

Nghiên cứu tương tác giữa cọc khoan nhồi với nền đồng nhất trong móng công trình cầu

ThS. TRỊNH TRUNG TIẾN
TS. PHẠM VĂN THOAN
Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt: Bài báo trình bày lý thuyết căn bản nghiên cứu về mối quan hệ tương tác giữa các cọc khoan nhồi với nhau và với đất nền đồng nhất, các mô hình nền và phần mềm phân tích. Đồng thời, các tác giả đã đưa ra ví dụ khảo sát, kết quả và kết luận khi nghiên cứu mối quan hệ này.

Abstract: This articles presents the basic theoretical research about the relationship between the interaction of reinforced concrete drilled shaft with each other and with foundation, the base model and analysis software. At the same time, the authors give examples survey, the results and conclusions of this research relationships.

1. Đặt vấn đề

Trong thiết kế nền móng công trình cầu hiện nay, do điều kiện tự nhiên, tải trọng tác dụng và các điều kiện khác, người ta thường hay sử dụng loại móng cọc đúc sẵn hay khoan nhồi. Các kỹ sư thường bố trí khoảng cách tối thiểu giữa các tim cọc là $3D$ (với D là đường kính cọc). Để đơn giản, người ta thường coi sự phân bố tải trọng cho các cọc là đều nhau và xác định lực tác dụng lên mỗi cọc bằng tỷ số áp lực tác dụng lên cọc ở đáy bộ móng chia cho số lượng cọc trong móng khi kiểm toán cọc theo vật liệu làm cọc hay đất nền tại vị trí cọc. Việc này vô tình đã bỏ qua ảnh hưởng của đất và coi nhóm cọc như là một hệ thống kết cấu thông thường. Điều này dẫn đến sự mất an toàn và có thể là lãng phí trong thiết kế kết cấu (Hình 1).

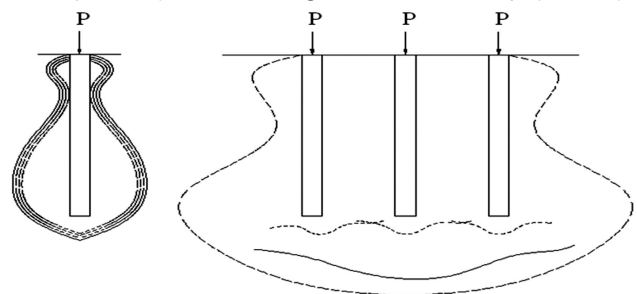


Hình 1: Thi công cọc khoan nhồi

Thực tế, dưới tác dụng lực của công trình tại đáy bộ móng (thẳng đứng, nằm ngang hay mô men), khoảng cách bố trí giữa các cọc và sự tương tác với đất nền, mỗi cọc sẽ có nội lực (mô men, lực dọc, lực cắt) khác nhau. Để tính toán thiết kế các cọc đơn trong nhóm thì điều quan trọng và cần thiết là phải tính được sự phân bố tải trọng và nội lực cho các cọc trong nhóm. Cho nên, cần phải làm rõ hơn ảnh hưởng tương tác giữa các cọc trong móng và giữa các cọc với nền khi xác định nội lực cọc.

2. Ảnh hưởng tương tác giữa các cọc trong móng với đất nền

Khi nghiên cứu hoạt động của nhóm cọc trong móng, đó là sự chùng ứng suất của nền đất dưới chân cọc và khu vực xung quanh thân cọc. Giả sử rằng sức chịu tải của cọc đơn theo đất nền là P_{dn} (đất nền sẽ bị phá hủy khi tải trọng đạt tới P_{dn}), khi khoảng cách giữa các cọc không đủ lớn vùng ứng suất của các cọc sẽ giao thoa với nhau, ứng suất của đất nền trong vùng giao thoa sẽ lớn hẳn lên, dẫn tới việc đất dưới chân cọc sẽ bị phá hủy khi tải trọng chưa đạt đến P_{dn} (Hình 2).



