



MÓNG BÈ - CỌC (CPRF) - GIẢI PHÁP HIỆU QUẢ CHO THIẾT KẾ NHÀ CAO TẦNG & SIÊU CAO TẦNG TẠI VIỆT NAM

Nguyễn Thanh Sơn¹

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, móng bè - cọc đã đang ngày càng được công nhận như là một giải pháp móng đem lại hiệu quả kinh tế cao trong xây dựng các công trình cao tầng trên thế giới. Trong bài viết này, tác giả sẽ trình bày cơ sở lý thuyết và đánh giá giải pháp móng bè - cọc (CPRF) trong thiết kế nhà cao tầng. Tương tác giữa cọc - bè - đất nền ảnh hưởng lớn đến ứng xử của bè - cọc sẽ được xem xét dựa trên phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Kết quả thu được: 1) đánh giá được hiệu quả của móng bè - cọc thông qua hệ số α_{CPRF} (tỷ số giữa tổng tải trọng tác dụng lên các cọc/tổng tải trọng của công trình); 2) chiều dài cọc, cách bố trí cọc ảnh hưởng đáng kể đến độ lún và hệ số α_{CPRF} ; 3) việc tổ hợp cọc với kích thước khác nhau có thể nâng cao khả năng chịu tải của móng.

Từ khóa: Móng hỗn hợp; móng bè - cọc; độ lún bè - cọc.

Abstract: In recent years, piled raft foundations have been recognised as an economical and effective foundation system for highrise and tall buildings in the world. This paper presents the theory and evaluation of combined piled raft foundations (CPRF) for design of high-rise buildings. The interaction between piles, raft, and subsoil system which is of a major importance in the behaviour of piled rafts is considered based on analysis the finite element methods. The result shows that: 1) The effectiveness of piled raft system through the CPRF coefficient (the ratio between the pile loads and total building load, α_{CPRF}) is evaluated; 2) The influences of pile length, pile layout to settlement and factor α_{CPRF} is significant; and 3) Variation of piles sizes can improve the performance of the foundation.

Keywords: Combined foundation; piled rafts Foundation; settlement.

Nhận ngày 25/6/2013, chỉnh sửa ngày 15/7/2013, chấp nhận đăng 30/9/2013



1. Giới thiệu

Lựa chọn giải pháp móng phù hợp cho công trình có ý nghĩa rất quan trọng. Trong đó, giải pháp móng bè - cọc là một giải pháp đã được áp dụng cho rất nhiều công trình nhà cao tầng trên thế giới [2],[3],[4],[5],[7]. Không giống như thiết kế móng cọc thông thường, cọc được thiết kế để chịu phần lớn tải trọng từ công trình, móng bè - cọc được thiết kế để phân phối tải trọng bên trên xuống nền đất dưới bè móng và cọc. Ưu điểm của kết cấu móng bè - cọc là: 1) phù hợp với điều kiện địa chất khi mà lớp cuội sỏi/đá gốc ở quá sâu; 2) phát huy tối đa khả năng chịu tải của bè móng; 3) giảm giá thành xây dựng. Nghiên cứu của Phung [1], Poulos [5],[6] và Katzenbach [7] cho thấy phần bè móng có thể tiếp nhận từ 30% - 60% tải trọng từ công trình trong điều kiện địa chất khác nhau.

Ở Việt Nam việc tính toán thiết kế móng bè - cọc chưa được xem xét kỹ, các thiết kế chưa đánh giá và phản ánh rõ vai trò của bè móng, đất và hệ thống cọc. Bên cạnh đó, thiết kế còn gặp nhiều khó khăn do thiếu các tiêu chuẩn làm cơ sở tính toán. Theo Poulos [8] một phân tích đầy đủ tương tác bè - cọc với nền đất cần thiết phải xét đầy đủ các yếu tố: sức chịu tải tới hạn của móng dưới tác động của tổ hợp tải trọng; ảnh hưởng các tác động có tính chất chu kỳ đến ứng xử của móng; độ lún tổng thể của móng; độ lún lệch

¹ThS, Khoa Xây dựng Cầu Đường. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: thanhson.geo@gmail.com

giữa các khối nhà và với công trình lân cận; ảnh hưởng giữa bè móng với cọc, giữa các cọc với nhau; ảnh hưởng của động đất bao gồm cả những trận động đất kích thích, khả năng hóa lỏng của đất và phản ứng động của kết cấu dưới tác động của tải trọng gió,...;

Với mục đích nghiên cứu ứng dụng móng bè - cọc trong điều kiện địa chất Việt Nam, bài báo trình bày phương pháp thiết kế bè - cọc trên cơ sở đánh giá một số yếu tố: chiều dài cọc, cách bố trí cọc tới hiệu quả phân phối tải trọng công trình lên cọc và bè.



