

Đánh giá sức chịu tải và độ lún của móng cọc bê tông cốt thép tiết diện nhỏ trên nền địa chất khu vực huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long

Evaluation of bearing capacity and settlement of small-section reinforced concrete pile foundation on soft clay soil.

ThS. Lê Trọng Nhân^{1,*}

¹ Ban Quản lý dự án Đầu tư Xây dựng huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long;

* Tác giả liên hệ: letrongnhanbql@gmail.com

■ Nhận bài: 14/08/2024 ■ Sửa bài: 17/10/2024 ■ Duyệt đăng: 02/01/2025

TÓM TẮT

Ở khu vực Đồng Bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL), các công trình xây dựng thường đặt trên nền sét yếu. Các biện pháp phổ biến để gia cố nền đất dưới móng của các công trình vừa và nhỏ nói chung là các biện pháp cơ học. Trong đó thường gặp nhất là sử dụng các loại cọc như: cọc tre, cọc tràm và gần đây nhất là thường sử dụng loại cọc bê tông cốt thép (BTCT) tiết diện nhỏ. Nội dung của bài báo sử dụng phần mềm Plaxis 3D để nghiên cứu tính toán và phân tích sức chịu tải, độ lún của móng cọc bê tông cốt thép tiết diện nhỏ để kết hợp so sánh với kết quả nén tĩnh cọc hiện trường nhằm tìm ra chiều dài tối ưu của cọc BTCT tiết diện nhỏ trong nền đất yếu này. Kết quả nghiên cứu cho thấy, đối với khu vực địa chất yếu ở huyện Vũng Liêm thì độ lún của móng cọc 3m thỏa độ lún giới hạn cho phép nên có thể chấp nhận được thay vì phải sử dụng móng cọc dài 6m. Điều này đem lại hiệu quả về kinh tế cho chủ đầu tư và dễ dàng hơn trong quá trình thi công.

Từ khóa: cọc BTCT tiết diện nhỏ, đất yếu, gia cố nền, Plaxis, sức chịu tải.

ABSTRACT

In the Mekong Delta, construction works are often placed on soft clay. Common measures to reinforce the ground under the foundation of medium and small-sized works are generally mechanical. The most common of these is the use of piles such as bamboo piles, cajuput piles, and, most recently, small-section reinforced concrete piles. The content of the article uses Plaxis 3D software to study, calculate, and analyze the bearing capacity and settlement of small-section reinforced concrete pile foundations to combine and compare with the pile's static compression results of the field piles to find the optimal length of small-section reinforced concrete piles in this weak ground. The research results show that, for the weak geological area in Vung Liem district, the settlement of the pile foundation with a pile length of 3m meets the allowable settlement limit, so it is acceptable instead of having to use a pile foundation with a pile length of 6m. This brings economic efficiency to investors and makes construction easier.

Keywords: small-section reinforced concrete piles, soft clay, reinforce the ground, Plaxis, bearing capacity.

1. GIỚI THIỆU

1.1. Lịch sử phát triển của cọc BTCT tiết diện nhỏ [1]

Trong những năm đầu của thập kỷ 1950, tại Italia, sự xuất hiện của cọc siêu nhỏ đã làm

thay đổi cảnh quan trong ngành xây dựng. Xuất phát từ nhu cầu cải tiến kỹ thuật trong việc xây dựng lại các tòa nhà và công trình tưởng niệm lịch sử đã bị hư hỏng sau thời gian dài, đặc biệt là sau Chiến tranh thế giới thứ hai. Trong bối cảnh này, việc xây dựng

hệ thống móng vững chắc trở thành một ưu tiên hàng đầu, yêu cầu phải đối phó với các tải trọng kết cấu mà vẫn giữ được độ chuyển vị tối thiểu, đồng thời phải có khả năng thi công trong các điều kiện ra vào hạn chế và gây ít tác động nhất đến kết cấu hiện có.

Cọc BTCT tiết diện nhỏ là cọc có tiết diện tròn với đường kính không vượt quá 200mm hoặc tiết diện vuông không vượt quá 150mm, với độ dài thường từ 3m đến 6m như Hình 1



Hình 1. Cọc BTCT tiết diện nhỏ được sắp xếp tại nhà máy

Kể từ khi xuất hiện, cọc siêu nhỏ đã thu hút sự chú ý của ngành xây dựng nhờ vào tính linh hoạt và hiệu quả trong việc tạo nền móng cho các công trình xây dựng. Tuy nhiên, sự phát triển đáng kể của phương pháp này diễn ra chủ yếu trong giai đoạn sau những năm 1980. Đây là thời kỳ mà các kỹ thuật mới được áp dụng, công nghệ xây dựng tiên tiến được phát triển, và nhu cầu xây dựng và bảo trì hạ tầng tăng mạnh. Trong bối cảnh này, cọc siêu nhỏ đã trở thành một lựa chọn phổ biến và được ưa chuộng trong việc xây dựng móng cho các công trình, từ nhà ở đến cơ sở hạ tầng lớn.

Vào năm 1993, Cục quản lý đường cao tốc liên bang Mỹ (Federal Highway Administration) đã tài trợ một dự án với mục tiêu nghiên cứu và đánh giá việc sử dụng cọc siêu nhỏ. Dự án này đã hợp tác chặt chẽ với các nhóm nghiên cứu, bao gồm các nhà thầu, các chuyên gia tư vấn, các nhà nghiên cứu và các chủ đầu tư trong ngành xây dựng.

Kết quả của dự án này được biểu hiện

qua tài liệu “Khoan và bơm vữa Micropiles” (FHWA, 1997), cung cấp một phân tích chi tiết về tất cả các khía cạnh của cọc siêu nhỏ, từ các nghiên cứu hiện có đến kết quả phát triển mới, bao gồm cả dữ liệu từ phòng thí nghiệm và thử nghiệm tại công trường, cũng như các phương pháp thiết kế và xây dựng.