Hình 2: Hiệu ứng nhóm cọc

Thông thường các cọc được thi công với khoảng cách các cọc từ 3 - 4 lần đường kính cọc. Nếu các cọc là cọc ma sát thì ứng xử của các cọc trong nhóm hoàn toàn khác với ứng xử của cọc đơn. Tuy nhiên, với cọc chống thì không có sự khác biệt lớn. Cọc chống thường được xuyên một đoạn ngắn vào tầng đất dưới có khả năng chịu lực tốt và cọc truyền tải trọng cho đất trong phạm vi quả bầu dưới mũi cọc. Nếu tầng đất này và tầng đất phía dưới có khả năng chịu tải lớn thì mỗi cọc trong móng sẽ chịu tải như nhau và như một cọc đơn. Nếu lớp đất dưới có khả năng nén được thì độ lún của nhóm cọc sẽ có thể lớn hơn so với độ lún trong phòng thí nghiệm cọc đơn mặc dù lực chống có thể nhỏ hơn giá trị cho phép. Điều này là do có phần chập của vùng ứng suất tầng dưới mũi các cọc chống và nhóm cọc hoạt động như một thể thống nhất. Trong

móng cọc ma sát thì sự phân bố tải trọng của các cọc khác nhau sẽ rất khác nhau. Các cọc ở giữa sẽ lún nhiều hơn so với các cọc bên vì chúng có lực ma sát bên lớn hơn so với trường hợp tất cả các cọc lún đều. Với mỗi loại môi trường đất nền khác nhau thì sức chịu tải của cọc đơn cũng ảnh hưởng của nhóm cọc là khác nhau. Sự khác nhau được thể hiện qua tính chất của đất nền và tương tác giữa cọc và nền.

Nhóm cọc trong môi trường đất sét: Đối với móng cọc bê tông nằm hoàn toàn trong nền đất sét, hiệu ứng nhóm phụ thuộc chủ yếu vào khoảng cách giữa các cọc và chỉ xảy ra với thành phần ma sát thân cọc (theo Chillis- 1962) và bỏ qua thành phần phản lực mũi cọc. Hiệu ứng nhóm không những phụ thuộc vào khoảng cách giữa các cọc mà còn phụ thuộc vào số lượng cọc trong nhóm (hay kích cỡ của móng cọc). Một số nghiên cứu của Whitaker (1957) và Saffery và Tate (1961) và được tổng hợp lại bởi Demello cũng chỉ ra rằng, giá trị hệ số hiệu ứng nhóm cọc còn phụ thuộc vào một số yếu tố nữa như: Chiều dài của cọc (cọc càng ngắn thì hiệu ứng nhóm càng giảm, hệ số hiệu ứng nhóm càng tăng); khoảng cách giữa các cọc càng tăng thì hiệu ứng nhóm càng giảm, hệ số hiệu ứng nhóm càng tăng; số lượng cọc trong nhóm càng ít thì hiệu ứng nhóm càng giảm, hệ số hiệu ứng nhóm càng tăng. Một điều nữa cần đề cập trong hiệu ứng nhóm chính là sự phân bố tải trọng cho các cọc trong nhóm. Các cọc phía ngoài cùng thông thường chịu tải trọng lớn hơn ở tâm bệ. Whitaker (1957) đã tiến hành một loạt các thí nghiệm và rút ra rằng: Với trường hợp bệ cọc có kích cỡ (3x3 cọc) và khoảng cách giữa các cọc trong khoảng 2d- 4d (với d là đường kính cọc) thì cọc ở biên sẽ chịu tải trọng lớn nhất (lớn hơn khoảng 13 - 25% so với giá trị trung bình của mỗi cọc), trong khi cọc ở trọng tâm chịu tải bé nhất (bé hơn khoảng 18 - 35% giá trị trung bình của mỗi cọc). Tuy nhiên, mức độ chênh lệch này phụ thuộc khá nhiều vào khoảng cách giữa các cọc cũng như kích cỡ, số lượng cọc trong nhóm. Với bệ cọc kích cỡ (3x3 cọc) khi tăng khoảng cách giữa các cọc lên thành 8d (d là đường kính cọc) thì sự phân bố tải trọng gần như đồng đều. Với bệ cọc kích cỡ (5x5 cọc) và khoảng cách giữa các cọc chỉ là 2d thì các cọc ở biên chịu đến 80% tải trọng. Trong trường hợp móng cọc bị phá hủy người ta thấy rằng các cọc ở góc mang tải trọng lớn hơn đến 28% giá trị trung bình trong khi đó các cọc ở tâm bệ mang tải ít hơn khoảng 44% giá trị trung bình.

