

# ỨNG DỤNG PLAXIS 2D TRONG PHÂN TÍCH ỨNG XỬ CỐ KẾT CỦA NỀN ĐẤT YẾU ĐƯỢC GIA CỐ BẰNG TRỤ ĐẤT-XI MĂNG DƯỚI TẢI TRỌNG ĐẤT ĐẤP

**TRẦN HỮU THIÊN**

Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia TP.HCM - ththien.tayninh@gmail.com

**LÊ BÁ VINH**

Trường Đại học Bách Khoa – Đại học Quốc Gia TP.HCM - lebavinh@hcmut.edu.vn

(Ngày nhận: 09/09/2016; Ngày nhận lại: 01/12/2016; Ngày duyệt đăng: 06/12/2016)

## TÓM TẮT

Có nhiều nghiên cứu về ứng xử của nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất-xi măng và đây cũng là một phương pháp gia cố khá phổ biến cho đất yếu. Bài báo này tiến hành khảo sát ứng xử cố kết của nền đất yếu được gia cố bằng phương pháp đó dưới tải trọng đất đắp thông qua các trường hợp mô phỏng bằng chương trình PLAXIS. Kết quả cho thấy rằng khi tăng tiết diện cũng như chiều dài của trụ thì độ lún của nền giảm và tốc độ cố kết tăng nhanh do sự tăng lên của hệ số cố kết. Chiều dày của phần đất yếu không được gia cố càng giảm thì độ lún của nền càng giảm và tốc độ cố kết của nền càng tăng. Từ đó, có thể rút ra kết luận rằng, tiết diện trụ và chiều dài trụ là hai thông số quan trọng khi thiết kế nền đất đắp trên nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất-xi măng trong việc điều chỉnh thời gian cố kết theo mong muốn.

**Từ khóa:** Độ cố kết; gia cố đất yếu; trụ đất-xi măng; tỷ số gia cố chiều sâu; tỷ số gia cố diện tích.

## **Application of 2D PLAXIS program in analyzing consolidation behavior of soil-cement column improved soft ground under embankment load**

### ABSTRACT

There have been much research on consolidation behavior of soil-cement column improved soft ground, a fairly popular soft soil improvement technique. This article investigate the consolidation behavior of the composite ground under embankment load using simulated cases with PLAXIS program. The results showed that when increasing the cross section as well as the length of the column, the settlement will decrease and the consolidation rate will speed up because of the increase in consolidation coefficient. The more the thickness of unreinforced weak soil reduces, the more the settlement falls and the consolidation rate increases. Thus, it can be concluded that the cross-section area and the length of the column are two key parameters in design of embankment on the soil-cement column improved soft ground for adjusting consolidation time as expected.

**Keywords:** Degree of consolidation; soft soil improvement; soil-cement column; depth improvement ratio; area improvement ratio.

## 1. Giới thiệu

Phương pháp trộn bột hoặc hồ xi măng vào trong đất yếu để tạo ra những trụ đất-xi măng được sử dụng khá phổ biến để cải tạo nền đất yếu. Đề tài này thu hút nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu nhằm mục đích dự đoán các ứng xử của nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất-xi măng. Có hai vấn đề lớn

liên quan đến đối tượng này, đó là sức chịu tải và biến dạng của nền sau khi được gia cố. Nhiều nghiên cứu đã tiến hành khảo sát về cường độ và độ cứng tổng thể của trụ đất-xi măng (Muntohar và cộng sự, 2013; Harianto và cộng sự, 2013; Horpibulsuk và cộng sự, 2011; Miura và cộng sự, 2011). Ngoài ra một số kết quả nghiên cứu về ứng xử cố kết của

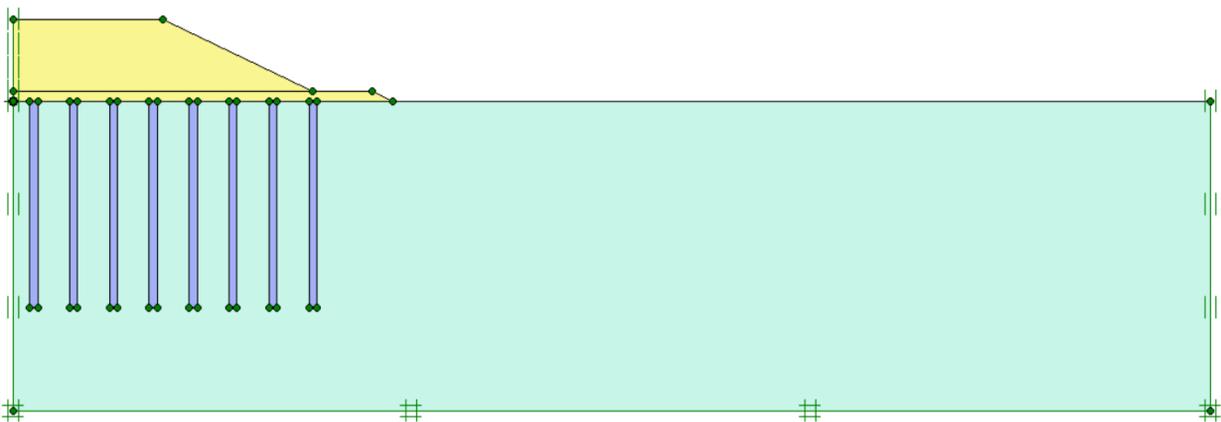
nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất-xi măng cũng đã được công bố (Chai và cộng sự, 2009; Chai và cộng sự, 2010; Horpibulsuk và cộng sự, 2012).

