
PHÂN TÍCH ỔN ĐỊNH CỦA MÁI DỐC CÓ SỬ DỤNG CỌC ĐỨNG

ANALYSIS OF STABILIZING SLOPE USING VERTICAL PILES

ThS. TRẦN HUY THANH
Khoa Công trình thủy, Trường ĐHHH

Tóm tắt

Bài báo này đề cập đến các thông số quan trọng ảnh hưởng đến sự làm việc và hệ số an toàn của cọc trên mái dốc. Các thông số này bao gồm: Vị trí cọc, đường kính và độ sâu cọc, đặc tính của đất, chiều dày lớp đất và hiện tượng quá tải. Bài báo cũng đề cập đến ảnh hưởng của cường độ kháng cắt của đất sét đến moment uốn và hệ số an toàn của mái dốc. Ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn của chương trình PLAXIS để phân tích sự làm việc của cọc thẳng đứng với chuyển vị của đất do hoạt tải.

Abstract

This Article presents to the important parameters that affect the behavior and factor of safety of piles in slopes. These parameters are; the pile position, pile diameter and depth, soil properties, soil layer thickness and surcharge load. The effect of different undrained shear strength of clayey soil on the pile bending moment and the slope factor of safety are also studied. The nonlinear elasto-plastic finite element program PLAXIS is used to analyze the response of vertical piles due to the lateral soil movement generated by road surcharge.

1. Đặt vấn đề

Cọc được thiết kế để giữ ổn định của mái dốc. Tải trọng bản thân của khối đất sẽ gây ra mômen uốn trong cọc và biến dạng cọc, có thể sẽ gây ra phá hoại kết cấu.

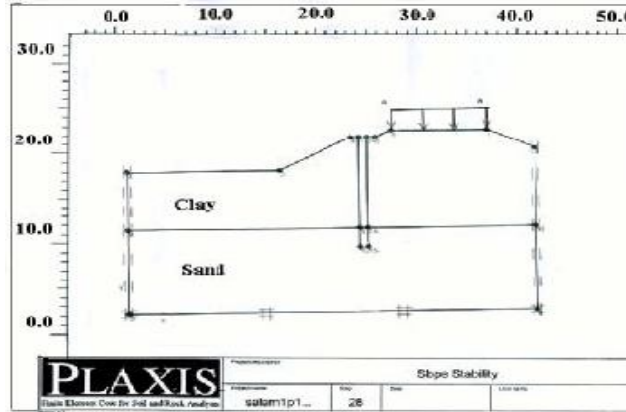
Rất nhiều lý thuyết và các phương pháp được giới thiệu để giải quyết vấn đề này. Stewart et al. (1992), Poulos (1995), Chen and Poulos (1996), Chow (1996), Hassiotis et al. (1997) đã giới thiệu nhiều phương pháp khác nhau để phân tích ổn định mái dốc với một hàng cọc đơn. Poulos and Chen (1996, 1997) đã giới thiệu phương pháp tính toán ổn định mái dốc với việc gia cố 2 hàng cọc.

Phương pháp phân tích sự làm việc của 1 cọc và một nhóm cọc chịu tải trọng ngang do chuyển vị của đất được phân thành 4 loại với đặc điểm được miêu tả theo Stewart et al. (1994):

- Phương pháp kinh nghiệm, Mô tả tương tác của cọc được ước lượng trong giới hạn của moment uốn lớn nhất và chuyển vị đầu cọc với đồ thị được phát triển từ số liệu thực nghiệm.
- Phương pháp dựa trên áp lực đất, mà sự phân bố áp lực đất tác dụng lên cọc được dự báo như tương đối đơn giản và được sử dụng chỉ để tính toán mômen uốn lớn nhất của cọc
- Phương pháp dựa trên chuyển vị, mà sự phân bố của chuyển vị bên của đất với độ sâu được giới thiệu và tính toán ra được độ võng và mômen uốn của cọc
- Phương pháp phần tử hữu hạn, cọc được coi như một phần tử trong lưới và tính toán ổn định tổng thể của toàn bộ đề. Plaxis là một giải pháp cho vấn đề này.

2. Phân tích các điều kiện địa chất

Nghiên cứu bài toán 2 mái dốc. Lớp đất số 1 là đất sét, lớp số 2 là cát, xem hình vẽ



Hình 1. Mặt cắt ngang tính toán.

Các thông số của đất và cọc theo bảng 1 và 2:

Bảng 1. Đặc trưng các lớp đất.

