

**NỘI DUNG****GÓC TRONG NƯỚC (2)**

Olympic Cơ học đất toàn quốc năm 2026 (2)
 Cuộc thi sáng tạo sinh viên "Xây dựng mô hình tường chắn đất có cốt" 2025 (5)
 Hội thảo ứng dụng công nghệ press-in (9)
 Hội thảo giải pháp cọc ván thép kiểu mũ (12)

GÓC NGHIÊN CỨU KHOA HỌC (15)

Quan trắc địa kỹ thuật và cảnh báo sớm trượt lở (15)
 Giải pháp thích ứng địa hình giảm thiểu trượt lở (24)
 Eurocode 7 thế hệ 2 và TCXD tại Việt Nam (29)
 Phát triển mạng Fully Convolutional Networks (34)
 Hiện tượng hóa lỏng đất ở Thổ Nhĩ Kỳ năm 2023 (41)
 Đánh giá sức chịu tải cọc bê tông ly tâm (48)
 Thí nghiệm nén tĩnh cọc có đo biến dạng dọc trục (53)
 PileWall3D: mô hình hóa tường cọc (59)

PROJECTS IN FOCUS (65)

Đưa công nghệ neo đất Nhật Bản đến Việt Nam (65)
 Ứng dụng bể ngầm cấu trúc tổ ong vật liệu SAUL (70)

GÓC QUỐC TẾ (78)

Nhật ký ĐKT quốc tế (78)
 Một nhà địa kỹ thuật người Thụy Điển đã ra đi (84)
 Giới thiệu hội nghị GEOTEC HANOI 2026 (87)
 GREENX Lab - Nền tảng khoa học ĐKT cho tương lai xanh (91)

TIN VẤN ĐỊA KỸ THUẬT QUỐC TẾ (99)

Sử dụng hàm thay thế cho bài toán phân tích ngược hố đào sâu (99)
 Ứng dụng xi măng vi sinh trong xử lý nền (103)
 Phương pháp thi công cọc monopile đường kính lớn (111)
 Nền đắp trên hệ cọc có gia cường bằng vật liệu geosynthetics (118)

GÓC QUẢNG CÁO (127)**BIÊN TẬP CHÍNH**

Phùng Đức Long

BAN BIÊN TẬP

Hoàng Việt Hùng
 Nguyễn Đức Mạnh
 Nguyễn Quang Tuấn
 Vũ Anh Tuấn

KÊU GỌI VIẾT BÀI CHO BẢN TIN HỘI (VSSMGE BULLETIN)

Ban biên tập Bản tin hoạt động của Hội, *VSSMGE Bulletin*, kêu gọi các hội viên và những người yêu chuyên ngành ĐKT tham gia bài viết cho Bản tin số 11, dự kiến phát hành vào 15/12/2026 và các số tiếp theo.

Bài viết có thể cho các nội dung của Bản tin:

- GÓC TRONG NƯỚC, về hoạt động của Hội.
- GÓC NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, về công tác nghiên cứu và giảng dạy ĐKT tại Việt Nam.
- PROJECTS IN FOCUS, về các công trình ĐKT trong nước
- GÓC QUỐC TẾ, về hoạt động quốc tế của VSSMGE, ISSMGE và các hội nước bạn.
- HỒI KÝ ĐỊA KỸ THUẬT, về những câu chuyện đáng nhớ trong ngành ĐKT, v.v.
- TIN VẤN ĐỊA KỸ THUẬT QUỐC TẾ, về những thành tựu ĐKT mới trên thế giới.

Chúng tôi mong nhận được sự cộng tác và đóng góp của các hội viên và đồng nghiệp trên toàn quốc. Thể lệ viết bài và các bài mẫu viết cho bản tin trong các số trước, xin xem tại đường link: <https://vssmge.org/tin-hoi-vssmge-bulletin/>

Thông tin và bài viết cho Bản tin Hội xin được gửi về địa chỉ mail phung.long@gmail.com.

Trân trọng.

Phùng Đức Long

Chủ tịch Hội Cơ học đất và Địa kỹ thuật Công trình Việt Nam





GÓC TRONG NƯỚC

Olympic Cơ học đất toàn quốc năm 2026

Hoàng Việt Hùng

Trường Đại học Thủy lợi. E-mail: hoangviethung@tlu.edu.vn

Tóm Tắt

Olympic Cơ học đất toàn quốc là một trong tám môn Cơ học được tổ chức thi trong kỳ thi Olympic Cơ học toàn quốc thường niên do Hội Cơ học tổ chức. Năm nay là kỳ thi thứ 36, môn Cơ học đất có 26 trường Đại học trên cả nước tham gia thi với tổng số 204 sinh viên tham dự. Bài viết tổng hợp một số thông tin liên quan đến môn thi Cơ học đất của Hội Cơ học đất và Địa kỹ thuật Công trình Việt Nam. Tác giả bài viết là trưởng tiểu ban Cơ học đất-Olympic Cơ học toàn quốc 2026.

Mở đầu

Năm nay kỳ thi thứ 36 diễn ra ngày 10/5/2026 ở cả ba miền Bắc, Trung, Nam. Miền Bắc thi tại Đại học Xây dựng Hà Nội, miền Trung thi tại Đại học Đà Nẵng và miền Nam thi tại Trường Đại học Công nghệ kỹ thuật TP Hồ Chí Minh. Tổng số có 49 trường Đại học trên cả nước tham gia ở 8 môn thi, tổng số thí sinh dự thi là 1562 sinh viên. Kỳ thi Olympic Cơ học toàn quốc lần thứ 36 được tổ chức nhằm thúc đẩy phong trào học tập, nghiên cứu các môn Cơ học trong sinh viên các trường đại học, học viện; phát hiện, khuyến khích các sinh viên có năng lực học tập tốt; đồng thời góp phần nâng cao chất lượng đào tạo các ngành kỹ thuật, công nghệ trong cả nước.

Một số thông tin chi tiết

Năm nay, có 26 trường Đại học trên cả nước có đội tuyển tham gia thi môn Cơ học đất là:

1. Trường Đại học Thủy lợi
2. Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
3. Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
4. Trường Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải
5. Học Viện Hậu cần
6. Trường Đại học Giao thông Vận tải
7. Học viện Kỹ thuật Quân sự
8. Trường Đại học Hàng hải
9. Trường Đại học Bách khoa-Đại học Đà Nẵng
10. Trường Đại học Duy tân
11. Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật
12. Trường Đại học Xây dựng miền Tây
13. Trường Đại học Nha Trang
14. Trường Đại học Bách khoa-Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh
15. Trường Đại học Kiến trúc TP Hồ Chí Minh
16. Phân hiệu Trường Đại học Giao thông Vận tải-tại TP Hồ Chí Minh
17. Trường Đại học Xây dựng Miền Tây
18. Trường Đại học Giao thông Vận tải TP Hồ Chí Minh
19. Trường Đại học Mở TP Hồ Chí Minh
20. Đại học Cần Thơ
21. Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh



- 22. Trường Đại học Bà Rịa-Vũng Tàu
- 23. Trường Đại học Nam Cần Thơ
- 24. Trường Đại học Công nghệ TP Hồ Chí Minh
- 25. Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long
- 26. Trường Đại học Quốc tế- Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh

204 sinh viên từ 26 trường trên toàn quốc đã tham gia cuộc thi, trong đó có 95 sinh viên từ miền Bắc, 21 sinh viên miền Trung, và 88 sinh viên miền Nam.

Kết quả cuộc thi: giải nhất đồng đội thuộc về đội tuyển sinh viên Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Giải nhì đồng đội thuộc về đội tuyển sinh viên Học viện Hậu cần, và hai đồng giải ba là đội tuyển sinh viên Học viện Kỹ thuật Quân sự và đội tuyển sinh viên Đại học Bách khoa TP Hồ Chí Minh.

Giải nhất-Đồng đội	Giải nhì- Đồng đội	Giải ba- Đồng đội	
Trường ĐH Xây dựng HN	Học viện Hậu cần	Học viện Kỹ thuật QS và Đại học BK TP HCM	

Các sinh viên giải nhất cá nhân gồm:

1. Nguyễn Phú Nam-Học viện Hậu cần
2. Trần Anh Minh-Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
3. Đàm Đức Hùng- Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
4. Thy-Rotha- Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Ban tổ chức cũng khen thưởng tập thể giảng viên hướng dẫn đội tuyển đạt giải nhất, năm nay tập thể giảng viên giải Nhất là nhóm các thầy cô giảng Môn Cơ học đất của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, gồm các thầy cô: TS Phạm Việt Anh, TS Nguyễn Hoàng Việt, ThS Đỗ Thị Thu Hiền.

Kết luận

Kỳ thi Olympic Cơ học toàn quốc lần thứ 36 năm 2026 đã diễn ra thành công tốt đẹp, môn Cơ học đất có số lượng sinh viên tham gia thi tăng khoảng 10% so với năm 2025. Tổng số có 26 trường Đại học và học viện tham gia thi, số lượng sinh viên là 204 em, tổng số giải chiếm xấp xỉ 40% số lượng sinh viên tham gia dự thi, cụ thể giải nhất môn Cơ học đất là 04, giải nhì là 20 và giải ba là 57 giải. Giải đồng đội Nhất thuộc về đội tuyển Đại học Xây dựng Hà Nội, giải Nhì thuộc về đội Học viện Hậu cần và hai đồng giải Ba thuộc về Học viện kỹ thuật Quân sự và Trường Đại học Bách khoa TP Hồ Chí Minh.

Tài liệu tham khảo

Hội Cơ học Việt Nam (2026). Kỷ yếu Olympic Cơ học toàn quốc lần thứ 36. Nhà xuất bản Bách khoa Hà nội 2026.



MỘT SỐ HÌNH ẢNH CỦA CUỘC THI OLYMPIC CƠ HỌC ĐẤT LẦN THỨ 36 NĂM 2026



Đội tuyển Cơ học đất sinh viên Trường Đại học Thủy lợi do TS Hoàng Thị Lựa phụ trách



Hội đồng giám khảo chấm thi môn Cơ học đất chụp ảnh cùng lãnh đạo Hội Cơ học



Hội đồng giám khảo chấm thi 8 môn Cơ học



Cuộc thi sáng tạo sinh viên "Xây dựng mô hình tường chắn đất có cốt" năm 2025 tại Trường Đại học Giao thông Vận tải

Student innovation competition "Building a geosynthetic-reinforced soil retaining wall model" in 2025 at the University of Transport and Communications

Nguyễn Công Định

Trường Đại học Giao thông vận tải. E-mail: ncdinh@utc.edu.vn

Đặng Hồng Lam

Trường Đại học Giao thông vận tải. E-mail: dang.hong.lam@utc.edu.vn

Nguyễn Hải Hà

Trường Đại học Giao thông vận tải. E-mail: haihadkt@utc.edu.vn

Nguyễn Châu Lân

Trường Đại học Giao thông vận tải. E-mail: nguyenchaulan@utc.edu.vn

Tóm tắt

Cuộc thi sáng tạo sinh viên "Xây dựng mô hình tường chắn có cốt" diễn ra trong hai ngày 15 - 16/11/2025 tại Trường Đại học Giao thông vận tải. Đây là sân chơi học thuật chuyên ngành Địa kỹ thuật lần đầu tiên được tổ chức, thu hút sự tham gia của tất cả các trường đại học có đào tạo ngành Kỹ thuật xây dựng trên địa bàn Hà Nội. Cuộc thi do Trường Đại học Giao thông vận tải chủ trì tổ chức, Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa Công trình phụ trách chính về mặt chuyên môn, kỹ thuật và công tác chuẩn bị, dưới sự đồng hành của Tập đoàn Minh Đức với vai trò là nhà tài trợ. Kết quả chung cuộc phản ánh chất lượng chuyên môn cao, sự nỗ lực vượt trội của các đội thi với những điểm số sát sao, kịch tính, đồng thời khẳng định sự chuyên nghiệp, công tâm của Ban Tổ chức và Ban Giám khảo. Cuộc thi mở ra định hướng phát triển và mở rộng quy mô lớn hơn trong những năm tiếp theo.

Abstract

The student innovation competition "Building a Reinforced Retaining Wall Model" was held over two days, 15–16 November 2025, at the University of Transport and Communications. As the first academic competition dedicated to Geotechnical Engineering, it attracted participation from all universities in Hanoi that offer Civil Engineering programs. The competition was hosted by the University of Transport and Communications, with the Department of Geotechnical Engineering, Faculty of Civil Engineering, taking primary responsibility for the technical and professional aspects, as well as preparatory work, in collaboration with Minh Duc Group as the sponsor. The final results reflected a high level of professional quality and the outstanding efforts of the competing teams, with close and dramatic scores, while also affirming the professionalism and impartiality of the Organizing Committee and the Panel of Judges. The competition has paved the way for further development and expansion on a larger scale in the future.

Keywords: tường chắn có cốt, MSE, Địa kỹ thuật, Đại học Giao thông vận tải, UTC.

Mở đầu

Nằm trong chuỗi các hoạt động sôi nổi chào mừng Lễ kỷ niệm 80 năm truyền thống Trường Đại học Giao thông vận tải, cuộc thi sáng tạo sinh viên với chủ đề "Xây dựng mô hình tường chắn có cốt" đã chính thức được tổ chức. Đây là một sân chơi trí tuệ thiết thực, giúp sinh viên khối ngành kỹ thuật có cơ hội tiếp cận trực quan, áp dụng lý thuyết nền tảng của cơ học đất và địa kỹ thuật vào việc thiết kế, thi công một kết cấu chịu lực thực tế.



Cuộc thi không chỉ dừng lại ở ý nghĩa học thuật thuần túy mà còn là cầu nối gắn kết giữa hoạt động đào tạo của nhà trường với thực tiễn sản xuất thông qua sự đồng hành của doanh nghiệp, từ đó truyền cảm hứng nghiên cứu khoa học cho thế hệ kỹ sư tương lai.



Hình 1: Đại diện các đội tham dự nhận giấy chứng nhận dự thi



Hình 2: Toàn cảnh cuộc thi vòng chung kết

Công tác tổ chức và quy mô cuộc thi

Dù là lần đầu tiên được tổ chức, cuộc thi đã nhận được sự quan tâm và hưởng ứng rất lớn. Sự kiện đã thu hút 33 đội thi đăng ký đến từ tất cả các trường có ngành kỹ thuật xây dựng trên địa bàn Hà Nội như: Trường Đại học Giao thông vận tải, Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, Trường Đại học Thủy lợi, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, và Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội. Để khuyến khích tinh thần tập luyện cũng như sự sáng tạo của các nhóm sinh viên, nội dung chuyên môn của cuộc thi được xây dựng dựa trên nguyên lý làm việc của kết cấu tường chắn đất có cốt, một giải pháp địa kỹ thuật được sử dụng rộng rãi trong xây dựng công trình. Điểm đặc biệt của cuộc thi là việc mô phỏng kết cấu thực tế bằng các vật liệu đơn giản nhưng vẫn bảo đảm phản ánh được cơ chế chịu lực cơ bản của công trình. Trong đó, giấy A2 được sử dụng làm mặt tường chắn, giấy A4 được cắt thành các dải cốt gia cường đóng vai trò tương tự các lớp cốt địa kỹ thuật trong thực tế, còn cát khô được sử dụng làm vật liệu đắp phía sau tường. Từ các vật liệu được cung cấp, các đội thi phải nghiên cứu, đề xuất hình dạng và chiều dài cốt hợp lý, lựa chọn khoảng cách bố trí các lớp cốt, đồng thời tối ưu hóa quá trình thi công nhằm đạt được khả năng chịu tải lớn nhất trong điều kiện giới hạn về vật liệu và thời gian. Thông qua đó, sinh viên có cơ hội trực tiếp quan sát và đánh giá ảnh hưởng của phương án bố trí cốt đến độ ổn định của kết cấu, qua đó hiểu rõ hơn về cơ chế tương tác giữa đất, cốt gia cường và mặt tường trong các công trình địa kỹ thuật hiện đại.



Ban tổ chức đã đưa ra ba vòng đánh giá cuộc thi như sau

- Vòng sơ khảo đánh giá hồ sơ đăng ký tham gia, bao gồm 01 bản giới thiệu về nhóm đăng ký tham gia và 01 dự thảo thiết kế mô hình dự thi.
- Vòng thử tải được tiến hành tại khuôn viên phòng thí nghiệm trọng điểm về công trình ở nhà A10, Trường Đại học Giao thông vận tải. Kết quả vòng thử tải sẽ đánh giá được khả năng thiết kế mô hình và kỹ năng thực hành trực tiếp của sinh viên.
- Vòng chung kết đánh giá khả năng thuyết trình và mô hình số sử dụng phần mềm Geo 5 (student version).

Sau vòng chấm thẩm định hồ sơ thiết kế, 26 đội xuất sắc đã được lựa chọn để bước vào vòng thi thực hành chế tạo mô hình diễn ra vào chiều ngày 15/11/2025.



Hình 3: PGS.TS. Nguyễn Châu Lâm tuyên bố khai mạc cuộc thi



Hình 4: Ban giám khảo và Ban tổ chức cuộc thi

Để bảo đảm tính chính xác và chất lượng chuyên môn cao nhất, Bộ môn Địa kỹ thuật đã đảm nhận vai trò là đơn vị phụ trách chủ yếu về mặt kỹ thuật, xây dựng quy chế và chuẩn bị chu đáo cơ sở vật chất phục vụ công tác thực hành và thử tải. Bên cạnh đó, sự thành công của cuộc thi ghi dấu ấn đậm nét từ sự đồng hành, tài trợ và hỗ trợ truyền thông mạnh mẽ của công ty Minh Đức Group, một đơn vị uy tín luôn quan tâm đến sự nghiệp phát triển nguồn nhân lực trong ngành xây dựng. Ban giám khảo bao gồm đại diện của nhiều trường có sinh viên tham gia, cùng đại diện nhà tài trợ.

Đánh giá chuyên môn và kết quả chung cuộc

Trải qua các vòng thử tải đầy kịch tính, Ban chuyên môn thuộc Bộ môn Địa kỹ thuật đánh giá rất cao chất lượng các mô hình năm nay. Các đội thi đều thể hiện sự nỗ lực và tư duy sáng tạo trong việc tối ưu hóa vật liệu cũng như giải pháp bố trí cốt chịu lực. Đặc biệt, tại vòng chung kết diễn ra vào sáng ngày 16/11/2025, với sự tranh tài của 10 đội thi xuất sắc nhất, trình bày mô hình số tương ứng với mô hình vật lý đã thực hiện – thể hiện sự am hiểu sâu sắc của các bạn sinh viên, cũng như sự tranh tài kịch tính giữa các đội với điểm số sát nút.

Kết quả ghi nhận điểm số của các đội dẫn đầu chênh lệch nhau không đáng kể. Những chiến thắng sát sao đến tận phút cuối cùng đã chứng minh tính cạnh tranh khốc liệt và chất lượng chuyên môn rất cao của một sân chơi học thuật dành cho sinh viên nhưng được tổ chức với tính chuyên nghiệp cao. Sự thành công này phản ánh tinh thần làm việc công tâm, khách quan của Ban Giám khảo và năng lực điều hành bài bản của Ban Tổ chức. Kết quả chung cuộc đã tìm ra những chủ nhân xứng đáng cho các hạng mục giải thưởng:

- Giải Nhất: Đội OCT Team (Trường Đại học Thủy Lợi).
- Giải Nhì: Đội Sơn Tùng M-TP (Trường Đại học Giao thông vận tải), Đội Zi-O (Trường Đại học Giao thông vận tải).



- Giải Ba: Đội Star Team (Trường Đại học Giao thông vận tải), Đội UTT–Warrior (Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải).
- Giải Khuyến khích: Đội KCXD–UTC, Đội Cốt Xây, Đội Skyline, Đội Innovator HUMG, và Đội 4.

Một điểm đáng chú ý, thể hiện rõ nét tinh thần công bằng và khách quan của Ban Tổ chức cũng như Ban Giám khảo, đó là việc ngôi vị cao nhất – Giải Nhất cuộc thi – đã xuất sắc thuộc về đội OCT Team đến từ Trường Đại học Thủy lợi, chứ không phải đại diện của đơn vị chủ nhà. Điều này, Trường Đại học Giao thông vận tải vẫn khẳng định thế mạnh chuyên môn sâu sắc của mình khi đạt thành tích ấn tượng với 5 đội lọt vào vòng chung kết, mang về 2 Giải Nhì, 1 Giải Ba cùng 2 Giải Khuyến khích.



Hình 5: Toàn cảnh vòng thi thử tải



Hình 6: Rót cát để xác định tải trọng tác dụng lên kết cấu tường tường chắn đất có cốt đã được sinh viên xây dựng

Kết luận và hướng phát triển

Cuộc thi sáng tạo sinh viên “Xây dựng mô hình tường chắn đất có cốt” năm 2025 đã khép lại và thành công tốt đẹp, để lại nhiều dư âm ý nghĩa cho cả giảng viên, sinh viên và doanh nghiệp. Hoạt động này là một điểm nhấn truyền thông lớn, khẳng định uy tín đào tạo học thuật chuyên sâu của Bộ môn Địa kỹ thuật nói riêng và của Trường Đại học Giao thông vận tải nói chung.

Từ hiệu ứng lan tỏa mạnh mẽ của mùa giải đầu tiên, Ban Tổ chức hiện đang xem xét kế hoạch cho kỳ thi năm sau. Dự kiến, đối tượng tham gia sẽ không chỉ giới hạn trong các trường chuyên ngành kỹ thuật xây dựng truyền thống mà còn được mở rộng quy mô, hứa hẹn một sân chơi đồng đẳng, đa dạng góc nhìn sáng tạo và phát triển mạnh mẽ hơn trong tương lai.

Lời cảm ơn

Ban tổ chức và các tác giả xin bày tỏ lòng cảm ơn sâu sắc tới Ban Giám hiệu Trường Đại học Giao thông vận tải và nhà tài trợ Minh Đức Group đã tạo mọi điều kiện thuận lợi và hỗ trợ kinh phí, kỹ thuật để cuộc thi diễn ra thành công tốt đẹp. Cũng xin trân trọng cảm ơn Hội Cơ học Đất và Địa kỹ thuật Công trình Việt Nam (VSSMGE) đã đăng bài, đưa tin về cuộc thi.



Hội thảo ứng dụng công nghệ press-in trong phát triển hạ tầng và phòng chống thiên tai

Vũ Anh Tuấn

Học viện Kỹ thuật quân sự. E-mail: vuanhtuan@mta.edu.vn

Ngày 03/12/2025, tại Hà Nội, Công ty Ozawa Civil Engineering and Construction Co., Ltd. phối hợp với Công ty Hashimotogumi Corp., Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam và Hiệp hội Press-in Quốc tế (IPA) tổ chức hội thảo với chủ đề “Ứng dụng công nghệ Press-in trong phát triển hạ tầng và phòng chống thiên tai tại Việt Nam”. Hội thảo thu hút hơn 80 đại biểu đến từ Đại sứ quán Nhật Bản tại Việt Nam, một số đơn vị thuộc Bộ Nông nghiệp và Môi trường, các trường đại học, viện nghiên cứu, ban quản lý dự án đầu tư xây dựng các công trình thủy lợi và các doanh nghiệp xây dựng (Hình 1). Công nghệ Press-in được phát triển tại Nhật Bản và hiện đã được áp dụng tại hơn 40 quốc gia trên thế giới trong các lĩnh vực như xây dựng hạ tầng giao thông, bảo vệ bờ sông, cảng biển, gia cố nền móng và ứng phó với thiên tai.



Hình 1. Toàn cảnh buổi hội thảo

Công nghệ Press-in là một giải pháp thi công tiên tiến được sử dụng để hạ cọc vào nền đất bằng lực ép tĩnh, giúp giảm thiểu rung động và tiếng ồn trong quá trình thi công. Phương pháp thi công cọc bằng công nghệ Press-in không chỉ áp dụng cho các nền đất cát, đất sét như các phương pháp thi công truyền thống mà còn hiệu quả đối với các nền đất cứng, nền đá, những khu vực có vật cản ngầm như các khối bê tông cốt thép hoặc kết cấu chôn ngầm. Đối với nền đất cứng, nền đá hoặc những khu vực có vật cản ngầm, phương pháp Press-in sử dụng giải pháp phun tia nước cao áp hoặc các mũi khoan cắt để hỗ trợ quá trình thi công hạ cọc (Hình 2 và Hình 3).



Hình 2. Phương pháp Press-in dạng phun tia nước cao áp.

(Nguồn: International Press-in Association, Press-in Retaining Structures: A Handbook, 2021)



Hình 3. Phương pháp Press-in dạng khoan cắt.

(Nguồn: International Press-in Association, Press-in Retaining Structures: A Handbook, 2021)

Tại Hội thảo, 05 báo cáo khoa học chuyên sâu về công nghệ Press-in đã được trình bày, bao gồm:

- “Công nghệ ép cọc Press-in cho công trình vĩnh cửu” do ông Nobu Nozaki, Tổng Giám đốc IPA trình bày.
- “Ứng dụng cừ thép thi công bằng công nghệ Press-in để gia cố đập đất” do TS Đinh Xuân Trọng, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam trình bày.
- “Ứng dụng cừ thép trong xây dựng tường chắn tại khu dân cư và mái dốc” do TS Thái Quốc Hiền, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam trình bày.
- “Công nghệ Press-in trong gia cường móng trụ cầu và triển vọng ứng dụng tại Việt Nam” do PGS.TS Vũ Anh Tuấn, Học viện Kỹ thuật quân sự trình bày.
- “Ứng dụng công nghệ Press-in cho hạ tầng đường sắt tại Việt Nam” do ông Toshio Takebayashi, Giám đốc Công ty Nippon Sokei Co., Ltd trình bày.

Các báo cáo viên đã cung cấp nhiều thông tin hữu ích về công nghệ Press-in và triển vọng ứng dụng tại Việt Nam. Phiên thảo luận diễn ra sôi nổi với nhiều câu hỏi chuyên môn và các trao đổi thực tiễn giữa đại biểu và diễn giả. Dưới đây là một số hình ảnh tại Hội thảo (Hình 4, 5, và 6).



Hình 4. PGS.TS Vũ Anh Tuấn, Học viện Kỹ thuật quân sự, trình bày báo cáo tại Hội thảo.



Hình 5. PGS.TS Nguyễn Thị Tuyết Trinh, Trường ĐH GTVT, trao đổi tại Hội thảo.



Hình 6. Các đại biểu tham dự Hội thảo.



Hội thảo giải pháp cọc ván thép kiểu mũ – đột phá mới cho ngành xây dựng tại Việt Nam

Nguyễn Nhật Tuấn & Nguyễn Thị Thúy

Công Ty TNHH Ống Thép Hàn Xoắn Nippon Steel Việt Nam (NPV). Email: thuy.nguyen@nipponsteelpipe-vn.com

Tóm Tắt

Ngày 16/04/2026, tại thành phố Hồ Chí Minh, Tập đoàn Nippon Steel (NSC) phối hợp cùng Công ty TNHH An Phú Linh (APL) đã tổ chức thành công Hội thảo giới thiệu giải pháp cọc ván thép kiểu Mũ (hay còn gọi là cọc ván thép bản rộng kiểu mũ). Sự kiện thu hút sự tham dự của nhiều đại diện từ các chủ đầu tư, nhà thầu và đơn vị tư vấn thiết kế hàng đầu, đánh dấu bước tiến quan trọng trong việc thúc đẩy ứng dụng vật liệu tiên tiến này tại thị trường khu vực phía Nam.

Abstract

On April 16th, 2026, in Ho Chi Minh City, Nippon Steel Corporation (NSC), in collaboration with An Phu Linh Co., Ltd. (APL), successfully organized a seminar introducing the Hat type steel sheet pile solution (also known as widen Hat -type steel sheet piles). The event attracted numerous representatives from leading investors, contractors, and design consultants, marking a significant step in promoting the application of this advanced material in the Southern region market.

Ngày 16/04/2026, tại thành phố Hồ Chí Minh, Tập đoàn Nippon Steel (NSC) phối hợp cùng Công ty TNHH An Phú Linh (APL) đã tổ chức thành công Hội thảo giới thiệu giải pháp cọc ván thép kiểu Mũ (hay còn gọi là cọc ván thép bản rộng kiểu mũ). Sự kiện thu hút sự tham dự của nhiều đại diện từ các chủ đầu tư, nhà thầu và đơn vị tư vấn thiết kế hàng đầu, đánh dấu bước tiến quan trọng trong việc thúc đẩy ứng dụng vật liệu tiên tiến này tại thị trường khu vực phía Nam. Hội thảo đã cung cấp cái nhìn toàn diện về ưu thế của cọc ván thép kiểu Mũ qua ba chủ đề thuyết trình chuyên sâu:

Đột phá về công nghệ và tính kinh tế của cọc ván thép kiểu Mũ

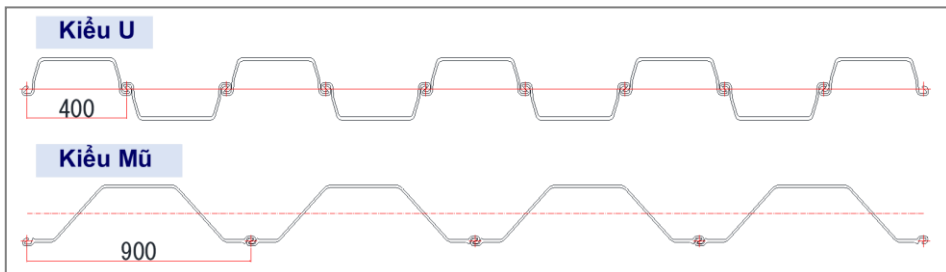
Mở đầu bằng việc giới thiệu lịch sử và các đặc tính kỹ thuật vượt trội của sản phẩm. So với cọc Larsen IV truyền thống, cọc kiểu Mũ có chiều rộng hiệu dụng lên tới 900mm, giúp giảm đáng kể số lượng cọc cần đóng và khối lượng thép trên mỗi mét tường cừ.



Hình 1. Hình ảnh khách tham dự hội thảo



Một ưu điểm kỹ thuật then chốt được nhấn mạnh là hệ số chiết giảm đặc trưng mặt cắt bằng hầu như không đáng kể. Do các khóa tai nối không nằm ở giữa tường cừ (trục trung hòa) mà nằm ở phần ngoài cùng của tường cừ nên cọc kiểu Mũ không gặp hiện tượng trượt tại nối như cọc Larsen truyền thống, giúp bảo toàn mô men quán tính thiết kế mà không cần xét đến hệ số chiết giảm. Ngoài ra, hội thảo còn giới thiệu dòng NS-SP-J (Zero Pile), cho phép thi công với khoảng cách bằng 0 kế cạnh các công trình hiện hữu lân cận để tận dụng và tối ưu hóa không gian trong các đô thị chật hẹp.



Hình 2. So sánh hình dạng và kích thước giữa cừ Larsen truyền thống và cừ kiểu mũ

2. Hiệu quả kinh tế thực tế trong công trình tạm

Đại diện công ty thi công An Phú Linh đã chứng minh tính khả thi của cừ kiểu Mũ thông qua trình bày chi tiết tính kinh tế của chúng khi áp dụng vào thực tế các dự án tạm thời tại Việt Nam. Từ năm 2022, APL và NSC đã cung cấp dòng cọc NS-SP-25H cho các hạng mục thi công tạm với khả năng tái sử dụng nhiều lần và tại nối kín nước.

Tại dự án Khu đô thị lấn biển Cần Giờ, phương án cọc kiểu Mũ đã chứng minh hiệu quả kinh tế vượt trội so với cừ Larsen IV:

- Giảm 44% số lượng cọc.
- Giảm 35% khối lượng thép.
- Rút ngắn 25% - 30% thời gian thi công.
- Tiết kiệm tổng cộng 20% chi phí cho hạng mục.
- Đặc biệt, loại cừ kiểu mũ này hoàn toàn tương thích với các thiết bị búa rung thủy lực và búa rung điện thông dụng hiện có tại Việt Nam (đang được sử dụng cho các loại cừ Larsen IV), giúp các nhà thầu dễ dàng tiếp cận công nghệ.



Hình 3. Hình ảnh thực tế thi công cừ ván thép kiểu mũ (loại 25H) tại dự án Cần Giờ

3. Giải pháp bền vững cho công trình vĩnh cửu

Hiện nay, tập đoàn Nippon Steel đã và đang mở rộng phạm vi ứng dụng của cọc kiểu Mũ sang các kết cấu vĩnh cửu như kè sông, tường chắn đất và cống ngăn triều. Giải pháp tổ hợp HAT-H (kết hợp cọc kiểu Mũ



với thép hình chữ H) đã được giới thiệu như một phương án cho các cấu kiện chịu lực lớn, phù hợp cho hố đào sâu và công trình hạ tầng lớn.

Hội thảo đã đưa ra các minh chứng thực tế từ nhiều dự án lớn tại Việt Nam như:

- Đập dâng sông Trà Khúc (Quảng Ngãi) với khối lượng hơn 1.300 tấn.
- Nhiều các cống ngăn triều, ngăn mặn – giữ ngọt tại Vĩnh Long, tại thành phố Hồ Chí Minh.
- Dự án Kè tại Hải Phòng áp dụng tổ hợp HAT-H (kết hợp cọc kiểu Mũ với thép hình chữ H) dự kiến thi công vào năm 2026 này.

Kết luận và Tầm nhìn

Về mặt pháp lý, cừ kiểu Mũ tuân theo các tiêu chuẩn Việt Nam về thiết kế, thi công nghiệm thu, ngoài ra đã được bổ sung vào hệ thống tiêu chuẩn và định mức thi công tại Việt Nam qua đó tạo điều kiện thuận lợi cho việc áp dụng vào các dự án đầu tư công.

Bằng tất cả ưu điểm trên một lần nữa khẳng định sản phẩm cừ ván thép kiểu mũ với những ưu điểm rõ rệt đang dần dần được đón nhận và đủ điều kiện để áp dụng vào các dự án hạ tầng không những trong áp dụng vĩnh cửu mà còn trong áp dụng tạm phục vụ thi công. Sau cùng, sự thành công của hội thảo còn mở ra một chương mới cho việc ứng dụng công nghệ, sản phẩm tiên tiến nhằm kiến tạo những công trình hạ tầng bền vững tại Việt Nam.



GÓC NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

Quan trắc địa kỹ thuật và cảnh báo sớm trượt lở quy mô lớn ở một số khu vực đất dốc Việt Nam

Geotechnical monitoring and early warning of large-scale landslides in several steep-sloping areas of Vietnam

Đỗ Minh Đức

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. E-mail: ducdm@vnu.edu.vn

Đinh Thị Quỳnh

Viện Địa công nghệ và Môi trường. Email: quynhdtgeo@gmail.com

Đào Minh Đức

Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm KH & CN Việt Nam. E-mail: daominhduc_dkt@yahoo.com

Tóm Tắt

Bài báo tiến hành đánh giá các hệ thống quan trắc địa kỹ thuật và cảnh báo sớm trượt lở tại các vùng đất dốc Việt Nam thông qua thực tiễn từ 19 dự án nghiên cứu. Nghiên cứu chỉ ra sự chuyển dịch tất yếu từ quan trắc đơn lẻ, thủ công sang hệ thống tự động hóa tích hợp đa module (IoT, LoRaWAN, WebGIS và AI). Điểm nhấn của bài viết là khung cảnh báo sớm tích hợp, nơi dữ liệu vật lý thời gian thực được hài hòa với năng lực ứng phó của cộng đồng tại chỗ. Trong tương lai, việc phát triển các "module quan trắc thông minh" có khả năng tự hiệu chỉnh dữ liệu và tối ưu hóa năng lượng là chìa khóa để vượt qua các rào cản về kinh tế và hạ tầng. Đây là tiền đề để thiết lập một nền văn hóa cảnh báo chủ động, biến hệ thống từ công cụ giám sát thụ động trở thành mạng lưới chống chịu bền vững trước những biến động khắc nghiệt của thiên tai trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

Abstract

The paper provides a comprehensive assessment of geotechnical monitoring and landslide early warning systems in slope areas of Vietnam through 19 pilot projects. The results outline the evolution from standalone, manual stations to integrated, multi-module automated systems (IoT, LoRaWAN, WebGIS, and AI). A core contribution is our proposed integrated framework that harmonizes real-time physical data with local community-based response mechanisms. Future advancements should prioritize "smart monitoring modules" capable of self-calibration and energy efficiency to overcome economic and infrastructural barriers. Such innovations are critical for transitioning from passive monitoring to a proactive culture of disaster resilience, ensuring sustainable mitigation against the escalating challenges of extreme climate-induced landslides.

Keywords: Trượt lở, Quan trắc địa kỹ thuật, Cảnh báo sớm, Hệ thống tích hợp.

Giới thiệu về các hệ thống quan trắc và cảnh báo sớm trượt lở quy mô lớn

Trượt lở quy mô lớn là một trong những hiểm họa tự nhiên có khối lượng dịch chuyển lớn, phạm vi ảnh hưởng rộng, diễn biến bất ngờ và không liên tục, chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố hình thành phức tạp, và thường gây ra những thiệt hại nghiêm trọng về tính mạng và cơ sở hạ tầng như tại Bảo Yên (2024), Mù Cang Chải (2017, 2023), Xuân Minh (2022), Nậm Pấm (2021). Việc nắm bắt thông tin nhất quán và kịp thời về khả năng mất ổn định—bao gồm cơ chế biến dạng và các yếu tố kích hoạt là yêu cầu tiên quyết cho bất



kỳ hệ thống cảnh báo sớm nào. Những kiến thức này chỉ có thể thu thập được thông qua cách tiếp cận tích hợp liên ngành, kết hợp các kỹ thuật điều tra khảo sát, dữ liệu quan trắc lâu dài và kết nối các trung tâm cảnh báo sớm.

Tại Việt Nam, các khu vực miền núi thường xuyên chịu tác động khắc nghiệt của biến đổi khí hậu và các đợt mưa cực đoan, dẫn đến việc tái kích hoạt các khối trượt quy mô lớn. Qua thực tiễn triển khai tại các tỉnh như Tuyên Quang, Lào Cai và tp Đà Nẵng xây dựng hệ thống cảnh báo sớm trượt quy mô lớn đòi hỏi sự kết hợp giữa các lý thuyết địa kỹ thuật, thiết bị tự động hóa và ủng hộ từ chính quyền và nhân dân địa phương. Các mối quan hệ này chính là thước đo kiểm chứng sự thành công của các dự án thử nghiệm. Mặc dù nhu cầu cảnh báo sớm là rất cấp bách, việc triển khai quan trắc vẫn gặp nhiều rào cản về hạ tầng kỹ thuật và khả năng tiếp nhận vận hành của chính quyền địa phương.

Về mặt kỹ thuật, hệ thống quan trắc địa kỹ thuật hiện nay được thiết kế theo hướng module hóa, tương thích với đặc thù của từng khu vực nguy cơ cao thông qua mạng lưới cảm biến đa dạng như đo mưa, áp lực nước lỗ rỗng, dịch chuyển ngang (inclinometer), giãn kế (extensometer), camera giám sát và CB-InSAR. Tuy nhiên, sự phụ thuộc vào thiết bị nhập khẩu đang tạo ra những rào cản đáng kể trong công tác bảo trì, sửa chữa và mở rộng mạng lưới. Các bộ lưu trữ dữ liệu (datalogger) với cấu hình và giao thức truyền tin biệt lập gây khó khăn cho việc đồng bộ hóa dữ liệu và nhúng các thuật toán xử lý tại trạm. Hơn nữa, do độ phức tạp về công nghệ và tính chuyên biệt hóa cao, cộng đồng và chính quyền địa phương vẫn chưa thể chủ động vận hành hệ thống, dẫn đến sự phụ thuộc lớn vào đội ngũ chuyên gia trong các tình huống khẩn cấp.

Sự chuyển dịch từ các mô hình truyền tin truyền thống như đo đạc định kỳ hay GPRS sang công nghệ IoT và Internet vạn vật đã đánh dấu bước ngoặt trong quản trị dữ liệu cảnh báo tại Việt Nam. Việc tích hợp dữ liệu về nền tảng Cloud giúp công tác quản lý trở nên tập trung và chuyên nghiệp hơn, dù vẫn đối mặt với thách thức về bảo mật và sự biến động trong chính sách viễn thông của các nhà cung cấp dịch vụ. Để khắc phục các hạn chế này, các hệ thống gần đây đã áp dụng giao thức truyền tin LoRaWAN nhằm tập hợp dữ liệu tại gateway trước khi đẩy lên máy chủ, đảm bảo tính ổn định và tiết kiệm năng lượng. Quan trọng hơn, việc phân tách hai lớp chức năng gồm quản trị hệ thống và giao diện người dùng đã giúp các bản tin cảnh báo trở nên trực quan hơn, tạo điều kiện thuận lợi cho việc tiếp nhận và ra quyết định ứng phó của chính quyền cũng như người dân địa phương.

Trên thế giới, dù mỗi kỹ thuật quan trắc cung cấp độ tin cậy khác nhau (Baroň và Supper, 2013, UNDRR, 2023), song vẫn chưa tìm ra phương pháp hiệu quả nhất cho cảnh báo sớm trượt quy mô lớn. Trong khi các quốc gia phát triển thường ưu tiên viễn thám và thiết bị tự động hiện đại, nhiều quốc gia khu vực Đông Nam Á lại hướng đến các giải pháp "bình dân hóa" thông qua WebGIS và ứng dụng camera thông minh để giám sát thời gian thực. Việc thu hẹp khoảng cách này vẫn đòi hỏi sự kết hợp giữa các phương pháp quan trắc địa kỹ thuật truyền thống với các hệ thống cảnh báo giá rẻ đã được kiểm chứng tính hiệu quả tại thực địa. Thực tiễn cho thấy không một kỹ thuật đơn lẻ nào có thể dự báo chính xác các chuyển động phức tạp của trượt khối lớn (Đức, 2023). Đối với phần lớn các dự án lớn quan trắc cảnh báo trượt quy mô lớn, việc xây dựng bộ công cụ địa kỹ thuật kết hợp giữa dữ liệu mưa, áp lực nước lỗ rỗng và dịch chuyển là chìa khóa để cải thiện độ tin cậy. Tích hợp các thông số lên nền tảng WebGIS không chỉ mang lại giá trị cho phân tích khoa học mà còn là cơ sở thực tế nhất để đưa ra các cảnh báo kịp thời cho người dân (Toan, 2025).

Xuất phát từ nhu cầu cấp thiết về cảnh báo sớm, bài báo tập trung đánh giá hiệu quả các phương pháp quan trắc địa kỹ thuật khối trượt quy mô lớn tại Việt Nam, qua đó phân tích tường tận những khó khăn trong quá trình chuyển giao công nghệ tại vùng đất dốc. Mục tiêu trọng tâm của nghiên cứu là cung cấp các kinh nghiệm thực tiễn, hướng tới việc đề xuất các giải pháp khả thi nhằm củng cố năng lực cảnh báo sớm, góp phần xây dựng mạng lưới phòng chống thiên tai bền vững và hiệu quả hơn cho cộng đồng địa phương.

Qua triển khai các dự án và đề tài nghiên cứu về quan trắc cảnh báo sớm các khối trượt lớn tại Việt Nam, lịch sử ghi nhận qua các giai đoạn sau:



- Giai đoạn khởi đầu (trước năm 2015): Đây là thời kỳ đặt nền móng với việc áp dụng các công nghệ cơ bản như đo áp lực nước lỗ rỗng và dịch chuyển ngang trong hố khoan để quan trắc các khối trượt lớn tại các khu vực trọng điểm như đồi Ông Tượng, Phú Thọ (2008) (hình 1) hay Cốc Pài, Tuyên Quang (2010) (hình 2). Phương thức truyền dữ liệu trong giai đoạn này chủ yếu dựa vào tin nhắn SMS hoặc GPRS.
- Giai đoạn mở rộng và tích hợp công nghệ (2015 - 2023): Hệ thống quan trắc được triển khai rộng khắp tại nhiều tỉnh thành như thành phố Đà Nẵng (hình 4), Lào Cai (hình 3, 5 và 6) và khu vực Tây Nguyên. Công nghệ được nâng cấp đáng kể với việc tích hợp Internet 3G/4G, và tích hợp thêm đa dạng các loại cảm biến như đo mưa tự động, giãn kế (extensometer), áp dụng công nghệ truyền tin hiện đại hơn như LoRaWan. Các hệ thống không chỉ tập trung vào trượt khối lớn mà đã mở rộng sang cả quan trắc lũ quét và lũ bùn đá.
- Giai đoạn tích hợp (từ 2023 đến nay): Xu hướng hiện nay chuyển dịch mạnh mẽ sang việc xây dựng các hệ thống tích hợp đa thiên tai và có sự tham gia trực tiếp của cộng đồng. Các app cảnh báo sớm đã kết hợp giữa dữ liệu vật lý từ trạm quan trắc với thông tin nhận diện sớm từ cộng đồng thông qua mạng xã hội (Zalo, Facebook). Mục tiêu trọng tâm của giai đoạn này là đồng bộ cơ sở dữ liệu, tích hợp công nghệ AI và tự động hóa, tăng tương tác của người dùng với hệ thống, tối ưu hóa nguồn lực vận hành và nâng cao khả năng tự chủ công nghệ.

Lịch sử phát triển các hệ thống quan trắc tại Việt Nam cho thấy sự chuyển dịch từ các trạm quan trắc đơn lẻ, thủ công sang hệ thống tự động hóa tích hợp các module, hướng tới việc chia sẻ dữ liệu tập trung và lấy cộng đồng làm trung tâm để tăng tính chủ động trong ứng phó thiên tai.



Hình 1. Quan trắc khối trượt lớn đồi Ông Tượng



Hình 2. Quan trắc khối trượt lớn Cốc Pài, Xín Mần



Hình 3. Quan trắc khối trượt lớn Năm Dăn, Xín Mần bằng công nghệ CB-InSAR



Hình 4. Quan trắc khối trượt lớn Nam Trà My



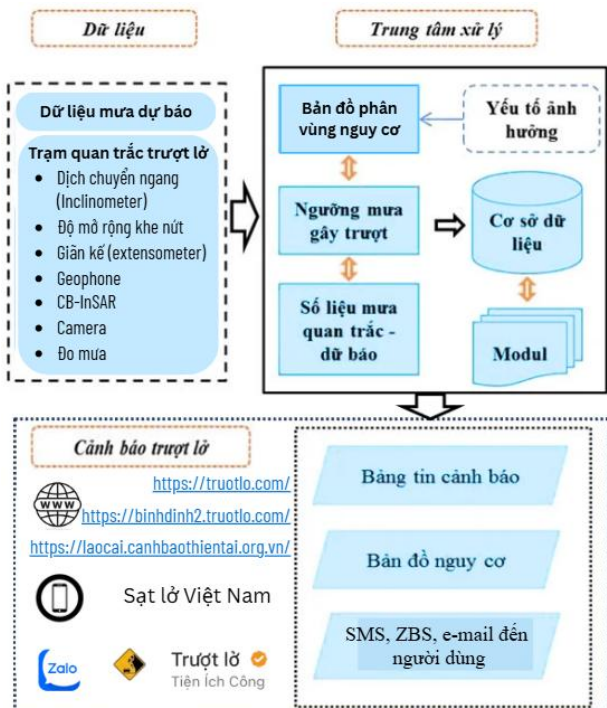
Hình 5. Quan trắc khối trượt lớn Mù Cang Chải



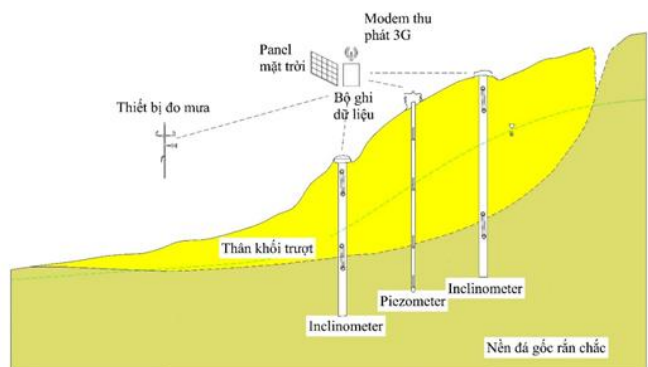
Hình 6. Quan trắc khối trượt lớn Yên Thành

Cách tiếp cận và nguyên lý hoạt động của hệ thống

Cách tiếp cận được lựa chọn dựa trên nguyên tắc tích hợp đa thông số nhằm giải thích rõ hơn cơ chế hình thành của khối trượt quy mô lớn. Hệ thống tập trung vào việc kết nối dữ liệu khí tượng → cụ thể là ngưỡng mưa và biến động áp lực nước lỗ rỗng → với các phản hồi địa kỹ thuật từ các cảm biến đo dịch chuyển tự động (hình 7). Việc lựa chọn thiết bị được thực hiện dựa trên cấu trúc của khối trượt, quy mô khối trượt (hình 8), mức độ ổn định và khả năng kết nối theo thời gian thực, khả năng duy trì lâu dài tại hiện trường, đảm bảo rằng dữ liệu thu thập được có thể phản ánh chính xác trạng thái biến dạng của khối trượt ngay cả trong điều kiện thời tiết khắc nghiệt.



Hình 7. Nguyên lý hoạt động của hệ thống quan trắc cảnh báo sớm trượt quy mô lớn



Hình 8. Mặt cắt địa chất công trình lắp đặt các loại hình cảm biến trên khối trượt lớn tại Năm Dẩn

Công tác thi công các hệ thống quan trắc cảnh báo sớm tại hiện trường cần chú ý một số công tác như: lắp đặt cảm biến, cấu hình ghi đo của datalogger, lựa chọn cấu hình pin năng lượng mặt trời và acquy. Yêu cầu các bộ phận này cần làm việc ổn định lâu dài, có khả năng thay thế nhanh chóng khi cần thiết, chịu được ảnh hưởng của thời tiết khắc nghiệt nhất là trong thời điểm diễn ra thiên tai (Hình 9 và 10).

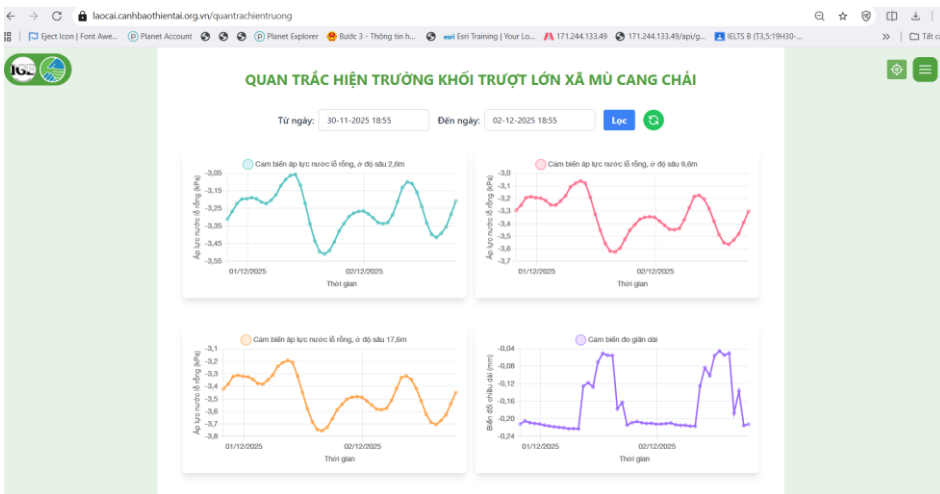


Hình 9. Lắp đặt các cảm biến trong hố khoan



Hình 10. Cài đặt hiệu chỉnh tín hiệu quan trắc cho hệ thống

Công tác lưu trữ và phân tích dữ liệu quan trắc như sau: dữ liệu được truyền tải về máy chủ và hiển thị trên hệ thống WebGIS. Các số liệu đầu vào ở dạng digits sẽ được hiệu chỉnh và chuyển đổi sang số liệu có ý nghĩa về địa kỹ thuật (Hình 11). Đồng thời, ngay tại trạm quan trắc, bằng công nghệ LoRaWan được sử dụng để tích hợp về hệ thống còi hú nhằm cảnh báo tại chỗ cho khu vực đó (Hình 5).



Hình 11. Website hiển thị dữ liệu quan trắc trượt lở khối lớn khu vực xã Mù Cang Chải, tỉnh Lào Cai

Các thành phần chính của hệ thống

Dựa trên khung lý thuyết về hệ thống cảnh báo sớm (UNDRR, 2023), dưới đây là mô tả chi tiết 4 thành phần chủ chốt áp dụng cho hệ thống quan trắc và cảnh báo sớm trượt lở quy mô lớn:

- Nhận diện khối trượt lớn: Thành phần này đòi hỏi việc đánh giá nguy cơ khối trượt xuất hiện, dựa trên dữ liệu địa chất, địa hình, và sử dụng công nghệ viễn thám để xác định các vùng có nguy cơ cao. Việc hiểu biết rủi ro không chỉ dừng lại ở khảo sát vật lý mà còn cần đánh giá diễn biến tiếp diễn của khối trượt và tính dễ bị tổn thương của cộng đồng, giúp xác định đối tượng cần ưu tiên cảnh báo và các ngưỡng nguy hiểm đặc thù cho từng nhóm cộng đồng.
- Quan trắc: Đây là thành phần kỹ thuật cốt lõi, bao gồm việc vận hành mạng lưới các cảm biến quan trắc tự động (đo mưa, đo chuyển dịch ngang, đo áp lực nước lỗ rỗng) hoạt động thời gian thực. Dữ liệu từ các thiết bị này được truyền về trung tâm điều hành qua hạ tầng mạng (GPRS/3G/LoRaWAN) để phân tích, từ đó đưa ra các kịch bản dự báo trượt lở dựa trên mô hình toán học và AI, giúp xác định thời điểm ngưỡng báo động cần được kích hoạt.
- Truyền tin: Hệ thống cần một hạ tầng truyền tin đa kênh để đảm bảo thông tin cảnh báo từ trung tâm đến được với mọi người dân, ngay cả trong điều kiện địa hình chia cắt. Ngoài các thiết bị chuyên dụng



như còi hú, loa phát thanh tại thôn bản, việc tích hợp thông báo qua các nền tảng mạng xã hội phổ biến (Zalo, Facebook) và tin nhắn SMS đảm bảo tính kịp thời và độ phủ rộng, giúp thông tin không bị gián đoạn hay sai lệch.

- Nâng cao năng lực ứng phó: Đây là yếu tố quyết định hiệu quả của toàn hệ thống, gắn liền với việc huấn luyện cộng đồng hiểu rõ các ký hiệu cảnh báo và quy trình sơ tán an toàn. Thành phần này đòi hỏi sự phối hợp chặt chẽ giữa chính quyền địa phương và đội ngũ xung kích tại chỗ, xây dựng các phương án diễn tập định kỳ để người dân không chỉ biết cách nhận tin mà còn nắm vững lộ trình di chuyển đến các khu vực an toàn đã được xác định từ trước.

Thảo luận về hệ thống cảnh báo sớm

Các hệ thống cảnh báo thiên tai tại Việt Nam đang từng bước được hiện đại hóa, chuyển từ các mô hình thử nghiệm đơn lẻ sang các nền tảng công nghệ tiên tiến nhằm nâng cao độ tin cậy của dữ liệu và hiệu quả truyền tải thông tin cảnh báo theo thời gian thực. Trước đây, các hệ thống quan trắc tại hiện trường thường được thiết kế theo cấu trúc khép kín, phục vụ riêng cho từng loại hình thiên tai như trượt lở đất, lũ bùn đá hoặc lũ quét. Việc tiếp cận và ứng dụng công nghệ mới chủ yếu thông qua các dự án hợp tác quốc tế, tiêu biểu như hệ thống quan trắc trượt lở đất tại Nấm Dẩn và Xín Mần (hợp tác với NGI – Na Uy và Nhazca – Italia), hệ thống cảnh báo lũ bùn đá tại Ngũ Chỉ Sơn (hợp tác với CBREW – Đài Loan) hay các mô hình cảnh báo tại Mường Hoa và Tĩnh Túc (hợp tác với các đối tác Hà Lan). Bên cạnh đó, nhiều hệ thống cảnh báo cũng được phát triển từ các đề tài nghiên cứu trong nước như tại Tắc Pỏ (Nam Trà My), Khâm Đức (thành phố Đà Nẵng) cùng với sự tham gia hỗ trợ của các tổ chức phi chính phủ và tổ chức thiện nguyện. Các dự án này đã góp phần quan trọng trong quá trình chuyển giao công nghệ, nâng cao năng lực nghiên cứu, vận hành và làm chủ các giải pháp quan trắc tiên tiến của đội ngũ khoa học trong nước.

- Việc tích hợp nền tảng WebGIS và công nghệ nhận diện hình ảnh qua AI mở ra hướng tiếp cận đột phá trong giám sát tai biến thiên nhiên thời gian thực. WebGIS đóng vai trò là xương sống quản trị dữ liệu, cho phép đồng bộ hóa dữ liệu từ các cảm biến vật lý với bản đồ độ nhạy trượt lở, tạo ra một không gian trực quan giúp nhà quản lý nắm bắt nhanh chóng các điểm nóng nguy cơ. Song song đó, việc ứng dụng AI trong nhận diện hình ảnh qua camera giám sát bổ sung khả năng "quan sát" trực tiếp các biến động bề mặt – vốn là những dấu hiệu khó phát hiện bằng các cảm biến đo sâu truyền thống. Sự kết hợp này không chỉ nâng cao tần suất giám sát mà còn giúp rút ngắn thời gian xử lý dữ liệu, chuyển đổi từ trạng thái quan trắc bị động sang chủ động phát hiện sớm các hiện tượng như lũ bùn đá hoặc lở đá ngay tại nguồn.
- Trong bối cảnh tại các xã/thôn vùng cao Việt Nam, sự khác biệt giữa phương pháp quan trắc thủ công và hệ thống tự động hóa (như cảm biến SAA hoặc Slope ALARMS) thể hiện rõ rệt ở tính liên tục và độ tin cậy. Các phương pháp thủ công thường phụ thuộc vào quan sát cảm tính của cộng đồng như vết nứt trên sườn, cây nghiêng ngả hoặc tiếng động lạ, vốn mang tính chất "báo động hậu quả" khi tai biến đã bước vào giai đoạn vận động. Ngược lại, các cảm biến tự động hóa như thiết bị đo nghiêng (inclinometers) hoặc SAA cung cấp dữ liệu số định lượng về tốc độ dịch chuyển và áp lực nước lỗ rỗng, cho phép phát hiện sớm giai đoạn gia tốc của khối trượt. Tuy nhiên, trong điều kiện địa hình chia cắt và hạ tầng hạn chế, các hệ thống tự động đòi hỏi nguồn năng lượng duy trì liên tục và quy trình hiệu chỉnh dữ liệu khắt khe, điều mà phương pháp thủ công có thể bù đắp bằng sự linh hoạt và hiểu biết bản địa sâu sắc.
- Việc chuyển giao các công nghệ quan trắc tiên tiến vào vùng cao Việt Nam đối mặt với nhiều rào cản mang tính hệ thống. Các công nghệ này thường được thiết kế cho những khu vực có hạ tầng đồng bộ và đội ngũ vận hành chuyên nghiệp, trong khi địa bàn vùng cao Việt Nam lại đối diện với sự khắc nghiệt về địa hình, khí hậu và thiếu hụt kỹ thuật viên tại chỗ. Theo các nghiên cứu thực tiễn, việc duy trì tính tin cậy của thiết bị trong môi trường khắc nghiệt là một thách thức lớn, bởi sự sai số của cảm biến thường bị chi phối bởi các yếu tố địa chất phức tạp và thiếu dữ liệu hiệu chỉnh phù hợp. Hơn nữa, chi phí đầu tư ban đầu cao cùng với bài toán bảo trì lâu dài vượt quá khả năng ngân sách địa phương, dẫn



đến tình trạng các hệ thống dù hiện đại nhưng khó duy trì được tính bền vững nếu không có phương án thiết kế module phù hợp và sự tham gia quản trị từ chính cộng đồng.

- Để tối ưu hóa hiệu quả cảnh báo sớm, cần thiết lập một chiến lược hài hòa giữa công nghệ giám sát địa kỹ thuật hiện đại và năng lực ứng phó tại chỗ. Thay vì áp đặt một mô hình công nghệ đơn lẻ, việc xây dựng các "module quan trắc tích hợp" giúp tận dụng tối đa đường truyền, năng lượng và bộ lưu trữ dữ liệu là giải pháp khả thi nhất để tiết kiệm chi phí vận hành. Hệ thống cảnh báo không nên chỉ dừng lại ở các thông số kỹ thuật khô khan mà phải chuyển hóa được dữ liệu phức tạp thành các chỉ dẫn dễ hiểu cho tổ cảnh báo thôn bản. Sự thành công của hệ thống tại Việt Nam nằm ở việc tích hợp dữ liệu từ cả thiết bị vật lý và thông tin cung cấp bởi cộng đồng, tạo nên một cơ chế cảnh báo nhiều lớp, đảm bảo tính pháp lý và sự sẵn sàng ứng phó trong mọi tình huống thiên tai.

Triển khai áp dụng và đề xuất giải pháp nâng cao hiệu quả của hệ thống cảnh báo sớm

Trên cơ sở phân tích các thành phần của hệ thống cảnh báo sớm và thực trạng triển khai tại Việt Nam, cần xây dựng các giải pháp tổng hợp nhằm nâng cao hiệu quả quan trắc địa kỹ thuật và giảm thiểu rủi ro trượt lở đất tại các khu vực đất dốc.

Trước hết, cần hoàn thiện hệ thống cơ sở dữ liệu và bản đồ nguy cơ trượt lở đất trên phạm vi toàn quốc. Việc tích hợp dữ liệu địa chất, địa hình, lượng mưa, hiện trạng sử dụng đất, kết quả điều tra hiện trường và dữ liệu viễn thám trên nền tảng WebGIS sẽ hỗ trợ khoanh định các khu vực có nguy cơ cao, phục vụ công tác quy hoạch phát triển kinh tế - xã hội và quản lý thiên tai.

Đối với công tác quan trắc, cần tăng cường mật độ các trạm đo mưa tự động tại các khu vực miền núi, đồng thời phát triển các hệ thống quan trắc địa kỹ thuật chuyên sâu như cảm biến dịch chuyển mái dốc, cảm biến áp lực nước lỗ rỗng, thiết bị đo nghiêng, radar mặt đất và camera giám sát. Bên cạnh đó, việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo, học máy và phân tích dữ liệu lớn cần được đẩy mạnh nhằm nâng cao độ chính xác của các mô hình dự báo và cảnh báo sớm.

