

# NGHIÊN CỨU SỰ PHÂN BỐ ỨNG SUẤT TRONG NỀN ĐẤT YẾU ĐƯỢC GIA CỐ BẰNG TRỤ ĐẤT XI MĂNG KẾT HỢP VỚI VẢI ĐỊA KỸ THUẬT DƯỚI CÔNG TRÌNH ĐẮP CAO Ở TIỀN GIANG

Nguyễn Ngọc Thắng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Giảng viên, Khoa Kỹ Thuật Xây dựng, Trường Đại học Tiền Giang

Nhận ngày 20/04/2021, thẩm định ngày 28/04/2021, chỉnh sửa ngày 11/05/2021, chấp nhận đăng 12/06/2021

## Tóm tắt

Phương pháp gia cố đất, phương pháp trộn sâu, thường được sử dụng để gia cố nền đất yếu trong đất phù sa ở đồng bằng, ví dụ như đất ở Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL). Trong nghiên cứu này, phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) bằng phần mềm PLAXIS được dùng để phân tích sự phân bố ứng suất lên trụ và đất nền của hệ trụ đất xi măng kết hợp với vải địa kỹ thuật trong gia cố nền đất yếu dưới công trình đắp cao ở tỉnh Tiền Giang. Bằng phương pháp này, các ứng xử của cột đất trộn xi măng trong xử lý nền đất yếu được chỉ rõ bằng sự phân bố ứng suất và độ lún của cột đất xi măng và các lớp đất yếu. Đồng thời, quá trình lún của công tác xây dựng nền đường được quan sát. Sự phân bố ứng suất trong cột đất xi măng và độ lún cũng được rút ra từ sự phân tích của phương pháp PTHH.

**Từ khóa:** Khoáng vật Montmorillonit, trụ đất xi măng, đất yếu, Đồng bằng Sông Cửu Long, Mô hình số.

## Abstract

The soil stabilization method, called Deep Mixing Method, is often applied for soft soil layers in the alluvial plain, such as the Mekong Delta. In this study, a nonlinear Finite Element Method (FEM), as programmed as commercial PLAXIS software, is used for the stress distribution in the soft ground improved by deep cement mixing and geotextile - reinforced supported road embankment in Tien Giang. By this nonlinear FEM, the responses and behaviors of the cement column during stabilizing the soft soil is clearly shown through the distribution of the stress both in the cement column and in the soft soil layers. The stress distribution and the deformation in the foundation improved by Deep Mixing Method are analyzed using nonlinear FEM in which stress-strain relation is elasto-plastic. The stress distribution in cement column and the differential settlement obtained by the FEM analysis are applied to more detailed specification of the configuration of cement column.

**Keywords:** Montmorillonite, CDM, Soft soil, Mekong Delta, Numerical simulation.

## 1. Giới thiệu

Đồng bằng sông Cửu Long có kiến tạo địa chất trẻ, trên 90 % diện tích nền đất là yếu. Sự phát triển kinh tế vùng trong những năm gần đây đã thúc đẩy sự hội nhập công nghệ xây dựng để đáp ứng nhu cầu kinh tế. Với chủ trương phát triển cơ sở hạ tầng cho khu vực nhiều công trình giao thông, đê đập, kho xưởng được xây dựng. Tuy nhiên việc xây dựng công trình trên nền đất yếu thường phải đối mặt với nhiều vấn đề như độ ổn định, bù lún. Để giải quyết vấn đề này thông thường chúng ta thay thế lớp đất yếu và bù lún. Vì nguồn tài nguyên của chúng ta là có giới hạn và không tái tạo, cùng với sự hội nhập về công nghệ, khoa học kỹ thuật những năm gần đây có nhiều giải pháp mới để xử lý vấn đề này. Với mục tiêu xử lý nền công trình ổn định dài lâu rút ngắn thời gian xử lý và hạn chế lượng tài nguyên đắp bù lún sau này.

## 2. Phân tích và tính toán nền dưới công trình đắp cao

### 2.1. Điều kiện địa chất huyện Châu Thành – tỉnh Tiền Giang

Nhìn chung, do đặc điểm bề mặt nền đất là phù sa mới, giàu bùn sét và hữu cơ nên về mặt địa hình cao trình tương đối thấp, về địa chất công trình khả năng chịu lực không cao, cần phải san nền và gia cố nhiều cho các công trình xây dựng.