Nhóm cọc trong môi trường đất cát: Trong môi trường đất cát, theo một nghiên cứu của Vesic (1969) đã chỉ ra rằng, các cọc ở trọng tâm bệ thường chịu lực lớn hơn các cọc ở biên (điều này trái ngược với cọc trong đất sét). Độ lệch tải trọng này tăng dần theo kích cỡ của nhóm cọc, cụ thể như sau: Với nhóm cọc 4x4 độ lệch tải trọng nằm trong khoảng 3 - 7% so với giá trị trung bình. Với nhóm cọc 9x9, các cọc ở tâm bệ thường phải chịu tải trọng vượt quá đến 36% so với giá trị trung bình, trong khi đó các cọc ở góc và biên lại bé hơn giá trị trung bình đến 12%.

3. Hoạt động của đất xung quanh cọc

Đối với cọc khoan trong đất sét: Người ta nhận thấy lực dính giữa đất và cọc nhỏ hơn độ bền không thoát nước của đất trước khi hạ cọc. Sự mềm hóa của đất sét ngay trên mặt đất cạnh cọc xảy ra do: Sự hút

nước từ bê tông ướt; sự di chuyển của nước trong đất ở xa cọc về phía hố khoan khi đào hố; nước rót vào hố khoan để dễ khoan cắt đất. Việc hạ cọc khoan có thể gây ra sự dịch chuyển của đất ở ngay dưới mũi cọc. Đất bị mềm ra có thể do hoạt động của các dụng cụ khoan đào. Các ảnh hưởng này có thể làm tăng độ lún đặc biệt với các cọc có đáy mở rộng.

Với cọc khoan trong đất cát: Khi thi công cọc nhồi, quá trình khoan tạo lỗ sẽ làm cho đất ở lân cận rời rạc hơn nhất là đối với đất hạt (đất xung quanh vùng khoan bị giải phóng ứng suất) nên không những làm giảm sức kháng của đất đối với bản thân cọc mà còn làm giảm sức kháng của đất đối với những cọc gần đó. Khi đổ bê tông, áp lực của bê tông tươi phần nào làm cho đất chặt lại, nhưng không đáng kể.

4. Các mô hình nền trong phân tích móng cọc

Để phân tích nội lực móng cọc khi kể đến sự tương tác với đất nền thì ngoài việc mô hình hóa kết cấu móng cọc người ta còn phải mô hình hóa được nền đất xung quanh móng theo vật liệu. Phương pháp này xây dựng trên cơ sở lý thuyết phương pháp phần tử hữu hạn. Khi đó, cọc và nền được xét đồng thời như một hệ tổ hợp gồm nhiều thành phần có các đặc trưng vật liệu khác nhau. Tùy theo từng bài toán ta có thể chọn mô hình vật liệu phù hợp với ứng xử của kết cấu và nền trong quá trình chịu lực. Đối với bài toán tương tác của kết cấu với nền đàn hồi, các mô hình cơ học thường sử dụng để mô tả vật liệu nền có thể là: Đàn hồi tuyến tính, đàn hồi phi tuyến, đàn dẻo lí tưởng, đàn dẻo giảm bền. Các mô hình cơ học mô tả vật liệu nền cho ta quan hệ giữa ứng suất và biến dạng tại một điểm bất kỳ trong môi trường nền. Phương trình toán học của mô hình vật liệu nền thường là hệ phương trình mô tả quan hệ giữa véc tơ ứng suất và véc tơ biến dạng của một phân tử tại điểm khảo sát.

