

Nghiên cứu thực nghiệm về sự phân bố tải trọng của cọc trong móng bè cọc

Experimental research on axial load distribution on piles in pile raft foundation

> **VÕ VĂN ĐẤU^{1,2}, VÕ PHÁN¹, TRẦN VĂN TUẤN², TRẦN NHẬT LÂM²**

¹Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TP.HCM.

²Trường Bách khoa - Trường Đại học Cần Thơ,

Email: vvdau@ctu.edu.vn; vphan54@yahoo.com; tvantuan@ctu.edu.vn; tnham@ctu.edu.vn

TÓM TẮT:

Bài báo tập trung vào xác định sự chia tải trọng của cọc và bè trong hệ móng bè cọc dựa trên số lượng cọc, khoảng cách cọc và kích thước bè thay đổi trong móng bè cọc bằng thí nghiệm trên mô hình tỉ lệ nhỏ. Cọc có tiết diện tròn có đường kính 38mm, dài 1200mm, và khoảng cách giữa các tâm cọc lần lượt 2,5 và 5 lần đường kính. Số lượng cọc được bố trí trong móng bè với các trường hợp khảo sát lần lượt là 1, 4, và 9 cọc. Kích thước bè hình vuông lần lượt là 300 và 490mm. Phương pháp thí nghiệm xác định chia tải trọng của móng bè cọc dựa trên các thông số của đất trong phòng thí nghiệm. Kết quả cho thấy khi tải trọng tác dụng lên hệ móng bè cọc, cọc và bè có sự tương tác và cùng chia sẻ tải trọng. Đồng thời khi số lượng và khoảng cách cọc tăng thì tỉ lệ chia tải trọng của cọc và bè có sự thay đổi theo tỉ lệ nhất định.

Từ khóa: Bè cọc; chia tải; mô hình tỉ lệ nhỏ; phân bố tải trọng.

ABSTRACT:

The objective of this study is to determine the load distribution of a raft and piles in the pile-raft system based on the number of piles and pile spacing in the pile raft foundation by a small-scale model. The cylindrical model pile was 38 mm in diameter, 1200 mm long, and pile spacing was 2.5 and 5 times of pile diameter. The number of piles arranged in the raft foundation were 1, 4 and 9 piles. The square raft size was 300 and 490 mm, respectively. Experiment methods were used to determine the load distribution of pile groups with consideration of soil parameters in the laboratory. The results show that as the number of piles increases, the load distribution on the piles increases. In addition, as the pile spacing increases, the load distribution on the piles does not change much.

Keywords: Pile raft; axial load; small-scale model; load distribution

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Móng bè cọc đã được sử dụng nhiều cho các công trình xây dựng bởi vì cả hai khả năng chịu tải và giảm độ lún cũng như hạn chế khả năng lún lệch của các móng được cải thiện đáng kể, so với móng cọc thông thường. Katzenbach (2000) cho thấy nhiều ưu điểm của bè cọc và đưa ra một số ví dụ về các ứng dụng của bè cọc trên đất sét cứng. Hemsley (2000) chỉ ra việc sử dụng bè cọc cho các công trình trên các loại đất khác nhau. Nói chung, thiết kế kinh tế nhất của bè cọc được trình bày bởi Randolph (1994), Poulos (2001). Có nhiều phương pháp được đề xuất để phân tích móng bè cọc như nghiên cứu của Burland (1995) cho thấy một quy trình thiết kế đơn giản của bè cọc, trong đó các cọc được thiết kế để hoạt động như gia giảm độ lún; Horikoshi et al. (1999) phát triển một phương pháp để tính toán giải quyết tổng thể của bè cọc. Poulos (2000) và Poulos (2001a, 2001b) đã tổng hợp nhiều phương pháp tính toán đơn giản và phương pháp số để xuất cho thiết kế của bè cọc.

Trong các phương pháp thiết kế, móng bè cọc trở nên kinh tế vì sức chịu tải của bè và cọc được sử dụng đồng thời và hỗ trợ cho nhau. Tuy nhiên, các tiêu chuẩn thiết kế đối với móng bè cọc chưa được hình thành. Bởi lẽ, trong quá trình làm việc với các tải trọng khác nhau tác dụng lên hệ móng bè cọc cho ta sự phân bố tải trọng dọc trục trong cọc đơn cũng như của nhóm cọc sẽ khác nhau. Vì vậy

nghiên cứu sự chia tải trọng trong điều kiện đất cát của hệ móng bè cọc được thực hiện.

