

Gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng cho móng công trình dân dụng ở Tiền Giang

Ground improvement using deep cement mixing columns under construction foundation in Tien Giang province

> TS NGUYỄN NGỌC THẮNG^(1*), KS NGUYỄN TRUNG HIẾU⁽²⁾

⁽¹⁾ Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Tiền Giang

Email: nguyenngocthang@tgu.edu.vn

⁽²⁾ Khoa Kỹ thuật công nghệ, Trường Đại học Kinh tế công nghiệp Long An

TÓM TẮT

Phương pháp gia cố đất, phương pháp trộn sâu, thường được sử dụng để gia cố nền đất yếu trong đất phù sa ở đồng bằng, ví dụ như đất ở Đồng bằng Sông Cửu Long. Trong nghiên cứu này, phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) bằng phần mềm Plaxis 3D Foundation được dùng để phân tích sự phân bố ứng suất lên trụ và đất nền của hệ trụ đất xi măng trong gia cố nền đất yếu dưới móng công trình dân dụng ở tỉnh Tiền Giang. Sự phân bố ứng suất trong trụ đất xi măng và độ lún cũng được rút ra từ sự phân tích của phương pháp PTHH. Kết quả mô phỏng cho nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất xi măng dưới móng công trình dân dụng với hệ trụ đất xi măng đường kính 0,6 m, chiều dài 14,6 m và khoảng cách các trụ là 1,0 m có độ lún là 31,06 mm và nhỏ hơn 2,6 lần độ lún cho phép.

Từ khóa: Trụ đất xi măng; xử lý nền; đất yếu; sức chịu tải; Plaxis 3D Foundation.

ABSTRACT

Soil consolidation method, deep mixing method, is commonly used to protect soft ground in alluvial stratum in deltas such as Mekong Delta. In this study, the finite element method (FEM) of Plaxis 3D Foundation software is adopted to analyze the stress distribution on columns and ground base of the cement deep mixing (CDM) columns under construction foundation in Tien Giang Province. The stress distribution on CDM columns and their settlement are also given from the analysis of FEM. The results simulate the soft ground consolidated with CDM columns under the construction foundation in Tien Giang with the CDM columns of 0.6 m diameter, 14.6 m length and 1.0m center to center spacing with the settlement of 31.06 mm and smaller 2.6 times than the allowable foundation settlement.

Keywords: Cement deep mixing columns; soil improved; soft soil; bearing capacity; Plaxis 3D Foundation.

1. GIỚI THIỆU

Công nghệ trụ đất xi măng là một công nghệ gia cố nền đất yếu. Công nghệ này dùng xi măng làm chất kết dính và trộn cưỡng bức tại chỗ làm cho nền đất yếu đông cứng thành dạng khối, ổn định và có độ cứng lớn hơn, từ đó nâng cao được cường độ đất nền và làm tăng mô đun biến dạng của nền đất gia cố [1, 2].

Hiện nay trên thế giới phổ biến hai công nghệ trộn sâu là công nghệ trộn ướt và công nghệ trộn khô. Nguyên lý công nghệ là dùng thiết bị chuyên dụng dạng máy khoan ruột gà hạ mũi khoan đến độ sâu dự định đồng thời làm tơi đất, thi công trộn chất kết dính trong đất yếu theo pha đi xuống hoặc trong pha đi lên hoặc trong cả hai pha đi xuống và đi lên. Kết quả là hình thành một trụ đất đã gia cố nhờ đất yếu đã được trộn đều với chất kết dính [3, 4].

Với công nghệ hiện nay, trụ đất xi măng có thể được chế tạo với nhiều kích cỡ khác nhau. Máy trộn sâu thường có 1 trục cho đến 4 trục trộn. Với máy nhiều trục, các trục này được gắn với cánh quay và quay ngược chiều nhau khi trộn đất với xi măng để tạo ra trụ đất gia cố có chất lượng tốt và đồng đều. Đường kính trụ có thể từ 0,5 m cho đến 2,0 m. Gần đây ở Nhật Bản đã xuất hiện các thiết bị lớn có số lượng trục trộn lên tới 8 trục và có thể chế tạo trụ với diện tích là 1,0 m²; 2,2 m²; 5,7 m² [2, 3, 4].

