

# Phân Tích Ứng Xử Tường Vây Hồ Đào Sâu Trong Nền Sét Bằng Các Mô Hình Đất Khác Nhau

Trần Duy Tân

Viện Xây dựng

Trường Đại học Giao thông vận tải thành phố Hồ Chí Minh

Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

duytan.tran@ut.edu.vn

**Tóm tắt**-Bài báo tập trung so sánh chuyển vị của tường vây hồ đào sâu trong đất sét bằng các mô hình phân tích khác nhau. Trong đó, một công trình thực tế ở khu vực đất sét bão hòa nước tại Thành phố Hồ Chí Minh, với số liệu quan trắc hiện trường đầy đủ được lựa chọn phân tích. Các mô hình đất thông dụng trong giải quyết bài toán địa kỹ thuật, Mohr-Coulomb, Hardening Soil, được áp dụng tính toán với các trường hợp không thoát nước Undrained A, B, C trong phần mềm phần tử hữu hạn Plaxis 2D. Kết quả cho thấy mô hình Hardening soil với ứng xử Undrained B cho kết quả tốt hơn các trường hợp còn lại.

*Từ khóa*-Chuyển vị, hồ đào sâu, phần tử hữu hạn, Thành phố Hồ Chí Minh.

## I. GIỚI THIỆU

Chuyển vị ngang của tường vây trong bài toán phân tích hồ đào sâu là một trong những vấn đề quan trọng vì nó ảnh hưởng đến sự an toàn, ổn định của hồ đào và các công trình liền kề. Chuyển vị ngang tường chắn đất và ổn định hồ đào sâu phụ thuộc vào địa chất, độ cứng của tường chắn và hệ giằng, bên cạnh ảnh hưởng của tải trọng và các yếu tố khác.

Hiện tại, phương pháp phần tử hữu hạn, phần mềm Plaxis là phương pháp phù hợp để dự báo chuyển vị tường vây trong thi công hồ đào sâu đối với những dự án thực tế và trong các nghiên cứu. Trong đó, các mô hình đất thường được áp dụng là mô hình Mohr Coulomb (MC) và mô hình Hardening Soil (HS). Qua đó, các phương pháp phân tích ứng xử không thoát nước của đất theo phương pháp ứng suất tổng gọi là Undrained C và phân tích theo ứng suất hữu hiệu gọi là Undrained A, Undrained B. Tuy nhiên, các nghiên cứu gần đây ở Việt Nam vẫn chưa có phân tích, đánh giá những tối ưu của việc lựa chọn các mô hình đất khác nhau, cũng như lựa chọn loại phân tích phù hợp cho ứng xử của nền sét yếu.

Bài báo phân tích, đánh giá các mô hình đất và ứng xử của đất sét để có thể dự đoán chính xác chuyển vị ngang của tường vây hồ đào sâu trong đất sét yếu tại Thành phố Hồ Chí Minh. Qua đó, lựa chọn mô hình phân tích và phương pháp tính toán tối ưu nhất với

mục tiêu dự báo chính xác chuyển vị ngang của tường vây trong nền sét yếu.

## II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### A. Mô hình Mohr-Coulomb

Mô hình Mohr-Coulomb là mô hình đất cơ bản và phổ biến với ứng xử đàn hồi - dẻo lý tưởng và sử dụng tiêu chuẩn phá hoại của Mohr-Coulomb. Quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của mô hình được thể hiện hình 1. Các thông số của mô hình bao gồm.

- Thông số đàn hồi:

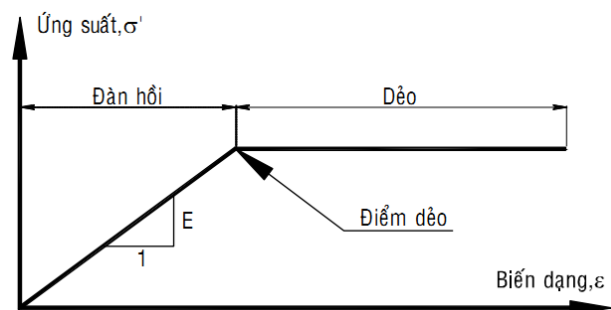
$E$ : Mô đun đàn hồi Young ( $\text{kN/m}^2$ );

$\nu$ : Hệ số poisson.

- Thông số phá hoại (dẻo):

$c'$ : Lực dính hữu hiệu ( $\text{kN/m}^2$ );

$\varphi'$ : Góc ma sát trong hữu hiệu (độ).



Hình 1. Quan hệ ứng suất-biến dạng trong mô hình Mohr-Coulomb.

