



DOI:10.22144/ctujos.2026.102

ĐÁNH GIÁ SỨC CHỊU TẢI CỰC HẠN CỦA CỌC BÊ TÔNG LY TÂM DỰ ỨNG LỰC TRONG ĐẤT YẾU PHƯỜNG LONG CHÂU, TỈNH VĨNH LONG THEO TIÊU CHUẨN VIỆT NAM TCVN 10304:2025

Lâm Ngọc Quý^{1*} và Trương Công Danh²

¹Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, Việt Nam

²Công ty Cổ phần Tư vấn Xây dựng Vĩnh Long, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): lamngocqui@mtu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 23/02/2026

Sửa bài (Revised): 29/04/2026

Duyệt đăng (Accepted): 19/05/2026

Title: Evaluation of the ultimate bearing capacity of prestressed spun concrete piles in soft soil at Long Chau ward, Vinh Long province based on Vietnamese Standard TCVN 10304:2025

Author(s): Lam Ngọc Quý^{1*} and Trương Công Danh²

Affiliation(s): ¹Mien Tay Construction University, Viet Nam; ²Vinh Long Construction Consulting Joint Stock Company, Viet Nam

TÓM TẮT

Trong điều kiện nền đất yếu ở khu vực tỉnh Vĩnh Long, móng cọc bê tông ly tâm dự ứng lực được sử dụng rộng rãi cho các công trình có tải trọng lớn. Tuy nhiên, sự khác biệt đáng kể giữa kết quả xác định sức chịu tải cọc theo phương pháp giải tích, thí nghiệm nền tĩnh hiện trường và các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành đã gây khó khăn trong việc lựa chọn giá trị sức chịu tải thiết kế hợp lý. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm tập trung đánh giá sức chịu tải cực hạn của cọc bê tông ly tâm dự ứng lực đường kính 0,5 m, chiều dài 47 m trong điều kiện địa chất phường Long Châu, tỉnh Vĩnh Long. Các phương pháp được áp dụng bao gồm tính toán theo tiêu chuẩn TCVN 10304:2025, việc phân tích kết quả thí nghiệm nền tĩnh cọc hiện trường và mô phỏng số được tiến hành bằng phần mềm Plaxis 3D với quy trình thi công theo giai đoạn. Kết quả nghiên cứu cho phép so sánh, đánh giá mức độ phù hợp của từng phương pháp trong ước lượng sức chịu tải cực hạn của cọc. Từ đó, phương pháp xác định sức chịu tải phù hợp với điều kiện địa chất địa phương đã được đề xuất, góp phần nâng cao tính an toàn và hiệu quả kinh tế trong thiết kế móng cọc.

Từ khóa: Cọc bê tông ly tâm dự ứng lực, đất yếu, Plaxis 3D, sức chịu tải cực hạn của cọc, thí nghiệm nền tĩnh cọc

ABSTRACT

In the soft soil conditions of Vinh Long Province, precast prestressed spun concrete piles are widely used for the foundations of heavy-load structures. However, significant discrepancies among pile bearing capacity values obtained from analytical methods, static load tests, and current design standards have made it difficult to select appropriate design capacities. This study focuses on evaluating the ultimate bearing capacity of prestressed spun concrete piles with a diameter of 0,5 m and a length of 47 m under the geological conditions of Long Chau Ward, Vinh Long Province. The applied approaches include analytical calculations in accordance with TCVN 10304:2025, interpretation of in-situ static pile load test results, and numerical simulations using PLAXIS 3D with staged construction procedures. The results enable a comprehensive comparison and assessment of the applicability of each method in estimating the ultimate pile bearing capacity. Based on the findings, a suitable approach for determining the ultimate bearing capacity of pileBs under local geological conditions is proposed, thereby improving safety and economic efficiency in pile foundation design.

Keywords: Prestressed spun concrete piles, Plaxis 3D, soft soil, static load tests, ultimate bearing capacity of pile

1. GIỚI THIỆU

1.1. Giới thiệu cọc bê tông ly tâm dự ứng lực (BTLT DUL)

Cọc BTLT DUL là một trong những loại cọc được sử dụng phổ biến trong các công trình xây dựng hiện đại có tải trọng lớn và điều kiện địa chất phức tạp. Loại cọc này được chế tạo bằng công nghệ ly tâm tốc độ cao kết hợp với cốt thép dự ứng lực, tạo ra cấu trúc bê tông đặc chắc, đồng nhất và có cường độ cao. Nhờ các đặc tính cơ học vượt trội, cọc BTLT DUL được ứng dụng rộng rãi trong các công trình nhà cao tầng, cầu, công trình ven biển và các khu vực có nền đất yếu (Phán và Thao, 2018).

Cọc BTLT DUL thường có mặt cắt tròn với đường kính phổ biến từ 0,3 m đến 1,2 m, phù hợp với nhiều yêu cầu thiết kế khác nhau. Chiều dài cọc có thể được chế tạo linh hoạt theo nhu cầu sử dụng, đáp ứng các công trình có chiều sâu móng lớn. Về cấu tạo, cọc được làm từ bê tông xi măng mác cao (thường từ M300 trở lên), kết hợp với hệ thống cốt thép dự ứng lực bố trí dọc thân cọc. Quá trình sản xuất bằng phương pháp ly tâm giúp bê tông được nén chặt, loại bỏ bọt khí, từ đó nâng cao độ đặc chắc, khả năng chịu lực và độ bền lâu dài của cọc.