Để có số liệu về các tính chất của đất tự nhiên, một hố khoan 30 m được khoan khảo sát tại huyện Châu Thành – tỉnh

Tiền Giang. Kết quả của các thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất được thể hiện trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Đặc trưng chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất.

Chỉ tiêu cơ lý	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 4
Độ ẩm tự nhiên, W(%)	71,24	30,14	25,65	26,53
Dung trọng ướt, $\gamma_w(g/cm^3)$	1,562	1,912	1,935	1,963
Dung trọng khô, $\gamma_d(g/cm^3)$	0,912	1,469	1,540	1,551
Hệ số rỗng, $e_0$	1,901	0,832	0,729	0,736
Giới hạn chảy, LL(%)	64,04	43,25	-	44,40
Giới hạn dẻo, PL(%)	30,82	22,83	-	23,28
Độ sệt, IL(%)	1,22	0,36	-	0,15
Mô đun tổng biến dạng, $E_{01-2}(kg/cm^2)$	5,08	24,02	82,78	27,13
Lực dính, $c(kg/cm^2)$	0,088	0,110	0,088	0,382
Góc ma sát, $\phi$	3°14'	5°58'	27°35'	15°15'

Chỉ tiêu cơ lý	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3	Lớp 4
% Tích lũy hạt:				
<4,75 mm (%)	100 %	100 %	100 %	100 %
<2,00 mm (%)	100 %	100 %	100 %	100 %
<0,425 mm (%)	100 %	100 %	95,5 %	100 %
<0,075 mm (%)	100 %	94,5 %	34,2 %	95,8 %
<0,002 mm (%)	44,1 %	32,1 %	6,0 %	33,6 %

Căn cứ vào kết quả khoan khảo sát tại hố khoan, sau khi phân tích các chỉ tiêu cơ lý và tổng hợp chính lý thống kê, địa tầng tại vị trí khoan được phân thành các lớp sau:

Lớp 1: Sét lẫn ít cát màu xám nâu đen, trạng thái chảy, độ dẻo trung bình; dày 9,8 m.

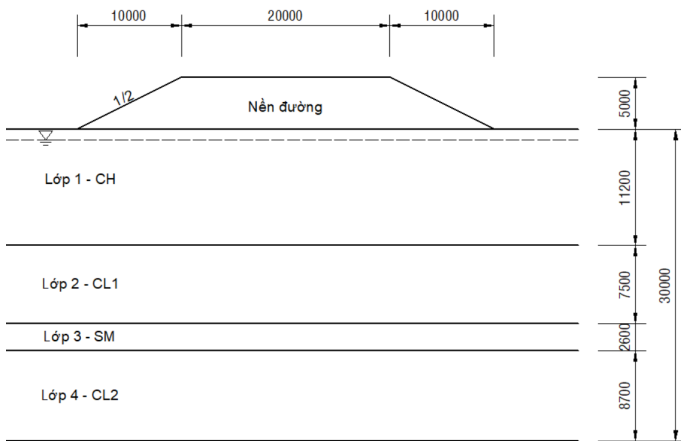
Lớp 2: Sét lẫn ít cát màu xám nâu đốm trắng, trạng thái dẻo cứng, độ dẻo trung bình; dày 7,5 m.

Lớp 3: Cát hạt mịn màu xám vàng, trạng thái kém chặt; dày 2,6 m.

Lớp 4: Sét lẫn ít cát màu loang lổ xám vàng xám trắng, trạng thái nửa cứng, độ dẻo trung bình; dày 8,7 m.

**2.2. Mô hình tính toán trong Plaxis**

Mô hình là một con đường đắp cao với các lớp đất yếu: Nền đất có 4 lớp đất gồm 11,2 m đất sét yếu; 7,5 m sét pha; 2,6 m cát mịn và 8,7 m sét chặt, phía trên các lớp đất là một đường giao thông với chiều cao đất đắp là 5,0 m như Hình 1.



