

## Phân tích giải pháp móng bè - cọc hợp lý cho công trình cống kênh thủy lợi ở Cà Mau

Lê Bá Vinh<sup>1,2\*</sup>, Đoàn Bá Tần Duy<sup>3</sup>, Tô Lê Hương<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Bộ môn Địa Cơ – Nền Móng, Khoa Kỹ thuật Xây Dựng, Trường Đại học Bách Khoa Tp.HCM

<sup>2</sup> Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

<sup>3</sup> Chi cục Thủy lợi – Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn Thành phố Hồ Chí Minh

### TỪ KHOẢ

Cống kênh  
Móng bè - cọc  
Phân tích số  
Plaxis 3D

### TÓM TẮT

Cống bê tông cốt thép được sử dụng để kiểm soát triều và điều tiết nước trong hệ thống thủy lợi. Với kết cấu bản đáy cống đồng thời là bản móng trên hệ các cọc bê tông cốt thép, kết cấu móng cống đóng vai trò là hệ bè - cọc. Phương pháp tính toán móng cọc cống với quan niệm cọc chịu toàn bộ tải trọng thẳng đứng của công trình và dàn đều các cọc trên bản đáy cống được nhiều nhà thiết kế áp dụng khiến cho việc tính toán và bố trí các cọc trở nên đơn giản nhưng sẽ không phản ánh mô hình làm việc thực tế của hệ thống móng bè - cọc thực tế. Trong bài báo này phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Plaxis 3D đã được áp dụng để phân tích móng cọc cống và đánh giá khả năng ứng dụng của phương pháp này trong thiết kế móng. Ngoài ra, phương án bố trí cọc hợp lý dưới bản đáy cống được đề xuất nhằm tối ưu hóa việc bố trí cọc dưới bè, từ đó làm tăng tối đa khả năng chịu tải của các cọc và tiết kiệm 32 % tổng chiều dài cọc bố trí dưới bản đáy cống.

### KEYWORDS

Irrigation sluice  
Piled-raft foundation  
Numerical analysis  
Plaxis 3D

### ABSTRACT

Reinforced concrete sluices are used for tidal control and water regulation in irrigation systems. With the structure of the culvert bottom slab which is also the foundation on the reinforced concrete pile foundation, the culvert foundation structure acts as the pile - raft system. The method of calculating pile foundation culverts with the concept of the entire structure load supported by the piles and even distribution of the piles is applied by many designers, making the calculation and the arrangement of piles simple, but this method will not reflect the actual working model of the actual pile - raft foundation system. In this paper the finite element method via Plaxis 3D software is applied to analyze pile foundation culverts and evaluate the applicability of this method in the foundation design. Moreover, the suitable arrangement of piles is proposed to optimize the pile arrangement, maximize the load-bearing capacity of piles and save 32 % of the total length of piles.

### 1. Đặt vấn đề

Hiện nay, đối với các công trình cống kênh thủy lợi (Hình 1) có nhiệm vụ chính là kiểm soát, điều tiết nguồn nước (mặn, lợ, ngọt). Bản đáy cống kênh đặt trực tiếp trên nền cọc bê tông cốt thép và đất nền bên dưới, do đó hệ kết cấu móng của cống kênh làm việc như một hệ móng bè - cọc (Hình 2).

Thông thường, người thiết kế sẽ tính toán kết cấu móng với quan niệm là các cọc chịu toàn bộ tải trọng đứng của công trình và bố trí rải đều các cọc dưới bản đáy. Có thể thấy rằng, với quan niệm tính toán nhanh và bố trí cọc đơn giản như vậy sẽ không phản ánh đúng mô hình làm việc của hệ móng ngoài thực tế. Với hệ móng bè - cọc có các tương tác giữa bè, đất, và các cọc như Hình 3. Hiện nay, đã có các nghiên cứu và phương pháp tính toán móng bè - cọc làm việc đồng thời theo