Ưu điểm của cọc BTLT DUL: Cọc BTLT DUL có cường độ chịu nén cao, thường lớn hơn 30 – 50% so với cọc bê tông cốt thép (BTCT) thông thường, cho phép chịu được tải trọng lớn trong điều kiện làm việc khắc nghiệt. Nhờ cấu trúc đặc chắc, cọc ít bị nứt vỡ, có khả năng chống thấm và chống ăn mòn tốt, đặc biệt phù hợp với môi trường ven biển hoặc vùng đất yếu. Ngoài ra, việc sản xuất cọc tại nhà máy giúp kiểm soát chất lượng tốt và rút ngắn thời gian thi công tại công trường, góp phần nâng cao hiệu quả kinh tế – kỹ thuật của dự án.

Nhược điểm và phạm vi áp dụng: Bên cạnh các ưu điểm nổi bật, cọc BTLT DUL có giá thành cao hơn so với cọc BTCT thông thường do yêu cầu công nghệ sản xuất và vật liệu chất lượng cao. Kích thước và chiều dài cọc lớn cũng gây khó khăn trong công tác vận chuyển và thi công tại các khu vực có mặt bằng hạn chế hoặc nhiều chướng ngại vật. Do đó, việc lựa chọn và áp dụng cọc BTLT DUL cần được xem xét kỹ lưỡng trên cơ sở điều kiện địa chất, yêu cầu tải trọng và hiệu quả kinh tế của công trình.

1.2. Một số nghiên cứu về sức chịu tải cực hạn (SCTCH) của cọc ở Việt Nam và thế giới

Trong hơn 70 năm qua, việc nghiên cứu sức chịu tải cọc trên thế giới đã được phát triển mạnh, bắt đầu

từ giai đoạn nền tảng với các phương pháp cổ điển dựa vào cơ học đất truyền thống, sau đó phát triển sang lý thuyết sức kháng tương tác đất – cọc, các mô hình phân tích kết hợp và hiện nay đang được chuyển dịch rõ rệt sang hướng phân tích số 3D với độ tin cậy ngày càng cao.

Lý thuyết cổ điển tính toán SCTCH của cọc được hình thành từ một trong các nền tảng ban đầu là các công trình nghiên cứu kinh điển. Kết quả các nghiên cứu này đặt nền móng cho việc phân chia sức chịu tải của cọc thành sức kháng mũi và sức kháng ma sát thân, đồng thời thiết lập các công thức hình học và cơ học dùng rộng rãi đến hiện tại.

Từ thập niên 1990 đến nay, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của thí nghiệm xuyên tĩnh (CPT), thí nghiệm xuyên tĩnh có đo áp lực nước lỗ rỗng thặng dư (CPTu) và công nghệ phân tích cơ sở dữ liệu tương quan (Correlation Database), xu hướng nghiên cứu chuyển dần từ lý thuyết thuần túy sang hướng thu thập, phân tích dữ liệu thực tế và đưa ra định hướng (Randolph, 1993; Zhang et al., 2022). Kết quả các nghiên cứu này đặc biệt nhấn mạnh khả năng sử dụng kết quả xuyên tĩnh để suy luận SCTCH của cọc, thay thế dần các phương pháp dùng kết quả thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (Standard Penetration Test - SPT) hoặc dùng các hệ số kinh nghiệm chưa chuẩn hóa.

Đối với cọc BTLT DUL, kết quả nhiều nghiên cứu cho thấy sức kháng mũi thường được huy động hiệu quả hơn trong các lớp đất chặt hoặc nửa cứng, trong khi ma sát thành có xu hướng chiếm ưu thế trong các lớp đất yếu như sét mềm hoặc bùn (Thanh et al., 2024). Bên cạnh đó, ảnh hưởng của chiều sâu chôn cọc cũng được ghi nhận là yếu tố quan trọng; tại các độ sâu lớn, giá trị sức kháng đơn vị thường đạt trạng thái bão hòa và được khống chế theo quy định tiêu chuẩn nhằm tránh đánh giá quá cao sức chịu tải (Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 2025).

Bên cạnh các nghiên cứu riêng lẻ, Prakash and Sharma (1990) đã hệ thống hóa các vấn đề lý thuyết và thực hành liên quan đến thiết kế – thi công móng cọc, bao gồm việc phân tích ảnh hưởng của điều kiện đất nền, chiều sâu chôn cọc, SCTCH và biến dạng của cọc dưới các dạng tải trọng khác nhau. Nội dung tài liệu này đặc biệt nhấn mạnh tầm quan trọng của việc lựa chọn loại cọc, phương pháp thi công và quy trình thí nghiệm kiểm tra phù hợp với điều kiện địa chất cụ thể, nhằm đảm bảo vừa an toàn, vừa kinh tế cho nền móng cọc. Ngoài ra, các nội dung về phương pháp thử tải, thiết bị đo đạc, đánh giá sự cố và đề xuất giải pháp giảm thiểu rủi ro đã cung cấp

cơ sở tham khảo thực tiễn quan trọng cho các nghiên cứu và ứng dụng về móng cọc trong điều kiện thi công thực tế.