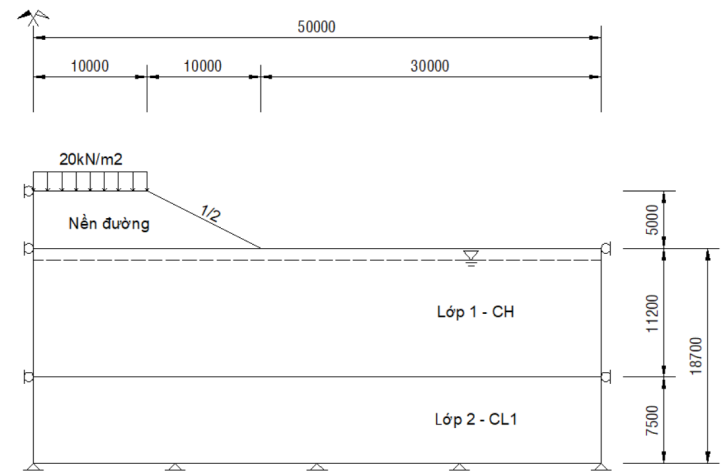
Hình 1. Mặt cắt ngang nền đường đắp trên đất yếu.

Khi phân tích phần tử hữu hạn theo 2 phương có thể sử dụng đồng thời mô hình biến dạng phẳng và mô hình đối xứng trục. Trong bài toán nền đường đắp trên đất yếu có thể coi nền đường là móng băng để tính toán, như vậy trong Plaxis nền đường sẽ được mô hình theo mô hình biến dạng phẳng.

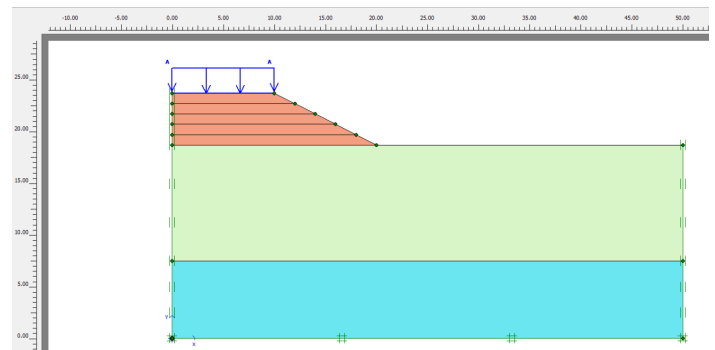
Để mô hình hóa cho các lớp đất có thể dùng phần tử tam giác 6 nút hoặc 15 nút đưa về bài toán phẳng để tính toán. Phần tử hình tam giác 6 nút là phần tử mặc định cho một sự phân tích 2 chiều. Nó cung cấp một phép nội suy là hai cho những sự dịch chuyển. Ma trận độ cứng phần tử được ước lượng bởi phép

lấy tích phân số sử dụng tổng của ba điểm ứng suất Gauss. Trong khi phần tử hình tam giác 15 nút có phép nội suy lần lượt và lấy tích phân gồm 12 điểm ứng suất.

**2.3. Trường hợp nền đất chưa có giải pháp gia cố**

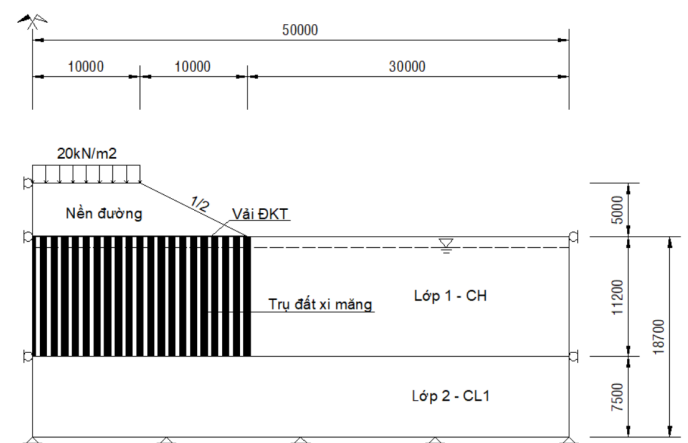


Hình 2. Nền đất yếu chưa được gia cố.

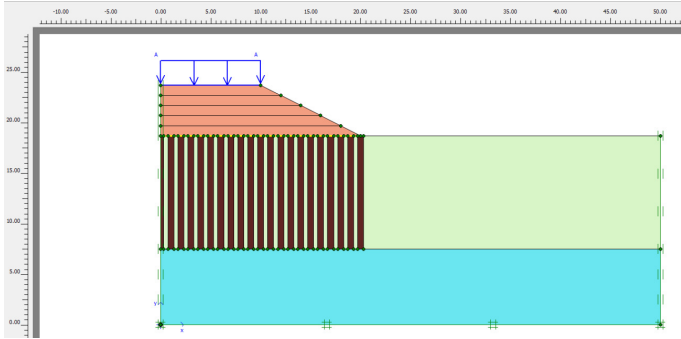


Hình 3. Mô hình PTHH nền đất yếu chưa được gia cố.

