THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH ĐÁNH GIÁ BIẾN DẠNG LÚN CỦA NỀN ĐẤT YẾU ĐƯỢC GIA CỐ BẰNG CÁC CỘT ĐẤT TRỘN XI MĂNG

TS. Lê Bá Vinh
Trường đại Học Quốc Gia Thành Phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt: *Khi tính toán độ lún của công trình đắp trên nền đất yếu được gia cố bằng cột xi măng đất, một số các phương pháp và tiêu chuẩn trong nước cũng như nước ngoài đều dựa trên nhiều giả thiết đơn giản hóa. Điều đó dẫn đến những chênh lệch giữa kết quả tính toán độ lún theo các phương pháp này và theo thực tế. Trong bài báo này, các tác giả xây dựng mô hình thí nghiệm để đánh giá biến dạng lún của nền đất yếu được gia cố bằng hệ thống cột đất trộn xi măng. Dựa trên kết quả quan trắc độ lún theo các cấp áp lực nén khác nhau, tiến hành so sánh với kết quả tính toán theo các phương pháp giải tích để làm rõ ảnh hưởng của ma sát giữa khối gia cố với nền đất xung quanh.*

Summary: *In the calculation of settlement of embankments on the soft soil improved with cement treated soil columns, many methods and standards are based on several simplifying assumptions. That leads to the difference between the results calculated according to these methods and measured settlements. In this paper, the authors carried out model experiments to evaluate the deformation of soft ground reinforced by soil cement columns. From comparison between the analytical analysis and test results under inclined loads, the effects of friction between the reinforcement block and surrounding soft soils can be analyzed.*

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Giải pháp dùng hệ thống cột đất trộn xi măng để gia cố nền đất yếu là một phương pháp phổ biến ở Việt Nam và trên thế giới. Hiện nay, vấn đề về biến dạng của nền đất được gia cố bằng cột đất trộn xi măng vẫn còn nhiều tranh luận. Trong nhiều phương pháp và tiêu chuẩn, công thức tính toán độ lún của khối gia cố không xét đến ma sát của khối gia cố với nền đất xung quanh, không xét đến sự giảm ứng suất theo độ sâu và mô đun biến dạng của khối gia cố chỉ được tính trung bình, không xét đến tương tác giữa trụ và đất. Cách tính như thế sẽ chưa sát với thực tế, vì trong thực tế phản ứng thủy hóa xi măng sẽ làm mất nước trong nền, đồng nghĩa với việc ma sát giữa trụ và đất tăng đáng kể. Ngoài ra, ảnh hưởng của tải trọng ngoài sẽ giảm dần theo độ sâu. Trong bài báo này, tác giả xây dựng mô hình thí nghiệm để đánh giá biến dạng lún của nền đất yếu được gia cố bằng hệ thống cột đất trộn xi măng.

Người phản biện: **TS. Phùng Vĩnh An**
Ngày nhận bài: 02/4/2015
Ngày thông qua phản biện: 16/4/2015
Ngày duyệt đăng: 24/4/2015

II. CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN ĐỘ LÚN ỔN ĐỊNH CỦA NỀN ĐẤT YẾU ĐƯỢC GIA CỐ BẰNG HỆ THỐNG CỘT ĐẤT TRỘN XI MĂNG

Nhìn chung, các qui trình tính toán của Việt Nam, Trung Quốc, Châu Âu, Thụy Điển đều phân độ lún của nền gia cố thành 2 thành phần $S=S_1+S_2$ (S_1 – độ lún của khối gia cố, S_2 – độ lún của nền đất dưới khối gia cố). Trong bài này độ lún của khối gia cố được tập trung phân tích.

A. Tính toán độ lún theo TCVN 9403-2012 [2]

Độ lún của bản thân khối gia cố được tính theo công thức:

$$S_1 = \frac{qH}{E_{tb}} = \frac{q.H}{aE_c + (1-a)E_s} \quad (1)$$

Trong đó:

q - tải trọng công trình truyền lên khối gia cố (kgf/cm^2)

H - chiều sâu của khối gia cố (cm)

a - tỷ số diện tích, $a = \frac{n.Ac}{B.L}$

Ac - diện tích tiết diện trụ (cm^2),

n- tổng số trụ.

B, L - kích thước khối gia cố (cm)

E_c – modulus đàn hồi của cột đất trộn xi măng (kgf/cm^2)

E_s – modulus biến dạng của đất xung quanh cột (kgf/cm^2)

B. Tính toán độ lún theo tiêu chuẩn DBJ 08-40-94 (Trung Quốc) [1]

Độ lún của khối gia cố được xác định theo công thức:

$$S_1 = \frac{(P_0 + P_{0z}).H}{2.E_{tb}} \quad (2)$$

Trong đó:

p_0 – áp lực trung bình tại đỉnh cột (kgf/cm^2)

p_{oz} – áp lực tại mũi cột (kgf/cm^2)

$$p_{oz} = p_o + \gamma_{tb} \times H \quad (3)$$

$$\gamma_{tb} = \gamma_c \times a + (1-a) \times \gamma_s \quad (4)$$

γ_c - dung trọng của cột xi măng đất (kgf/cm^3)