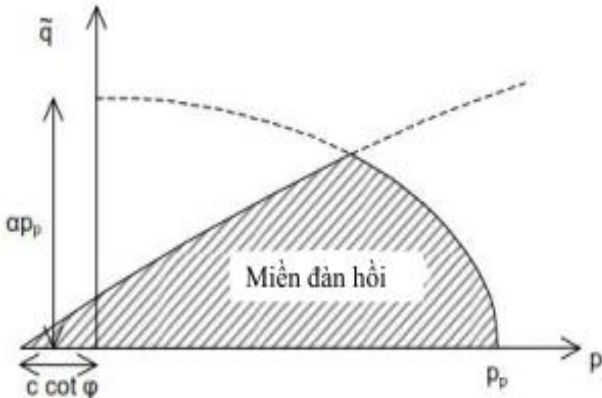
### B. Mô hình Hardening Soil

Mô hình tăng bền đẳng hướng Hardening Soil là mô hình đất nâng cao dùng để mô phỏng ứng xử của nhiều loại đất khác nhau, dành cho cả đất mềm và đất cứng. Tăng bền cắt dùng để mô phỏng các biến dạng không hồi phục của đất nền khi chịu ứng suất lệch (ứng suất cắt) ban đầu. Tăng bền nén dùng để mô phỏng các biến dạng không hồi phục của đất nền khi chịu tải nén một trục ban đầu (nén cố kết hay nén đẳng hướng). Các thông số mô hình bao gồm:

- $c'$ : Lực dính hữu hiệu ( $\text{kN/m}^2$ );

- $\varphi'$ : Góc ma sát trong hữu hiệu (độ);

- $m$ : Hệ số mũ;
- $\nu_{ur}$ : Hệ số poisson gia và dỡ tải;
- $p_{ref}$ : Áp lực tham chiếu ( $\text{kN/m}^2$ );
- $E_{50}$ : Mô đun (module) cát tuyến từ thí nghiệm nén 03 trục có kết thoát nước ( $\text{kN/m}^2$ );
- $E_{oed}$ : Mô đun tiếp tuyến từ thí nghiệm nén có kết ( $\text{kN/m}^2$ );
- $E_{ur}$ : Độ cứng gia và dỡ tải ( $\text{kN/m}^2$ ).



Hình 2. Mặt dẻo tổng quát của mô hình Hardening Soil trong không gian ứng suất chính.

### C. Phân tích thoát nước với ứng suất hữu hiệu

Mô hình tăng bền đẳng hướng Hardening Soil là mô hình đất nâng cao dùng để mô phỏng ứng xử của nhiều loại đất khác nhau, dành cho cả đất mềm và đất cứng. Tăng bền cát được sử dụng nhằm mô phỏng các biến dạng không hồi phục của đất nền khi chịu ứng suất lệch (ứng suất cắt) ban đầu.

### D. Phân tích không thoát nước với ứng suất hữu hiệu

Mô hình phân tích “Undrained” được dùng để xem xét ứng xử của đất nền theo ứng suất hữu hiệu, có kể đến quá trình phát triển áp lực nước lỗ rỗng thặng dư trong đất theo lý thuyết cổ kết của Terzaghi:  $\sigma = \sigma' + \sigma_w$

Phương pháp phân tích theo ứng suất hữu hiệu Undrained A

- Ứng xử vật liệu: Undrained;
- Sức chống cắt hữu hiệu:  $c', \phi', \psi'$ ;
- Độ cứng hữu hiệu:  $E_{50}', \nu'$ .

Phương pháp phân tích theo ứng suất hữu hiệu Undrained B

- Ứng xử vật liệu: Undrained;
- Sức chống cắt không thoát nước:  $c = c_u, \phi = \psi = 0$ ;

- Độ cứng hữu hiệu:  $E_{50}', \nu'$ ;

Phương pháp phân tích theo ứng tổng Undrained C

- Sức chống cắt không thoát nước:  $c = c_u, \phi = \psi = 0$ ;

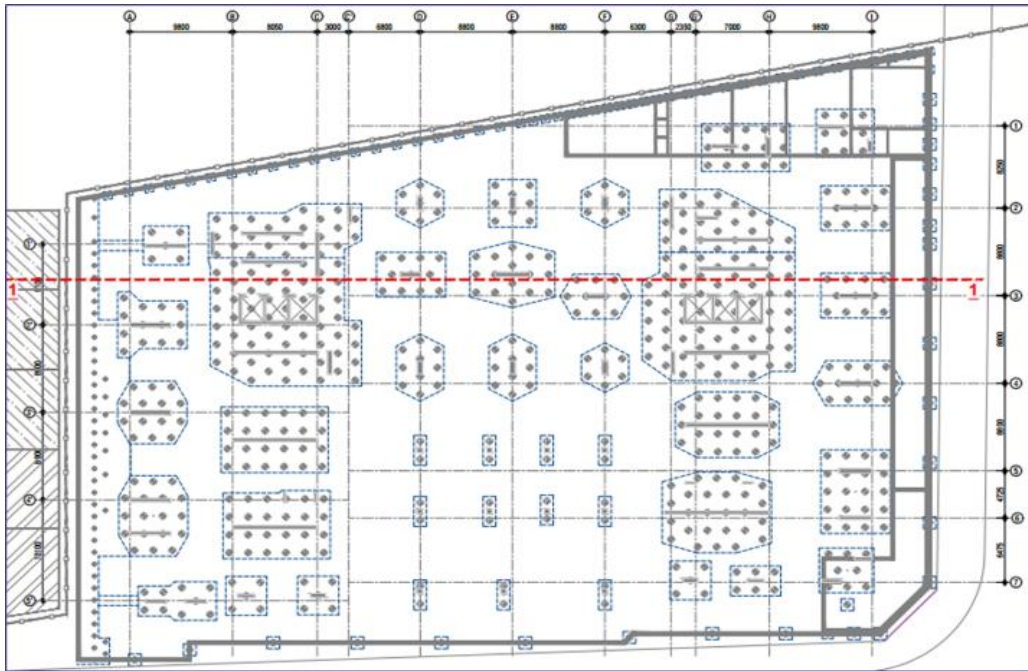
- Độ cứng không thoát nước:  $E_u, \nu_u = 0.495$ .