Bên cạnh các giải pháp chủ động phòng chống thiên tai trong mùa mưa bão, đối với dạng đa tai biến trượt quy mô lớn cần lưu ý điểm quan trọng nhất là cần chủ động rà soát dọc các suối nhánh, dòng chảy xem có hiện tượng trượt lở hay cây gãy đổ gây nghẽn dòng chảy không, nếu có cần khai thông, nạo vét đất đá trong lòng suối hoặc di chuyển dân ở nơi trũng thấp khu vực hạ lưu đến nơi an toàn để phòng khi mưa lớn tích lũy phá nghẽn dòng gây dòng lũ bùn đá. Lưu ý, trên một dòng chảy có thể có một hay nhiều điểm nghẽn.

Chủ động phát hiện các dấu hiệu phát sinh khối trượt quy mô lớn như các khe nứt kéo dài trên mái dốc. Cần lưu ý, một số khe nứt sẽ không dẫn ngay đến trượt lở. Các hoạt động canh tác và xây dựng công trình trên đất dốc có thể che lấp các dấu hiệu khe nứt, gây khó khăn cho công tác giám sát dấu vết của khối trượt lớn. Một khi đã xuất hiện khe nứt, mái dốc sẽ không thể tự "liền lại" được nữa và nguy cơ trượt lở luôn tiềm ẩn. Thực tế tại nhiều địa phương cho thấy, các mái dốc trồng cây keo lai đã qua một vài lần khai thác và trồng lại hoặc có hoạt động trên mái dốc như xây dựng công trình, tháp viễn thông, đường dây tải điện... đều cần được lưu ý.

Tiếp theo cần có cảnh báo và hành động sớm theo thứ tự:

- (1) Mưa là yếu tố chủ yếu kích hoạt trượt lở. Các hệ thống quan trắc mưa hiện tại cần có mật độ cao hơn, đồng thời nghiên cứu ứng dụng và bổ sung các hệ thống trang thiết bị phát hiện sớm mưa lớn cực đoan;
- (2) Các hệ thống quan trắc chuyên sâu về biến dạng địa hình, địa kỹ thuật, địa chất thủy văn hay dịch chuyển của mái dốc; nâng cao độ chính xác công tác dự báo qua ứng dụng phân tích dữ liệu lớn và trí tuệ nhân tạo;
- (3) Tăng cường truyền thông thông tin cảnh báo sớm, đảm bảo chính quyền các cấp, đặc biệt là người dân trong vùng bị tác động của trượt lở nắm bắt thông tin kịp thời, chính xác và hiểu rõ các hành động cần triển khai khi có yêu cầu.
- (4) Khi rủi ro trượt lở đạt đến mức rủi ro cấp 1 theo nghị định của Chính phủ, chính quyền địa phương cần hạn chế người và phương tiện lưu thông lân cận các khu vực nguy cơ cao, tới rủi ro cấp 2 và cao

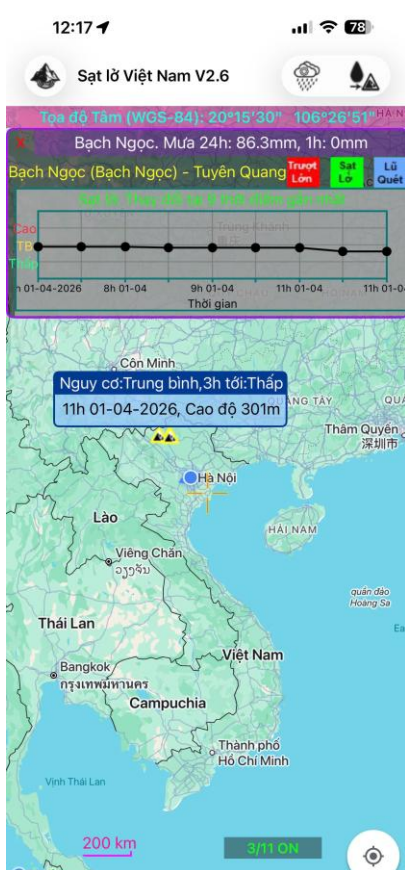


hơn, cần cấm các phương tiện lưu thông qua các khu vực nguy cơ cao; di chuyển dân trong khu vực nguy cơ cao đến nơi an toàn và chỉ quay lại khi không còn cảnh báo nguy cơ trượt lở.

- (5) Phát huy hiệu quả vai trò của các cán bộ cơ sở xã, thôn, các tổ đội xung kích phòng tránh thiên tai, như phát hiện sớm các dấu hiệu trượt lở, các khu vực suối, dòng chảy bị ách tắc, nghẽn dòng để kịp thời ứng phó.
- (6) Chính quyền và người dân cần chú ý đến tính bất thường và cực đoan của thời tiết trong bối cảnh biến đổi khí hậu và chuẩn bị kịch bản ứng phó với những tình huống khó khăn nhất.
- (7) Sử dụng ứng dụng “Sạt lở Việt Nam” (hình 12-14). Đây là công cụ hỗ trợ giám sát và cảnh báo sớm nguy cơ tai biến trượt lở theo thời gian thực trên nền tảng điện thoại thông minh, được phát triển nhằm phục vụ công tác phòng chống thiên tai tại các khu vực miền núi và vùng đất dốc trên phạm vi cả nước. Ứng dụng tích hợp các công nghệ như trí tuệ nhân tạo (AI), Internet vạn vật (IoT) và phân tích dữ liệu lớn (Big Data), cho phép theo dõi liên tục diễn biến lượng mưa, nguy cơ trượt lở đất, trượt lở quy mô lớn, sạt lở, lũ quét. Dữ liệu được cập nhật tự động khoảng 20 phút một lần, bao phủ toàn bộ các khu vực đất dốc ở Việt Nam và cung cấp thông tin chi tiết đến cấp xã, thôn, bản, tổ dân phố, các khu dân cư tập trung cũng như các tuyến giao thông miền núi, đèo dốc có nguy cơ cao.



Hình 12. Cung cấp nguy cơ sạt lở, mưa lớn đến từng vị trí, xã, tỉnh trên toàn quốc với các nền bản đồ khác nhau



Hình 13. Cung cấp nguy cơ chi tiết với 3 loại hình Trượt lở, Sạt lở, Lũ Quét theo thời gian thực



Hình 14. Thiết lập cảnh báo linh hoạt với bán kính ảnh hưởng và lượng mưa trong 1h, 3h, 6h và 24h

Kết luận

- Trượt lở quy mô lớn và các hiện tượng lũ bùn đá do nghẽn dòng chảy đang trở thành những hiểm họa thiên tai có sức tàn phá đặc biệt nghiêm trọng đối với các khu vực đất dốc tại Việt Nam. Thực tiễn cho thấy, các phương pháp phòng chống truyền thống, mặc dù cần thiết, nhưng đã bộc lộ những hạn chế nhất định trước diễn biến ngày càng phức tạp và khó lường của thiên tai trong bối cảnh biến đổi khí hậu.



- Kết quả nghiên cứu khẳng định rằng việc triển khai các hệ thống quan trắc và cảnh báo sớm tự động hóa, tích hợp đa thông số, là giải pháp then chốt để chuyển dịch từ tư duy "ứng phó thụ động" sang "chủ động phòng ngừa". Sự thành công của hệ thống không chỉ nằm ở tính hiện đại của các cảm biến hay thuật toán AI, mà còn nằm ở khả năng hài hòa dữ liệu kỹ thuật chuyên sâu với cơ chế vận hành của cộng đồng địa phương.
- Bên cạnh các giải pháp truyền thống, quan trắc và cảnh báo sớm tai biến trượt lở quy mô lớn đóng vai trò rất quan trọng góp phần giảm thiểu rủi ro thiên tai. Đây là yếu tố quyết định giúp dữ liệu từ các nền tảng số thực sự trở thành những chỉ dẫn sống còn cho người dân tại vùng nguy cơ.

Tài liệu tham khảo

- Baroň, I., & Supper, R. (2013). Application and reliability of techniques for landslide site investigation, monitoring and early warning – outcomes from a questionnaire study. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(12), 3157–3175.
- Dương Thị Toan (2025). Nghiên cứu xác định cơ chế hình thành, quy luật phân bố và cảnh báo sớm tai biến trượt đất quy mô lớn ở Việt Nam bằng tích hợp công nghệ viễn thám, trí tuệ nhân tạo và lý thuyết cơ học đất không bão hòa. Đề tài cấp nhà nước mã số ĐTĐL.CN-37/23.
- Đào Minh Đức (2023). Nghiên cứu đặc điểm hình thành và phát triển một số khối trượt lớn ở khu vực miền núi phía Bắc (lấy ví dụ tại huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang). Luận án tiến sĩ, Học viện Khoa học và Công nghệ.
- Uhlemann, S., Smith, A., Chambers, J., Dixon, N., Dijkstra, T., Haslam, E., ... & Mackay, J. (2016). Assessment of ground-based monitoring techniques applied to landslide investigations. *Geomorphology*, 253, 438-451.
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR) (2023). Global Status of MultiHazard Early Warning Systems 2023.



Xây dựng ở vùng đồi núi ở Việt Nam: Giải pháp thích ứng địa hình giảm thiểu nguy cơ trượt lở

Construction in Mountainous Regions of Vietnam: Terrain-Adaptive Approaches to Mitigate Landslide hazards

Nguyễn Quang Tuấn

Trường Đại học Thủy lợi. E-mail: nqtuan@tlu.edu.vn

Tóm Tắt

Quá trình đô thị hóa và phát triển hạ tầng tại các vùng miền núi Việt Nam đang diễn ra mạnh mẽ dưới tác động của phát triển kinh tế, giao thông và du lịch. Tuy nhiên, địa hình dốc, điều kiện địa chất phức tạp và biến đổi khí hậu đã làm gia tăng nguy cơ trượt lở đất và mất ổn định mái dốc, đặc biệt tại các khu vực có hoạt động đào cắt địa hình quy mô lớn. Bài viết phân tích các thách thức địa kỹ thuật trong phát triển đô thị miền núi, đánh giá tác động của hoạt động xây dựng đến ổn định mái dốc và đề xuất các giải pháp thiết kế công trình theo hướng thích ứng địa hình tự nhiên nhằm đảm bảo an toàn và phát triển bền vững.

Abstract

The rapid urbanization and infrastructure development in the mountainous regions of Vietnam are being strongly driven by economic growth, transportation expansion, and tourism development. However, steep terrain, complex geological conditions, and climate change have significantly increased the risks of landslides and slope instability, particularly in areas where large-scale excavation and terrain cutting activities are conducted. This paper analyzes the geotechnical challenges associated with mountainous urban development, evaluates the impacts of construction activities on slope stability, and proposes design approaches based on terrain-adaptive development to ensure safety and sustainable development.

Keywords: đô thị, miền núi, trượt lở, sườn dốc.

Mở đầu

Vùng miền núi chiếm khoảng 3/4 diện tích lãnh thổ Việt Nam và thường xuyên chịu tác động của lũ quét, xói mòn và trượt lở đất. Những năm gần đây, sự phát triển đô thị, giao thông và du lịch đã thúc đẩy mở rộng không gian xây dựng trên các sườn dốc tự nhiên. Việc san gạt địa hình, đào cắt taluy và thay đổi điều kiện thoát nước đang làm gia tăng nguy cơ mất ổn định mái dốc, đặc biệt dưới tác động của mưa cực đoan do biến đổi khí hậu. Xu hướng đô thị hóa miền núi được dự báo sẽ tiếp tục gia tăng, đặt ra yêu cầu chuyển đổi tư duy phát triển từ “đồng bằng hóa miền núi” sang quy hoạch và xây dựng thích ứng với địa hình tự nhiên. Các giải pháp cần được quan tâm gồm tích hợp đánh giá nguy cơ trượt lở vào quy hoạch, hạn chế đào cắt quy mô lớn, tăng cường kiểm soát thoát nước và bảo vệ thảm thực vật.

Bài báo này dựa trên các thông tin tổng hợp về các sự kiện trượt lở xảy ra ở các đô thị miền núi Việt Nam, phân tích các thách thức địa kỹ thuật trong phát triển đô thị miền núi, đánh giá tác động của hoạt động xây dựng đến ổn định mái dốc. Dựa vào các kinh nghiệm từ các nước trên thế giới về thiết kế xây dựng khu vực đồi núi đã công bố (Kumar and Pushplata 2015, Fernandes 2017, Wodonga 2019, Kapoor, Bansal et al. 2020, Li, Shen et al. 2020, Zeng, Zhao et al. 2023) để đề xuất các giải pháp thiết kế công trình theo hướng thích ứng địa hình tự nhiên nhằm đảm bảo an toàn và phát triển bền vững.



Hiện trạng trượt lở ở các đô thị miền núi Việt Nam

Nhiều vụ trượt lở nghiêm trọng đã xảy ra trong các năm gần đây tại Đà Lạt, Lào Cai, Yên Bái và Sa Pa. Các sự cố thường liên quan đến việc đào cắt chân dốc để tạo mặt bằng xây dựng, taluy cao thiếu gia cố đồng bộ và hệ thống thoát nước chưa phù hợp.

Tại Đà Lạt, các vụ sạt lở taluy ở khu vực Khe Sanh (Hình 1) và đường Hoàng Hoa Thám (Hình 2) đã gây thiệt hại nghiêm trọng cho công trình và nhà dân. Sau bão Yagi, hàng loạt vụ sạt lở tại miền núi phía Bắc tiếp tục gây thiệt hại lớn về người và tài sản, ví dụ vụ trượt lở tại Lào Cai (Hình 3) và Yên Bái (Hình 4), nơi nhiều công trình được xây dựng sát chân taluy hoặc sườn dốc tự nhiên.



Hình 1 Trượt lở năm 2021 ở Khe Sanh – thành phố Đà Lạt (www.thanhvien.vn)



Hình 2 sạt lở năm 2023 tại taluy trên đường Hoàng Hoa Thám – thành phố Đà Lạt (www.nhandan.vn)



Hình 3. Khu vực một loạt nhà bị ảnh hưởng bởi trượt taluy giáp trường chính trị tỉnh Lào Cai (www.vietnam.vn)



Hình 4. Trượt vào khu nhà dân làm sạt chân núi sau bão Yagi – thành phố Yên Bái (www.24h.com.vn)

Các vụ trượt lở gần đây cho thấy quá trình đô thị hóa nhanh đang làm gia tăng tính dễ tổn thương của mái dốc tự nhiên, đặc biệt khi kết hợp giữa mưa cực đoan, địa hình dốc và hoạt động đào cắt địa hình quy mô lớn.

Tác động của việc xây dựng công trình vùng đồi núi

Bên cạnh các nguyên nhân tự nhiên như điều kiện địa hình địa mạo bất lợi, điều kiện địa chất yếu, các nguyên nhân chính làm gia tăng nguy cơ trượt lở gồm:

- Đào cắt và san gạt địa hình quy mô lớn.



- Gia tăng tải trọng công trình trên sườn dốc.
- Thay đổi điều kiện thoát nước tự nhiên.

Đây là những nguyên nhân do hoạt động xây dựng gây ra. Khi chân sườn dốc bị đào cắt, trạng thái cân bằng tự nhiên của mái dốc bị phá vỡ, làm tăng nguy cơ hình thành mặt trượt. Nước mưa thấm vào mái dốc làm tăng áp lực nước lỗ rỗng và giảm sức kháng cắt của đất đá. Ngoài ra, việc phá bỏ thảm thực vật và các hoạt động thi công như nổ mìn, lu rung hoặc vận chuyển tải trọng lớn cũng góp phần làm suy giảm ổn định mái dốc.

Việc xây dựng trên sườn dốc còn làm thay đổi dòng chảy tự nhiên, gây tập trung nước mặt và xói chân taluy. Trong nhiều trường hợp, hệ thống thoát nước không được thiết kế đồng bộ khiến nước mưa chảy trực tiếp vào mái dốc hoặc nền công trình, làm gia tăng nguy cơ mất ổn định.

Quy hoạch và thiết kế xây dựng theo hướng phát triển bền vững cho vùng đồi núi

Định hướng phát triển bền vững cho vùng đồi núi cần chuyển từ tư duy “đồng bằng hóa miền núi” sang “xây dựng thích ứng địa hình tự nhiên”. Các công trình nên bố trí bám theo đường đồng mức, hạn chế đào đắp quy mô lớn và ưu tiên mô hình nhà giạt cấp hoặc công trình nâng trên hệ cột.

Bên cạnh đó, cần tăng cường kiểm soát thoát nước mặt, bảo vệ thảm thực vật và áp dụng các giải pháp địa kỹ thuật như neo đất, lưới thép hoặc tường chắn tại các vị trí cần thiết. Việc duy trì lớp phủ thực vật có vai trò quan trọng trong ổn định mái dốc và giảm xói mòn.

Trong quy hoạch đô thị miền núi, cần tích hợp khảo sát địa chất, phân vùng nguy cơ trượt lở và đánh giá ổn định mái dốc ngay từ giai đoạn đầu. Việc ứng dụng GIS, viễn thám, mô hình số địa hình và hệ thống quan trắc cảnh báo sớm sẽ giúp nâng cao hiệu quả quản lý rủi ro và phát triển không gian bền vững.

Nguyên tắc thiết kế công trình trên sườn dốc

Thiết kế trên vùng đồi núi không chỉ là sự điều chỉnh kỹ thuật mà còn là quá trình hài hòa với điều kiện tự nhiên, đảm bảo cân bằng giữa an toàn, tính bền vững và giá trị cảnh quan. Thiết kế công trình vùng đồi núi cần tuân thủ các nguyên tắc sau:

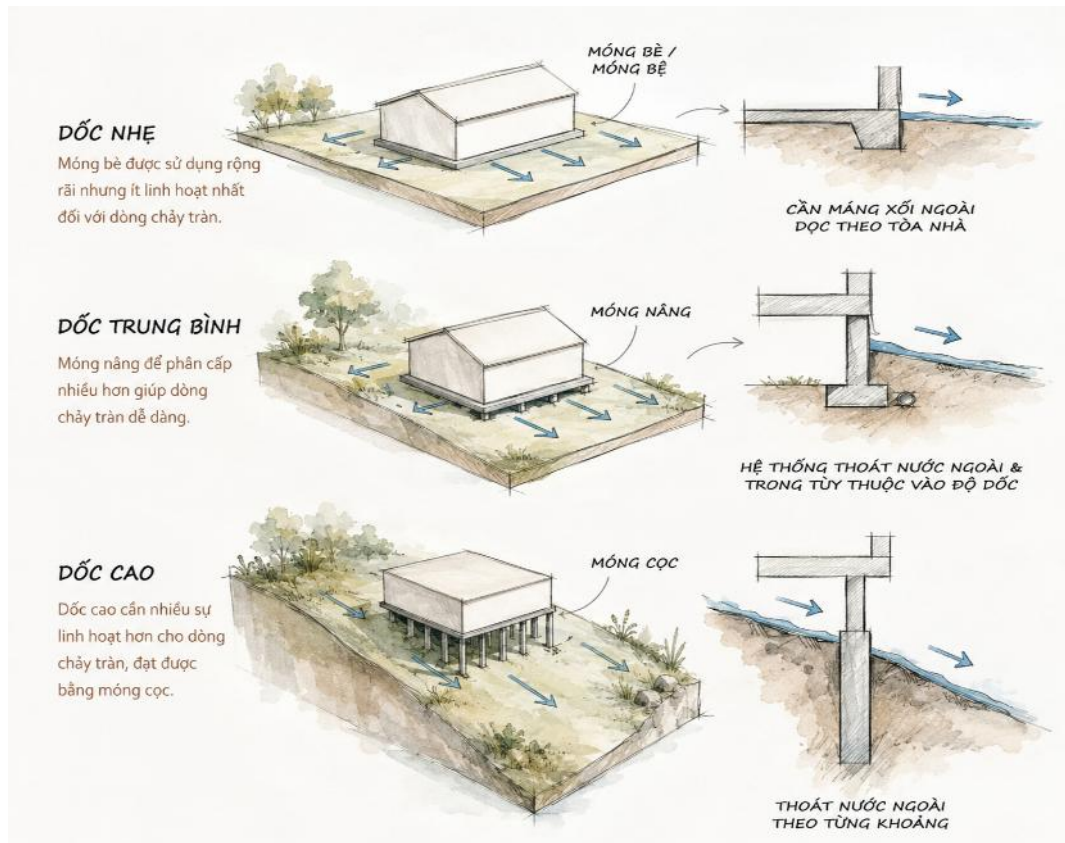
- Khảo sát địa kỹ thuật nghiêm ngặt trước khi xây dựng.
- Hạn chế đào đắp và giảm xáo trộn địa hình tự nhiên.
- Ưu tiên công trình nhỏ, phân tán và giạt cấp theo địa hình (Hình 5)
- Sử dụng giải pháp kết cấu phù hợp để giảm thiểu việc đào đắp đất đá (Hình 6)
- Thiết kế hệ thống thoát nước phù hợp với điều kiện địa hình (Hình 7).
- Bảo tồn và phục hồi thảm thực vật nhằm tăng ổn định mái dốc.



Hình 5. Bố trí công trình công trình giạt cấp theo địa hình



Hình 6. Các giải pháp kết cấu giúp giảm thiểu việc đào đắp đất đá (sử dụng hệ cột, dầm consol, làm tầng hầm)



Hình 7. Giải pháp móng và thoát nước theo độ dốc địa hình (Theo www.Kaarwan.com)

Hiện nay, ở Việt Nam cũng đã bắt đầu nguyên tắc thiết kế thích ứng địa hình đang ngày càng được quan tâm như một hướng tiếp cận bền vững đối với vùng đồi núi. Thay vì cải tạo địa hình, công trình được định hướng bám theo địa hình tự nhiên nhằm hạn chế đào đắp và giảm tác động đến môi trường địa kỹ thuật. Một số dự án, đặc biệt các khu resort miền núi đã áp dụng giải pháp đang được áp dụng gồm bố trí nhà giạt cấp theo sườn dốc, nhà lệch tầng nhằm giảm can thiệp vào địa hình tự nhiên (



Hình 8). Đồng thời, các giải pháp thoát nước, bảo tồn thảm thực vật và kiểm soát ổn định mái dốc cũng ngày càng được chú trọng nhằm nâng cao an toàn công trình và hướng tới phát triển bền vững cho khu vực miền núi Việt Nam.



Hình 8. Ví dụ về thiết bám địa hình - Sapa Jade Hill (Ảnh sưu tầm)

Kết luận và kiến nghị

Đô thị hóa tại vùng đồi núi Việt Nam đang làm gia tăng nguy cơ trượt lở đất và mất ổn định mái dốc, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và mưa cực đoan ngày càng gia tăng. Ngoài các yếu tố tự nhiên, hoạt động đào cắt địa hình, san gạt mặt bằng và thay đổi thoát nước là các nguyên nhân quan trọng làm gia tăng rủi ro tai biến.

Để phát triển bền vững, cần chuyển sang mô hình quy hoạch và xây dựng thích ứng địa hình tự nhiên, tăng cường khảo sát địa kỹ thuật, tích hợp phân vùng nguy cơ trượt lở và ứng dụng công nghệ hiện đại trong quản lý và cảnh báo tai biến. Đây là định hướng cần thiết nhằm nâng cao khả năng chống chịu và phát triển bền vững cho các khu vực miền núi Việt Nam trong tương lai.

Tài liệu tham khảo

Fernandes, V. (2017). "Tips for Building on a Sloped Terrain."

<https://www.firstinarchitecture.co.uk/tips-for-building-on-a-sloped-terrain/>.

Kapoor, N., V. K. Bansal and M. Jain (2020). "Development of creative problem solving-based framework for site planning in hill areas". *Frontiers of Architectural Research* **9**(2): 450-466.

Kumar, A. and Pushplata (2015). "Building regulations for hill towns of India." *HBRC Journal* **11**(2): 275-284.

Li, Y., D. Shen and R. Zhang (2020). "The Beauty of Slope Land: Practical Study on Aesthetic Features in Landscape Design of Mountain Residential District." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, **780**(5): 052018.

Wodonga, C. o. (2019). *Design Guidelines for Building on Sloping Land*. City of Wodonga, City of Wodonga.

www.24h.com.vn (2024) "Yên Bái công bố tình huống khẩn cấp về thiên tai."

www.nhandan.vn (2023) "Toàn cảnh vụ sạt lở ta luy và trượt đất nghiêm trọng tại Đà Lạt."

www.thanhvien.vn (2021). Sạt lở đất nghiêm trọng ở Đà Lạt, di dời khẩn cấp 7 hộ gia đình.

www.vietnam.vn (2025) "Phường Cam Đường di chuyển khẩn cấp 16 hộ dân khỏi vùng nguy hiểm sạt lở."

Zeng, G., D. Zhao, X. Chen and X. Wang (2023). "Architectural design methods for mountainous environments." *Journal of Asian Architecture and Building Engineering* **22**(5): 2596-2612.



Eurocode 7 thế hệ 2 và việc chuyển dịch tiêu chuẩn xây dựng tại Việt Nam

The second-generation Eurocode 7 and the transition of geotechnical design standards in Vietnam

Phạm Thế Anh

Trường đại học Xây dựng Hà Nội. E-mail: anhpt@huce.edu.vn

Tóm Tắt

Từ năm 2022, Việt Nam đã bắt đầu quá trình biên soạn các tiêu chuẩn thuộc lĩnh vực xây dựng định hướng theo tiêu chuẩn châu Âu thông qua việc biên soạn các TCVN dựa trên Eurocodes. Một số tiêu chuẩn đã được chuyển dịch và đang trong quá trình phê duyệt. Tuy nhiên, hệ thống Eurocodes hiện đang bước sang thế hệ thứ hai, với nhiều thay đổi quan trọng về triết lý thiết kế và cấu trúc tiêu chuẩn, đặc biệt đối với Eurocode 7 (EC7) trong lĩnh vực địa kỹ thuật. Do Eurocodes là hệ thống tiêu chuẩn khung, các thay đổi này sẽ ảnh hưởng đáng kể tới quá trình biên soạn và áp dụng TCVN theo định hướng Eurocodes tại Việt Nam. Bài báo tổng hợp các thay đổi chính của EC7 Gen 2, phân tích tác động đối với quá trình chuyển dịch tiêu chuẩn tại Việt Nam, đồng thời đề xuất một số định hướng tiếp cận và triển khai trong giai đoạn tới.

Abstract

Since 2022, Vietnam has begun the process of developing construction standards aligned with European standards through the drafting of Vietnamese Standards (TCVN) based on the Eurocodes. Some standards have been translated and are currently in the approval process. However, the Eurocodes system is now transitioning to its second generation, with significant changes in design philosophy and standard structure, particularly for Eurocode 7 (EC7) in the field of geotechnical engineering. As the Eurocodes are a framework-based system, these changes will have a substantial impact on the process of developing and applying TCVN aligned with Eurocode orientation in Vietnam. This paper summarizes the key changes in EC7 Gen 2, analyzes their impact on the standardization transition process in Vietnam, and proposes several approaches and implementation directions for the coming period.

Keywords: Eurocodes, Eurocode 7, thế hệ 2, biên soạn tiêu chuẩn, địa kỹ thuật.

Mở đầu

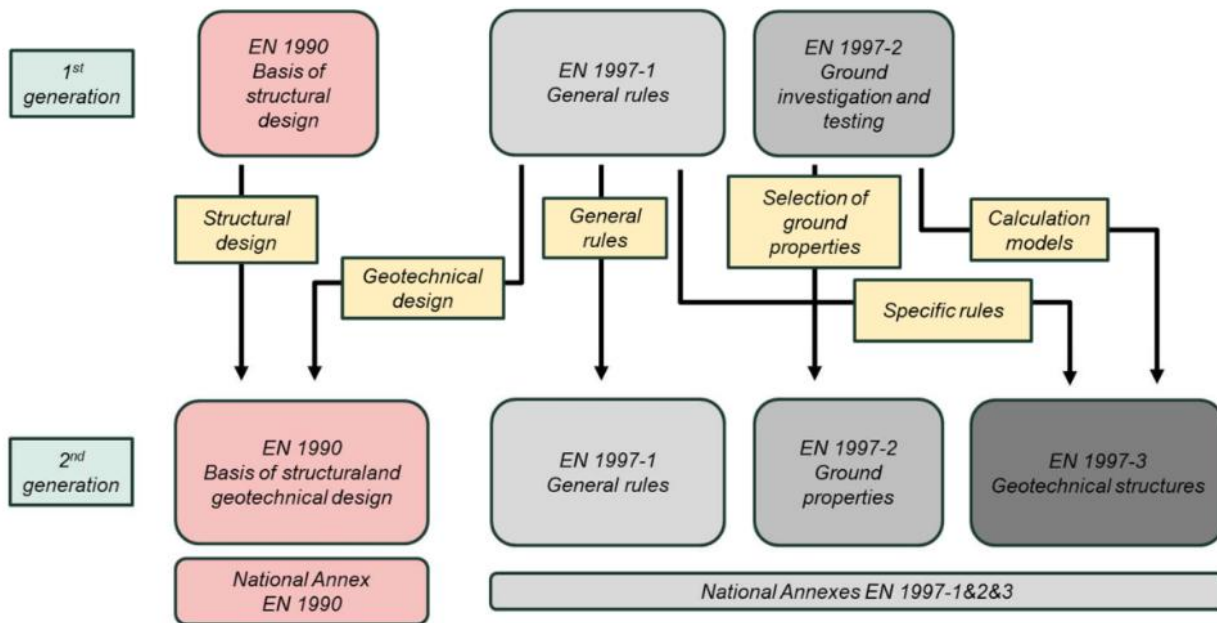
Theo Quyết định 390/QĐ-BXD năm 2022 [1], Việt Nam đang biên soạn các TCVN định hướng theo tiêu chuẩn Châu Âu thông qua việc biên soạn TCVN dựa trên Eurocodes, áp dụng song song với TCVN hiện hữu và từng bước đánh giá để chọn hệ thống áp dụng lâu dài. Tính tới nay có một số tiêu chuẩn Eurocodes như EC0, EC7 đã chuyển dịch thành dự thảo TCVN [2,3,4] đang chờ phê duyệt và đã chuyển thành TCVN như bộ TCVN 13594 [5].

EC7 là bộ tiêu chuẩn thiết kế địa kỹ thuật thuộc hệ thống Eurocodes do Ủy ban Tiêu chuẩn hóa Châu Âu phát triển nhằm thống nhất triết lý thiết kế công trình tại châu Âu. Bộ tiêu chuẩn này được xây dựng trên nền tảng thiết kế theo trạng thái giới hạn (Limit State Design) trong đó độ tin cậy để kết cấu thỏa mãn một trạng thái giới hạn quy định được kiểm tra bằng phương pháp hệ số an toàn riêng phần. Vì Eurocodes là tiêu chuẩn khung nên mỗi quốc gia chấp nhận sẽ phải biên soạn phiên bản tiêu chuẩn quốc gia, và ban hành các tài liệu như phụ lục quốc gia (National Annex) và các tài liệu hướng dẫn thiết kế. Ví



dự, ở Đức sử dụng các tiêu chuẩn DIN EN, DIN 1054, EAB, EBGeo; ở Pháp sử dụng NF EN, CEREMA; ở Anh sử dụng các tiêu chuẩn BS EN, CIRIA, ICE.

Phiên bản chính thức đầu tiên của EC7 ban hành vào năm 2004, thường được gọi là EC7 Generation 1 (Gen 1) [6], bao gồm hai phần chính: EN 1997-1 “Quy định chung” và EN 1997-2 “Khảo sát và thí nghiệm hiện trường”. Một trong những đặc điểm nổi bật nhất của EC7 Gen 1 là các lựa chọn thiết kế (Design Approaches) DA1, DA2 và DA3, trong đó các hệ số an toàn riêng phần được áp dụng theo các cách khác nhau lên tải trọng, sức kháng và thông số đất. Sau hơn hai thập kỷ áp dụng, cộng đồng địa kỹ thuật châu Âu đã ghi nhận nhiều tồn tại trong EC7 Gen 1 liên quan đến sự phức tạp của hệ số riêng phần, và sự không thống nhất giữa các quốc gia [7]. Trên cơ sở đó, EC7 Generation 2 (Gen 2) [8] được phát triển với mục tiêu hiện đại hóa triết lý thiết kế địa kỹ thuật, tăng tính hài hòa giữa các quốc gia, hỗ trợ mô hình hóa số và tăng cường quản lý độ không chắc chắn của nền đất [9]. Tổng quan về tiêu chuẩn EC7 ở hai thế hệ thể hiện ở Hình 1.



Hình 1. Sự thay đổi tiêu chuẩn Eurocode 7 (Bond et al, 2019 [10])

Bài báo tổng hợp các thay đổi chính của EC7, đồng thời phân tích tác động đối với quá trình chuyển dịch các tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam định hướng theo Eurocodes. Trên cơ sở đó, một số đề xuất cho việc chuyển dịch và áp dụng tại Việt Nam được kiến nghị.

So sánh tổng quan EC7 thế hệ 1 và thế hệ 2

So sánh tổng quan về tiêu chuẩn EC thế hệ 1 và thế hệ 2 được thể hiện ở Bảng 1. Sau thời gian dài áp dụng thực tế, EC7 Gen 1 bộc lộ nhiều hạn chế đáng kể [11]:

- Thứ nhất, hệ thống Design Approaches được đánh giá là quá phức tạp. Ví dụ, DA1 lại bao gồm hai tổ hợp riêng biệt (Combination 1 và Combination 2), dẫn đến việc kỹ sư phải xử lý nhiều trường hợp hệ số khác nhau. Điều này gây khó khăn cho kiểm tra thiết kế, đào tạo kỹ sư và phát triển phần mềm tính toán. Hiện tại, tùy thuộc vào từng quốc gia, người ta được phép sử dụng bất kỳ phương pháp thiết kế nào và các hệ số một phần tương ứng. Điều này, theo một nghĩa nào đó, mang lại cảm giác rằng việc thống nhất đã không hoàn toàn thành công.
- Thứ hai, mức độ phụ thuộc vào Phụ lục quốc gia (National Annexes) quá lớn. Mỗi quốc gia có thể lựa chọn hệ số bán phần và phương pháp áp dụng riêng, dẫn đến tình trạng thiếu thống nhất trên toàn châu Âu.



- Thứ ba, EC7 Gen 1 còn tồn tại một số hạn chế khi áp dụng cho mô hình số [12]. Trong các mô hình FEM địa kỹ thuật, việc giảm trực tiếp các thông số đất như góc ma sát trong hoặc lực dính có thể làm khó khăn trong mô phỏng ứng xử của vật liệu.

Bảng 1. So sánh tổng quan về tiêu chuẩn EC7 thế hệ 1 và thế hệ 2

Nội dung	EC7 Gen 1	EC7 Gen 2
Tên tiêu chuẩn	EN 1997	EN 1997
Số phần	2 phần	3 phần
Cấu trúc	Phần 1 + Phần 2	Phần 1 + Phần 2 + Phần 3
Phần 1	Quy tắc chung: cơ sở thiết kế địa kỹ thuật, trạng thái giới hạn (ULS/SLS), các lựa chọn thiết kế (Design Approaches), hệ số bán phần	Quy tắc chung: cơ sở thiết kế địa kỹ thuật, phương pháp kiểm tra (verification methods), phương pháp số, độ tin cậy, thi công và tuổi thọ công trình
Phần 2	Khảo sát và thí nghiệm địa kỹ thuật: thí nghiệm hiện trường, thí nghiệm trong phòng, báo cáo khảo sát	Khảo sát nền đất và thông số địa kỹ thuật: các thông derived values và representative values của nền và mô hình nền (Ground model)
Phần 3	Không có	Thiết kế và kiểm tra kết cấu địa kỹ thuật: móng nông, móng cọc, tường chắn, mái dốc, đất có cốt, neo đất, hầm, gia cố nền, ...
Thời gian ban hành	2004	2024–2025
Triết lý thiết kế chính	Thiết kế dựa trên hệ số riêng phần (partial factor-based design) và giá trị đặc trưng (characteristic values)	Thiết kế đơn giản hóa hơn, bỏ các lựa chọn thiết kế (DA1,2,3), dùng giá trị đại diện (representative values), tăng cường sử dụng hệ số sức kháng hơn.
Nội dung thiết kế công trình	Chủ yếu tập trung trong Part 1	Chuyển mạnh sang Part 3 theo từng loại công trình
Representative value	Có đề cập nhưng chưa là khái niệm trung tâm	Trở thành khái niệm cốt lõi trong verification
Characteristic value	Là khái niệm trung tâm để xác định design value	Trở thành một dạng của representative value
Derived value	Chưa được định nghĩa hệ thống rõ ràng	Được định nghĩa rõ: giá trị suy diễn từ measured values bằng lý thuyết, correlation hoặc kinh nghiệm
Verification methods	Chủ yếu dựa trên Design Approaches và partial factors	Mở rộng sang MFA, RFA, numerical methods và reliability-based verification
Khảo sát địa kỹ thuật	Chủ yếu phục vụ xác định characteristic values	Liên kết trực tiếp với Ground Model và xác định độ bất định
Độ không chắc chắn	Chưa được xem xét một cách hệ thống	Được xem xét rõ hơn thông qua lý thuyết xác suất và lý thuyết độ tin cậy

EC7 Gen 2 được phát triển nhằm giải quyết các hạn chế của thế hệ đầu tiên và cập nhật theo xu hướng địa kỹ thuật hiện đại. Các mục tiêu chính của EC7 Gen 2 bao gồm: đơn giản hóa hệ thống kiểm tra trạng thái giới hạn, giảm số lượng phụ lục quốc gia, tăng mức độ hài hòa giữa các quốc gia châu Âu, cập nhật các tiến bộ về khoa học kỹ thuật. Ngoài ra, EC7 Gen 2 còn tăng cường nội dung mô hình nền (Ground Model) với các định nghĩa rõ ràng hơn và các mô hình thiết kế địa kỹ thuật.

Lộ trình triển khai Eurocode thế hệ 2 và kinh nghiệm từ Singapore

Theo lộ trình chính thức của Ủy ban Tiêu chuẩn hóa Châu Âu, EC7 Gen 2 dự kiến được ban hành vào ngày 30/09/2027 và EC7 Gen 1 sẽ bị rút bỏ vào ngày 30/03/2028 [13]. Trong khi đó, Việt Nam hiện đang biên soạn các tiêu chuẩn xây dựng định hướng theo Eurocodes từ năm 2022 [14]. Việc chuyển dịch này không đơn thuần là dịch tiêu chuẩn mà thay đổi các hệ sinh thái đi kèm như:

- triết lý thiết kế;



- đào tạo kỹ sư;
- hệ thống thẩm tra, phê duyệt dự án;
- hệ sinh thái phần mềm tính toán;
- văn hóa thiết kế kỹ thuật.

Singapore là một trong những quốc gia ngoài EU áp dụng Eurocodes khá mạnh mẽ. Họ đã chuyển bộ tiêu chuẩn châu Âu như EN 1990, EN 1991, EN 1992, EN 1993, EN 1997 thành hệ tiêu chuẩn Singapore [15]. Singapore xây dựng phụ lục quốc gia phù hợp và phát triển các tài liệu hướng dẫn chi tiết theo Eurocodes. Ngoài ra, các chương trình đào tạo và hội thảo chuyên môn cũng được tổ chức thường xuyên với sự tham gia của nhiều chuyên gia quốc tế, đặc biệt trong giai đoạn EC Gen 2 đang được phát triển [16].

Việc chuyển đổi sang EC7 Gen 2 không chỉ là chuyển đổi hệ thống tiêu chuẩn mà còn liên quan đến đào tạo kỹ sư, phương pháp thiết kế, quy trình thẩm tra thiết kế và khả năng ứng dụng mô hình tính toán số trong địa kỹ thuật. Đối với Việt Nam, quá trình chuyển đổi này đặt ra nhiều yêu cầu mới về kỹ thuật, quản lý và nguồn nhân lực, đặc biệt trong bối cảnh EC7 Gen 2 đang hướng mạnh tới thiết kế theo độ tin cậy và mô hình số.

Nhận xét và đề xuất

EC Gen 2 đại diện cho một bước chuyển lớn trong địa kỹ thuật hiện đại. Mặc dù EC7 Gen 2 vẫn đang trong quá trình hoàn thiện, nhưng sự thay đổi của nó sẽ có ảnh hưởng tới Việt Nam khi mà chúng ta đang trong quá trình chuyển dịch các tiêu chuẩn xây dựng theo Châu Âu. Việc chuyển dịch thành công không chỉ phụ thuộc vào việc dịch nội dung tiêu chuẩn mà còn đòi hỏi sự phát triển đồng bộ của toàn bộ hệ sinh thái kỹ thuật. Đối với Việt Nam, Eurocode thế hệ 2 vừa là thách thức vừa là cơ hội để:

- Hạn chế các bất cập đã được ghi nhận trong EC7 Gen 1;
- Tiếp cận các triết lý thiết kế địa kỹ thuật hiện đại;
- Hiện đại hóa hệ thống thiết kế và kiểm tra địa kỹ thuật;
- Thúc đẩy ứng dụng mô hình hóa trong thiết kế địa kỹ thuật.

Trong giai đoạn chuyển đổi hiện nay, Việt Nam cũng có một lợi thế nhất định do có thể tiếp cận trực tiếp các kinh nghiệm quốc tế và tránh lặp lại những hạn chế đã xuất hiện trong giai đoạn đầu áp dụng EC7 Gen 1 tại châu Âu. Trên cơ sở đó, trước các thay đổi của EC7 Gen 2, Việt Nam có thể xem xét ba định hướng chuyển dịch chính như sau:

- Phương án A – tiếp tục hoàn thiện chuyển dịch EC Gen 1: Ưu điểm của phương án này là có thể tận dụng khối lượng công việc đang triển khai, giúp quá trình chuyển dịch diễn ra nhanh hơn và thuận lợi hơn đối với cộng đồng kỹ sư trong giai đoạn đầu áp dụng. Tuy nhiên, hạn chế là hệ thống tiêu chuẩn có thể nhanh chóng trở nên lạc hậu khi EC7 Gen 2 được ban hành chính thức, dẫn tới nhu cầu cập nhật lớn trong thời gian ngắn. Đây là phương án ưu tiên mục tiêu sớm hình thành hệ thống tiêu chuẩn dựa trên Eurocodes.
- Phương án B – chuyển trực tiếp sang EC7 Gen 2: Ưu điểm của phương án này là tránh phải cập nhật nhiều lần và có khả năng tiếp cận trực tiếp hệ thống tiêu chuẩn thế hệ mới của châu Âu. Tuy nhiên, EC7 Gen 2 có mức độ phức tạp cao, nhiều nội dung vẫn đang trong quá trình hoàn thiện và hệ sinh thái kỹ thuật hỗ trợ chưa đầy đủ. Ngoài ra, việc chuyển dịch còn gặp khó khăn do thiếu chuyên gia có kinh nghiệm, tài liệu hướng dẫn quốc tế còn hạn chế và khối lượng chuyển dịch thuật ngữ kỹ thuật lớn. Đây là phương án có tính định hướng dài hạn nhưng đòi hỏi nguồn lực triển khai lớn.
- Phương án C – chuyển dịch theo hướng trung gian: Đây có thể là phương án phù hợp hơn với điều kiện hiện nay của Việt Nam. Theo đó, quá trình chuyển dịch EC Gen 1 vẫn tiếp tục được triển khai, đồng thời theo dõi và cập nhật định hướng phát triển của EC7 Gen 2 ngay từ giai đoạn đầu. Cách tiếp cận này giúp tránh phụ thuộc hoàn toàn vào tư duy của EC7 Gen 1 và tạo điều kiện để hệ thống TCVN được xây dựng theo hướng linh hoạt, thuận lợi cho việc cập nhật trong tương lai. Trong trường hợp này, EC7 Gen 1 được xem như bước chuyển tiếp nhằm tiếp cận dần triết lý thiết kế của Eurocodes.

Eurocodes là hệ thống tiêu chuẩn được phát triển trong thời gian dài, dựa trên sự tổng hợp của nhiều nghiên cứu, kinh nghiệm thiết kế và cơ sở hiệu chuẩn độ tin cậy. Do đó, quá trình tiếp cận và chuyển dịch



cần có thời gian nghiên cứu và thích nghi phù hợp. Tuy nhiên, để từng bước tiếp cận hệ thống Eurocodes thế hệ mới hiệu quả, Việt Nam có thể xem xét một số định hướng sau:

- Tiếp tục quá trình chuyển dịch tiêu chuẩn nhưng cần phân biệt rõ thế hệ Eurocode áp dụng. Ví dụ, các TCVN chuyển dịch từ EC7 Gen 1 cần ghi rõ phiên bản EN tương ứng.
- Thành lập nhóm chuyên môn theo dõi EC7 Gen 2 từ sớm, bao gồm việc nghiên cứu các bản dự thảo, các nghiên cứu hiệu chuẩn và kinh nghiệm xây dựng phụ lục quốc gia của các nước như Đức, Anh, Pháp, các nước Scandinavia và Singapore.
- Phát triển các tài liệu hướng dẫn thiết kế và tài liệu diễn giải kỹ thuật, không chỉ tập trung vào ví dụ tính toán mà còn giải thích các nội dung như triết lý thiết kế, độ không chắc chắn, độ tin cậy và ý nghĩa thống kê của các thông số thiết kế.
- Khuyến khích sự tham gia của các hội nghề nghiệp như VSSMGE, các trường đại học và tổ chức chuyên môn trong việc đào tạo kỹ sư, tổ chức hội thảo và phổ biến các triết lý thiết kế mới của EC7 Gen 2.

Tài liệu tham khảo

- [1] Quyết định số 390/QĐ-BXD ngày 12/5/2022 của Bộ Xây dựng về việc phê duyệt Định hướng và Kế hoạch biên soạn, hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) ngành xây dựng đến năm 2030.
- [2] Dự thảo TCVN chuyển dịch từ EN 1990.
https://ibst.vn/upload/documents/file_upload/1680753567TCVN-XXX1990.pdf (truy cập ngày 27/05/2026).
- [3] Dự thảo TCVN chuyển dịch từ EN 1997-1.
https://ibst.vn/upload/documents/file_upload/1682145827TCVN-xxxx7-1_ver.11-du-thao-web-.pdf (truy cập ngày 27/05/2026).
- [4] Dự thảo TCVN chuyển dịch từ EN 1997-2.
https://ibst.vn/upload/documents/file_upload/1668679079TCVN-...-EN-1997-2-1-.pdf (truy cập ngày 27/05/2026).
- [5] TCVN 13594:2023.
<https://tieuchuan.vsqi.gov.vn/tieuchuan/view?sohieu=TCVN+13594-9%3A2023> (truy cập ngày 27/05/2026).
- [6] EN 1997-1:2004 and EN 1997-2:2007. Eurocode 7: Geotechnical Design – Part 1: General Rules; Part 2: Ground Investigation and Testing.
- [7] Hara, T., & Honjo, Y. (2010). “Application of Reliability-Based Design Methods in Eurocode 7 and AASHTO Specifications.” *Japanese Geotechnical Engineering Magazine*, 58(12), 62–69.
- [8] BS EN 1997-1:2024, Eurocode 7 – Geotechnical Design – Part 1: General Rules; BS EN 1997-2:2024, Part 2: Ground Properties; EN 1997-3:2025, Part 3: Geotechnical Structures.
- [9] European Commission JRC. “Second Generation Eurocodes – What’s New?”
<https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/2nd-generation/second-generation-eurocodes-what-new> (truy cập ngày 27/05/2026).
- [10] Bond, A.J., Jenner, C., and Moormann, C. (2019). “Tomorrow’s Geotechnical Toolbox: EN 1997-3:202x Geotechnical Structures.” *Proceedings of the 17th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Reykjavik, Iceland.
- [11] Raposo De M. Do N. E. S. De Sotto Mayor, M., Dimova, S., Athanasopoulou, A., Iannaccone, S., and Markova, J. (2019). *State of Harmonised Use of the Eurocodes*. Publications Office of the European Union, Luxembourg. ISBN 978-92-76-02911-3. DOI: 10.2760/22104, JRC115181.
- [12] Yeow, H.C., and Katsigiannis, G. (2024). “Application of Numerical Modelling in Next Generation of Eurocode 7.” *Proceedings of the XVIII ECSMGE 2024*. DOI: 10.1201/9781003431749-383.
- [13] European Commission JRC. “Second Generation of the Eurocodes.”
<https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/second-generation-eurocodes> (truy cập ngày 27/05/2026).
- [14] Quyết định số 390/QĐ-BXD ngày 12/5/2022 của Bộ Xây dựng về việc phê duyệt Định hướng và Kế hoạch biên soạn, hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn quốc gia (TCVN) ngành xây dựng đến năm 2030.
- [15] “Implementation of Structural Eurocodes in Singapore.”
http://www.ssss.org.sg/~sssorgs/images/stories/docs/IMPLEMENTATION_OF_STRUCTURAL_EUROCODES_IN_SINGAPORE.pdf (truy cập ngày 27/05/2026).
- [16] “2nd EU-ASEAN Regional Workshop on Eurocodes – Singapore, 9–10 October 2023.”
<https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/news/2nd-eu-asean-regional-workshop-eurocodes-singapore-9-10-october-2023> (truy cập ngày 27/05/2026).



Phát triển mạng Fully Convolutional Networks ứng dụng phát hiện khuyết tật vỏ hầm

Developing Fully Convolutional Networks for Tunnel Lining Defect Detection

Lê Đình Việt

Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng. E-mail: ldviet@dut.udn.vn

Tóm Tắt

Kiểm tra không phá hủy bằng radar xuyên đất (GPR) đóng vai trò quan trọng trong việc xác định các khuyết tật trong vỏ hầm như hốc rỗng, bong tách lớp và lớp trung gian. Nghiên cứu này giới thiệu phần mềm mô phỏng KIT-GPR và mạng Fully Convolutional Networks (FCN) để phát hiện khuyết tật tự động. KIT-GPR sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn miền thời gian (FDTD) để mô phỏng lan truyền sóng điện từ qua cấu trúc hầm đa lớp. FCN được thiết kế với đầu vào 320×320 và 256 lớp đầu ra, đạt sai số RMSE $\approx 0,8$ ở hầu hết các kịch bản. Vị trí bong tách dự đoán từ B-scan một hầm thực tế tại Hàn Quốc khớp chặt với kết quả nội soi, cho thấy tiềm năng ứng dụng của FCN trong phát hiện khuyết tật sớm.

Abstract

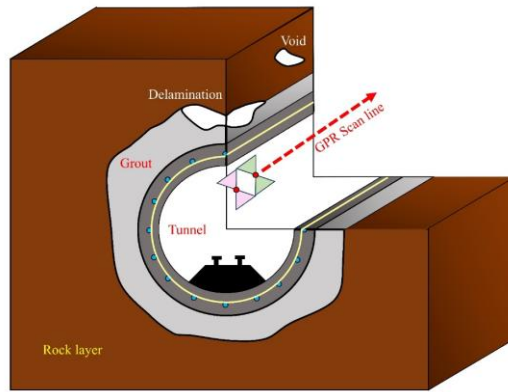
Non-destructive testing using ground penetrating radar (GPR) plays a vital role in identifying defects in tunnel linings, such as cavities, delamination, and interlayers. This study introduces KIT-GPR, a numerical simulation tool based on the FDTD method, and a fully convolutional network (FCN) for automated defect detection. A modified FCN trained using 1,000 paired B-scan and permittivity datasets achieves RMSE ≈ 0.8 . Predicted delamination locations from real tunnel B-scan data closely align with endoscopic imaging results.

Keywords: radar xuyên đất, mạng tích chập đầy đủ, khuyết tật cục bộ, vỏ hầm.

Mở đầu

Quá trình đô thị hóa, đặc biệt là sự phát triển của các siêu đô thị, đã thúc đẩy việc xây dựng ngày càng nhiều đường hầm – các công trình ngầm thiết yếu phục vụ hạ tầng giao thông (Le và cộng sự, 2026). Điều kiện địa chất dưới lòng đất tiềm ẩn nhiều rủi ro: dao động mực nước ngầm có thể dẫn đến các khuyết tật cục bộ như hốc rỗng trong lớp vữa phun (grout) hay bong tách lớp giữa vữa phun và bê tông. Nếu các khuyết tật này mở rộng và kết hợp, chúng sẽ đe dọa nghiêm trọng an toàn vận hành, đặc biệt với các công trình ngầm lâu năm.

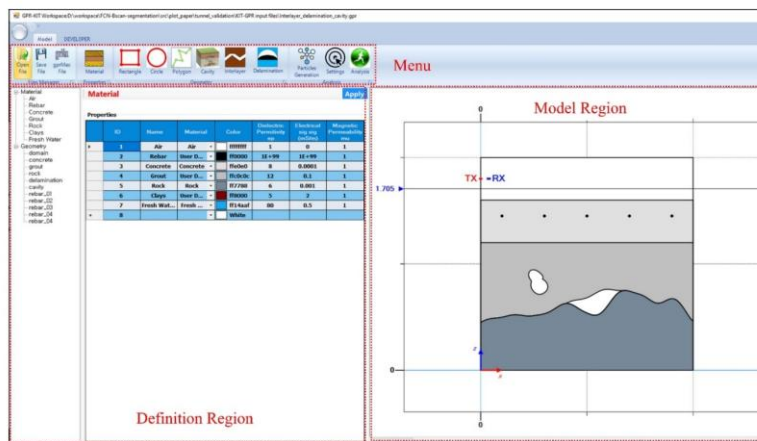
Kiểm tra không phá hủy (NDT) bằng GPR là phương pháp hàng đầu để phát hiện khuyết tật vỏ hầm (Haack và cộng sự, 1995; Dawood và cộng sự, 2020). Các phương pháp học sâu gần đây như CNN (Qin và cộng sự, 2021), mô hình đa nhiệm M-YOLACT (Liu và cộng sự, 2023) và hệ thống TunGPR tích hợp BIM (Zhu và cộng sự, 2024) đã được đề xuất. Tuy nhiên, bộ dữ liệu huấn luyện chất lượng cao và công cụ mô phỏng tự động vẫn là thách thức lớn. Bài báo này đề xuất kết hợp KIT-GPR và FCN để giải quyết đồng thời hai bài toán: tạo dữ liệu mô phỏng tự động và dự đoán vị trí khuyết tật từ B-scan.



Hình 1. Phát hiện các khuyết tật cục bộ trong vỏ hầm bằng GPR (Le và cộng sự, 2026)

Phần mềm mô phỏng KIT-GPR và thuật toán Perlin Noise

KIT-GPR là phần mềm mô phỏng GPR được phát triển bằng C#, dựa trên phương pháp FDTD (Irving và Knight, 2006). Phần mềm gồm 5 mô-đun: (1) khai báo vật liệu, (2) xây dựng hình học, (3) khai báo tham số ăng-ten, (4) tính toán và (5) xuất kết quả. Các tham số ăng-ten được trích dẫn từ thư viện mở gprMax (Warren và cộng sự, 2016). Khoảng cách bộ phát-thụ sóng được thiết lập 76 mm, tương ứng với ăng-ten GPR MALA 1.2 GHz với tần số kích thích tối ưu 978 kHz.

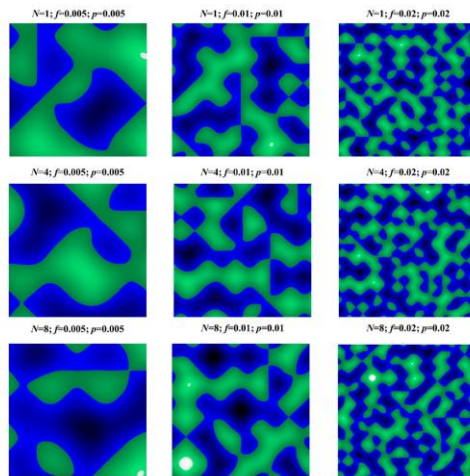


Hình 2. Giao diện người dùng đồ họa (GUI) của phần mềm KIT-GPR (Le và cộng sự, 2026)

Điểm đột phá của KIT-GPR là tích hợp thuật toán Perlin Noise (Perlin, 2002) – công cụ tạo nội dung số ngẫu nhiên tự nhiên phổ biến trong đồ họa game – để mô phỏng hình dạng lớp trung gian (interlayer), hốc rỗng và bong tách. Thuật toán tạo ra các đường cong phức tạp, gần với thực tế hơn so với phương pháp Bézier truyền thống (Zhu và cộng sự, 2024). Bộ tham số Perlin Noise gồm biên độ, tần số, persistence và octaves được điều chỉnh để đa dạng hóa bộ dữ liệu huấn luyện (Le và cộng sự, 2026).

Các kịch bản khuyết tật và đánh giá KIT-GPR

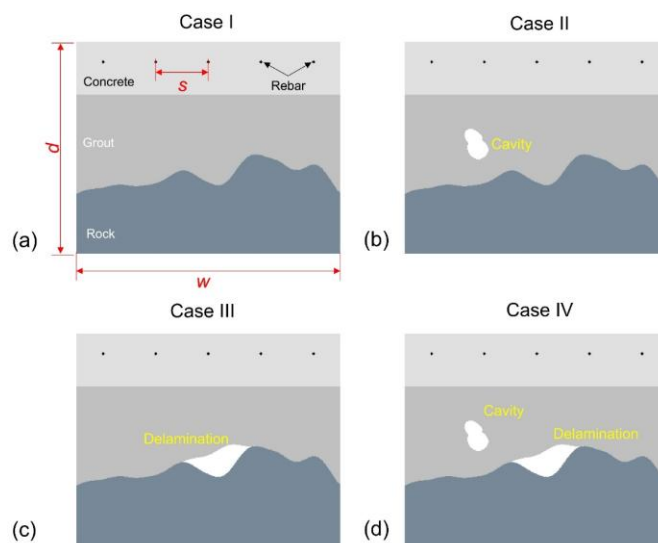
Bốn kịch bản khuyết tật tổng hợp được xây dựng để kiểm chứng KIT-GPR (Le và cộng sự, 2026): (a) chỉ có lớp trung gian (interlayer), (b) interlayer kết hợp hốc rỗng, (c) interlayer kết hợp bong tách và (d) kết hợp cả ba dạng. Mỗi mô hình gồm ba lớp chính: bê tông cốt thép, vữa phun (grout) và đá (rock). Khoảng cách cốt thép 400 mm, lớp cốt thép cách mặt trên 150 mm. Bước quét ăng-ten 0,01 m trên chiều rộng mô hình 2 m, bước thời gian $\Delta t = 8,33 \times 10^{-12}$ giây. Các thông số vật liệu được trình bày trong Bảng 1.



Hình 3. Bản đồ độ cao sử dụng Perlin Noise 2D với các tham số khác nhau (Le và cộng sự, 2026)

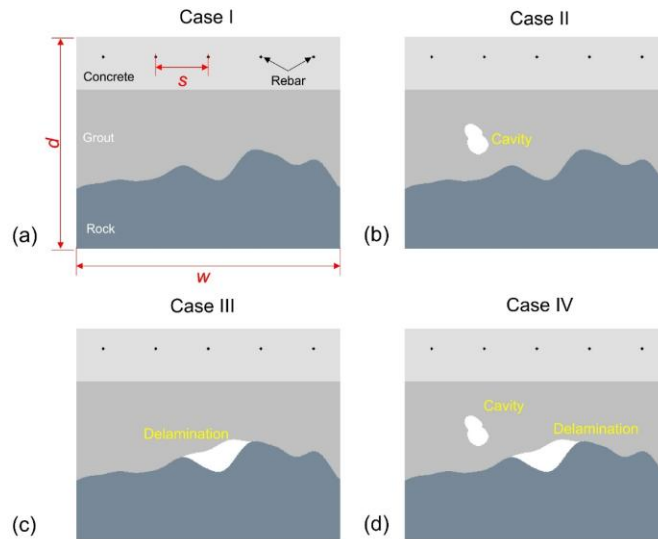
Bảng 1 Thuộc tính vật liệu cho các kịch bản mô phỏng (Le và cộng sự, 2026)

Vật liệu	Hằng số điện môi tương đối	Độ dẫn điện (mS/m)
Không khí (hốc, tách)	1	0
Bê tông	8	0,0001
Đá (Rock)	6	0,001
Vữa phun (Grout)	12	0,1

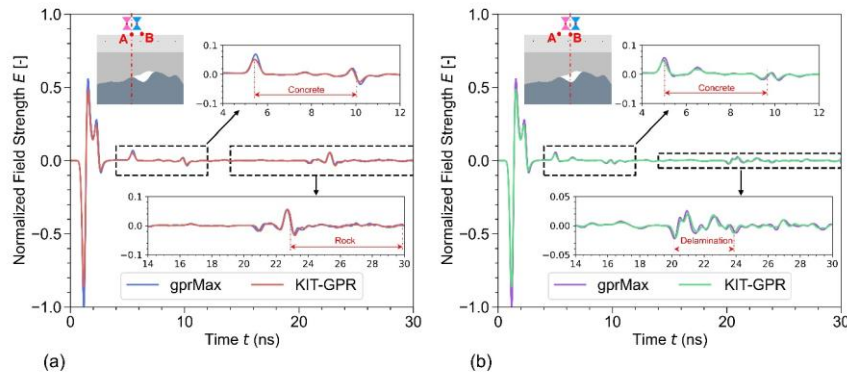


Hình 4. Các kịch bản mô phỏng: (a) Chỉ interlayer, (b) Interlayer + hốc rỗng, (c) Interlayer + bong tách, (d) Kết hợp cả ba (Le và cộng sự, 2026)

Kết quả so sánh A-scan giữa KIT-GPR và gprMax (Warren và cộng sự, 2016) cho thấy sự tương đồng cao ở cả bốn kịch bản. KIT-GPR phát hiện chính xác tín hiệu phản xạ từ hốc rỗng và vùng bong tách, xác nhận độ tin cậy của công cụ (Le và cộng sự, 2026). Hệ số khuếch đại (gain factor) được áp dụng để tăng cường biên độ sóng phản xạ, cải thiện khả năng nhận dạng các đặc trưng quan trọng như cốt thép, hốc và bong tách trong B-scan.



