



EXPERIMENTAL STUDY ON THE SETTLEMENT OF SOIL-CEMENT COLUMN COMBINED HIGH STRENGTH GEOGRID

Nguyen Thai Linh*, Manh Duc Nguyen**, Pham Hoang Kien

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Dong Da, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 05/12/2019

Revised: 25/02/2020

Accepted: 26/02/2020

Published online: 29/02/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.2.5>

*Corresponding author

Email: *thailinhdkt@utc.edu.vn; **nguyenducmanh@utc.edu.vn, Tel: 0985376810

Abstract. Geogrid-reinforced and soil cement column-supported platforms have been successfully used in soft soil treatment. Because of its high tensile strength, geogrids create a stiffened platform that spans weak soils, prevents deflection between columns from being reflected the surface and reduces settlement. Results on the experimental model of 1/25 scale, the amount of reinforced cement corresponding to 300 kg of cement per cubic meter of soil mixed, conducted at the laboratory of the Geotechnical Section of UTC, showed that settlement at the top of piles and the ground between piles when the high-strength geogrid layer is significantly reduced compared to not using.

Keywords: Settlement, soil cement column, Geogrid-reinforced, experimental model.

© 2020 University of Transport and Communications



NGHIÊN CỨU ĐỘ LÚN HỆ CỌC ĐẤT XI MĂNG KẾT HỢP LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT CƯỜNG ĐỘ CAO TRÊN MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM

Nguyễn Thái Linh*, Nguyễn Đức Mạnh**, Phạm Hoàng Kiên

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 05/12/2019

Ngày nhận bài sửa: 25/02/2020

Ngày chấp nhận đăng: 26/02/2020

Ngày xuất bản Online: 29/02/2020

<https://doi.org/10.25073/tcsj.71.2.5>

*Tác giả liên hệ

Email: *thailinhdkt@utc.edu.vn; **nguyenducmanh@utc.edu.vn, Tel: 0985376810

Tóm tắt. Hệ cọc đất xi măng kết hợp lưới địa kỹ thuật gia cường ngày càng được sử dụng rộng rãi trong xử lý nền đất yếu. Nhờ khả năng chịu kéo lớn, lưới địa kỹ thuật được trải trên đỉnh cọc tạo thành lớp truyền tải mềm, giúp gia tăng phần tải trọng truyền vào cọc, giảm một phần tải trọng truyền xuống phần đất yếu giữa các cọc, nên giảm được độ lún lệch của cọc với phần đất xung quanh. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình thu nhỏ tỷ lệ 1/25, hàm lượng xi măng gia cố tương ứng 300kg xi cho một mét khối đất trộn, tiến hành tại phòng thí nghiệm của bộ môn Địa kỹ thuật trường Đại học giao thông vận tải cho thấy, độ lún đỉnh cọc và đất nền giữa các cọc khi có lớp lưới địa kỹ thuật cường độ cao giảm đi đáng kể (17% đến 67%) so với trường hợp không có lớp lưới này.

Từ khóa: Độ lún, cọc đất xi măng, lưới địa kỹ thuật gia cường, mô hình thực nghiệm.

© 2020 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cọc đất xi măng (ĐXM) kết hợp lưới địa kỹ thuật (ĐKT) còn gọi hệ nền cọc (Geosynthetics Reinforced Pile Supported – GPRS), ngày càng được sử dụng rộng rãi trong xử lý nền đất yếu (Han và Gabr (2002) [1]). Nhờ khả năng chịu kéo lớn, đặc biệt với loại lưới địa kỹ thuật cường độ chịu kéo cao, khi trải trên đỉnh cọc tạo thành lớp truyền tải mềm, làm gia tăng tải trọng truyền vào cọc, giảm một phần tải trọng truyền xuống đất yếu giữa các cọc nhờ đó giảm được độ lún lệch giữa cọc với phần đất xung quanh (Xing và các cộng sự (2014) [2], Smith và các cộng sự (2004) [3], J. Han và J. Huang (2005) [4], Chai và các cộng sự

(2017) [5], King và các cộng sự (2017) [6]).

