

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

Không phần nào trong xuất bản phẩm này được phép sao chép hay phát hành dưới bất kỳ hình thức hoặc phương tiện nào nếu không được phép của Nhà xuất bản Giao thông vận tải

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Số 8 phố Tăng Bạt Hổ - Phường Cửa Nam - TP. Hà Nội

Điện thoại: 024 39423346 - 39424620 * Fax: 024 38224784

Website: www.nxbgtvt.vn

Chịu trách nhiệm xuất bản, nội dung:

Giám đốc - Tổng Biên tập:

NGUYỄN MINH NHẬT

Biên tập nội dung:

VŨ VĂN BÁI

Biên tập sách điện tử:

VŨ VĂN BÁI

Kỹ thuật sách điện tử:

NGÔ NHỊ LƯƠNG

Trình bày:

HIỀN LƯƠNG

Số xác nhận đăng ký xuất bản: 3850-2025/CXBIPH/1-78/GTVT.

Số quyết định xuất bản: 13 NB/QĐSDT-XBGT ngày 22/10/2025.

Nộp lưu chiếu tháng 10 năm 2025.

ISBN: 978-604-76-3233-6

TRƯỜNG ĐẠI HỌC TRÀ VINH
(TVU)

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

NGÀY 24 & 25 THÁNG 10 NĂM 2025

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

15. XÂY DỰNG MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM TRONG PHÒNG KHẢO SÁT SỰ LÀM VIỆC CỦA NHÓM TRỤ VẬT LIỆU HẠT RỜI KẾT HỢP VỚI LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT TRONG XỬ LÝ NỀN ĐẤT YẾU	
<i>Nguyễn Hải Hà, Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Thái Linh, Lê Thị Hồng Vân</i>	135
16. ẢNH HƯỞNG TRƯỢT NÔNG TỚI ỔN ĐỊNH NỀN ĐƯỜNG GIAO THÔNG Ở VÙNG NÚI - NGHIÊN CỨU ĐIỂN HÌNH TUYẾN TL128 ĐOẠN TỪ CHẶN NỬA ĐI SÌN HỒ, TỈNH LAI CHÂU	
<i>Nguyễn Việt Tiệp, Nguyễn Đức Mạnh, Mai Sỹ Hùng</i>	145
17. ĐƯỜNG SẮT CAO TỐC - KINH NGHIỆM THẾ GIỚI VỀ QUY HOẠCH, XÂY DỰNG, VẬN HÀNH VÀ KHẢO SÁT ĐỊA KỸ THUẬT	
<i>Nguyễn Thành Dương, Nguyễn Quang Phích</i>	155
18. THÀNH LẬP BẢN ĐỒ SỬ DỤNG ĐẤT CHO KHU VỰC XÃ SÓP CỘP, TỈNH SƠN LA PHỤC VỤ ĐÁNH GIÁ NGUY CƠ TRƯỢT LỎ DỰA TRÊN DỮ LIỆU VIỄN THÁM VÀ GIS	
<i>Dương Văn Bình, Phạm Thị Việt Nga, Phạm Thị Ngọc Hà</i>	163
19. ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT TRONG DỰ BÁO ĐỘ LÚN CỐ KẾT CỦA NỀN ĐƯỜNG ĐẤT YẾU	
<i>Bùi Văn Bình</i>	171
20. NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG VẬT LIỆU ĐÁ TỰ NHIÊN TRONG XÂY DỰNG ĐƯỜNG GIAO THÔNG Ở NINH THUẬN	
<i>Phạm Minh Tân, Bùi Trường Sơn</i>	179
21. NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG XỈ ĐÁY LÒ NHIỆT ĐIỆN THAY THẾ CÁT TỰ NHIÊN TRONG VỮA XÂY	
<i>Nguyễn Văn Hùng</i>	186
22. NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LƯỢNG MƯA TỚI ỔN ĐỊNH NỀN ĐƯỜNG ĐẮP CAO TRÊN TUYẾN CAO TỐC ĐỒNG ĐẰNG - TRÀ LĨNH BẰNG MÔ PHỎNG SỐ	
<i>Nguyễn Bá Đồng, Nguyễn Đức Hạnh</i>	194
23. CƠ SỞ VÀ CÔNG NGHỆ CHUYỂN ĐỔI SỐ ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH - ĐỊA KỸ THUẬT	
<i>Nhữ Việt Hà</i>	202
24. MỘT SỐ VẤN ĐỀ VỀ CÔNG TÁC QUẢN LÝ CÔNG TRÌNH ĐỂ PHÒNG TRÁNH SỰ CỐ TRONG XÂY DỰNG	
<i>Nguyễn Thị Nụ</i>	211
25. RIVER DYNAMICS AND POST-FLOOD SAND REGENERATION: A GEODYNAMIC AND SEDIMENTOLOGICAL APPROACH	
<i>Pham Phuoc Toan, Do Quang Thien</i>	218