Hình 5. So sánh A-scan giữa KIT-GPR và gprMax: (a) Kịch bản I – Chỉ interlayer, (b) Kịch bản II – Interlayer + hốc rỗng (Le và cộng sự, 2026)



Hình 6. B-scan với hệ số khuếch đại tín hiệu cho bốn kịch bản (Le và cộng sự, 2026)

Kiến trúc và cấu hình mô hình FCN

Mạng tích chập đầy đủ (FCN) (Long và cộng sự, 2015) được thiết kế để dự đoán bản đồ phân bố hằng số điện môi từ dữ liệu B-scan (Le và cộng sự, 2026). Đầu vào là ma trận 320×320 (chuẩn hóa [0;1]), trong đó mỗi cột là một A-scan tại một vị trí quét. Ma trận đích là bản đồ hằng số điện môi 320×320 được tạo tự động bởi KIT-GPR. So với GPRInvNet (Liu và cộng sự, 2021) sử dụng 432.000 cặp dữ liệu với đầu vào hình chữ nhật, FCN của nghiên cứu này chỉ cần 1.000 cặp với ma trận vuông, linh hoạt hơn cho dữ liệu thực tế có kích thước bất kỳ.

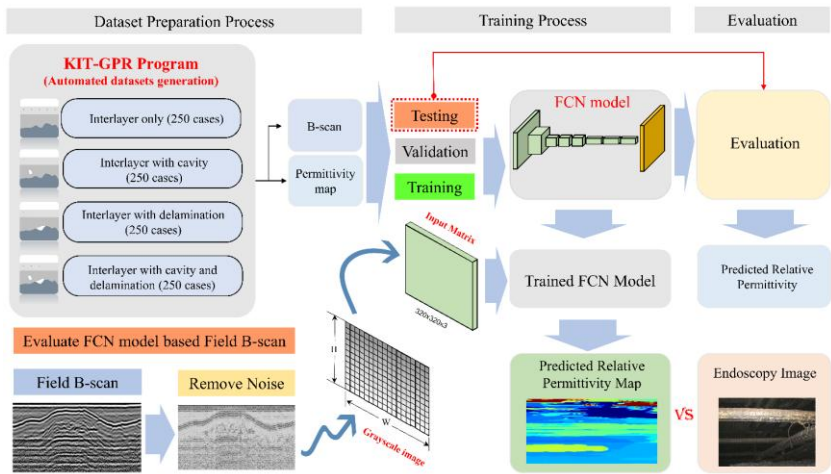
Mô hình FCN sử dụng trọng số huấn luyện trước từ VGG-16 (Simonyan và Zisserman, 2014). Thay vì nhãn văn bản, nghiên cứu đề xuất 256 lớp tương ứng với hằng số điện môi 0–25,5 (cốt thép = 25,5). Kiến trúc FCN gồm: (1) khối tích chập nén thông tin từ 320×320×3 xuống 10×10×2048; (2) khối giải tích chập tái tạo bản đồ phân giải cao qua các skip connection (Le và cộng sự, 2026). Bộ tối ưu hóa Adam (lr = 0,0001), hàm mất mát BCELoss, lịch giảm tốc độ học theo cấp số nhân ($\gamma = 0,985$), huấn luyện trong 1.000 epoch.

Tạo dữ liệu huấn luyện tự động với KIT-GPR

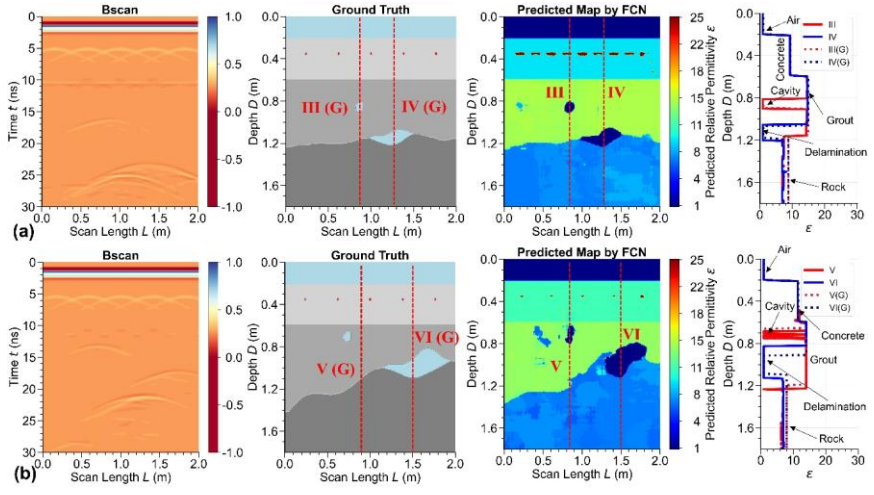
KIT-GPR tích hợp công cụ tạo dữ liệu tự động cho 4 kịch bản (250 mô hình/kịch bản, tổng 1.000 mô hình) (Le và cộng sự, 2026). Thuật toán phát hiện bong tách tự động: xác định điểm cong lồi/lõm trên đường interlayer → tìm tam giác lớn nhất → lấy hai điểm đáy làm điểm đầu/cuối → kết nối bằng Perlin Noise 1D.



Các tham số vật liệu được ngẫu nhiên hóa trong dải quy định (đá: $\epsilon = 6-9$; bê tông: $\epsilon = 9-12$; grout: $\epsilon = 12-15$). Tập dữ liệu phân chia: 80% huấn luyện, 10% kiểm định, 10% kiểm tra, xáo trộn 100 lần trước khi phân chia.



Hình 7. Sơ đồ kiến trúc mạng FCN để dự đoán khuyết tật cục bộ trong vỏ hầm (Le và cộng sự, 2026)



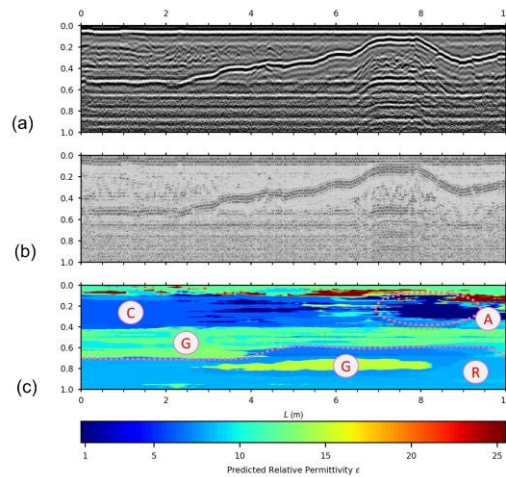
Hình 8. Các bước phát hiện bong tách tự động dựa trên đường interlayer (Le và cộng sự, 2026)

Kết quả dự đoán và đánh giá mô hình FCN

Mô hình FCN đạt độ chính xác cao ở các trường hợp khuyết tật đơn lẻ. RMSE thấp nhất đạt 0,814 ở kịch bản interlayer + bong tách. Ngược lại, RMSE tăng cao (2,706–2,993) khi hốc rỗng nằm gần vùng bong tách hoặc tiếp giáp bê tông, do sóng điện từ bị suy giảm khi xuyên qua bê tông mật độ cao (Le và cộng sự, 2026). Bảng 2 trình bày kết quả RMSE cho 8 tuyến mặt cắt đại diện.

Kiểm chứng trên dữ liệu đo thực tế tại Hàn Quốc

Dữ liệu B-scan từ đường hầm tại khu vực Gangwon, Hàn Quốc (đoạn S293) do Cơ quan An toàn Đất và Hạ tầng Hàn Quốc (KALIS) cung cấp được dùng để kiểm chứng FCN. Vùng bong tách đã được xác nhận bằng nội soi qua lỗ khoan: dài 4 m, rộng 2 m, chiều cao khe hở 0,3 m. Nhiều nền B-scan được loại bỏ bằng kỹ thuật Eigenvalue (Khan và Al-Nuaimy, 2010) trước khi đưa vào FCN. Kết quả dự đoán xác định được: vùng không khí (A), vữa phun (G), đá (R) và bê tông (C). Đặc biệt, vùng 7–8 m theo phương ngang có mật độ sóng phản xạ cao nhất, trùng khớp với vị trí bong tách xác nhận bằng nội soi (Le và cộng sự, 2026).



Hình 9. Kết quả dự đoán bản đồ hằng số điện môi bằng FCN cho các kích bản khuyết tật (Le và cộng sự, 2026)

Bảng 2. Phân tích thống kê RMSE: giá trị dự đoán FCN so với giá trị thực tế (Le và cộng sự, 2026)

Mặt cắt	RMSE
Tuyến I – chỉ interlayer	1,655
Tuyến II – interlayer + hốc + bong tách (hốc gần bong tách)	2,706
Tuyến III – theo trục hốc (hốc ở giữa grout)	1,456
Tuyến IV – theo trục bong tách (hốc ở giữa grout)	1,607
Tuyến V – theo trục hốc (hốc dưới bê tông)	2,196
Tuyến VI – theo trục bong tách (hốc dưới bê tông)	2,993
Tuyến VII – interlayer + hốc rỗng	2,373
Tuyến VIII – interlayer + bong tách	0,814

Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu này trình bày cách tiếp cận toàn diện kết hợp mô phỏng số GPR và FCN để phát hiện khuyết tật cục bộ trong vỏ hầm. Các đóng góp chính:

- Phát triển thành công KIT-GPR bằng C# với GUI linh hoạt, tích hợp Perlin Noise tạo dữ liệu huấn luyện đa dạng và thuật toán tự động tìm vị trí bong tách.
- Kết quả A-scan từ KIT-GPR khớp tốt với gprMax (Warren và cộng sự, 2016) ở cả bốn kích bản, xác nhận độ chính xác công cụ.
- FCN đạt độ chính xác cao với khuyết tật đơn lẻ (RMSE thấp), nhưng giảm hiệu quả trong các tình huống phức tạp do nhiễu tín hiệu.
- Kiểm chứng thực địa tại Hàn Quốc xác nhận FCN dự đoán vị trí bong tách phù hợp với kết quả nội soi.

Hướng nghiên cứu tiếp theo: tăng cường dữ liệu thực nghiệm; kết hợp GPR đa tần số; cải tiến FCN bằng cơ chế chú ý đa tỷ lệ (multi-scale attention) hoặc mô hình lai tích hợp kiến thức vật lý; mở rộng ứng dụng sang kiểm tra kết cấu đường ray và mặt đường bộ.

Tài liệu tham khảo

Dawood, T., Zhu, Z., Zayed, T. (2020). Deterioration mapping in subway infrastructure using sensory data of GPR. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 103, 103487.

Haack, A., Schreyer, J., Jackel, G. (1995). State-of-the-art of non-destructive testing methods for determining the state of a tunnel lining. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 10(4), 413–431.



- Irving, J., Knight, R. (2006). Numerical modeling of ground-penetrating radar in 2-D using MATLAB. *Computers and Geosciences*, 32(9), 1247–1258.
- Khan, U. S., Al-Nuaimy, W. (2010). Background removal from GPR data using eigenvalues. *Proceedings of ICGPR*, 1–5.
- Le, V. D., Go, G.-H., Pangavhane, S., & Yoo, C. K. (2026). Developing fully convolutional networks with permittivity-based class mapping for tunnel lining defects detection in ground penetration radar scan data. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 166(Part B), 113670. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.113670>
- Liu, B., Ren, Y., Liu, H., et al. (2021). GPRInvNet: Deep learning-based ground-penetrating radar data inversion for tunnel linings. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(10), 8305–8325.
- Liu, B., Zhang, J., Lei, M., et al. (2023). Simultaneous tunnel defects and lining thickness identification based on multi-tasks deep neural network from GPR images. *Automation in Construction*, 145, 104633.
- Long, J., Shelhamer, E., Darrell, T. (2015). Fully convolutional networks for semantic segmentation. *Proceedings of IEEE CVPR*, 3431–3440.
- Perlin, K. (2002). Improving noise. *Proceedings of SIGGRAPH*, 681–682.
- Qin, H., Zhang, D., Tang, Y., Wang, Y. (2021). Automatic recognition of tunnel lining elements from GPR images using deep convolutional networks with data augmentation. *Automation in Construction*, 130, 103830.
- Simonyan, K., Zisserman, A. (2014). Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv:1409.1556*.
- Warren, C., Giannopoulos, A., Giannakis, I. (2016). gprMax: Open source software to simulate electromagnetic wave propagation for GPR. *Computer Physics Communications*, 209, 163–170.
- Zhu, H., Huang, M., Zhang, Q. (2024). TunGPR: Enhancing data-driven maintenance for tunnel linings through synthetic datasets, deep learning and BIM. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 145, 105568.



Phản ứng của bốn công trình liền kề bị ảnh hưởng bởi hiện tượng hóa lỏng đất ở Thổ Nhĩ Kỳ trong trận động đất Pazarcik năm 2023

Seismic response of four adjacent buildings affected by soil liquefaction in Turkey during the 2023 Pazarcik earthquake.

Đoàn Minh Tâm

Đại học Kiến trúc TP.HCM, Việt Nam. E-mail: tam.doanminh@uah.edu.vn

Jonathan D. Bray

Đại học California – Berkeley, Hoa Kỳ. E-mail: jonbray@berkeley.edu

Jorge Macedo

Viện công nghệ Georgia, Hoa Kỳ. E-mail: jorge.macedo@gatech.edu

Diane Moug

Đại học bang Portland, Hoa Kỳ. E-mail: dmoug@pdx.edu

Tóm Tắt

Trận động đất Pazarcik năm 2023, có độ lớn M_w 7,8, đã gây ra thiệt hại đáng kể tại khu vực ven biển Iskenderun, Thổ Nhĩ Kỳ. Dữ liệu phục vụ phân tích ngược ứng xử công trình tại Iskenderun được tổng hợp từ các khảo sát sau động đất và các nghiên cứu đặc trưng địa chất công trình một cách toàn diện. Chuyển động nền đầu vào tại “*đá gốc kỹ thuật*” được xây dựng dựa trên các bản ghi gia tốc thu được từ một trạm đo đặt trên nền đá lân cận và một trạm đo đặt trên nền đất cứng, nhằm phục vụ phân tích đáp ứng địa chấn tại các vị trí công trình ở Iskenderun. Các chuyển động nền này được sử dụng trong phân tích số phi tuyến hai chiều bằng phần mềm FLAC, kết hợp với các mô hình PM4Sand và UBCHyst, cho nhóm bốn công trình tại Iskenderun. Mục tiêu là nghiên cứu hiện tượng lún công trình do hóa lỏng đất đối với các kết cấu bê tông cốt thép trung tầng đặt trên móng bè. Kết quả cho thấy các công trình bị lún chìm vào nền đất khi lớp cát nằm dưới lớp san lấp bị hóa lỏng trong trận động đất, phù hợp với kết quả phân tích số. Nhìn chung, các phân tích số đã mô phỏng đáng tin cậy ứng xử của hệ công trình–nền đất, phù hợp với các kết quả khảo sát sau động đất và cung cấp những nhận định hữu ích về cơ chế lún do hóa lỏng đất.

Abstract

The 2023 Pazarcik earthquake, with $M_w = 7.8$, caused significant damage in the coastal area of Iskenderun, Türkiye. The data used for the back-analysis of building response in Iskenderun were comprehensively compiled from post-earthquake reconnaissance surveys and geotechnical characterization studies. Input ground motions at the “*engineering bedrock*” were developed based on acceleration records obtained from a nearby rock-site station and a stiff-soil station. These ground motions were used in 2D nonlinear analyses conducted with FLAC, PM4Sand and UBCHyst models, for four adjacent buildings. The aim was to investigate liquefaction-induced building settlement in mid-rise reinforced concrete structures supported by mat foundations. The results indicate that the buildings sank into the ground when the sand layer beneath the gravel fill liquefied during the earthquake, which is consistent with the numerical analysis results. Overall, the numerical analyses reliably simulated the structural response, showed good agreement with the post-earthquake reconnaissance observations, and provided useful insights into the mechanism of liquefaction-induced settlement.

Keywords: kỹ thuật động đất; phân tích số phi tuyến; công trình; phân tích nền-móng ở vùng hóa lỏng



Mở đầu

Các hiện tượng lún công trình lớn do hóa lỏng đất đã từng được ghi nhận tại khu vực ven biển Iskenderun trong các trận động đất lịch sử (1916 và 1964). Hiện tượng tương tự tiếp tục xuất hiện trong trận động đất Pazarcik Mw 7,8 năm 2023. Nghiên cứu này phân tích nhóm bốn công trình liền kề tại quận Çay của Iskenderun (Thổ Nhĩ Kỳ), được gọi là “khu vực 4 công trình” và thuộc “Khu vực 1” theo các tài liệu khảo sát sau trận động đất và khảo sát địa chất (Moug và cộng sự, 2024; Arnold và cộng sự, 2025). Bốn công trình này là kết cấu khung bê tông cốt thép (BTCT) có tường chèn và sử dụng móng bè BTCT với hình ảnh của hai toà nhà điển hình được trình bày ở Hình 1a. Độ lún trung bình do hóa lỏng dao động từ 470 mm đến 710 mm (Moug và cộng sự, 2023). Các phương pháp đánh giá khả năng hóa lỏng sử dụng dữ liệu xuyên tĩnh (CPT) tại Khu vực 1 cho thấy hệ số an toàn chống hóa lỏng (FS_L) (Arnold và cộng sự, 2025) và hệ số an toàn sức chịu tải sau hóa lỏng (FS_{BC}) (Bray và Macedo, 2017) đều nhỏ hơn 1,0. Trong trường hợp này, các phương pháp thiết kế thông dụng để dự báo độ lún công trình do hóa lỏng (Bray và Macedo, 2017; Bullock và cộng sự, 2019) thường có độ không tin cậy cao. Các phân tích động lực học đặc trưng cho vị trí có thể cung cấp hiểu biết sâu hơn về ứng xử tổng thể của công trình hoặc nhóm công trình trên nền đất có khả năng hóa lỏng. Vì vậy, các phân tích này được thực hiện nhằm nghiên cứu tương tác công trình-đất nền-công trình (SSSI) của nhóm bốn công trình nói trên.

Chuyển động nền đầu vào

Các trạm ghi gia tốc nền (SMS) gần nhất có bản ghi sử dụng được của trận động đất Pazarcik Mw 7,8 là TK-3115 (nền đất) và TK-3116 (nền đá) (Arnold và cộng sự, 2025). Giá trị trung bình hình học của gia tốc cực đại nền (PGA), vận tốc cực đại nền (PGV) và vận tốc tuyệt đối tích lũy (CAV) ghi nhận tại TK-3115 lần lượt là 0,27 g, 46 cm/s và 2,7 g-s; trong khi tại TK-3116 các giá trị tương ứng là 0,17 g, 39 cm/s và 1,5 g-s. Dao động do các dư chấn tại Iskenderun không đáng kể. Để xét đến sự không chắc chắn không gian của chuyển động nền, các đại lượng cường độ chuyển động nền do Pretell và cộng sự (2024) phát triển được sử dụng để xác định giá trị trung bình, phân vị 16% và 84% của các tham số chính. Kết quả ước tính tại khu vực 4 công trình cho thấy PGA dao động từ 0,21 g đến 0,42 g, PGV từ 47 cm/s đến 110 cm/s và CAV từ 2,2 g-s đến 3,9 g-s. Các giá trị này phù hợp hơn với bản ghi tại trạm đo TK-3115, do đây là trạm được đặt trên nền đất cứng thay vì nền đá như TK-3116.

Các chuyển động nền đầu vào cho phân tích số được xây dựng từ các bản ghi tại TK-3115 (phương pháp 1) và TK-3116 (phương pháp 2), kết hợp với các đại lượng đo cường độ nội suy nhằm phản ánh điều kiện nguồn địa chấn và địa chất tại khu vực bốn công trình được phân tích. Quá trình xây dựng chuyển động đầu vào xét đến sự khác biệt về khoảng cách từ nguồn đến vị trí công trình (R_{rup}) và cấu trúc phân bố vận tốc sóng cắt giữa khu vực 4 công trình và các trạm SMS. Giá trị vận tốc sóng cắt trung bình trong lớp đất sâu 30 m đầu tiên (V_{s30}) tại TK-3115 và TK-3116 lần lượt là 424 m/s và 870 m/s (AFAD-TADAS, 2023). Một hệ số hiệu chỉnh biên độ trung bình được áp dụng cho các bản ghi chuyển động nền nhằm xét đến sự khác biệt điều kiện nền đất giữa các vị trí. Hệ số này được xác định bằng cách so sánh phổ gia tốc trung bình với độ cản 5% trong toàn bộ miền chu kỳ quan tâm giữa khu vực 4 công trình và các trạm đo, tương ứng với khoảng cách đứt gãy gần nhất, R_{rup} , và vận tốc sóng cắt, V_{s30} , của từng vị trí.

Điều kiện địa tầng, mô tả công trình và ứng xử công trình

Điều kiện địa tầng tại khu vực 4 công trình được đặc trưng thông qua 15 thí nghiệm xuyên tĩnh CPT thực hiện gần các công trình J, I, G và H như thể hiện trong Hình 1b (Macedo và cộng sự, 2025). Biểu đồ sức kháng mũi xuyên hiệu chỉnh (q_t) và chỉ số loại ứng xử của đất (I_c) cho mặt cắt bên dưới công trình J và công trình I được trình bày trong Hình 2. Điều kiện địa tầng tại khu vực nghiên cứu tương đối đồng nhất. Mực nước ngầm đo được trong quá trình khoan khảo sát khoảng 1,0 m, trong khi mực nước ngầm trước động đất được ước tính vào khoảng 1,5 m dưới mặt đất (Arnold và cộng sự, 2025).

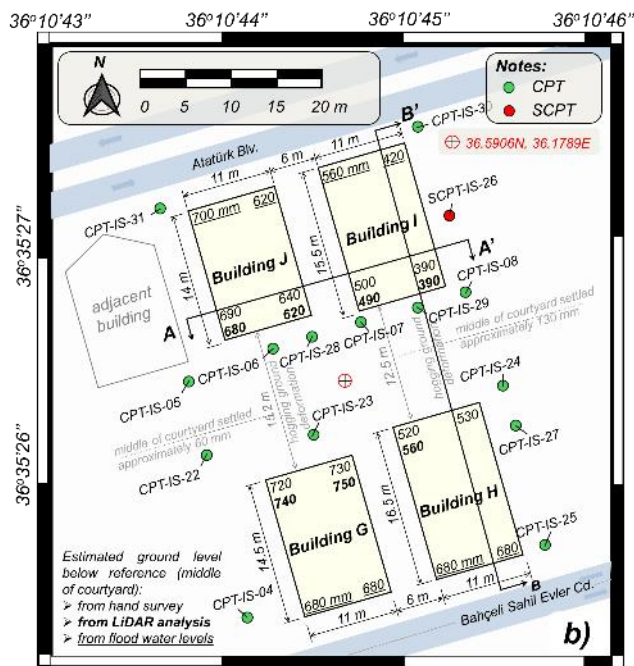
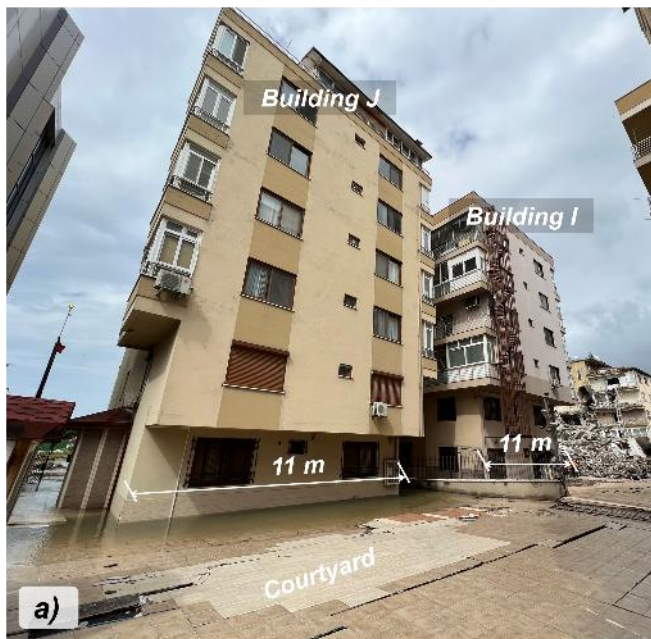
Lớp đất đắp sỏi (lớp đất 1) kéo dài từ mặt đất đến độ sâu khoảng 3,0 m, với độ chặt tương đối (D_r) khoảng 80% dựa trên giá trị xuyên tiêu chuẩn hiệu chỉnh (N_{160}). Giá trị này được xác định từ dữ liệu SPT bởi Ozener và cộng sự (2024) và hiệu chỉnh năng lượng thông qua so sánh với dữ liệu CPT. Bên dưới là



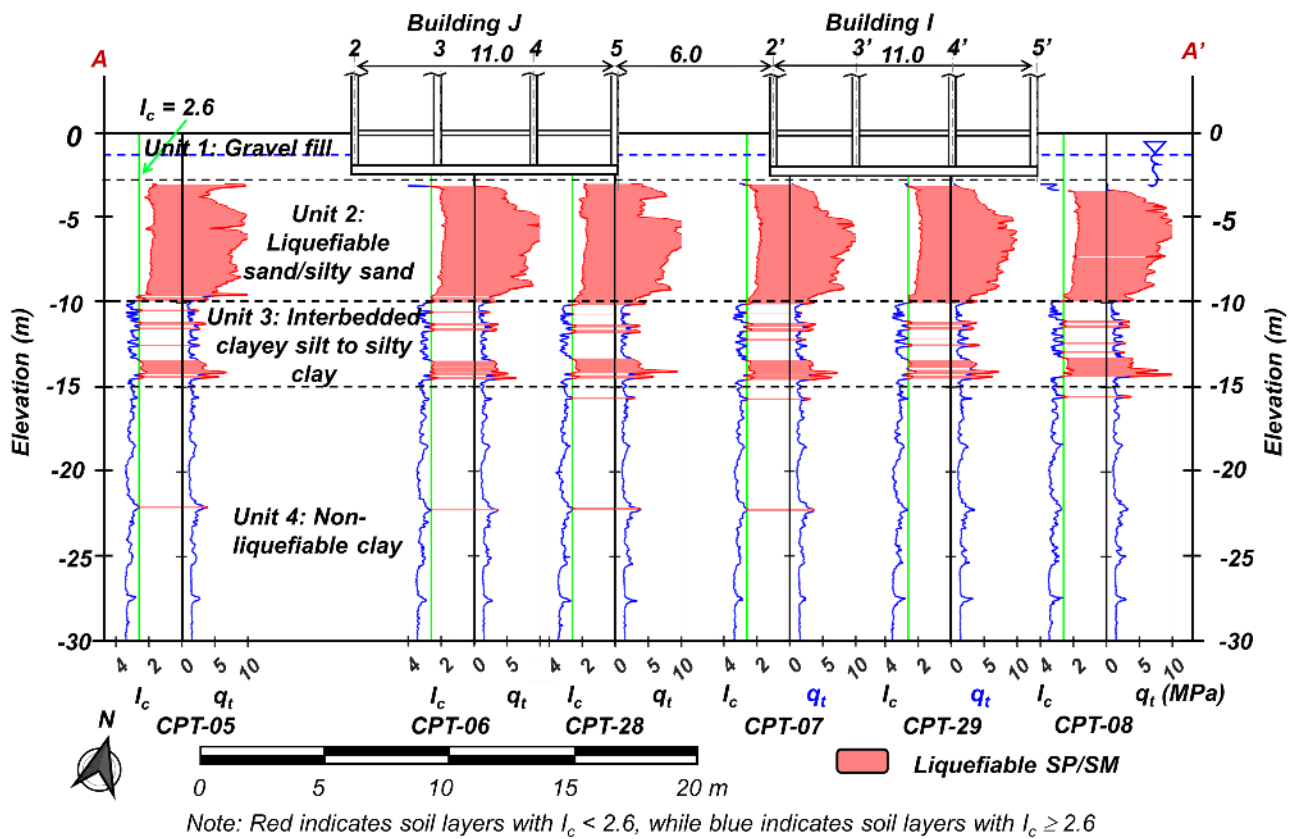
lớp cát sạch đến cát pha bụi dễ hóa lỏng (lớp đất 2), có chỉ số I_c từ 1,7–2,1 và kéo dài đến độ sâu khoảng 10 m. Độ chặt tương đối tương đương của “cát sạch” trong lớp này dao động từ 55–65%. Lớp đất 3 là lớp bụi sét đến sét pha bụi xen kẽ, có I_c từ 2,4–3,0 và kéo dài đến độ sâu khoảng 15 m. Bên dưới là lớp sét không hóa lỏng (Lớp đất 4) với I_c trung bình lớn hơn 3,0, kéo dài ít nhất đến độ sâu 43,5 m. Kết quả đo vận tốc sóng cắt (V_s) tại trạm đo chuyển động nền lân cận (ví dụ như trạm đo TK-3112) cho thấy chưa phát hiện đá gốc đến độ sâu khoảng 100 m. Tuy nhiên, sự tương phản trở kháng đáng kể được ghi nhận ở độ sâu 50–70 m, do đó “đá gốc kỹ thuật” được giả định ở độ sâu 60 m.

Bốn công trình nghiên cứu là các kết cấu khung BTCT có tường chèn cao 6 tầng, sử dụng móng bè BTCT. Mỗi công trình có một tầng hầm toàn phần hoặc bán phần và một tầng lửng. Kích thước công trình khoảng 11 m theo phương đông-tây và 13,9-16,5 m theo phương bắc-nam. Hệ chịu lực ngang gồm cột và vách cứng BTCT. Tầng hầm sâu khoảng 2,5 m dưới mặt đất. Công trình J và G sử dụng móng bè dày 50 cm kết hợp hệ dầm giao nhau sâu 1 m, phần giữa được lấp đất đầm chặt; trong khi công trình I và H chỉ sử dụng móng bè dày 50 cm không có dầm giao nhau (Arnold và cộng sự, 2025).

Độ lún công trình được xác định bằng quét LiDAR và đo thủ công bằng máy laser bởi Moug và cộng sự (2024). Kết quả cho thấy độ lún trung bình rất lớn: 560 mm đối với công trình H, 710 mm đối với công trình G, 660 mm đối với công trình J và 470 mm đối với công trình I. Sai số ước tính khoảng 20 mm đối với LiDAR và 50 mm đối với đo thủ công. Các giá trị lún được xác định tương đối so với một điểm tham chiếu đại diện cho điều kiện nền tự do (không ảnh hưởng bởi các công trình), vốn cũng có khả năng chịu lún thể tích do hóa lỏng. Vì vậy, phần lớn độ lún đo được chủ yếu do lún cắt gây ra bởi tải trọng công trình. Lún do cát phun trời chỉ ở mức không đáng kể đến nhỏ gần các công trình. Độ lún thể tích do hóa lỏng được ước tính khoảng 160–250 mm tại tất cả các vị trí CPT bằng phương pháp phân tích lún nền một chiều (Zhang và cộng sự, 2002; Arnold và cộng sự, 2025). Phân tích hóa lỏng cho thấy hệ số an toàn chống hóa lỏng của Unit 2 thấp, với $FS_L = 0,3–0,6$ (Arnold và cộng sự, 2025), và tỷ số sức kháng cắt dư sau hóa lỏng trung vị (s_r/σ_v') khoảng 0,1 (Olson và Stark, 2002; Idriss và Boulanger, 2008). Theo Bray và Macedo (2017), hệ số an toàn sức chịu tải sau hóa lỏng FS_{BC} của cả bốn công trình chỉ đạt 0,5–0,8, cho thấy các công trình đã xảy ra hiện tượng xuyên lún đáng kể, phù hợp với quan sát thực địa.



Hình 1. (a) Hình ảnh của công trình J và I, và (b) Mặt bằng bốn công trình G, H, I và J và vị trí của các hố khoan của thí nghiệm xuyên tĩnh (CPT)



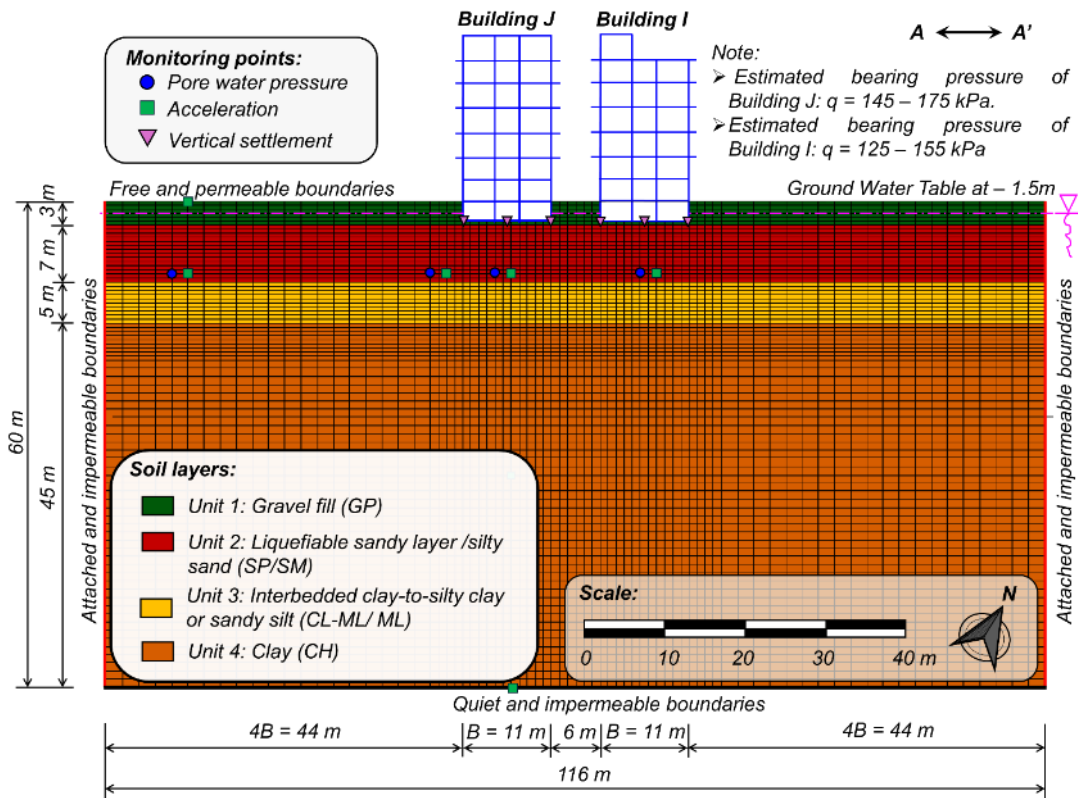
Hình 2. Mặt cắt địa chất, với các thông số chỉ số loại ứng xử đất (I_c) và sức kháng mũi xuyên hiệu chỉnh (q_t) cho mặt cắt A-A (công trình J và I)

Phân tích số phi tuyến theo ứng suất hữu hiệu

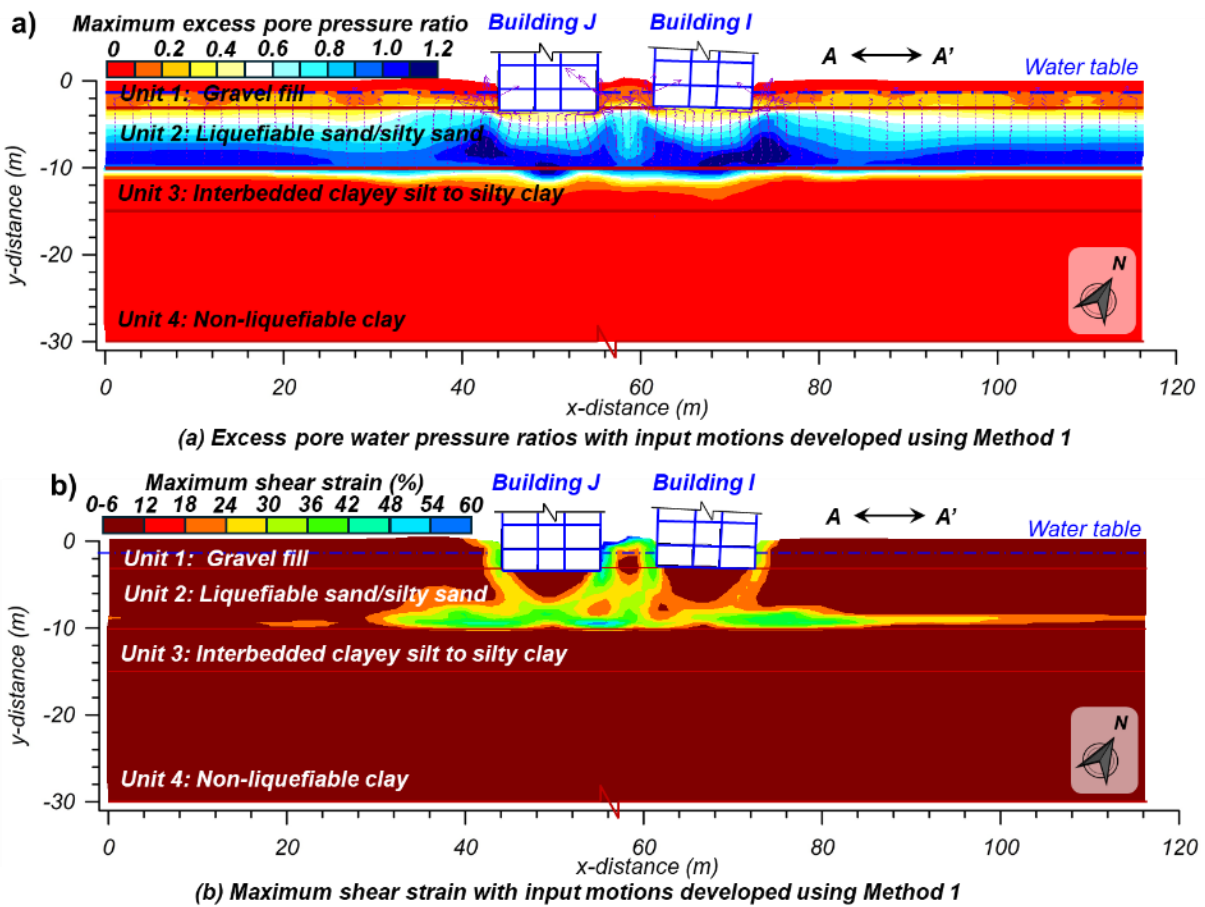
Các phân tích số phi tuyến theo hai chiều (2D) được thực hiện bằng phần mềm FLAC phiên bản 8.1 (Itasca, 2019), sử dụng mô hình PM4Sand (Boulanger và Ziotopoulou, 2023) cho vật liệu cát, cát pha và sỏi san lấp, cùng mô hình UBCHyst (Naesgaard, 2011) cho đất sét không bị hóa lỏng. Các thông số như dung trọng (γ) và sức kháng cắt không thoát nước (s_u) được xác định theo (Robertson và Cabal, 2022) với hệ số hiệu chỉnh gia tăng do tải trọng động bằng 1,5 ($f=1.5$). Tham số của mô hình PM4Sand được hiệu chỉnh thông qua mô phỏng cắt đơn giản trực tiếp không thoát nước, trong khi các tham số của UBCHyst được xây dựng dựa trên giá trị trung bình của γ , s_u , mô đun cắt (G) và mô đun khối (B). Các thông số vật liệu còn lại được sử dụng theo giá trị mặc định theo đề xuất của Naesgaard (2011), và Boulanger và Ziotopoulou (2023).

Các cấu kiện công trình được mô hình hóa bằng phần tử dầm đàn hồi với dung trọng bê tông 25 kN/m³ và mô đun đàn hồi 2,5×10⁷ kPa. Để xét đến suy giảm độ cứng do sự hình thành vết nứt hạn chế theo như quan sát của Moug và cộng sự (2024), độ cứng uốn của cột, vách, dầm và sàn được giảm lần lượt theo các hệ số 0,9; 0,7; 0,7 và 0,6. Chu kỳ dao động cơ bản của các công trình ngầm cứng khoảng 0,34-0,37 s. Mô hình sai phân hữu hạn cho công trình I và J được trình bày ở Hình 3.

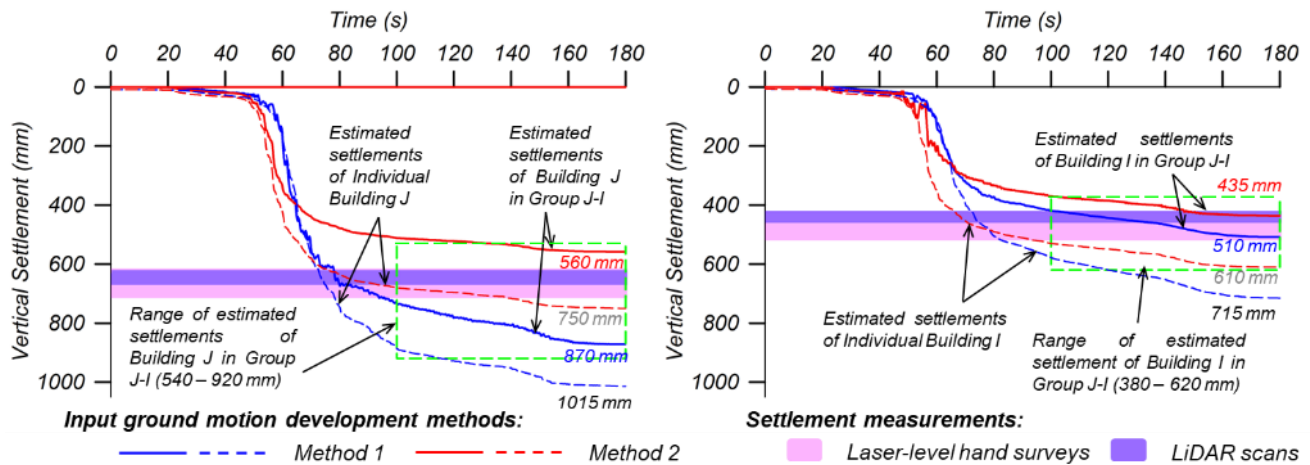
Kết quả phân tích, được trình bày ở Hình 4 và 5, cho thấy áp lực nước lỗ rỗng dư lớn phát triển trong lớp cát hóa lỏng (lớp đất 2), đặc biệt tập trung ở phần đáy lớp này. Biến dạng cắt lớn nhất (γ_{max}) đạt khoảng 30–50% xuất hiện bên dưới các công trình và lan rộng vào vùng đất hóa lỏng xung quanh. Các vùng biến dạng cắt lớn cho thấy cơ chế phá hoại xuyên lún xảy ra khi áp lực móng vượt quá sức chịu tải suy giảm của nền đất sau hóa lỏng. Cơ chế này phù hợp với giá trị FS_{BC} ước tính và các quan sát thực địa. Độ lún tính toán của công trình J khoảng 560-870 mm và của công trình I khoảng 435-510 mm, khá phù hợp với giá trị đo thực tế. Kết quả cho thấy mô hình phân tích động lực học phi tuyến theo ứng suất hữu hiệu đã mô phỏng hợp lý ứng xử địa kỹ thuật và kết cấu của các công trình trong trận động đất Pazarcık năm 2023 ở Thổ Nhĩ Kỳ.



Hình 3. Mô hình sai phân hữu hạn được phát triển cho công trình J và I (mặt cắt A-A') bằng phần mềm FLAC phiên bản 8.1



Hình 4. Hệ số áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư gia tăng và biến dạng cắt lớn nhất khi sử dụng chuyển động đều vào được xây dựng theo phương pháp 1, tính toán bằng mô hình, ước lượng bằng mô hình sai phân hữu hạn phát triển cho công trình J và I (mặt cắt A-A')



Hình 5. Độ lún của (a) công trình J và (b) công trình I với chuyển động nền đều vào phát triển bằng phương pháp 1 và phương pháp 2

Kết luận

Bốn công trình nhiều tầng BTCT có tường chèn tại Iskenderun đã bị lún đáng kể do hóa lỏng đất trong trận động đất Pazarcık năm 2023 ở Thổ Nhĩ Kỳ. Kết quả lún tính toán từ phân tích số phi tuyến theo ứng suất hữu hiệu đối với cặp công trình liền kề phù hợp khá tốt với quan sát thực địa. Biến dạng cắt lớn, khoảng 50%, phát triển trong lớp cát rời dễ hóa lỏng (lớp đất 2), tạo thành các mặt trượt cho thấy cơ chế phá hoại xuyên lún. Do đó, cơ chế xuyên lún được xem là nguyên nhân chính gây ra lún công trình do biến dạng cắt, phù hợp với các giá trị F_{BC} nhỏ hơn 1. Phân tích số phi tuyến theo ứng suất hữu hiệu cung cấp hiểu biết quan trọng về cơ chế lún do hóa lỏng và có thể ước tính hợp lý độ lún công trình do biến dạng cắt.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được hỗ trợ một phần bởi Quỹ Khoa học Quốc gia Hoa Kỳ theo các khoản tài trợ số CMMI 2338023-24, -25, -26. Nghiên cứu sử dụng dữ liệu được thu thập thông qua Hiệp hội NSF-GEER theo khoản tài trợ số CMMI1826118. Mọi ý kiến, kết quả hoặc khuyến nghị trong nghiên cứu này là của các tác giả và không nhất thiết phản ánh quan điểm của Quỹ Khoa học Quốc gia Hoa Kỳ. Nghiên cứu cũng nhận được hỗ trợ tài chính từ Taiwan Building Technology Center ở Đài Loan.

Tài liệu tham khảo

AFAD-TADAS 2023; <https://tadas.afad.gov.tr> (Last access June 25, 2025)

Arnold C., Macedo J., Bray J., Moug D., Atalay F., Bassal P., Liu C., Bikce M., Durgunoglu T. Field characterization of areas in Iskenderun affected by liquefaction during the 2023 Kahramanmaraş earthquake. *Earthquake Spectra* 2025; EERI, under re-review.

Boulanger R. W., Idriss I. M. CPT-based liquefaction triggering procedure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 2016; 142 (2): 04015065.

Bodenmann L., Baker J. W., Stojadinović B. Accounting for path and site effects in spatial ground-motion correlation models using Bayesian inference. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2023; 23 (7): 2387-2402.

Boulanger RW, Ziotopoulou K. PM4Sand (Version 3.3): A sand plasticity model for earthquake engineering applications. Report No. UCD/CGM-23/01. Davis (CA): *Center for Geotechnical Modeling*, Univ. of California; 2023.

Bray JD, Macedo J. 6th Ishihara lecture: Simplified procedure for estimating liquefaction-induced building settlement. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2017; 102: 215-31.

Bray JD, Olaya FR. 2022 H. Bolton Seed Memorial Lecture: Evaluating liquefaction effects. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 2023; 149 (8).



- Bullock Z., Karimi Z., Dashti S., Porter K., Liel A. B., Franke K. W. A physics-informed semi-empirical probabilistic model for the settlement of shallow-founded structures on liquefiable ground. *Geotechnique* 2019; 69 (5): 406-419.
- Darendeli MB. Development of a new family of normalized modulus reduction curves and material damping curves. [PhD dissertation]. Austin (TX): *Univ. of Texas*, Dept. of Civil Engineering; 2001.
- Idriss I. M., Boulanger R. W. *Soil Liquefaction during Earthquakes*. Earthquake Engineering Research Institute; 2008.
- Itasca, FLAC: Fast Lagrangian Analysis of Continua, User's guide, Version 8.1, in: *User Manual, Itasca Consulting Group*, 2019.
- Macedo J., Bray J., Moug D., Bassal P., Arnold C., Subsurface characterization of Iskenderun, in *Designsafe-CI* 2025.
- Moug D. M., Bray J. D., Bassal P., Macedo J., Ulmer K., Cetin K. Ö., ... & Bikçe M. Liquefaction-induced ground and building interactions in Iskenderun from the 2023 Kahramanmaraş earthquake sequence. *Earthquake Spectra* 2024; EERI, 40 (2): 913-938.
- Naesgaard E. A hybrid effective stress-total stress procedure for analyzing embankments subjected to potential liquefaction and flow. [PhD thesis]. Vancouver (BC): *University of British Columbia*, Civil Engineering Dept.; 2011.
- Ozener P., Monkul M. M., Bayat E. E., Ari A., Cetin K. O. Liquefaction and performance of foundation systems in Iskenderun during 2023 Kahramanmaraş-Turkiye earthquake sequence. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 2024; 178, 108433.
- Olson S. M., Stark T. D. (2002). Liquefied strength ratio from liquefaction flow failure case histories. *Canadian Geotechnical Journal* 2002; 39 (3): 629-647.
- Pretell R., Brandenberg S., Stewart J. Consistently computed ground motion intensity measures for liquefaction triggering assessment, *Designsafe-CI* 2024.
- Robertson P. K., Cabal K. L. Guide to cone penetration testing for geotechnical engineering, *Gregg Drilling & Testing*, Signal Hill, CA; 2022.
- Robertson P.K., Wride C. Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. *Canadian Geotechnical Journal* 1998; 35: 442-459.
- Zhang G, Robertson PK, Brachman RWI. Estimating liquefaction-induced ground settlements from CPT for level ground. *Canadian Geotechnical Journal* 2002; 39 (5):1168-80.



Đánh giá sức chịu tải cọc bê tông ly tâm dự ứng lực trong đất yếu tỉnh Vĩnh Long

Evaluation of prestressed spun concrete pile bearing capacity in soft soil at Long Chau Ward, Vinh Long Province

Lâm Ngọc Quý

Trường Đại học Xây dựng Miền Tây. E-mail: lamngocqui@mtu.edu.vn

Trương Công Danh

Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Vĩnh Long. E-mail: truongcongdanhvtl@gmail.com

Tóm Tắt

Trong điều kiện đất yếu ở Vĩnh Long, cọc bê tông ly tâm dự ứng lực được sử dụng phổ biến cho các công trình có tải trọng tương đối lớn. Tuy nhiên, kết quả xác định sức chịu tải cọc theo chỉ tiêu đất nền, thí nghiệm SPT, thí nghiệm nén tĩnh và mô phỏng số thường có sự khác biệt đáng kể. Bài viết này tóm lược một nghiên cứu ứng dụng đối với cọc đường kính 0,5 m, chiều dài 47 m tại phường Long Châu, tỉnh Vĩnh Long. Kết quả cho thấy mô phỏng Plaxis 3D, khi được hiệu chỉnh bằng số liệu thí nghiệm nén tĩnh, có khả năng phản ánh tốt hơn cơ chế làm việc đất - cọc trong nền đất yếu, đồng thời hỗ trợ lựa chọn giá trị sức chịu tải thiết kế an toàn và hợp lý hơn.

Từ khóa: cọc bê tông ly tâm dự ứng lực, đất yếu, Plaxis 3D, thí nghiệm nén tĩnh cọc, TCVN 10304:2025.

Abstract

In the soft soil conditions of Vinh Long Province, prestressed spun concrete piles are commonly used for structures subjected to relatively high loads. However, the pile bearing capacities determined based on soil parameters, SPT results, static pile load tests, and numerical simulations often show considerable discrepancies. This paper summarizes an applied study on a pile with a diameter of 0.5 m and a length of 47 m in Long Chau Ward, Vinh Long Province. The results indicate that Plaxis 3D numerical simulation, when calibrated against static pile load test data, can more accurately reflect the soil–pile interaction mechanism in soft ground. It also provides a useful basis for selecting a design pile bearing capacity that is both safe and technically reasonable.

Keywords: prestressed spun concrete pile, soft soil, Plaxis 3D, static pile load test, TCVN 10304:2025.

Mở đầu

Trong các đô thị vùng Đồng bằng sông Cửu Long, điều kiện nền đất yếu luôn là một trong những yếu tố chi phối mạnh đến lựa chọn giải pháp móng. Tại Vĩnh Long, nhiều công trình dân dụng và công cộng phải sử dụng móng cọc để truyền tải trọng xuống các lớp đất sâu hơn, có khả năng chịu lực tốt hơn. Trong nhóm giải pháp này, cọc bê tông ly tâm dự ứng lực được dùng khá phổ biến nhờ cường độ cao, chất lượng chế tạo ổn định và tiến độ thi công nhanh.

Mặc dù vậy, việc xác định sức chịu tải cực hạn của cọc trong nền đất yếu vẫn không đơn giản. Các phương pháp tính toán theo tiêu chuẩn, theo kết quả xuyên tiêu chuẩn SPT, theo thí nghiệm nén tĩnh hiện trường hoặc theo mô hình số có thể cho các giá trị khác nhau. Nếu lựa chọn giá trị thiết kế quá thấp, công trình có thể bị tăng chi phí móng; ngược lại, nếu đánh giá quá cao, rủi ro về biến dạng và an toàn nền móng sẽ tăng lên.

Bài viết này được biên soạn từ kết quả nghiên cứu tại khu vực phường Long Châu, tỉnh Vĩnh Long, nhằm giới thiệu cách tiếp cận kết hợp giữa TCVN 10304:2025, thí nghiệm nén tĩnh theo TCVN 9393:2012 và mô



phòng Plaxis 3D trong đánh giá sức chịu tải cọc. Nội dung được trình bày theo hướng ứng dụng, phù hợp với nhu cầu tham khảo của kỹ sư thiết kế, tư vấn khảo sát và các đơn vị quản lý dự án tại địa phương.

Bối cảnh địa kỹ thuật và đối tượng phân tích

Cọc nghiên cứu là cọc bê tông ly tâm dự ứng lực đường kính 0,5 m, chiều dài 47 m, được sử dụng trong dự án xây dựng tòa nhà điều hành tại khu vực phường Long Châu. Sức chịu tải thiết kế theo hồ sơ nén tĩnh là 1.500 kN, trong khi tải trọng thí nghiệm giới hạn đạt 3.300 kN.

Mặt cắt địa chất tại khu vực nghiên cứu có lớp đất yếu phân bố dày, gồm các lớp bùn sét và bùn sét pha ở trạng thái chảy đến dẻo chảy, kéo dài đến độ sâu lớn. Ở phần sâu hơn xuất hiện các lớp sét pha dẻo cứng - nửa cứng và lớp cát pha chặt đến rất chặt. Đặc điểm này làm cho ma sát thành cọc trong các lớp đất yếu có vai trò quan trọng, trong khi sức kháng mũi chỉ được huy động rõ hơn khi mũi cọc tiếp cận lớp đất tốt hơn.

Bảng 1 Thông tin tóm tắt về cọc và nền đất nghiên cứu

Nội dung	Thông tin chính
Loại cọc	Cọc bê tông ly tâm dự ứng lực
Đường kính và chiều dài	D = 0,5 m; L = 47 m
Điều kiện nền đất	Lớp đất yếu dày, chủ yếu bùn sét và bùn sét pha trạng thái chảy đến dẻo chảy
Giá trị dùng kiểm chứng	Thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường
Phần mềm mô phỏng	Plaxis 3D V23; mô hình đất Mohr-Coulomb; mô phỏng thi công theo giai đoạn

Cách tiếp cận đánh giá sức chịu tải cọc

Trong nghiên cứu gốc, sức chịu tải cực hạn của cọc được xác định theo ba nhóm phương pháp và được đối chiếu với kết quả thí nghiệm nén tĩnh hiện trường. Cách tiếp cận này có ưu điểm là không phụ thuộc vào một nguồn số liệu duy nhất, mà cho phép nhận diện mức độ chênh lệch giữa lý thuyết, thực nghiệm và mô phỏng số.

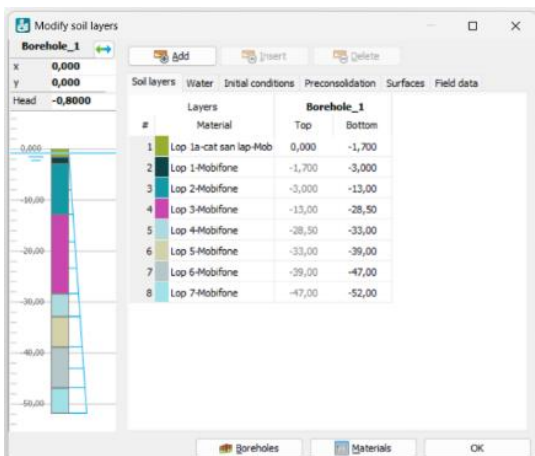
Phương pháp theo chỉ tiêu cơ lý của đất nền: sử dụng các thông số thí nghiệm trong phòng và hiện trường để tính sức kháng mũi, ma sát thành theo TCVN 10304:2025.

Phương pháp theo SPT: sử dụng kết quả xuyên tiêu chuẩn để ước lượng sức chịu tải giới hạn của cọc theo phụ lục của TCVN 10304:2025.

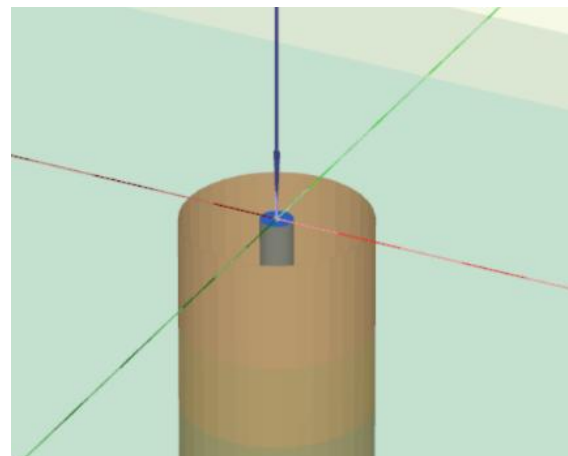
Phương pháp mô phỏng số: xây dựng mô hình Plaxis 3D, mô phỏng cọc bằng phần tử khối (volume pile), có phần tử tiếp xúc giữa đất và cọc, gia tải theo từng cấp tương tự thí nghiệm nén tĩnh.

Thí nghiệm nén tĩnh hiện trường: được xem là cơ sở kiểm chứng chính đối với điều kiện làm việc thực tế của cọc trong nền đất tại công trình.

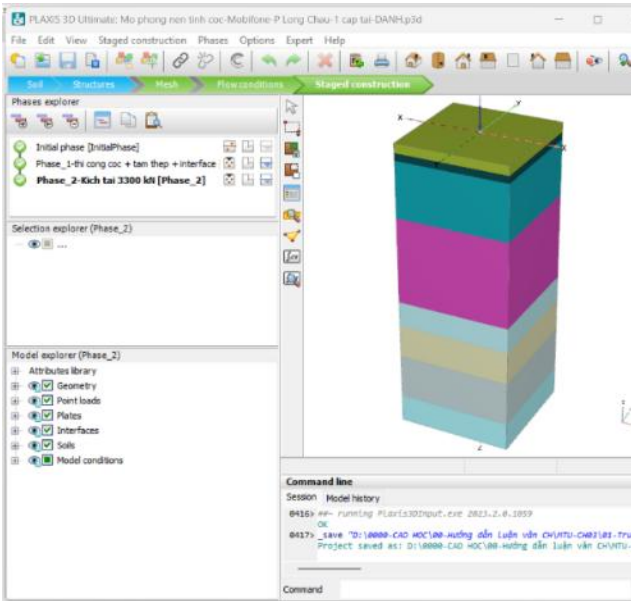
Trong mô hình Plaxis 3D, việc mô phỏng theo từng giai đoạn giúp theo dõi sự phát triển chuyển vị đầu cọc, phân bố ứng suất và vùng biến dạng xung quanh cọc. Đây là lợi thế quan trọng so với các công thức giải tích đơn giản, nhất là trong nền đất yếu có chiều dày lớn và sự phân lớp phức tạp.



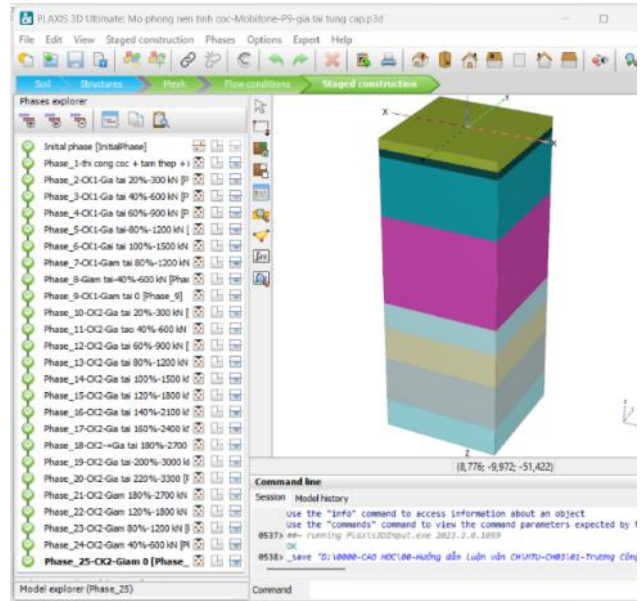
Hình 1. Mô hình phân lớp địa chất



Hình 2. Cọc và tấm đệm đầu cọc



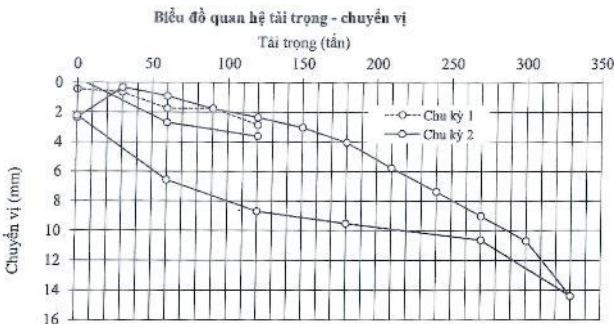
Hình 3. Gia tải 1 cấp



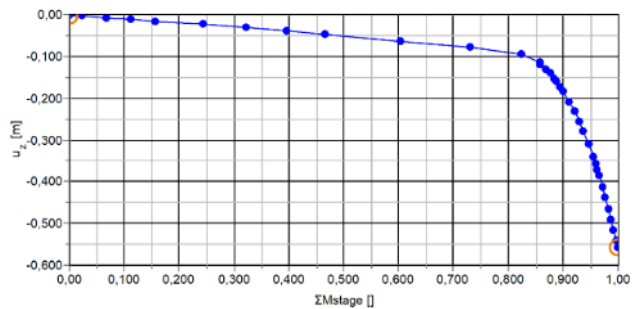
Hình 4. Gia/dỡ tải từng cấp

Kết quả so sánh

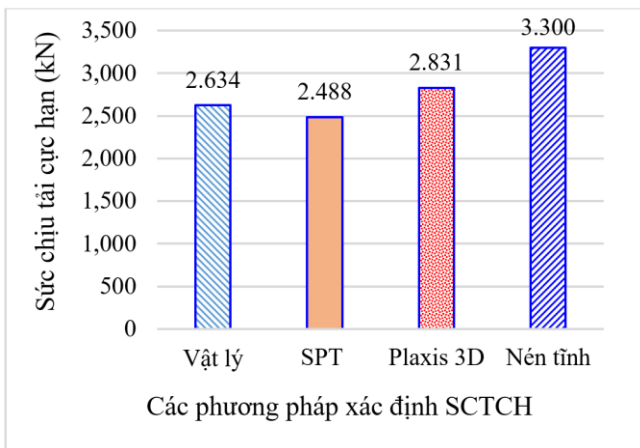
Kết quả tính toán cho thấy các phương pháp cho giá trị sức chịu tải cực hạn khác nhau. Giá trị theo SPT là nhỏ nhất, đạt 2.488 kN. Phương pháp theo chỉ tiêu cơ lý cho giá trị 2.634 kN. Mô phỏng Plaxis 3D cho giá trị 2.831 kN, gần hơn với kết quả thí nghiệm nén tĩnh hiện trường là 3.300 kN.