Nguyễn Mạnh Thủy, Ngô Tấn Phong (2018) đã sử dụng phần mềm Plaxis đánh giá sức chịu tải của nhóm cọc đất xi măng trong nền đất yếu có bề dày lớn, sự phân bố ứng suất chuyển vị của các phần tử đất trong khối cọc, xác định độ lún của đất nền [5]. Trên cơ sở đó, luận chứng cho tính hiệu quả của việc áp dụng cọc đất xi măng trong xây dựng các công trình có tải trọng vừa và nhỏ trên nền đất yếu.

Lâm Quốc Thống (2016) đã nghiên cứu và đưa ra phương pháp tính toán móng Cọc Xi măng - đất kết hợp với móng bè cho các công trình dân dụng vừa và cao tầng loại I (9 đến 16 tầng) trên cơ sở kết hợp các lý thuyết tính toán của các tác giả trong, ngoài nước và ứng dụng phần mềm ETAB V9.14 [6]. Kết quả nghiên cứu nếu được mở rộng và áp dụng vào thực tế sẽ góp phần hạ thấp giá thành xây dựng công trình và giải tỏa được cơn sốt giá cả nguyên vật liệu hiện nay.

Đỗ Hữu Đạo (2015) nghiên cứu xây dựng cơ sở dữ liệu về đặc tính cường độ của vật liệu của cọc đất xi măng theo phương pháp trộn ướt cho các loại đất cát, á cát, hướng đến tạo ra cọc đất xi măng có cường độ cao, chịu lực cho móng công trình xây dựng [7]. Sự truyền tải, huy động ma sát thành bên và kháng mũi của cọc đơn và nhóm cọc đất xi măng từ mô hình thí nghiệm kích thước

thật, làm cơ sở đánh giá cọc đất xi măng bán cứng làm việc như cọc để ứng dụng chịu lực. Bên cạnh đó, nghiên cứu cũng phân tích các nhóm cọc đất xi măng bằng mô hình số và xây dựng tương quan về hệ số nhóm đối với cọc đất xi măng.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Chức năng chính của trụ đất xi măng dùng trong gia cố nền đất yếu chịu tải trọng đứng là truyền tải trọng phía trên xuống nền đất bên dưới đồng thời giảm độ lún của nền đất. Trong thực tế, trụ đất xi măng thường được thi công xuyên qua toàn bộ lớp đất yếu nằm trên địa tầng rắn chắc lúc này trụ làm việc gần giống với cọc chống. Đôi khi các trụ này chỉ nằm trong phạm vi lớp đất yếu còn gọi là trụ treo. Khi trụ đất xi măng đơn chịu tải trọng đứng có thể xảy ra 1 trong 3 dạng phá hoại là phá hoại do phình nén, phá hoại do cắt và phá hoại do xuyên thủng [8, 9, 10].

Trong nền đất được gia cố bằng trụ đất xi măng, dưới tác dụng của tải trọng đứng và áp lực đẩy ngang trong nền bắt buộc trụ đất xi măng trong nền có những ứng xử khác nhau đối với từng dạng tải trọng. Hiện nay theo rất nhiều nghiên cứu của các tác giả có những quan điểm tính toán khác nhau [11, 12, 13, 14].

2.1. Quan điểm trụ đất xi măng làm việc như cọc

Nền đất chứa nhiều cát và với công nghệ thi công đảm bảo, lượng xi măng trộn vào nền với tỷ lệ lớn, trụ đất xi măng có thể đạt cường độ cao hơn nhiều so với nền đất xung quanh nên có thể xem các trụ đất xi măng như cọc cứng để tính toán [15].

