

NGHIÊN CỨU GIA CỐ BẰNG TRỤ ĐẤT XI MĂNG KẾT HỢP VẢI ĐỊA KỸ THUẬT DƯỚI NỀN ĐƯỜNG ĐÁP CAO

Research on reinforcement by earth cement pillars combined geotechnical facilities under the causeway

Bùi Hữu Hiệp¹

¹Giảng viên Trường Đại học Tiền Giang, Tiền Giang, Việt Nam
buihuuhip@tgu.edu.vn

Tóm tắt — Nội dung bài báo 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 nền đường đắp cao khu vực huyện Cai Lậy – tỉnh Tiền Giang. Mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 2D, số liệu về các tính chất của đất tự nhiên, một hố khoan sâu 26m được khoan khảo sát tại xã Thạnh Lộc - huyện Cai Lậy - tỉnh Tiền Giang. Nâng cao hiệu quả gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng phù hợp với các điều kiện địa chất cụ thể.

Abstract — The content of the article studies the distribution of stress in the soft ground reinforced by cement earth pillars combined with geotextiles under the causeway in the area of Cai Lay district - Tien Giang province. Simulated by Plaxis 2D software, data on the properties of natural soil, a 26m deep borehole was drilled and surveyed in Thanh Loc commune - Cai Lay district - Tien Giang province. Improve the effectiveness of reinforcing soft ground with cement soil pillars suitable for specific geological conditions.

Từ khóa — Ứng suất, đất trộn xi măng, stress, soil-cement columns, Plaxis 2D.

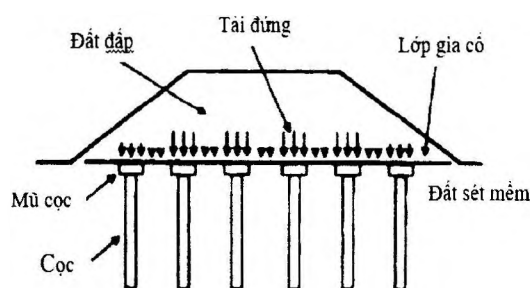
1. Đặt vấn đề

Việc xử lý nền đất yếu nhằm mục đích làm tăng sức chịu tải của nền đất, cải thiện một số tính chất cơ lý của nền đất yếu như giảm hệ số rỗng, giảm nén lún, tăng độ chặt, tăng trị số mô đun biến dạng, tăng cường chống cắt của đất,... đảm bảo điều kiện khai thác bình thường của công trình.

Các biện pháp gia cường thường được áp dụng như: Vải địa kỹ thuật, lưới địa kỹ thuật, đất trộn vôi, đất trộn xi măng, silicat hóa. Trong trường hợp này, đất nền và đất trong khối đắp sau khi được gia cường có khả năng chịu tải cao hơn, tính biến dạng giảm, từ đó độ ổn định của công trình được gia tăng và đảm bảo điều kiện làm việc của công trình.

Trên thế giới, kỹ thuật gia cố đất bằng cọc thường sử dụng cọc bê tông cốt thép (BTCT), cọc ống BTCT được ứng dụng nhiều trong xây dựng nền đường sắt, đường bộ. Vải địa kỹ thuật (VĐKT) được lắp đặt trên mũ cọc như là một lớp đệm gia cố. Do có sự biến dạng khác nhau giữa các cọc nên có sự phân bố lại ứng suất trong khối đắp theo cơ chế hiệu ứng vòm, VĐKT sẽ gánh chịu một phần tải trọng thông qua sức chịu kéo. Phần còn lại sẽ truyền vào cọc và chuyển lên tầng đất sâu hơn hoặc lớp đất cứng phía dưới. Sự phân bố lại ứng suất trong nền đất sau khi được gia cố trụ đất xi măng là sự gia tăng ứng suất tác dụng lên đầu trụ đồng thời ứng suất tác dụng lên đất yếu xung quanh trụ sẽ giảm xuống đáng kể, điều này cũng có nghĩa là sức chịu tải của khối đất được gia cố sẽ tăng lên đáng kể.