Hình 5. Biểu đồ quan hệ tải trọng – chuyển vị (Cọc P3-NT1)



Hình 6. Biểu đồ quan hệ chuyển vị - hệ số nhân tải trọng



Hình 7. Biểu đồ so sánh giá trị SCTCH của cọc theo các phương pháp



Bảng 2 Giá trị sức chịu tải cực hạn của cọc theo các phương pháp

Phương pháp	SCTCH (kN)	Nhận xét ngắn
Chỉ tiêu cơ lý	2.634	Phù hợp cho tính toán sơ bộ, cần kiểm chứng bằng số liệu hiện trường
SPT	2.488	Cho giá trị thấp nhất do lớp đất yếu dày và chỉ số SPT nhỏ
Plaxis 3D	2.831	Gần hơn với kết quả nén tĩnh; phản ánh tốt hơn tương tác đất - cọc
Nén tĩnh hiện trường	3.300	Cơ sở kiểm chứng chính trong điều kiện công trình cụ thể

Một số nhận xét chuyên môn

Sự khác biệt giữa các phương pháp là điều có thể dự đoán trong điều kiện nền đất yếu. Phương pháp SPT thường nhạy với chất lượng lấy mẫu, trạng thái đất và đặc điểm thí nghiệm xuyên trong đất mềm. Khi chỉ số SPT nhỏ trong phạm vi chiều sâu lớn, giá trị sức chịu tải tính theo SPT có xu hướng thấp, do đó không nên sử dụng như cơ sở duy nhất để quyết định sức chịu tải thiết kế.

Phương pháp theo chỉ tiêu cơ lý của đất nền có ưu điểm là bám sát khung tiêu chuẩn và dễ áp dụng trong thực hành thiết kế. Tuy nhiên, các thông số đầu vào thường được xác định từ mẫu đất quy mô nhỏ, trong điều kiện thí nghiệm lý tưởng, nên khó phản ánh đầy đủ trạng thái ứng suất - biến dạng và ảnh hưởng thi công ngoài hiện trường.

Kết quả Plaxis 3D nằm giữa giá trị tính theo tiêu chuẩn và kết quả nén tĩnh. Điều này cho thấy mô hình số có tiềm năng hỗ trợ tốt cho thiết kế móng cọc, đặc biệt khi được hiệu chỉnh bằng thí nghiệm hiện trường. Mô phỏng số cũng cho phép khảo sát thêm các kịch bản gia tải vượt giới hạn thí nghiệm, giúp ước lượng cơ chế huy động sức kháng và trạng thái phá hoại của cọc mà không cần thử phá hoại cọc thật.

Tuy nhiên, mô hình số không nên được xem là công cụ thay thế hoàn toàn thí nghiệm nén tĩnh. Độ tin cậy của mô hình phụ thuộc nhiều vào chất lượng khảo sát địa chất, lựa chọn mô hình đất, thông số đầu vào và kinh nghiệm hiệu chỉnh của kỹ sư địa kỹ thuật.

Ý nghĩa ứng dụng trong thực hành thiết kế

Đối với các công trình xây dựng trên nền đất yếu ở Vĩnh Long và vùng Đồng bằng sông Cửu Long, kết quả nghiên cứu gợi ý rằng thiết kế móng cọc nên được thực hiện theo hướng kết hợp. Ở giai đoạn đầu, có thể dùng TCVN 10304:2025 và các thông số khảo sát để tính toán sơ bộ. Ở bước kiểm chứng, cần ưu tiên thí nghiệm nén tĩnh cọc hiện trường. Khi có đủ dữ liệu địa chất và thí nghiệm, mô phỏng Plaxis 3D có thể được sử dụng để phân tích bổ sung, hiệu chỉnh chiều dài cọc, đánh giá biến dạng và tối ưu giải pháp móng.

Cách tiếp cận này đặc biệt hữu ích trong các khu vực có lớp đất yếu dày, chỉ số SPT thấp và sự thay đổi địa tầng theo không gian. Thay vì chỉ lựa chọn một phương pháp tính, việc so sánh nhiều nguồn kết quả giúp kỹ sư nhận diện biên độ dao động của sức chịu tải, từ đó đưa ra quyết định thiết kế an toàn hơn và kinh tế hơn.

Kết luận

Nghiên cứu tại phường Long Châu, tỉnh Vĩnh Long cho thấy sức chịu tải cực hạn của cọc bê tông ly tâm dự ứng lực thay đổi đáng kể tùy theo phương pháp xác định. Trong điều kiện đất yếu dày, phương pháp SPT cho giá trị thấp nhất và không nên dùng như cơ sở duy nhất cho thiết kế. Phương pháp theo chỉ tiêu cơ lý có thể dùng cho tính toán ban đầu nhưng cần được kiểm chứng bằng số liệu hiện trường.

Mô phỏng Plaxis 3D cho kết quả gần hơn với thí nghiệm nén tĩnh và có khả năng phản ánh tốt hơn cơ chế tương tác đất - cọc. Trong thực hành, thí nghiệm nén tĩnh vẫn cần được xem là cơ sở kiểm chứng quan trọng, trong khi mô hình số nên được sử dụng như công cụ hỗ trợ phân tích, hiệu chỉnh và tối ưu hóa giải pháp móng cọc. Hướng kết hợp giữa tiêu chuẩn, thí nghiệm hiện trường và mô hình số là phù hợp với yêu cầu nâng cao chất lượng thiết kế nền móng trong điều kiện địa kỹ thuật phức tạp của Vĩnh Long và vùng Đồng bằng sông Cửu Long.



Tài liệu tham khảo

- Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam. (2012). TCVN 9393:2012 - Cọc - Phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục.
- Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam. (2025). TCVN 10304:2025 - Thiết kế móng cọc.
- Cường, T. V. & Quyền, Đ. N. (2016). Dự báo quan hệ tải trọng - độ lún của cọc từ kết quả nén tĩnh cọc tiết diện thu nhỏ. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, 1, 68-75.
- Đạo, Đ. H. (2010). Nghiên cứu thực nghiệm xác định sức chịu tải của cọc bằng thí nghiệm nén tĩnh và so sánh với các quy trình hiện hành ở Việt Nam. Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Đà Nẵng, 6(41), 1-8.
- Hiếu, T. Đ. (2023). Xác định sức chịu tải của cọc từ các số liệu thí nghiệm nén tĩnh cọc. Hội nghị khoa học quốc tế kỷ niệm 60 năm thành lập Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, 572-578.
- Phán, V. & Thao, H. T. (2018). Phân tích và tính toán móng cọc. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- Prakash, S. & Sharma, H. D. (1990). Pile foundation in engineering practice. A Wiley Interscience Publication.
- Randolph, M. F. (1993). Design of driven piles in sand. Géotechnique, 43, 187-199.
- Sơn, B. T. (2017). Phân tích đánh giá khả năng chịu tải của cọc theo kết quả thí nghiệm nén tĩnh. Tuyển tập kết quả Khoa học công nghệ, 19/2016, 328-338.
- Thanh, N. T., Viet, L. D., Thien, H. Q. & Nhu, N. H. T. (2024). Influence of settlement on base resistance of long piles in soft soil - Field and machine learning assessments. Geotechnics, 4(2), 447-469.
- Zhang, F., Iskander, M. & Hussein, A. (2022). Data-driven CPT based prediction of pile capacity using machine learning. Computers and Geotechnics, 139, 104-117.



Thí nghiệm nén tĩnh cọc có đo biến dạng theo chiều dài cọc.

Static compression tests for piles with measuring strain along pile's length.

Nguyễn Anh Dũng

Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam. E-mail: areniscas50@gmail.com

Tóm tắt

Thí nghiệm nén tĩnh là phương pháp được coi là tin cậy nhất để xác định sức chịu tải cọc, trong đó nó mô tả đối xử thực của cọc khi chịu tải trên đỉnh cọc. Kết quả sức chịu tải được phân tích thông qua đường cong quan hệ biểu diễn độ lún của đỉnh cọc và giá trị tải trọng tương ứng. Thí nghiệm có quan hệ với kết quả dự tính lý thuyết thông qua giá trị tải trong thí nghiệm lớn nhất được yêu cầu. Giá trị này thông thường được bằng vài lần sức chịu tải dự tính của cọc, giá trị vượt tải này phụ thuộc vào quan điểm của tư vấn thiết kế.

Sức chịu tải cọc được xác định lý thuyết thông qua giả định được cấu thành bởi sức chịu tải phần thân cọc và phần mũi cọc. Như vậy thí nghiệm nén tĩnh mới thể hiện được mô hình làm việc thực của cọc, mà kết quả là không thể hiện được các thành phần chịu tải mà lý thuyết lấy làm cơ sở.

Trong báo cáo này trình bày một phương pháp thí nghiệm cho phép tách được hai thành phần chịu tải của cọc, đó là sự kết hợp của thí nghiệm nén tĩnh với thí nghiệm đo sự phân bố biến dạng theo chiều dài cọc thông qua việc sử dụng các cảm biến đo biến dạng bố trí trong thân cọc theo chiều dài cọc. Phương pháp đã được áp dụng tại một số công trình ở Việt Nam.

Abstract

Static compression testing is considered the most reliable method for determining pile bearing capacity, as it describes the true behavior of a pile under top load. The bearing capacity results are analyzed through a curve showing the settlement of the pile head and the corresponding load value. The test result is related to the theoretical prediction through the maximum required test load value. This value is usually several times of the predicted bearing capacity of the pile; this overload value depends on the design consultant's perspective.

The theoretically determined pile bearing capacity is based on the assumption that it is composed of the bearing capacity of the pile shaft and the pile base. Thus, static compression testing only represents the true working model of the pile, and the results do not represent the load-bearing components based on theory.

This report presents an experimental method that allows for the separation of the two load-bearing components of a pile, which is a combination of static compression testing with the measurement of strain distribution along the pile length by using strain gauges placed inside the pile, along its length. This method has been applied in several projects in Vietnam.

Từ khóa: thí nghiệm nén tĩnh (static load test); sức chịu tải cọc (pile's bearing capacity), thanh đo biến dạng (tell-tale); thiết bị đo biến dạng (strain gauge).

Mở đầu

Trong lý thuyết dự tính sức chịu tải cọc, có thể nói rằng, quan điểm chung duy nhất đối với các nhà nghiên cứu là biểu thức dự tính sức chịu tải của cọc bao gồm hai thành phần:

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad (1)$$

Trong đó: Q_u là sức chịu tải cực hạn của cọc; Q_b là sức chịu tải cực hạn phần mũi cọc; Q_s là sức chịu tải cực hạn phần thân cọc.



Tuy nhiên việc dự tính cho từng thành phần sức kháng là có rất nhiều khác biệt ngay cả về quan niệm. Với một kích thước cọc và điều kiện đất nền cùng trong một tiêu chuẩn thiết kế có thể đưa ra nhiều giá trị sức chịu tải cọc.

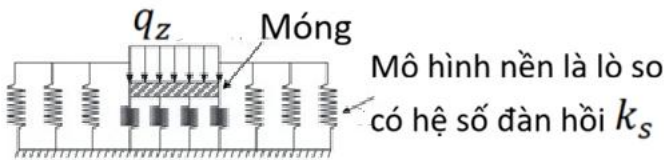
Sự khác biệt này xuất phát từ các yếu tố sau:

- Do chiều dài cọc và điều kiện địa chất công trình mà phải sử dụng các phương pháp thí nghiệm khác nhau. Từ đó dẫn đến các kết quả xác định các thông số của đất nền và cách chuyển đổi kết quả thí nghiệm sang thông số tính toán là khác nhau.
- Quan niệm về giá trị của các hệ số áp dụng đưa giá trị tính toán giới hạn về giá trị tính toán. Các hệ số này có hai loại, loại đầu là một giá trị chung áp dụng cho Q_{ul} và loại hệ số riêng cho từng thành phần Q_b và Q_s .

Phương pháp t-z

Đây là một phương pháp được đưa ra nhằm xác định được cụ thể sự phân bố các sức chịu tải thành phần của cọc trên cơ sở xây dựng quan hệ một chuyển dịch ở đầu cọc với dịch chuyển của cọc ở các độ sâu khác nhau, từ đó cho các giá trị sức chịu tải thành phần là hợp lý hơn. Phương pháp được gọi là phương pháp t-z.

Phương pháp t-z hay hương pháp phản lực nền được đề xuất bởi Seed và Reese (1957) sau đó được rất nhiều nhà nghiên cứu như Armaleh and Desai (1987), Christoulas and Frank (1991), Everett (1991); Fleming (1992); Frank (1985); Kraft et. al (1981); Liu et. al (2004), McVay et. al (1989);. Tuy nhiên, có lẽ nên nói, phương pháp này là một sự phát triển của mô hình nền Winkler. Mô hình này mang tên của nhà khoa học Đức Emil Winkler, được trình bày trong cuốn sách kinh điển của ông “Die Lehre von der Elasticität und Festigkeit” (Theory of Elasticity and Strength of Materials) xuất bản (1867) tại Prague, C.H. Séc. Winkler nghiên cứu sự làm việc tương tác giữa công trình và nền, bằng cách thay thế tiếp xúc của móng công trình với nền đất bằng các lò so, xem Hình 1.

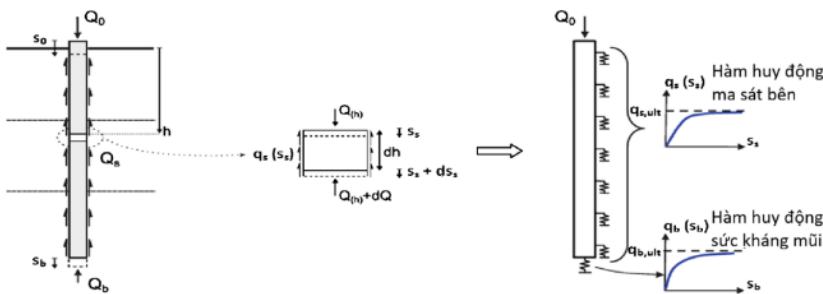


Hình 1. Mô hình Winkler

Theo mô hình, lực phát sinh trong lò so khi móng bị lún một khoảng s được viết:

$$F = k_s * s \tag{2}$$

Hình 2 mô tả sơ đồ làm việc của cọc của phương pháp t – z (theo Cécilia Bohn et. al (2016)). Trong sơ đồ này cọc được chia thành các phân tố có chiều dày là dh theo chiều dài cọc. Ma sát bên phân tố qs(sis) được mô phỏng bằng một lò so thẳng đứng và là hàm dịch chuyển của hai mặt trên và dưới của phân tố. Ứng suất tại mũi cọc qb(sb) cũng mô phỏng bằng một lò so và là hàm dịch chuyển của mũi cọc. Bài toán này được giải với các thông số vật lý của cọc là modul đàn hồi E, diện tích mặt cắt cọc, số phần tử chia cọc và hệ số nền tương ứng của các đoạn cọc.



Hình 2. Sơ đồ làm việc của cọc của phương pháp t-z.



Phương pháp này khá hiệu quả khi tính toán phân bố lực truyền vào đất nền dưới tải trọng dọc trục Q_0 . Rõ ràng kết quả phân bố này cho phép xem xét rõ ràng hơn trong việc xác định sức chịu tải thẳng đứng của cọc. Phương pháp này cũng được ứng dụng trong việc phát triển phương pháp

Thiết bị sử dụng đo biến dạng bên trong thân cọc

Để có thể đánh giá sức chịu tải cọc hợp lý hơn, ở góc độ xem xét phân ma sát bên và sức kháng mũi của cọc, người ta đã sử dụng các thiết bị đo biến dạng bên trong cọc theo chiều dài cọc trong các thí nghiệm nén tĩnh cọc. Kết quả này cho phép xác định phân bố của sức kháng mũi và ma sát bên của cọc, từ đó đưa ra những điều chỉnh cho thiết kế cọc.

Kết quả thí nghiệm cho phép người thiết kế có thêm hiểu biết bề sự làm việc tương tác giữa đất và cọc, điều này cũng góp phần xác định chính xác hơn sức chịu tải của cọc và điều chỉnh chiều dài cọc.

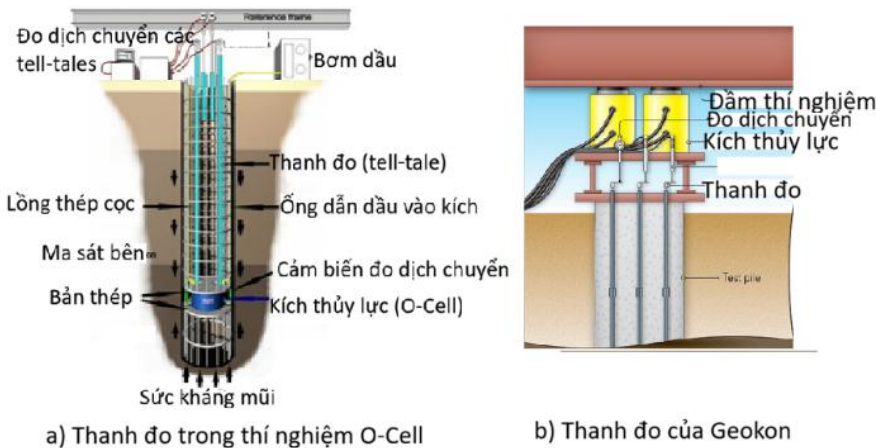
Biến dạng trong thân cọc được đo bằng 2 loại:

- Loại đo chuyển vị của một điểm đo trong thân cọc. Kết quả thí nghiệm trực tiếp của một điểm đo là giá trị chuyển vị tương đối theo chiều dài giữa mặt trên cọc và điểm đo.
- Loại đo bằng cảm biến biến dạng. Kết quả của đo chính là biến dạng ở vị trí lắp cảm biến.

Loại đo chuyển vị

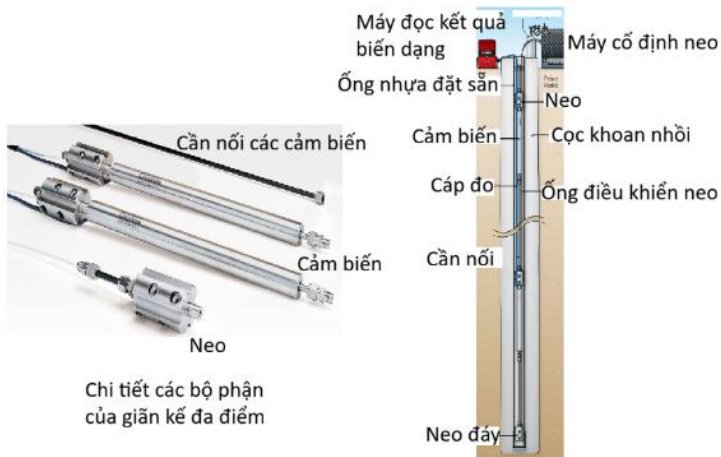
Thanh đo: Đây là loại thiết bị đơn giản nhất, Đây thực chất là những ống thép được lắp sẵn trong cọc khoan nhồi kéo dài từ đỉnh cọc đến các độ sâu khác nhau (là đáy của các ống thép), bên trong ống là một thanh thép cường độ cao được đặt tự do (không chịu tác động của tải trọng thí nghiệm), trên đầu thanh thép là đồng hồ đo chuyển vị được gắn vào hệ dầm cố định được coi là cố định. Các thanh thép được dùng để xác định giá trị dịch chuyển điểm cần đo (đáy thanh đo). Loại thanh đo này có thể nhận thấy ở thí nghiệm cọc bằng hộp gia tải Osterberg (hình 3 a) - Theo Fugro), các thanh đo đo dịch chuyển được bố trí trên mặt kích đến đỉnh cọc.

Loại thanh đo kiểu này còn có tên gọi là tell-tales được sản xuất mang tính thương mại. Hình 3 b) là sử dụng thanh đo của Geokon trong thí nghiệm cọc khoan nhồi, các thanh đo có chiều dài khác nhau để quan trắc dịch chuyển của các đáy thanh so với đầu cọc.



Hình 3. Sử dụng thanh đo tell-tales trong thí nghiệm cọc khoan nhồi.

Sử dụng thiết bị giãn kế đa điểm (loại có thể thu hồi): Giãn kế đa điểm là loại thiết bị điện tử đo sự thay đổi chiều dài của một thanh đo. Chúng cũng được sử dụng cho việc đo biến dạng bên trong cọc. Hình 4 mô tả việc sử dụng thiết bị giãn kế đa điểm Model 1300 (A-9) (loại có thể thu hồi – Retrievable Extensometers) của Geokon.



Chi tiết các bộ phận của giàn kế đa điểm

Hình 4. Sử dụng giàn kế đa điểm đo biến dạng trong cọc khoan nhồi

Thiết bị đo độ giãn có thể thu hồi Model 1300 (A-9) cho phép đo được dịch chuyển tại 8 vị trí dọc theo chiều dài cọc tính đến đầu cọc (nơi bố trí hộp của các cảm biến biến dạng của từng thanh), điểm đo là vị trí neo có định với thân cọc. Trong thí nghiệm đo biến dạng trong thân cọc nó có thể được lắp đặt bên trong ống PVC hoặc thép được bố trí sẵn. Một tính năng chính của Model 1300 (A-9) là khả năng được thu hồi và sử dụng nhiều lần.

Loại đo biến dạng

Để xác định giá trị biến dạng, người ta áp dụng giả thiết rằng trong chiều dài này giá trị biến dạng là hằng số.

Nếu gọi chiều dài cho một vị trí đo là L_i , giá trị dịch chuyển ở một thời điểm t dưới tác dụng của lực thí nghiệm là P là ΔL_i , thì giá trị biến dạng (ϵ_{zi}) của đoạn L_i được viết:

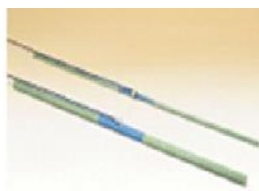
$$\epsilon_{zi} = \frac{\Delta L_i}{L_i} \tag{3}$$

Trong đó: Chiều dài L_i của loại tell-tales là chiều dài của các thanh đo; Chiều dài L_i của loại giàn kế được tính từ đỉnh cọc đến vị trí neo.

Giá trị biến dạng được đo bằng cảm biến đo biến dạng. Trong hình 5 là một số cảm biến đo biến dạng của Geokon. Các cảm biến thường được bố trí trong giai đoạn thi công cốt thép cọc. Hình 5. a) là loại cảm biến được bố trí trong bê tông, nó đo biến dạng trong bê tông. Hình 5. b) là cảm biến dạng cốt thép, khi lắp đặt chúng được cố định vào thép chủ cọc. Hình 5. c) là loại cảm biến sợi quang liên tục



a) Cảm biến biến dạng trong bê tông



b) Cảm biến biến dạng cốt thép



c) Cảm biến quang học DFOS Geokon

Hình 5. Một số loại cảm biến biến dạng

Kết quả thí nghiệm

Từ kết quả thí nghiệm các thông số sau có thể được tính toán:

- Ứng suất trong thân cọc tại vị trí đo.
Được xác định dựa trên giá trị biến dạng đo được từ các thiết bị lắp tại các mặt cắt theo chiều dài cọc. Giá trị ứng suất (σ_{zj}) được xác định dựa trên định luật Hooke:

$$\sigma_{zj} = \epsilon_{zj} * E \tag{4}$$



trong đó: ε_{zj} là giá trị biến dạng đo được ở độ sâu đo thứ j ; E là modul đàn hồi của vật liệu cọc.

- Lực tại mặt cắt có cảm biến đo.

Tại một mặt cắt ở độ sâu z , giá trị lực được viết:

$$F_{zj} = \varepsilon_{zj} * A * E \tag{5}$$

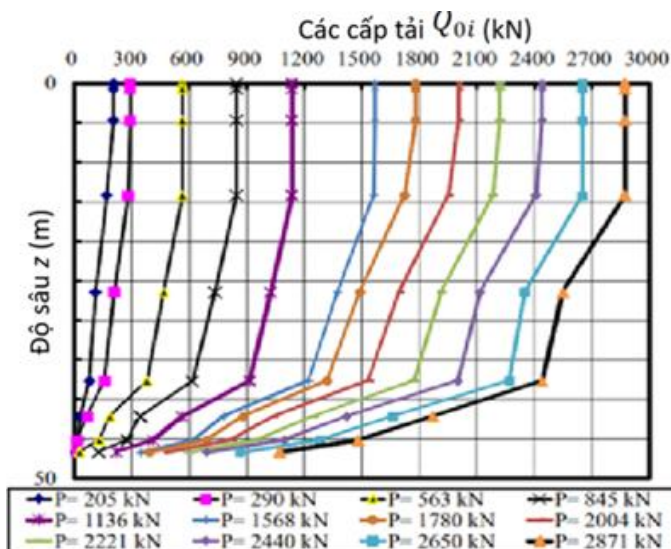
- Ma sát bên của thân cọc giữa hai mặt cắt có cảm biến đo.

Ma sát bên của thân cọc (f_k) được xác định với giả thiết là giá trị hằng số trong cả chiều dài giữa hai mặt cắt đo liền nhau:

$$f_k = \frac{F_{zj} - F_{zj+1}}{L_k * U} \tag{6}$$

trong đó: F_{zj} là lực trong thân cọc ở mặt cắt (z_j); F_{zj+1} là lực trong thân cọc ở mặt cắt ($z_j + 1$); L_k là khoảng cách giữa hai mặt cắt nêu trên; U là chu vi thân cọc.

Từ kết quả thí nghiệm, ở mỗi giá trị tải trọng thí nghiệm, có thể xác định phân bố ma sát bên dọc theo thân cọc và sức kháng mũi cọc (ở vị trí cảm biến bố trí tại lân cận mũi cọc). Hình 6 trình bày một kết quả thí nghiệm của các tác giả Faisal Ali and Lee Sieng Kai (2013). Mỗi cấp tải trọng thí nghiệm là một đường cong quan hệ lực phân bố ở mặt cắt có thiết bị đo (Q_{zi} và Q_{bi}) theo độ sâu (z) và với tải trọng tương ứng tác dụng lên đầu cọc (Q_{0i}).



Hình 6. Một kết quả thí nghiệm điển hình

Kết luận và kiến nghị.

Kết quả thí nghiệm có thể sử dụng để xem xét việc xác định sức chịu tải cọc theo đất nền theo lý thuyết. Đặc biệt là sự phân bố của ma sát bên trong quan hệ với sức kháng mũi cọc. Theo ý kiến của tác giả, ở các công trình cọc có chiều dài lớn cũng như công trình quan trọng nên khuyến khích áp dụng phương pháp này

Tài liệu tham khảo

Armaleh, S., and Desai, C. S. (1987). "Load-deformation response of axially loaded piles." J. Geotech. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9410(1987) 113:12(1483), 1483–1500.

Cécilia Bohn, Alexandre Lopes dos Santos and Roger Frank (2016). Development of Axial Pile Load Transfer Curves Based on Instrumented Load Tests. J. Geotech. Geoenviron. Eng., 04016081 ASCE.

Christoulas, S., and Frank, R. (1991). "Deformation parameters for pile settlement." 10th European Conf. of Soil Mechanics, A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.

Everett, J. P. (1991). "Load transfer functions and pile performance modelling." Geotechnics in the African environment, G. E. Blight, et al., eds., Balkema, Rotterdam, 229–234.

Faisal Ali and Lee Sieng Kai (2013). Measurement of Strain Distribution Along Precast Driven Pile During Pile Load Test. Int. J. of GEOMATE, June, 2013, Vol. 4, No. 2 (SI. N Int. J. of GEOMATE, June, 2013, Vol.



- 4, No. 2 (Sl. No. 8), pp. 565-573 Geotec., Const. Mat. & Env., ISSN:2186-2982(P), 2186-2990(O), Japan.
- Fleming, W. G. K. (1992). "A new method for single pile settlement prediction and analysis." *Geotechnique*, 42(3), 411–425.
- Kevin Duffy, Ken Gavin, Dirk de Lange and Mandy Korff (2022). Residual stress measurement of driven precast piles using distributed fibre optic sensors. 11th International Stress Wave Conference Rotterdam, The Netherlands. September 20-23, 2022.
- Kraft, L. M., Ray, R. P., and Kagawa, T. (1981). "Theoretical t-z curves." *J. Geotech. Eng.*, 107(11), 1543–1561.
- Liu, J., Xiao, H. B., Tang, J., and Li, Q. S. (2004). "Analysis of loadtransfer of single pile in layered soil." *Comput. Geotech.*, 31(2), 127–135.
- McVay, M. C., Townsend, F. C., Bloomquist, D. G., O'Brien, M. O., and Caliendo, J. A. (1989). "Numerical analysis of vertically loaded pile groups." *Foundation Engineering: Current Principles and Practices*, ASCE, Reston, VA, 675–690.



PileWall3D: mô hình hóa tường cọc và tương tác đất - kết cấu bằng phần tử hữu hạn

PileWall3D: FE modeling of pile-wall systems considering soil-structure interaction

Dương Quang Minh

Công ty cổ phần Nền Móng Bách Khoa. E-mail: quangminhduong@hotmail.com

Tóm Tắt

Bài viết giới thiệu cơ sở lý thuyết và quy trình sử dụng PileWall3D, một công cụ mô hình hóa hệ tường cọc, cọc ván, tường chắn có neo/chống bằng phần tử hữu hạn 3D kết hợp lò xo nền phi tuyến. Nội dung tập trung vào triết lý quy đổi đất thành hệ p-y, t-z, q-z; cách tổ chức hình học, vật liệu, lớp đất, tải trọng và nước; phương pháp giải phi tuyến; cùng các kiểm tra bắt buộc trước khi phát hành hồ sơ. Các hình trong bài là mô phỏng lý thuyết, phần ví dụ tính toán sử dụng hình chạy chương trình.

Abstract

The paper introduces the theoretical basis and workflow of PileWall3D, a tool for modeling pile walls, sheet pile walls, and anchored or braced retaining wall systems using three-dimensional finite elements combined with nonlinear soil springs. The discussion focuses on the modeling philosophy in which the soil is represented by p-y, t-z, and q-z spring systems; the organization of geometry, materials, soil layers, loads, and water conditions; the nonlinear solution procedure; and the mandatory checks required before issuing design documentation. The figures presented in the paper are theoretical simulations, while the calculation example uses screenshots obtained from actual program runs.

Keywords: PileWall3D, tương tác đất - kết cấu, p-y spring, OpenSeesPy, tường cọc

Mở đầu

Trong thiết kế hố đào, kè bờ sông, tường cọc và cọc chịu tải ngang, kết quả phân tích thường phụ thuộc đồng thời vào độ cứng kết cấu, trạng thái ứng suất đất, mực nước, trình tự thi công và khả năng huy động phản lực nền. Mô hình liên tục 3D toàn khối đất có thể cho nhiều thông tin nhưng đòi hỏi dữ liệu, thời gian tính và kiểm chứng lớn. Vì vậy, trong thực hành thiết kế, mô hình thanh kết hợp lò xo nền phi tuyến vẫn là một hướng tiếp cận hiệu quả khi mục tiêu chính là chuyển vị, lực cắt, mô men, phản lực đất và lực neo/chống. PileWall3D được phát triển theo triết lý này: kết cấu tường/cọc là hệ phần tử beam-column 3D; đất nền được thay thế bằng zeroLength spring phân bố theo chiều sâu; neo/chống được mô hình theo trục hình học thực; tải đất, nước và tải ngoài được quy đổi thành tải nút hoặc tải phần tử. Cách mô hình giúp giữ được bản chất 3D của tuyến tường, sự khác nhau theo vị trí X, đồng thời đủ gọn để sử dụng trong hồ sơ thiết kế thực hành. Bài viết hướng đến việc tổng hợp nguyên lý, nêu quy trình sử dụng và chỉ ra những kiểm tra kỹ thuật quan trọng để người đọc có thể hiểu đúng phạm vi của phần mềm.

Triết lý mô hình và phạm vi áp dụng

Mô hình PileWall3D gồm ba lớp làm việc đồng thời: lớp kết cấu, lớp đất nền và lớp liên kết. Lớp kết cấu bao gồm tường/cọc, cọc ván, dầm wale và các thanh liên kết; lớp đất nền được mô tả bằng hệ đường cong p-y, t-z, q-z; lớp liên kết bao gồm lò xo đất, neo, chống, gói hoặc điều kiện biên. Khi kết quả được xuất ra, kỹ sư đọc demand gồm chuyển vị, nội lực, lực neo và lực lò xo; còn capacity phải được khai báo hoặc đổi chiều từ tiêu chuẩn, catalogue hoặc tính toán tiết diện độc lập.

Phạm vi phù hợp gồm cọc/tường chịu tải ngang, tường cọc có neo hoặc chống, cọc ván bê tông dự ứng lực, địa chất nhiều lớp và các trường hợp tải gồm áp lực đất, áp lực nước, surcharge, tải tập trung/tải xe.



Phần mềm không thay thế phân tích ổn định tổng thể, trượt sâu, thấm, xói ngầm, hóa lỏng động đất đầy đủ hoặc cố kết theo thời gian nếu các bài toán đó chưa được kiểm chứng bằng module riêng. Giới hạn áp dụng đối với tường liên tục trong đất cát. Mô hình p-y trong PileWall3D được xây dựng trên cơ sở quan hệ phản lực đất - chuyển vị thường dùng cho cọc hoặc phần tử dạng cọc chịu tải ngang. Đối với các bài toán tường liên tục như sheet pile wall, diaphragm wall hoặc secant pile wall đồng thời khi có đáy hố đào nằm trong lớp cát, cơ chế tương tác đất - kết cấu có thể khác đáng kể so với giả thiết p-y truyền thống. Trong các trường hợp này, khuyến cáo chọn cho lớp cát $K_{init} > 3e+5$ và kết quả nội lực và chuyển vị cần được xem là kết quả tham khảo và nên được kiểm chứng bằng phương pháp phân tích khác, số liệu quan trắc hoặc phần mềm địa kỹ thuật chuyên dụng.

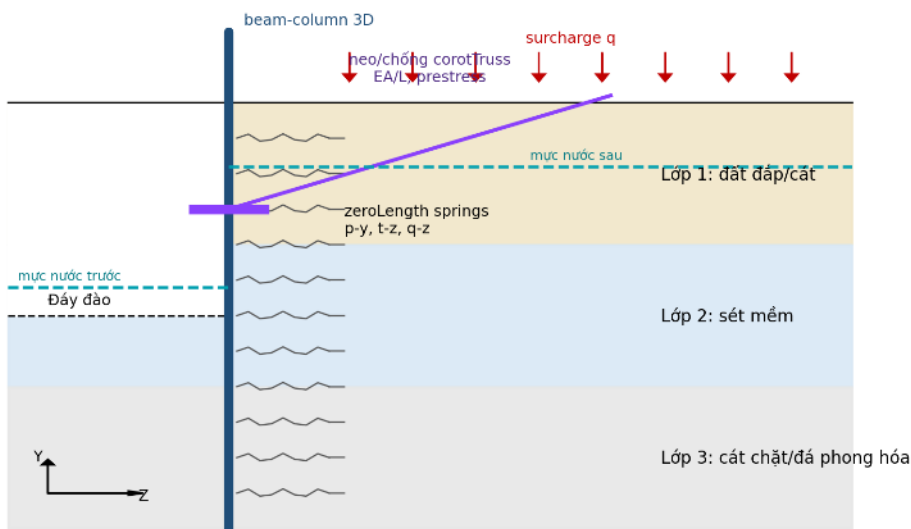
Bảng 1 Tóm tắt các thành phần chính trong mô hình PileWall3D

Thành phần	Mô hình tính	Thông số chính	Kết quả cần đọc
Tường/cọc/cọc ván	Beam-column 3D	E, G, A, J, Iy, Iz, chiều sâu, spacing	Chuyển vị, lực cắt, mô men, lực dọc
Đất nền	Lò xo zeroLength p-y, t-z, q-z	Soil type, gamma, phi, c, Su, qu, qc, RQD, mực nước	Phản lực đất, chuyển vị huy động, phần trăm sử dụng
Neo/chống/wale	Truss/corotTruss hoặc lò xo phi tuyến	EA/L, góc nghiêng, prestress, Tult, đường cong lực - chuyển vị	Lực dọc trục, biến dạng, trạng thái tension/compression
Tải trọng và nước	Tải nút/tải phần tử theo load case	Rankine/Coulomb/User Ka, surcharge, water level front/back	Tổng tải, mô men quy đổi, load factor đạt được

Mô hình phần tử hữu hạn và lò xo đất

Bài toán cân bằng được giải theo dạng $R(U) = F_{ext} - F_{int}(U) = 0$. Với lò xo đất phi tuyến, neo phi tuyến hoặc tiếp xúc compression-only ở mũi cọc, độ cứng tiếp tuyến thay đổi theo chuyển vị nên nghiệm cần lặp theo từng bước tải. Trong thực hành, Load Control thường dùng cho bài toán tăng tải thông thường; Displacement Control có thể dùng cho khảo sát capacity hoặc đường cong pushover; còn Arc-Length chỉ dùng khi người lập mô hình hiểu rõ ứng xử sau đỉnh.

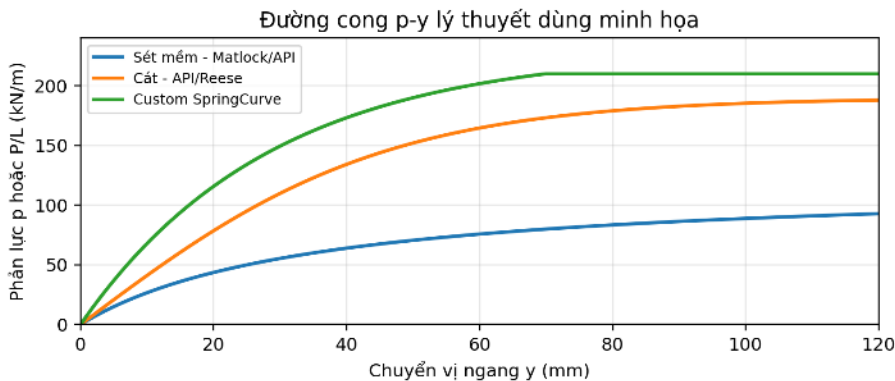
Đường cong p-y biểu diễn quan hệ giữa chuyển vị ngang y và phản lực đất p trên đơn vị chiều dài. Khi đưa vào node, lực lò xo P_i được tính bằng p_i nhân với chiều dài đại diện $L_{element}$. Tương tự, t-z mô tả ma sát thành theo chuyển vị dọc trục và q-z mô tả sức kháng mũi. Với các nhóm đất legacy, tham số đường cong có thể đi theo nhánh API/Reese/Matlock; với nhóm đất đặc biệt như cát hóa lỏng, silt, loess, strong rock và weak rock, đường cong có thể được dựng bằng SpringCurve để kiểm soát tính đơn điệu, plateau và metadata kỹ thuật.



Hình 1. Sơ đồ khái niệm mô hình tường/cọc trong PileWall3D: beam-column 3D, lò xo đất, neo/chống, tải mặt đất và mực nước.



Một nguyên tắc quan trọng là không được hiểu kết quả lò xo như “sức chịu tải tuyệt đối” tách khỏi giả thiết mô hình. Phản lực đất phụ thuộc vào đường cong đã chọn, chiều dài phần tử phân tố, spacing cọc, hiệu chỉnh mái dốc phía trước và cách chia lớp đất. Do đó, các đường cong cần được kiểm tra về đơn vị, tính đơn điệu và sức kháng cực hạn trước khi phân tích chính thức.



Hình 2. Minh họa dạng đường cong p-y lý thuyết cho các nhóm đất khác nhau; số liệu chỉ dùng để mô phỏng hình dạng ứng xử.

Mô hình tải trọng, nước và neo/chống

Áp lực đất có thể tính theo Rankine, Coulomb, Apparent pressure envelope hoặc hệ số Ka do người dùng nhập. Rankine phù hợp với giả thiết đơn giản; Coulomb hữu ích khi cần xét ma sát tường - đất, độ nghiêng mặt tường hoặc mặt đất sau tường; Apparent pressure envelope được đúc kết từ các bộ dữ liệu quan trắc, phù hợp khi phân tích hệ tường có neo/chống. Sau khi tính biểu đồ áp lực, phần mềm quy đổi thành tải nút hoặc tải phần tử; bước kiểm tra không thể bỏ qua là so sánh tổng lực và mô men quy đổi với diện tích và trọng tâm của biểu đồ áp lực ban đầu.

Mức nước có hai vai trò cần tách biệt. Groundwater Level trong hồ sơ địa chất dùng để tính ứng suất hữu hiệu của đất; Water Level Front/Back trong load case dùng cho áp lực nước tự do tác dụng lên tường. Nếu nhầm hai khái niệm này, kết quả có thể sai đồng thời ở cả phản lực nền và tải ngang. Với chênh lệch mức nước đáng kể, bài toán thấm, uplift, piping hoặc xói ngầm vẫn cần kiểm tra riêng.

Neo và thanh chống nên được mô hình theo trục hình học thực thay vì ép vào một bậc tự do toàn cục. Với mô hình đàn hồi, độ cứng dọc trục là $K_{anchor} = EA/L$; với mô hình phi tuyến, đường cong lực - chuyển vị phải tăng hợp lý, tránh lực âm ngoài chủ đích và cần đọc đúng dấu lực kéo/nén. Không nên lấy trị tuyệt đối của lực dọc trục nếu chưa kiểm tra quy ước tension/compression.

Quy trình sử dụng và kiểm tra kết quả

Quy trình làm việc được khuyến nghị đi từ Dự án (Project), Tường (Wall), Mặt cắt (Sections), Hồ sơ địa chất (Soil Profile), Lớp đất (Soil Layers), dầm wale, neo/chống, Load Case, PC Members, Analysis Run, rồi mới đến Details, Charts và Report. Các trường cao độ bắt đầu bằng Y phải nhập theo cao độ thật có dấu: trên mặt đất là dương, dưới mặt đất là âm. Ví dụ đáy đào sâu 8 m phải nhập Y Excavation Elevation = -8.0 m, không nhập +8.0 m.

Trước khi chạy, cần kiểm tra rằng soil profile phủ kín từ mặt đất đến mũi cọc, các lớp đất chạm nhau, Y Top lớn hơn Y Bottom, mũi cọc nằm trong lớp hợp lệ, tiết diện đúng đơn vị kPa - m - m4, load case đúng tổ hợp, và các thông số neo/chống đúng đơn vị. Khi solver trả PARTIAL, kết quả chỉ đại diện cho hệ số tải đã đạt, không được xem như kết quả đạt 100% tải nếu chưa có phê duyệt kỹ thuật riêng.

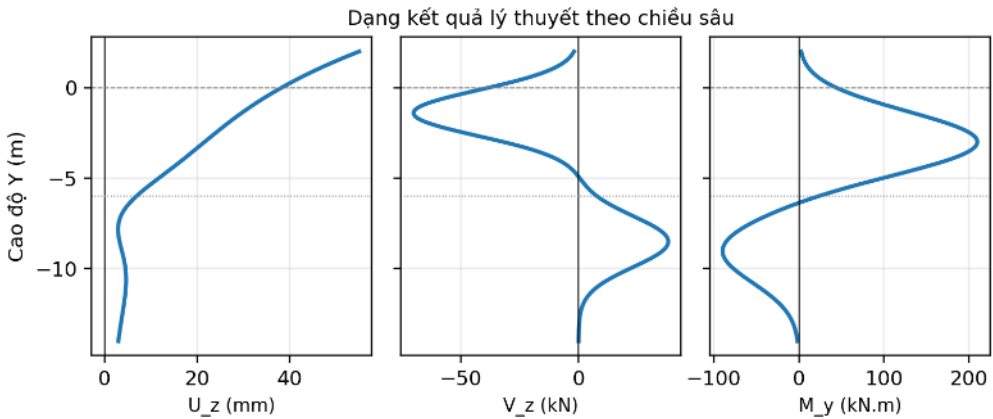
Bảng 2 Checklist rút gọn trước khi phát hành hồ sơ tính toán

Nhóm kiểm tra	Nội dung cần xác nhận	Rủi ro nếu bỏ qua
Hình học và cao độ	Y cao độ, spacing và chiều dài chia đoạn đúng dấu	Sai chiều sâu, sai độ cứng, thiếu cọc chôn đất
Đất nền	Lớp phủ kín, soil type đúng, mực nước hợp lý	Lò xo thiếu/quá cứng; phản lực không vật lý
Tải trọng	Tổng lực và mô men khớp biểu đồ tải	Sai dấu/đơn vị; nội lực lệch lớn
Phân tích và báo cáo	Run SUCCESS/PARTIAL có giải thích; biểu đồ hợp lý	Dùng kết quả chưa hội tụ làm thiết kế



Mô phỏng lý thuyết minh họa

Hình 3 trình bày dạng kết quả lý thuyết theo chiều sâu của một tường/cọc chịu áp lực ngang. Chuyển vị thường lớn ở vùng trên, lực cắt đổi dấu theo phân bố tải và phản lực nền, còn mô men đạt cực trị tại vùng có thay đổi điều kiện biên hoặc mức huy động đất lớn. Khi đọc kết quả thực tế, hình dạng biểu đồ quan trọng không kém giá trị cực trị: đột biến không giải thích được thường gợi ý lỗi tải nút, lò xo, điều kiện biên hoặc chia đoạn.



Hình 3. Dạng chuyển vị, lực cắt và mô men lý thuyết theo chiều sâu; dùng để minh họa cách kiểm tra xu thế kết quả.

PHÂN TÍCH VÀ SO SÁNH VÍ DỤ TỪ PYWALL 3.0

Ví dụ sau trong tài liệu: "Design of Sheet Pile Walls Using TRULINE Composite Wall Sections – Design Methods and Examples". Bài ví dụ PYWall 3.0 – Tường mềm có neo trong đất sét cứng

Bài toán: phân tích tường mềm cao đào 20 ft bằng PYWall 3.0, có một neo ngang tại đỉnh, xét tương tác đất-kết cấu theo mô hình dầm-cột trên nền phi tuyến. Tường dài tổng 35 ft, đoạn chôn dưới đáy đào 15 ft. Tải đất sau tường là biểu đồ áp lực biểu kiến cho sét cứng theo Terzaghi–Peck–Mesri. Kết quả cần so sánh gồm chuyển vị ngang, mô men, lực cắt và lực neo.
 Hệ đơn vị quy đổi: kN, m, kN/m², kN/m³, kNm.
 Hình học: H đào = 20 ft = 6.096 m; chiều dài tường = 35 ft = 10.668 m; chôn dưới đáy đào = 15 ft = 4.572 m; bề rộng dải tính = 12 in = 0.3048 m.
 Áp lực biểu kiến: p_{max} = 0.35·γ·H; dạng phân bố 0 – H/4 – 3H/4 – 0.

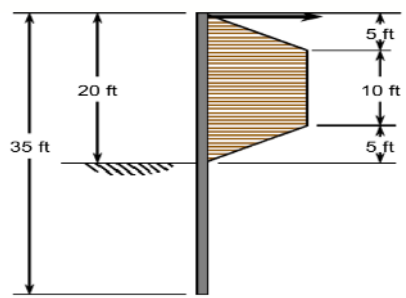


Figure 7 – Example Problem for PYWall
 Sơ đồ tường, neo và biểu đồ áp lực biểu kiến 0–1/4–3/4–0.

Bảng 1. Dữ liệu đất quy đổi sang hệ SI

Lớp đất	Khoảng sâu	γ (kN/m ³)	c/Su (kN/m ²)	ε ₅₀	k (kN/m ³)
Sét cứng, không nước tự do	0–23 ft = 0–7.010 m	19.48	83.79	0.007	162,900
Sét cứng, không nước tự do	23–60 ft = 7.010–18.288 m	19.48	143.64	0.005	271,400

Bảng 2. Tải ngang biểu kiến và neo dùng nhập mô hình

Hạng mục	Giá trị gốc	Giá trị SI	Công thức/ghi chú	Dùng cho PileWall3D
Áp lực cực đại	72.4 lb/in cho dải 12 in	p _{max} = 41.56 kN/m ² ; q _{max} = 12.68 kN/m	0.35·γ·H, H=6.096 m	tải ngang trên PC_COLUMN
Mốc áp lực	0–5–15–20 ft	0–1.524–4.572–6.096 m	0 – p _{max} – p _{max} – 0	vector Y-p tại node column
Neo No.9	A=1 in ² ; E=29e6 psi; L=25 ft; s=6 ft	A=0.000645 m ² ; E≈2.00E8 kN/m ² ; L=7.62 m; s=1.829 m	k strip = 16,110 lb/in = 2,821 kN/m	EA tương đương dải 0.3048 m ≈ 21,500 kN



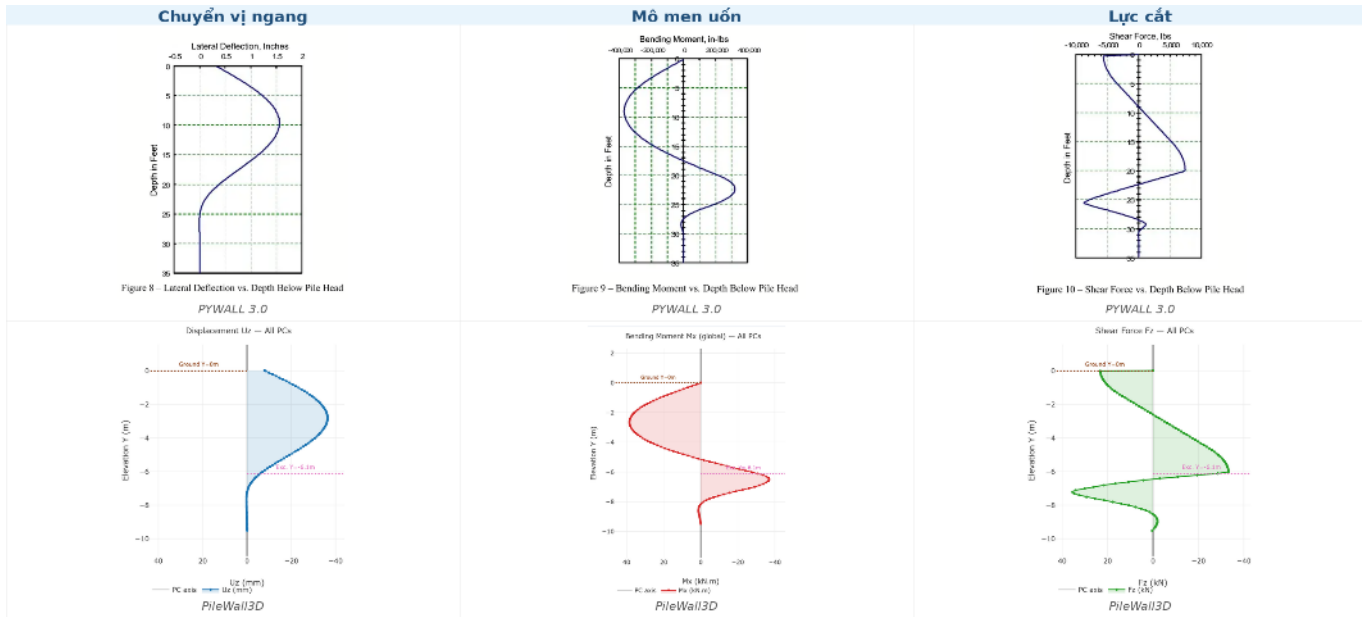
Bảng 3. Kết quả chuẩn PYWall 3.0 để so sánh – phương án Series 1200, bê tông 4000 psi, thép No.9

Đại lượng	Giá trị gốc PYWall	Giá trị SI	Vị trí	Ý nghĩa	Ghi chú
Chuyển vị ngang max	1.56 in	39.62 mm = 3.962 cm	≈10 ft = 3.05 m dưới đỉnh	biến dạng ngang lớn nhất	Hình 8
Mô men uốn max	370,000 in-lb	41.80 kNm	≈10 ft = 3.05 m dưới đỉnh	nội lực uốn lớn nhất	Hình 9
Lực cắt lớn	7,390 lb tại 20 ft; max 8,710 lb tại 25.5 ft	32.87 kN tại 6.10 m; max 38.74 kN tại 7.77 m	gần đáy đào và trong đoạn chôn	kiểm tra cắt	Hình 10
Lực neo	5,640 lb cho dải 1 ft	25.09 kN	tại đầu neo	phản lực neo/tieback	neo thật cách 6 ft: 150.5 kN
Độ cứng uốn EI	1.667E9 lb-in ²	4,784 kN·m ²	dải 12 in	phương án No.9	Mmax/Mult=0.895

Ghi chú nhập liệu: nếu mô hình đúng dải 12 in thì dùng bề rộng chịu tải B=0.3048 m và EA neo tương đương dải; nếu mô hình một neo thật thì dùng EA≈129,000 kN và nhân lực theo khoảng cách neo thực. Áp lực ngang được tính theo Apparent pressure envelope.

ĐỐI CHIẾU BIỂU ĐỒ VÀ KẾT QUẢ CỰC TRỊ: PYWALL 3.0 - PILEWALL3D

Quy ước vị trí: Y = 0 tại đỉnh tường/pile head; Y âm theo chiều sâu. Đơn vị so sánh: mm, kNm, kN.



Bảng 4. Tổng hợp giá trị cực trị và vị trí

Đại lượng	PYWALL	Vị trí PYWALL	PileWall3D	Vị trí PileWall3D	Sai lệch
Chuyển vị max	39.62 mm	Y ≈ -3.05 m (10 ft dưới đỉnh)	36.39 mm	Y = -2.80 m	-8.2%
Mô men max	41.80 kNm	Y ≈ -3.05 m (10 ft dưới đỉnh)	38.45 kNm	Y = -2.80 m	-8.0%
Lực cắt max	38.74 kN	Y ≈ -7.77 m (25.5 ft dưới đỉnh)	35.45 kN	Y = -6.00 m	-8.5%
Lực neo	25.09 kN	Tại đầu neo/tieback	23.24 kN	Tại đầu neo	-7.4%

Ghi chú: Vị trí PYWALL được quy đổi từ ft sang m; sai lệch = (PileWall3D - PYWALL)/PYWALL. Trường lực cắt PYWALL lấy giá trị cực đại 8,710 lb tại 25.5 ft dưới đỉnh.



Diễn giải cảnh báo và trách nhiệm kỹ thuật

Một báo cáo tính toán chuyên nghiệp không chỉ liệt kê giá trị cực đại mà còn phải giải thích trạng thái phân tích. Trạng thái SUCCESS cho biết solver đạt mức tải mục tiêu theo tiêu chuẩn hội tụ đã chọn; trạng thái PARTIAL cho biết có kết quả ở một hệ số tải nhất định nhưng chưa đạt toàn bộ load case. Trong trường hợp PARTIAL, báo cáo phải nêu rõ load factor reached, số bước đã hoàn thành, nguyên nhân dự đoán và phạm vi được phép sử dụng kết quả.

Các cảnh báo DEMAND_ONLY, WARNING hoặc EXCEEDED cần được diễn giải theo đúng bản chất. DEMAND_ONLY không có nghĩa là an toàn, mà chỉ cho biết phần mềm mới có nhu cầu nội lực/chuyển vị, chưa có capacity để so sánh. WARNING yêu cầu kiểm tra lại giả thiết, đơn vị và giới hạn cho phép; EXCEEDED yêu cầu hiệu chỉnh thiết kế hoặc bổ sung kiểm tra sức kháng. Người lập mô hình nên lưu lại phiên bản dữ liệu, nguồn thông số đất, nguồn capacity tiết diện và người kiểm tra để bảo đảm truy xuất kỹ thuật.

Kết luận và kiến nghị

PileWall3D phù hợp với nhu cầu phân tích thực hành cho hệ tường cọc, cọc ván, tường chắn có neo/chống trong đó tương tác đất - kết cấu được mô hình bằng lò xo nền phi tuyến. Giá trị của phần mềm nằm ở việc tổ chức nhất quán dữ liệu hình học, địa chất, tiết diện, tải trọng, nước và kết quả; đồng thời cho phép kỹ sư kiểm tra demand/capacity một cách có dấu vết. Tuy nhiên, độ tin cậy của kết quả vẫn phụ thuộc vào số liệu địa chất, giả thiết mô hình, kiểm tra đơn vị, kiểm tra hội tụ và phán đoán kỹ thuật của người thiết kế.

Tài liệu tham khảo

- API. (2014). API RP 2GEO: Geotechnical and foundation design considerations. American Petroleum Institute.
- FHWA. (2010). Drilled shafts: construction procedures and LRFD design methods. Federal Highway Administration.
- Matlock, H. (1970). Correlations for design of laterally loaded piles in soft clay. Proceedings of the Offshore Technology Conference, Houston.
- Reese, L. C., Cox, W. R. & Koop, F. D. (1974). Analysis of laterally loaded piles in sand. Proceedings of the Offshore Technology Conference, Houston.
- VSSMGE. (2025). VSSMGE Bulletin Template V1d. Hội Cơ học Đất và Địa kỹ thuật Công trình Việt Nam.
- Zhu, M., McKenna, F., & Scott, M. H. (2018). OpenSeesPy: Python library for the OpenSees finite element framework. SoftwareX, 7, 6–11.
- OpenSeesPy Documentation. (n.d.). Laterally-loaded pile foundation. OpenSeesPy Examples Manual / Documentation. Retrieved 2026, from the OpenSeesPy documentation website.
- Mahmoud El Gendy, Omar El Gendy, Mohamed El Gendy. Analysis of laterally loaded single pile using P-y curve by Program GEO Tools Part I: Numerical Models.
- Shin-Tower Wang and Jose A. Arrellaga. July 6, 2007. Verification of computer program PYWALL as a valid tool for design of flexible retaining walls.
- Design of Sheet Pile Walls Using TRULINE Composite Wall Sections – Design Methods and Examples.
- Địa chỉ trang web phần mềm: pilewall3d.com với user name: Dungthu password: Dungthu123**



PROJECTS IN FOCUS

Đưa công nghệ neo đất Nhật Bản đến Việt Nam

Tranfering Japanese ground anchoring technology to Vietnam

Nguyễn Hoài Nam

SE Corporation. E-mail: nam_nguyen@se-corp.com

Phùng Đức Long

Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam. E-mail: phung.long@gmail.com

Tóm tắt

Bài viết trình bày quá trình Nhật Bản từ một quốc gia tiếp nhận công nghệ neo đất sau Thế chiến II vươn lên trở thành cường quốc hàng đầu thế giới trong lĩnh vực này, cũng như phân tích nhu cầu sử dụng neo đất hiện nay và vai trò tiên phong của SE Corporation trong việc chuyển giao, nội địa hóa công nghệ neo đất Nhật Bản tại Việt Nam. Bài viết làm rõ các yếu tố then chốt tạo nên "trường phái neo đất Nhật Bản", bao gồm: điều kiện địa kỹ thuật đặc thù, chiến lược tiêu chuẩn hóa có hệ thống, công nghệ chống ăn mòn đa lớp và neo chống động đất. Từ đó, bài viết đặt vào bối cảnh Việt Nam – quốc gia đang thiếu hụt năng lực sản xuất neo đất nội địa – để thấy ý nghĩa chiến lược của việc hình thành nhà máy sản xuất neo đất đạt tiêu chuẩn Nhật Bản ngay trên lãnh thổ Việt Nam.

Abstract

This paper presents Japan's rise to become a world leader in ground anchor technology and analyses the current state of the Vietnamese ground anchor market, highlighting the pioneering role of SE Corporation in transferring and localising Japanese anchor technology in Vietnam. The paper identifies the key factors behind the 'Japanese ground anchor school', including unique geotechnical conditions, systematic standardisation, multi-layer corrosion protection and seismic-resistant design. Against the backdrop of Vietnam's lack of domestic anchor manufacturing capacity and heavy reliance on imports from South Korea and China, the paper discusses the strategic significance of establishing a Japanese-standard anchor production facility in Vietnam.

Keywords: neo đất, Nhật Bản, nội địa hóa, ổn định mái dốc

Mở đầu

Neo đất (ground anchor) là một trong những giải pháp địa kỹ thuật quan trọng nhất của kỹ thuật dân dụng hiện đại, được ứng dụng rộng rãi trong ổn định mái dốc, tường chắn, hố đào sâu, đập và công trình ngầm. Trên bình diện thế giới, Nhật Bản nổi lên như một cường quốc đặc biệt trong lĩnh vực này – không phải vì là quốc gia phát minh, mà vì đã hoàn thiện, tiêu chuẩn hóa và ứng dụng công nghệ neo đất ở quy mô và chất lượng chưa từng có.

Trong khi đó, Việt Nam – quốc gia có điều kiện địa kỹ thuật nhiều nét tương đồng với Nhật Bản – vẫn chưa tự sản xuất được sản phẩm neo đất đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật cao, và đang phụ thuộc chủ yếu vào hàng nhập khẩu từ Hàn Quốc và Trung Quốc với chất lượng không đồng đều. Trước bối cảnh đó, sự hiện diện và cam kết đầu tư sản xuất nội địa của SE Corporation – công ty neo đất hàng đầu Nhật Bản – tại Việt Nam mang ý nghĩa chiến lược đặc biệt.

Bài viết này hệ thống hóa hành trình phát triển công nghệ neo đất của Nhật Bản, phân tích thực trạng thị trường Việt Nam và đặt vào đó câu chuyện về SE Corporation như một hình mẫu chuyển giao công nghệ địa kỹ thuật bền vững.