Tại Việt Nam, các phương pháp xác định sức chịu tải cọc đã được tiếp cận khá đầy đủ so với thế giới, tuy nhiên mức độ áp dụng thực tiễn có khác biệt đáng kể giữa lý thuyết, tiêu chuẩn thiết kế và dữ liệu thực nghiệm tại hiện trường. Trong giai đoạn đầu, các phương pháp truyền thống theo các tiêu chuẩn cũ chủ yếu được xây dựng dựa vào cơ học đất cơ bản và hệ số kinh nghiệm. Tuy nhiên, cùng với sự phát triển của khoa học địa kỹ thuật và nhu cầu tính toán có độ tin cậy cao hơn, đặc biệt trong điều kiện đất yếu vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), xu hướng nghiên cứu và ứng dụng tại Việt Nam đã dịch chuyển mạnh từ năm 2015 trở lại đây.

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước khi được thực hiện đã tập trung vào việc xác định sức chịu tải của cọc thông qua thí nghiệm và mô hình phân tích nhằm nâng cao độ tin cậy trong thiết kế nền móng công trình. Cường và Quyền (2016) đã áp dụng phương pháp Lizzi kết hợp mô hình t-z để dự báo quan hệ tải trọng – độ lún của cọc dựa trên kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc tiết diện thu nhỏ. Thông qua việc xử lý và phân tích số liệu, nhóm nghiên cứu đã ngoại suy được sức chịu tải của cọc có tiết diện lớn hơn, chứng minh khả năng sử dụng mẫu cọc nhỏ trong nghiên cứu nếu áp dụng mô hình hợp lý. Kết quả cho thấy mô hình t-z cung cấp kết quả dự báo chính xác hơn so với phương pháp Lizzi (Lizzi, 1983), đặc biệt trong điều kiện địa chất và thi công thực tế tại Việt Nam.

Trong các nghiên cứu thực nghiệm về xác định sức chịu tải cọc, thí nghiệm nén tĩnh được nhiều tác giả sử dụng như một phương pháp chủ đạo nhằm phản ánh sát điều kiện làm việc thực tế của cọc. Tiêu biểu, Đạo (2010) đã áp dụng thí nghiệm nén tĩnh cọc BTCT tiết diện 30×30 tại công trình Kho bạc Nhà nước Kon Tum để xác định sức chịu tải cọc, đồng thời việc phân tích sự riêng biệt sức kháng mũi và sức kháng bên trên các loại nền đất khác nhau cũng đã được tiến hành, qua đó làm rõ mối tương tác phi tuyến giữa đất nền và cọc phục vụ tính toán sức chịu tải (SCT) và kiểm soát chuyển vị. Trên cơ sở tiếp cận tương tự, Hiếu (2023) cũng đã sử dụng thí nghiệm nén tĩnh để xác định SCT của cọc và so sánh với các phương pháp thí nghiệm động cũng như phân tích lý thuyết, qua đó khẳng định tính ưu việt của thí nghiệm nén tĩnh trong đánh giá sức chịu tải cọc và cung cấp cơ sở thực nghiệm tin cậy cho công tác thiết kế nền móng.

Một hướng phân tích khác được tác giả Sơn (2017) đề xuất là xác định sức chịu tải giới hạn của cọc dựa trên dữ liệu thí nghiệm nén tĩnh chưa đạt tải trọng cực hạn. Thông qua các phương pháp Offset Limit, Brinch Hansen (80 – 90%), Chin-Kondner, Decourt, De Beer và Mazurkiewicz, nghiên cứu trên cọc BTCT 40×40 tại Dự án Khí – Điện – Đạm Cà Mau cho thấy việc phân tích dữ liệu chi tiết có thể thay thế việc dựa hoàn toàn vào hồ sơ thiết kế. Ngoài ra, Sơn và Huyền (2017), Sơn (2017) cũng đã chỉ ra mối tương quan giữa kết quả thí nghiệm PDA (Pile Dynamic Analysis) và thí nghiệm nén tĩnh, điều này khẳng định khả năng áp dụng phương pháp PDA như một công cụ kiểm định về khả năng chịu tải của cọc hiệu quả, tiết kiệm thời gian và chi phí.

1.3. Xu hướng nghiên cứu hiện nay và định hướng phù hợp cho điều kiện Việt Nam – đặc biệt khu vực tỉnh Vĩnh Long

Ở giai đoạn hiện đại, phương pháp phần tử hữu hạn ba chiều (Finite Element Method – FEM 3D) và các kỹ thuật mô phỏng số có độ chính xác cao đã trở thành xu hướng chủ đạo trong nghiên cứu sức chịu tải cọc. Kết quả nhiều công trình quốc tế chỉ ra rằng mô hình 3D mô phỏng tốt hơn sự lan truyền biến dạng không gian xung quanh cọc, kể cả trong điều kiện đất sét yếu, nhờ xét đầy đủ tương tác không gian giữa đất và cọc. Từ sau năm 2020, xu thế nghiên cứu được phát triển tập trung vào việc đánh giá SCTCH thông qua sự kết hợp giữa kết quả thử tĩnh cọc ngoài hiện trường và mô hình số để ước lượng trạng thái phá hoại giới hạn của cọc.