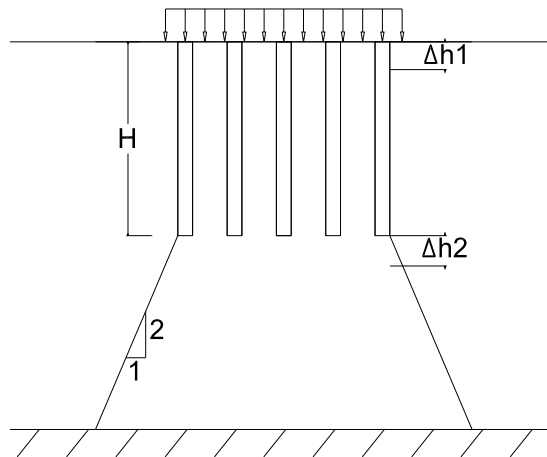
Ở Việt Nam, các nghiên cứu liên quan độ lún hệ GPRS bằng thực nghiệm còn rất hạn chế, chủ yếu là các nghiên cứu bằng phương pháp số (Nguyễn Thị Loan (2016) [7], Nguyễn Minh Tâm (2015) [8], Nguyễn Quốc Dũng (2012) [9], Phạm Anh Tuấn (2015) [10]). Ngoài nghiên cứu về hệ số tập trung ứng suất bằng thực nghiệm hiện trường khi sử dụng cọc bê tông cốt thép kết hợp lưới địa kỹ thuật của Nguyễn Tuấn Phương (2017) [11], đến nay chưa có công bố mới nào liên quan. Để từng bước làm rõ ứng xử hệ GPRS dưới nền đắp, sử dụng mô hình vật lý thu nhỏ tỷ lệ 1/25 với cọc đất xi măng gia cố tương ứng 300kg xi cho một mét khối đất trộn, đất yếu loại sét pha dẻo chảy ở khu vực Hà Nội, cho thấy độ lún khác biệt khi không có lớp lưới với trường hợp có lớp lưới địa kỹ thuật, cũng như so sánh với kết quả tính toán theo tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành TCVN 9906:2014.

2. LÝ THUYẾT VỀ ĐỘ LÚN HỆ CỌC ĐẤT XI MĂNG

Tổng độ lún Δh của công trình xây dựng trên nền đất gia cố bằng cọc đất - xi măng, được xác định bằng độ lún của khối đất nền phân được gia cố (Δh_1) và độ lún của tầng đất nằm dưới mũi cọc (Δh_2) (Hình 1) (TCVN 9906:2014 [12]):

$$\Delta h = \Delta h_1 + \Delta h_2 \quad (1)$$

Tải trọng đơn vị q



Hình 1. Sơ đồ xác định độ lún hệ cọc đất - xi măng.

- Đối với kiểu cọc chống:

$$\Delta h = \frac{qxH}{a_p E_p + (1 - a_p) E_s} \quad (2)$$

- Đối với kiểu cọc ma sát:

$$\Delta h = \frac{qxH}{a_p E_p + (1 - a_p) E_s} + \frac{Q_c}{1 + e_0} H' \lg \frac{\sigma'_0 + q'}{\sigma_0} \quad (3)$$

trong đó:

Δh - tổng độ lún tính toán (m);

q - tải trọng đơn vị tác dụng (kN/m);

- a_p - là tỷ lệ diện tích gia cố (%); H - chiều dày lớp đất yếu gia cố (m);
 E_p - mô đun biến dạng của cọc (kN/m^2);
 E_s - mô đun biến dạng của đất nền xung quanh cọc (kN/m^2);
 q' - tải trọng tác dụng lên lớp đất yếu không được gia cố dưới mũi cọc (kN/m^2);
 H' - chiều dày lớp đất yếu không được gia cố dưới mũi cọc (m);
 Q_c - chỉ số nén của lớp đất yếu dưới mũi cọc;
 e_0 - hệ số rỗng tự nhiên của lớp đất yếu; σ_0' - ứng suất hiệu quả (kN/m^2).

3. THIẾT LẬP MÔ HÌNH THỰC NGHIỆM NGHIÊN CỨU ĐỘ LÚN HỆ CỌC ĐẤT XI MĂNG KẾT HỢP LƯỚI ĐỊA KỸ THUẬT CƯỜNG ĐỘ CAO

3.1. Lý thuyết đồng dạng

Mô hình vật lý nghiên cứu thực nghiệm tỷ lệ 1:25 được lựa chọn, xây dựng trên cơ sở lý thuyết đồng dạng, được kiểm chứng và đánh giá tin cậy trong lĩnh vực địa kỹ thuật (Phạm Hoàng Kiên (2015) [13], Bạch Vũ Hoàng Lan (2017) [14], Zhen Fang (2006) [15]). Áp dụng phương trình chi phối hiện tượng và phương pháp xác định các đại lượng vật lý cơ bản chi phối hiện tượng, mô hình thu nhỏ có cùng vật liệu cọc đất xi măng và lưới địa kỹ thuật cường độ cao là $\sigma^* = E^* = \alpha^* = 1$, và các đại lượng vật lý cơ bản (Bảng 1) được lựa chọn phục vụ nghiên cứu này.

Bảng 1. Các đại lượng vật lý cơ bản chi phối hiện tượng trong mô hình thu nhỏ.