[1,2,3,4] hoặc như phương pháp giải tích theo lý thuyết của Poulos – Davis – Randolph (PDR) [5] để phân tích ứng xử phân chia tải của móng bè cọc cống kênh, phương pháp này tuy không quá phức tạp nhưng không xem xét được độ lún lệch trong móng, cũng như nội lực trong bè và các cọc. Do đó, phương pháp PDR chỉ nên được sử dụng trong tính toán thiết kế sơ bộ móng bè - cọc. Để xem xét đầy đủ các yếu tố về hình dạng kết cấu bản đáy, bản thành và công trình phụ trợ bên trên cống cùng làm việc đồng thời với đất nền cần sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô phỏng và phân tích đúng đắn hơn. Kết quả phân tích giúp hiểu rõ hơn sự làm việc thực tế của móng bè - cọc và có phương án bố trí cọc làm việc tối ưu và hiệu quả hơn về kinh tế nhưng vẫn đảm bảo công trình ổn định.

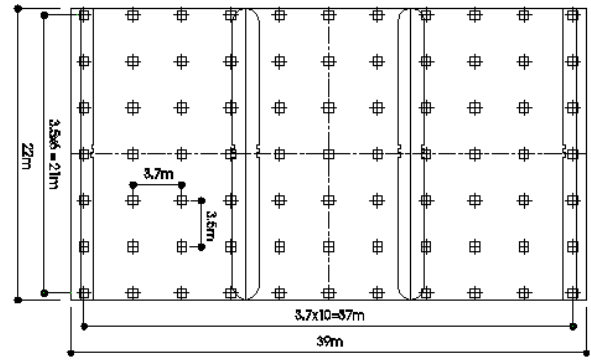
\*Liên hệ tác giả: lebvinh@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 15/04/2023, sửa xong ngày 02/08/2023, chấp nhận đăng 10/08/2023

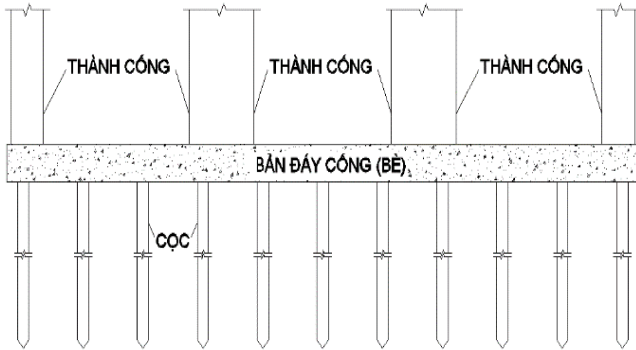
Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2023.515>



Hình 1. Cổng kênh thủy lợi, Cà Mau.



Hình 4. Mặt bằng bố trí cọc dưới cổng kênh.



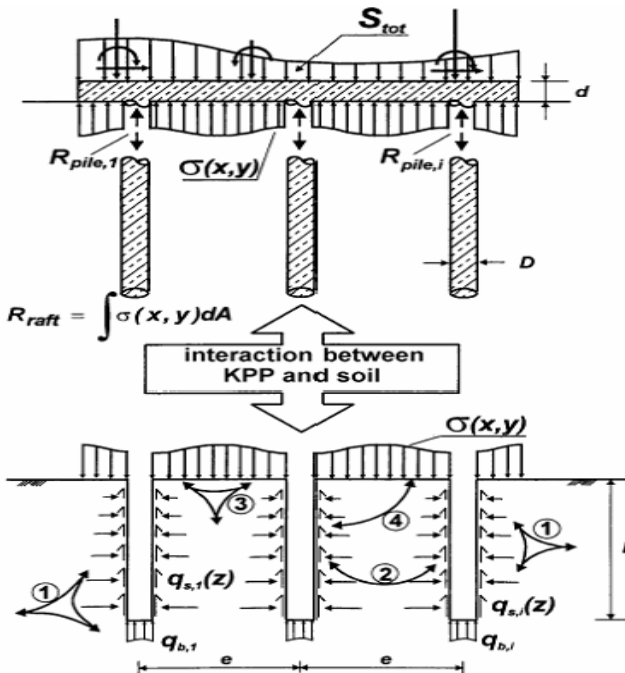
Hình 2. Móng bê - cọc cổng kênh.