Tuy nhiên, các nghiên cứu về ứng xử cố kết của nền đất được gia cố bằng trụ đất-xi măng vẫn còn giới hạn, nhất là sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong các bài toán thực tế. Điều này đóng vai trò rất quan trọng vì nó quyết định đến tốc độ cố kết của nền, qua đó ảnh hưởng đến thời gian kết thúc cố kết.

Do đó, bài báo này nhằm mục đích khảo sát cơ chế tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư cũng như độ lún cố kết sơ cấp ổn định của nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất-xi măng.

Để đạt được mục tiêu này, các trường hợp giả định được đặt ra và được phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn, cụ thể hơn đó là bằng chương trình PLAXIS. Qua đó, đánh giá được sự ảnh hưởng của tỷ số gia cố diện tích  $a_s$  ( $a_s$  là tỷ số giữa diện tích tiết diện của một trụ đất-xi măng và diện tích vùng được gia cố bởi trụ đó) và tỷ số gia cố chiều sâu  $b_s$  ( $b_s$  là tỷ số giữa chiều dài trụ và chiều sâu lớp đất yếu được gia cố) đến độ lún ổn định và tốc độ cố kết của nền. Ngoài ra, góp phần làm rõ hơn về sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong nền đất yếu được gia cố đó.

## 2. Các phân tích số bằng chương trình Plaxis



**Hình 1.** Mô hình bài toán

Ứng xử của nền hỗn hợp (trước khi trụ bị phá hoại) được khảo bằng chương trình PLAXIS 2D thông qua các bài toán giả định. Từ các kết quả mô phỏng, một loạt các đối chiếu được thực hiện nhằm rút ra được vai trò của tỷ số gia cố diện tích ( $a_s$ ) và tỷ số gia cố chiều sâu ( $b_s$ ) đến ứng xử cố kết. Đối với phần tử lưới của bài toán, phần tử tam giác 6 nút được sử dụng cho phân tích sự tiêu tán của áp lực nước lỗ rỗng và phần tử tam giác 15 nút được dùng để phân tích ứng suất – biến dạng. Mô hình của bài toán gồm phần đất đắp (đất cát) có chiều cao 3.5 m, chiều rộng mặt trên là 15.0 m, chiều rộng đáy là 30.0 m; ngoài ra,

còn có đệm cát dày 0.5 m, chiều dày lớp đất sét yếu là 15.0 m, biên dưới được giả định là thoát nước. Thời gian thi công nền đất đắp là 40 ngày. Do bài toán đối xứng nên chỉ khảo sát phần bên phải của bài toán với mô hình bài toán biến dạng phẳng (Plane Strain Model) (xem Hình 1). Các trụ đất - xi măng được mô phỏng bằng các vùng (clusters) với các thông số đặc trưng riêng của trụ. Bề rộng  $b$  của các vùng (clusters) đó được quy đổi theo nguyên tắc tương đương về diện tích tiết diện theo biểu thức  $b = \pi d^2 / (4s)$ , với  $d$  và  $s$  là các thông số như trong Bảng 1.

**Bảng 1**

Các thông số về trụ đất - xi măng

Trường hợp	$d$ (m)	$L$ (m)	$a_s$	$b_s$	$s$ (m)
1	0.5	4.0	0.05	0.27	2.00
2	1.0	4.0	0.20	0.27	2.00
3	1.0	10.0	0.20	0.67	2.00
4	1.0	15.0	0.20	1.00	2.00

**Bảng 2**

Thông số vật liệu

Vật liệu	Trụ đất-xi măng	Đất cát	Đất sét yếu	Đơn vị
Mô hình	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Soft Soil	
Loại ứng xử	Undrained	Drained	Undrained	
$\gamma_{unsat}$	14.00	17.00	16.00	kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_{sat}$	14.00	20.00	18.00	kN/m <sup>3</sup>
$k_h$	5.00E-06	3.43E-04	1.00E-07	m/min
$k_v$	5.00E-06	3.43E-04	1.00E-07	m/min
$E'$	120,000	13,000	-	kN/m <sup>2</sup>
$\lambda^*$	-	-	0.0950	-
$\kappa^*$	-	-	0.0095	-
$\nu$	0.30	0.30	0.30	-
$c'$	600.00	1.00	1.00	kN/m <sup>2</sup>
$\varphi'$	25.00	37.00	21.00	°

Có bốn trường hợp được khảo sát như trong Bảng 1, trong đó  $d$  là đường kính trụ,  $L$  là chiều dài trụ,  $s$  là khoảng cách từ tâm đến tâm giữa các trụ. Các trường hợp 1 và 2 để khảo sát về sự ảnh hưởng của tỷ số gia cố diện tích  $a_s$ , các trường hợp còn lại để kiểm tra sự tác động của tỷ số gia cố chiều sâu  $b_s$ .