**2.4. Trường hợp nền đất được gia cố bằng hệ trụ đất xi măng kết hợp với vải địa kỹ thuật**



Hình 4. Nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất xi măng kết hợp với vải địa kỹ thuật.



**Hình 5.** Mô hình PTHH nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất xi măng kết hợp với vải địa kỹ thuật.

## 2.5. Điều kiện biên

Sử dụng định dạng Standard fixities để khai báo điều kiện biên. Tạo các điều kiện giới hạn: kích vào nút Standard fixities tương ứng trên thanh công cụ. Plaxis tự động ảnh hưởng đến một tập hợp với những điều kiện biên chung trong mô hình hình học. Những điều kiện này là những quy tắc được phát sinh sau: Những kết cấu theo phương đứng mà tọa độ x bằng giá trị thấp nhất hoặc cao nhất trong mô hình thu được một tính ngàm ngang ( $u_x = 0$ ). Những kết cấu theo phương ngang mà tọa độ y bằng giá trị thấp nhất hoặc cao nhất trong mô hình thu được một tính ngàm đầy đủ ( $u_x = u_y = 0$ ). Tính ngàm chuẩn thì được sử dụng như một tiện lợi và là sự lựa chọn nhanh nhất.

## 2.6. Khai báo đặc trưng vật liệu

**Bảng 2.** Thông số các lớp đất trong mô hình Plaxis.

Tham số	Lớp 1	Lớp 1	Nền đường
Mô hình	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
Ứng xử vật liệu	Drained	Drained	Drained
Dung trọng tự nhiên, $\gamma_{unsat}(kN/m^3)$	15,62	19,12	18,00
Dung trọng bão hòa, $\gamma_{sat}(kN/m^3)$	15,67	19,23	20,00
Hệ số thấm phương x, $k_x(m/day)$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-3}$
Hệ số thấm phương y, $k_y(m/day)$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-3}$
Mô đun đàn hồi, $E(kN/m^2)$	508	2402	20000
Hệ số Poisson $\nu (-)$	0,352	0,331	0,330
Cường độ kháng cắt $c(kN/m^2)$	8,8	11,0	10
Góc ma sát trong, $\varphi(^{\circ})$	$3^{\circ}14'$	$5^{\circ}58'$	$25^{\circ}$
Góc dẫn nở, $\psi(^{\circ})$	$0^{\circ}$	$0^{\circ}$	$0^{\circ}$

Trong Plaxis, các mô hình đất được chấp nhận là mô hình đàn hồi tuyến tính (Linear Elastic model - LE), mô hình Mohr-Coulomb (MC), mô hình đất cứng dần (Hardening Soil model - HS), mô hình đất yếu (Soft Soil model - SS), mô hình từ biến cho đất yếu (Soft Soil Creep model - SSC) và mô hình do người dùng thuyết lập (User - Defined model - UD).

Trong tất cả các mô hình nêu trên, thì mô hình Mohr - Coulomb được chọn để mô tả các tính chất thực của đất và khả năng ứng dụng tính toán của Version 8.2. Đây là mô hình đàn hồi dẻo lý tưởng gồm 5 tham số cơ bản của đất là mô đun đàn hồi (E), hệ số Poisson ( $\mu$ ), lực dính đơn vị (c), góc ma sát trong ( $\varphi$ ) và góc giãn nở ( $\psi$ ). Thông thường, tất cả các tham số của mô hình đều mô phỏng trạng thái ứng suất hữu hiệu của đất. Một thuộc tính quan trọng của đất là sự tồn tại của áp lực nước lỗ rỗng. Ảnh hưởng của áp lực nước lỗ rỗng được chia thành 3 loại quan hệ trong phần mềm là: quan hệ thoát nước (drained behavior), quan hệ không thoát nước (undrained behavior) và quan hệ không có áp lực nước lỗ rỗng (non - porous behavior).

Nền đất yếu được gia cố bằng các trụ đất xi măng có đường kính 0,6 m chiều dài 11,2 m và khoảng cách các cột là 1,0 m. Tính chất của trụ đất xi măng được thí nghiệm từ thí nghiệm xác định  $q_u$  và tham khảo các tài liệu về tính chất của trụ đất xi măng: Trọng lượng riêng theo Kamata & Akutsu, 1976 cho rằng trọng lượng riêng của đất trộn xi măng tăng từ 3 % đến 15 %. Từ các thí nghiệm nén mẫu, module đàn hồi  $E_{50} = (50 - 63)q_u$ . Hệ số Poisson theo Niina et al., 1977 đề nghị lấy từ 0,15 - 0,35.