γ_s - dung trọng của nền đất yếu trong hộp mô hình (kgf/cm^3)

III. THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH ĐÁNH GIÁ BIẾN DẠNG LÚN CỦA NỀN ĐẤT YẾU ĐƯỢC GIA CỐ BẰNG HỆ THỐNG CỘT XI MĂNG ĐẤT

A. Mục đích thí nghiệm

Thí nghiệm trên mô hình nhằm đánh giá ứng xử của hệ cột xi măng đất và nền đất yếu theo các cấp áp lực nén (ở đây chủ yếu đánh giá ảnh hưởng của ma sát giữa khối đất gia cố và đất xung quanh đến biến dạng lún của khối gia cố). Đo áp lực nén, chuyển vị của hệ thống cột xi măng-đất trong mô hình ở từng cấp áp lực theo thời gian. Từ kết quả thí nghiệm trên mô hình, dùng phương pháp Asaoka để xác định độ lún ổn định của nền gia cố. Từ đó so sánh, đánh giá kết quả đo lún trên mô hình với các phương pháp giải tích.

B. Nội dung thí nghiệm

- Đúc mẫu xi măng-đất với hàm lượng xi măng 16% có đường kính 20mm, dài 200mm

- Thi công cột xi măng-đất vào trong nền đất yếu bên trong hộp mô hình

- Gia tải theo từng cấp áp lực, đo trị số áp lực nén, chuyển vị của hệ cột xi măng đất và nền đất yếu theo thời gian, quan sát, chụp hình.

C. Cách tiến hành

Mẫu đất yếu được lấy ở phường Bình Khánh – Quận 2 – TP Hồ Chí Minh. Dùng máy trộn chế bị lại mẫu đất, sau đó cho mẫu đất vào trong hộp mô hình đã được quét một lớp dầu nhớt để hạn chế tối đa ma sát giữa đất và thành hộp, đậy nắp hộp mô hình lại để đất cố kết dưới trọng lượng bản thân trong vòng 3 ngày. Sau đó, đặt một lớp vải địa kỹ thuật lên trên nền đất yếu, rồi rải một lớp cát dày 10mm lên trên lớp vải địa kỹ thuật. Lớp vải địa kỹ thuật và lớp cát sẽ đảm bảo cho nước được thoát ra theo biên trên. Đặt tấm cứng tản lực lên trên lớp cát và gia tải cố kết đất ở các cấp áp lực như bảng 1.

Bảng 1: Cấp áp lực để cố kết lớp đất trong mô hình

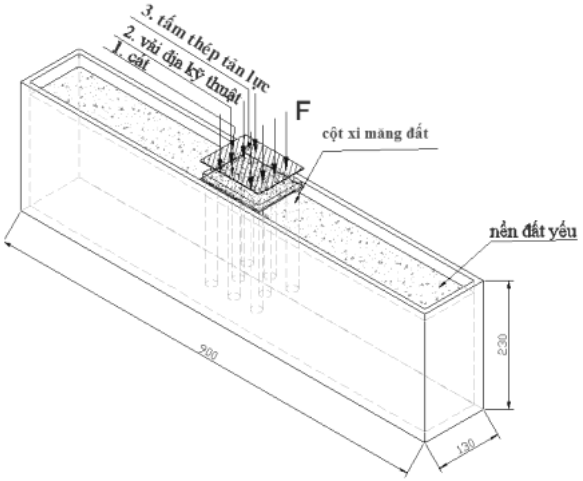
Cấp áp lực (kgf/cm^2)	0	0.20	0.43
Thời gian (ngày)	3	4	4

Sau khi cố kết xong, mang mẫu đất đi thí nghiệm, kết quả phân tích các chỉ tiêu cơ lý của đất sau khi chế bị được thể hiện trong bảng 2

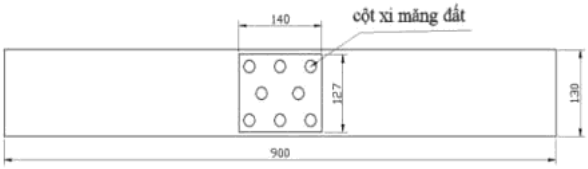
Bảng 2: Tính chất của mẫu đất sau khi chế bị

TT	Giá trị cơ lý	Giá trị đại diện của các lớp đất
1	Cát: 0.05 - 2.0 (mm), %	5.1
	Bụi: 0.005 - 0.05 (mm), %	53.6
	Sét < 0.005 (mm), %	41.3
2	Độ ẩm tự nhiên, W (%)	73.2
3	Dung trọng tự nhiên, γ_w (KN/m^3)	14.8
4	Tỷ trọng, G_s	2.66
5	Hệ số rỗng ban đầu, ε_0	2.093
6	Độ rỗng, n (%)	67.7
7	Độ bão hòa, Sr (%)	93.0
8	Giới hạn chảy, LL (%)	71.2
9	Giới hạn dẻo, PL (%)	35.6
10	Chỉ số dẻo, PI (%)	35.6
11	+ φ (Độ)	03°39'
	+ C (kPa)	6.27

Hộp mô hình được làm bằng thép tấm cường độ cao dày 2mm, có kích thước dài 900mm, rộng 130mm, cao 230mm.