## III. TỔNG QUAN CÔNG TRÌNH

Tọa lạc tại quận 7, Thành phố Hồ Chí Minh, dự án căn hộ cao cấp Hưng Phát có quy mô và tầm nhìn phát triển rất hiện đại. Hình 3 dưới đây thể hiện toàn bộ phối cảnh của dự án.



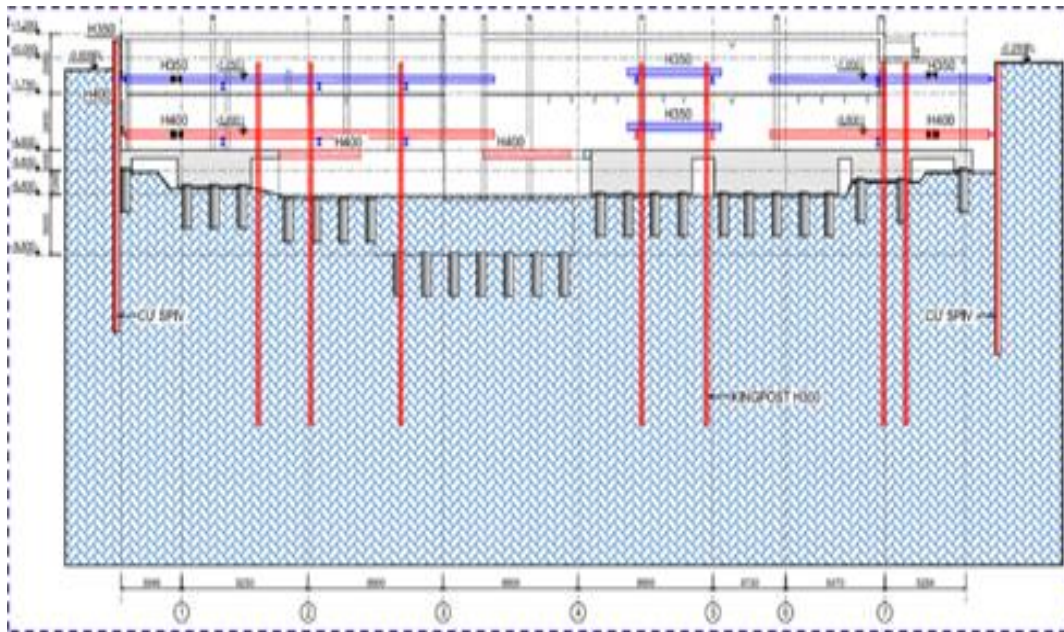
Hình 3. Phối cảnh dự án căn hộ Hưng Phát.



Hình 4. Mặt bằng và kích thước hình học tầng hầm

Quy mô của dự án căn hộ Hưng Phát gồm 2 tầng hầm có diện tích hơn 4000 m<sup>2</sup>. Móng đại trà với cao độ trung bình là - 6.650 m, hố pít là - 9.650 m. Kích

thước hình học chính của công trình có thể được thể hiện ở hình 4. Mặt bằng hiện trạng và mặt cắt ngang của dự án được thể hiện ở hình 5.



Hình 5. Mặt cắt hố đào thể hiện cao độ móng

Trình tự thi công mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn bao gồm các bước như sau:

- Bước 1: Đào đất đến cao độ - 1.3 mGL;
- Bước 2: Lắp hệ giằng H350 cao độ - 0.8 mGL;
- Bước 3: Đào đất đến cao độ - 4.05 mGL;
- Bước 4: Lắp hệ giằng H400 cao độ - 3.5 mGL;
- Bước 5: Đào đất đến cao độ - 6.65 mGL;
- Bước 6: Thi công ép cừ 9 m khu vực hố pít;