2.2. Quan điểm tính toán nền đất hỗn hợp

Quan điểm này cho rằng khi chịu tải trọng khối trụ đất xi măng và nền đất quanh trụ được xem như đồng nhất và được coi như một nền mới có các số liệu cường độ (φ_{td} , C_{td} , E_{td} được tính từ φ_{tn} , C_{tn} , E_{tn} của nền đất xung quanh trụ và vật liệu trụ (φ_{xmd} , C_{xmd} , E_{xmd}).

Theo phương pháp tính này, bài toán gia cố đất có 2 tiêu chuẩn cần kiểm tra:

Tiêu chuẩn về cường độ: φ_{td} , C_{td} của nền được gia cố phải thỏa mãn điều kiện sức chịu tải dưới tác dụng của tải trọng công trình.

Tiêu chuẩn biến dạng: Mô đun biến dạng của nền được gia cố E_{td} phải thỏa mãn điều kiện lún của công trình.

2.3. Quan điểm tính toán kết hợp

Theo quan điểm này thì khi tính toán sức chịu tải thì tính toán trụ đất xi măng tương tự như tính toán với cọc, khi tính toán biến dạng thì tính toán theo nền hỗn hợp. Sức chịu tải của trụ đơn là khả năng chịu tải của trụ đất xi măng được quyết định bởi sức kháng cắt của đất sét yếu bao quanh hay sức kháng cắt của vật liệu trụ đất xi măng. Trong khi khả năng chịu tải của nhóm trụ đất xi măng thì phụ thuộc vào độ bền cắt của đất chưa xử lý bao quanh trụ và độ bền cắt của vật liệu trụ đất xi măng.

Các quan điểm trên chưa có sự thống nhất vì bản thân vấn đề phức tạp, những nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm còn hạn chế. Quan điểm tính toán trụ đất xi măng làm việc như cọc yêu cầu sự tương quan cường độ của vật liệu làm cọc phải lớn hơn rất nhiều so với cường độ đất nền. Với chất lượng thi công hiện có trong nước, cường độ vật liệu trụ đất xi măng trong gia cố thường nằm trong khoảng từ 100kPa đến 200 kPa (công nghệ trộn khô) và từ 200kPa đến 1000 kPa (công nghệ trộn ướt) nên nhiều chuyên gia nền móng cho rằng quan điểm tính toán trụ đất xi măng như cọc cứng là chưa được hợp lý. Quan điểm “tính toán nền đất hỗn hợp” cho kết quả tương đối sát với thực tế, đã được kiểm chứng qua nhiều công trình thi công trong nước. Mặt khác quan điểm “tính toán nền đất hỗn hợp” được đề cập đến trong tiêu chuẩn TCVN 9403-2012 [1], nên quan điểm này đã lựa chọn để tính toán trong nghiên cứu của bài báo.

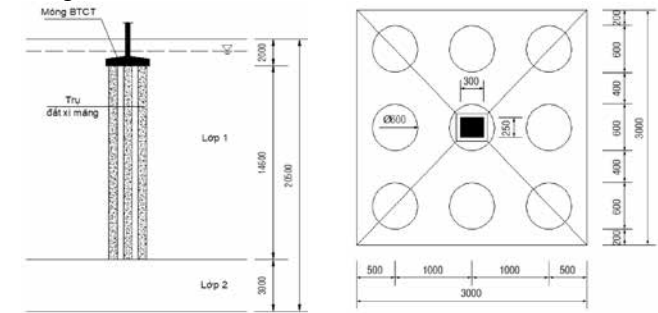
3. MÔ PHỎNG PHÂN TÍCH CHO MÓNG CÔNG TRÌNH DÂN DỤNG

3.1. Cấu tạo công trình

Công trình tính toán là công trình dân dụng đặt trên móng đơn có tải trọng tương đương 3 đến 4 tầng với các thông số của công trình như sau: Địa điểm xây dựng tại xã Bình Đông - Thị xã Gò Công - tỉnh Tiền Giang, công trình có kích thước: 9,6 m x 20,0 m; chiều cao tầng: 3,6 m; kích thước cột: 0,25 m x 0,30 m; kích thước móng LxBxH: 3,0 m x 3,0 m x 0,8 m; nội lực tại chân cột điển hình để tính toán: $N_{tt} = 215$ kN.