Hình 1. Mô hình thí nghiệm



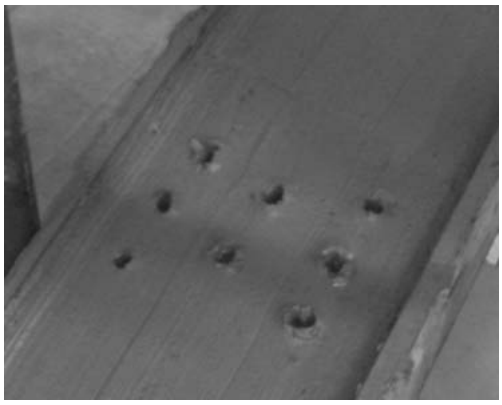
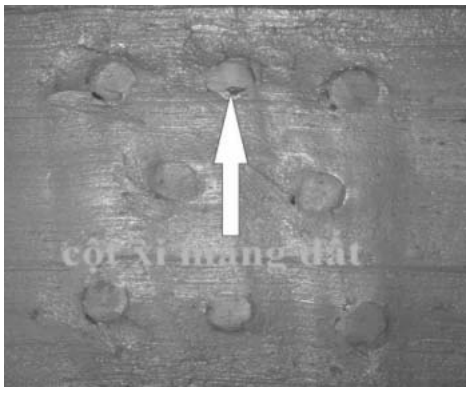
Hình 2. Mặt bằng bố trí cột xi măng đất trong mô hình thí nghiệm

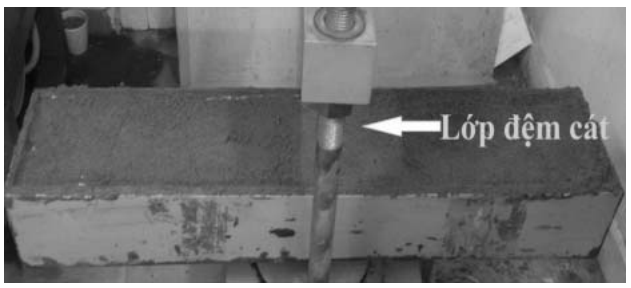
Hệ thống gia tải sử dụng bơm thủy lực và kích ép, hệ thống đo áp lực tác dụng lên tấm cứng bằng đồng hồ điện tử. Lớp đất yếu trong mô hình dày 230mm. Hệ thống đồng hồ đo chuyển vị của cột đất trộn xi măng sẽ ghi lại giá trị chuyển vị theo từng cấp áp lực nén theo thời gian. Sau khi cố kết xong nền đất yếu, dỡ tải, cạo gọt mặt trên của mô hình để chiều dày lớp đất yếu còn lại 200 mm. Đúc mẫu xi măng/đất với hàm lượng 16%, hàm lượng nước/xi măng bằng 1,5, đường kính 20mm, chiều dài 200mm.

Bảng 3: Một số chỉ tiêu của mẫu xi măng-đất với tỷ lệ 16%

Tuổi bảo dưỡng	a_c	q_u	E	ε
Ngày	%	kgf/cm^2	kgf/cm^2	%
7	16	5.302	526.8	1.33
14		5593	577.6	1.20
28		6.691	678.9	1.13

Khoảng cách bố trí các cột đất trộn xi măng từ tâm đến tâm là 50mm, bố trí cột theo hình tam giác. Mẫu đúc được 7 ngày tuổi sẽ được tháo ra khỏi khuôn và cắm vào hộp mô hình, kế đến trải một lớp vải địa kỹ thuật lên phía trên khối gia cố, sau đó rải thêm một lớp cát dày 10mm lên phía trên lớp vải địa kỹ thuật. Chờ cột xi măng-đất đủ 28 ngày tuổi thì bắt đầu tiến hành thí nghiệm. Đặt tấm cứng tản lực dày 3mm, dài 140mm, rộng 127mm lên trên và tiến hành gia tải theo từng cấp áp lực, đồng thời bấm thời gian và ghi lại số đọc của đồng hồ chuyển vị ứng với 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480, 720, 1440 phút.