Đại lượng	Ký hiệu	Đơn vị	Kích thước thực	Kích thước thu nhỏ	Tỷ lệ thu nhỏ
Đường kính cọc ĐXM	D_{tr}	m	1	0,04	25
Chiều dài cọc ĐXM	L_{tr}	m	20	0,8	25
Chiều dày lớp đất yếu	L	m	20	0,8	25
Mô đun đàn hồi vật liệu (cọc đất xi măng, lưới địa kỹ thuật)	E	kN/m^2	Tham số cơ bản		1
Ứng suất	σ	kN/m^2			

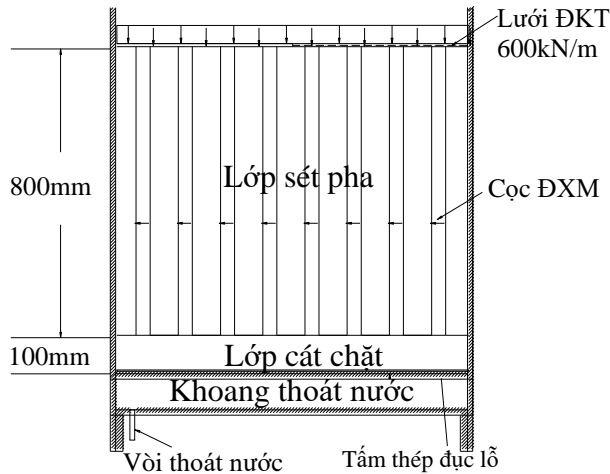
3.2. Kích thước mô hình và các hệ thống thiết bị sử dụng nghiên cứu

Mô hình vật lý được xây dựng đảm bảo các yếu tố về độ bền, độ cứng, không bị biến dạng trong quá trình thí nghiệm, đủ không gian để bố trí lớp đất mô phỏng nền đất tương ứng cũng như nhóm cọc, các thiết bị đo đạc và hệ thống gia tải.

Trong nghiên cứu này, kích thước mô hình thí nghiệm lựa chọn đủ lớn để tránh sai số do ảnh hưởng của hiệu ứng biên và sự phân phối ứng suất trong nền đất xung quanh nhóm cọc theo gợi ý của Zhen Fang (2006) [15], Nguyễn Đức Hạnh (2010) [16], Bạch Vũ Hoàng Lan (2017) [14].

Từ kết quả nghiên cứu của Nguyễn Thái Linh và cộng sự (2020) [17], xây dựng được hộp thí nghiệm có kích thước dài x rộng x cao, tương ứng 1000mm x 500mm x 1000mm. Hộp được làm bằng thép bẻ dày 5mm ở hai đầu và thành bên bằng kính cường lực dày 20mm (Hình 2 và 3). Mô hình thực nghiệm thu nhỏ được thiết kế và chế tạo này phù hợp với nhiều

ngiên cứu khác trong lĩnh vực địa kỹ thuật đã được tiến hành như Kempfert (2003) [18], Zhen Fang (2006) [15], Nguyễn Đức Hạnh (2010) [16], Phạm Quang Đông (2015) [19], Bạch Vũ Hoàng Lan (2017) [14].

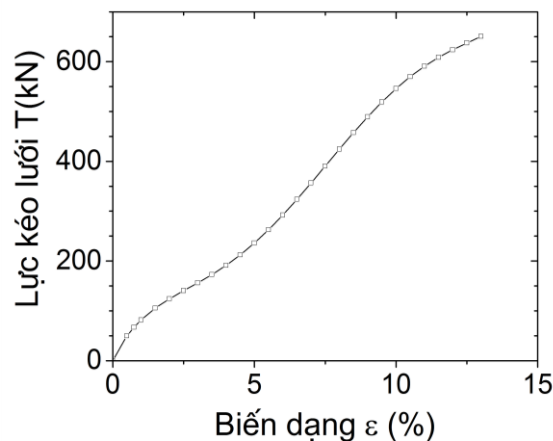


Hình 2. Sơ đồ mô hình thực nghiệm được thiết kế. Hình 3. Mô hình thực nghiệm được chế tạo.

Hệ thống gia tải sử dụng kích thủy lực TONNES (Hàn Quốc), đường kính mâm kích 550mm. Các thiết bị đo ứng suất sử dụng lá điện trở (strain gauge) và đo chuyển vị bằng cảm biến giám sát chuyển vị LVDT (Linear variable differential transformer) của hãng Kyowa (Nhật Bản) có độ chính xác cao, và dữ liệu được ghi cũng như lưu tự động vào máy tính thông qua bộ đọc dữ liệu (Data Logger).

3.3. Lưới địa kỹ thuật cường độ cao

Theo NETIS Japan (2016) [20], lưới địa kỹ thuật có giá trị chịu kéo đứt từ 300kN/m trở lên được xếp loại có cường độ chịu kéo cao. Trong nghiên cứu này, sử dụng lưới địa kỹ thuật có cường độ chịu kéo 600kN/m. Đây là loại vật liệu cường độ cao, cấu tạo từ Polyeste, bền với đặc tính ưu việt về tính chống ăn mòn, tính kháng hóa chất, tính chống va đập do dùng vật liệu phủ polyethylene (Liu and Rowe (2015) [21]). Hình 4 thể hiện giá trị và quan hệ lực kéo với chuyển vị của lưới địa kỹ thuật sử dụng nghiên cứu được tiến hành thí nghiệm trước.



Hình 4. Quan hệ lực kéo với chuyển vị của lưới địa kỹ thuật sử dụng nghiên cứu.