Chủ đề II: KỸ THUẬT XÂY DỰNG VÀ VẬT LIỆU ĐỊA KỸ THUẬT

26. ĐỀ XUẤT TỶ LỆ PHỐI TRỘN XỈ LÒ CAO VỚI CÁT LÀM VẬT LIỆU THAY THẾ CÁT TRONG XÂY DỰNG	
<i>Nguyễn Thị Thanh Nhân, Trần Thanh Nhân, Trần Thị Ngọc Quỳnh, Đỗ Quang Thiên</i>	228
27. THEORETICAL DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE RISK ASSESSMENT MODEL FOR LARGE-SCALE INFRASTRUCTURE PROJECTS: A CASE STUDY OF THE MEKONG DELTA, VIETNAM	
<i>Minh-Huy Vo, Jyh-Bin Yang</i>	238
28. MỘT NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM BÊ TÔNG NHIỀU TRO BAY SỬ DỤNG VẬT LIỆU ĐỊA PHƯƠNG TỈNH VĨNH LONG TRONG XÂY DỰNG BỀN VỮNG	
<i>Huỳnh Thị Mỹ Dung, Huỳnh Văn Hiệp, Nguyễn Thanh Sang</i>	253
29. MÔ HÌNH LƯỚI MÔ PHỎNG TRUYỀN NHIỆT TRONG BÊ TÔNG	
<i>Nguyễn Lê Đạt, Phạm Đức Thọ, Đặng Trung Thành</i>	263

ÁP DỤNG PHƯƠNG PHÁP XÁC SUẤT TRONG DỰ BÁO ĐỘ LÚN CỐ KẾT CỦA NỀN ĐƯỜNG ĐẤT YẾU

Bùi Văn Bình^{1,*}

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

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

Tóm tắt

Tính lún cố kết của các công trình xây dựng trên nền đất yếu vẫn là một thách thức quan trọng trong kỹ thuật địa chất công trình, đặc biệt tại những khu vực có các lớp đất sét Holocene dày như Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long ở Việt Nam. Phương pháp tính lún cố kết truyền thống thường dựa trên các giá trị đại diện của các chỉ tiêu cơ lý đất thu được từ thí nghiệm trong phòng cho từng lớp địa chất công trình. Tuy nhiên, sự không đồng nhất tự nhiên của đất dẫn đến những sai lệch đáng kể giữa giá trị lún tính toán và giá trị lún thực tế đo được tại hiện trường. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hành vi lún cố kết theo hướng xác suất bằng cách xét đến sự biến thiên thống kê của các thông số đất chủ chốt, bao gồm khối lượng thể tích tự nhiên (γ), chỉ số nén (C_c), chỉ số nén lại (C_s) và áp lực tiền cố kết (P_c). Phương pháp ước lượng điểm Rosenblueth được áp dụng để đánh giá hiệu quả ảnh hưởng của các thông số biến thiên thông qua 12 tổ hợp giá trị mà không cần sử dụng các mô phỏng Monte Carlo quy mô lớn. Một lớp đất sét yếu đại diện có chiều dày 18,5 m được lựa chọn để phân tích. Kết quả cho thấy giá trị lún cố kết tuân theo phân bố chuẩn với giá trị trung bình $\mu = 1,842$ m và độ lệch chuẩn $\sigma = 0,0607$ m. Xác suất vượt các ngưỡng lún 1,85 m; 1,90 m và 1,95 m lần lượt là 44,5%, 16,8% và 3,7%. Phân tích độ nhạy cho thấy chỉ số nén C_c là tham số có ảnh hưởng lớn nhất đến độ biến thiên của độ lún. Các kết quả này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc xét đến tính không chắc chắn của các tham số đất trong dự báo lún nhằm nâng cao độ tin cậy của thiết kế và đánh giá rủi ro cho các công trình xây dựng trên nền đất yếu ở Việt Nam.

Từ khóa: Lún cố kết, phương pháp xác suất, xử lý nền đất yếu.

1. Mở đầu

Bài toán tính lún cố kết của nền đất yếu là một trong những nội dung cốt lõi của thiết kế xử lý nền trong xây dựng công trình tại các khu vực có điều kiện địa chất phức tạp. Đặc biệt ở Việt Nam, các khu vực như Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long có phạm vi phân bố đất yếu rất rộng, chủ yếu là các trầm tích sét bùn Holocene có bề dày lớn và độ nén lún cao. Việc tính toán chính xác độ lún cố kết không chỉ ảnh hưởng đến độ ổn định của công trình mà còn quyết định hiệu quả kinh tế của giải pháp xử lý nền.

Nền tảng lý thuyết của bài toán lún cố kết được đặt ra từ công trình kinh điển của Terzaghi (1925). Ông đã phát triển phương trình cố kết một chiều, mô tả sự tiêu thoát nước lỗ rỗng và quá trình gia tăng ứng suất hữu hiệu trong đất bão hòa dưới tác dụng tải trọng. Lý thuyết này đánh dấu bước ngoặt trong cơ học đất hiện đại khi lần đầu tiên mô tả được mối quan hệ định lượng giữa ứng suất, áp lực nước lỗ rỗng và biến dạng thể tích của đất theo thời gian. Biot (1941) đã mở rộng lý thuyết cố kết theo hướng tổng quát hơn, xét đến bài toán cố kết ba chiều và tính đàn hồi khung hạt đất, tạo cơ sở cho các mô hình cố kết đàn hồi-thâm ngày nay. Gibson và cộng sự (1967) tiếp tục phát triển lý thuyết cố kết phi tuyến có xét đến biến dạng lớn, cho phép mô tả chính xác hơn ứng xử của các lớp đất sét mềm dày và không đồng nhất. Những công trình này tạo thành nền tảng khoa học cho hầu hết các phương pháp tính lún cố kết đang được áp dụng hiện nay, từ phương pháp giải tích đơn giản đến mô hình số tiên tiến.

