

Phân tích ảnh hưởng cọc xi măng đất đến hiệu quả gia cố trong hố đào sâu cho công trình tại khu vực Thành Phố Hồ Chí Minh

Analysis of the impact of cement deep mixing columns on reinforcement efficiency in deep excavations in Ho Chi Minh City

Trác Nguyễn Hải Nguyên¹, Nguyễn Phúc Bình An², Trần Thanh Danh^{1*}

¹Trường Đại học Mở Thành Phố Hồ Chí Minh, Thành Phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Công ty Cổ phần Đầu tư Xây dựng Wealthcons, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Tác giả liên hệ, Email: danh.tt@ou.edu.vn

THÔNG TIN

TÓM TẮT

DOI:10.46223/HCMCOUJS.tech.vi.20.2.3769.2025

Ngày nhận: 02/10/2024

Ngày nhận lại: 08/11/2024

Duyệt đăng: 22/11/2024

Thành phố Hồ Chí Minh đang phát triển mạnh về đô thị hóa, kéo theo nhu cầu xây dựng các công trình hạ tầng ngầm như tầng hầm, bãi đỗ xe và trung tâm thương mại trong điều kiện địa chất yếu, đòi hỏi các giải pháp kỹ thuật hiệu quả để đảm bảo an toàn và ổn định cho hố đào sâu. Nghiên cứu này sử dụng mô hình phần tử hữu hạn (FEM) để phân tích ảnh hưởng của cọc xi măng đất (CDM) đến hiệu quả gia cố nền đất yếu tại dự án River Panorama Block 7 & 8 ở Quận 7, TP. Hồ Chí Minh, nhằm xác định phạm vi gia cố tối ưu giúp ổn định công trình và tối ưu hóa chi phí thi công. Kết quả cho thấy, phạm vi gia cố tối ưu của cọc xi măng đất nằm trong khoảng từ 0.3 đến 0.4 lần chiều rộng hố đào, đảm bảo các thông số chuyển vị và nội lực trong giới hạn cho phép, giúp giảm thiểu chi phí và thời gian thi công mà vẫn duy trì hiệu quả gia cố. Những kết quả này có thể áp dụng cho các dự án tương tự trong điều kiện địa chất yếu.

ABSTRACT

Từ khóa:

cọc xi măng đất; gia cố nền đất yếu; hố đào sâu; mô hình phần tử hữu hạn; phạm vi gia cố

Keywords:

cement deep mixing; soft soil reinforcement; deep excavation; finite element modeling; reinforcement range

Ho Chi Minh City is experiencing rapid urbanization, leading to an increased demand for underground infrastructure such as basements, parking lots, and shopping centers in areas with weak geological conditions, necessitating effective technical solutions to ensure safety and stability in deep excavations. This study uses Finite Element Modeling (FEM) to analyze the impact of Cement Deep Mixing (CDM) piles on the reinforcement effectiveness of soft soil at the River Panorama Block 7 & 8 project in District 7, Ho Chi Minh City, with the aim of determining the optimal reinforcement range to stabilize the structure and optimize construction costs. Results indicate that the optimal reinforcement range for CDM piles is between 0.3 and 0.4 times the excavation width, ensuring displacement and internal force parameters within permissible limits, thus reducing construction costs and time while maintaining reinforcement effectiveness. These findings can be applied to similar projects in weak soil conditions.

1. Giới thiệu

Sự phát triển đô thị và nhu cầu mở rộng hạ tầng tại các thành phố lớn như Thành phố Hồ Chí Minh đã đặt ra những thách thức lớn về thi công, đặc biệt là các công trình hố đào sâu trong điều kiện địa chất yếu. Việc phát triển hạ tầng ngầm, bao gồm hệ thống tầng hầm, bãi đỗ xe, và trung tâm thương mại, ngày càng trở nên phổ biến, đòi hỏi các giải pháp kỹ thuật tiên tiến để đảm bảo sự ổn định và an toàn của các công trình (Nguyen và Hoang, 2013).