4. TẠO MẪU VÀ CÔNG TÁC THỰC NGHIỆM MÔ HÌNH

4.1 Lựa chọn mẫu đất sử dụng nghiên cứu

Đất thí nghiệm được lựa chọn nghiên cứu là đất sét pha, trạng thái dẻo chảy lấy tại độ sâu 4m, khu vực Kim Trung, Hoài Đức, Hà Nội (Bảng 2).

Bảng 2. Một số đặc trưng vật lý đất yếu sử dụng nghiên cứu trên mô hình.

Đặc trưng	Đơn vị	Giá trị
Độ ẩm	%	56,19
Hàm lượng hạt sét	%	30,57
Giới hạn chảy	%	58,48
Giới hạn dẻo	%	41,13
Độ sệt	-	0,87
Trọng lượng thể tích	kN/m ³	16,5
Trọng lượng riêng hạt	kN/m ³	26,8
Hệ số rỗng tự nhiên	-	1,53

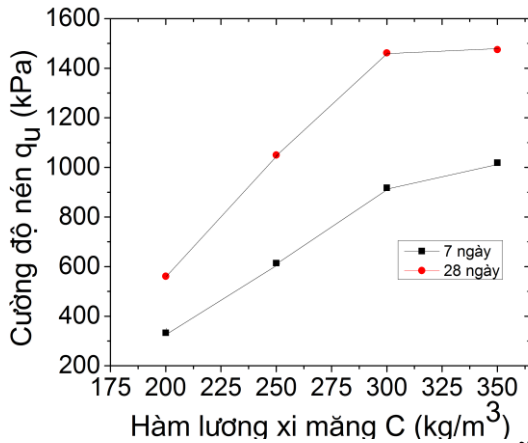
Mẫu đất được đưa vào mô hình thành từng lớp, cố kết sơ bộ. Các thông số đất sau khi đưa vào mô hình xác định lại có giá trị như bảng 3.

Bảng 3. Một số đặc trưng vật lý đất yếu sau khi chế bị trong mô hình.

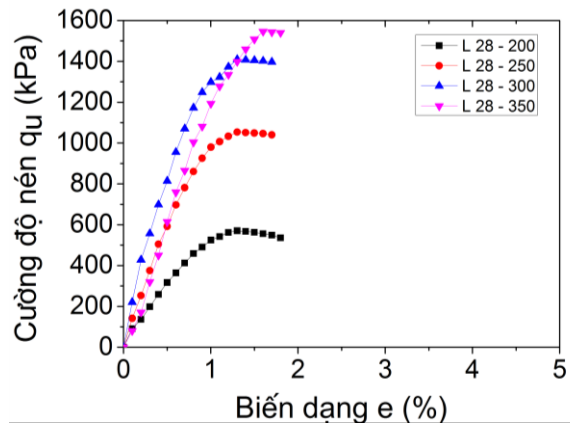
Đặc trưng	Đơn vị	Giá trị
Độ ẩm	%	45
Trọng lượng thể tích	kN/m ³	16,6
Hệ số rỗng	-	1,34
Sức chống cắt	kPa	14,5
không thoát nước (S_u)		

4.2 Nghiên cứu lựa chọn tỷ lệ xi măng để chế bị cọc đất xi măng

Để có cơ sở lựa chọn tỷ lệ hợp lý xi măng tạo cọc nghiên cứu, sử dụng xi măng Portland PCB Nghi Sơn, tiến hành chế bị tỷ lệ xi khác nhau với đất yếu có đặc điểm như bảng 2. Lượng xi măng trộn tạo các mẫu thử nghiệm với các hàm lượng 200kg/m³, 250kg/m³, 300kg/m³, 350kg/m³ tương ứng tỷ lệ nước/xi măng 80% (TCVN 9906:2014). Mẫu chế bị có hình trụ đường kính 5cm, chiều cao 10cm, được bảo quản trong điều kiện phòng thí nghiệm theo tiêu chuẩn hiện hành. Mẫu chế bị được tiến hành nén một trục nở hông tốc độ 0,5mm/phút, tương ứng các độ tuổi 7 và 28 ngày bảo dưỡng, kết quả như Hình 5 và 6.



Hình 5. Cường độ nén một trục nở hông mẫu chế bị đất xi măng ở 7 và 28 ngày.



Hình 6. Cường độ nén một trục nở hông với biến dạng mẫu chế bị đất xi măng có hàm lượng khác nhau ở 28 ngày.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu như hình 5 và hình 6, kết hợp một số nghiên cứu đã có (Thân Văn Văn (2000) [22], Thái Hồng Sơn (2014) [23], TCVN 9403: 2012 [24]), lựa chọn hàm lượng xi măng 300kg xi cho 1 mét khối đất để chế bị cọc đất xi măng sử dụng nghiên cứu mô hình.

4.3 Lắp đặt mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm được lắp đặt theo các bước chính: (1) cho đất vào mô hình và cố kết sơ bộ; (2) tạo cọc đất xi măng theo tỉ lệ xi măng đã xác định bên trên; (3) lắp đặt hệ thống gia tải, thiết bị đo biến dạng và áp lực nước lỗ rỗng.

