

MỘT NGHIÊN CỨU VỀ HỆ SỐ NHÓM CỌC HẠ VÀO ĐẤT RỜI

DƯƠNG HỒNG THẨM

Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh - tham.dh@ou.edu.vn

NGUYỄN THANH HÀ

Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh - nguyenthanhha.9826@gmail.com

VÕ HOÀNG TRÍ

Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh - vohoangtriqu93@gmail.com

(Ngày nhận: 9/9/2016; Ngày nhận lại: 26/10/16; Ngày duyệt đăng: 14/11/2016)

TÓM TẮT

Bài toán Khả năng chịu tải của cọc và nhóm cọc trong đất rời là một chủ đề lý thú với nhiều hướng như về Hệ số hiệu quả nhóm, về chiều sâu tới hạn mà tại đó ma sát hông không thay đổi theo độ sâu... Bài báo này nghiên cứu chủ yếu về khả năng chịu tải của nhóm cọc trong đất rời, đồng thời khảo sát hệ số hiệu quả nhóm khi cự ly bố trí cọc tăng lên lớn hơn 3D, cũng như khi số cọc tăng lên. Cọc đơn và nhóm cọc hạ vào nền đất rời đồng nhất được mô phỏng dùng phần mềm Plaxis 3D. Kết quả chỉ ra Khả năng chịu tải của nhóm cọc là khác nhau khi xem xét bài toán cự ly cố định, không chỉ giảm khi số cọc tăng lên; ngoài ra, Hệ số hiệu quả nhóm là khác nhau giữa a) số cọc trong nhóm thay đổi và b) cự ly tìm cọc thay đổi (khi bố trí cọc theo những khoảng cách khác nhau và số cọc cố định). Từ đó nghiên cứu đề nghị cấu hình hợp lý cho cọc hạ vào đất rời.

Từ khóa: Khả năng chịu tải; Hệ số hiệu quả nhóm; Cấu hình; Nhóm cọc.

A study on group efficiency of piles in sand

ABSTRACT

Bearing capacity of pile group in cohesionless soil is an interesting topic with studies about coefficient of efficiency, about critical depth where skin friction seems constant with respect to depth of embedment/installation etc. This article focuses on bearing capacity of pile group with variety of configuration with *numbers* of piles in group, and with pile center-to-center *distance*. Single pile and pile group in non-cohesive nearly homogenous soil foundation was modelled using Plaxis 3D. Result indicates that pile group capacity varies as the distance or number of piles changes, not only decreases as the number of piles increases; besides, efficiency depends on a) considering various number of piles with the same center-to-center distance, or b) considering as same number but at different pile distances. Discussion then suggests a reasonable configuration for pile group in non-cohesive soil foundation.

Keywords: Bearing capacity; Coefficient of Efficiency; Configuration; Pile group.

1. Giới thiệu

Cọc ít khi đứng riêng rẽ và thường cấu tạo thành hàng hoặc nhóm. Về phương diện kết cấu, sự làm việc của cọc tùy thuộc độ cứng của đài, chiều sâu đặt đáy đài (đài cao hoặc đài thấp) và khoảng cách giữa các cọc trong nhóm. Về phương diện nền móng, sự làm việc của cọc tùy thuộc nhiều yếu tố: cách đánh giá khả năng chịu tải (KNCT) cho nhóm cọc trước hết là rất quan trọng. Kế đến, sự phân bố sức chịu tải giữa các cọc trong nhóm và ảnh hưởng của số cọc, cự ly tìm cọc và

kiểu bố trí (hoa mai hoặc vuông hàng ngang dọc). Và sau cùng, sự làm việc của nhóm cọc mà cụ thể là còn tùy thuộc vào loại đất. Tùy theo loại đất nền mà xảy ra quá trình chuyển hóa, truyền tải giữa các cọc với nhau; theo loại đất dưới mũi và quanh cọc mà quá trình truyền tải xảy ra từ cọc trong ra ngoài hoặc ngược lại truyền từ ngoài vào trong.

Một vấn đề được đặt ra là, hệ số hiệu quả nhóm cho đất rời có giống như hệ số hiệu quả nhóm cho đất dính không? Ta có thể chỉ áp dụng một công thức như trong các giáo trình

được không? Có thể hiểu được gì từ hệ số này để đóng góp cho thiết kế và thi công nhóm cọc trong thực tế không?

Trong bài báo này, khả năng chịu tải (KNCT) của nhóm các *số lượng cọc khác nhau*, hoặc *cự ly bố trí khác nhau* lần lượt được phân tích xác định, với hy vọng rút ra một kết quả riêng cho KNCT của nhóm cọc hạ vào đất rời một lớp.

