

# Phân tích ảnh hưởng của số lượng và khoảng cách cọc đến hiệu ứng nhóm trong móng cọc đài thấp

## Analysis of Influence of Quantity and Spacing of Piles on Group Effects in Low-rise Pile Foundations

> TS NGUYỄN NGỌC THẮNG<sup>1\*</sup>, THS THỊNH VĂN THANH<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bộ môn XDDD và CN, Trường Đại học Thủy lợi

<sup>2</sup>Khoa Công trình, Trường Sĩ quan Công binh

\*Email: [thangnn@tlu.edu.vn](mailto:thangnn@tlu.edu.vn), [thanhz756@gmail.com](mailto:thanhz756@gmail.com)

### TÓM TẮT

Trong kết cấu móng cọc, khi cọc bố trí gần nhau chúng tác động ảnh hưởng qua lại thông qua tương tác cọc với đất, sự truyền tải của cả nhóm cọc xuống đất cũng khác nhiều so với cọc đơn, gây ra ảnh hưởng tới sức chịu tải của nhóm cọc. Hiệu ứng do tác động qua lại giữa các cọc trong một nhóm được gọi chung là "hiệu ứng nhóm". Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu và phân tích hiệu ứng tương tác các cọc trong nhóm cọc móng cọc đài thấp chịu tải trọng nén tĩnh. Nghiên cứu chỉ ra rằng khoảng cách cọc và số lượng cọc trong một đài ảnh hưởng khá rõ tới độ lớn của ứng suất trong các vùng chồng lấn làm thay đổi hiệu ứng nhóm trong một đài cọc. Khi tăng khoảng cách cọc, hệ số ảnh hưởng nhóm giảm đi nhưng điều này sẽ gây bất lợi cho khả năng chịu lực của đài cọc, nhất là các dạng đài đơn dưới các cột của công trình, dẫn đến sự phân phối các lực tác dụng vào đầu cọc trong nhóm không đồng đều. Ngoài ra ảnh hưởng của cách bố trí cọc cũng cần được xét đến.

**Từ khóa:** Cọc đơn; nhóm cọc; móng cọc đài thấp; hệ số nhóm; khoảng cách cọc.

### ABSTRACT

In pile foundation structures, when piles are arranged closely, they interact with each other through the pile-soil interaction, and the load transmission of the entire pile group to the soil is different from that of individual piles, resulting in an impact on the load-bearing capacity of the pile group. The collective effects of the interaction among piles in a group are commonly referred to as "group effects". This paper presents the research findings and analysis of the interaction effects of piles in a shallow pile foundation system under static compression loads. The study indicates that the pile spacing and the number of piles in a group significantly affect the magnitude of stresses in the overlapping regions, thus altering the group effects in a pile group. Increasing the pile spacing reduces the group influence factor, but this can be disadvantageous for the load-bearing capacity of the pile group, especially for single pile foundations beneath structural columns, leading to uneven distribution of forces acting on the pile heads in the group. Additionally, the arrangement of piles also needs to be considered for its influence.

**Keywords:** Single pile; group of piles; low-rise pile foundation; pile group effect; Pile spacing.

### 1. GIỚI THIỆU

Móng cọc bê tông cốt thép (BTCT) là một trong những giải pháp móng được sử dụng rộng rãi cho công trình dân dụng nhiều tầng hoặc nhà công nghiệp có tải trọng lớn. Cọc BTCT có khả năng chống được sự xâm thực và truyền tải trọng từ công trình xuống các lớp đất dưới và xung quanh. Cọc được hạ xuống bằng phương pháp đóng hoặc ép (cọc tiên chế) xuống các tầng đất sâu hoặc cọc khoan tạo lỗ đổ bê tông tại chỗ (cọc khoan nhồi) và nhờ đó làm tăng khả năng chịu tải trọng cho móng [1, 2]. Minh họa trong hình vẽ 1 một số loại cọc BTCT tiên chế thường dùng hiện nay và hình vẽ 2 minh họa chi tiết các bước

