

GIA CƯỜNG NÔNG ĐẤT YẾU CÓ CÁT SAN LẤP BẰNG CỌC XI MĂNG - ĐẤT

Nguyễn Sỹ Hùng^{a,*}, Vương Hoàng Thạch^b

^aKhoa Xây dựng, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh,
số 1 đường Võ Văn Ngân, quận Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

^bSở Xây dựng An Giang, 99 Trần Quang Diệu, Mỹ Hoà, Thành phố Long Xuyên, An Giang, Việt Nam

Nhận ngày 12/08/2019, Sửa xong 16/09/2019, Chấp nhận đăng 16/09/2019

Tóm tắt

Trong bài báo này, các tác giả đã tiến hành thử nghiệm phương án gia cường nền đất yếu có cát san lấp bằng đệm cọc xi măng - đất có chiều dài ngắn, áp dụng cho nhà ở thấp tầng. Các cọc xi măng - đất sẽ tạo thành một cái đệm dưới đáy móng cho phép giảm ứng suất gây lún tác động xuống phần đất yếu bên dưới. Khi trộn xi măng PCB 40 vào đất cát san lấp với hàm lượng 300 kg/m^3 , cường độ nén đơn trục cho mẫu xi măng - đất trộn ở trong phòng có thể đạt tới 8 MPa và ở hiện trường có thể đạt đến 6 MPa. Kết quả thí nghiệm bàn nén hiện trường cho thấy phương án gia cường nông bằng đệm cọc xi măng - đất làm sức chịu tải của móng nông tăng lên hơn 3 lần, độ lún tức thời của móng có thể giảm đến 5 lần so với lúc chưa gia cố.

Từ khoá: thí nghiệm bàn nén hiện trường; gia cố nông; cọc xi măng - đất.

SHALLOW REINFORCEMENT OF FILLING SAND LAYER ABOVE SOFT SOIL USING SOIL-CEMENT COLUMNS METHOD

Abstract

In this paper, the authors conducted an experiment in reinforcing the filling sand layer above soft soil using the method of short soil-cement columns. This proposed method could be used for foundation of low-rise houses. The short soil-cement columns would produce a better layer at the bottom of the foundation which resulted a reduction in stress increment causing settlement in the soft soil below. When PCB 40 cement was mixed in filling sand layer with a weight content of 300 kg/m^3 , the uniaxial compressive strength of the soil-cement sample could be up to 8 MPa and 6 MPa, for sample prepared in laboratory and in situ, respectively. The results of the static load testing showed that the foundation reinforced with the proposed method could enhance its bearing capacity more than 3 times and reduce the immediate settlement up to 5 times, compared with unreinforced foundation.

Keywords: static load testing; shallow mixing method; soil-cement columns.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(4V\)-15](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(4V)-15) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Vùng đồng bằng sông Cửu Long có nhu cầu xây dựng nhà ở thấp tầng (nhỏ hơn hoặc bằng 04 tầng) lớn. Tuy nhiên, do địa chất có lớp đất bề mặt rất yếu và dày, có thể lên từ 15 đến 30 m [1], nên điều kiện xây dựng khó khăn, tốn kém. Trong trường hợp khu dân cư có cát san lấp, nền công trình còn có hiện tượng lún cổ kết dẫn đến các công trình bị lún nhiều, nhanh xuống cấp.

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: sihung.nguyen@hcmute.edu.vn (Hùng, N. S.)

Dùng cát san lấp trên đất yếu vừa có mặt thuận lợi vừa có mặt khó khăn trong công tác xây dựng. Lớp cát sẽ đóng vai trò như một dạng tải trọng và một biên thoát nước làm cho lớp đất yếu phía dưới lún cố kết. Độ lún các vùng cát san lấp sau 02 năm có thể đạt từ vài chục cm đến hơn 100 cm tùy vào chiều dày san lấp. Lún cố kết có thể làm cho công trình có móng nông bên trên bị lún theo hoặc gây xuất hiện ma sát âm cho công trình móng cọc [2, 3]. Tuy nhiên, nếu đất nền đã được san lấp lâu ngày, lún cố kết còn lại không đáng kể, thì lớp đất cát san lấp phía trên lại rất thuận lợi để đặt móng nông. Trong trường hợp trộn đất cát với xi măng sẽ cho cường độ xi măng – đất cao hơn so với các loại đất khác chứa hạt sét [4, 5].