Trong giai đoạn 2020 – 2025, việc thực hiện các nghiên cứu về SCTCH của cọc trên thế giới có xu hướng tăng cường độ tin cậy của giá trị sức chịu tải bằng cách tích hợp dữ liệu thực nghiệm với mô hình số 3D. Nhiều nhóm nghiên cứu quốc tế đã xây dựng và khai thác cơ sở dữ liệu lớn từ thí nghiệm xuyên CPT (CPT Database), kết hợp thiết kế dựa trên độ tin cậy (reliability-based design) và các mô hình dự báo bằng máy học (Machine Learning) để đánh giá SCT của cọc BTCT đúc sẵn và cọc BTLT DUL. Trong bối cảnh đó, Plaxis 3D là một trong những nền tảng FEM phổ biến để phân tích sức chịu tải cọc, nhờ khả năng mô phỏng chi tiết tương tác đất – cọc – móng theo không gian và hỗ trợ đầy đủ bài toán thi công theo giai đoạn (staged construction).

Tại Việt Nam, đặc biệt khu vực ĐBSCL, điều kiện thiết kế có những đặc thù khác biệt so với bối cảnh quốc tế. Hồ sơ khảo sát địa chất thường không cung cấp đầy đủ bộ thông số biến dạng phục vụ mô hình Hardening Soil (HS/HSS), như (E_{50} , E_{ur} , E_{oed} , m , p^{ref} ...),... mà chủ yếu dừng ở các thông số cơ bản:

(γ_c, ϕ, E và ν) được xác định từ thí nghiệm nén cố kết không nở hông ($E_{\text{oedometer}}$) và thí nghiệm cắt trực tiếp. Do đó, mô hình Mohr–Coulomb vẫn là lựa chọn phù hợp cho bước tính toán FEM phục vụ thiết kế thực hành trong giai đoạn thiết kế sơ bộ như hiện nay.

Bên cạnh đó, thí nghiệm nén tĩnh cọc ở Việt Nam thường được thực hiện trên các cọc kiểm tra nhằm để cọc không bị phá hoại, có thể được sử dụng lại trong công trình mà vẫn đảm bảo sức chịu tải thiết kế của cọc. Vì vậy, việc đánh giá SCTCH vẫn phụ thuộc nhiều vào nội suy, quy đổi hoặc giả thiết, tạo ra khoảng sai lệch giữa giá trị lý thuyết và khả năng làm việc thực tế của cọc.

Trong bối cảnh đó, phần mềm Plaxis 3D V23 mang lại lợi thế đáng kể cho bài toán đánh giá SCTCH của cọc. Phần mềm cho phép mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh cọc theo trình tự thi công theo giai đoạn (Staged Construction) nhưng có thể tiếp tục gia tải vượt giới hạn mà thực tế không thể thực hiện, do không ảnh hưởng đến cọc thật. Đây là cơ sở để ước lượng SCTCH theo mô phỏng mà không cần thí nghiệm phá hoại, đồng thời đánh giá chi tiết sự phát triển biến dạng và phân bố ứng suất trong khối đất nền.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Việc TCVN 10304:2025 (Bộ Khoa học và Công nghệ, 2025) được ban hành đã tạo ra bước ngoặt quan trọng trong thiết kế móng cọc tại Việt Nam. Tiêu chuẩn mới tiếp cận gần hơn với xu hướng quốc tế khi giảm phụ thuộc vào hệ số kinh nghiệm, tăng cường cơ sở lý thuyết và xét đầy đủ hơn tương tác đất – cọc, ứng dụng mô hình số 3D và các kết quả thí nghiệm tại hiện trường có tính kiểm chứng. Trên cơ sở đó, một hướng tiếp cận có giá trị ứng dụng cao đối với cọc và móng cọc BTCT trong điều kiện đất yếu khu vực Vĩnh Long có thể được định hình như sau:

- Tính toán SCTCH theo chỉ tiêu vật lý và theo thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (SPT) theo TCVN 10304:2025.

- Kết hợp TCVN 10304:2025 và TCVN 9393:2012 để ước lượng SCTCH bằng mô hình Plaxis 3D V23 với mô hình đất Mohr–Coulomb.

- Đối chiếu, hiệu chỉnh và đánh giá tương quan với hồ sơ thí nghiệm nén tĩnh cọc thực tế của công trình đã thi công.

- Định hướng kỹ thuật ứng dụng này có thể nâng cao chất lượng thiết kế, tối ưu kích thước và chiều dài cọc, đồng thời giảm rủi ro trong dự báo

sức chịu tải trong điều kiện đất yếu điển hình ở tỉnh Vĩnh Long nói riêng và vùng ĐBSCL nói chung. Trong các khu vực có chiều dày lớp đất yếu lớn (20 – 40 m), việc mô phỏng số trở nên đặc biệt hữu ích để đánh giá sự phát triển biến dạng theo chiều sâu và cơ chế lan truyền ứng suất trong không gian, phù hợp với xu thế nghiên cứu quốc tế và dạng cọc ép BTCT đang sử dụng phổ biến trong thực tế thi công.