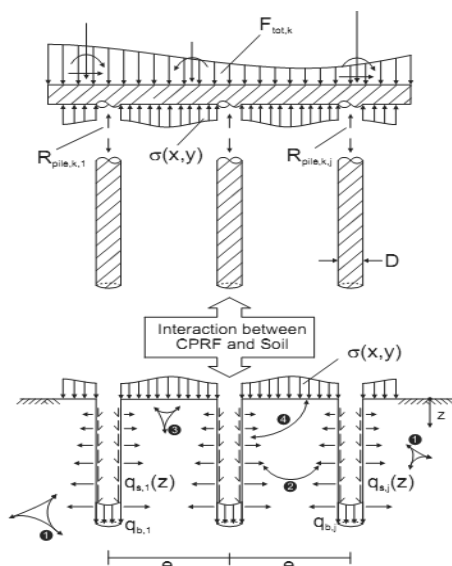
2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Phương pháp giải tích

Theo Katzenbach et al. (2000), trong móng bè cọc tồn tại 4 tương tác tương hỗ giữa đất và các kết cấu của móng (Hình 1):

- Tương tác giữa cọc - đất;
- Tương tác giữa cọc - cọc;
- Tương tác giữa bè - đất;
- Tương tác giữa bè - cọc.

Trên thế giới có rất nhiều phương pháp tính toán móng bè cọc. Tuy nhiên, năm 1997, Poulos chia các phương pháp phân tích tính toán móng bè cọc thành 3 nhóm: Phân tích tính toán đơn giản; Phân tích tính toán gần đúng bằng máy tính; và phương pháp tính toán chính xác bằng máy tính. Các phương pháp tính toán đơn giản bao gồm các tác giả: Poulos and Davis (1980)[9], Randolph (1983,1994)[12] (phương pháp PDR) và Burland (1995)[3]; Các phương pháp tính toán chính xác hơn bằng máy tính bao gồm: Phương pháp phần tử biên, trong đó bè và cọc là hệ riêng lẻ, sử dụng lý thuyết đàn hồi (Sinha, 1997)[13].



Hình 1: Tương tác giữa đất và cấu trúc móng bè cọc (Katzenbach et al., 2000)

Quan điểm thiết kế móng bè cọc:

Theo Poulos 2001, tác giả có 3 quan điểm thiết kế như sau:

(1) Tải trọng làm việc, cọc gánh tải trọng từ 35% đến 50% sức chịu tải cực hạn, quan hệ tải trọng và độ lún của cọc là tuyến tính. Tải trọng tác dụng lên móng gần như do cọc tiếp nhận.

(2) Bè được thiết kế tiếp nhận phần lớn tải trọng tác dụng lên móng, ở tải trọng làm việc, sức chịu tải của cọc được huy động từ 70% đến 100%. Quan hệ tải trọng - độ lún là phi tuyến, cọc được thiết kế với nhiệm vụ làm giảm độ lún của bè.

(3) Bè được thiết kế để gánh toàn bộ tải trọng lên móng, các cọc chỉ tiếp nhận 1 phần của tải trọng và cọc được bố trí nhằm để giảm lún lệch.

Để thay đổi các quan điểm chưa chính xác về móng bè - cọc, các chuyên gia cơ đất tìm cách đưa lý thuyết tính toán hệ thống móng này, trong đó nổi bật là Poulos & Davis (1980), Fleming và các cộng sự (1992)[4], Randolph (1994), Burland (1995), Katzenbach (1998)[7] và những nghiên cứu gần đây của Poulos (1994, 2001a, 2001b)[11]. Áp dụng phương trình Midlin của bán không gian đàn hồi vào trong bài toán móng bè - cọc và những thử nghiệm thực tế để phân tích bài toán, Poulos đã đưa ra một mô hình gần với thực tế. Mô hình này được sử dụng rộng rãi để xây dựng nhiều công trình và tiếp tục được phát triển trên thế giới.