Mô hình vật liệu đàn hồi tuyến tính: Đối với vật liệu đàn hồi tuyến tính, quan hệ ứng suất biến dạng tuân theo định luật Hook: $\{\sigma\} = [D].\{\epsilon\}$. Trong đó: Các véc tơ ứng suất $\{\sigma\}$, biến dạng $\{\epsilon\}$ và ma trận vật liệu $[D]$ sẽ có dạng khác nhau tùy theo trạng thái ứng suất - biến dạng của điểm khảo sát. Đồ thị biểu diễn quan hệ ứng suất - biến dạng đối với vật liệu đàn hồi tuyến tính thường là đường thẳng với quan hệ nghịch tuyến tính khi chất tải và dỡ tải. Đây là mô hình đơn giản, cơ bản nhất trong các phép tính của môi trường biến dạng và các lời giải với các loại mô hình vật liệu khác cũng được xây dựng từ lời giải của mô hình đàn hồi tuyến tính. Mặc dù thực tế nền đất không thỏa mãn tính chất đàn hồi tuyến tính nhưng trong thực hành tính toán bao giờ người ta cũng khảo sát lời giải đàn hồi tuyến tính trước khi tiến hành khảo sát với các mô hình phức tạp khác. Việc so sánh kết quả tính của các mô hình phức tạp với kết quả của mô hình đàn hồi tuyến tính cho phép ta đánh giá được mức độ ổn định và độ tin cậy trong tính toán.

Mô hình vật liệu đàn hồi bất đẳng hướng: Trong thực tế, do bản chất của quá trình trầm tích trong lịch sử hình thành các lớp đất đá mà ta có thể gặp trường hợp nền đất đá gồm các lớp phân bố với chiều dày tương đối đều nhưng nằm nghiêng so với mặt chuẩn, đồng thời các lớp đất đá này có độ cứng khác nhau theo các phương trục giao. Khi đó, việc sử dụng mô hình vật liệu bất đẳng hướng cho phép mô tả sát thực

hơn trạng thái làm việc của nền.

Quan hệ ứng suất biến dạng của vật liệu đàn hồi bất đẳng hướng trong hệ trục tọa độ cục bộ cũng có biến dạng tương tự: $\{\sigma'\} = [D'] \cdot \{\varepsilon'\}$.

Mô hình vật liệu đàn hồi phi tuyến tính: Khi nền đất gần đạt đến trạng thái phá hoại thì quan hệ ứng suất - biến dạng trở nên phi tuyến, để mô tả ứng xử của nền đất ở lân cận trạng thái phá hoại có thể sử dụng mô hình vật liệu đàn hồi phi tuyến trùng với vật liệu đàn hồi tuyến tính nhưng có modul đàn hồi (E) và hệ số Poisson (ν) thay đổi phụ thuộc vào trạng thái ứng suất trong vật liệu.

Mô hình vật liệu đàn dẻo lý tưởng: Trong giai đoạn chất tải ứng suất tăng tỷ lệ với biến dạng cho đến khi vật liệu đạt đến giới hạn đàn hồi, sau đó biến dạng tiếp tục tăng nhưng ứng suất không tăng và vật liệu chuyển sang trạng thái dẻo. Khi dỡ tải và chất tải lại ứng suất tỷ lệ với biến dạng cho đến khi đạt đến giới hạn đàn hồi. Biến dạng dẻo sẽ được tích lũy trong vật liệu và khi tổng biến dạng tích lũy đạt một ngưỡng nào đó thì vật liệu bị phá hoại. Khi giải các bài toán đàn - dẻo thay cho ma trận [D] trong quan hệ ứng suất dạng (2.1) sẽ dùng ma trận $[D_{ep}]$ theo quan hệ số gia ứng suất và số gia biến dạng:

$$\{d\sigma\} = [D_{ep}] \cdot \{d\varepsilon\}$$

Trong đó: $[D_{ep}]$ - Ma trận đàn dẻo

Mô hình vật liệu đàn dẻo giảm bền: Mô hình vật đàn dẻo giảm bền có quan hệ ứng suất - biến dạng gồm ba phần: Khi ứng suất cắt trong vật liệu nhỏ hơn giới hạn bền cắt thì vật liệu có ứng xử đàn hồi, sau khi vật liệu bị phá hoại cắt thì ứng suất giảm xuống đến một giá trị nhỏ hơn giới hạn ban đầu. Hàm tiêu chuẩn dẻo đối với mô hình vật liệu đàn dẻo giảm bền là hàm của trạng thái ứng suất và biến dạng dẻo tương đương và có thể tính theo số đo ứng suất tiếp (cường độ ứng suất tiếp) q và sức bền cắt c_u như sau:

$$F = F(\sigma, \bar{\varepsilon}_p) = q - \sqrt{3}c_u$$

Nếu bài toán khảo sát trong điều kiện biến dạng phẳng thì ở trạng thái phá hoại ta có:

$$\sigma_2 = (\sigma_1 + \sigma_3) / 2 \Rightarrow c_u = (\sigma_1 - \sigma_3) / 2$$

