

Phương pháp thiết kế đơn giản trụ đất xi măng trong gia cố nền đường đất yếu

Nguyễn Ngọc Thắng¹

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

TỪ KHOẢ

Trụ đất xi măng
Xử lý nền
Đất yếu
Sức chịu tải
Đồng bằng Sông Cửu Long

TÓM TẮT

Mục tiêu chính của nghiên cứu là xác định một phương pháp thiết kế trụ đất xi măng phù hợp cho việc xử lý nền đất yếu tại Đồng bằng Sông Cửu Long để khắc phục hạn chế của các phương pháp hiện nay, được gọi là phương pháp đơn giản. Trong nghiên cứu này, phương pháp thiết kế hợp lý trụ đất xi măng cho phương pháp trộn sâu trong xử lý nền đất yếu được đề xuất dựa trên sự khảo sát các kích thước khác nhau của đường kính, khoảng cách và chiều dài trụ đất xi măng.

KEYWORDS

Deep cement mixing columns
Soil improved
Soft soil
Bearing capacity
Mekong Delta

ABSTRACT

The main objective of the research is to determine a method of designing deep cement mixing (DCM) columns which is suitable for improving soft ground in the Mekong Delta to overcome limitations of current methods, called the simple method. In this study, the method of appropriately designing DCM columns in soft ground improvement is proposed based on the survey of different dimensions of parameter, distance and length of DCM columns.

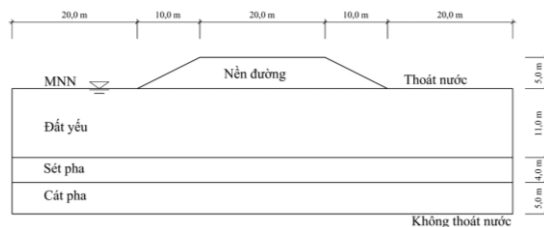
1. Giới thiệu

Hiện nay, tại Thành phố Hồ Chí Minh và Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL) ngày càng có nhiều công trình ứng dụng trụ đất xi măng vào xử lý nền đất yếu, đặc biệt nền của các dự án sân bay và đường cao tốc như: Đường nối hầm Thủ Thiêm với đại lộ Đông Tây, đường vào sân đỗ cảng hàng không Cần Thơ, đường băng sân bay Cần Thơ, móng bồn dầu tại Tổng kho xăng dầu Cần Thơ,... Có nhiều phương pháp để thiết kế trụ đất xi măng trong xử lý nền đất yếu (Bengt B. Broms, 1999) [1], (EuroSoilStab, 2002) [2] và (Coastal Development Institute of Technology, 2002) [3]. Trong các phương pháp này, độ lún của lớp đất yếu được tính toán bằng chỉ số cố kết và khả năng chịu tải được kiểm tra bằng khả năng chịu nén của trụ đất xi măng và đất. Tuy nhiên, các phương pháp để thiết kế trụ đất xi măng chưa đưa ra quy trình đơn giản để thiết kế trụ đất xi măng.

2. Mô hình nghiên cứu

Mô hình là một con đường đắp cao với các lớp đất yếu: Nền đất có 3 lớp đất gồm 11 m đất sét yếu, 4 m sét pha và 5 m cát pha, phía trên các lớp đất là một đường giao thông với chiều cao đất đắp là 5 m. Mô hình được phân tích ở dạng 2 chiều (2D) là một mặt cắt ngang của đường đắp cao (Hình 1).

Đất sét yếu là một trong những loại đất ở ĐBSCL. Tính chất của đất được thí nghiệm từ các thí nghiệm đất ngoài hiện trường và trong phòng thí nghiệm. Tính chất của đất dùng trong nghiên cứu này được trình bày trong Bảng 1.



Hình 1. Móng trên nền đất được gia cố bằng trụ đất xi măng.

Bảng 1. Tính chất của các lớp đất.