Các thông số vật liệu được liệt kê trong Bảng 2. Mô hình Soft Soil được sử dụng cho đất sét yếu, mô hình Mohr-Coulomb được sử dụng cho đất cát. Do trụ đất-xi măng là một

loại vật liệu có cường độ chịu nén vượt xa độ bền chịu kéo, nên mô hình đàn hồi – dẻo lý tưởng Mohr-Coulomb cũng được sử dụng cho vật liệu này. Vì tính thấm kém của đất yếu và trụ đất-xi măng nên được mô phỏng với ứng xử không thoát nước (undrained), còn đất cát được mô phỏng với ứng xử thoát nước (drained). Hệ số thấm theo phương đứng và ngang được giả thiết là như nhau. Ngoài ra, sự tương tác giữa trụ và đất xung quanh trụ được xem như là hoàn toàn nên không cần sử dụng

phần tử tiếp xúc dọc theo trụ trong phân tích.

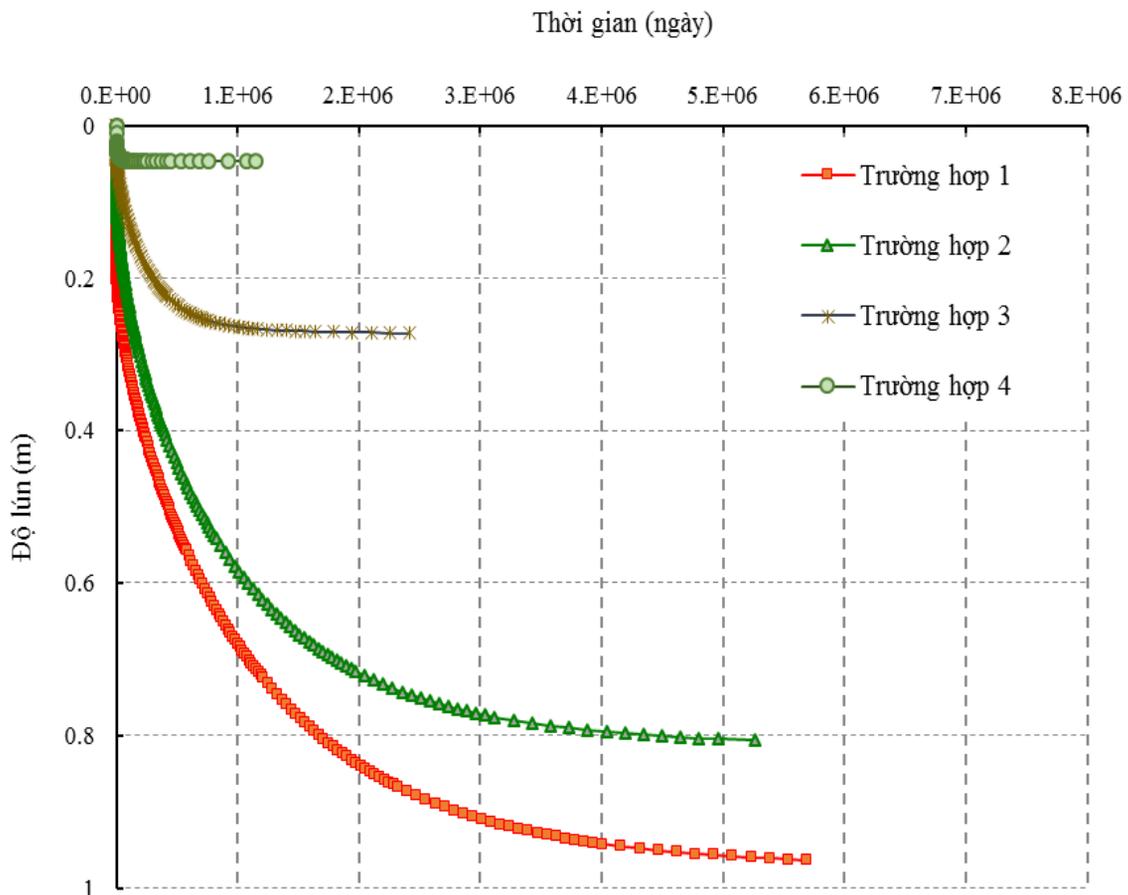
*a. Phân tích về độ lún cố kết sơ cấp ổn định*

Một cách tổng quát, xem khối đất yếu bên dưới nền đất đắp gồm hai phần: phần được gia cố và phần không được gia cố. Trụ đất-xi măng trong nền đất yếu làm tăng độ cứng tổng thể của phần được gia cố. Khi thay đổi tiết diện trụ và chiều dài trụ thì mô-đun biến dạng của khối được gia cố  $E_{comp}$  cũng thay đổi theo. Hình 2 trình bày sự so sánh về độ lún cố kết sơ cấp giữa các trường hợp. Đối chiếu chi tiết giữa các trường hợp như sau:

Các trường hợp 1 và 2 có cùng chiều dài trụ nhưng đường kính trụ trong trường hợp 2 lớn hơn trường hợp 1, tức là tỷ số gia cố diện tích  $a_s$  của trường hợp 2 lớn hơn trường hợp 1.

