

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN TRẠNG THÁI ỨNG SUẤT TRONG HỆ BẢN CỌC LÀM VIỆC ĐỒNG THỜI

Đào Văn Hưng

Đại học Thủy lợi Hà Nội

Phùng Văn Ngọc

Đại học Bách khoa Hà Nội

Phạm Thanh Tâm

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Nghiên cứu trạng thái ứng suất của hệ bản cọc trong từng điều kiện chịu lực khác nhau khi xét đến sự làm việc đồng thời của hệ bản và cọc nhằm tận dụng tối đa khả năng làm việc của hệ cọc, tiết kiệm về mặt kinh tế và nâng cao chất lượng về mặt kỹ thuật đảm bảo công trình làm việc ổn định, bền vững. Trong bài báo này nhóm tác giả nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với sự hỗ trợ của phần mềm SAP 2000, mô hình hóa phần tử theo mô hình không gian ba chiều, có xét tới tương tác giữa cọc và nền để phân tích trạng thái ứng suất của hệ bản cọc khi làm việc đồng thời với các tổ hợp tải trọng khác nhau. Kết quả nghiên cứu về trạng thái ứng suất của hệ bản cọc khi làm việc đồng thời, phân bố ứng suất trên đầu cọc trong các trường hợp sử dụng sơ đồ hệ cọc.

Từ khóa: Công trình, cọc bê tông, mô hình, tải trọng, ứng suất.

Summary: Study the stress state of the pile system under different load conditions considering the simultaneous operation of the pile system and the pile system in order to make the most of the piles' working capacity, economically. And improve the technical quality to ensure a stable and stable work. In this article the research team uses the finite element method with the support of SAP 2000 software, modeling the element in a three-dimensional space model, taking into account the interaction between the pile and the foundation. Analyze the stress state of the pile system when working concurrently with different load combinations. Research results on the stress state of the pile system when working simultaneously, the distribution of stress on the pile head in cases using the pile system.

Key words: Construction, concrete pile, model, load, stress.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay với phát triển của kinh tế việc xây dựng các công trình xây dựng diễn ra khắp mọi nơi. Đi kèm với vấn đề phát triển kinh tế là vấn đề ô nhiễm môi trường, hạn hán, biến đổi khí hậu, nước biển dâng... Việt Nam là nước chịu nhiều ảnh hưởng của hiện tượng biến đổi khí hậu nước biển dâng. Đê đống phó

với tình trạng này nước ta đã đầu tư xây dựng các công trình thủy lợi để nhằm mục đích điều tiết và ngăn chặn hiện tượng này. Trên thực tế đã xuất hiện các công trình như các cống điều tiết; cống lấy nước; cống ngăn triều, giữ ngọt... nhằm phục vụ mục đích trên. Đi theo việc xây dựng các công trình đó là các giải pháp về mặt kết cấu, ổn định công trình để đảm bảo công trình hoạt động một cách an toàn bền vững. Sử dụng cọc để gia cố nền đất yếu là phương pháp phổ biến khi xây dựng các công trình thủy lợi. Tuy nhiên hiện thực khách

Ngày nhận bài: 16/3/2017

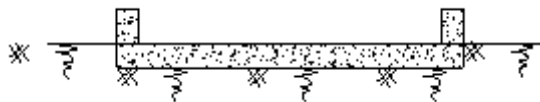
Ngày thông qua phản biện: 21/4/2017

Ngày duyệt đăng: 15/5/2017

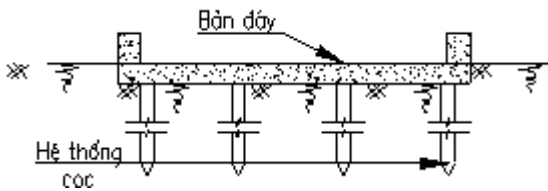
quan cho thấy khi sử dụng cọc chúng ta chưa đánh giá đến sự làm việc đồng thời của bản và cọc dẫn đến việc sử dụng cọc thiên lớn làm hao phí về kinh tế.