Cường độ ứng suất tiếp q đặc trưng cho trạng thái ứng suất tại điểm khảo sát và được xác định qua bất biến ứng suất lệch thứ hai, $J_2: q = \sqrt{J_2}$.

Ngoài các mô hình trên, trong Plaxis 3D Foundation, FB - PIER còn đưa vào sử dụng một số mô hình khác như: Mô hình đất yếu từ biến (tính chất biến dạng phụ thuộc vào thời gian); mô hình sét Cam - clay.

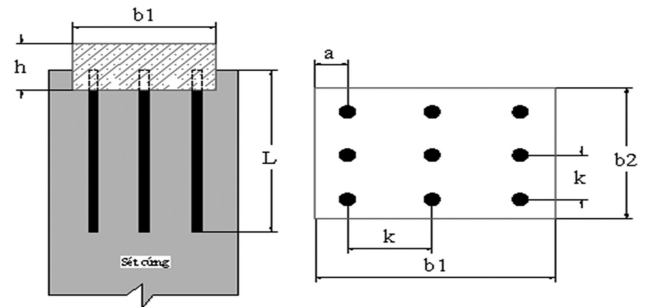
Trong các mô hình đã nêu trên, mô hình đàn dẻo cho thấy nhiều ưu điểm và có tính ứng dụng cao hơn cả. Mô hình này là sự tổng quát hóa của môi trường đàn hồi và dẻo cứng có ma sát trong. Các mô hình này có thể nhận được các kết quả tính toán bằng lời giải tích hoặc bằng số. Về bản chất, mô hình này phối hợp hai lý thuyết cơ sở của cơ học hiện đại: Lý thuyết đàn hồi và lý thuyết trạng thái giới hạn; mô hình được mô tả bằng các đặc trưng cơ học thông thường trong khảo sát địa chất công trình. Mô hình nền này thường được sử dụng rộng rãi trong các bài toán địa kỹ thuật. Với các ưu điểm nêu trên, tác giả sẽ áp dụng mô hình nền đàn hồi dẻo lý tưởng của Mohr - Coulomb trong việc mô hình hóa vật liệu nền đất sét đã được lựa chọn nghiên cứu và sử dụng phương pháp phần

tử hữu hạn (Plaxis 3D, FB - PIER) để tính toán.

Trong FB - PIER sử dụng 3 mô hình: Mô hình tương tác giữa lực ngang đỉnh cọc (P) và chuyển vị ngang của cọc (Y) gọi là "Mô hình P-Y". Mô hình tương tác giữa lực dọc trục (T) và chuyển vị thẳng đứng (Z) gọi là "Mô hình T-Z". Mô hình tương tác giữa mômen xoắn đỉnh cọc (T) và chuyển vị xoay của cọc (θ) gọi là "Mô hình T-θ".