thi công cọc khoan nhồi. Để chịu được tải trọng lớn, móng cọc thường được cấu tạo bởi một nhóm cọc. Tuy nhiên khi khoảng cách giữa các cọc không đủ lớn sẽ hình thành trong vùng đất xung quanh các cọc hiện tượng chồng ứng suất chống cắt do ma sát bên và do sức chống mũi của các cọc gây ra. Thông thường, sự làm việc của các cọc trong nhóm khác với khi làm việc như khi là cọc đơn. Kết quả nghiên cứu theo [3, 4] đối với nhóm cọc chịu tải trọng đứng dự đoán sức chịu tải của nhóm cọc giảm đi đáng kể so với khi không xét hiệu ứng nhóm. Do đó tính toán số lượng cọc trong một nhóm (đài cọc, băng cọc, bè cọc) cần quan tâm tới hệ số giảm này.

Để tính ảnh hưởng của làm việc nhóm đến sức chịu tải tổng của nhóm cọc, Tiêu chuẩn thiết kế Móng cọc [5] đưa ra chỉ dẫn tính toán hệ số ảnh hưởng k. Khi đó sức chịu tải cực hạn của nhóm sẽ là  $(P_u)_{nhóm} = k.n.(P_u)_{đơn}$ . Với cọc đóng hoặc ép vào đất hạt thô rời hoặc chặt vừa, đất sẽ chặt lên, do đó cải thiện được SCT từng cọc, khi đó lấy  $k = 1$ ; Cọc đóng hoặc ép vào đất dính, cấu trúc hạt bị xáo động, SCT giảm nhiều, sau một thời gian cọc nghỉ, sức kháng cắt sẽ phục hồi nhưng khó đạt 100%, vì vậy lấy  $k = 0.8 - 0.9$ . Nhóm cọc nhỏ, quá trình khoan làm cho đất xung quanh cọc rời rạc, làm giảm SCT của bản thân cọc đang khoan và cọc lân cận; quá trình nhồi bê tông làm đất chặt hơn nhưng không đáng kể, do đó, lấy  $k = 0.65 - 0.75$  với đất rời và  $k = 0.7 - 0.8$  với đất dính.



Hình 1. Móng cọc bê tông cốt thép tiên chế [1, 2]



Hình 2. Móng cọc khoan nhồi bê tông cốt thép [4]

## 2. HIỆU ỨNG NHÓM CỌC VÀ ẢNH HƯỞNG CỦA HIỆU ỨNG NHÓM CỌC

### 2.1. Khái niệm về hiệu ứng nhóm cọc

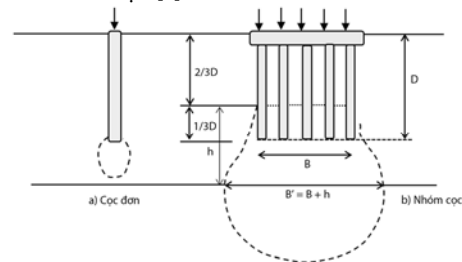
Khi cọc bố trí gần nhau chúng tác động ảnh hưởng qua lại thông qua tương tác cọc với đất, sự truyền tải của cả nhóm cọc xuống đất cũng khác nhiều so với cọc đơn, gây ra ảnh hưởng tới sức chịu tải của nhóm cọc. Hiệu ứng do tác động qua lại giữa các cọc trong một nhóm này được gọi là "hiệu ứng nhóm" [6- 9]. Theo [9], cọc trong một nhóm xảy ra hai hiệu ứng sau: Thứ nhất, làm thay đổi (chủ yếu là giảm) sức chịu tải cả nhóm so với tổng sức chịu tải các cọc thành phần; thứ hai, "Hiệu ứng bề" làm tăng vùng truyền ứng suất. Kết quả dẫn đến độ lún của nhóm cọc lớn hơn nhiều so với cọc đơn, đặc biệt khi có lớp đất yếu nằm gần mũi cọc. Do đó, khi phân tích nhóm cọc cần kiểm tra độ an toàn ở giới hạn phá hoại (sức chịu tải cho phép nhóm cọc) và độ lún nhóm cọc. Mặt khác kết quả thí nghiệm thử tải cọc [4] cho thấy trong một nhóm cọc, sức chịu tải của cọc thành phần tại vị trí khác nhau là khác nhau.