2. Phương pháp tính toán móng bè - cọc

2.1 Hệ số CPRF

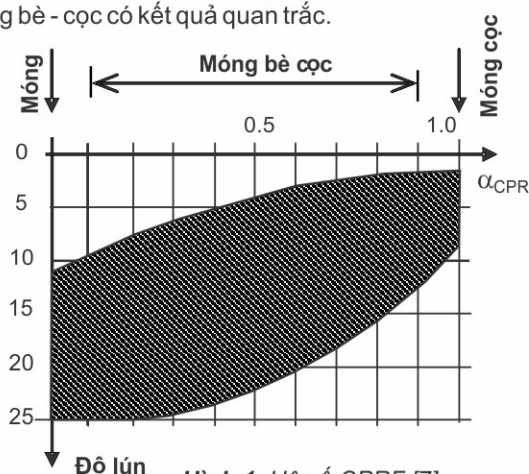
Một trong những yêu cầu chính khi thiết kế móng bè - cọc là phải đánh giá được sự phân phối tải trọng từ công trình lên cọc và bè. Theo độ cứng, tổng tải trọng thẳng đứng của công trình R_{total} truyền vào đất thông qua áp lực tiếp xúc dưới bè R_{raft} và cọc $\sum R_{pile,i}$. Sự phân phối của tổng tải trọng công trình lên bè móng và cọc được mô tả thông qua hệ số CPRF (α_{CPRF}).

$$R_{total} = R_{raft} + \sum R_{pile,i} \quad (1)$$

$$\alpha_{CPRF} = \frac{\sum R_{pile,i}}{R_{total}} \quad (2)$$

trong đó: $R_{pile,i}$ là tổng tải trọng truyền lên các cọc đơn trong toàn bộ đài và R_{total} là tổng khả năng chịu tải của móng.

Hình 1 và bảng 1 mô tả giá trị của α_{CPRF} theo nghiên cứu của Katzenbach [7] và tổng hợp một số công trình sử dụng giải pháp móng bè - cọc có kết quả quan trắc.



Hình 1. Hệ số CPRF [7]

Bảng 1. Tổng hợp một số công trình trên thế giới sử dụng giải pháp móng bè - cọc [1]

STT	Công trình	Chiều cao / tầng	% truyền tải		Độ lún lớn nhất s_{max} (mm)
			Cọc	Đài	
1	Messeturm, Frankfurt	256m, 60 tầng	57	43	144
2	Westend 1, Frankfurt	208m, 53 tầng	49	51	120
3	Petronas, Kuala Lumpur ^(PF)	450m, 88 tầng	85	15	40
4	QV1, Perth, West Australia	163m, 40 tầng	70	30	40
5	Treptower, Berlin	125m, 32 tầng	55	45	73
6	Sony Center, Berlin	103m	N.A.	N.A.	30
7	ICC, Hong Kong ^(PF)	490m, 118 tầng	70 ^(D)	30 ^(D)	N.A.
8	Commerzbank, Frankfurt ^(PF)	259m, 56 tầng	96	4	19
9	Skyper, Frankfurt	153m, 38 tầng	63	27	55

Ghi chú: PF) Giải pháp móng cọc; D) Phân phối tải theo tính toán; N.A.= Không có thông tin.

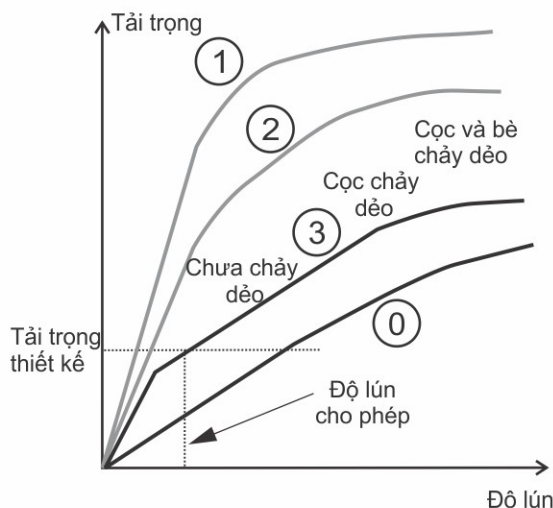
2.2 Các nguyên lý và phương pháp tính toán móng bè - cọc

Hiện nay ba nguyên lý chính trong thiết kế móng bè - cọc, Randolph [8], gồm:

Nguyên lý 1 (thông thường): Cọc được thiết kế để chịu phần lớn tải trọng của công trình. Sự tham gia làm việc của móng bè được xem xét trên khía cạnh móng bè làm tăng hệ số an toàn của hệ móng;

Nguyên lý 2 (cọc từ biến): Cọc thiết kế chịu 70 - 80% sức chịu tải giới hạn của cọc. Độ lún do biến dạng dẻo và từ biến của cọc chiếm một phần đáng kể trong tổng độ lún của móng cọc;

Nguyên lý 3 (kiểm soát độ lún lệch): Cọc được bố trí thích hợp theo tải trọng công trình nhằm giảm độ lún lệch.



