

NGHIÊN CỨU SỰ LÀM VIỆC CỦA NHÓM CỌC CHỊU TẢI TRỌNG ĐỨNG VỚI CÁC CỌC CÓ CHIỀU DÀI KHÁC NHAU

TS. PHẠM TUẤN ANH, KS. NGUYỄN ĐỨC TỊNH

Đại học Công nghệ Giao thông Vận tải

Tóm tắt: Quá trình thi công cọc đại trà có thể xảy ra tình huống 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 thì có thể phản ánh không chính xác sự làm việc của hệ cọc và móng. Trong bài báo này, tác giả giới thiệu một phương pháp đơn giản, cho phép xét đến hiệu ứng nhóm cọc trong trường hợp các cọc có chiều dài khác nhau, giúp kỹ sư có thể dễ dàng áp dụng vào thực tiễn.

Từ khóa: Cọc đơn, nhóm cọc, chiều dài cọc thay đổi.

Abstract: The process of construction of large piles can make the soil is compacted, resulting in some piles are not reaching the design length, in the other case, the designer make the different lengths in each piles in purpose. In those cases, the behavior of the piles in the group is changed and can not be analysed by normal ways. This paper presents a new simple method, which can consideration of the pile group effect in the case of piles of different lengths.

Keywords: Single pile, pile group, piles of different lengths.

1. Đặt vấn đề

Theo các nghiên cứu đã được công bố, sự làm việc của cọc trong nhóm thông thường sẽ khác so với khi xem cọc làm việc độc lập. Các nghiên cứu của Vesic (1977)[5], Prakash (1990)[6],... hay các kết quả thí nghiệm với nhóm cọc của O'Neil (1982)[9], Al-Mhaidib, A.I (2001)[7],... đã đưa ra các công thức kinh nghiệm hoặc các hằng số để xác định hệ số nhóm cọc trong trường hợp các cọc là giống nhau về kích thước và khoảng cách tim cọc.

Tuy nhiên, trong thực tế xây dựng hiện nay ta có thể gặp phải trường hợp chiều dài cọc trong đài

là khác nhau. Ví dụ trong quá trình đóng ép cọc, đất nền bị lún chặt dẫn đến một số cọc không thể hạ xuống đủ chiều sâu thiết kế hay mũi cọc gặp tầng đất cứng không thể tiếp tục hạ cọc sâu hơn. Ngoài ra, trong một số trường hợp đài cọc có nhiều cọc, các kỹ sư chủ động tăng chiều dài cọc ở những vị trí chịu lực nhiều như dưới chân cột, vách và giảm bớt chiều dài ở những vị trí ít chịu lực như ngoài biên đài cọc. Các tiêu chuẩn thiết kế hiện hành (TCVN 10304-2012, TCN 272-05) cũng như các sổ tay thiết kế đều mới chỉ dẫn chi tiết về tính toán, thiết kế móng cọc với các cọc trong móng có cùng chiều dài, chưa có chỉ dẫn về tính toán thiết kế cho trường hợp móng cọc có các cọc với chiều dài khác nhau.

Việc tính toán, thiết kế móng cọc có các cọc với kích thước khác nhau về đường kính và chiều dài cọc có thể sử dụng giải số bằng PTHH theo mô hình 3D, tuy nhiên mô hình khá phức tạp và nhạy cảm với các thông số đầu vào, nên kết quả còn hạn chế.

Xuất phát từ vấn đề này, bài báo trình bày một phương pháp đơn giản, cho phép phân tích sự làm việc của móng cọc với chiều dài cọc khác nhau, sử dụng mô hình đường cong T-Z.

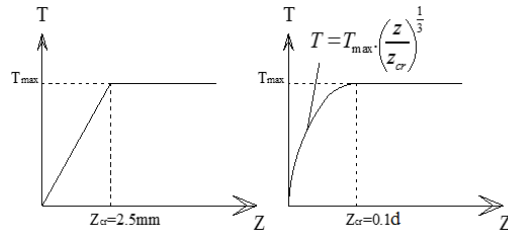
2. Cơ sở lý thuyết

2.1 Mô hình đường cong T-Z

Lý thuyết và các dạng đường cong T-Z được nhiều nhà khoa học công bố như Coyle và Reese (1966), Duncan và Chang (1970), Randolph và Wroth (1978). Trong phạm vi nghiên cứu, bài báo sử dụng dạng phương trình đường cong T-Z do Reese(1966) [3] đề xuất để minh họa.