### 2.2. Ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm cọc

Như đã nêu, khi khoảng cách giữa các cọc không đủ lớn sẽ hình thành trong vùng đất xung quanh các cọc hiện tượng chống ứng suất, hình vẽ 3 [6]. Hiện tượng chống ứng suất làm suy giảm ma sát giữa cọc, đất và sức chống mũi của cọc dẫn đến giảm khả năng chịu lực và tăng chuyển vị của nhóm cọc so với cọc đơn. Độ lớn ứng suất trong vùng chống ứng suất này phụ thuộc vào nhiều yếu tố như khoảng cách, chiều dài, hình dạng và số lượng cọc. Ngoài ra, tải trọng tác dụng vào nhóm cọc và tính chất của nền đất xung quanh cũng sẽ chi phối phạm vi vùng ứng suất chống này.

Để xét đến ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm cọc chịu tải trọng dọc trục, người ta thường sử dụng hai thông số là: Hệ số nhóm cọc (k): Kể đến sự giảm sức chịu tải của nhóm cọc so với tổng sức chịu tải của từng cọc đơn làm việc riêng lẻ; và tỷ số độ lún ( $R_s$ ): Kể đến sự gia tăng chuyển vị đứng (độ lún) của nhóm cọc so với cọc đơn làm việc trong điều kiện tương đương. Để giảm ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm có thể bố trí gia tăng các khoảng cách cọc nhằm giảm độ lớn của ứng suất trong các vùng chống lún. Tuy nhiên điều này sẽ gây bất lợi cho khả năng chịu lực

của đài cọc (nhất là các dạng đài đơn dưới các cột của công trình). Nhóm cọc có thể bị phá hoại dưới tác dụng của tải trọng trung bình trên một cọc nhỏ hơn tải trọng phá hoại của cọc đơn. Khả năng chịu tải của nhóm cọc có thể được xác định bằng việc xem xét sự phá hoại dọc theo chu vi của nhóm cọc. Khả năng chịu tải của nhóm cọc ma sát trong đất là nhỏ hơn của 2 giá trị sau: Tổng tải trọng phá hoại của từng cọc; Tải trọng khi xét hoạt động của nhóm và sự phá hoại của cả nhóm như một trục dọc theo chu vi của nhóm cọc. [8].



Hình 3: Tương tác cọc - đất cho các trường hợp cọc đơn và nhóm cọc [6]

## 3. KHẢ NĂNG CHỊU LỰC CỦA NHÓM CỌC

### 3.1. Khả năng chịu nén của nhóm cọc trong đất rời

Trong tính toán kết cấu móng cọc hiện nay, chưa có một lý thuyết phù hợp được chấp nhận để xác định sức chịu tải (SCT) của nhóm cọc trong đất không dính, giả thiết tính toán bằng tổng tải trọng tập trung cực hạn của cọc đơn được xác định theo:

$$(Q_p)_G = n \cdot Q_p \quad (1)$$

$(Q_p)_G$ : tải trọng tập trung cực hạn của nhóm cọc

$(Q_p)$ : tải trọng tập trung cực hạn của cọc đơn

n: số lượng cọc.

Tính toán SCT nhóm cọc theo công thức này chỉ dùng được cho trường hợp nhóm cọc mà khoảng cách giữa tâm các cọc lớn hơn 3 lần đường kính cọc [5]. Các nghiên cứu về sự làm việc của cọc trong nhóm đã chỉ ra rằng, lực ma sát bên cực hạn của nhóm cọc có thể lớn hơn tổng lực ma sát bên của các cọc đơn do vùng đất nhỏ xung quanh cọc tăng độ chặt và có lực nén ngang [7]. Tuy vậy rất khó xác định chính xác (định lượng) được độ tăng của lực ma sát này. Mức độ gia tăng ma sát bên cực hạn của nhóm cọc có thể sử dụng các thí nghiệm hiện trường, điều đó cho thấy khả năng chịu tải cực hạn của nhóm cọc trong đất không dính tối thiểu cũng phải bằng khả năng chịu tải của các cọc thành phần, trừ trường hợp cọc trong nền đất chặt không dính trên lớp mỏng trầm tích yếu [8].