1.1 Đặc điểm làm việc của công trình bê tông trên nền đất

Công trình bê tông thủy công là loại công trình có tải trọng bản thân và tải trọng ngang lớn, làm việc trong môi trường nước, bởi thế nền thường bão hòa và điều kiện làm việc không thoát nước. Móng công trình bê tông có thể đặt trực tiếp trên nền đất hoặc ngàm sâu vào nền. Khi chịu tải trọng phức tạp, tải trọng công trình truyền xuống nền vượt quá sức chịu tải của nền, nền sẽ bị phá hoại hoặc xảy ra các hiện tượng trượt phẳng, sâu hoặc trượt hỗn hợp; điều đó dẫn đến sự phá hoại về kết cấu và công trình bị phá hoại hoàn toàn.



Móng nông trên nền



Móng sâu ngàm vào nền nhờ tăng chiều sâu hộp đáy nhờ hệ thống cọc

Hình 1: Hình thức móng công trình trên nền đất



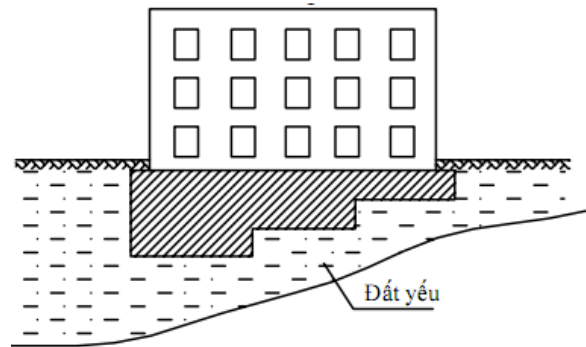
Hình 2: Sơ đồ mặt ổn định công trình bê tông chịu tải trọng phức tạp

Thực tế cho thấy việc đánh giá khả năng làm việc của đất nền và biện pháp xử lý không phù hợp đã dẫn đến những sự cố đáng tiếc, gây thiệt hại lớn về người và của.

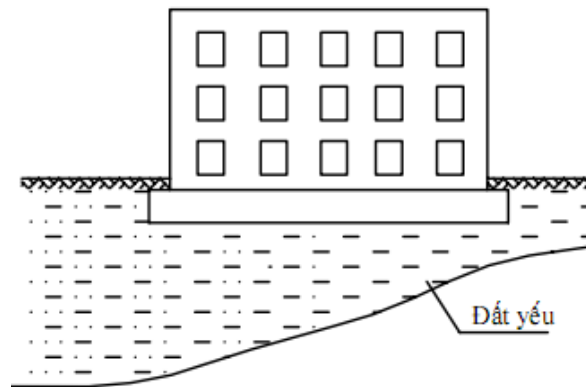
Các biện pháp xử lý về móng

Đầu tiên phải kể đến phương pháp thay đổi chiều sâu chôn móng, sử dụng phương pháp này có thể giải quyết về mặt lún và khả năng chịu tải của nền. Khi chiều sâu chôn móng tăng thì sức chịu tải của nền tăng. Trường hợp nền đất yếu có chiều dày thay đổi nhiều, để giảm chênh lún có thể đặt móng ở nhiều cao trình khác nhau.

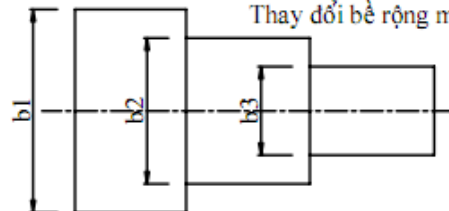
Phương pháp thay đổi kích thước móng có tác dụng thay đổi trực tiếp áp lực tác dụng lên mặt nền do đó cải thiện được điều kiện chịu tải cũng như điều kiện biến dạng của nền.



Thay đổi độ sâu chôn móng



Thay đổi bề rộng móng

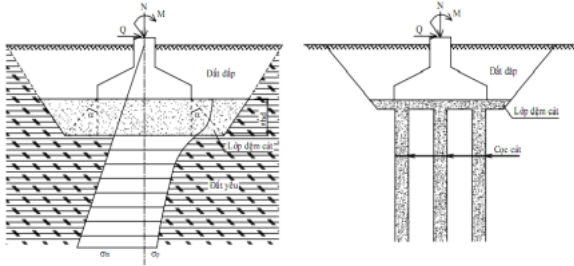


Thay đổi kích thước móng

Hình 3: Phương pháp xử lý về móng

Với các lớp đất yếu có độ dày không lớn (tốt

nhất với lớp đất yếu < 3m) ở trạng thái bão hòa nước người ta sử dụng đệm cát (đào bỏ toàn bộ lớp đất yếu và thay bằng cát hạt trung, hạt thô đầm chặt) để cải tạo nền. Đệm cát đóng vai trò như một lớp chịu tải tiếp thu tải trọng công trình và truyền tải trọng đó xuống các lớp đất bên dưới.