2.1. Xác định sức chịu tải của cọc theo chỉ tiêu vật lý của đất nền (TCVN 10304:2025)

Theo “Mục 7.2.2.1 TCVN 10304 :2025”, SCTCH của cọc theo chỉ tiêu vật lý (R_k^{CL}) được xác định theo (1):

$$R_k^{CL} = \gamma_c \times \left(\gamma_{R,R} \times q_b \times A + u \sum \gamma_{R,f} \times f_i \times h_i \right) \quad (1)$$

Trong đó,

γ_c – hệ số điều kiện làm việc của cọc trong đất
 $\gamma_c = 1$;

$\gamma_{R,R}; \gamma_{R,f}$ – các hệ số điều kiện làm việc của đất nền dưới mũi cọc và trên mặt bên thân cọc tương ứng, xét đến ảnh hưởng của phương pháp hạ cọc đến sức kháng của đất, lấy theo Bảng 4 - TCVN 10304:2025;

q_p – sức kháng đơn vị của đất nền dưới mũi cọc (kPa); lấy theo Bảng 2 - TCVN 10304:2025;

A – diện tích tựa lên đất của cọc (m²), lấy bằng diện tích tiết diện ngang nguyên của cọc;

u – chu vi ngoài của tiết diện ngang thân cọc (m);

f_i – sức kháng đơn vị của lớp đất nền thứ i trên mặt bên thân cọc (kPa), được xác định theo Bảng 3 - TCVN 10304:2025;

h_i – chiều dày của lớp đất thứ i tiếp xúc với mặt bên thân cọc (m).

2.2. Xác định sức chịu tải của cọc theo thí nghiệm SPT (TCVN 10304:2025)

Theo “Phụ lục D, TCVN 10304 :2025”, SCTCH của cọc theo thí nghiệm SPT (R_k^{SPT}) được xác định theo (2):

$$R_k^{SPT} = R_{u,b} + R_{u,f} \quad (2)$$

Với, $R_{u,fs} = f_s \times L_s \times u$; $R_{u,fc} = f_c \times L_c \times u$

$R_{u,b}$ – sức chịu tải giới hạn của cọc theo đất dưới mũi cọc (kN),

q_b – sức kháng đơn vị của đất dưới mũi (kN/m²), tra bảng D.1, TCVN 10304:2025,

A – diện tích tiết diện ngang của cọc (m²),

$R_{u,f}$ – sức chịu tải giới hạn của cọc theo đất trên mặt bên thân cọc (kN),

$R_{u,fs}$ – sức chịu tải giới hạn của cọc theo đất rời trên mặt bên thân cọc (kN),

$R_{u,fc}$ – sức chịu tải giới hạn của cọc theo đất dính trên mặt bên thân cọc (kN),

f_s – sức kháng đơn vị của đất rời trên mặt bên thân cọc (kN/m²),

f_c – sức kháng đơn vị của đất dính trên mặt bên thân cọc (kN/m²),

L_s là chiều dài đoạn cọc nằm trong đất rời (m),

L_c là chiều dài đoạn cọc nằm trong đất dính (m),

u là chu vi tiết diện cọc (m).

2.3. Xác định sức chịu tải của cọc theo kết quả mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 3D (TCVN 10304:2025)

Theo “Mục 7.1.6.1 TCVN 10304:2025”, SCTCH của cọc được xác định bằng tính toán có sử dụng các phần mềm chuyên dụng dựa trên mô hình số. Trong bài báo này, giá trị SCTCH theo kết quả được mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 3D (R_k^{PLX}), (kN) được xác định theo (3):

$$R_k^{PLX} = \sum M_{stage} \times P_{nen} \quad (3)$$

Bảng 1. Thông số đầu vào của cọc và tấm thép đầu cọc trong Plaxis 3D

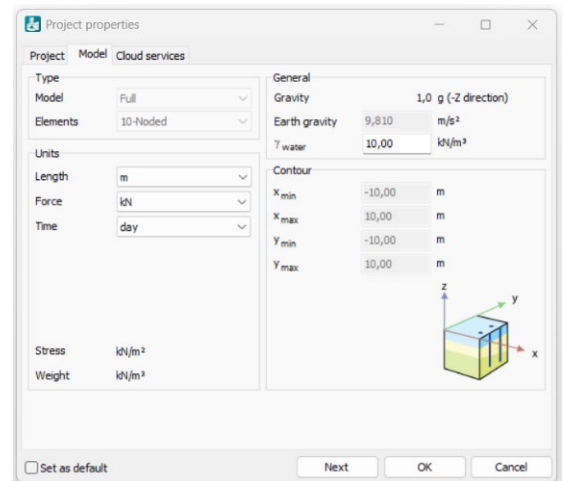
Thông số	Kí hiệu	Đơn vị	Cọc	Tấm thép
Loại phần tử	Set Type		Soil & interfaces	Plate
Mô hình vật liệu	Material type	-	Elastic	Elastic
Kiểu thoát nước			Non-porous	
Chiều dày	d	m	-	0,01
Trọng lượng riêng	γ	kN/m ³	25	78,5
Mô đun Young	E	kN/m ²	39,5E6	21E7
Hệ số poisson	ν	-	0,2	0,3

Với,

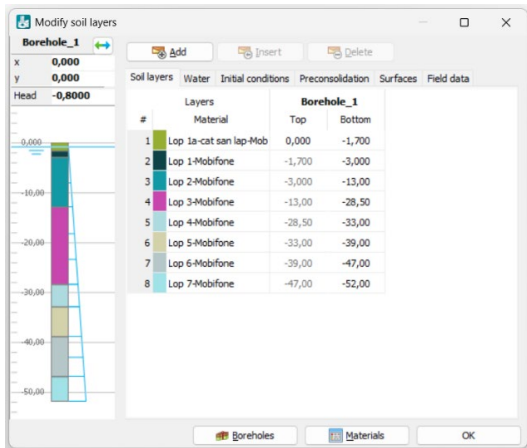
$\sum M_{stage}$ – hệ số nhân tải trọng được xác định từ biểu đồ quan hệ giữa hệ số nhân tải trọng và chuyển vị theo phương đứng,

P_{nen} – cấp tải được áp dụng trong giai đoạn tính toán (kN).