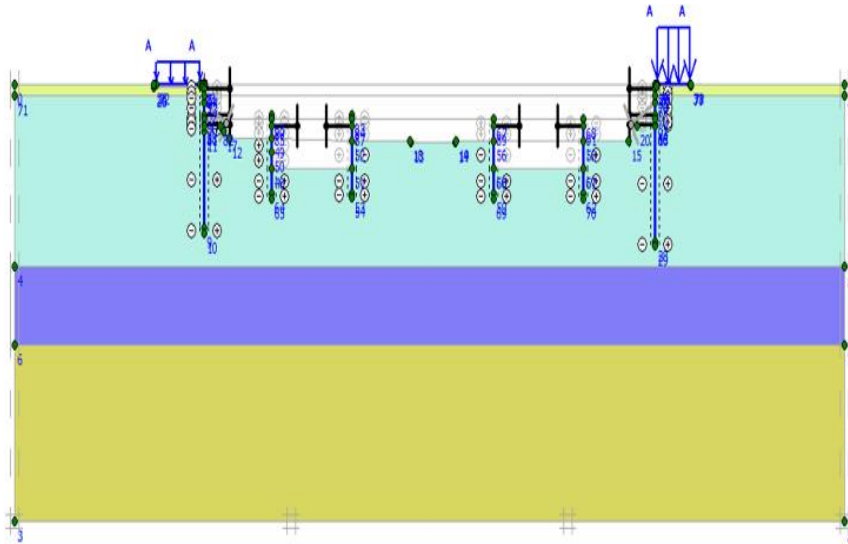
• Bước 7: Thi công sàn và móng đại trà, lắp hệ giằng H350;

• Bước 8: Đào đất khu vực hố pít đến cao trình - 9.65 mGL;

• Bước 9: Thi công móng lõi thang khu vực hố pít và thi công toàn bộ sàn B2.

Căn cứ vào trình tự thi công, mặt bằng dự án, tải trọng tác dụng ở bề mặt, cấu tạo địa chất và theo cách xác định điều kiện biên để thực hiện mô hình mô phỏng như hình 6.





Hình 6. Mô hình bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

#### IV. PHÂN TÍCH

Bài toán phân tích trong nghiên cứu này sử dụng mô hình Hardening Soil theo phương pháp phân tích Undrained A, Undrained B cho việc tính toán biện pháp thi công hố đào sâu của dự án. Từ đó so sánh kết quả thu được từ bài toán phân tích với kết quả quan trắc hiện trường. Ngoài ra, phương pháp Undrained C được sử dụng để làm bài toán phân tích ngược nhằm xác định thông số tối ưu cho địa chất khu vực cũng như đánh giá kết quả tính toán theo những phương

pháp khác nhau, qua đó, có cái nhìn tổng quát về ứng xử của tường vây trong nền sét.

##### A. Phân tích chuyển vị ngang tường vây bằng phương pháp phân tích A

Thông số địa chất sử dụng trong Plaxis theo phương pháp Undrained A cho lớp bùn sét yếu là thông số hữu hiệu được xác định từ thí nghiệm 03 trục CU. Bảng I tổng hợp các thông số địa chất theo phương pháp phân tích Undrained A.

BẢNG I. THÔNG SỐ ĐỊA CHẤT THEO PHƯƠNG PHÁP A.

Lớp đất	Lớp đất			Cát chặt vừa
	San lấp	Bùn sét, dẻo chảy	Sét dẻo cứng	
Loại	HS	HS	HS	HS
$\gamma_{\text{unsat}}$	18	15.1	19.3	21
$\gamma$	18.5	15.2	19.5	21.3
$E_{50}^{\text{ref}}$	10000	4230	60000	40000
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	10000	1881	60000	40000
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	30000	12450	18000	12000
m	0.5	0.89	0.75	0.5
v	0.2	0.2	0.2	0.2
c	5	9.63	150	19.7
$\phi$	25	26.1	0	27
$R_{\text{inter}}$	0.55	0.55	0.75	0.85
Cao độ	-1.3	-21	-30	-50
Mực nước ngầm	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

### B. Phân tích chuyển vị ngang tường vây bằng phương pháp phân tích B

Thông số địa chất của lớp bùn sét yếu theo phương pháp phân tích Undrained B được xác định từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường. Sức chống cắt không thoát  $S_u$  xuất từ kết quả thí nghiệm cắt cánh và độ cứng  $E$  dựa trên tương quan với sức kháng cắt  $S_u$ . Nhằm mục đích đưa sức chống cắt này vào mô hình Plaxis

sao cho gần với thực tế nhất (mỗi lớp đất chỉ cho phép nhập một giá trị  $S_u$ ), tác giả tiến hành phân chia lớp đất dựa trên cơ sở sự thay đổi sức chống cắt theo độ sâu theo hàm tuyến tính. Lớp bùn sét yếu được chia 03 lớp nhỏ, mỗi lớp dày 7 m. Các thông số nhập vào mô hình phân tích theo phương pháp Undrained B cho lớp bùn sét yếu thể hiện như bảng II và các lớp còn lại tương tự như bảng I.

BẢNG II. THÔNG SỐ ĐỊA CHẤT THEO PHƯƠNG PHÁP B.