Hình 3. Các bước thực hiện trong mô hình thí nghiệm

Tiến hành gia tải theo từng cấp áp lực, số đọc lực trên đồng hồ tương ứng với từng cấp tải được tính toán như bảng 4 (số đọc đã được hiệu chỉnh trọng lượng của trọng lượng kích thủy lực và tấm cứng tản lực)

Bảng 4: Số đọc đồng hồ tương ứng với áp lực nén

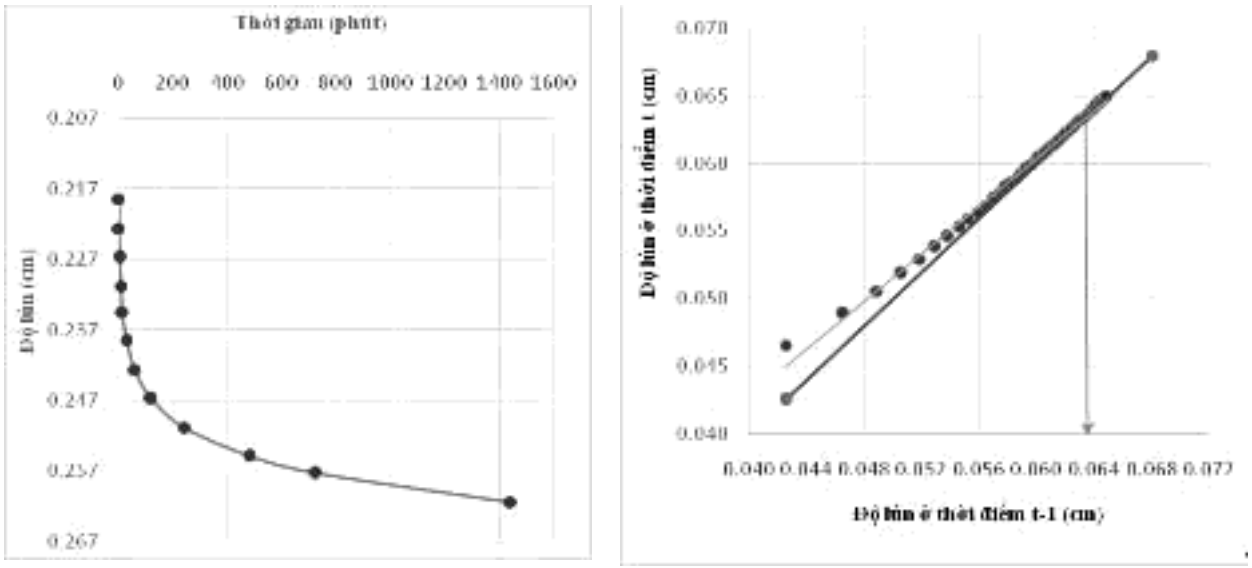
Áp lực nén	kgf/cm^2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
Số đọc trên đồng hồ	kN	0.7	1.6	2.5	3.3	4.2	5.1	6.8

Áp lực nén của từng cấp sẽ được giữ không đổi cho đến khi chuyển vị lún của nền đất và hệ cột xi măng đất dưới tấm cứng ổn định (khoảng 24 giờ).

D. Các kết quả thí nghiệm

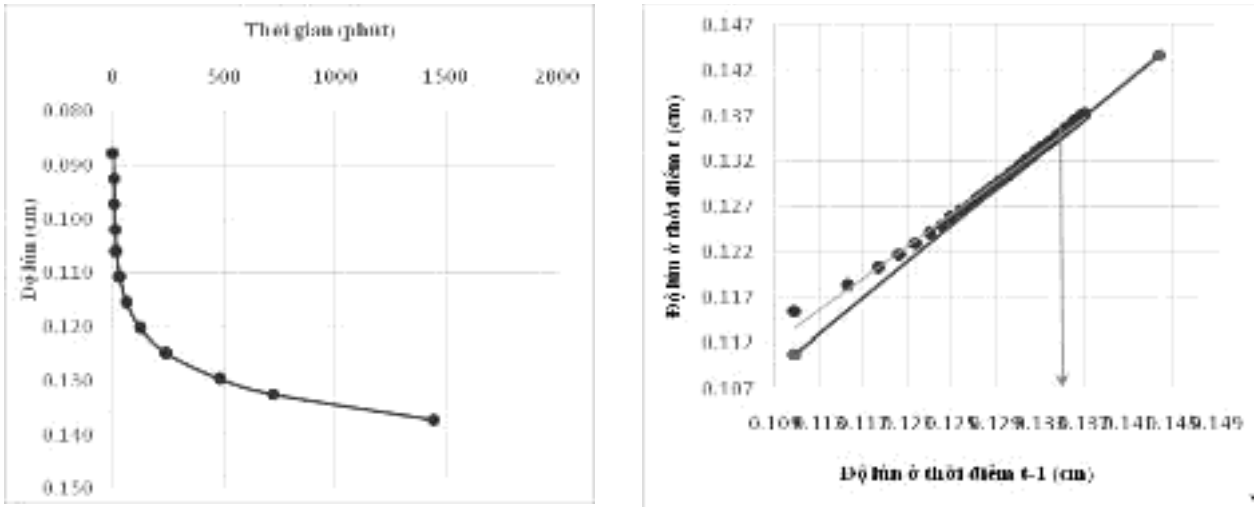
Với mỗi cấp áp lực nén, từ các độ lún của mô hình theo thời gian, việc phân tích độ lún ổn định của nền đất yếu gia cố bằng cột đất trộn xi măng được thực hiện theo phương pháp Asaoka [3] cho từng cấp áp lực như sau:

* Với cấp áp lực nén 0.5 kgf/cm^2



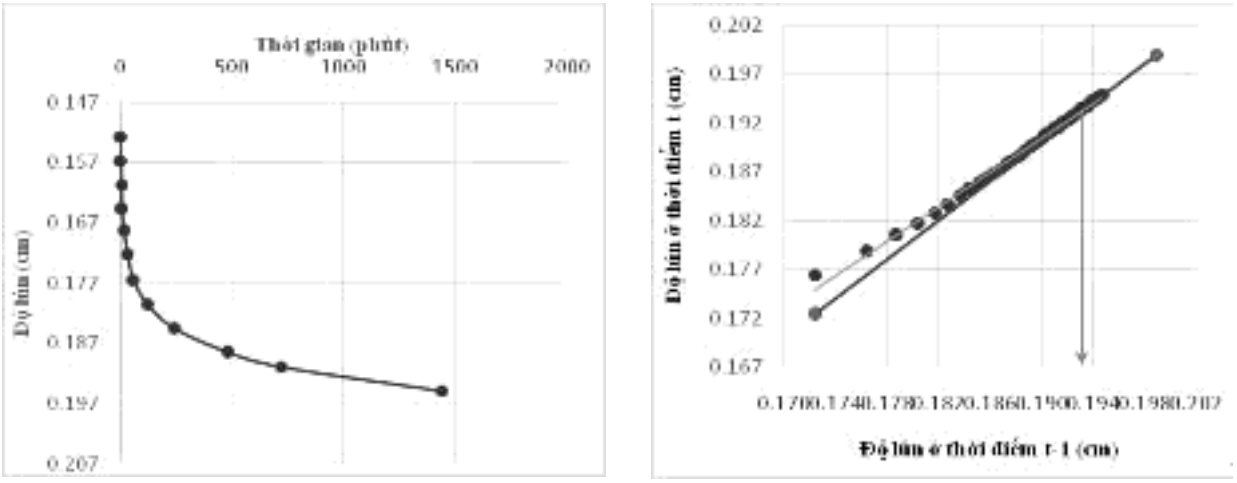
Hình 4. Kết quả phân tích độ lún ổn định theo Asaoka ở cấp áp lực 0.5 kgf/cm^2

**** Với cấp áp lực nén 1.0 kgf/cm²***



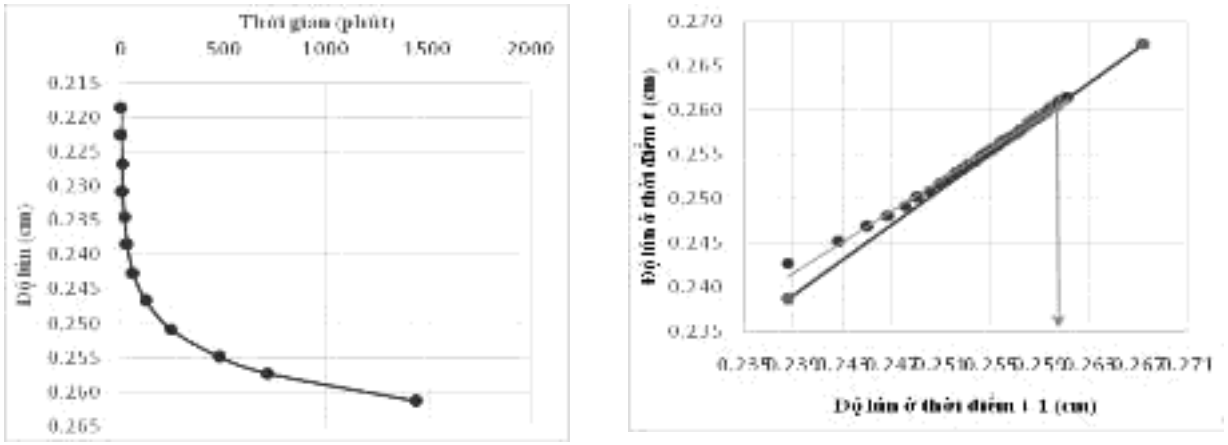
Hình 5. Kết quả phân tích độ lún ổn định theo Asaoka ở cấp áp lực 1.0 kgf/cm²

