

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG GIẢI PHÁP KẾT HỢP CỌC ĐẤT XI MĂNG VÀ CỪ THÉP ĐỂ GIỮ ỔN ĐỊNH THÀNH HỒ ĐÀO SÂU CHO DỰ ÁN CẢI THIẾN MÔI TRƯỜNG NƯỚC THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

THE APPLICATION OF COMBINED SOLUTION OF DEEP MIXING COLUMNS AND SHEET PILING TO STABILIZE THE WALL OF DEEP EXCAVATION FOR PROJECT ON WATER ENVIRONMENT IMPROVEMENT IN HO CHI MINH CITY

¹Nguyễn Đức Anh, ²Nguyễn Thành Đạt

¹Công ty TNHH Đầu Tư VTCTO - TP.Hồ Chí Minh

²Trường ĐG GTVT TP.Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Trong những năm gần đây giải pháp thi công hố đào ngày càng được cải thiện và có xu hướng áp dụng công nghệ hiện đại. Việc tận dụng những giải pháp kết hợp truyền thống và hiện đại mang lại lợi thế rất lớn cho nhà thầu thi công, tiết kiệm được rất nhiều chi phí để thực hiện thi công. Các phần mềm tính toán và mô phỏng ngày càng nhiều và phổ biến trong công tác thực hiện bài toán địa kỹ thuật như Plaxis, Benley Midas..., là bộ giải pháp phần mềm do công ty MIDAS IT phát triển và được ứng dụng rộng rãi trong nhiều công trình. Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đánh giá khả năng sử dụng phần mềm Midas để tính toán ổn định thành hố đào sâu cho dự án Cải thiện môi trường nước Thành phố Hồ Chí Minh.

Từ khóa: Sức chống cắt không thoát nước, lún, ổn định thành hố đào.

Chỉ số phân loại: 2.4

Abstract: In recent years, the constructive solution for pit excavation has been improved with the application of modern technology. The combination of traditional and modern solutions brings several advantages for contractors and also save cost to be carried out on construction site. The simulation software is becoming popular in the implementation of geotechnical problems such as Plaxis, Benley Midas..., among these, Midas is a solution set developed by MIDAS IT company and is widely applied in many construction projects. On that basis, the authors will evaluate the ability to use this Midas software to calculate the stabilize the wall of deep excavation for the project On water environment improvement in Ho Chi Minh city.

Keywords: Undraining shear strength, settlement, and wall stability of deep excavation.

Classification number: 2.4

1. Giới thiệu

Tốc độ phát triển đô thị ngày càng nhanh của Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) đã làm cho diện tích xây dựng ngày càng bị thu hẹp. Qua đó các hệ thống hạ tầng kỹ thuật sửa chữa càng nhiều do tốc độ phát triển đô thị ngày một mạnh mẽ nên việc đào hố thi công các công trình sâu diễn ra nhiều và thường xuyên. Giải pháp chống đỡ hố đào bằng tường cừ thép kết hợp với hệ giằng chống để ổn định hố thường được sử dụng bởi tính linh hoạt và hữu dụng do chúng mang lại, tuy nhiên vẫn tồn tại một số vấn đề như tại các mối nối của cừ thép hay rỉ nước và tràn vào bên trong hố đào gây khó khăn khi thi công.

Giải pháp tường cọc đất xi măng cũng được sử dụng thường xuyên trong thi công các

tầng hầm của tòa nhà, tuy nhiên do sức kháng cắt theo phương ngang nhỏ nên chúng chỉ áp dụng được cho các hố đào không quá sâu. Hiện nay chưa tìm được dự án nào kết hợp cọc đất gia cố xi măng với cừ thép, nên nhóm nghiên cứu đưa ra bài toán mô phỏng kết hợp giữa cọc đất xi măng và cừ thép nhằm tìm kiếm được giải pháp tốt hơn.

2. Cơ sở lý thuyết

2.1. Phương pháp giản đơn

Phương pháp giản đơn dựa trên những trường hợp trong quá khứ để xây dựng nên những biểu đồ về mối quan hệ giữa các nhân tố khác nhau với chuyển vị ngang của tường vây.

2.2. Phương pháp dầm trên nền đàn hồi

và phương pháp phần tử hữu hạn

Phương pháp dựa trên nền đàn hồi và phương pháp phần tử hữu hạn là hai phương pháp thông dụng trong phân tích chuyển vị ngang của tường vây của hố đào sâu. Ưu điểm của hai phương pháp này chính là mô phỏng gần trọn vẹn những nhân tố ảnh hưởng đến chuyển vị ngang của tường vây trong hố đào sâu. Mặt khác hai phương pháp này có thể ứng dụng trong các phần mềm máy tính để giảm khối lượng và thời gian tính toán, kết quả thu được chính xác hơn. Tuy nhiên lý thuyết cơ bản của hai phương pháp này thì không thật sự đơn giản đặc biệt là phương pháp phần tử hữu hạn do đó người phân tích không những phải có kiến thức cơ bản vững vàng mà còn phải có kinh nghiệm thực tế.