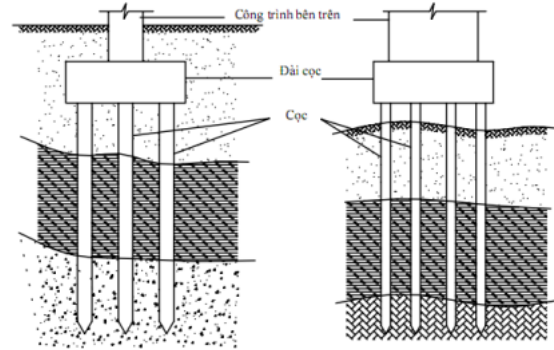


Sơ đồ bố trí đệm cát Sơ đồ bố trí cọc cát
 Hình 4: Phương pháp xử lý về nền

Khi gặp trường hợp nền yếu nhưng có độ ẩm nhỏ ($G < 0,7$) có thể sử dụng phương pháp đầm chặt lớp mặt để làm tăng cường độ chống cắt của đất và làm giảm tính nén lún. Lớp đất mặt sau khi được đầm chặt có tác dụng như một tầng đệm đất, không những ưu điểm như phương pháp đệm cát mà còn có ưu điểm là tận dụng được nền đất thiên nhiên để đặt móng, giảm khối lượng đất đào đắp.

Phương pháp sử dụng cọc bê tông cốt thép: Mục đích của phương pháp sử dụng khả năng chịu tải cao của các tầng đất dưới sâu và lực ma sát giữa cọc và nền móng để giữ ổn định cho công trình.

Với ưu điểm có lịch sử phát triển lâu đời, phù hợp với nhiều loại địa hình địa chất phương án sử dụng móng cọc được sử dụng phổ biến rộng rãi với hầu hết các loại công trình nói chung và công trình thủy lợi nói riêng. Về việc nghiên cứu đề tài của luận văn, tác giả hi vọng góp thêm một chút hiểu biết nhỏ trong hệ thống lý thuyết về phương pháp tính toán móng cọc làm phong phú kho tài liệu về móng cọc.