STT	Thông số	Ký hiệu	Đất yếu	Sét pha	Cát pha	Nền đường
1	Dung trọng bão hòa (kN/m ³)	γ_{sat}	14,370	18,880	18,510	20,000
2	Mô đun Young, E (MPa)	E	3,048	6,028	7,434	20,000
3	Lực dính (MPa)	c	0,0071	0,0131	0,0024	0,010
4	Hệ số rỗng	e_o	2,389	0,705	0,604	1,500

2. Tính toán thiết kế

Để có được thiết kế xử lý hợp lý cho nền đất trên, một chuỗi sự tính toán về độ lún của nền đường và khả năng chịu tải của lớp đất được thực hiện bằng cách thay đổi kích thước của đường kính, khoảng cách và chiều dài của cột. Thiết kế hợp lý được xác định bởi tỉ số diện tích xử lý thấp nhất và giới hạn của độ lún cho phép.

Phương pháp đơn giản được bắt đầu bởi sự dự đoán khả năng chịu tải của các lớp đất bằng cách sử dụng các công thức của Karl

*Liên hệ tác giả: nguyenngocthang@tgu.edu.vn

Nhận ngày 15/01/2022, sửa xong ngày 28/01/2022, chấp nhận đăng 05/06/2022

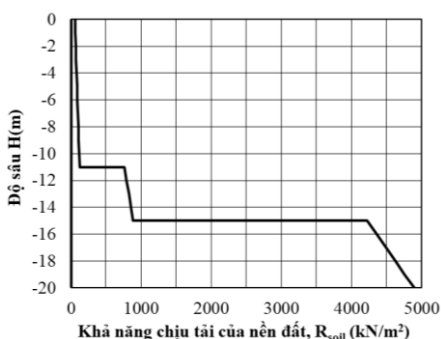
Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2022.311>

Tezaghi and Ralph B. Peck (1996) [4] :

$$R_{soil} = cN_c + \frac{1}{2} B \gamma'_H N_\gamma + \sigma'_D N_q \quad (1)$$

Trong đó: R_{soil} : Khả năng chịu tải giới hạn của nền đất; c : Lực dính của đất; B : Bề rộng nền đường; γ'_H : Khối lượng riêng đẩy nổi phía dưới nền đường; σ'_D : Áp lực đất tại độ sâu H ; N_c , N_γ , N_q : Các hệ số sức chịu tải phụ thuộc vào tính chất của đất.

Khả năng chịu tải theo độ sâu của các lớp đất bên dưới nền đường được tính theo công thức 1, kết quả tính toán được thể hiện ở hình 2. Khả năng chịu tải lớn nhất của lớp đất yếu tại độ sâu -11 m là 115 kN/m². Nền đất này không đủ khả năng chịu tải do tổng áp lực đường đắp cao và tải trọng xe bên trên gây ra, 120 kN/m².



Hình 2. Khả năng chịu tải của các lớp đất bên dưới nền đường.

Như đã giải thích ở trên, mục đích của phương pháp xử lý nền bằng trụ đất xi măng là giảm độ lún của công trình. Tổng độ lún của các lớp đất phía dưới nền đường được tính toán theo phương pháp cộng lún từng lớp phân tổ như công thức 2.

$$s_i = \frac{h_i}{1+e_0^i} C_c^i \log_{10} \left(\frac{\sigma_{vz}^i + \sigma_z^i}{\sigma_{vz}^i} \right) \quad (2)$$

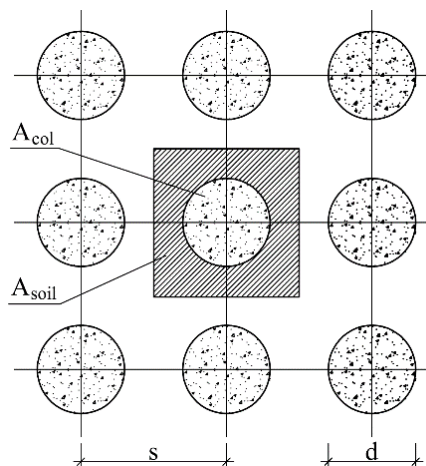
Trong đó: s_i : Độ lún của lớp đất thứ i ; h_i : Chiều dày của lớp đất thứ i ; e_0^i : Độ rỗng ban đầu của lớp đất thứ i ; C_c^i : Hệ số nén của lớp đất thứ i ; σ_{vz}^i : Ứng suất hữu hiệu gây ra bởi trọng lượng của các lớp đất phía trên tại giữa lớp đất thứ i ; σ_z^i : Ứng suất tại của lớp đất thứ i .