Lớp đất	Lớp đất			
	San lấp	Bùn sét, dẻo chảy	Bùn sét, dẻo chảy	Bùn sét, dẻo chảy
Loại	HS	HS	HS	HS
$\gamma_{\text{unsat}}$	18	15.1	15.1	15.1
$\gamma$	18.5	15.2	15.2	15.2
$E_{50}^{\text{ref}}$	10000	2331	4122	9150
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$	10000	2331	4122	9150
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$	30000	6993	8244	27459
m	0.5	0.89	0.89	0.89
v	0.2	0.2	0.2	0.2
c	5	9.63	150	19.7
$\phi$	25	0	0	0
$R_{\text{inter}}$	0.55	0.55	0.55	0.55
Cao độ	-1.3	-8.0	-14	-21
Mức nước ngầm	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

### C. Phân tích chuyển vị ngang tường vây bằng phương pháp phân tích C

Thông số địa chất cho phương pháp Undrained C cũng được xác định từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường và độ cứng của đất xác định theo tương quan  $E = (100-$

$300) S_u$ . Giá trị  $S_u$  và  $E$  được biểu diễn tăng theo độ sâu nhờ sử dụng những thông số nâng cao trong mô hình Mohr-Coulomb. Thông số đất cho phương pháp Undrained C thể hiện ở bảng III.

BẢNG III. THÔNG SỐ ĐỊA CHẤT THEO PHƯƠNG PHÁP C.

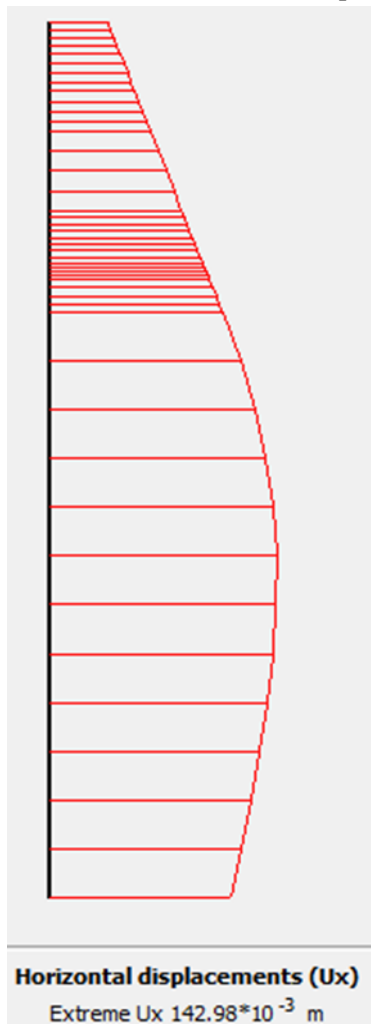
Lớp đất	Lớp đất			Bùn sét, dẻo chảy
	San lấp	Bùn sét, dẻo chảy	Bùn sét, dẻo chảy	
Loại	HS	HS	HS	HS
$\gamma$	18.5	15.2	15.2	15.2
E	2800	2800	2810	10680
$\Delta E$	-	-250	175	-
$\Delta c$	-	-2.5	1.136	-
c	28	28	18.74	30.5
$\phi$	25	0	0	0

Lớp đất	Lớp đất			Bùn sét, dẻo chảy
	San lấp	Bùn sét, dẻo chảy	Bùn sét, dẻo chảy	
Loại	HS	HS	HS	HS
$R_{inter}$	0.55	0.55	0.55	0.55
Cao độ	-1.3	-8.0	-14	-21
Mức nước ngầm	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0

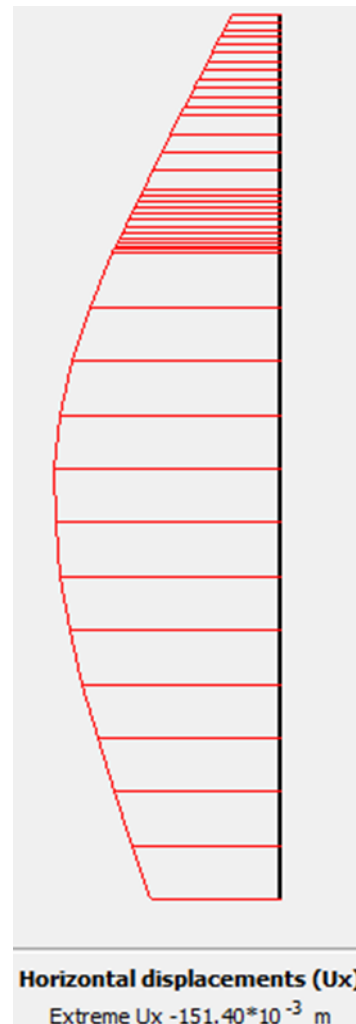
### V. KẾT QUẢ BÀI TOÁN PHÂN TÍCH

Kết quả chuyển vị ngang của tường chắn đất giai đoạn đào đất đến cao độ - 9.65 m theo phương pháp

phân tích Undrained A và Undrained B được thể hiện ở hình 7 và hình 8.



Hình 7. Chuyển vị ngang của tường vây theo phương pháp A ( $U_x = 14.2$  cm).