Bối cảnh địa kỹ thuật đặc thù của Nhật Bản

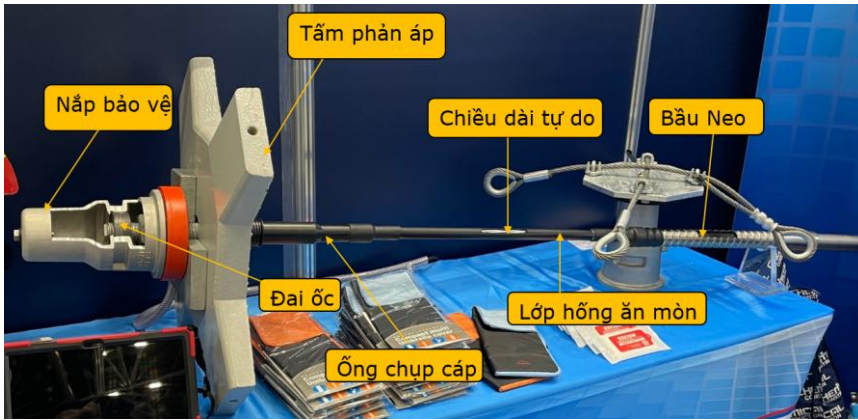
Nhật Bản là một quần đảo núi lửa nằm trên vành đai lửa Thái Bình Dương, nơi hội tụ đủ các yếu tố khiến neo đất trở thành giải pháp không thể thiếu: khoảng 70% diện tích là đồi núi, hoạt động địa chấn thuộc hàng mạnh nhất thế giới, lượng mưa trung bình trên 1.600 mm/năm và môi trường đất núi lửa có tính axit cao tại nhiều vùng như Owakudani, Aso và Kirishima. Những trận động đất lớn như Kobe 1995 (Mw 6,9) và Tohoku 2011 (Mw 9,0) liên tục đặt ra yêu cầu ngày càng khắt khe về khả năng chịu tải động của hệ thống neo đất. Sự kết hợp của các yếu tố này buộc Nhật Bản phải đầu tư nghiêm túc và có hệ thống vào công nghệ neo đất theo cách mà không quốc gia nào khác phải làm ở mức độ tương tự.

Các giai đoạn phát triển lịch sử

- **Giai đoạn khởi đầu – thập niên 1950:** Công nghệ neo đất được du nhập từ châu Âu vào Nhật Bản vào cuối thập niên 1940. Khác với châu Âu chủ yếu dùng neo cho tường chắn hố đào, các kỹ sư Nhật Bản sớm nhận ra tiềm năng của neo đất trong ổn định mái dốc núi. Ứng dụng tiên phong là neo dự ứng lực tại đập phụ Fujihara để gia cố nền đá móng – mở đầu cho một hành trình dài phát triển và hoàn thiện công nghệ.
- **Giai đoạn bùng nổ – thập niên 1960 đến 1980:** Thời kỳ tăng trưởng kinh tế thần kỳ kéo theo làn sóng đầu tư hạ tầng lịch sử: đường cao tốc Tomei, hệ thống Shinkansen, các đập thủy điện, hệ thống metro tại các đô thị lớn. Neo đất trở thành giải pháp chiến lược được áp dụng ở quy mô chưa từng có. Đây cũng là giai đoạn tích lũy kho dữ liệu thực nghiệm phong phú làm nền tảng cho tiêu chuẩn hóa sau này.
- **Giai đoạn tiêu chuẩn hóa – thập niên 1980 đến 2000:** Hội Địa kỹ thuật Nhật Bản (JGS) và Bộ Đất đai, Hạ tầng, Giao thông và Du lịch (MLIT) phối hợp ban hành tiêu chuẩn JGS 4101 – "Thực hành cho Neo Đất" – một trong những tài liệu kỹ thuật đầy đủ và chi tiết nhất thế giới trong lĩnh vực này. Song song đó, các doanh nghiệp lớn đầu tư mạnh vào vật liệu chống ăn mòn và công nghệ cáp chất lượng cao, hình thành mô hình hợp tác đặc trưng giữa học thuật, nhà nước và doanh nghiệp.
- **Giai đoạn công nghệ cao – từ năm 2000 đến nay:** Nhật Bản tiếp tục dẫn đầu với hệ thống neo vĩnh cửu chống ăn mòn vượt trội, cảm biến thông minh quan trắc neo theo thời gian thực và các công nghệ kiểm tra không phá hủy (non-destructive evaluation). Sau thảm họa Tohoku 2011, chương trình tái đánh giá toàn diện hàng triệu neo đất hiện hữu trên toàn quốc đã thúc đẩy thêm nhiều đổi mới công nghệ. Hiện nay, số lượng neo vĩnh cửu lắp đặt mới tại Nhật Bản đạt khoảng 100.000 neo mỗi năm

Đặc điểm kỹ thuật nổi bật của "trường phái neo đất Nhật Bản"

Nếu trường phái châu Âu tập trung vào neo tải trọng lớn trong đá cứng và công trình quy mô công nghiệp, thì Nhật Bản tạo ra trường phái riêng với ba đặc trưng nổi bật. Thứ nhất là neo chống động đất: chịu tải chu kỳ lặp, thiết kế đầu neo hấp thụ năng lượng địa chấn, thử nghiệm tải trọng động bắt buộc cho công trình quan trọng. Thứ hai là hệ thống chống ăn mòn đa lớp: mạ kẽm điện phân, bọc PE áp suất cao, vữa xi măng đặc biệt và lớp đầu neo không thấm – với tuổi thọ thiết kế 50 – 100 năm (Imai và cộng sự, 2009). Tại vùng núi lửa và ven biển, neo CFCC sợi carbon được dùng để loại bỏ hoàn toàn nguy cơ ăn mòn. Thứ ba là hệ thống quan trắc dài hạn: mỗi neo vĩnh cửu quan trọng được trang bị đầu đo lực theo dõi lực căng theo thời gian thực, cung cấp dữ liệu thực nghiệm quý giá cho nghiên cứu và cải tiến tiêu chuẩn.



Hình 1. Neo đất vĩnh cửu chống ăn mòn 3 lớp (Neo SEEE-FUA) phổ biến tại thị trường Nhật

Thực trạng nhu cầu neo đất tại Việt Nam

Trong khi Nhật Bản đã xây dựng được năng lực sản xuất và tiêu chuẩn hóa neo đất hoàn chỉnh, Việt Nam hiện vẫn chưa tự sản xuất được sản phẩm neo đất đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật cao. Thị trường trong nước đang phụ thuộc chủ yếu vào sản phẩm nhập khẩu từ Hàn Quốc và Trung Quốc – hai nguồn cung có mức giá cạnh tranh nhưng chất lượng không đồng đều, đặc biệt về khả năng chống ăn mòn dài hạn trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm của Việt Nam. Hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật chuyên biệt về neo đất mặc dù đã tương đối đầy đủ nhưng chưa toàn diện, năng lực thử tải và quan trắc còn hạn chế, và kinh nghiệm thiết kế neo trong điều kiện địa chất phức tạp còn thiếu hụt so với nhu cầu thực tế.

Bối cảnh này đặt ra rủi ro đáng lo ngại trong giai đoạn Việt Nam đang triển khai đồng loạt các dự án hạ tầng giao thông quy mô lớn như đường cao tốc Bắc – Nam, đường cao tốc khu vực trung du và miền núi phía Bắc, Tây Nguyên, cùng hệ thống đường sắt tốc độ cao sẽ được xây dựng. Sau cơn bão Yagi, hàng loạt sự cố sạt lở nghiêm trọng tại nhiều khu vực miền núi và dọc các tuyến giao thông trọng điểm đã buộc Chính phủ tăng cường đầu tư cho các dự án xử lý ổn định mái dốc và phòng chống thiên tai – làm nổi bật hơn nhu cầu cấp thiết về sản phẩm neo đất chất lượng cao, bền vững và có nguồn gốc tin cậy.

SE Corporation đưa công nghệ vào Việt Nam

Giới thiệu về SE Corporation

SE Corporation là công ty chuyên nghiên cứu, sản xuất và cung cấp hệ thống neo đất hàng đầu tại Nhật Bản, với hơn 60% thị phần nội địa. Vị thế dẫn đầu thị trường của SE Corporation được xây dựng trên nền tảng chất lượng sản phẩm vượt trội, quy trình sản xuất theo tiêu chuẩn JIS (Japanese Industrial Standards) nghiêm ngặt và đội ngũ kỹ thuật giàu kinh nghiệm địa kỹ thuật. Sản phẩm neo FUA của SE Corporation đặc biệt nổi bật với hệ thống chống ăn mòn tiên tiến, được thiết kế cho điều kiện khí hậu ẩm ướt – tương đồng với điều kiện khắc nghiệt tại Việt Nam.

Đưa công nghệ vào Việt Nam

SE Corporation đưa công nghệ vào Việt Nam theo hướng bài bản và thận trọng, không ồ ạt, từng bước kiểm chứng sự phù hợp của công nghệ với điều kiện địa chất thực tế của nước ta. Giai đoạn đầu, sản phẩm neo đất FUA (loại neo vĩnh cửu chống ăn mòn 3 lớp) của SE được áp dụng thí điểm tại dự án gia cố đầu cầu Bãi Cháy, Quảng Ninh – một công trình giao thông trọng điểm đòi hỏi giải pháp ổn định mái dốc đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật cao. Sau dự án thí điểm xử lý sạt trượt tại đây, tiêu chuẩn cơ sở TCCS 28:2019/TCĐBVN "Thiết kế, thi công và nghiệm thu neo đất theo công nghệ SEEE" đã được ban hành, là tài liệu tham khảo quan trọng cho các dự án thiết kế và thi công neo đất tại Việt Nam.



Hình 2a. Hiện trạng sạt lở chân cầu Bãi Cháy, Quảng Ninh



Hình 2b. Gia cố bằng neo đất FUA của SE Corporation

Trong điều kiện kinh tế của Việt Nam còn hạn chế, nhu cầu cần phải phát triển một loại neo với giá cả phải chăng mà vẫn đảm bảo các yêu cầu tối thiểu của neo đất vĩnh cửu đạt chất lượng Nhật Bản, Tập đoàn SE đã dành thời gian nghiên cứu và phát triển một loại neo phù hợp, với phương châm nội địa hóa để phù hợp với điều kiện của Việt Nam nói riêng và các nước Đông Nam Á nói chung.

Những nỗ lực không ngừng nghỉ trên đây được đánh dấu bằng việc thí nghiệm thành công sản phẩm neo SE-W (Asean Model) tại dự án thung lũng Mường Hoa (Sa Pa, Lào Cai) của tập đoàn Alphanam – một dự án nghỉ dưỡng cao cấp trên địa hình đồi núi phức tạp vùng Tây Bắc, nơi yêu cầu đồng thời về thẩm mỹ công trình và an toàn địa kỹ thuật.

Thành công tại hai dự án thí điểm này đã khẳng định sự phù hợp của công nghệ SE với điều kiện địa chất Việt Nam và mở đường cho bước đi chiến lược tiếp theo.



Hình 3. Thí điểm sử dụng neo đất Asean Model tại dự án Thung Lũng Mường Hoa, Sapa



Hình 4. Kiểm tra, đánh giá chất lượng tại công trường luôn là yêu cầu kỹ thuật hàng đầu

Quyết định chiến lược: sản xuất nội địa

Trên cơ sở kết quả thí điểm khả quan và nhu cầu thị trường ngày càng tăng, SE Corporation đưa ra quyết định chiến lược: thành lập nhà máy sản xuất neo đất tại Việt Nam. Đây là bước đi có ý nghĩa vượt ra ngoài khuôn khổ của một dự án kinh doanh thông thường. Về phía SE Corporation, đây là cam kết dài hạn đối với thị trường Việt Nam thay vì mô hình xuất khẩu thuần túy. Về phía Việt Nam, đây là cơ hội tiếp nhận công nghệ sản xuất neo đất tiêu chuẩn Nhật Bản ngay trên lãnh thổ trong nước, điều mà trước đây chưa từng có.



Hình 5. Hình ảnh sản xuất neo đất Asean Model tại nhà máy của Tập đoàn SE tại Hải Phòng, Việt Nam

Điểm đặc biệt trong chiến lược nội địa hóa của SE Corporation là ưu tiên sử dụng nguồn nguyên vật liệu trong nước – chủ yếu là cáp dự ứng lực và các vật liệu phụ trợ đáp ứng tiêu chuẩn kỹ thuật Nhật Bản. Cách tiếp cận này vừa giúp giảm đáng kể chi phí sản phẩm so với hàng nhập khẩu hoàn toàn, vừa góp phần xây dựng chuỗi cung ứng vật liệu địa kỹ thuật trong nước, tạo giá trị gia tăng bền vững cho ngành xây dựng Việt Nam. Quan trọng hơn, việc chuyển giao quy trình kiểm soát chất lượng theo tiêu chuẩn JIS cho lực lượng kỹ thuật Việt Nam sẽ góp phần nâng cao năng lực nội địa trong lĩnh vực địa kỹ thuật – một thiếu hụt mà Việt Nam đang phải giải quyết. Sự hiện diện của SE Corporation tại Việt Nam cũng đặt ra áp lực cạnh tranh tích cực đối với các sản phẩm nhập khẩu từ Hàn Quốc và Trung Quốc hiện đang chiếm lĩnh thị trường, thúc đẩy nâng cao tiêu chuẩn chất lượng chung của toàn thị trường neo đất Việt Nam.

Kết luận

Hành trình Nhật Bản trở thành cường quốc trong lĩnh vực neo đất là kết quả của sự hội tụ giữa áp lực tất yếu từ điều kiện địa kỹ thuật đặc thù, ý chí xây dựng hạ tầng quốc gia và chiến lược nghiên cứu – tiêu chuẩn hóa – ứng dụng có hệ thống. Từ những thử nghiệm đầu tiên tại đập Fujihara vào thập niên 1950 đến mức độ phát triển hiện nay với hơn 100.000 neo lắp đặt mỗi năm, Nhật Bản đã chứng minh rằng neo đất là nền tảng an toàn thiết yếu của một quốc gia đầy thách thức về địa kỹ thuật.

Với Việt Nam – quốc gia có điều kiện địa hình và khí hậu tương đồng, đang bước vào giai đoạn đầu tư hạ tầng quy mô lớn nhưng chưa tự chủ được công nghệ neo đất – câu chuyện của SE Corporation không chỉ là câu chuyện kinh doanh mà còn là hình mẫu chuyển giao công nghệ địa kỹ thuật thực chất. Bài học quan trọng nhất từ Nhật Bản không phải là các thông số kỹ thuật của neo, mà là triết lý đầu tư dài hạn vào nghiên cứu, tiêu chuẩn hóa và kiểm soát chất lượng – những yếu tố mà Việt Nam cần xây dựng một cách có hệ thống trong thập kỷ tới.



Ứng dụng bể ngầm cấu trúc tổ ong SAUL trong quản lý nước mưa đô thị

Application of SAUL honeycomb underground tank in urban stormwater management

Phạm Việt Anh

Đại học Xây dựng Hà Nội. E-mail: anhpv@huce.edu.vn

Tóm tắt

Ngập úng đô thị đang là thách thức lớn tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh khi hệ thống thoát nước truyền thống không theo kịp tốc độ đô thị hóa. Bài báo giới thiệu toàn diện giải pháp bể ngầm sử dụng vật liệu SAUL (Structures Alvéolaires Ultra-Légères) – cấu trúc tổ ong siêu nhẹ bằng nhựa PP hoặc PVC-U có độ rỗng lên đến 95% – như một giải pháp tích hợp vừa trữ nước mưa, vừa điều tiết lưu lượng và có thể giảm tải trọng lên nền đất yếu. Bài báo trình bày cấu tạo hai dòng sản phẩm chính (Nidaplast và Géolight), đặc trưng cơ-lý-hóa, cơ chế hoạt động ba giai đoạn, và quy trình thiết kế 5 bước đầy đủ tích hợp TCVN 7957-2008 với hướng dẫn kỹ thuật IFSTTAR (Pháp). Ví dụ tính toán minh họa cho tuyến đường Nguyễn Huy Tưởng, Hà Nội xác nhận giải pháp khả thi kỹ thuật cho điều kiện Việt Nam.

Từ khóa: ngập lụt đô thị, vật liệu SAUL, bể ngầm nước mưa, quản lý nước mưa đô thị, địa kỹ thuật

Đặt vấn đề

Ngập úng đô thị đang trở thành một trong những thách thức hàng đầu của quá trình đô thị hóa tại Việt Nam. Chỉ cần một trận mưa có cường độ vượt ngưỡng 50–70 mm/giờ là hàng chục tuyến phố ở Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh ngập sâu từ 0,3 m đến hơn 1,0 m, gây thiệt hại kinh tế ước tính hàng trăm tỷ đồng mỗi mùa mưa và ảnh hưởng trực tiếp đến hàng triệu người dân.

Nguyên nhân cốt lõi có thể nhóm thành ba nhóm chính: (i) Bề mặt không thấm nước tăng nhanh do bê-tông hóa toàn bộ vỉa hè, sân, đường nội bộ – hệ số dòng chảy mặt đô thị hiện nay đạt 0,8–0,9 trong khi 30 năm trước chỉ khoảng 0,4–0,5; (ii) Hồ điều hòa bị lấp để lấy đất xây dựng – chỉ riêng Hà Nội đã mất hơn 60% diện tích mặt nước trong nội đô so với năm 1990; (iii) Hệ thống cống thoát nước được thiết kế từ thời Pháp thuộc với tiết diện nhỏ, không được nâng cấp đồng bộ, không đủ năng lực tiêu thoát khi mưa lớn.

Các giải pháp truyền thống – nâng cốt đường, nạo vét cống, xây hầm chứa bê-tông cốt thép ngầm, hay trạm bơm cưỡng bức – có điểm chung là giải quyết thoát nước theo hướng "đẩy nước đi nhanh hơn" mà không giữ nước lại. Hướng tiếp cận hiện đại trên thế giới đã chuyển sang "quản lý nước mưa tại nguồn" ((Source Control / Low Impact Development - LID)): giữ nước lại tại chỗ, giảm đỉnh lũ tức thời, cho nước thấm trả lại đất hoặc tái sử dụng. Vật liệu SAUL là một trong những giải pháp tiên tiến nhất theo hướng này.

Được nghiên cứu và phát triển lần đầu tại Pháp năm 1986, đến nay vật liệu SAUL đã được ứng dụng rộng rãi với tổng khối lượng hơn 300.000 m³ tại Pháp, Anh, Đức, Nhật Bản và nhiều quốc gia phát triển khác. Tại Việt Nam, lắp đặt thí điểm đầu tiên được thực hiện tháng 8/2018 trên đường Võ Văn Ngân, Q. Thủ Đức, TP.HCM, sử dụng hệ thống Cross-Wave của Sekisui (SEKISUI, 2010) với dung tích 109 m³, chịu tải xe đến 25 tấn. Tuy nhiên đến nay chưa có tài liệu hướng dẫn thiết kế đầy đủ bằng tiếng Việt, phù hợp với điều kiện kỹ thuật trong nước.

Bài báo này tập trung giới thiệu toàn diện giải pháp SAUL: cấu tạo, đặc tính cơ học, cơ chế hoạt động và quy trình thiết kế đầy đủ có thể áp dụng trực tiếp cho các công trình đô thị tại Việt Nam. Ví dụ tính toán tại Hà Nội được đưa vào để minh họa cách vận dụng quy trình trong thực tế. Hình 1 minh họa tổng thể mô hình quản lý nước mưa thông minh tích hợp hệ thống SAUL.



Hình 9. Minh họa quản lý nước mưa thông minh (LCPC và cộng sự, 1998).

Giới thiệu vật liệu SAUL

Khái niệm và lịch sử phát triển

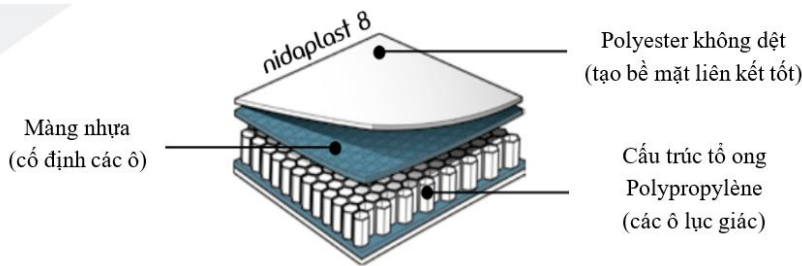
SAUL là viết tắt của "Les Structures Alvéolaires Ultra-Légères" (tiếng Pháp) – tạm dịch là cấu trúc tổ ong siêu nhẹ. Đây là loại vật liệu địa kỹ thuật tổng hợp được chế tạo từ nhựa nhiệt dẻo, có kiến trúc dạng tổ ong với các ô rỗng lớn chiếm tỷ lệ 92–98% tổng thể tích. Nhờ đặc điểm này, một khối SAUL có thể chứa lượng nước gần tương đương thể tích của chính nó trong khi khối lượng bản thân chỉ 40–50 kg/m³, nhẹ hơn đất đắp thông thường khoảng 3–4 lần.

Vật liệu được nghiên cứu lần đầu tại Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), Pháp vào năm 1986. Qua hơn 35 năm cải tiến liên tục với hàng chục công trình nghiên cứu lý thuyết, thực nghiệm và mô hình số, năm 2011 IFSTTAR (Viện Khoa học và Kỹ thuật Giao thông Pháp) ban hành hướng dẫn kỹ thuật toàn diện, và năm 2017 Ủy ban Kỹ thuật châu Âu ban hành dự thảo tiêu chuẩn quy định yêu cầu tối thiểu về vật liệu, hình học và cơ học cho hộp nhựa dùng trong hệ thống thấm lọc và lưu trữ nước mưa ngầm (CEN/TC 155, 2017).

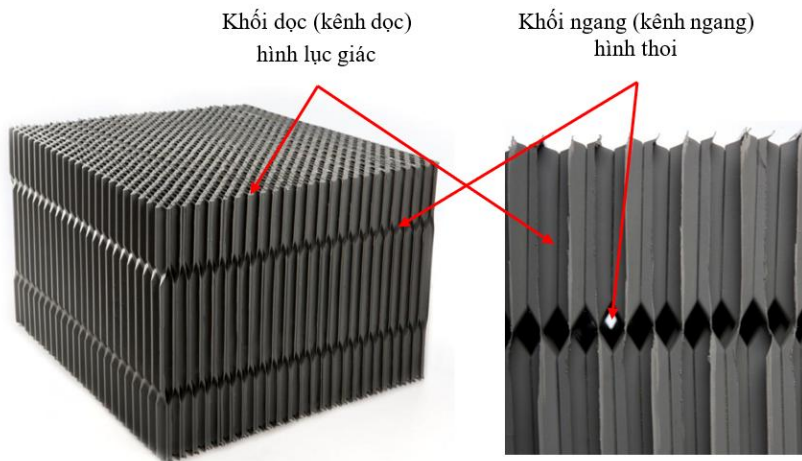
Cấu tạo hai dòng sản phẩm chính

Hiện có hai dòng sản phẩm SAUL thương mại được sử dụng phổ biến nhất, phân biệt bởi vật liệu chế tạo và kiến trúc ô rỗng:

- Dòng sản phẩm Nidaplast (vật liệu Polypropylene – PP): được chế tạo bằng phản ứng trùng hợp Propylen, tạo ra cấu trúc các ô lục giác đồng đều trên mặt phẳng (hexagonal honeycomb). Các ô lục giác được cố định bởi màng nhựa mỏng và bọc ngoài bằng lớp vải địa kỹ thuật không dệt (geotextile) có tác dụng lọc ngăn hạt đất xâm nhập vào bên trong, đồng thời liên kết các khối với nhau thành hệ thống hoàn chỉnh. Kích thước khối tiêu chuẩn: 2.400 × 1.200 × 520 mm, trọng lượng 41 kg/m³. Trên các mặt xung quanh (mặt đáy), lớp vải địa kỹ thuật có thể được bố trí một phần hoặc toàn bộ tùy mục đích sử dụng (minh họa trong Hình 2). Loại vật liệu này cũng đã được nghiên cứu ứng dụng rộng rãi trong kỹ thuật đường bộ như thay thế đất đắp nền đường và đất đắp sau tường chắn (LCPC, 1992).
- Dòng sản phẩm Géolight (vật liệu PVC-U – Unplasticized Polyvinyl Chloride): được chế tạo từ nhựa PVC không hóa dẻo, có cấu trúc kết hợp giữa kênh dọc mặt cắt lục giác và kênh ngang mặt cắt hình thoi, tạo ra khả năng dẫn nước đồng đều theo cả hai phương dọc và phương ngang – ưu thế nổi bật so với Nidaplast. Kích thước khối tiêu chuẩn: 2.000 × 1.000 × 500 mm, trọng lượng 50 kg/m³. So với Nidaplast, Géolight có khả năng chống tia cực tím và chống cháy tốt hơn do bản chất hóa học của PVC-U (minh họa trong Hình 3).



Hình 10. Minh họa một mẫu Nidaplast điển hình (LCPC và cộng sự, 1998).



Hình 11. Minh họa một mẫu Géolight điển hình (Rezania và cộng sự, 2012).

Đặc trưng cơ - lý - hóa

Bảng 1 tổng hợp các đặc tính quan trọng nhất của hai loại vật liệu SAUL. Điểm nổi bật là cả hai đều đạt cường độ chịu nén theo phương đứng 400 kPa – đủ để chịu tải trọng các lớp đất phủ và hoạt tải xe tải hạng nặng khi thiết kế đúng quy trình. Mô-đun biến dạng $E_0 = 30\text{--}35$ MPa đảm bảo biến dạng tích lũy trong giới hạn cho phép trong suốt 50 năm tuổi thọ.

Bảng 1. Đặc trưng cơ-hóa-lý của hai loại vật liệu SAUL

Đặc trưng	Nidaplast (PP)	Géolight (PVC-U)
Trọng lượng riêng	41 kg/m ³	50 kg/m ³
Kích thước (D × R × C)	2,4 × 1,2 × 0,52 m	2,0 × 1,0 × 0,50 m
Vật liệu	Polypropylene	PVC-U
Độ rỗng	95%	95%
Cường độ nén dọc trục	400 kPa	400 kPa
Cường độ nén ngang	20 kPa	30 kPa
Mô-đun biến dạng E_0	30–35 MPa	30–35 MPa
Góc ma sát trong tương đương	24°	35°
Chống hydrocarbon	Tốt	Tốt
Chống tia UV	≤ 3 tháng (cần che)	Tốt
Chống cháy	Nhạy cảm	Tốt

Lưu ý quan trọng trong điều kiện Việt Nam: do Nidaplast nhạy cảm với tia UV và chỉ chịu được phơi sáng tối đa 3 tháng, cần che phủ hoặc lắp đặt nhanh trong quá trình thi công – điều này hoàn toàn khả thi vì SAUL vốn được thiết kế để lắp ngầm. Géolight phù hợp hơn cho các hạng mục lộ thiên tạm thời.



Ưu điểm so sánh với các giải pháp truyền thống

So với bể chứa nước bê-tông cốt thép truyền thống, vật liệu SAUL có những ưu điểm vượt trội trong các bối cảnh đặc thù tại Việt Nam:

Bảng 2. So sánh giải pháp bể ngầm SAUL và bể bê-tông cốt thép truyền thống

Tiêu chí	BỂ BTCT truyền thống	BỂ ngầm SAUL
Trọng lượng bản thân	Nặng ($\geq 2.400 \text{ kg/m}^3$)	Siêu nhẹ ($41\text{--}50 \text{ kg/m}^3$)
Tác dụng lên nền yếu	Tăng tải trọng nền	Giảm tải trọng nền
Thi công	Phức tạp, cần máy móc nặng	Thủ công, nhanh, linh hoạt
Ảnh hưởng giao thông	Dài (vài tháng)	Ngắn (vài ngày–tuần)
Độ linh hoạt bố trí	Thấp, phụ thuộc hình dạng	Cao, mô-đun hóa tự do
Tích trữ nước/ m^3 xây dựng	$\sim 60\text{--}70\%$	$\sim 95\%$
Chi phí thi công ban đầu	Thấp hơn	Cao hơn (vật liệu nhập)
Chi phí vòng đời (LCC)	Bảo trì cao, khó nâng cấp	Thấp, bền 50 năm

Cơ chế hoạt động của hệ thống SAUL

Ba giai đoạn vận hành

Hệ thống bể ngầm SAUL vận hành theo ba giai đoạn liên tiếp, tạo thành một vòng khép kín trong quản lý nước mưa đô thị:

- **Giai đoạn thu gom:** Nước mưa được dẫn vào hệ thống theo hai con đường. Thứ nhất, thấm thẳng đứng qua lớp phủ bề mặt thấm (bê-tông rỗng porous concrete, gạch lát khe hở, đá dăm gia cố nhựa đường) với hệ số thấm yêu cầu $\geq 1 \text{ cm/s}$. Thứ hai, thu gom tập trung qua hố ga và hệ thống cống ngang dẫn vào. Tại các khu vực ô nhiễm (bãi đỗ xe, đường có nhiều xe tải), cần bố trí bể lắng hoặc thiết bị tách dầu mỡ trước khi nước vào hệ thống SAUL.
- **Giai đoạn lưu trữ và điều tiết:** Nhờ độ rỗng 95% và sức cản thủy lực cực thấp, toàn bộ khối SAUL đầy nước rất nhanh ngay sau khi mưa lớn – thực tế như một hồ chứa mềm dẻo ngầm dưới lòng đất. Lưu lượng thoát được kiểm soát bằng van điều tiết, giảm đỉnh lũ tức thời và kéo dài thời gian thoát nước. Áp lực thủy tĩnh phân bố đều trong toàn khối nhờ kết nối liên thông giữa tất cả các ô rỗng.
- **Giai đoạn hoàn trả và tái sử dụng:** Đối với khu vực không ô nhiễm và nền đất có độ thấm tốt, nước thấm qua đáy hệ thống vào nền đất, góp phần bổ cập nước ngầm. Đối với khu vực ô nhiễm hoặc nền đất không thấm, nước được niêm phong hoàn toàn và bơm lên sử dụng: tưới cây đô thị, rửa đường, nước chữa cháy – tiết kiệm đáng kể chi phí cấp nước.

Các mô hình bố trí phù hợp điều kiện Việt Nam

Tùy thuộc vào không gian, địa hình và mục đích sử dụng, hệ thống SAUL có thể được bố trí theo các mô hình khác nhau, xem Bảng 3.

Trong điều kiện địa chất yếu đặc trưng tại TP. Hồ Chí Minh và vùng Đồng bằng sông Cửu Long, mô hình bố trí dưới lòng đường có thêm lợi ích đặc biệt: SAUL nhẹ hơn đất đắp thông thường khoảng 3–4 lần, do đó thay thế đất đắp bằng SAUL thực chất là "gia cố nền" thụ động bằng vật liệu nhẹ, giảm lún bề mặt và kéo dài tuổi thọ kết cấu mặt đường.

Quy trình thiết kế bể ngầm SAUL dưới lòng đường

Nhóm tác giả tổng hợp quy trình thiết kế 5 bước từ hướng dẫn kỹ thuật IFSTTAR (2011), khung tham chiếu thiết kế SAUL của Perrier & Valla (2007), tiêu chuẩn châu Âu (CEN/TC 155, 2017) và tích hợp với TCVN 7957-2008, tạo công cụ thiết kế hoàn chỉnh cho kỹ sư Việt Nam.



Bảng 3. Các mô hình bố trí hệ thống SAUL và phạm vi ứng dụng tại Việt Nam

Vị trí bố trí	Đặc điểm	Phù hợp tại Việt Nam
Dưới lòng đường	Chịu tải xe lên đến 60 T; bề rộng SAUL ≤ 2/3 chiều rộng mặt đường	Phổ biến nhất
Dưới vỉa hè	Tải nhẹ, dễ thi công; kết hợp tưới cây đường phố tự động	Rất phù hợp
Dưới bãi đỗ xe	Cần xử lý dầu mỡ; tận dụng diện tích lớn, thường trống	Đô thị mới
Dưới công viên, sân thể thao	Dung tích lớn, bề mặt không bị ảnh hưởng; kết hợp tái sử dụng nước tưới cây	Tiềm năng lớn
Thay thế đất đắp sau tường chắn	Giảm áp lực thủy tĩnh lên tường, tăng ổn định; thấm nước tốt	Vùng ĐBSCL, ven sông

Xác định thông số đầu vào

Cần thu thập đầy đủ bốn nhóm thông số:

- Thông số hình học và giao thông: chiều dài, chiều rộng tuyến đường; loại phương tiện và tải trọng thiết kế; điều kiện 2 bên hông (tự do hay có tải trọng kề bên).
- Thông số thủy văn: diện tích lưu vực F (m²), hệ số chảy bề mặt ψ (tra Bảng PL1 theo loại mặt phủ), cường độ mưa thiết kế q (l/s/ha) theo TCVN 7957-2008, thời gian mưa tính toán t (giờ).
- Thông số địa chất: trọng lượng riêng γ (kN/m³), góc ma sát trong φ (độ), lực dính c (kPa) của từng lớp đất; mực nước ngầm thiết kế.
- Thông số vật liệu SAUL: do nhà sản xuất cung cấp, bao gồm cường độ đặc trưng ngắn hạn và dài hạn theo cả phương dọc và ngang, biến dạng giới hạn cho phép.

Xác định thể tích và bố trí vật liệu

Lưu lượng mưa đổ vào tuyến đường trong thời gian mưa t (giờ):

$$Q_n = \psi \cdot q \cdot F \cdot t \quad (1)$$

Điều kiện thể tích: lưu lượng có ích của khối SAUL phải lớn hơn lưu lượng mưa thiết kế:

$$Q_{\text{Có ích}} = V \cdot C_a \geq Q_n \quad \rightarrow \quad V \geq Q_n / C_a \quad (2)$$

trong đó, V là thể tích khối SAUL cần bố trí (m³); C_a là hệ số đóng góp hiệu dụng của vật liệu, bằng tỷ lệ độ rỗng thực tế đo được (thường C_a = 0,93–0,95, lấy theo catalog nhà sản xuất).

Kích thước chọn chắn theo mô-đun vật liệu. Vật liệu SAUL phải được bố trí ở độ sâu 1,0–1,5 m tính từ mặt đường để đảm bảo đủ chiều dày lớp phủ chịu tải.

Kiểm tra TTGH1 – Trạng thái giới hạn cường độ

Điều kiện kiểm tra tổng hợp theo cả phương dọc (đứng) và phương ngang:

$$\frac{Q_{dP}}{P_{dL}} + \frac{Q_{dT}}{P_{dS}} + \frac{Q_{dH}}{P_{dL}} \leq 1 \quad (3)$$

trong đó,

$Q_{dP} = Q_{ckP} \times \gamma_{LFP} \times \gamma_{Sf}$: ứng suất do tải thường xuyên thiết kế (trọng lượng bản thân lớp đất phủ, kết cấu mặt đường);

$Q_{dT} = Q_{ckT} \times \gamma_{LFT} \times \gamma_{Sf}$: ứng suất do tải tạm thời thiết kế (hoạt tải xe theo TCVN 11823-2017);

$Q_{dH} = Q_{ckH} \times \gamma_{LFH} \times \gamma_{Sf}$: ứng suất do áp lực thủy tĩnh thiết kế (bằng 0 theo phương đứng khi không có mực nước ngầm; tính vào tải dài hạn phương ngang);

$P_{DL} = P_{ckL} / \gamma_{ms}$: sức chịu tải thiết kế dài hạn theo chiều dọc (50 năm);



$P_{DS} = P_{CKS} / \gamma_{ms}$: sức chịu tải thiết kế ngắn hạn theo chiều dọc;

$\gamma_{LFP}, \gamma_{LFT}, \gamma_{LFH}$ là hệ số tải trọng tương ứng; γ_{sf} là hệ số vị trí; γ_{ms} là hệ số vật liệu.

Kiểm tra được thực hiện cho hai trường hợp biên: (i) hai bên hông tự do; (ii) có tải trọng kê bên.

Kiểm tra TTGH2 – Biến dạng

Điều kiện biến dạng: $S \leq [S]$, trong đó $[S]$ là biến dạng giới hạn cho phép, S là biến dạng tích lũy theo mô hình logarithm thời gian (Δt tính bằng giờ):

$$\text{Biến dạng dọc: } S_1 = 0,51 \times \ln(\Delta t) \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

$$\text{Biến dạng ngang: } S_2 = 0,65 \times \ln(\Delta t) \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

Hai mốc thời gian tính toán: (i) 12 tháng ($\Delta t = 8.760$ giờ) – tương ứng thời điểm thi công xong lớp mặt đường nhựa sau khi lắp SAUL; (ii) 50 năm ($\Delta t = 438.000$ giờ) – tuổi thọ thiết kế. Giả định thời gian 12 tháng từ khi lắp hồ đến khi thi công lớp mặt đường asphalt là khoảng thời gian tới hạn cho biến dạng.

Kiểm tra sức chịu tải của nền đất

Áp lực lớn nhất tác dụng lên nền đất dưới lớp SAUL (trường hợp bất lợi: bể chứa đầy nước):

$$P_{max} = Q_{ckT} + \gamma_{vl} \times h_{vl} + \gamma_w \times h_{vl} \quad (6)$$

trong đó γ_{vl} là trọng lượng riêng vật liệu SAUL (kN/m^3); h_{vl} là chiều cao khối vật liệu (m); $\gamma_w = 9,81 \text{ kN/m}^3$ là trọng lượng riêng nước.

Sức chịu tải cho phép của nền tính theo công thức Terzaghi với các hệ số sức chịu tải N_ν, N_q, N_c phụ thuộc góc ma sát trong φ , và hệ số an toàn $F_s \geq 2,0$.

$$[P] = \frac{p_{gh}}{F_s}$$

Điều kiện: $P_{max} \leq [P]$.

Lưu ý: trong điều kiện nền đất yếu (phổ biến tại TP. Hồ Chí Minh và ĐBSCL), bước này thường là bước kiểm soát và có thể dẫn đến yêu cầu phân tán tải trọng qua lớp đệm vật liệu hạt rời.

Ví dụ tính toán minh họa – Tuyến đường Nguyễn Huy Tưởng, Hà Nội

Để minh họa cách vận dụng quy trình 5 bước vào thực tế, nhóm tác giả áp dụng cho tuyến đường Nguyễn Huy Tưởng, quận Thanh Xuân, Hà Nội – một tuyến thường xuyên ngập úng mùa mưa, đại diện cho địa hình nội đô phổ biến.

Thông số đầu vào: chiều dài 500 m, rộng 7 m; diện tích lưu vực $F = 18.000 \text{ m}^2$ được xác định theo nguyên tắc chia đôi lưu vực giữa các tuyến đường lân cận, thể hiện trong Hình 4; địa chất lớp 1 (sâu 1 m): đất nền $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3, \varphi = 32^\circ$; lớp 2 (sâu 6 m): cát hạt mịn chặt vừa $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3, \varphi = 28^\circ$. Lưu lượng mưa tính toán 3 giờ theo TCVN 7957-2008: $Q_n = 1.135,4 \text{ m}^3$.

Vật liệu lựa chọn: Nidaplast (PP), kích thước $2.400 \times 1.200 \times 520 \text{ mm}$, $C_a = 0,95$. Từ điều kiện $V \geq Q_n / C_a \rightarrow V \geq 1.195 \text{ m}^3$. Chọn 900 khối, bố trí 2 lớp \times 3 hàng \times 150 khối/hàng trải dài $360 \text{ m} \times$ rộng $3,6 \text{ m} \times$ cao $1,04 \text{ m}$, đặt ở độ sâu 1,2 m so với mặt đường. Thể tích hữu ích: $900 \times (2,4 \times 1,2 \times 0,52) \times 0,95 \approx 1.280 \text{ m}^3 > 1.135,4 \text{ m}^3 \rightarrow$ Đạt.

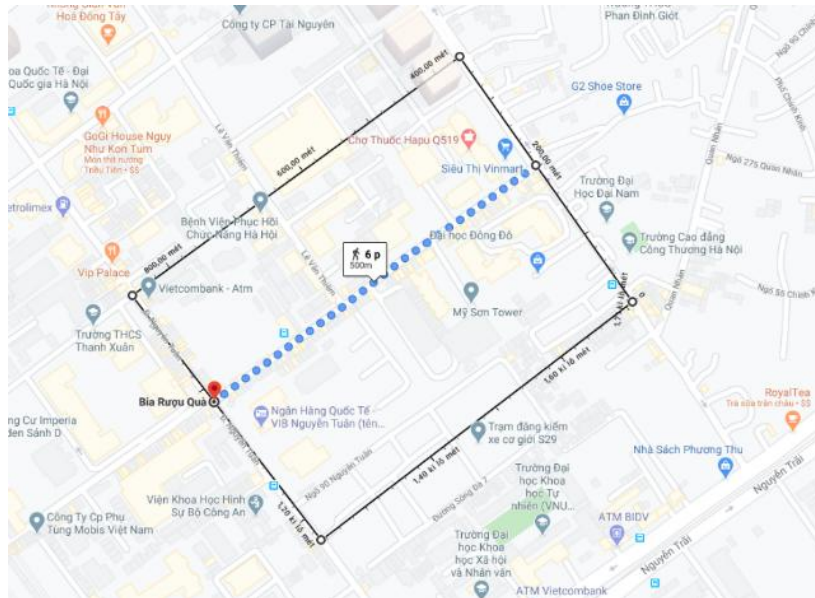
Kết quả kiểm tra TTGH1 (Bước 3) với cường độ thiết kế dài hạn 50 năm: 83 kN/m^2 dọc, 18 kN/m^2 ngang:

Bảng 4. Kết quả kiểm tra TTGH1 vật liệu SAUL

Phương	Biểu thức kiểm toán	Giá trị	Kết luận
Dọc (đứng)	$32,4/82,7 + 102/193,3 = 0,39 + 0,53$	$0,92 < 1$	ĐẠT
Ngang	$10,61/18 + 2,18/42,7 = 0,59 + 0,05$	$0,64 < 1$	ĐẠT



Kiểm tra TTGH2 (Bước 4): Biến dạng dọc 50 năm: $S_1 = 0,51 \times \ln(438.000) \approx 6,5$ mm; biến dạng ngang: $S_2 = 0,65 \times \ln(438.000) \approx 8,3$ mm – đều nhỏ hơn biến dạng giới hạn cho phép của mặt đường theo TCVN. Kiểm tra sức chịu tải nền (Bước 5): $P_{max} \approx 148$ kPa < $[P] = 312$ kPa (Terzaghi, cát chặt vừa $\varphi = 28^\circ$, $F_s = 2,1$). Tất cả 5 bước kiểm tra đều đạt.



Hình 4. Lưu vực tuyến đường Nguyễn Huy Tưởng.

Kết luận

1. Vật liệu SAUL với độ rỗng 95%, cường độ chịu nén dọc trục 400 kPa, mô-đun biến dạng 30–35 MPa và tuổi thọ thiết kế 50 năm là giải pháp kỹ thuật hoàn chỉnh cho bài toán trữ nước mưa ngầm đô thị.
2. Ưu thế cạnh tranh nổi bật của SAUL trong điều kiện Việt Nam gồm: (i) tận dụng không gian dưới lòng đường, không tốn đất mặt; (ii) thi công nhanh, ít ảnh hưởng giao thông; (iii) đặc biệt phù hợp nền đất yếu do giảm tải trọng nền 3–4 lần so với đất đắp; (iv) 95% nước tích trữ có thể tái sử dụng.
3. Quy trình thiết kế 5 bước được đề xuất, tích hợp TCVN 7957-2008 với hướng dẫn IFSTTAR (Pháp) và tiêu chuẩn prEN 17152-1:2017, tạo công cụ thiết kế đầy đủ và sử dụng được trực tiếp cho kỹ sư Việt Nam.
4. Ví dụ minh họa tại tuyến đường Nguyễn Huy Tưởng, Hà Nội (lưu vực 18.000 m²) xác nhận giải pháp hoàn toàn khả thi: 900 khối Nidaplast bố trí 2 lớp tích trữ được 1.280 m³, vượt lưu lượng mưa 3 giờ (1.135 m³); toàn bộ các điều kiện TTGH1, TTGH2 và sức chịu tải nền đều thỏa mãn.
5. Hạn chế hiện tại là chi phí vật liệu nhập khẩu còn cao. Hướng nghiên cứu tiếp theo cần tập trung vào phân tích kinh tế vòng đời (LCC) toàn diện, khả năng sản xuất nội địa và xây dựng bộ tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia cho hệ thống bể ngầm SAUL.

Tài liệu tham khảo

CEN/TC 155 (2017). *Plastics piping systems for non-pressure underground conveyance and storage of non-potable water – Part 1: Specifications for storm water boxes made of PP and PVC*. prEN 17152-1.

IFSTTAR (2011). *Les structures alvéolaires ultra-légères (SAUL) pour la gestion des eaux pluviales – Guide technique*. IFSTTAR.

LCPC (1992). *Utilisation de structures alvéolaires ultra-légères en remblai routier*. LCPC.

LCPC, CERTU & Ministère de l'équipement (1998). *Les structures alvéolaires ultra légères (SAUL) en assainissement pluvial*. LCPC.



- Perrier, E.N. & Valla, H. (2007). *Un Référentiel Pour l'emploi Des Structures Alvéolaires Ultra-Légères (SAUL)*.
- Rezania, M.M., Cullen, M., Javadi, A.A. & Nezhad, M.M. (2012). Compressive behavior of honeycomb modular drainage tanks. *Physical Modelling in Geotechnics*, 1381–1386. doi: 10.1201/b10554-230.
- SEKISUI (2010). *SEKISUI's Cross-Wave Underground Rainwater Storage System*. SEKISUI.
- TCVN 7957-2008 (2008). *Thoát nước – Mạng lưới và công trình bên ngoài – Tiêu chuẩn thiết kế*. Bộ Xây dựng.
- TCVN 11823-2017 (2017). *Tiêu chuẩn thiết kế cầu đường bộ*. Bộ Giao thông Vận tải.



GÓC QUỐC TẾ

Nhật ký ĐKT quốc tế, 15/06/2026

International Geotechnical Diary

Lê Việt Hưng

Technische Universität Berlin. E-mail: v.le@tu-berlin.de

Phùng Đức Long

Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam. E-mail: phung.long@gmail.com

Cập nhật lịch các sự kiện hội nghị, hội thảo quốc tế trong thời gian tới

Theo trang Web của hội ĐKT Quốc Tế ISSMGE, một loạt các hội thảo, hội nghị quốc tế sẽ diễn ra như thường lệ trong thời gian tới. Trong danh sách dưới đây là một số hội nghị, hội thảo tiêu biểu được chọn lọc từ danh sách trên, trích dẫn từ trang Web của ISSMGE (www.issmge.org). Thông tin chi tiết xin được cập nhật trên website của đơn vị tổ chức.

Thời gian	Sự kiện	Nơi diễn ra
14.06. – 19.06.2026	21st International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering ICSMGE. (Hội nghị CHĐ và ĐKTCT quốc tế lần thứ 21, tại Viên, 2026)	Austria Center Vienna, Vienna, Austria, https://www.icsmge2026.org/en/
26.06. – 28.06.2026	Summit of Large-Diameter Engineering Shafts, Piles and Deep Foundations. (Hội nghị quốc tế về về công nghệ giếng sâu, cọc và móng sâu đường kính lớn)	Thượng Hải, Trung Quốc
06.07. – 10.07.2026	Summer School - Numerical Modelling in Geotechnical Engineering (Trường hè - Mô hình số trong địa kỹ thuật)	Innsbruck – Áo https://www.uibk.ac.at/en/weiterbildung/numerische-modellierung/
06.08. – 10.08.2026	12 th International Symposium on Field Monitoring in Geomechanics 2026 (Hội nghị chuyên đề quốc tế lần thứ 12 về quan trắc hiện trường trong cơ học địa chất 2026)	Indore - Ấn Độ https://isfmg2026.com/
24.08. – 26.08.2026	International Conference on Advances and Innovations in Soft Soil Engineering 2026 (Hội nghị quốc tế về những tiến bộ và đổi mới trong kỹ thuật đất yếu 2026)	Delft - Hà Lan ISSMGE Technical Committee 214
24.08. – 25.08.2026	International Conference on Geotechnical Engineering - ICGE-Colombo 2026 (Hội nghị quốc tế về địa kỹ thuật - ICGE-Colombo 2026)	Colombo - Sri Lanka https://icgecolombo2026.org/
07.09. – 08.09.2026	The 3 rd International Conference on Construction Resources for Environmentally Sustainable Technologies, CREST 2026 (Hội nghị quốc tế lần thứ 3 về Tài nguyên xây dựng cho Công nghệ bền vững môi trường, CREST 2026)	Cambridge - Anh https://engage-events.ifm.eng.cam.ac.uk/IC-CREST2026#/
14.09. – 15.09.2026	Scientific Colloquium: Large Scale Testing 2026 (Hội thảo khoa học: Thí nghiệm quy mô lớn 2026)	Karlsruhe – Đức https://www.ibf.kit.edu/908.php
14.09. – 18.09.2026	18th European Conference on Earthquake Engineering (Hội nghị Châu Âu lần thứ 18 về kỹ thuật động đất)	Berlin – Đức https://ecee2026.eu/



16.09. – 18.09.2026	4 th international Symposium on Geotechnical Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites (Hội nghị chuyên đề quốc tế lần thứ tư về địa kỹ thuật bảo tồn di tích và di tích lịch sử)	Athens - Hy Lạp https://tc301-athens.com
21.09. – 23.09.2026	2 nd International Conference on In-Situ Measurement of Soil Properties and Case Histories - INSITU 2026 (Hội nghị quốc tế lần thứ 2 về đo đạc hiện trường các đặc tính của đất và lịch sử trường hợp - INSITU 2026)	Bali - Indonesia http://www.insitu2026.com
13.10. – 16.10.2026	6 th International Conference on Information Technology in Geo-Engineering (Hội thảo quốc tế lần thứ 6 về công nghệ thông tin trong kỹ thuật địa chất)	Graz - Áo https://www.icitg2026.com/
04.11. – 206.11.202 6	International conference on performance-based design in earthquake geotechnical engineering (Hội nghị Quốc tế về Thiết kế dựa trên Hiệu năng trong Kỹ thuật Địa kỹ thuật Động đất)	Puerto Varas – Chile http://www.pbd-v-chile.com
26.11. – 27.11.2026	6 th The International Conference on Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development – GEOTEC HANOI (Hội nghị quốc tế về Địa kỹ thuật cho Phát triển cơ sở hạ tầng bền vững lần thứ 6 – GEOTEC HANOI)	Hà Nội - Việt Nam https://geotechn.vn/
17.03. – 19.03.2027	GeoMandu 2027, 11th AYGEC and 1st SACG: Mountain Geotechnics for Infrastructure Developmen (GeoMandu 2027, Địa kỹ thuật miền núi phục vụ phát triển cơ sở hạ tầng)	Kathmandu – Nepal https://geomandu.ngeotechs.org/
12.04. – 14.04.2027	IS-GI Lyon 2027: International Symposium on Ground Improvement (IS-GI Lyon 2027: Hội nghị chuyên đề quốc tế về cải tạo đất)	Lyon – Pháp https://www.menard-group.com/isgi-lyon2027/
12.05. – 14.05.2027	CPT'27: International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT'27: Hội nghị chuyên đề quốc tế về thí nghiệm xuyên tĩnh)	Vancouver – Canada http://www.cpt27.org
09.06. – 12.06.2027	XVIII. Danube-European Conference on Geotechnical Engineering (Hội nghị lần thứ 18 Danube-Châu Âu về địa kỹ thuật)	Budapest – Hungary http://www.18decge.hu
28.06. – 01.07.2027	1st International Conference on Sustainability in Geotechnical Engineering (ICSGE 2027) (Hội nghị Quốc tế lần thứ nhất về tính bền vững trong địa kỹ thuật (ICSGE 2027))	Lisboa – Bồ Đào Nha https://icsge.lnec.pt
21.09. – 24.09.2027	11th European Conference on Numerical Methods in Geotechnical Engineering (Hội nghị Châu Âu lần thứ 11 về các phương pháp số trong địa kỹ thuật)	Graz – Áo http://numge2027.tugraz.at
01.11. – 04.11.2027	The 10th International Congress on Environmental Geotechnics (Đại hội quốc tế lần thứ 10 về địa kỹ thuật môi trường)	Kyoto – Nhật Bản https://10iceg.org/
20.08. – 25.08.2028	19th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Hội nghị Châu Âu lần thứ 19 về cơ học đất và địa kỹ thuật)	Istanbul – Thổ Nhĩ Kỳ http://zmgm.org.tr



Tin văn quốc tế của ISSMGE đến tháng 6 năm 2026

- Bản tin hội ISSMGE tháng 3-2024: <https://www.issmge.org/publications/issmge-bulletin/vol-18-issue-1-march-2024>
- Bản tin hội ISSMGE tháng 6-2024: <https://www.issmge.org/publications/issmge-bulletin/vol-18-issue-2-june-2024>
- Bản tin hội ISSMGE tháng 9-2024: <https://www.issmge.org/publications/issmge-bulletin/vol-18-issue-3-september-2024>
- Bản tin hội ISSMGE tháng 12-2024: <https://www.issmge.org/publications/issmge-bulletin/vol-18-issue-4-december-2024>
- Bản tin hội ISSMGE tháng 3-2025: <https://www.issmge.org/publications/issmge-bulletin/vol-19-issue-1-march-2025>
- Bản tin hội ISSMGE tháng 6-2025: <https://www.issmge.org/publications/issmge-bulletin/vol-19-issue-2-june-2025>
- Bản tin hội ISSMGE tháng 9-2025: <https://www.issmge.org/publications/issmge-bulletin/vol-19-issue-3-september-2025>
- Bản tin hội ISSMGE tháng 12-2025: <https://www.issmge.org/publications/issmge-bulletin/vol-19-issue-4-december-2025>



DANH SÁCH HỘI VIÊN QUỐC TẾ CỦA HỘI VSSMGE, NĂM 2026

**VIETNAM SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING
ISSMGE MEMBERSHIP 2026**

	Family name	Initial
1	Bui	Dinh Nhuan
2	Bui	Van Truong
3	Bui	Truong Son
4	Bui	Van Duc
5	Dang	Hong Lam
6	Dao	Trieu Kim Cuong
7	Dinh	Quang Thanh
8	Dinh	Quoc Dan
9	Do	Minh Duc
10	Do	Thanh Hai
11	Do	Huu Dao
12	Do	Tuan Nghia
13	Doan	Dinh Hong
14	Doan	Minh Tam
15	Duong	Thai Phan
16	Higashi	Masaya
17	Ho	Duc An
18	Hoang	Phuong Tung
19	Hoang	Thi Lua
20	Hoang	Viet Hung

	Family name	Initial
21	Huynh	Thanh Binh
22	Lam	Ngoc Qui
23	Le	Dinh Viet
24	Le	Viet Hung
25	Le	Thiet Trung
26	Le	Thu Hanh
27	Le	Hong Quang
28	Lu	Trieu Duong
29	Mai	Trieu Quang
30	Nguyen	Anh Dung
31	Nguyen	Ba Quang Vinh
32	Nguyen	Bao Viet
33	Nguyen	Chau Lan
34	Nguyen	Cong Giang
35	Nguyen	Duc Manh
36	Nguyen	Manh Truong
37	Nguyen	Manh Tuong
38	Nguyen	Minh Hait
39	Nguyen	Minh Son
40	Nguyen	Ngoc Bao



	Family name	Initial
41	Nguyen	Ngoc Thanh
42	Nguyen	Phuong Dong
43	Nguyen	Quang Tuan
44	Nguyen	Quy Huy
45	Nguyen	Thanh Dat
46	Nguyen	Thi Thuy
47	Nguyen	Thi Tuyen Trinh
48	Nguyen	Tien Dung
49	Nguyen	Trung Kien
50	Nguyen	Trung Thanh
51	Nguyen	Tuan Dung
52	Nguyen	Van Hoan
53	Nguyen	Van Phong
54	Nguyen	Viet Hung
55	Nguyen	Xuan Truong
56	Nguyen	Cong Nghia
57	Nguyen	Quoc Khanh
58	Nguyen	Viet Tuan
59	Nguyen	Thanh Chi
60	Pham	Ngoc Thang

	Family name	Initial
61	Pham	Quang Tu
62	Pham	Quoc Dung
63	Pham	Thanh Lam
64	Pham	Viet Khoa
65	Phan	Khac Long
66	Phung	Duc Long
67	Su	Minh Dang
68	Ta	Cong Thanh Vinh
69	Tran	Huy Hung
70	Tran	Quang Dat
71	Tran	Thi Thanh
72	Tran	Thu-Hang
73	Tran	Tuan Anh
74	Tran	Van Tuan
75	Tran	Tan Van
76	Trinh	Minh Thu
77	Truong	Quang Manh
78	Vu	Ba Thao
79	Vu	Anh Tuan



Hoạt động các tiểu ban kỹ thuật (TC) của ISSMGE

Các tiểu ban kỹ thuật được ISSMGE thành lập nhằm mục đích phối hợp, đề xuất các nghiên cứu cấp bách, đưa ra các văn bản hướng dẫn cũng như hỗ trợ các hội thành viên, tổ chức hội thảo, khóa học cũng như tập huấn trong lĩnh vực chuyên môn hẹp. Hiện tại đã có tổng cộng 38 tiểu ban kỹ thuật được thành lập (<https://www.issmge.org/committees/technical-committees>). Trong số đó VSSMGE có đại diện trong 20 tiểu ban khác nhau. Trong năm 2026, VSSMGE có 23 hội viên tham gia vào 20 Tiểu ban kỹ thuật (Technical Committee) của ISSMGE, xem danh sách dưới đây.

DANH SÁCH THÀNH VIÊN CÁC TC CỦA VSSMGE, NĂM 2026

TC	Tiểu ban (TC)	Thành viên
TC101	Laboratory Stress Strain Strength Testing of Geomaterials	Lê Việt Hưng
TC102	Ground Property Characterization from In-Situ Tests	Nguyễn Tiến Dũng
TC103	Numerical methods	Phùng Đức Long, Đỗ Tuấn Nghĩa, Lê Việt Hưng
TC104	Physical Modelling in Geotechnics	Vũ Anh Tuấn, Đặng Hồng Lam, Trần Văn Tuấn
TC105	Geo-Mechanics from Micro to Macro	Đặng Hồng Lam
TC106	Unsaturated Soils	Hoàng Việt Hùng, Nguyễn Minh Hải
TC202	Transportation Geotechnics	Nguyễn Trung Thành
TC203	Earthquake Geotechnical Engineering and Associated Problems	Trần Thu Hằng, Đoàn Minh Tâm
TC204	Underground Construction in Soft Ground	Phùng Đức Long, Đỗ Tuấn Nghĩa, Trần Huy Hùng, Trần Thu Hằng
TC208	Slope Stability in Engineering Practice	Nguyễn Đức Mạnh, Đỗ Tuấn Nghĩa, Nguyễn Bảo Việt
TC209	Offshore geotechnics	Lê Việt Hưng, Đoàn Đình Hồng, Nguyễn Việt Hưng
TC211	Ground improvement	Nguyễn Đức Mạnh, Nguyễn Bảo Việt, Lâm Ngọc Quý
TC212	Deep foundation	Phùng Đức Long, Vũ Anh Tuấn, Trần Huy Hùng, Trần Văn Tuấn
TC214	Foundation Engineering for Difficult Soft Soil Conditions	Nguyễn Anh Dũng
TC217	Land Reclamation	Hoàng Phương Tùng
TC220	Field Monitoring in Geomechanics	Nguyễn Anh Dũng
TC221	Tailing and mine wastes	Sử Minh Đặng
TC302	Forensic Geotechnical Engineering	Nguyễn Minh Hải
TC304	Engineering Practice of Risk Assessment and Management	Sử Minh Đặng, Phạm Quang Tú
TC309	Machine Learning and Big Data	Đỗ Thanh Hải, Lê Đình Việt, Phùng Đức Long
Tổng: 20		Tổng: 23 Hội viên, Tổng số người/TC: 41

Chú thích: Trong danh sách này, tên màu xanh là thành viên chính thức (nominated member), còn tên màu đen là thành viên thông tấn (corresponding member). Mỗi hội thành viên quốc gia chỉ được đề cử 2 thành viên chính thức tại mỗi TC.



Một nhà địa kỹ thuật người Thụy Điển, người coi Việt Nam như quê hương thứ hai của mình, đã ra đi

A Swedish geotechnical engineer, who considered Vietnam his second home, has passed away

Phùng Đức Long

Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam. E-mail: phung.long@gmail.com

Nguyễn Anh Dũng

Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam. E-mail: areniscas50@gmail.com

Một nhà địa kỹ thuật Thụy Điển, đã sống và làm việc tại Việt Nam 35 năm, mới qua đời. Ông Bertil Ernfrid Nord, sinh năm 1944 tại Thụy Điển, mới mất ngày 8/3/2026 tại Nha Trang. Ông nguyên là Chủ tịch Hội Địa Kỹ thuật Thụy Điển (Svenska Geotekniska Foreningen) giai đoạn 1982-1983. Năm 1984 ông chuyển sang Singapore làm việc cho một công ty con thuộc tập đoàn NCC Thụy Điển. Năm 1991 ông chuyển sang Việt Nam làm việc. Kể từ đó ông Bertil sống tại nơi mà ông coi là quê hương thứ hai của mình cho tới cuối đời.



Ông Bertil Nord có trên 50 năm kinh nghiệm trong lĩnh vực địa kỹ thuật và thiết kế nền móng. Ông từng làm việc tại nhiều nơi trên thế giới: châu Âu, châu Phi và Châu Á. Ông đã làm việc tại Đông Nam Á trong hơn 40 năm qua. Ông có nhiều kinh nghiệm trong việc thành lập và quản lý các công ty mới tại Singapore, Malaysia và Việt Nam với tư cách là nhà thầu chuyên nghiệp trong các lĩnh vực như gia cố nền móng các công trình hiện có, cải tạo đất nền, cũng như tư vấn chuyên nghiệp về khảo sát địa kỹ thuật và thiết kế móng. Bertil có kinh nghiệm trong thiết kế và thi công các dự án xây dựng đa dạng, từ các hang động ngầm để chứa dầu đến các công trình công nghiệp và các tòa nhà dân dụng cao tầng, bao gồm cả quản lý xây dựng và quản lý dự án. Ông cũng có kinh nghiệm với tư cách là chuyên gia làm chứng trong một số vụ trọng tài và thủ tục tố tụng tại tòa án liên quan đến các dự án kỹ thuật dân dụng và nền móng.