Mô hình đường cong này gồm 2 đoạn, đàn hồi tuyến tính và chảy dẻo (hình 1). Giá trị tải trọng giới hạn của giai đoạn đàn hồi là T_{max} , ứng với nó là chuyển vị giới hạn đàn hồi Z_{cr} . Khi tải trọng tác dụng lớn hơn T_{max} , giữa đất và cọc xảy ra hiện tượng trượt cục bộ, khi đó tải trọng không tăng nhưng biến

dạng tăng dần. Độ cứng lò xo sẽ giảm dần đến giới hạn bền của đất.



a. Sức kháng bên b. Sức kháng mũi

Hình 1. Mô hình đường cong T-Z [3]

Để tham khảo, độ cứng k_i của đất xung quanh cọc và mũi cọc trong giai đoạn đàn hồi được quy đổi từ mô đun biến dạng đất E và đường kính cọc theo kết quả [2].

Theo Reese[3], chuyển vị giới hạn đàn hồi của đất rời lấy gần đúng $Z_{cr} = 2,5\text{mm}$.

Theo mô hình đàn dẻo Mohr-Coulomb, giá trị f_s xác định theo định luật Mohr-Coulomb như sau:

$$f_s(z) = \sigma'_h(z) \cdot \tan \delta \quad (1)$$

trong đó: $\sigma'_h(z)$ - ứng suất hữu hiệu theo phương ngang ở bề mặt cọc tại độ sâu z ; δ - góc ma sát giữa đất và cọc, $\delta = \varphi - 5^\circ$ với φ - góc ma sát trong của đất.

Tải trọng giới hạn của giai đoạn đàn hồi:

$$T_{\max}(z) = f_s(z) \pi d L_i \quad (2)$$

trong đó: d - đường kính cọc, L_i - chiều dài đoạn cọc được chia ra.

Sức kháng mũi cực đại lấy theo tiêu chuẩn API:

$$q = \sigma' \cdot N_q \quad (3)$$

trong đó: σ' - ứng suất nén hữu hiệu tại mũi cọc; N_q - hệ số sức chịu tải mũi cọc lấy như sau:

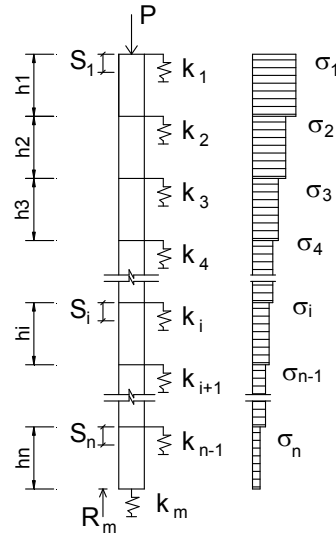
$$N_q = e^{\pi \tan(\delta)} \tan^2\left(45 + \frac{\delta}{2}\right) \quad (4)$$

2.2 Bài toán phân tích sự làm việc của cọc đơn

Để giải bài toán tương tác cọc – đất, tác giả sử dụng phương pháp tính lún cọc đơn có xét đến biến dạng bản thân vật liệu làm cọc dựa trên nguyên lý truyền tải trọng đã trình bày trong [1].

Xét một cọc đơn có chiều dài L , diện tích tiết diện ngang A , chịu tải trọng nén dọc trục P đặt ở

đỉnh cọc. Mô đun đàn hồi của vật liệu làm cọc là E . Cọc được chia làm n đoạn và mỗi đoạn gắn các lò xo đứng kiểu Winkler thay cho tương tác giữa đất và cọc (hình 2).