3. Thông số địa chất công trình

Hố đào thuộc gói G vị trí hố đào SIP1 do công ty SOME THING VIETNAM thực hiện thi công dự án Cải thiện môi trường nước TP.HCM lưu vực Tàu Hũ - Bến Nghé - Đồi Tẻ (giai đoạn B), công trình hệ thống cống bao. Tính chất cơ lý của lớp đất trong khu vực nghiên cứu được tổng hợp và tóm tắt ở bảng 1, tại vị trí hố kích SIP1-15. Khảo sát địa chất do công ty Cổ phần Nước và Môi trường Việt nam (VIWASE) cung cấp.

Bảng 1. Đặc trưng cơ lý của lớp đất.

Tên chỉ tiêu	Lớp 2	Lớp 4
Loại đất	Sét	Cát pha
Trạng thái	Chảy	Chặt vừa
Bề dày	5.2	43.8
Y_{unsat} (kN/m ³)	8.20	16.00
Y_{sat} (kN/m ³)	15.05	20.05
k_x (m/day)	1.03E-01	3.47E-02
k_y (m/day)	6.37E-02	6.94E-03
E_{50}^{ref} (kN/m ²)	5670.00	11200.00
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ (kN/m ²)	5670.00	11200.00
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ (kN/m ²)	17010	33600
c' (kN/m ²)	8.10	16.00
ϕ (độ)	3.22	18.82
R_{inter}	0.65	0.65

Tên chỉ tiêu	Lớp 2	Lớp 4
m	1	1
Góc giãn nở v (độ)	0	0
Hệ số poisson V	0.30	0.30
Mô hình vật liệu	H-S	H-S
ứng xử vật liệu	Drained	Drained

Bảng 2. Đặc trưng cơ lý cọc đất xi măng (CĐXM) mô hình nền tương đương.

Tên chỉ tiêu	CĐXM (Lớp 2)	CĐXM (Lớp 4)
Y_{unsat} (kN/m ³)	8.79	16.20
Y_{sat} (kN/m ³)	15.40	20.15
k_x (m/day)	1.02E-01	3.73E-02
k_y (m/day)	6.48E-02	1.09E-02
E_{50}^{ref} (kN/m ²)	15387	20640.00
$E_{\text{oed}}^{\text{ref}}$ (kN/m ²)	15387	20640.00
$E_{\text{ur}}^{\text{ref}}$ (kN/m ²)	36160	61920.00
c' (kN/m ²)	22.70	40.20
ϕ (độ)	4.81	19.63
R_{inter}	0.00	0.00
m	0.90	1.00
Góc giãn nở v (độ)	0.97	0.97
Hệ số poisson V	0.30	0.25
Mô hình vật liệu	HS	HS
ứng xử vật liệu	Drained	Drained

Bảng 3. Đặc trưng cơ lý CĐXM mô hình trụ l làm việc như cọc.

Thành phần	Thông số	Trị Số	Đơn vị
Loại mô hình	Material Type	Elastic	
Module đàn hồi	E	2.00E+05	KN/m ²
Diện tích tiết diện ngang	A	7.85E-01	m ²
Độ cứng dọc trục	EA	1.57E+05	KN/m
Khoảng cách	L	1	m

4. Mô phỏng giải pháp kết hợp cọc xi măng và cừ thép để giữ ổn định thành hố đào

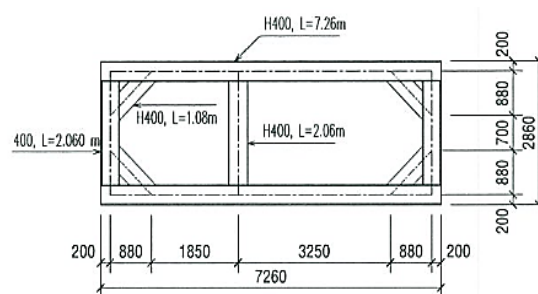
4.1. Trình tự thi công hố đào

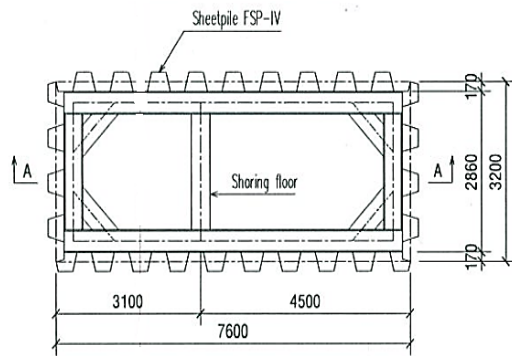
Bảng 4. Trình tự thi công hố đào.