2. Cơ sở nghiên cứu

Hiện nay, hệ số hiệu quả nhóm được tính theo công thức, phụ thuộc chủ yếu vào hình học (cự ly, số lượng) nhóm cọc. Điều này thực sự khiếm khuyết khi không xét đến ứng xử của đất nền, cũng như tính chất làm việc của cọc. Ngoài ra, ngay cả trong một lớp chúng ta cũng chưa xét đến trạng thái (độ ẩm cho đất dính hoặc độ chặt của đất rời); đặc biệt, đất rời - với thuộc tính dẫn nở của nó, nghĩa là khi cọc hạ vào đất rời thì chặt lại, đất

chặt là làm rời đất ra - vẫn còn là một nghi vấn, nếu chỉ xét theo công thức như Converse - Labarré; công thức Feld (1943).

Theo định nghĩa: Hệ số hiệu quả nhóm $E = \text{KNCT của toàn nhóm} / (\text{Tổng KNCT các cọc đơn lẻ})$

Công thức Converse Labarre (Bolin, 1947) cho đất dính:

$$E = 1 - \frac{\theta}{90} \frac{m(n-1) + n(m-1)}{mn} \quad (1)$$

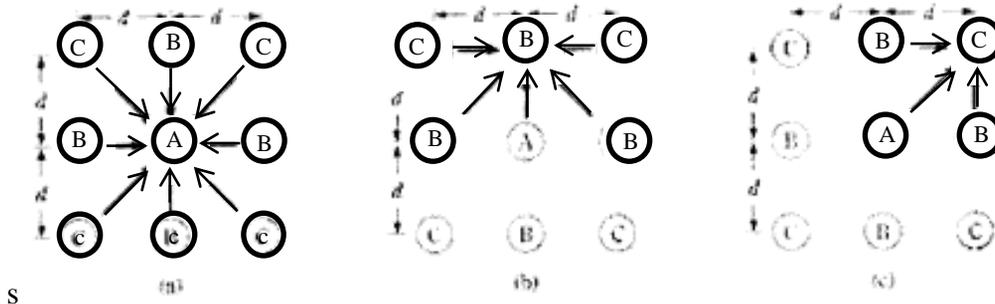
trong đó:

với D = cạnh cọc; S = Cự ly tim tim cọc.

m là số hàng cọc

n là số cọc mỗi hàng

Công thức Feld (1943) xem xét sơ đồ phẳng mặt bằng cọc để ước tính KNCT của nhóm. Theo đó, mỗi cọc trong nhóm bị các cọc liền kề (theo mọi phương) làm giảm đi 1/16 sức chịu tải của cọc đó, bất luận xa hơn hay gần hơn (xem hình 1).



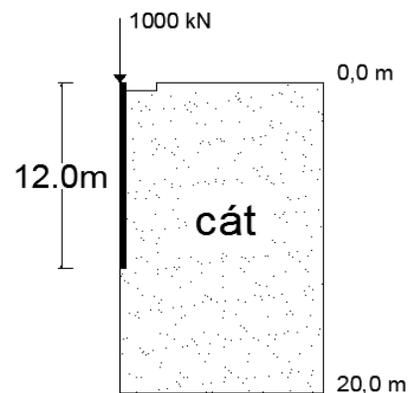
Hình 1. Hệ số nhóm cọc gần đúng theo Feld (1943)

Nhiều tác giả khác cũng đưa ra những công thức, cách xác định khác nhau như của Meyerhoff (1960), Vesic (1967), Hanna và cộng sự (1972) hay Garg (1979), Pauls và Davis (1980)...

Cho đến ngày nay, với công cụ tính toán phần mềm Phần tử Hữu Hạn mạnh, các hệ số nhóm được tính dựa trên mô hình mô phỏng là chủ yếu. Sau đây là mô hình Plaxis 3D tính toán KNCT cọc đơn và nhóm cọc.

3. Mô hình tính toán

Cọc tiết diện hình vuông 40x40cm, dài 12m. Cọc được đóng trong nền đất cát hoàn toàn, được phác họa theo mô hình Đối xứng trục như hình 2 dưới đây:



Hình 2. Mô hình nghiên cứu cọc

Cọc được đặt ở trung tâm của một hố đào nhỏ với độ sâu 1.2m. Tầng đất có 1 lớp cát sâu 20m. Mực nước ngầm ở rất sâu. Đề

tránh bất kỳ ảnh hưởng của biên (vùng ảnh hưởng lan tỏa lực) mô hình, mô hình được mở rộng 8m dưới chân cọc và 8m sang tất cả

các bên.