**Bảng 3.** Thông số trụ đất xi măng trong mô hình Plaxis.

Tham số	Lớp 1
Mô hình	Mohr-Coulomb
Ứng xử vật liệu	Un-drained
Dung trọng tự nhiên, $\gamma_{unsat}(kN/m^3)$	11,15
Dung trọng bão hòa, $\gamma_{sat}(kN/m^3)$	18,40
Hệ số thấm phương x, $k_x(m/day)$	$10^{-7}$
Hệ số thấm phương y, $k_y(m/day)$	$10^{-7}$
Mô đun đàn hồi, $E(kN/m^2)$	100000
Hệ số Poisson $\nu (-)$	0,333
Cường độ kháng cắt, $c(kN/m^2)$	175
Góc ma sát trong, $\varphi(^{\circ})$	$30^{\circ}$
Góc dẫn nở, $\psi(^{\circ})$	$0^{\circ}$

Vải địa kỹ thuật được mô phỏng bởi phần tử Geogrid có EA=2500 kN/m.

## 2.7. Tính toán

Mỗi mô hình được phân tích theo các giai đoạn: Thi công trụ đất xi măng, thi công vải địa kỹ thuật, đắp nền đường và chất tải.

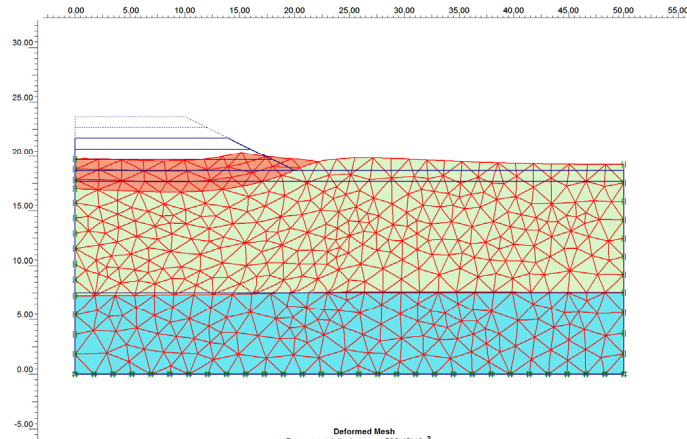
Tính toán dẻo (Plastic Calculate): Tính toán dẻo là để tính toán biến dạng đàn hồi-dẻo. Nó được sử dụng khi mà phân tích sự phá hoại và ổn định của một đối tượng được phân tích. Tính

toán dẻo không có kể đến sự phụ thuộc vào thời gian khi áp lực nước lỗ rỗng thoát ra, và do đó không thích hợp khi phân tích lún trong nền đất có tính thấm yếu. Mặt khác, kiểu tính toán này có thể được sử dụng khi mà tính toán lún trong nền đất có tính thấm lớn hay dùng để tính toán độ lún cuối cùng của kết cấu.

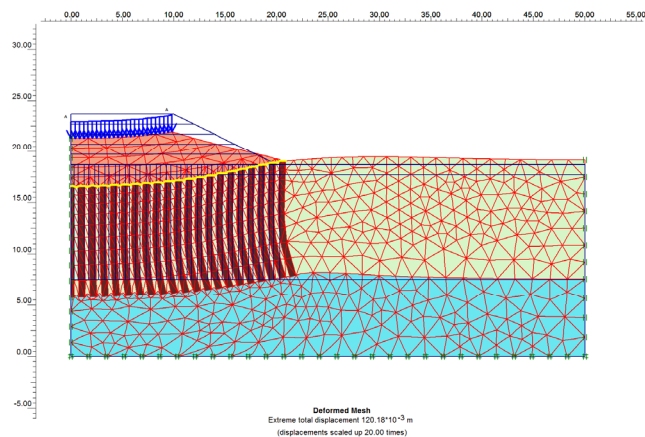
Phân tích cố kết (Consolidation Analysis): Đất bão hòa nước phải thoát nước khi độ lún gia tăng do nước không không có khả năng chịu nén. Trong đất có tính thấm yếu, chẳng hạn như đất sét, thì quá trình này mất nhiều thời gian và rất quan trọng để kể đến quá trình này khi phân tích lún. Đó là hiện tượng chính trong tính toán cố kết. Vì vậy, cách tính này là phù hợp cho việc phân tích lún theo thời gian đối với đất bão hòa nước và đất có tính thấm yếu.