Dựa vào một phần của nghiên cứu này, các hạn chế và nhược điểm trong việc sử dụng cọc siêu nhỏ đã được đánh giá và tiếp tục được nghiên cứu. Công trình này đã đóng góp vào việc phát triển tiêu chuẩn và hướng dẫn của FHWA về thiết kế và xây dựng. Cuốn tài liệu “Thiết kế và xây dựng, hướng dẫn thực hiện” (FHWA, 2000) là một sản phẩm của dự án này, mang đến hướng dẫn chi tiết và các nguyên tắc cơ bản để áp dụng cọc siêu nhỏ trong các dự án xây dựng hạ tầng giao thông.

Do cọc BTCT tiết diện nhỏ có rất nhiều ưu điểm và hiệu quả nổi bật, phù hợp với nhiều loại công trình dân dụng và công nghiệp có tải trọng vừa và nhỏ. Nên loại cọc này ngày càng phát triển tại khu vực có địa chất yếu như các tỉnh Đồng Bằng Sông Cửu Long.

1.2. Ưu, nhược điểm cọc BTCT đúc sẵn tiết diện nhỏ

Ưu điểm:

- Tính linh hoạt: Thiết bị thi công nhỏ gọn, điều kiện thi công dễ dàng trong nhiều vùng địa chất và ở nhiều loại địa hình khác nhau, bao gồm cả các khu vực hạn chế về không gian.

- Khả năng chịu lực cao: Nhờ vào cấu trúc kết hợp giữa bê tông và thép, cọc BTCT có khả năng chịu lực mạnh mẽ, tăng độ bền theo thời gian.

- Tiết kiệm chi phí và thời gian: So với các phương pháp xây dựng nền móng truyền thống, cọc BTCT thường tiết kiệm thời gian và chi phí thi công.

- Tiêu chuẩn hóa và kiểm soát chất lượng: Quá trình sản xuất cọc BTCT thường tuân thủ các tiêu chuẩn và quy trình kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt, đảm bảo tính đồng nhất và chất lượng của các cọc, đặc biệt là cọc bê

tông dự ứng lực.

- Không gây ô nhiễm môi trường: Quá trình sản xuất và thi công cọc BTCT thường ít gây ra ô nhiễm môi trường so với các phương pháp khác

- Có thể sử dụng làm móng mới, gia cố móng cũ trong điều kiện thi công chật hẹp.

Nhược điểm:

- Cọc chỉ chịu được tải trọng nhà thấp tầng (dưới 5 tầng).

- Do là cọc ma sát nên độ lún thường lớn hơn cọc chống. Đặc biệt đối với địa chất tại ĐBSCL, thường có các lớp đất mặt yếu và bề dày tương đối lớn.

- Do chiều dài cọc ngắn và tiết diện nhỏ nên khả năng chịu tải trọng ngang không cao.

- Dễ bị ảnh hưởng nếu nhà kế bên có tầng hầm.

Việc gia cố nền đối với khu vực có địa chất yếu là điều quan trọng, ngoài những biện pháp gia cố cừ tràm hoặc cọc BTCT đúc sẵn tiết diện nhỏ thì nghiên cứu của Jitendra K.S và cộng sự [2] đã phân tích và đánh giá độ lún của cọc dạng hạt (cọc cát, cọc đá...) giúp tăng khả năng chịu tải, giảm độ lún của móng, là giải pháp thay thế tốt cho cọc bê tông. Hiện có một số phân tích để ước tính độ lún của cọc và nhóm cọc dựa trên phương pháp liên tục [3-5], nhưng hầu hết chúng đều dành cho cọc và khối đất đồng nhất. Những nguyên nhân dẫn đến tính không đồng nhất của cọc dạng hạt đã được M.R. Madhav và cộng sự thảo luận [6].

Trong trường hợp sử dụng công nghệ cọc trong xây dựng và tái thiết nhà, công trình, vấn đề độ lún của nền móng đặt ra khá gay gắt. Các tài liệu quy định hiện tại không phản ánh các phương pháp đáng tin cậy để tính toán độ lún của móng cọc, đặc biệt nếu sử dụng cọc BTCT tiết diện nhỏ (với chiều dài cọc từ 3 - 10 m). Pavel K và cộng sự [7] đã đưa ra phương pháp tính toán giúp đánh giá độ lún của móng có xét đến sự phân bố tải trọng giữa cọc và móng được gia cố. Một trong 7 những phương pháp gia cố nền móng hiệu quả nhất

được coi là gia cố bằng cọc. Trong các tài liệu khoa học kỹ thuật, các thí nghiệm được mô tả để đánh giá tính làm việc của cọc trong hệ móng cọc và cọc gia cố nền. Tuy nhiên, đối với nền móng được gia cố bằng cọc thì thực tế không có thông tin như vậy. Trong các tài liệu khoa học kỹ thuật có những công bố riêng mô tả việc tính toán móng được gia cố bằng cọc, trong đó có những công trình liên quan đến việc đánh giá độ lún của móng cọc khi tính đến sự làm việc của cọc gia cố nền [8, 9]. Việc tính toán độ lún của móng cọc đã được so sánh độ lún lý thuyết và độ lún thực tế bởi nghiên cứu của Mohammad H [10], so sánh được thực hiện bằng các phương pháp khác nhau, bao gồm các phần như mô tả phương pháp được sử dụng cho địa chất và hồ sơ địa chất tại khu vực làm việc, xác định sức chịu tải của cọc, phương pháp kiểm tra sức chịu tải của cọc tại hiện trường, tính toán độ lún tức thời của móng cọc rồi so sánh kết quả với kết quả thực tế thu được từ thí nghiệm nén tĩnh cọc.