**** Với cấp áp lực nén 1.5 kgf/cm²***



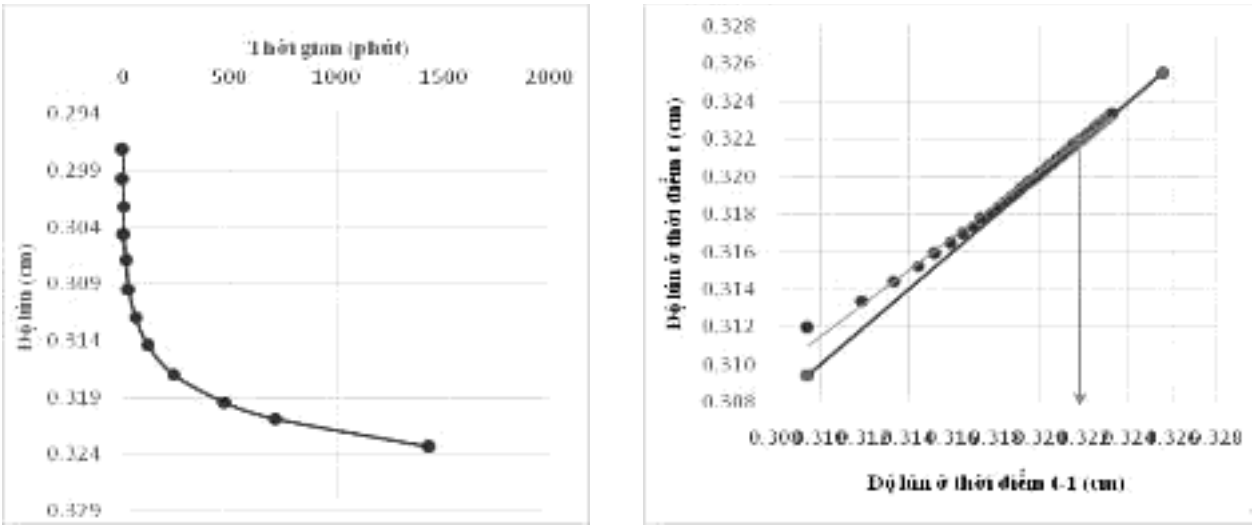
Hình 6. Kết quả phân tích độ lún ổn định theo Asaoka ở cấp áp lực 1.5 kgf/cm²

**** Với cấp áp lực nén 2.0 kgf/cm²***



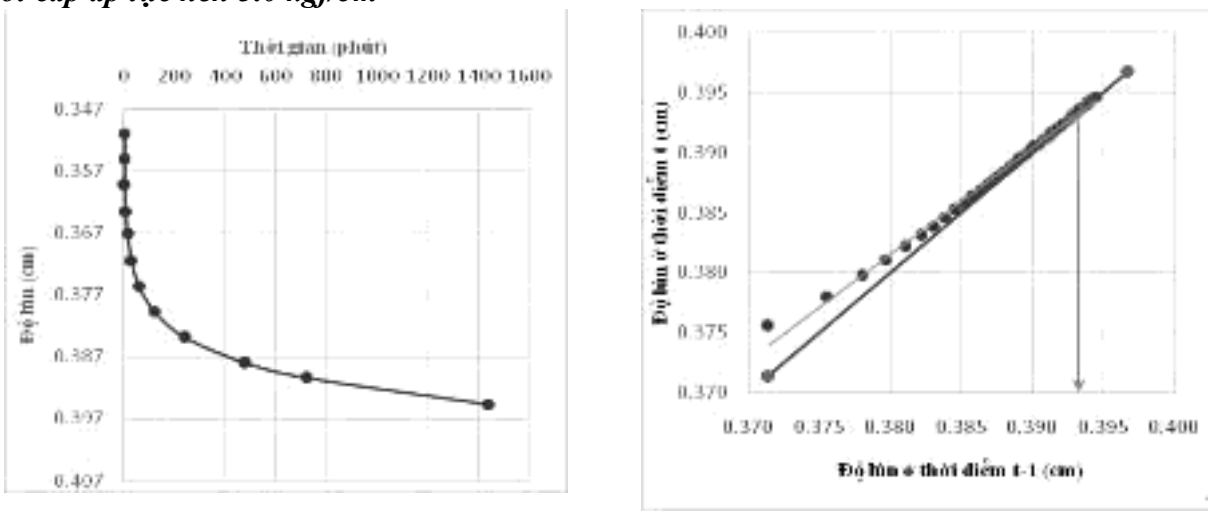
Hình 7. Kết quả phân tích độ lún ổn định theo Asaoka ở cấp áp lực 2.0 kgf/cm²

**** Với cấp áp lực nén 2.5 kgf/cm²***



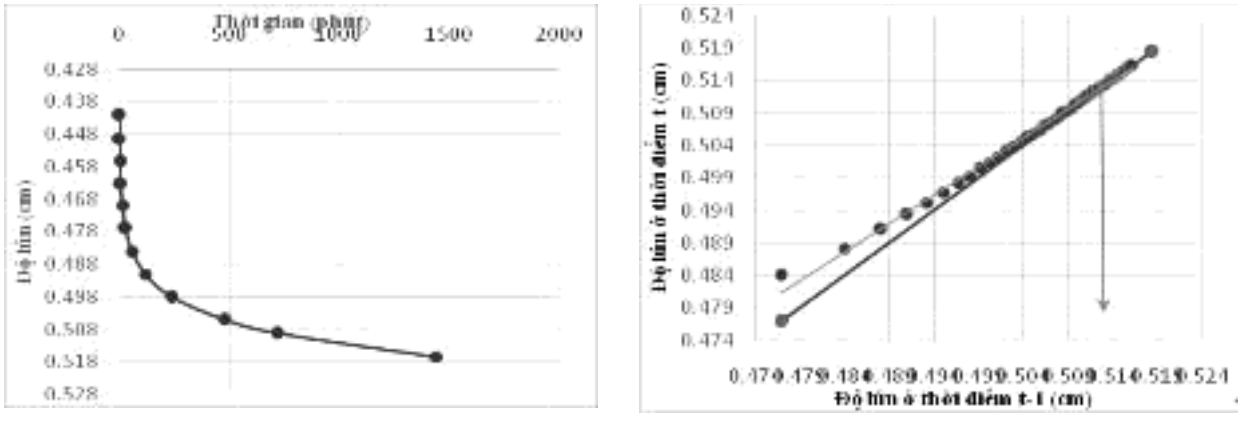
Hình 8. Kết quả phân tích độ lún ổn định theo Asaoka ở cấp áp lực 2.5 kgf/cm²

