

BÀI HỌC XỬ LÝ SỰ CỐ CÁT CHẢY HỒ MÓNG SÂU BẰNG CỌC XI MĂNG ĐẤT

Vũ Bá Thao

Viện Thủy công

Phạm Văn Minh

Ban Quản lý Trung ương các Dự án Thủy lợi

Tóm tắt: Hình thức chống đỡ hồ móng sâu được sử dụng khá phổ biến là tường cọc nhồi vì tiến độ thi công nhanh và chi phí thấp hơn tường ba-rét. Tuy vậy, trong thiết kế và thi công tường cọc khoan nhồi không đảm bảo kín khít giữa các cọc sẽ bị dòng thấm cuốn trôi đất ngoài vào trong hồ móng gây lún sụt, nứt công trình lân cận, làm chuyển vị tường hồ móng. Bài báo giới thiệu kết quả phân tích xử lý sự cố cho một công trình hồ móng sử dụng hình thức tường cọc khoan nhồi, nền đất yếu, mực nước ngầm cao, không có màng chống thấm. Giải pháp xử lý là khoan phụt tạo cọc xi măng đất tại phần tiếp giáp các cọc khoan nhồi để chống thấm và gia cố phần đất yếu phía trong hồ móng để chống đẩy trôi. Trong bài toán phân tích chuyển vị và nội lực của tường móng có xét đến ảnh hưởng của áp lực đất bị động theo nguyên lý lò xo chịu nén không chịu kéo thông qua phần mềm FRWS7.2 và Midas NX. Kết quả tính toán thiết kế và thi công cho thấy, giải pháp đề xuất xử lý triệt để thấm và đẩy trôi, đảm bảo an toàn thi công hồ móng và công trình lân cận. Kiến nghị các hồ móng trong đô thị chống đỡ bằng tường cọc khoan nhồi phải đưa hạng mục chống thấm cho tường từ ngay giai đoạn thiết kế để đảm bảo an toàn cho bản thân hồ móng và công trình lân cận.

Từ khóa: Hồ móng sâu, Cọc đất xi măng, Tường cọc khoan nhồi, Cát chảy, Thấm hồ móng.

Summary: Because of fast construction progress and lower cost than the diaphragm wall, soldier pile walls are commonly used in deep excavation. However, when designing and constructing soldier pile walls, tightness between the piles is not assured, the permeate flows the outside soil into the excavation, causing subsidence, cracking adjacent buildings, shifting the wall. This paper presents the results of troubleshooting analysis for an excavation project using the form of soldier pile wall, without waterproofing membrane, under soft ground conditions and high underwater level. Using soil cement columns at the junction of bored piles to waterproof and reinforce the weak soil inside the foundation pit to avoid push-up. The displacement and internal force of the soldier pile wall was analyzed by using FRWS7.2 and Midas NX software to consider the effect of passive earth pressure by compression-springs theory. The results of the design and construction calculations show that the proposed solution handles infiltration and push up thoroughly, ensuring the safety of excavation construction and adjacent buildings. Thanks to those findings, the paper propose that foundation pits supported by soldier pile walls in urban areas have to consider waterproofing items from the design stage to ensure the safety of the excavation itself and adjacent buildings.

Key words: Deep excavation; Soil cement column; soldier pile wall, sand boiling, seepage

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thi công hồ móng sâu thường gặp các hình thức chống đỡ phổ biến như: đào tạo mái dốc, tường đỉnh đất, tường neo, tường trọng lực xi măng đất, và tường dạng bản. Trong đó,

tường dạng bản là hình thức được dùng phổ biến nhất đối với hồ móng sâu. Các hình thức kết cấu tường bản gồm: tường liên tục (cọc ba-rét), tường cọc khoan nhồi, tường thép hình kết hợp cọc xi măng đất, và tường cừ

Ngày nhận bài: 29/4/2020

Ngày thông qua phản biện: 18/5/2020

Ngày duyệt đăng: 05/6/2020

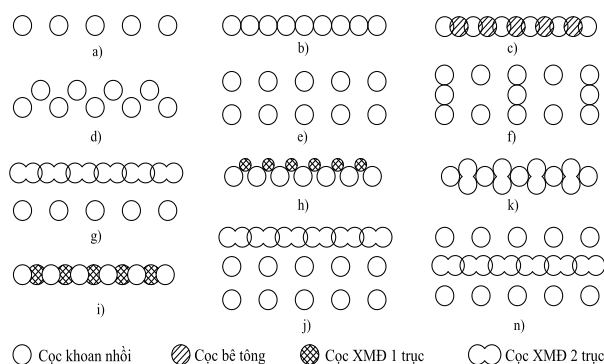
thép hoặc bê tông [1]. Chọn các hình thức tường hồ móng cần căn cứ vào điều kiện địa hình, địa chất, thủy văn, môi trường xung quanh, điều kiện thi công, yêu cầu sử dụng hồ móng, độ sâu hồ móng và quy mô công trình, v.v...