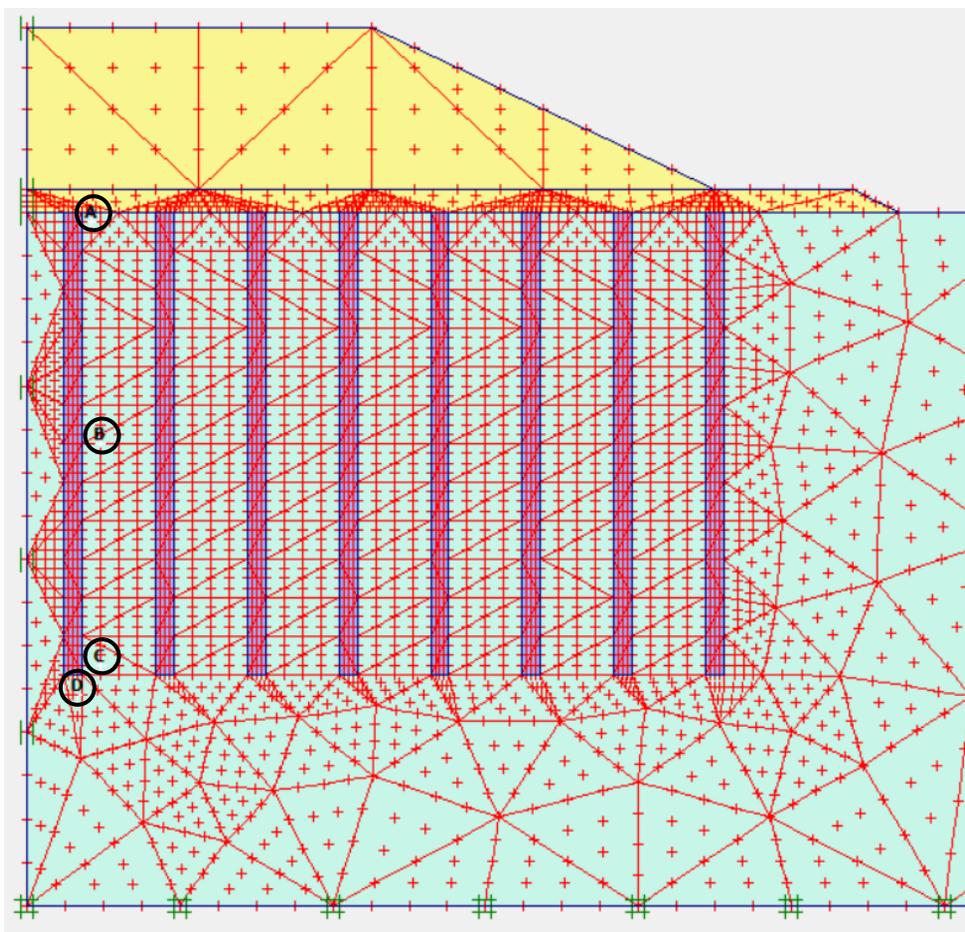
Kết quả cho thấy rằng, trường hợp 2 có độ lún bé hơn với trường hợp 1. Do đó, giá trị của  $a_s$  càng tăng thì độ lún của nền càng giảm.

Đối với các trường hợp 2, 3 và 4 có đường kính trụ như nhau nhưng chiều dài trụ khác nhau. Kết quả cho thấy sự ảnh hưởng của tỷ số gia cố chiều sâu  $b_s$  cũng tương tự như là tỷ số gia cố diện tích  $a_s$ . Ngoài ra cũng cho thấy rằng, độ lún của phần không được gia cố bên dưới trụ là chủ yếu vì mô-đun biến dạng của nó nhỏ hơn rất nhiều so với phần trên. Điều đó thể hiện rất rõ trong trường hợp 4 khi được so sánh với các trường hợp còn lại. Cụ thể, nếu đất trụ xuyên qua toàn bộ lớp đất yếu thì độ lún sẽ giảm rất nhiều so với các trường hợp trụ treo.



**Hình 2.** So sánh các đường lún cố kết theo thời gian của các trường hợp

b. Phân tích về sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư



**Hình 3.** Vị trí các điểm khảo sát

Sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư là một khía cạnh quan trọng trong vấn đề cố kết và nhất là trong công tác gia cố nền đất vì qua đó, nó quyết định đến tiến độ thi công của dự án. Để có thể nhận thấy rõ ràng hơn, lần lượt xét các điểm trong đất yếu xung quanh cọc và gần với trục đối xứng của bài toán. Trong đó, A, B, C và D lần lượt là các điểm ở gần đầu trụ, giữa trụ, mũi trụ và bên dưới trụ (xem Hình 3), riêng trường hợp 4 thì không có điểm D trong trường hợp mô hình bài toán được đặt ra như trên với trụ xuyên qua toàn bộ chiều dày lớp đất yếu. Từ Hình 4 đến Hình 7, so sánh sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư tại các điểm khảo sát trong nền cho các trường hợp. Khi đi từ A đến D thì tốc độ tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư giảm dần, nghĩa là sự tiêu tán diễn ra nhanh nhất ở A,

chậm hơn ở B, C và chậm nhất là ở D. Kết quả được rút ra cụ thể như sau:

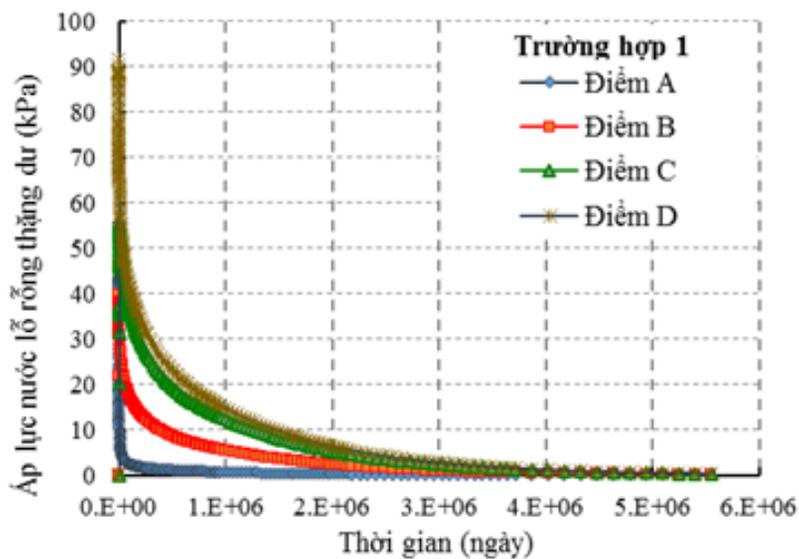
Đối với trường hợp 1 và 2, tốc độ tiêu tán sẽ được đẩy nhanh khi tăng giá trị của tỷ số gia cố diện tích  $a_s$ .

Đối với trường hợp 2, 3 và 4, tốc độ tiêu tán sẽ được đẩy nhanh khi tăng giá trị của tỷ số gia cố diện tích  $b_s$ .

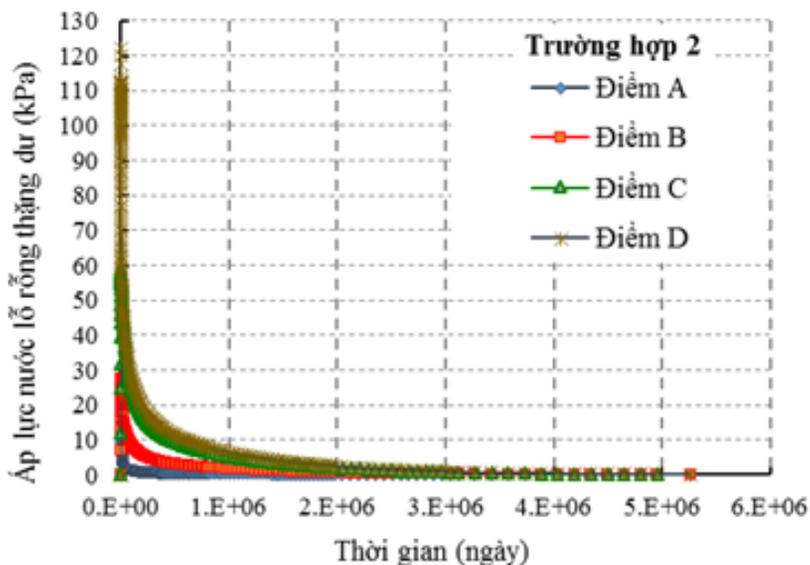
Hơn nữa, cũng tương tự như khi xét về độ lún cố kết sơ cấp ổn định, tốc độ tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thẳng dư trong nền, hay nói khác hơn là tốc độ cố kết, diễn biến nhanh hay chậm được quyết định chủ yếu bởi phần không được gia cố. Tốc độ cố kết phụ thuộc vào hệ số cố kết  $C_v$ . Giá trị của  $c_v$  càng lớn thì tốc độ cố kết càng tăng. Trong khi đó,  $c_v$  sẽ tăng khi mô-đun biến dạng tăng lên

( $c_v = kE / \gamma_w$ ). Như đã nói ở trên, phần được gia cố có mô-đun biến dạng lớn hơn rất nhiều so với phần không được gia cố. Cho nên, tốc độ cố kết của nó sẽ lớn hơn nhiều so với phần không được gia cố. Điều này có thể thấy rõ từ Hình 8 đến Hình 11, ghi nhận lại trạng thái của áp lực nước lỗ rỗng thặng dư ở cuối giai đoạn cố kết. Theo đó, áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong phần được gia cố gần như đã tiêu tán hoàn toàn, trong khi đó ở phần không