Công trình cổng thuộc địa phận huyện Đầm Dơi, tỉnh Cà Mau với kích thước móng bê cọc có chiều dài  $L_m = 39$  m và chiều rộng  $B_m = 22$  m, chiều dày bản đáy  $d_m = 1,0$  m, chiều dày bản thành  $t = 1,0$  m, tổng tải tác dụng lên bề bao gồm công trình bên trên cổng và trọng lượng bản thân của cổng là  $Q = 56007$  kN.

Căn cứ kết quả khảo sát tại các hố khoan, địa tầng tại vị trí xây dựng công trình được phân thành các lớp sau:

- Lớp 1: Sét hữu cơ, xám xanh, nâu đen, lớp này có bề dày trung bình 19 m.
- Lớp 2: Sét xám nâu, xanh vàng, xám tro. Lớp này có bề dày lớn hơn 30 m.

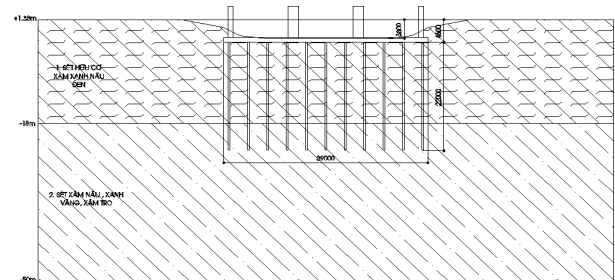
Các chỉ tiêu cơ lý của các lớp đất như thể hiện ở Bảng 1.



Hình 3. Hiệu ứng tương tác giữa đất - bê - cọc của Katzenbach [1].

## 2. Phân tích kết cấu móng cho công trình cụ thể bằng phần mềm Plaxis 3D

### 2.1. Giới thiệu công trình



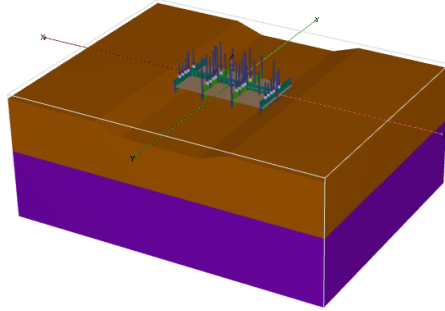
Hình 5. Bố trí móng bê - cọc trong nền đất.

Công trình sử dụng cọc bê tông cốt thép tiết diện vuông  $0,35$  m x  $0,35$  m, chiều dài cọc  $L_c = 22$  m với sức chịu tải của cọc theo thiết kế  $P_{tk} = 1610$  kN. Số lượng cọc cần bố trí dưới bề  $n = 77$  cọc như Hình 4 và Hình 5.

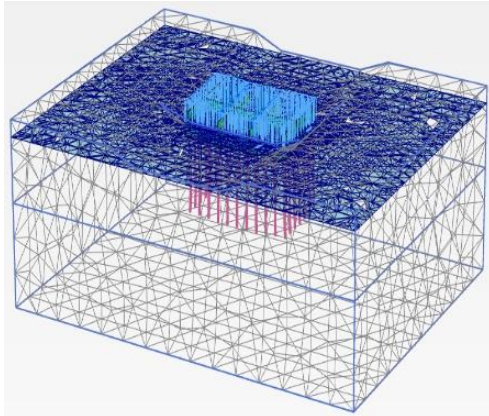
### 2.2. Phân tích giải pháp móng bê - cọc bằng phần mềm Plaxis 3D

Tổng hợp từ nhiều nghiên cứu trên thế giới, có thể thấy phương pháp phần tử hữu hạn là một trong các phương pháp mạnh để phân tích móng bê - cọc. Trong bài báo này, để đánh giá khả năng áp dụng của giải pháp móng bê - cọc cho công trình cổng kênh, tiến hành áp dụng phần mềm Plaxis 3D [6] để phân tích các ứng xử của móng bê - cọc như mô hình ở Hình 6. Lưới phần tử của mô hình trong Plaxis 3D

được thể hiện ở Hình 7. Các thông số của mô hình được trình bày như trong Bảng 1. Các kết quả về độ lún, nội lực trong móng bè – cọc được thể hiện lần lượt ở các Hình 8, 9, 10, 11, và 12. Ứng với tải trọng công trình thực tế thì các kết quả phân tích đều cho thấy giải pháp móng bè – cọc vẫn đảm bảo ổn định và biến dạng với độ lún chỉ 2,99 cm, nhỏ hơn nhiều độ lún giới hạn cho phép [7], đồng thời cọc chịu tải lớn nhất vẫn nhỏ hơn sức chịu tải thiết kế:  $P_{max} = 1508 \text{ kN} < P_{ik} = 1610 \text{ kN}$ .



