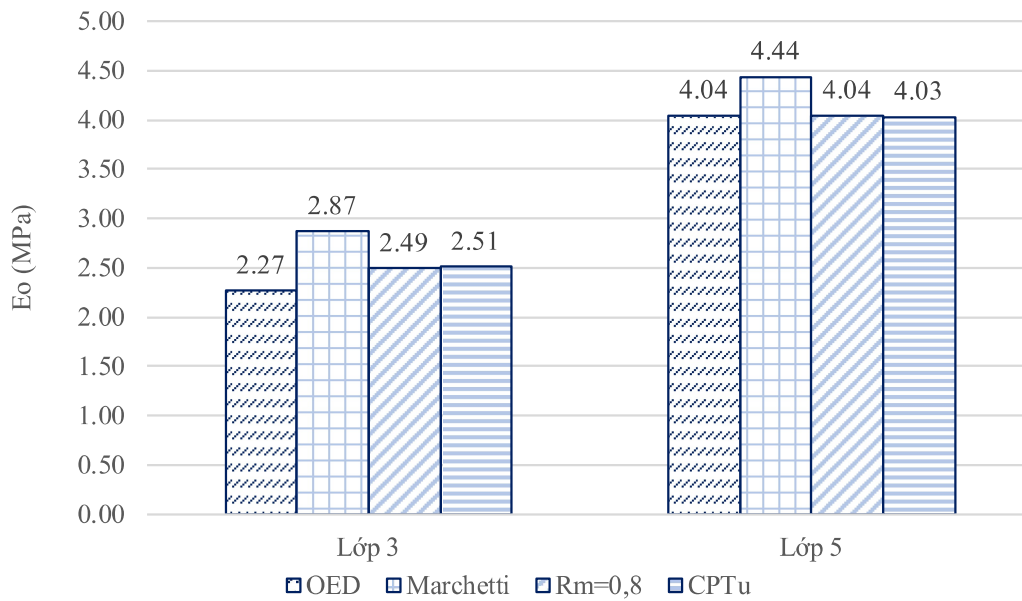
Kết quả xác định các chỉ tiêu E_o , P_c theo các phương pháp khác nhau tại 4 điểm nghiên cứu được biểu diễn trên các hình 8, 9, 10, 11 và được tổng hợp trong bảng 6.



Hình 7. Biểu đồ E_o xác định bằng các phương pháp khác nhau theo chiều sâu



Hình 8. Biểu đồ P_c xác định bằng các phương pháp khác nhau theo chiều sâu



Hình 9. So sánh E_o nhận được từ các phương pháp khác nhau

Bảng 5. Tổng hợp kết quả xác định E_o , P_c theo các phương pháp khác nhau

Lớp đất yếu	Điểm nghiên cứu	Môđun tổng biến dạng, E_o (Mpa)				Áp lực tiền cố kết, P_c (Kpa)		
		OED	Marchetti	Rm=0,8	CPTu	OED	Marchetti	Kamei
Lớp 3	Đ-1	2.72	3.58	3.33	2.79	119.405	125.1	114.7
	Đ-2	2.23	2.75	2.22	2.73	122.49	145.4	130.8
	Đ-3	2.21	2.90	2.44	2.23	119.528	136.9	123.8
	Đ-4	1.91	2.26	1.98	2.29	116.62	141.0	127.8
	Trung bình	2.27	2.87	2.49	2.51	119.5	137.1	124.3
Lớp 5	Đ-1	4.64	5.8	5.5	4.8	173.016	193.662	178.471
	Đ-2	4.19	4.1	3.5	3.8	181.811	203.03	185.32
	Đ-3	3.95	4.8	4.4	3.5	182.479	200.06	182.30
	Đ-4	3.39	3.0	2.8	4.1	175.496	173.58	160.71
	Trung bình	4.04	4.44	4.04	4.03	178.2	192.6	176.7

Trong các phương pháp xác định E_0 và P_c , phương pháp OED là phương pháp thí nghiệm trực tiếp nên được coi phương pháp chuẩn để so sánh. Kết quả biểu diễn trên hình 9 và bảng 6 cho thấy, E_0 theo thí nghiệm OED cho kết quả tổng thể thấp nhất, có thể do ảnh hưởng của xáo động mẫu. Trong khi đó, xác định E_0 theo đề nghị của Marchetti (xác định R_m theo bảng 2) cho kết quả cao hơn OED khoảng 10 - 20%. Tuy nhiên, khi sử dụng hệ số hiệu chỉnh $R_m = 0,8$ (nhóm tác giả đề xuất), giá trị E_0 từ DMT tiệm cận với OED hơn, với độ sai lệch rất nhỏ trong lớp 3 và 9,6% trong lớp 5. Thêm vào đó, kết quả xác định E_0 theo CPTu với hệ số m lấy bằng 5,5 cũng cho kết quả tương đồng với DMT khi chọn $R_m = 0,8$.