Hình 1. Kết quả của hiệu ứng vòm



2. Đánh giá hệ số giảm ứng suất SRR bằng các phương pháp giải tích

Bảng 1. Các phương pháp giải tích tính toán hệ số phân bố ứng suất

Method	Stress reduction ratio (SRR)	Reference
BS8006 Method	$SRR = \frac{2 \cdot s \cdot (\gamma H + q)(s-a)}{(s^2 - a^2)^2 \cdot \gamma H} \left[s^2 - a^2 \left(\frac{p_c'}{\gamma H} \right) \right] \quad \text{for } H \leq 1.4(s-a)$ $SRR = \frac{2.8 \cdot s}{(s+a)^2 \cdot H} \left[s^2 - a^2 \left(\frac{p_c'}{\gamma H} \right) \right] \quad \text{for } H > 1.4(s-a)$ $\frac{p_c'}{\gamma H} = \left(\frac{C_c a}{H} \right)^2$	BS8006 (1995)
Adapted Terzaghi's Method	$SRR = \frac{(s^2 - a^2)}{4 \cdot H \cdot a \cdot K \cdot \tan \phi} \left\{ 1 - \exp \left[\frac{-4 H a K \tan \phi}{(s^2 - a^2)} \right] \right\}$	Russell and Pierpoint (1997)
Hewlett and Randolph Method	$SRR = \frac{1}{\left(\frac{2K_p}{K_p - 1} \left[\left(1 - \frac{a}{s} \right)^{(1-K_p)} - \left(1 - \frac{a}{s} \right) \cdot \left(1 + \frac{a}{s} \cdot K_p \right) \right] + \left(1 - \frac{a^2}{s^2} \right) \right)}$	Hewlett and Randolph (1988)
Low's Method	$SRR = \frac{(K_p - 1)(1 - \delta)s}{2H \cdot (K_p - 2)} + (1 - \delta)^{(K_p - 1)} \left[1 - \frac{s}{2H} - \frac{s}{2H(K_p - 2)} \right]$	Low et al. (1994)
Adapted Guido Method	$SRR = \frac{s - a}{3 \cdot \sqrt{2} \cdot H}$	Guido et al. (1987)
Carlsson Method	$SRR = \frac{s - a}{4 \cdot H \cdot \tan 15^\circ}$	
Swedish practice method	$CSR = \frac{1}{a_z + \frac{E_{soil}(1 - a_z)}{E_{col}}}$ $SRR = \frac{E_{soil}}{[E_{col} a_s + E_{soil}(1 - a_z)]}$	Kivelo (1998)

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Cho đến nay đã có rất nhiều tác giả đưa ra phương pháp giải tích để phân tích sự phân bố ứng suất thông qua hệ số SRR như trong bảng 1. Trong đó:

SRR: Là hệ số giảm ứng suất tác dụng lên đất yếu.

s: Là khoảng cách từ tâm đến tâm giữa các trụ.

a: Là bề rộng trụ.

H: Là chiều cao khối đắp.

γ: Là trọng lượng riêng của đất đắp.

Kp = (1 + sinφ)/(1 - sinφ) là hệ số áp lực bị động của đất.

φ: Là góc ma sát trong của đất đắp.

K = 1

Bảng 2. Bảng tổng hợp kết quả tính toán của các phương pháp

	SRR	S	a	H	y	φ	tanφ	K	Kp	δ	as	Esoil	Ecol
		2	0.53	3	18	25	0.466	1	2.463	0.265	0.0706	1.50E+03	5.00E+04
BS8006 (1995)	0.985	x	x	x	x								
Terzaghi (1997)	0.689	x	x	x		x							
Hewlett (1988)	0.698	x	x			x			x				
Low (1994)	0.740	x	x	x		x			x	x			
Guido (1987)	0.115	x	x	x									
Carlsson	0.085	x	x	x									
Swedish (1998)	0.305	x	x								x	x	x
Kempfert (2003)	0.586	x	x	x	x	x							
Nguyễn Minh Tâm (2006)	0.730												

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Tuy nhiên các phương pháp tính hệ số giảm ứng suất SRR đều khác nhau, thậm chí là khác nhau về thông số ảnh hưởng trong khi SRR phải là một hàm của rất nhiều các thông số như: Chiều cao khối đắp, sức chống cắt của vật liệu đất đắp, khoảng cách bố trí trụ, độ cứng trụ, độ cứng của đất nền,... Vì vậy, ta cần phải xác định phương pháp thích hợp nhất để phân tích sự phân bố ứng suất trong nền đất gia cố.