Các thông số quan trọng của đất ảnh hưởng đến quá trình cố kết bao gồm các chỉ tiêu vật lý và chỉ tiêu cơ học. Chỉ tiêu vật lý bao gồm khối lượng thể tích tự nhiên (γ) và hệ số thấm (k), hệ số rỗng (e_0) của đất. Các chỉ tiêu cơ học bao gồm chỉ số nén (C_c) và chỉ số nén lại (C_s), phản ánh

độ biến dạng thể tích của đất khi chịu tác dụng của tải trọng công trình. Áp lực tiền cố kết (P_c) thể hiện mức độ cố kết của nền, và hệ số cố kết (cv), điều khiển tốc độ quá trình lún theo thời gian.

Quy trình xác định các giá trị tính toán của chỉ tiêu đất rất quan trọng nhằm đảm bảo các thông số sử dụng trong tính toán phản ánh chính xác đặc trưng của đất tại hiện trường, đồng thời bao hàm các yếu tố an toàn cần thiết. Quy trình này thường được thực hiện sau khi đã hoàn tất công tác phân chia các đơn nguyên địa chất công trình và xử lý thống kê sơ bộ dữ liệu thí nghiệm. Quy trình xác định các giá trị tính toán được quy định rõ trong TCVN9153:2012. Các bước bao gồm tiến hành kiểm tra thống kê và loại trừ các giá trị sai số thô có trong tập kết quả thí nghiệm. Việc này được thực hiện bằng cách so sánh độ lệch của từng giá trị so với giá trị trung bình với một ngưỡng thống kê nhất định (phụ thuộc vào số mẫu). Những giá trị nằm ngoài ngưỡng này sẽ bị loại bỏ để đảm bảo tính đại diện và độ tin cậy của dữ liệu. Xác định giá trị tiêu chuẩn (X_{tc}) của từng chỉ tiêu. Thông thường, X_{tc} được tính bằng giá trị trung bình cộng của tập mẫu sau khi đã loại bỏ sai số thô. Đối với các chỉ tiêu vật lý gián tiếp (như hệ số rỗng, độ lỗ rỗng...), giá trị tiêu chuẩn được tính gián tiếp thông qua các công thức thể hiện bản chất vật lý giữa các chỉ tiêu trong lý cơ học đất, dựa trên các chỉ tiêu thí nghiệm cơ bản. Trong trường hợp các chỉ tiêu biến đổi có quy luật theo độ sâu hoặc theo không gian, X_{tc} sẽ được xác định như một hàm theo độ sâu ($X_{tc}(h)$) để phản ánh chính xác sự thay đổi này. Giá trị tính toán (X_{tt}) được xác định bằng cách hiệu chỉnh X_{tc} thông qua hệ số an toàn về đất và hệ số xét đến độ chính xác thống kê. Hệ số an toàn được xác định dựa trên hệ số biến thiên của tập mẫu, số lượng mẫu và mức độ tin cậy lựa chọn. Với những đơn nguyên có số lượng mẫu nhỏ ($n < 6$), giá trị tính toán được xác định theo phương pháp trung bình cực trị (giá trị nhỏ nhất hoặc lớn nhất) để đảm bảo an toàn thiết kế. Quy trình nhằm đảm bảo rằng giá trị tính toán của các chỉ tiêu đất vừa phản ánh trung thực điều kiện địa chất, vừa có độ tin cậy thống kê và mức độ bảo toàn phù hợp cho thiết kế, góp phần nâng cao tính chính xác của các bài toán lún, ổn định và thấm trong công trình xây dựng.

Trên thế giới, từ những năm 1990, nhiều nghiên cứu bắt đầu áp dụng lý thuyết xác suất và thống kê để mô tả sự không chắc chắn trong các tham số đất, thay vì coi chúng là hằng số. Phoon & Kulhawy (1999) là những người tiên phong trong việc xây dựng khung phân tích xác suất cho các bài toán địa kỹ thuật. Zhang (2004), Fenton & Griffiths (2008) và nhiều tác giả khác đã phát triển các phương pháp Monte Carlo, FORM/SORM và phân tích độ tin cậy để đánh giá phân bố xác suất của độ lún và xác suất vượt ngưỡng giới hạn thiết kế. Các nghiên cứu này cho thấy rằng độ biến thiên của chỉ số nén và áp lực tiền cố kết có thể dẫn đến sai khác đáng kể giữa giá trị trung bình và giá trị đặc trưng của độ lún, nhất là trong các lớp đất sét mềm dày và không đồng nhất.

Tại Việt Nam, nghiên cứu về lún cố kết tập trung chủ yếu ở hai vùng địa chất đặc thù: Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long, nơi đất yếu có nguồn gốc Holocene phân bố rộng với bề dày lớn.

Nghiên cứu đặc tính đất và thông số cố kết: Các nghiên cứu của Nguyễn Việt Trung (2004), Trần Văn Việt (2009), Nguyễn Bá Kế (2015)... đã công bố các bộ số liệu oedometer cho đất sét Holocene tại TP. Hồ Chí Minh và Đồng bằng sông Cửu Long. Kết quả cho thấy C_c thường nằm trong khoảng 0,2-0,6; áp lực tiền cố kết thường thấp, dẫn đến trạng thái chưa cố kết và tiềm năng lún lớn. Hệ số thấm và hệ số cố kết thường nhỏ, thời gian cố kết dài.