Phương pháp Poulos - David - Randolph (PDR) về thiết kế móng bè cọc, móng được chia ra gồm 2 phần: bè và cọc

2.2. Phương pháp thực nghiệm

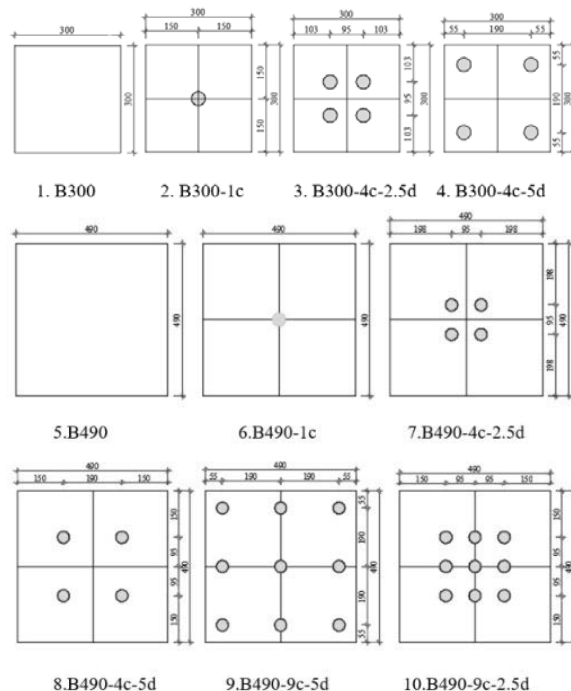
Nghiên cứu mô hình vật lý nhằm xác định sự phân bố tải trọng giữa bè và cọc trong móng bè cọc với các trường hợp kích thước bè, khoảng cách cọc cũng như số lượng cọc khác nhau được thiết lập trong mô hình vật lý (hình 2). Nghiên cứu thực hiện trên mô hình bè - cọc và bè không cọc nhằm xác định sự phân bố tải trọng của thành phần bè và thành phần cọc.

Mô hình được thực hiện trên vật liệu cát, khung thép chữ I dùng để lắp đặt thùng chứa vật liệu và kích thủy lực (hình 3). Thùng chứa vật liệu được làm bằng thép với bề dày tấm thép là 2.5 mm, kích thước lập phương 1.8x1.8x1.8 (m) với các sườn gia cố và các thanh thép hộp bao quanh thùng chứa vật liệu. Vải địa kỹ thuật được sử dụng bao quanh lòng của thùng chứa vật liệu tránh thoát cát và nước ra ngoài trong quá trình thí nghiệm mô hình vật lý (hình 4).

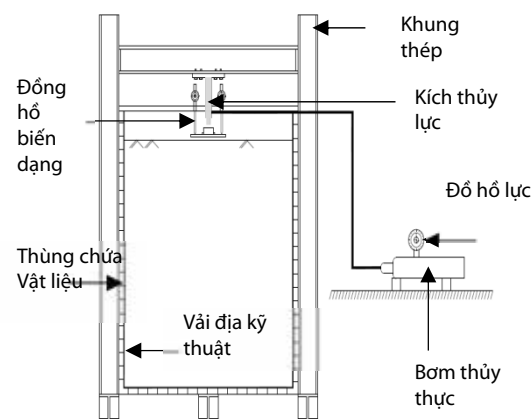
Cọc được thiết kế bằng hợp kim nhôm, hình trụ, có đường kính D= 38mm, dài 1.2m. Cọc được gia công ở đầu và mũi cọc bằng thép.

Bộ đo đặc quan trắc: đồng hồ đo chuyển vị với độ chính xác 0.01mm, hành trình tối đa là 50 mm.

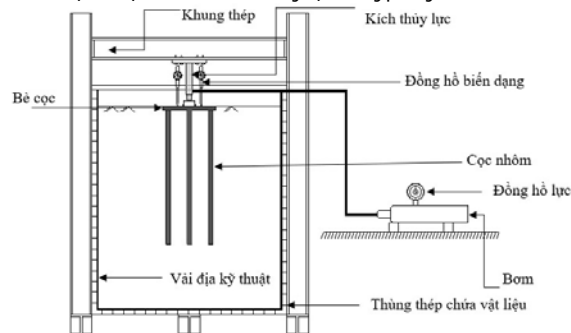
Vị trí đo biến dạng dọc theo thân cọc được gia công vào thân cọc với độ sâu 0.4mm, rộng 5mm, dài 50mm, vị trí này được vệ sinh sạch và phẳng để dán strain gaus đo biến dạng (hình 6).