Kết quả theo công thức 2, độ lún do áp lực đất đắp phía trên gây ra cho nền đất như hình 1 là 2,333 m. Độ lún này lớn hơn rất nhiều độ lún cho phép tại trục tim của nền đường sau khi hoàn thành công trình [5].

Trường hợp nền đất được xử lý bằng trụ đất xi măng, các trụ đất xi măng được bố trí theo dạng ô vuông như hình 3. Sử dụng bảng tính chất vật liệu trong bảng 2 và các công thức từ 3 đến 7 [5 - 9] để tính toán khả năng chịu tải của trụ đất xi măng xử lý cho nền đất này.

Bảng 2. Tính chất của trụ đất xi măng

Thông số	Nền đường	Đơn vị
Cường độ nén, q_u	1,458	MPa
Dung trọng bão hòa, γ_{sat}	15,810	kN/m ³
Mô đun Young, E	43,750	MPa
Lực dính, c	0,175	MPa
Góc ma sát, φ	30,00	o
Hệ số rỗng, e_0	1,532	-



Hình 3. Bố trí trụ đất xi măng.

$$Q_{col} < Q_{ult,col}^{max} \quad (3)$$

$$Q_{col} < Q_{ult,soil}^{max} \quad (4)$$

$$Q_{col} = q_{col} \cdot A_{col} \quad (5.a)$$

$$q_{col} = \frac{q}{E_{eq}} E_{col} \quad (5.b)$$

$$E_{eq} = E_{col} a_s + (1-a_s) E_{soil} \quad (5.c)$$

$$a_s = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d}{s} \right)^2 \quad (5.d)$$

$$Q_{ult,soil} = \frac{1}{FS} (\pi d L_c + 2,25 \pi d^2) c_{u,soil} \quad (6)$$

$$Q_{ult,col}^{max} = \frac{A_{col} q_{1,max}}{FS} \quad (7.a)$$

$$q_{1,max} = 0,95 a_s \sigma_{ult} \quad (7.b)$$

$$\sigma_{ult} = 3,5 c_{u,col} + 3 \sigma_h \quad (7.c)$$

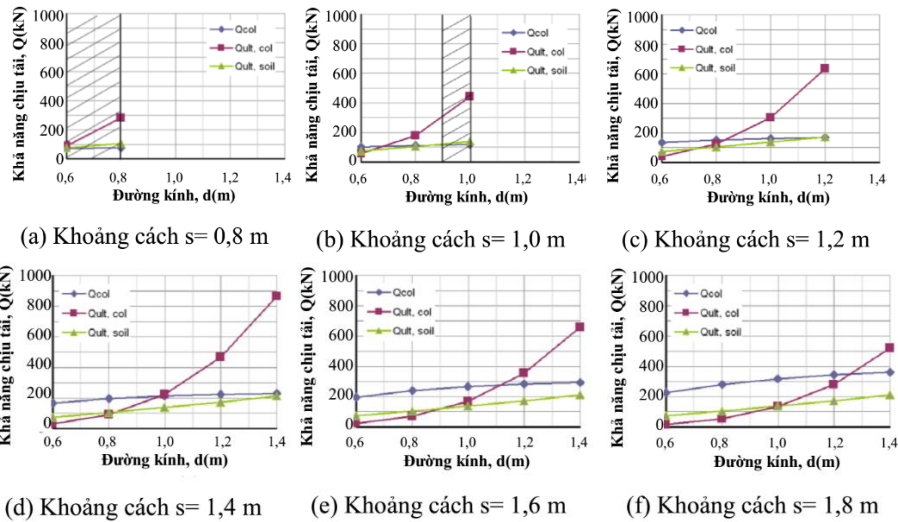
$$\sigma_h = \sigma_v + 5 c_{u,soil} \quad (7.d)$$