Đặc trưng tính chất của vật liệu được cho dưới Bảng sau:

Bảng 1

Đặc trưng vật liệu

| Thông số | Ký hiệu | Loại vật liệu | | Đơn vị |
|------------------------|-------------|---------------|----------------------|-------------------|
| | | Cát | Cọc | |
| Mẫu vật liệu | Model | M-C | Linear-elastic | - |
| Loại vật liệu tác động | Type | Drained | Non-porous | - |
| Khối lượng đơn vị đất | γ | 19.24 | 24 | kN/m ³ |
| Mô đun đàn hồi | E | 19000 | 29.2x10 ⁶ | kN/m ² |
| Hệ số Poisson | ν | 0.3 | 0.3 | - |
| Lực dính | c | 2.89 | - | kN/m ² |
| Góc ma sát trong | φ | 29.53 | - | ° |
| Góc trương nở | ψ | 0 | 0 | ° |
| Hệ số giảm cường độ | R_{inter} | 1 | 1 | - |

Các bước thiết lập mô hình mô phỏng của bài toán:

Bước 1: Thiết lập tổng thể

Bắt đầu chương trình Input và chọn New project từ hộp thoại Create/Open project.

Trong trình đơn Project của cửa sổ General settings, nhập một tiêu đề thích hợp cho dự án và giữ mặc định các thiết lập khác.

Trong trình đơn Dimensions, giữ các đơn vị chuẩn (Length = m, Force = kN, Time= ngày) và nhập các kích thước Xmin, Xmax, Zmin, Zmax.

Bước 2: Thiết lập mặt bằng làm việc

Mở cửa sổ Work planes. Chèn 4 mặt bằng làm việc mới. Gán giá trị $y=0$, $y=-0.5m$, $y=-1.5m$, $y=-13.5m$, $y=-20m$.

Bước 3: Thiết lập đường bao hình dạng, kết cấu.

Chọn công cụ Pile và xuất hiện hộp thoại thiết kế cọc.

Từ hộp combo, chọn massive square pile và nhập giá trị cạnh $a=0.4m$

Bước 4: Khai báo tải trọng

Để mô phỏng các thử tải, tải trọng tập trung sẽ được truyền vào đầu cọc. Khi cọc

được xây dựng ngay dưới mặt đất.

Chọn công cụ Point load và thêm tải tại tâm cọc.

Bước 5: Khai báo lỗ khoan và các tính chất của vật liệu.

Để xác định các lớp đất, một lỗ khoan được bổ sung và các tính chất vật liệu được gán.

Bước 6: Chia lưới phần tử

Tạo lưới 2D:

Khi phần tử cọc được mô hình trong sơ đồ hình học, quá trình chia lưới cọc bộ sẽ tự động được thực hiện bằng chương trình quanh đường viền cọc. Ta tạo một lưới thích hợp.

Nhập vào nút Generate 2D mesh. Một vài giây sau, lưới được trình bày trong cửa sổ Output. Kiểm tra lưới và nhập Update.

Tạo lưới 3D:

Nhập nút Generate 3D mesh. Điều này sẽ hiển thị chương trình ra một lần nữa, bây giờ hiển thị xem ba chiều của lưới. Kiểm tra lưới và nhập Update.

Bước 7: Thiết lập giai đoạn tình toán

Ba giai đoạn được xem xét: điều kiện ban đầu, quá trình xây dựng cọc và tải của cọc.

Giai đoạn 1: Điều kiện ban đầu.

Giai đoạn 2: Tạo cọc.

Click nút Next phase để thêm một giai đoạn mới.

Cửa sổ phase list được hiển thị. Trên trình đơn Parameters, click chọn Reset displacements to zero. Điều này để thiết lập lại các biến dạng được tạo ra trong tính toán của các ứng suất ban đầu.

Sau đó trong giai đoạn 1 thiết các vật liệu cho đài cọc, cọc.

Giai đoạn 3: Tải trọng hoạt động.

Next phase để thêm giai đoạn mới. Trên trình đơn Parameters, không chọn mục displacements to zero. Trong mục Iterative procedure bỏ chọn tùy chọn mặc định và thay

đổi Tolerated error là 0.0005.

Chọn mặt bằng $y = -1.5m$. Thay đổi hướng và độ lớn của lực. Nhập giá trị lực - 1000 kN theo y.

Bước 8: Chọn điểm

Định nghĩa các giai đoạn đã được hoàn tất.

