

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ THẨM NƯỚC NGẦM TRONG CÁC LỚP ĐẤT ĐÁ TỚI SỰ ỔN ĐỊNH CỦA HỒ MÓNG TẦNG HÀM NHÀ CAO TẦNG TẠI VIỆT NAM

Nguyễn Chí Thành

Trường Đại học Mở - Địa chất

Tác giả chịu trách nhiệm: nguyenthanh.xdctn47@gmail.com

Tóm tắt

Hiện nay, cùng với sự phát triển về kinh tế và xã hội Việt Nam, các tòa nhà cao tầng cùng với hệ thống tầng hầm ngày càng được chú trọng và phát triển xây dựng ở các thành phố lớn. Tuy nhiên, việc đánh giá sự ổn định của các tầng hầm nhà cao tầng trong quá trình thi công dưới ảnh hưởng của nước ngầm vẫn chưa được chú trọng nghiên cứu, đặc biệt là tính thấm của các lớp đất đá nơi bố trí các tầng hầm. Bài báo này đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn FEM (phần mềm Plaxis2D) để thiết lập mô hình một hồ móng tầng hầm nhà cao tầng đang được thi công và được bảo vệ bởi các tường chắn bê tông cốt thép trong các điều kiện địa chất cụ thể. Bằng việc thay đổi tính chất thấm của các lớp đất chứa thành hồ móng trong mô hình được xây dựng, trên các kết quả thu được, sẽ đưa ra các nhận định về sự ảnh hưởng của nước ngầm tới sự ổn định của các hồ móng tầng hầm nhà cao tầng, từ đó kiến nghị các biện pháp để khắc phục.

Từ khóa: độ thấm; ảnh hưởng; tầng hầm nhà cao tầng; ổn định; phương pháp phần tử hữu hạn.

1. Tổng quan nghiên cứu

Ngày nay, cùng với việc phát triển mạnh mẽ của kinh tế và đời sống của người dân được nâng cao, các công trình xây dựng, đặc biệt là các công trình nhà cao tầng có tầng hầm đã được xây dựng và gia tăng cả về số lượng lẫn chất lượng tại các thành phố lớn tại Việt Nam. Hầu hết, các thành phố lớn của Việt Nam có vị trí tại Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long hoặc là các thành phố ven biển, do đó, các công trình nhà cao tầng với các tầng hầm sẽ chịu ảnh hưởng rất nhiều bởi mực nước ngầm khu vực nơi xây dựng.

Hiện nay, một số nghiên cứu và các phương pháp tính toán ảnh hưởng của nước ngầm tới các công trình ngầm tại Việt Nam và trên thế giới đã được công bố. Năm 2009, Korff đã công bố một số kết quả nghiên cứu về sự phá hoại hồ móng ngầm dưới ảnh hưởng của nước ngầm. Trong nghiên cứu của mình, Korff đã nhận thấy sự mất ổn định của hồ móng xuất hiện cùng với sự tăng độ lún tại các điểm nằm sau lưng tường chắn giữ ổn định cho hồ móng, các hiện tượng này sẽ gây ảnh hưởng lớn đến sự ổn định và tồn tại của các kết cấu công trình. Ngoài ra, nghiên cứu của Nguyen and Phienwej, 2015 cũng đã chứng minh rằng nước ngầm có thể xâm nhập vào hồ đào, từ đó, có thể gây ra hiện tượng phá hoại tường và hồ móng trong quá trình thi công các công trình ngầm. Liên quan về tác động của dòng thấm trong quá trình thi công đến sự ổn định hồ đào, nhiều tác giả như Ou, 2006, Ergun, 2008, Sadeghpour và cộng sự, 2008, Vermar và cộng sự., 2013 đã công bố các phương án hạ mực nước ngầm, cùng những dự đoán chuyển vị tường vây và mặt đất nền sau lưng tường chắn. Một số công bố đã dựa vào các kết quả quan trắc sự lún và độ phát triển sự lún này của môi trường đất xung quanh hồ đào công trình dưới tác động của nước ngầm, cùng với giá trị đo áp lực nước từ giếng bơm hút kết hợp với mô phỏng số (Wang và cộng sự, 2012) đã đưa ra các nhận xét về ảnh hưởng của dòng thấm trong quá trình thi công đến sự ổn định của hồ đào công trình ngầm. Tuy nhiên, nhìn chung với các công trình ngầm nói chung và các tầng hầm nhà cao tầng nói riêng, chưa có nhiều các nghiên cứu, từ đó đưa ra các tài liệu, hướng dẫn việc tính toán và thiết kế cho các đối tượng này khi chịu ảnh hưởng của nước ngầm. Đặc biệt, với sự thay đổi liên tục của các mức nước ngầm do nhiều nguyên nhân, như: nguyên nhân thời tiết, nguyên nhân khai thác quá mức nước ngầm, nguyên nhân xây dựng các

công trình lân cận... Điều này đòi hỏi phải có các nghiên cứu, tính toán nghiêm túc sự ảnh hưởng của nước ngầm tới sự ổn định các tầng hầm nhà cao tầng, từ đó mới có thể đảm bảo sự an toàn của các tầng hầm nhà cao tầng trong quá trình thi công và sử dụng khi chịu ảnh hưởng của nước ngầm.

