

ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA CHIỀU CAO KHỐI ĐÁP ĐẾN ỨNG XỬ CỦA NỀN ĐÁP LÊN NỀN ĐẤT YẾU CÓ SỬ DỤNG CỌC BÊ TÔNG CỐT THÉP KẾT HỢP VẢI ĐỊA KỸ THUẬT

EVALUATING THE EFFECT OF EMBANKMENT HEIGHT ON THE BEHAVIOR OF THE GEOSYNTHETIC - REINFORCED PILED EMBANKMENT

Lương Nguyễn Hoàng Phương¹, Phan Trần Thanh Trúc¹, Lê Bá Khánh²

¹Trường Đại học Đông Á; phuonglnh@donga.edu.vn

²Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt - Trong bài báo này, một mô hình số dựa vào phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) được sử dụng để phân tích ứng xử đến ứng xử của nền đắp lên nền đất yếu có sử dụng cọc bê tông cốt thép (BTCT) kết hợp vải địa kỹ thuật (GRPE). Cả hai phương pháp số 2D và 3D với phần mềm PLAXIS 2D and PLAXIS 3D Tunnel đều được sử dụng để phân tích ứng xử của khối GRPE cả trong và sau khi xây dựng. Ảnh hưởng chiều cao khối đắp H tới ứng xử của khối GRPE đặc trưng bởi ứng suất thẳng đứng trong khối đất yếu σ_s , độ lún lệch ΔS , hệ số tập trung ứng suất n sẽ được thảo luận trong nghiên cứu này. Kết quả nghiên cứu là bài học kinh nghiệm cho các kỹ sư thiết kế, nhà nghiên cứu khi thiết kế, nghiên cứu ứng dụng giải pháp GRPE trong xử lý nền đất yếu.

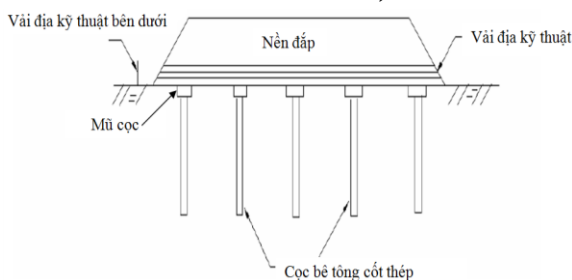
Từ khóa - cọc; chiều cao khối đắp; khối đắp; độ lún; phương pháp phần tử hữu hạn

Abstract - In this paper, a numerical model based on the finite element method (FEM) is used to analyse the behaviour of piled embankments on soft soils reinforced with geosynthetic (GRPE). Both 2D and 3D numerical methods (PLAXIS 2D and PLAXIS 3D Tunnel respectively) have been employed to investigate the behaviour of piled embankments during and after construction. The influence of embankment height H on the performance of GRPE like vertical stress on soft soil, differential settlements, stress concentration ratio has been introduced in this work. The results of the study are lessons for design engineers and researchers in designing and researching application of GRPE solutions to soft soil.

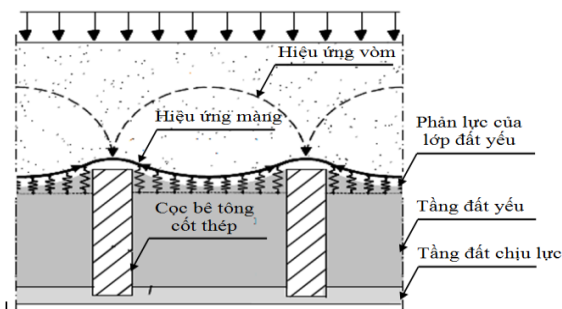
Key words - pile; embankment height; embankment; settlement; finite element method

1. Đặt vấn đề

Reid và Buchanan (1984) đã sớm sử dụng hệ cọc BTCT để truyền tải trọng nền đất đắp xuống tầng đất tốt bên dưới (Conventional Pile Supported - CPS), sau đó phát triển thành giải pháp cọc BTCT kết hợp sàn giảm tải (Piled with Concrete Slab – PCS). Để hoàn thiện hơn, Hewlett và Randolph (1988) và Han and Gabr (2002) đã sử dụng giải pháp cọc BTCT kết hợp vải địa kỹ thuật trải trên đỉnh cọc (Geosynthetic Reinforced Piled Embankment - GRPE) - Hình 1.