Phân tích an toàn (Giảm  $\varphi$ ) (Safety Analysis): Đối với phân tích an toàn, Plaxis đã đưa vào kiểu tính toán được gọi là giảm PHI-C. Đây là một tính toán dẻo, trong đó những thông số cường độ của đất và giao diện được giảm dần cho đến khi bị phá hoại. Hệ số an toàn đối với một đối tượng được tính toán là bằng cách lấy giá trị cường độ tức thời chia cho cường độ tại thời điểm phá hoại.

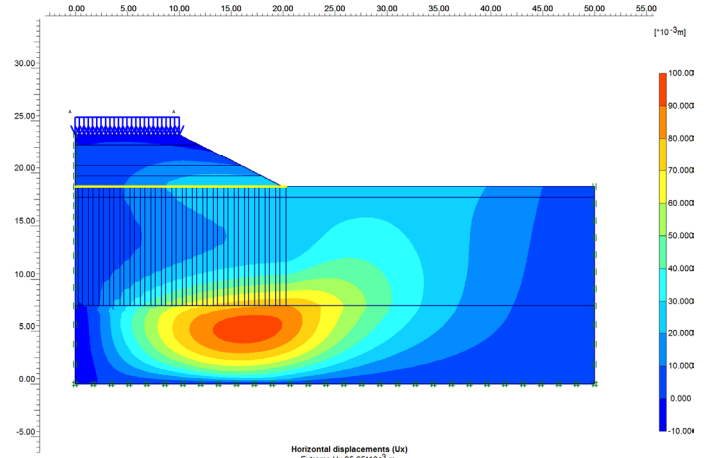
**3. Kết quả mô phỏng và phân tích kết quả**



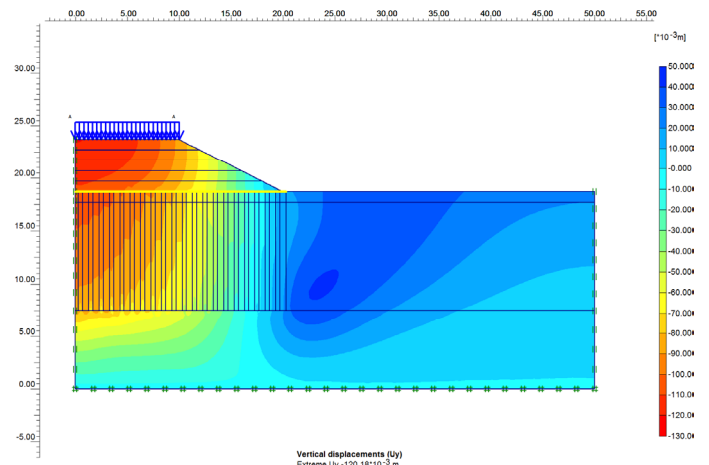
Hình 6. Chuyển vị của nền đất yếu chưa được gia cố.



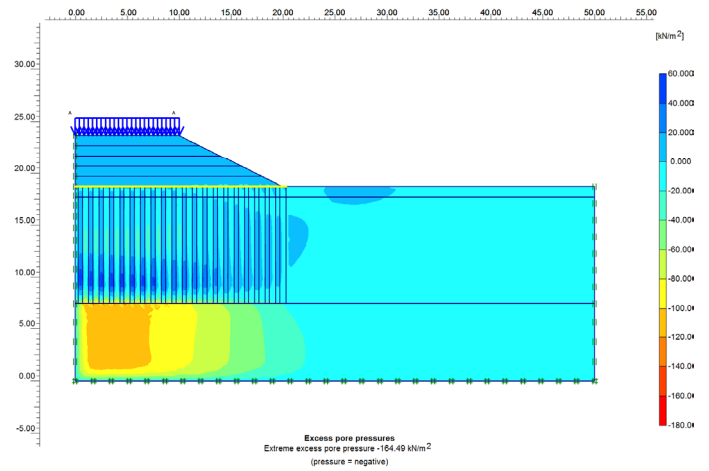
Hình 7. Chuyển vị của nền đất yếu được gia cố sau 115 ngày.