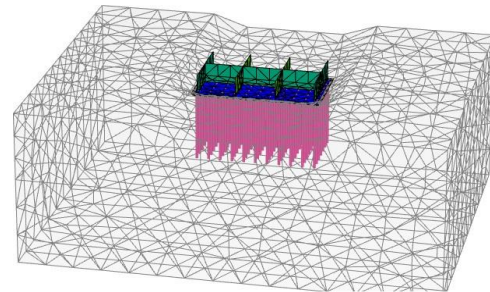
Hình 6. Mô hình móng bè - cọc trong phần mềm Plaxis 3D.



Hình 7. Lưới phần tử của mô hình trong phần mềm Plaxis 3D.

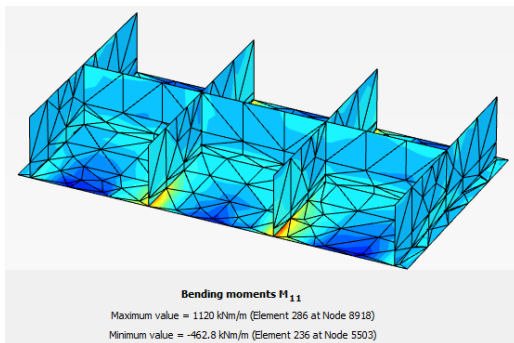
Bảng 1. Thông số địa chất của các lớp đất trong mô hình PLAXIS 3D.

Đặc trưng	Đơn vị	Lớp 1: Sét hữu cơ, xám xanh, nâu đen	Lớp 2: Sét xám nâu, xanh vàng, xám tro
Material model	Model	Hardening soil	Hardening soil
Drainage type	Type	Undrained	Undrained
$h_i$	(m)	19	32
$\gamma_{unsat}$	(kN/m <sup>3</sup> )	15,6	19,1
$\gamma_{sat}$	(kN/m <sup>3</sup> )	15,7	19,2
$e_0$	-	1.951	0.852
$k_x$	(m/day)	8,424E-03	8,424E-03
$k_y$	(m/day)	3,370E-03	3,370E-03
$E_{50}^{ref}$	(kN/m <sup>2</sup> )	6830	13198
$E_{oed}^{ref}$	(kN/m <sup>2</sup> )	6830	13198
$E_{ur}^{ref}$	(kN/m <sup>2</sup> )	20490	39594
$m$	-	0,5	1
$c'$	(kN/m <sup>2</sup> )	17,9	33
$\phi'$	(°)	18,28	23,68
$\nu$		0,2	0,2



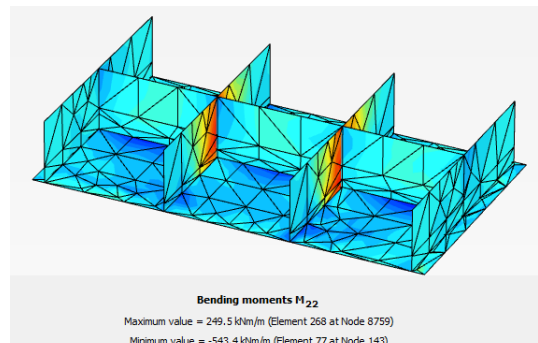
Total displacements  $u_z$   
Maximum value =  $0,1207 \cdot 10^{-4}$  m (Element 1293 at Node 18173)  
Minimum value =  $-0,02989$  m (Element 980 at Node 14995)

Hình 8. Độ lún của bè - cọc trường hợp  $n_{cọc} = 77$  cọc;  $L_{cọc} = 22$  m.