Qua khảo sát, một số các giải pháp nền móng thường được áp dụng cho nhà ở thấp tầng các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long bao gồm:

- Móng cọc ép bê tông cốt thép thông thường (có kích thước từ 200 mm trở lên) ép vào các lớp đất tương đối tốt ở độ sâu 20 đến 40 m. Phương án này thường có độ ổn định cao nhưng tốn kém;
- Móng cọc ép đường kính nhỏ, đường kính từ 100 đến 150 mm, có chiều dài dưới 10 m. Trong trường hợp phần lớn chiều dài cọc nằm trong lớp đất yếu, giải pháp này hiệu quả thấp và giá thành không rẻ;
- Gia cường, làm chặt đất bằng cọc đá chẻ, cạnh cọc khoảng 100 đến 150 mm, dài dưới 2 m thi công bằng phương pháp xói nước. Hiệu quả cọc này tương đối tốt tuy nhiên giá thành vẫn khá đắt, khi công hay bị gãy cọc;
- Gia cường làm chặt đất bằng cọc cừ tràm. Đây là giải pháp truyền thống, tương đối rẻ và hiệu quả. Tuy nhiên, trong trường hợp có cát san lấp phần cọc nằm trong cát có thể bị khô nước dẫn đến mục cọc, tuổi thọ ngắn.

Với mục đích tìm ra một số phương án nền móng phù hợp điều kiện địa chất cát san lấp trên đất yếu, giá thành rẻ, dễ thi công, dễ áp dụng cho xây dựng nhà thấp tầng với người dân có thu nhập thấp, các tác giả đã tiến hành các thí nghiệm thực nghiệm gia cường nông bằng trộn xi măng – đất trong phần đất cát san lấp. Các thí nghiệm ban đầu cho thấy các kết quả tích cực về nâng cao khả năng chịu tải của móng, độ lún tức thời của móng giảm rõ rệt.

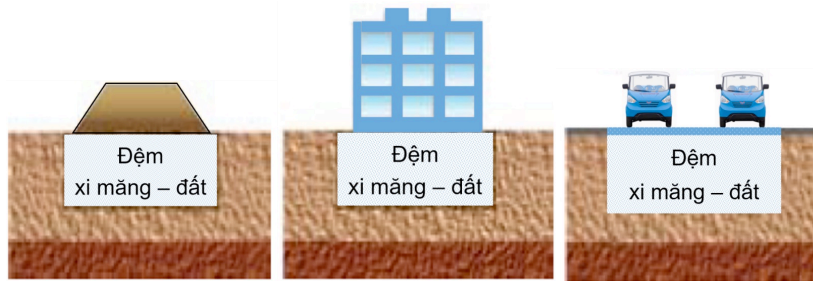
2. Sơ lược về gia cường nông xi măng – đất

Gia cường đất bằng xi măng (in situ soil mixing) có thể chia ra hai loại là trộn sâu (deep mixing method DMM) và trộn nông (shallow mixing method SMM). Phương pháp trộn sâu được áp dụng phổ biến nhiều hơn so với trộn nông [6].

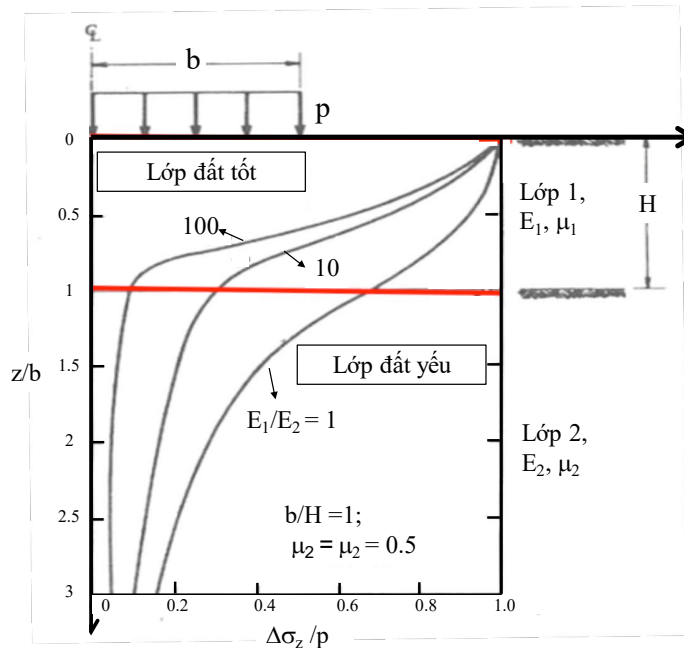
Phương pháp trộn nông SMM thường được đồng nhất với ổn định toàn khối (mass stabilisation), đất được trộn theo cả phương ngang lẫn phương đứng, độ sâu trộn đứng thường nhỏ hơn 5 m. Cũng như phương pháp trộn sâu, phương pháp trộn nông được chia làm hai loại trộn ướt và trộn khô [6].

Phương pháp trộn nông có thể áp dụng gia cố nền đường, đê, gia cố đất dưới móng công trình nhà, chống hóa lỏng đất nền, ... vv [6, 7]. Công trình được đặt trên một đệm xi măng – đất có độ cứng lớn ngăn cách với nền đất yếu bên dưới (Hình 1). Cơ sở của phương pháp gia cường nông nền đất yếu là làm gia tăng cường độ và mô đun biến dạng của phần đất tương đối mỏng dưới đáy móng, từ 0,5 đến 2 lần bề rộng móng, tạo thành một đệm xi măng - đất. Mô đun biến dạng của lớp đệm càng lớn, ứng suất gây lún tác động đến phần đất yếu bên dưới càng nhỏ, từ đó giảm độ lún của móng, công trình [8, 9]. Như Hình 2, tỷ lệ mô đun biến dạng phần đệm đất được gia cố dưới đáy móng E_1 và phần đất tự nhiên E_2 càng lớn, sự suy giảm về ứng suất gây lún trong lớp đất yếu càng cao [8].