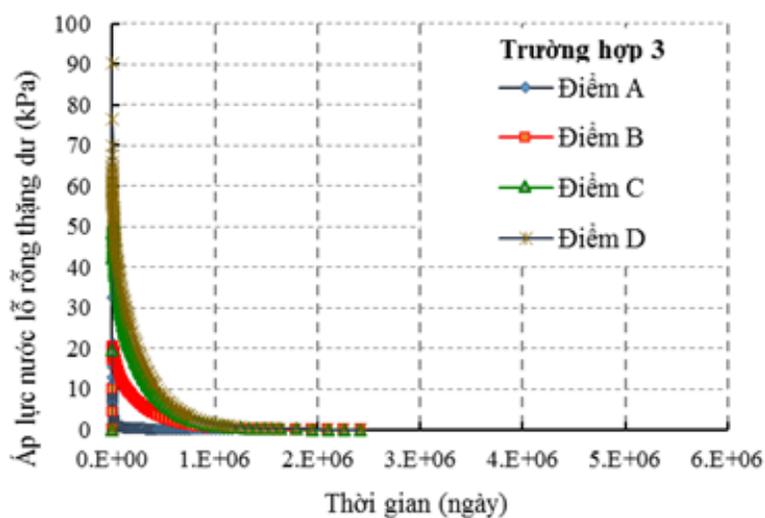
được gia cố, thì quá trình đó vẫn chưa kết thúc. Qua đó cho thấy, tốc độ cố kết trong nền được gia cố ở đây được đẩy mạnh là do sự gia tăng về hệ số cố kết  $c_v$ , mặc dù hệ số thấm của trụ hầu như xấp xỉ hoặc thậm chí bé hơn nhiều lần so với của đất yếu. Kết quả này cũng trùng khớp với kết quả của Chai (Chai và cộng sự, 2015). Tóm lại, trong bài toán này, chiều dày của phần không được gia cố càng nhỏ thì tốc độ cố kết càng nhanh.



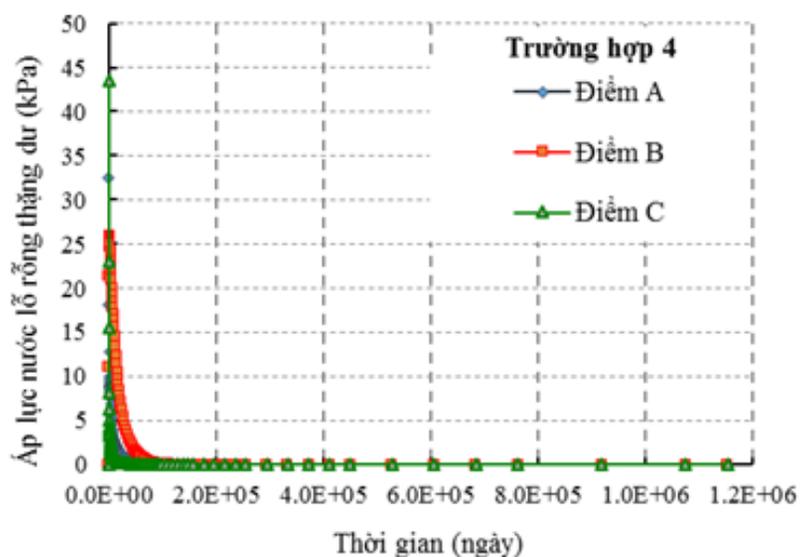
**Hình 4.** Sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong trường hợp 1



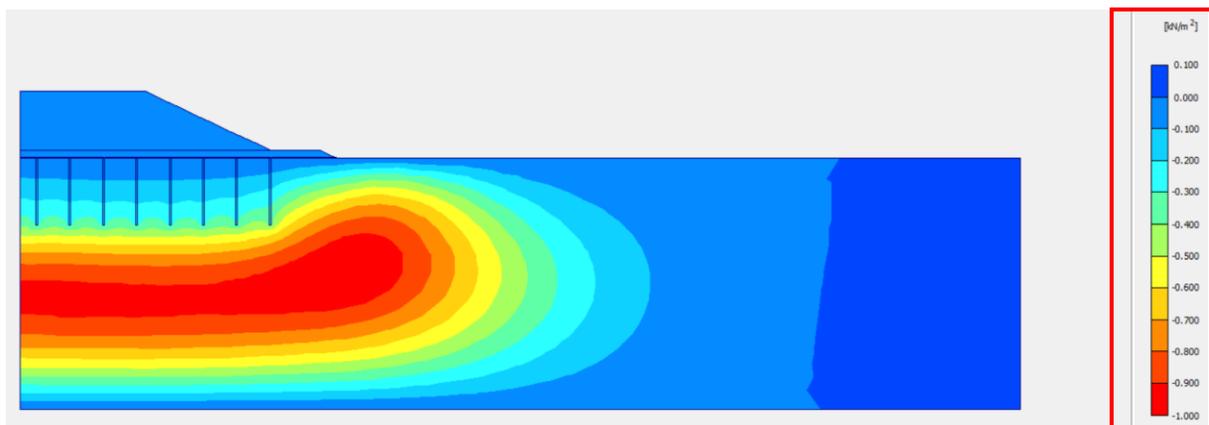
**Hình 5.** Sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong trường hợp 2