### 3.2. Khả năng chịu nén của nhóm cọc trong đất dính

Khác với đất rời, khi cọc trong đất dính nhóm gồm n cọc, nếu  $(Q_v)_{ult}$  là khả năng chịu tải cực hạn của cọc đơn và  $(Q_{vG})_{ult}$  là khả năng chịu tải cực hạn của nhóm cọc trong đất dính có:

$$(Q_v)_{ult} \neq n \cdot (Q_{vG})_{ult} \quad (2)$$

Terzaghi và Peck [7] và Meyerhof [8] chỉ ra rằng tải trọng cực hạn của nhóm cọc nhỏ hơn tổng khả năng chịu tải cực hạn của cọc đơn là do hiệu ứng nhóm cọc. Sự phá hoại khối của nhóm cọc do đứt lên tới mặt đất dọc theo chu vi tường tượng và chống ở đáy. Khả năng chịu tải cực hạn nhóm cọc trong đất dính cho trường hợp phá hoại của nhóm cọc được lấy như sau:

$$(Q_v)_{ult} = c_u N_c (b)^2 + 4c_u (b) L_e \quad (3)$$

Khi khoảng cách các cọc lớn, lớn hơn 6 lần kích thước cọc, giả thiết xem như không có sự tương tác trong nhóm, lực tổng cộng của cả nhóm có thể lấy bằng n lần lực của cọc đơn, tương tự như cọc trong đất rời, hiệu ứng nhóm không xét đến. Nếu như các cọc đặt đủ gần nhau thì tải trọng của nhóm sẽ nhỏ hơn so với tổng khả năng chịu tải của từng cọc đơn.

$$(Q_v)_{ult} = n \cdot (Q_{vG})_{ult} \quad (4)$$

### 3.3. Khả năng chịu kéo của nhóm cọc trong đất rời

Điều kiện giới hạn cực hạn của nhóm cọc trong đất có ma sát là khối đất quanh nhóm cọc bị nâng lên. Kích thước chính xác và hình dạng của khối đất này phụ thuộc vào lực kéo và cách truyền lực kéo từ cọc vào đất [9]. Đây là một cơ chế phức tạp và phụ thuộc vào các yếu tố như phương pháp hạ cọc, các đặc trưng của cọc, các đặc trưng cơ lý của đất. Một phương pháp đơn giản để đánh giá sức chống trả lực kéo của nhóm cọc trong đất không dính là sử dụng giá trị thấp hơn trong hai giá trị (theo công thức (5) và (6)) như sau:

Đánh giá lực kháng kéo cho phép của cọc đơn, rồi sau đó nhân với số lượng cọc, n, trong nhóm theo biểu thức:

$$(P_G)_{all} = n \cdot P_{all} \quad (5)$$

Tính toán trọng lượng hiệu quả của khối đất hình thang kể từ đáy tới đỉnh cọc có mặt nghiêng 75° so với phương ngang. Trọng lượng hiệu quả của khối đất bằng với trọng lượng hiệu quả của khối đất giới hạn bởi các tọa độ (xy<sub>x1</sub>y<sub>1</sub>), xác định theo:

$$G = \left( \frac{1}{3} A_1 h - \frac{1}{3} A_2 h_2 \right) \gamma' \quad (6)$$

$$A_1 = (b' + 2h_1 \tan 15^\circ)^2; A_2 = b'^2; h = h_1 + h_2;$$

$\gamma'$ : trọng lượng riêng của đất.