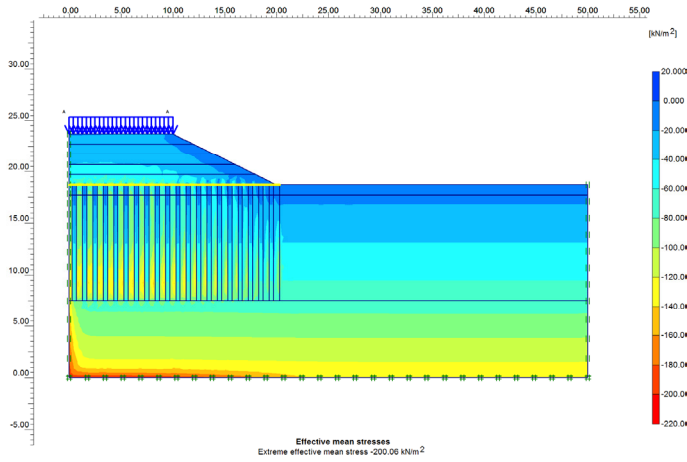
Hình 8. Chuyển vị theo phương ngang của nền đất yếu được gia cố.



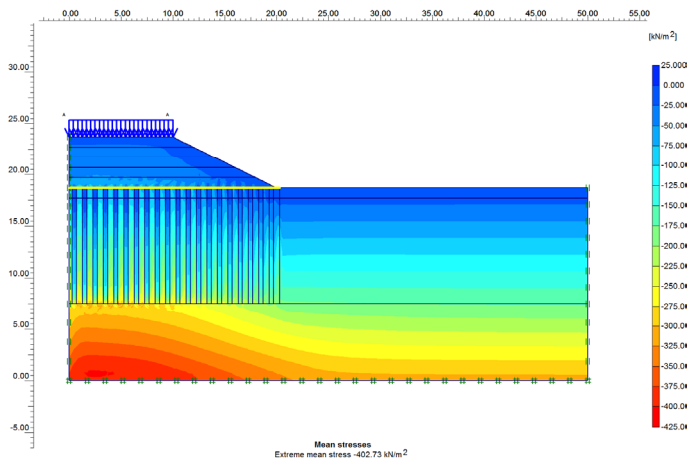
Hình 9. Chuyển vị theo phương đứng của nền đất yếu được gia cố.



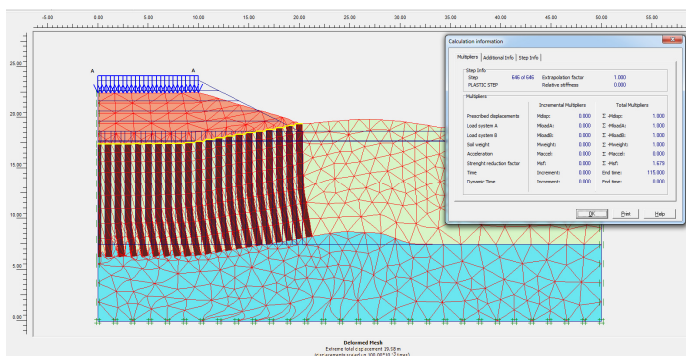
Hình 10. Áp lực nước lỗ rỗng thặng dư.



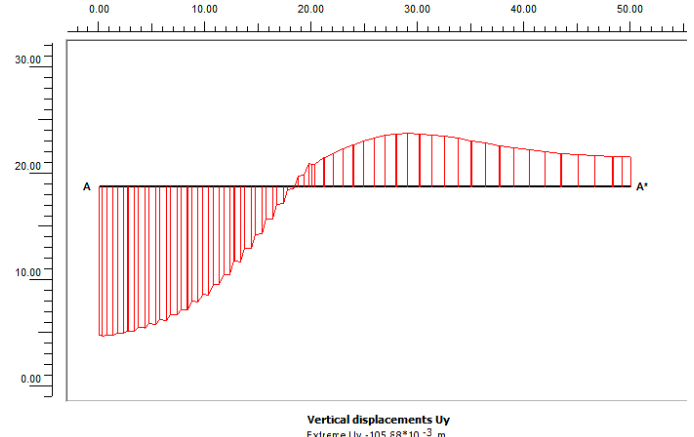
Hình 11. Sự phân bố ứng suất hữu hiệu trong nền đất yếu được gia cố.