2. Các định luật lý thuyết về tính thấm của nước

2.1. Định luật thấm đường thẳng (định luật thấm Darcy)

Đây là một trong những định luật được đưa ra từ các kết quả thí nghiệm. Định luật này có nội dung như sau (Trương Quốc Quân, 2017):

Darcy đã rút ra kết luận rằng lượng nước thấm Q qua đất trong một đơn vị thời gian tỷ lệ thuận với hiệu mực nước trong ống đo áp Δh và diện tích tiết diện mẫu ω , tỷ lệ nghịch với chiều dài cột đất l ; theo hệ số tỷ lệ k :

$$Q = k \frac{\Delta h}{l} \omega \quad (1)$$

Trong đó: Q là lượng nước thấm qua đất, $\frac{\Delta h}{l}$ là gradient áp lực hay độ dốc thủy lực, k là hệ số tỷ lệ đặc trưng cho tính thấm nước của đất, được gọi là hệ số thấm.

k được xác định theo công thức:

$$k = \frac{\gamma r_0^2 n}{8\eta} \quad (2)$$

Trong đó, η là độ nhớt của nước thấm; r_0 là bán kính của đường ống trung đương nếu mô hình hóa môi trường lỗ rỗng thành môi trường các ống nhỏ bằng nhau; n là độ lỗ rỗng trong đất đang nghiên cứu; γ là dung trọng của nước.

2.2. Định luật thấm phi tuyến

Trong các môi trường có lỗ rỗng lớn và khi có gradient áp lực thấm lớn sẽ xuất hiện hiện tượng thấm rối, vận tốc thấm (v) được xác định theo công thức (Trương Quốc Quân, 2017):

$$v = k\sqrt{J} \quad (3)$$

Từ công thức này, có thể rút ra kết luận là khi có hiện tượng thấm rối thì vận tốc thấm tỷ lệ thuận bậc 1/2 với gradient thủy lực.

Nếu tầng đất đá có sự không đồng nhất lớn về tính thấm, như trường hợp có các tầng đá karst hoá xen kẽ tầng đá kém nứt nẻ thì dòng thấm khá phức tạp. Theo Dupuit, giữa vận tốc thấm và gradient áp lực có quan hệ bậc 2 như sau:

$$J = av + bv^2 \quad (4)$$

Trong đó, a và b là hệ số phụ thuộc vào dạng chuyển động của nước đang nghiên cứu.

Khi vận tốc thấm nhỏ, phương trình Dupuit sẽ có dạng:

$$J = av \quad (5)$$

Lúc này, đúng theo định luật Darcy, có $v = \frac{J}{a} = kJ$.

Khi vận tốc thấm lớn, lúc này phương trình Dupuit có dạng sau:

$$J = bv^2 \quad (6)$$

Theo tác giả Engelund, nếu đặt α là hệ số thấm phi tuyến thì:

$$\alpha = \frac{\alpha_0}{\eta^2} \sqrt{\frac{k}{vg}} \quad (7)$$

Trong đó, α_0 được xác định như sau: $\alpha_0 = 0,11$ khi $k > 1$ cm/s, $\alpha_0 = 0,18$ khi $k = 0,5$ cm/s, $\alpha_0 = 0,3$ khi k tiến tới giá trị 0.

3. Tính toán ảnh hưởng của độ thấm nước ngầm tới sự ổn định hố móng tầng hầm nhà cao tầng

Tầng hầm nhà cao tầng có thể được coi là một dạng công trình ngầm nằm nông, gần mặt đất nên sẽ bị ảnh hưởng lớn khi có nước ngầm tác dụng vào. Do nguyên nhân này, tầng hầm nhà cao tầng là một trong những đối tượng cần nghiên cứu kỹ khi chịu ảnh hưởng của nước ngầm, đặc biệt là hố móng của tầng hầm nhà cao tầng khi trong quá trình thi công. Có thể nhận thấy, khi thi công các hố móng nhà cao tầng, đặc biệt là các hố móng đã được thi công tường vây bảo vệ trước thì cần có những nghiên cứu về ảnh hưởng của động đất tới sự ổn định và tồn tại của chúng. Các tường vây bảo vệ hố móng tầng hầm nhà cao tầng, dưới ảnh hưởng của nước ngầm có thể bị biến dạng, dịch chuyển và thậm chí là bị phá hủy. Điều này sẽ làm ảnh hưởng rất lớn đến sự ổn định, tồn tại của các công trình tầng hầm nói riêng và toàn bộ các công trình nhà cao tầng nói chung. Như đã biết, các tường vây của hố móng tầng hầm nhà cao tầng thường được thiết kế để ngoài tác dụng giữ ổn định cho thành hố đào tầng hầm trong quá trình thi công thì còn có một số tác dụng, như: là một bộ phận chịu lực của móng nhà cao tầng; là thành vách của các tầng hầm và có khả năng chống lại áp lực, dịch chuyển của đất ở xung quanh thành hố đào tầng hầm cũng như có khả năng chống lại nước ngầm xung quanh hố đào. Có 3 phương pháp thi công tầng hầm nhà cao tầng có thể được sử dụng trong quá trình thi công, bao gồm: phương pháp thi công Bottom up; phương pháp thi công Topdown và phương pháp thi công Semi-Topdown. Tùy theo từng phương pháp thi công mà tường vây phần hố đào của tầng hầm nhà cao tầng sẽ được thiết kế và gia cố khác nhau. Khi chịu ảnh hưởng của nước ngầm, tường vây và phần nền đất ở dưới đáy của hố đào có thể có những phản ứng khác nhau và cần phải tính toán cụ thể cho các tường vây cũng như các bộ phận gia cường, tăng cứng cho tường vây (hệ thống dầm giằng thép hình Shoring-kingpost) để có thể chịu được các tác động của nước ngầm tới tường vây và hố móng tầng hầm nhà cao tầng. Trong bài báo này, một hố móng tầng hầm với điều kiện cụ thể đã được thiết lập bằng phần mềm Plaxis2D, sau khi các tường vây của hố móng đã được xây dựng và thiết lập, tác giả đã tiến hành thay đổi các hệ số thấm của lớp đất chứa đáy của hố móng nhà cao tầng. Từ các phản ứng của tường vây và đất nền ở đáy hố móng, có thể đưa ra các nhận xét và các giải pháp gia cường để tường vây và đáy hố móng tầng hầm nhà cao tầng có thể ổn định cũng như làm việc bình thường trong điều kiện chịu ảnh hưởng của nước ngầm nói trên. Các tính chất của các lớp đất, nơi chứa đựng hố móng tầng hầm nhà cao tầng được thể hiện trong bảng 1. Mô hình kết cấu tường vây và thép gia cố chữ H làm việc theo chế độ đàn hồi Elastic. Các lớp đất bao quanh hố móng sử dụng chế độ Hardening soil.