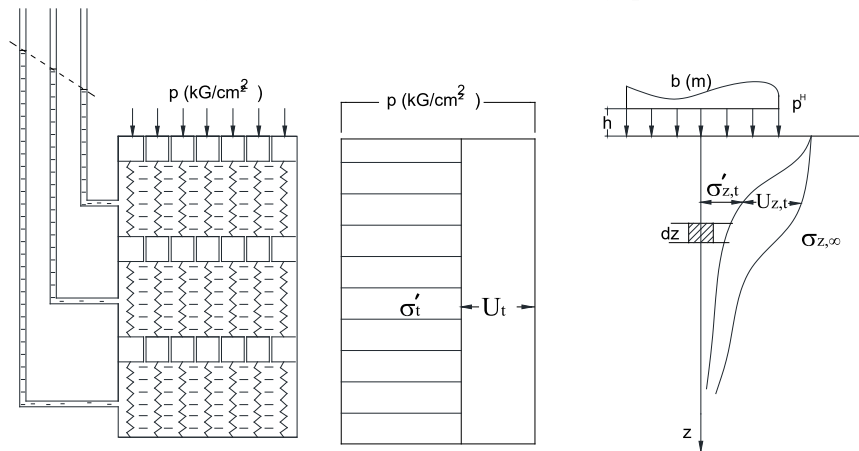
Nghiên cứu dự báo lún và phân tích xác suất: Gần đây, một số công trình bắt đầu tiếp cận theo hướng xác suất, ví dụ như Lê Văn Quỳnh (2018) áp dụng mô phỏng Monte Carlo để đánh giá phân bố độ lún và rủi ro thiết kế khi các thông số C_c , P_c biến thiên theo phân bố thống kê. Các nghiên cứu này cho thấy nếu chỉ sử dụng giá trị trung bình của thông số, độ lún tính toán có thể thấp hơn đáng kể so với độ lún thực tế quan trắc. Việc xét đến khoảng biến thiên và sự không đồng nhất giúp nâng cao độ an toàn thiết kế.

2. Lý thuyết cố kết thấm

Quá trình cố kết thấm của đất là quá trình nén chặt của đất dưới tác dụng của tải trọng ngoài kèm theo quá trình thoát nước trong các lỗ rỗng của đất. Quá trình cố kết thấm chủ yếu được

ngiên cứu trong đất loại sét bão hòa nước, do các loại đất này có hệ số thấm nhỏ, do đó quá trình thoát nước trong các lỗ rỗng diễn ra trong 1 thời gian dài, do đó quá trình nén chặt đất cũng diễn ra theo thời gian. Ngược lại, trong đất loại cát, do loại đất này có hệ số thấm lớn do đó quá trình nén chặt và thoát nước diễn ra rất nhanh vào khoảng từ 3 đến 7 ngày sau khi tác dụng tải trọng. Do đó khi nghiên cứu lý thuyết cổ kết thấm chủ yếu nghiên cứu trong đất loại sét bão hòa nước.

Lý thuyết cổ kết lần đầu tiên được đưa ra bởi Terzaghi vào giữa những năm năm 1925 ông đã đưa ra mô hình cổ kết thấm và phương trình vi phân của lý thuyết cổ kết. Trong lý thuyết cổ kết của Terzaghi ông đã đưa ra một số giả thiết mỗi đơn nguyên địa chất công trình phải đồng nhất, đất bão hòa hoàn toàn, hạt đất và nước không bị nén ép, dòng thấm diễn ra 1 chiều và tuân theo định luật Darcy, các thông số của đất không thay đổi trong quá trình cổ kết.

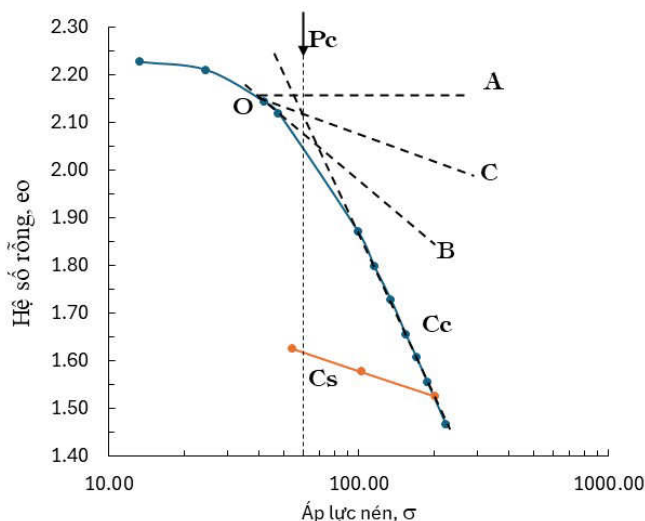


Hình 1. Mô hình cổ kết thấm của đất theo K.Terzaghi

Từ các giả thiết trên, phương trình vi phân mô phỏng quá trình cổ kết của đất được thành lập là hàm của áp lực nước lỗ rỗng dư theo chiều sâu và thời gian.