Hình thức tường cọc khoan nhồi được sử dụng khá phổ biến với đường kính cọc thường từ 0,4 m đến 1,2 m, khoảng cách khe hở giữa biên ngoài các cọc từ 0,15 m đến 0,20 m. Để chống thấm qua khe hở cọc khoan nhồi, phía sau lưng tường cọc được phụt màng chống thấm bằng cọc xi măng đất. Màng chống thấm có thể thi công bằng phương pháp trộn cơ (Mechanical Grouting – thường là trộn khô) và trộn tía (Jet Grouting – trộn ướt). Theo phương pháp trộn cơ, cọc xi măng đất được tạo bằng máy trộn hai trục hoặc ba trục [2], ngoài ra có thể dùng máy trộn sáu trục để nâng cao tốc độ thi công [3]. Mặt bằng bố trí tường cọc khoan nhồi kết hợp cọc xi măng đất thường được bố trí như thể hiện trên Hình 1. Giải pháp kết hợp cọc khoan nhồi và cọc xi măng đất này có ưu và nhược điểm như sau.

Ưu điểm: Công nghệ thi công đơn giản, mặt bằng bố trí linh hoạt, phạm vi ứng dụng lớn, thích hợp với các tầng đất khác nhau, giá thành giảm so với cọc ba rét, tiết kiệm thép, thích hợp với nhiều hình thức chống đỡ hồ móng. Nhược điểm: Khó xử lý thấm khi gặp sự cố.

Trong thiết kế thi công tường cọc khoan nhồi làm tường hồ móng ít quan tâm đến chống thấm, tức là bỏ qua màng chống thấm bằng cọc xi măng đất. Khi thi công đào đất trong hồ móng dòng thấm sẽ cuốn trôi các hạt đất mịn, hạt cát phía ngoài hồ móng vào trong hồ

móng gây lún sụt, nứt công trình lân cận, làm chuyển vị tường hồ móng gây mất an toàn cho công trình. Bài báo giới thiệu kết quả phân tích xử lý sự cố cho một công trình hồ móng thực tế sử dụng hình thức tường cọc khoan nhồi, nền đất yếu, mực nước ngầm cao, không có màng chống thấm.

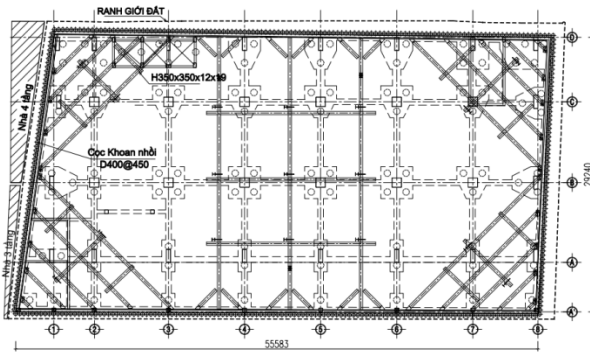


Hình 1: Hình thức bố trí tường cọc khoan nhồi kết hợp cọc bê tông cốt thép hoặc cọc xi măng đất

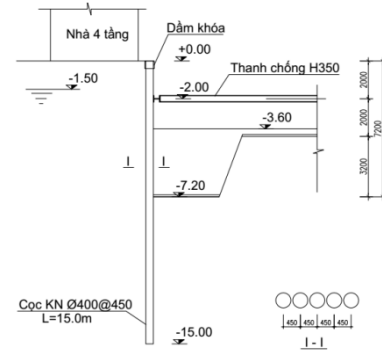
2. PHÂN TÍCH SỰ CỐ CÔNG TRÌNH HỒ MÓNG SÂU

2.1. Giới thiệu công trình hồ móng

Công trình hồ móng nằm trên đường Nguyễn Khánh Thiện, Thành phố Hải Phòng. Hồ móng có độ sâu trung bình là 5,5 m, chỗ sâu nhất là 7,2 m, chu vi hồ móng là 325 m, cao trình đỉnh hồ móng là 0,000 m. Hình thức chắn giữ hồ móng bằng tường cọc khoan nhồi có đường kính $D=400@450$, chiều dài cọc là 15.0 m. Sử dụng một tầng thanh chống bằng thép hình H350x350x12x19, nằm ở cao trình -2.000 m. Phía Tây hồ móng là hai ngôi nhà cao 4 tầng, nằm cách mép hồ móng từ 0,8 m đến 1,0 m. Mặt bằng hồ móng như Hình 2.



Hình 2: Mặt bằng hố móng



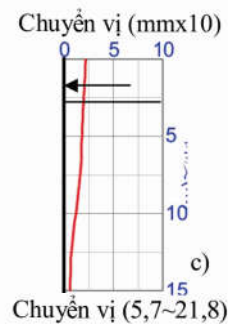
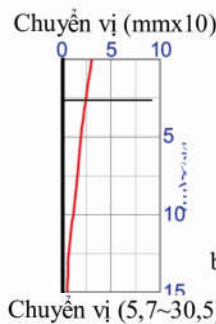
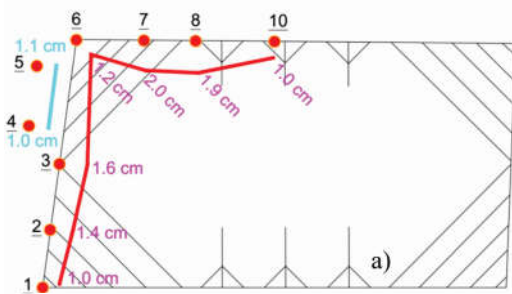
Hình 3: Mặt cắt ngang hố móng