### 3.4. Khả năng chịu kéo của nhóm cọc trong đất dính

Trong tiêu chuẩn thiết kế móng cọc [5], nhóm cọc làm việc trong đất dính chịu ảnh hưởng của ma sát giữa cọc và đất khá rõ rệt, sức chịu tải của nhóm cọc trong đất dính được đánh giá qua việc sử dụng giá trị thấp hơn trong (theo công thức (7) và (8)) như sau:

Khả năng chịu kéo cho phép của nhóm cọc xác định bởi:

$$(P_G)_{all} = n \cdot P_{all} \quad (7)$$

Khả năng chịu kéo cho phép của nhóm cọc là sức chống nâng lên của khối đất bao quanh nhóm cọc, tính theo:

$$(P_G)_{all} = \frac{1}{F_s} \left[ 2(\bar{b} + \bar{l}) L_e c_u \right] W_s \quad (8)$$

Trong đó:

$W_s$ : Trọng lượng của khối đất trong nhóm cọc, xác định bởi (9):

$$W_s = (\bar{b} + \bar{l}) L_e \gamma' \quad (9)$$

Với:

$L_e$ : chiều dài cọc thông thường, khi tính ta loại trừ vùng biến đổi theo mùa;

$\gamma'$ : trọng lượng riêng của đất (trọng lượng tổng cộng trên mực nước ngầm và phần ngầm dưới mực nước ngầm).

## 4. HỆ SỐ NHÓM CỌC $C_e$

### 4.1. Khái niệm về hệ số hiệu dụng nhóm cọc

Terzaghi [7] đề xuất xác định mức độ hiệu dụng nhóm của nhóm cọc khi đánh giá ảnh hưởng nhóm cọc so với cọc đơn thông qua hệ số hiệu dụng ( $C_e$ ) xác định bởi:

$$C_e = \frac{Q_{GL}}{\sum_{i=1}^n Q_{iL}} \quad (10)$$

Trong đó: n là số lượng cọc,  $Q_{GL}$ : tải trọng giới hạn và  $\sum Q_{iL}$ : tổng tải trọng giới hạn.

Converse Labarre [8] khi nghiên cứu về ảnh hưởng nhóm cọc bố trí trong đài cọc theo hình chữ nhật có đề xuất tính toán hệ số hiệu dụng ( $C_e$ ) của nhóm cọc với giả thiết rằng tất cả các cọc là như nhau và thẳng đứng và chỉ tính đến các yếu tố về kích thước, ngoại trừ chiều dài cọc, thể hiện theo công thức:

$$C_e = 1 - \frac{\text{Arctg}(B/s)}{\pi/2} \left[ 2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right] \quad (11)$$

Trong đó: B là đường kính/ kích thước cạnh cọc, s: khoảng cách giữa các tâm cọc, m: số hàng cọc và n: số cọc trong một hàng.

Khi cọc nằm trong đá cứng hoặc cọc hoạt động như cọc chống thì hệ số hiệu dụng có thể chấp thuận  $C_e = 1$ . Tuy nhiên, nếu tồn tại lớp đất mềm yếu nằm không xa dưới mũi cọc thì cần kiểm tra khả năng chọc thủng nhóm cọc xuống lớp đất yếu dưới. Khi đó, ứng suất truyền tải xuống mặt lớp yếu được trải ra với một góc  $\text{Arctg}(1/2)$ , nghĩa là các giá trị B và L trong công thức tính của Converse-Labarre [8] được điều chỉnh thêm chiều cao h.

$$B' = B + h; L' = L + h \quad (12)$$

Nhóm cọc nằm trong tầng đất đồng nhất: Trạng thái làm việc của nhóm cọc khi cọc nằm trong lớp đất đồng nhất phụ thuộc vào loại đất, loại cọc sử dụng và phương pháp thi công cọc. Với đất dính: Hệ số hiệu dụng nhóm ( $C_e$ ) không phụ thuộc vào loại cọc, được lấy giá trị nhỏ nhất của các giá trị tính theo phương pháp Terzaghi và tính theo:

$$C_e = 1 \text{ với } s > 3B \quad (13)$$

hoặc

$$C_e = \frac{1}{4} \left( 1 + \frac{s}{B} \right) \text{ với } 1 \leq \frac{s}{B} \leq 3 \quad (14)$$

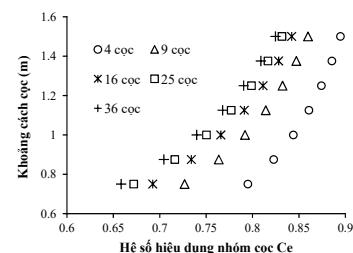
Trong đó: B: đường kính / kích thước cạnh cọc, s: khoảng cách giữa các tâm cọc.