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (1)$$

Việc xác định các tham số mô phỏng đặc trưng biến dạng cổ kết của đất được thí nghiệm trên hộp nén oedometer trong phòng thí nghiệm. Từ đường cong quan hệ giữa hệ số rỗng và logarit của tải trọng tác dụng để xác định các giá trị chỉ số nén, chỉ số nén lại, áp lực tiền cổ kết của đất như hình 2.



Hình 2. Đường cong nén cổ kết e vs $\log P$

Độ lún của nền về bản chất được tính toán như công thức (2) như sau:

$$S = \frac{\Delta e}{1 + e_o} H \quad (2)$$

Từ biểu thức (2) độ lún cố kết được biến đổi với các biến là các chỉ tiêu nhận được từ thí nghiệm nén cố kết C_c , C_r và P_c . Biểu thức tính độ lún cố kết sẽ tùy thuộc vào mức độ cố kết của đất và độ lớn của tải trọng tác dụng.

Với đất cố kết thông thường: $P_c < p_o$ thì độ lún cố kết được tính theo công thức (3).

$$S = \sum \frac{C_c H_i}{1 + e_o} \log \left(\frac{p_{o(i)} + \Delta p_{(i)}}{p_{o(i)}} \right) \quad (3)$$

Với đất quá cố kết $p_c \geq p_o + \Delta p$ thì độ lún cố kết được tính theo công thức (4).

$$S = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \quad (4)$$

Trong trường hợp $p_c < p_o + \Delta p$ thì độ lún cố kết được tính theo công thức (5).

$$S = \frac{C_s H}{1 + e_o} \log \left(\frac{p_c}{p_o} \right) + \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_c} \right) \quad (5)$$

Trong đó:

p_c - áp lực tiền cố kết;

P_o - áp lực địa tầng;

Δp - ứng suất phụ thêm do công trình gây ra.

3. Áp dụng phương pháp xác suất trong dự báo độ lún cố kết

3.1 Phương pháp xác suất và khả năng ứng dụng trong dự báo độ lún cố kết

Phương pháp Rosenblueth, còn gọi là phương pháp ước lượng điểm (Point Estimation Method - PEM), là một kỹ thuật phân tích xác suất được sử dụng phổ biến trong lĩnh vực cơ học đất nhằm đánh giá ảnh hưởng của sự không chắc chắn trong các thông số đầu vào đến đại lượng đầu ra mà không cần thực hiện quá nhiều phép mô phỏng ngẫu nhiên. Ý tưởng cơ bản của phương pháp này là thay thế quá trình lấy mẫu ngẫu nhiên phức tạp bằng việc lựa chọn một tập hữu hạn các “điểm đại diện” cho phân bố của các biến ngẫu nhiên đầu vào. Đối với mỗi biến ngẫu nhiên X_i có giá trị trung bình μ_i và độ lệch chuẩn σ_i , phương pháp Rosenblueth chọn hai giá trị đại diện là $X_i^+ = \mu_i + \sigma_i$ và $X_i^- = \mu_i - \sigma_i$. Khi có n biến ngẫu nhiên độc lập, sẽ có 2^n tổ hợp điểm để đánh giá hàm mục tiêu, từ đó tính được giá trị trung bình và phương sai của đại lượng đầu ra bằng cách gán trọng số cho từng điểm.

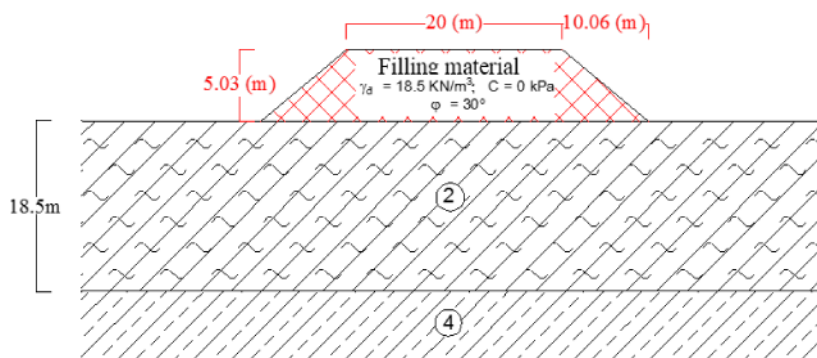
Trong bài toán lún cố kết của nền đất yếu, độ lún cố kết (S_c) thường được xác định thông qua các thông số như chỉ số nén (C_c), chỉ số nén lại (C_s), áp lực tiền cố kết (P_c), hệ số rỗng ban đầu (e_0) và chiều dày lớp đất (H).

$$S = f(\gamma_w, C_c, C_s, e_0, P_c) \quad (6)$$

Các thông số này thường có tính biến thiên lớn theo không gian do điều kiện thành tạo khác nhau, dẫn đến độ không chắc chắn đáng kể trong kết quả tính lún. Phương pháp Rosenblueth được áp dụng bằng cách xác định giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của từng thông số từ kết quả thí nghiệm, sau đó xây dựng tập hợp các điểm đại diện tương ứng với các tổ hợp giá trị $\pm \sigma$. Mỗi tổ hợp được sử dụng để tính độ lún cố kết theo công thức Terzaghi, từ đó thu được tập giá trị lún ứng với các kịch bản đầu vào. Thông qua việc tổng hợp các kết quả này, có thể ước tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của độ lún, cũng như đánh giá được mức độ nhạy cảm của từng thông số đến kết quả tính toán. Cách tiếp cận này cho phép phân tích nhanh ảnh hưởng của sự biến thiên tham số mà không cần thực hiện nhiều phép mô phỏng Monte Carlo, đồng thời phù hợp với điều kiện số liệu hạn chế thường gặp trong thực tế khảo sát địa chất công trình ở Việt Nam.