Các bước	Nội dung
0	Trạng thái ban đầu của đất (Cao độ mặt +0.0 m)
1	Thi công tường vây cừ Larsen
2	Thi công tường đất xi măng
3	Thi công bịt đáy bằng cọc đất xi măng 2 m (-22.0 m đến -20.0 m)
4	Thi công tầng chống 1 (cao độ +0.0m).
5	Hạ mực nước ngầm, thi công đào lần một (3 m đất) tới cao độ -3.0 m
6	Thi công tầng chống hai (cao độ -3.0 m)
7	Hạ mực nước ngầm, thi công đào lần hai (3 m đất) tới cao độ -6.0 m
8	Thi công tầng chống ba (cao độ -6.0 m).
9	Hạ mực nước ngầm, thi công đào lần ba (3 m đất) tới cao độ -9.0 m
10	Thi công tầng chống ba (cao độ -9.0 m).
11	Hạ mực nước ngầm, thi công đào lần bốn (3 m đất) tới cao độ -12.0 m
12	Thi công tầng chống ba (cao độ -12.0 m).
13	Hạ mực nước ngầm, thi công đào lần năm (3 m đất) tới cao độ -15.0 m
14	Thi công tầng chống 3 (cao độ -15.0 m).
15	Hạ mực nước ngầm, thi công đào lần sáu (3 m đất) tới cao độ -18.0 m
16	Thi công tầng chống ba (cao độ -18.0 m).
17	Hạ mực nước ngầm, thi công đào lần sáu (3 m đất) tới cao độ -20.0 m

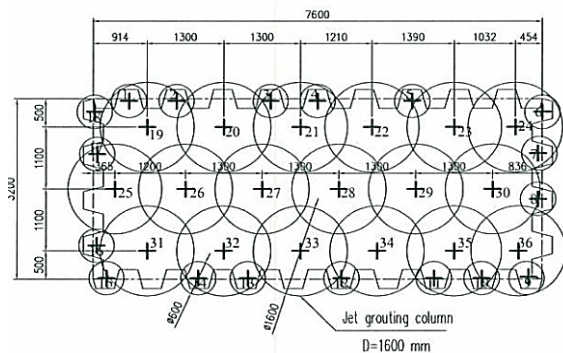
4.2. Mô phỏng công trình bằng phần mềm Midas GTS NX

Thông số tường vây: Tường vây cừ Larsen được ép xuống với chiều sâu 30 m

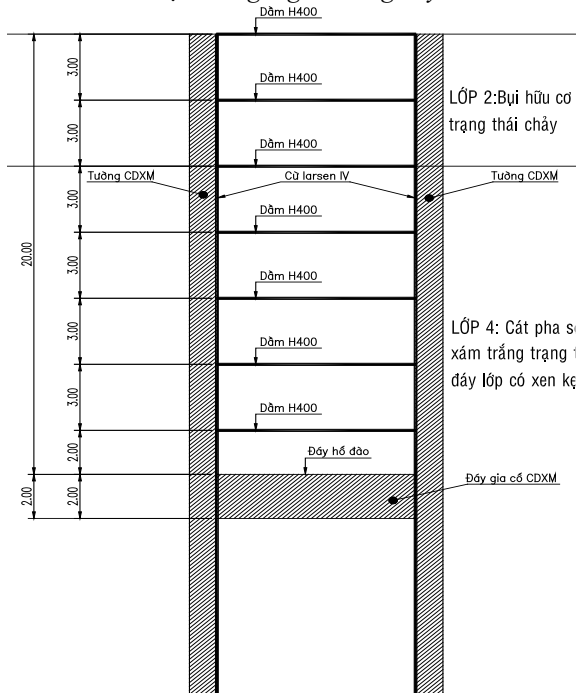
**Hình 1.** Mặt cắt ngang thanh chống hố đào.



Hình 2. Mặt cắt ngang thanh chống hố đào kết hợp cừ Larsen.



Hình 3. Mặt cắt ngang thi công đáy hố đào.



Hình 4. Mặt cắt dọc hố đào.

Bảng 5. Thông số cừ thép gia cố thành hố đào.