Các phương pháp thi công hố đào sâu đã được phát triển và áp dụng trên toàn thế giới, với nhiều giải pháp khác nhau, từ cọc khoan nhồi, cừ Larsen, đến tường chắn bằng bê tông cốt thép. Tuy nhiên, trong điều kiện đất yếu như khu vực Quận 2 và Quận 7 tại Thành phố Hồ Chí Minh, việc ứng dụng các giải pháp gia cố nền như cọc xi măng đất (CDM) trở nên cần thiết và mang lại hiệu quả cao. Cọc xi măng đất không chỉ giúp tăng sức chịu tải của nền đất mà còn hạn chế chuyển vị và đảm bảo ổn định cho công trình (Ignat & ctg., 2015; Ou & ctg., 2008; Rutherford & ctg., 2005; Severino & ctg., 2022; Tran & ctg., 2013).

Nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đã nghiên cứu về sự kết hợp giữa cọc xi măng đất và các phương pháp tường chắn khác trong hố đào sâu. Mai và Le (2012) đã nghiên cứu hiệu quả của việc kết hợp cọc cừ thép và cọc xi măng đất trong việc ngăn chặn nước thấm và ổn định hố móng sâu. Nguyen và Hoang (2013) cũng đã chỉ ra rằng việc sử dụng giải pháp jet grouting có thể giảm chuyển vị ngang của hố đào. Các nghiên cứu này đã khẳng định rằng cọc xi măng đất có khả năng ứng dụng rộng rãi trong nhiều điều kiện địa chất khác nhau.

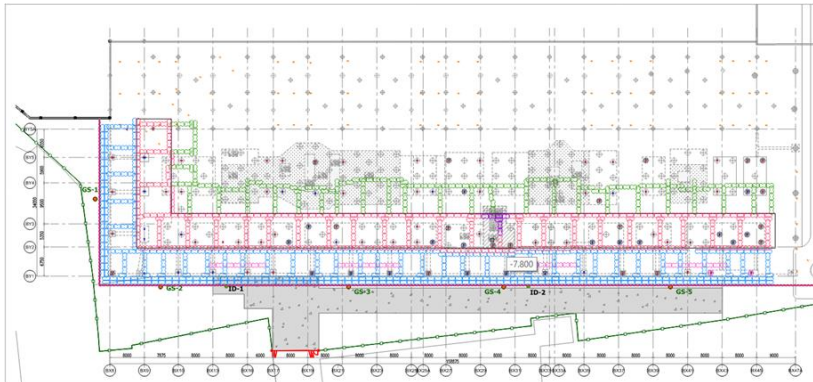
Tuy nhiên, một khoảng trống lớn vẫn tồn tại trong việc xác định mật độ và phạm vi gia cố tối ưu của cọc xi măng đất, đặc biệt trong các điều kiện địa chất phức tạp tại Thành phố Hồ Chí Minh. Các nghiên cứu hiện tại phần lớn tập trung vào việc kiểm chứng hiệu quả của các giải pháp mà chưa đưa ra những con số cụ thể về mật độ gia cố cần thiết để đạt được sự ổn định tốt nhất (Le & Dao, 2020; Le & ctg., 2021; Nguyen & ctg., 2021; Pham & ctg., 2016; Vo, 2016).

Với câu hỏi nghiên cứu: “Mật độ gia cố cọc xi măng đất bao nhiêu là tối ưu trong điều kiện đất yếu tại Thành phố Hồ Chí Minh?” - Nghiên cứu này sẽ tập trung vào việc phân tích tác động của cọc xi măng đất đến hiệu quả gia cố hố đào sâu bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM). Mục tiêu của nghiên cứu là xác định phạm vi gia cố tối ưu, đảm bảo tính ổn định của công trình và giảm thiểu chi phí, từ đó cung cấp khuyến nghị cho các kỹ sư trong quá trình thiết kế và thi công các dự án xây dựng trong tương lai.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tại công trình River Panorama Block 7 & 8, Quận 7, TP. Hồ Chí Minh. Khu vực này có địa chất chủ yếu là đất sét yếu, dễ bị lún và mất ổn định khi thi công hố đào sâu. Đây là điều kiện lý tưởng để áp dụng và kiểm tra hiệu quả của phương pháp gia cố bằng cọc xi măng đất.

Hình 1**Mặt Bằng Bố Trí Cọc CDM**

Ghi chú: Nhóm tác giả

Phần hầm được thi công theo phương pháp semi top-down, kết hợp cừ larsen (12m và 18m) với cọc xi măng đất. Sự kết hợp này nhằm gia cố nền đất, tăng cường độ và mô đun đất khu vực đáy hố đào, ngăn chặn sự dịch chuyển của chân cừ. Biện pháp thi công được thiết kế với trình tự thi công sau:

Bước 1: Thi công cọc CDM, cừ larsen W400, và kingpost.

