



ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG MỘT SỐ YẾU TỐ ĐẾN BIẾN DẠNG HỒ ĐÀO SÂU KHU VỰC ĐỊA CHẤT HÀ NỘI

Nguyễn Thanh Sơn¹, Đỗ Hồng Ngân¹, Phạm Việt Anh², Lê Ngọc Việt²

Tóm tắt: Ứng xử của đất nền dưới hố đào sâu rất phức tạp và biến dạng của hố đào thường phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: kích thước hố đào, độ cứng tường, các đặc trưng cơ học của đất. Trong bài báo này, tác giả sử dụng phần mềm Plaxis 2D để nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào tới biến dạng hố đào ứng với địa chất khu vực Hà Nội. Một số kết quả đạt được: giới hạn vùng biên theo chiều sâu và theo chiều rộng hố đào ảnh hưởng ít đến chuyển vị ngang và nội lực trong tường; mômen uốn tường vây không phụ thuộc vào hệ số poisson và môđun đàn hồi dỡ/gia tải (E_{ur}^{rel}); việc giảm cao trình mực nước ngầm bên ngoài hố đào có thể giảm 27% đến 45% chuyển vị ngang và 12% đến 24% mômen uốn của tường và việc để lại 40% đến 60% trọng lượng phần đất phải đào đi để chống giữ tạm hố đào có thể giảm chuyển vị ngang từ 10% đến 20%.

Từ khóa: Hố đào sâu; biến dạng hố đào sâu; mô hình Hardening soil.

Summary: Behaviors of soils around deep excavations are complicated and the deformation of excavation depends on many factors, such as dimensions of excavation, wall stiffness, and mechanical properties of soil. In this paper, Plaxis 2D software is applied to study influences of the factors to deformation of deep excavation in Hanoi. Some results achieved: ¹geometric boundary conditions have limited impact on horizontal displacement and bending moment of diaphragm wall; ²bending moment in the diaphragm wall is independent from Poisson's ratio and un/reloading elasticity modulus; ³reduction of groundwater level outside the excavation may induce a decline 27% to 45% of horizontal displacement and 12% to 24% wall bending moment and 4)remaining 40% to 60% of temporary earth retaining mass at the bottom of excavation can reduce approximately 15% to 21% of horizontal displacement.

Key words: Deep Excavation; Deformation of excavation; Hardening soil model.

Nhận ngày 15/4/2014, chỉnh sửa ngày 25/5/2014, chấp nhận đăng 31/12/2014



1. Đặt vấn đề

Việc sử dụng các phần mềm chuyên dụng như Plaxis, Flac, Geostudio hỗ trợ cho việc tính toán hố đào sâu đang trở nên phổ biến. Ứng xử của đất nền được mô phỏng thông qua các mô hình nền Mohr-Coulomb, Hardening Soil, Soft Soil, Soft Soil Creep [4],[8],[10]. Tuy nhiên, để lựa chọn được các thông số đầu vào phù hợp với ứng xử của đất, cách mô hình hóa phần tử, trình tự thi công sao cho phù hợp với điều kiện thực tế là thách thức không nhỏ cho người sử dụng. Thực tế cho thấy khó có một nguyên tắc nhất định về việc làm thế nào để xác định kích thước giới hạn vùng biên, số lượng và loại phần tử trong các mô hình số. Tuy nhiên, ở đây sẽ có một sự khác biệt lớn khi phân tích cùng một vấn đề bằng một phần mềm nhưng mô phỏng với các tham số đầu vào khác nhau.

Để làm rõ vấn đề, trong bài báo này phần mềm Plaxis 2D với ứng xử nền đất theo mô hình Hardening soil sẽ được sử dụng để phân tích và đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố như: bề rộng hố đào mô phỏng, kích thước giới hạn biên của mô hình, một số tham số nền đất, hạ mực nước ngầm... đến biến dạng hố đào điều kiện địa chất khu vực Hà Nội.



2. Tổng quan một số kết quả nghiên cứu về biến dạng hố đào sâu

Hiện trong nước, các nghiên cứu báo cáo đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố tới biến dạng của hố

¹ThS, Khoa Xây dựng Cầu đường. Trường Đại học Xây dựng. E-mail: thanhson.geo@gmail.com

¹ThS, Khoa Xây dựng Cầu đường. Trường Đại học Xây dựng

²TS, Trường LCPC Paris

đào sâu trong quá trình thi công còn chưa nhiều. Phần lớn chỉ nghiên cứu các yếu tố mang tính đơn lẻ, dựa trên một số kết quả quan trắc thực tế để từ đó phân tích đánh giá lại (phương pháp back-analysis) [1]. Bên cạnh đó, trên thế giới một số các nghiên cứu của [3], [6], [7] và [11] đã chỉ ra rằng:

a. *Độ cứng của tường và hệ chống*: trong đất rời và sét cứng biến dạng của hố đào không phụ thuộc vào độ cứng của tường [2],[5],[9] và [13]. Độ cứng tường chỉ ảnh hưởng đến biến dạng nền đất và tường khi thi công trong đất sét mềm. Việc tăng độ cứng hệ chống đỡ làm giảm chuyển vị ngang của tường, điều này sẽ ảnh hưởng tới biến dạng bề mặt sau lưng tường. Tuy nhiên, biến dạng phần tường dưới đáy hố đào sẽ không bị ảnh hưởng quá nhiều bởi độ cứng của kết cấu chống đỡ phía trên. Cũng cần nói thêm rằng, việc gia lực trước trong thanh chống hoặc neo là cần thiết để giảm dịch chuyển của đất, đặc biệt khi thi công trong đất sét mềm. Điều này sẽ giúp cho kết cấu chống đỡ làm việc an toàn hơn khi mới thi công, nhưng chúng có thể dẫn đến hiện tượng chênh lệch biến dạng của tường giữa phần tường bên trên và dưới đáy hố đào.