Hình 1. Hệ thống cọc BTCT kết hợp vải địa kỹ thuật (GRPE)

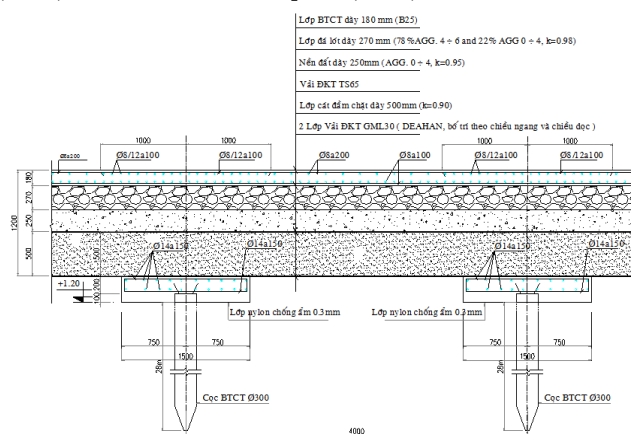


Hình 2. Tổng quan cơ chế truyền tải của phương pháp GRPS

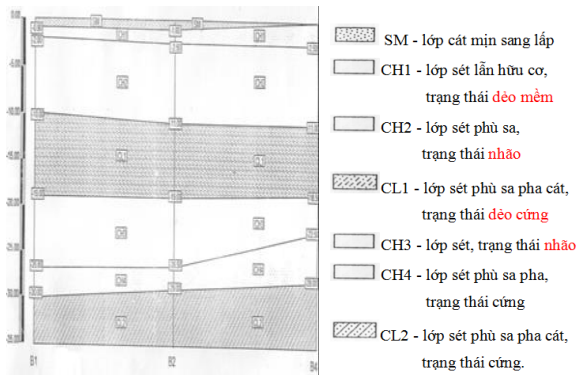
Hệ thống cọc bê tông cốt thép kết hợp vải địa kỹ thuật GRPE là một loại móng hỗn hợp. Cơ chế truyền tải dựa trên sự kết hợp của hiệu ứng vòm do hiện tượng tập trung ứng suất dựa trên sự khác nhau về độ cứng giữa cọc và đất yếu, hiệu ứng màng dựa trên khả năng chịu kéo của vải địa kỹ thuật và sức chịu tải của cọc bê tông cốt thép.

Thiết kế GRPE là giải quyết bài toán phức tạp liên quan giữa đất – kết cấu và cần giải quyết vấn đề như khối đất đắp, vật liệu địa kỹ thuật, hệ cọc, và đặc biệt là nền đất yếu theo kết quả nghiên cứu của Love và Milligan (2003).

Hiện nay, cả phương pháp lý thuyết và phương pháp số đều được dùng trong thiết kế GRPE. Các tác giả nghiên cứu có thể kể đến như Terzaghi (1936); McNulty (1965); Carlsson (1987); Hewlett và Randolph (1988); BS8006 (1995); và Zaeske and Kempfert (1997).



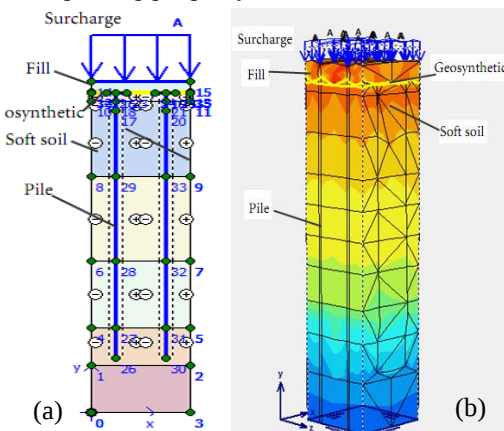
Hình 3. Thiết kế GPRS tại vị trí bãi đỗ xe theo IGW (Đức)