Hình 2. Sơ đồ tính lún cọc đơn

Việc tính toán được bắt đầu ở phần mũi cọc và tính ngược lên đỉnh cọc. Ẩn số chưa biết là các phản lực mũi cọc, ký hiệu là R_m . Giả thiết R_m bắt đầu bằng 0 (không huy động sức chống mũi) và tăng dần lên.

Với bài toán lò xo phi tuyến theo cường độ cong T-Z, phản lực R_m được chia làm nhiều cấp nhỏ và tiến hành lặp, độ cứng lò xo sẽ thay đổi ứng với trạng thái ứng suất biến dạng của đường cong T-Z lựa chọn. Khi chuyển vị nhỏ hơn Z_{cr} , lò xo làm việc trong giai đoạn tuyến tính và khi chuyển vị vượt qua Z_{cr} , giữa đất và cọc xảy ra hiện tượng trượt cục bộ, lò xo chuyển sang giai đoạn làm việc phi tuyến. Kết quả phân tích cho ta được độ lún đỉnh cọc dưới tác dụng của tải trọng, phản lực các lò xo dọc thân cọc, lực trong phân bố trong cọc.

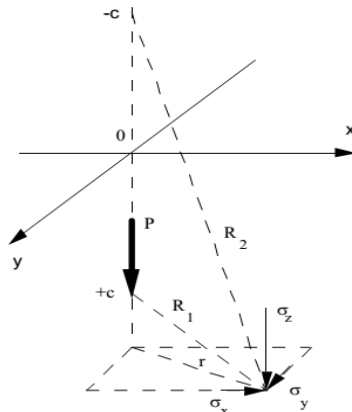
2.3 Bài toán phân tích sự làm việc của nhóm cọc

a. Bài toán truyền ứng suất trong đất

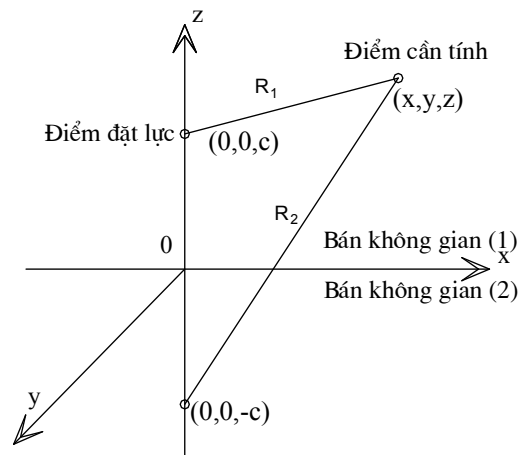
Boussinesq (1885) đã công bố lời giải cho lực tập trung nằm trên mặt đất, nền đồng nhất không có khối lượng, đất được coi là bán không gian đàn hồi tuyến tính và mặt đất là phẳng. Kelvin (1848) đã đưa ra lời giải để xác định chuyển vị, ứng suất với lực tập trung đặt trong không gian vô hạn đàn hồi. Mindlin (1936) [8] đưa ra lời giải dành cho bài toán bán không gian đàn hồi (hình 3). Singh, Kumari

(1999) [10] đã nghiên cứu và phát triển lời giải Mindlin tìm cả ứng suất và chuyển vị cho trường

hợp 2 bán không gian đàn hồi có thông số bất kỳ (hình 4).



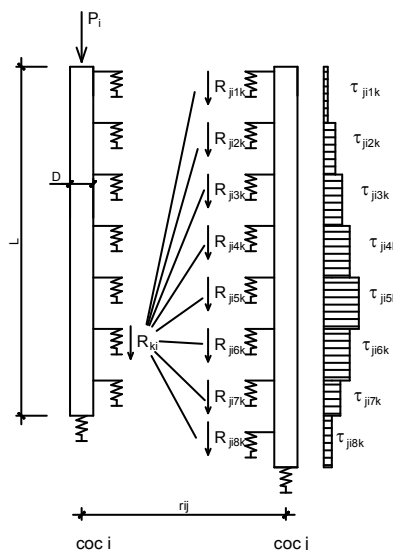
Hình 3. Mô hình bài toán của Mindlin (1936) [7]