Hình 2. Quan hệ tải trọng - lún theo các nguyên lý thiết kế

Hình 2 mô tả quan hệ giữa tải trọng và độ lún theo các nguyên lý thiết kế, trong đó: Đường 0 mô tả quan hệ tải trọng - lún của móng bè với độ lún lớn khi chịu tải trọng làm việc của công trình; Đường 1 mô tả toàn bộ tải của công trình được truyền lên móng cọc (quan hệ tải trọng - lún gần như là tuyến tính, công trình có độ lún nhỏ và hệ số an toàn cao); Đường 2 mô tả bè - cọc được thiết kế theo nguyên lý thứ hai, sức chịu tải của cọc được huy động ở mức cao và đất nền ở dưới đáy móng đã tham gia chịu tải và Đường 3 biểu diễn khả năng chịu tải của cọc được huy động đến mức tối đa. Quan hệ tải trọng - lún móng không còn là tuyến tính ngay ở cấp tải trọng làm việc của công trình. Độ lún của móng được khống chế bằng cách điều chỉnh số lượng cọc cho phù hợp.

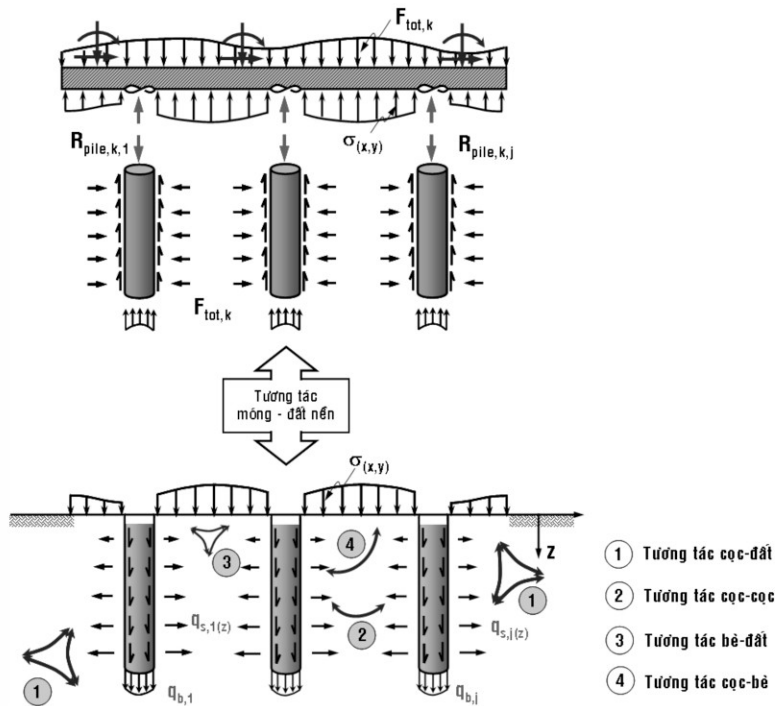
Phương pháp NPRD (Nonlinear analysis of combined Piled-Raft using DIN 4014) là phương pháp cho phép phân tích phi tuyến móng bè - cọc. Cơ sở lý thuyết của phương pháp là xác định độ cứng của cọc từ quan hệ tải trọng - lún của cọc. Độ cứng này sẽ được tính đến khi tính độ cứng của bè. Các lực tác dụng lên thân cọc và phản lực nền ở mũi cọc được xét một cách riêng rẽ. Hệ móng bè - cọc được giải theo vòng lặp cho đến khi đạt được sự tối ưu về độ lún của bè, các cọc và nền đất.

- Độ lún của bản thân các cọc được mô hình hoá, sử dụng quan hệ phi tuyến của đường cong tải trọng - lún lấy theo DIN 4014;

- Độ lún của các cọc do các tương tác cọc - cọc, cọc - bè, bè - đất được xác định bằng cách sử dụng các ma trận độ mềm, dựa trên lời giải của Mindlin;

- Sự tương thích giữa độ lún của các cọc, bè và đất nền được kiểm tra ở bề mặt tiếp xúc giữa cọc - bè - đất.