Bước 1: Đưa đất vào mô hình và cố kết sơ bộ

Trải lớp vải địa kỹ thuật không dệt phía ngăn trên khoang thoát nước (đáy thứ nhất mô hình) nhằm tạo ra mô hình hai mặt thoát nước (Hình 2).

Đất sét bão hòa nước được đổ vào mô hình thực nghiệm theo từng lớp dày 20cm. Sau đó, đất được cố kết với hai mặt thoát nước dưới áp lực 20kPa theo nguyên tắc như của Zhen Fang (2006) [15]. Quá trình cố kết kéo dài trong bốn tuần cho đến khi nước trong lỗ rỗng không còn thoát ra ngoài theo đường van xả của mô hình (Hình 3).

Bước 2: Tạo cọc đất xi măng cho mô hình

Cọc đất xi măng được chế tạo có đường kính 40mm với hàm lượng 300kg xi măng cho 1 mét khối đất, tỷ lệ nước/xi măng 80%, trộn theo quy trình chế tạo mẫu tiêu chuẩn Nhật Bản (Japan geotechnical society (2009) [25]). Cụ thể, gồm 4 phút đầu tiên trộn bằng máy tốc độ chậm, sau đó là 1 phút trộn tay. Tiếp đến 2 phút trộn máy tốc độ chậm, 1 phút trộn tay. Cuối cùng trộn bằng máy 3 phút tốc độ cao. Dung dịch vữa đất - xi măng được chuẩn bị cho tạo cọc trong mô hình đã đổ đầy đất và chế bị các cọc đất xi măng đúc ngoài để thí nghiệm nén trục nở hông để xác định cường độ kháng cắt và mô đun đàn hồi. Kết quả được trình bày trong hình 5 tổng hợp kết quả cọc đất xi măng.

Trong thùng chứa đất, tạo lỗ khoan đất bằng phương pháp ống đôi. Sử dụng ống inox đường kính ngoài 39,5mm luồn vào ống nhựa PVC đường kính trong 40mm. Ống đôi được ấn xuống đất thông qua bộ giá gỗ nhằm đảm bảo độ thẳng đứng và khoảng cách đều các cọc như thiết kế. Khi đến cao độ thiết kế mũi cọc, xoay ống inox bên trong để cắt đất. Ống inox được rút lên tạo ra lỗ khoan đường kính 40mm. Rót dung dịch đất - xi măng vừa trộn, đổ vào lỗ

khoan. Lưu trạng thái tĩnh 24 giờ, sau đó rút ống nhựa ra khỏi mô hình tạo thành cọc đất xi măng đường kính 40mm tương ứng 1000mm ngoài hiện trường (tỷ lệ thu nhỏ 1/25).



Hình 7. Trộn đất và xi măng để chế tạo cọc đất xi măng.



Hình 8. Tạo cọc đất xi măng trong mô hình thực nghiệm.

Đổ thêm lớp cát mỏng phần đỉnh cọc trong mô hình để dưỡng ẩm cho cọc và đất trong 3 tháng. Phương pháp tạo cọc tham khảo được đề xuất bởi Kitazume và cộng sự (2000) [26], Zhen Fang (2006) [15]. Sau khi chờ 90 ngày, cọc đất xi măng đảm bảo cường độ theo tiêu chuẩn TCVN 9906:2014.

Bước 3: Lắp đặt hệ thống gia tải, đo biến dạng và áp lực nước lỗ rỗng

Để nghiên cứu thực nghiệm xác định độ lún hệ cọc đất xi măng trên mô hình, nghiên cứu ở đây được lựa chọn với các mô hình bố trí cọc đất xi măng khác nhau như: (1) bố trí cọc đất xi măng $D=40\text{mm}$, khoảng cách giữa các tim cọc 3D khi không có lớp lưới địa kỹ thuật cường độ cao trên đỉnh cọc; (2) bố trí cọc đất xi măng $D=40\text{mm}$, khoảng cách giữa các tim cọc 2D - 3D khi có 01 lớp lưới địa kỹ thuật cường độ cao trên đỉnh cọc.

Trước khi lắp Piezometer cần hiệu chỉnh lại thiết bị đo. Sau đó, tiến hành lắp đặt Piezometer tại vị trí giữa lớp đất. Lắp đặt hệ thống thiết bị đo biến dạng (Strainage), đo độ lún - LVDT, kích thủy lực gia tải.



Hình 9. Mô hình thực nghiệm cọc đất xi măng kết hợp lưới địa kỹ thuật cường độ cao sau khi lắp đặt.