**** Với cấp áp lực nén 3.0 kgf/cm²***



Hình 9. Kết quả phân tích độ lún ổn định theo Asaoka ở cấp áp lực 3.0 kgf/cm²

**** Với cấp áp lực nén 4.0 kgf/cm²***



Hình 10. Kết quả phân tích độ lún ổn định theo Asaoka ở cấp áp lực 4.0 kgf/cm²

Tổng hợp các kết quả phân tích độ lún ổn định dưới từng cấp áp lực được thể hiện trong bảng 6.

* Kiểm chứng độ lún ổn định của nền gia cố theo các phương pháp giải tích

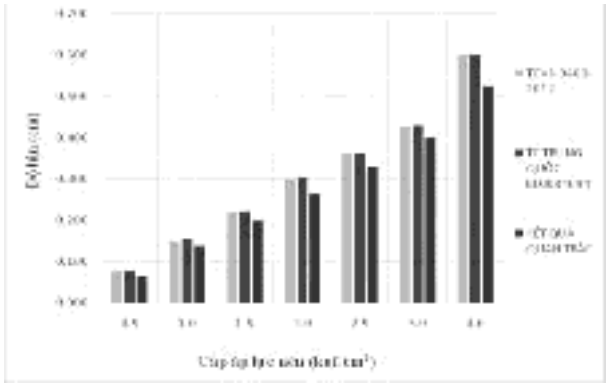
Nếu áp dụng 2 phương pháp giải tích nêu trên để xác định độ lún ổn định của nền gia cố trong mô hình, các kết quả tính lún được thể hiện trong bảng 6 [4]. Trong đó E_S lấy theo giá trị nén cố kết của từng cấp áp lực. Từ thí nghiệm nén cố kết mẫu đất sau khi chế bị ta có các giá trị modulus biến dạng của khối gia cố theo từng cấp áp lực như bảng 5.

Bảng 5: Giá trị modulus biến dạng của khối gia cố theo từng cấp áp lực nén

P	kgf/cm^2	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
E_{tb}	kgf/cm^2	87.4	88.3	89.4	90.7	91.9	93.3	96.4

Bảng 6: Độ lún ổn định tính theo các phương pháp

Cấp áp lực (kg/cm^2)	TCVN 9403-2012 (cm)	DBJ 08 40 94 (cm)	Độ lún quan trắc (cm)
0.5	0.075	0.077	0.064
1.0	0.150	0.152	0.137
1.5	0.219	0.221	0.198
2.0	0.299	0.302	0.263
2.5	0.359	0.361	0.330
3.0	0.426	0.428	0.400
4.0	0.598	0.600	0.524



Hình 11. So sánh độ lún ổn định tính theo một số phương pháp

NHẬN XÉT

Trong 2 quy trình tính toán độ lún của khối gia cố bằng cột xi măng đất TCVN 9403-2012 và tiêu chuẩn Trung Quốc BDJ 08-40-94 thì tính toán theo quy trình Trung Quốc cho kết quả lớn hơn từ (0.4÷ 3.0) %, do BDJ 08-40-94 có xét đến ảnh hưởng của ứng suất phụ do trọng lượng bản thân cột.

Kết quả quan trắc lún trong mô hình cho kết quả nhỏ hơn so với phương pháp tính của 2 tiêu chuẩn trên, với chênh lệch lớn nhất là 20.3%. Nguyên nhân của sự chênh lệch này là vì:

– Các công thức tính trong các tiêu chuẩn thường có xu hướng thiên về an toàn.

– Công thức tính lún theo tiêu chuẩn tương tự như định luật Hooke khá đơn giản. Khi tính lún theo tiêu chuẩn đã không xét đến lực ma sát xung quanh khối gia cố do đất nền tạo nên. Do đó tạo ra sự khác biệt giữa kết quả tính lún theo tiêu chuẩn và theo thí nghiệm trong mô hình thực tế.

– Trong công thức tính lún theo tiêu chuẩn, modulus đàn hồi của khối gia cố lấy theo phương pháp trung bình trọng số là chưa phù hợp, vì modulus biến dạng phụ thuộc rất nhiều vào sự tương tác giữa đất và trụ, dẫn đến những sai lệch so với kết quả thực tế trên mô hình.

** Tính toán độ lún theo phương pháp giải tích*

có xét ảnh hưởng của ma sát giữa khối gia cố và nền đất xung quanh.