Trong đó: Q_{col} : Tải tác dụng lên đầu trụ đất xi măng; $Q_{ult,soil}$: Khả năng chịu tải của trụ đất xi măng được xác định theo điều kiện đất nền; $Q_{ult,col}$: Khả năng chịu tải của trụ đất xi măng được xác định theo điều kiện vật liệu; E_{eq} : Mô đun đàn hồi tương đương của đất và trụ đất xi măng; E_{col} : Mô đun đàn hồi của trụ đất xi măng; E_{soil} : Mô đun đàn hồi của lớp đất yếu; q : Tải trên đường; A_{col} : Diện tích mặt cắt ngang trụ đất xi măng; a_s : Hệ số diện tích xử lý; L_c : Chiều dài trụ đất xi măng; d : Đường kính trụ đất xi măng; s : Khoảng cách các trụ đất xi măng; $c_{u,col}$: Sức kháng cắt không thoát nước của trụ đất xi măng; $c_{u,soil}$: Sức kháng cắt không thoát nước của đất xung quanh trụ đất xi măng; FS : Hệ số an toàn; σ_{ult} : Khả năng chịu tải giới hạn của trụ đất xi măng đơn; σ_h : Áp lực ngang giữa đất và trụ đất xi măng; σ_v : Áp lực đất; γ' : Dung trọng đẩy nổi.

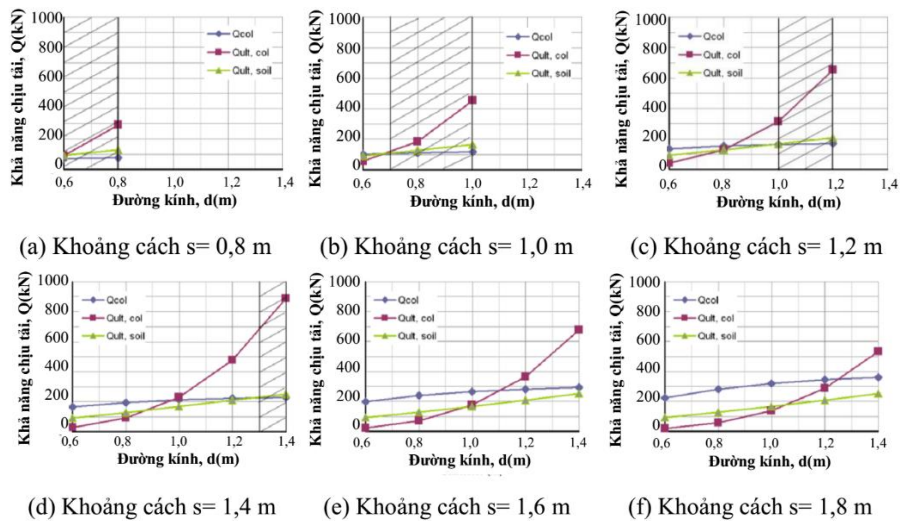
Trong phương pháp đơn giản này, đường kính trụ đất xi măng được thay đổi từ 0,6 m, 0,8 m, 1,0 m, 1,2 m, 1,4 m; Khoảng cách từ tâm đến tâm cột lần lượt là 0,8 m, 1,0 m, 1,2 m, 1,4 m, 1,6 m, 1,8 m; Chiều dài lần lượt là 7 m, 9 m, 11 m.

4. Kết quả tính toán

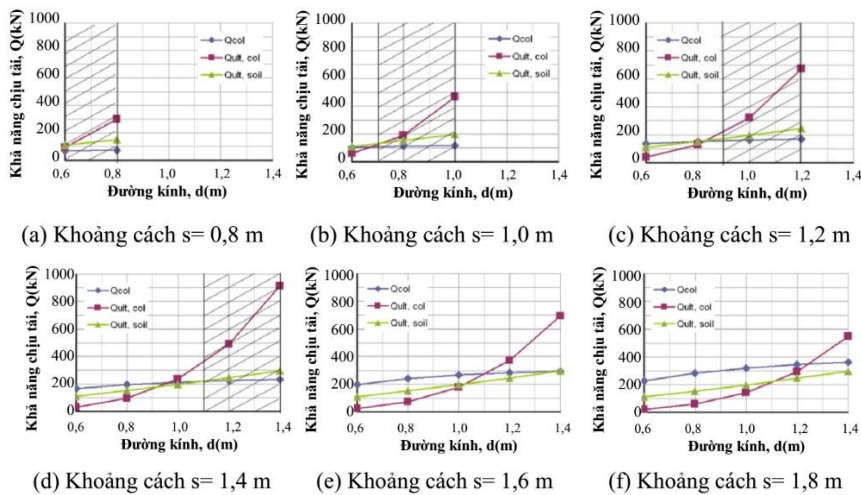
Kết quả tính toán được trình bày trên các hình từ 4 đến 6. Khu vực được đánh dấu trên hình được đề nghị là an toàn trong các công thức 3 và 4.