Với đất rời: Hệ số hiệu dụng nhóm ( $C_e$ ) được xác định phụ thuộc và phương pháp thi công [5, 7, 8], cụ thể: Cọc thi công có làm chặt đất nền, trong đất cát xốp đến chặt vừa: Phương pháp thi công làm chặt thêm đất nền xung quanh làm gia tăng sức chịu tải của cọc, trường hợp này kiến nghị lấy  $C_e = 1$ ; Khi đóng hoặc ép cọc vào đất hạt thô trạng thái rời hoặc chặt vừa, đất sẽ chặt lên, do đó cải thiện được sức chịu tải của từng cọc, khi đó  $\eta \approx 1$ . Khi đóng hoặc ép cọc vào đất dính, cấu trúc đất bị xáo động, sức chịu tải giảm xuống nhiều. Sau một thời gian cọc nghỉ, sức kháng cắt sẽ phục hồi dần nhưng ít khi phục hồi 100%. Vì vậy  $\eta \approx 0.8$ ,  $\eta \approx 0.9$  [9]. Khi đổ bê tông cọc khoan nhồi, áp lực của bê tông tươi phần nào làm đất chặt lại, nhưng không đáng kể. Vì vậy, hệ số của cọc nhồi khá thấp ( $\eta \approx 0.65$  đến 0.75) với đất hạt thô và  $\eta = 0.7$  đến 0.8 với đất dính). Trong các khoảng kể trên, nhóm càng nhiều cọc và khoảng cách càng gần nhau thì hệ số  $\eta$  càng thấp [10].

### 4.2. Khảo sát ảnh hưởng số lượng cọc và khoảng cách cọc tới hệ số hiệu dụng nhóm cọc

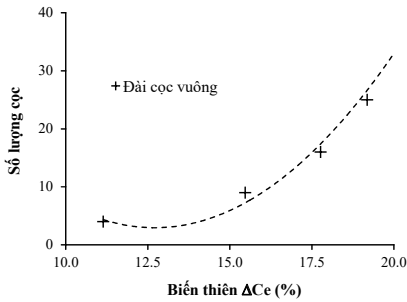
Theo công thức đề xuất bởi Converse Labarre [8] có thể nhận thấy hệ số hiệu dụng nhóm cọc  $C_e$  phụ thuộc vào tỷ số giữa đường kính/ kích thước cạnh cọc, B, so với khoảng cách giữa các tâm cọc, s, và số lượng cọc, m, n. Từ công thức (11) tiến hành khảo sát sự biến thiên hệ số hiệu dụng  $C_e$  theo các thông số trên.

Hình 4 dưới đây biểu diễn tổng ảnh hưởng của khoảng cách cọc tới hệ số nhóm cọc  $C_e$  cho tương ứng các trường hợp nhóm cọc có số lượng cọc trong đài móng từ 4 đến 36 cọc, được bố trí vuông với khoảng cách các cọc biến thiên từ 3 đến 6 lần kích thước cạnh cọc.



Hình 4: Biến thiên khoảng cách cọc và hệ số hiệu dụng nhóm cọc  $C_e$

Hình vẽ 4 cho thấy khi khoảng cách các cọc tăng lên, vẫn nằm trong khoảng (3 - 6) B với B là kích thước cạnh cọc, hệ số hiệu dụng nhóm cọc  $C_e$  tăng lên, nhưng mức độ tăng là không đều nhau, tăng nhanh hơn ở đài móng có số lượng cọc lớn hơn. Cũng từ hình vẽ 4 cho thấy, hệ số  $C_e$  là lớn nhất khi số lượng cọc trong đài ít nhất và giảm dần khi số lượng cọc trong đài tăng lên. Điều này cho thấy hiệu ứng nhóm bị chi phối khá rõ bởi số lượng cọc trong đài móng, khi số lượng cọc tăng lên, vùng ứng suất trùng lẫn giữa các cọc tăng lên, làm giảm khả năng chịu tải của nhóm cọc. Và để giảm hiệu ứng nhóm này cần bố trí các cọc xa nhau hơn, giảm vùng ứng suất chồng lấn giao thoa, khi đó hệ số hiệu dụng  $C_e$  sẽ tăng lên.