5. THÍ NGHIỆM VÀ KẾT QUẢ ĐO ĐỘ LÚN

5.1 Nguyên tắc gia tải

Trong phạm vi nghiên cứu, nhằm rút ngắn thời gian đo, đồng thời tránh sai số do hiện tượng từ biến của đất sét yếu, các thí nghiệm được sử dụng quy trình thử tải nhanh theo TCVN 9393:2012 [27], theo nguyên tắc:

(1) Tải trọng thí nghiệm được gia tăng từng cấp, mỗi cấp tăng hay giảm tải tương đương với khoảng 10 - 15% tải trọng thiết kế, với thời gian giữ tải ở mỗi cấp là 5 phút;

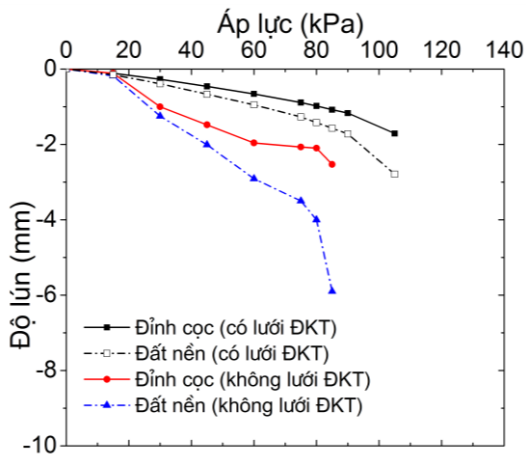
(2) Điều kiện dừng gia tải với mỗi cấp tăng tải, đến khi chuyển vị đỉnh cọc tăng nhanh và đột ngột trong khi tải trọng tác dụng không tăng, thì khi đó dừng và giữ tải. Các tải trọng thí nghiệm được thực hiện bằng kích thủy lực, tương ứng các cấp gia tải, lưu tải như bảng 4.

Bảng 4. Cấp tải thí nghiệm.

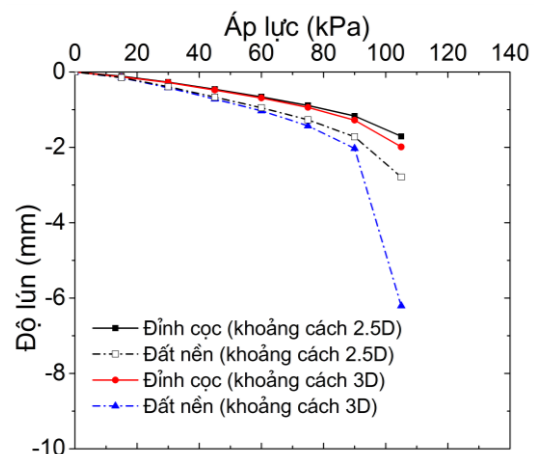
Áp lực kích (kPa)	252	504	757	1008	1260	1512	1764
Cấp gia tải (kPa)	15	30	45	60	75	90	105

5.2 Kết quả thí nghiệm

Theo TCVN 9906:2014, tỷ lệ diện tích gia cố a_p từ 12% đến 20%. Bài báo nghiên cứu cho trường hợp tỷ lệ diện tích cọc đất xi măng thấp nhất, tương đương khoảng cách tim các cọc 2,5D (D - đường kính cọc). Kết quả theo dõi lún tại đỉnh cọc đất xi măng và điểm nền đất giữa hai cọc, tương ứng các cấp tải, các khoảng cách cọc khác nhau. Kết quả đo độ lún ở các trường hợp khi không có lưới địa kỹ thuật với có lưới địa kỹ thuật cường độ cao được thể hiện tại các hình 10 - hình 13.



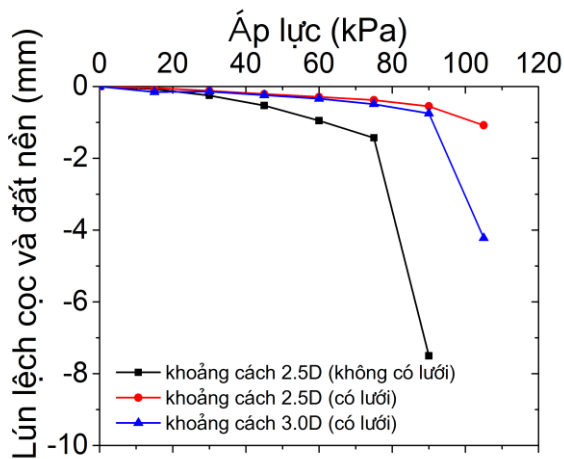
Hình 10. Độ lún hệ cọc đất xi măng khoảng cách 2,5D trong trường hợp không có và có lưới ĐKT.



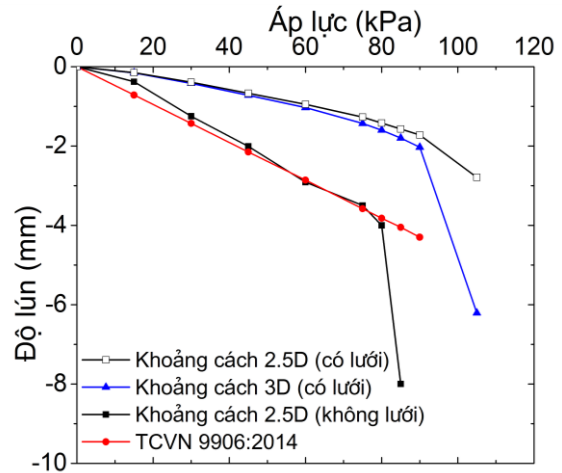
Hình 11. Độ lún hệ cọc đất xi măng khoảng cách 2,5D và 3D trong trường hợp có lưới ĐKT.