Hố móng nhà cao tầng và kết cấu tường vây và thép chữ H được thiết lập với các thông số sau đây:

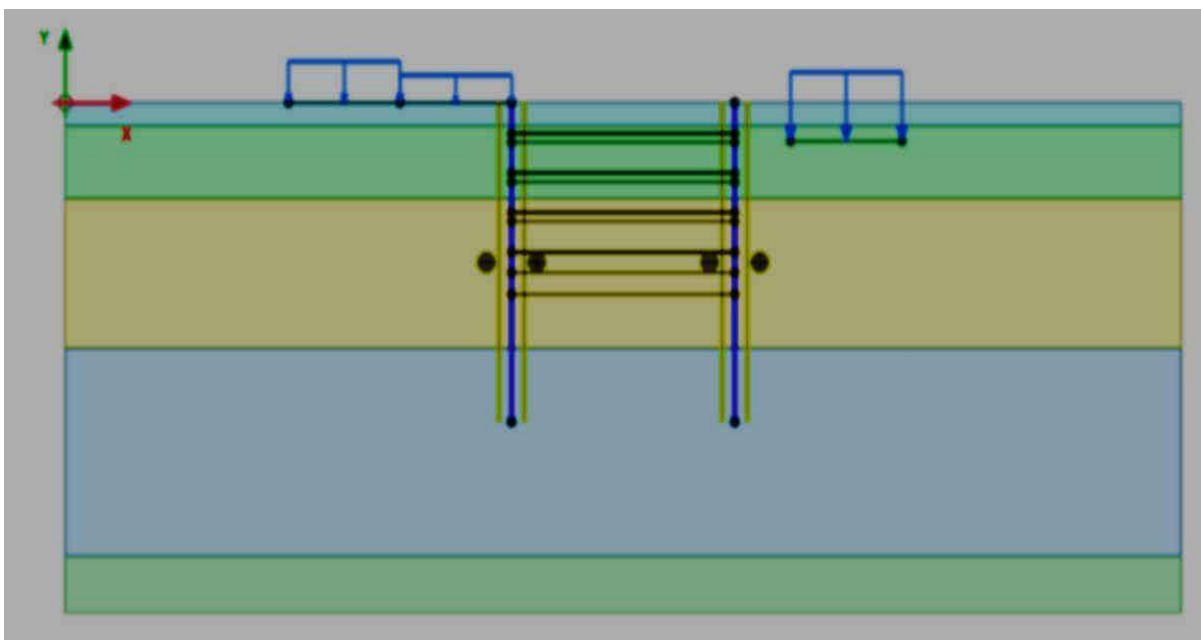
Chiều rộng của hố móng là 20 m; chiều sâu của hố móng tầng hầm là 15 m; kết cấu chống giữ cho hố móng tầng hầm nhà cao tầng: Sử dụng tường vây có mặt cắt ngang là hình chữ nhật, với chiều dày $d = 0,6$ m. Tường vây được chế tạo bằng bê tông cốt thép với các chỉ số: $EA_1 = 162e^5$ kN/m; $EA_2 = 486e^3$ kNm²/m; $w = 10.2$ kN/m/m; $v = 0.2$. Thép hình chữ H được sử dụng để làm hệ dầm cosering giữ ổn định cho tường hố đào tầng hầm nhà cao tầng với các thông số: $EA = 3.617e^6$ kN; $L_{spacing} = 5$ m;

Tầng hầm được thi công với phương pháp Bottom-Up theo quy trình: Đầu tiên xây dựng các tường vây để giữ ổn định cho hố đào tầng hầm nhà cao tầng, sau đó, tiến hành đào lần lượt các phần của hố đào. Giai đoạn 1 là đào khoảng hố đào có chiều sâu từ mặt đất tới cao độ đáy là $H_1 = 3.1$ m; tiếp theo lắp dựng các dầm chữ H để giữ ổn định cho phần tường vây trong khoảng hầm vừa đào tại cao độ $L_1 = -2.4$ m. Giai đoạn 2 đào khoảng hố đào thứ hai có cao độ đáy là $H_2 = -6.2$ m và lắp đặt