**Hình 5:** Biến thiên hệ số hiệu dụng nhóm cọc  $\Delta C_e$  theo số lượng cọc

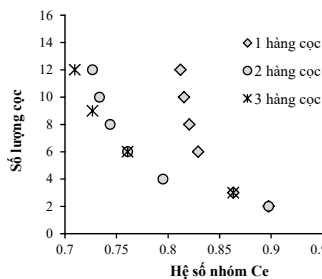
Hình vẽ 5 cho kết quả khảo sát biến thiên  $\Delta C_e$  theo tỷ lệ phần trăm (%) khi mà số lượng cọc trong đài tăng lên và phản ánh mức độ thay đổi từ 11,1% tăng lên 20,2% cho tương ứng số lượng cọc trong đài tăng từ 4 đến 36 cọc. Tuy nhiên mức độ biến thiên  $\Delta C_e$  này tăng chậm ở giai đoạn khi số lượng cọc từ 4 tăng lên 16 cọc và tăng nhanh khi số lượng cọc tăng từ 16 lên 26 cọc.

Bảng 1 dưới đây cho kết quả tính toán hệ số hiệu dụng  $C_e$  ứng với các khoảng cách và số lượng cọc trong 1 đài khác nhau, B là kích thước cạnh cọc. Từ bảng 1 cũng cho thấy hệ số hiệu dụng  $C_e$  biến thiên phụ thuộc nhiều vào số lượng cọc và khoảng cách giữa các cọc, nhưng khi khoảng cách cọc lớn (6 lần kích thước cọc) thì biến thiên chỉ có 7,82% khi tăng số cọc trong đài từ 4 lên 36 cọc, con số thu được tương ứng sẽ là 17,2% (gấp 2,2 lần) nếu khoảng cách giữa các cọc nhỏ hơn, chỉ bằng 3 lần kích thước cạnh cọc.

**Bảng 1.** Hệ số hiệu dụng  $C_e$  tính toán theo Converse Labarre [8]

Khoảng cách cọc s	Hệ số hiệu dụng $C_e$					$\Delta C_e$ (%)
	4 cọc	9 cọc	16 cọc	25 cọc	36 cọc	
3B	0,795	0,727	0,692	0,672	0,658	17,2
6B	0,895	0,860	0,842	0,832	0,825	7,82
$\Delta C_e$ (%)	11,1	15,5	17,8	19,2	20,2	

Để khảo sát ảnh hưởng của cách bố trí cọc tới hiệu ứng nhóm, khảo sát bài toán với 3 trường hợp cọc được bố trí thành 1 hàng, 2 hàng và 3 hàng tương ứng với các số lượng cọc khác nhau, kết quả thu được trong bảng 2 và đường biến thiên hệ số hiệu dụng trong hình vẽ 6 dưới đây.



**Hình 6:** Biến thiên hệ số hiệu dụng nhóm cọc  $C_e$  theo cách bố trí

**Bảng 2.** Hệ số hiệu dụng  $C_e$  theo cách bố trí cọc

Khoảng cách cọc s	Hệ số hiệu dụng $C_e$					
	(1x3)	(1x6)	(2x2)	(2x3)	(3x3)	(3x4)
3B	0,863	0,829	0,795	0,761	0,727	0,710
6B	0,929	0,912	0,895	0,877	0,860	0,851
$\Delta C_e$ (%)	7,1	9,1	11,2	13,2	15,5	16,6
Số cọc	3 cọc	6 cọc	4 cọc	6 cọc	9 cọc	12 cọc