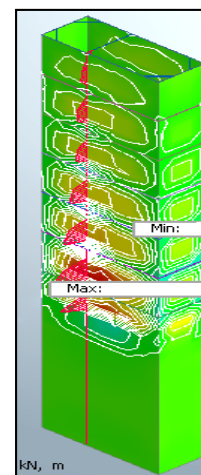
Thành phần	Thông số	Cừ Larsen	Đơn vị
Loại mô hình	Material Type	Elastic	
Module đàn hồi	E	21E+07	KN/m ²

Thành phần	Thông số	Cừ Larsen	Đơn vị
Diện tích tiết diện ngang	A	242,50	cm ²
Moment quán tính	$I = (b \cdot d^3) / 12$	38600	cm ⁴
Chiều dày	d	1,55	cm
Chiều cao	H	17,00	cm
Trọng lượng	w	7.6	KN/m/m
Hệ số Poisson	V	0,2	

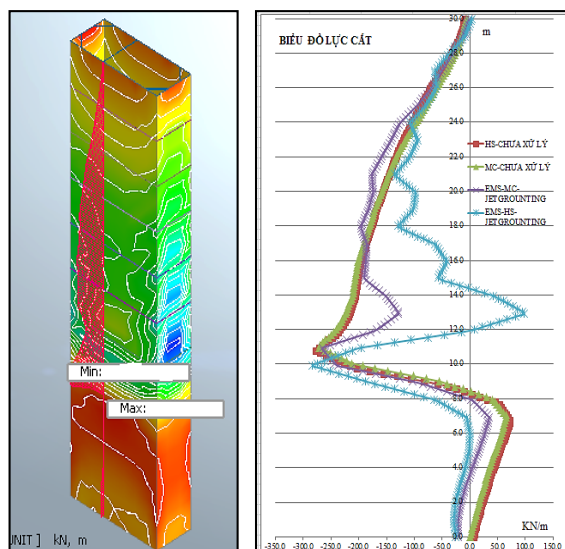
Bảng 6. Thông số thanh chống: hố đào được thi công thanh chống H400 x 400 x 13 x 21.

Thành phần	Thông số	Trị Số	Đơn vị
Loại mô hình	Material Type	Elastic	
Module đàn hồi	E	2.10E+08	KN/m ²
Diện tích tiết diện ngang	A	2.187E-2	m ²
Độ cứng dọc trục	EA	4.59E+06	KN/m
Khoảng cách	L	3	m

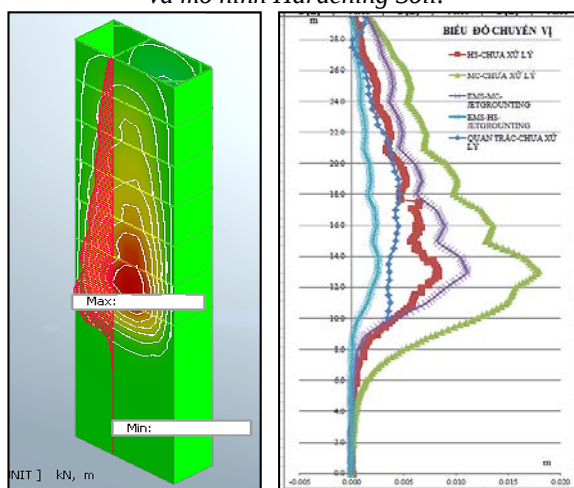
4.3. Kết quả của tường cừ Larsen phương pháp quy đổi nền tương đương (EMS)



Hình 5. Biểu đồ moment theo phương cạnh dài của tường vây cừ Larsen theo mô hình Mohr Coulomb và mô hình Hardening Soil.

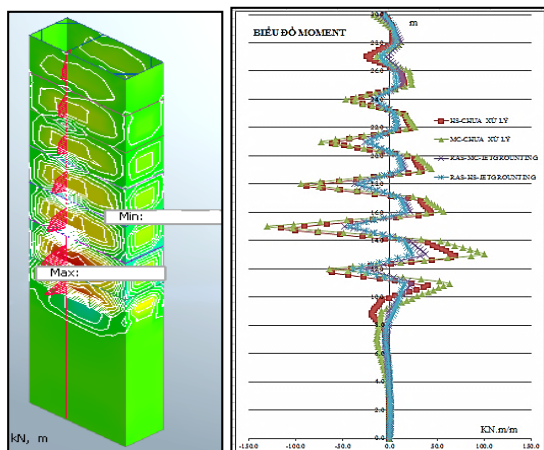


Hình 6. Biểu đồ lực cắt theo phương cạnh dài của tường vây cừ Larsen theo mô hình Mohr Coulomb và mô hình Hardening Soil.