Bước 2: Thi công sàn tầng trệt, shoring, và gôỉ chống cừ larsen.

Bước 3: Đào đất đến cao độ -3.75m.

Bước 4: Thi công sàn hầm B1, shoring, và gôỉ chống.

Bước 5: Đào đất đến đáy sàn hầm.

Bước 6: Thi công móng và sàn hầm B2.

Bước 7: Thi công vách hầm B2, lấp đất và tháo gôỉ chống.

Bước 8: Thi công vách hầm B1, lấp đất và tháo hệ chống.

Ứng dụng cọc CDM kiểu khung với đường kính 1m mật độ gia cố 32% (Hình 1). Vùng gia cố tính từ mép cừ là B/2 (trong đó B là bề rộng công trình). Cao độ đầu cọc được thiết kế dựa trên cao độ đáy sàn, đáy móng đại trà và móng pít.

2.1.1. Địa chất công trình

Theo hồ sơ địa chất, khu vực được khảo sát gồm có 05 lớp đất. Trong đó lớp bùn sét, trạng thái chảy có chiều dày 26m nằm ở độ sâu từ -1m đến -27m.

Lớp đất (1) 1m: cát san lấp

Lớp đất (2a) 5m: bùn sét 01, màu xám xanh đen, trạng thái chảy

Lớp đất (2a) 5m: bùn sét 02, màu xám xanh đen, trạng thái chảy

Lớp đất (2a) 5m: bùn sét 03, màu xám xanh đen, trạng thái chảy

Lớp đất (2b) 5m: bùn sét 04, màu xám xanh đen, trạng thái chảy

Lớp đất (2b) 5m: bùn sét 05, màu xám xanh đen, trạng thái chảy

Lớp đất (3) 8.8m: sét pha bụi, màu xám xanh- xám vàng, trạng thái dẻo cứng

Lớp đất (4) 6.8m: sét pha bụi, màu xám xanh- xám vàng, trạng thái dẻo mềm

Lớp đất (5) 8.4m: Cát mịn đến trung lẫn bụi sét, màu xám vàng-xám trắng, trạng thái chặt vừa.

Các lớp đất trên là các lớp đất có đặc trưng cơ lý trung bình, không thuận lợi đối với xây dựng.

2.1.2. Thông số cấu kiện

Cấu kiện cơ bản trong mô hình là cừ larsen W400 dài 12m và 12m xen kẽ 18m; sàn trệt, sàn hầm B1. Các cấu kiện được mô phỏng bằng các thông số như Bảng 1.

Bảng 1

Bảng Thông Số Vật Liệu cho Cấu Kiện Mô Hình trong Plaxis

Cấu kiện	Phần tử	Thông số vật liệu
Cừ larsen W400 12m	Plate	Loại vật liệu: Elastic EA = 4.838 E6 kN/m EI = 77.01 E3 kNm ² /m w = 10 kN/m/m ν = 0.3
Cừ larsen 12m xen kẽ 18m	Plate	Loại vật liệu: Elastic EA = 2.419 E6 kN/m EI = 38.50 E3 kNm ² /m w = 10 kN/m/m ν = 0.3
Kết cấu sàn trệt	Anchor	Loại vật liệu: Elastic EA = 5.750 E6 kN L spacing = 1m
Kết cấu sàn B1	Anchor	Loại vật liệu: Elastic EA = 5.06 E6 kN L spacing = 1m

Ghi chú: Dữ liệu từ “Hồ sơ thiết kế biện pháp thi công cho dự án River Panorama Block 7 & 8 - Hoàng Quốc Việt, Phường Phú Thuận, Quận 7, TP. HCM” bởi Công ty Cổ phần Đầu tư Xây dựng Ricons, 2021

2.2. Quy trình nghiên cứu

Bước 1: Thu thập dữ liệu

Thu thập, tổng hợp các căn cứ hồ sơ địa chất, biện pháp thi công của dự án; thông số mô hình phần tử hữu hạn, kết quả tính toán và kết quả quan trắc thực tế tại công trường.

Bước 2: Phân tích thông số

Căn cứ hồ sơ địa chất, biện pháp thi công của dự án; xây dựng thông số địa chất cho mô hình Plaxis. Kết quả bước này là căn cứ đánh giá sự ổn định hố đào.