3. Đánh giá hệ số ổn định và biến dạng nền đất yếu bằng phương pháp phần tử hữu hạn

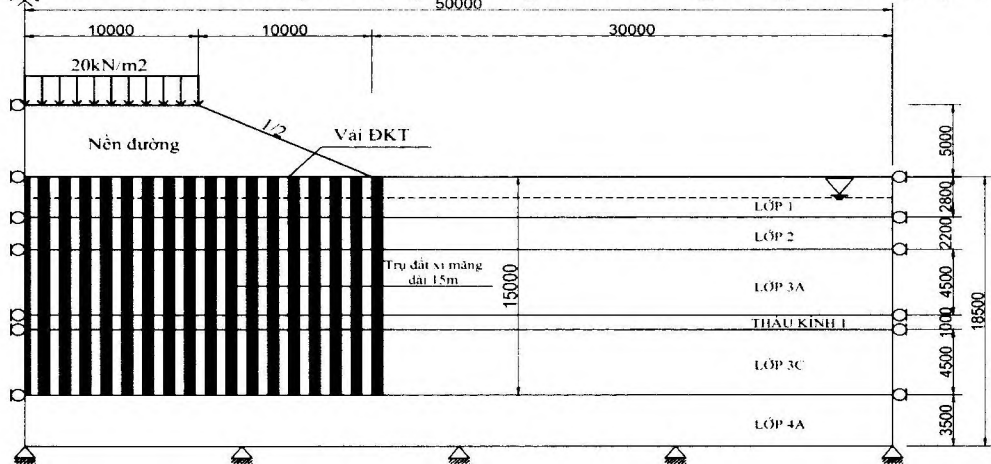
Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). Thông qua phần mềm PLaxis 2D cho nền đất yếu dưới nền đường được gia cố bằng trụ đất xi măng kết hợp với vải địa kỹ thuật có xét đến các yếu tố phức tạp như trường hợp nền đất chưa được gia cố bằng trụ đất xi măng và trường hợp nền đất được gia cố bằng trụ đất xi măng kết hợp với vải địa kỹ thuật có thay đổi chiều dài tính toán được ứng dụng để kiểm tra ổn định và biến dạng trong nền đất yếu được gia cố bằng hệ trụ đất xi măng tại huyện Cai Lậy, tỉnh Tiền Giang.

4. Phân tích, tính toán với mô hình cụ thể

4.1. Mô hình bố trí trụ đất xi măng

Mô hình là một con đường đắp cao với các lớp đất yếu. Nền đất có 7 lớp đất gồm: 2,8m đất sét yếu; 2,2m bùn sét; 4,5m sét dẻo mềm; 1,0m á sét nửa cứng; 4,5m sét nửa cứng; 3,5m sét pha dẻo cứng và 7,5m sét nửa cứng, phía trên các lớp đất là một đường giao thông với chiều cao đất đắp là 5,0m. Nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất xi măng có đường kính trụ chọn $D = 0,6m$, khoảng cách của trụ là 1,2m (tim đến tim). Chiều dài trụ 15m, chiều sâu đất yếu là 15m.

Hình 2. Sơ đồ tính toán nền đất yếu được gia cố bằng trụ đất xi măng kết hợp với vải địa kỹ thuật



4.2. Các thông số và mô hình vật liệu

Bảng 3. Đặc trưng chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất hồ khoan sâu 26m được khoan khảo sát tại xã Thạnh Lộc - huyện Cai Lậy - tỉnh Tiền Giang

STT	Tham số	Ký hiệu	Lớp						Nền đường
			Lớp 1	Lớp 2	Lớp 3A	Lớp thấu kính	Lớp 3C	Lớp 4A	
1	Mô hình	Model	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb	Mohr - Coulomb
2	Ứng xử vật liệu	Type	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m³)	γ_{unsat}	17,30	15,34	19,07	20,50	20,41	19,87	18,00
4	Dung trọng bão hòa (kN/m³)	γ_{sat}	17,57	15,39	19,26	20,65	20,55	20,04	20,00

5	Hệ số thấm phương x (m/day)	k_x	10^{-5}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-3}
6	Hệ số thấm phương y (m/day)	k_y	10^{-6}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-3}
7	Mô đun Young, E (kN/m ²)	E	1375	639	2146	4159	2409	3401	20000
8	Hệ số Poisson (-)	ν	0,340	0,342	0,333	0,315	0,332	0,316	0,330
9	Cường độ kháng cắt (kN/m ²)	c_{ref}	14,38	5,04	17,45	21,17	32,83	17,38	10
10	Góc ma sát trong (°)	ϕ	7°35'	2°37'	11°21'	18°16'	17°10'	14°48'	25°
11	Góc dẫn nở (°)	ψ	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Bảng 4. Thông số trụ đất xi măng trong mô hình Plaxis