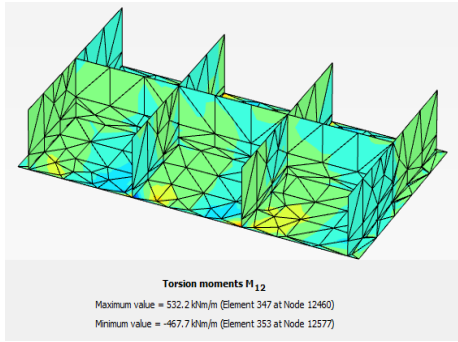
Bending moments  $M_{11}$   
Maximum value = 1120 kNm/m (Element 286 at Node 8918)  
Minimum value = -462,8 kNm/m (Element 236 at Node 5503)

Hình 9. Moment uốn  $M_{11}$  của bè trường hợp  $n_{cọc} = 77$  cọc;  $L_{cọc} = 22$  m.

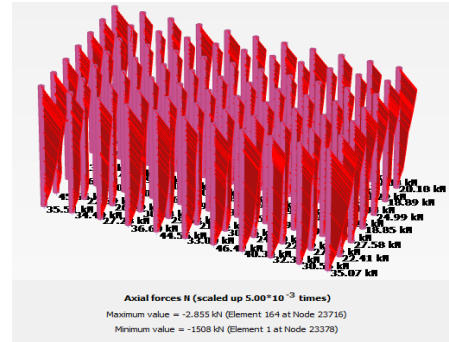


Bending moments  $M_{22}$   
Maximum value = 249,5 kNm/m (Element 268 at Node 8759)  
Minimum value = -543,4 kNm/m (Element 77 at Node 143)

Hình 10. Moment uốn  $M_{22}$  của bè trường hợp  $n_{cọc} = 77$  cọc;  $L_{cọc} = 22$  m.



Hình 11. Moment uốn  $M_{12}$  của bề trường hợp  $n_{cọc} = 77$  cọc;  $L_{cọc} = 22$  m



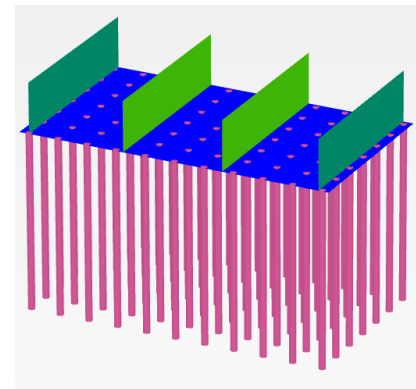
Hình 12. Lực dọc của cọc trong phần mềm Plaxis 3D.

### 3. Phân tích giải pháp móng bè - cọc hợp lý cho công trình cống kênh

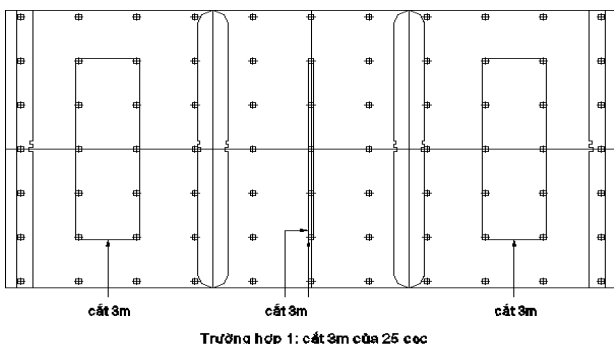
Như vậy, khi phân tích ứng xử móng bè - cọc bằng phần mềm Plaxis 3D cho thấy phần tải trọng công trình do các cọc gánh là 50928 kN tương ứng 91 % tổng tải trọng truyền xuống, và huy động được bè tham gia gánh khoảng 9 % tải trọng công trình do ngay dưới đáy bè là lớp đất yếu có bề dày khá lớn. Ngoài ra, trong phương án móng bè - cọc cho công trình cống kênh, việc bố trí các cọc sao cho tối ưu và hiệu quả cần được quan tâm một cách nghiêm túc hơn thay vì bố trí cọc với phương án rải đều các cọc dưới bè. Tiến hành khảo sát tiếp tục mô hình móng bè cọc cống kênh với phương án 77 cọc như Hình 4, Hình 13 và xem xét rút ngắn chiều dài các cọc chịu tải nhỏ, làm việc không hiệu quả.