Công ty COFEC Consultants là công ty liên doanh đầu tiên của Việt Nam trong lĩnh vực tư vấn Địa kỹ thuật. Công ty được ông cùng Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng (IBST) thành lập theo ý tưởng của ông cùng cố GS.TS Nguyễn Trường Tiến vào năm 1991. Đó là giai đoạn đầu tư ồ ạt của các nước phương Tây vào Việt Nam, dẫn đến sự đòi hỏi của việc du nhập các tiêu chuẩn thiết kế và kỹ thuật xây dựng theo trường phái phương Tây vào nước ta. COFEC đã tiếp bước chương trình hợp tác khoa học kỹ thuật 12 năm giữa IBST và Viện Địa kỹ thuật Thụy Điển (SGI), làm cầu nối giữa đất nước Việt Nam sau nhiều năm bị cô lập với thế giới. Công lao này được gắn liền với sự giúp đỡ thầm lặng của ông Bertil. Ông tạo điều kiện tiếp xúc với các đối tác quốc tế trong lĩnh vực xây dựng, đặc biệt trong lĩnh vực Địa Kỹ thuật. Ông đã mời công ty Hercules Grundläggning AB, thi công trụ xi măng đất tại Việt Nam, mở đầu cho sự phát triển rộng rãi của công nghệ trụ xi măng đất trong việc gia cố nền đất yếu tại Việt Nam.

Tuy không phải là hội viên chính thức của Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam (VSSMGE), nhưng ông Bertil thường xuyên đồng hành với các hoạt động của Hội. Có thể điểm ra một số sự kiện lớn của Hội mà ông đã tham gia:



- Hội thảo Địa kỹ thuật quốc tế tại Hanoi, 1992.
- Đại hội VSSMGE và Hội nghị khoa học tại Hà Nội, 2010.
- Hội thảo khoa học “Sustainable Environmental Development Swedish – Vietnamese Cooperation”, do VSSMGE, Trường ĐH Chalmers University of Technology và trường ĐH Xây dựng Hà Nội đồng tổ chức, được tổ chức SIDA (the Swedish International Development Cooperation Agency - Cơ quan Hợp tác Phát triển Quốc tế Thụy Điển) tài trợ vào tháng 4/2012 tại Hà Nội.
- Các Hội nghị Địa kỹ thuật quốc tế Geotec Hanoi 2011, 2013, 2019, cùng nhiều hội thảo khoa học khác tại Việt Nam.

TS. Bo Berggren, một người bạn thân thiết của Bertil, một người Thụy Điển khác luôn gắn bó với Việt Nam, viết về ông Bertil Nord như sau: “... Bertil là một con người mạnh mẽ, một người bạn tuyệt vời và vô cùng hóm hỉnh. Ông làm phong phú thêm cuộc sống xung quanh bằng sự hài hước nhẹ nhàng và thâm thúy. Chúng ta luôn cảm thấy mình được trân trọng khi ở gần ông ...”

Vĩnh biệt ông, chúng ta mãi mãi nhớ về một người Thụy Điển đặc biệt tại Việt Nam, một người bạn của nhiều hội viên Hội VSSMGE, một nhà địa kỹ thuật Châu Âu đã đóng góp nhiều cho sự nghiệp xây dựng quê hương thứ hai của mình tại Châu Á.



MỘT SỐ HÌNH ẢNH ÔNG BERTIL NORD THAM GIA HOẠT ĐỘNG CỦA HỘI VSSMGE



Hình 1. Hội nghị Địa kỹ thuật quốc tế Hanoi 1992 tại Hà Nội



Hình 2. Hội nghị Địa kỹ thuật quốc tế VGD2010 tại Hà Nội, tháng 6/2010



Hình 3. Hội thảo quốc tế Phát triển bền vững môi trường do SIDA tài trợ tại Hà Nội, tháng 4/2012



Hình 4. Hội nghị ĐKT quốc tế Geotec Hanoi 2013 tại Hà Nội, tháng 11/2013



Hình 5. Hội nghị ĐKT quốc tế Geotec Hanoi 2019 tại Hà Nội, tháng 11/2019



Giới thiệu hội nghị GEOTEC HANOI 2026

Introduction of GEOTEC HANOI 2026

Nguyễn Tiến Dũng

FECOM R&D. E-mail: ntdung@fecon.com.vn

Phùng Đức Long

Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam. E-mail: phung.long@gmail.com

Giới thiệu chung

Tiếp nối thành công của các kỳ hội nghị trước, Hội nghị GEOTEC HANOI lần thứ 6 (GH2026) sẽ được tổ chức vào ngày 26-27/11/2026 tại Trung tâm Hội nghị Quốc gia (NCC), Hà Nội, Việt Nam. GH2026 sẽ được đồng tổ chức bởi đơn vị: công ty cổ phần FECOM, Hội Cơ học đất và Địa kỹ thuật công trình Việt Nam (VSSMGE), và Hội Cơ học Đất và Kỹ thuật Địa chất công trình Trung Quốc (CISMGE), dưới sự bảo trợ của Hội Cơ học đất và Địa kỹ thuật công trình Quốc tế (ISSMGE). GH2026 được giới thiệu trên trang web của ISSMGE tại đường link: <https://www.issmge.org/events/geotec-hanoi-2026-gh2026>.

Hội nghị quốc tế “vì sự phát triển hạ tầng bền vững” – GEOTEC HANOI (<https://geotechn.vn/>) đã 5 lần được tổ chức thành công qua các năm 2011, 2013, 2016, 2019 và 2023. Hội nghị đã trở thành một sự kiện uy tín ở Việt Nam cũng như tại Châu Á và quốc tế về chất lượng chuyên môn và quy mô tổ chức. Số lượng bài báo cáo, khách tham dự và gian hàng triển lãm không ngừng tăng qua năm kỳ hội nghị (Bảng 1). Gần đây nhất GEOTEC HANOI 2023 (GH2023) đã được tổ chức tại Trung tâm Hội nghị Quốc gia vào ngày 14 và 15 tháng 12 năm 2023 (Hình 1), với sự tham dự của hơn 1200 đại biểu đến từ 40 quốc gia thuộc năm châu lục trên thế giới.

Bảng 1 Số lượng khách tham dự, quốc gia, bài báo và gian hàng triển lãm qua các kỳ Hội nghị

	2011	2013	2016	2019	2023
Khách tham dự	450	500	600	815	1214
Quốc gia	24	27	31	37	40
Bài báo	110	112	145	186	204
Gian hàng triển lãm	18	35	42	48	48



Hình 1 Phiên khai mạc tại Hội nghị GH2023

Hội nghị GH2023 đã vinh dự đón nhận các bài giảng chuyên sâu trong lĩnh vực Địa kỹ thuật của các chuyên gia hàng đầu trên thế giới: GS. Alessandro Mandolini (Ý), GS. Giulia Viggiani (Anh), GS. Rainer Massarsch (Thụy Điển), GS. Antonio Gens (Tây Ban Nha), GS. Mitsu Okamura (Nhật Bản), GS. Richard Jardine (Anh), GS. Marc Ballouz (Mỹ), GS. Keh-Jian Shou (Đài Loan) (Hình 2). Hội nghị lần thứ 5 này đã "phá



kỷ lục" các kỳ GEOTEC HANOI trước với hơn 1200 người tham dự và 204 bài báo được chấp thuận xuất bản trên tạp chí Springer (<https://doi.org/10.1007/978-981-99-9722-0>).



Hình 2. Ban tổ chức và các diễn giả chính tại Hội nghị GH2023

Các chủ đề chính của hội nghị GH2026

Các chủ đề thảo luận tại GEOTEC HANOI đề là những chủ đề quan trọng trong lĩnh vực địa kỹ thuật công trình, phục vụ cho sự phát triển hạ tầng. Tại GH2026, Hội nghị sẽ 8 tiểu ban kỹ thuật với các chủ đề sau đây:

- TIỂU BAN 1. MÓNG SÂU,
- TIỂU BAN 2. HẦM VÀ CÔNG TRÌNH NGẦM,
- TIỂU BAN 3. GIA CỐ NỀN ĐẤT YẾU,
- TIỂU BAN 4. MÔ HÌNH SỐ VÀ QUAN TRẮC ĐỊA KỸ THUẬT,
- TIỂU BAN 5. TRƯỢT LỞ VÀ XÓI MÒN,
- TIỂU BAN 6. KỸ THUẬT NỀN MÓNG BỜ BIỂN VÀ NĂNG LƯỢNG GIÓ NGOÀI KHƠI
- TIỂU BAN 7. ỨNG DỤNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO (AI) TRONG ĐỊA KỸ THUẬT VÀ
- TIỂU BAN 8. ĐỊA KỸ THUẬT CHO ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO.

Thông tin về các bài viết và tài trợ triển lãm

Tính đến hết ngày 31/12/2025, BTC hội nghị nhận được hơn 400 abstracts đến từ 40 quốc gia trên thế giới. Cho đến ngày 30/04/2026, BTC hội nghị nhận được 320 full papers, bao gồm cả các Bài giảng chuyên đề của các keynote speakers. Các bài báo đang được reviewed bởi các chuyên gia trong hội đồng khoa học. Các bài báo được chấp nhận sẽ được xuất bản trong series tuyển tập điện tử "Lecture Notes in Civil Engineering" của nhà xuất bản Springer (được đánh chỉ mục trong hệ thống Scopus): <https://link.springer.com/series/15087>.

Ngoài các hoạt động chuyên môn, GH2026 cũng hứa hẹn là một sự kiện hấp dẫn với các hoạt động triển lãm. Bên cạnh 60 booths vật lý, hội nghị năm nay sẽ có thêm các gian hàng triển lãm ảo cho các đơn vị quảng bá công nghệ, sản phẩm và dịch vụ của mình. Tính đến thời điểm hiện tại, hơn một nửa số booths đã được đăng ký. Thông tin chi tiết về triển lãm được cho ở trang web của hội nghị: <https://geotechn.vn/exhibition-gh2026/>



CÁC BÀI GIẢNG CHUYÊN SÂU (KEYNOTE LECTURE) TẠI GH2026

Cho đến nay 8 giáo sư đã nhận lời giảng bài chuyên sâu tại 8 tiểu ban kỹ thuật của hội nghị GH2026. Chúng tôi xin giới thiệu các giáo sư cùng tên các bài giảng keynote tại hội nghị GH2026.

Bảng 1. Thông tin về các bài giảng chuyên sâu

CHỦ ĐỀ - TIỂU BAN	DIỄN GIẢ	TÊN BÀI GIẢNG	CHÂN DUNG
1. DEEP FOUNDATIONS	Prof. Raffaele Di Laora. Secretary of TC212 Deep Foundations, University of Campania, Italia.	Innovative methods for pile foundation design	
2. TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACES	Prof. Xiangsheng Chen. Shenzhen University, China.	State-of-the-Art, Tunnel Engineering in Mainland China	
3. GROUND IMPROVEMENT	Prof. Stefan Larsson. Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden.	The Nordic Dry Deep Mixing method for infrastructure development	
4. LANDSLIDE AND EROSION	Prof. Limin ZHANG. Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China.	AI & Digital-twin Empowered Landslide Risk Management	
5. OFFSHORE WIND POWER AND COASTAL GEOTECHNICS	Prof. Byron Byrne. Oxford University, U.K.	Design of Monopiles for Offshore Wind Turbines	
6. GEOTECHNICAL MODELLING AND SMART MONITORING	Prof. David M. Potts. Imperial College, London, U.K.	Simulating strain softening behaviour and progressive failure in geotechnical analysis	
7. AI IN GEOTECHNICAL ENGNG	Prof. Gang Zheng, Tianjin University, P.R. China.	AI-Empowered Geotechnical Engineering: Coping with Complexity and Uncertainty	
8. GEOTECHNICS FOR HIGH-SPEED RAILWAYS	Prof. Tatsuya Ishikawa. TC202 Chair, Hokkaido University, Japan	Transportation Geotechnics toward Sustainable and Resilient High-Speed Railways	



Các bài giảng mời đặc biệt và bài giảng mời (Special Invited lecture/Invited lecture) tại GH2026

Bên cạnh các bài giảng chuyên sâu, tính tới thời điểm hiện tại (31/05/2025), Hội nghị sẽ có 01 Bài giảng mời đặc biệt và 02 bài giảng mời với thông tin tóm tắt trong Bảng 2 dưới đây. Hội nghị dự kiến sẽ có thêm 01 bài giảng mời đặc biệt đến của tân chủ tịch Hội cơ học đất và Địa kỹ thuật công trình thế giới (ISSMGE). Vị chủ tịch mới của ISSMGE sẽ được bầu tại Hội nghị ICSMGE lần thứ 21, tại Vienna (Áo), vào tháng 6/2026 này.

Bảng 2. Thông tin về các bài giảng mời và bài giảng mời đặc biệt.

CHỦ ĐỀ - TIỂU BAN	DIỄN GIẢ	TÊN BÀI GIẢNG	CHÂN DUNG
TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACES	Prof. Anord Dix Immediate past president of ITA-AITES, Australia.	Bài giảng mời đặc biệt: What the Mountain Does Not Forgive: Disaster Risk, Communication Failure, and the Human Conditions for Safe Underground Construction in Vietnam’s Infrastructure Era	
TUNNELLING AND UNDERGROUND SPACES	Prof. Bai Yun Tongji University, China.	Bài giảng mời: Learning from Tunneling Accidents	
GEOTECHNICS FOR HIGH-SPEED RAILWAYS	Prof. Erol Tutumluer University of Illinois at Urbana-Champaign, USA.	Bài giảng mời: Advanced Sensing and Modeling of Ballasted Track Deformation Behavior	

Chương trình workshop

Tại hội nghị GH2026 năm nay, nhằm nâng cao tính hấp dẫn của hội nghị, cũng như đáp ứng nhu cầu kiến thức trong các lĩnh vực thời sự, các bài giảng chuyên đề (pre-conference workshop) sẽ được tổ chức vào ngày 25/11/2026. Chủ đề của bài giảng chuyên đề năm nay là “**Địa kỹ thuật cho đường sắt tốc độ cao**” (Geotechnics for high-speed railways). Thông tin cơ bản của Workshop được cho trong Bảng 3 dưới đây.

Bảng 3. Thông tin về Workshop với chủ đề Địa kỹ thuật cho đường sắt tốc độ cao

Phiên	NỘI DUNG	DIỄN GIẢ
BUỔI SÁNG 25/11/2026	Các phương pháp địa kỹ thuật trong thiết kế và thi công đường sắt tốc độ cao ở Trung Quốc.	Dr. Cai Degou Railway Engineering Research Institute, China Academy of Railway Sciences, China
BUỔI CHIỀU 25/11/2026	Các phương pháp địa kỹ thuật trong thiết kế và thi công đường sắt tốc độ cao ở Nhật Bản.	Dr. Yoshitsugu Momoya Railway Technical Research Institute, Japan

CHÀO MỪNG CÁC BẠN THAM DỰ HỘI NGHỊ GEOTEC HANOI 2026!



GREENX Lab - Nền tảng khoa học địa kỹ thuật cho tương lai xanh

Phạm Anh Tuấn và các tác giả*

Royal Institute of Technology (KTH), Sweden, đồng sáng lập GREENX Lab. E-mail: atpham@kth.se

Tóm tắt

Trong bối cảnh Việt Nam chịu tác động ngày càng rõ nét của biến đổi khí hậu – từ sạt lở đất, xói lở bờ sông bờ biển, lũ lụt, xâm nhập mặn đến sụt lún – nhu cầu về những giải pháp địa kỹ thuật bền vững, gắn kết với mục tiêu Net-Zero và phát triển hạ tầng thích ứng khí hậu trở nên cấp thiết. Trên nền tảng đó, GREENX Lab, nhóm nghiên cứu Địa kỹ thuật bền vững và Hạ tầng thích ứng khí hậu (Geotechnics & Resilient Engineering for Net-Zero and Nature Laboratory) được thành lập với mục tiêu kết nối các nhà khoa học trong và ngoài nước, doanh nghiệp và địa phương để cùng phát triển các giải pháp “địa kỹ thuật xanh” cho Việt Nam. Bài báo giới thiệu bối cảnh hình thành GREENX Lab, tầm nhìn – sứ mệnh, bốn trụ cột nghiên cứu chiến lược, các dự án nghiên cứu khởi động (cỏ vetiver, vật liệu bê tông–thực vật tái chế, geobag bảo vệ bờ sông) và lộ trình phát triển 2025–2026. Qua đó, bài viết nhấn mạnh vai trò của GREENX Lab như một “cầu nối” giữa khoa học – chính sách – cộng đồng, hướng tới đóng góp thiết thực cho hạ tầng bền vững và cộng đồng địa kỹ thuật Việt Nam

Abstract

Vietnam faces growing climate hazards requiring sustainable, resilient geotechnical solutions. GREENX Lab was created as an interdisciplinary platform advancing Net-Zero and climate-adaptive infrastructure. Its research integrates geotechnics, nature-based systems, circular materials, and digital technologies. Key projects include vetiver slope stabilization, recycled concrete–vegetation materials, and geobag protection systems. The Lab connects global expertise with local needs to deliver practical, low-carbon solutions for a safer, more resilient Vietnam.

Keywords: GREENX Lab, địa kỹ thuật bền vững, hạ tầng thích ứng khí hậu, Net-Zero, giải pháp dựa vào thiên nhiên, kinh tế tuần hoàn.

Mở đầu - Từ thách thức khí hậu đến nhu cầu một “lab xanh”

Việt Nam sở hữu đường bờ biển dài, nhiều dãy núi cao, độ dốc lớn và hai đồng bằng rộng lớn, tạo nên một không gian phát triển đa dạng nhưng cũng hết sức mong manh trước tác động của biến đổi khí hậu. Những năm gần đây, các hiện tượng mưa lớn cực đoan, sạt lở mái dốc, xói lở bờ biển, xâm nhập mặn và sụt lún trên nền đất yếu xuất hiện với tần suất ngày càng cao, gây tổn thất nặng nề cho hạ tầng và cộng đồng (Hình 1). Đây không còn là những thách thức xa vời mà đã trở thành “bài toán thường trực” đối với các kỹ sư địa kỹ thuật, các nhà quản lý và các địa phương trên cả nước.

Trong bối cảnh đó, vai trò của địa kỹ thuật cần được nhìn nhận lại. Nếu như trước đây địa kỹ thuật chủ yếu tập trung vào nhiệm vụ đảm bảo an toàn công trình, thì hiện nay ngành cần mở rộng sứ mệnh:

- Hỗ trợ thích ứng với khí hậu cực đoan,
- Giảm phát thải, hướng đến Net-Zero trong vòng đời công trình,
- Và biết cách “làm việc cùng thiên nhiên” thay vì chống lại thiên nhiên, thông qua thảm thực vật, hệ sinh thái ven bờ, vật liệu sinh học và các giải pháp dựa vào thiên nhiên.

Chính những yêu cầu mới này đặt ra nhu cầu hình thành một trung tâm nghiên cứu liên ngành – nơi khoa học, công nghệ và tư duy bền vững được kết nối để tạo ra các giải pháp địa kỹ thuật thế hệ mới. Từ đây, GREENX Lab ra đời như một “phòng thí nghiệm mở”, quy tụ các nhà nghiên cứu về địa kỹ thuật, môi



trường, vật liệu, kinh tế tuần hoàn và quản lý rủi ro khí hậu, cùng hướng tới mục tiêu chung: “Geotechnics and Resilient Engineering for Net-Zero and Nature” – Kiến tạo khả năng chống chịu để kiến tạo một tương lai trung hòa carbon và bền vững cho Việt Nam.



Hình 1. Thách thức biến đổi khí hậu ở VN



Hình 2. Động lực của GREENX Lab

GREENX LAB: tầm nhìn, sứ mệnh và giá trị cốt lõi

Tên gọi và bản sắc

GREENX Lab – Geotechnics & Resilient Engineering for Net-Zero and Nature Laboratory là tên gọi thể hiện trọn vẹn tinh thần của nhóm: GREEN – hướng đến phát triển xanh và trung hòa carbon; X – biểu tượng của giao thoa tri thức liên ngành, của đổi mới sáng tạo, và cũng là dấu nối giữa khoa học – thiên nhiên – cộng đồng (Hình 2).

GREENX Lab tập trung nghiên cứu và phát triển các giải pháp địa kỹ thuật, môi trường và công trình thích ứng khí hậu, với trọng tâm là gắn kết hạ tầng với thiên nhiên, giảm phát thải trong suốt vòng đời công trình và hướng đến các hệ thống Net-Zero, Nature-Based và Climate-Resilient. Đây không chỉ là một lựa chọn khoa học mang tính xu thế, mà còn là lời đáp lại trách nhiệm xã hội mà các kỹ sư thời đại mới phải đảm nhận.

Slogan của nhóm, “Engineering Resilience for a Net-Zero Future”, thể hiện rõ khát vọng đó: xây dựng khả năng chống chịu bằng khoa học và kỹ thuật, để tạo dựng một tương lai xanh và bền vững hơn cho Việt Nam.

Tầm nhìn

GREENX Lab hướng tới trở thành một nhóm nghiên cứu tiên phong tại Việt Nam và khu vực trong lĩnh vực địa kỹ thuật bền vững và hạ tầng thích ứng khí hậu. Tầm nhìn của nhóm không giới hạn ở việc phát triển tri thức mới, mà còn hướng đến:

- Thay đổi tư duy thiết kế hạ tầng, từ chống chọi với thiên nhiên sang hòa hợp và tận dụng sức mạnh tự nhiên.
- Mở ra các mô hình hạ tầng gắn kết thực vật – đất – nước – kết cấu, phù hợp với điều kiện khí hậu đặc thù của Việt Nam.
- Định hình một hệ sinh thái tri thức, nơi các ý tưởng nghiên cứu được nuôi dưỡng và lan tỏa từ phòng thí nghiệm đến cộng đồng địa phương.

Đây là một tầm nhìn không chỉ mang tính học thuật mà còn mang tính phát triển quốc gia, khi các rủi ro khí hậu ngày càng ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn công trình, sinh kế và kinh tế.



Sứ mệnh

Từ tầm nhìn đó, GREENX Lab xác định bốn sứ mệnh trọng tâm, đại diện cho những cam kết dài hạn của nhóm đối với cộng đồng khoa học và xã hội:

- Thúc đẩy nghiên cứu địa kỹ thuật và nền móng năng lượng phục vụ phát triển hạ tầng Net-Zero và tăng cường khả năng thích ứng khí hậu. Điều này bao gồm từ nghiên cứu cơ bản (THM coupling, cơ học đất không bão hòa) đến giải pháp ứng dụng (piled embankments, geobag, vật liệu xanh...).
- Lồng ghép nguyên tắc bền vững và chống chịu khí hậu vào thiết kế, biến các khái niệm như giảm phát thải, vòng đời vật liệu, tái tạo tự nhiên thành tiêu chuẩn kỹ thuật cụ thể chứ không chỉ là khẩu hiệu.
- Thúc đẩy hợp tác liên ngành giữa học thuật – doanh nghiệp – chính quyền, giúp các kết quả nghiên cứu được triển khai ngoài hiện trường. Đây là cách mà GREENX Lab đảm bảo khoa học không chỉ nằm trên giấy, mà trở thành giải pháp thực sự cải thiện đời sống cộng đồng.
- Kết nối trí thức Việt Nam toàn cầu, xây dựng mạng lưới từ các phòng thí nghiệm quốc tế đến địa phương trong nước, nhằm chuyển giao tri thức và công nghệ mới cho các bài toán đặc thù của Việt Nam như sụt lún miền Trung, xâm nhập mặn ĐBSCL hay sụt lún đô thị.

Cấu trúc nhóm và hệ sinh thái hợp tác

Cuộc họp khởi động ngày 14/11/2025 đã đánh dấu bước hình thành chính thức của GREENX Lab, với 7 thành viên sáng lập đến từ Việt Nam, Thụy Điển, Hoa Kỳ và Đài Loan, cùng đối tác doanh nghiệp đầu tiên - Công ty Cổ phần Tre Quảng Nam. Sự khởi đầu mang tính quốc tế và liên ngành này phản ánh rất rõ bản sắc của GREENX Lab: một mạng lưới tri thức mở, không bị giới hạn bởi biên giới địa lý hay khuôn khổ tổ chức.

Ngay từ những bước đầu tiên, GREENX Lab đã được thiết kế như một **hệ sinh thái hợp tác**, trong đó mỗi nhóm đối tác đóng vai trò chiến lược bổ trợ lẫn nhau:

- Các trường đại học trong nước (HUCE, MUCE, HCMUNRE, ...): Đóng vai trò nền tảng về thí nghiệm, đào tạo sinh viên và phát triển nghiên cứu ứng dụng gắn với điều kiện Việt Nam. Đây cũng là nơi chuyển hóa tri thức quốc tế thành công nghệ khả thi ở cấp địa phương.
- Các trường và viện nghiên cứu nước ngoài (KTH – Thụy Điển, UTRGV – Hoa Kỳ, NDHU – Đài Loan): Cung cấp phương pháp luận hiện đại, công cụ mô phỏng tiên tiến và mạng lưới hợp tác khoa học quốc tế. Giúp nâng tầm nghiên cứu, đảm bảo GREENX Lab tiếp cận được với xu hướng toàn cầu về Net-Zero và hạ tầng chống chịu khí hậu.
- Doanh nghiệp và địa phương (Tre Quảng Nam, Sở KH&CN, chính quyền tỉnh, đơn vị tư vấn – thi công): Đồng hành trong xác định bài toán thực tế, đề xuất nhu cầu công nghệ và triển khai thí điểm ngoài hiện trường. Đây là một mắt xích quan trọng để nghiên cứu không chỉ dừng ở lý thuyết mà trở thành giải pháp hữu ích cho cộng đồng.

Cấu trúc “tam giác liên minh” giữa học thuật – doanh nghiệp – chính quyền địa phương, cùng sự kết nối của các đối tác quốc tế, tạo ra một mô hình mà nhiều chương trình lớn trên thế giới đang theo đuổi, được gọi là “science–policy–industry–community nexus”. Đây cũng là tinh thần cốt lõi của các sáng kiến toàn cầu như Horizon Europe và Mission Adaptation to Climate Change, trong đó khoa học phải gắn với tác động xã hội và hỗ trợ quá trình ra quyết định của cộng đồng.

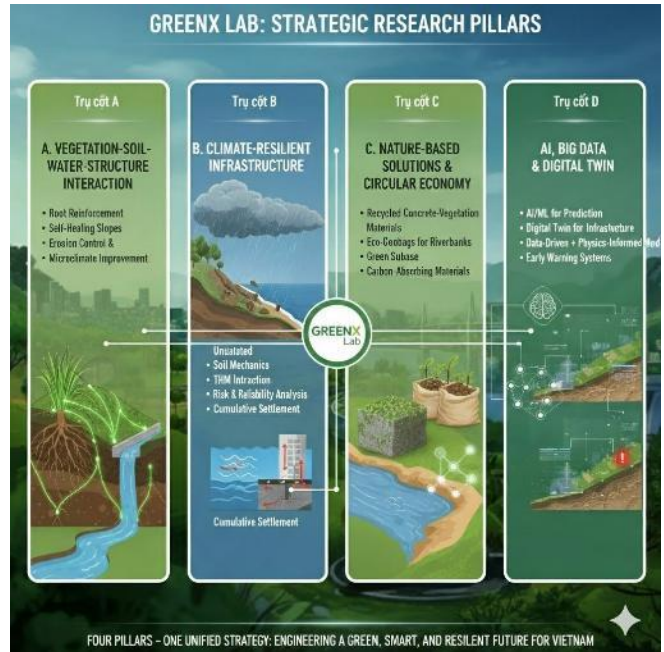
GREENX Lab vì vậy không chỉ là một nhóm nghiên cứu, mà đang hình thành như một nền tảng đổi mới sáng tạo, nơi tri thức được chia sẻ, nguồn lực được kết nối, và các giải pháp bền vững được đồng kiến tạo cùng cộng đồng địa phương. Đây chính là khác biệt lớn nhất và cũng là điểm mạnh chiến lược của GREENX Lab trong hành trình phát triển dài hạn.

Các trụ cột nghiên cứu chiến lược

Ngay từ khi thành lập, GREENX Lab đã định vị mình không chỉ là một nhóm nghiên cứu đơn lẻ mà là một nền tảng khoa học liên ngành, nơi các ý tưởng mới được nuôi dưỡng và phát triển thành các giải pháp thực tế cho hạ tầng bền vững và thích ứng khí hậu. Để đảm bảo định hướng dài hạn và tạo ra tác động có ý nghĩa, nhóm đã xác định bốn trụ cột nghiên cứu chiến lược (A–D), kết nối giữa khoa học nền tảng – công nghệ – ứng dụng cộng đồng.



Hình 3. Cấu trúc nhóm sáng lập



Hình 4. Các trụ cột chiến lược của nhóm

Trụ cột A – Tương tác Thảm thực vật – Đất – Nước – Công trình

Trụ cột này khai thác sức mạnh của thiên nhiên như một phần của giải pháp địa kỹ thuật. Thảm thực vật – đặc biệt là các loài có hệ rễ phát triển như vetiver – có khả năng thay đổi cấu trúc đất, cải thiện tính thấm, tăng cường độ bền và giảm xói mòn. GREENX Lab hướng đến việc mô hình hóa định lượng các tương tác Soil–Vegetation–Structure (SVS) thông qua các thí nghiệm đa chỉ tiêu và mô phỏng số, nhằm:

- Hiểu sâu cơ chế gia cường đất bằng rễ cây (root reinforcement);
- Xây dựng mô hình mái dốc “sống”, có khả năng tự phục hồi;
- Thiết kế giải pháp chống xói lở, kiểm soát dòng chảy và cải thiện vi khí hậu.

Đây là hướng nghiên cứu mở ra tiềm năng lớn cho các khu vực đồi núi, vùng ven sông và bờ biển của Việt Nam.

Trụ cột B – Hạ tầng chống chịu khí hậu (Climate-Resilient Infrastructure Systems)

Trụ cột này tập trung vào các vấn đề nhức nhối của Việt Nam: sạt lở mái dốc dưới mưa lớn, mất ổn định nền đất yếu, sụt lún vùng ven biển, xói lở bờ và tác động của nhiệt độ cực đoan lên đất và vật liệu.

GREENX Lab phát triển các mô hình sau để xây dựng các khuyến nghị thiết kế phù hợp khí hậu Việt Nam trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng phức tạp:

- Cơ học đất không bão hòa (unsaturated soils);
- Tương tác nhiệt – thủy – cơ (THM);
- Phân tích rủi ro và độ tin cậy (reliability analysis);
- Mô phỏng lún tích lũy và tải trọng động;

Trụ cột C – Giải pháp dựa vào thiên nhiên & Kinh tế tuần hoàn

Giải pháp dựa vào thiên nhiên (Nature-based Solutions – NbS) và kinh tế tuần hoàn (Circular Economy – CE) đang trở thành xu hướng trung tâm của phát triển bền vững toàn cầu. GREENX Lab tạo ra các hướng nghiên cứu mới:

- Vật liệu bê tông–thực vật tái chế
- Túi địa kỹ thuật (Geobag) sinh thái bảo vệ bờ sông
- Vật liệu nền xanh (Green Subbase) có cấu trúc mao quản điều khiển
- Vật liệu hấp thụ carbon và cải thiện chất lượng đất.

Trụ cột này hướng đến câu hỏi quan trọng: Làm thế nào để công trình địa kỹ thuật không chỉ an toàn, mà còn đóng góp vào tái tạo môi trường và giảm phát thải carbon? Kết hợp cùng doanh nghiệp địa phương



như Tre Quảng Nam, trụ cột này có tiềm năng tạo ra các sản phẩm thương mại hóa thực sự mang thương hiệu GREENX.

Trụ cột D – Trí tuệ nhân tạo, dữ liệu lớn và Digital Twin cho địa kỹ thuật bền vững

Trong thời đại số, dữ liệu trở thành “vật liệu” mới của khoa học. Trụ cột D phát triển các công nghệ:

- AI/ML để dự báo lún, trượt, xói mòn và tối ưu thiết kế
- Digital Twin cho mái dốc, nền móng và công trình ven sông
- Mô hình hóa data-driven + physics-informed.
- Các hệ thống giám sát – cảnh báo sớm (Early Warning Systems) cho sạt lở và công trình trọng yếu.

Trụ cột này giúp GREENX Lab không chỉ bắt kịp xu thế thế giới, mà còn tạo ra năng lực cạnh tranh mới cho địa kỹ thuật Việt Nam trong kỷ nguyên số.

Tổng quan: Bốn trụ cột – Một chiến lược chung

Bốn trụ cột của GREENX Lab không hoạt động tách rời mà giao thoa mạnh mẽ, tạo thành một chiến lược phát triển thống nhất:

- Trụ A bổ sung thiên nhiên cho công trình
- Trụ B đảm bảo công trình ổn định trước khí hậu
- Trụ C giảm phát thải và tái tạo môi trường
- Trụ D nâng cấp công trình bằng công nghệ số.

Chính sự tích hợp này giúp GREENX Lab định vị mình là một đầu tàu nghiên cứu liên ngành trong địa kỹ thuật bền vững, và là hạt nhân quan trọng để phát triển các giải pháp xanh – thông minh – có khả năng chống chịu cho Việt Nam.

Các dự án nghiên cứu tiên phong

Để hiện thực hóa bốn trụ cột chiến lược, GREENX Lab triển khai ba dự án tiên phong, vừa có nền tảng khoa học vững chắc, vừa gắn với các thách thức đặc thù của Việt Nam. Các dự án này thể hiện rõ định hướng liên ngành và cam kết của Lab đối với cộng đồng.

Vetiver và hệ Soil–Vegetation–Infrastructure

Dự án tập trung đánh giá toàn diện khả năng tăng cường ổn định mái dốc của cỏ vetiver thông qua các thí nghiệm về đặc trưng cơ học – thủy văn – sinh học của hệ rễ, xói mòn bề mặt, ảnh hưởng đến độ ẩm đất và cải thiện cấu trúc đất. Kết quả được tích hợp vào mô hình cơ học đất không bão hòa và mô phỏng số, hướng tới xây dựng khung thiết kế định lượng cho giải pháp thảm thực vật tại các khu vực đồi núi và vùng dễ sạt lở.



Hình 5. Một số giải pháp tự nhiên bảo vệ mái dốc sử dụng cỏ Vetiver

Vật liệu bê tông–thực vật tái chế và nền mái dốc xanh

Dự án phát triển vật liệu nền xanh từ cốt liệu tái chế kết hợp phụ gia khoáng và cấu trúc mao quản điều khiển, nhằm giảm xói mòn, tăng khả năng giữ ẩm cho thảm thực vật và hỗ trợ kiểm soát dòng chảy tràn.



Thử nghiệm được thiết kế theo hướng liên ngành: cơ học – thấm – tương tác rễ – độ bền môi trường, kết hợp mô phỏng PLAXIS để đề xuất mô hình mặt đường – mái dốc xanh phù hợp đô thị và vùng đất yếu.

Giải pháp Geobag kết hợp mangrove/bamboo cho bảo vệ bờ sông – bờ biển

Dự án hướng đến xây dựng cơ sở khoa học cho thiết kế – thi công túi địa kỹ thuật (Geobag) kết hợp cây ngập mặn hoặc tre, một giải pháp linh hoạt và thân thiện môi trường cho các khu vực xói lở. Nghiên cứu bao gồm thử nghiệm thủy lực – ổn định – biến dạng, mô phỏng 3D tương tác túi – nền – nước - cây, và đánh giá khả năng chịu thời tiết của vật liệu vỏ túi. Mục tiêu dài hạn là phát triển hướng dẫn thiết kế phù hợp điều kiện Việt Nam, có tính khả thi cao cho các địa phương ven sông và ven biển.



Hình 6. Một số giải pháp tự nhiên bảo vệ bờ sông – bờ biển: Trái: sử dụng bamboo, Phải: Mangrove

Giá trị cộng hưởng

Dù khác nhau về đối tượng, ba dự án đều chia sẻ triết lý chung: kết hợp thiên nhiên – công nghệ – cộng đồng, giảm phát thải và hướng đến các giải pháp khả thi tại hiện trường. Các kết quả ban đầu là nền tảng để mở rộng thành các chương trình nghiên cứu lớn hơn, liên kết với doanh nghiệp, địa phương và trường quốc tế.

Lộ trình phát triển và đóng góp cộng đồng

GREENX Lab xây dựng lộ trình phát triển theo hướng tăng trưởng bền vững, kết hợp giữa mở rộng nghiên cứu, kết nối hợp tác và tạo tác động thực tế. Lộ trình này được chia thành hai giai đoạn chính, phù hợp với nguồn lực hiện tại và định hướng lâu dài.

Lộ trình phát triển 2025–2026

Giai đoạn 2025 – Xây nền tảng

- Hoàn thiện cơ cấu nhóm, bộ nhận diện và trang thông tin GREENX Lab.

Giai đoạn 2026 trở đi – Mở rộng quy mô và lan tỏa

- Khởi động ba dự án tiên phong và phát triển nhóm thí nghiệm liên ngành.
- Xây dựng mạng lưới hợp tác với doanh nghiệp và địa phương; nộp 1–2 hồ sơ tài trợ nghiên cứu cấp địa phương hoặc quốc tế.
- Hoàn thiện các kết quả bước đầu và công bố tại hội thảo, tạp chí trong/ngoài nước.
- Tổ chức chuyên đề “Địa kỹ thuật xanh và thích ứng khí hậu” trong khuôn khổ hoạt động VSSMGE.
- Phát triển các mô hình thử nghiệm hiện trường (vetiver, geobag, nền xanh tái chế) tại địa phương có nguy cơ sạt lở – xói lở.
- Mở rộng mạng lưới hợp tác quốc tế, đồng hướng dẫn nghiên cứu sinh và xây dựng đề tài cấp Bộ/địa phương.



Đóng góp cộng đồng

GREENX Lab đặt mục tiêu mang lại giá trị hữu hình cho cộng đồng địa phương, cơ quan quản lý và ngành địa kỹ thuật Việt Nam:

- Cung cấp tri thức khoa học phục vụ đánh giá rủi ro khí hậu, ổn định công trình và lựa chọn giải pháp thích ứng.
- Chuyển giao công nghệ xanh như vetiver, vật liệu tái chế, geobag, giúp giảm chi phí và tăng tính bền vững cho hạ tầng địa phương.
- Hỗ trợ địa phương xây dựng các mô hình thí điểm, từ đó tạo ra các điển hình nhân rộng trong khu vực.
- Đào tạo thế hệ kỹ sư trẻ có tư duy Net-Zero, kỹ năng mô phỏng hiện đại và khả năng làm việc liên ngành.
- Kết nối trí thức Việt Nam toàn cầu, giúp nâng tầm nghiên cứu và mở rộng cơ hội hợp tác cho cộng đồng địa kỹ thuật trong nước.

Với lộ trình rõ ràng và triết lý “khoa học vì cộng đồng”, GREENX Lab hướng tới trở thành một điểm tựa tri thức cho các địa phương chịu rủi ro khí hậu cao và một động lực đổi mới sáng tạo trong ngành địa kỹ thuật Việt Nam.

Thảo luận chiến lược

Sự hình thành GREENX Lab đánh dấu một bước chuyển quan trọng trong cách tiếp cận của ngành địa kỹ thuật Việt Nam đối với thách thức khí hậu. Thay vì tập trung thuần túy vào ổn định công trình, GREENX Lab hướng tới một hệ tư duy rộng hơn – nơi thiên nhiên, công trình và con người được coi là một hệ thống thống nhất. Đây là cách tiếp cận phù hợp với các xu hướng quốc tế như Nature-based Solutions, Climate Resilience và Net-Zero Infrastructure.

Một điểm nổi bật là GREENX Lab đã chủ động xây dựng mô hình hợp tác 4 chiều: khoa học – chính sách – doanh nghiệp – cộng đồng. Mô hình này không chỉ giúp tăng tốc quá trình chuyển giao tri thức, mà còn đảm bảo rằng các giải pháp đưa ra phù hợp thực tiễn, có thể triển khai ngay tại địa phương. Điều này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh Việt Nam đang phải giải quyết nhiều vấn đề cấp bách như sạt lở miền núi, xói lở bờ sông, sụt lún ven biển hay thiếu vật liệu bền vững cho hạ tầng.

Về mặt khoa học, GREENX Lab tạo ra một không gian để kết hợp công nghệ số – vật liệu mới – giải pháp tự nhiên – mô phỏng tiên tiến, giúp nâng cao năng lực nghiên cứu trong nước và thúc đẩy thế hệ kỹ sư trẻ tiếp cận với các phương pháp hiện đại. Về mặt chiến lược, GREENX Lab có thể trở thành đầu mối dẫn dắt cho các chương trình quốc gia về hạ tầng xanh và thích ứng khí hậu, đồng thời đóng vai trò quan trọng trong việc kết nối Việt Nam với mạng lưới nghiên cứu quốc tế.

Nhìn tổng thể, GREENX Lab không chỉ là một nhóm nghiên cứu mà là một hướng đi mới cho ngành địa kỹ thuật Việt Nam, nơi khoa học được phát triển cùng trách nhiệm xã hội để tạo ra các giải pháp có tác động bền vững.

Kết luận & khuyến nghị

Bài báo đã trình bày cấu trúc, tầm nhìn – sứ mệnh, các trụ cột chiến lược và những dự án nghiên cứu tiên phong của GREENX Lab. Với định hướng rõ ràng và mô hình hợp tác mở, GREENX Lab có tiềm năng trở thành một nền tảng khoa học quan trọng hỗ trợ Việt Nam trong quá trình chuyển đổi sang hạ tầng bền vững và thích ứng khí hậu.

Từ các phân tích trên, bài báo xin đề xuất một số khuyến nghị:

- GREENX Lab cần được xem như một đầu mối chiến lược trong nghiên cứu liên ngành về địa kỹ thuật xanh, nơi hội tụ các chuyên gia trong và ngoài nước.
- VSSMGE và các hội chuyên môn nên tiếp tục hỗ trợ hoạt động học thuật của nhóm thông qua hội thảo chuyên đề, chia sẻ dữ liệu và giới thiệu đối tác.
- Các địa phương chịu rủi ro khí hậu cao nên được ưu tiên trong các dự án thí điểm, giúp chuyển giao tri thức từ phòng thí nghiệm ra ngoài hiện trường.



- Doanh nghiệp và cơ quan quản lý cần tham gia vào các dự án đồng thiết kế, nhằm đảm bảo các nghiên cứu phát triển thành sản phẩm và giải pháp thực tế.
- Thúc đẩy các chương trình tài trợ để mở rộng năng lực nghiên cứu của GREENX Lab, bao gồm thí nghiệm hiện trường, mô phỏng số, vật liệu mới và hệ thống giám sát – cảnh báo.

Với sự phối hợp của các đối tác trong nước và quốc tế, GREENX Lab kỳ vọng sẽ đóng góp tích cực cho ngành địa kỹ thuật Việt Nam, tạo nền tảng khoa học vững chắc để xây dựng một tương lai an toàn – xanh – bền vững – thích ứng khí hậu.

Lời cảm ơn

Nhóm nghiên cứu trân trọng cảm ơn Công ty CP Tre Quảng Nam đã đồng hành và những hỗ trợ rất lớn cho nhóm, đặc biệt là văn phòng nhóm và cơ sở vật chất liên quan. Trụ sở nhóm: 08 Hồ Xuân Hương, P. Tam Kỳ, TP. Đà Nẵng

*Thông tin cộng sự và thành viên sáng lập nhóm

STT	Họ tên & Chức danh	Đơn vị công tác	Vai trò
1	TS. Phạm Anh Tuấn	KTH, Thụy Điển	Co-Founder
2	TS. Phan Trần Thanh Trúc	MUCE, Việt Nam	Co-Founder
3	TS. Nguyễn Thị Thu Hà	HUCE, Việt Nam	Thành viên chính
4	PGS.TS. Phạm Thắng	UTRGV, Hoa Kỳ	Thành viên chính
5	TS. Nguyễn Thị Xuân Quỳnh	HCMUNRE, Việt Nam	Thành viên chính
6	TS. Lương Thị Bích	MUCE, Việt Nam	Thành viên chính
7	TS. Nguyễn Thị Mỹ Xuyên	NDHU, Đà Loan	Thành viên chính
8	Ông Nguyễn Thanh Bình, Chủ tịch HĐQT	Công ty CP Tre Quảng Nam	Doanh nghiệp hợp tác



TIN VĂN ĐỊA KỸ THUẬT QUỐC TẾ

Sử dụng hàm thay thế cho bài toán phân tích ngược hố đào sâu

Using surrogate model for back analysis in geotechnical engineering problems

Hồ Mạnh Hùng

Bentley Systems, Singapore. E-mail: hung.homanh@bentley.com

Phùng Đức Long

Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam. E-mail: long.phung@gmail.com

Giới thiệu

Trong các dự án đào hố sâu, phân tích ngược (back analysis) là phương pháp quan trọng giúp xác định tham số đất dựa trên dữ liệu đo đạc thực tế, từ đó dự báo biến dạng công trình. Tuy nhiên, việc kết hợp trực tiếp với mô hình phần tử hữu hạn (FEM) đòi hỏi nhiều lần tính toán lặp lại, dẫn đến thời gian tính toán lớn, khó đáp ứng yêu cầu dự báo thời gian thực trong thi công.

Mô hình thay thế (surrogate model), điển hình như mạng nơ-ron lan truyền ngược (back propagation neural network, BPNN), đóng vai trò thay thế cho mô hình FEM phức tạp bằng cách học mối quan hệ giữa tham số đầu vào và kết quả đầu ra từ các mẫu tính toán ban đầu.

Lợi ích nổi bật của việc sử dụng surrogate model là giảm đáng kể chi phí tính toán (có thể lên đến hơn 95%), cho phép thực hiện tối ưu hóa đa mục tiêu nhanh chóng và hỗ trợ dự báo trực tuyến (online prediction) trong suốt quá trình thi công. Nhờ đó, kỹ sư có thể cập nhật tham số đất kịp thời, nâng cao độ chính xác dự báo biến dạng cọc chống (thường đạt trên 90%) và tăng cường an toàn cho công trình (Zhao et al., 2024).

Phương pháp này đặc biệt hiệu quả khi kết hợp với thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu như MOPSO, giúp tận dụng chuỗi dữ liệu theo dõi theo thời gian. Sau đây sẽ giới thiệu về phương pháp này do các tác giả đề xuất của Zhao et al., 2024.

Phương pháp luận

Phương pháp đề xuất sử dụng dữ liệu đo đạc theo chuỗi thời gian (time-series monitoring data) để xây dựng hàm mục tiêu đa mục tiêu, kết hợp mô hình thay thế (Surrogate Model - BPNN) và thuật toán tối ưu hóa MOPSO nhằm dự báo biến dạng cọc chống trong quá trình đào hố sâu thời gian thực. Có bốn mức độ như sau:

Level 1: Xây dựng mô hình thay thế (Surrogate Modeling)

1. Lấy mẫu tham số (Parameters Sampling) Sử dụng phương pháp Latin Hypercube Sampling (LHS) để tạo ra bộ tham số ngẫu nhiên.
2. Chạy mô hình FEM Thực hiện phân tích phần tử hữu hạn với các bộ tham số mẫu để thu được kết quả (biến dạng ngang tương).
3. Huấn luyện mô hình BPNN Sử dụng mạng nơ-ron lan truyền ngược (Back Propagation Neural Network) với tham số đầu vào và kết quả FEM làm đầu ra. Khi độ chính xác > 90%, BPNN thay thế hoàn toàn cho FEM.

Level 2: Đánh giá sai số (Error Evaluation)

- Sử dụng hệ số xác định R^2 để đo độ phù hợp giữa kết quả mô hình và dữ liệu đo thực tế.
- Sai số tại mỗi giai đoạn đào: $Z_j = 1 - R^2_j$
- Xây dựng hàm mục tiêu đa mục tiêu: $\text{Min } [Z_1, Z_2, \dots, Z_n]$ (với n là giai đoạn đào hiện tại).



Level 3: Phân tích ngược (Back Analysis)

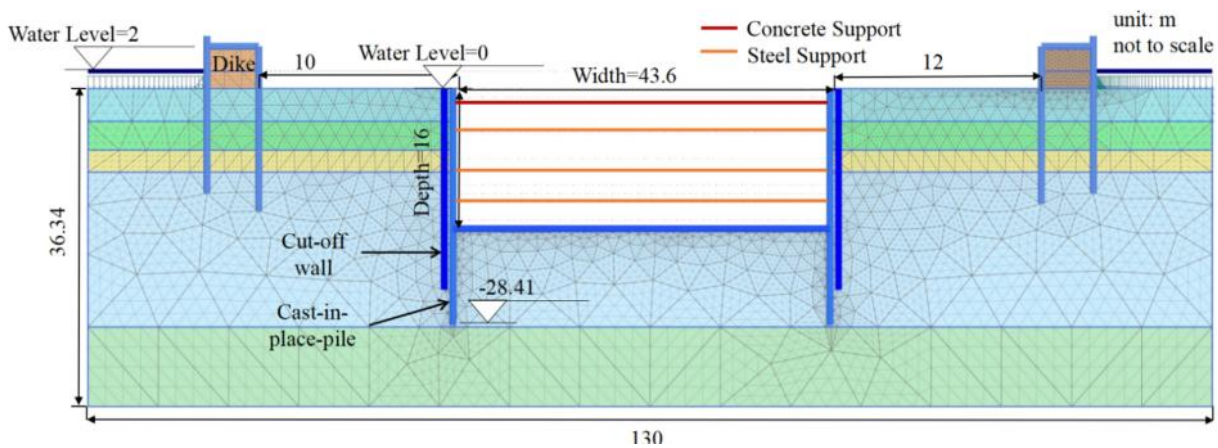
1. Tạo bộ tham số bằng phương pháp LHS.
2. Đưa tham số vào mô hình BPNN đã huấn luyện để tính biến dạng. Tính giá trị hàm mục tiêu đa mục tiêu (các Z_j).
3. Sử dụng thuật toán **MOPSO** (Multi-Objective Particle Swarm Optimization) để tìm bộ tham số tối ưu.
4. Lặp lại cho đến khi đạt tiêu chí dừng hoặc số lần lặp tối đa.

Level 4: Dự báo (Prediction)

1. Sử dụng dữ liệu đo từ các giai đoạn trước để tối ưu tham số.
2. Chọn bộ tham số có tổng sai số tích lũy nhỏ nhất.
3. Sử dụng bộ tham số tối ưu + mô hình BPNN để dự báo biến dạng ở các giai đoạn đào tiếp theo.
4. Cập nhật liên tục khi có dữ liệu đo mới.

Case study: Hồ đào sâu Taihu

Quy mô công trình: chiều sâu hố đào 16 m, chiều rộng 43.6 m. Sử dụng cọc khoan nhồi D1000, dài 27 m để làm tường chắn và bao gồm 4 hệ thống chống. Địa chất gồm 5 lớp đất, chủ yếu là sét. Đo đạc chuyển vị ngang của tường được sử dụng cho bài toán phân tích ngược sau này.



Hình 1. Mô hình FEM cho hố đào sâu (Zhao et al., 2024)

Xây dựng Surrogate model

Bước 1: Lấy mẫu tham số (Parameters Sampling)

- Sử dụng Latin Hypercube Sampling (**LHS**).
- Tạo 200 bộ tham số ngẫu nhiên.
- Các tham số bao gồm: Tham số đất (E_{50}^{ref} , c , ϕ') cho 5 lớp đất. Phạm vi tham số được thể hiện ở bảng 1 dưới đây:

Bảng 1. Phạm vi tham số

Adopted range	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4	Layer 5
E_{50}^{ref} (kN/m ²)	3000	1000	3000	3000	3000
	-20,000	-10,000	-25,000	-40,000	-30,000
c'_{ref} (kN/m ²)	10-50	3-30	10-80	10-100	20-100
ϕ' (°)	3-30	0.5-15	1-30	3-35	3-35
$E_{concrete}$ (kN/m ²)	$3 \times 10^7 - 5 \times 10^7$				
E_{steel} (kN/m ²)	$2 \times 10^8 - 3 \times 10^8$				



Bước 2: Chạy mô hình FEM

- Xây dựng mô hình PLAXIS 2D (Hình 1).
- Sử dụng mô hình Hardening Soil Small (HSS) cho đất.
- Thực hiện phân tích theo 11 giai đoạn đào.
- Kết quả (output): Chuyển vị ngang của tường tại 37 điểm đo cho từng giai đoạn.

Bước 3: Huấn luyện mô hình BPNN (Surrogate Model)

- Sử dụng phương pháp Neural network:
 - ✓ Input layer: 18 neurons (các tham số).
 - ✓ 2 Hidden layers: 72 neurons mỗi layer (Activation: ReLU).
 - ✓ Output layer: 37 neurons (chuyển vị ngang tại 37 điểm).
- Tỷ lệ: 70% train / 30% test.
- Sau khi huấn luyện xong, BPNN hoàn toàn thay thế FEM (tốc độ nhanh hơn nhiều lần).

Thực hiện Back Analysis & Dự báo

Bước 1: Đánh giá sai số

- Tính R^2 giữa kết quả BPNN và dữ liệu đo thực tế tại từng giai đoạn.
- Tính sai số: $Z_j = 1 - R^2_j$ (j = giai đoạn đào).
- Xây dựng hàm mục tiêu đa mục tiêu: Minimize [$Z_8, Z_{10}, Z_{12}, Z_{13}, Z_{16}$] (tùy số giai đoạn sử dụng).

Bước 2: Tối ưu hóa tham số bằng MOPSO

- Tạo bộ dữ liệu tính toán ban đầu bằng LHS.
- Sử dụng Multi-Objective Particle Swarm Optimization (**MOPSO**) để tìm bộ tham số tối ưu.
- Lặp lại đến khi đạt số thế hệ tối đa hoặc tiêu chí dừng.

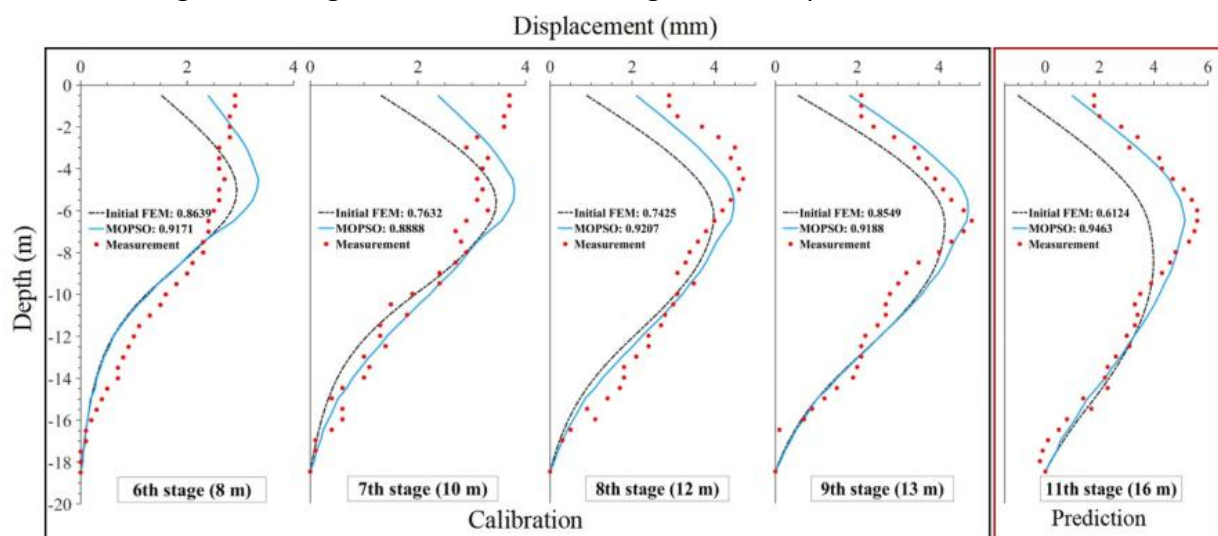
Bước 3: Chọn bộ tham số tốt nhất

- Chọn bộ tham số có tổng sai số tích lũy ($\sum Z_j$) nhỏ nhất.

Bước 4: Dự báo (Prediction)

- Sử dụng bộ tham số tối ưu + BPNN để dự báo chuyển vị ở giai đoạn đào tiếp theo.
- Cập nhật liên tục khi có dữ liệu đo mới từ công trường.

Kết quả tính toán ngược của 4 giai đoạn đào và dự báo giai đoạn tiếp theo thể hiện ở Hình 2.



Hình 2. Kết quả từ tính toán ngược dựa vào 4 giai đoạn đào và dự báo giai đoạn đào tiếp theo



Kết luận

Phương pháp phân tích ngược cải tiến kết hợp tối ưu hóa đa mục tiêu (MOPSO) và mô hình thay thế BPNN đã được đề xuất và áp dụng thành công cho dự án đào hố sâu Taihu, cho phép dự báo thời gian thực chuyển vị ngang của cọc chống với độ chính xác trên 90%.

Việc sử dụng surrogate model giúp giảm đáng kể chi phí tính toán (hơn 95%) so với phương pháp truyền thống, đồng thời tận dụng hiệu quả chuỗi dữ liệu giám sát theo thời gian để nâng cao độ tin cậy của dự báo.

Tài liệu tham khảo

Zhao, Chenyang, et al. "A Modified Back Analysis Method for Deep Excavation with Multi-Objective Optimization Procedure." *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, vol. 16, no. 4, Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2024, pp. 1373–87, doi:10.1016/j.jrmge.2023.05.007.



Ứng dụng xi măng vi sinh trong xử lý nền công trình giao thông

Application of microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP) for soil improvement under transportation infrastructure

Nguyễn Hữu Lâm

Đại học công nghệ Sydney (UTS). E-mail: Huulam.nguyen@student.uts.edu.au

Nguyễn Trung Thành

Đại học công nghệ Sydney (UTS). E-mail: Thanh.Nguyen-4@uts.edu.au

Tóm Tắt

Việt Nam đang đẩy mạnh phát triển hệ thống hạ tầng giao thông quốc gia trong bối cảnh biến đổi khí hậu và xuống cấp của môi trường ngày một nghiêm trọng, nhu cầu xử lý và gia cố nền đường theo hướng bền vững - thân thiện với môi trường ngày càng trở nên cấp thiết. Bài báo tổng hợp và phân tích tiềm năng ứng dụng công nghệ xi măng vi sinh trong gia cố nền đường giao thông. Công nghệ này dựa trên quá trình kết tủa calcium carbonate do vi sinh vật gây ra, giúp liên kết các hạt đất, lấp đầy lỗ rỗng, tăng cường độ chịu lực và cải thiện độ ổn định nền đất. So với các phương pháp truyền thống, xi măng vi sinh được xem là giải pháp thân thiện môi trường, phù hợp với định hướng phát triển hạ tầng giao thông hiện đại, bền vững và giảm phát thải tại Việt Nam.

Abstract

In recent years, Vietnam has accelerated the development of its national transport infrastructure system. Meanwhile, facing critical challenges from climate change and environmental degradation, the demand for sustainable and eco-friendly ground improvement has become increasingly urgent. This paper reviews and analyzes the potential application of biocementation technology in infrastructure improvement. This technology is based on microbially induced calcium carbonate precipitation, which helps bind soil particles, fill pore spaces, thus increase strength and improve soil stability. Compared with conventional ground improvement methods, bio-cementation is considered as an environmentally friendly solution that aligns with Vietnam's orientation toward modern, sustainable, and low-emission transport infrastructure development.

Keywords: xi măng vi sinh, MICP, gia cố nền đường, hạ tầng giao thông, phát triển bền vững

Mở đầu

Trong những năm gần đây, Việt Nam đang ghi dấu nhiều bước tiến quan trọng trong phát triển hệ thống kết cấu hạ tầng giao thông quốc gia. Đến hết năm 2025, cả nước dự kiến hoàn thành khoảng 3.803 km đường cao tốc, tiến tới mục tiêu 5.000 km trong giai đoạn tiếp theo ([Hà, 2026](#)). Cùng với đó, nhiều dự án hạ tầng quy mô lớn đang và sẽ được triển khai như Cảng hàng không quốc tế Long Thành, sân bay Gia Bình, tuyến đường sắt Hà Nội – Lào Cai, các tuyến đường sắt đô thị, đường sắt tốc độ cao Bắc – Nam, cảng biển Lạch Huyện, Liên Chiểu, Cái Mép – Thị Vải... Sự phát triển mạnh mẽ này khẳng định vai trò của công trình giao thông như hệ thống huyết mạch và xương sống của nền kinh tế quốc dân. Tuy nhiên, quá trình mở rộng mạng lưới giao thông cũng đặt ra nhiều yêu cầu cấp thiết đối với khoa học kỹ thuật xây dựng, đặc biệt trong lĩnh vực xử lý và gia cố nền đường.

Các công trình giao thông như đường bộ, đường sắt, đường cao tốc hay đường băng sân bay đều có đặc điểm chung là thường xuyên chịu tác dụng của tải trọng lặp do phương tiện vận tải gây ra. Tải trọng này được truyền từ kết cấu mặt đường, qua lớp móng, nền đường và cuối cùng phân bố xuống nền đất



tự nhiên. Do đó, nền đường giữ vai trò đặc biệt quan trọng trong việc tạo hình tuyến, bảo đảm độ dốc dọc, dốc ngang, chịu và phân bố tải trọng, duy trì ổn định tổng thể của công trình, hạn chế các hiện tượng trượt, lún, sụt lở, phụt bùn, đồng thời góp phần bảo đảm khả năng thoát nước và tuổi thọ khai thác của kết cấu giao thông. Một nền đường không được xử lý phù hợp có thể dẫn đến hư hỏng sớm, làm gia tăng chi phí bảo trì, sửa chữa và ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn vận hành.

Để cải thiện cường độ và độ ổn định của nền đường, nhiều giải pháp kỹ thuật truyền thống đã được áp dụng rộng rãi, bao gồm đầm nén cơ học, gia cố bằng chất kết dính như vôi, xi măng, tro bay, gia cố bằng cọc đất xi măng, cọc cát, cọc đá, sử dụng vải địa kỹ thuật, lưới địa kỹ thuật, bắc thấm, giếng cát và các giải pháp thoát nước nền đất yếu. Các phương pháp này đã mang lại hiệu quả nhất định trong nhiều điều kiện công trình khác nhau. Tuy nhiên, chúng cũng tồn tại một số hạn chế đáng kể như quy trình thi công phức tạp, yêu cầu khối lượng vật liệu lớn, tiêu hao nhiều năng lượng và phát sinh lượng phát thải đáng kể. Đặc biệt, việc sử dụng xi măng Portland truyền thống trong gia cố đất có liên quan đến phát thải khí nhà kính, trong khi khai thác quá mức cát, đá và các vật liệu tự nhiên có thể gây suy thoái môi trường, mất cân bằng địa mạo, gia tăng xói lở và làm trầm trọng thêm các rủi ro thiên tai.