Hình 3 mô phỏng các tương tác giữa móng bê - cọc gồm: tương tác cọc - đất, cọc - cọc, bê - đất và cọc - bê.



Hình 3. Mô hình tương tác móng bê - cọc theo phương pháp NPRD



3. Xác định hệ số α_{CPRF}

3.1 Các mô hình CPRF đưa vào phân tích

Bê móng bê tông cốt thép có mặt bằng hình vuông với cạnh là 20m và dày 1,5m; sử dụng cọc khoan nhồi đường kính D1000. Tổng tải trọng công trình sau khi tổ hợp tải trọng được giả thiết quy về tải trọng phân bố đều có giá trị bằng 60 kN/m².

Bảng 2 và 3 mô tả địa chất, sức chịu tải dự tính theo các chiều dài cọc khác nhau.

Bảng 2. Chỉ tiêu cơ học của nền đất

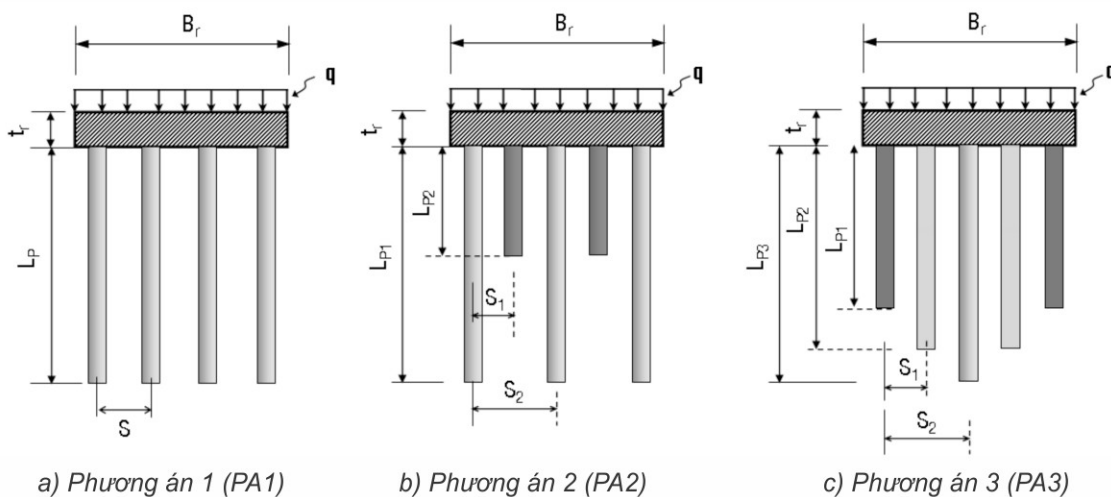
Lớp đất	Đặc điểm	h_i	N_{SPT}	γ	E	φ	ν
		[m]	-	[kN/m ³]	[MPa]	[°]	-
1	Cát mịn, chặt vừa	8,0	14	18	10	30	0,3
2	Cát hạt trung, chặt vừa	12,0	24	20	25	33	0,3
3	Cát thô lẫn sạn sỏi	-	42	20	35	38	0,3

trong đó: h_i là bề dày lớp đất thứ i ; N_{SPT} chỉ số xuyên tiêu chuẩn; γ là dung trọng tự nhiên; φ là góc ma sát trong của đất; E là mô đun đàn hồi của đất và mực nước ngầm được giả thiết ở rất sâu;