b. *Chiều sâu hố đào và đặc trưng của đất*: các nghiên cứu và kết quả phân tích ngược từ các số liệu đo thực tế cho thấy chiều sâu hố đào cũng như đặc trưng cơ học của đất là các yếu tố chính ảnh hưởng lớn đến biến dạng và nội lực của tường.

c. *Trạng thái ứng suất ban đầu*: có nhiều quan điểm trái ngược nhau về ảnh hưởng của ứng suất ban đầu tới tính toán hố đào. Theo [5], chuyển dịch ngang của đỉnh tường sẽ tăng tuyến tính theo sự tăng của áp lực tĩnh K_0 . Hơn nữa, tác động của K_0 là ảnh hưởng rõ rệt đến mômen uốn của tường, lực trong thanh chống và áp lực đất. Những giá trị này tăng lên rất nhiều khi mà K_0 tăng từ 0,3 đến 1,0. Ngược lại [9] cho rằng K_0 ít ảnh hưởng đến ứng xử hố đào.

d. *Bề rộng hố đào và các mô hình 2D & 3D*: hố đào càng rộng thì độ lớn vùng ảnh hưởng và biến dạng của nền là càng lớn. Các nghiên cứu cho thấy khu vực biên góc trong mô phỏng 3D có tác dụng hạn chế và làm giảm đáng kể biến dạng hố đào so với biến dạng tính toán trong mô hình biến dạng phẳng 2D.

Trong bài báo này, một lần nữa để làm sáng tỏ được ảnh hưởng của một số yếu tố đầu vào tới biến dạng và nội lực của tường vây trong quá trình mô phỏng tính toán hố đào sâu nhóm tác giả sẽ tiến hành phân tích một hố đào thực tế điều kiện địa chất Hà Nội. Kết quả nhận được có ý nghĩa lý thuyết và thực tiễn cao, giúp cho kỹ sư thiết kế có được cái nhìn trực quan trong việc lựa chọn được các tham số đầu vào của mô hình và hạn chế tối đa những sai số trong quá trình mô phỏng tính toán bằng phần mềm.

3. Nghiên cứu hố đào sâu với địa chất thành phố Hà Nội

3.1 Mô hình bài toán

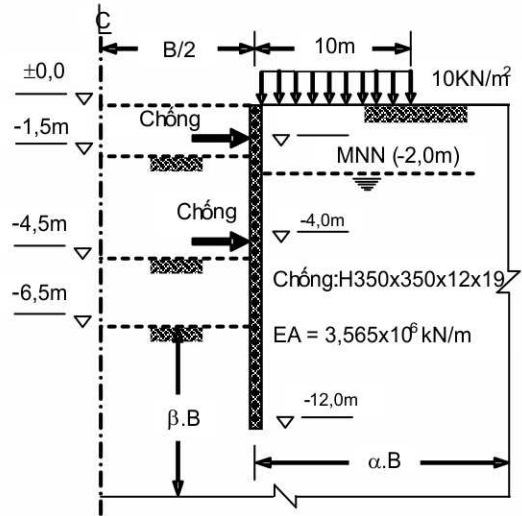
Để nghiên cứu ảnh hưởng của một số các yếu tố tới biến dạng của hố đào, tác giả thực hiện phân tích một hố đào sâu 6,5m trong nền đất sét dẻo mềm tương ứng với giả định địa chất khu vực Nam Trung Yên, Hà Nội. Kết cấu chắn giữ hố đào sử dụng cừ thép JFESP-3 sâu 12m có đặc trưng $A = 191 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m}$, $I = 16800 \times 10^{-8} \text{ m}^4/\text{m}$ ($EA = 4,011 \times 10^6 \text{ kN/m}$; $EI = 3,528 \times 10^4 \text{ kNm}^2/\text{m}$). Cao trình mực nước ngầm (MNN) - 2,0m. Các tham số đầu vào cho lớp đất sét được trình bày trong Bảng 1 dưới đây, trong đó: γ_{unsat} dung trọng riêng trên mực nước ngầm; γ_{sat} dung trọng riêng dưới mực nước ngầm; ϕ' góc ma sát trong; c' lực dính; E_{50}^{ref} môđun đàn hồi trong thí nghiệm 3 trục thoát nước; $E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$ môđun đàn hồi trong thí nghiệm nén 1 trục Oedometer ở 100 kPa; $E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ môđun đàn hồi dỡ/gia tải của đất; ν_{ur} hệ số Poisson; m số lũy thừa trong quan hệ ứng suất và biến dạng;

Bảng 1. Thông số nền đất sét cho mô hình tái bền (Hardening soil)