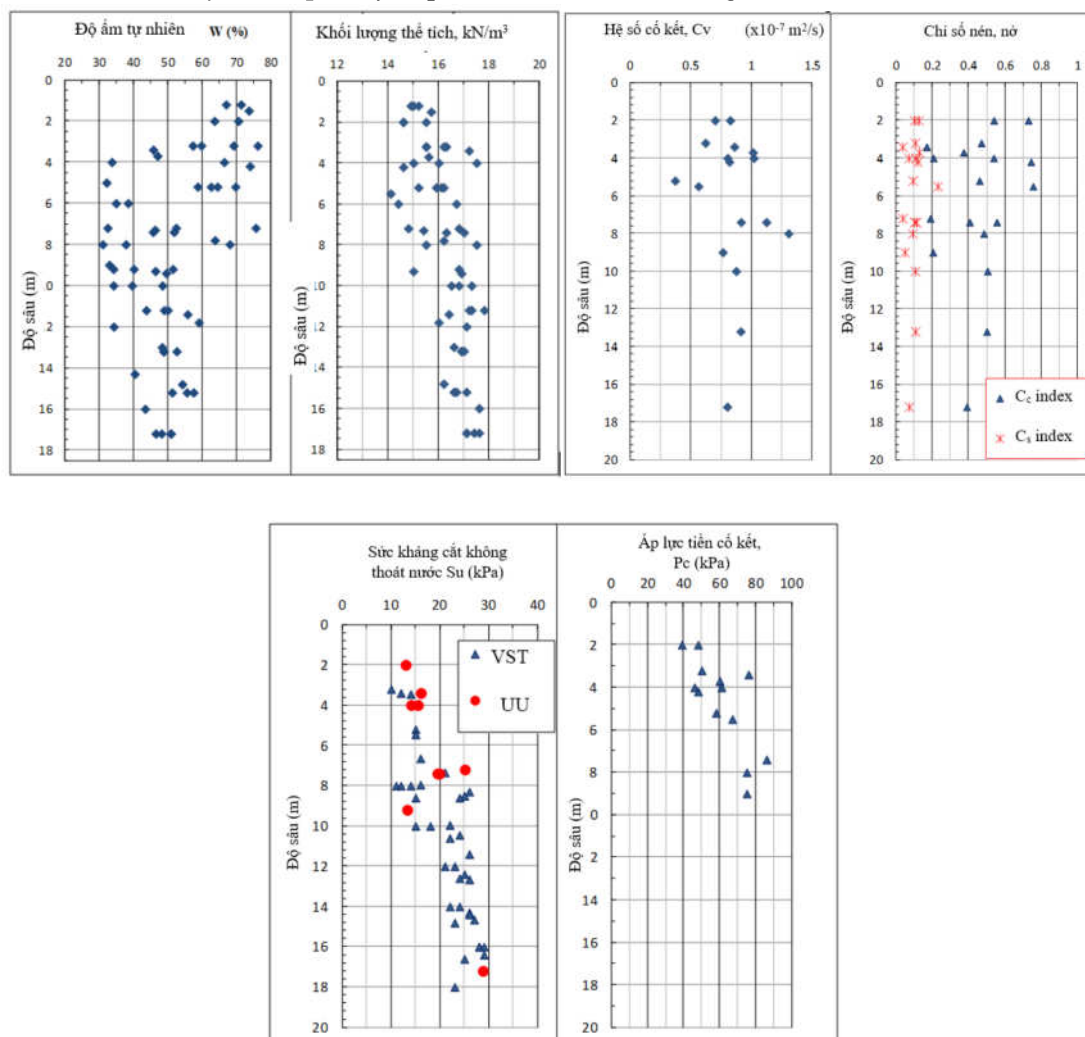
3.2 Áp dụng cho mặt cắt tuyến cao tốc Cầu Giẽ - Ninh Bình

Ví dụ áp dụng cho 1 mặt cắt trên tuyến cao tốc Cầu Giẽ - Ninh Bình với mặt cắt đại diện cho đoạn từ Km 5+000 đến Km6+366 như Hình 3. Mặt cắt đại diện với cấu trúc nền gồm 2 đơn nguyên địa chất công trình (lớp). Lớp 2 là lớp bùn sét pha với chiều dày 18.50m. Lớp 4 là sét pha trạng thái dẻo cứng với chiều dày lớn hơn 5.00m. Nền đường đắp cao 5.03m với chiều rộng mặt đường là 20.0m và hệ số mái dốc tỷ lệ 1:2.



Hình 3. Mặt cắt ngang đại diện

Các chỉ tiêu cơ lý của lớp đất yếu phục được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Sự biến thiên các chỉ tiêu cơ lý của lớp 2

Dựa trên kết quả thí nghiệm trong phòng, để thành lập các giá trị tính toán. Giá trị tính toán được lựa chọn dựa theo trạng thái giới hạn 2 với xác suất $P = 85\%$. Giá trị tính toán và độ lệch chuẩn được của lớp đất yếu (lớp 2). Các chỉ tiêu cơ lý trong nghiên cứu này được tổng hợp và xử lý dưới dạng tập hợp mẫu với giả thuyết bỏ qua sự biến đổi của chúng theo độ sâu như trong khái niệm đơn nguyên địa chất công trình. Tổng hợp các chỉ tiêu tính toán được thể hiện như trong Bảng 1.