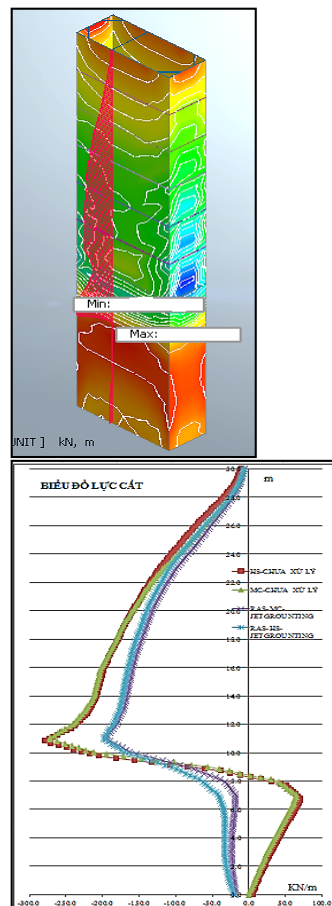
Hình 7. Biểu đồ chuyển vị theo phương cạnh dài của tường vây cừ Larsen theo mô hình Mohr Coulomb và mô hình Hardening Soil.

4.4. Kết quả nội lực của tường cừ Larsen phương pháp xem như làm việc theo cọc (RAS)

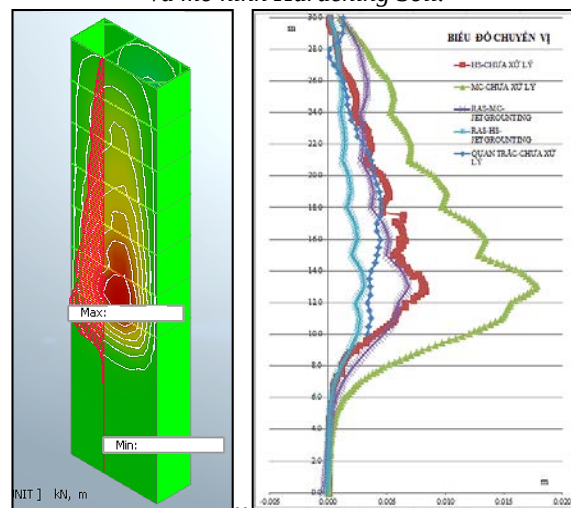


Hình 8. Biểu đồ moment theo phương cạnh dài của tường vây cừ Larsen theo mô hình Mohr Coulomb

và mô hình Hardening Soil.

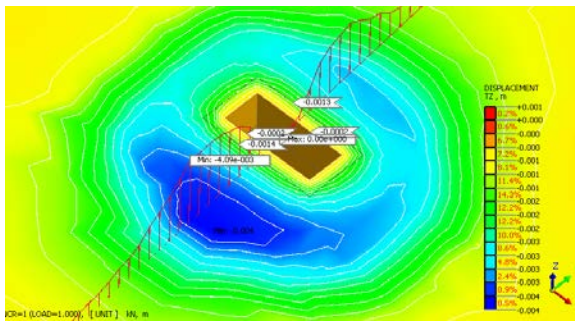


Hình 9. Biểu đồ lực cắt theo phương cạnh dài của tường vây cừ Larsen theo mô hình Mohr Coulomb và mô hình Hardening Soil.

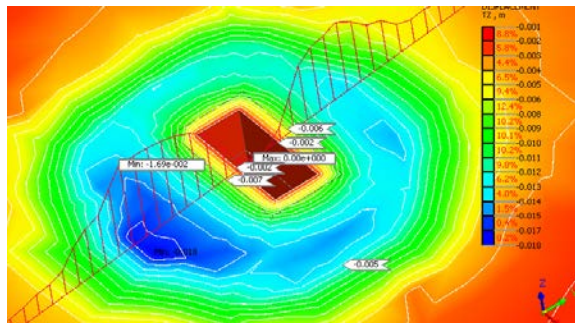


Hình 10. Biểu đồ chuyển vị theo phương cạnh dài của tường vây cừ Larsen theo mô hình Mohr Coulomb và mô hình Hardening Soil

4.5. Kết quả chuyển vị mặt nền khi chưa gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng

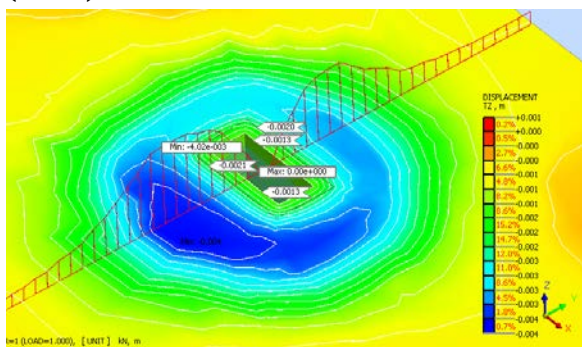


Hình 11. Kết quả chuyển vị đứng đứng của nền theo mô hình Hardening Soil khi chưa gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng D800.