STT	Tham số	Ký hiệu	Trụ đất xi măng
1	Mô hình	Model	Mohr - Coulomb
2	Ứng xử vật liệu	Type	Drained
3	Dung trọng tự nhiên (kN/m ³)	γ_{unsat}	11,15
4	Dung trọng bão hòa hòa (kN/m ³)	γ_{sat}	18,40
5	Hệ số thấm phương x (m/day)	k_x	10^{-7}
6	Hệ số thấm phương y (m/day)	k_y	10^{-7}
7	Mô đun Young, E (kN/m ²)	E	100000
8	Hệ số Poisson (-)	ν	0,333
9	Cường độ kháng cắt (kN/m ²)	c_{ref}	175
10	Góc ma sát trong (°)	ϕ	30°
11	Góc dẫn nở (°)	ψ	0°

Nguồn: Tác giả tổng hợp

4.3. Kết quả tính toán

Bảng 5. Các giai đoạn tính toán

Phase	Công tác	Cal. type	Loading input	Thời gian
Ban đầu	N/A	N/A	N/A	0 ngày
Phase 1	Thi công trụ đất xi măng	Plastic	Staged construction	10 ngày
Phase 2	Thi công trải lớp vải ĐKT thứ 1	Plastic	Staged construction	5 ngày
Phase 3	Thi công nền đường lớp 1, dày 1,0m	Conso	Staged construction	5 ngày
Phase 4	Cho nền đường cố kết	Conso	Staged construction	15 ngày
Phase 5	Thi công trải lớp vải ĐKT thứ 2	Plastic	Staged construction	5 ngày
Phase 6	Thi công nền đường lớp 2, dày 1,0m	Conso	Staged construction	5 ngày
Phase 7	Cho nền đường cố kết	Conso	Staged construction	15 ngày
Phase 8	Thi công trải lớp vải ĐKT thứ 3	Plastic	Staged construction	5 ngày
Phase 9	Thi công nền đường lớp 3, dày 1,0m	Conso	Staged construction	5 ngày
Phase 10	Cho nền đường cố kết	Conso	Staged construction	15 ngày
Phase 11	Thi công trải lớp vải ĐKT thứ 4	Plastic	Staged construction	5 ngày
Phase 12	Thi công nền đường lớp 4, dày 1,0m	Conso	Staged construction	5 ngày
Phase 13	Cho nền đường cố kết	Conso	Staged construction	15 ngày
Phase 14	Thi công trải lớp vải ĐKT thứ 5	Plastic	Staged construction	5 ngày
Phase 15	Thi công nền đường lớp 5, dày 1,0m	Conso	Staged construction	5 ngày
Phase 16	Cho nền đường cố kết	Conso	Staged construction	15 ngày
Phase 17	Chất tải 20kN/m ²	Plastic	Staged construction	5 ngày
Phase 18	Tính ổn định FS	Phi/creduction	Incremental multipliers	0 ngày
Tổng cộng				140 ngày

Nguồn: Tác giả tổng hợp

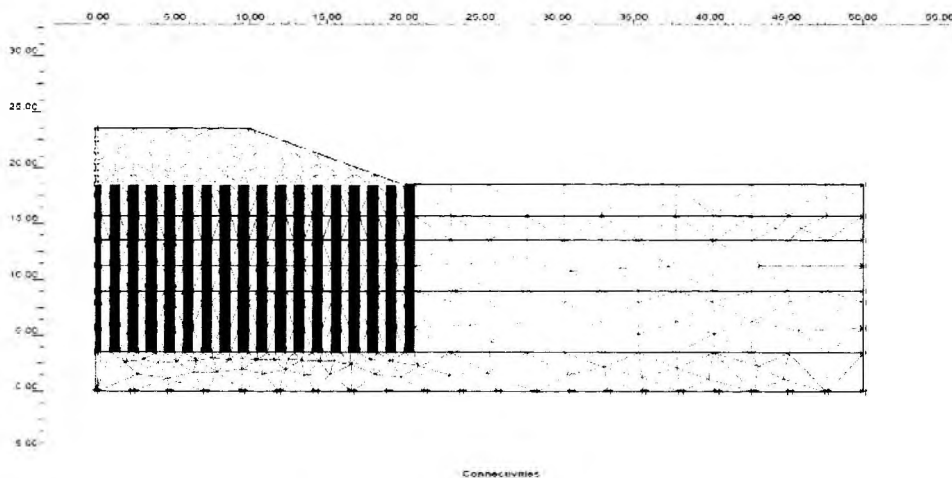
Vải địa kỹ thuật được mô phỏng bởi phần tử Geogrid có EA = 2500 kN/m và được bố trí 05 lớp phía trên đầu trụ mỗi lớp cách nhau 1,0 m.