Trong nghiên cứu của N.N. Bích và cộng sự về đất xây dựng, địa chất công trình và kỹ thuật cải tạo đất trong xây dựng [11], đã nêu lên đặc điểm của phương án móng cừ tràm là phải đảm bảo độ sâu đặt móng sao cho trong suốt quá trình sử dụng cừ tràm phải nằm dưới mực nước ngầm để hạn chế không bị mối mọt nên chiều sâu đặt móng khá lớn. Đặt biệt, đối với những khu vực đất nền san lấp bằng cát đã được đầm chặt hoặc những công trình được xây dựng lại trên nền cũ, lớp đất mặt đã được nén chặt hoặc đã được cố kết trước nên có khả năng chịu tải tốt. Nếu sử dụng phương án móng cừ tràm thì phải đào bỏ lớp này đến mực nước ngầm để gia cố cừ tràm, đồng nghĩa với việc đào bỏ lớp đất tốt và gia cường lớp đất yếu. Điều này không hợp lý về mặt kỹ thuật, ngược lại đối với cọc BTCT đúc sẵn tiết diện nhỏ có kích thước 100x100x2000, 120x120x1200, 150x 150x4000, 200x200x4000mm...có thể đáp ứng nhu cầu trên.

Qua các nghiên cứu nêu trên, có thể thấy rằng cọc BTCT đúc sẵn tiết diện nhỏ có rất nhiều ưu điểm, ứng dụng tốt ở nhiều dạng

công trình có tải trọng vừa và nhỏ với kỹ thuật thi công nhanh, đơn giản, tiết kiệm chi phí. Đây là phương án tối ưu để thay thế móng sử dụng cừ tràm cho các khu vực đất yếu tại ĐBSCL.

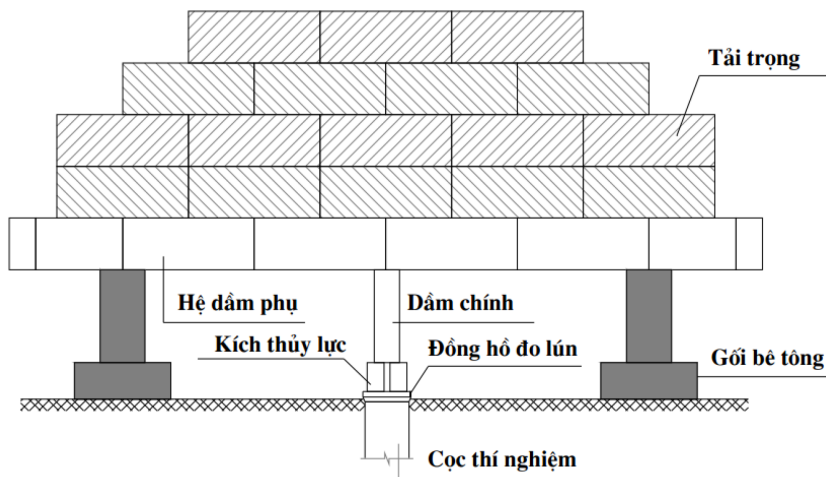
Tuy nhiên, các nghiên cứu đã có chỉ tập trung vào việc thu thập số liệu, phân tích, đánh giá sức chịu tải của cọc trên nền địa chất Thành phố Vĩnh Long hoặc các đô thị khác, trong khi mỗi khu vực lại có đặc thù tự nhiên, địa hình và địa chất khác nhau nên việc áp dụng số liệu trên để áp dụng cho địa phương khác là không thực sự phù hợp. Các thí nghiệm trong nghiên cứu chủ yếu tiến hành trên cọc riêng lẻ theo TCVN 9393:2012 mà chưa xét đầy đủ đến yếu tố làm việc nhóm cọc. Việc so sánh giữa tính toán theo tiêu chuẩn, kết quả nén thử tĩnh và

mô phỏng bằng phần mềm vẫn còn hạn chế về sự đa dạng kích thước cọc. Quan hệ giữa chiều dài cọc với sức chịu tải và độ lún của cọc chưa được làm rõ.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Bài báo sử dụng phương pháp thực nghiệm, kết hợp với mô phỏng tính toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn (dùng phần mềm Plaxis 3D) để tính toán, phân tích và so sánh sức chịu tải cũng như độ lún của móng cọc ép BTCT tiết diện nhỏ theo các chiều dài khác nhau trong lớp đất yếu khu vực thành phố Vĩnh Long.

2.1. Phương pháp xác định sức chịu tải của cọc từ kết quả thí nghiệm hiện trường theo TCVN 9393:2021 [12]



Hình 2. Sơ đồ bố trí thiết bị thí nghiệm nén tĩnh của cọc

Xác định sức chịu tải giới hạn theo chuyển vị giới hạn quy ước: Trên đường cong quan hệ tải trọng - chuyển vị, sức chịu tải giới hạn P_{gh} là tải trọng quy ước ứng với chuyển vị giới hạn quy ước, S_{gh} . Giới thiệu một số giá trị P_{gh} và S_{gh} theo đề nghị của các tác giả khác nhau.