Hình 4. Mặt cắt địa chất công trình tại vị trí nghiên cứu

Phương pháp số được sử dụng phổ biến để mô phỏng ứng xử của khối GRPE gồm có phương pháp sai phân hữu hạn (finite difference method - FDM), phần tử hữu hạn (finite element method - FEM). Trong đó, phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) bao gồm cả mô hình hai chiều (2D) và ba chiều (3D) đều được sử dụng rộng rãi trong thời gian gần đây. Tiêu biểu có nhóm tác giả Bergado và Teerawattanasuk (2008), đã dùng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng ứng xử một khối đắp đất có cốt trên nền đất yếu bằng cả hai chiều và ba chiều, kết quả nghiên cứu theo hai mô hình này cho kết quả tương đồng với nhau. Slaats (2008) khi khảo sát ứng xử của khối GRPE nhận định rằng, kết quả thu được bằng phương pháp phần tử hữu hạn với bài toán ứng suất phẳng và bài toán ba chiều cũng thu được kết quả tương tự.

Trong những năm gần đây, giải pháp gia cố nền đất yếu bằng hệ cọc bê tông cốt thép kết hợp vải địa kỹ thuật được ứng dụng rất nhiều tại Việt Nam, tiêu biểu là công trình Metro Hưng Lợi, Cần Thơ. Ở Việt Nam cũng có một số tác giả nghiên cứu về vấn đề này như Nguyễn Tuấn Phương (2014), đã phân tích ứng xử của lớp cát đệm kết hợp vải địa kỹ thuật trên đầu cọc theo phương pháp phần tử hữu hạn 2D, giúp người thiết kế chú ý đến sự tương quan giữa khoảng cách cọc và chiều cao đắp hợp lý khi thiết kế nền theo phương pháp này.



Hình 5. (a) Mô hình nghiên cứu GRPE (2D), (b) Mô hình nghiên cứu GRPE (3D)

Tuy nhiên, vẫn chưa có tác giả nào nghiên cứu một cách đầy đủ và đặc biệt so sánh sự khác biệt khi mô phỏng ứng xử của hệ cọc BTCT, đất yếu, vải địa kỹ thuật bằng phương pháp phần tử hữu hạn theo cả hai mô hình hai chiều và ba chiều.

2. Phương pháp nghiên cứu

Dựa vào mô hình nghiên cứu với các thông số đầu vào, mô hình được sử dụng theo khuyến cáo của Zaeke (1997), số liệu địa hình, địa chất của công trình thực tế là Metro Hưng Lợi - Cần Thơ, dữ liệu quan trắc lún của nhà thầu thi công IGW (Đức). Một mô hình số dựa vào phương pháp phần tử hữu hạn theo cả hai mô hình hai chiều và ba chiều được sử dụng để phân tích ứng xử đến ứng xử của nền đắp lên nền đất yếu có sử dụng cọc bê tông cốt thép kết hợp vải địa kỹ thuật (GRPE), thể hiện qua phân tích ảnh hưởng của chiều cao khối đắp h tới ứng suất thẳng đứng trong khối đất yếu σ_s , độ lún lệch ΔS , hệ số tập trung ứng suất n , sẽ được phân tích trong nghiên cứu này.

3. Mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn

3.1. Vị trí nghiên cứu

Vị trí nghiên cứu là tại bãi đỗ xe ô tô của Metro Hưng Lợi, Cần Thơ, với kết cấu thể hiện ở Hình 3. Cọc sử dụng có đường kính $D = 300$ mm (B20), khoảng cách cọc $s = 4.000$ mm, mũ cọc có kích thước $1.500 \times 1.500 \times 300$ mm, phía trên là hai lớp vải địa kỹ thuật và lớp cát đầm chặt dày 500 mm, lớp đá (0x40mm) dày 270 mm, lớp đá lót dày 250 mm, lớp BTCT (B25) dày 180 mm.