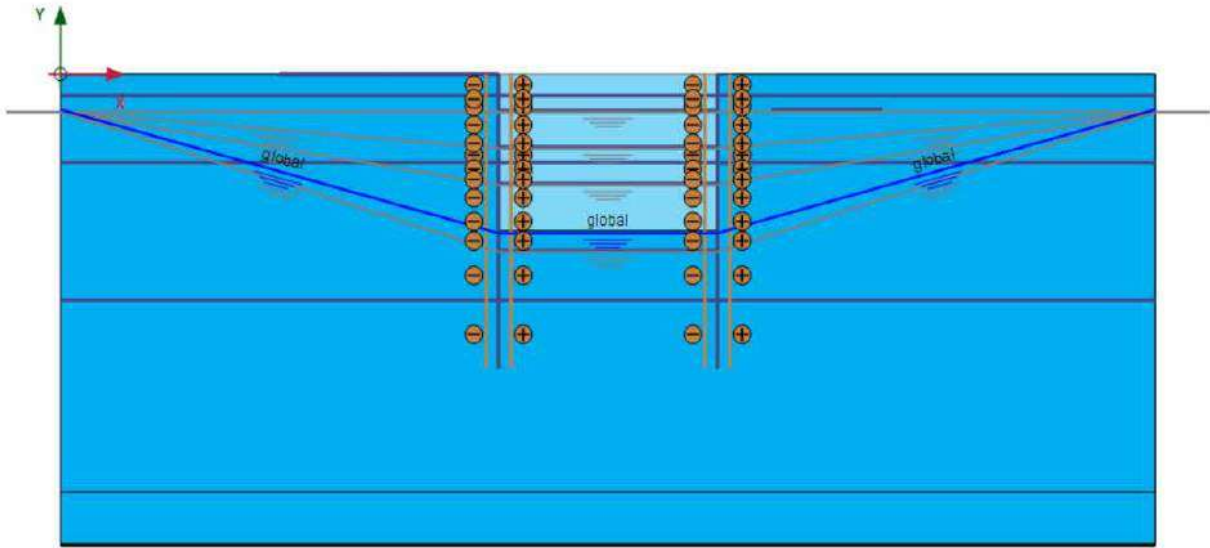
dầm thép hình H ở cao độ $L_2 = -5.5$ m. Giai đoạn 3 là đào khoảng hố đào tầng hầm tới cao độ đáy $H_3 = -9.3$ m và thép hình H tương ứng được lắp ở cao độ $L_3 = -8.6$ m. Giai đoạn cuối cùng là đào hố móng tới cao độ đáy là $H_4 = -15$ m. Tiến hành lắp dựng thép hình chữ H tiếp theo ở cao độ đáy là $L_4 = -11.7$ m. Trước khi tiến hành đào và thi công hố đào tầng hầm nhà cao tầng này, tác giả đã tiến hành chất tải tác dụng xung quanh khu vực bố trí hố đào và có xét đến cả quá trình cố kết của môi trường đất xung quanh hố đào khi chịu tải trọng tác dụng (hình 1). Để đảm bảo không chịu ảnh hưởng của các điều kiện do các công trình lân cận khác gây ra cũng như đảm bảo vùng nghiên cứu đặt trên nền đất cứng, vùng nghiên cứu đã được thiết lập với kích thước chiều ngang là 100 m và chiều sâu là 40 m. Cũng lưu ý là tác dụng của mực nước ngầm cũng được xét đến và mực nước ngầm sẽ hạ dần theo tiến độ đào của các phần hố móng tầng hầm nhà cao tầng.

Bảng 1. Tính chất của các lớp đất chứa hố móng tầng hầm nhà cao tầng

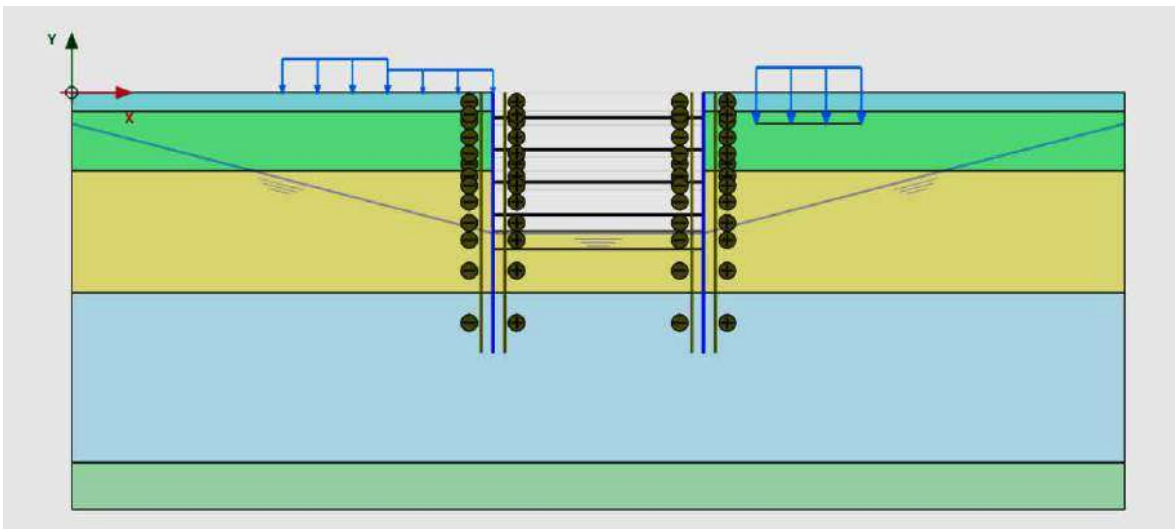
Tính chất	Lớp I	Lớp II	Lớp III	Lớp IV	Lớp V
Chiều dày, m	1.8	5.7	11.7	16.3	4.5
Dung trọng, γ_{unsat} , kN/m ³	19	15.9	19.9	20.5	20.6
Dung trọng, γ_{sat} , kN/m ³	20	16	20.2	20.8	21.1
Hệ số thấm, $k_x=k_y$, m/ngày	86.4	$8.64e^{-3}$	0.0864	8.640	$0.864e^{-3}$
E_{50}^{ref} , kPa	20000	4000	15000	15000	30000
E_{oed}^{ref} , kPa	20000	4000	15000	15000	30000
E_{ur}^{ref} , kPa	60000	12000	45000	45000	90000
φ , độ	30	25	29	31	29
C, kPa	2.5	3.5	10.3	1	2.09
ψ	0	0	0	0	0



Hình 1. Mô hình hố móng.