Xác định sức chịu tải giới hạn theo phương pháp đồ thị: Sức chịu tải giới hạn được xác định dựa trên hình dạng đường cong quan hệ tải trọng - chuyển vị $S = f(P)$, $\log S = f(\log P)$, trong nhiều trường hợp cần kết hợp với các đường cong khác như $S = f(\log t)$, $P = f(S/\log t)$... Tùy thuộc vào hình dạng đường

cong quan hệ tải trọng - chuyển vị, sức chịu tải giới hạn được xác định theo một trong hai trường hợp sau:

+ Trường hợp đường cong có điểm uốn rõ ràng: sức chịu tải giới hạn được xác định trực tiếp trên đường cong, là tải trọng ứng với điểm cong bắt đầu thay đổi độ dốc đột ngột hoặc đường cong gần như song song với trục chuyển vị;

+ Trường hợp đường cong thay đổi chậm, rất khó hoặc không thể xác định chính xác điểm uốn: sức chịu tải giới hạn được xác định theo các phương pháp đồ thị khác nhau.

Tùy thuộc vào quy trình gia tải, loại cọc thí nghiệm và điều kiện đất nền, có thể áp dụng một trong các phương pháp đồ thị sau đây để xác định sức chịu tải giới hạn của cọc, trong đó:

+ Phương pháp De Beer, phương pháp Chin và phương pháp 90% của Brinch Hansen là các phương pháp thích hợp xác định sức chịu tải từ kết quả thí nghiệm theo quy trình gia tải tốc độ chậm;

+ Phương pháp Davission, phương pháp Fuller và Hoy, phương pháp Butler và Hoy là các phương pháp thích hợp xác định sức chịu tải từ kết quả thí nghiệm theo quy trình gia tải tốc độ nhanh;

+ Phương pháp 90% của Brinch Hansen là phương pháp thích hợp xác định sức chịu tải từ kết quả thí nghiệm theo quy trình gia tải tốc độ với tốc độ chuyển vị không đổi CRP.

2.2. Phương pháp phân tử hữu hạn

Lịch sử phát triển của Plaxis 3D bắt đầu vào năm 1987 tại Đại học Công nghệ Delft ở Hà Lan. Ban đầu, phiên bản đầu tiên của phần mềm, Plaxis V.1, được tạo ra nhằm giải quyết các vấn đề ổn định đê biển và đê sông tại các vùng bờ biển thấp của Hà Lan. Plaxis V.1 đóng vai trò quan trọng trong việc kết nối các kỹ sư địa kỹ thuật với chuyên gia lý thuyết, góp phần giải quyết những thách thức trong lĩnh vực này.

Vào năm 1993, Công ty Plaxis BV được thành lập, đánh dấu một bước tiến mới trong sự phát triển của phần mềm Plaxis. Từ năm 1998, phiên bản Plaxis được xây dựng dựa trên phương pháp phân tử hữu hạn, mang đến khả năng giải quyết các vấn đề phức tạp trong lĩnh vực địa chất và xây dựng một cách chính xác và hiệu quả. Plaxis đã áp dụng các phương pháp lý thuyết và thực tiễn tiên tiến, trở thành công cụ hỗ trợ quan trọng cho các kỹ sư trong lĩnh vực này.

Plaxis 3D là một phần mềm địa kỹ thuật 3D thân thiện với người dùng, mang đến tính linh hoạt và khả năng tương thích với hình học

thực tế của các công trình xây dựng. Được xem là công cụ tính toán mạnh mẽ và đáng tin cậy, Plaxis 3D cho phép phân tích chi tiết và toàn diện sau khi xem xét các yếu tố địa kỹ thuật. Để sử dụng Plaxis 3D, người dùng cần tạo một mô hình hình học ba chiều bao gồm các điểm, đường, bề mặt và khối lượng, sau đó chỉ định các thuộc tính vật liệu và điều kiện ranh giới.

Plaxis 3D sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để phân tích địa kỹ thuật ba chiều. Nó được thiết kế đặc biệt để giải quyết các vấn đề liên quan đến biến dạng và ổn định trong các ứng dụng địa kỹ thuật. Giao diện người dùng đồ họa của chương trình cho phép người dùng nhanh chóng tạo mô hình hình học và lưới phần tử hữu hạn.

Phần mềm Plaxis 3D là một công cụ rất mạnh mẽ và tin cậy để xác định, tính toán các vấn đề về địa kỹ thuật. Với khả năng tùy chỉnh rất cao, có thể giải quyết được mọi vấn đề về ứng suất, biến dạng và độ ổn định cho mọi công trình như: hố đào sâu (tầng hầm), móng công trình (móng nông, móng cọc...), các biện pháp xử lý nền, kè, cảng, đường hầm, đường đắp cao trên đất yếu, đê đập, hầm mỏ, nạo vét...

Việc sử dụng phần mềm Plaxis 3D giúp mô phỏng chính xác hơn so với các phương pháp tính toán truyền thống, đặc biệt có thể mô phỏng các giai đoạn thi công thực tế, thực hiện các bài toán cố kết và kiểm tra độ ổn định của đất nền.

Các mô hình vật liệu được sử dụng mô phỏng tính toán trong bài báo này [13]

a. Mô hình đàn hồi tuyến tính (*Le-Linear Elastic Model*)

Mô hình đàn hồi tuyến tính dựa trên định luật Hooke đàn hồi đẳng hướng, gồm hai thông số module Young E và hệ số poisson ν . Mặc dù đàn hồi tuyến tính không dùng cho vật liệu đất, nhưng nó có thể dùng để mô hình hóa các thể tích đặc chắc của vật liệu như tường bê tông, đá khối nguyên dạng.

Cần thận trọng khi dùng mô hình này cho vật liệu mà tải trọng tác động lớn hơn sức bền của nó.

Các thông số cơ bản của mô hình đàn hồi tuyến tính

E: module đàn hồi của vật liệu (kN/m²)

v: hệ số poisson.