Từ biểu đồ hình 6 kết hợp với bảng 2 cho thấy hệ số hiệu dụng  $C_e$  giảm khá nhanh khi thay đổi cách bố trí 1 hàng cọc sang 2 hoặc 3 hàng cọc, tuy nhiên khác nhau là không đáng kể khi số hàng cọc là 2 hoặc 3. Cụ thể khi tăng từ 1 hàng lên thành 2 hàng hệ số  $C_e$  biến thiên giảm từ 0,892 xuống 0,761 tương ứng 14,7% trong khi nếu bố trí thành 3 hàng hệ số  $C_e$  giảm từ 0,761 xuống 0,727 tương ứng 4,47%, mức độ giảm bằng xấp xỉ 1/3. Điều này chứng tỏ khi số lượng cọc trong đài bố trí thành nhiều hàng, nhiều cột phát sinh vùng ứng suất chồng lấn giữa các cọc dưới mũi cọc, làm suy giảm đáng kể sức chịu tải của nhóm cọc. Mặt khác từ số liệu bảng 2 cũng cho thấy khi mà số lượng cọc tăng lên  $C_e$  giảm khá nhanh từ 7,1 tới 16,6% khi tăng khoảng cách bố trí giữa các cọc từ 3B lên 6B.

**5. KẾT LUẬN**

Hiệu ứng nhóm cọc do tương tác giữa các cọc với nhau và với đất nền có thể xảy ra hiệu ứng thay đổi (chủ yếu là giảm) sức chịu tải cả nhóm so với tổng sức chịu tải các cọc thành phần. Quá trình thi công cọc trong nhóm làm đất bị nén chặt, dẫn đến một số cọc không đạt chiều dài theo thiết kế, hoặc khi thiết kế móng có số lượng cọc lớn, người thiết kế chủ động thay đổi chiều dài các cọc trong đài cọc để tối ưu sự làm việc của từng cọc. Trong các trường hợp đó, sự làm việc của các cọc trong đài rõ ràng bị ảnh hưởng đáng kể và nếu vẫn tính toán theo lý thuyết thông thường cọc đơn phân ánh không chính xác sự làm việc của hệ cọc và móng, hệ số nhóm cọc cần phải xét đến. Ảnh hưởng của hiệu ứng nhóm được phản ánh thông qua hệ số hiệu dụng, biến thiên phụ thuộc vào số lượng cọc trong đài, khoảng cách giữa các cọc và phương án bố trí cọc, hệ số này không thể bỏ qua trong bài toán tương tác cọc với đất nền, đặc biệt khi số lượng cọc trong đài là lớn hơn 6 cọc.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1] Vũ Công Ngữ & Nguyễn Thái (2006), Móng cọc Phân tích và thiết kế, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Lê Quý An, Nguyễn Công Mẫn, Hoàng Văn Tân (1998), Tính toán nền móng theo trạng thái giới hạn, Nhà xuất bản Xây dựng.
- [3] Viện KHCN Giao thông Vận tải (2006), Phân tích và lựa chọn các phương pháp tính hệ số nền, Tạp chí Cầu đường Việt Nam.
- [4] Phạm Tuấn Anh (2016), Nghiên cứu sự làm việc của cọc đơn thông qua hiệu chỉnh đường cong T - Z ứng với số liệu nén tĩnh cọc, Tạp chí KHCN Xây dựng.
- [5] Bộ xây dựng, (2014), TCVN 10304: 2014: Tiêu chuẩn thiết kế Móng cọc.
- [6] Nguyễn Ngọc Thắng, Thịnh Văn Thanh, Nghiên cứu mô hình phi tuyến tương tác cọc - đất trong bài toán cọc chịu tải trọng ngang, Tạp chí Vật liệu và Xây dựng số 12, 2022.
- [7] Coyle and Reese (1966), Load transfer for axially loaded piles in clay, ASCE Vol 92, No. SM2.
- [8]. A.S.Vesic (1977), Design of Pile foundation, Transportation Research Board, National Council.
- [9]. Nguyễn Ngọc Thắng (2023), Simulation of Pile-Soil interaction using finite element theory in the case of laterally loaded pile, Tạp chí Xây dựng.
- [10]. Nguyễn Ngọc Thắng (2023), Hiệu ứng nhóm trong kết cấu móng cọc đài thấp chịu tải trọng tĩnh, Tạp chí Người Xây dựng, số tháng 5 năm 2023.