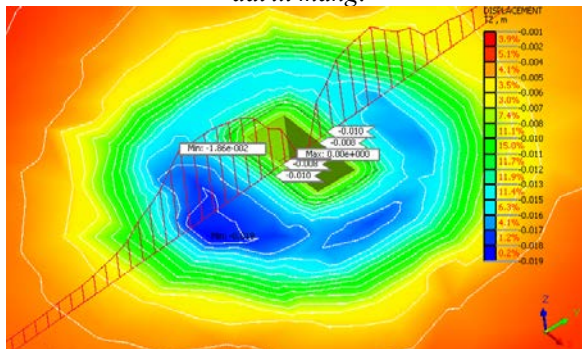


Hình 12. Kết quả chuyển vị đứng của nền theo mô hình Mohr Coulomb khi chưa gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng.

4.6. Kết chuyển vị mặt nền khi gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng theo phương pháp quy đổi nền tương đương (EMS)



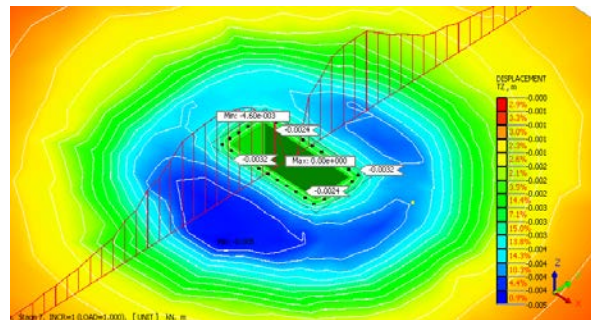
Hình 13. Kết quả chuyển vị đứng của nền theo mô hình Hardening Soil khi gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng.



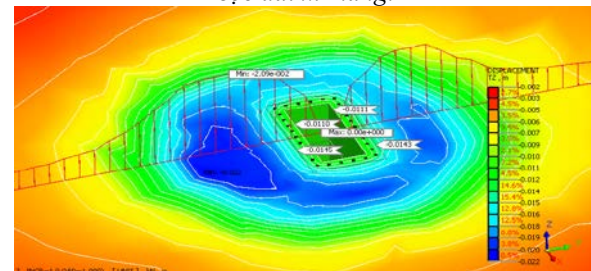
Hình 14. Kết quả chuyển vị đứng của nền theo mô hình Mohr Coulomb khi gia cố thành hố đào bằng cọc

đất xi măng.

4.7. Kết chuyển vị mặt nền khi gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng theo phương pháp làm việc như cọc (RAS).



Hình 15. Kết quả chuyển vị đứng của nền theo mô hình Hardening Soil khi gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng.



Hình 16. Kết quả chuyển vị đứng của nền theo mô hình Mohr Coulomb khi gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng.

4.8. Nhận xét

Nội lực trong tường cừ Larsen:

• Khi chưa gia cố tường cọc đất xi măng có đường kính 800 mm (D800): Từ các kết quả mô hình tính toán nhận thấy khi mô hình Mohr Coulomb kết quả moment trong tường cừ lớn nhất $M = 131.241 \text{ kN.m/m} < [M] = 476.70 \text{ kN.m/m}$ (moment nằm trong phạm vi cho phép), so với phương pháp giải tích $M = 140.35 \text{ kN.m/m}$ (chênh lệch 6.94%). Từ đó nhận xét thấy khi đất nền được mô hình Mohr Coulomb sẽ có kết quả gần đúng với mô hình giải tích hơn. Lực cắt trong tường cừ khi chưa gia cố thành cọc đất xi măng đều có giá trị ngang nhau lớn nhất đối với mô hình Hardening Soil $Q = 277.740 \text{ kN/m}$ so với phương pháp giải tích $Q = 286.10 \text{ kN/m}$ (chênh lệch 3%), từ kết quả thu được trên, chứng minh kết quả mô hình phần tử hữu hạn bằng phần mềm Midas GTS NX với phương pháp giải tích tương đương nhau nên thực hiện mô hình tiếp bài toán hố đào được giữ ổn định bằng cọc đất xi măng kết hợp với cừ thép;

• Khi mô hình bài toán kết hợp cọc xi măng đất và cừ thép để ổn định hố đào theo

phương pháp EMS: Từ các kết quả nhận thấy mô hình Mohr Coulomb cho kết quả moment trong tường cừ lớn nhất $M = 88.657 \text{ kN.m/m}$, mô hình Hardening Soil $M = 24.083 \text{ kN.m/m}$, chênh lệch này cho thấy được tường cừ nguy hiểm nhất khi mô hình đất là Mohr Coulomb. Lực cắt trong tường cừ khi gia cố đều có giá trị ngang nhau đối với mô hình Mohr Coulomb là $Q = 265.492 \text{ kN/m}$ và mô hình Hardening Soil $Q = 283.250 \text{ kN.m/m}$;