Về xác định áp lực tiền cố kết P_c , kết quả nghiên cứu cho thấy, biểu thức của Kamei thu được kết quả gần với OED hơn so với khi sử dụng công thức gốc của Marchetti (1980). Cụ thể, ở cả hai lớp đất yếu (lớp 3 và lớp 5), sai lệch giữa DMT (theo Kamei) và OED chỉ nhỏ hơn 4%, trong khi sử dụng biểu thức của Marchetti cho độ sai lệch cao hơn (trên 8%). Điều này cho thấy biểu thức Kamei có độ phù hợp tốt với hai lớp đất yếu khu vực Cái Mép.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày kết quả ứng dụng thí nghiệm Dilatometer (DMT) trong việc xác định các chỉ tiêu cơ học quan trọng phục vụ dự báo độ lún ổn định của đất yếu tại khu vực cảng Cái Mép. Thông qua việc so sánh với các phương pháp truyền thống (OED và CPTu), nghiên cứu cho thấy:

Giá trị môđun tổng biến dạng (E_0) xác định bằng DMT theo Marchetti dao động cao hơn OED khoảng 10 - 20%, nhưng với đề xuất điều chỉnh $R_m = 0,8$ độ lệch này giảm đáng kể (<10%) và cũng phù hợp với kết quả CPTu khi chọn hệ số $m = 5,5$.

Áp lực tiền cố kết (P_c) xác định theo công thức Kamei cho kết quả gần với P_c từ OED, được đánh giá phù hợp với đất yếu khu vực nghiên cứu.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, có thể sử dụng thí nghiệm DMT kết hợp với OED nhằm nâng cao độ tin cậy, giảm ảnh hưởng của xáo động mẫu trong điều kiện đất yếu và công trình có yêu cầu kỹ thuật cao. Với đất yếu tương tự, nên áp dụng hệ số hiệu chỉnh $R_m = 0.8$ để xác định E_0 và công thức của Kamei để xác định OCR và P_c .

Cần mở rộng nghiên cứu tại các khu vực đất yếu khác trên cả nước để hiệu chỉnh các công thức nội suy phù hợp điều kiện địa chất Việt Nam.

Lời cảm ơn

Báo cáo này là kết quả của đề tài nghiên cứu khoa học cấp cơ sở mã số T25-14, do Trường Đại học Mở - Địa chất cấp kinh phí. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ về tài chính và cơ sở thiết bị nghiên cứu của Nhà trường trong suốt quá trình thực hiện đề tài.

Tài liệu tham khảo

- Marchetti, S. (1980). In situ tests by flat dilatometer. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 106(GT3), 299-321.
- Kamei, T., et al. (1995). Evaluation of overconsolidation ratio of clay using flat dilatometer test. Soils and Foundations, 35(3), 13-20.
- Coduto, D.P. (2011). Foundation Design: Principles and Practices. 2nd ed., Pearson Education.
- Mayne, P.W. (2018). Interpretation of geotechnical parameters from seismic piezocone tests. In CPT'18, Delft, Netherlands.
- Nguyễn Văn Phóng (2012). Địa kỹ thuật công trình - Khảo sát và tính toán nền đất yếu. Nhà xuất bản Xây dựng.
- Nguyễn Văn Phóng & Tạ Đức Thịnh (2008). So sánh một số phương pháp hiện trường trong khảo sát đất yếu. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mở - Địa chất, (22), 17-22.

- Lutenegger, A. (2021). Applications and limitations of dilatometer tests in soft clay. Proceedings of ISC'7, Brazil.
- TCVN 4200:2012. Đất xây dựng - Phương pháp xác định tính nén lún trong phòng thí nghiệm.
- TCVN 5747:1993. Xác định độ lún của nền đất bằng phương pháp nén một trục.
- ASTM D5778. Standard Test Method for Performing Electronic Friction Cone and Piezocone Penetration Testing of Soils.
- ASTM D6635. Standard Test Method for Performing Flat Plate Dilatometer Testing in Soils.
- TCVN 9437:2012. Khoan thăm dò địa chất công trình.

Determination of Parameters for Predicting Long-Term Settlement of Soft Soils Using Dilatometer Test: A Case Study at Cai Mep Area

Nguyen Van Phong^{1,*}, Phan Tu Huong², Phan Thanh Tien³, Truong Thanh Can⁴

¹*Hanoi University of Mining and Geology*

²*Hanoi Architectural University*

³*GeoSmart Construction Consultants Joint Stock Company*

⁴*Seahorse Marine and Energy Joint Stock Company*

**Corresponding author: Email: nguyenvanphong.dcct@hug.edu.vn*

Abstract

Soft soils are highly susceptible to disturbance, making laboratory test results significantly affected by the sampling process. Under such conditions, a combination of laboratory and in-situ testing is essential. This paper presents a method for determining parameters used to predict the long-term settlement of soft soil foundations through the Flat Dilatometer Test (DMT), with an application in the Cai Mep Port area, Ba Ria - Vung Tau Province, Vietnam. Empirical formulas are employed to determine the total deformation modulus (E_o) and preconsolidation pressure (P_c) from DMT results, and the findings are compared with those from commonly used methods such as oedometer tests (OED) and piezocone penetration tests (CPTu). The results from four testing locations in the Cai Mep area indicate that using DMT with a correction factor $R_m = 0,8$ for determining E_o and applying Kamei's formula for calculating P_c provides the most consistent and reliable outcomes.

Keywords: Soft soil, Dilatometer Test (DMT), Total Deformation modulus, Preconsolidation pressure.