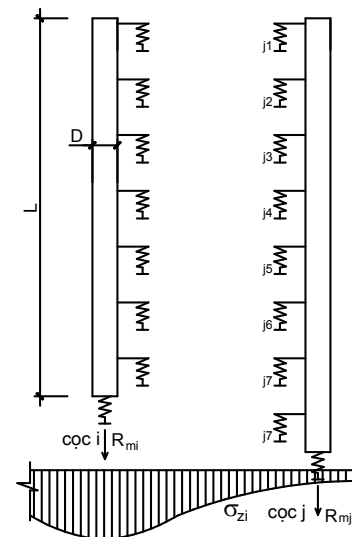
Hình 4. Mô hình bài toán Singh và Kumari (1999) [10]

Trên cơ sở các lời giải cho cọc đơn và bài toán truyền ứng suất trong đất, ta tiếp tục ứng dụng để phân tích bài toán nhóm cọc với các cọc khác nhau về chiều dài.

b. Xây dựng bài toán tương tác cọc trong nhóm



Hình 5. Tương tác tại thân cọc



Hình 6. Tương tác tại mũi cọc

Xét 2 cọc i và j bất kỳ trong nhóm, có chiều dài không giống nhau, khoảng cách 2 tim cọc là r_{ij} . Giả thiết rằng lực dọc tác dụng lên đỉnh cọc i là P_i (hình 5). Tương tác giữa các cọc gồm 2 phần là tương tác dọc theo thân cọc và tương tác tại mũi cọc.

Giả thiết rằng ma sát âm của cọc lấy bằng ma sát dương, chỉ có chiều ngược lại, như vậy dưới tác dụng của tải trọng, tương tác giữa hai cọc có thể được xác định thông qua lời giải bài toán truyền ứng suất trong đất.

Dưới tác dụng của lực dọc P_i lên cọc thứ i, tại các gối lò xo của cọc i phát sinh các phản lực R_i . Giả sử tại gối thứ k, phản lực có giá trị R_{ki} . Lực R_{ki} này sẽ lan truyền trong đất và gây ra ứng suất tiếp τ_{jki} xung quanh cọc j (hình 6).

Thực tế, ứng suất tiếp này phân bố không đều dọc thân cọc, nhưng trong bài toán thực hành ta có thể giả thiết ứng suất này gần đúng là phân bố đều trong phạm vi các đoạn cọc được chia ra và các ứng suất tiếp này được quy đổi thành các lực tập trung đặt tại các gối lò xo của cọc j.

Gọi R_{jixk} là lực tập trung tại gối x của cọc j do phản lực R_{ki} gây ra, ta có:

$$R_{jixk} = \tau_{jixk} \cdot \pi \cdot D \cdot L_i \quad (5)$$

τ_{jixk} là ứng suất tiếp tại gối x trên cọc j, do phản lực R_{ki} ở cọc i gây ra.

Do sự tương tác qua lại giữa cọc - đất, đất xung quanh cọc j sẽ xuất hiện một thành phần phản lực ngược chiều với các lực R_{jixk} và tác dụng ngược trở lại cọc i, cản trở cọc i lún dưới tác dụng của tải trọng P_i . Các thành phần kháng lực này được ký hiệu R'_{ijxk} , xác định như sau:

$$R'_{ijxk} = \tau'_{ijxk} \cdot \pi \cdot D \cdot L_i \quad (6)$$

trong đó: τ'_{ijxk} là ứng suất tiếp tại gối x trên cọc i, do phản lực R_{jixk} ở cọc j gây ra.

Phản lực R_{ki} tại gối k cọc i gây thành phần ứng suất pháp theo phương ngang và truyền đến thân cọc j, điều này sẽ làm tăng ứng suất pháp hữu hiệu $\sigma'_h(z)$ của đất lên cọc j dẫn đến ma sát bên cực đại tại thân cọc f_s thay đổi.

Công thức (2) được viết lại như sau:

$$f_s(z) = [\sigma'_h(z) + \sigma_{jixk}] \cdot \tan \delta, \quad (7)$$

trong đó:

σ_{jixk} - ứng suất pháp trung bình theo phương x tại đoạn k trên thân cọc j do phản lực R_{ki} gây ra, được xác định theo lời giải Mindlin.