5. Bài toán

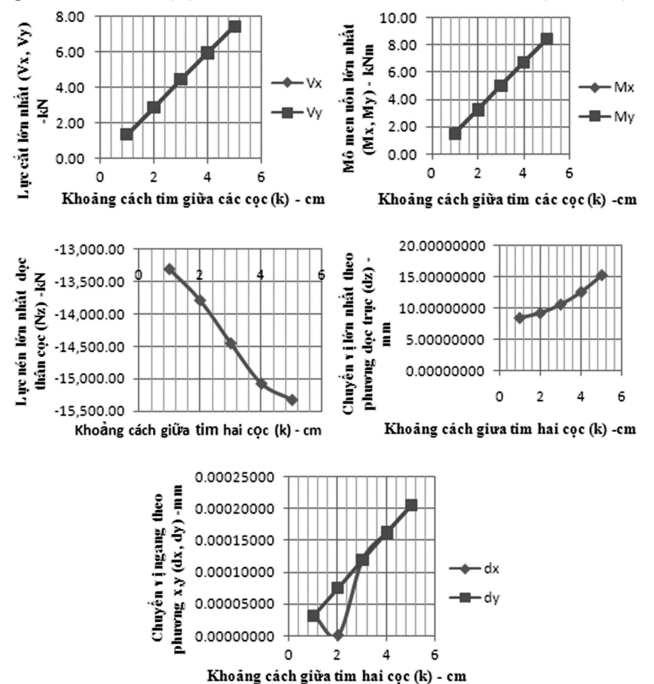
Khảo sát sự biến thiên nội lực cọc khoan nhồi của móng cọc trụ cầu trên nền đồng nhất là sét cứng gồm 09 cọc bằng bê tông cốt thép, bố trí thành 3 hàng, mỗi hàng có 3 cọc, cọc có đường kính D = 1,0m, bê tông cọc cấp 40 Mpa, chịu tác dụng lực của kết cấu nhịp và phần trụ truyền xuống đáy bệ móng là 100.000kN. Nền là đất sét cứng có cường độ kháng cắt không thoát nước là 24132kPa, dung trọng tự nhiên của sét: 19kN/m³. Bệ cọc nhô ra khỏi tim cọc biên là a = 1,5m. Khoảng cách (k), chiều dài các cọc (L), kích thước bệ cọc (h, b1) thay đổi (Hình 3).



Hình 3: Ví dụ phân tích tương tác cọc - nền

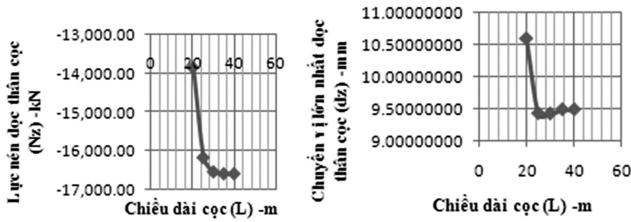
Sử dụng chương trình FB-PIER, phân tích từng trường hợp, cho ta các kết quả sau đây:

- Kết quả khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách giữa các cọc (k) đến nội lực lớn nhất của cọc (Hình 4):



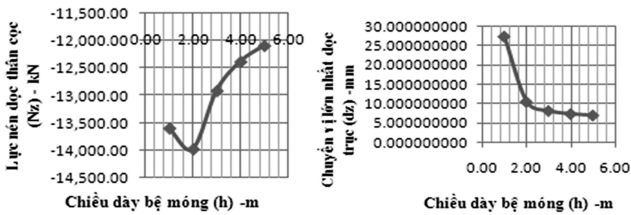
Hình 4: Đồ thị quan hệ giữa khoảng cách tim các cọc (k) đến nội lực lớn nhất của cọc

- Kết quả khảo sát ảnh hưởng của chiều dài cọc (L) đến nội lực lớn nhất của cọc (Hình 5):



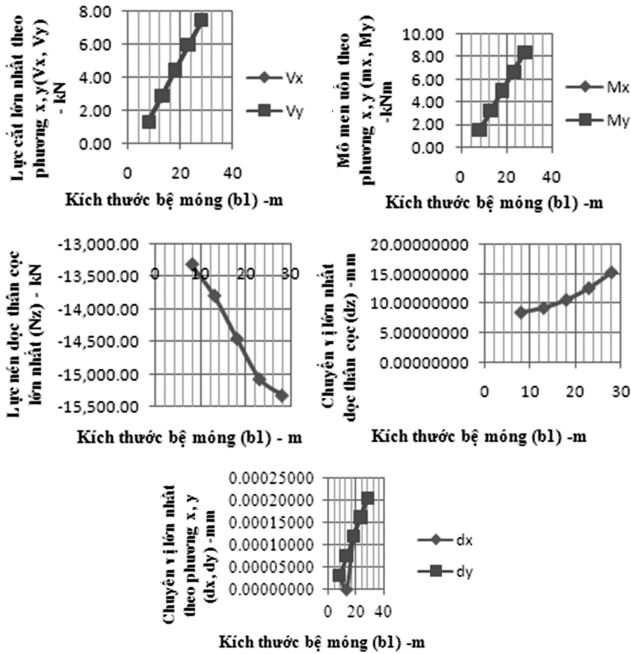
Hình 5: Đồ thị quan hệ giữa chiều dài cọc (L) đến nội lực lớn nhất của cọc