γ_{unsat} : Dung trọng tự nhiên (kN/m³)

γ_{sat} : Dung trọng bão hoà (kN/m³)

E_{ocd} : mô đun biến dạng (kN/m²)

b. Mô hình Mohr-Coulomb (Mohr-Coulomb Model)

Mô hình đàn hồi tuyến tính (Linear Elastic Model). Đây là mô hình đơn giản, dựa vào định luật Hooke's cho vật liệu đàn hồi tuyến tính. Mỗi quan hệ ứng suất -biến dạng thể hiện qua công thức (1).

$$\underline{\sigma}' = D^e \underline{\epsilon} \tag{1}$$

Trong đó D^e là ma trận độ cứng của vật liệu.

Mô hình Mohr - Coulomb trong Plaxis được dựa trên ý tưởng của quy luật cơ bản đàn - dẻo với mặt ngưỡng cố định không bị tác động bởi biến dạng dẻo và trạng thái ứng suất của một điểm nằm trong mặt ngưỡng là đàn hồi thuần túy.

$$\underline{\sigma}' = D^e (\underline{\epsilon} - \underline{\epsilon}^p) \tag{2}$$

trong đó ϵ^p là thành phần tỉ lệ biến dạng dẻo được định nghĩa bởi công thức:

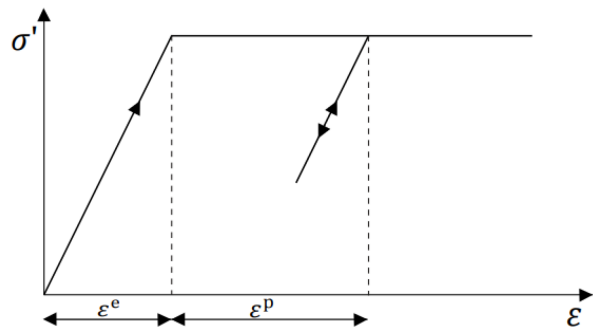
$$\underline{\dot{\epsilon}}^p = \lambda \frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}'} \tag{3}$$

$\lambda = 0$ for :

$$f < 0 \text{ or } : \frac{\partial f^T}{\partial \underline{\sigma}'} D^e \underline{\dot{\epsilon}} \leq 0 \text{ (Elasticity)}$$

$\lambda > 0$ for :

$$f < 0 \text{ and } : \frac{\partial f^T}{\partial \underline{\sigma}'} D^e \underline{\dot{\epsilon}} > 0 \text{ (Plasticity)}$$



Hình 3. Mô hình đàn hồi hoàn toàn dẻo [13]

$$\underline{\dot{\sigma}'} = \left(D^e - \frac{\alpha}{d} D^e \frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}'} \frac{\partial f^T}{\partial \underline{\sigma}'} D^e \right) \underline{\dot{\epsilon}} \tag{4}$$

Trong đó $\alpha = 0$ (biến dạng đàn hồi) và $\alpha = 1$ (biến dạng dẻo)

$$d = \frac{\partial f^T}{\partial \underline{\sigma}'} D^e \frac{\partial g}{\partial \underline{\sigma}'} \tag{5}$$

Đối với nhiều mặt dẻo công thức trên có thể mở rộng:

$$\underline{\dot{\epsilon}}^p = \lambda_1 \frac{\partial g_1}{\partial \underline{\sigma}'} + \lambda_2 \frac{\partial g_2}{\partial \underline{\sigma}'} + \dots \tag{6}$$

Trong đó λ_i ($i=1,2,3,\dots$) có thể định nghĩa từ hàm dẻo f_i ($i=1,2,3,\dots$)

Các điều kiện dẻo được sử dụng trong mô hình Mohr - Coulomb là một phần tử mở rộng của định luật Coulomb, điều kiện này bao gồm 6 hàm dẻo như sau:

$$f_{1a} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_3)\sin(\phi) - c.\cos(\phi) \leq 0 \tag{7}$$

$$f_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_2)\sin(\phi) - c.\cos(\phi) \leq 0 \tag{8}$$

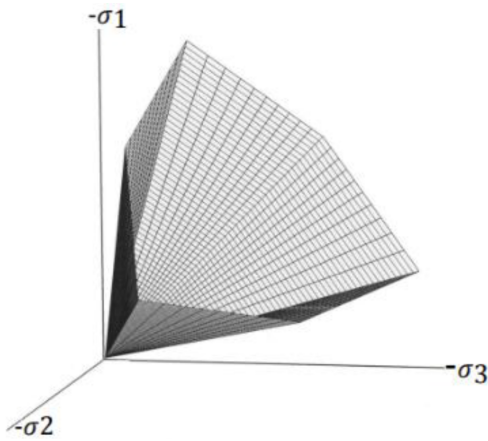
$$f_{2a} = \frac{1}{2}(\sigma'_3 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_3 + \sigma'_1)\sin(\phi) - c.\cos(\phi) \leq 0 \tag{9}$$

$$f_{2b} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_3) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_3)\sin(\phi) - c.\cos(\phi) \leq 0 \tag{10}$$

$$f_{3a} = \frac{1}{2}(\sigma'_1 - \sigma'_2) + \frac{1}{2}(\sigma'_1 + \sigma'_2)\sin(\phi) - c.\cos(\phi) \leq 0 \tag{11}$$

$$f_{3b} = \frac{1}{2}(\sigma'_2 - \sigma'_1) + \frac{1}{2}(\sigma'_2 + \sigma'_1)\sin(\phi) - c.\cos(\phi) \leq 0 \tag{12}$$

Trong đó ϕ, c là góc ma sát trong và lực dính của đất tương ứng. Điều kiện $f_i=0$ cho tất cả các hàm dẻo cùng đưa ra hình nón lực giác được thể hiện ở Hình 4.