3.2. Mô hình công trình với phần mềm Plaxis 2D, 3D

3.2.1. Mô hình tính toán trong 2D và 3D

Thông số đầu vào mô hình được sử dụng theo khuyến cáo của Zaeke (1997).

Các tỷ lệ kích thước cần xem xét theo Zaeke (1997) được khuyến cáo như sau:

$$\frac{\text{Kích thước mũ cọc}}{\text{Đường kính cọc}} = \frac{a}{d} = \frac{1,5}{0,3} = 5$$

Bảng 1. Thông số mô phỏng mô hình tính toán trong Plaxis 2D, Plaxis 3D

Thông số mô phỏng	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều cao đất đắp	H	m	1; 1,2; 2; 3; 4
Khoảng cách giữa các cọc	s	m	4
Kích thước mũ cọc	a	m	0,45; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5
Hoạt tải	q	kN/m ²	0, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150
Đường kính cọc	d	m	0,3
Chiều dài cọc	L	m	28
Bề dày mũ cọc	t	m	0,3

$$\frac{\text{Kích thước mũ cọc}}{\text{Khoảng cách cọc}} = \frac{a}{s} = \frac{1,5}{4} = 0,375 (\geq 0,15)$$

$$\text{Khoảng cách cọc} - \text{kích thước mũ cọc} = s - a = 4 - 1,5 = 2,5 (\leq 2,5)$$

$$s - a = 4 - 1,5 = 2,5 \geq 1,4H = 1,4 \times 1,2 = 1,68 (s - a \leq 1,4H)$$

$$\frac{E_{\text{cọc}}}{E_{\text{đất yếu}}} = \frac{3000}{6,575} = 456 (\geq 100)$$

Mô hình tính toán 2D và 3D được thể hiện ở Hình 5 trong Plaxis. Theo đó, mô hình được mô phỏng với phần tử cọc là phần tử dầm, vải địa kỹ thuật là phần tử geogrid, tương tác đất và cọc là phần tử interface. Mô hình đàn dẻo

Mohr - Coulomb và Linear Elastic lần lượt được sử dụng cho phần tử đất và cọc. Ứng xử của hệ GRPE trong giai đoạn thi công và sau khi cố kết 7 tháng được quan tâm trong nghiên cứu này.

Bảng 2. Thông số đất nền theo mô hình Mohr – Coulomb

Lớp đất	γ_w (kN/m ³)	k_x (m/ngày)	k_y (m/ngày)	c (kN/m ²)	ϕ (độ)	E _{oed} (kN/m ²)	ν	R _{inter}
Đất đắp	19	0,1	0,05	1	30	7.500	0,25	
Sét mềm CH1	16,57	1,849e-4	1,037e-4	14,6	5,9	657,5	0,278	0,8
Sét nhão CH2	15,04	0,713e-4	0,475e-4	1	2,2	503,8	0,270	0,8
Sét dẻo CL1	16,86	1,849e-4	1,037e-4	16,4	6,1	674,1	0,275	0,8
Sét nhão CH3	16,18	0,713e-4	0,475e-4	14,8	4,6	625,5	0,279	0,8
Sét pha cát CH4	18,75	0,1	0,05	35,6	15,7	1.812	0,290	0,8
Sét pha cát CL2	19	0,1	0,05	48,7	21,5	2.724	0,292	

Bảng 3. Thông số vật địa kỹ thuật

Tên	EA (KN/ m)	ν
Vải địa kỹ thuật	3.000	0,17

4. Kết quả thảo luận

Nghiên cứu ảnh hưởng của chiều cao khối đất đắp tới ứng suất thẳng đứng trong khối đất yếu σ_s , độ lún lệch ΔS , hệ số tập trung ứng suất của n với các thông số đầu vào thể hiện ở Bảng 1, 2, 3.