3.2. Giải pháp móng

Căn cứ vào tải trọng khai thác, điều kiện địa chất công trình, kết quả thi công thử và thực tế thi công trụ đất xi măng tại các dự án, chọn các thông số thiết kế trụ đất xi măng như sau: Đường kính trụ là 0,6 m; chiều dài trụ là 14,6 m và khoảng cách giữa các trụ là 1,0 m; Các trụ được bố trí dựa theo điều kiện cân bằng về chuyển vị sao cho tải trọng phân bố vào trụ và vào đất nền không vượt quá sức chịu tải của vật liệu trụ và phần đất nền chưa gia cố (Hình 1).

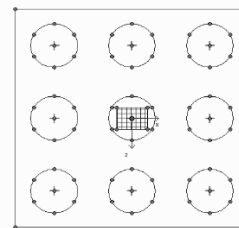


a) Mặt cắt ngang móng b) Mặt bằng móng
Hình 1- Móng trên nền đất được gia cố bằng trụ đất xi măng

3.3. Mô hình tính toán trong Plaxis

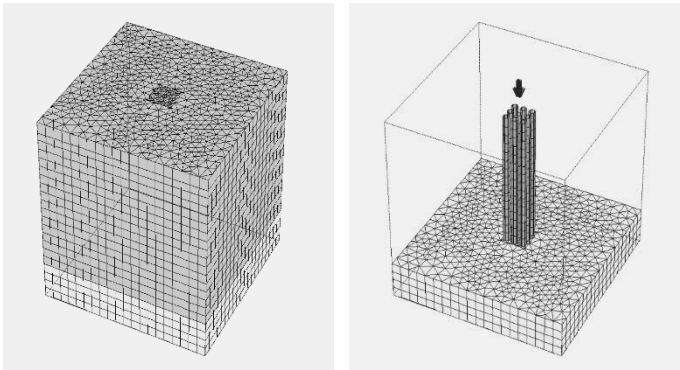
Plaxis 3D Foundation là một chương trình PTHH không gian ba chiều, ứng dụng vào việc phân tích kết cấu móng cho các công trình xây dựng trong đất liền và trên biển. Nhờ việc ứng dụng tiến bộ khoa học kỹ thuật, chương trình này cho phép người sử dụng giải quyết những bài toán kết cấu phức tạp bằng những dữ liệu đầu vào đơn giản. Kết quả của bài toán cho ta các trị số ứng suất, biến dạng... tại từng vị trí trong móng cũng như toàn bộ móng. Phương pháp mô hình hóa của Plaxis 3D Foundation: Biểu diễn mặt bằng công trình, mô phỏng các lớp đất, mô phỏng cấu trúc công trình, xác định tính chất vật liệu, tạo lưới phần tử (2D - 3D) và xác định các bước tính toán.

Quá trình tính toán trong Plaxis 3D Foundation được bắt đầu với việc thiết lập mô hình tính toán. Mô hình tính toán là sự kết hợp của các hình trụ hố khoan và các mặt phẳng nằm ngang (Hình 2 và Hình 3).



Hình 2 - Mô hình trong Plaxis 3D Foundation

■ Ngày nhận bài: 14/01/2022 ■ Ngày sửa bài: 24/02/2022 ■ Ngày chấp nhận đăng: 09/3/2022



Hình 3 - Lưới phân tử hữu hạn

Các đặc trưng vật liệu của các lớp đất [16], trụ đất xi măng và đài móng bê tông cốt thép trong Plaxis 3D Foundation được thí nghiệm, tính toán, tham khảo tài liệu [2, 3, 4] và được trình bày trong các Bảng 1, Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 1. Thông số các lớp đất