- Khi mô hình bài toán kết hợp cọc xi măng đất và cừ thép để ổn định hố đào theo phương pháp RAS: từ các kết quả nhận thấy mô hình Mohr Coulomb cho kết quả moment trong tường cừ lớn nhất $M = 48.754 \text{ kN.m/m}$, mô hình Hardening Soil $M = 43.437 \text{ kN.m/m}$, chênh lệch này cũng chứng tỏ được tường cừ nguy hiểm nhất khi mô hình đất là Mohr Coulomb. Lực cắt trong tường cừ khi gia cố đều có giá trị ngang nhau đối với mô hình Mohr Coulomb là $Q = 194.02 \text{ kN/m}$ và mô hình Hardening Soil $Q = 196.679 \text{ kN/m}$.

Chuyển vị trong tường cừ Larsen:

- Khi chưa gia cố thành hố đào bằng cọc đất xi măng qua so sánh giữa hai mô hình Mohr Coulomb, Hardening Soil và quan trắc nhận thấy mô hình HS cho kết quả gần với quan trắc hơn (vị trí chuyển vị nhiều nhất phía trên cách đáy hố đào 2 – 3 m). Khi gia cố thêm thành hố đào bằng cọc đất xi măng thì chuyển vị tường cừ giảm đi.

Độ lún của mặt nền:

- Khi chỉ gia cố đáy hố đào và chưa gia cố thành hố đào thì độ lún của mép ngoài và mép trong tường gia cố cọc đất xi măng có sự chênh lệch lớn và không đều, khi kết hợp cọc đất xi măng với cừ thì độ lún giảm và phân bố đều, mặt khác độ lún trong phạm vi gia cố cọc đất xi măng lại tăng lên do là lớp đất này đã được gia cố xi măng nên tải trọng bản thân lớn $G = 21 \text{ kN/m}^3$ so với lớp 2 hiện hữu có $G = 14.8 \text{ kN/m}^3$ và lớp 4 có $G = 20.5 \text{ kN/m}^3$.

5. Kết luận và khuyến nghị

5.1. Kết luận

Tổng quát chung về nội dung nghiên cứu, đánh giá việc ứng dụng giải pháp kết hợp cọc đất xi măng và cừ thép để giữ ổn định thành hố đào sâu cụ thể cho dự án cải thiện môi trường nước Thành phố Hồ Chí Minh, qua những phân tích nghiên cứu đã cho kết luận

sau:

- Khi kết hợp cọc đất xi măng và cừ thép còn làm giảm chuyển vị ngang của tường cừ thép :

- Theo phương pháp EMS: Mô hình Mohr Coulomb chuyển vị ngang lớn nhất khi chưa gia cố thành hố đào bằng CĐXM D800 có giá trị $T_y = 0.018 \text{ m}$ giảm xuống 38.89% còn lại $T_y = 0.011 \text{ m}$ (vị trí cách miệng hố đào 17 m), mô hình Hardening Soil chuyển vị ngang lớn nhất khi chưa gia cố thành hố đào bằng CĐXM D800 có giá trị $T_y = 0.008 \text{ m}$ giảm xuống 62.25% còn lại $T_y = 0.003 \text{ m}$ (vị trí cách miệng hố đào 17 m) ;

- Theo phương pháp RAS: Mô hình Mohr Coulomb chuyển vị ngang lớn nhất khi chưa gia cố thành hố đào bằng CĐXM D800 có giá trị $T_y = 0.018 \text{ m}$ giảm xuống 61.11% còn lại $T_y = 0.007 \text{ m}$ (vị trí cách miệng hố đào 16.95m), mô hình Hardening Soil chuyển vị ngang lớn nhất khi chưa gia cố thành hố đào bằng CĐXM D800 có giá trị $T_y = 0.008 \text{ m}$ giảm xuống 50% còn lại $T_y = 0.004 \text{ m}$ (vị trí cách miệng hố đào 17.25 m).