Việc truyền ứng suất pháp từ mũi cọc i sang mũi cọc j được xác định theo sơ đồ hình b. Theo đó, lực cường bức tại mũi cọc j do phản lực từ mũi cọc i gây ra, được ký hiệu là R_{mji} và xác định theo công thức:

$$R_{mji} = \sigma_{zji} \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (8)$$

trong đó: σ_{zji} là ứng suất pháp trung bình tại mũi cọc j do phản lực đầu cọc i gây ra, được xác định theo lời giải Mindlin.

Trong trường hợp các cọc có chiều dài khác nhau, độ sâu đặt mũi cọc i và j chênh lệch có thể khiến hiệu ứng tương tác giữa các cọc suy giảm đáng kể.

Trong trường hợp nhóm cọc có số lượng cọc nhiều hơn, việc tính tương tác giữa các cọc sử dụng phương pháp cộng tác dụng, có kể đến chiều dài cọc không giống nhau.

3. Thí dụ tính toán

Trên cơ sở lý thuyết, tác giả lập chương trình tính **PDL** (Piles of Different Length) bằng MATLAB để phân tích và khảo sát.

3.1 Thông số đầu vào

Thông số đầu vào: móng cọc đúc sẵn, cọc bê tông cốt thép (BTCT) 0,3x0,3m; bê tông cọc B20 có $E_p = 2,7 \cdot 10^7 (kPa)$, còn thông số đất nền (bảng 1).

Bảng 1. Thông số địa chất nền đất

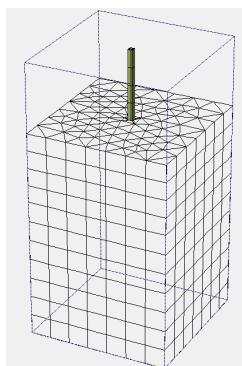
TT	Dày (m)	$\gamma(kN/m^3)$	E(Kpa)	μ	$\varphi (^\circ)$
1	5	20,5	10000	0,3	24
2	∞	22	12000	0,3	30

Cọc được chia làm các đoạn dài 1m.

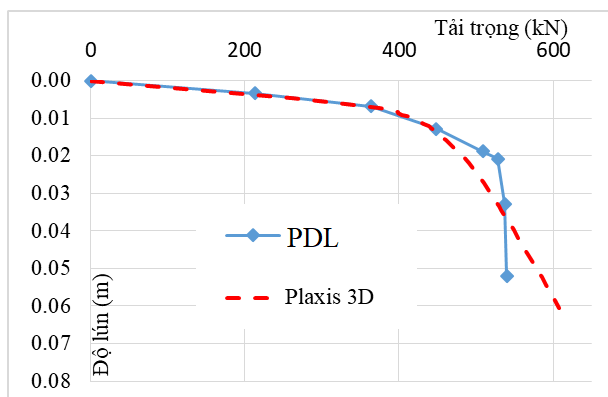
Ma sát bên cực đại lấy theo mô hình Mohr-Coulomb theo công thức (1)

Sức kháng mũi cực đại lấy theo API theo công thức (3)

So sánh kết quả phân tích cọc đơn với Plaxis 3D foundation ($R_{inter}=0,8$), cọc dài 10m (hình 7 và hình 8).