Lực ma sát giữa khối gia cố và nền đất xung quanh tính theo công thức:

$$f_s = (1-\sin\varphi)\times\sigma_h^{'}\times tg\varphi + C$$

Trong đó:

$\sigma_h^{'}$ - ứng suất hữu hiệu giữa lớp đất trong khối gia cố theo phương thẳng đứng

$$\sigma_h^{'} = \frac{\gamma^{'}\times h}{2} = \frac{4,8\times 0,2}{2} = 0,48 \text{ (kN/m}^2) =$$

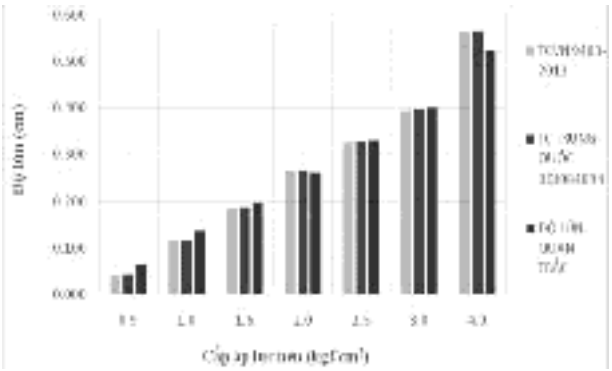
$4,8.10^{-3}$ (kgf/cm^2)

$$f_s = (1-\sin 3,65)\times 4,8\times 10^{-3}\times tg3,65 + 0,0627 = 0,063$$

(kgf/cm^2)

Từ đó tính lún với tải trọng thực tác dụng lên khối gia cố là:

$$q' = \frac{q\times B\times L - f_s\times 2\times H\times B}{B\times L}$$



Hình 12. So sánh độ lún ổn định tính theo một số phương pháp có xét ảnh hưởng của ma sát giữa khối gia cố và nền đất xung quanh.

Khi xét đến ảnh hưởng của ma sát giữa khối gia cố và nền đất yếu xung quanh, các kết quả tính lún được thể hiện như trên biểu đồ hình 12. Từ đây ta thấy độ lún xác định theo các phương pháp chênh lệch không nhiều. Chênh lệch giữa độ lún quan trắc trong mô hình so với độ lún tính theo phương pháp giải tích (tính theo % được thể hiện trong bảng 7).

Bảng 7: Chênh lệch giữa độ lún tính theo phương pháp giải tích và độ lún quan trắc

Cấp áp lực nén	Kgf/cm^2	1.5	2	2.5	3	4
Theo TCVN 9403-2012	%	6.7	0.5	1.7	1.8	7.3
Theo BDJ 08 40 94	%	5.7	1.3	1.1	1.3	7.7

IV. KẾT LUẬN

- Trong 2 quy trình tính toán độ lún ổn định của khối gia cố bằng cột xi măng-đất theo TCVN 9403-2012 và tiêu chuẩn Trung Quốc BDJ 084094 thì tính toán theo quy trình Trung Quốc cho kết quả lớn hơn từ (0.4÷ 3.0) %, do BDJ 08-40-94 có xét đến ảnh hưởng của ứng suất phụ do trọng lượng bản thân cột.

- Các kết quả độ lún đo được từ mô hình thí nghiệm đều nhỏ hơn các kết quả tính toán độ lún của khối gia cố theo TCVN 9403-2012 và theo tiêu chuẩn Trung Quốc BDJ 084094, với chênh lệch lớn nhất là 20.3%, một trong những nguyên nhân là vì khi tính lún theo các tiêu chuẩn đã chưa xét đến lực ma sát xung quanh khối gia cố do đất nền tạo nên.

- Nếu khi tính lún theo các tiêu chuẩn có xét đến lực ma sát xung quanh khối gia cố do đất nền tạo nên thì chênh lệch giữa kết quả tính lún theo các tiêu chuẩn và độ lún đo được từ mô hình thí nghiệm chỉ lớn nhất là 7,7%. Do đó, kiến nghị cần xem xét tính đến lực ma sát của khối gia cố và nền đất xung quanh khi tính toán độ lún ổn định của khối gia cố bằng cột xi măng đất.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (VNU-HCM) trong khuôn khổ đề tài "Nghiên cứu phương pháp tính toán độ lún ổn định và độ lún theo thời gian của nền đất yếu được gia cố bằng cột đất xi măng", cấp ĐHQG, mã số: C2014-20-13. Tác giả của bài báo xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Quy phạm kỹ thuật xử lý nền móng của Trung quốc (Shanghai- Standard: Ground treatment code, DBJ 08 40 94) do Trường Đại học Đồng tế biên soạn, năm 1995

[2] Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 9403 : 2012 "Phương pháp gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng", 2006.

[3] A. Asaoka, Observation procedure of settlement prediction, Soil & Foundation Vol.18, No.4, Sept1978

[4] Đinh Hữu Dụng, Phân tích tính toán độ lún nền đắp trên nền đất yếu được gia cố bằng cột đất trộn xi măng, Luận văn Thạc sĩ trường ĐH Bách khoa TP.HCM, 2014.

[5] K.Omine & H.Ochiai "Homogenization method for numerical analysis of improved ground with cement treated soil columns".