2.2. Mô tả sự cố

Khi thi công đào hố móng đến độ sâu khoảng 2.5 m (đã lắp đặt một phần hệ thống thanh chống) thì xảy ra hiện tượng nước thấm, rò rỉ vào trong hố móng, kéo theo các hạt cát, hạt đất mịn, làm lún sụt mặt đất quanh hố móng, chuyển vị đỉnh tường hố móng. Đặc biệt làm nứt nhà lân cận cách mép hố móng một khoảng từ 0,8m -1,0 m. Sau khi xảy ra sự cố Chủ đầu tư đã cho dừng thi công, lắp đặt các mốc quan trắc lún và chuyển vị tường hố móng và nhà lân cận, xử lý thấm sơ bộ bằng cách xây tường gạch áp

vào tường hố móng, đánh giá lại hồ sơ thiết kế và khảo sát kiểm tra lại địa chất.

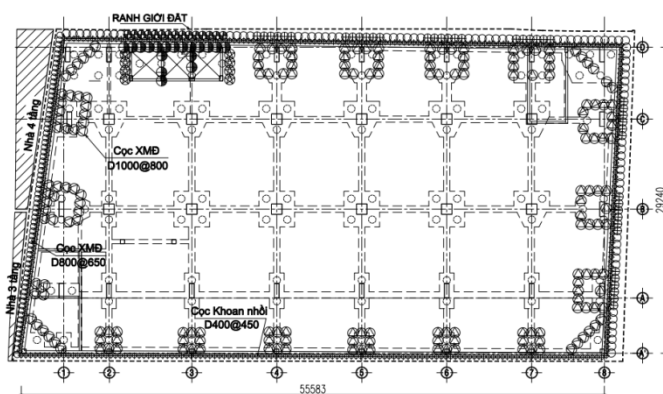
Thời gian bắt đầu quan trắc bắt đầu từ 15/7/2016 đến ngày 18/7/2016, chuyển vị lớn nhất đo được là 20 mm tại thời điểm mưa to, đến ngày 31/7/2016 chuyển vị tăng không đáng kể. Kết quả khảo sát lại địa chất cho thấy các lớp địa chất thay đổi tương đối lớn như: lớp đất san lấp dày đến 6 m, không như khảo sát ban đầu là 2,5 m; chiều dày lớp 2 bùn sét dày 6,4 m, khảo sát ban đầu là 7,2 m. Mục nước ngầm thực tế chỉ cách mặt đất tự nhiên là 1,5 m.



Hình 4: Một số hình ảnh hố móng. a) Văng chống tại vị trí công trình lân cận, b) Chuyển vị của tường khi đào xuống -2,5 m; c) Chuyển vị của tường khi lắp đặt thanh chống -2,0 m; d) Khảo sát tại vị trí công trình lân cận; e) Nước cuốn theo hạt đất mịn và cát vào trong hố móng; f) Bố trí các mốc quan trắc trên công trình lân cận, g) Nứt công trình lân cận

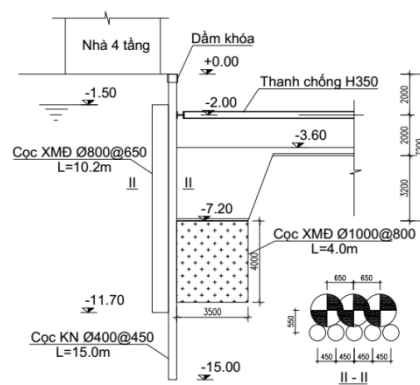
Biện pháp chống đỡ hồ móng được lựa chọn là cọc khoan nhồi D400@450, mác M300, không có lớp chống thấm giữa hai khe cọc nên đã làm cho nước thấm qua khe và kéo theo các hạt mịn bên ngoài hồ móng. Phần thiết kế tường chưa chú ý đến việc khống chế nước ngầm. Căn cứ vào thông số địa chất mới tính toán lại tại mặt cắt sâu nhất $H = 7.2$ m thì thấy rằng: chiều dài cọc không đảm bảo, hồ móng bị đẩy trôi, hệ số an toàn tổng thể $K_{tt} = 1.21 < [K_{tt}] = 1.3$; Hệ số đẩy trôi $K_{dt} = 1.23 < [K_{dt}] = 1.60$; Hệ số ổn định lật $K_l = 1.05 < [K_l] = 1.1$; Chuyển vị lớn nhất khi đào đến đáy hồ móng là 58 mm; Hệ số ổn định thấm $K_{th} = 1.07 < [K_{th}] = 1.15$.