Với mỗi chiều cao khối đắp $H = 1; 1,2; 2; 3; 4$ m, tăng tải trọng ngoài từ 0, 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 150 kN với khoảng cách cọc được giữ không đổi $s = 4$ m để xem xét ảnh hưởng của chiều cao khối đắp H tới ứng xử của GRPE thông qua phần mềm phân tử hữu hạn Plaxis 2D và Plaxis 3D.

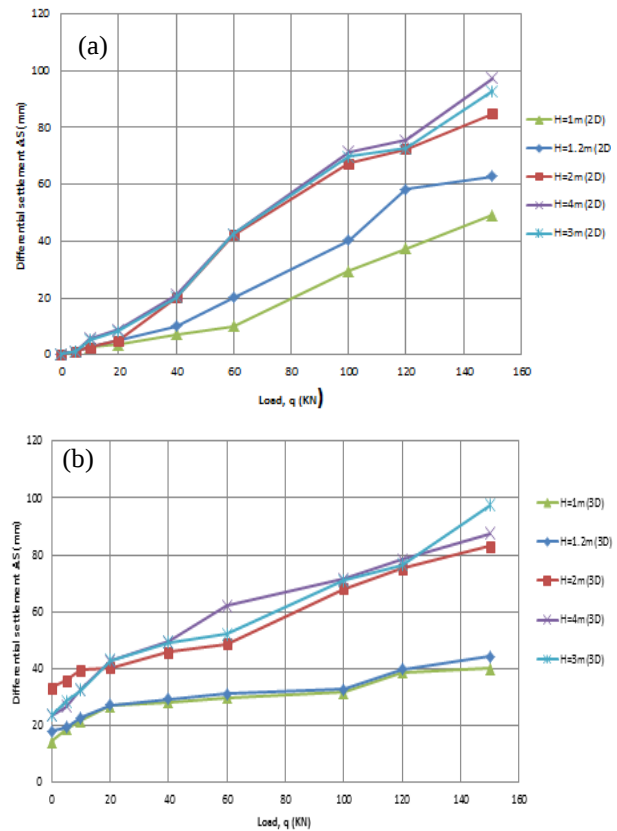
Độ lún lệch được định nghĩa là khoảng chênh lệch độ lún giữa độ lún tại vị trí đỉnh mũ cọc và độ lún giữa nhịp được xác định tại vị trí đáy của khối đất đắp.

Hình 6 (a, b); 8 (a, b) cho thấy độ lún lệch ΔS và ứng suất thẳng đứng trong khối đất yếu σ_s sẽ gia tăng với các xu hướng khác nhau khi ta cố định khoảng cách giữa các cọc $s = 4$ m, và tiến hành gia tăng tải trọng từ 0 kN tới 150 kN. Độ lún lệch ΔS và ứng suất thẳng đứng trong khối đất yếu σ_s sẽ gia tăng nhanh chóng khi chiều cao khối đắp tăng từ 1 m đến 2 m và hầu như không thay đổi khi gia tăng chiều cao khối đắp từ 3m đến 5m. Lý giải điều này liên qua tới hiệu ứng vòm thể hiện ở Hình 9.

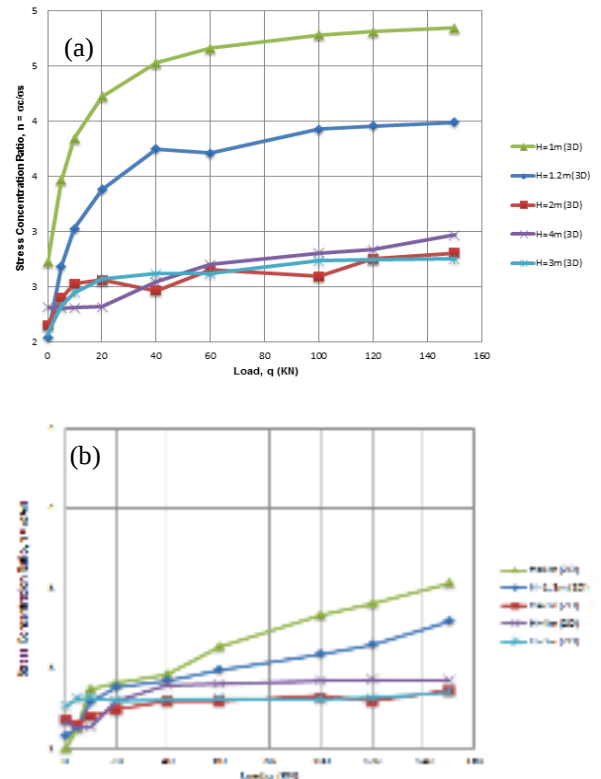
Việc hình thành hiệu ứng vòm có thể xác định một cách trực quan, khá chính xác, dựa vào mô hình thể hiện ứng suất chính trong Plaxis 2D.