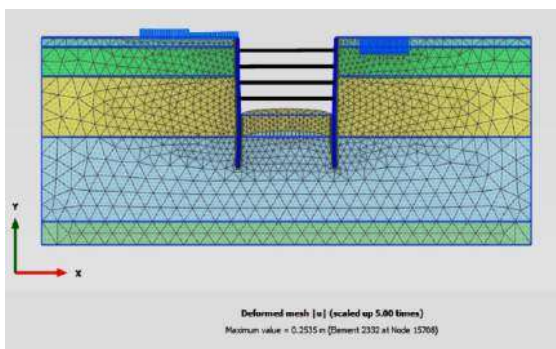


Hình 2. Mức nước ngầm biến đổi theo tiến độ thi công.

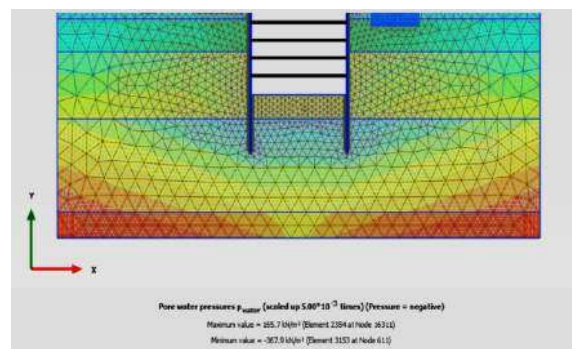


Hình 3. Các bước thi công hố đào.

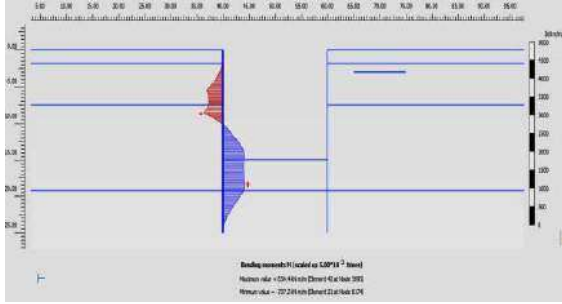
Trường hợp 1: Đất nền hố móng bão hòa nước



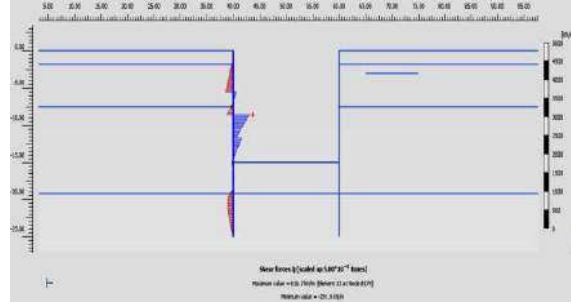
Hình 4. Biến dạng của tường vây và đáy hố móng trong trường hợp đất ở đáy hố móng bão hòa nước.



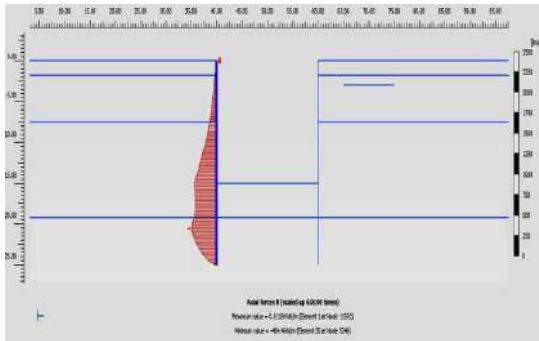
Hình 5. Áp lực nước lỗ rỗng dưới đáy hố móng trong trường hợp đất ở đáy hố móng bão hòa nước.



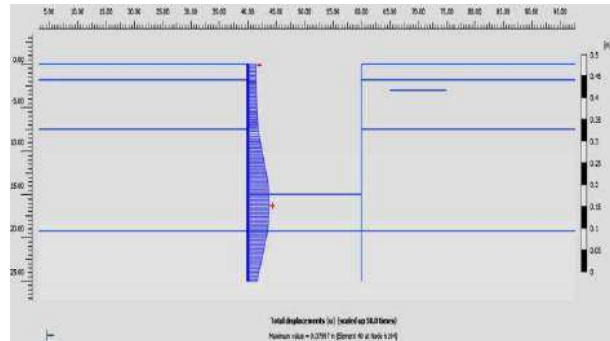
Hình 6. Biểu đồ momen M xuất hiện trong tường bên phía trái của hố đào trong trường hợp đất nền bão hòa nước.



Hình 7. Biểu đồ lực cắt Q xuất hiện trong tường bên phía trái của hố đào trong trường hợp đất nền bão hòa nước.

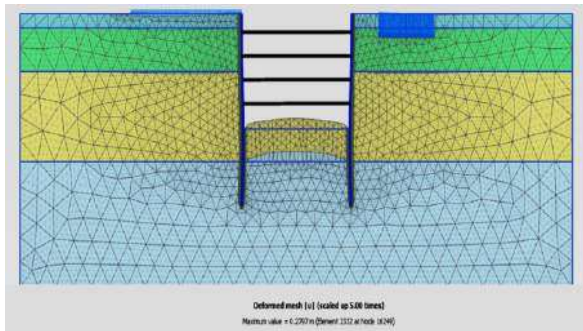


Hình 8. Biểu đồ lực dọc N xuất hiện trong tường bên phía trái của hố đào.