Do đặc điểm phân bố lực của cống kênh tập trung phân bố nhiều ở vị trí thành cống và mép biên của bè móng, vì thế mà tải trọng tác dụng nhiều vào các cọc ở vị trí thành cống và ở biên, còn các cọc ở giữa chịu tác dụng của tải trọng nhỏ hơn như trên hình 12. Từ hiệu quả làm việc của các cọc giữa là không nhiều, nên tiến hành khảo sát các trường hợp cắt giảm chiều dài các cọc vùng giữa như trên các hình 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 và 21. Các kết quả về độ lún của móng bè - cọc, sự phân chia tải giữa bè và cọc ứng với các trường hợp cắt giảm chiều dài cọc khác nhau được thể hiện lần lượt ở Hình 22 và 23. Khi phân tích các trường hợp: cắt 3 m của 25 cọc (trường hợp 1 - TH1) và cắt 12 m của

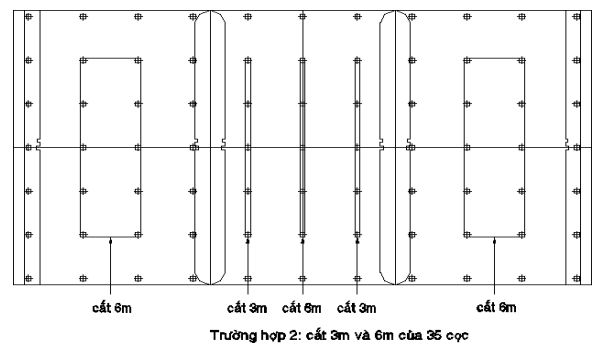
45 cọc (trường hợp 8 - TH 8), moment trong bè của trường hợp 8 tăng lên so với trường hợp 1 từ 22,4 % đến 33,2 %, độ lún của móng bè - cọc có tăng lên nhưng không nhiều, từ 3,13 cm đến 3,83 cm như thể hiện ở Hình 22, và vẫn nhỏ hơn giới hạn lún cho phép, đồng thời theo Hình 24 tải tác dụng lớn nhất lên đầu cọc  $P_{max} = 1601$  kN vẫn nhỏ hơn sức chịu tải thiết kế của cọc là 1610 kN. Như vậy trường hợp cắt 12 m của 45 cọc (trường hợp 8) là trường hợp hiệu quả nhất khi cắt giảm chiều dài các cọc. Ngoài ra, Hình 23 cho thấy bè có thể tham gia gánh hơn 10 % tải công trình bên trên.



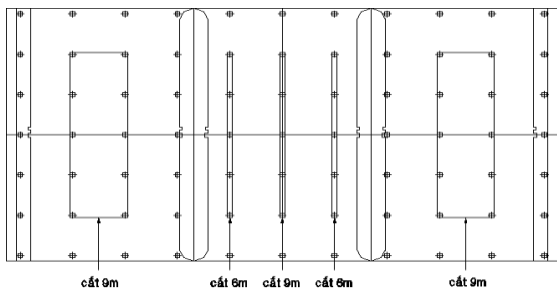
Hình 13. Mô hình của móng bè - cọc ban đầu trong Plaxis 3D.



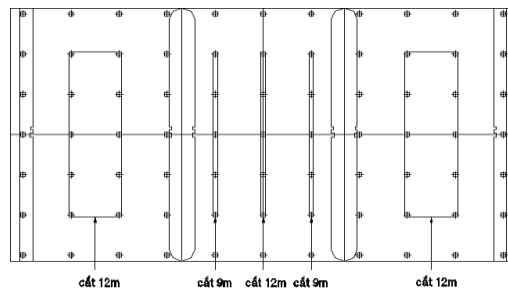
Hình 14. Móng bè cọc cống kênh  
TH1: cắt 3 m của 25 cọc.



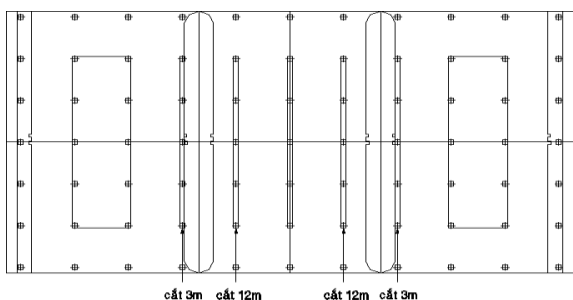
Hình 15. Móng bè cọc cống kênh  
TH2: cắt 3 m và 6 m của 35 cọc.