So sánh kết quả chuyển vị giữa mô hình và kết quả quan trắc theo từng bước đào. Kết quả là các nhận xét sự khác biệt giữa mô hình và thực tế thi công.

Bước 3: Điều chỉnh mô hình

Qua sự so sánh ở bước 2, đề xuất sự cân chỉnh thông số nhằm đạt được sự phù hợp giữa mô hình và thực tế. Kết quả bước này có được mô hình với thông số điều chỉnh phù hợp, đây là mô hình gốc cho bài toán phân tích phạm vi gia cố.

Bước 4: Phân tích phạm vi gia cố

Căn cứ mô hình nêu trên, phân tích theo 02 hướng:

Hướng điều chỉnh giảm: điều chỉnh khoảng cách bề rộng vùng gia cố theo tỷ lệ giảm dần với bước 0.1B cho đến 0.5B. Điều kiện dừng bài toán là tường cử chuyển vị lớn, nội lực hệ chống lớn hơn mức cho phép hoặc bài toán bị phá hủy. Kết quả xác định được cận dưới của gia cố CDM cho hố đào và ảnh hưởng của điều chỉnh giảm.

Hướng điều chỉnh tăng: điều chỉnh khoảng cách bề rộng vùng gia cố theo tỷ lệ tăng dần với bước 0.1B cho đến 0.8B. Điều kiện dừng bài toán là chuyển vị tường cử giảm không đáng kể ($< 5\%$) so với bài toán gốc. Kết quả xác định được cận trên của gia cố CDM cho hố đào và ảnh hưởng của điều chỉnh tăng.

Dựa trên kết quả cận trên và cận dưới, phân tích để đưa ra kết luận phạm vi gia cố cọc tối ưu.

2.3. Mô hình ban đầu

Mô hình FEM được thiết kế dựa trên các thông số địa chất cụ thể tại khu vực nghiên cứu. Mô hình sử dụng phần mềm Plaxis để mô phỏng hố đào sâu và phân tích các phương án gia cố bằng cọc xi măng đất. Các tham số đầu vào và mô hình đất sử dụng được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2

Thông Số Mô Hình Plaxis theo Hồ Sơ Ban Đầu

	Chiều dày (m)	Mô hình đất	Phân tích Plaxis	γ_{unsat} kN/m ³	E_{50}^{ref} kN/m ²	c_{ref} kN/m ²	φ (°)
Lớp 1: Cát san lấp	1	HS	Drained	18	7,000	20	1
Lớp 1a: Bùn sét 01, màu xám xanh đen, trạng thái chảy	5	HS	Undrained	15	2,890	14	0
Lớp 1a: Bùn sét 02, màu xám xanh đen, trạng thái chảy	5	HS	Undrained	15	3,500	19.2	0
Lớp 1a: Bùn sét 03, màu xám xanh đen, trạng thái chảy	5	HS	Undrained	15	4,000	22	0
Lớp 1b: Bùn sét 04, màu xám xanh đen, trạng thái chảy	5	HS	Undrained	15	4,500	28	0
Lớp 1b: Bùn sét 05, màu xám xanh đen, trạng thái chảy	5	HS	Undrained	15	5,000	32	0
Lớp 3: Sét pha bụi, màu xám xanh-xám vàng, trạng thái dẻo cứng.	8.8	HS	Undrained	18.7	14,290	25	16
Lớp 4a: Sét pha bụi, màu xám xanh-xám xanh đen, trạng thái dẻo mềm	6.8	HS	Undrained	17.43	10,500	19.6	13
Lớp 5: Cát mịn đến trung lẫn bụi sét, màu xám vàng – xám trắng, trạng thái chặt vừa	8.4	HS	Drained	19.81	32,500	3.2	26