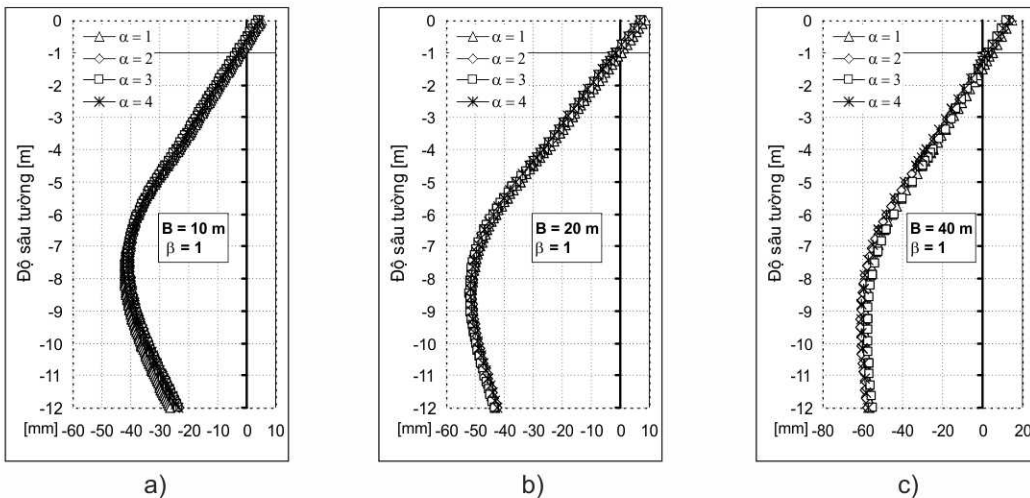
Trường hợp	γ_{unsat}	γ_{sat}	ϕ'	c'	E_{50}^{ref}	$E_{\text{oad}}^{\text{ref}}$	$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	m	ν_{ur}
	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[độ]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[kN/m ²]	[-]	[-]
Đất sét	16	17	25,3	13,2	3253	2948	19170	0,7	0,2

3.2 Nghiên cứu ảnh hưởng của bề rộng hố đào và giới hạn kích thước biên mô phỏng

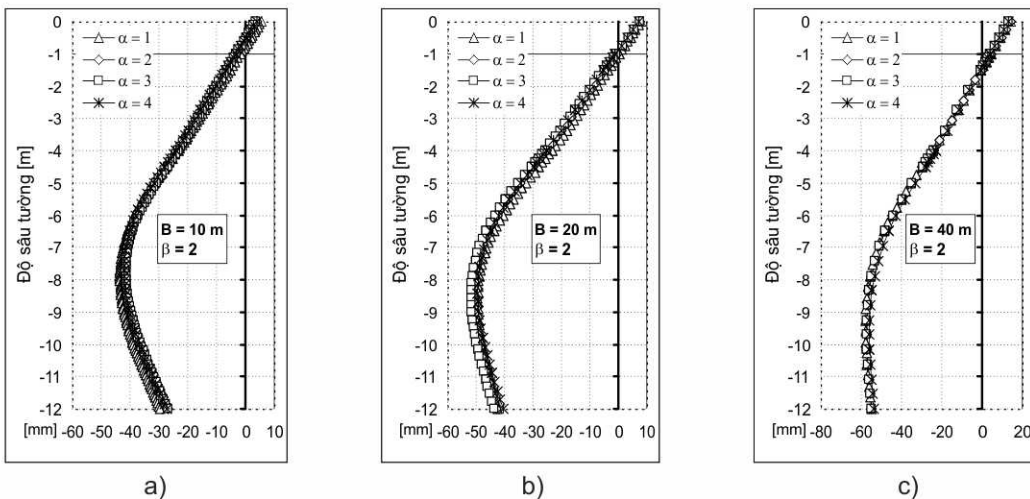
Để đánh giá ảnh hưởng kích thước hố đào trong mô hình đến ứng xử của nền đất và tường chắn thực hiện khảo sát hố đào với bề rộng lần lượt là $B = 10\text{m}$, $B = 20\text{m}$ và $B = 40\text{m}$. Tương ứng với mỗi bề rộng, khoảng cách giới hạn biên theo phương ngang sau tường ($\alpha.B$) và giới hạn biên theo phương đứng kể từ đáy hố đào ($\beta.B$) cũng sẽ được khảo sát với các giá trị khác nhau của α và β . Kết quả tính toán ảnh hưởng của bề rộng hố đào tới chuyển vị ngang, độ lún bề mặt và độ trôi đáy hố đào được thể hiện trên Hình 2+4; 5+7 và 8+9 dưới đây.



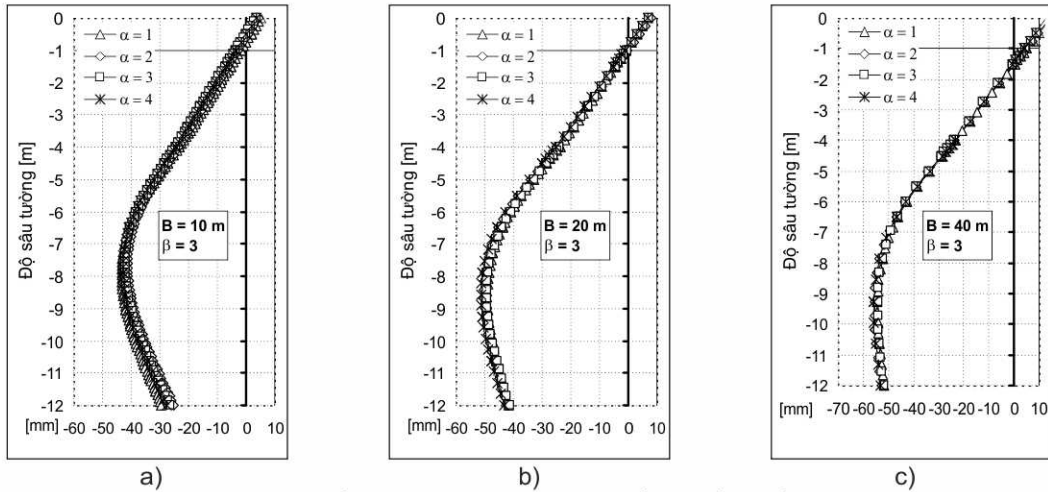
Hình 1. Mô phỏng mặt cắt hố đào sử dụng để phân tích