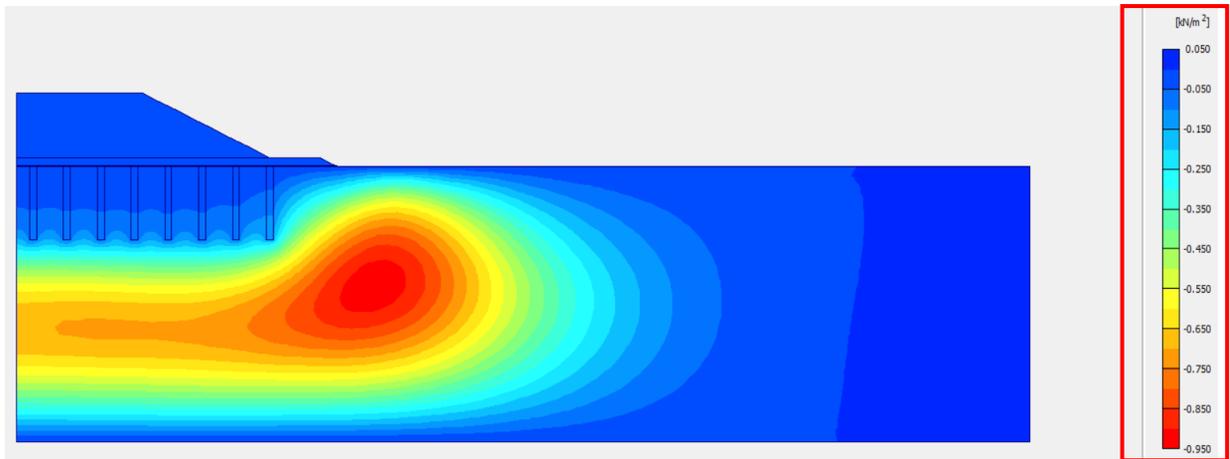
**Hình 6.** Sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong trường hợp 3



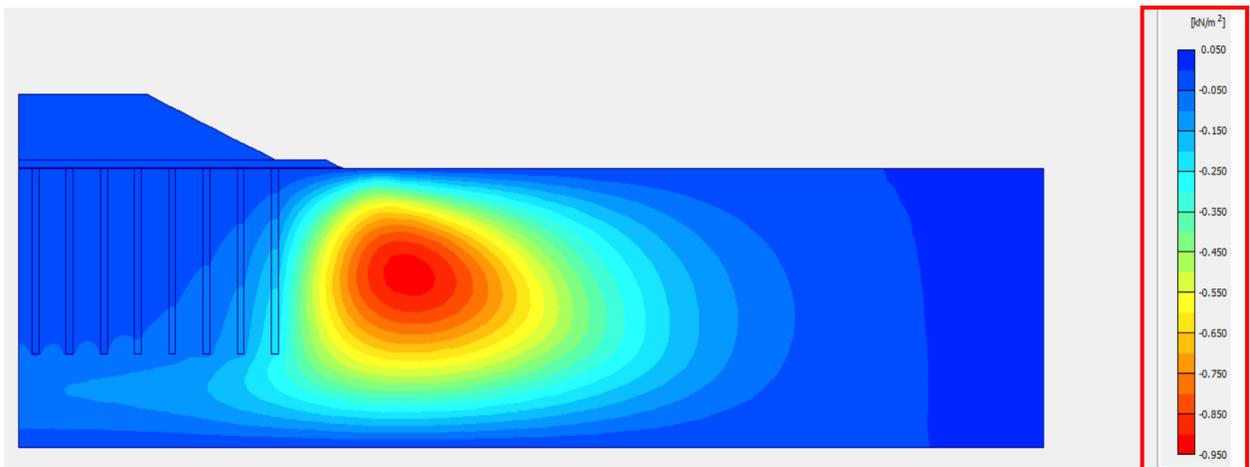
**Hình 7.** Sự tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong trường hợp 4