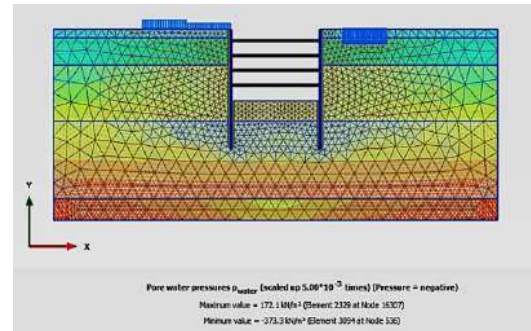


Hình 9. Biểu đồ dịch chuyển của tường vây bên phía trái của hố đào.

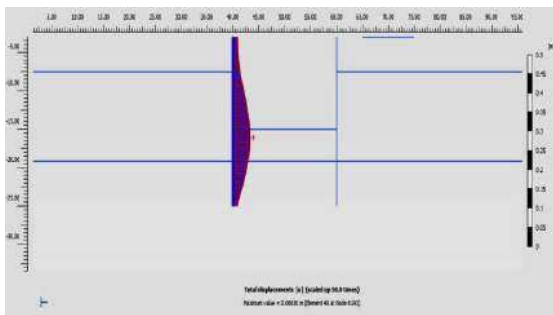
Trường hợp 2: Đất dưới đáy hố móng không thấm nước với hệ số thấm rất thấp, $k = 0.0846 \text{ m/ngày}$.



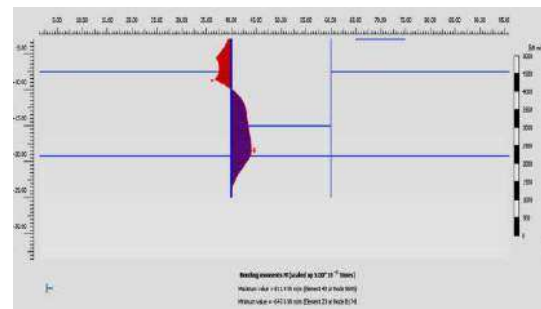
Hình 10. Biến dạng của tường chắn và đáy hố móng khi lớp đất dưới đáy hố móng không thấm nước.



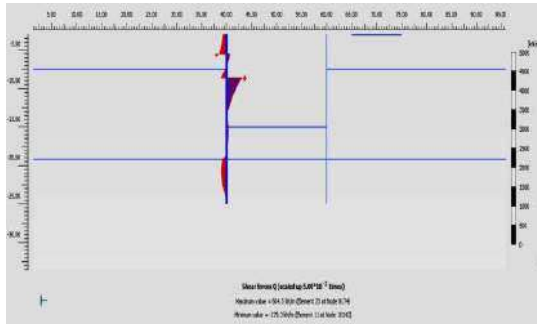
Hình 11. Áp lực nước lỗ rỗng dưới đáy hố đào.



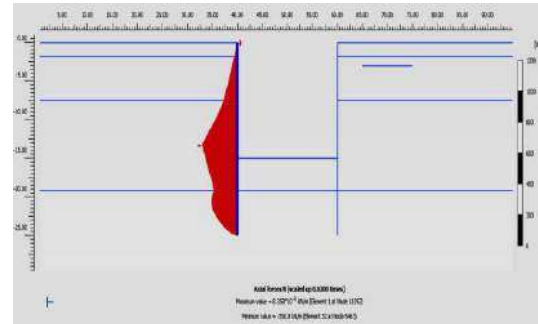
Hình 12. Biến dạng của tường vây trái hố đào.



Hình 13. Biểu đồ momen xuất hiện trong tường trái của hố đào.

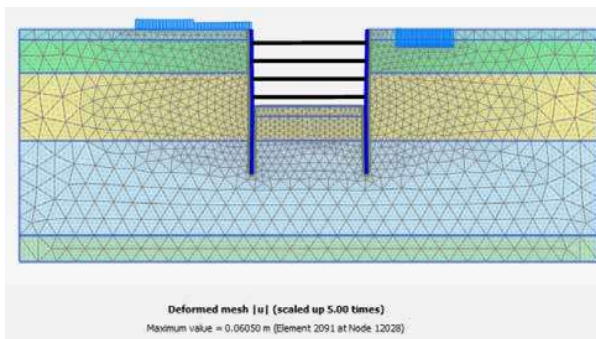


Hình 14. Biểu đồ lực cắt Q xuất hiện trong tường trái của hồ đào.

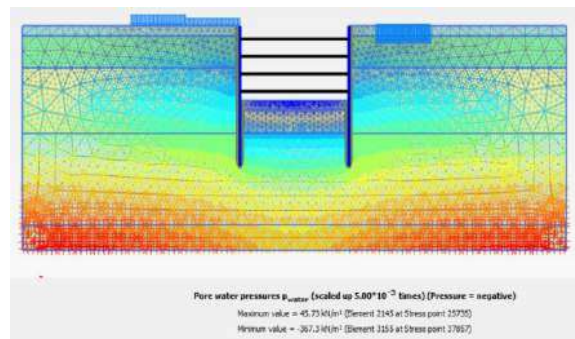


Hình 15. Biểu đồ lực dọc N xuất hiện trong tường trái của hồ đào.