STT	Tham số	Ký hiệu	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3
1	Mô hình	Model	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
2	Ứng xử vật liệu	Type	Drained	Drained	Drained
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	γ_{unsat}	14,70	15,60	19,80
4	Dung trọng bão hòa (kN/m ³)	γ_{sat}	15,16	15,88	19,94
5	Mô đun Young, E (kN/m ²)	E	509	1727	3050
6	Hệ số Poisson (-)	ν	0,345	0,348	0,319
7	Cường độ kháng cắt (kN/m ²)	c_{ref}	6,5	18,6	35,3
8	Góc ma sát trong (°)	φ	1°56'	9°27'	12°55'
9	Góc dẫn nở (°)	ψ	0°	0°	0°

Bảng 2. Thông số trụ đất xi măng

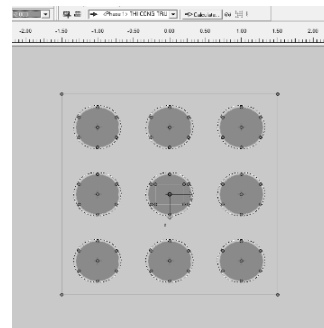
STT	Tham số	Ký hiệu	Trụ đất xi măng
1	Mô hình	Model	Mohr - Coulomb
2	Ứng xử vật liệu	Type	Undrained
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	γ_{unsat}	16,17
4	Dung trọng bão hòa (kN/m ³)	γ_{sat}	16,78
5	Mô đun Young, E (kN/m ²)	E	100000
6	Hệ số Poisson (-)	ν	0,333
7	Cường độ kháng cắt (kN/m ²)	c_{ref}	175
8	Góc ma sát trong (°)	φ	30°
9	Góc dẫn nở (°)	ψ	0°

Bảng 3. Thông số đài móng bê tông cốt thép

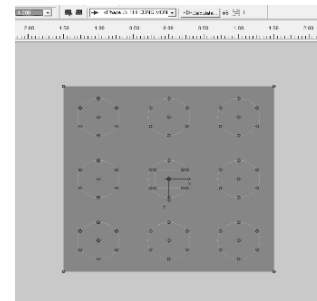
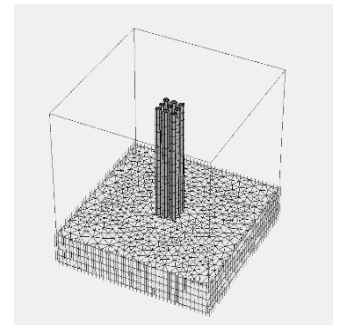
STT	Tham số	Ký hiệu	Trụ đất xi măng
1	Mô hình	Model	Linear - elastic
2	Ứng xử vật liệu	Type	Non - porous
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	γ_{unsat}	25
4	Mô đun Young, E (kN/m ²)	E	29,2 x 10 ⁶
5	Hệ số Poisson (-)	ν	0,300

3.4. Quá trình tính toán

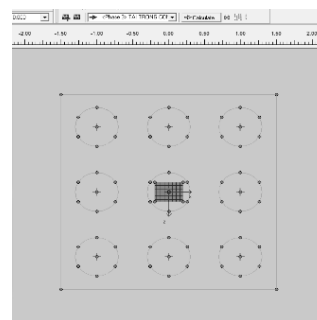
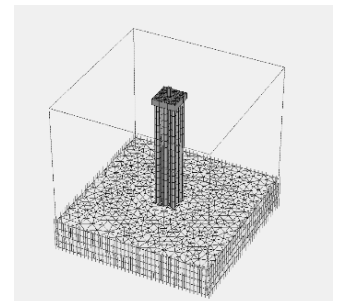
Các giai đoạn mô phỏng: Thi công trụ đất xi măng, thi công móng và gán tải trọng công trình. Quá trình mô phỏng để phân tích ứng suất và biến dạng được trong nền móng được mô tả như các hình từ Hình 4 đến Hình 6.