2.3. Xử lý sự cố



Hình 5: Mặt bằng bố trí gia cố cọc xi măng đất

Do công trình đã thi công đào móng được khoảng 2,5 m, các kết cấu tường chắn bằng cọc khoan nhồi đã được hoàn thiện với chiều dài 15,0 m, hệ thống thanh chống cũng đã lắp đặt được hơn 50% nên phương án thay thế kết cấu chống đỡ mới là không khả thi. Vấn đề cần giải quyết là chống đẩy trôi hồ móng, khống chế chuyển vị và chặn dòng thấm. Giải pháp xử lý đề xuất như sau: (1) Chống đẩy trôi hồ móng bằng các cọc xi măng đất D1000@800, bố trí thành các khối cách quãng bên trong hồ móng; (2) Khống chế chuyển vị tường hồ móng bằng cách tăng lực kích thủy lực; (3) Chống thấm cho tường hồ móng bằng cọc xi măng đất D800@600.



Hình 6: Mặt cắt ngang hồ móng sau khi gia cố

Lựa chọn máy thi công: Công nghệ tạo cọc xi măng đất có thể sử dụng phương pháp trộn cơ (Mechanical Grouting) và trộn tia (Jet Grouting). Theo phương pháp trộn cơ, cọc xi măng đất thường được tạo bằng máy trộn hai trục hoặc ba trục [2], ngoài ra có thể dùng máy trộn sáu trục để nâng cao tốc độ thi công [3]. Thực tế cho thấy cường độ của cọc xi măng đất thi công theo phương pháp trộn cơ tương đối thấp. Ví dụ với máy trộn ba trục và hàm lượng xi măng 20 %, thi công trên nền đất yếu, cường độ của cọc đất xi măng chỉ đạt được từ 0.41 MPa đến 0.49 MPa [4]. Trong trường hợp này, cọc đất xi măng chủ yếu có tác dụng chống thấm cho hồ móng, không có tác dụng lớn trong việc nâng

cao khả năng chịu lực của tường móng; thành phần chịu lực chính của tường móng là thép hình. Theo phương pháp trộn tia, cọc xi măng đất có cường độ và khả năng chống thấm cao hơn nhiều so với phương pháp trộn cơ. Cùng với hàm lượng xi măng 20 % thì cọc xi măng đất đạt được cường độ không nhỏ hơn 0.7 MPa và hệ số thấm đạt từ 10^{-7} cm/s đến 10^{-8} cm/s [5]. Do vậy, cường độ của tường móng thi công theo công nghệ Jet – Grouting tăng lên đáng kể nhờ cường độ của cọc đất xi măng.

Do điều kiện mặt bằng thi công hẹp, có vị trí tim cọc xi măng đất cách công trình lân cận chỉ khoảng 40 cm, phải làm sàn đạo so hồ móng đã đào sâu 2 m, nên lựa chọn máy thi công cọc xi

măng đất cần phải nhỏ gọn, trọng lượng nhẹ. Phương án lựa chọn máy thi công 1 trục (Jet-Grouting) là hợp lý.

3. TÍNH TOÁN ỔN ĐỊNH GIẢI PHÁP XỬ LÝ SỰ CỐ

3.1. Phương pháp tính toán

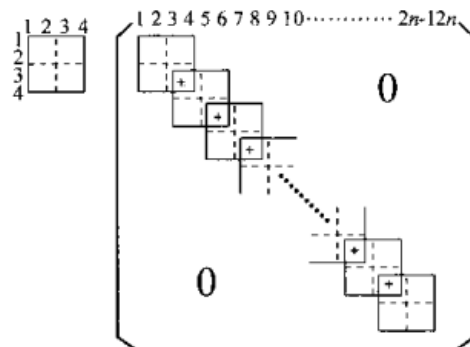
Mô hình toán được thiết lập dựa trên mối quan hệ biến đổi giữa chuyển vị và áp lực đất trong quá trình thi công và nguyên lý dầm trên nền đàn hồi. Mô hình làm việc trong môi trường đàn hồi tuyến tính, không xét đến trường hợp mô hình bị phá hoại đã được áp dụng. Trong mô hình toán mối quan hệ giữa ứng suất và biến dạng được lý tưởng hoá, quá trình tính toán diễn ra đơn giản. Phương trình cân bằng cơ bản của mô hình là:

$$F = KD \quad (1)$$

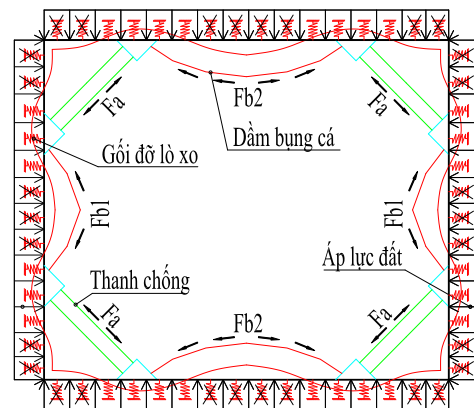
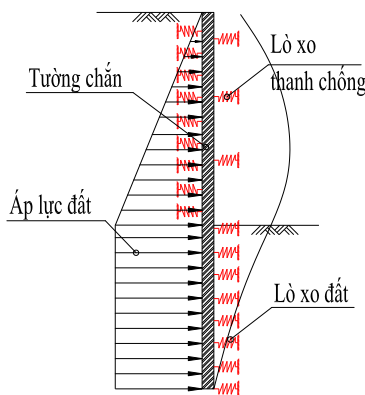
Trong đó: F : Ma trận ngoại lực; K : Ma trận độ cứng; D : Ma trận chuyển vị.