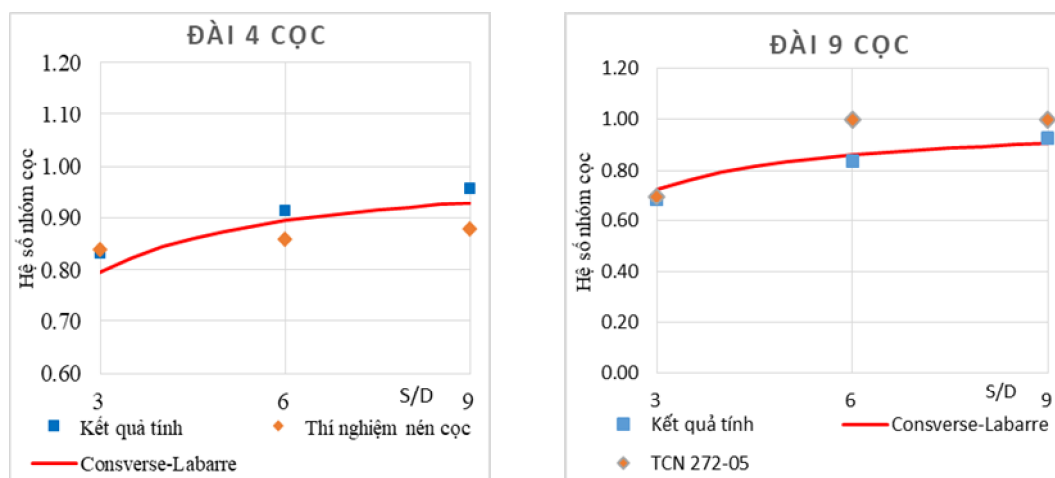
Hình 7. Sơ đồ tính cọc trong Plaxis 3d foundation



Hình 8. Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún cọc đơn

Nhận xét: Biểu đồ quan hệ tải trọng - độ lún khá tiệm cận, kết quả phân tích cọc đơn được sử dụng để phân tích nhóm cọc.

* So sánh hệ số hiệu ứng nhóm cọc với các kết quả đã công bố:



Hình 9. So sánh với các kết quả đã công bố

Dùng chương trình tính PDL để phân tích nhóm cọc có cùng chiều dài và khoảng cách tim cọc. Kết quả tính hệ số nhóm móng 4 cọc và 9 cọc đối xứng được so sánh với công thức thực nghiệm của Converse-Labarre (1980), TCN 272-05 và kết quả thí nghiệm của giáo sư Al-Mhaidib, A.I (2001) [7], kết quả như trên hình 9.

Công thức Converse-Labarre để tính hệ số hiệu ứng nhóm:

$$\eta = 1 - 2 \cdot \frac{\text{Arctg}(D/S)}{\pi} \cdot \left(2 - \frac{1}{m} - \frac{1}{n} \right) \quad (9)$$

trong đó: m và n - số cọc trong một hàng và số hàng cọc; S - khoảng cách tim cọc; D - cạnh cọc.

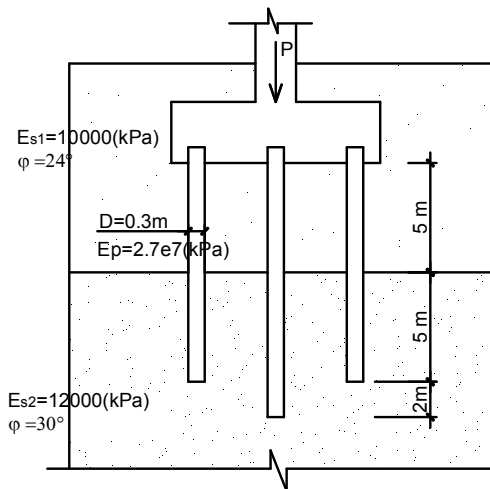
Nhận xét: Trường hợp móng 4 cọc và móng 9 cọc cho kết quả tính khá sát với công thức thực nghiệm và kết quả thí nghiệm cho thấy phương pháp tính có cơ sở tin cậy. Trên cơ sở đó tiếp tục sử dụng chương trình PDL để khảo sát cho một số trường hợp móng có chiều dài cọc thay đổi.