- Khi kết hợp CĐXM và cừ thép không chỉ giảm chuyển vị ngang mà còn làm độ lún của đất xung quanh hố đào lún đều nằm trong phạm vi cho phép, điều này đảm bảo cho mặt đường lân cận làm việc ổn định không bị nứt:

- Theo phương pháp EMS: Mô hình Mohr Coulomb thì độ lún mặt nền lớn nhất $T_z = 0.019 \text{ m}$ giảm xuống 47.36% còn lại $T_z = 0.010 \text{ m}$ (vị trí cách mép ngoài CĐXM), Mô hình Hardening soil độ lún mặt nền lớn nhất $T_z = 0.004 \text{ m}$ giảm xuống 47.5% còn lại $T_y = 0.0021 \text{ m}$ (vị trí mép ngoài CĐXM) ;

- Theo phương pháp RAS: Mô hình Mohr Coulomb thì độ lún mặt nền lớn nhất $T_z = 0.022 \text{ m}$ giảm xuống 34.09% còn lại $T_z = 0.0145 \text{ m}$ (vị trí cách mép ngoài CĐXM), Mô hình Hardening Soil độ lún mặt nền lớn nhất $T_z = 0.005 \text{ m}$ giảm xuống 36% còn lại $T_y = 0.0032 \text{ m}$ (vị trí mép ngoài CĐXM).

- Khi kết hợp CĐXM và cừ thép làm giảm nội lực trong tường cừ thép:

- Theo phương pháp EMS: Mô hình Mohr Coulomb thì moment trong tường cừ lớn nhất $M = 88.657 \text{ kN.m/m}$ giảm 32.44% và lực cắt $Q = 265.492 \text{ kN/m}$ giảm 1.93% , mô hình Hardening Soil $M = 24.083 \text{ kN.m/m}$

giảm 79.10% và lực cắt $Q = 283.250$ tăng 1.98% ;

➤ Theo phương pháp RAS: Mô hình Mohr coulumb thì moment trong tường cừ lớn nhất $M = 48.754 \text{ kN.m/m}$ giảm 62.85%) và lực cắt $Q = 194.04 \text{ kN/m}$ giảm 28.32% , mô hình Hardening Soil $M = 43.437 \text{ kN.m/m}$ giảm 62.32% và lực cắt $Q = 196.679 \text{ kN/m}$ giảm 29.18%.

➤ Ngoài ra tường CĐXM còn có tác dụng chống thấm ngang của nước tràn vào hố đào, với hệ số thấm $k = 0.0864 \text{ m/ngày}$ nên được ứng dụng nhiều trong các công trình thủy lợi, hạ tầng, xây dựng...để chống thấm bờ đê, tường vây.

5.2. Khuyến nghị

- Giải pháp CĐXM và cừ thép để giữ ổn định hố đào nên được xem xét và áp dụng;

- Có thể sử dụng phần mềm Midas GTS NX để mô phỏng bài toán:

- Cần có những nghiên cứu tối ưu sự kết hợp giữa CĐXM và cừ thép, đánh giá hiệu quả kinh tế;

- Cần nghiên cứu thêm ở các khu vực địa chất khác tương đồng □

Tài liệu tham khảo

[1]. Chang-Yu Ou, “Deep Excavation”, Theory and Practice, Taipei, Taiwan: Taylor& Francis Group, 2006;

- [2]. Clough, G.W.O'Rourke, T.D. “Construction-induced movements of in situ wall. Design and Performance of Earth Retaining Structures”, ASCE Special Publication, No.25, pp.439-470, 1990;
- [3]. TCVN 9403-2012, “Gia cố đất nền yếu -Phương pháp trụ đất xi măng”;
- [4]. Trần Nguyễn Hoàng Hùng, “Công nghệ xói trộn vữa cao áp”, Nhà xuất bản đại học quốc gia TP.HCM năm 2016”;
- [5]. Ngô Đức Trung, Võ Phán, “Phân tích ảnh hưởng của mô hình nền đến dự báo chuyển vị và biến dạng công trình hố đào sâu ổn định bằng tường chắn”, Kỷ Yếu Hội nghị Khoa Học và Công nghệ lần Thứ 12, Khoa KT Xây Dựng ĐH Bách Khoa Tp.HCM, 10/2011;
- [6]. Châu Ngọc Ân, “Cơ học đất”, NXB Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, 2009;
- [7]. Lê Trọng Nghĩa, Nguyễn Ái Hữu, “Phân tích chuyển vị ngang của tường chắn hố đào sâu trên vùng đất yếu dày được gia cố đáy hố đào bằng cọc xi măng”, TC Địa kỹ thuật, Vol.2, 25-33, 2014;
- [8]. Lê Trọng Nghĩa, Trần Đình Tài, “Phân tích hiệu quả của cọc đất trộn xi măng chống chuyển vị ngang của tường hố đào trong đất yếu”.

Ngày nhận bài: 24/1/2020

Ngày chuyển phản biện: 27/1/2020

Ngày hoàn thành sửa bài: 17/2/2020

Ngày chấp nhận đăng: 20/2/2020