Tham số	Sét	Cát
Dung trọng khô (kN/m^3)	16	17
Dung trọng ẩm (kN/m^3)	18	20
Modul đàn hồi E (kN/m^2)	500 C	3×10^4
Hệ số poaxong ν	0,49	0,3
Lực dính C (kN/m^2)	10, 20, 30, 40	0
Góc nội ma sát ϕ	0	31°
Tính thấm	Không thấm	Thấm

Bảng 2. các đặc trưng của cọc.

Tham số	Cọc
Modul đàn hồi E (kN/m^2)	$2,1 \times 10^7$
Độ cứng dọc trục EA (kN/m)	$4,75 \times 10^6$
Độ cứng chống uốn EI ($\text{kN.m}^2/\text{m}$)	$1,07 \times 10^5$
Hệ số poaxong ν	0,3
Đường kính cọc, D (m)	0,5
Chiều dài cọc, L (m)	17

Hai trường hợp được nghiên cứu để tính toán ổn định của đê. Trường hợp 1, tải trọng thẳng đứng trên bờ đê được tăng đến giá trị phá hoại. Phương pháp này được dùng cho 3 trường hợp: không có cọc, có 1 hàng cọc, và có 2 hàng cọc. Trường hợp 2, giá trị của lực dính được tăng đến phá hủy và xác định được tải trọng ở trạng thái phá hủy.

3. Mô hình số

Phân tích ổn định mái dốc được thực hiện bởi phương pháp phần tử hữu hạn, chương trình Plaxis. Trong Plaxis có các mô hình đất nền và mô hình kết cấu đã được thiết lập sẵn trong phần mềm này có dạng như sau:

- Mô hình kết cấu
 - +) Phần tử dầm (beam)

Dầm là những đối tượng cấu trúc đã sử dụng để mô hình những cấu trúc mảnh trong nền với độ cứng khi uốn là quan trọng (độ cứng khi uốn) và độ cứng bình thường. Những phần tử dầm trong Plaxis đại diện cho những bản, tấm trong hướng ngoài mặt phẳng và có thể bởi vậy sử dụng để mô hình những tường và những bản.

Phần tử này xem quan hệ ứng suất biến dạng là đàn hồi tuyến tính.

Kết quả đưa ra nội lực ở dạng trị số và biểu đồ: mô men, lực cắt, lực dọc, các loại chuyển vị theo các phương.

- +) Phần tử neo hoặc thanh (node to node)

Phần tử này dùng để mô phỏng sự làm việc của neo trong đất hoặc thanh chống của tường hố móng. Mô hình làm việc dạng kéo/nén dọc trục. Kết quả đưa ra là các giá trị lực dọc và chuyển vị theo các phương.

+) Phần tử vải địa kỹ thuật (Geotextile)

Đây là loại vật liệu làm cốt đất để phục vụ gia cố nền. Mô hình làm việc kéo dọc trục

+) Phần tử tường và hầm (Diaphragm walls', tunnel)

Phần tử này mô phỏng được quá trình thi công tường, hầm ngầm theo phương pháp đào mở hoặc đào ngầm.

Phần tử này cho phép tính toán kết cấu tường vỏ hầm dạng hình tròn chữ nhật hoặc tổ hợp các dạng hình học khác kể cả cung tròn.

Kết quả đưa ra nội lực ở dạng trị số và biểu đồ: mô men, lực cắt, lực dọc, các loại chuyển vị theo các phương.

- Mô hình đất nền

+) Đàn hồi tuyến tính: Đồng nhất, đẳng hướng

+) Đàn hồi - dẻo: Mô hình Mohr - Coulomb, quan hệ ứng suất biến dạng là đường đàn dẻo tuyệt đối.

+) Trạng thái tới hạn dùng cho đất sét yếu: Mô hình ở đây là Cam clay có kể tới từ biến.

+) Từ biến của đất yếu: Mô hình này cho phép kể đến quá trình lún thứ cấp của đất yếu.

+) Tái bền: Đây là mô hình cho phép mô tả quan hệ ứng suất biến dạng của đất theo đường hyperbol.

4. Các hệ số ảnh hưởng

Các tham số nghiên cứu được giới thiệu bởi Poulos (1993) chỉ rõ một vài các hệ số quan trọng ảnh hưởng đến sự làm việc của cọc trong hoặc gần bờ đê trên nền đất sét. Hệ số có ý nghĩa nhất xuất hiện bao gồm vị trí của cọc, cường độ chịu cắt, độ dày lớp đất. Ông chỉ rõ rằng sự việc tạm dừng quá trình đóng cọc có ý nghĩa quan trọng trong việc giảm mômen uốn và chuyển vị bên.