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của lớp đất yếu

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị tính toán (X_{tt})	Độ lệch chuẩn (S)
Khối lượng thể tích, γ_w	kN/m ³	15.40	0.150
Chỉ số nén, C_c	-	0.456	0.024
Chỉ số nén lại, C_s	-	0.101	0.011
Áp lực tiền cố kết, P_c	kPa	45.25	2.35

Dựa theo giá trị tính toán và độ lệch chuẩn của tập hợp mẫu, khoảng biến thiên của các giá trị tính toán được khảo sát trong khoảng $X_{tt} \pm S$ như trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Khoảng biến thiên của các giá trị tính toán

Chỉ tiêu	$X_{tt} - S$	X_{tt}	$X_{tt} + S$
Khối lượng thể tích, γ_w	15.250	15.400	15.550
Chỉ số nén, C_c	0.432	0.456	0.480
Chỉ số nén lại, C_s	0.091	0.101	0.111
Áp lực tiền cố kết, P_c	42.900	45.250	47.600

Bài toán tính lún cố kết được thực hiện với lớp đất yếu (lớp 2) trong đó lớp được chia thành các phân tố với chiều dày là 1.0m. Dựa vào các khoảng biến thiên của các chỉ tiêu cơ lý như Bảng 2, độ lún cố kết được khảo sát với 12 trường hợp khi một hoặc 2 giá trị chỉ tiêu cơ lý biến đổi như Bảng 4.

Bảng 4. Kết quả độ lún cố kết tương ứng với sự biến thiên của các giá trị chỉ tiêu cơ lý

TT	γ_w	C_c	C_s	P_c	S_c (m)
1	15.400	0.456	0.101	45.250	1.842
2	15.250	0.456	0.101	45.250	1.858
3	15.550	0.456	0.101	45.250	1.826
4	15.400	0.432	0.101	45.250	1.752
5	15.400	0.480	0.101	45.250	1.932
6	15.400	0.456	0.091	45.250	1.829
7	15.400	0.456	0.111	45.250	1.855
8	15.400	0.456	0.101	42.900	1.867
9	15.400	0.456	0.101	47.600	1.818
10	15.400	0.432	0.091	45.250	1.763
11	15.400	0.48	0.111	45.250	1.971
12	15.400	0.432	0.111	45.25	1.787

Kết quả tính toán cho thấy độ lún S_c dao động từ 1.752 m đến 1.971 m, với giá trị trung bình khoảng 1.85 m. Sự thay đổi của các thông số đầu vào ảnh hưởng đáng kể đến kết quả tính toán. Khi C_c tăng từ 0.432 lên 0.480, giá trị lún tăng khoảng 10%, trong khi thay đổi của C_s chỉ gây dao động khoảng 1-2%. Tương tự, sự thay đổi của áp lực tiền cố kết P_c trong khoảng $\pm 5\%$ cũng dẫn đến biến thiên đáng kể của độ lún.

Các đặc trưng thống kê của độ lún cố kết S_c theo phương pháp xác suất Rosenblueth với tập hợp mẫu 12 và trọng số $p_j = 1/12$ được ước lượng như sau:

Ước lượng kỳ vọng: $E[S] \approx \sum_{j=1}^{12} p_j S_j = \bar{S} = 1.841667 \text{ m.}$

Ước lượng phương sai: $\text{Var}[S] \approx \sum_{j=1}^{12} p_j (S_j - E[S])^2 = 0.003682.$

Độ lệch chuẩn ước lượng: $\sigma_S \approx 0.06066 \text{ m.}$

Với giả thiết các giá trị độ lún cổ kết tuân theo quy luật phân phối chuẩn với $\mu = 1.841667$ và $S = 0.06066$, xác suất độ lún xảy ra có thể được ước lượng. Với độ lún $S_c > 1.90\text{m}$, tương ứng với giá trị xác suất $P(S_c > 1.90) \approx 0.168$ (khoảng 16.8%). Với độ lún $S_c > 1.95\text{m}$ tương ứng với giá trị xác suất $P(S_c > 1.95) \approx 0.037$ (khoảng 3.7%). Với độ lún $S_c > 1.85\text{m}$, tương ứng với giá trị xác suất $P(S_c > 1.85) \approx 0.445$ (khoảng 44.5%).

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã trình bày một cách tiếp cận xác suất trong phân tích độ lún cổ kết của nền đất yếu bằng phương pháp ước lượng điểm Rosenblueth. Thay vì chỉ sử dụng một giá trị tính toán duy nhất cho mỗi chỉ tiêu cơ lý, phương pháp này cho phép đánh giá hiệu ứng của sự biến thiên thống kê của các tham số đất (γ , C_c , C_s , P_c) lên độ lún, với số lượng tổ hợp giới hạn nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác tương đương các phương pháp mô phỏng Monte Carlo. Kết quả cho thấy độ lún của lớp đất yếu dày 18,5 m phân bố xấp xỉ chuẩn với giá trị trung bình 1,84 m và độ lệch chuẩn 0,06 m. Xác suất lún vượt ngưỡng 1,90 m là khoảng 17%, vượt 1,95 m khoảng 3,7%, cho thấy rủi ro thiết kế không thể bỏ qua nếu chỉ xét giá trị trung bình. Phân tích độ nhạy cũng khẳng định chỉ số nén C_c là thông số có ảnh hưởng chi phối đến độ lún cổ kết, tiếp theo là áp lực tiền cổ kết P_c .