Vùng đất phía ngoài hố móng chịu nén khi lắp đặt thanh chống và tăng dự ứng lực, dùng một hệ số đàn hồi phản ánh tính đàn hồi của nền đất tại khu vực này (gối đỡ lò xo). Trong quá trình thi công vùng đất phía sau tường luôn biến đổi

trạng thái kéo và nén, ứng với trạng thái kéo (cường độ lò xo $K_A = 0$), ứng với trạng thái nén ($K_A \neq 0$). Trong quá trình tính toán sẽ phân tích từng gối đỡ lò xo chịu kéo hay chịu nén. Các gối đỡ lò xo chịu nén thì độ cứng của các gối đỡ này sẽ được cộng vào trong ma trận độ cứng K , còn chịu kéo thì không. Nguyên lý tính toán như sau: Hệ thống kết cấu có $n-1$ phần tử tương ứng với n tiếp điểm, ma trận độ cứng K là ma trận vuông $2n \times 2n$ (Hình 7), các vị trí có gối đỡ lò xo sẽ được cộng vào đường chéo của ma trận độ cứng K . Ví dụ, tại vị trí tiếp điểm thứ k có tồn tại gối đỡ lò xo chịu nén, thì tại phần tử $K(2k-1, 2k-1)$ cộng thêm cường độ lò xo K_A .



Hình 7: Ma trận độ cứng K



Hình 8: Mô hình tính toán. a) mặt cắt ngang hố móng; b) mặt bằng hố móng

Mô hình tính toán mặt cắt ngang hố móng (phần mềm FSRW 7.2) và mặt bằng hố móng (phần mềm Midas NX) xét đến tác dụng kháng lực của đất sau tường, dựa trên mối quan hệ giữa đất và tường, tường và hệ thống chống đỡ xây dựng

một hệ thống gối đỡ lò xo đặt xung quanh hố móng, gắn với xà quay. Gối đỡ lò xo phân thành hai trường hợp để xử lý trong quá trình tính toán: Khi chuyển vị tính được âm, xác định được nền đàn hồi là chịu nén, sẽ áp dụng hệ số

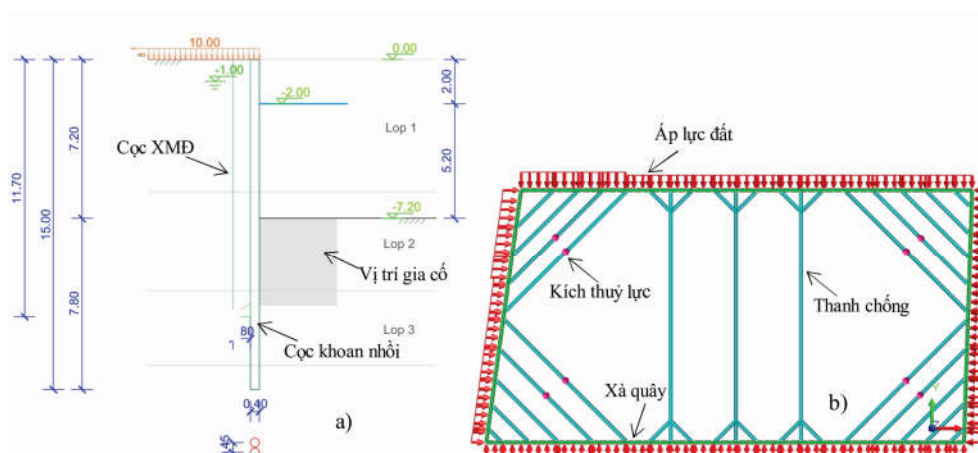
đàn hồi cho nền đàn hồi để tính toán; khi chuyển vị tính được dương, nền đàn hồi được xác định là chịu kéo, sẽ không áp dụng nền đàn hồi nữa, cho hệ số đàn hồi bằng không. Kết quả tính toán xác thực với thực tế và thấy được sự phát huy làm việc của hệ thống chống đỡ. Sơ đồ tính toán mặt cắt ngang và mặt bằng hồ móng như Hình 8. Giải phương trình (1) ta xác định được chuyển vị của hệ thống kê cấu chống đỡ, sau đó xác định biến dạng thông qua phương trình điều chỉnh và cuối cùng tính được ứng suất của hệ thống kê cấu chống đỡ [6], [7].

3.2. Tính toán kiểm tra ổn định của tường sau xử lý

3.2.1. Lập mô hình tính toán

Mô hình tính toán mặt cắt ngang được lập trên phần mềm FRWS 7.2, mặt cắt tính toán Hình

9a. Phần mềm FRWS 7.2 là phần mềm chuyên dụng tính toán hồ móng sâu được công ty Qimingxing - Tongji Thượng Hải phát triển từ năm 1995. Phần mềm có giao diện đơn giản, thao tác đơn giản có thể lựa chọn bất kỳ hình thức chống đỡ hồ móng, giảm đáng kể khối lượng công việc tính toán, luôn cập nhật các thành tựu khoa học và công nghệ mới nhất [8]. Kết quả tính toán mặt cắt ngang trên phần mềm FRWS 7.2 sẽ là thông số đầu vào để tính toán mặt bằng hồ móng. Mô hình tính toán mặt bằng được lập trên phần mềm Midas NX, Hình 9b [9]. Quá trình tính toán căn cứ vào các giai đoạn thi công và chia làm 3 giai đoạn như sau: Giai đoạn 1: Khai báo dự ứng lực cho thanh chống chính, thanh chống góc; Giai đoạn 2: Khai báo dự ứng lực cho dầm bụng cá; Giai đoạn 3: Khai báo lực tác dụng lên hệ thống thanh dầm.