Bảng 3: Ảnh hưởng của lực dính đất sét đến momen uốn ở trạng thái phá hủy

Lực dính	Đất sét	Sét nằm dưới cát		Đất sét		Sét nằm dưới cát			
	Một hàng cọc	Một cọc		Hai cọc		Hai cọc		Hai cọc	
				Cọc phía sông	Cọc phía đường	Phía sông		Phía đường	
C	M	M1	M2	M	M	M1	M2	M1	M2
kN/m ²	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m	kN.m
10	261,2	1300	23	719,8	1010	310	437	344,1	408
12	250,7	1210	24,6	537,2	814,6	312	442,4	338,7	425
14	268,6	1040	48,2	453	820	312	366,9	342,8	340,7
15	247,4	947,1	52,2	443	828,6	312,7	349,6	312	327
16	272,5	904	59,1	456,7	733,7	306,7	335,1	277,7	319,1
17	265,9	845,1	68,5	443	719,4	297,3	324,3	259	310,6
18	249,2	792,7	77,5	376	700	284,7	315,5	242,9	304,4
25	264,6	544,6	106,6	374,7	647,3	190,8	295	169,9	282,4
30	266,7	417,7	125,1	416,8	694,1	128,3	275	98,9	284,1
40	268,2	308	159	419,6	696,7	30,4	250	54,4	273,2

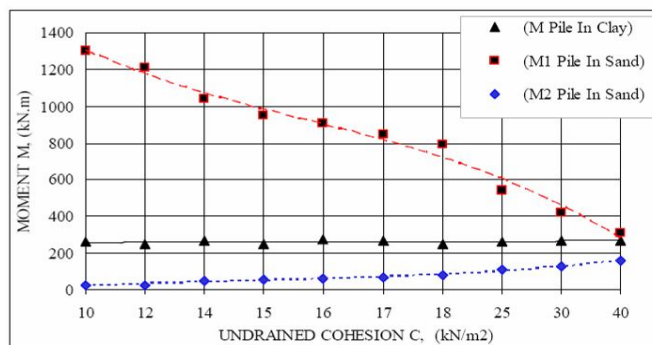


Hình 2. Ví dụ về biểu đồ mô men uốn của cọc (PLAXIS).

5. Các kết luận

5.1 Ảnh hưởng của độ dày lớp đất

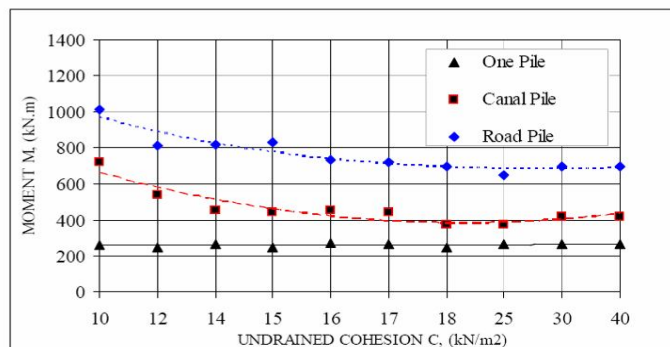
Được biểu diễn dưới dạng sau:



Hình 3. Biểu đồ mô tả ảnh hưởng của độ dày lớp đất.

Hai loại đất được sử dụng, loại thứ nhất chứa đất sét đồng nhất, trong khi loại thứ 2 có lớp đất sét đồng nhất nằm trên tầng cát. Mỗi liên hệ có được giữa mô-men uốn cọc và lực kháng cắt không thấm nước của đất chứa sét loại C cho 2 loại đất. Như trong hình 2, mô-men uốn âm cực đại, M1, giảm khi lực kháng cắt không thấm nước tăng trong trường hợp cọc mở rộng trong tầng chịu tải bên dưới. Đối với đất sét đồng nhất, mô-men uốn cọc không bị ảnh hưởng bởi sự gia tăng lực kháng cắt không thấm nước như trong hình 3.