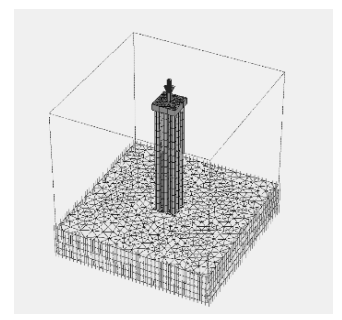
Hình 4 - Giai đoạn 1 - Thi công trụ đất xi măng



Hình 5 - Giai đoạn 2 - Thi công móng



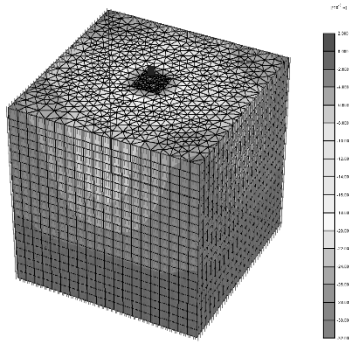
Hình 6 - Giai đoạn 3 - Gán tải trọng



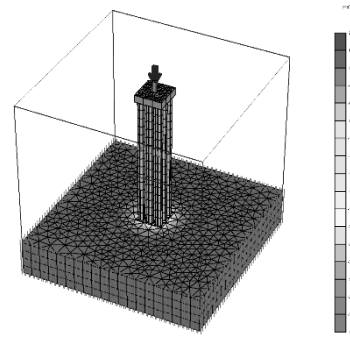
4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Kết quả mô phỏng nền đất yếu bên dưới móng công trình được gia cố bằng trụ đất xi măng đường kính 0,6 m chiều dài 14,6 m và khoảng cách các trụ là 1,0 m chịu tải trọng thẳng đứng và đúng tâm từ kết cấu trên truyền xuống có độ lún chỉ 31,06 mm (Hình 7 và Hình 8).

4.1. Biến dạng của hệ móng

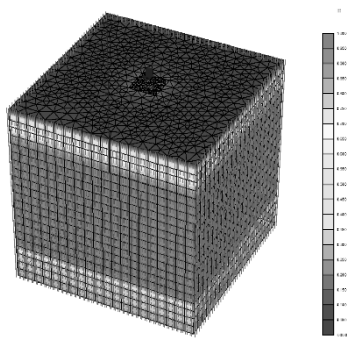


Hình 7 - Chuyển vị theo phương đứng của nền đất gia cố

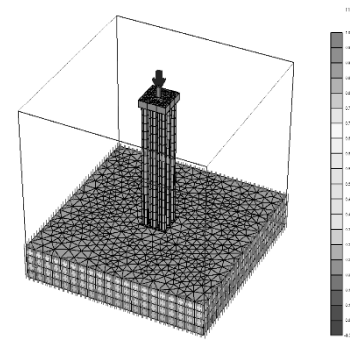


Hình 8 - Chuyển vị của móng

4.2. Sự phân bố ứng suất của hệ móng



Hình 9 - Sự phân bố ứng suất trong nền gia cố



Hình 10 - Sự phân bố ứng suất trong trụ đất xi măng

Bằng phương pháp phần tử hữu hạn có thể mô phỏng bài toán gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng cho móng công trình dân dụng. Phương pháp này có thể xác định chuyển vị (Hình 7 và Hình 8) và ứng suất (Hình 9 và Hình 10) trong nền đất được gia cố.

5. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy giải pháp trụ đất xi măng với đường kính $d = 0,6m$, chiều dài $l = 14,6m$, khoảng cách các trụ $1,0m$ và bố trí dạng lưới ô vuông thì đất nền sau khi gia cố đủ khả năng chịu tải trọng của công trình, có độ lún của móng là $31,06 \text{ mm}$ và nhỏ hơn độ lún cho phép $2,6$ lần.