Hình 9: Lập mô hình tính toán. a) tính toán mặt cắt ngang bằng phần mềm FRWS 7.2; b) tính toán mặt bằng kết cấu hồ móng bằng phần mềm Midas NX

Điều kiện địa chất trong Bảng 1, thông số vật liệu trong Bảng 2.

Bảng 1: Địa chất vị trí công trình nghiên cứu [8]

TT	Loại đất	Chiều dày (m)		γ (kN/m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	m (MN/m ⁴)
		Trước	sau				
1	Lớp 1: Đất lấp	2,5	6,0	17,0	10,0	10,0	1,5
2	Lớp 2: Bùn sét	7,2	6,4	16,3	2,7	2,6	1,0
3	Lớp 3: Sét dẻo mềm	2,7	3,4	17,9	9,0	6,9	1,5
4	Lớp 4: Sét dẻo chảy	10,5	14,2	17,0	5,0	4,38	2,0

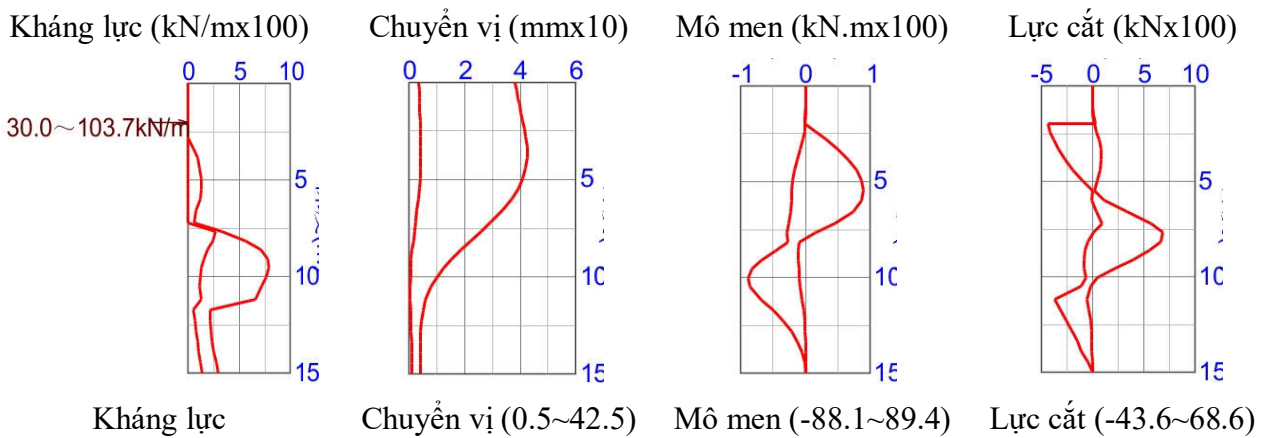
Bảng 2: Thông số vật liệu [8]

TT	Vật liệu	E (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	c (kPa)	φ (°)	m (MN/m ⁴)
1	Cọc khoan nhồi D400-M300	28500000	25,0			
2	Thanh chống H350x350x12x19	210000000	78,0			
3	Cọc xi măng đất D800, D1000		19,0	25,0	25,0	6

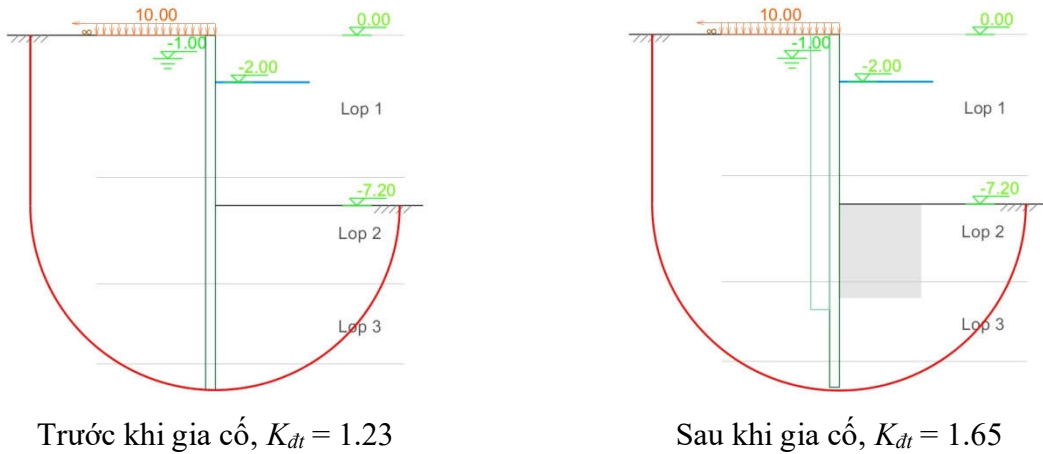
3.2.2. Kết quả tính toán

Kết quả tính toán chuyển vị lớn nhất của tường móng theo phần mềm FSRW 7.2 là 42,5 mm, theo phần mềm Midas NX là 34,5 mm. Hệ số