Bước 9: Tính toán

Sơ đồ hình học và giai đoạn tính toán đã được định nghĩa và tính toán được bắt đầu.

Bước 10: Xem và xuất kết quả biểu đồ quan hệ lực - chuyển vị

Với địa chất và các bước giải bài toán như trên, lần lượt ta giải 40 bài toán. Dưới đây là số hiệu các bài toán theo số cọc và cự ly tim-tim:

Bảng 2

Số hiệu các bài toán

| Số cọc | Khoảng cách bố trí (D= kích thước cạnh cọc) | | | | |
|--------|---|----|----|----|----|
| | 3D | 4D | 5D | 6D | 7D |
| 2 cọc | 1 | 9 | 17 | 25 | 33 |
| 3 cọc | 2 | 10 | 18 | 26 | 34 |
| 4 cọc | 3 | 11 | 19 | 27 | 35 |
| 5 cọc | 4 | 12 | 20 | 28 | 36 |
| 6 cọc | 5 | 13 | 21 | 29 | 37 |
| 7 cọc | 6 | 14 | 22 | 30 | 38 |
| 8 cọc | 7 | 15 | 23 | 31 | 39 |
| 9 cọc | 8 | 16 | 24 | 32 | 40 |

Cọc được bố trí như trong Bảng 3:

Bảng 3

Cấu hình cọc trong đài

| Số cọc | Khoảng cách bố trí (tim-tim) | ĐÀI CỌC | | |
|--------|------------------------------|-------------------|--------------------|---|
| | | Chiều dài l (m) | Chiều rộng b (m) | Hình dạng bố trí |
| 2 | 3D | 2 | 0.8 |  |
| | 4D | 2.4 | 0.8 | |
| | 5D | 2.8 | 0.8 | |
| | 6D | 3.2 | 0.8 | |
| | 7D | 3.6 | 0.8 | |
| 3 | 3D | 3.2 | 0.8 |  |

| Số cọc | Khoảng cách bố trí (tim-tim) | ĐÀI CỌC | | |
|--------|---------------------------------|-------------------|--------------------|---|
| | | Chiều dài l (m) | Chiều rộng b (m) | Hình dạng bố trí |
| | 4D | 4 | 0.8 | |
| | 5D | 4.8 | 0.8 | |
| | 6D | 5.6 | 0.8 | |
| | 7D | 6.4 | 0.8 | |
| 4 | 3D | 2 | 2 |  |
| | 4D | 2.4 | 2.4 | |
| | 5D | 2.8 | 2.8 | |
| | 6D | 3.2 | 3.2 | |
| | 7D | 3.6 | 3.6 | |
| 5 | 3D | 2.5 | 2.5 |  |
| | 4D | 3.1 | 3.1 | |
| | 5D | 3.6 | 3.6 | |
| | 6D | 4.2 | 4.2 | |
| | 7D | 4.8 | 4.8 | |
| 6 | 3D | 3.2 | 2 |  |
| | 4D | 4 | 2.4 | |
| | 5D | 4.8 | 2.8 | |
| | 6D | 5.6 | 3.2 | |
| | 7D | 6.4 | 3.6 | |
| 7 | 3D | 3.2 | 2.9 |  |
| | 4D | 4 | 3.6 | |
| | 5D | 4.8 | 4.3 | |
| | 6D | 5.6 | 5 | |
| | 7D | 6.4 | 5.7 | |
| 8 | 3D | 4.2 | 2.5 |  |
| | 4D | 5.3 | 3.1 | |
| | 5D | 6.4 | 3.6 | |
| | 6D | 7.6 | 4.2 | |
| | 7D | 8.7 | 4.8 | |
| 9 | 3D | 3.2 | 3.2 |  |
| | 4D | 4 | 4 | |
| | 5D | 4.8 | 4.8 | |
| | 6D | 5.6 | 5.6 | |
| | 7D | 6.4 | 6.4 | |

Đồ thị hiển thị chuyển vị của cọc (trục tung) theo tải tác dụng vào cọc (trục hoành). Giá trị Multiplier trong các biểu đồ được nhân với tải trọng 1000 kN để xác định tải trọng giới hạn. Trong nghiên cứu này, tải trọng giới hạn được xem là điểm bắt đầu có sự thay đổi nhanh của chuyển vị). Các đường cong Lực-Chuyển vị được vẽ trên cùng một biểu đồ để đánh giá trường hợp thay đổi HS Nhóm cọc rõ rệt nhất.