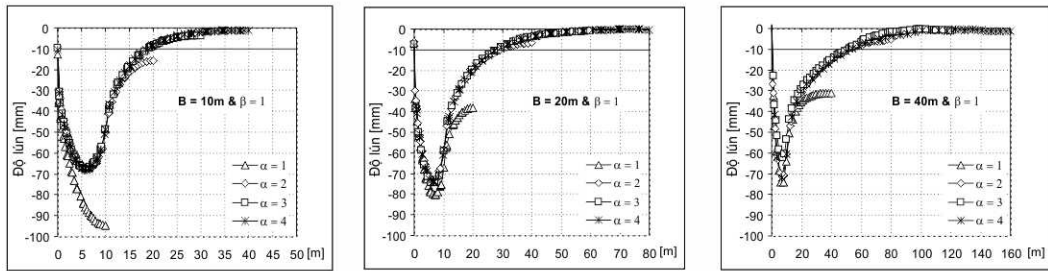
Hình 2. Chuyển vị ngang tường cử ứng với bề rộng hố đào lần lượt:
a) $B=10\text{m}$; b) $B=20\text{m}$; c) $B=40\text{m}$ và $\beta=1$



Hình 3. Chuyển vị ngang tường cử ứng với bề rộng hố đào lần lượt:
a) $B=10\text{m}$; b) $B=20\text{m}$; c) $B=40\text{m}$ và $\beta=2$

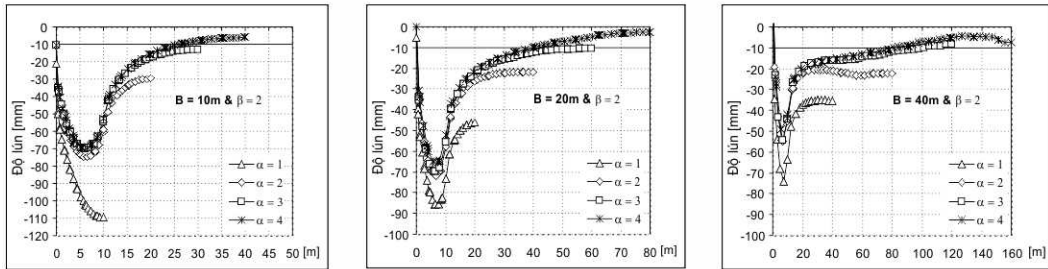


Hình 4. Chuyển vị ngang tường cử ứng với bề rộng hố đào lần lượt:
a) B=10m ; b) B=20m ; c) B=40m và $\beta=3$



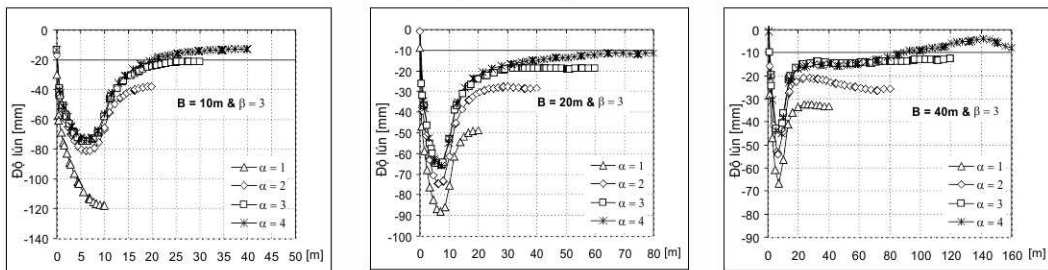
a) Khoảng cách phía sau tường chắn b) Khoảng cách phía sau tường chắn c) Khoảng cách phía sau tường chắn

Hình 5. Độ lún bề mặt phía sau hố đào ứng với bề rộng hố đào lần lượt:
a) B=10m ; b) B=20m ; c) B=40m và $\beta=1$



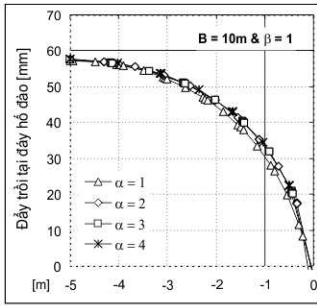
a) Khoảng cách phía sau tường chắn b) Khoảng cách phía sau tường chắn c) Khoảng cách phía sau tường chắn

Hình 6. Độ lún bề mặt phía sau hố đào ứng với bề rộng hố đào lần lượt:
a) B=10m ; b) B=20m ; c) B=40m và $\beta=2$