an toàn tổng thể $K_{tt} = 1.32 > [K_{tt}] = 1.3$; Hệ số đẩy trôi $K_{dt} = 1.65 > [K_{dt}] = 1.60$; Hệ số ổn định lật $K_l = 1,12 > [K_l] = 1.1$; Hệ số ổn định thấm $K_{th} = 1.2 > [K_{th}] = 1.15$; Các thông số tính toán đều đảm bảo ổn định công trình [10], [11], [12].



Hình 10: Chuyển vị và nội lực của tường



Hình 11: Kết quả tính toán đẩy trôi hố móng

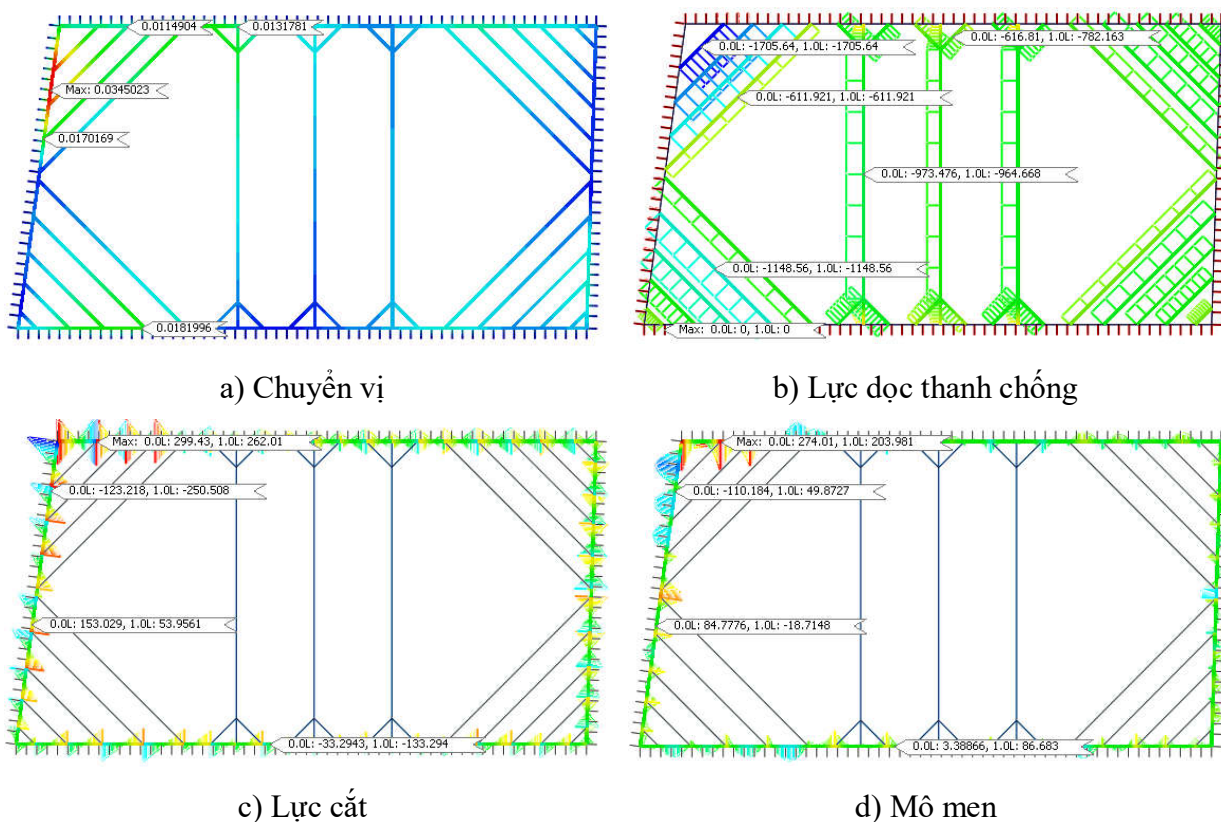
3.2. Nhận xét

Sau khi gia cố chống đẩy trôi hố móng bằng các cọc xi măng đất D1000@800, bố trí thành các khối cách quãng bên trong hố móng; Không chế chuyển vị tường hố móng bằng cách tăng lực

kích thủy lực; Chống thấm cho tường hố móng bằng cọc xi măng đất D800@600. Kết quả tính toán cho thấy rằng đáy hố móng không bị đẩy trôi với hệ số đẩy trôi tính toán được là $K_{dt} = 1.65 > [K_{dt}] = 1.60$, Hình 11. Chuyển vị lớn

nhất của tường tại vị trí có công trình lân cận là 34,5 mm, Hình 12a. Tường hồ móng đảm bảo điều kiện chống thấm với $K_{th} = 1.2 > [K_{th}] = 1.15$. Công trình sau khi gia cố đảm bảo điều kiện ổn định tổng thể $K_{tt} = 1.32 > [K_{tt}] = 1.3$

và lớn hơn giá trị ổn định tổng thể trước khi gia cố là $K_{tt} = 1.21$. Giải pháp gia cố tường hồ móng bằng cọc xi măng đất thi công theo phương pháp Jet- Grouting đảm bảo an toàn cho công trình.