Trong bối cảnh Việt Nam đang thúc đẩy phát triển hạ tầng giao thông theo hướng hiện đại, bền vững và giảm phát thải, việc nghiên cứu các vật liệu và công nghệ gia cố nền đất thân thiện với môi trường trở nên hết sức cần thiết. Xi măng vi sinh, hay công nghệ gia cố sinh học dựa trên quá trình khoáng hóa do vi sinh vật, được xem là một hướng tiếp cận mới có nhiều tiềm năng thay thế hoặc bổ trợ cho các phương pháp xử lý nền truyền thống. Cơ chế chủ yếu của xi măng vi sinh là sử dụng vi khuẩn có khả năng tiết enzyme urease để phân hủy urê, tạo ra ion carbonate, sau đó kết hợp với ion calcium trong môi trường để hình thành kết tủa calcium carbonate. Các tinh thể CaCO_3 sinh ra có khả năng lấp đầy lỗ rỗng, liên kết các hạt đất rời rạc, làm tăng cường độ, giảm tính thấm và cải thiện độ ổn định của nền đất.

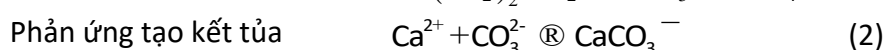
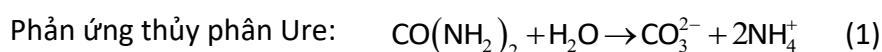
Công nghệ xi măng vi sinh bắt đầu được quan tâm từ những năm 1970 và đến nay đã có nhiều cơ chế khoáng hóa sinh học được phát hiện. Trong đó, quá trình kết tủa calcium carbonate do vi sinh vật cảm ứng, thường được gọi là MICP, được đánh giá là một trong những phương pháp có hiệu quả cao và thân thiện với môi trường trong cải thiện tính chất cơ lý của đất. Các nghiên cứu hiện nay tập trung vào việc nâng cao hiệu quả của MICP thông qua việc khảo sát ảnh hưởng của loại vi khuẩn, mật độ tế bào, nồng độ dung dịch calcium, urê, pH, nhiệt độ, phương pháp đưa dung dịch vào mẫu, cũng như đặc điểm của các loại đất khác nhau như đất cát, đất sét, sỏi, đá phong hóa và các trạng thái độ ẩm từ khô, ẩm đến bão hòa. ([Fu et al., 2023](#))

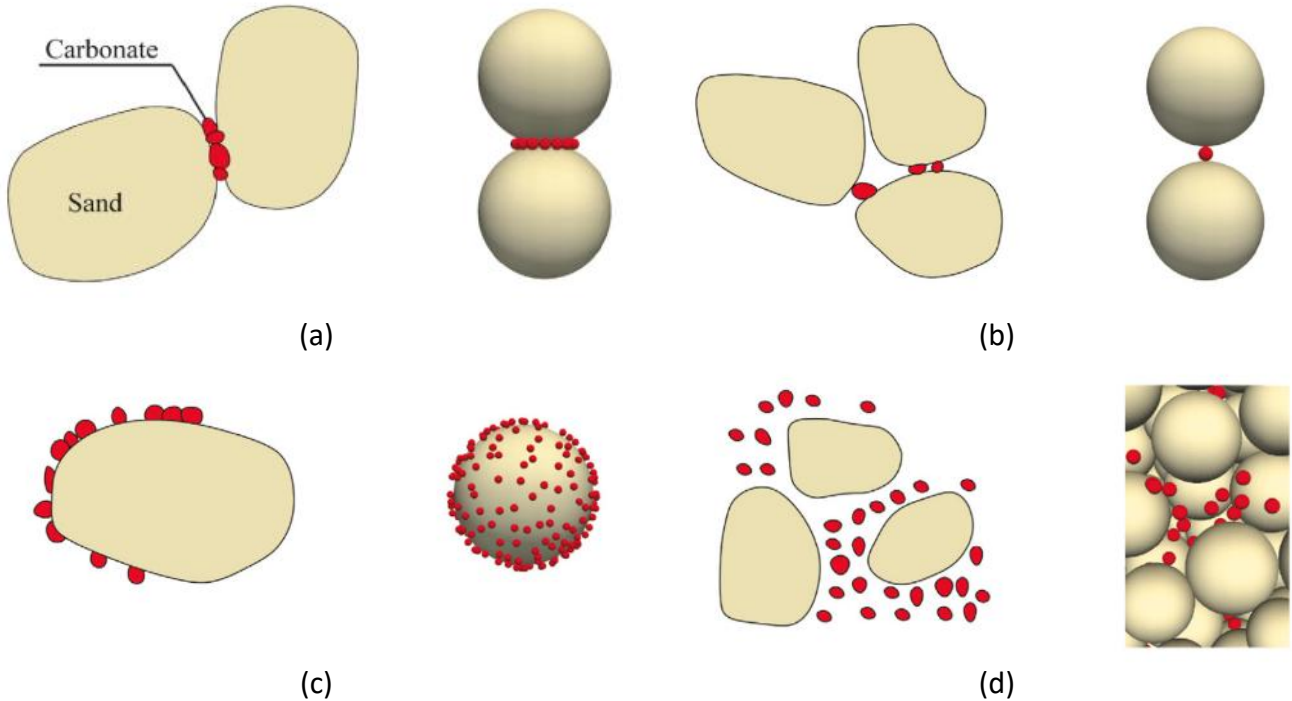
Trên cơ sở đó, bài báo này tập trung giới thiệu các ứng dụng của công nghệ xi măng vi sinh trong xử lý nền đường, tổng hợp những thành tựu nghiên cứu gần đây trên thế giới và phân tích tiềm năng áp dụng công nghệ này trong điều kiện thực tiễn tại Việt Nam. Kết quả nghiên cứu kỳ vọng góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc phát triển các giải pháp gia cố nền đất bền vững, thân thiện môi trường và phù hợp với yêu cầu xây dựng hạ tầng giao thông hiện đại của đất nước.

Cơ sở lý thuyết

Cơ chế xi măng hóa của xi măng vi sinh

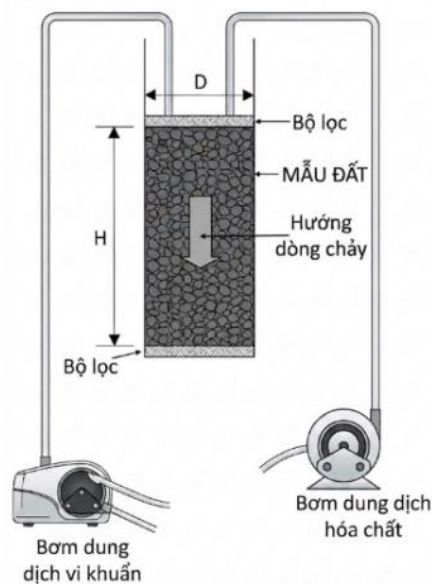
Về bản chất, MICP sử dụng hoạt động sinh hóa của vi khuẩn để tạo ra các tinh thể khoáng (CaCO_3) có khả năng liên kết các hạt đất, từ đó cải thiện cấu trúc và tính chất cơ lý của đất. Trong các nghiên cứu hiện nay, chủng vi khuẩn được sử dụng phổ biến là *Sporosarcina pasteurii*, một loại vi khuẩn có khả năng tiết enzyme urease với hoạt tính cao. Khi kết hợp với dung dịch hóa học gồm urea và calcium chloride (CaCl_2), vi khuẩn này xúc tác các phản ứng sinh hóa và hóa học tạo thành kết tủa calcium carbonate (CaCO_3) trong môi trường đất ([Dejong et al., 2013](#)). Các phản ứng xảy ra:





Hình 1: Các vị trí kết tủa hình thành trong mẫu đất: (a) xung quanh điểm tiếp xúc giữa 2 hạt đất; (b) kết nối 2 hạt đất; (c) trên bề mặt hạt đất; (d) trong lỗ rỗng (Zhang & Dieudonné, 2023)

Các tinh thể CaCO_3 được hình thành trong mẫu đất tại nhiều vị trí khác nhau, bao gồm: trên bề mặt hạt đất, tại vùng tiếp xúc giữa hai hạt đất và bên trong các lỗ rỗng của đất. Khi kết tủa trên bề mặt hạt, CaCO_3 làm tăng độ nhám, sự ma sát giữa các hạt đất. Khi hình thành tại vị trí tiếp xúc giữa các hạt, các tinh thể này đóng vai trò như cầu liên kết, tạo sự gắn kết giữa các hạt rời rạc và làm tăng khả năng chịu lực của khung hạt. Trong khi đó, khi kết tủa phát triển trong hệ thống lỗ rỗng, các tinh thể CaCO_3 giúp làm giảm độ rỗng và hạn chế khả năng dòng nước thấm qua mẫu đất.



Hình 2: Quy trình xử lý xi măng hóa

Có hai phương pháp xử lý MICP phổ biến gồm phương pháp một giai đoạn (one-phase) và phương pháp hai giai đoạn (two-phase). Đối với phương pháp 2 tiến trình, các dung dịch vi khuẩn được đổ vào



mẫu trước, từ mặt trên thẩm thấu qua mẫu rồi thoát xuống đáy, hoặc bơm áp lực từ đáy, qua thân mẫu rồi thoát lên bề mặt mẫu. Mục tiêu để toàn bộ mẫu được tiếp xúc với vi khuẩn. Sau đó làm tương tự với dung dịch hóa học, chu kỳ bơm vi khuẩn-dung dịch hóa học được lặp lại nhiều lần (khoảng 12-16 chu kỳ), lượng kết tủa tăng dần trong mẫu. Phương pháp này có ưu điểm nhằm tạo kết tủa phân bố đều hơn, tránh kết tủa hình thành sớm ở vị trí bơm, trên mặt hoặc đáy, gây tắc nghẽn, tuy nhiên khi lượng kết tủa tăng dần việc bơm dung dịch càng khó khăn, cần áp suất bơm lớn hơn. Phương pháp 1 tiến trình trộn dung dịch vi khuẩn và dung dịch hóa học thành một dung dịch duy nhất với độ pH thấp và đổ vào mẫu đất. Đặc trưng của phương pháp này là ở pH thấp sẽ làm trễ quá trình thủy phân ure của vi khuẩn, giúp giảm tắc nghẽn (Yu & Yang, 2023).

Ngoài ra để giảm phụ thuộc vào vi khuẩn, người ta đề xuất sử dụng enzyme trực tiếp, enzyme này có thể tổng hợp từ thực vật (EICP) hoặc từ vi khuẩn (BEICP). Ưu điểm của sử dụng enzyme trực tiếp là có thể áp dụng với đất có kích thước hạt nhỏ như sét, bụi khi kích thước của vi khuẩn có thể làm tắc nghẽn quá trình bơm vào mẫu (Hoang et al., 2019).

Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình xi măng hóa

Nồng độ vi khuẩn quyết định lượng enzyme urease tham gia vào quá trình thủy phân urê và hình thành CaCO_3 . Khi nồng độ vi khuẩn tăng, tốc độ phản ứng và lượng kết tủa có thể tăng; tuy nhiên, nồng độ quá cao dễ gây tích tụ, kết cụm vi khuẩn và làm tắc nghẽn lỗ rỗng đất, dẫn đến phân bố CaCO_3 không đồng đều.

Nồng độ dung dịch hóa chất, đặc biệt là urê và nguồn calcium, cũng ảnh hưởng trực tiếp đến lượng kết tủa. Nồng độ thấp tạo ra ít CaCO_3 và cần nhiều chu kỳ xử lý, trong khi nồng độ quá cao có thể ức chế hoạt động của vi khuẩn, gây kết tủa cục bộ trong lỗ rỗng và làm giảm hiệu quả liên kết giữa các hạt đất. Vì vậy, cần xác định nồng độ tối ưu thay vì lựa chọn nồng độ càng cao càng tốt.

Đặc điểm kích cỡ và phân bố hạt đất chi phối khả năng di chuyển của vi khuẩn và dung dịch trong môi trường rỗng. Đất hạt mịn có lỗ rỗng nhỏ dễ gây lọc giữ vi khuẩn, trong khi vật liệu quá thô có ít điểm tiếp xúc giữa các hạt nên cần nhiều CaCO_3 hơn để tạo liên kết. Đất có cấp phối phù hợp thường cho hiệu quả MICP tốt hơn do vừa bảo đảm khả năng thấm, vừa có đủ điểm tiếp xúc để hình thành liên kết xi măng.

Kích thước mẫu thí nghiệm ảnh hưởng đến mức độ đồng đều của kết tủa theo không gian. Các mẫu nhỏ trong phòng thí nghiệm thường dễ đạt phân bố CaCO_3 tương đối đồng đều, trong khi mẫu lớn hoặc thí nghiệm hiện trường dễ xuất hiện hiện tượng phân bố không đều, đặc biệt theo chiều sâu.

Phương pháp bơm dung dịch quyết định sự phân bố của vi khuẩn và hóa chất trong đất. Tốc độ bơm, áp lực bơm, hướng dòng chảy, số chu kỳ xử lý và trình tự bơm cần được lựa chọn phù hợp nhằm hạn chế tắc nghẽn, tránh kết tủa cục bộ và nâng cao tính đồng nhất của quá trình xi măng hóa sinh học.

Ngoài ra, các yếu tố môi trường có ảnh hưởng lớn đến quá trình MICP, từ hoạt tính vi khuẩn đến hàm lượng và tính chất của tinh thể CaCO_3 . Trong đó, nhiệt độ, pH và hàm lượng oxy là các yếu tố chính: nhiệt độ phù hợp có thể tăng hoạt tính urease và kết tủa CaCO_3 , pH kiềm thúc đẩy hình thành ion carbonate, điều kiện oxy ảnh hưởng đến khả năng sống và hoạt động của vi khuẩn.

Các ứng dụng của xi măng vi sinh cho nền công trình giao thông

Gia cố nền đường

Gia cố nền đường là một trong những hướng ứng dụng trực tiếp nhất của công nghệ xi măng vi sinh trong lĩnh vực giao thông. Các tinh thể CaCO_3 sinh ra trong lỗ rỗng đất có thể bám lên bề mặt hạt, lấp một phần lỗ rỗng và quan trọng hơn là tạo liên kết tại các điểm tiếp xúc hạt-hạt. Nhờ đó, đất nền được cải thiện về cường độ, độ cứng, khả năng chịu tải và khả năng chống biến dạng dưới tải trọng xe.

Đối với nền đường, ưu điểm quan trọng của MICP là khả năng xử lý đất tại chỗ, hạn chế đào bỏ và thay thế đất yếu. Điều này có ý nghĩa lớn vì trong nhiều dự án đường bộ, việc thay đất hoặc gia cố bằng xi măng/vôi thường làm tăng chi phí, tiêu hao năng lượng và phát thải CO_2 . Về mặt cơ học, sự gia tăng cường độ sau xử lý MICP không chỉ đến từ việc lấp rỗng mà còn từ sự hình thành liên kết xi măng sinh học giữa



các hạt đất. Các kết quả vi cấu trúc cho thấy CaCO_3 thường tập trung tại điểm tiếp xúc hạt, làm tăng lực dính biểu kiến và khả năng chống cắt. Đối với nền đường, điều này đặc biệt quan trọng vì đất nền phải chịu tải trọng lặp lại từ phương tiện giao thông. Nếu liên kết giữa các hạt đất được tăng cường, nền đường có thể giảm biến dạng tích lũy, hạn chế lún vệt bánh xe và kéo dài tuổi thọ kết cấu áo đường.

Một kết quả tiêu biểu về gia cố nền đường là nghiên cứu của Hu et al. (2022) trên đất nền đường dạng clayed sand. Nghiên cứu này đề xuất phương pháp pretreatment–mixing MICP, tức là kết hợp tiền xử lý với MICP trộn nhằm tăng hiệu quả khoáng hóa trong đất. Kết quả cho thấy mẫu đất sau xử lý đạt cường độ nén không nở hông trung bình khoảng 15,92 MPa, cao hơn 198% so với đất nguyên dạng và cao hơn 78% so với phương pháp MICP trộn thông thường. Đây là kết quả đáng chú ý vì nền đường thường không chỉ gồm cát sạch mà có thể chứa thành phần hạt mịn, bột hoặc sét. Việc MICP vẫn có thể cải thiện đáng kể cường độ của đất pha sét cho thấy tiềm năng mở rộng ứng dụng của công nghệ này trong các lớp nền, móng dưới và nền đường hiện hữu (Hu et al., 2022).

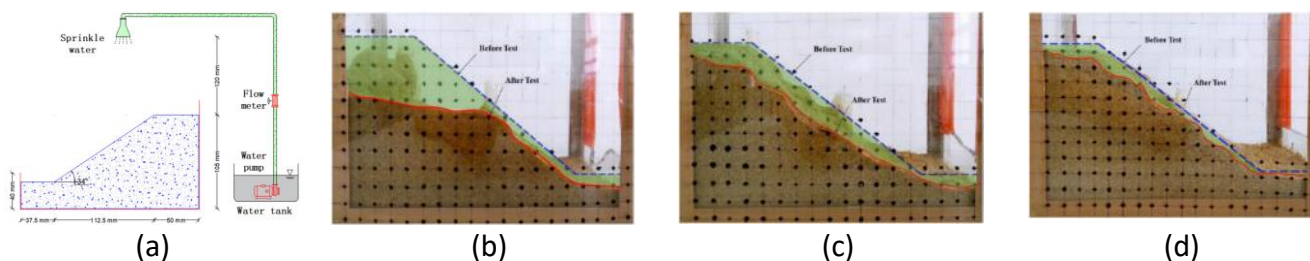
Tuy vậy, phân bố CaCO_3 không đồng đều vẫn là hạn chế lớn, nhất là khi dung dịch MICP di chuyển theo trọng lực hoặc theo các đường thấm ưu tiên. Do đó, khi áp dụng cho nền đường thực tế, cần nghiên cứu kỹ phương pháp thi công như trộn tại chỗ, phun bề mặt, bơm áp lực thấp hoặc bơm nhiều giai đoạn.

Kiểm soát xói mòn mái taluy

Mái taluy đường bộ thường chịu tác động của nước mưa, dòng chảy mặt, dao động mực nước và quá trình phong hóa. Với đất cát hoặc đất hạt rời, nước có thể làm tách rời liên kết hạt đất, tăng áp lực nước lỗ rỗng, tạo rãnh xói, làm giảm ổn định mái và cuối cùng gây sạt trượt cục bộ hoặc phá hoại mái dốc. MICP có thể được sử dụng như một giải pháp gia cố bề mặt nhờ tạo ra một lớp bề mặt mái dốc giàu CaCO_3 . Lớp này có liên kết cao, khả năng chống thấm tốt, làm giảm khả năng tách hạt do giọt mưa, dòng chảy mặt.

Trong bối cảnh đó, MICP được xem là giải pháp tiềm năng cho ổn định mái dốc. Wang et al. (2021) tiến hành thí nghiệm với nền đắp công trình giao thông cho thấy hiệu quả rõ rệt của MICP đối với kiểm soát xói mòn. Các mẫu nền đắp được xử lý với 0, 1, 2 và 3 chu kỳ MICP. Mỗi chu kỳ gồm bơm 2000 mL dung dịch vi khuẩn và 2000 mL dung dịch xi măng hóa nồng độ 1,0 mol/L, sau đó để phản ứng 18 giờ; mẫu được dưỡng hộ khoảng 30 ngày ở nhiệt độ phòng trước khi thí nghiệm xói. Trong thí nghiệm mưa/xói, cường độ nước nhỏ giọt được đặt ở mức 70 mm/h trong 2 giờ, và lượng cát bị tách ra khỏi mái được thu gom để tính tổng khối lượng xói (Wang et al., 2021).

Kết quả thí nghiệm cho thấy xử lý MICP đã cải thiện rõ rệt khả năng chống xói của nền đắp cát so với mẫu không xử lý. Ở mẫu đối chứng nền đắp tự nhiên, hiện tượng xói xảy ra mạnh, cát bị cuốn trôi nhiều và xuất hiện dạng phá hoại sâu trong nền đắp. Ngược lại, các mẫu được xử lý MICP chỉ bị xói chủ yếu ở lớp nông gần bề mặt, không xuất hiện phá hoại tổng thể như mẫu không xử lý. Điều này chứng tỏ MICP không chỉ làm giảm lượng vật liệu bị cuốn trôi mà còn làm thay đổi cơ chế phá hoại của mái từ phá hoại sâu sang xói bề mặt.



Hình 4: Thí nghiệm nền đắp đường ven biển chịu xói lở: (a) Sơ đồ bố trí thí nghiệm; (b) Nền đắp tự nhiên; (c) Nền đắp đã xử lý 1 lần MICP; (d) Nền đắp xử lý 2 lần MICP (Wang et al., 2021)

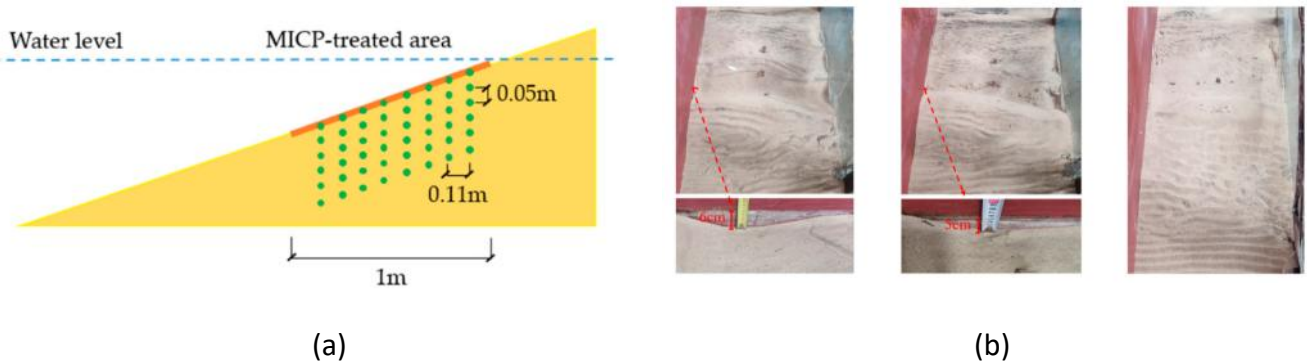
Ổn định nền đường ven biển, ven sông chịu sóng và xói lở

Các tuyến đường ven biển, ven sông hoặc đường đắp qua vùng ngập nước thường chịu tác động phức hợp của sóng, dòng chảy, triều, mưa lớn và dao động áp lực nước lỗ rỗng. Những tác động này có thể gây xói chân mái, rửa trôi vật liệu, mất ổn định mái đắp và suy giảm khả năng chịu tải của nền đường. Các giải



pháp truyền thống như kè bê tông, rọ đá, tường chắn hoặc màng bảo vệ có hiệu quả nhất định nhưng có thể làm thay đổi cân bằng vận chuyển bùn cát, tăng xói cục bộ ở chân công trình, chi phí cao và gây tác động môi trường. Kết cấu nhân tạo như đê chắn sóng, mỏ hàn hoặc kè biển có thể gây ra các vấn đề mới như xói chân trước tường biển, trong khi vật liệu bê tông và phương pháp hóa học có thể gây ô nhiễm hoặc phát thải khí nhà kính.

Nghiên cứu của Li et al. (2022) trên mái dốc cát chịu tác động sóng cho thấy MICP có thể cải thiện mạnh khả năng chống xói bề mặt do sóng. Trong thí nghiệm, nhóm tác giả sử dụng phương pháp phun hai pha: phun dung dịch vi khuẩn lên vùng chịu sóng, để vi khuẩn hấp phụ lên hạt cát trong 6 giờ, sau đó phun dung dịch xi măng hóa chứa CaCl_2 55 g/L, urê 60 g/L, tryptone 10 g/L và beef extract 3 g/L; một chu kỳ xử lý hoàn thành sau 24 giờ. Kết quả cho thấy sau 4 lần xử lý MICP, vùng mái dốc được gia cố hầu như không xuất hiện xói rõ rệt khi chịu tác động sóng; trong khi mái dốc không xử lý xuất hiện hố xói sâu khoảng 5 cm và 7 cm tương ứng với chiều cao sóng 8 cm và 12 cm (Li et al., 2022).



Hình 3: Thí nghiệm chống xói lở bề mặt mái dốc: (a) Sơ đồ thí nghiệm; (b) Mái dốc sau khi bị xói lở theo thứ tự: không MICP, 2 lần MICP và 4 lần MICP (Li et al., 2022)

Tuy nhiên, hiệu quả kiểm soát xói mòn phụ thuộc đáng kể vào độ đồng đều của lớp CaCO_3 . Li (2022) cho thấy dung dịch vi khuẩn và dung dịch xi măng hóa có xu hướng chảy xuống chân mái do trọng lực, dẫn đến sức kháng xuyên và hàm lượng CaCO_3 biến đổi theo vị trí; vùng chân mái thường được gia cố mạnh hơn vùng phía trên. Đây là vấn đề quan trọng khi áp dụng cho mái taluy đường bộ, bởi phá hoại thường có thể khởi phát tại các vùng yếu cục bộ. Vì vậy, thi công MICP cho mái taluy cần kiểm soát lưu lượng phun, thời gian giữ dung dịch, số chu kỳ xử lý, độ dốc mái và có thể cần kết hợp với vải địa kỹ thuật hoặc lớp phủ tạm để tăng thời gian lưu của dung dịch trên bề mặt.

Xử lý cát rời dưới nền đường

Cát rời dưới nền đường là một dạng vật liệu nền có khả năng chịu tải hạn chế, độ rỗng lớn, liên kết hạt yếu và dễ suy giảm ổn định khi chịu tác động của nước hoặc tải trọng lặp lại. Trong điều kiện nền đường, cát rời có thể gây ra lún sau thi công, biến dạng tích lũy dưới tải trọng xe, rửa trôi hạt mịn, xói ngầm hoặc mất ổn định cục bộ trong nền đắp.

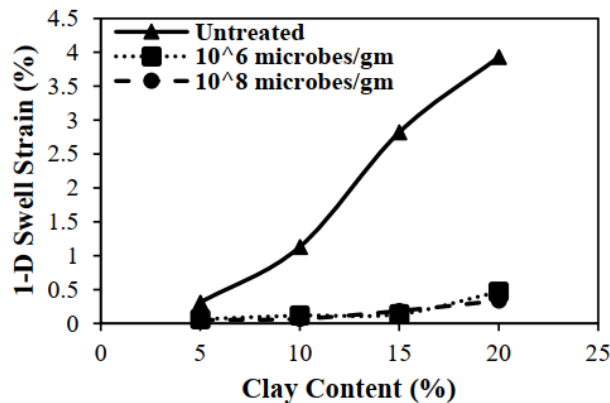
Tuy nhiên, các tài liệu cũng cho thấy xử lý cát rời bằng MICP có một số hạn chế cần xem xét khi chuyển từ phòng thí nghiệm sang hiện trường. Vấn đề lớn nhất là tính đồng nhất của kết tủa CaCO_3 . Wang và cộng sự (2021) ghi nhận CaCO_3 trong nền đắp xử lý không phân bố đều mà có xu hướng tăng từ trên xuống dưới; điều này liên quan đến trọng lực gây ra hướng thấm và đường di chuyển của dung dịch xử lý (Wang et al., 2021). Wang và cộng sự (2023) cũng tổng hợp rằng trong các cột cát dài, việc tạo xi măng hóa đồng đều cần điều chỉnh nồng độ vi khuẩn, vận tốc bơm, thời gian lưu và phương pháp bơm luân phiên chu kỳ; nếu dùng cát mịn có đường kính hạt nhỏ hơn 0,3 mm, hiện tượng tắc nghẽn gần đầu bơm có thể xảy ra, trong khi cát có kích thước hạt lớn hơn 0,5 mm ít bị tắc hơn (Wang et al., 2023). Do đó, trong nền đường thực tế, quy trình xử lý cát rời bằng MICP cần được thiết kế theo cấp phối hạt, độ rỗng, độ bão hòa, phạm vi xử lý và điều kiện thoát nước; nếu không, nền có thể xuất hiện vùng xi măng hóa mạnh–yếu không đều, gây tập trung ứng suất hoặc lún lệch.



Xử lý đất trương nở dưới nền đường

Đất trương nở là một trong những loại đất nền gây hư hỏng nghiêm trọng cho kết cấu đường bộ do khả năng thay đổi thể tích theo độ ẩm. Khi hút nước, khoáng sét trương nở như montmorillonite làm đất tăng thể tích, gây đội nền, nứt mặt đường và biến dạng không đều; khi khô, đất co lại, tạo khe nứt và làm suy giảm khả năng chịu tải. Theo TCVN 9436:2012, cấm sử dụng trực tiếp loại đất có độ trương nở vượt quá (3%) để đắp nền đường. Các phương pháp xử lý truyền thống như thay đất, ổn định bằng vôi/xi măng, trộn sâu hoặc dùng lớp chắn ẩm có thể hiệu quả nhưng thường tốn kém, phát thải cao hoặc khó áp dụng cho đường đang khai thác.

Hiệu quả nổi bật nhất của MICP đối với đất trương nở là giảm biến dạng trương nở. Trong các thí nghiệm của Chittoori và Burbank (2019), biến dạng trương nở một chiều ban đầu nằm trong khoảng 0,31–8,84% đã giảm xuống chỉ còn 0,06–0,47% sau xử lý MICP. Báo cáo cũng ghi nhận rằng kết tủa calcite có tác động đáng kể đến cả cải thiện cường độ và giảm trương nở của đất. Về mặt cơ học, sự giảm trương nở có thể được giải thích bởi ba cơ chế hỗ trợ: CaCO₃ kết tủa trong lỗ rỗng làm giảm khả năng đất hút và giữ nước; CaCO₃ tạo liên kết giữa các hạt hoặc cụm hạt sét, làm hạn chế biến dạng thể tích; và quá trình thay đổi môi trường hóa học trong đất có thể làm giảm hoạt tính trương nở của hệ đất–nước. Đối với nền đường, điều này có nghĩa là MICP có thể giảm nguy cơ đội mặt đường, nứt do co–trương và lún lệch theo mùa (Chittoori & Burbank, 2019).



Hình 5: Sự thay đổi của biến dạng trương nở một chiều của hỗn hợp đất đã và chưa xử lý MICP (Chittoori & Burbank, 2019)

Chống hóa lỏng nền cát bão hòa

Hóa lỏng là hiện tượng đất cát bão hòa mất cường độ khi chịu tải trọng động, tải trọng lặp, do động đất hoặc tải trọng xe chạy, làm áp lực nước lỗ rỗng tăng nhanh và ứng suất hữu hiệu giảm. Đối với nền đường, cát hóa lỏng có thể gây lún đột ngột, mất ổn định nền đắp, phá hoại móng cầu, nứt mặt đường và biến dạng lớn sau động đất. MICP được xem là một hướng xử lý tiềm năng vì CaCO₃ có thể liên kết các hạt cát, tăng độ cứng, tăng sức kháng cắt và giảm xu hướng phát triển áp lực nước lỗ rỗng.

Sửa chữa nền đường hư hỏng

Một hướng ứng dụng đáng chú ý của MICP là sửa chữa hoặc phục hồi nền đường hiện hữu bị suy giảm chất lượng. Nền đường có thể hư hỏng do nhiều nguyên nhân: đất trương nở, xói ngầm, rửa trôi vật liệu mịn, cát rời bị lún, nền đắp ven sông bị xói, hoặc suy giảm cường độ do nước thấm. Các phương pháp sửa chữa truyền thống thường gồm đào bỏ lớp hư hỏng, thay vật liệu, bơm vữa xi măng hoặc tái thiết cục bộ. Những phương án này có thể tốn chi phí, gián đoạn giao thông và phát sinh lượng lớn vật liệu thải. Trong khi đó, MICP có thể được bơm vào đất tại chỗ, tạo kết tủa CaCO₃ trong vùng cần gia cố, từ đó giảm nhu cầu đào thay toàn bộ.



Kết luận và kiến nghị

MICP có tiềm năng ứng dụng lớn trong gia cố nền đường giao thông ở Việt Nam do điều kiện tự nhiên phức tạp, đặc biệt là địa hình đồi núi rộng, mưa lớn theo mùa và nguy cơ sạt trượt, xói mòn mái taluy cao. Bên cạnh đó, đường bờ biển kéo dài khiến nhiều tuyến đường ven biển, ven sông chịu tác động thường xuyên của sóng, triều cường, xói lở và xâm nhập mặn. Trong bối cảnh nguồn mỏ vật liệu xây dựng ngày càng hạn chế, việc tận dụng đất tại chỗ và cải thiện tính chất cơ học bằng MICP có thể giúp giảm nhu cầu khai thác, vận chuyển và thay thế vật liệu. MICP có thể được xem là một hướng giải pháp tiềm năng với mục tiêu phát triển hạ tầng giao thông bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu ở Việt Nam.

Tuy nhiên, để MICP trở thành giải pháp sửa chữa nền đường ở quy mô thực tế, cần giải quyết ba vấn đề kỹ thuật. Thứ nhất là độ sâu và phạm vi xử lý: cần có các nghiên cứu kiểm soát sự phân bố của kết tủa theo chiều sâu và chiều rộng. Thứ hai là kiểm soát sản phẩm phụ, đặc biệt với MICP thủy phân urê có thể sinh ammonium; điều này cần được quản lý khi thi công gần nguồn nước hoặc khu dân cư. Thứ ba là đánh giá hiệu quả lâu dài, vì nền đường chịu tải lặp lại trong nhiều năm và điều kiện độ ẩm thay đổi theo mùa. Do đó, cần kết hợp MICP với quan trắc hiện trường, thí nghiệm tải trọng tĩnh, đo mô đun đàn hồi, CPT hoặc địa vật lý để đánh giá hiệu quả sau xử lý.

Tài liệu tham khảo

- Chittoori, B., & Burbank, M. (2019). *Application of microbial facilitated stabilization for sustainable improvement of expansive pavement subgrades*.
- Dejong, J. T., Soga, K., Kavazanjian, E., Burns, S., Van Paassen, L. A., Al Qabany, A., Aydilek, A., Bang, S. S., Burbank, M., Caslake, L. F., Chen, C. Y., Cheng, X., Chu, J., Ciurli, S., Esnault-Filet, A., Fauriel, S., Hamdan, N., Hata, T., Inagaki, Y., . . . Weaver, T. (2013). Biogeochemical processes and geotechnical applications: progress, opportunities and challenges. *Géotechnique*, 63(4), 287-301. <https://doi.org/10.1680/geot.SIP13.P.017>
- Fu, T., Saracho, A. C., & Haigh, S. K. (2023). Microbially induced carbonate precipitation (MICP) for soil strengthening: A comprehensive review. *Biogeotechnics*, 1(1). <https://doi.org/10.1016/j.bgtech.2023.100002>
- Hà, T. (2026). Tăng tốc phát triển hạ tầng đường bộ năm 2026. *Báo Nhân Dân điện tử*.
- Hoang, T., Alleman, J., Cetin, B., Ikuma, K., & Choi, S.-G. (2019). Sand and silty-sand soil stabilization using bacterial enzyme-induced calcite precipitation (BEICP). *Canadian Geotechnical Journal*, 56(6), 808-822.
- Hu, X., Fu, X., Pan, P., Lin, L., & Sun, Y. (2022). Incorporation of mixing microbial induced calcite precipitation (MICP) with pretreatment procedure for road soil subgrade stabilization. *Materials*, 15(19), 6529.
- Li, Y., Xu, Q., Li, Y., Li, Y., & Liu, C. (2022). Application of microbial-induced calcium carbonate precipitation in wave erosion protection of the sandy slope: An experimental study. *Sustainability*, 14(20), 12965.
- Wang, Y., Konstantinou, C., Tang, S., & Chen, H. (2023). Applications of microbial-induced carbonate precipitation: A state-of-the-art review. *Biogeotechnics*, 1(1), 100008.
- Wang, Z., Zhang, N., Jin, Y., Li, Q., & Xu, J. (2021). Application of microbially induced calcium carbonate precipitation (MICP) in sand embankments for scouring/erosion control. *Marine Georesources & Geotechnology*, 39(12), 1459-1471.
- Yu, X., & Yang, H. (2023). One-phase MICP and two-phase MISP composite cementation. *Construction and Building Materials*, 409, 133724.
- Zhang, A., & Dieudonné, A.-C. (2023). Effects of carbonate distribution pattern on the mechanical behaviour of bio-cemented sands: A DEM study. *Computers and Geotechnics*, 154, 105152.



Các phương pháp thi công cọc monopile đường kính lớn

Methods for installing large-diameter monopiles

Phùng Đức Long

Hội Cơ Học Đất và Địa Kỹ Thuật Công Trình Việt Nam. E-mail: phung.long@gmail.com

Tóm Tắt

Việc sử dụng các nguồn năng lượng tái tạo là cần thiết để hạn chế sự gia tăng nhiệt độ khí quyển (global warming) và đáp ứng nhu cầu năng lượng trong tương lai. Các tuabin gió ngoài khơi được sử dụng rộng rãi để sản xuất năng lượng tái tạo. Cọc monopile là loại móng phổ biến nhất cho các tuabin gió ngoài khơi. So với các phương án móng khác, cọc monopile tương đối đơn giản và rẻ tiền để sản xuất, chiếm không gian vừa phải trên tàu và đáng tin cậy. Cọc monopile có thể có chiều dài đến trên 100 mét, đường kính lên đến 10,6 mét và nặng đến trên 2000 tấn. Trong bài viết, các phương pháp thi công cọc monopile được tóm lược. Trong thi công, phương pháp hạ cọc rất quan trọng và là yếu tố quyết định tới giá thành móng và lựa chọn giải pháp thi công thích hợp với môi trường xung quanh. Các phương pháp hạ cọc monopile được thảo luận và so sánh trong bài viết này.

Abstract

The use of renewable energy sources is essential to limit global warming and meet future energy demands. Offshore wind turbines are widely used to produce renewable energy. Monopile piles are the most common type of foundation for offshore wind turbines. Compared to other foundation options, monopile piles are relatively simple and inexpensive to manufacture, occupy a moderate space on the vessel, and are reliable. Monopile piles can be over 100 meters long, up to 10.6 meters in diameter, with a weigh over 2000 tons. This article introduces the construction methods of monopile piles. In construction, the pile driving method is very important and is a decisive factor in determining the cost of the foundation and the selection of a construction solution suitable for the surrounding environment. The methods of driving monopile piles are discussed and compared.

Keywords: monopile, impact hammer, GDP (Gentle Driving of Piles), vibro-jetting, micro-bore machine

Mở đầu

Sau nhiều năm sử dụng nhiên liệu hóa thạch, việc chuyển đổi sang các nguồn năng lượng tái tạo là cần thiết để hạn chế sự gia tăng nhiệt độ khí quyển (global warming) và đáp ứng nhu cầu năng lượng trong tương lai. Các tuabin gió ngoài khơi được sử dụng rộng rãi để sản xuất năng lượng tái tạo và trên toàn cầu nhiều dự án tuabin gió ngoài khơi đang được lên kế hoạch cho tương lai. Có nhiều phương án móng cho tuabin gió ngoài khơi, Hình 1.

Hiện nay, cọc monopile là loại móng phổ biến nhất cho các tuabin gió ngoài khơi. Monopile là một cọc đơn, bao gồm một ống thép đơn hở mũi, được đóng xuống đáy biển để đỡ các tuabin gió. So với các phương án móng khác, cọc monopile tương đối đơn giản và rẻ tiền để sản xuất, chiếm không gian vừa phải trên tàu và đáng tin cậy.

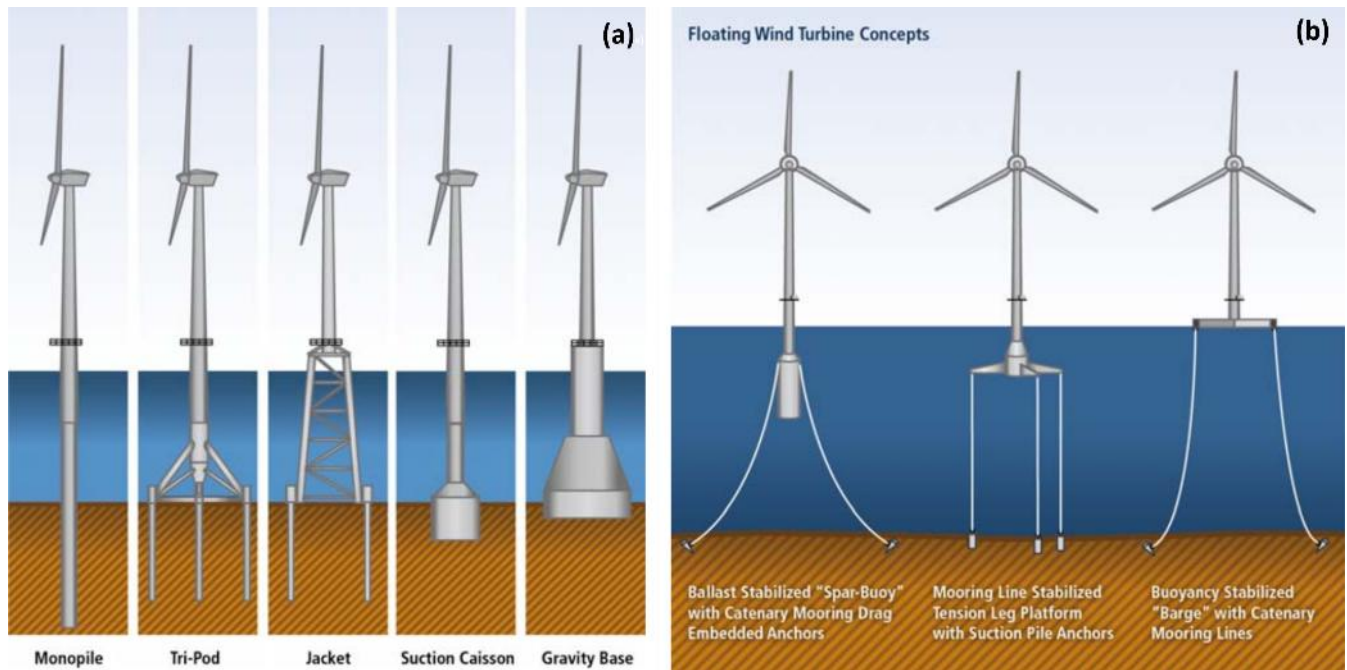
Cọc monopile được thiết kế để chịu được tải trọng ngang và mômen lật do môi trường tác động lên kết cấu của tuabin, bao gồm tải trọng gió, sóng và dòng chảy, cũng như hoạt động liên tục của chính tuabin. Tải trọng tác động có thể thay đổi từ đỉnh cực trị một lần (ví dụ: hoạt động dừng khẩn cấp rôto hay sóng cực mạnh), đến chu kỳ đều đặn và lặp đi lặp lại (ví dụ: sóng hay hoạt động của rôto), thường kết hợp với tải trọng thường xuyên (ví dụ: dòng chảy, gió). Tải trọng phát sinh từ sóng và gió có thể không đồng nhất. Trong Hội nghị địa quốc tế Geotec Hanoi 2026, tổ chức tại Hà Nội ngày 26-27/11/2026, GS. Byron Byrne



sẽ trình bày bài giảng chuyên đề keynote rất hay “Thiết kế móng cọc monopile cho turbin gió ngoài khơi” (Design of Monopiles for Offshore Wind Turbines).

Thiết bị thi công cọc monopile

Công tác thi công cọc monopile đòi hỏi một số thiết bị đặc biệt. Các thiết bị chính bao gồm: tàu, cần cẩu, khung kẹp cọc đơn, và thiết bị đóng/hạ cọc. Có hai loại tàu thi công cọc monopile thường được sử dụng: tàu nâng (jack-up vessel) và tàu nổi neo đậu (moored, floating vessel). Trong Hình 2 trình bày một số tàu thi công cọc monopile. Cần cẩu được gắn trên tàu được sử dụng để dựng đứng cọc monopile và ghim nó xuống đáy biển. Cọc monopile được khung kẹp nâng lên để giữ cho cọc đơn ở vị trí thẳng đứng. Khung kẹp có chức năng tương tự như các ngón tay giữ đỉnh khi đóng đỉnh vào gỗ. Có hai loại khung kẹp cọc được sử dụng: khung kẹp cọc cố định hoặc khung kẹp cọc động học bù chuyển động của tàu và sóng.



Hình 1. Các dạng móng trụ tuabin gió ngoài khơi: (a) Móng tuabin vùng nước nông, (b) Móng tuabin nổi ngoài khơi



Hình 2a: Thi công cọc monopile tàu Scylla (jack-up vessel)



Hình 2b: Thi công monopile tàu neo đậu Svanen

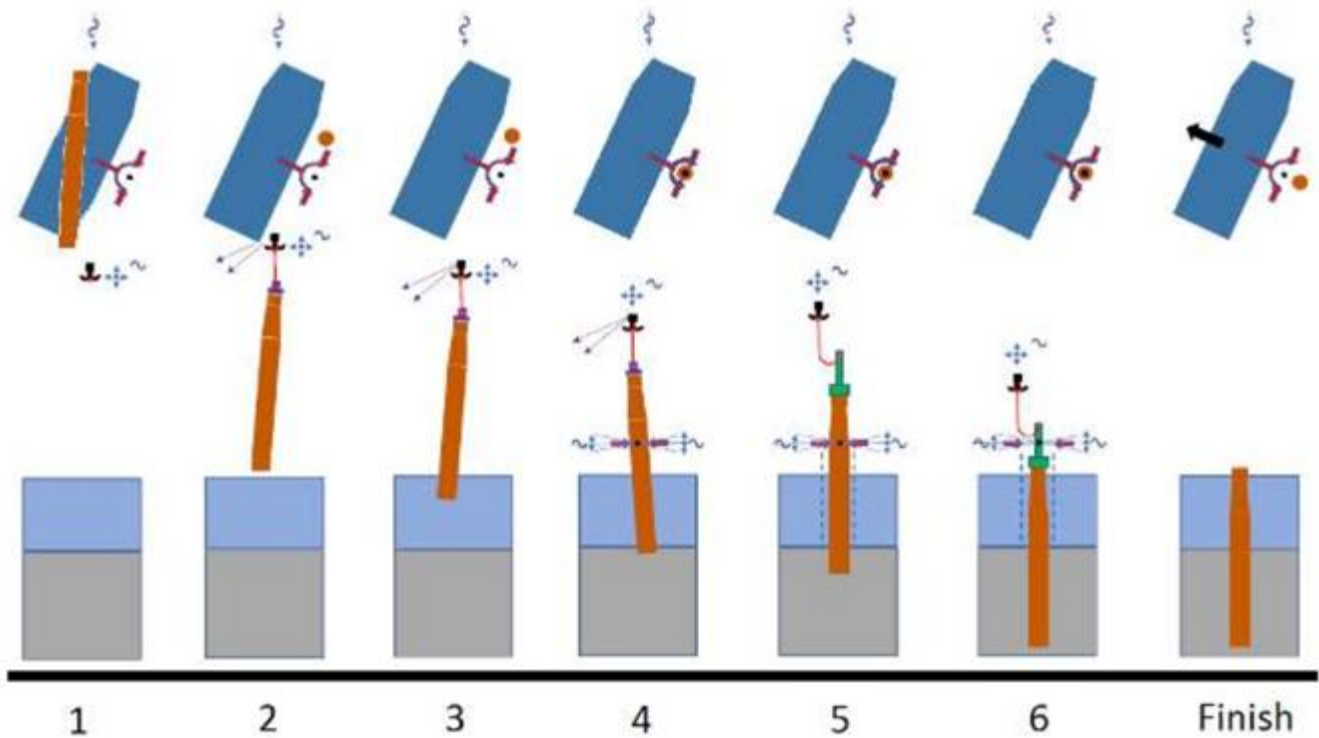


Hình 2c: Tàu neo đậu Oleg Strashnov

Trình tự thi công cọc monopile

Quá trình thi công một cọc monopile gồm sáu bước:

- Bước 1: Trước hết, cọc monopile được vận chuyển từ cơ sở sản xuất đến địa điểm lắp đặt. Việc này có thể được thực hiện theo nhiều cách. Với các nắp bịt đầu, cọc monopile có thể được làm nổi và được kéo bởi tàu kéo đến vị trí. Hoặc cọc monopile có thể được đặt trên sà lan hoặc trên boong của tàu lắp đặt.
- Bước 2: cọc monopile được vận chuyển theo phương ngang, vì vậy cần phải lật ngược cọc monopile trước khi lắp đặt. Việc lật ngược được thực hiện bằng cần cẩu gắn trên tàu lắp đặt. Trong quá trình lật ngược, các tải trọng ngang và dọc tác động lên cần cẩu (và tàu).
- Bước 3: Sau khi lật ngược cọc monopile, cọc được treo thẳng đứng trên cần cẩu. Cọc monopile được hạ xuống, qua vùng sóng vỡ, và đặt xuống đáy biển. Lực động của sóng biển lên cọc monopile khi hạ xuống qua vùng sóng vỡ, cùng chuyển động của tàu (chuyển động lắc ngang và lắc dọc gây ra chuyển động đầu cần cẩu tương đối lớn) tạo ra chuyển động của cọc monopile.
- Bước 4: Cọc monopile được đặt xuống đáy biển. Vị trí cố định trên mặt đáy biển của mũi cọc monopile được xác định. Cọc monopile có thể tự xuyên vào đáy biển khoảng một nửa đường kính cọc do trọng lượng của chính nó. Điều này phụ thuộc vào độ cứng của nền đất. Dây cáp cần cẩu vẫn được gắn vào cọc monopile nên chuyển động đầu cần cẩu và lực sóng vẫn tác động lên cọc monopile. Những lực này được cân bằng bởi sự tương tác giữa đất và cọc monopile. Khung kẹp khi đó được gắn vào cọc monopile.
- Bước 5: Thiết bị nâng trong ILT (Internal Lifting Tool) kết nối cọc với cần cẩu khi đó được ngắt khỏi cọc monopile. Búa đóng thủy lực được đặt lên trên đầu cọc monopile để đóng cọc đơn xuống đất. Cọc monopile hoạt động như một con lắc ngược do tương tác giữa cọc và đất. Điều này có nghĩa là cọc ở trạng thái không ổn định nếu không duy trì được vị trí thẳng đứng bằng khung kẹp cọc. Trong giai đoạn này, cọc monopile được đóng vào đất đến độ sâu mà cọc có thể duy trì vị trí thẳng đứng dưới tác động tương tác giữa cọc và đất. Khung kẹp được tách khỏi cọc monopile, độ nghiêng được đo và điều chỉnh theo yêu cầu thi công và cọc monopile được đóng vào đất đến độ sâu yêu cầu.
- Bước 6: Cọc monopile được đóng vào đất đến độ sâu thiết kế. Khung kẹp được nhả hoàn toàn khỏi cọc đơn. Búa thủy lực sẽ được đưa trở lại boong tàu. Các bước thi công cọc monopile được minh họa trong Hình 3.



Hình 3: Các bước thi công cọc monopile: mặt bằng thi công (hình trên); hình chiếu cạnh (hình dưới).

CÁC PHƯƠNG PHÁP HẠ CỌC MONOPILE

Hạ cọc monopile bằng búa đóng thủy lực

Phương pháp phổ biến nhất để hạ cọc monopile xuống đáy biển là đóng cọc bằng búa đóng thủy lực. Một nhược điểm đáng kể của phương pháp này, đặc biệt đối với các cọc monopile có đường kính rất lớn, là tạo ra tiếng ồn dưới nước. Búa đóng lớn nhất hiện nay tạo ra năng lượng xung hơn 7.500 kJ (IQIP Hydrohammer® IQ8), theo thông cáo báo chí của IQIP (ngày 16 tháng 10 năm 2025).

Các công nghệ thi công cọc monopile thay thế hiện đang được nghiên cứu, phát triển và thử nghiệm. Những công nghệ như vậy sẽ cho phép thi công và tháo dỡ các cọc monopile đường kính lớn trong tương lai trong nhiều điều kiện đất khác nhau một cách bền vững, tiết kiệm chi phí và thân thiện với môi trường. Phương pháp hạ cọc rung dọc trục, cùng các phương pháp mới được cấp bằng sáng chế như Gentle Driving of Piles (GDP), phun rung VIBROJET, và máy khoan siêu nhỏ hiện đang được phát triển.

Hạ cọc monopile bằng phương pháp rung

Phương pháp hạ cọc monopile ngoài khơi bằng phương pháp rung hiện đang được sử dụng như một giải pháp thay thế cho các phương pháp truyền thống dùng búa đóng cọc trong các tầng đất chủ yếu là cát, nhờ những ưu điểm như chỉ cần một thao tác nâng đơn giản, giảm thời gian lắp đặt, giảm tiếng ồn môi trường và giảm thiểu rủi ro cọc bị trượt. Mặc dù việc đóng cọc bằng búa rung diễn ra liên tục chứ không phải dùng xung lực, nhưng nó cũng tạo ra tiếng ồn đáng kể dưới nước (Martinelli et al., 2023; Elliott et al, 2025). Hạn chế của phương pháp này là khả năng đóng cọc phụ thuộc vào loại đất, hoặc đôi khi cần phải kết thúc bằng động tác đóng vố bằng búa. Các loại búa rung mạnh nhất, ví dụ như Dieseko PVE 500MU, có thể xử lý mô men lệch tâm lên đến 500 kgm. Một số dự án tiêu biểu trên thế giới hạ cọc monopile bằng phương pháp rung:

- Dự án Hải Long (Đài Loan): Dụng cụ nâng rung CAPE được sử dụng cho cọc chốt giàn và cọc móng OSS.
- Dự án Riffgat (Đức): Trang trại điện gió ngoài khơi đời đầu, áp dụng phương pháp đóng cọc rung trong quá trình thi công.



- Dự án Kaskasi II (Đức): Trang trại điện gió ngoài khơi đầu tiên sử dụng phương pháp đóng cọc rung đến độ sâu tối đa, giảm tiếng ồn và đẩy nhanh tiến độ thi công.

Phương pháp đóng cọc nhẹ nhàng (Gentle Driving of Piles - GDP)

Phương pháp đóng cọc nhẹ nhàng (Gentle Driving of Piles - GDP) là một công nghệ thi công bằng rung động mới cho cọc ống (đơn). Đặc điểm của phương pháp này là việc áp dụng đồng thời các rung động trực tần số thấp và rung động xoắn tần số cao, nhằm đạt được hiệu suất thi công cao và giảm phát ra tiếng ồn dưới nước. Phương pháp GDP đã được chứng minh trong một nghiên cứu thực nghiệm quy mô trung bình trên đất liền, cho thấy tiềm năng của phương pháp này về hiệu suất thi công, Tsetas et al. (2023).

Phương pháp rung-phun Vibro-Jetting

Vibro-Jetting là một phương pháp thi công tiên tiến kết hợp rung động và phun tia bên trong để giảm sức cản của đất, mang lại khả năng thi công cọc monopile nhanh hơn, êm hơn và thân thiện với môi trường hơn. Các tia nước làm cho đất ở đầu cọc trở nên lỏng hơn, giảm ma sát và sức cản. Cọc dễ dàng xuyên vào đáy biển chủ yếu là cát với lượng năng lượng đầu vào ít hơn. Phương pháp này vẫn chưa được thương mại hóa và hiện đang được trình diễn thí điểm tại Hollandse Kust West VI (Hà Lan) và được DNV đánh giá là một giải pháp thay thế đầy hứa hẹn cho phương pháp hạ cọc bằng búa đóng truyền thống, DNV (2019).

Phương pháp khoan siêu nhỏ Micro-Bore (Herrenknecht AG)

Khoan siêu nhỏ Micro-Bore (Herrenknecht AG) là một phương pháp thay thế dựa trên khoan để thi công cọc monopile ngoài khơi đường kính lớn, đặc biệt là ở đáy biển không đồng nhất hoặc nhiều đá. Chúng là một phần trong danh mục công nghệ “khoan móng ngoài khơi” OFD® của Herrenknecht. Phương pháp này sử dụng khoan thay vì đóng búa để thi công cọc monopile đường kính lớn. Một máy khoan có mô-men xoắn lớn sẽ khoan một lỗ có đường kính từ 3–12m, được điều chỉnh theo kích thước cọc monopile, vào đáy biển. Quá trình thi công bao gồm việc kiểm soát tuần hoàn bùn chống thành và nong rộng đáy lỗ khoan, giúp ổn định lỗ khoan trong khi cọc được đưa vào nền đá. Hoạt động này có thể được thực hiện bằng máy móc được triển khai từ các tàu nổi hoặc giàn khoan tự nâng. Phương pháp này mang lại độ chính xác cao và giảm đáng kể tiếng ồn, phù hợp với đáy biển nhiều đá hoặc không đồng nhất. Phương pháp này đã có sẵn trên thị trường nhưng vẫn còn được sử dụng hạn chế ngoài khơi, theo tài liệu OFD® của Herrenknecht AG.

Bảng 1. So sánh các phương pháp hạ cọc monopile

Phương pháp	Công suất max	Ưu điểm	Nhược điểm
Hạ cọc bằng đóng Impact driving	Năng lượng đóng max 7,500kJ (IQIP IQ8)	Thông dụng, tải trọng lớn	Tiếng ồn lớn, ứng suất lớn, thi công chậm.
Hạ cọc bằng rung Vibratory driving	Mômen lệch tâm 433 kNm (Dieseko PVE 500MU)	Nhanh, ứng suất nhỏ, ít tiếng ồn	Phụ thuộc vào nền đất
Đóng cọc nhẹ Gentle Driving	Thử nghiệm hiện trường quy mô trung bình (GDP, 2023)	Giảm ứng suất và tiếng ồn	Đang thử nghiệm
Rung phun Vibro-Jetting	Bảng sáng chế DNV 2024	Nhanh, ứng suất nhỏ, ít tiếng ồn	Số liệu thực địa hạn chế
Khoan siêu nhỏ Micro-Bore	Herrenknecht AG	Độ chính xác cao, ít gây nhiễu	Phương pháp mới, đắt

CÁC KỸ LỤC CỌC MONOPILE HIỆN NAY

Năm 2025, cọc monopile đường kính lớn nhất thế giới đã được thi công tại trang trại điện gió ngoài khơi lớn nhất từ trước đến nay của ScottishPower, East Anglia THREE. Trang trại điện gió này sẽ trở thành trang trại lớn thứ hai trên thế giới khi đi vào hoạt động. Mỗi cọc trong số 95 monopile có chiều dài từ 67 đến



85 mét, đường kính lên đến 10,6 mét và nặng từ 1200 đến 1800 tấn. Chúng được sử dụng để đỡ 95 tuabin Siemens Gamesa với công suất 14,7 MW mỗi tuabin, tạo ra tổng công suất 1400 MW năng lượng sạch, đủ để cung cấp điện cho hơn 1,3 triệu hộ gia đình. Cọc monopile, được sản xuất bởi liên doanh Navantia Seaneergies Windar Renovables (JVNW), được thi công bằng tàu thi công giàn khoan (jack-up vessel) Seaway Ventus.



Hình 4. Cọc monopile được thi công tại trang trại điện gió ngoài khơi lớn nhất từ trước đến nay của Scottish Power.

Một số kỷ lục trước đó: vào năm 2018, dự án Hornsea One ở Anh đã thi công một cọc monopile có đường kính 8,5m và trọng lượng 1.300 tấn. Năm 2021, một cọc monopile với đường kính 9,5m và trọng lượng 1.500 tấn được thi công tại dự án Borssele ở Hà Lan. Năm 2022 tại dự án Arcadis Ost 1, Germany, các cọc monopiles có đường kính 9,5 m, dài 110 m, và nặng hơn 2.000 tấn, được thi công bằng tàu DEME Offshore’s vessel Orion.

Bảng 2. So sánh các cọc monopile lớn nhất Trung Quốc và Châu Âu

Khu vực/Dự án	Năm	Đường kính cọc (m)	Trọng lượng cọc (tấn)	Độ sâu (m)	Ghi chú
Trung Quốc (Quảng Đông)	2019	>10.0	1,600	37	Lớn nhất Trung Quốc, độ sâu kỷ lục
Châu Âu (Hornsea One, UK)	2018	~ 8.5	~ 1,300	~ 30	Lớn nhất TG vào 2018
Châu Âu (East Anglia THREE, UK)	2025	10.6	1,800	~ 40	Lớn nhất TG tới 2025

Các công ty Trung Quốc như Dajin Heavy Industry và CWHI gần đây đã chế tạo và vận chuyển các cọc monopile cho dự án Inch Cape ở Scotland, nặng tới 2.700 tấn với đường kính 11,5 mét. Hiện tại, chúng đang giữ danh hiệu cọc monopile đường kính lớn nhất và nặng nhất thế giới. Dù vậy, các cọc này được thi công ở Anh chứ không phải Trung Quốc. Những kỷ lục này cho thấy sự phát triển nhanh chóng của cọc monopile dùng trong công nghệ điện gió ngoài khơi.

Tài liệu tham khảo

- Achmus et al. (2020) Lateral bearing behaviour of vibro- and impact-driven large-diameter piles in dense sand. Geotechnik 43 (3) 147-159
- DNV (2019) Statement of Qualified Technology TQ-DNV-SE-0160-10492907-A Vibrojet® Technology
- Dajin Heavy Industry & China Wind Power Equipment (CWHI) (2024): Fabrication announcements for Inch Cape monopiles (11.5 m diameter, 2,700 t), shipped to Scotland.



- Elliott, S., Whyte, S., Piatti, C., Jones, L. (2025). Design of Vibro-Installed Offshore Monopiles in Dense Sand. Presented at the 5th International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics, Nantes, France.
- Fazlighiyasabadi, S et al. (2024) Practical considerations for numerical simulation of large-diameter monopiles for offshore wind turbines in overconsolidated sand: A case study of the VIBRO project in Cuxhaven, Germany. *Ocean Engineering*, Vol. 313, Part 1, 119365.
- Herrenknecht AG (OFD® Offshore Foundation Drilling)
- Martinelli, M., Tsetas, A., Faragau, A., Tsouvalas, A. (2023). Installation of Monopiles: Interpretation of Vibro-Installed Lab-Scale Tests. *Symposium on Energy Geotechnics*, Delft, Netherlands.
- ScottishPower Renewables (2025): Press release on East Anglia THREE installation, highlighting the world's largest-diameter monopile (10.6 m, 1,800 t) and Siemens Gamesa 14.7 MW turbines.
- SPIC Guangdong Offshore Wind Power (2019): Press release and Ramboll design notes on 1,600 t, >10 m diameter monopiles installed at 37 m water depth — the largest ever installed in China at that time.
- Wang, H. et al (2023) Lateral behavior of monopiles in sand under monotonic loading: Insights and a new simple design model. *Ocean Engineering*, Vol. 277, 114334.
- Wiser R. Hand M. Hohmeyer O. Ineld D. Jensen P. H. Nikolaev V. O'Malley M. Sinden G. Zervos A. Yang, Z. Ippcc special report on renewable energy sources and climate change mitigation. National Renewable Energy Laboratory (NREL), CO, USA., 2011.
- Wittingen, M. (2018) Offshore Wind Turbine Monopile Foundation Installation with a Dynamic Positioned Vessel - A feasibility study by modeling. TU Delft.