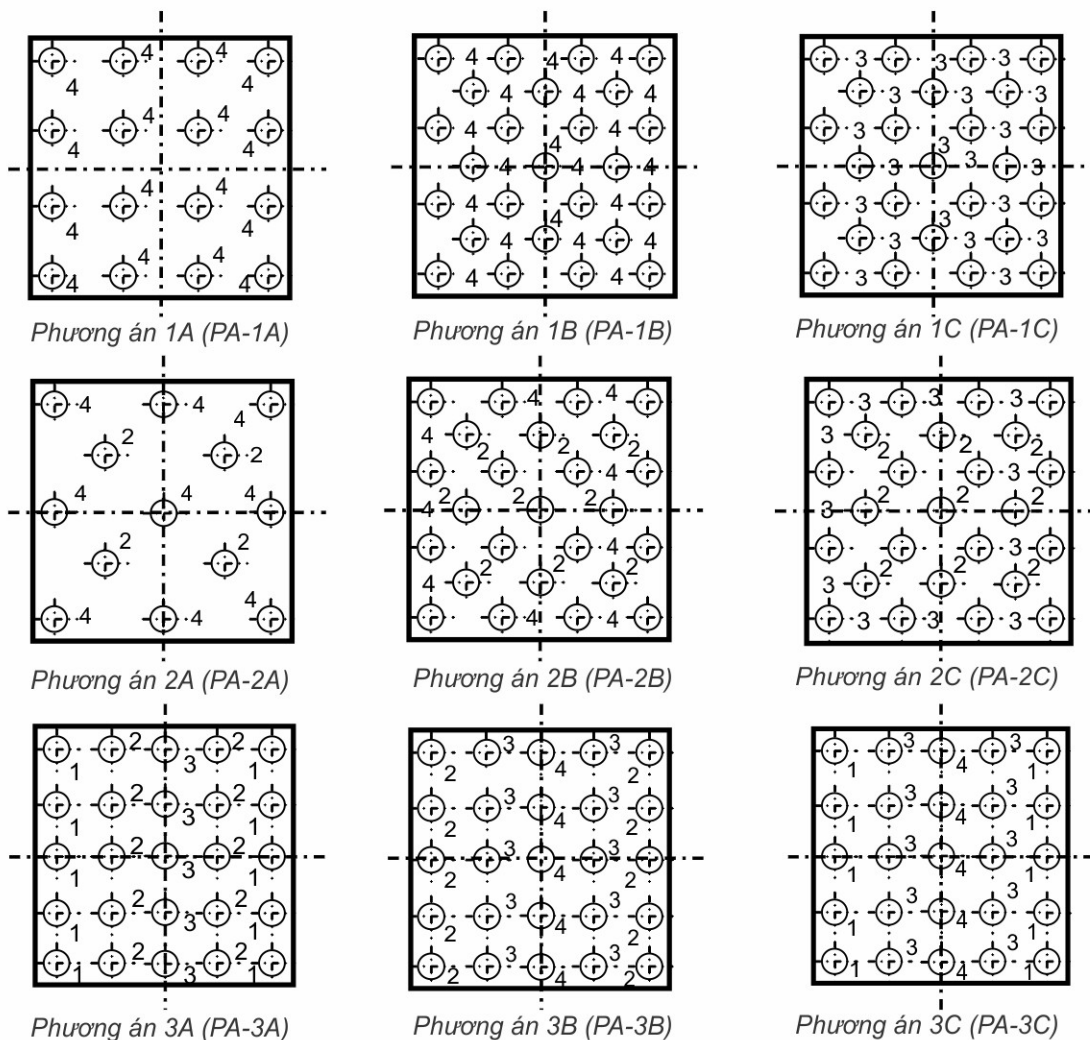
Bảng 3. Thông số chiều dài cọc và sức chịu tải tương ứng dùng trong phân tích

Cọc	Ký hiệu	L, [m]	Sức chịu tải cho phép, Tấn, ($F_s = 3$)	
			Nhật Bản	Meyerhoff
Loại 1	(1)	5	70	60
Loại 2	(2)	10	130	110
Loại 3	(3)	15	150	130
Loại 4	(4)	25	290	240

Hình 4 minh họa 3 loại phương án dùng để mô hình. Trong đó PA1 với mô hình chiều dài cọc không đổi; PA2 với chiều dài cọc thay đổi xen kẽ và PA3 với mô hình chiều dài cọc tăng dần tới tâm đài. Mỗi phương án lại được chia thành 3 kiểu bố trí cọc như trên mặt bằng hình 5.



Hình 4. Các phương án móng bê - cọc dùng phân tích



Hình 5. Bố trí cọc trong các phương án phân tích

3.2 Đánh giá hệ số CPRF

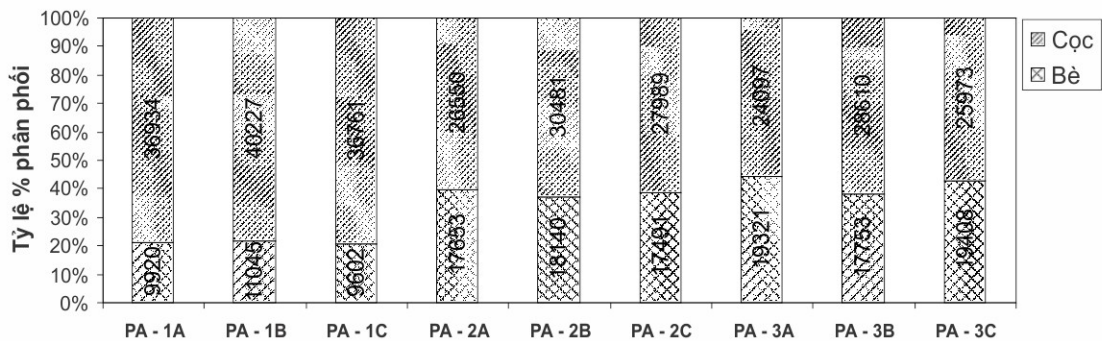
Quá trình phân tích dựa trên cơ sở lý thuyết phương pháp NPRD (phần mềm ELPLA 9.2). Kết quả phân tích chuyển vị đứng tại mặt cắt đi qua tâm móng và phân trăm tải trọng phân phối lên cọc-bè được tóm tắt trong Bảng 4.