Hình 12: Kết quả tính toán chuyển vị và nội lực kết cấu chống đỡ bằng phần mềm Midas NX

4. KẾT LUẬN

Nguyên nhân xảy ra sự cố thấm và đẩy trôi của công trình hồ móng nêu trong nghiên cứu này là do chưa đánh giá chính xác chiều dày lớp đất yếu, trong khi thiết kế biện pháp chống đỡ hồ móng đã bỏ qua việc chống thấm cho tường móng, làm cho dòng thấm chảy từ ngoài vào trong hồ móng và cuốn trôi các hạt đất, sinh ra hiện tượng cát chảy, gây nứt, nghiêng nhà lân cận và chuyển dịch đỉnh tường móng.

Giải pháp xử lý là khoan phụt tạo cọc xi măng đất tại phần tiếp giáp các cọc khoan nhồi để chống thấm và gia cố phần đất yếu phía trong

hồ móng để chống đẩy trôi. Giải pháp đề xuất đã xử lý triệt để thấm và đẩy trôi, đảm bảo an toàn thi công hồ móng và công trình lân cận.

Kiến nghị các hồ móng trong đô thị chống đỡ bằng tường cọc khoan nhồi phải đưa hạng mục chống thấm cho tường ngay trong giai đoạn thiết kế để đảm bảo an toàn cho bản thân hồ móng và công trình lân cận.

Lời cảm ơn

Tác giả xin chân thành cảm ơn Công ty Cổ phần Tư vấn Đầu tư và Chuyển giao Công nghệ Việt Nam đã cung cấp các tài liệu về thiết kế và thi công công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 刘国林, 王卫东, 深基坑工程手册第二版, 中国建筑工业出版社, 北京, 2009. Lưu Quốc Lâm, Vương Vĩ Đông, Sổ tay Công trình hố móng sâu, Nhà xuất bản Xây dựng Công nghiệp Trung Quốc, Bắc Kinh, 2009.
- [2] 型钢水泥土搅拌墙技术规程, JGJ T199-2010, 中国建筑工业出版社, 北京, 2010. Tiêu chuẩn kỹ thuật cọc xi măng đất ép thép hình, JGJ T199-2010, Nhà xuất bản Xây dựng Công nghiệp Trung Quốc, Bắc Kinh, 2010.
- [3] 上海强劲地基工程股份有限公司, 上海宝山工程, 2012. Công ty TNHH Nền móng Qiangjin Thượng Hải, Công trình Bảo Sơn Thượng Hải, 2012.
- [4] 梁志荣, 水泥土搅拌桩取芯与取浆两种强度检测分析, 岩土工程学报, 32, 435 – 439, 2010. Lương Trí Vinh, Phân tích đánh giá cường độ của mẫu đúc và mẫu khoan cọc xi măng đất, Tạp chí Địa kỹ thuật, số 32, pp 435 – 439, 2010.
- [5] Nguyễn Quốc Dũng, Hướng dẫn thiết kế thi công cọc đất xi măng theo công nghệ Jet – Grouting, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, 2014.
- [6] Phạm Văn Minh. Xây dựng mô hình tính mặt bằng hố móng IPS bằng phần mềm MIDAS/GTS. Tạp chí Kết cấu & Công nghệ Xây dựng ISSN 1859-3194. 17(2): 5-14, 2015.
- [7] Pham Van Minh, Vu Ba Thao, Nguyen Quoc Dung, Pham Dinh Van. Analysis on Innovative Prestressed Support System of Deep Excavation. GEOTEC HANOI 2016. Proceedings of Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development - Geotec Hanoi 2016, Hanoi, 24-25 November 2016: 423-430. ISBN 978-604-82-1821-8, 2016.
- [8] 上海启明星, 深基坑支挡结构分析计算软件 FRWS 7.2, 2013. Qimingxing Thượng Hải, Phần mềm FRWS 7.2 Phân tích tính toán kết cấu tường chắn công trình hố móng sâu, 2013.
- [9] Midas Geotechnical and Tunnel Analysis System, MIDAS Information Technology Co., Ltd.,, 2014.
- [10] Nguyễn Bá Kế, Thiết kế và thi công hố móng sâu, Nhà xuất bản Xây dựng, 2010.
- [11] 建筑基坑支护技术规程, JGJ120-2012, 北京, 2012. Tiêu chuẩn kỹ thuật chống đỡ hố móng sâu Trung Quốc, JGJ120-2012, Bắc kinh, 2012.
- [12] 上海市基坑工程技术规范, DG/TJ08-61-2010, 上海, 2010. Tiêu chuẩn kỹ thuật chống đỡ hố móng sâu Thượng Hải, DG/TJ08-61-2010, Thượng Hải, 2010.