Hình 4. Khả năng chịu tải của trụ đất xi măng với $L = 7$ m.



Hình 5. Khả năng chịu tải của trụ đất xi măng với $L = 9$ m.

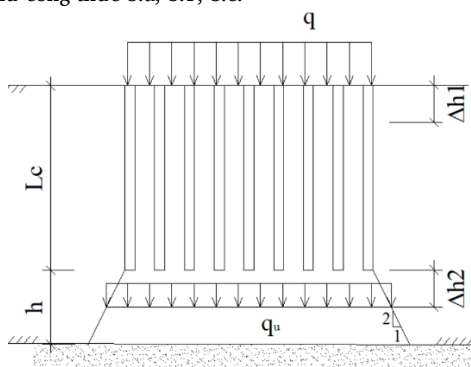


Hình 6. Khả năng chịu tải của trụ đất xi măng với $L = 11$ m.

Bảng 3. Tính toán tỉ số diện tích xử lý

Chiều dài L (m)	Khoảng cách s = 0,8 m	Khoảng cách s = 1,0 m	Khoảng cách s = 1,2 m	Khoảng cách s = 1,4 m
7	d: 0,6 m a _s : 0,442	d: 1,0 m a _s : 0,785	d: 1,2 m a _s : 0,785	-
9	d: 0,6 m a _s : 0,442	d: 0,8 m a _s : 0,502	d: 1,0 m a _s : 0,545	d: 1,4 m a _s : 0,785
11	d: 0,6 m a _s : 0,442	d: 0,8 m a _s : 0,502	d: 1,0 m a _s : 0,545	d: 1,2 m a _s : 0,557

Bước cuối cùng của phương pháp đơn giản là tính toán độ lún của nền đường sau khi xử lý bằng trụ đất xi măng [10 - 12]. Tổng độ lún gồm độ lún của nền đất đã được xử lý và nền đất phía dưới vùng xử lý như công thức 8.a, 8.b, 8.c.



Hình 7. Lún của nhóm trụ đất xi măng.

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 \tag{8.a}$$

$$\Delta h_1 = \frac{qL_c}{\alpha_s E_{col} + (1 - \alpha_s) E_{soil}} \tag{8.b}$$

$$\Delta h_2 = \frac{h}{1 + e_0} C_c \log_{10} \left(\frac{\sigma_{vz} + q_u}{\sigma_{vz}} \right) \tag{8.c}$$

Trong đó: Δh: Độ lún tổng cộng; Δh₁: Độ lún của nền đất được xử lý; Δh₂: Độ lún của nền đất bên dưới trụ đất xi măng; q_u: ứng suất của lớp đất đắp gây ra tại giữa lớp đất bên dưới vùng xử lý.