Bảng 4. Tổng hợp kết quả phân tích hệ số CPRF

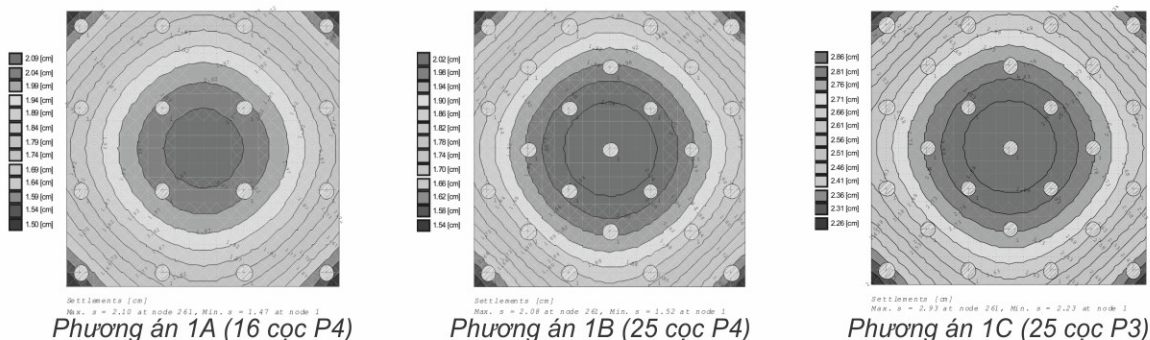
Phương án	Độ lún lớn nhất [mm]	Tải trọng và % phân phối lên cọc	Tải trọng và % phân phối lên bè	Hệ số, α_{CPRF}
Phương án 1A	21.0	36934 (78,8%)	9920 (21,2%)	0,79
Phương án 1B	20.8	40227 (78,5%)	11045 (21,5%)	0,78
Phương án 1C	29.3	36761 (79,3%)	9602 (20,7%)	0,79
Phương án 2A	19.2	26550 (60,1%)	17653 (39,9%)	0,60
Phương án 2B	<u>17.8</u>	30481 (62,7%)	18140 (37,3%)	0,63
Phương án 2C	25.1	27989 (61,5%)	17491 (38,5%)	0,62
Phương án 3A	31.1	24097 (55,5%)	19321 (44,5%)	0,56
Phương án 3B	21.6	28610 (61,7%)	17753 (38,3%)	0,62
Phương án 3C	25.1	25973 (57,2%)	19408 (42,8%)	0,57

Kết quả từ Bảng 4 cho thấy độ lún lớn nhất tại tâm móng phương án 1 là 29,3mm (PA-1C); và bè móng tiếp nhận khoảng 21% đến 29% tổng tải trọng từ công trình (hệ số $\alpha_{CPRF} = 0,79$). Phương án PA-2B cho kết quả độ lún bè - cọc là nhỏ nhất 17,8mm tương ứng hệ số phân phối $\alpha_{CPRF} = 0,63$ (bè móng tiếp nhận 37% tổng tải trọng của công trình). Phương án 3 cho kết quả độ hội tụ kém nhất. Vị trí lún lớn nhất nằm ở sát biên hàng cọc ngoài theo phương ngang, (lớn nhất là 31,1mm phương án 3A). Điều này được giải thích là do tính không đối xứng trong cách bố trí cọc dẫn đến khả năng chịu lực của móng theo hai phương là khác nhau (trong khi giả thiết tải trọng công trình là phân bố đều).

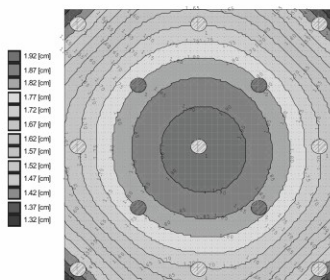
Hình 6 biểu diễn % tải trọng công trình phân phối lên cọc và bè. Hình 7, 8 và 9 biểu diễn đường đồng mức biến dạng của bè-móng cho 3 phương án phân tích: Phương án 1, phương án 2 và phương án 3.