Hình 8. Chuyển vị ngang của tường vây theo phương pháp B ( $U_x = 15.1$  cm)

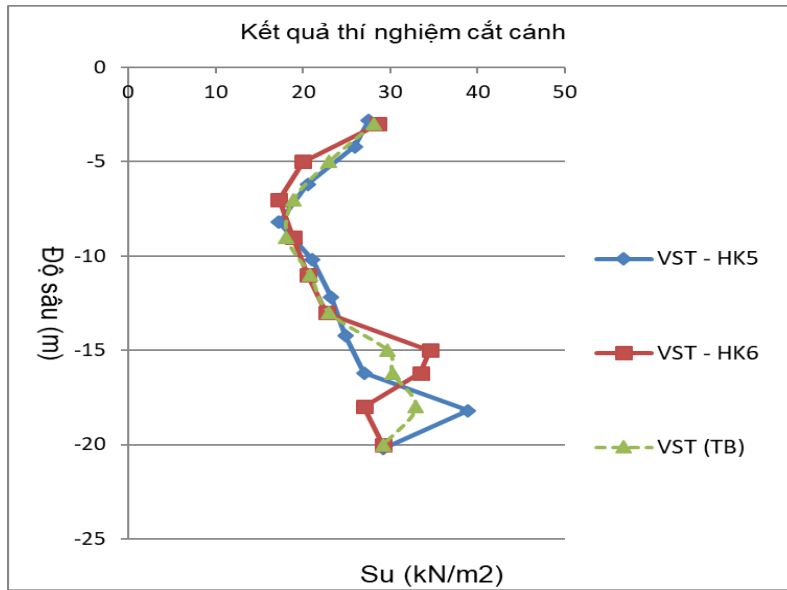
Kết quả chuyển vị ngang của tường chắn tính toán theo phương pháp Undrained A là 14.2 cm trong khi quan trắc là 18.9 cm. Điều này cho thấy phương pháp Undrained A phân tích theo ứng suất hữu hiệu từ thí nghiệm nén 03 trục sơ đồ CU cho kết quả chuyển vị dự đoán nhỏ hơn kết quả quan trắc thực tế, dẫn đến nội lực hệ giằng theo phương pháp phân tích này sẽ lớn

hơn thực tế do cử chuyển vị lớn hơn dự đoán, gây nguy hiểm cho công trình. Phương pháp phân tích Undrained B cho kết quả chuyển vị ngang của tường chắn gần sát với kết quả quan trắc hơn, sai số là nhỏ hơn 2%. Ngoài ra, phương pháp A tính toán sức chống cắt  $S_u$  và độ cứng phụ thuộc vào trạng thái ứng suất ban đầu với hệ số cố kết trước luôn lớn hơn 1. Điều

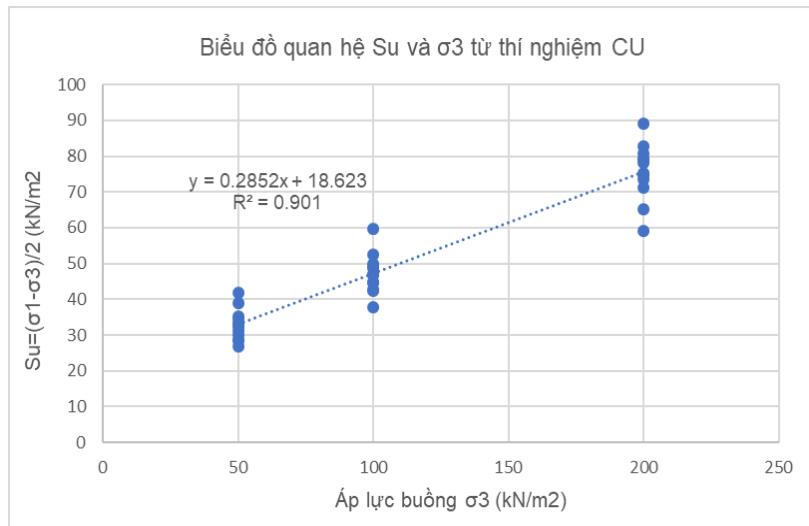
kiện của phương pháp phân tích Undrained được xem như là đất cố kết thường, đối với trường hợp đất chưa cố kết như đã phân tích trong trường hợp này là không phù hợp và thiên về trạng thái không an toàn. Đối với trường hợp đất yếu có hệ số cố kết trước lớn hơn hay bằng 1, tính toán theo phương pháp A có thể tin cậy. Tuy nhiên, nhiều trường hợp đất yếu chưa cố kết bởi trọng lượng bản thân, dễ gây nhầm lẫn trong việc ước lượng giá trị  $S_u$  ban đầu của đất, dẫn đến kết quả dự đoán nhỏ hơn thực tế quan trắc. Hơn nữa, sức chống cắt không thoát nước  $S_u$  từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường ở hình 9 đang nhỏ hơn sức chống cắt từ thí nghiệm CU trong phòng như hình 10 và điều này dẫn

tới kết quả dự đoán theo phương pháp Undrained A nhỏ hơn giá trị quan trắc. Đối với phương pháp B sức chống cắt không thoát nước  $S_u$  được đưa trực tiếp vào mô hình nên không bị ảnh hưởng bởi hệ số cố kết trước. Do đó, tính toán theo phương pháp phân tích Undrained B đảm bảo được giá trị  $S_u$  đúng với thực tế của đất, không phụ thuộc vào điều kiện cố kết.