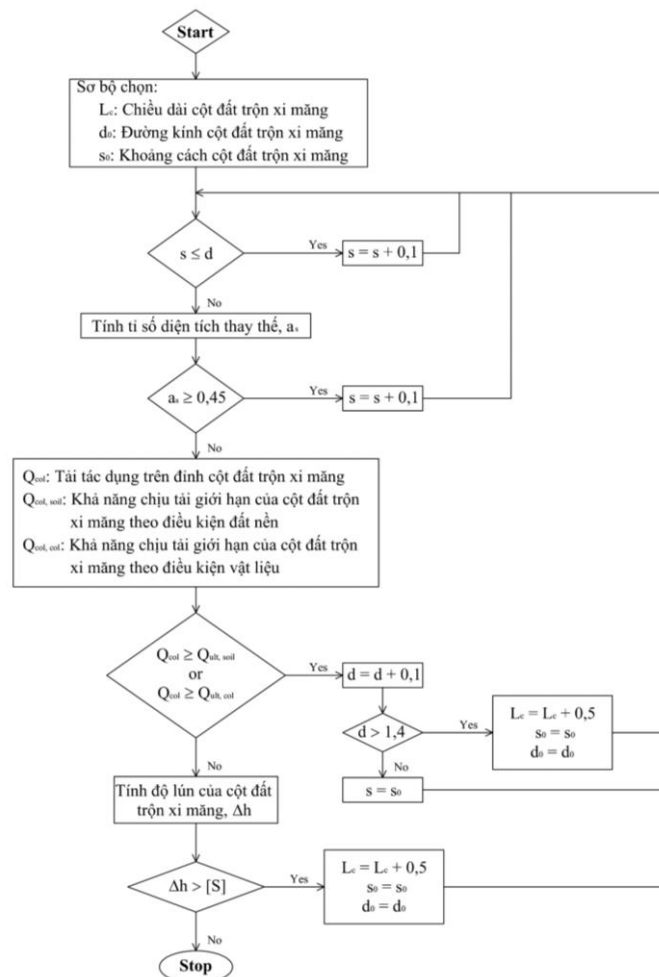
Theo công thức 8.a thì độ lún tổng cộng nhỏ nhất trong trường hợp nền đất được xử lý với chiều dài trụ đất xi măng 11 m là 0,169 m. Độ lún này nhỏ hơn độ lún cho phép. Vậy thiết kế hợp lý của trụ đất xi măng trong trường hợp này là trụ đất xi măng có đường kính 0,6 m, khoảng cách 0,8 m và chiều dài 11 m.

Phương pháp thiết kế đơn giản được rút ra từ kết quả của nghiên cứu để xác định thiết kế hợp lý của trụ đất xi măng về đường kính, khoảng cách và chiều dài cột được đề xuất theo sơ đồ Hình 7.

4. Kết luận

Quy trình thiết kế trụ đất xi măng để làm ổn định nền đường được xác định bằng phương pháp đơn giản được đề nghị theo sơ đồ Hình 7. Kết quả tính toán có thiết kế hợp lý là trụ đất xi măng đường kính 0,6 m chiều dài 11 m và khoảng cách các cột là 0,8 m có độ lún 0,169 m.

Công nghệ trụ đất xi măng áp dụng hiệu quả cho việc xử lý các nền đường đắp cao trên nền đất yếu; công trình yêu cầu thời gian thi công ngắn; độ lún còn lại nhỏ; yêu cầu đất nền cố kết nhanh. Phương pháp xử lý trụ đất xi măng tuy có nhiều ưu điểm song nó phụ thuộc nhiều vào công nghệ thi công nên yêu cầu có hệ thống quy chuẩn quy định các quy trình thi công nghiêm ngặt và quy trình kiểm tra nghiệm thu kiểm tra hoàn thiện.



Hình 7. Sơ đồ của phương pháp đơn giản

Tài liệu tham khảo

- [1]. Bengt B. Broms (1999), "Dry Mix Method for Deep Soil Stabilization", in International Conference on Dry Mix Methods: Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization, Rotterdam Balkema.
- [2]. EuroSoilStab, *Development design and construction methods to stabilize soft organics soils, Design Guide Soft Soil Stabilization*, CT 97-0351, Project No. BE 96-3177.
- [3]. Coastal Development Institute of Technology-CDIT, *The Deep Mixing Method: Principle, Design and Construction*, A.A. Balkema: The Netherlands, 2002.
- [4]. Karl Tezaghi and Ralph B. Peck (1996). "Soil Mechanics in Engineering Practice", 3rd Edition.

- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. Okumura, T., M. Terashi, T. Mitsumoto, T. Yoshida & M. Watanabe, "Deep-lime-mixing method for soil stabilization (3rd Report)," *Report of the Port and Harbour Research Institute*, 1974, pp. 3-44.
- [8]. 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.
- [9]. 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.
- [10]. Bộ Khoa học và Công nghệ, *Gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng*, TCVN 9403-2012, Hà Nội, 2012.
- [11]. Bruce, D. A., *An Introduction to the Deep Soil Mixing Methods as used in Geotechnical Applications*, FHWA-RD-99-138, Federal Highway Administration, McLean, VA, 2000.
- [12]. 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.