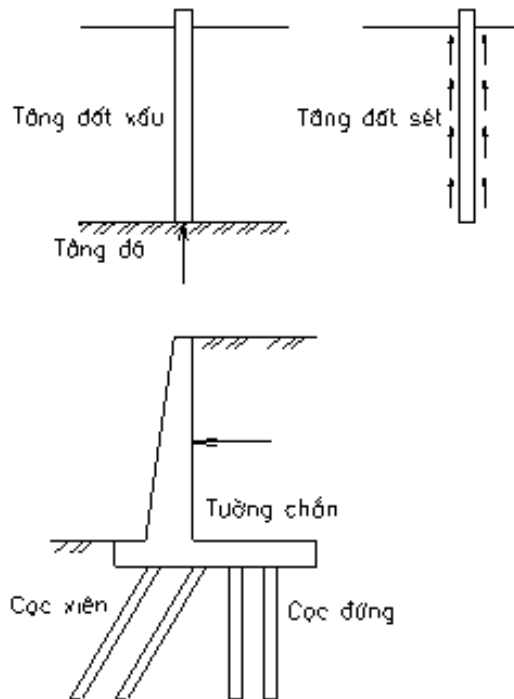


Móng cọc dài thấp Móng cọc dài cao

Hình 5: Phương pháp xử lý về nền bằng móng cọc

1.2 Ứng dụng và phân loại cọc bê tông cốt thép

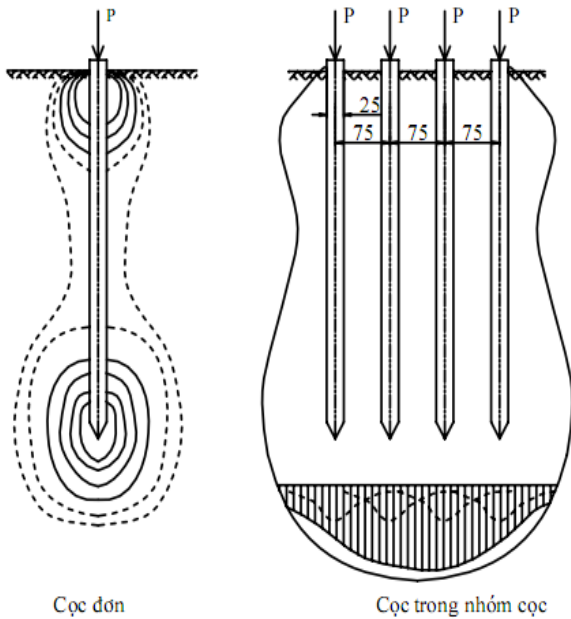
Chức năng chung nhất của cọc là truyền tải trọng xuống tầng sâu ở những nơi mà tầng đất nông không đủ chịu lực. Khi cọc xuyên qua lớp đất xấu và cắm xuống một phần vào tầng đất tốt có khả năng chịu lực thì gọi là cọc chống. Khi cọc được hạ vào trong tầng đất mà sức chịu tải của đất không lớn lắm, sức chịu tải của cọc dựa vào lực ma sát ở mặt bên của cọc thì chúng gọi là cọc ma sát. Sức chịu tải của cọc sẽ tăng lên rất nhiều khi sử dụng cả lực chống và lực ma sát.



Hình 6: Các ứng dụng khác nhau của cọc

1.3 Hoạt động của nhóm cọc

Các cọc được đóng thành nhóm với khoảng cách giữa các cọc từ 3 đến 4 lần đường kính hoặc cạnh của 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. Với cọc chống thì có thể không thấy có dấu hiệu khác biệt nhau như thế.



Hình 7: Phân bố ứng suất do cọc đơn và nhóm cọc

Trong nền đất rời, quá trình hạ cọc bằng phương pháp đóng hay ép thường nén chặt đất nền, vì vậy sức chịu tải của nhóm cọc có thể lớn hơn tổng sức chịu tải của các cọc đơn trong nhóm.

Trong nền đất dính, sức chịu tải của các cọc ma sát nhỏ hơn tổng sức chịu tải của các cọc đơn trong nhóm. Mức độ giảm sức chịu tải của cọc đơn trong nhóm cọc trong trường hợp này phụ thuộc vào khoảng cách giữa các cọc trong nhóm, đặc tính của nền đất, độ cứng của đài cọc và sự tham gia truyền tải công trình xuống đài cọc và đất.

Đối với cọc chống, sức chịu tải của nhóm cọc bằng tổng sức chịu tải của các cọc đơn trong nhóm.

2. Cơ sở nghiên cứu sức chịu tải của cọc theo điều kiện đất bao quanh cọc

Sức chịu tải dọc trục của cọc theo điều kiện đất bao quanh cọc được chia thành sức kháng bên và sức kháng mũi: $Q_u = Q_f + Q_p$

Trong đó: Q_f : Sức kháng bên

$$Q_f = u \sum f_i \cdot \Delta z_i$$

u : Chu vi thân cọc

Δz_i : Chiều dài đoạn phân tố cọc mà trên đó f_i được coi là hằng số

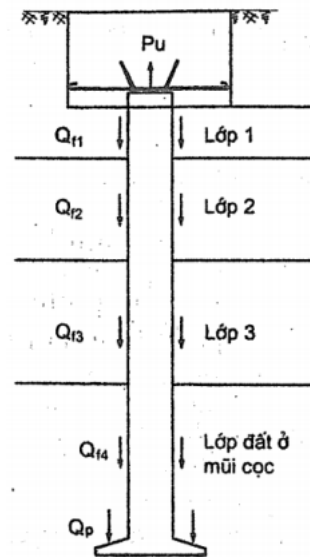
Δz_i : Diện tích xung quanh của đoạn phân tố cọc

Q_p : Sức kháng mũi: $Q_p = q_p \cdot A_c$

Trong đó: q_p sức kháng mũi đơn vị cực hạn của cọc

A_c : Tiết diện ngang mũi cọc

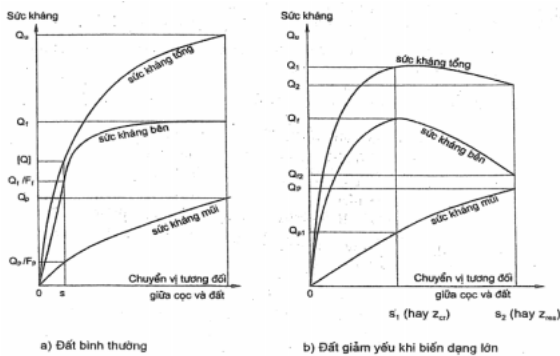
Nếu cọc chịu kéo, mũi cọc mở rộng chân thì A_c là phần mở rộng chân, mặt tiếp xúc giữa cọc với đất phía bên trên chỗ mở rộng (hình 2.3). Nếu cọc chịu kéo không mở rộng chân thì $A_c = 0$