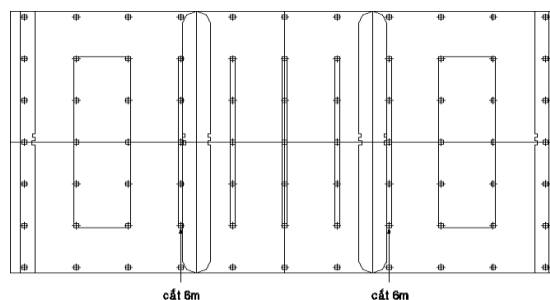
Trường hợp 3: cắt 6m và 9m của 35 cọc  
**Hình 16.** Móng bè cọc cống kênh  
 TH3: cắt 6 m và 9 m của 35 cọc.



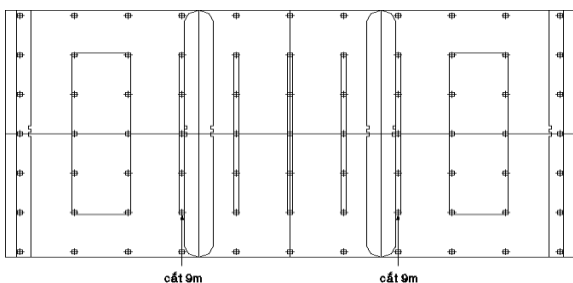
Trường hợp 4: cắt 9m và 12m của 35 cọc  
**Hình 17.** Móng bè cọc cống kênh  
 TH4: cắt 9 m và 12 m của 35 cọc.



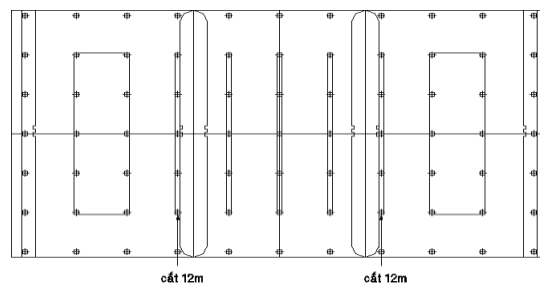
Trường hợp 5: cắt 3m và 12m của 45 cọc  
**Hình 18.** Móng bè cọc cống kênh  
 TH5: cắt 3 m và 12 m của 45 cọc.



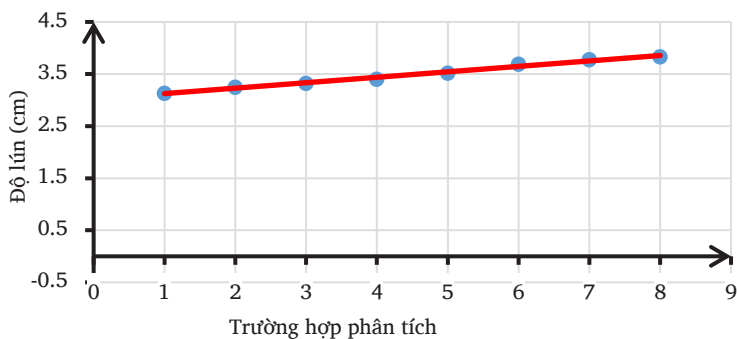
Trường hợp 6: cắt 6m và 12m của 45 cọc  
**Hình 19.** Móng bè cọc cống kênh  
 TH6: cắt 6 m và 12 m của 45 cọc.



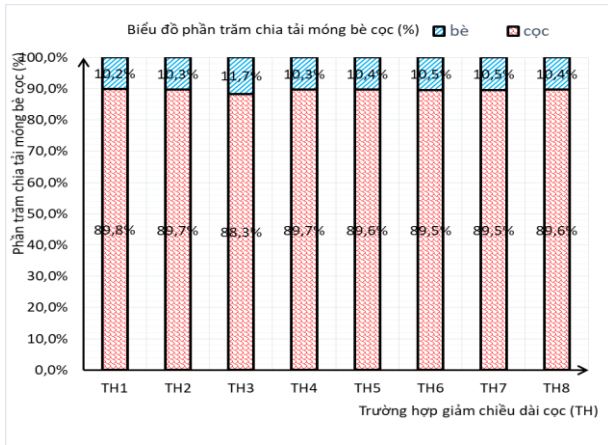
Trường hợp 7: cắt 9m và 12m của 45 cọc  
**Hình 20.** Móng bè cọc cống kênh  
 TH7: cắt 9 m và 12 m của 45 cọc.