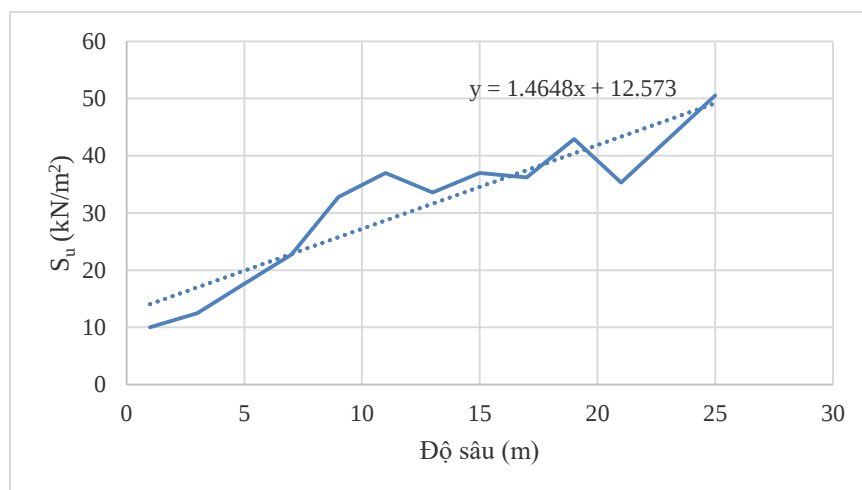
Ghi chú: Dữ liệu từ “Hồ sơ thiết kế biện pháp thi công cho dự án River Panorama Block 7 & 8 - Hoàng Quốc Việt, Phường Phú Thuận, Quận 7, TP HCM” bởi Công ty Cổ phần Đầu tư Xây dựng Ricons, 2021

Tại Bảng 2, địa chất công trình được chia thành 05 lớp đất. Mô hình đất sử dụng là Hardening Soil (HS). Ứng xử của các lớp đất bùn sét được mô phỏng sử dụng thông số sức chống cắt không thoát nước (S_u) (Bảng 3) tính theo công thức quan hệ với độ sâu trung bình trong Hình 2. Một lưu ý là biểu đồ quan hệ trong Hình 2 này được tham khảo từ địa chất có lớp bùn sét với bề dày và đặc trưng cơ lý tương tự có thực hiện thí nghiệm cắt cánh. Các thông số còn lại được lấy từ các chỉ tiêu cơ lý trong bảng tổng hợp địa chất. Tải trọng công trình lân cận được lấy 20 kN/m² cho khu vực thiết bị thi công mé cừ larsen.

Cấp phối cọc xi măng đất được thiết kế với chiều dài cọc 4m tính từ đáy hố đào với mật độ gia cố 32%, sức kháng cắt vật liệu trụ 600 kN/m². Nền cọc xi măng đất và đất dưới đáy móng được xem như một nền đồng nhất với các chỉ tiêu cơ lý được nâng cao (được tính từ ϕ , c , E của đất nền xung quanh cọc và vật liệu làm cọc). Công thức quy đổi tương đương dựa trên độ cứng của cọc xi măng đất, đất nền xung quanh và diện tích được thay thế bởi cọc.

Hình 2

Đồ Thị Sức Kháng Cắt S_u theo Độ Sâu của Lớp Bùn Sét



Ghi chú: Kết quả phân tích dữ liệu của nhóm nghiên cứu

Bảng 3

Thông Số Sức Kháng Cắt Không Thoát Nước của Đất Bùn Sét

	Lớp 1	Lớp 1a_01	Lớp 1a_02	Lớp 1a_03	Lớp 1a_04	Lớp 1a_05
Độ dày lớp đất (m)	1	5	5	5	5	5
Cao độ (m)	1	6	11	16	21	26
Trung bình (m)		3.5	8.5	13.5	18.5	23.5
S_u (kN/m ²)		17.7	25.02	32.35	39.67	47

Ghi chú: Kết quả phân tích dữ liệu của nhóm nghiên cứu

Hai phương án chính được sử dụng để phân tích trong mô hình Plaxis là UNA (Undrained A) và UNB (Undrained B), trong đó: các thông số đất nền sử dụng ở phương án UNA về cường độ và biến dạng là các thông số hữu hiệu (c' , ϕ' , E' , ψ'); các thông số đất nền sử dụng ở phương án UNB về cường độ sử dụng thông số sức kháng cắt không thoát nước S_u (Bảng 3), $\phi = 0$; về biến dạng E' , ψ' . Ngoài 2 phương án trên, phương án UNB còn được sử dụng kết hợp với $S_{u,inc}$, nghĩa là giá trị S_u tăng theo chiều sâu (INC) bằng cách tự động trong mô hình phần tử hữu hạn. Công thức được lấy theo hướng dẫn sử dụng mô hình Plaxis:

$$s_u(y) = s_{u,ref} + (y_{ref} - y)s_{u,inc} \quad (y < y_{ref}) \quad (1)$$

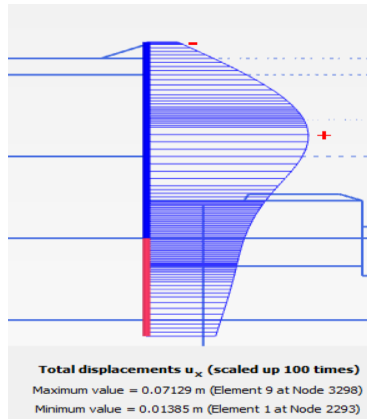
3. Kết quả

3.1. Lựa chọn mô hình gốc

3.1.1. Kết quả mô phỏng theo phương án UNA

Hình 3

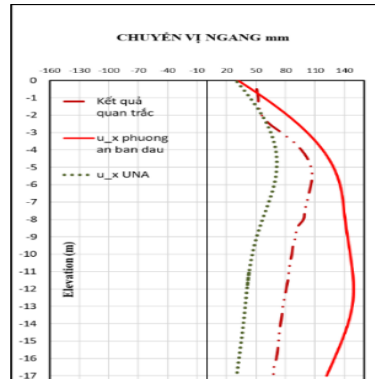
Kết Quả Chuyển Vị U_x từ Mô Hình UNA Tính Toán



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Hình 4

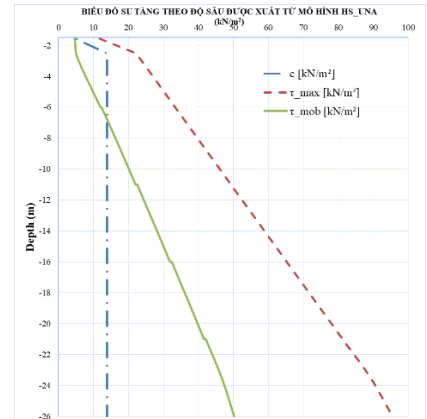
So Sánh Chuyển Vị Ngang UNA với Kết Quả Quan Trắc Được Xuất từ Mô Hình HS_UNA và Phương Án Ban Đầu



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Hình 5

Biểu Đồ S_u Tăng theo Độ Sâu Được Xuất từ Mô Hình HS_UNA



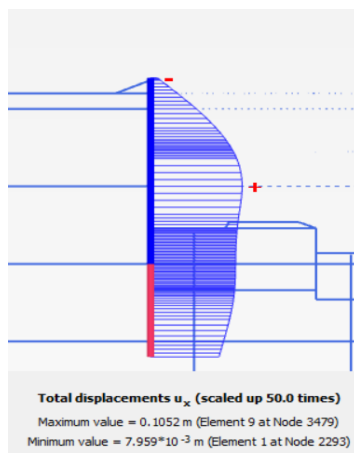
Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Kết quả chuyển vị ngang, momen tường cừ, lực dọc hệ chống đều nhỏ hơn mô hình ban đầu. Và kết quả chuyển vị ngang nhỏ hơn kết quả quan trắc thực tế 36% (Hình 4). Sự chênh lệch này là do mô hình phương án UNA dựa trên số liệu đưa ra phân tích đặc trưng của mẫu đất, không phản ánh được chính xác nền đất thực tế của lớp bùn sét. Trong Hình 5, đường thể hiện sức kháng cắt cực đại của đất đang quá lớn và cách xa sức kháng cắt của đất tại bước đào cuối. Điều này dẫn đến giá trị momen và chuyển vị nhỏ hơn mô hình ban đầu và thực tế.

3.1.2. Kết quả mô phỏng theo phương án UNB

Hình 6

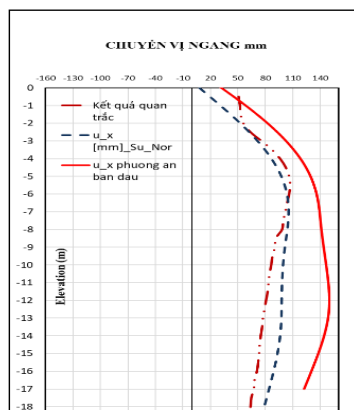
Kết Quả Chuyển Vị U_x từ Mô Hình UNB Tính Toán