Với cùng khoảng cách cọc 2,5D, độ lún của đỉnh cọc ĐXM giảm từ 37% đến 73%, độ lún của đất nền giữa các cọc giảm từ 17% đến 67%, sức chịu tải (áp lực) thẳng đứng tăng 19% so với trường hợp không có lưới ĐKT. Điểm chuyển tiếp đường đo lún tại đỉnh cọc thể hiện giới hạn giới hạn phá hủy khi có lưới tương ứng 90kPa, không có lưới giảm đáng kể (80kPa). Kết quả này đã thể hiện rõ vai trò hiệu ứng màng từ lớp lưới ĐKT cường độ cao (hình 10).

Trong hệ nền cọc sử dụng lưới ĐKT, độ lún cọc ĐXM tăng từ 3,5% đến 8,6%, độ lún đất nền tăng từ 7,1% đến 11,2% khi khoảng cách cọc tăng từ 2,5D lên 3,0D (hình 11).



Hình 12. Độ lún lệch cọc và đất nền trong các trường hợp thí nghiệm.



Hình 13. Độ lún hệ cọc đất xi măng trong các trường hợp thí nghiệm và TCVN 9906:2014.

Độ lún lệch giữa cọc ĐXM và đất nền vị trí giữa các cọc khi sử dụng lưới ĐKT giảm đáng kể (từ 52,1% đến 73,4%) so với trường hợp không sử dụng lưới ĐKT (hình 12).

Theo biểu đồ hình 13, trong giai đoạn làm việc, độ lún hệ cọc ĐXM tính theo TCVN 9906:2014 tương đồng với độ lún hệ cọc ĐXM khi không có lưới ĐKT. Nhưng, khi có lưới ĐKT cường độ cao, độ lún hệ cọc ĐXM nhỏ hơn từ 64,5% đến 79,0% so với trường hợp khi không có lưới ĐKT (theo TCVN 9906:2014), nghĩa là việc sử dụng lớp lưới cường độ cao trong hệ nền cọc đất xi măng không chỉ để gia tăng khả năng ổn định trượt cho nền đắp, mà còn có tác dụng lớn để giảm độ lún.

6. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Trên cơ sở lý thuyết đồng dạng, nhóm tác giả đã phân tích, xây dựng được mô hình thí nghiệm hệ cọc ĐXM tỷ lệ thu nhỏ 1/25. Thiết lập được quy trình chế tạo, lắp đặt mô hình và tiến hành nghiên cứu thực nghiệm để đánh giá hiệu quả giảm lún của hệ cọc ĐXM khi sử dụng kết hợp với lưới ĐKT cường độ cao. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy, độ lún hệ cọc đất xi măng kết hợp lưới địa kỹ thuật cường độ cao giảm từ 17% đến 67% so với trường hợp không sử dụng lưới địa kỹ thuật cường độ cao.

Công thức dự báo độ lún hệ cọc đất xi măng theo TCVN 9906:2014 phù hợp với trường hợp xử lý nền đất yếu bằng cọc đất xi măng khi không có lớp lưới địa kỹ thuật cường độ cao, song chưa phù hợp với trường hợp hệ cọc đất xi măng kết hợp lưới địa kỹ thuật cường độ cao.

Hiệu ứng màng của lớp lưới địa kỹ thuật thể hiện rõ vai trò giảm lún cho hệ cọc đất xi măng kết hợp lưới địa kỹ thuật cường độ cao, vì vậy cần có các nghiên cứu để hiệu chỉnh công thức dự báo lún tại TCVN 9906:2014 đối với trường hợp có sử dụng lưới ĐKT.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Han, M. A. Gabr, Numerical Analysis of Geosynthetic-Reinforced and Pile-Supported Earth Platforms over Soft Soil, J. Geotech. Geoenvironmental Eng., 128 (2002) 44–53. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2002\)128:1\(44\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2002)128:1(44))