- Kết quả khảo sát ảnh hưởng của chiều dày bệ móng (h) đến nội lực lớn nhất của cọc (Hình 6):



Hình 6: Đồ thị quan hệ giữa chiều dày bệ móng (h) đến nội lực lớn nhất của cọc

- Kết quả khảo sát ảnh hưởng của kích thước bệ móng (b1) đến nội lực lớn nhất của cọc (Hình 7):



Hình 7: Đồ thị quan hệ giữa kích thước bệ móng (b1) đến nội lực lớn nhất của cọc

6. Kết luận

Từ các đồ thị ở trên, ta thấy rằng các kết quả khi phân tích nội lực cọc khoan nhồi có đặc điểm tương đồng so với cọc đóng (xem bài báo “Nghiên cứu tương tác giữa cọc đóng BTCT với nền đồng nhất trong móng công trình cầu”), đó là:

- Các cọc càng bố trí xa nhau (k lớn) thì ảnh hưởng tương tác giữa các cọc càng ít. Do vậy, nội lực, chuyển vị của mỗi cọc đơn càng lớn. Nói cách khác, các cọc càng xa nhau, ảnh hưởng hiệu ứng nhóm trong nhóm cọc càng giảm.

- Chiều dài của các cọc càng lớn thì lực dọc thân cọc trong đất nền càng lớn và chuyển vị dọc thân cọc càng giảm.

- Chiều dày bệ móng càng lớn thì nội lực và chuyển vị lớn nhất trong mỗi cọc càng giảm.

- Kích thước bệ móng càng lớn, các cọc càng bố trí xa nhau (k lớn) thì ảnh hưởng tương tác giữa các cọc càng ít, nội lực và chuyển vị trong mỗi cọc đơn càng tăng □

Tài liệu tham khảo

[1]. TS. Phạm Văn Thoan, *Đồ án thiết kế cầu bê tông cốt thép theo 22TCN 272-05, Tập I, II*, NXB. Xây dựng, 2013.
 [2]. TS. Phạm Văn Thoan, *Hướng dẫn thiết kế cầu bê tông cốt thép theo 22TCN 272-05*, NXB. Xây dựng, 2013.
 [3]. TS. Phạm Văn Thoan, *Tin học ứng dụng cầu đường*, NXB. Xây dựng, 2013.
 [4]. *Tiêu chuẩn ngành 22TCN272-05*, NXB. GTVT, 2009.
 [5]. *Design of highway bridges*, Barker R. M., Puckett J. A. . American: John Wiley & Son, 1997.

Ngày nhận bài: 8/4/2014
 Ngày chấp nhận đăng: 29/4/2014
 Người phản biện: TS. Nguyễn Duy Đồng
 PGS. TS. Nguyễn Mạnh Thường

HÒANG THẾ

*Phụng cưu tân
ra khơi*

*Những con tàu hồi hải ra khơi
 Đồi mắt với sóng lừng bão tố
 Tàu không số mà tàu có số
 Từng vượt đạn bom thù lại gối sóng bên nhau!*

*Trước mắt kia là biển bạc, giếng dầu
 Sau lưng là Trường Sơn hùng vĩ
 Những hòn đảo với tâm hồn lính trẻ
 Sức xuân ngời ngời lồng lộng cờ sao.*

*Tàu ra khơi... khói vẫy, còi chào
 Sóng bốn ngàn năm như người người lớp lớp
 Người thủy thủ mang tình yêu Tổ quốc
 Cùng uy thần xưa, vượt siêu bão giữa biển trời!*

*Những con tàu đi biển mến yêu ơi!
 Hồn đất nước vẫn hiện trong buồm lái
 Hoa vẫn nở bên đảo chìm đảo nổi
 Chín mươi triệu tấm lòng vàng gửi trọn tình xuân.*