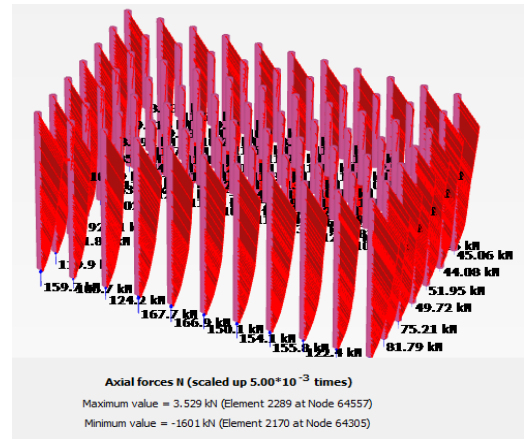
Trường hợp 8: cắt 12m của 45 cọc  
**Hình 21.** Móng bè cọc cống kênh  
 TH8: cắt 12 m của 45 cọc



**Hình 22.** Độ lún của móng bè – cọc trong các trường hợp giảm chiều dài cọc



Hình 23. Phần trăm gánh tải của bè và cọc trong các trường hợp giảm chiều dài cọc.



Hình 24. Lực dọc trong các cọc của TH8.

#### 4. Kết luận

Từ các phân tích, tính toán cho kết cấu móng bè - cọc cố định và các trường hợp tối ưu hóa bố trí cọc dưới bè đáy cố định, có thể rút ra những kết luận như sau:

- Để có thể xem xét đầy đủ các yếu tố về hình dạng kết cấu bản đáy, bản thành và công trình phụ bên trên cùng làm việc đồng thời với đất nền cần sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua các phần mềm tính toán địa kỹ thuật để mô phỏng và phân tích đúng đắn kết cấu móng bè - cọc cố định.
- Tối ưu hóa bố trí cọc dưới bè giúp tận dụng tối đa khả năng chịu tải của cả bè và các cọc. Cụ thể với các phân tích, tính toán ở trên cho thấy bè có thể tham gia gánh hơn 10 % tải công trình bên trên, đồng thời có thể tiết kiệm được đến 32 % tổng số chiều dài cọc bố trí dưới bản đáy cố định so với cách tính toán móng cọc thông thường. Việc bố trí cọc dưới móng bè cố định cần được xem xét cẩn thận khi tải trọng tác dụng lên bè tập trung cục bộ tại các thành công, do đó cần bố trí các cọc tập trung bên dưới thành công và dọc theo mép biên của bè.

#### Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

#### Tài liệu tham khảo

[1]. Katzenbach R, Arslan U, Moormann C. (2000). *Piled raft foundation projects in Germany*. Design Applications of Raft Foundations, Hemsley, Thomas Telford, London; pp. 323-91.

[2]. Badelow, F., Kim, S., Poulos, H.G. and Abdelrazaq, A. (2009). *Foundation design for a tall tower in a reclamation area*. Proc. 7th Int. Conf. Tall Buildings, Hong Kong, Ed. F.T.K. Au, Research Publishing, pp.815-823.

[3]. Yamashita K, Hamada J, Soga Y. (2010). *Settlement and load sharing of piled raft of a 162m high residential tower*. In: Proc. international conference on

deep foundations and geotechnical in situ testing, Shanghai, China; pp. 26-33.

[4]. H. Poulos (2001), *Pile raft foundations: design and applications*, Geotechnique, vol. 51, pp. 95-113.

[5]. H. G. Poulos and E. H. Davis (1980). *Pile Foundation Analysis and Design*. New York: Wiley.

[6]. *PLAXIS 3D Manual* (2013).

[7]. M. F. Randolph (1983). *Design of pile raft foundations*, Cambridge University Engineering Department.