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Hình 7

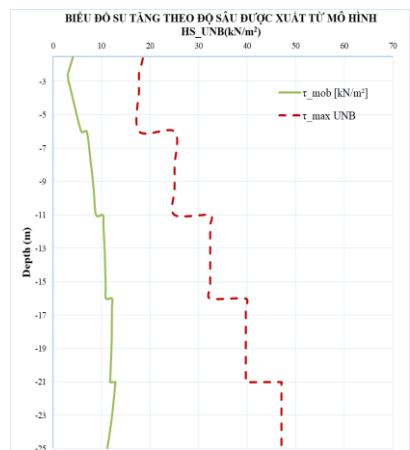
So Sánh Chuyển Vị Ngang UNB với Kết Quả Quan Trắc Được Xuất từ Mô Hình HS_UNB và Phương Án Ban Đầu



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Hình 8

Biểu Đồ S_u Tăng theo Độ Sâu Được Xuất từ Mô Hình HS_UNB



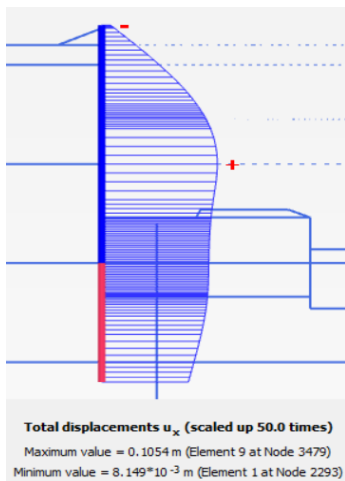
Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Kết quả momen tường cừ, lực dọc hệ chống đều nhỏ hơn mô hình ban đầu. Giá trị chuyển vị nhỏ hơn chuyển vị mô hình ban đầu tuy nhiên kết quả xấp xỉ so với kết quả quan trắc thực tế từ cao độ -2m đến -8m; từ 8m trở đi chuyển vị có lớn hơn nhưng không đáng kể, khoảng từ 10% đến 15% so với kết quả thực tế (Hình 7). Tại Hình 8, biểu đồ sức kháng cắt tăng theo độ sâu giá trị sức kháng cắt cực đại phản ánh đúng đặc trưng của đất vì các thông số lớp bùn được lấy từ thí nghiệm cắt cánh. Tuy nhiên, đồ thị có hình dạng chữ Z là vì các thông số được đưa vào mô phỏng theo từng lớp đất và có giá trị S_u cố định.

3.1.3. Kết quả mô phỏng theo phương án UNB với Su_inc

Hình 9

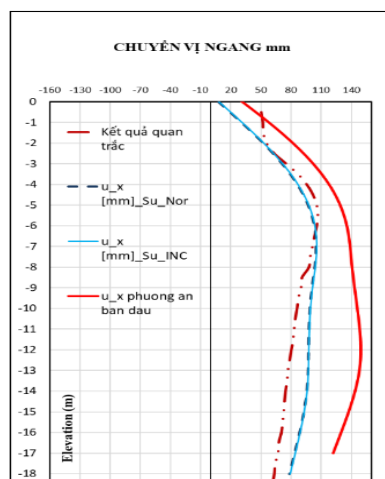
Kết Quả Chuyển Vị U_x từ Mô Hình UNB (Su_inc) Tính Toán



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Hình 10

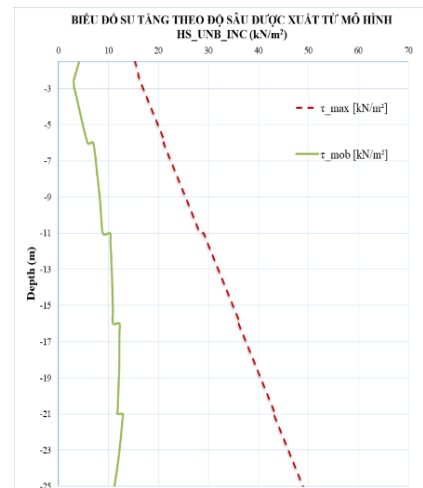
So Sánh Chuyển Vị Ngang UNB(Su_inc) với Kết Quả Quan Trắc và Phương Án Ban Đầu



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Hình 11

Biểu Đồ S_u Tăng theo Độ Sâu Được Xuất từ Mô Hình HS_UNB(Su_inc)



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Theo kết quả so sánh, không có sự chênh lệch lớn giữa các kết quả chuyển vị, momen và lực cắt giữa mô hình chạy phương án UNB và UNB (Su_inc). Tuy nhiên, sức kháng cắt cực đại của lớp đất theo UNB (Su_inc) cho ra biểu đồ tuyến tính (Hình 11) vì được tính từ độ sâu bắt đầu cộng thêm số gia. Kết quả này phản ánh được chính xác hơn về sức kháng cắt cực đại của lớp đất.