Nền đất yếu có nhiều tác hại và nguy cơ gây mất an toàn cho các công trình xây dựng. Việc nghiên cứu nền đất yếu và xác định biện pháp xử lý phù hợp có một ý nghĩa quan trọng. Có nhiều giải pháp kỹ thuật để xử lý nền đất yếu bên dưới móng công trình, mỗi giải pháp đều có những ưu và nhược điểm riêng, mỗi giải pháp chỉ nên sử dụng trong điều kiện thích hợp. Tùy thuộc vào cấu tạo địa chất của đất nền, tùy thuộc vào giá trị tải trọng công trình tác dụng mà ta lựa chọn giải pháp nền móng hợp lý nhất. Sự lựa chọn giải pháp ở nghiên cứu này chỉ xét trong phạm vi kỹ thuật mà chưa xem xét và so sánh về mặt hiệu quả kinh tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Khoa học và Công nghệ, *Gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng*, TCVN 9403-2012, Hà Nội, 2012.
 [2] Bruce, D. A., *An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as used in Geotechnical Applications*, FHWA-RD-99-138, Federal Highway Administration, McClean, VA, 2000.
 [3] Coastal Development Institute of Technology-CDIT, *The Deep Mixing Method: Principle, Design and Construction*, A.A. Balkema: The Netherlands, 2002.
 [4] EuroSoilStab, *Development design and construction methods to stabilize soft organics soils, Design Guide Soft Soil Stabilization*, CT 97-0351, Project No. BE 96-3177.

[5] Nguyễn Mạnh Thủy, Ngô Tấn Phong, "Một số kết quả nghiên cứu gia cố đất yếu khu vực Quận 9, TP.HCM bằng vôi, xi măng," *Journal of Science & Technology Development*, Tập 10, Số 10, 2007.
 [6] Lâm Quốc Thống, "Phương pháp tính toán móng Cọc Xi măng - đất kết hợp với móng bè cho các công trình dân dụng vừa và cao tầng loại I", *Báo cáo Hội nghị sinh viên nghiên cứu khoa học*, 2016, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng.
 [7] Đỗ Hữu Đạo, "Nghiên cứu sự làm việc của cọc đơn và nhóm cọc đất xi măng cho công trình nhà cao tầng", Luận án Tiến sĩ, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, 2015.
 [8] Bergado, D.T., Anderson, L.R, Miura, N. and Balasubramaniam, A.S., "Soft Ground Improvement in Lowland and Other Environments," *ASCE*, pp. 234-304, 1996.
 [9] Kawasaki, T., Niina, A., Saitoh, S., Suzuki, Y. and Honjyo, Y. "Deep Mixing Method Using Cement Hardening Agent." *Proceedings of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Stockholm, 1981, pp. 721-724.
 [10] Niina, A., S. Saitoh, R. Babasaki, I. Tsutsumi & T. Kawasaki, "Study on DMM using cement hardening agent (Part 1)," *Proc. of the 12th Japan National Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1977, pp. 1325-1328.
 [11] Okumura, T., M. Terashi, T. Mitsumoto, T. Yoshida & M. Watanabe, "Deep-lime-mixing method for soil stabilization (3rd Report)," *Report of the Port anh Harbour Research Institute*, 1974, pp. 3-44.
 [12] Terashi, M. and Tanaka, H. "Settlement Analysis for Deep Mixing Method," *Proceedings of the 8th Conference of Soil Mechanics and Foundations Engineering*, Vol. 2, 1983, pp. 955-960.
 [13] Terashi, M., "Deep Mixing Methods - Brief state of the art," in *14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Germany, 1997, pp. 2475-2478.
 [14] Thiam-Soon Tan, Teik-Lim Goh and Kwet-Yew Yong, "Properties of Singapore Marine Clays Improved by Cement Mixing," *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 25, No. 4, 2002, pp. 422-433.
 [15] Bộ Khoa học và Công nghệ, *Móng cọc - Tiêu chuẩn thiết kế*, TCVN:10304-2014, Hà Nội, 2014.
 [16] Công ty trách nhiệm hữu hạn một thành viên Thành Phú TG, *Hồ sơ báo cáo địa chất công trình tại thị xã Gò Công - tỉnh Tiền Giang*, 2019.