4.3.1. Chia lưới tính toán:

Trên thanh công cụ, vào mục Mesh/Global coarseness hoặc chọn biểu tượng để tự sinh các phần tử tính toán.

Trong mô hình có nhiều dạng chia lưới khác nhau. Để thuận tiện cho việc tính toán, ta chia mô hình ở chế độ Midium, riêng không gian xung quanh trụ ta chọn chế độ chia lưới mịn Refine Line để cho kết quả chính xác.

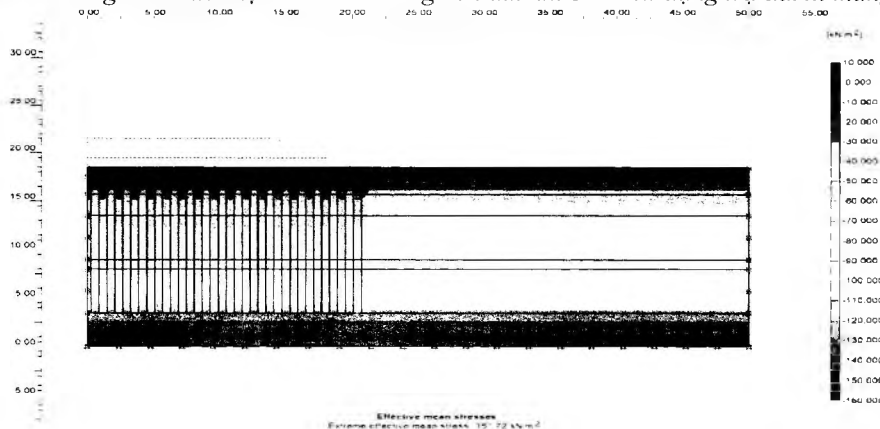
Hình 3. Lưới phần tử hữu hạn



4.3.2. Khai báo điều kiện ban đầu của mực nước:

Mực nước ngầm tính toán (Phreatic level) tại độ sâu -1,45m. Khai báo biên đóng vùng cố kết (Closed consolidation boundary) cho 2 biên đứng bên trái và bên phải của bài toán. Tự sinh áp lực nước (Generate water pressures) bằng lựa chọn tự sinh áp lực dựa trên mực nước nằm ngang (Phreatic level).

Hình 4. Ứng suất hữu hiệu ban đầu trong nền đất khi chưa sử dụng trụ đất xi măng



4.3.3. Tính toán:

Mỗi mô hình được phân tích theo các giai đoạn: Thi công trụ đất xi măng, thi công VĐKT, 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.

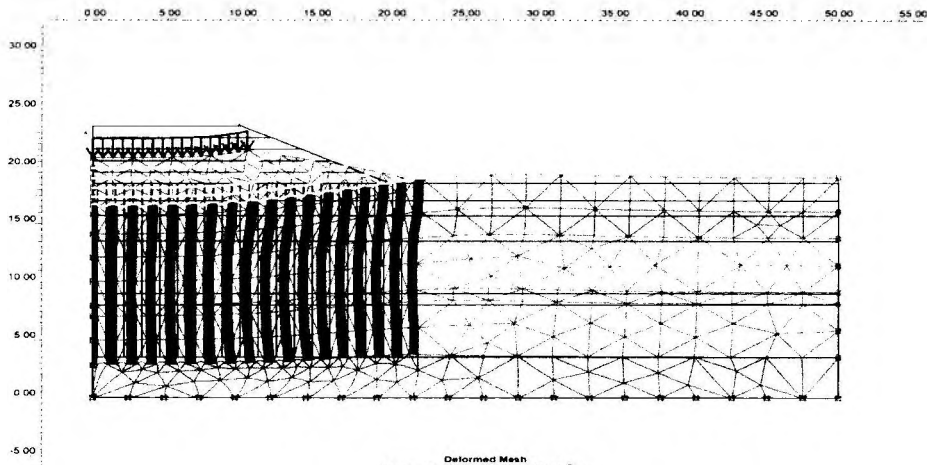
Tính toán dèo không có kê đến sự phụ thuộc vào thời gian khi áp lực nước lỗ rỗng thoát ra và do đó không thích hợp khi phân tích lún trong nền đất có tính thấm yếu.