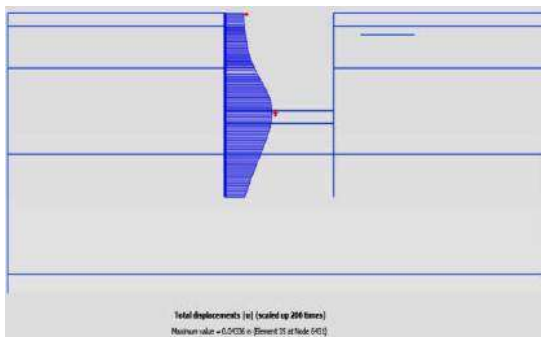
Trường hợp 3: Đất ở lớp 3, dưới đáy hồ đào thấm nước với hệ số thấm $k = 84.6 \text{ m/ngày}$



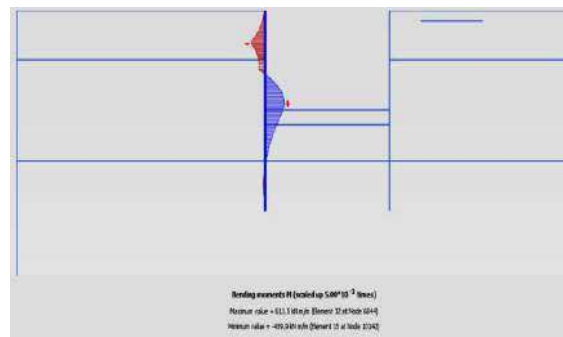
Hình 16. Biến dạng của đáy hồ đào trong trường hợp lớp đất dưới đáy.



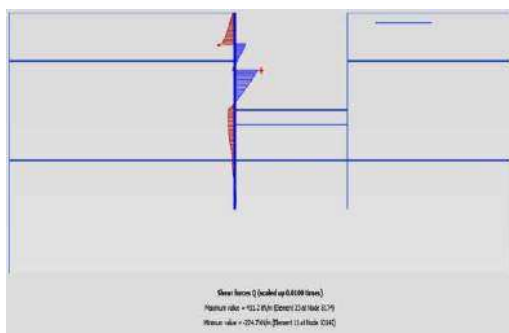
Hình 17. Áp lực lỗ rỗng nước ngầm.



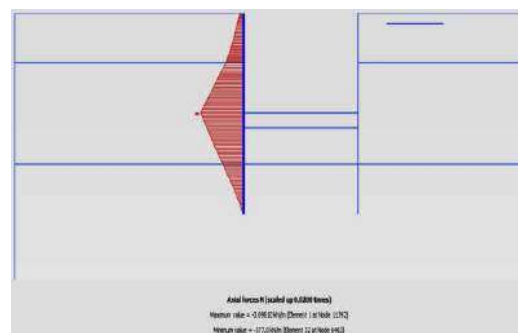
Hình 18. Tổng dịch chuyển của tường bên phía trái hồ đào.



Hình 19. Biểu đồ momen xuất hiện trong tường phía trái.



Hình 20. Biểu đồ lực cắt Q trong tường phía trái của hồ đào.



Hình 21. Biểu đồ lực dọc N xuất hiện trong tường phía trái.

Bảng 2. Nội lực và dịch chuyển của tường vây và nền đất dưới móng hố đào

Nội lực xuất hiện trong tường vây và dịch chuyển của tường vây bảo vệ hố đào	Phương án 1 (lớp đất đáy hố đào bão hòa)	Phương án 2 (lớp đất đáy hố đào không có tính thấm)	Phương án 3 (lớp đất đáy hố đào có tính thấm)
Momen, M_{\max} (kNm/m)	834.4	811.9	611.5
Lực dọc, N_{\max} (kN)	484.4	350.8	377.0
Lực cắt, Q_{\max} (kN)	616.7	604.5	411.2
Dịch chuyển tường vây, d_{\max} (m)	0.07597	0.0663	0.0434
Dịch chuyển nền hố đào, u_{\max} (m)	0.2535	0.2797	0.0605

Từ các kết quả thu được trong 3 trường hợp nghiên cứu như trên, có thể nhận thấy là trong trường hợp lớp đất thứ 3 bão hòa, khi đó áp lực nước lỗ rỗng dưới đáy hố đào có trị tuyệt đối lớn nhất là $p_{\text{water}} = 367.9 \text{ kN/cm}^2$ và lúc này, biến dạng lớn nhất của lớp đất ở đáy hố đào $u_{\max} = 0.2535 \text{ m}$. Trong trường hợp lớp đất thứ 3 được coi là thấm với hệ số thấm $k_x = k_y = 86.4 \text{ m/ngày}$, lúc này biến dạng lớn nhất của lớp đất ở đáy hố đào là $u_{\max} = 0.06 \text{ m}$, áp lực nước lỗ rỗng ở dưới đáy hố đào đạt giá trị tuyệt đối lớn nhất là $p_{\text{water}} = 367.3 \text{ kN/cm}^2$. Trong trường hợp lớp đất thứ 3 được coi là không thấm với hệ số thấm $k_x = k_y = 0.0864 \text{ m/ngày}$, lúc này, biến dạng lớn nhất của lớp đất ở đáy hố đào là $u_{\max} = 0.2797 \text{ m}$, áp lực nước lỗ rỗng ở đáy hố đào có trị tuyệt đối lớn nhất là $p_{\text{water}} = 373.3 \text{ kN/cm}^2$. Dựa vào các kết quả về dịch chuyển và các nội lực xuất hiện trong tường chắn phía bên trái của hố móng (Hình 4 - Hình 21), được thể hiện trong Bảng 2, có thể thấy rằng, trong trường hợp lớp đất dưới đáy hố móng bão hòa, momen xuất hiện trong tường chắn là $M_{\text{bh}} = 834 \text{ kNm/m}$, đạt giá trị lớn nhất. Tiếp theo, momen trong tường vây trong trường hợp đất không thấm có giá trị $M_{\text{kt}} = 811.9 \text{ kNm/m}$. Cuối cùng, momen có giá trị nhỏ nhất xuất hiện trong tường vây bên trái của hố đào khi lớp đất ở đáy hố đào móng là thấm, với $M_t = 611.5 \text{ kNm/m}$. Kết quả này cũng hợp lý với các giá trị áp lực nước lỗ rỗng xuất hiện ở đáy móng hố đào và giá trị biến dạng, dịch chuyển của tường vây trong từng trường hợp tương ứng. Giải thích cho hiện tượng nói trên, có thể nhận định sự xuất hiện của nước ngầm đã ảnh hưởng đến các giá trị nội lực, dịch chuyển của tường vây cũng như các giá trị biến dạng của đất đáy hố đào. Trong trường hợp lớp đất dưới đáy hố đào bão hòa, lúc này, lớp đất bị giảm khả năng chịu lực do sự xuất hiện của nước trong các lỗ rỗng và các lỗ hổng khác trong đất. Với trường hợp đất thấm với hệ số thấm lớn, nước được giải phóng và dịch chuyển qua lớp đất, do đó, tuy bị ảnh hưởng một phần bởi nước thấm qua nhưng lớp đất ở đáy hố đào vẫn còn khả năng chịu lực tốt hơn trường hợp đất bị bão hòa. Trường hợp lớp đất ở đáy hố đào không thấm, lúc này, lớp đất bị chịu ảnh hưởng rất lớn bởi áp lực nước lỗ rỗng và bởi dòng nước ngầm, do đó, lớp đất ở đáy móng hố đào có biến dạng lớn và cũng chịu tải trọng tác động lớn, từ đó, truyền vào tường vây gây ra các hiện tượng nói trên.