Rasouli và cs. [9] đã làm các mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn dùng mô hình Mohr-Coulomb cho móng nông đặt trên đệm đất - xi măng với các bề rộng móng B , bề rộng vùng đệm W , chiều cao vùng đệm H khác nhau. Hàm lượng xi măng trộn đất được thay đổi từ 2% đến 8%, các mẫu



Hình 1. Gia cố nền bằng đệm xi măng – đất cho đê, công trình nhà, đường ô tô (thứ tự từ trái qua phải)



H là chiều dày lớp đất tốt; b là bề rộng đặt tải, p là tải trọng; z là độ sâu; E_1, E_2 lần lượt là mô đun biến dạng của lớp đất 1 và 2; μ_1, μ_2 lần lượt là hệ số poisson của lớp đất 1 và 2.

Hình 2. Sự suy giảm ứng suất gây lún $\Delta\sigma_z$ theo (E_1/E_2) [8]

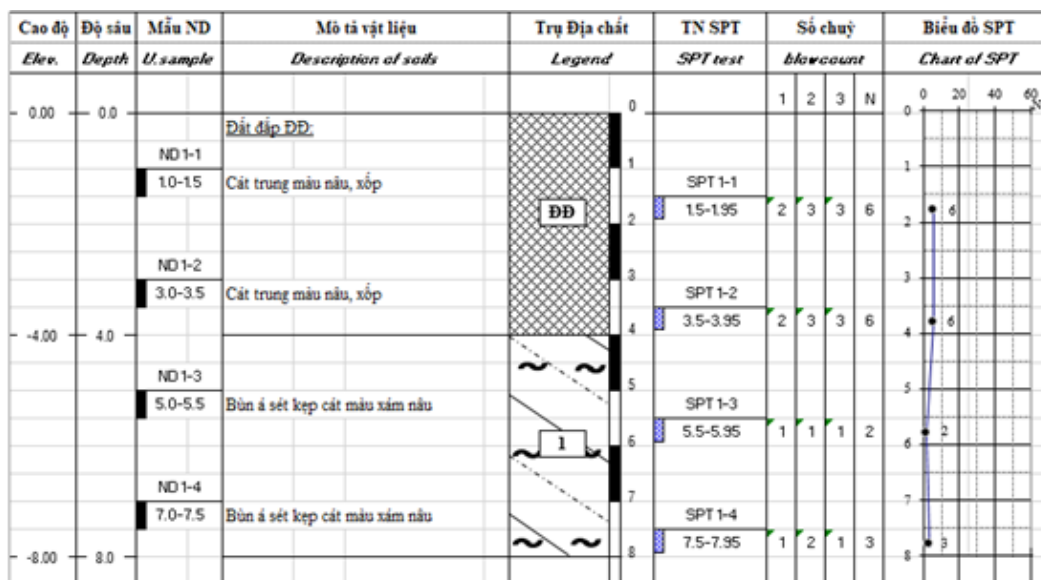
đất – xi măng được thí nghiệm xác định thông số để đưa vào mô hình tính toán. Nghiên cứu cho thấy sức chịu tải của móng tăng lên khi tỷ lệ $W/B, H/B$ tăng hoặc hàm lượng xi măng trong đất tăng. Hiệu quả tăng cường sức chịu tải của móng trên đệm xi măng - đất càng cao khi bề rộng móng càng nhỏ.

3. Thí nghiệm gia cố nông bằng cọc xi măng đất

3.1. Địa điểm thí nghiệm và điều kiện địa chất

Vị trí thí nghiệm là khu dân cư Sao Mai, phường Bình Khánh 3, thành phố Long Xuyên, tỉnh An Giang, có diện tích xấp xỉ 50 héc ta. Đất nguyên thổ khu vực này bao gồm lớp đất 1 là bùn á sét xen kẹp cát màu xám nâu dày từ 4 đến 8 m, lớp đất 2 là cát hạt trung màu xám, trạng thái chặt vừa có độ dày từ 8 đến 18,5 m (Hình 3). Đến thời điểm thực hiện thí nghiệm (tháng 7 năm 2018), khu đất đã được san nền hoàn thành bằng cát dày trung bình 2 m được hơn 10 năm, có thể xem lún cố kết do san

nền đã kết thúc. Tại vị trí thí nghiệm, mực nước ngầm ổn định cách bề mặt 1,5 m. Các chỉ tiêu cơ lý cơ bản của lớp đất san nền và lớp đất 1 tại vị trí thí nghiệm thể hiện trong Bảng 1.