Ngoài ra, kết quả nghiên cứu cho thấy độ lún lệch ΔS và ứng suất thẳng đứng trong khối đất yếu σ_s thông qua Plaxis 2D, Plaxis 3D có cùng xu hướng khi gia tăng chiều cao khối đắp. Kết quả thu được thông qua Plaxis 3D luôn cho giá trị lớn hơn so với Plaxis 2D trong tất cả các trường hợp nghiên cứu.

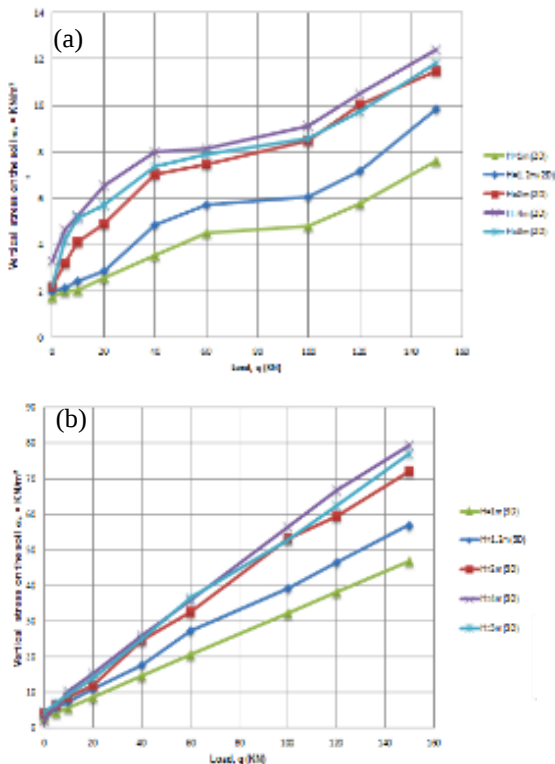
Các giá trị độ lún lệch ΔS và ứng suất thẳng đứng trong khối đất yếu σ_s tăng rất ít khi hiệu ứng vòm đã hình thành và và tăng mạnh khi hiệu ứng vòm chưa hình thành (Hình 9).



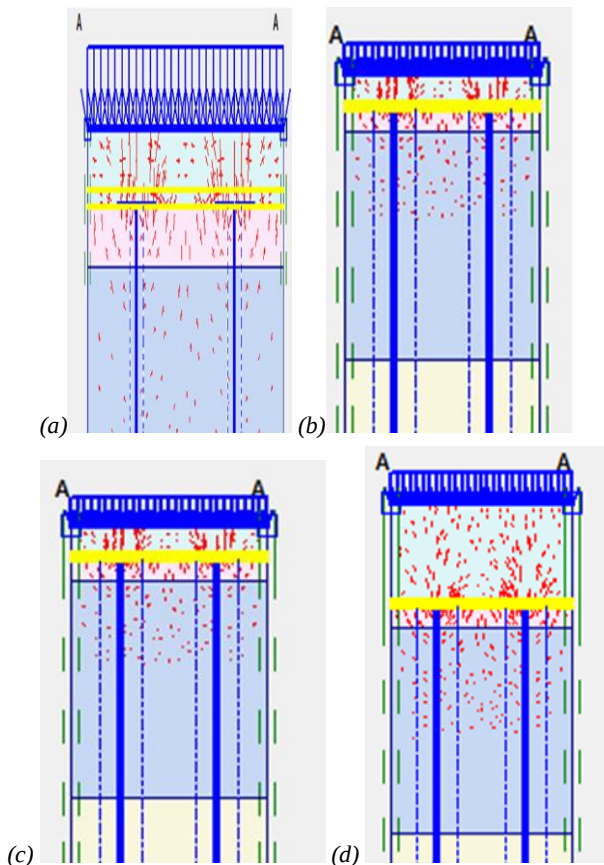
Hình 6. Đồ thị liên hệ giữa tải trọng q (kN), độ lún lệch ΔS (mm), và chiều cao khối đắp H (m) (Trường hợp: $s = 4$ m) thông qua: (a) Plaxis 2D, (b) Plaxis 3D