Hình 6. Phần trăm (%) tải trọng công trình phân phối lên cọc và bè móng

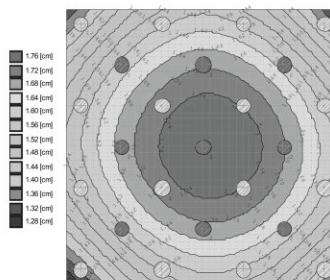


Hình 7. Kết quả phân tích chuyển vị bè - cọc phương án 1



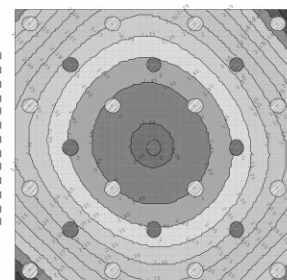
Settlements [cm]
Max. $s = 1.92$ at node 884, Min. $s = 1.50$ at node 1

Phương án 2A
(9 cọc P4 + 4 cọc P2)



Settlements [cm]
Max. $s = 1.78$ at node 922, Min. $s = 1.26$ at node 1

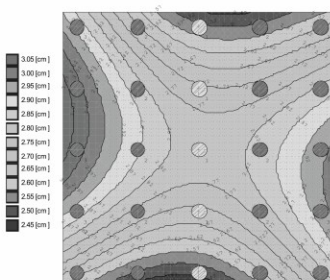
Phương án 2B
(16 cọc P4 + 9 cọc P2)



Settlements [cm]
Max. $s = 2.51$ at node 921, Min. $s = 1.90$ at node 3

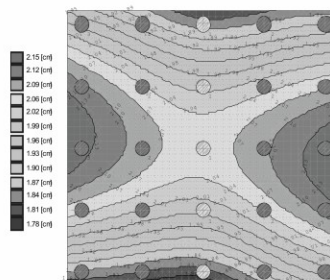
Phương án 2C
(16 cọc P3 + 9 cọc P2)

Hình 8 . Kết quả phân tích chuyển vị bề - cọc phương án 2



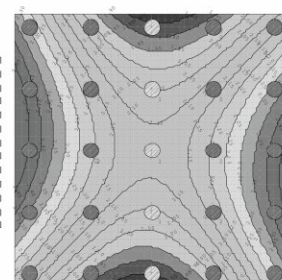
Settlements [cm]
Max. $s = 3.11$ at node 137, Min. $s = 2.42$ at node 21

Phương án 3A
(10 cọc P1 & P2 + 5 cọc P3)



Settlements [cm]
Max. $s = 2.16$ at node 61, Min. $s = 1.77$ at node 22

Phương án 3B
(10 cọc P2 & P3 + 5 cọc P4)



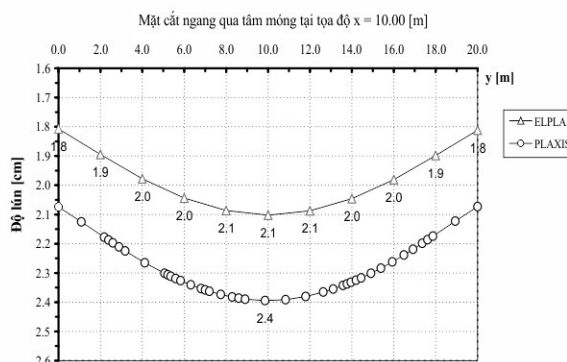
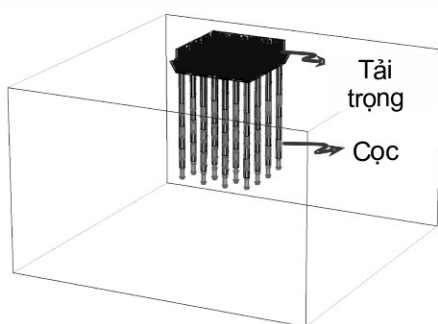
Settlements [cm]
Max. $s = 2.51$ at node 138, Min. $s = 1.80$ at node 23

Phương án 3C
(10 cọc P1 & P3 + 5 cọc P4)

Hình 9 . Kết quả phân tích chuyển vị bề - cọc phương án 3

3.3 So sánh kết quả

Thực hiện phân tích cho trường hợp PA-1A sử dụng chương trình Plaxis 3D Foundation. Trong đó ứng xử của nền đất sử dụng mô hình Mohr-Coulomb. Cọc và bề móng mô phỏng với ứng xử là đàn, hồi, tuyến tính. Mô hình và kết quả chuyển vị bề móng được thể hiện trong Hình 10.