Hình 8: Sức chịu tải kéo của cọc mở rộng chân (móng cọc pttk)

Nhiều nghiên cứu thấy rằng (hình 2.4): Sức kháng bên cực đạt cực hạn rất nhanh (ở

chuyển vị khoảng 3 – 5 mm. Nếu cọc nhỏ có thành bên rất nhám thì sức kháng bên có thể đạt cực hạn ở chuyển vị lớn hơn, khoảng 10 – 15 mm). Ngược lại, sức kháng mũi cọc đạt cực hạn rất chậm. Dưới tải trọng cho phép, chuyển vị của cọc [s] khá nhỏ, do đó sức kháng mũi mới chỉ được huy động một phần nhỏ (trong khi đó, sức kháng bên của cọc đã được huy động khá lớn).



Hình 9: Sự huy động sức kháng (móng cọc ptk)

Đối với loại đất đá “giảm yếu khi biến dạng lớn”. Khi chuyển vị là s_1 , sức kháng bên đã huy động được toàn phần và đạt giá trị cực đại Q_f . Tuy nhiên khi chuyển vị tăng dần lên, trong khi sức kháng mũi vẫn tăng dần thì sức kháng bên lại giảm đi. Như vậy, tổng sức kháng cực hạn không phải là $Q_f + Q_p$ mà là giá trị lớn hơn trong hai giá trị sau: $Q_1 = Q_f + Q_{p1}$ và $Q_2 = Q_{f1} + Q_p$

2.1 cơ sở tính toán sức kháng bên của cọc

Khi một vật thể chuyển động trượt trên vật thể kia, giữa hai vật thể sẽ xuất hiện sức kháng bên (sức kháng bên cắt) là f_i : $f_i = c + \sigma \text{tg} \delta$

Trong đó: c là lực dính đơn vị giữa hai vật thể

σ : ứng suất pháp giữa hai vật thể

δ góc ma sát ngoài giữa hai vật thể

Khi chịu tác động của tải trọng nén cọc sẽ có xu hướng lún xuống. Hướng chuyển vị thẳng đứng do đó ứng suất pháp giữa hai vật thể cọc và đất theo phương ngang $\sigma'_h = K \cdot \sigma'_v$.

Người ta phân biệt sức kháng bên thành hai trường hợp là trường hợp thoát nước và trường hợp không thoát nước.

a) Sức kháng bên thoát nước

Cát (hay đất rời nói chung là vật liệu thấm nước rất tốt. Bởi vậy, áp lực nước lỗ rỗng dư luôn luôn được coi là tiêu tán ngay lập tức (thoát nước). Bởi vậy, sức kháng bên giữa đất rời và cọc được gọi là sức kháng bên thoát nước. Lực dính c của đất rời gần như không có ($c = 0$), bởi vậy sức kháng bên đơn vị cực hạn thoát nước của cọc có dạng sau:

$$f_i = K \cdot \sigma'_v \cdot \text{tg} \delta \tag{2.1}$$

Trong đó: σ'_v ứng suất hữu hiệu theo phương đứng tại đoạn cọc (độ sâu là z)

K: hệ số áp lực ngang sau khi cọc đã thi công

$K \cdot \sigma'_v$ ứng suất pháp tác dụng vuông góc với đoạn cọc đang xét

δ góc ma sát ngoài giữa đất với cọc, góc này có thể lấy xấp xỉ bằng φ là góc ma sát trong giữa đất với đất

Việc dự báo K là rất khó khăn (hệ số áp lực ngang K đã thay đổi so với đất nguyên dạng khi chưa có cọc) ta có thể đặt $K \text{tg} \delta$ bằng β , do đó phương trình 2.1 có dạng: $f_i = \beta \sigma'_v$

Cách tính trên gọi là cách tính β (bê ta). Hệ số β được dự báo dựa trên thực nghiệm

2.3 Cơ chế làm việc của hệ bản – cọc

Nghiên cứu tác động qua lại khi kể tới ảnh hưởng của đài cọc, nền đất dưới đáy đài và cọc cho thấy cơ cấu truyền tải trọng như sau:

Sự làm việc của đài cọc: Tải trọng từ công trình truyền xuống móng. Đài cọc liên kết các đầu cọc thành một khối và phân phối tải trọng công trình xuống cho các cọc. Sự phân phối này phụ thuộc vào việc bố trí các cọc và độ cứng kháng uốn (EJ) của đài. Ở một mức độ nhất định nó có khả năng điều chỉnh độ lún không đều (lún lệch).