Hình 7. Đồ thị liên hệ giữa tải trọng q (kN), hệ số tập trung ứng suất n , và chiều cao khối đắp H (m) (Trường hợp: $s = 4$ m) thông qua: (a) Plaxis 2D, (b) Plaxis 3D



Hình 8. Mối liên hệ giữa tải trọng q (kN), ứng suất thẳng đứng trong khối đất yếu σ_v và chiều cao khối đắp H (m) (Trường hợp: $s = 4$ m) thông qua: (a) Plaxis 2D, (b) Plaxis 3D



Hình 9. Hiệu ứng vòm trong đất ứng với chiều cao khối đắp khác nhau trong Plaxis 2D (Trường hợp: $s = 4$ m): (a) $H = 1,0$ m, (b) $H = 1,2$ m, (c) $H = 2$ m, (d) $H = 4$ m

Kết quả nghiên này cũng tương tự kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả như Russell và Pierpoint (1997), dựa vào phương pháp sai phân hữu hạn 3D cũng nhận định rằng độ lún lệch và độ lún lớn nhất của cọc cũng như lực căng của vải địa sẽ tăng khi gia tăng chiều cao khối đắp.

Hệ số tập trung ứng suất

Hệ số tập trung ứng suất n được định nghĩa là tỷ số giữa ứng suất trên mũ cọc và ứng suất trong khối đất yếu dưới lớp vải địa. Hình 7 (a, b) đã chỉ ra rằng, hệ số tập trung ứng suất n sẽ gia tăng khi tăng chiều cao khối. Plaxis 3D lặp lại những đặc điểm của hệ số tập trung ứng suất với chiều cao khối đắp được cho bởi Plaxis 2D. Tuy nhiên, Plaxis 3D cho giá trị cao hơn so với Plaxis 2D.

Lý giải điều này thật rõ ràng khi gia tăng chiều cao khối đắp thì sẽ gia tăng tải trọng truyền vào cọc. Kết quả nghiên cứu này cũng tương tự kết quả nghiên cứu của nhiều nhóm tác giả như Han và Gabr (2002); Ganggakhedar (2004) thông qua phương pháp phần tử hữu hạn 2D và phương pháp sai phân 2D.

5. Kết luận

Phân tích và thiết kế cọc BTCT kết hợp vải địa kỹ thuật trải trên đỉnh cọc đòi hỏi sự hiểu biết sâu ứng xử của mô hình này để chọn được phương pháp tính hợp lý. Dựa trên thiết kế của IGW và kết quả quan trắc sau 7 tháng, có thể kết luận như sau:

- Độ lún lệch và ứng suất trong khối đất yếu sẽ gia tăng khi gia tăng chiều cao khối đắp. Kết quả này thu được ở cả Plaxis 2D và Plaxis 3D cho giá trị lớn nhất trong tất cả trường hợp nghiên cứu.
- Hiệu ứng vòm trong khối GRPE có thể quan sát một cách tường minh dựa vào phương pháp phần tử hữu hạn FEM dựa vào Plaxis 2D và Plaxis 3D, thông qua khảo sát giá trị ứng suất trong khối GRPE.
- Giá trị độ lún lệch và ứng suất trong khối đất yếu dựa vào FEM 2D và FEM 3D đều có xu hướng tăng nhanh chóng khi chưa hình thành hiệu ứng vòm và tăng chậm lại khi hiệu ứng vòm đã hình thành.
- Khi gia tăng chiều cao khối đắp, hệ số tập trung ứng suất n ta thu được ở FEM 3D (Plaxis 3D) cao hơn so với FEM 2D (Plaxis 2D).