Hình 2. Các trường hợp bố trí thí nghiệm móng bè cọc



Hình 3. Mặt cắt dọc mô hình bố trí thí nghiệm trong phòng



Hình 4. Mặt cắt dọc mô hình thí nghiệm nén bè 9 cọc



Hình 5. Xác định mô đun của cọc làm thí nghiệm



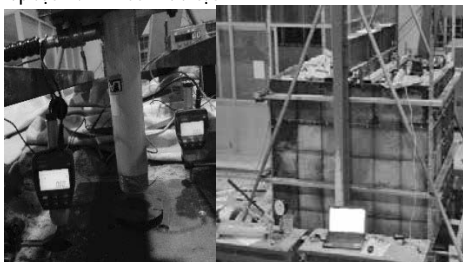
Hình 6. Dán strain gaus và làm nhám bề mặt cọc



Hình 7. Lắp đặt mô hình cọc đơn



Hình 8. Lắp đặt mô hình bệ 4 và 9 cọc



Hình 9. Lắp thiết bị đo đạc và thí nghiệm ghi nhận kết quả

Phân tích thí nghiệm từ kết quả đo biến dạng của cọc, từ giá trị biến dạng dọc trục thu được của các strain gauge, giá trị tải trọng phân bố của cọc tại các cao trình tương ứng, bằng công thức:

$$P_i = \Delta \mu \varepsilon_i \times E_p \times A_p \quad (11)$$

Với: E_p - Mô đun đàn hồi của vật liệu cọc; A_p - Diện tích tiết diện ngang của cọc; $\Delta \mu \varepsilon_i$ - Giá trị biến dạng dọc trục của cọc đo tại cao trình thứ i , xác định theo công thức (12):

$$\Delta \mu \varepsilon_i = R_0 - R_i^j \quad (12)$$

Trong đó: $R_0 (\mu \varepsilon)$ - Trị số biến dạng ban đầu tại cao trình thứ i ;

$R_i^j (\mu \varepsilon)$ - Trị số biến dạng tại cao trình thứ i ứng với cấp tải thứ j ;

Đối với thí nghiệm mô hình, giá trị mô đun trung bình của cọc nhôm là $E_p = 24000 \text{ MPa}$ (hình 5), cọc có đường kính $d = 38$, $A_p = 0.00113 \text{ m}^2$

2.3. Phương pháp phần tử hữu hạn

Phương pháp phần tử hữu hạn trong phân tích ứng suất - biến dạng móng bệ cọc là một trong những phương pháp hiện đại được ứng dụng nhiều với độ tin cậy cao (Bhartiya và c.s. 2020[2]). Kết quả nghiên cứu cho thấy hình dạng hình học của bệ không ảnh hưởng nhiều đến kết quả phân bố ứng suất của hệ, biến dạng của bệ tăng với sự tăng của khoảng cách cọc và giảm với sự tăng của kích thước và chiều dài cọc, nghiên cứu cho thấy với sự tăng của khoảng cách cọc đến giá trị bằng 6 lần đường kính cọc thì ứng xử sức chịu tải của hệ bệ cọc tương tự như của bệ. Bề dày cọc có ảnh hưởng đến độ lún không đều của cọc trong bệ.

Phần mềm thuật toán thương mại Plaxis được dùng để mô phỏng phân tích các bài toán địa kỹ thuật bằng nhiều loại mô hình khác nhau như: Mô hình Linear Elastic, Mohr - Coulomb, Hardening - Soil, Soft Soil model, Soft Soil creep. Mỗi mô hình toán sẽ phù hợp với những loại đất nền khác nhau để mô tả ứng xử, mối quan hệ tương hỗ giữa bệ, cọc và đất nền trong việc phân bố tải trọng của móng bệ cọc [8].

Bảng 2. Thông số dùng mô phỏng móng bệ - cọc (mô hình Hardening soil)

Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Ứng xử của nền đất	Type		Hardening soil
Ứng xử của vật liệu			drained
Chiều dày lớp đất		m	1.8
Dung trọng riêng tự nhiên	γ_{unsat}	kN/m ³	18.62
Dung trọng riêng bão hòa	γ_{sat}	kN/m ³	18.75
Lực dính đơn vị	c	kN/m ²	5.5
Góc ma sát trong	ϕ	độ (°)	32
Hệ số poisson	ν	-	0.3
Góc giãn nở	ψ	độ (°)	2
Mô đun cắt tuyến tham chiếu	E_{50}^{ref}	kN/m ²	50.000
Mô đun dãn tải tham chiếu	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	kN/m ²	150.000
Hệ số thẩm ngang	K_x	cm/s	10^{-3}
Hệ số thẩm đứng	K_y	cm/s	10^{-3}

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Dựa vào lý thuyết PDR, tính toán phân bố tải trọng của móng bệ cọc cho bệ 1, 4, 9, 16, 25 cọc, theo khoảng cách cọc 2,5d và 5d.