Hình 10 . Mô hình bề - cọc và đồ thị kết quả so sánh chuyển vị phương án 1A

Kết quả cho thấy sự khác biệt về độ lún bề - cọc khi phân tích bằng Plaxis 3D là khá nhỏ, sai số 14% so với kết quả phân tích từ ELPLA. Tương tự, phản lực lớn nhất cọc tiếp nhận là 2288 kN, sai số 4,5% so với kết quả phân tích từ ELPLA. Sự sai khác này xuất phát từ cơ sở lý thuyết tính từ hai chương trình. Trong khi ELPLA mô phỏng tương tác giữa cọc-bề-đất dựa trên lời giải bài toán đàn hồi (Mindlin) thì Plaxis 3D sử dụng mô hình Mohr-Coulomb (mô hình đàn hồi dẻo lý tưởng) để mô phỏng các ứng xử của đất. Bảng 5 so sánh kết quả phân tích theo Plaxis 3D và Elpla.

Bảng 5. So sánh kết quả giữa phân tích bằng Plaxis 3D và Elpla

Tham số	Phương pháp phân tích				Sai số
	Elpla		Plaxis		%
	max	min	max	min	
Độ lún u_x , [mm]	21,0	14,7	23,94	16,98	13,8%
Phản lực đầu cọc lớn nhất, [kN]	2395		2288		4,5%
Lún lệch, ‰	0,445 ‰		0,492 ‰		10,5%



4. Kết luận

Bài báo đã trình bày phương pháp tính móng bè - cọc trên cơ sở đánh giá hệ số CPRF. Kết quả phân tích cho thấy sự phân phối tải trọng công trình lên bè - cọc phụ thuộc nhiều vào địa chất, chiều dài cọc và cách bố trí cọc. Hệ số phân phối α_{CPRF} theo tính toán dao động từ 0,57 đến 0,79. Căn cứ vào dạng tải trọng công trình, việc thiết kế móng bè - cọc với cùng một chiều dài cọc sẽ không phát huy được tối đa khả năng chịu lực của bè - cọc, hệ số $\alpha_{CPRF} = 0,79$. Trong khi đó, với thiết kế chiều dài cọc là khác nhau theo diện chịu tải, hệ số α_{CPRF} tính toán được 0,57 điều này có nghĩa bè đã tiếp nhận 43% tổng tải trọng từ công trình.

Thiết kế móng bè - cọc cần xem xét đầy đủ tương tác cọc-bè-đất. Cùng với việc ngày càng có nhiều nhà cao tầng ở Việt Nam được thiết kế sử dụng giải pháp móng bè - cọc đã đặt ra yêu cầu cần có nhiều nghiên cứu và hệ thống các tiêu chuẩn, quy phạm phục vụ cho các thiết kế trong thời gian tới.

Tài liệu tham khảo

1. Phung Duc Long (2010), "Piled Raft - A Cost-Effective Foundation Method for High- Rises". *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* Vol. 41 No.3 September 2010 ISSN 0046-5828.
2. Ahmad Abdelrazaq, Frances Badelow (2011), "Foundation Design of the 151 Story Incheon Tower in a Reclamation Area", *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* Vol 42 No.2 June 2011 ISSN 0046-5828.
3. Helen Sze Wai Chow, B.E, M.E., M.B.A (2007), *Analysis of Piled-Raft Foundations with Piles of Different Lengths and Diameters*, A thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Sydney.
4. Helmut F. Schweiger (2010), "Finite Element Analysis of Deep Foundations and Tunnels practical applications". *Alert Workshop 2010 - Session Engineering Geostructures*, Aussois.
5. H.G. Poulos (2001), "Methods of analysis of piled raft foundations", *Coffey Geosciences Pty. Ltd. & the University of Sydney, Australia*, pp. 3-9.
6. H.G. Poulos, J.C. Small and H.Chow (2011), "Piled Raft Foundations for Tall Buildings". *Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA* Vol 42 No.2 ISSN 0046-5828.
7. R. Katzenbach, G. Bachmann, G. Boled-Mekasha, H. Ramm (2005), *Combined Pile raft Foundations (CPRF): An appropriate solution for the foundations of high-rise buildings*. 2005/3 pages 19 - 29.
8. Y.C.Tan, C.M.Chow & S.S.Gue. "Piled raft with different pile length for medium-rise buildings on very soft clay". *Gue and partners Sdn Bhd, Kuala Lumpur, Malaysia*, pp. 1-4