Cọc BTLT DUL được mô phỏng bằng phần tử Volume pile, mô phỏng chính xác nhất cho cọc vì thể hiện được đầy đủ kích thước cọc thực tế. Sự kết hợp với việc tạo phần tử tiếp xúc xung quanh và đáy cọc (interface) giúp thể hiện rõ sự làm việc đồng thời giữa đất – cọc. Tấm thép đệm đầu cọc được mô phỏng bằng phần tử Plate. Các thông số về cọc và tấm thép đệm đầu cọc được trình bày như Bảng 1.

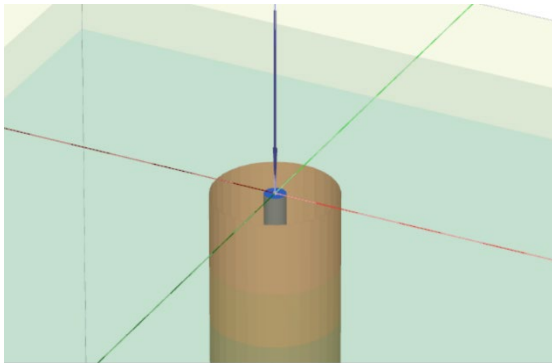


Hình 1. Thiết lập mô hình tổng thể



Hình 2. Khai báo hình trụ hố khoan

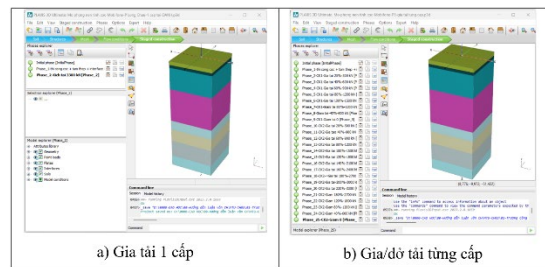
Các bước mô phỏng nén tĩnh cọc bằng phần mềm Plaxis 3D được thể hiện qua các Hình 1 đến Hình 5.



Hình 3. Mô hình cọc, tấm thép đệm đầu cọc, các phần tử tiếp xúc



Hình 4. Kết quả chia lưới phần tử



a) Gia tải 1 cấp

b) Gia/dỡ tải từng cấp

Hình 5. Các bước gia tải

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

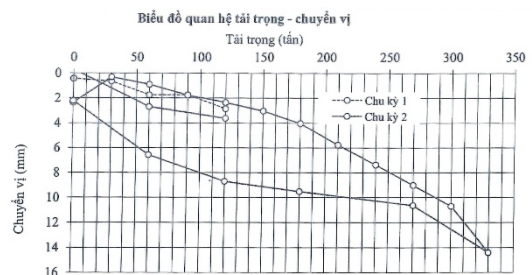
Dựa vào hồ sơ khảo sát địa chất tại Dự án “Đầu tư xây dựng Tòa nhà điều hành Viễn thông Mobifone Vĩnh Long” thuộc khu vực Phường Long Châu, tỉnh Vĩnh Long. Việc tính toán sức chịu tải của cọc theo phương pháp giải tích dựa trên tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10304:2025 và mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm Plaxis 3D V23. Các thông số địa chất và mô hình vật liệu trong mô phỏng Plaxis 3D V23 được trình bày như Bảng 2.

Bảng 2. Thông số địa chất và mô hình các lớp đất trong Plaxis 3D

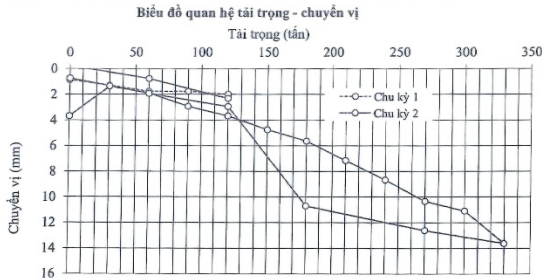
Chỉ tiêu cơ lý	Ký hiệu	Đơn vị	Các lớp đất							
			1a - cát san lấp	1 - Bùn sét trạng thái chảy	2 - Bùn sét pha kẹp cát, trạng thái dẻo chảy	3 - Bùn sét pha kẹp cát, trạng thái dẻo chảy	4 - Sét pha, trạng thái dẻo mềm	5 - Sét, trạng thái dẻo mềm	6 - Sét pha, trạng thái dẻo cứng - nửa cứng	7 - Cát pha, chặt đến rất chặt
Mô hình	Model	-	M-C	M-C	M-C	M-C	M-C	M-C	M-C	M-C
Ứng xử của đất	Type	-	Drained	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Drained
Cao độ lớp	L	m	0,0	-1,7	-3,0	-13,0	-28,5	-33,0	-39,0	-47,0
Dung trọng	γ_{unsat}	kN/m ³	19,0	15,1	17,4	15,4	18,3	18,6	18,6	19,5
Hệ số Poisson	ν	-	0,30	0,31	0,27	0,30	0,28	0,30	0,28	0,40
Module biến dạng	E_{oed}	kPa	3000	680	1970	750	2820	2160	3430	7780
Lực dính kết	c	kN/m ²	1,0	4,2	5,3	5,1	14,2	15,2	18,0	7,0
Góc ma sát trong	ϕ	(độ)	30,0	3,8	8,8	5,0	10,7	11,4	14,4	26,3
Độ sét I_L			-	1,57	0,80	0,85	0,59	0,53	0,35	-
Hệ số giảm cường độ bề mặt	R_{inter}	-	1	1	1	1	1	1	1	1