Kết quả nghiên cứu khẳng định tầm quan trọng của việc tích hợp biến thiên tham số đất trong phân tích và thiết kế nền móng. Phương pháp Rosenblueth cho phép thực hiện điều này một cách đơn giản, không đòi hỏi nhiều phép tính hay mô phỏng phức tạp, nhưng vẫn cho ra kết quả có giá trị thống kê rõ ràng. Đây là hướng tiếp cận phù hợp để áp dụng trong điều kiện Việt Nam, nơi đất yếu Holocene có độ không đồng nhất cao.

Tài liệu tham khảo

- Bergado, D. T., Chai, J. C., & Balasubramaniam, A. S. (1996). *Improvement techniques of soft ground in subsiding and lowland environment*. Balkema Publishers.
- Biot, M. A. (1941). General theory of three-dimensional consolidation. *Journal of Applied Physics*, 12(2), 155-164.
- Davis, E. H., & Raymond, G. P. (1965). A non-linear theory of consolidation. *Géotechnique*, 15(2), 161-173.
- Fenton, G. A., & Griffiths, D. V. (2008). *Risk assessment in geotechnical engineering*. John Wiley & Sons.
- Gibson, R. E., England, G. L., & Hussey, M. J. L. (1967). The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays. *Géotechnique*, 17(3), 261-273.
- Indraratna, B., Rujikiatkamjorn, C., & Sathananthan, I. (2005). Analytical and numerical solutions for vacuum-assisted consolidation with horizontal drains. *International Journal of Geomechanics*, 5(2), 114-124.
- Lê Văn Quỳnh. (2018). Ứng dụng phương pháp Monte Carlo trong đánh giá độ lún cổ kết có xét đến biến thiên tham số đất yếu. *Tạp chí Xây dựng Việt Nam*.
- Nguyễn Bá Kế. (2015). Đặc điểm nén lún và xử lý nền đất yếu khu vực đồng bằng sông Cửu Long. *Hội nghị Khoa học địa kỹ thuật toàn quốc*.
- Nguyễn Viết Trung. (2004). Nghiên cứu đặc điểm nén lún của đất yếu vùng đồng bằng sông Cửu Long. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Xây dựng, Trường ĐH Xây dựng Hà Nội*.
- Phoon, K. K., & Kulhawy, F. H. (1999). Characterization of geotechnical variability. *Canadian Geotechnical Journal*, 36(4), 612-624.

- Schiffman, R. L. (1958). Consolidation of soil under time-dependent loading and varying permeability. *Géotechnique*, 8(4), 182-196.
- Terzaghi, K. (1925). Principles of Soil Mechanics: IV. Settlement and Consolidation of Clay. *Engineering News-Record*, 95, 874-878.
- Trần Văn Việt. (2009). Đặc trưng địa kỹ thuật của đất Holocene vùng TP. Hồ Chí Minh và ứng dụng trong xử lý nền. *Tạp chí Địa kỹ thuật Việt Nam*.
- Zhang, L. M. (2004). Reliability of geotechnical structures in spatially variable soils. *Géotechnique*, 54(1), 65-72.

Application of probabilistic methods in predicting the consolidation settlement of weak road foundations

Bui Van Binh^{1,*}

¹ Hanoi University of Mining and Geology

*Corresponding author: Email: buivanbinh@humg.edu.vn

Abstract

Consolidation settlement of structures constructed on soft ground remains a critical challenge in geotechnical engineering, particularly in regions characterized by thick Holocene clay layers such as Vietnam's Red River and Mekong Deltas. Conventional consolidation settlement calculations typically rely on representative parameter values derived from laboratory tests for each geotechnical layer. However, natural soil variability often leads to significant deviations between calculated and actual settlements. This study investigates the probabilistic behavior of consolidation settlement by accounting for the statistical variability of key soil parameters, including natural unit weight (γ), compression index (C_c), recompression index (C_s), and preconsolidation pressure (P_c). The Rosenblueth point estimate method is employed to efficiently evaluate the impact of parameter variability through 12 parameter combinations without requiring extensive Monte Carlo simulations. A representative soft clay layer with a thickness of 18.5 m is analyzed. The computed settlements exhibit a normal distribution with a mean value $\mu = 1.842$ m and a standard deviation $\sigma = 0.0607$ m. Probabilities of exceeding settlement thresholds of 1.85 m, 1.90 m, and 1.95 m are 44.5%, 16.8%, and 3.7%, respectively. Sensitivity analysis indicates that the compression index (C_c) is the dominant parameter influencing settlement variability. The results highlight the necessity of incorporating parameter uncertainty into settlement prediction to improve design reliability and risk assessment for structures on soft soils in Vietnam.

Keywords: Consolidation settlement, probabilistic method, soft ground treatment.



Khu du lịch Côn Chim, tỉnh Vĩnh Long

ISBN: 978-604-76-3233-6



SÁCH KHÔNG BÁN