Ảnh hưởng của nền đất dưới đáy đài: Khi đài cọc chịu tác động của tải trọng một phần được truyền xuống cho các cọc chịu và một phần được phân phối cho nền đất dưới đáy đài. Tỷ lệ phân phối này phụ thuộc vào nhiều yếu tố: độ cứng của nền đất, chuyển vị của đài, chuyển vị của cọc và việc bố trí các cọc.

Ảnh hưởng của cọc: Cơ chế làm việc của cọc là nhờ được hạ vào các lớp đất tốt phía dưới nên khi chịu tác động của tải trọng đứng từ đài móng nó sẽ truyền tải này xuống lớp đất tốt thông qua lực ma sát giữa cọc với đất và lực kháng mũi cọc làm cọc chịu kéo hoặc nén. Trong quá trình làm việc cọc còn chịu thêm các tác động phức tạp khác như: hiệu ứng nhóm cọc, lực ma sát âm ... Do có độ cứng lớn nên cọc tiếp nhận phần lớn tải trọng từ đài xuống chỉ có một phần nhờ do nền tiếp nhận.

Tóm lại sự làm việc của hệ bản – cọc – nền đất là một hệ thống nhất làm việc đồng thời cùng nhau và tương tác lẫn nhau rất phức tạp. Sự tương tác đó phụ thuộc vào độ cứng kháng uốn của đài cọc, độ cứng của nền đất, độ ứng của cọc (khả năng chịu tải và bố trí cọc). Nhờ vào sự tương tác đó mà tải trọng được phân phối xuống nền đất gây ra chuyển vị của nền, chuyển vị này phân phối lại tải trọng cho kết cấu bên trên từ đó có tác dụng điều chỉnh chênh lún, giữ được ổn định không gian cho móng

3.3 Thay cọc bằng các gối đàn hồi.

Các đặc trưng cơ bản của mô hình sử dụng

Đài cọc được khai báo là các phần tử SELL hoặc SOLID. Đài cọc được chia thành lưới hình ô vuông hoặc chữ nhật. Cọc được thay thế bằng các gối đàn hồi có độ cứng K cọc tương ứng

Đất dưới đáy đài được thay bằng các gối Spring có độ cứng K đất thay đổi tùy theo vào điều kiện địa chất

Xác định độ cứng của gối đàn hồi Kcọc

Cọc được thay thế bằng các gối đàn hồi có độ cứng Kcọc đặc trưng cho độ cứng của cọc

được tính bằng công thức sau : $K_{cọc} = \frac{P_i}{S_i}$

Trong đó :

S_i : độ lún của cọc thứ i khi chịu tải trọng P_i . Theo các nghiên cứu của nhiều nhà khoa học, độ lún của cọc đơn có kể đến hiệu ứng nhóm được xác định như sau:

$$S_i = S_c \left(1 + \sum_{i=2}^{mc} \alpha_i\right)$$

Với $\sum_{i=2}^{mc} \alpha_i$ là hệ số ảnh hưởng của nhóm cọc, được xác định theo công thức kinh nghiệm

$$\alpha = \frac{0,5 \ln(L / \delta)}{\ln(L / \rho d)} \quad \text{với } \delta < L$$

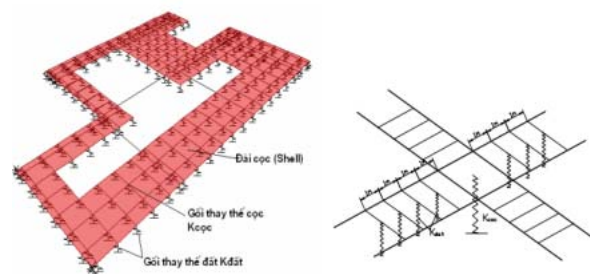
$$\alpha = 0 \quad \text{với } \delta > L$$

L là chiều dài cọc; δ là khoảng cách giữa các tâm cọc; d là đường kính cọc

$$\text{Hệ số } \rho = \frac{E_g}{E_m}$$

Trong đó E_g , E_m là mô đun biến dạng của đất tại điểm giữa chiều dài cọc và mũi cọc.