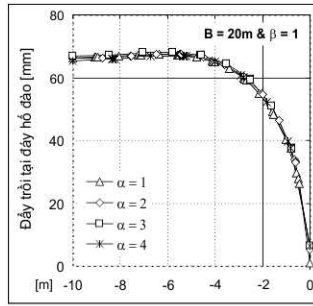


a) Khoảng cách phía sau tường chắn b) Khoảng cách phía sau tường chắn c) Khoảng cách phía sau tường chắn

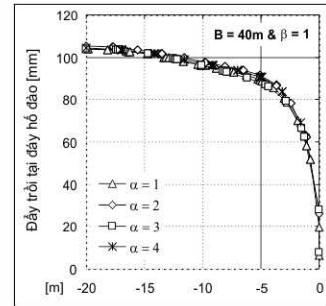
Hình 7. Độ lún bề mặt phía sau hố đào ứng với bề rộng hố đào lần lượt:
a) B=10m ; b) B=20m ; c) B=40m và $\beta=3$



a) Khoảng cách từ biên đến tường dưới đáy hố đào

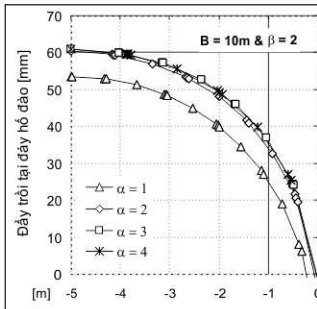


b) Khoảng cách từ biên đến tường dưới đáy hố đào

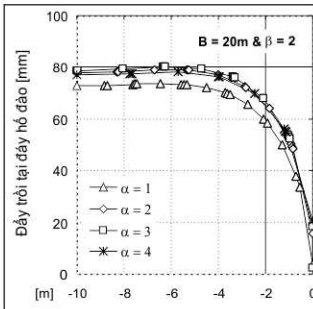


c) Khoảng cách từ biên đến tường dưới đáy hố đào

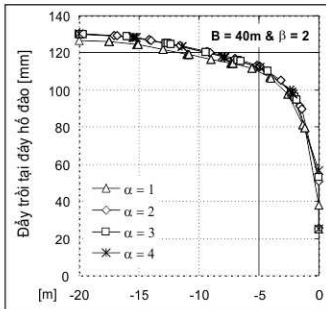
Hình 8. Biến dạng trồi tại đáy hố đào ứng với bề rộng hố đào lần lượt: a) $B=10m$; b) $B=20m$; c) $B=40m$ và $\beta=1$



a) Khoảng cách từ biên đến tường dưới đáy hố đào



b) Khoảng cách từ biên đến tường dưới đáy hố đào



c) Khoảng cách từ biên đến tường dưới đáy hố đào

Hình 9. Biến dạng trồi tại đáy hố đào ứng với bề rộng hố đào lần lượt: a) $B=10m$; b) $B=20m$; c) $B=40m$ và $\beta=2$

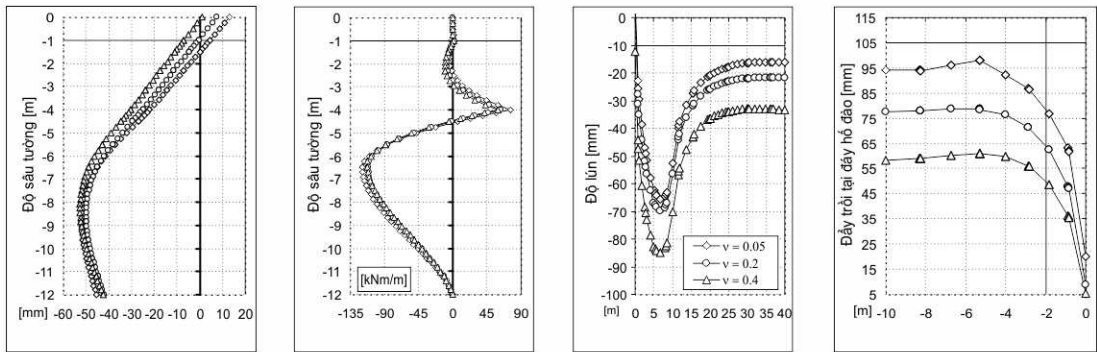
Kết quả thể hiện trên Hình 2, 3 và 4 cho thấy rằng chuyển vị ngang hố đào luôn có xu hướng tăng lên khi bề rộng hố đào tăng. Bên cạnh đó, nhìn vào đồ thị Hình 2,3,4a; Hình 2,3,4b và Hình 2,3,4c có thể thấy kích thước giới hạn biên mô phỏng trong chương trình không ảnh hưởng nhiều đến chuyển dịch ngang của tường cừ (sai khác dưới 5%). Điều này là tương đối trùng hợp với nghiên cứu của [12];

Khi giới hạn biên kích thước hình học sau hố đào nhỏ hơn 1 lần bề rộng hố đào trong mô hình thì biến dạng lún bề mặt sau hố đào sẽ là lớn nhất (Hình 5, 6 & 7), với sự thay đổi từ 28÷38%. Điều này đồng nghĩa rằng để mô phỏng đầy đủ ảnh hưởng của việc thi công hố đào tới biến dạng các công trình lân cận thì giới hạn biên kích thước mô phỏng không nên nhỏ hơn 1 lần bề rộng hố đào. Ở đây giá trị tác giả khuyến nghị là nằm trong khoảng từ 2 đến 3 lần bề rộng hố đào mô phỏng (với chênh lệch kết quả tính là dưới 12%);

Biến dạng đẩy trồi tại đáy hố đào tăng cùng với sự gia tăng của bề rộng hố đào, giá trị trung bình thay đổi khoảng 25% khi chiều bề rộng hố đào tăng gấp đôi. Tuy nhiên, ảnh hưởng của sự thay đổi giá trị (bề rộng giới hạn biên sau lưng hố đào) tới biến dạng đẩy trồi tại đáy hố đào gần như là không đáng kể (Hình 8 & 9). Trong khi đó Hình 8b,c và 9b,c cho thấy ảnh hưởng của sự thay đổi giá trị (bề rộng giới hạn biên dưới đáy hố đào) tới biến dạng trồi tại đáy hố đào là rõ rệt (biến dạng trồi tăng 25%), điều này được giải thích là do ảnh hưởng của mô đun đỡ tải dưới đáy hố đào.