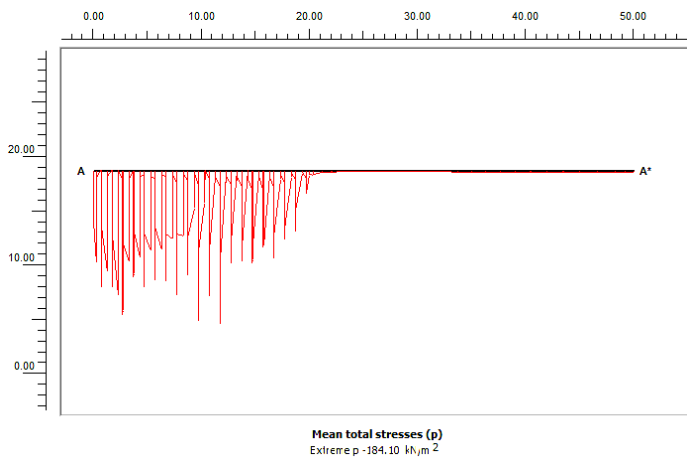
Hình 12. Sự phân bố ứng suất tổng trong nền đất yếu được gia cố.



Hình 13. Hệ số ổn định của nền đất yếu được gia cố.



Hình 14. Chuyển vị đứng tại đầu trụ đất xi măng.



Hình 15. Phân bố ứng suất tại đầu trụ đất xi măng.

Khi nền đất chưa được gia cố sẽ bị phá hoại khi đắp đến lớp thứ 3 với độ lún là 0,508 m. Khi nền đất được gia cố bằng trụ đất xi măng đường kính 0,6 m chiều dài 11,2 m và khoảng cách các cột là 1,0 m có độ lún chỉ 0,120 m và có hệ số ổn định là 1,679. Hệ số tập trung ứng suất theo mô hình mô phỏng  $n = 5,2$ .

Bằng phương pháp phần tử hữu hạn có thể mô phỏng bài toán gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng. Phương pháp này có thể tính được ứng suất và áp lực lỗ rỗng dư tại một điểm bất kỳ trong nền đất.

#### 4. Kết luận

Sau khi nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất xi măng như trên tỷ lệ giảm độ lún của bề mặt nền đất trước và sau khi gia cố là 4,2 lần (giảm 76 %).

Kết quả tính toán có thiết kế hợp lý cho nền đường đất yếu được gia cố bằng trụ đất xi măng kết hợp với vải địa kỹ thuật dưới công trình đắp cao ở Tiền Giang là hệ trụ đất xi măng đường kính 0,6 m, chiều dài 11,2 m và khoảng cách các trụ là 1,0 m. Hệ số tập trung ứng suất theo mô hình mô phỏng  $n = 5,2$ . Phương pháp tính phù hợp cho bài toán dự tính tải trọng tập trung trên đầu trụ và tải phân bố trên nền đất yếu ở giữa các trụ đất xi măng cho trường hợp có vải địa kỹ thuật trong điều kiện địa chất đất yếu ĐBSCL.

**Tài liệu tham khảo**

- [1] Bộ GTVT, Quy trình khảo sát thiết kế nền đường ô tô đắp trên đất yếu, 22TCN262 – 2000, Hà Nội.
- [2] Bộ Khoa học và Công nghệ (2012), Đất xây dựng – Phương pháp xác định mô đun biến dạng tại hiện trường bằng tấm nén phẳng, TCVN 9354 – 2012, Hà Nội.
- [3] Bộ Khoa học và Công nghệ (2012), Gia cố nền đất yếu – Phương pháp trụ đất xi măng, TCVN9403-2012, Hà Nội.
- [4] Coastal Development Institute of Technology (CDIT) (2002), The Deep Mixing Method, Principle, Design and Construction, Japan.
- [5] Dolrerdee Hormdee1, and Piyoros Jirawattana, “Bearing capacity and compressibility on improved loess by compaction and cement admixture”, International Journal of GEOMATE, Vol.19, Issue 73, pp. 134–140, 2020.
- [6] EuroSoilStab, Development design and construction methods to stabilize soft organics soils, Design Guide Soft Soil Stabilization, CT 97-0351, Project No. BE 96-3177.
- [7] Hồ sơ báo cáo địa chất công trình tại huyện Châu Thành – tỉnh Tiền Giang, Công ty trách nhiệm hữu hạn một thành viên Thành Phú TG, 2018.
- [8] Lareal Nguyễn Thành Long, Lê Bá Lương, Nguyễn Quang Chiêu, Vũ Đức Lược (1994), Công trình trên đất yếu trong điều kiện Việt Nam, Trường Đại học Kỹ thuật TP Hồ Chí Minh.