Việc lựa chọn phương pháp thiết kế cho công trình này cần dựa trên các yếu tố như sức chống cắt không thoát nước  $S_u$ , hệ số cố kết trước để đánh giá mức độ an toàn của hai phương pháp trên, từ đó lựa chọn phương pháp thích hợp.



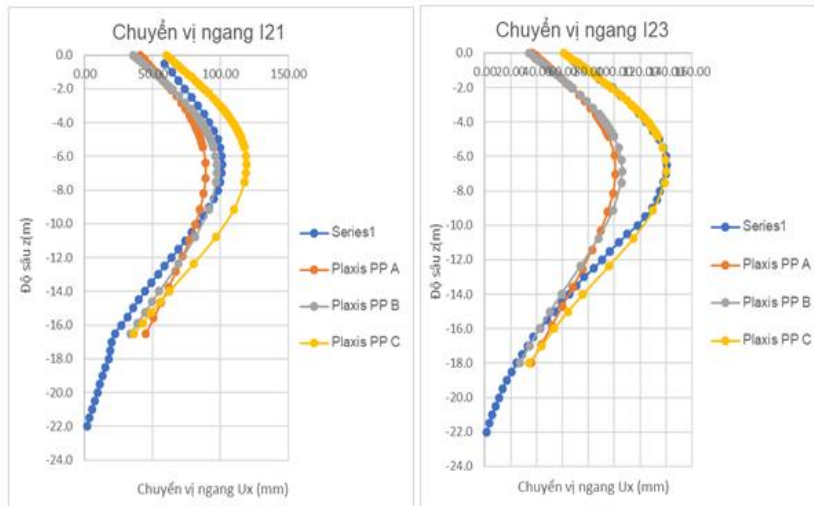
Hình 9. Sức chống cắt  $S_u$  từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường.



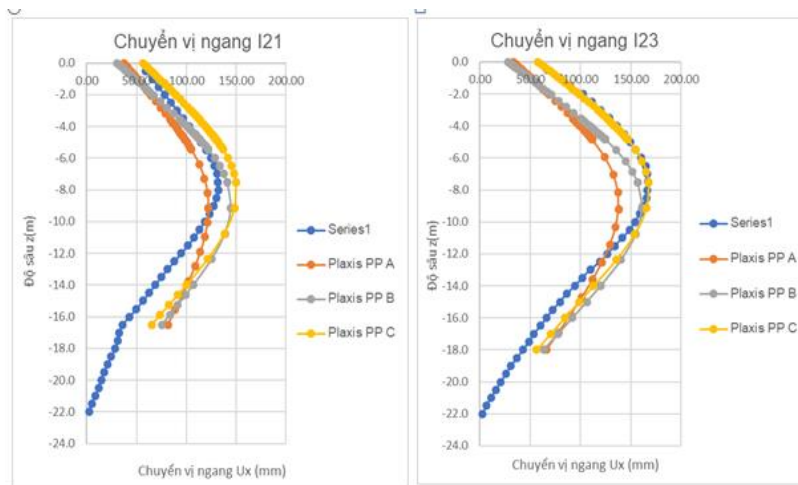
Hình 10. Quan hệ giữa  $S_u$  và  $\sigma_3$  từ thí nghiệm CU.

Để làm rõ hơn vấn đề kết quả tính toán theo hai phương pháp phân tích này, có thể tiến hành so sánh với dữ liệu quan trắc chuyển vị ngang tường vây. Phương pháp Undrained C được sử dụng để phân tích ngược chuyển vị ngang tường chắn. Cơ sở của việc phân tích ngược là dựa trên thí nghiệm cắt cánh hiện

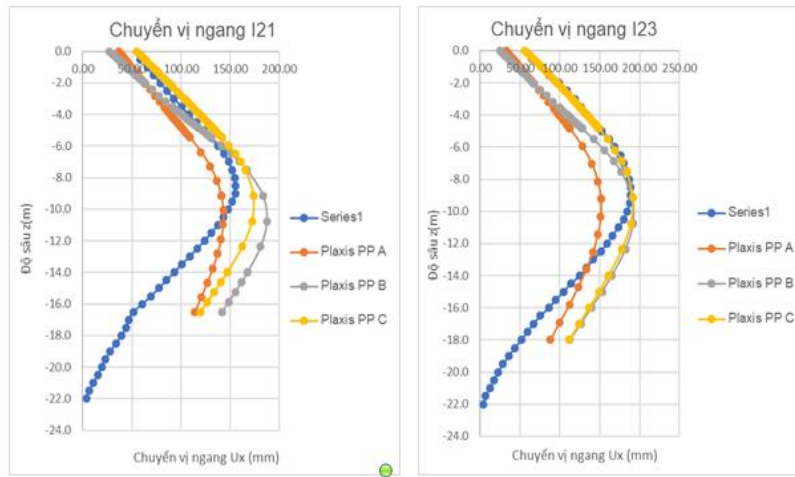
trường và mô đun đàn hồi tương quan với sức chống cắt. Kết quả phân tích tương ứng với từng giai đoạn theo cả ba phương pháp: Phương pháp A, phương pháp B, phương pháp C và kết quả quan trắc thực tế được so sánh trên cùng một biểu đồ hình 11, hình 12 và hình 13.