4. Kết quả - Bàn luận

4.1. Khi giữ nguyên khoảng cách cọc, thay đổi số cọc

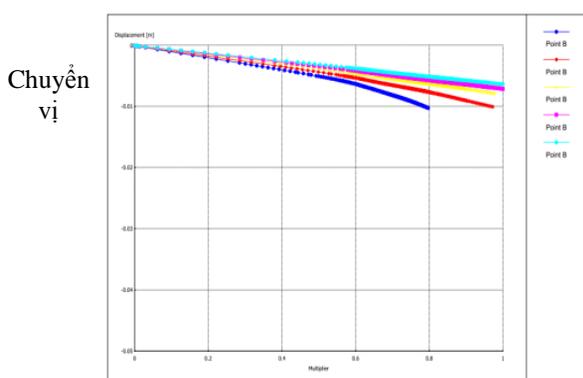
Các biểu đồ tính toán (chỉ thể hiện 2 đến

6 cọc) thay đổi *khoảng cách* thể hiện như ký hiệu trong bảng dưới đây:

| Ký hiệu | Khoảng cách giữa 2 cọc | Bài toán số |
|--|------------------------|-------------|
|  Point B | 3D | 1 |
|  Point B | 4D | 9 |
|  Point B | 5D | 17 |
|  Point B | 6D | 25 |
|  Point B | 7D | 33 |

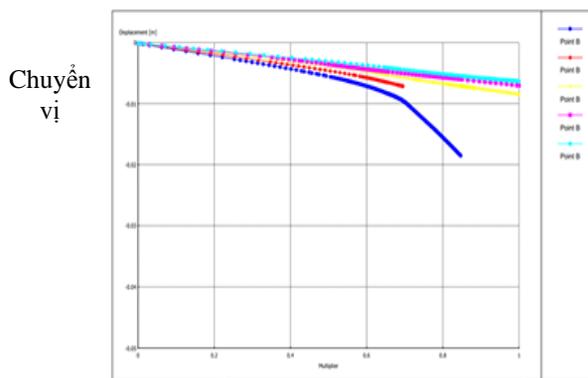
(B là điểm ở mũi cọc)

2 cọc, khoảng cách thay đổi



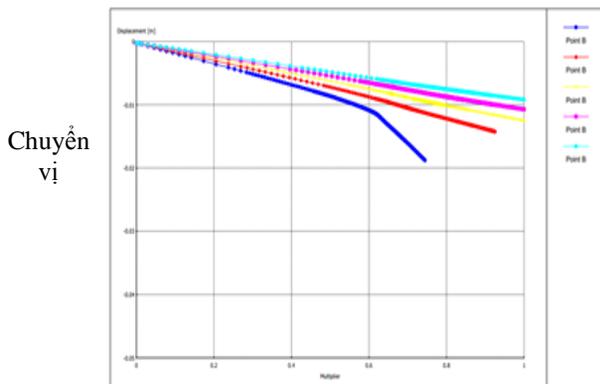
Tải (Multiplier x1000 kN/cọc)

3 cọc, khoảng cách thay đổi



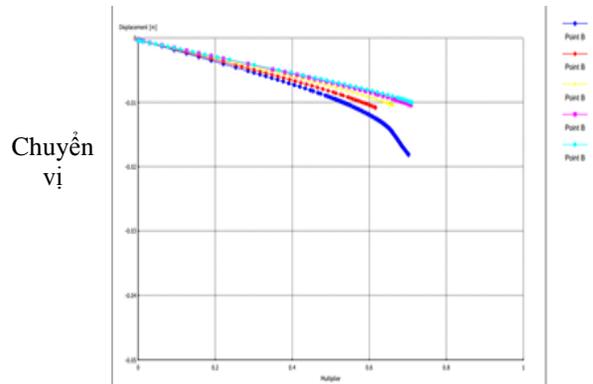
Tải (Multiplier x1000 kN/cọc)

4 cọc, khoảng cách thay đổi



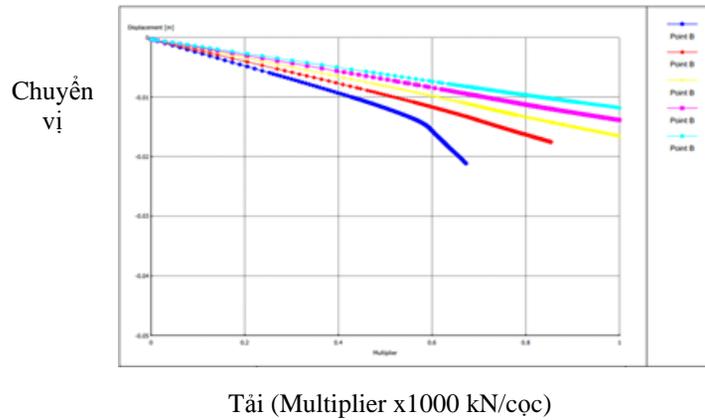
Tải (Multiplier x1000 kN/cọc)