Hình 3. Hình trụ lỗ khoan

Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ lý của đất

Lớp đất	Độ ẩm W (%)	26,2
Lớp cát san lấp	Dung trọng tự nhiên γ_w (kN/m ³)	17,69
	Dung trọng khô γ_d (kN/m ³)	14,01
	Tỷ trọng G_s	2,672
	Góc ma sát trong φ (°)	23°24'
	Modul biến dạng E_{1-2} (kN/m ²)	8930,5
	N (SPT)	6
Lớp 1: Bùn á sét xen kẹp cát màu xám nâu	Độ ẩm W (%)	41
	Dung trọng tự nhiên γ_w (kN/m ³)	17,17
	Dung trọng khô γ_d (kN/m ³)	12,18
	Tỷ trọng G_s	2,667
	Góc ma sát trong φ (°)	6°27'
	Lực dính c (kN/m ²)	6
	Modul biến dạng E_{1-2} (kN/m ²)	1946,6
	N (SPT)	2÷3

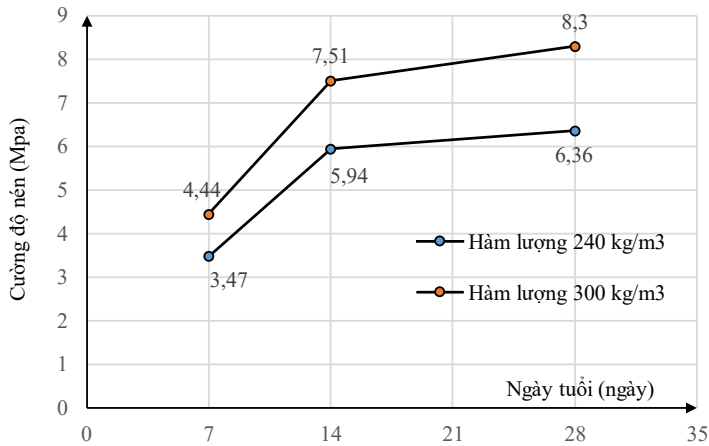
3.2. Lựa chọn hàm lượng xi măng trộn đất

Theo thống kê [6, 10], tỷ lệ thích hợp trộn xi măng với đất cho cọc xi măng – đất thay đổi theo từng loại đất và phụ thuộc vào tròn khô hay ướt. Lượng xi măng trộn vào thay đổi trong khoảng 7% đến

15% trọng lượng khô của đất cần gia cố hoặc lượng xi măng từ 180 đến 250 kg cho 1 m³ đất gia cố. Thông thường khi hàm lượng hạt sét trong đất yếu tăng thì lượng xi măng yêu cầu cũng tăng. Lượng xi măng từ 180-500 kg/m³ đất gia cố đối với phương pháp trộn ướt và lượng xi măng từ 90-180 kg/m³ đất gia cố đối với phương pháp trộn khô.

Trong nghiên cứu này, xi măng PCB 40 được trộn với nước theo tỷ lệ 1:1 thành vữa và sau đó vữa xi măng sẽ được trộn với lớp đất cát san lấp trong phòng thí nghiệm theo hai hàm lượng là 240 kg/m³ và 300 kg/m³.

Qua kết quả thí nghiệm trên (Hình 4), cường độ hỗn hợp xi măng – đất ở 28 ngày với hàm lượng xi măng 300 kg/m³ cao hơn đáng kể so với hàm lượng xi măng 240 kg/m³. Do vậy, hàm lượng 300 kg/m³ được lựa chọn áp dụng ở hiện trường trong nghiên cứu này.



Hình 4. Cường độ hỗn hợp Xi măng – đất theo thời gian

3.3. Các thử nghiệm phương pháp trộn nông

Trên thế giới để trộn nông người ta thường dùng hai kiểu là trộn xoay (rotary blender) và kiểu trộn thùng (bucket mixing). Các máy trộn thường có trọng lượng lớn hàng chục tấn, đi kèm trạm trộn xi măng [6]. Với mục đích sử dụng cho nhà thấp tầng, người thu nhập thấp, do vậy thiết bị thi công phải gọn nhẹ, rẻ tiền, dễ sử dụng. Do vậy, nhóm tác giả đã thử nghiệm một số các phương pháp sau:

a) Phương pháp rót vữa trực tiếp: Với hy vọng lớp cát san nền phía trên có hệ số thấm lớn sẽ thấm được vữa xi măng. Tuy nhiên, khi đổ vữa với tỷ lệ xi măng nước là 1:1 vào hố móng thì vữa chỉ ngấm xuống đất được khoảng 5 cm;

b) Phương pháp xoi lỗ trước khi rót vữa: dùng cây thép nhọn đóng vào đất dưới hố móng để tạo thành các lỗ đường kính 20 mm, sau đó rót vữa vào hố móng. Thực tế cho thấy lỗ rất dễ bị tắc, lượng vữa thấm thấu vào đất ít, không hiệu quả;

c) Phương pháp bơm vữa áp lực: dùng một pít tông đục lỗ đóng vào trong đất sau đó bơm vữa áp lực cao để vữa phun qua các lỗ đục. Tuy nhiên, khi áp dụng phương pháp này vữa có xu hướng trào ngược lên mặt đất do độ sâu gia cố nông (< 3 m).