5.2 Sự sắp xếp các cọc (một hàng hoặc 2 hàng cọc)



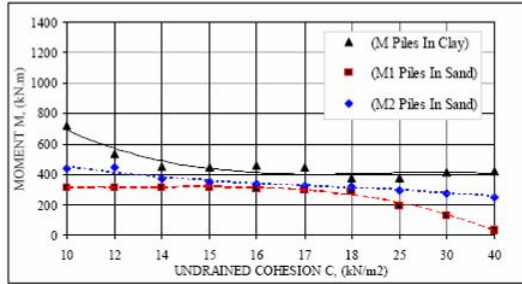
Hình 4. Ảnh hưởng của số lượng hàng cọc.

Trong phương pháp phân tử hữu hạn, hệ thống cọc-đất-cọc được đơn giản hóa cho nghiên cứu lực phẳng hai kích thước, và được tải bởi chuyển động đất do gia tải đường được gia tăng cho đến khi hệ thống đạt đến trạng thái dẻo tối đa. Chen et al (1997) nghiên cứu tác động tổ hợp,

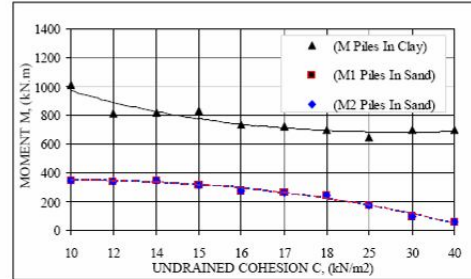
f_p trên tải cọc tối đa, p_u , với trường hợp cọc nổi. Trong nghiên cứu này khoảng cách các cọc theo chiều ngang như trong hình 1, $S_h = 3D$ trong khi hướng dọc thì khoảng cách là $S_v = 6D$, trong đó D là đường kính cọc. Theo Chen et al, f_p là 1:1 trong trường hợp 1 hàng cọc dài. Trong trường hợp hai hàng cọc dài, cho các cọc được định vị gần phía được nạo vét, f_p là 1,4 trong khi đối với cọc được định vị gần phía đường, f_p là 1,2.

Nhất quán với các kết quả ở trên, trong trường hợp của 2 hàng cọc, cọc gần phía kênh có mô-men uốn nhỏ hơn cọc gần phía đường như trong hình 4. Trong trường hợp 1 hàng cọc, mô-men uốn cọc nhỏ hơn đối với 2 hàng cọc. Điều này được chỉ định cho lực mô-men quán tính của 2 hàng cọc lớn hơn đối với 1 hàng cọc đơn.

5.3 Vị trí và kích thước của cọc



Hình 5a. Moment uốn của cọc gần phía kênh.



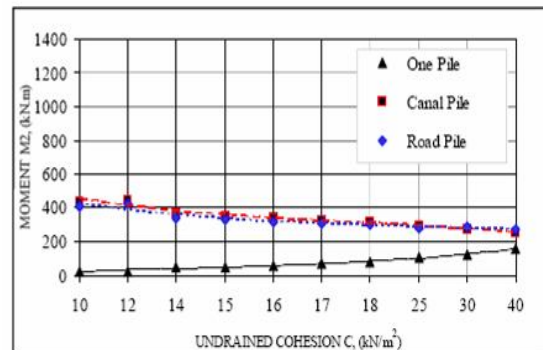
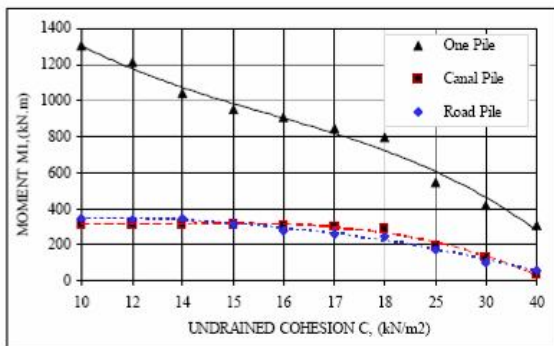
Hình 5b. Moment uốn của cọc gần phía đường.

Trong tất cả các trường hợp, chiều dài cọc đã được lựa chọn sâu hơn bề mặt phá hủy trơn trượt. Chương trình XSTABLE được sử dụng để tính toán vị trí bề mặt trượt trước khi lắp dựng cọc. Bề mặt trượt này được tính là 12,65m từ cao độ bờ đất. Do đó, chiều dài 17 m đối với các cọc đã được lựa chọn là phù hợp.