4. Kết luận

Nước ngầm là một trong những yếu tố có thể gây ảnh hưởng đến sự ổn định của các hố móng, tầng hầm nhà cao tầng. Trong bài báo này, bằng việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn FEM bằng phần mềm Plaxis2D, tác giả đã xây dựng một mô hình hố móng nhà cao tầng có các tầng hầm để từ đó thay đổi các thông số về khả năng thấm của lớp đất chứa đáy của hố móng nhà cao tầng. Dựa trên các kết quả thu được từ các trường hợp nghiên cứu trong bài báo, bao gồm: trường hợp lớp đất ở đáy hố móng bão hòa nước, trường hợp lớp đất ở đáy hố móng không thấm nước và trường hợp lớp đất ở đáy hố móng có thấm nước với hệ số thấm cao, có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Tính thấm của các lớp đất chứa hố móng nhà cao tầng (đặc biệt là lớp đất có chứa đáy hố móng) sẽ ảnh hưởng rất nhiều đến độ ổn định của đáy hố móng. Qua các kết quả khảo sát, có thể thấy, khi đất ở đáy hố móng bão hòa nước hay đất có hệ số thấm nhỏ thì biến dạng của đất ở đáy hố móng tăng cao, có khả năng gây mất ổn định cho hố đào;

- Trong ba trường hợp khảo sát, có thể nhận thấy là độ dịch chuyển của tường vây lớn nhất trong trường hợp đất dưới nền đáy hố đào là bão hòa nước, tiếp theo là trường hợp lớp đất dưới đáy hố móng không thấm nước. Trường hợp lớp đất dưới nền đáy hố đào có thấm nước với hệ số thấm lớn thì tường vây ít bị dịch chuyển và biến dạng nhất. Đây cũng là vấn đề cần chú ý khi thiết kế, thi công các tầng hầm nhà cao tầng và các công trình ngầm nằm trong các lớp đất có tính chất thấm khác nhau.

Tài liệu tham khảo

- Nguyen Kiet Hung, N. Phienwej, 2008. Practice and Experience in Deep Excavations in Soft Soil of Ho Chi Minh City, Vietnam, *KSCE Journal of Civil Engineering, Geotechnical Engineering*, pISSN: 1226-7988, eISSN: 1976-3808, 2008, pp. 1-14.
- Trương Quốc Quân, 2017. Tính nhanh độ thấm của đất. *Tuyển tập Hội nghị Khoa học thường niên năm 2017*. ISBN: 978-604-82-2274-1.
- TCVN 8731: 2012 Đất xây dựng công trình thủy lợi - Phương pháp xác định độ thấm nước của đất bằng thí nghiệm đổ nước trong hố đào và trong hố khoan tại hiện trường.
- Alyamani M. S., 1993. Determination of Hydraulic Conductivity from Complete Grain-Size Distribution Curves. *Ground Water*, vol. 31, N°4, pp. 551-555.
- Carrier, W.D., 2003. Goodbye, Hazen; Hello, Kozeny-Carman. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*.1054.
- Chang Hee, M., Jiqing, L. and Po, C., 2002. Reply to the discussion of "circular slip of earth slope under seepage action finite element calculation". *Journal of Geotechnical Engineering*, to discuss 3: 399-402.
- Cheng, D., Zheng, Y. and Xiaosong, T., 2009. Using FEM strength reduction overall stability of foundation under seepage analysis. *China Civil Engineering Journal*, 42 (3): 105-110.
- Duncan, J.M., 1996. State of the art: Limit equilibrium and finite element analysis of slopes. *Journal of the Geotechnical Engineering*, ASCE, 122 (7): 577-596.
- Feng, H. and Po, C., 2011. Wave should be magnificent. Affect the overall stability of the excavation of soil constitutive model of strength reduction. *Rock and Soil Mechanics*, 32 (Suppl 2): 592-597.
- Huangchun, E. and Xiaonan, G.X.L., 2001. Stability analysis considering seepage pit slope. *China Civil Engineering Journal*, 34 (4): 98-101.
- Zhuangzheng, T., Qiu, P. and Yue, W., 2012. Wuhan, a municipal channel excavation accident hazard analysis process and the lessons. *Geotechnical Engineering*, 34 (Suppl): 735-738.