Nền đắp trên hệ cọc có gia cường bằng vật liệu địa kỹ thuật tổng hợp cho đường bộ và đường sắt - Kết nối lý thuyết và thực tiễn

Geosynthetic-reinforced pile-supported embankments for highway and railway infrastructure - Bridging theory and practice

Phạm Anh Tuấn

Royal Institute of Technology (KTH), Sweden. E-mail: atpham@kth.se

Tóm tắt

Nền đắp trên hệ cọc có gia cường bằng vật liệu địa kỹ thuật tổng hợp (GRPS) là một giải pháp hiệu quả giúp kiểm soát tổng độ lún và độ lún lệch cho công trình đường bộ và đường sắt trên nền đất yếu. Bài viết giới thiệu tổng quan cơ chế làm việc của hệ GRPS, bao gồm vòm đất, hiệu ứng màng căng, phản lực nền và ma sát tiếp xúc. Các hình ảnh thực nghiệm, mô phỏng số và phân tích cơ học từ các nghiên cứu gần đây được trích dẫn nhằm minh họa rõ ràng các cơ chế truyền tải. Cuối cùng, bài viết thảo luận ý nghĩa thực tiễn và tiềm năng áp dụng của hệ GRPS trong điều kiện nền đất yếu tại Việt Nam.

Abstract

Geosynthetic-Reinforced Pile-Supported (GRPS) embankments provide an effective engineering solution for reducing total and differential settlement in transportation infrastructures over soft ground. This article summarizes the working mechanisms of the GRPS system such as soil arching, tensioned membrane effect, subsoil reaction, and interface friction—supported by experimental observations and numerical simulations. Practical considerations for applying GRPS solutions in Vietnamese geotechnical conditions are also discussed.

Keywords: Soil arching, GRPS embankment, geosynthetics, soft ground improvement, high-speed railway, infrastructure.

Mở đầu

Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của hạ tầng giao thông đường bộ và đường sắt, việc xây dựng các tuyến đường đi qua vùng đất yếu đang trở thành thách thức thường trực tại nhiều quốc gia, đặc biệt là Việt Nam. Những vấn đề như tổng độ lún lớn, độ lún lệch phức tạp và nguy cơ nứt gãy mặt đường không chỉ ảnh hưởng tới tuổi thọ công trình mà còn tác động trực tiếp đến an toàn vận hành và chi phí bảo trì (Hình 1). Từ thực tiễn đó, nhu cầu về một giải pháp nền móng ổn định, tin cậy và thi công nhanh trở nên cấp thiết hơn bao giờ hết.

Trong hai thập kỷ qua, nền đắp trên cọc có gia cường vật liệu địa kỹ thuật (ĐKT) tổng hợp (Geosynthetic-Reinforced Pile-Supported Embankments – GRPS) đã nổi lên như một trong những giải pháp nhiều ưu việt và hiệu quả. Điểm độc đáo của GRPS nằm ở khả năng “kết nối” - kết nối giữa tải trọng và cọc thông qua cơ chế vòm đất, kết nối giữa biến dạng và lực thông qua hiệu ứng màng căng của lớp vật liệu địa kỹ thuật, và quan trọng hơn, kết nối giữa lý thuyết cơ học tương tác đất-hệ kết cấu cọc kết hợp vật liệu địa kỹ thuật với yêu cầu thực tiễn của kỹ thuật XD cũng như tải trọng CTGT giao thông.

Nhờ sự phối hợp của các cơ chế tương tác này, GRPS không chỉ giảm đáng kể tổng độ lún và độ lún lệch mà còn tối ưu hóa phân bố ứng suất, nâng cao độ bền lâu và tăng tốc độ thi công. Những tiến bộ trong mô phỏng số 3D, thí nghiệm trapdoor và phân tích cơ học trạng thái tới hạn đã giúp cộng đồng địa kỹ thuật hiểu sâu hơn về bản chất của các cơ chế này, từ đó phát triển các mô hình thiết kế ngày càng sát thực tế.

Bài viết này nhằm mang lại một góc nhìn tổng hợp nhưng dễ tiếp cận về hệ GRPS: từ nền tảng cơ sở cơ học, các kết quả nghiên cứu nổi bật, đến những bài học thực tiễn trong ứng dụng giao thông tại Việt



Nam. Mục tiêu là tạo nên một “cầu nối” giữa nghiên cứu và hiện trường, giúp kỹ sư và nhà quản lý có thêm thông tin để lựa chọn giải pháp nền móng phù hợp, hiệu quả và bền vững.

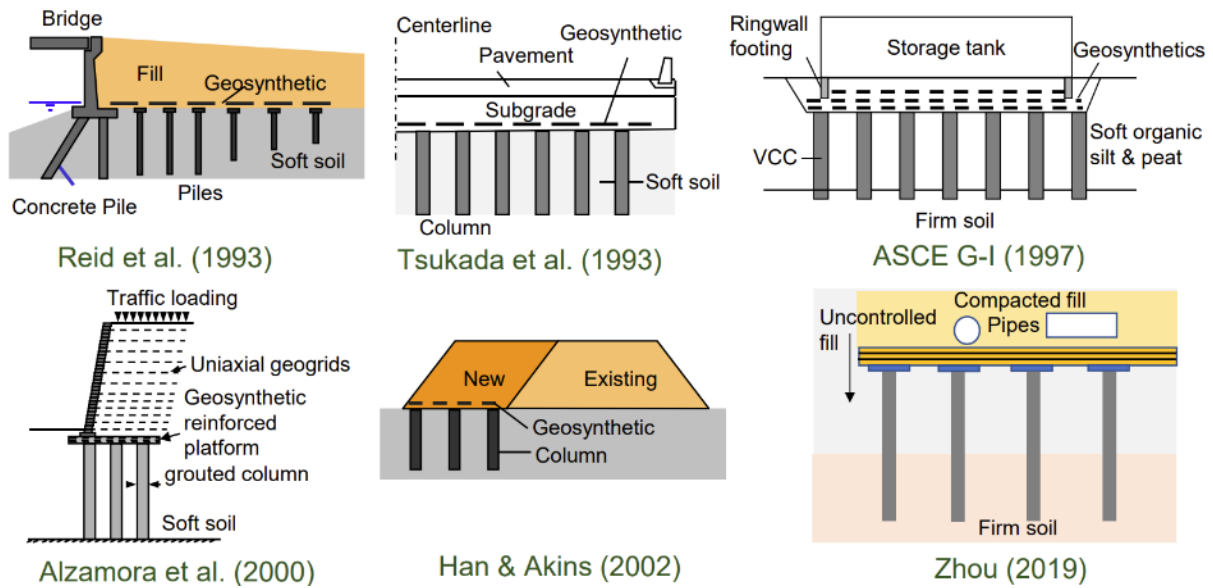


Figure 1. Các dạng hư hỏng do lún lệch trong công trình đường bộ (nguồn Internet)

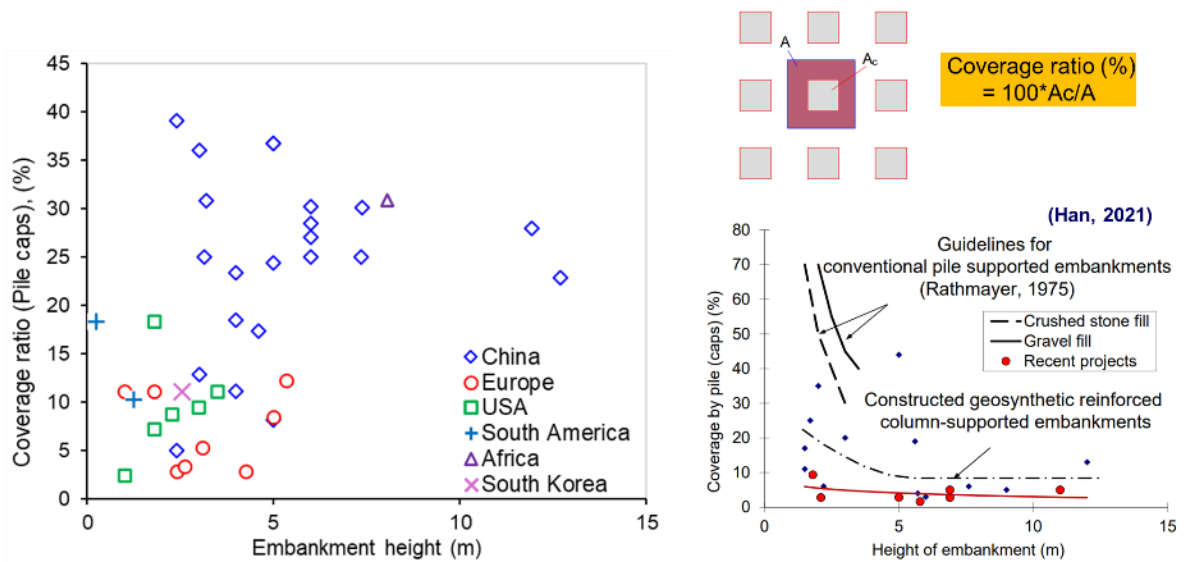
Ứng dụng đa dạng của giải pháp nền đắp GRPS

Hình 2 mô tả ứng dụng của hệ GRPS đã được triển khai trong nhiều bối cảnh công trình khác nhau, từ đường dẫn đầu cầu (Reid et al., 1993), mặt đường giao thông (Tsukada et al., 1993), bể chứa quy mô lớn (ASCE G-I, 1997), đến nền đường mới được mở rộng nối tiếp nền đường cũ (Han & Akins, 2002) và các nền đắp sử dụng cọc ống (Zhou, 2019). Dù mỗi công trình có mục tiêu và điều kiện địa chất riêng, điểm chung nổi bật là sự tận dụng khả năng phân bố tải mạnh mẽ của lớp vật liệu ĐKT tổng hợp “geosynthetic” kết hợp với hệ cọc để giảm lún không đều và tăng độ ổn định.

Hình 3 cho thấy một xu hướng đáng chú ý: trong khi các hướng dẫn truyền thống (Rathmayer, 1975) khuyến nghị tỷ lệ bao phủ cọc (coverage ratio) khá cao cho nền đắp thấp, dữ liệu từ các dự án GRPS hiện đại lại phân bố thấp hơn đáng kể và ổn định hơn theo chiều cao đắp. Điều này phản ánh sự thay đổi trong tư duy thiết kế—khi lớp vật liệu ĐKT tổng hợp và cơ chế vòm đất được tận dụng hiệu quả, hệ thống không còn phụ thuộc quá nhiều vào mật độ cọc như trước. Các dự án tại Trung Quốc có tỷ lệ bao phủ từ 20 đến 40%, trong khi các dự án tại châu Âu và Mỹ cho thấy coverage ratio phổ biến chỉ từ 5–20%, nhưng vẫn đạt hiệu quả kiểm soát lún rất tốt. Sự chênh lệch giữa lý thuyết cũ và thực tế hiện đại nhấn mạnh rằng GRPS không chỉ tiết kiệm vật liệu mà còn hiệu quả hơn nhờ hiểu đúng cơ chế truyền tải, mở ra cơ hội tối ưu hóa thiết kế trong các công trình đất yếu tại Việt Nam.



Hình 2. Các ứng dụng phổ biến của giải pháp GRPS



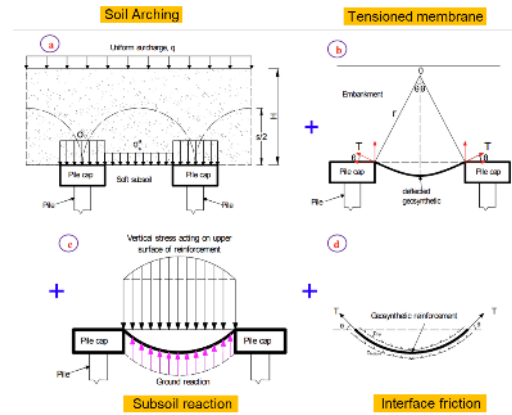
Hình 3. Tỷ lệ bao phủ (coverage ratio) của cọc/mũ cọc trong GRPS embankment.

Cơ chế làm việc của nền đắp GRPS

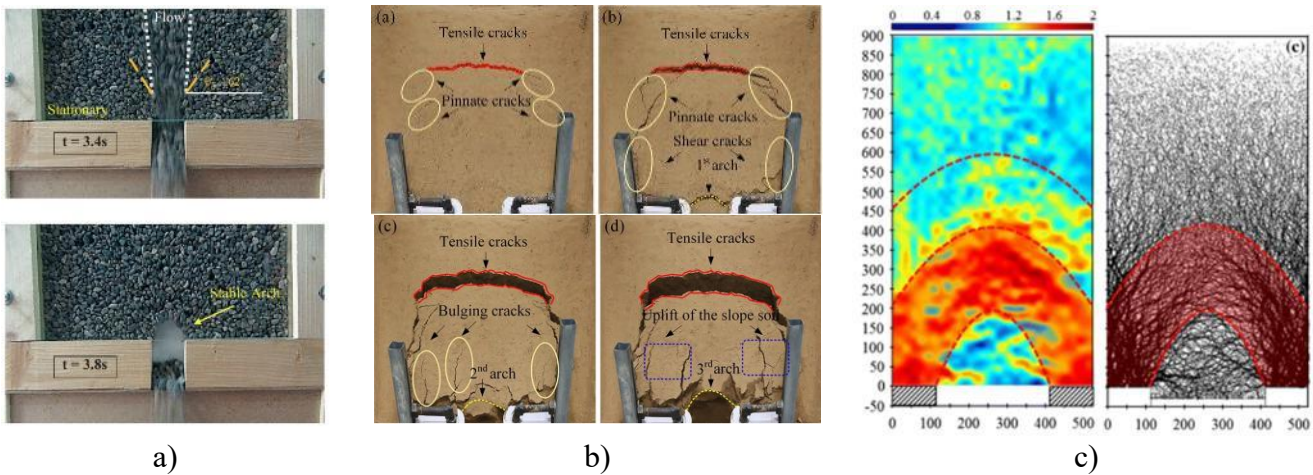
Nền đắp trên cọc có gia cường vật liệu địa kỹ thuật (GRPS) là một hệ kết cấu đặc biệt, nơi bốn thành phần - đất đắp, đất yếu, các lớp vật liệu ĐKT và hệ cọc - không hoạt động riêng rẽ mà kết nối chặt chẽ với nhau để tạo nên một cơ chế truyền tải tổng hợp và độc đáo. Chính sự phối hợp hài hòa này giúp GRPS trở thành một trong những giải pháp hiệu quả nhất hiện nay cho các công trình đường bộ và đường sắt trên nền đất yếu (Hình 4).

Cơ chế vòm đất (Soil Arching)

Trước hết, vòm đất (soil arching) hình thành như một phản ứng tự nhiên trong nền đắp khi nền yếu phía dưới giữa các cọc lún nhiều hơn khu vực đầu cọc. Đất phía trên các cọc trở thành “nhịp vòm” chịu tải, trong khi vùng đất ở khoảng giữa hai cọc trở thành vùng giảm ứng suất. Chính sự chênh lệch biến dạng này tạo ra hiện tượng tập trung ứng suất lên đầu cọc - một dạng “chuyển tải chọn lọc” đơn giản nhưng cần thiết và hiệu quả. Các thí nghiệm cửa sập - trapdoor và mô phỏng số đã minh chứng cơ chế này một cách trực quan qua các vùng ứng suất đỏ - xanh phân bố rõ rệt (Hình 5).



Hình 4. Cơ chế tổng hợp của GRPS embankment (nguồn: Hình bên trái từ Deltare Public Wiki; Hình bên phải từ Pham et al. 2021)



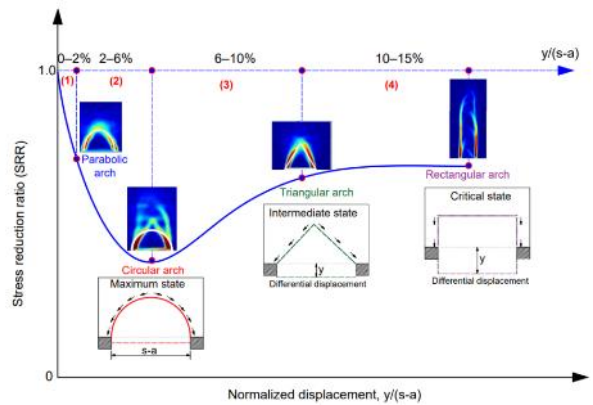
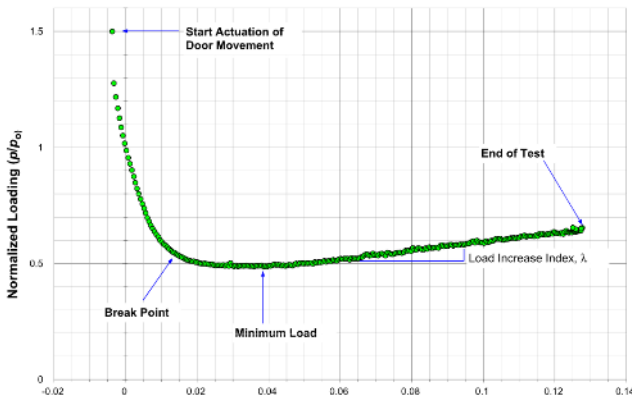
Hình 5. Cơ chế hình thành vòm đất trong nền đắp GRPS (nguồn: Hình a từ Ahmadi and Hosseininia 2018; Hình b từ Wang et al. 2024; Hình c từ Lai et al. 2020)

Sự tiến triển của vòm đất (Progressive Development of Soil Arching)

Khác với quan niệm truyền thống cho rằng vòm đất hình thành ngay lập tức và ở trạng thái cố định, các nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng hiện đại cho thấy vòm đất phát triển theo một quá trình *tiến triển*, phụ thuộc chặt chẽ vào chuyển vị tương đối giữa đỉnh cọc và nền đất yếu. Mỗi quan hệ này được gọi là đường cong phản lực nền (Ground Reaction Curve-GRC). Ở giai đoạn đầu, những chuyển vị nhỏ đã khiến đất giữa các cọc bắt đầu tái phân bố ứng suất và tạo vùng giảm tải, nhưng hiệu ứng vòm còn yếu và biên dạng ứng suất chưa rõ rệt.

Khi chuyển vị tăng, đất trên đỉnh cọc chịu nén mạnh trong khi đất ở khoảng giữa bị kéo xuống, hình thành nêm đất – tiền đề của hình thành vòm đất. Các thí nghiệm cửa sập - trapdoor và mô phỏng 3D cho thấy các đường đẳng ứng suất dần cong lại, tạo thành cung vòm chịu nén. Đến khi chuyển vị đủ lớn, vòm đất ổn định với ứng suất dồn đáng kể lên đầu cọc và tải xuống nền yếu giảm mạnh; vùng đất giữa hai cọc gần như tách khỏi quá trình truyền tải.

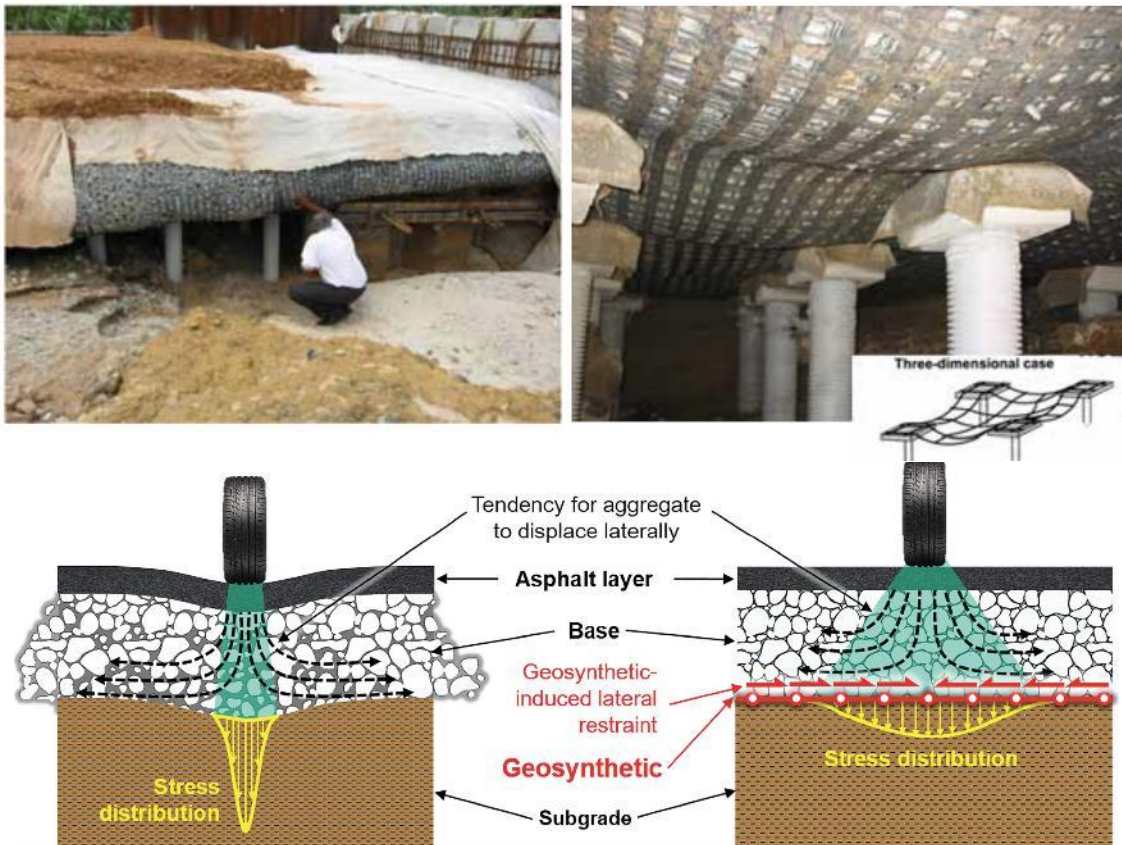
Đáng chú ý, vòm đất tiếp tục điều chỉnh hình dạng khi gia tải thêm, cho thấy đây là một cấu trúc “động”, linh hoạt theo biến dạng và điều kiện ứng suất. Hiểu được sự tiến triển này giúp các mô hình thiết kế thế hệ mới mô phỏng chính xác hơn ứng xử thực tế và tối ưu hóa vật liệu, chiều cao đắp cũng như bố trí cọc trong công trình GRPS (Hình 6).



Hình 6. Đường cong phản lực nền (GRC) trong nền đắp GRPS (nguồn: Hình trái từ Iglesia et al. 2014; Hình phải từ Pham and Han 2025)

Hiệu ứng màng căng (tensioned membrane effect)

Một đặc điểm khác là khi đất giữa các cọc bị lún và lớp võng xuống, hiệu ứng màng căng (tensioned membrane effect) bắt đầu phát huy tác dụng. Lực kéo trong màng địa kỹ thuật giống như một chiếc võng chịu tải, giúp chuyển bớt trọng lượng sang hai điểm tựa là các đầu cọc. Không chỉ đóng vai trò chịu lực, màng căng còn giúp làm phẳng biến dạng mặt nền, giảm lún lệch, và phân bố lại ứng suất một cách hiệu quả hơn. Các nghiên cứu cho thấy biến dạng lớn nhất thường xuất hiện tại mép cọc - nơi mà màng địa kỹ thuật chịu kéo mạnh nhất (Hình 7).



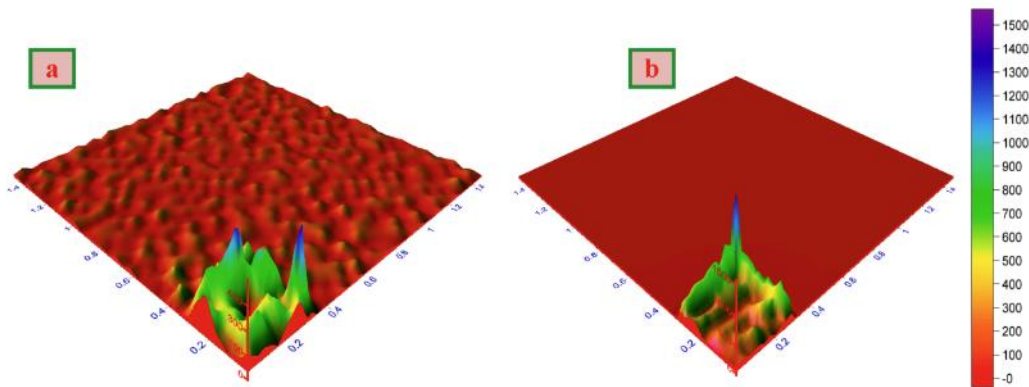
Hình 7. Hiệu ứng màng căng trong nền đắp GRPS (nguồn: Hình trên từ Han 2021; Hình dưới từ Zornberg 2017)

Phản lực nền (subsoil reaction)

Song song đó, phản lực nền (subsoil reaction) từ lớp đất yếu vẫn đóng góp một phần sức kháng nhất định, đặc biệt trong giai đoạn đầu khi đất chưa bị phá hoại hoàn toàn. Điều này làm cho GRPS trở thành một hệ



chuyển tải ba chiều, nơi đất, cọc và vật liệu ĐKT tổng hợp cùng chia sẻ tải trọng theo từng giai đoạn phát triển của biến dạng (Hình 8).



Hình 8. Sự phân bố ứng suất thẳng đứng từ mô hình 3D: (a) phía trên geosynthetic, (b) phía dưới geosynthetic (nguồn: Pham et al. 2021)

Ma sát tương tác giữa đất và vật liệu địa kỹ thuật (Soil-geosynthetic interface friction)

Cuối cùng, ma sát tiếp xúc giữa đất và vật liệu địa kỹ thuật, dù ít được chú ý trong thực hành, lại đóng vai trò quan trọng trong việc hạn chế trượt và tăng hiệu quả phân bố tải. Ma sát này giúp lớp geosynthetic “neo” tốt hơn vào đất đắp, ổn định hệ thống và tối ưu hóa tác dụng của màng căng.

Cơ chế tương tác tổng hợp của nền đắp GRPS

Khi kết hợp, bốn cơ chế trên không chỉ bổ trợ mà còn kích hoạt lẫn nhau, tạo nên một hệ truyền tải tổng hợp mạnh mẽ. Vòm đất giảm tải cho vùng giữa cọc; màng căng điều hòa lại phân bố ứng suất; phản lực nền và ma sát bề mặt giúp “tinh chỉnh” quá trình truyền tải theo từng cấp độ chuyển vị. Chính sự tương tác nhịp nhàng này giải thích vì sao GRPS thường đạt hiệu suất vượt trội trong thực tế, và cũng là lý do các mô hình thiết kế hiện đại ngày càng nhấn mạnh đến tính tiến triển (progressive mechanisms) của hệ.

Hiệu năng của GRPS dưới tải trọng động và ý nghĩa của mô phỏng động lực học

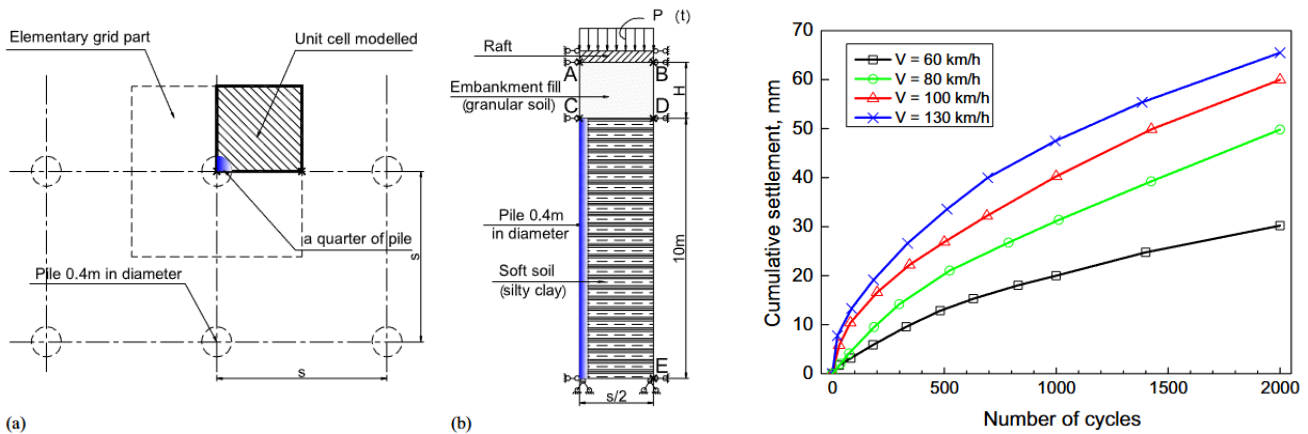
Hiệu năng của nền đắp GRPS dưới tác động của tải trọng động – chẳng hạn chuyển động của đoàn tàu, tải trọng trục xe lặp lại hoặc tải trọng va đập – thể hiện rõ khả năng vượt trội của hệ thống này so với các giải pháp truyền thống. Các thí nghiệm và kết quả mô phỏng động gần đây cho thấy cơ chế vòm đất không chỉ tồn tại trong điều kiện tĩnh mà còn phát triển một cách nhạy động khi nền chịu dao động chu kỳ. Đáng chú ý, biên độ ứng suất đo được tại các cảm biến tăng dần theo thời gian và theo số chu kỳ tải, phản ánh quá trình hình thành vòm đất tiến triển ngay cả trong điều kiện dao động mạnh. Điều này khẳng định rằng GRPS không bị phá vỡ cơ chế truyền tải khi chịu tải động mà ngược lại, càng hoạt động hiệu quả hơn khi nền đắp đạt đến chuyển vị đủ lớn.

Trong các nghiên cứu cho đường sắt tốc độ cao, áp lực đất động và ứng suất truyền xuống cọc biến thiên theo chiều sâu, với sự khác biệt rõ rệt giữa vùng trên đỉnh cọc và vùng phía trên nền yếu. Các biểu đồ động cho thấy tải trọng động có xu hướng làm tăng hiệu suất truyền tải vào cọc (pile efficacy), đặc biệt trong giai đoạn đầu của chu kỳ. Tuy nhiên, khi vận tốc tàu tăng lên (80–360 km/h), hiệu suất truyền tải động có thể giảm nhẹ do biên độ dao động lớn làm giảm tính ổn định tạm thời của vòm đất – hiện tượng chỉ có thể đánh giá chính xác thông qua mô phỏng động lực học. Đồng thời, các mô phỏng 3D theo chu kỳ cho thấy lún tích lũy của đỉnh nền đắp (Point B) tăng tuyến tính theo số chu kỳ, trong khi lún của nền đất yếu (Point D) xảy ra nhanh hơn nhưng sớm đạt trạng thái “ổn định dần”, nhờ sự tái phân bố ứng suất từ lớp vật liệu ĐKT tổng hợp và hệ cọc (Hình 9).

Việc mô phỏng tải trọng động không chỉ làm rõ quá trình truyền tải phức tạp mà còn là công cụ thiết yếu để dự đoán biến dạng dư, ứng suất dao động và tuổi thọ của công trình nền đường. Trong thiết kế đường sắt tốc độ cao, mô phỏng động cho phép xác định vận tốc giới hạn, lựa chọn chiều cao đắp, độ cứng geogrid và khoảng cách cọc tối ưu nhằm hạn chế lún tích lũy và đảm bảo an toàn vận hành. Những kết quả này khẳng định rằng GRPS, khi được thiết kế với mô phỏng động chính xác, là giải pháp nền móng



hiệu quả và bền vững cho các công trình chịu tải trọng lặp lớn, mở ra triển vọng ứng dụng rộng rãi cho các tuyến đường sắt và đường bộ hiện đại tại Việt Nam.

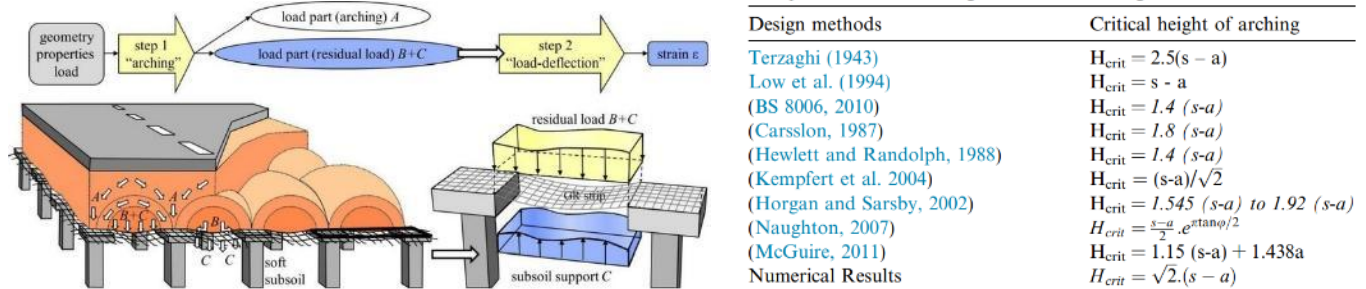


Hình 9. 3D numerical modeling of a piled embankment under cyclic loading (nguồn: Pham and Dias 2019)

Phương pháp thiết kế nền đắp GRPS: Kết nối cơ chế và thực tiễn

Quy tắc thiết kế

Thiết kế nền đắp trên cọc có gia cường địa kỹ thuật (GRPS) không chỉ là việc xác định tải trọng tác dụng lên cọc hay chọn loại geosynthetic phù hợp, mà là quá trình “giải mã” cách hệ thống truyền tải và biến dạng như một thể thống nhất. Khác với nền đắp truyền thống, GRPS làm việc dựa trên sự kết hợp của nhiều cơ chế phức tạp—vòm đất, màng căng, phản lực nền và tương tác đất–cọc. Do đó, phương pháp thiết kế hiện đại đã được phát triển theo hướng mô tả đúng bản chất của các cơ chế này thay vì chỉ dựa trên các giả định đơn giản hóa.



Hình 10. Quy tắc thiết kế nền đắp GRPS với hai bước tính toán và chiều cao tối hạn

Như minh họa trong Hình, thiết kế GRPS thường được thực hiện theo hai bước chính, phản ánh hai giai đoạn làm việc khác nhau của hệ kết cấu (Hình 10):

Bước 1: Phân tích vòm đất – xác định phân bố tải lên cọc và vật liệu ĐKT tổng hợp

Ở giai đoạn đầu, sự chênh lệch biến dạng giữa đầu cọc và nền yếu làm xuất hiện vòm đất (arching), chuyển phần lớn tải trọng xuống các đầu cọc. Mục tiêu của bước này là xác định chính xác tỷ lệ tải trọng được truyền theo cơ chế vòm (phần A) và phần tải trọng còn lại (B + C) vẫn tác dụng lên lớp vật liệu ĐKT tổng hợp và đất mềm bên dưới. Đây là bước quan trọng vì nó đặt nền tảng cho toàn bộ thiết kế: nếu dự đoán sai phân bố tải trọng, các tính toán tiếp theo về biến dạng, ứng suất và độ bền của vật liệu ĐKT tổng hợp sẽ thiếu chính xác. Các phương pháp phân tích mới hiện nay thậm chí còn mô phỏng sự tiến hóa của vòm đất theo chuyển vị, giúp đánh giá gần với thực tế hơn (Hình 9).

Bước 2: Phân tích quan hệ tải-biến dạng để xác định biến dạng vật liệu ĐKT tổng hợp và lún lệch giữa cọc

Sau khi biết được phần tải trọng còn lại tác dụng lên lớp vật liệu ĐKT tổng hợp và nền yếu, bước thứ hai mô phỏng độ võng và biến dạng của vật liệu ĐKT tổng hợp, đồng thời đánh giá lún lệch giữa các đầu cọc. Lớp vật liệu ĐKT tổng hợp làm việc như một màng căng, tiếp nhận phần tải dư và truyền lại xuống cọc qua



lực kéo. Thiết kế phải đảm bảo lớp vật liệu ĐKT tổng hợp không vượt quá biến dạng cho phép và độ võng không gây ra lún lệch vượt tiêu chuẩn khai thác. Đây là bước thể hiện rõ vai trò của vật liệu địa kỹ thuật—nếu chọn chưa phù hợp, hệ thống sẽ không đạt hiệu quả dù bố trí cọc tốt.

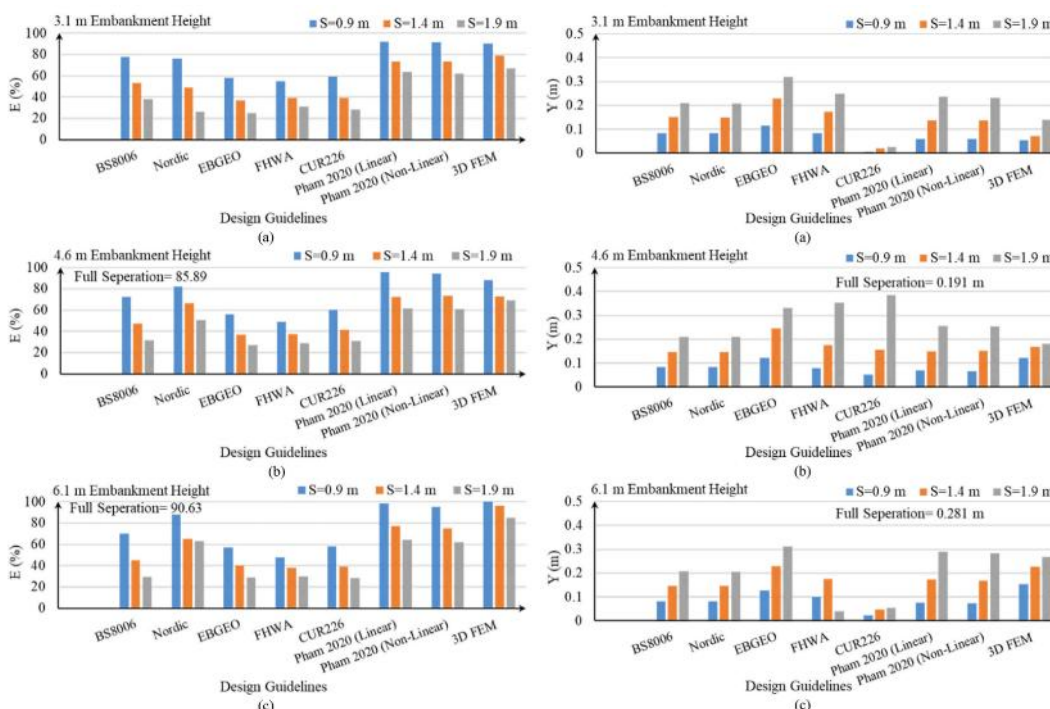
Hai bước thiết kế trên tạo nên một quy trình chặt chẽ, trong đó Bước 1 mô tả cách tải trọng được chia sẻ, còn Bước 2 mô tả cách hệ thống biến dạng để cân bằng tải trọng đó. Sự kết hợp này cho phép kỹ sư vừa kiểm soát được ứng suất, vừa kiểm soát biến dạng, đảm bảo nền đắp GRPS hoạt động bền vững trong điều kiện tĩnh và động. Chính nhờ cách tiếp cận có hệ thống này mà GRPS đã trở thành giải pháp đáng tin cậy cho các công trình đường bộ và đường sắt hiện đại.

Phương pháp thiết kế

Một điểm rất đáng chú ý là hiệu quả truyền tải và biến dạng của GRPS phụ thuộc mạnh vào phương pháp thiết kế được sử dụng. Các biểu đồ so sánh trong Hình cho thấy những khác biệt đáng kể giữa các tiêu chuẩn hiện hành. Các phương pháp truyền thống như BS8006, Nordic hay EBGEO có xu hướng bảo thủ, thường đánh giá hiệu suất truyền tải thấp hơn và dự đoán biến dạng cao hơn, đặc biệt khi khoảng cách cọc lớn hoặc chiều cao đắp tăng. Điều này xuất phát từ các giả định đơn giản hóa về vòm đất (coi như hình thành hoàn chỉnh ngay lập tức) và hiệu ứng màng căng (xem như tuyến tính), vốn không phản ánh được bản chất tiến hóa của cơ chế trong thực tế (Hình 11).

Ngược lại, các mô hình thiết kế Pham (2020) tuyến tính và phi tuyến, vốn xem xét sự phát triển dần của vòm đất và quan hệ tải – biến dạng thực của vật liệu ĐKT tổng hợp, cho kết quả gần với mô phỏng số 3D FEM hơn. Sự tương đồng này cho thấy các mô hình mới đã thu hẹp khoảng cách giữa lý thuyết và hiện trường bằng cách mô tả đúng bản chất của GRPS. Trong khi các tiêu chuẩn truyền thống có thể dẫn đến thiết kế dư thừa vật liệu (cọc nhiều, vật liệu ĐKT tổng hợp dày), các phương pháp hiện đại cho phép tối ưu hóa cấu hình cọc và vật liệu ĐKT tổng hợp mà vẫn đảm bảo an toàn và hiệu quả.

Khi tích hợp toàn bộ bằng chứng từ thí nghiệm, mô phỏng và đánh giá thiết kế, có thể thấy rằng GRPS là một hệ kết cấu mà các cơ chế tương tác phát triển theo chuyển vị, và vì vậy đòi hỏi phương pháp thiết kế phản ánh đúng tính tiến hóa đó. Việc ứng dụng các mô hình tiên tiến không chỉ cải thiện độ chính xác mà còn mang lại lợi ích kinh tế đáng kể, đặc biệt trong bối cảnh xây dựng quy mô lớn ở Việt Nam.



Hình 11. Đánh giá hiệu năng của các phương pháp thiết kế (nguồn: Nobahar et al. 2024)

Kết luận và kiến nghị



Các kết quả tổng hợp từ thực nghiệm, mô phỏng số và so sánh phương pháp thiết kế cho thấy nền đắp trên cọc có gia cường địa kỹ thuật (GRPS) là một giải pháp rất hiệu quả để kiểm soát lún tổng, lún lệch và lún tích lũy dưới tải trọng tĩnh và động. Hiệu năng vượt trội của GRPS đến từ sự cộng hưởng giữa vòm đất, hiệu ứng màng căng của vật liệu ĐKT tổng hợp, phản lực nền và tương tác đất-cọc, trong đó cơ chế vòm phát triển mang tính “tiến hóa” theo chuyển vị giữ vai trò đặc biệt quan trọng. Các mô hình thiết kế hiện đại xét tới sự tiến hóa này cho kết quả gần với FEM 3D hơn, cho phép dự đoán hợp lý cả ứng suất và biến dạng của hệ.

Từ góc độ thực hành, có thể rút ra một số khuyến nghị: (i) nên ưu tiên sử dụng GRPS cho các tuyến đường bộ và đường sắt trên đất yếu, đặc biệt khi yêu cầu khống chế độ lún lệch nghiêm ngặt; (ii) lựa chọn cấu hình cọc và vật liệu ĐKT tổng hợp cần dựa trên phân tích đồng thời chiều cao đắp, khoảng cách cọc và tải trọng động dự kiến; (iii) nên sử dụng các mô hình thiết kế tiên tiến kết hợp với mô phỏng số để hiệu chỉnh, thay vì chỉ dựa vào các tiêu chuẩn bảo thủ như BS8006 hay EBGEO; và (iv) với các công trình chịu tải động lớn (đường sắt tốc độ cao, tải xe nặng lặp lại), việc phân tích động lực học (kể cả lún tích lũy theo chu kỳ) nên được xem như một bước bắt buộc trong thiết kế. Những điều này sẽ giúp thiết kế GRPS vừa an toàn, vừa kinh tế và phù hợp điều kiện thực tế ở Việt Nam.

Tài liệu Tham khảo

- Ahmadi, A., & Hosseininia, E. S. (2018). An experimental investigation on stable arch formation in cohesionless granular materials using developed trapdoor test. *Powder Technology*, 330, 137-146.
- Alzamora, D., Wayne, M. H., & Han, J. (2000). Performance of SRW supported by geogrids and jet grout columns. In *Performance Confirmation of Constructed Geotechnical Facilities* (pp. 456-466).
- Han, J., & Akins, K. (2002). Use of geogrid-reinforced and pile-supported earth structures. In *Deep Foundations 2002: An International Perspective on Theory, Design, Construction, and Performance* (pp. 668-679).
- Han, J. (2021). The 3rd Robert M. Koerner Award Lecture. Geosynthetic-Reinforced Column-Supported Embankments: Bridging Theory and Practice. Geosynthetic conference.
- Iglesia, G. R., Einstein, H. H., & Whitman, R. V. (2014). Investigation of soil arching with centrifuge tests. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental engineering*, 140(2), 04013005.
- Lai, H. J., Zheng, J. J., Cui, M. J., & Chu, J. (2020). “Soil arching” for piled embankments: insights from stress redistribution behaviour of DEM modelling. *Acta Geotechnica*, 15(8), 2117-2136.
- Nobahar, M., Abu-Farsakh, M. Y., & Izadifar, M. (2024). Evaluating the mechanisms and performance of Geosynthetic-Reinforced Load Transfer Platform of pile-supported embankments design methods. *Geotextiles and Geomembranes*, 52(6), 1112-1133.
- Pham, H. V., & Dias, D. (2019). 3D numerical modeling of a piled embankment under cyclic loading. *International Journal of Geomechanics*, 19(4), 04019010.
- Pham, T. A. (2020). Analysis of geosynthetic-reinforced pile-supported embankment with soil-structure interaction models. *Computers and Geotechnics*, 121, 103438.
- Pham, T. A., Tran, Q. A., Villard, P., & Dias, D. (2021). Geosynthetic-reinforced pile-supported embankments– 3D discrete numerical analyses of the interaction and mobilization mechanisms. *Engineering Structures*, 242, 112337.
- Reid, R. A. (1993). *Conventional weapons effects on reinforced soil walls*. Georgia Institute of Technology.
- Tsukada, Y., Isoda, T., & Yamanouchi, T. (1993). Geogrid subgrade reinforcement and deep foundation improvement, Yono City, Japan. *Geosynthetics Case Histories*.
- Wang, L., Jia, H., Jiang, T., Zhang, J., Jia, Y., Li, L., & Wan, L. (2024). Novel evaluation method based on critical arch height as instability criterion for sustaining arch locked-segment-type slopes. *Scientific Reports*, 14(1), 7991.
- Zhou, Y., Chen, F., & Lin, Y. (2019). Solution for low geosynthetic-reinforced embankments subjected to localized sinkholes. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 56(1), 28-36.
- Zornberg, J. G. (2017). Functions and applications of geosynthetics in roadways. *Procedia engineering*, 189, 298-306.



ACE Geosynthetics Vietnam

Sustainable Environment

Environment, Society, Corporate Governance (ESG)

Structural Safety

Hạ Long, Quảng Ninh

Cao Bằng, Việt Nam

Cost savings

Ecological Restoration

Cẩm Phả, Quảng Ninh

Carbon Reduction

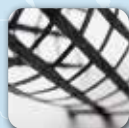
Ba Đèo, Hạ Long, Quảng Ninh

CÔNG TRÌNH TIÊU BIỂU ỨNG DỤNG VẬT LIỆU ĐỊA KỸ THUẬT



SẢN PHẨM
KỸ THUẬT
XANH

ACEGrid®



ACEMat™ R



ACETube®



ACETex®



ACEFormer™



ACEBag™



ACEPin™



ACESandbag™



Hỗ trợ khảo sát
hiện trường.



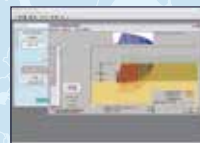
Cung cấp bản vẽ và
thuyết minh thiết kế.



Tư vấn kỹ thuật ứng
dụng sản phẩm.



Tư vấn phân tích chi
phí xây dựng.



Phần mềm chuyên nghiệp phân
tích và thiết kế công trình.



Hướng dẫn và giám
sát thi công.

DỊCH VỤ
CHUYÊN
NGHIỆP



YouTube

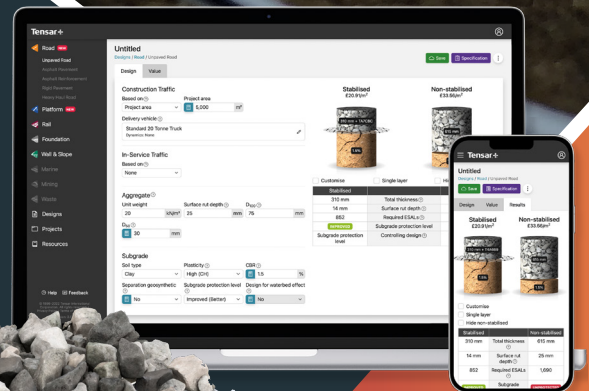


“
*Supporting you to design
& build with confidence*
”

Tensar's geogrid technology is primarily used in various application construction, reducing costs, time spent on projects and carbon emissions contributing to sustainability objectives.

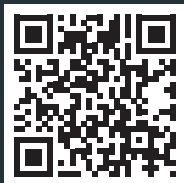
Tensar's Applications & Solutions

- ✓ Roads, Pavements & Trafficked Areas
- ✓ Reinforced Soil Retaining Walls & Slopes
- ✓ Rail Trackbed Improvement
- ✓ Foundation & Embankment Stabilisation Support
- ✓ Working Platform Design



tensar.com.vn

tensarplus.com



Tensar[®]

A free, cloud-based software to design with geogrid in a variety of applications.

Tensar InterAx[®]

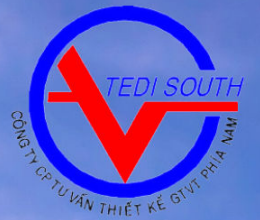
Our most advanced & best performing stabilisation geogrid.

Tensar International Limited - Vietnam Office

(Hanoi) 12th floor, MIPEC Tower, No. 229 Tay Son, Dong Da, Ha Noi, Vietnam
Tel: +84 2485 898 393

(Ho Chi Minh) 18th floor, TNG Building, No. 192 Nguyen Cong Tru, District 1, Ho Chi Minh, Vietnam
Tel: +84 0974 924 987

✉ tensarinfo-vn@cmc.com



**MASTER PLAN AND
PLANNING**

**FEASIBILITY STUDY
AND DESIGN**

TOPOGRAPHY SURVEY

**SOIL INVESTIGATION AND
GEOTECHNICAL DESIGN**

**CONSTRUCTION SUPERVISOR
CONSULTANT**

INSPECTION

TRANSPORT
ENGINEERING
DESIGN
INCORPORATED
SOUTH

SCAN ME



No 92 Nam Ky Khoi Nghia Str, Ben Nghe ward, District 1,
Ho Chi Minh City

Phone: +84 283 8299988 , Fax: +84 283 8292661

Email: tedisouth@tedisouth.vn , Website: www.tedisouth.vn



25
năm
1996-2021

- 04** Chi nhánh
- 10** Nhà máy
- 25** Năm kinh nghiệm
- 2.500** Dự án đã hoàn thành
- 655.000** Công suất sản xuất

Phan Vũ là nhà sản xuất cọc bê tông ly tâm ứng suất trước đầu tiên tại Việt Nam từ năm 1996.

Hiện nay, Phan Vũ là nhà thầu dẫn đầu về cung cấp, thi công cọc bê tông nền móng và cấu kiện bê tông đúc sẵn lắp ghép tại Việt Nam.

+84-28.22200884

Phan Vũ Group

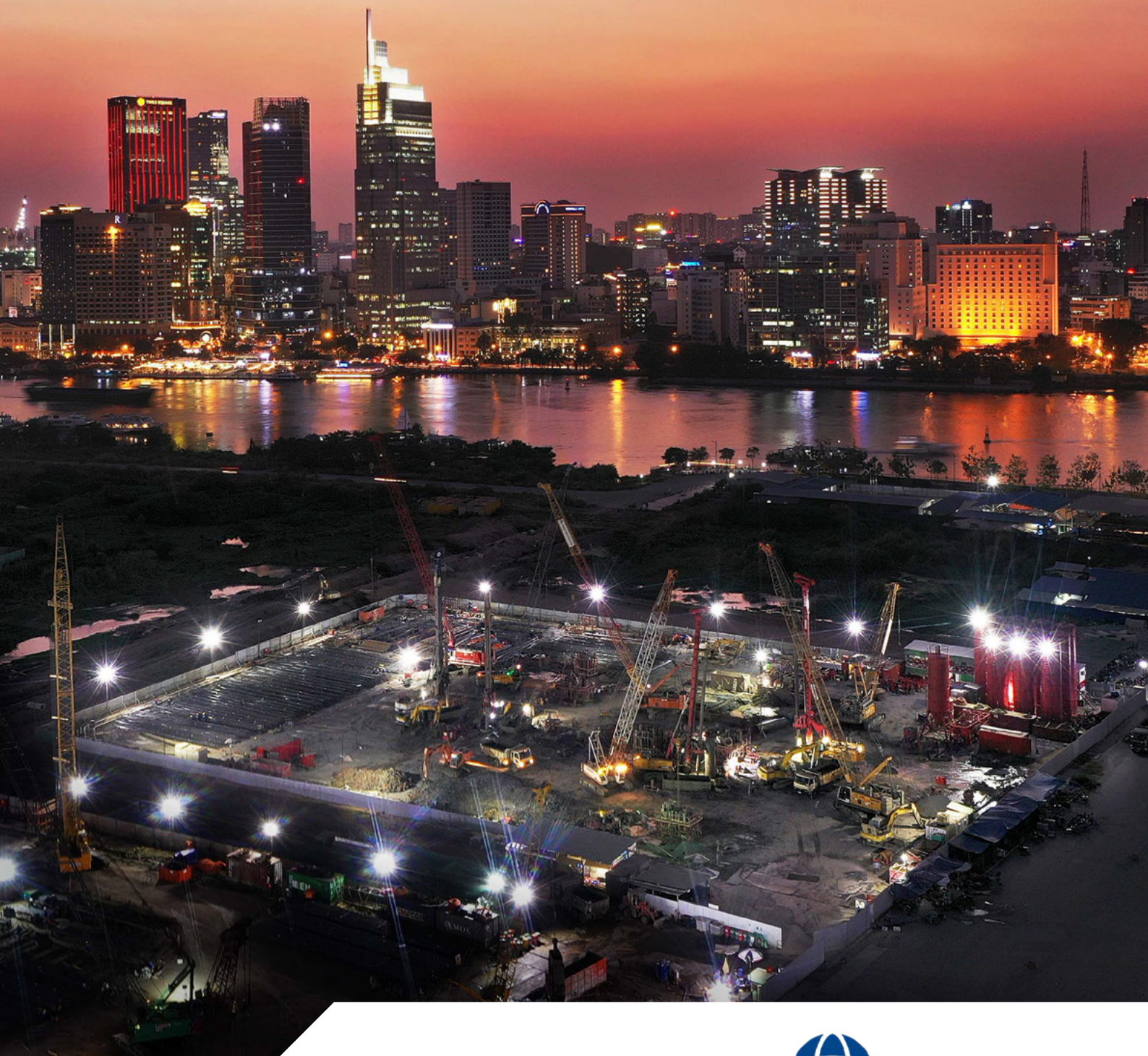
Phan Vu Group

A2 Trường Sơn, Phường 2, Quận Tân Bình

Phan Vu Group

www.phanvu.vn

CHUYÊN GIA VỀ NỀN MÓNG VÀ CÔNG TRÌNH NGẦM UNDERGROUND EXPERTISE



Để biết thêm thông tin
For more information



BACHY SOLETANCHE VIETNAM

Build on us

Fico



XI MĂNG SUPREME



Supreme Flow

Cement For Superior
Ready-mix Concrete



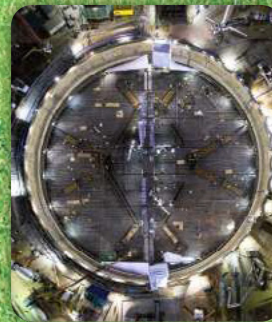
Supreme Cast

Cement For Fast
Precast Production



Supreme Unisoil

Cement For Stronger Soil



Supreme Base

Low Heat Cement
For Mass Concrete



Supreme Shield

Durability Cement That Protects
Against Sulfate and Salinity Attacks

Fico Tay Ninh Cement JSC.

Building The Foundation For The Future

📍 Floor 26, E.Town Central Building
11 Doan Van Bo, Ward 12, District 4, HCMC

☎ (+84) 28 38 212 872 / 873
🌐 <http://fico-ytl.com>



Geotech International

- ▶ Khảo sát địa chất và địa kỹ thuật
- ▶ Thiết kế, lắp đặt thiết bị quan trắc địa kỹ thuật
- ▶ Cung cấp thiết bị quan trắc địa kỹ thuật và môi trường



Công ty Geotech International Việt Nam là công ty chuyên về lĩnh vực khảo sát địa chất, địa kỹ thuật; thiết kế, cung cấp và lắp đặt hệ thống quan trắc. Công ty có kinh nghiệm làm việc cho các dự án đầu tư nước ngoài ở khu vực Đông Nam Á, đáp ứng các yêu cầu quốc tế về thiết bị, nhân lực, quy trình an toàn và chất lượng.

www.geotechinternational.com

Email: geotech@geotechinternational.com

Geotech International Australia

8 Argyle Place
Millers Point (Sydney)
NSW 2000 - Australia

Geotech International Vietnam Co Ltd

Số 11, Ngõ 59 Hoàng Cầu
Ô Chợ Dừa, Đống Đa
Hà Nội, Việt Nam



about us

HaskoningDHV Vietnam

Major port and terminal development

Artificial island & land reclamation

talk to us

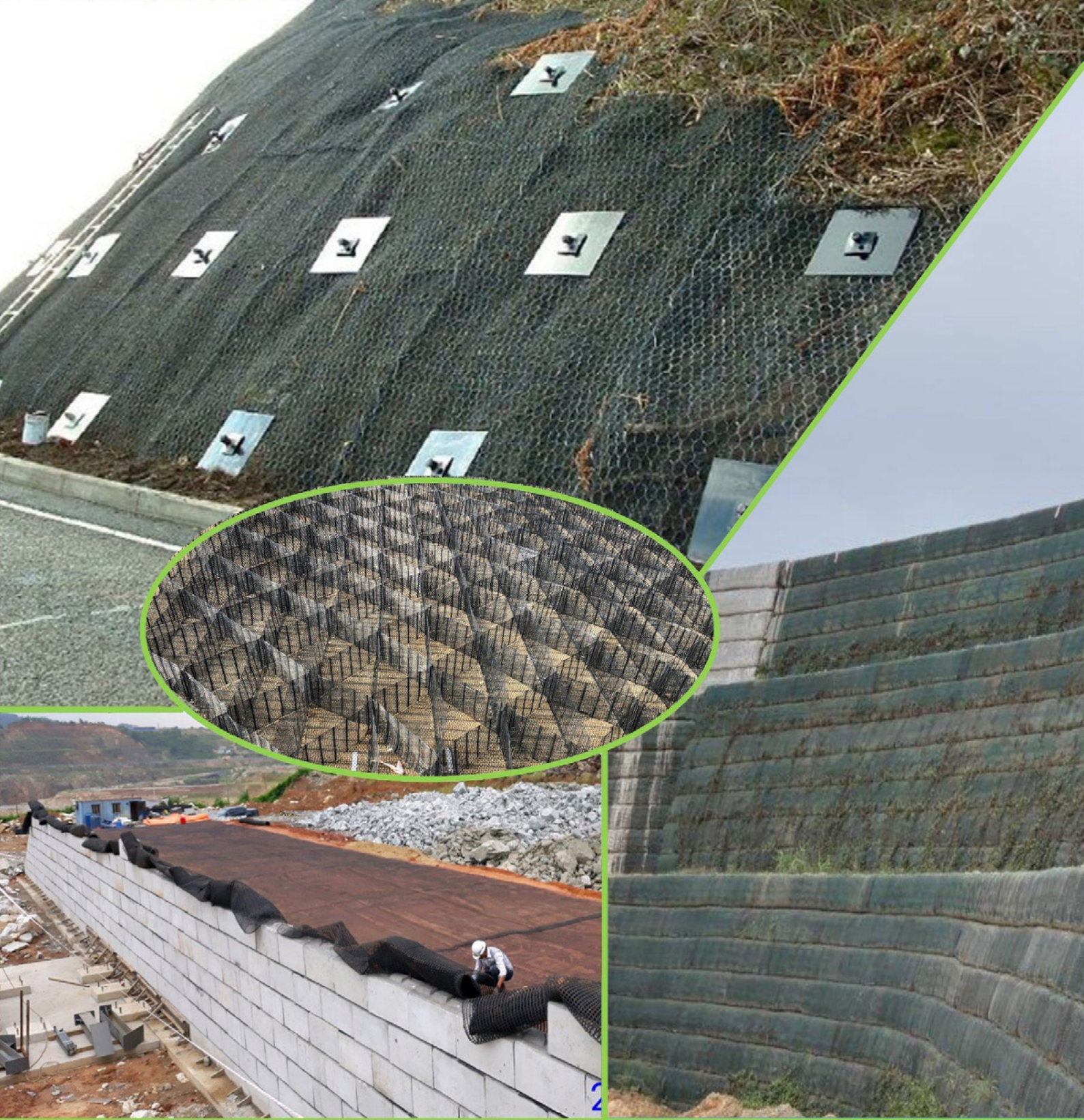


International experts and specialists in
Geotechnical / Structural / Coastal engineering

TỔNG THẦU XÂY DỰNG CÔNG NGHIỆP VÀ HẠ TẦNG



NHÀ ĐẦU TƯ UY TÍN
DỰA TRÊN NĂNG LỰC XUẤT SẮC
VỀ NỀN MÓNG VÀ CÔNG TRÌNH NGẦM



“ **HUNG VIET** Company is one of the leading pioneers in the field of Construction – Geosynthetic - Environment. With the reputation and product quality that our company is providing the market today have contributed to an increasingly green environment, cleaner and more civilized. “

HUNG VIET

BRING OPTIMAL SOLUTIONS TO YOUR PROJECT



HUNG VIET CONSTRUCTION INVESTMENT PRODUCTION., JSC
OFFICE: LK 1-54, AN HUNG AREA, HA DONG DISTRICT, HA NOI
TEL: 024.6683.8855 MOBILE: 0978.217.858
EMAIL: info@hungvietgroup.vn
WEB: www.geotech.com.vn