3.3 Nghiên cứu ảnh hưởng tham số trong mô hình

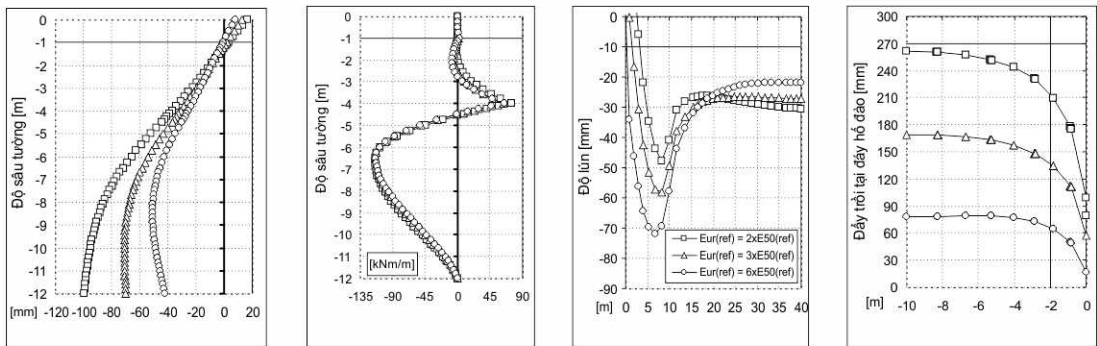
Để nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số đầu vào như hệ số Poisson, mô đun đàn hồi đỡ/gia tải (E_{ur}^{ref}) trong mô hình tới biến dạng của hố đào ta giả thiết hố đào được mô phỏng có kích thước thực trên mặt bằng là 50mx46,5m (tương ứng với $B = 20m$ và $\alpha:\beta = 2:2$). Hình 10 và 11 lần lượt thể hiện kết quả tính toán sự ảnh hưởng của hệ số Poisson, mô đun đàn hồi đỡ/gia tải (E_{ur}^{ref}) tới biến dạng và nội lực của tường cừ trong giai đoạn thi công cuối cùng.



a) Chuyển vị ngang b) Mômen uốn c) Khoảng cách phía sau tường d) Khoảng cách tới tường

Hình 10. Ảnh hưởng của hệ số ν_{ur} đến:

a) chuyển vị ngang của tường, b) mômen uốn, c) lún bề mặt, d) đẩy trôi tại đáy hố móng



a) Chuyển vị ngang b) Mômen uốn c) Khoảng cách phía sau tường d) Khoảng cách tới tường

Hình 11. Ảnh hưởng của mô đun đàn hồi đỡ/gia tải (E_{ur}^{ref}) đến:

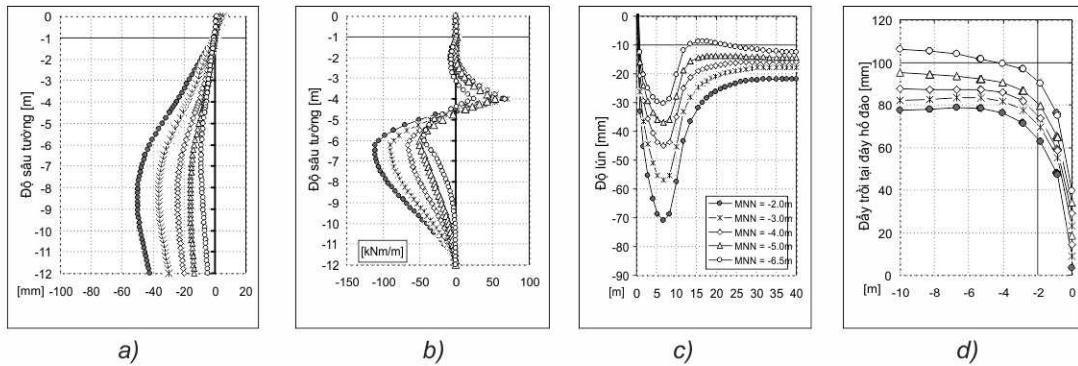
a) chuyển vị ngang của tường; b) mômen uốn; c) lún bề mặt; d) đẩy trôi tại đáy hố móng

Khảo sát giá trị ν_{ur} lần lượt bằng 0,05; 0,2 và $\nu_{ur} = 0,4$, kết quả Hình 10a, 10b cho thấy chuyển dịch ngang lớn nhất và mômen uốn lớn nhất của tường không có sự thay đổi đáng kể, chênh lệch dưới 6%. Trong khi đó, độ lún bề mặt sau hố đào và đẩy trôi tại đáy hố có sự chênh lệch lớn về giá trị với sự thay đổi từ 6%÷23% cho độ lún bề mặt (Hình 10c) và khoảng 20%÷38% cho biến dạng trôi dưới đáy hố đào (Hình 10d). Nguyên nhân ở đây được giải thích là khi ν thay đổi có nghĩa là tỷ lệ giữa các thành phần biến dạng do nén thể tích cũng thay đổi và như vậy độ lún đất phía sau hố đào sẽ tăng. Ngược lại tại đáy hố đào biến dạng dọc trục giảm mạnh đồng nghĩa với việc biến dạng trôi dưới đáy hố đào cũng sẽ giảm.