Với 3 phương pháp không thành công nêu trên, nhóm tác giả đã dùng phương pháp cải tiến như sau:

Dùng mũi khoan với các cánh cắt có chiều dài thích hợp để có thể tạo ra được cọc có các loại đường kính từ 20 cm đến 40 cm (Hình 5). Các cánh cắt có lỗ để phun vữa theo phương dọc cánh và phương ngang cánh. Trong quá trình khoan đến độ sâu thiết kế, vữa được phun ra với áp lực vừa phải.

Sau đó, cần khoan được rút từ dưới lên trên trong khi các cánh cắt tiếp tục quay để đất được trộn đều với vữa đến khi đạt cao trình đầu cọc mong muốn. Tốc độ quay của cánh cắt là $90 \div 100$ vòng/phút, tốc độ đi xuống của cần khoan là 0,75 m/phút, tốc độ đi lên của cần khoan là 0,75 m/phút. Với chiếc máy khoan tự chế có trọng lượng xấp xỉ 300 kg này, có thể thi công được cọc đạt độ sâu lớn nhất 6 m, tốc độ thi công 30 m cọc/giờ.



Hình 5. Hình ảnh các dạng mũi khoan



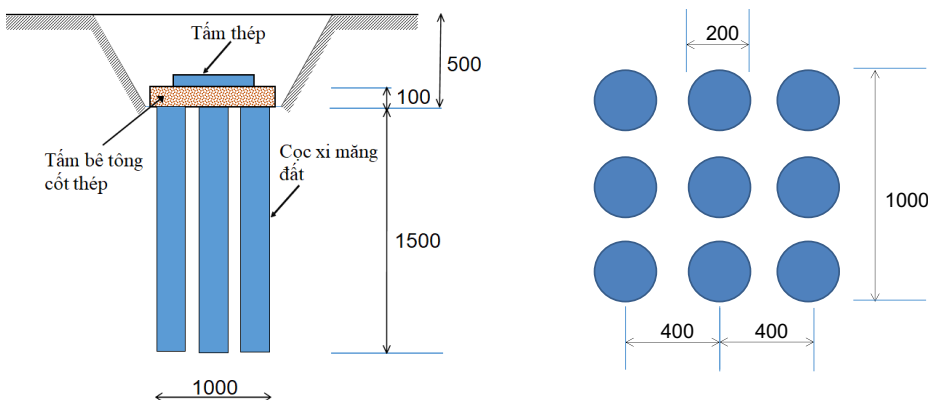
Hình 6. Hình ảnh cọc xi măng đất

3.4. Gia cường hố móng bằng phương pháp trộn nông

Đào hố móng sâu 0,5 m, dùng máy thi công 9 cọc đường kính 0,2 m, chiều dài 1,5 m, khoảng cách các cọc 0,4 m (Hình 7). Tỷ lệ trộn là 300 kg xi măng/m³ đất. Cường độ nén một trục mẫu xi măng – đất trong phòng thí nghiệm ở 28 ngày là 8,3 MPa, cường độ của mẫu khoan tại hiện trường theo các độ sâu khác nhau ở 28 ngày là 5,21 MPa đến 6,63 MPa, trung bình là 5,9 MPa. Như vậy, cường độ mẫu ở hiện trường thấp hơn so với trong phòng thí nghiệm. Mô đun biến dạng đàn hồi E_{50} (tại 50% ứng suất tối đa) của cọc xi măng đất là $E_c = 338,5$ MPa. So sánh với mô đun biến dạng của đất cát san lấp là $E_{đn} = 8,93$ MPa, ta có thể tính mô đun biến dạng của đệm xi măng đất E_{td} bằng công thức:

$$E_{td} = fE_c + (1 - f)E_{đn} \quad (1)$$

trong đó tỷ diện tích thay thế $f = 0,282$, ta có $E_{td} = 102$ MPa và $E_{td}/E_{đn} = 11,43$.



Hình 7. Mặt cắt và mặt bằng bố trí cọc

4. Quy trình và kết quả thí nghiệm gia tải

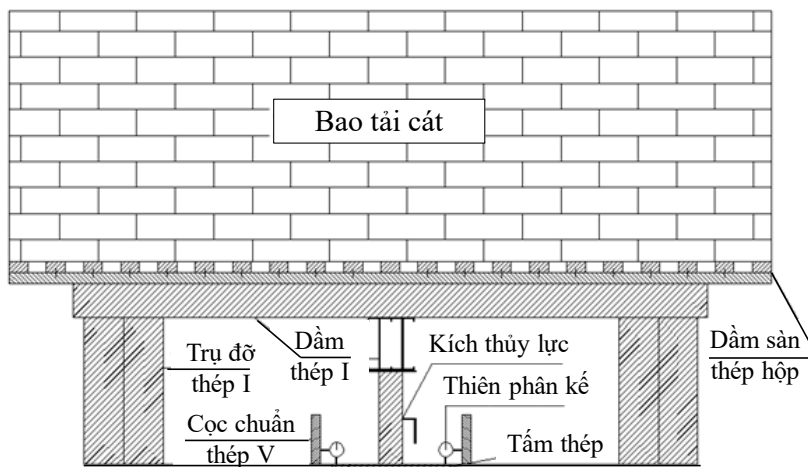
4.1. Quy trình gia tải

Quy trình gia tải tĩnh áp dụng cho nền tự nhiên và nền gia cố nông tham khảo TCVN 9354:2012–Đất xây dựng – Phương pháp xác định mô đun biến dạng tại hiện trường bằng tấm nén phẳng [11].