Hình 4. Mô hình Mohr-Coulomb trong không gian ứng suất chính ($c=0$) [13]

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Căn cứ vào tài liệu khoan, quan sát hiện trường và kết quả thí nghiệm trong phòng, định được 03 lớp đất. Đặc điểm phân bố và tính chất cơ lý của các lớp đất tại khu vực địa chất huyện Vũng Liêm, tỉnh Vĩnh Long được trình bày cụ thể các lớp đất phân bố như sau, với mực nước ngầm được xác định khi ổn định là -0,9 m:

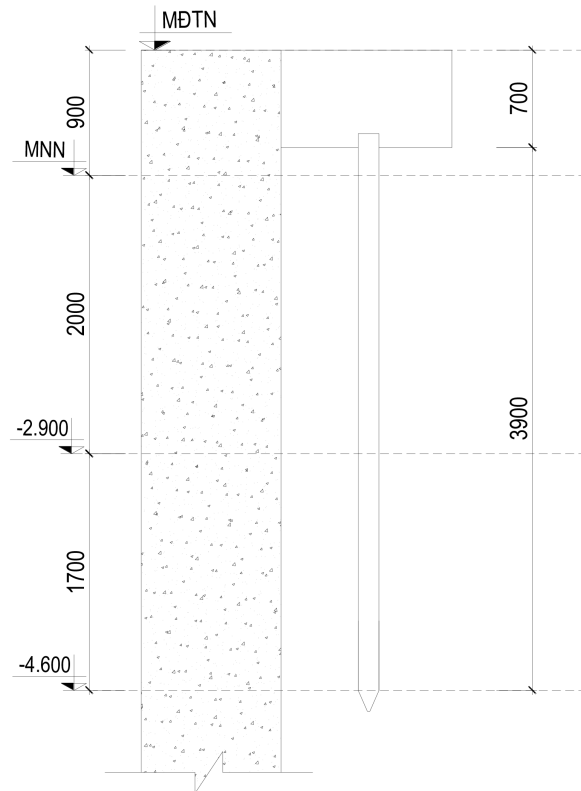
a. Lớp đất số 1: Sét, sét pha màu xám, xám nâu... trạng thái chảy – dẻo chảy. Lớp này có bề dày lớn 23,0 m tại hố khoan. Giá trị SPT = 0 – 3.

b. Lớp đất số 2: Sét pha cát màu nâu vàng... trạng thái dẻo cứng. Lớp này có bề dày thay đổi 4.0 m tại hố khoan. Giá trị SPT thay đổi 12 - 17

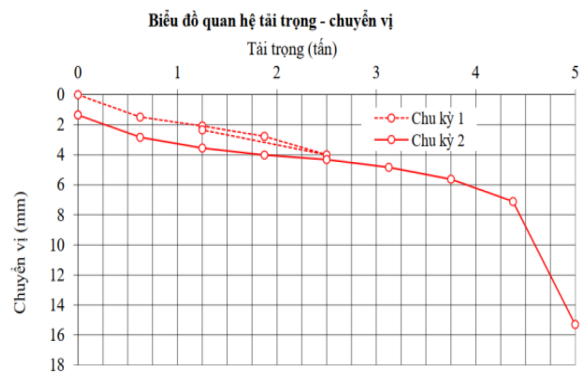
c. Lớp đất số 3: Sét màu nâu xám vàng, xám nâu... trạng thái dẻo cứng, đôi chỗ nửa cứng. Lớp này có bề dày > 3.0m tại hố khoan. Giá trị SPT thay đổi 10 – 25.

Sơ đồ tính toán và mô phỏng sức chịu tải cọc được thể hiện như Hình 5. Cọc cắm vào lớp 1: Sét - sét pha màu xám – xám nâu, trạng thái chảy - dẻo chảy (lớp 1). Do đó, chiều sâu mũi cọc tính từ mặt đất là: 3,9m (cũng là chiều dài cọc nằm trong đất). Chiều dài cọc là $L_c = 3,9 + 0,1 = 4,0$ m (0,1 m là đoạn cọc ngầm vào đài)

Kết quả nén tĩnh cọc hiện trường được thể hiện như Hình 6.



Hình 5. Sơ đồ chôn cọc (4m)



Hình 6. Biểu đồ quan hệ tải trọng, chuyển vị (cọc 4 m).

Căn cứ vào biểu đồ quan hệ tải trọng – chuyển vị, theo phương pháp dùng chuyển vị giới hạn tương ứng với sức chịu tải giới hạn. Sức chịu tải của cọc được xác định khi giá trị chuyển vị đạt 15mm (10% chiều rộng cọc), tương ứng với cấp tải 4,98 T. Từ đó kết luận, sức chịu tải cực hạn của cọc BTCT 150 x 150 x 4000 mm theo kết quả nén tĩnh: $R_{nt} = 4,98 T = 49,8$ kN.

Tiến hành mô phỏng quy trình nén tĩnh cọc bằng phần mềm Plaxis 3D với thông số vật liệu được trình bày như Bảng 1 và Bảng

2. Trong Bảng 2, vật liệu tấm thép dùng để mô phỏng tấm thép đầu cọc khi thực hiện mô phỏng nén tĩnh cọc đơn. Còn phần đài cọc được dùng cho mô phỏng nén tĩnh nhóm cọc. Hai loại vật liệu này đều được mô phỏng bằng phần tử Plate trong Plaxis 3D.