Ứng xử của nền đất dưới tác dụng của tải trọng là khá phức tạp và thực chất mô đun biến dạng của đất không phải là một hằng số. Ngoài phụ thuộc vào cấp tải trọng đang xét nó còn phụ thuộc vào lộ trình ứng suất. Thông thường trong bài toán hố đào, giá trị mô đun biến dạng của đất theo lộ trình ứng suất dỡ tải là lớn hơn khi ta gia tải. Kết quả trên Hình 11b chỉ ra rằng sự thay đổi mô đun biến dạng dưới điều kiện dỡ tải/gia tải E_{ur}^{ref} không ảnh hưởng nhiều đến mômen uốn trong tường. Tuy nhiên nó sẽ ảnh hưởng rất lớn đến dịch chuyển ngang của tường, đặc biệt là biến dạng trôi bên dưới đáy hố đào. Sự chênh lệch giá trị dao động rất lớn từ 12%÷135% tại chân tường cừ (Hình 11a) khi mà E_{ur}^{ref} thay đổi từ $1x E_{50}^{ref}$ đến $6x E_{50}^{ref}$. Khi độ lớn mô đun dỡ tải/gia tải E_{ur}^{ref} tăng dần, biến dạng trôi sẽ giảm đáng kể từ 20%÷230% (Hình 11d).

3.3 Nghiên cứu ảnh hưởng của mực nước ngầm

Để khảo sát ảnh hưởng mực nước ngầm (MNN) tới biến dạng và nội lực của tường chắn hố đào, tác giả nghiên cứu thay đổi MNN phía ngoài hố đào từ cốt -2,0m (tính từ mặt đất) giảm dần đến khi MNN ở cốt -6,5m (sát đáy hố đào). Trong tất cả các giai đoạn thi công luôn giả thiết rằng mực nước ngầm bên trong hố đào sẽ được hạ bằng với cốt đáy hố đào thi công trong giai đoạn thi công đó. Kết quả tính toán được thể hiện như Hình 12.



Hình 12. Ảnh hưởng mực nước ngầm đến:

a) chuyển vị ngang của tường; b) mômen uốn; c) lún bề mặt; d) đẩy trôi dưới đáy hố móng

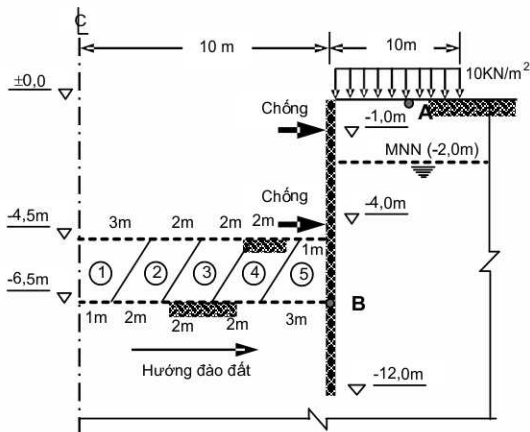
Ảnh hưởng cao trình mực nước ngầm đến nội lực và biến dạng hố đào là rất lớn. Kết quả Hình 12a cho thấy chuyển vị ngang tường giảm nhanh từ 27÷45,3% khi mực nước ngầm phía ngoài hố đào giảm hạ đều 1m so với ban đầu. Tương tự như vậy, mômen uốn sẽ giảm 12÷24% và lún bề mặt là 20% (Hình 12b&c). Ngược lại, biến dạng trôi dưới đáy hố đào lại tăng trung bình 8% (Hình 12d).

3.4 Nghiên cứu ảnh hưởng phần khối đất chống giữ tạm dưới đáy hố móng

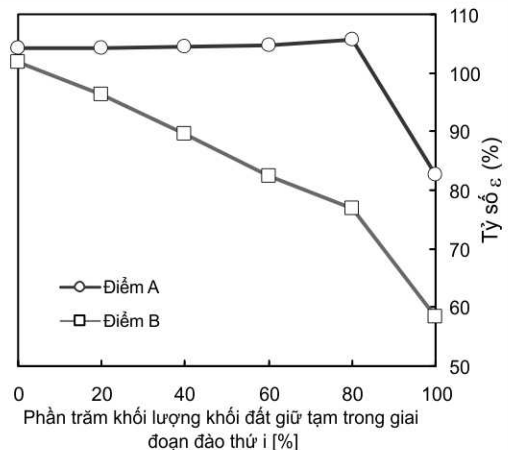
Thực tế thi công hố đào sâu, trong nhiều trường hợp để đảm bảo sự ổn định của hệ thống tường chắn và hệ chống đỡ hố đào người ta phải thi công đào đất từ lõi trước và để lại một phần đất chống giữ tạm sát tường chắn. Để nghiên cứu ảnh hưởng của phần khối đất chống giữ tạm này, mô hình mô phỏng trình tự giai đoạn thi công cuối cùng thực hiện qua năm bước nhỏ được mô tả như trên Hình 13. Biến dạng tại các vị trí A, B được sử dụng để đánh giá hiệu quả của khối đất giữ tạm tại đáy hố đào. Ta ký hiệu:

$$\varepsilon (\%) = \frac{\text{Biến dạng cuối mỗi bước đào thứ } i}{\text{Biến dạng khi không có khối đất giữ tạm}} \times 100$$