3.1. Kết quả tính toán và mô phỏng

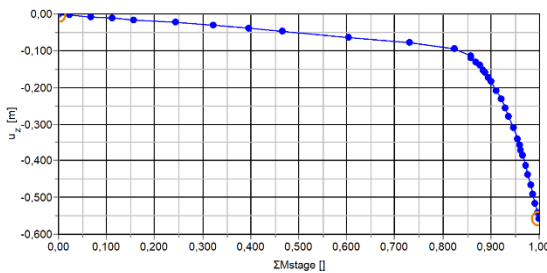
Sức chịu tải thiết kế theo hồ sơ nén tĩnh cọc là 1500 kN và giá trị tải trọng thí nghiệm giới hạn là 3300 kN. Thí nghiệm nén tĩnh cọc cho ra biểu đồ quan hệ giữa tải trọng và chuyển vị được thể hiện như Hình 6 và Hình 7. Cọc có đường kính 0,5 m, chiều dài cọc theo thiết kế là 47 m.



Hình 6. Biểu đồ quan hệ tải trọng – chuyển vị (Cọc P3-NT1)



Hình 7. Biểu đồ quan hệ tải trọng – chuyển vị (Cọc P2-NT2)

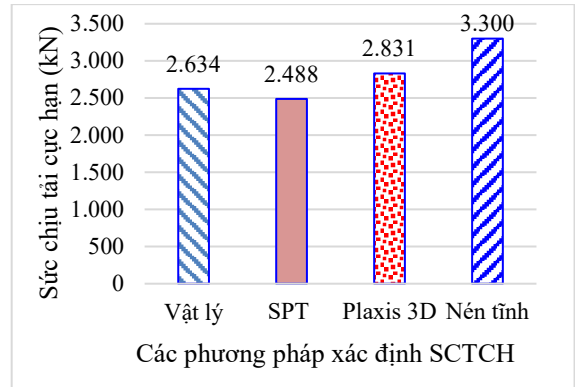


Hình 8. Biểu đồ quan hệ chuyển vị - hệ số nhân tải trọng

Bảng 3. Giá trị sức chịu tải cọc theo các phương pháp

Phương pháp tính toán và mô phỏng		Thí nghiệm nén tĩnh cọc	
Theo các chỉ tiêu	SCTC H (kN)	SCT thiết kế (Rd) (kN)	SCTC H (kN)
Chỉ tiêu vật lý	2634		
Thí nghiệm SPT	2488	1500	3300
Plaxis 3D	2831		

Kết quả tính toán cho cọc điển hình (P3-NT1) theo các phương pháp giải tích và mô phỏng được trình bày như Bảng 3 và Hình 9. Trong đó, giá trị SCTCH của cọc được xác định bằng mô phỏng Plaxis 3D cho biểu đồ quan hệ giữa chuyển vị và hệ số nhân tải trọng như Hình 8. Việc kết hợp với Mục E.2, Phụ lục E – TCVN 9393:2012 (Bộ Khoa học và Công nghệ, 2012) cho thấy giá trị SCTCH của cọc được xác định bằng phương pháp đồ thị với trường hợp tại điểm trên đường cong có độ dốc thay đổi đột ngột.



Hình 9. Biểu đồ so sánh giá trị SCTCH của cọc theo các phương pháp

3.2. Thảo luận

Biểu đồ Hình 9 cho thấy SCTCH của cọc được xác định theo bốn phương pháp gồm: phương pháp dựa trên chỉ tiêu cơ lý (vật lý), thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn SPT, mô phỏng số bằng Plaxis 3D và thí nghiệm nén tĩnh cọc. Các giá trị thu được lần lượt là 2.624 kN, 2.488 kN, 2.831 kN và 3.300 kN, thể hiện sự khác biệt đáng kể giữa các phương pháp tính toán.

Kết quả xác định SCTCH của cọc theo SPT cho giá trị nhỏ nhất 2.488 kN. Nguyên nhân chủ yếu là do khu vực nghiên cứu có lớp đất yếu phân bố với chiều dày lớn (trên 30 m), chỉ số SPT nhỏ, phản ánh khả năng chịu lực thấp của nền đất.

Đối với phương pháp dựa trên các chỉ tiêu vật lý của đất nền, giá trị SCTCH đạt khoảng 2.634 kN, cao hơn so với phương pháp SPT. Kết quả này phản ánh khả năng chịu tải được xác định từ các thông số đất thu được qua thí nghiệm trong phòng và hiện trường, sau đó đưa vào các công thức lý thuyết hoặc bán kinh nghiệm. Tuy nhiên, do các chỉ tiêu cơ lý thường được xác định trên mẫu đất có quy mô nhỏ và trong điều kiện lý tưởng, nên chưa phản ánh đầy đủ trạng thái ứng suất – biến dạng thực tế của khối đất nền, cũng như ảnh hưởng của quá trình thi công cọc. Vì vậy, kết quả theo phương pháp này vẫn còn sai lệch nhất định so với giá trị thực tế.