Poulos (1976) thấy ra rằng các cọc được lắp dựng trong phạm vi kê chịu lực mô-men uốn lớn hơn đáng kể so với các cọc ở chân, do cả hai chuyển động ngang lớn hơn và cũng do tác động của kê chuyển qua cọc. Momen lớn nhất có chiều hướng gia tăng đối với cọc gần giữa bờ dốc, và gấp hơn 2 lần hệ số cọc tại chân kê. Trong nghiên cứu này, cọc được định vị tại cao độ bờ đất mà theo như Poulos là được coi là ở giữa bờ dốc. Các cọc nổi trong đất chứa sét có lực mô-men uốn cực đại gấp đôi thế đối với những cọc kết thúc ở lớp cát. Sự có mặt của tầng chịu lực bên dưới của cát giảm mô-men uốn trên cọc như hình 5.

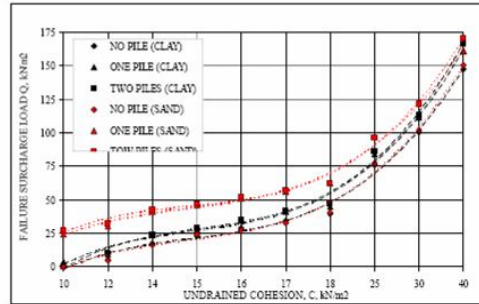
5.4 Mô men uốn lớn nhất với cường độ chịu cắt

Hình 6 thể hiện rằng sự gia tăng lực kháng cắt không thấm nước giảm mô-men uốn cọc. Điều này có thể do chuyển động biên nhỏ hơn nhưng được gia tăng trong đất chặt hơn. Trong trường hợp 1 hàng cọc, mô-men uốn âm cực đại M1 cao hơn nhiều momen uốn dương cực đại M2 như trong hình 6, trong khi trong trường hợp 2 cọc M1 và M2 có cùng hệ số cho cả kênh và đường. Vị trí cọc không tác động lên hệ số của lực mô-men uốn.



Hình 6. So sánh giữa momen âm lớn nhất, một hàng cọc và 2 hàng cọc trong đất cát.

5.5 Gia tải



Hình 7. Ảnh hưởng của gia tải với cường độ kháng cắt không thấm khác nhau.

Việc tăng lực kháng cắt của đất trong quá trình gia tải đến vị trí bị phá hoại được thể hiện trong hình 7. Nó được thể hiện bằng tỷ lệ phần trăm của việc cải tạo nền đất tăng khi lực kháng cắt của đất giảm. Tại vị trí, Lực dính cao hơn (hơn 40 kN/m²), thì sự cải tạo nền đất sẽ giảm đáng kể, khi đó sẽ giảm được số lượng cọc sử dụng. Khi một hàng cọc đơn hay hai hàng cọc cắm xuống lớp cát thì tải trọng ở vị trí bị phá hoại sẽ tăng đến 28 kN/m². Một hay hai hàng cọc có hệ số tác động như nhau hoặc nổi trong tầng sét hay cắm ngập trong lớp cát khi gia tải gây phá hủy được chỉ ra trong hình 7.

5.6. Các nhân tố ảnh hưởng đến hệ số an toàn

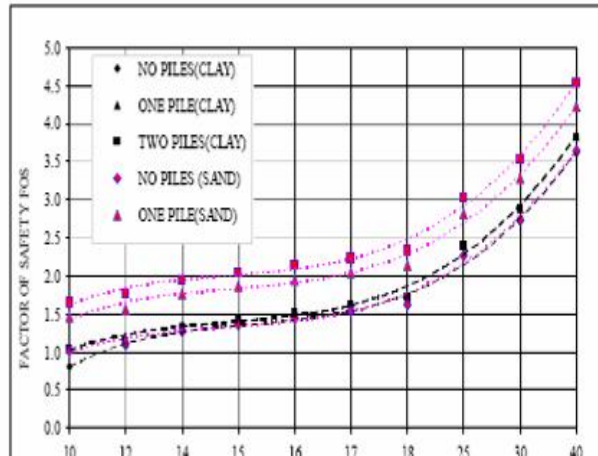
Phân tích địa chất có kể đến việc tính toán giá trị hệ số an toàn cho nhiều trường hợp khác nhau và so sánh hiệu năng của hệ thống trong từng trường hợp khác nhau. Hệ số an toàn có thể được tính bằng 2 phương pháp khác nhau. Phương pháp đầu tiên là hệ số an toàn khi gia tải. Nó được tính bằng tỷ số giữa trị số gia tải cao nhất khi phá hoại trong mỗi trường hợp và giá trị tải trọng áp dụng.

Phương pháp thứ hai tính toán các hệ số an toàn trong hạng mục tính lực cắt của đất; đó là tỷ số giữa giá trị thực tế của lực cắt và giá trị của lực cắt tại vị trí phá hoại.