Bảng 3. Tải trọng phân bố lên cọc theo phương pháp PDR, %.

Số lượng cọc	1	4	9	16	25
2.5d, %	8.5	30.1	50.3	71.3	87
5d, %	8.5	31.5	57.3	67.34	73.24

Thông số đất nền và cọc trong mô phỏng bằng phần mềm Plaxis 3D sử dụng như trong mô hình thí nghiệm vật lý được trình bày ở bảng 2.

Bảng 4. Kết quả tải trọng phân bố lên cọc bằng mô hình Plaxis 3D từ 1,4, 9, 16, 25 cọc

Khoảng cách cọc	Phần trăm cọc gánh, %	
	2.5d	5d
Bệ 1 cọc	7.3	7.3
Bệ 4 cọc	38.07	38.83
Bệ 9 cọc	63.9	65.17
Bệ 16 cọc	77.92	79.47
Bệ 25 cọc	91.31	88.90

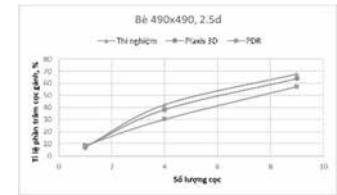
Qui trình gia tải nền tính cọc trong mô hình dựa vào TCVN 9393: 2012 [1], kết quả được tổng hợp tại bảng 5 và bảng 6.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm phân bố tải trọng của cọc với khoảng cách cọc 2.5d

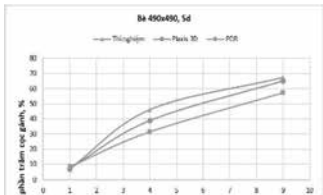
Cấp tải, MPa	Tỉ lệ phần trăm cọc gánh,%		
	Bè 1 cọc	Bè 4 cọc	Bè 9 cọc
1.6	7.22	23.66	29.46
3.2	10.35	38.38	48.69
4.8	10.70	42.19	57.29
6.4	9.40	42.51	61.51
8	8.46	42.74	63.32
9.6	8.08	42.08	65.06
11.2	7.82	42.15	65.94
12.8	7.45	42.34	67.53
14.4	7.14	42.12	67.62

Bảng 6. Kết quả thí nghiệm phân bố tải trọng của cọc với khoảng cách cọc 5d

Cấp tải, MPa	Tỉ lệ phần trăm cọc gánh,%		
	Bè 1 cọc	Bè 4 cọc	Bè 9 cọc
1.6	7.22	46.08	66.25
3.2	10.35	41.76	66.77
4.8	10.70	42.19	65.59
6.4	9.40	42.51	64.60
8	8.46	42.74	64.13
9.6	8.08	42.08	64.60
11.2	7.82	42.15	65.58
12.8	7.45	42.34	67.07
14.4	7.14	46.08	67.28



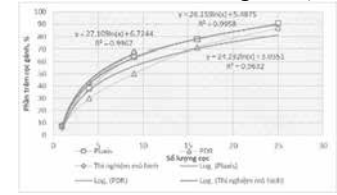
Hình 10. Biểu đồ quan hệ giữa % hệ cọc gánh số lượng đến 9 cọc từ thí nghiệm và khoảng cách cọc 2.5d.



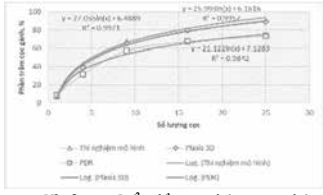
Hình 11. Biểu đồ quan hệ giữa % hệ cọc gánh số lượng đến 9 cọc từ thí nghiệm và khoảng cách cọc 5d (bảng 4-bảng 6)

Kết quả tính toán với 3 phương pháp đối với bè có kích thước 490x490 mm, từ 1,4,9 cọc, khoảng cách cọc 2.5d (hình 10), 5d (hình 11), khi khoảng cách cọc thay đổi đến 5d, phương pháp thí nghiệm hội tụ về phương pháp mô phỏng bằng Plaxis 3D.