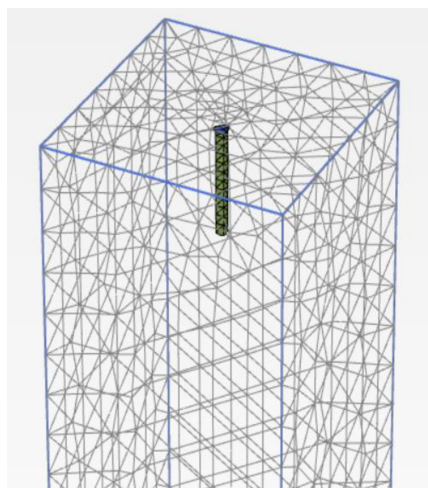
Bảng 1: Thông số đất nền và cọc

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Lớp 1: Sét, sét pha trạng thái chảy, dẻo chảy	Lớp 2: Sét pha, trạng thái dẻo cứng	Lớp 3: Sét, trạng thái cứng, nửa cứng	Cọc BTCT
Mô hình vật liệu	Material model	-	MC	MC	MC	Linear elastic
Loại thoát nước	Drainage type	-	Undrained A	Undrained A	Undrained A	Non-porous
Độ dày lớp đất		m	23	4	>3	
Trọng lượng riêng tự nhiên	γ	kN/m ³	16,65	18,67	18,81	25
Trọng lượng thể tích đất bão hòa	γ_{sat}	kN/m ³	17,01	19,42	19,59	25
Mô đun Young hữu hiệu	E'	kN/m ²	1750	7390	8650	2x10 ⁷
Hệ số poisson	ν_{ur}	-	0,29	0,28	0,29	0,180
Lực dính hữu hiệu	C'	kN/m ²	13	25	40	-
Góc ma sát hữu hiệu	ϕ	độ	5,517	17,46	16,16	-

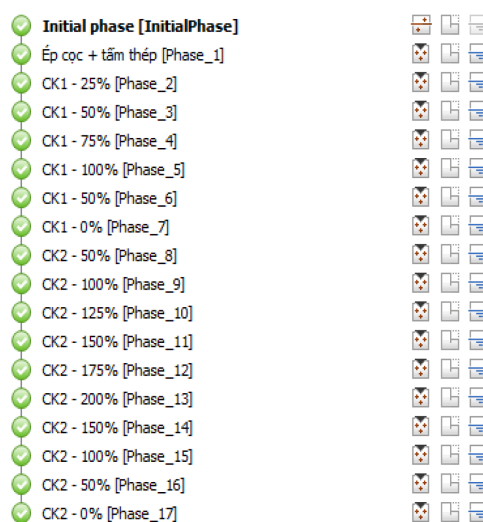
Bảng 2: Thông số của đài cọc, tấm thép

Thông số	Kí hiệu	Đơn vị	Đài cọc	Thép tấm
Mô hình vật liệu	Material type	-	Plate, Elastic	Plate, Elastic
Chiều dày	d	m	0,7	0,02
Trọng lượng riêng của plate	γ	kN/m ³	25	78,5
Mô đun Young	E	kN/m ²	2,7x10 ⁷	21x10 ⁷
Hệ số poisson	ν	-	0,2	0,3

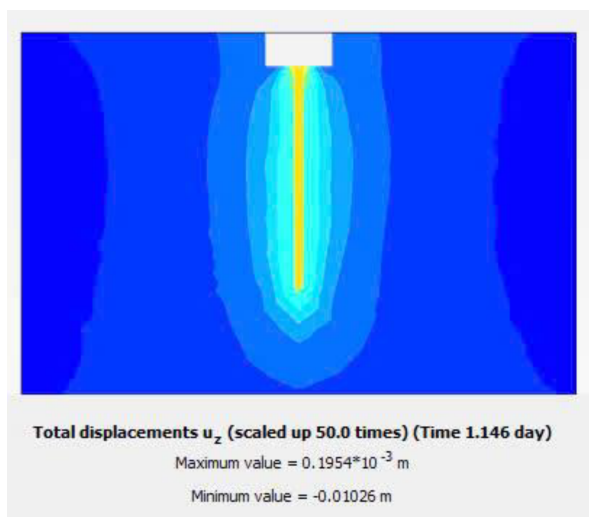
Kết quả mô phỏng được thể hiện từ Hình 7 đến Hình 10.



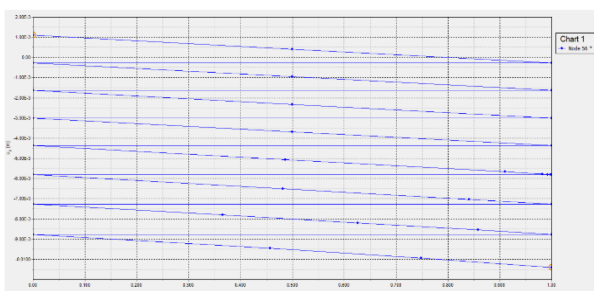
Hình 7. Kết quả chia lưới phần tử



Hình 8. Các Phases tính toán theo quy trình nén tĩnh cọc hiện trường



Hình 9. Tổng chuyển vị của cọc 4m khi kích 200% tải (50kN)



Hình 10. Biểu đồ tải trọng - chuyển vị (cọc 4m)

Chuyển vị của cọc với cấp tải trọng lớn nhất $P = 50\text{kN}$ là $s = 10,04\text{ mm}$. Do mô phỏng bám sát quy trình nén thử tĩnh cọc theo TCVN 9393: 2012, tại mục 4.4.13 tiêu chuẩn này, thí nghiệm được xem là kết thúc khi đạt mục tiêu thí nghiệm theo phương án thí nghiệm và mục 4.5.3, sức chịu tải giới hạn bằng tải trọng lớn nhất khi dừng thí nghiệm. Từ hai nội dung trên, ta có thể kết luận sức chịu tải của cọc đạt được theo thí nghiệm là 5,0T.