S_c là độ lún cọc đơn dưới tác dụng của lực P_i xác định trên cơ sở tương tác giữa cọc và đất, nền đất ở mũi cọc và bản thân biến dạng đàn hồi của cọc. S_c có thể được tính thông qua các công thức thực nghiệm như nhiều tác giả đã đưa ra như: Phương pháp truyền tải của Coyle và Reese (1960); phương pháp của Gambin, phương pháp của Mindlin theo lý thuyết đàn hồi.



Hình 10: Sơ đồ tính toán kết cấu bản khi xem đầu cọc như một gối đàn hồi

4. KẾT QUẢ ỨNG DỤNG VÀO CÔNG TRÌNH THỰC TẾ

4.1. Vị trí địa lý, đặc điểm công trình

Cống Nam Đàn là một hạng mục công trình nằm trong dự án “nâng cấp, mở rộng cống Nam Đàn và hệ thống kênh giai đoạn 1“. Cống Nam Đàn mới được xây dựng tại nơi giao nhau giữa kênh Cụt và đê tả sông Lam, vị trí công trình thuộc địa bàn xã Xuân Hoà, huyện Nam Đàn, tỉnh Nghệ An. Tuyến cống mới cách cống Nam Đàn cũ khoảng 2 km về phía hạ lưu. Tọa độ địa lý khu đầu mối:

+ 105⁰30'53" kinh độ Đông

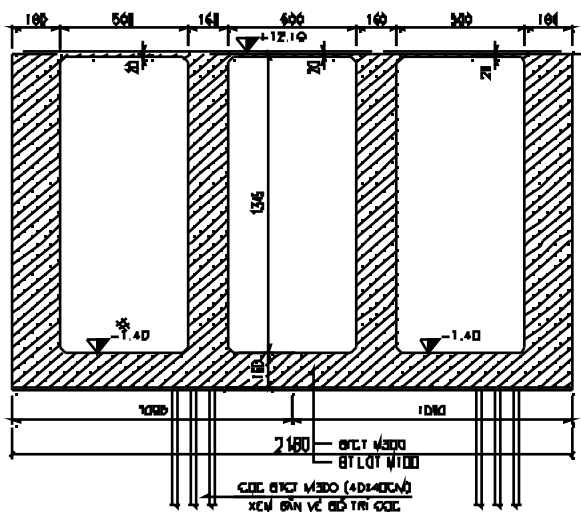
+ 18⁰41'18" vĩ độ Bắc.

Vùng dự án được giới hạn bởi:

- + Phía Bắc giáp huyện Diễn Châu;
- + Phía Nam giáp Sông Cả (sông Lam);
- + Phía Tây giáp vùng đồi núi của hai huyện Thanh Chương và Đô Lương;
- + Phía Đông giáp biển;

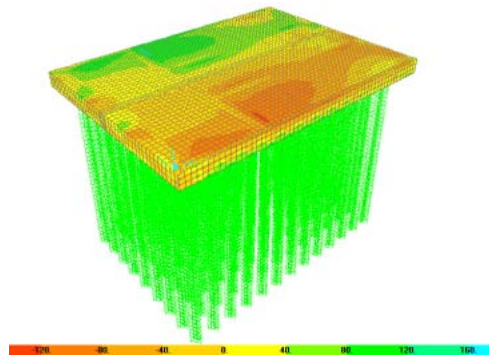
Các thông số kỹ thuật chính của:

- Cống lấy nước bố trí ở phía phải âu thuyền (tìm cống lấy nước cách tìm âu 25,1m). Lưu lượng thiết kế $Q_{tk} = 27,64 \text{ m}^3/\text{s}$.