Tấm nén phẳng bao gồm 2 phần đặt chồng lên nhau. Phần bên dưới là tấm bê tông cốt thép mác 200 đổ tại chỗ có hình vuông, kích thước 100×100 cm, chiều dày 10 cm, bao trùm lên hết các đầu cọc. Phần bên trên của tấm nén làm bằng thép, hình vuông có kích thước $70,71 \times 70,71$ cm, chiều dày 5 cm (Hình 7). Dùng 4 chuyển vị kế gắn vào hệ mốc chuẩn để đo chuyển vị ở 4 góc tấm nén. Tải trọng được tăng từng cấp, giữ mỗi cấp tải đến ổn định khi chuyển vị không vượt quá 0,1 mm sau 1h. Thời gian giữ mỗi cấp tải tiếp theo không ít hơn thời gian giữ cấp tải trước. Ngừng thí nghiệm khi ổn định biến dạng ứng với cấp tải trọng cuối hoặc tổng biến dạng đạt $0,15d$ (d là cạnh tấm nén). Tiến hành dỡ tải từng cấp, thời gian giữ tải mỗi cấp là 10 phút, riêng cấp cuối giữ 20 phút.

Kích thủy lực có khả năng tạo lực tối đa 200 kN. Phạm vi đo của áp kế từ 0 đến 60 MPa, vạch chia đồng hồ đo 0,1 MPa. Đầu đo chuyển vị có độ chính xác 0,01 mm, biên độ 50 mm.

Hệ khung dàn chất tải (Hình 8) được làm bằng thép hình, đủ khả năng chịu lực và ổn định trong suốt quá trình chất tải cũng như thử tải. Hệ dầm chính: được làm bằng các thanh thép I 300×150 dày 8 mm, liên kết với hệ dầm phụ bằng bu lông để truyền lực kích (lực nén vào đầu cọc) lên toàn bộ hệ đối trọng.



Hình 8. Hệ gia tải thí nghiệm bàn nén hiện trường

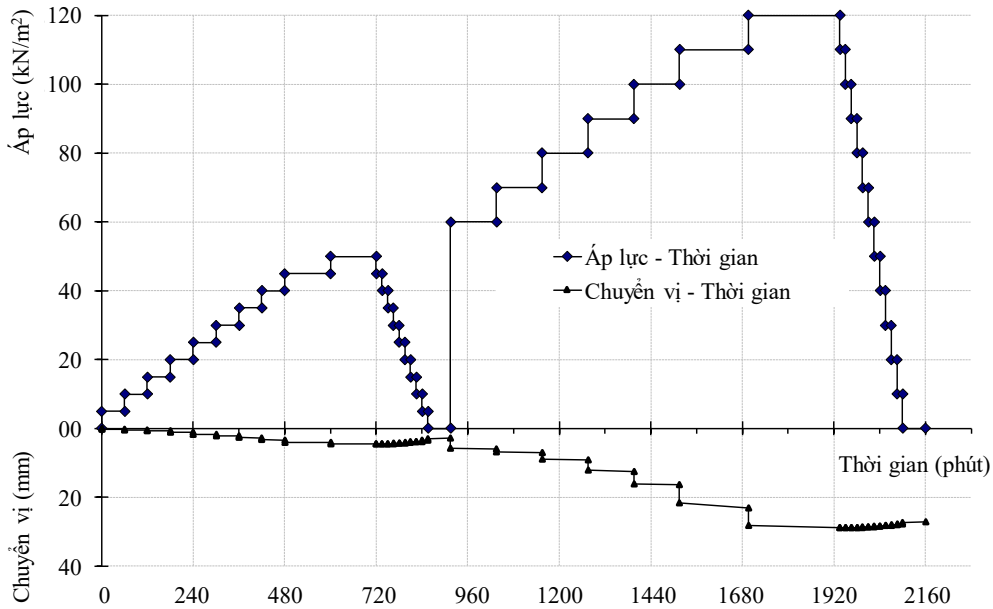
Hệ dầm phụ được làm bằng các thanh thép I 250×125 dày 8 mm, liên kết với nhau bằng bu lông để đỡ toàn bộ hệ thống găng và đối trọng chất trên dàn. Hệ dầm sàn được làm bằng các thanh thép I 100×50 dày 2 mm, liên kết với hệ dầm phụ để đỡ toàn bộ đối trọng chất trên dàn.