6. Kiến nghị

Cần nghiên cứu thêm ảnh hưởng khoảng cách giữa các cọc, cường độ của vải địa kỹ thuật đến ứng xử của khối đất đắp lên nền đất yếu có sử dụng cọc bê tông cốt thép kết hợp vải địa kỹ thuật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] BS8006, *Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fills*, British Standard Institution, 1995.
- [2] D. T. Bergado and C. Teerawattanasuk, "2D and 3D numerical simulations of reinforced embankments on soft ground", *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 26, No. 1, 2008, pp. 39–55.
- [3] Carlsson, B, *Reinforced soil, principles for calculation*, Terratema AB, Linköping, 1987.
- [4] Cortlever, N. G. and Gutter, H. H, *Design of double track railway Bidor-Rawang on AuGeo piling system according to BS8006 and PLAXIS numerical analysis*, Cofra B.V., Amsterdam, The Netherlands, 2006.

- [5] Gangakhedar, R, *Geosynthetic reinforced pile-supported embankments*, Master thesis, University of Florida, 2004.
- [6] Han, J, *Geosynthetic-reinforced and pile-supported embankments*, Geo-WCS, 2003, pp. 308-317.
- [7] Han, J. and Gabr, M.A, “A numerical study of load transfer mechanisms in geosynthetic reinforced and pile supported embankments over soft soil”, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 128(1), 2002, pp. 44-53.
- [8] Hewlett, W. J. and Randolph, M. F, “Analysis of piled embankments”, *Ground Engineering*, 21(3), 1988, pp. 12-18.
- [9] H. Slaats, *Load transfer platform, bending moments in slender piles*, M.S. thesis, Technical University Delft, 2008.
- [10] Kempfert, H. G., Stadel, M. and Zaeske, D, “Design of geosynthetic-reinforced bearing layers over piles”, *Bautechnik*, Vol. 74, No. 12, 1997, pp. 818-825.
- [11] Kempton., G., Russell., D., Pierpoint, N. D., and Jones, C. J. F. P, *Two-and three-dimensional numerical analysis of the performance of piled embankment*, Proceedings 6th International Conference on Geosynthetics, 1998, pp. 767-772.
- [12] Love, J., and Milligan, G, “Design methods for basally reinforced pile-supported embankments over soft ground”, *Ground Engineering*, Vol. 36, No. 3, March. 2003, pp. 39-43.
- [13] McNulty, J. W, *An Experimental study of arching in sand*, Technical Report No. I-674, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, Vicksburg, Mississippi, 170, 1965.
- [14] Russell, D. and Pierpoint N, “An assessment of design methods for piled embankments”, *Ground Engineering*, Vol. 30, No. 10, November 1997, pp. 39-44.
- [15] Reid, W. M. and Buchanan, N. W. (1984), *Bridge approach support piling piling and ground treatment*, Thomas Telford, London, 1984, pp .267-274.
- [16] S. Satibi, *Numerical analysis and design criteria of embankmentson floating piles*, Ph.D. Thesis, Universit at Stuttgart, Stuttgart, Germany, 2009.
- [17] Terzaghi. K, *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley & Sons, New York, 66, 1943.
- [18] Terzaghi. K, *Stress distribution in dry and in saturated sand above a yielding trap-door*, Proceeding of the International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering Bd.1. Cambridge, 307-311, 1936.
- [19] Nguyễn Tuấn Phương, “Phân tích ứng xử của lớp cát đệm kết hợp với vải địa kỹ thuật trên đầu cọc trong nền nhà xưởng chịu tải phân bố đều”, số xuất bản, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi*, 2014.

(BBT nhận bài: 14/09/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 13/11/2017)