Khi tính toán bằng phương pháp PDR và Plaxis 3D đến 25 cọc (hình 12) cho thấy rằng, đường cong trong thí nghiệm mô hình đến 9 cọc có xu hướng tăng theo số lượng cọc. Tuy nhiên khi khoảng cách cọc tăng đến 5d (hình 13) thì tải trọng phân bố lên cọc của phương pháp thí nghiệm mô hình có cùng xu hướng với Plaxis 3D và PDR nhưng có trị số cao hơn.



Hình 12. Biểu đồ quan hệ giữa % hệ cọc gánh số lượng cọc từ thí nghiệm và khoảng cách cọc 2.5d



Hình 13. Biểu đồ quan hệ giữa % hệ cọc gánh số lượng cọc từ thí nghiệm và khoảng cách cọc 5d.

4. KẾT LUẬN

Tải trọng tác dụng lên hệ móng bè cọc được chia cho cả bè và cọc, tải trọng được phân bố lên cọc tăng khi số lượng cọc tăng. Đối với 3 phương pháp: phương pháp giải tích, phương pháp thí nghiệm và mô phỏng Plaxis 3D có tải trọng phân bố lên cọc theo tỉ lệ tăng có xu hướng giống nhau.

Tải trọng phân bố lên cọc khi số lượng cọc tăng của phương pháp thí nghiệm trên mô hình tuân theo phương trình $y = 27.109\ln(x) + 6.7244$ đối với khoảng cách cọc là 2.5d. Khi khoảng cách cọc là 5d phương pháp thí nghiệm trên mô hình theo quy luật của phương trình $y = 27.055\ln(x) + 6.4889$ với x là số lượng cọc, y: tải trọng phân bố lên cọc.

Bảng mô hình tỉ lệ nhỏ với tính chất cơ lý của đất nền ở điều kiện cụ thể, kết quả chỉ ra rằng khi số lượng cọc tăng tải trọng phân bố lên cọc tăng. Tuy nhiên khoảng cách cọc tăng, sự phân bố tải lên cọc không thay đổi lớn, điều này phù hợp và có xu hướng giống nhau của 2 phương pháp giải tích và phương pháp phần tử hữu hạn.

Kết quả nghiên cứu này là cơ sở để các nhà thiết kế móng bè cọc lựa chọn số lượng cọc và khoảng cách cọc sao cho phù hợp và kinh tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1.TCVN 9393: 2012 (2012). Cọc - Phương pháp thử hiện trường bằng tải trọng tĩnh ép dọc trục. NXB Xây dựng, Hà nội.
- 2.Bhartiya, Priyanka, Tanusree Chakraborty, Dipanjan Basu, và M Asce. 2020. "Settlement Estimation of Piled Rafts for Initial Design". 146(2): 1-17
- 3.Burland, J.B. (1995). Piles as settlement reducers. Keynote Address, 18th Italian Congress on Soil Mechanics. Pavia, Italy
- 4.Fleming, W. G. K., et al. (1992). Piling Engineering. 2nd Ed. Blackie A & P, John Wiley & Sons, Inc.
- 5.Hemsley, J. A. (2000). Developments in raft analysis and design. Design applications of raft foundations. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, 487–605.
- 6.Horikoshi K., Randolph M. F. (1997). "On the definition of raft - soil stiffness ratio for rectangular rafts"; Geotechnique, Vol.47; No 5; page 1055 - 1061;
- 7.Katzenbach, R., Arslan, U., and Moormann, C. (2000). Piled raft foundations projects in Germany. Design applications of raft foundations. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, 323–392.
- 8.PLAXIS 3D Manual 2018
- 9.Poulos, H. G. and Davis, E. H. (1980). Pile foundation analysis and design. New York: John Wiley
- 10.Poulos, H. G. (2000). Practical design procedures for piled raft foundations. Design applications of raft foundations. Hemsley J. A., editor, Thomas Telford, London, 425-467.
- 11.Poulos, H. G. (2001a). Methods of analysis of piled raft foundations. A report prepared on behalf of technical committee TC18 on piled foundations. ISSMGE.
- 12.Randolph, M. F. (1994). Design methods for pile groups and piled rafts. State of the Art Rep., Proc., 13th ICSMFE, Vol. 5, 61-8.
- 13.Sinha, J. (1997). Piled raft foundations subjected to swelling and shrinking soils. PhD Thesis, Univ. of Sydney, Australia.