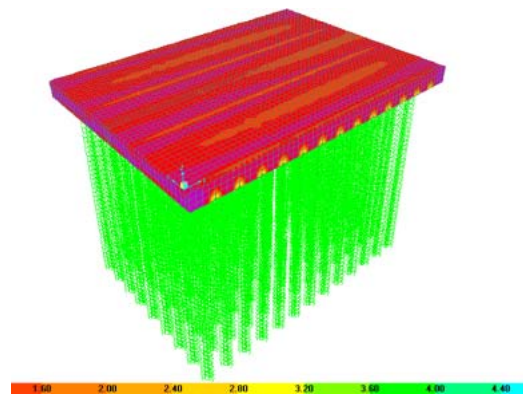
Hình 11: Cắt ngang cống vị trí nhà điều hành

4.1. Ứng dụng phần mềm SAP 14 tính toán khả năng chịu tải của hệ bản cọc



Hình 12: Biểu đồ ứng suất S12

(Max = 260,919T/m²; Min = -260,919T/m²)



Hình 13: Biểu đồ ứng suất Svm

(Max = 5934,834T/m²; Min = 26,065T/m²)

Các thông số thiết kế đảm bảo điều kiện chịu tải của hệ cọc cho công trình.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu của nhóm tác giả đã nêu ra các phương pháp tính toán bố trí cọc cho móng công trình bê tông cốt thép được các đơn vị tư vấn sử dụng rộng rãi trong giai đoạn hiện nay. Đó là các phương pháp được nêu ra trong TCXDVN 205 – 1998 (móng cọc – tiêu chuẩn thiết kế.)

- Đã xem xét được các phương pháp phân tích ứng suất – biến dạng cũng như mô hình nền, phương pháp tính toán tương tác giữa nền

móng và các cọc trong hệ thống cọc sử dụng từ đó lựa chọn cách xây dựng thuật toán giải phương pháp phần tử hữu hạn theo sơ đồ không gian có kể đến tương tác của đất nền đối với cọc bê tông cốt thép trong hệ thống cọc và bản đáy làm việc đồng thời.

- Ứng dụng các phương pháp trên và phần mềm tính toán kết cấu SAP 2000 để phân tích ứng suất cho công trình cống lấy nước Nam Đàn tỉnh Nghệ An. Trong thời đại công nghệ phát triển nhanh mạnh như hiện nay, việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn với sự hỗ trợ của máy tính là vô cùng hợp lý, nó giúp kết quả tính toán nhanh hơn, tính được nhiều tổ hợp tải trọng khác nhau một cách đồng thời. Việc sử dụng phương pháp số cũng hạn chế được giả thiết ban đầu, đặc biệt khi mô hình hóa theo sơ đồ không gian đã xét được sự làm việc đồng thời của các bộ phận công trình. Và một khẳng định chắc chắn rằng kết quả sẽ hoàn toàn phản ánh chính xác trạng thái ứng suất của kết cấu nghiên cứu khi các điều kiện

biên được khai báo đầy đủ.

Kết quả đã mô tả được trạng thái ứng suất của hệ bản cọc khi làm việc đồng thời một cách đầy đủ, trực quan, độ chính xác cao, làm cơ sở để tính toán kết cấu, bố trí sơ đồ hệ cọc cho công trình, góp phần bổ sung vào kho tài liệu tham khảo cho các cán bộ thiết kế và thi công công trình và những công trình tương tự.

Tuy nhiên kết quả chỉ xem xét trạng thái ứng suất khi kể đến sự làm việc đồng thời của cọc và bản đáy mà chưa nghiên cứu được sự làm việc đồng thời của hệ

Cần so sánh việc sử dụng mô hình nền Winkler với việc sử dụng các mô hình nền khác, so sánh việc sử dụng công thức tính K của Terzaghi với các công thức do các nhà nghiên cứu khác đưa ra để có những kết luận đánh giá tổng quan hơn.

Để kết quả nghiên cứu chính xác hơn cần xét đến ảnh hưởng của hệ cọc khi chúng làm việc cùng nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Giáo trình cơ học đất trường Đại học Thủy lợi
- [2] Giáo trình nền móng trường Đại học Thủy lợi
- [3] Ths Hồng Tiến Thắng – tài liệu hướng dẫn sử dụng SAP 200 V12
- [4] PGS.TS Trịnh Văn Cường Địa kỹ thuật tài liệu giảng dạy sau đại học 2002
- [5] GS.TS Vũ Công Ngữ, Phân tích và thiết kế móng cọc – Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật 2004
- [6] Phân tích và thiết kế kết cấu bằng phần mềm SAP 2000
- [7] PhD. Shamsher Prakash, Hari D. Sharma. Pile foudations in engineering practice – Móng cọc trong thực tế xây dựng Nhà xuất bản xây dựng 1999.
- [8] Journal of geotechnical and geoenvironmental engineer 2001