- [2] H. Xing, Z. Zhang, H. Liu, H. Wei, Geotextiles and Geomembranes Large-scale tests of pile-supported earth platform with and without geogrid, *Geotext and Geomembranes*, 42 (2014) 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2014.10.005>
- [3] C. C. Smith, A. Tatari, Limit analysis of reinforced embankments on soft soil, *Geotext and Geomembranes*, 44 (2016) 504–514. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2016.01.008>
- [4] J. Huang, J. Han, J. G. Collin, Geogrid-reinforced pile-supported railway embankments: A three-dimensional numerical analysis, *Transp. Res. Rec.*, 1936 (2005) 221–229.
- [5] J. Chai, S. Shrestha, T. Hino, T. Uchikoshi, Computers and Geotechnics Predicting bending failure of CDM columns under embankment loading, *Comput. Geotech.*, 91 (2017) 169–178. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2017.07.015>
- [6] D. J. King, A. Bouazza, J. R. Gniel, R. K. Rowe, H. H. Bui, Load-transfer platform behaviour in embankments supported on semi-rigid columns: implications of the ground reaction curve, 1175 (2017) 1158–1175. <https://doi.org/10.1139/cgj-2016-0406>
- [7] Nguyễn Thị Loan, Nghiên cứu tính toán lớp cốt vật liệu địa kỹ thuật sử dụng trong nền đắp có cọc hỗ trợ, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Đại học GTVT, 2016.
- [8] Nguyễn Minh Tâm, Đinh Công Phương, Các phương pháp tính toán sự phân bố tải trọng lên nền đường gia cố bởi hệ cọc dựa trên hiệu ứng vòm, báo cáo khoa học, ĐH Đà Nẵng, 2015.
- [9] Nguyễn Quốc Dũng, Một số vấn đề kỹ thuật trong thiết kế khối đắp trên nền cọc, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, pp. 10–16, 2012.
- [10] Phạm Anh Tuấn, Đỗ Hữu Đạo, Nghiên cứu một số hình thức phá hoại cho hệ cọc kết hợp gia cường lưới địa kỹ thuật trong gia cố nền đắp, *Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường*, 55 (2015) 141–148. <http://www.vjol.info/index.php/DHTL/article/viewFile/30458/25892>
- [11] Nguyễn Tuấn Phương, Châu Ngọc Ân, Võ Phán, Phân tích ứng xử của lớp cát đệm kết hợp vải địa kỹ thuật trên đầu cọc trong nền nhà xưởng chịu tải phân bố đều, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, 40 (2013) 11 trang. <http://www.vjol.info/index.php/DHTL/article/view/19581>
- [12] TCVN 9906:2014, Công trình thủy lợi - Cọc xi măng đất thi công theo phương pháp Jet grouting - Yêu cầu thiết kế thi công và nghiệm thu cho xử lý nền đất yếu, 2014.
- [13] Phạm Hoàng Kiên, Lý thuyết đồng dạng, Hội nghị cơ học kỹ thuật toàn quốc Đà Nẵng, 2015.
- [14] Bạch Vũ Hoàng Lan, Nghiên cứu ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm đến khả năng chịu tải dọc trục và độ lún của nhóm cọc thẳng đứng, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2017.
- [15] Zhen Fang, Physical and numerical modelling of the soft soil ground improved by deep cement mixing method, Hong Kong, 2006. <http://hdl.handle.net/10397/3818>
- [16] Nguyễn Đức Hạnh, Mô hình vật lý trong địa kỹ thuật, *Tạp chí Giao Thông Vận Tải*, pp. 1–10, 2010.
- [17] Nguyễn Thái Linh, Nguyễn Đức Mạnh, Thiết lập tỷ lệ mô hình thực nghiệm trong phòng hợp lý phục vụ nghiên cứu ứng xử hệ trụ đất xi măng kết hợp lưới địa kỹ thuật cường độ cao, *Tạp chí Địa kỹ thuật*, 1 (2020) 65–7.
- [18] H. Kempfert, Ground improvement methods with special emphasis on column-type techniques, *Geotechnics of Soft Soils-Theory and Practice*, 2003.
- [19] Phạm Quang Đông, Nghiên cứu phương pháp cố kết chân không xử lý nền đất yếu để xây dựng công trình, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Đại học Thủy Lợi, 2015.
- [20] NETIS Japan, Paralink Basal Reinforcement Technical Guidance, 2016.
- [21] K. Liu, R. K. Rowe, Numerical study of the effects of geosynthetic reinforcement viscosity on behaviour of embankments supported by deep-mixing-method columns, *Geotextiles and Geomembranes*, 43 (2015) 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2015.04.020>
- [22] Thân Văn Vãn, Lựa chọn tỷ lệ xi măng với đất khi chế tạo cọc xử lý nền đất yếu, *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, 26 (2009) 1–4. <http://www.vjol.info/index.php/DHTL/article/view/27903>

- [23] Thái Hồng Sơn, Trịnh Minh Thụ, Trịnh Công Vấn, Lựa chọn hàm lượng xi măng và tỉ lệ nước-xi măng hợp lý cho gia cố đất yếu vùng ven biển đồng bằng sông Cửu Long, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 44 (2014) 58–62.
- [24] TCVN 9403:2012, Gia cố đất nền yếu - Phương pháp trụ đất xi măng, 2012.
- [25] Japan geotechnical society, Practice for making and curing stabilized soil specimens without compaction, 2009.
- [26] Masaki Kitazume, Kimihiko Okano, Shogo Miyajima, Centrifuge Model Tests on Failure Envelope of Column Type Deep Mixing Method Improved Ground, Japanese Geotech. Soc., 40 (2000) 43–55. https://doi.org/10.3208/sandf.40.4_43
- [27] TCVN 9393 : 2012, Cọc – Phương pháp thử nghiệm tại hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục, 2012.