Hệ trụ đỡ được làm bằng các thanh thép I 250×125 dày 8 mm, phần tiếp xúc mặt nền được hàn các bản đế bằng thép tấm dày 14 mm; liên kết chắc chắn với hệ dầm bằng bu lông để chống đỡ cho toàn bộ hệ dầm và đối trọng. Đối trọng chủ yếu là những bao đựng cát. Phần còn lại là trọng lượng của các dầm phụ và dầm chính. Bao cát có khối lượng là 35 kg/bao, tổng số 1200 bao tương đương 42 tấn.

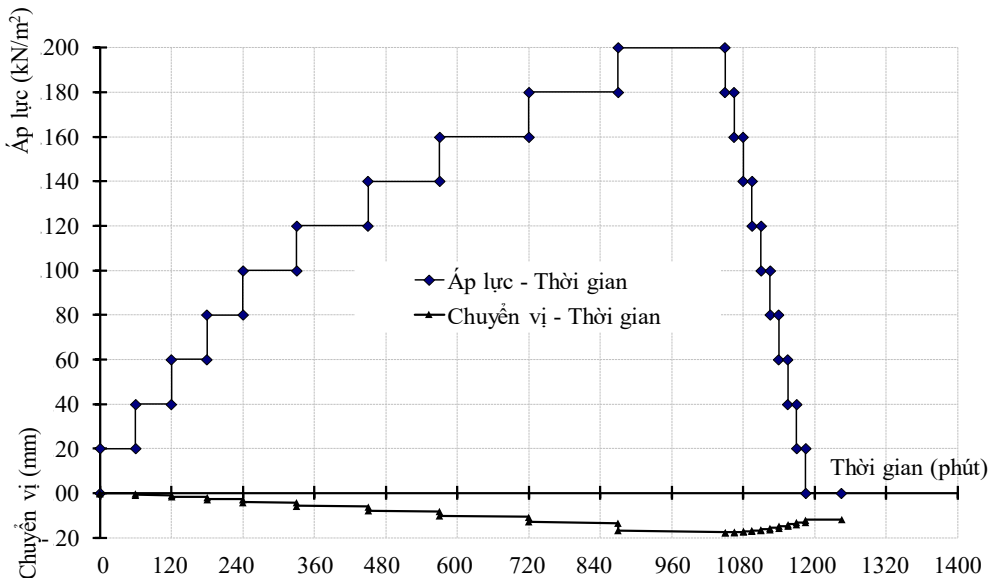
Hệ cọc chuẩn, dầm chuẩn là hệ thống cố định dùng để xác định độ dịch chuyển của cửa cọc trong quá trình thử. Các cọc chuẩn, dầm chuẩn làm bằng thép V $60 \times 60 \times 6$ mm, liên kết chặt với nhau bằng bulông.

4.2. Kết quả thí nghiệm

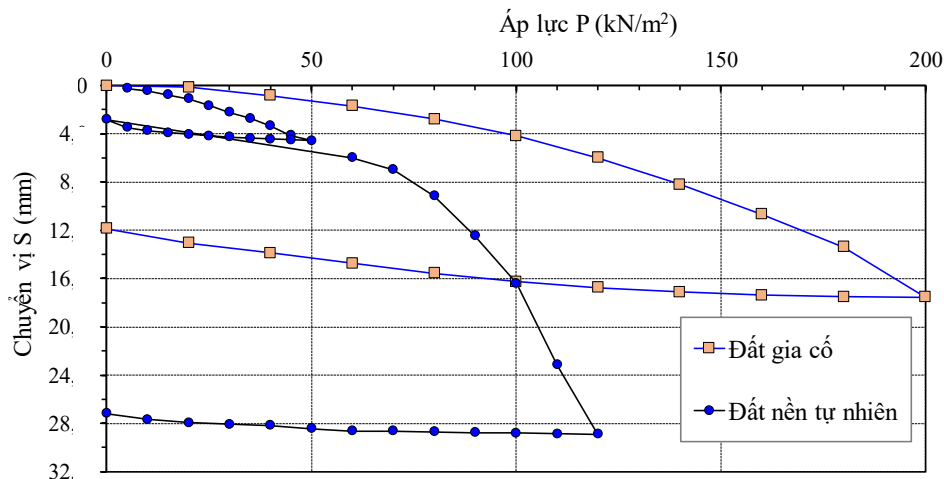
Kết quả thử tải tĩnh thể hiện trên Hình 9, 10 và 11. Với đất nền tự nhiên, tải trọng phá hoại xác định bằng phương pháp xác định điểm có độ dốc thay đổi đột ngột (giao điểm hai tiếp tuyến) của đường cong áp lực chuyển vị là 80 kN/m^2 . Với đất nền gia cố, chuyển vị tại áp lực 200 kN/m^2 là 17 mm , đất nền chưa có dấu hiệu phá hoại (chưa có dấu hiệu thay đổi độ dốc đột ngột). Nếu so sánh độ lún tức thời ở cùng cấp áp lực 120 kPa , độ lún của tấm nền trên đệm xi măng – đất nhỏ hơn độ lún của tấm nền trên đất chưa gia cố xấp xỉ 5 lần.