Kết quả phân tích bằng mô hình số, cụ thể là dùng phần mềm Plaxis 3D đạt khoảng 2.831 kN và là giá trị gần nhất với kết quả thí nghiệm nén tĩnh cọc (3300 kN). Nguyên nhân chủ yếu là do mô hình số đã xét đến tương tác cọc – đất nền trong không gian ba chiều, bao gồm sự phân bố ứng suất, biến dạng, ma sát thành cọc, sức kháng mũi và quá trình phát triển vùng dẻo xung quanh cọc. Bên cạnh đó, quá trình gia tải được mô phỏng theo từng cấp tương

tự thí nghiệm thực tế, giúp phản ánh tương đối chính xác cơ chế làm việc và phá hoại của cọc trong nền đất yếu. Do đó, khi các thông số đầu vào được lựa chọn và hiệu chỉnh hợp lý, kết quả từ Plaxis 3D có độ tin cậy cao.

4. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, việc so sánh SCTCH của cọc đã được thực hiện theo bốn phương pháp: chỉ tiêu cơ lý của đất nền, SPT, mô phỏng số bằng Plaxis 3D và thí nghiệm nén tĩnh cọc. Kết quả cho thấy các phương pháp cho giá trị khác nhau, trong đó SPT cho giá trị thấp nhất, Plaxis 3D cho kết quả gần với thí nghiệm nén tĩnh hơn so với các phương pháp tính toán truyền thống.

Đối với khu vực có lớp đất yếu dày và chỉ số SPT thấp, phương pháp SPT không nên được sử dụng như cơ sở duy nhất để xác định sức chịu tải cọc. Phương pháp dựa trên chỉ tiêu cơ lý có thể dùng cho tính toán sơ bộ, nhưng cần được kiểm chứng bằng số liệu hiện trường. Kết quả mô phỏng Plaxis 3D cho thấy khả năng phản ánh tốt hơn cơ chế tương tác cọc – đất nền, đặc biệt khi mô hình được hiệu chỉnh theo kết quả thí nghiệm nén tĩnh.

Kết quả nghiên cứu khẳng định sự cần thiết của việc kết hợp giữa tính toán theo tiêu chuẩn, thí nghiệm hiện trường và mô hình số trong đánh giá sức chịu tải cọc. Trong thực hành thiết kế, thí nghiệm nén tĩnh nên được xem là cơ sở kiểm chứng chính, trong khi mô phỏng số có thể được sử dụng như công cụ hỗ trợ để phân tích, hiệu chỉnh và tối ưu hóa giải pháp móng cọc trong điều kiện nền đất yếu.

5. HẠN CHẾ CỦA NGHIÊN CỨU

Việc thực hiện nghiên cứu này vẫn còn một số hạn chế nhất định. Thứ nhất, trong mô phỏng số bằng Plaxis 3D, các thông số sức chống cắt không thoát nước được lấy từ thí nghiệm cắt trực tiếp có thể chưa phản ánh chính xác trạng thái ứng xử thực tế của đất, tuy nhiên do điều kiện thí nghiệm tại khu vực nghiên cứu còn hạn chế, tác giả buộc phải sử dụng số liệu từ hồ sơ khảo sát địa chất. Thứ hai, việc đánh giá và đối chiếu kết quả còn gặp khó khăn do chưa có nhiều nghiên cứu tương tự để so sánh, đặc biệt trong bối cảnh tiêu chuẩn TCVN 10304:2025 vừa xuất bản gần đây, chưa được áp dụng rộng rãi và thí nghiệm nén tĩnh tại khu vực nghiên cứu với cùng kích thước cọc không nhiều. Những hạn chế này phần nào ảnh hưởng đến mức độ tổng quát hóa và độ chính xác của kết quả nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam. (2012). *TCVN 9393:2012 – Cọc – Phương pháp thí nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục*. <https://tieuchuan.vsqi.gov.vn/tieuchuan/view?sohieu=TCVN%209393:2012>
- Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam. (2025). *TCVN 10304:2025 – Thiết kế móng cọc*. <https://tieuchuan.vsqi.gov.vn/tieuchuan/view?sohieu=TCVN%2010304:2025>
- 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.
- Đào, 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). <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-23>
- Lizzi, F. (1983). Ultimate bearing capacity of friction piles calculated from load tests on pilot piles. *Ground Engineering*, 16(5), 41-45.
- 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.
- Randolph, M. F. (1993). Design of driven piles in sand. *Geotechnique*, 43, 187-199.
- Prakash, S., & Sharma, H. D. (1990). *Pile foundation in Engineering Practice*. A Wiley Interscience Publication, Inc.
- Son, 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 Số 19/2016*, 328-338. *Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam – Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Thành phố Hồ Chí Minh*.
- Son, B. T. & Huyền, P. C. (2017). Khả năng chịu tải của cọc từ kết quả thử động biến dạng lớn (PDA) và nén tĩnh. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, 34, 45-50.
- 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. <https://doi.org/10.3390/geotechnics4020025>
- Zhang, F., Iskander, M., & Hussein, A. (2022). Data-driven CPT based prediction of pile capacity using machine learning. *Computers and Geotechnics*, 139, 104-117.