3.2 Khảo sát trường hợp móng 3 cọc

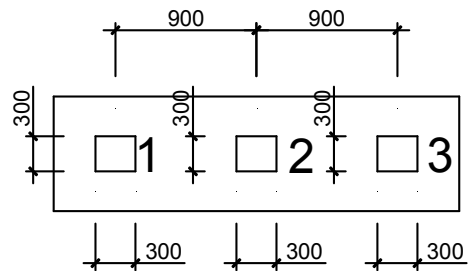
Xét 3 trường hợp khác nhau của móng 3 cọc:

- Các cọc có cùng chiều dài L=10m
- Cọc giữa dài L=12m, các cọc biên dài L=10m
- Các cọc có cùng chiều dài L=12m

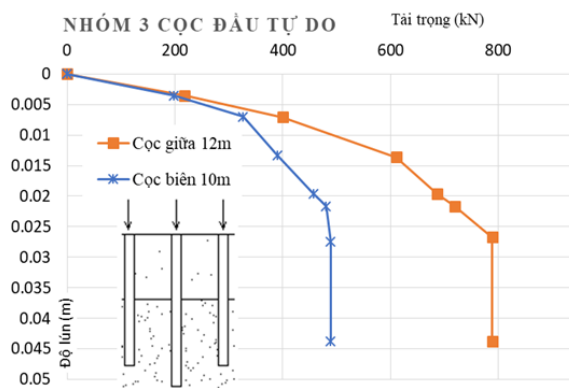
Xét 2 trường hợp: Nhóm cọc đầu tự do và ngầm cứng vào đài, với giả thiết đài cọc cứng tuyệt đối.



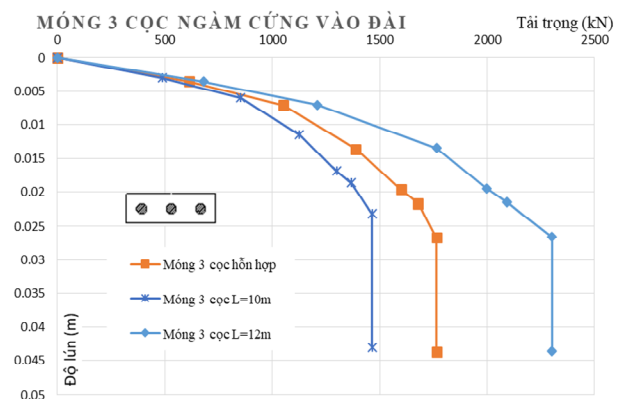
Hình 10. Mặt đứng móng cọc



Hình 11. Mặt bằng móng cọc



Hình 12. Quan hệ tải trọng - độ lún các cọc nhóm cọc đầu tự do



Hình 13. Quan hệ tải trọng - độ lún các phương án móng

Nhận xét:

Từ các kết quả trình bày trên các hình 10 đến hình 13 ta thấy: Độ cứng của cọc ở giữa khá lớn so với 2 cọc còn lại ở biên, điều này là do cọc ở giữa được tăng cường chiều dài và hiệu ứng nhóm của móng 3 cọc là không đáng kể.

Kết quả phân tích cho thấy hiệu quả của trường hợp móng hỗn hợp các loại chiều dài cọc nằm ở khoảng giữa 2 trường hợp còn lại. Điều đó cho thấy tính khả thi khi sử dụng loại móng này.

3.3 Khảo sát trường hợp móng 9 cọc

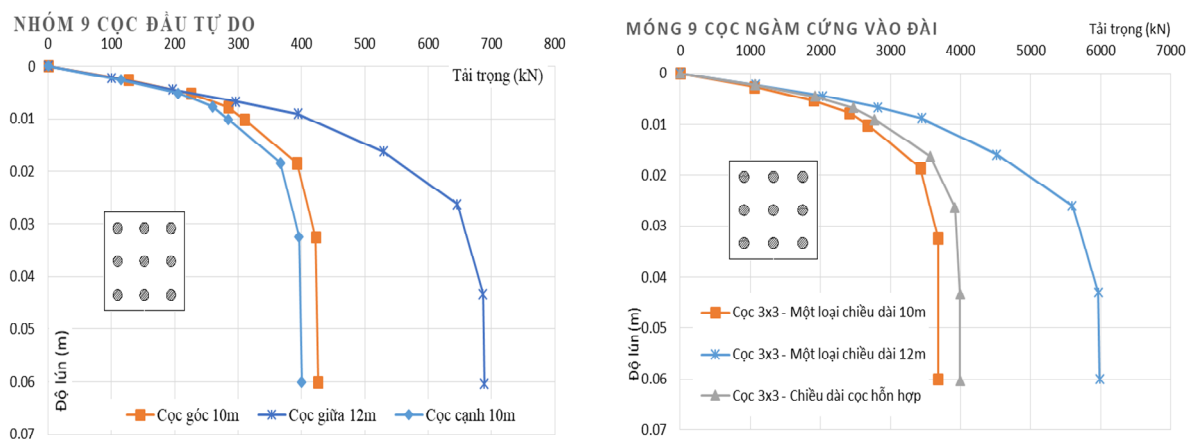
Xét 3 trường hợp khác nhau của móng 9 cọc:

- Các cọc có cùng chiều dài $L=10m$
- Cọc có cùng chiều dài $L=12m$
- Cọc giữa dài $L=12m$, các cọc còn lại dài $L=10m$

Xét hai trường hợp khác nhau của đài cọc:

- Nhóm cọc đầu tự do;
- Nhóm cọc đầu cọc ngầm cứng vào đài.

Giả thiết đài móng cứng tuyệt đối. Kết quả tính toán trình bày trên hình 14.



Hình 14. Quan hệ tải trọng - độ lún các phương án móng 9 cọc

Nhận xét:

- Cọc giữa cho thấy độ cứng lớn hơn nhiều so với các cọc còn lại do chiều dài cọc được tăng cường, tuy nhiên do số lượng cọc nhiều, hiệu ứng nhóm đã ảnh hưởng làm cọc này yếu hơn so với cọc tương tự ở trường hợp móng 3 cọc;

- Kết quả phân tích cho thấy hiệu quả của trường hợp móng hỗn hợp các loại chiều dài cọc vẫn nằm ở khoảng giữa 2 trường hợp còn lại. Tuy nhiên việc chỉ tăng cường chiều dài 1 cọc không giúp sức chịu tải tổng thể tăng nhiều như trường hợp móng 3 cọc.

4. Kết luận

Kết quả của bài báo cho phép phân tích được sự làm việc của móng cọc trong trường hợp các cọc có chiều dài khác nhau.

Việc sử dụng các cọc hỗn hợp chiều dài trong móng có số lượng cọc nhiều cho thấy ứng xử của móng cọc trở nên phức tạp hơn.

Để thiết kế các loại chiều dài cọc tối ưu hơn cho móng, cần khảo sát nhiều trường hợp thiết kế cọc và so sánh để cho ra phương án tốt nhất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Tuấn Anh, Nguyễn Tương Lai, Trịnh Việt Cường (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* (số 4/2016).

[2]. 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* (tháng 11/2006).

[3]. Coyle and Reese (1966), "Load transfer for axially loaded piles in clay", *ASCI Vol 92, No. SM2*.

[4]. J.E. Bowles (1997), "Foundation Analysis and Design", *McGraw-Hill Companies, Inc.*

[5]. A.S.Vesic (1977), Design of Pile foundation, *Transportation Research Board, National Council*.

[6]. Shamsheer Prakash, Hari D. Sharma (1990), Pile foundation in Engineering Practice, *A Wiley Interscience Publication, Inc.*

[7]. Al-Mhaidib, A.I.(2001), Loading Rate Effect on Piles in Clay from Laboratory Model Tests, *Journal of King Saud University, Vol.13, No.1, pp. 39-55*.

[8]. Mindlin, R.D. (1936), "Force at a Point in the Interior of a Semi-Infinite Solid", *Physics, Vol. 7*.

[9]. O'Neill, M.W. Hawkins, R. A. & Mahar, L. J. (1982), Load transfer mechanisms in piles and pile-groups, *J. Geotech. Engng Div. Am. Soc. Civ. Engrs 108, No.12, 1605÷ 1623*.

[10]. Sarva Jit Singh, Gulshan Kumari and Kuldip Singh (1999), Displacements and Stresses due to a single force in a half-space in welded contact with another half-space, *Geophys J.int*.

Ngày nhận bài: 31/10/2018.

Ngày nhận bài sửa lần cuối: 06/11/2018.