5 cọc, khoảng cách thay đổi



Tải (Multiplier x1000 kN/cọc)

6 cọc, khoảng cách thay đổi



Hình 3. Các đường cong tải – chuyển vị khi khoảng cách thay đổi

Nhận xét: Với số lượng cọc không thay đổi, khi khoảng cách giữa hai cọc tăng dần từ 3D đến 7D thì hệ số nhóm thay đổi như sau:

Khoảng cách 2 cọc từ 3D đến 6D: hệ số nhóm tăng nhanh rõ rệt.

Khoảng cách từ 6D đến 7D: hệ số nhóm tăng không nhiều

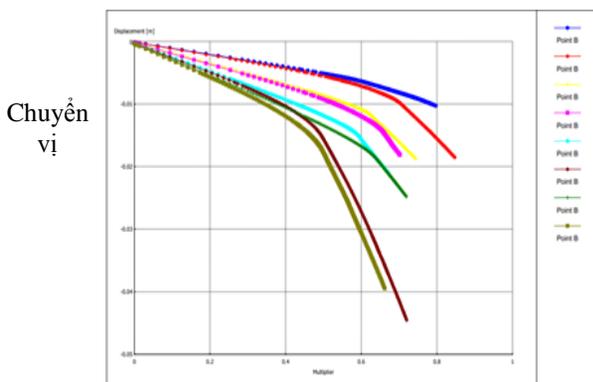
4.2. Giữ nguyên khoảng cách thay đổi số cọc

Các biểu đồ tính toán (chỉ thể hiện 2 đến 6 cọc) thay đổi số lượng cọc thể hiện như ký hiệu trong bảng dưới đây:

| Ký hiệu | Số cọc | Bài toán số |
|---------|--------|-------------|
| | 2 | 1 |
| | 3 | 2 |
| | 4 | 3 |
| | 5 | 4 |
| | 6 | 5 |
| | 7 | 6 |
| | 8 | 7 |
| | 9 | 8 |

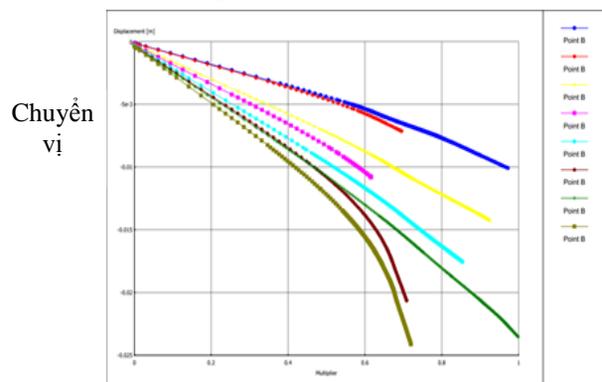
(B là điểm ở mũi cọc)

Khoảng cách cọc 3D:

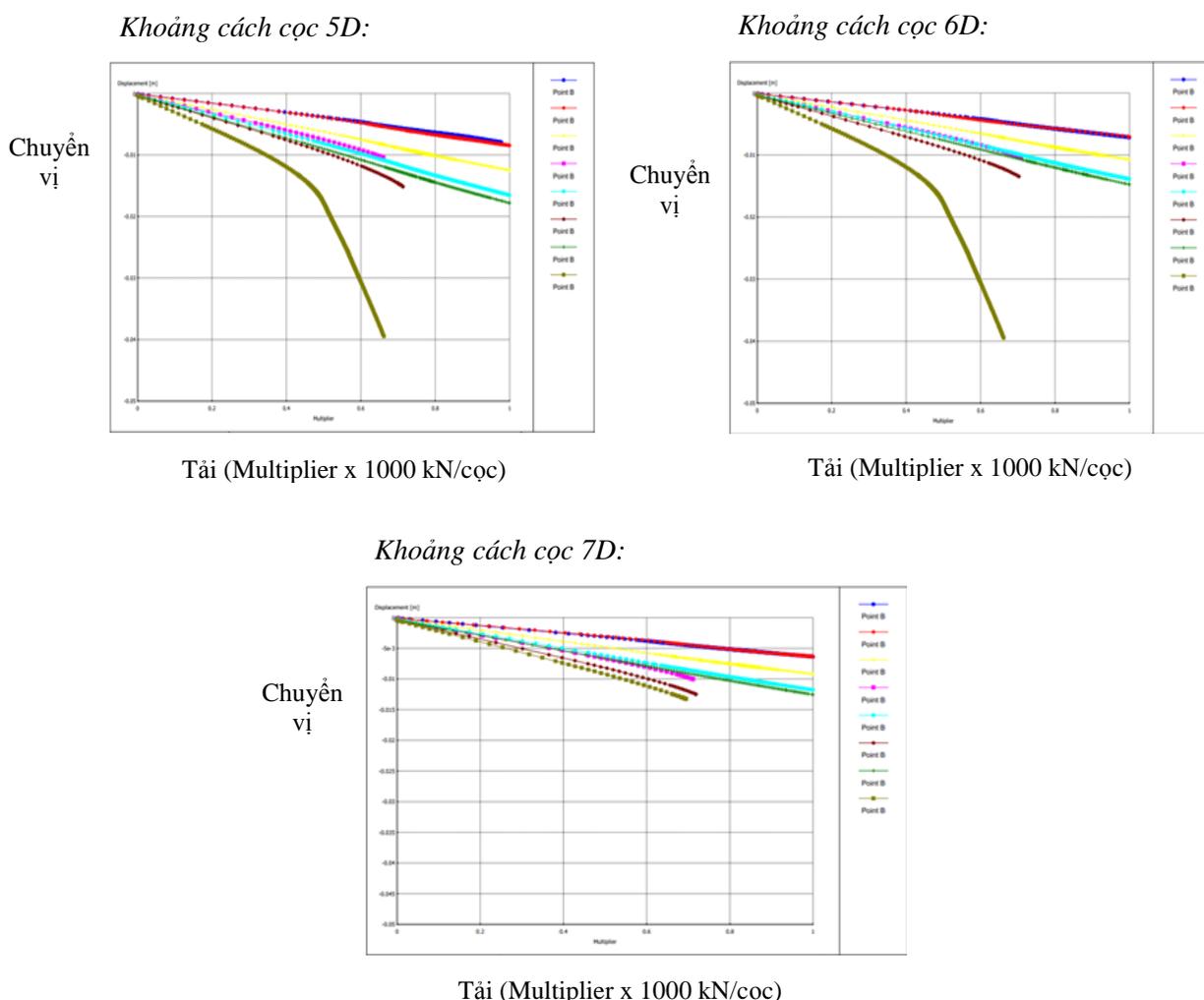


Tải (Multiplier x 1000 kN/cọc)

Khoảng cách cọc 4D:



Tải (Multiplier x 1000 kN/cọc)



Hình 4. Các đường cong Tải – Chuyển vị khi số cọc thay đổi, với các bài toán có khoảng cách tim cọc từ 3D đến 6D

Nhận xét: Với khoảng cách giữa 2 cọc không thay đổi, khi số cọc thay đổi từ 2 cọc đến 9 cọc thì hệ số nhóm thay đổi như sau:

Khi từ 2 cọc đến 7 cọc: hệ số nhóm giảm rõ rệt.

Khi 8 cọc: hệ số nhóm tăng so với 7 cọc.

Khi 9 cọc: hệ số nhóm lại giảm rõ rệt.

Kết hợp hai nhận xét rút từ mô hình mô phỏng trên, ta có thể thấy rằng:

Tăng khoảng cách giữa các cọc trong nhóm dẫn đến sự tăng rõ rệt khả năng chịu tải của nhóm.

Tăng số lượng cọc trong nhóm không làm tăng nhiều khả năng chịu tải

Cự ly hợp lý - tại đó khả năng chịu tải tăng nhanh hơn các cự ly khác - là trong khoảng từ 3D đến 6D. Kết quả này tương hợp

với các nghiên cứu thực nghiệm về cọc hạ vào cát của Vesic (1975), Meyerhoff (1960), Kishida (1964), Garg (1979) etc.