Từ các kết quả trên, có thể thấy rằng việc mô phỏng nén tĩnh cọc bằng phần mềm Plaxis 3D và kết quả nén tĩnh cọc hiện trường đều cho giá trị sức chịu tải cực hạn của cọc tiết diện $150 \times 150\text{ mm}$, dài 4 m là 5,0 T.

Thực hiện tương tự như trên, tiến hành mô phỏng tính toán sức chịu tải và độ lún của móng cọc ứng với các cấp tải trọng nhà vừa và nhỏ và với các cọc có cùng tiết diện với các chiều dài cọc khác nhau: 3m, 5m và 6m. Ta được bảng tổng hợp kết quả tính toán như Bảng 3.

Bảng 3: Kết quả tính toán độ lún theo Plaxis 3D với các cấp tải nhà dân dụng vừa và nhỏ

TT	Chiều dài cọc	Độ lún (cm) với cấp tải nhà vừa và nhỏ theo Plaxis 3D		
		Nhà 1 tầng	Nhà 2 tầng	Nhà 3 tầng
1	3m	3,83	2,403	2,94
2	4m	3,74	2,045	2,526
3	5m	3,64	1,792	2,229
4	6m	3,53	1,603	1,996

Theo kết quả tính lún cho móng 24 cọc với các chiều dài cọc từ 3 – 6 m, độ lún theo mô phỏng Plaxis 3D đều giảm dần khi tăng chiều dài cọc. Tuy nhiên độ lún của móng có cọc dài 3m 2,94 cm có giá trị lớn nhất đều thỏa độ lún giới hạn theo TCVN 10304: 2014 ($S_{gh} = 10\text{ cm}$) [14].

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả trên, có thể thấy rằng việc mô phỏng nén tĩnh cọc bằng phần mềm Plaxis 3D và kết quả nén tĩnh cọc hiện trường đều cho giá trị sức chịu tải cực hạn của cọc tiết diện $150 \times 150\text{ mm}$, dài 4 m là 5,0 T. Điều này có thể kết luận việc sử dụng phần mềm Plaxis dùng để mô phỏng thí nghiệm nén tĩnh cọc theo quy trình của TCVN 9393:2012 cho độ tin cậy cao.

Kết quả tính lún của móng được mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 3D theo cấp tải công trình 1 tầng, 2 tầng, 3 tầng với các chiều dài cọc từ 3 – 6 m (cùng tiết diện $150 \times 150\text{ mm}$) đều cho ra độ lún giảm dần khi tăng chiều dài cọc. Độ lún của móng cọc 3m thỏa độ lún giới hạn cho phép nên có thể chấp nhận được thay vì phải sử dụng móng cọc dài 6m. Điều này đem lại hiệu quả về kinh tế cho chủ đầu tư và dễ dàng hơn trong quá trình thi công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Raymond Mc Cormick, *Micropile-Design and Construction Guidelines Manual*, US Department of Transportation Federal Highway, (1997).

- [2]. Jitendra K.S. and Pooja G., “Analysis and settlement evaluation of an endbearing granular pile with non-linear deformation modulus,” *Studia Geotechnica et Mechanica*, Vol. 40, No. 3, pp. 1-14, 2018. DOI: 10.2478/sgem-2018-0022.
- [3]. N.S. Mattes and Harry G. Poulos, “Settlement of single compressible pile,” *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, ASCE, Vol. 95, No. SM1, pp. 189-207, 1969.
- [4]. M.I.E. Aust, Harry G. Poulos and N.S. Mattes, “The behavior of axially loaded end-bearing piles,” *Geotechnique*, Vol. 19, No. 2, pp. 285-300, 1969.
- [5]. R. Butterfield and P.K. Banerjee, “The elastic analysis of compressible piles and pile groups,” *Geotechnique*, Vol. 21, No. 1, pp. 43-60, 1971. DOI: 10.1680/geot.1971.21.1.43.
- [6]. M.R. Madhav, J.K. Sharma and S. Chandra, “Analysis and settlement of a nonhomogeneous granular pile,” *Indian Geotechnical Journal*, Vol. 36, No. 3, pp. 249-271, 2006.
- [7]. Pavel K., Maxim P., Konstatin S. and Sergey M., “Methodology for calculating the settlement of pile-raft foundations and foundations strengthened with piles,” *E3S Web of Conferences*, No. 371, pp. 1-10, 2023. DOI: 10.1051/e3sconf/202337102021.
- [8]. Harry G. Poulos, *Tall Building Foundation Design*, Taylor & Francis Group, 2017. DOI: 10.1201/9781315156071.42
- [9]. Grzegorz K., Katarzyna M. and Tomasz D., “A simplified algorithm for the design of piled raft foundations applied for the case study of a building erected within Żoliborz Szczesliwice glacial tunnel valley,” *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW*, Vol. 2, No. 47, pp. 113-126. DOI: 10.1515/sggw-2015-0018, 2015.
- [10]. Mohammad H., “Comparison between piles theoretical and actual settlements,” *International Journal of Engineering and Technical Research (IJETR)*, Vol. 13, No. 1, pp. 2454-4698, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.10624015.
- [11]. N. N. Bích, L. T. T. Bình và V. Đ. Phụng, *Đất xây dựng, địa chất công trình và kỹ thuật cải tạo đất trong xây dựng*, Nhà xuất bản Xây dựng, 2005, tr. 159-171.
- [12]. TCVN 9393: 2012 - Cọc – phương pháp thử nghiệm hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2012
- [13]. Reference Manual, Plaxis 3D CONNECT Edition V20, Bentley Co., 2020.
- [14]. TCVN 10304: 2014 – Móng cọc – Tiêu chuẩn thiết kế, Bộ Khoa học và Công nghệ, 2014.