Hệ số an toàn sẽ không bị ảnh hưởng trong cả trường hợp có xuất hiện lớp cát nằm dưới tầng sét, hay có 1 hoặc hai cọc nổi trong tầng sét. Tuy nhiên, với sự gia tăng của lực cắt không thấm nước, trong trường hợp có một hoặc hai hàng cọc nổi trên tầng sét, thì hệ số an toàn sẽ tăng nhẹ. Trong trường hợp đầu cọc nằm trong lớp cát, hệ số an toàn tăng như trong hình 8. Hệ số an toàn trong trường hợp có hai hàng cọc sẽ cao hơn trường hợp có một hàng cọc.

Bảng 4. Tính toán hệ số an toàn với các trường hợp khác nhau.

Lực dính kN/m ²	Đất sét			Sét nằm dưới cát		
	Không có cọc	Một hàng cọc	Hai hàng cọc	Không có cọc	Một hàng cọc	Hai hàng cọc
10	0,8	1,06	1,05	1,01	1,47	1,65
12	1,08	1,13	1,15	1,1	1,56	1,76
14	1,27	1,35	1,34	1,28	1,77	1,94
15	1,36	1,42	1,43	1,36	1,87	2,04
16	1,45	1,54	1,53	1,45	1,95	2,14
17	1,54	1,63	1,63	1,54	2,04	2,23
18	1,63	1,7	1,72	1,63	2,13	2,33
25	2,26	2,4	2,4	2,27	2,81	3,02
30	2,72	2,88	2,87	2,73	3,28	3,53
40	3,61	3,84	3,83	3,65	4,23	4,54



Hình 8. Hệ số an toàn với các trường hợp lực cắt không thấm nước khác nhau.

6. Kết luận

Lợi ích của việc sử dụng cọc trong tính toán ổn định mái dốc thì rõ ràng hơn với giá trị lực dính thấp hơn ($C > 40 \text{ kN/m}^2$).

Sự có mặt của 1 hoặc 2 hàng cọc trên lớp đất sét có thể gây ra việc tăng nhẹ đến hiện tượng quá tải trên đường và không ảnh hưởng đến hệ số an toàn.

Sự có mặt của 1 hoặc 2 hàng cọc trong trường hợp lớp cát phía dưới lớp đất sét làm tăng giá trị tải trọng phá hủy trên đường, hệ số an toàn tăng tới 60%. Bố trí 2 hàng cọc hiệu quả hơn so với 1 hàng cọc.

Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn, cho kết quả hợp lý với số liệu thực nghiệm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Stewart, D. P., *Analysis of Piles Subjected to Embankment Induced Lateral Soil Movements*, Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, May 1999, pp. 425-435.
- [2] Chen, L.T. and Poulos, H.G. *Piles Subjected to Lateral Soil Movements*, Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, September 1997, pp. 802-811.
- [3] Poulos, H.G., *Behavior of Laterally Loaded Piles Near a Cut or Slope*, Australian Geomechanics, July 1976, Vol. C6, No.1, pp1-12.
- [4] Stewart, D. P., Jewell, R. J. and Randolph, M.F, *Design of Piled Bridge Abutments on Soft Clay for Loading From Lateral Soil Movements*. Geotechnique 44, No.2, pp.277-296.
- [5] Poulos, H.G., *Analysis and Design of Piles Through Embankments*, Design and Construction of Deep Foundation, December 1994, Vol. III, pp1403-1421.
- [6] Chow, Y.K. *Analysis of Piles Used for Slope Stabilization*, International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 1996, Vol.20, pp.635-646.
- [7] Hassiotis, S., Chameau, J.L., and Gunaratne, M., *Design Method for Stabilization of Slopes with Piles*, Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering, ASCE, September 1997, Vol.123, No. 4, pp. 314-323.
- [8] Abdel-Motaleb, A.A, *Monitoring of A Stabilizing Embankment Using Reinforced Concrete Piles*, The Fifth International Geotechnical Engineering Conference-Cairo University, January 2005, pp. 183-199.
- [9] El-Ashaal, A.A., Abdel-Motaleb, A.A. and Haggag, H.A. "Stabilizing Embankments Made of and Founded Over Weak Soil Using Piles; A Case History", The Fourth International Geotechnical Engineering Conference-Cairo University, January 2000, pp. 415-426.

Người phản biện: ThS. Bùi Quốc Bình