Kết quả thể hiện trên Hình 14 cho thấy hiệu quả rõ rệt của khối đất chống giữ tạm dưới đáy hố móng trong việc hạn chế chuyển vị ngang (điểm B) của tường chắn. Chuyển vị này có thể giảm từ 10%÷20% khi mà phần thể tích khối đất giữ tạm chiếm khoảng 40÷60% so với thể tích khối đất nếu đào đi toàn bộ; Ngược lại, độ lún bề mặt sau lưng hố đào (điểm A) gần như không đổi khi trọng lượng khối lượng đất giữ tạm giảm.



Hình 13. Mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của khối đất giữ tạm tại đáy hố đào



Hình 14. Ảnh hưởng của khối đất giữ tạm đến biến dạng hố đào



4. Kết luận

Bài báo đã phân tích được ảnh hưởng của một số yếu tố đầu vào đến nội lực và biến dạng hố đào thông qua phân tích bằng mô hình số cho một địa chất cụ thể khu vực Nam Trung Yên - Hà Nội. Một số kết luận chính được rút ra:

- Chuyển vị ngang và mômen uốn tường vây ít phụ thuộc vào giới hạn kích thước biên mô phỏng trong mô hình, tuy nhiên nó có xu hướng tăng lên khi kích thước bề rộng hố đào mô phỏng tăng;
- Ảnh hưởng giới hạn biên kích thước theo chiều sâu tới biến dạng lún bề mặt và biến dạng trôi tại đáy hố đào là rõ ràng hơn so với ảnh hưởng giới hạn biên kích thước phần phía sau hố đào. Ngoài ra để mô phỏng đầy đủ ảnh hưởng của quá trình thi công đào đất tới biến dạng lún sau lưng hố đào thì giới hạn biên kích thước mô phỏng trong mô hình nên lấy bằng 2 đến 3 lần bề rộng hố đào mô phỏng;
- Các tham số như hệ số Poisson ν_{ur} và mô đun nén lại E_{ur}^{ref} trong mô hình ít ảnh hưởng đến mômen tường vây. Tuy nhiên các tham số này ảnh hưởng rất lớn đến biến dạng lún bề mặt và biến dạng trôi tại đáy hố đào;
- Trong một số trường hợp, việc thiết kế phần khối đất chống giữ tạm dưới đáy hố móng là hiệu quả trong việc hạn chế chuyển vị ngang của tường chắn.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Thanh Sơn, Nguyễn Thành Công (2012), *Phân tích phương pháp dự báo mô đun đàn hồi của nền đất dựa trên kết quả quan trắc chuyển vị ngang hố đào khu vực Hà Nội*, Báo cáo tổng kết đề tài khoa học & công nghệ cấp trường ĐHXD.
2. Burland JB, Simpson B, St John HD (1979), Movements around excavations in London clay, *Design Parameters in Geotechnical Engineering*, BGS, London, Vol. 1
3. Chang-Yu Ou, *Deep Excavation, Theory and Practice*, Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan, ISBN-13: 978-0415403306 (hbk), Published by: Taylor & Francis/Balkema.
4. F.C. Townsend, J. Brian Anderson, Landy Rahelison (2001), *Evaluation of FEM Engineering Parameters from Insitu Tests*, University of Florida Department of Civil & Coastal Engineering.
5. Freiseder MG (1998), *Ein Beitrag zur numerischen Berechnungen von tiefen Baugruben in weichen Böden*, Gruppe Geotechnik Graz, Institute für Bodenmechanik und Grundbau, Heft 3.
6. Hans-Georg Kempfert (2006), Berhane Gebreselassie, *Excavations and Foundations in Soft Soils*, ISBN-13 978-3-540-32894-0 Springer Berlin Heidelberg New York.
7. Law Kim Hing (2008), *Performance of multi-propped deep excavation in kenny hill formation*, Master of Engineering University Teknologi Malaysia.
8. Monika De Vos & Valerie Whenham (2006), "Workpackage 3, Innovative design methods in geotechnical Engineering", *Background document to part 2*, GeoTechNet – European Geotechnical Thematic Network.
9. Palmer JHL, Kenny TC (1972), "Analytical study of a braced excavation in weak clay", *Canadian Geotechnical Journal* 9, pp 145-164.
10. Paulos Rahardjo (2010), *International Course on Computational Geotechnics*, Civil Engineering Department Iteenas, 21-23 September 2010, Bandung, Indonesia.
11. Toru Masuda (1993), *Behavior of Deep Excavation with Diaphragm Wall*, Master of Science in civil and Environmental Engineering at the MIT.
12. Vermeer, P. A., and Wehnert, M. (2005), "Examples of finite element applications-you never-stop learning", *FEM in geotechnical engineering - quality, testing, case studies*, 101-119, Hamburg.
13. Zeng GX, Pan QY, Hu YF (1986), "Behaviour of excavation with sheet piling in soft clay", *The international conference of deep excavation*, Beijing, pp 3.1-3.6.