Hình 11. So sánh kết quả giữa các phương pháp phân tích (giai đoạn 2).



Hình 12. So sánh kết quả giữa các phương pháp phân tích (giai đoạn 3).



Hình 13. So sánh kết quả giữa các phương pháp phân tích (giai đoạn 4).

Kết quả so sánh ở hình 11, 12 và 13 cho thấy phương pháp phân tích Undrained A bằng mô hình Hardening Soil với thông số được xác định từ thí nghiệm trong phòng cho kết quả tính toán luôn nhỏ hơn giá trị quan trắc thực tế ở tất cả các giai đoạn thi công giá trị chênh lệch từ 12% đến 30% so với ứng xử thực của tường chắn. Phương pháp phân tích Undrained B bằng mô hình Hardening Soil và

Undrained C bằng mô hình Mohr-Coulomb với các thông số được xác định dựa trên sức chống cắt không thoát nước  $S_u$  của đất bùn sét yếu và tương quan độ cứng  $E$  tăng theo độ sâu cho kết quả chuyển vị ngang tường chắn gần giống với thực tế nhất. Các kết quả nhận được từ hai phương pháp này tương đồng với nhau và tương đồng với kết quả quan trắc thực tế.



## VI. KẾT LUẬN

Phương pháp phân tích Undrained A với mô hình Hardening Soil không kiểm soát được sức chống cắt không thoát nước thực tế của đất. Bài toán phân tích thiên về nguy hiểm, không phù hợp sử dụng để phân tích ứng xử của nền sét yếu.

Phương pháp phân tích Undrained B với mô hình Hardening Soil và Undrained C với mô hình Mohr-Coulomb thiên về an toàn và là cơ sở để áp dụng phương pháp phân tích ngược, phù hợp để phân tích ứng xử của nền sét yếu.

Mô đun đàn hồi  $E$  và sức chống cắt không thoát nước có thể chọn  $E = (100-300) S_u$  cho nền sét yếu. Trong tính toán có thể phân chia lớp bùn sét dày thành các lớp bùn sét nhỏ khác nhau và lấy mô đun đàn hồi tăng theo độ sâu tương ứng với  $100 S_u$ ,  $200 S_u$ ,  $300 S_u$  với việc xác định sức kháng cắt không thoát nước  $S_u$  từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường là quan trọng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. S. Bryson, D. G. Z. Medina, "Method for estimating system stiffness for excavation support walls," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, vol. 138, no. 9, pp. 1104-1115, 2012. DOI:10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000683
- [2] L. Bjerrum, O. Eide, "Stability of strutted excavations in clay," *Geotechnique*, vol. 6, no. 1, pp. 32-47, 1956. DOI:10.1680/geot.1956.6.1.32
- [3] J. B. Burland; "The yielding and dilation of clay," *Geotechnical*, vol. 15, no. 2, pp. 211-214, 1965. DOI:10.1680/geot.1965.15.2.211
- [4] A. Lim, C. Y. Ou, "Evaluation of clay constitutive models for analysis of deep excavation under undrained conditions," *Journal of GeoEngineering*, vol. 5, no. 1, pp. 9-20, 2010. DOI:10.6310/jog.2010.5(1).2.
- [5] N. K. Hung, N. Phienweij, "Practice and experience in deep excavations in soft soil of Ho Chi Minh City, Vietnam," *KSCE Journal of Civil Engineering*, vol. 20, no.6, pp. 2221-2234, 2016. DOI:10.1007/s12205-015-0470-5.
- [6] A. W. Skempton, W. H. Ward; "Investigations concerning a deep cofferdam in the Thames Estuary clay at Shellhaven," *Geotechnique*, vol. 3, no. 3, pp. 119-139, 1952. DOI:10.1680/geot.1952.3.3.119.
- [7] A. J. Whittle, M. J. Kavvas, "Formulation of MIT-E3 constitutive model for overconsolidated clays," *Journal of Geotechnical Engineering*, vol. 120, no. 1, pp. 173-198, 1994. DOI:10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:1(173)
- [8] L. T. Nghĩa, H. T. Vỹ, "Phân tích ảnh hưởng của hệ thanh chống đến chuyển vị tường vây trong thi công hố đào sâu," *Tạp chí Địa kỹ thuật*, số 3, tr. 25-32, 2013.
- [9] C. Moormann, "Analysis of wall and ground movements due to deep excavations in soft soil based on a new worldwide database," *Soil and Foundations*, vol. 44, no. 1, pp. 87-98, 2004. DOI:10.3208/sandf.44.87.
- [10] W. C. W. Lum, P. Đ. Long; "Plaxis introductory course," Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam: NXB Đại học quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh. 2014.