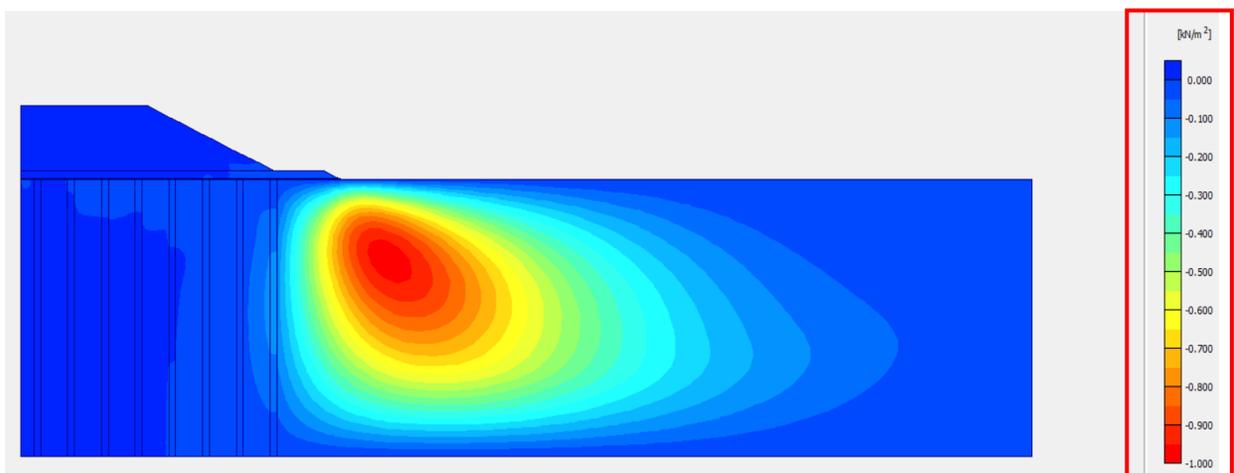
**Hình 8.** Trạng thái áp lực nước lỗ rỗng thặng dư ở cuối giai đoạn cố kết trong trường hợp 1



**Hình 9.** Trạng thái áp lực nước lỗ rỗng thặng dư ở cuối giai đoạn cố kết trong trường hợp 2



**Hình 10.** Trạng thái áp lực nước lỗ rỗng thặng dư ở cuối giai đoạn cố kết trong trường hợp 3



**Hình 11.** Trạng thái áp lực nước lỗ rỗng thặng dư ở cuối giai đoạn cố kết trong trường hợp 4

### 3. Kết luận

Bài báo này trình bày các mô phỏng về ứng xử cố kết của nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất-xi măng. Qua các phân tích, các kết luận được rút ra như sau:

1. Về độ lún cố kết sơ cấp ổn định, trụ đất-xi măng làm tăng cường độ cứng qua đó làm giảm độ lún cố kết sơ cấp của nền. Trong đó, độ lún của phần không được gia cố là chủ yếu vì mô-đun biến dạng của phần không được gia cố nhỏ hơn rất nhiều so với phần được gia cố.

2. Về tốc độ cố kết của nền, hệ số cố kết của phần được gia cố tăng lên rất nhiều do mô-đun biến dạng của phần được gia cố được tăng cường bởi trụ đất-xi măng. Do đó, tốc độ

tiêu tán áp lực nước lỗ rỗng thặng dư của phần được gia cố nhanh hơn nhiều so với phần không được gia cố. Dẫn đến tốc độ cố kết của cả nền đất yếu được quyết định chủ yếu bởi phần không được gia cố. Sự gia tăng của tốc độ cố kết ở đây là do sự gia tăng về hệ số cố kết  $c_v$ , mặc dù hệ số thấm của trụ hầu như xấp xỉ hoặc thậm chí là bé hơn nhiều lần so với hệ số thấm của đất yếu.

3. Một trong những cách có thể đạt được điều đó là điều chỉnh hai thông số: tỷ số gia cố diện tích  $a_s$  và tỷ số gia cố chiều sâu  $b_s$ . Khi tăng một trong hai thông số này sẽ làm tăng độ cứng của nền hỗn hợp và qua đó làm tăng hệ số cố kết của nền ■

### Tài liệu tham khảo

- Chai, J.C. & Pongsivasathit, S. (2010). A method for predicting consolidation settlements of floating column improved clayey subsoil. *Frontiers of Architecture and Civil Engineering in China*, 4(2), 241–251.
- Chai, J.C., Miura, N., Kirekawa, T. & Hino, T. (2009). Settlement prediction for soft ground improved by columns. *Proceedings of Institute of Civil Engineers*, 163(2), UK, 109–119.
- Chai, J.C., Shrestha, S., Hino, T., Ding, W.D., Kamo, Y. & Carter, J. (2015). 2D and 3D analyses of an embankment on clay improved by soil–cement columns. *Computers and Geotechnics*, 68, 28–37.
- Hariato, T., Samang, L., Suprapti, A. & Walenna, M.A. (2013). Study of Compressive Strength Characteristics of Grouted Soil-Cement Column to Reinforce Road Embankment from Lateral Deformation. *18th Southeast Asian Geotechnical & Inaugural AGSSEA Conference*, Singapore.
- Horpibulsuk, S., Chinkulkijniwat, A., Cholphatsorn, A., Suebsuk, J. & Liu, M.D. (2012). Consolidation behavior of soil–cement column improved ground. *Computers and Geotechnics*, 43, 37–50.
- Horpibulsuk, S., Rachan, R., & Suddepong, A. (2011). Assessment of strength development in blended cement admixed Bangkok clay. *Construction and Building Materials*, 25(4), 1521–1531.
- Miura, N., Horpibulsuk, S. & Nagaraj, T.S. (2011). Engineering behavior of cement stabilized clay at high water content. *Soils and Foundations*, 41(5), 33–45.
- Muntohar, A.S., Rahman, M.E., Hashim, R. & Islam, M.S. (2013). A Numerical Study of Ground Improvement Technique Using Group of Soil-Column on Peat. *Science & Technology*, 21(2), 625–634.