* 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). 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.

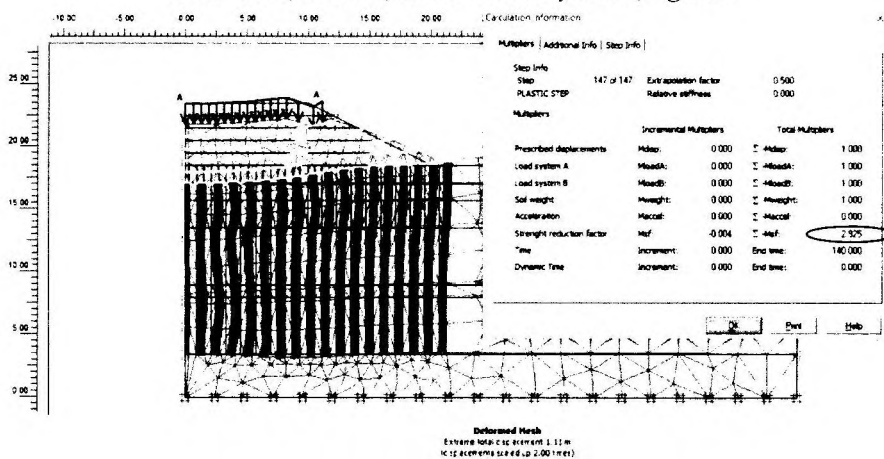
* Phân tích an toàn (Giảm ϕ_c) (Safety Analysis): Đối với phân tích an toàn (ví dụ tính toán hệ số an toàn), Plaxis đã đưa vào kiểu tính toán được gọi là giảm PHI-C. Đây là một tính toán dèo, trong đó những thông số cường độ của đất và giao diện được giảm dần cho đến khi bị phá hoại.

4.3.4. Kết quả mô phỏng và phân tích kết quả:

Hình 5. Chuyển vị của nền đất yếu được gia cố sau 140 ngày



Hình 6. Hệ số ổn định của nền đất yếu được gia cố



5. Kết luận và kiến nghị

5.1. Kết luận

Căn cứ vào kết quả khảo sát trên mô hình có độ lún chỉ 0,054m và có hệ số ổn định là 2,925 là cơ sở để tác giả rút ra được các kết luận khoa học và đóng góp vào thực tiễn:

Công nghệ trụ đất xi măng áp dụng hiệu quả cho việc xử lý các nền đường đắp cao trên nền đất yếu, công trình yêu cầu thời gian thi công ngắn, độ lún còn lại nhỏ, yêu cầu đất nền cố kết nhanh. 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 huyện Cai Lậy, tỉnh Tiền Giang là hệ trụ đất xi măng đường kính 0,6m, chiều dài 15m và khoảng cách các trụ là 1,2m.

5.2. Kiến nghị

Áp dụng mô hình bài toán để nghiên cứu tính toán xử lý nền đất yếu bằng trụ đất xi măng, xác định trạng thái ứng suất, ứng suất giới hạn và tính độ lún tức thời của bề mặt nền gia cố.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Giao thông Vận tải (2000). *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). *Gia cố nền đất yếu – Phương pháp trụ đất xi măng*. TCVN9403 - 2012, Hà Nội.
- [3] Chu Quốc Thắng (1997). *Phương pháp Phần tử hữu hạn*. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
- [4] Nguyễn Minh Tâm (2006). *The Behavior of DCM columns under Highway Embankments by Finite Element Analysis*.
- [5] Nguyễn Ngọc Thắng (2019). *Gia cố nền đất yếu bằng trụ đất xi măng*. NXB Khoa học và Kỹ thuật.
- [6] Trần Nguyễn Hoàng Hùng (2016). *Công nghệ xói trộn vữa cao áp (Jet-Grouting)*. Đại học Quốc gia TP HCM.
- [7] Bergado, D.T., Chai, J.C., Alfaro, M.C. & Balasubramaniam, A. S. (1994). *Improvement techniques of soft ground in subsiding and lowland environment*. Rotterdam/Brookfield: Balkema.
- [8] Bredenberg, H., Holm, H. & Broms, B.B. (1999). *Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization. Proceedings of the International Conference on Dry Mix Methods for Deep Soil Stabilization*, Rotterdam; Brookfield, VT: Balkema.
- [9] A.A Balkema Publishers (2002). *The Deep Mixing Method, Principle, Design and Construction*.

Ngày nhận: 09/07/2021

Ngày duyệt đăng: 21/09/2021