Một số nhận định khác:

- Khả năng chịu tải được xác định từ quan điểm nhìn nhận “điểm gãy” có thể lấy theo tiêu chuẩn hoặc nơi cấp tải gây ra độ lún cọc là từ $0.025 D$ (khoan nhồi) đến $0.1D$ (đóng ép)

- Khảo sát trạng thái US-BD tại các điểm quanh thân cọc, cho thấy Cát không có sự xáo trộn quanh thân cọc, dẫn đến thành phần KNCT do bám trượt không thay đổi theo độ sâu

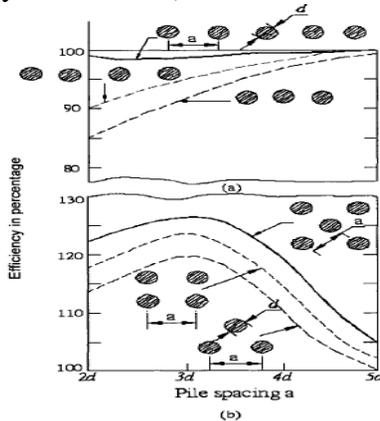
- Công thức hệ số nhóm thông dụng Converse Labarre (Bolin, 1947) cũng dành cho cọc ma sát dương như chỉ đúng với cọc hạ vào đất dính, bố trí cự ly tim cọc là 3D, khi luôn

cho Hệ số hiệu quả nhóm < 1 (Garg, 1979)

- Terzaghi và Peck (1967) công bố:
 - cọc hạ vào cát chặt vừa, cự ly 3D là dẫn đến hệ số hiệu quả nhóm là cực đại là 1,25 và
 - nhóm 5 cọc có hệ số nhóm cọc lớn hơn nhóm 4 cọc (có vẻ như nghịch lý khi số cọc tăng lên thì hệ số nhóm không giảm mà tăng lên!).

Trong nghiên cứu này, hệ số nhóm có thể tăng hơn khi cự ly cọc trong khoảng 3D-6D. Phù hợp với các văn liệu sau này (Craig, 1995).

○ Một số vấn đề còn cần tiếp tục tìm hiểu từ nghiên cứu này, đó là ảnh hưởng của tỷ số Chiều dài/Đường kính (để chỉ ra chiều sâu quan trọng hơn hay đường kính quan trọng hơn) và chiều sâu tới hạn L_{cr} , mà tại đó, ma sát hông không thay đổi tuyến tính theo độ sâu (Meyerhoff, 1976).



Hình 5. Các nghiên cứu trước đây của Terzaghi và Peck (1967)

5. Kết luận

Cọc theo hàng hay đứng thành nhóm có hệ số nhóm cọc khác nhau, do cự ly (tương tác cọc-đất-cọc khác). Hệ số hiệu quả nhóm cho cọc ma sát là khác nhau theo các nghiên cứu lý thuyết, thí nghiệm và thực nghiệm. Tuy nhiên, ít nhất, hệ số này đã được nghiên cứu mô phỏng dùng mô hình Mohr Coulomb của chương trình Plaxis 3D đã cho các kết quả tương hợp với các tác giả đi trước. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng *Hệ số nhóm sẽ tăng rõ rệt khi cự ly tăng lên trong khoảng 3D-6D và việc tăng số cọc đến lớn hơn 7 cọc thật sự không làm tăng khả năng chịu tải của nhóm*. Điều đó khiến chúng ta hiểu thêm rằng: Cùng chiều dài cọc, khi hạ vào đất rời, không nên thiết kế cấu hình nhóm cọc với cự ly nhỏ hơn 3D bất luận có tầng chịu đất tốt mũi hay không vì cọc làm việc ma sát là chủ yếu.

Nghiên cứu này tuy đã cho một vài kết quả bước đầu, theo đó xác nhận hệ số hiệu quả nhóm cọc trong đất rời có thể lớn hơn 1 và cự ly bố trí hợp lý là 3D đến 6D (khoảng cách tim-tim), nhưng để tiến đến kiến thức thực hành, để chuyển giao công nghệ, thiết nghĩ còn cần nhiều nghiên cứu bổ sung như hiệu chuẩn mô hình, nghiên cứu tham số, đối chiếu với nghiên cứu thí nghiệm và thực nghiệm (cả trên mô hình thu nhỏ lẫn mô hình tỷ lệ thực, full scale site test) mới có thể là tài liệu tham khảo tốt cho nhà thiết kế và thi công được ■

Tài liệu tham khảo

Craig R.F (1995). Soil Mechanics, NXB Chapman & Hall.

Đỗ Văn Đệ (2013). *Phần mềm Plaxis 3D Foundation ứng dụng vào tính toán móng và Công trình ngầm*, NXB Xây dựng.

Das, Braja M. (2003). *Principles of Foundation engineering*, PWS Engineering Publisher, Massachuset.

Ujjal Chakraborty (2005). *Performance of single piles in line groups installed in sand*, MSc Thesis, Concordia University, Montreal Canada, ISBN 0-494-13243-4.