Hình 9. Biểu đồ áp lực gia tải và chuyển vị tấm nền theo thời gian của đất nền tự nhiên



Hình 10. Biểu đồ áp lực gia tải và chuyển vị tấm nền theo thời gian của đất nền gia cố bằng đệm xi măng - đất



Hình 11. Quan hệ áp lực – chuyển vị của tấm nén trên nền gia cố và không gia cố

5. Kết luận

Xuất phát từ ý tưởng gia cường phần đất cát san lấp trên đất yếu áp dụng cho nhà thấp tầng ở đồng bằng sông Cửu Long, nghiên cứu đã đạt được một số kết quả:

Khi trộn xi măng với đất cát san lấp, cường độ nén đơn trục của cọc xi măng - đất cao hơn khá nhiều khi trộn xi măng với các loại đất sét yếu tự nhiên với cùng hàm lượng xi măng, từ đó có thể phát huy cao hơn hiệu quả của cọc xi măng - đất, tận dụng tối đa lớp đất cát san lấp.

Việc thử nghiệm các phương pháp trộn xi măng - đất đã đi đến giải pháp thích hợp là dùng các cánh cắt có vòi phun vữa. Các cánh cắt này cho phép tạo ra các cọc xi măng có đường kính từ 20 đến 40 cm, đạt độ sâu tối đa đến 6m. Máy thi công nhỏ gọn, dễ dàng áp dụng cho các công trình quy mô nhỏ, điều kiện mặt bằng thi công chật hẹp. Các nghiên cứu về máy thi công này mới chỉ là ban đầu, cần có những nghiên cứu và cải tiến sâu hơn.

Việc trộn xi măng với đất cát cho phép tăng mô đun đàn hồi của đất lên đáng kể, trong nghiên cứu này là hơn 10 lần. Đệm cọc xi măng - đất dưới đế móng có độ cứng lớn cho phép giảm ứng suất gây lún ở tầng đất yếu bên dưới vùng gia cố, từ đó giảm lún cho công trình.

Qua kết quả thí nghiệm bàn nén hiện trường trên nền đất chưa gia cố và sau gia cố cho thấy sức chịu tải của móng tăng lên hơn 3 lần, độ lún tức thời lại cùng cấp áp lực 120 kPa giảm xuống xấp xỉ 5 lần. Như vậy hiệu quả của việc gia cường nông bằng cọc xi măng - đất trong đất cát san lấp đạt hiệu quả cao. Tuy nhiên, trong các nghiên cứu kế tiếp cần áp dụng gia cố nông bằng cọc xi măng - đất trong các loại đất khác để đánh giá hiệu quả một cách toàn diện hơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] Uyên, N. (2009). *Xử lý nền đất yếu trong xây dựng*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [2] Cường, T. V. (2005). *Ma sát âm trên cọc và ảnh hưởng của nó với công trình xây dựng*. Hội nghị Khoa học Toàn quốc lần III về Sự cố và Hư hỏng Công trình Xây dựng.
- [3] Thúy, D. D., Hưng, P. Q. (2015). [Kiểm nghiệm phương pháp mặt trung hòa trong tính toán lún của nhóm cọc](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 9(1):62–68.
- [4] Dao, D. H., Tho, P. C., Tien, N. T. (2013). Experimental study on strength characteristics of sand-cement pile. *Foundation & Soft ground engineering challenges in Mekong delta*, June, 2013, 291–301.

- [5] Yên, Đ. P., Thắng, L. A., Hùng, N. S. (2017). Nghiên cứu thêm cát vào cọc đất – xi măng cải thiện nền đất yếu. *Tạp chí Xây dựng*, (8-2017).
- [6] Moseley, M. P., Kirsch, K. (2004). *Ground improvement*. Second edition, CRC Press.
- [7] Schmutzler, W., Mullins, G., Bertoni, M. (2017). *Soil mixing for the SR-83 project in Florida*. Grouting 2017, July 9–12, 2017, Honolulu, Hawaii, American Society of Civil Engineers.
- [8] Burmister, D. M. *Influence diagrams for stress and displacements in two-layer pavement system for air-fields - Part I*. Departement of the Navy, USA.
- [9] Rasouli, H., Takhtfirouzeh, H., Taghavi Ghalesari, A., Hemati, R. (2017). Bearing capacity improvement of shallow foundations using cement-stabilized sand. *Key Engineering Materials*, Trans Tech Publ, 723: 795–800.
- [10] Trung, N. V., Tuấn, V. M. (2014). *Cọc xi măng đất – Phương pháp gia cố nền đất yếu*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [11] TCVN 9354:2012. *Đất xây dựng – Phương pháp xác định mô đun biến dạng tại hiện trường bằng tấm nén phẳng*. Bộ Xây dựng.