3.1.4. So sánh lựa chọn mô hình gốc

Dựa trên biểu đồ sức kháng cắt của các phương án, ta nhận thấy đối với phương án UNA mô hình dựa trên thông số để tính toán được sự gia tăng sức kháng cắt trong quá trình cố kết, tuy nhiên kết quả cho thấy sức kháng cắt không thoát nước tại phương án này đang thể hiện quá mức và không phản ánh được bản chất của lớp đất bùn. Song song đó, kết quả Su_mob có khoảng cách lớn so với Su_max , chuyển vị và momen của mô hình phương án UNA luôn nhỏ hơn so với UNB (Bảng 4).

Bảng 4

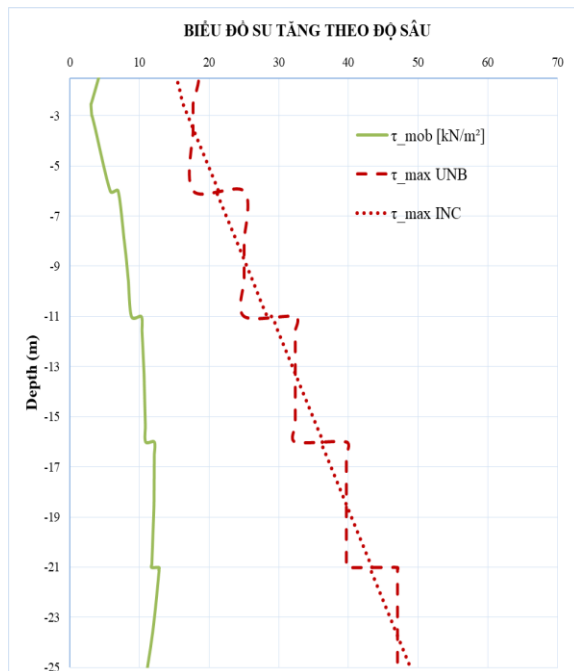
So Sánh Chuyển Vị Ngang Lớn Nhất của Các Mô Hình tại Bước Đào Cuối So với Kết Quả Quan Trắc

Mô hình	UNA	UNB	UNB (Su_inc)	Quan trắc
Kết quả chuyển vị (mm)	71.29	105.2	105.4	106.9
Chênh lệch so với kết quả quan trắc (mm)	35.61 (33%)	1.7 (1.7%)	1.5 (1%)	

Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Hình 12

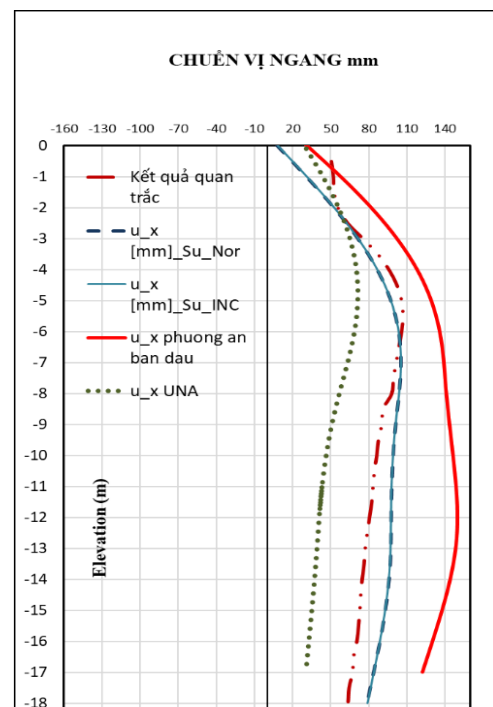
Biểu Đồ S_u Tăng theo Độ Sâu được Xuất từ Mô Hình HS_UNB và UNB (Su_inc)



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Hình 13

So Sánh Chuyển Vị Ngang các Phương Án



Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Mô hình phương án UNB và UNB (Su_inc) được mô phỏng trên thông số sức kháng cắt không thoát nước từ thí nghiệm cắt cánh nên phản ánh được đúng bản chất của lớp đất đang xét. Với phương án UNB, thông số S_u được lấy tại cao độ từng lớp đất nên biểu đồ có dạng hình chữ Z, phương án UNB (Su_inc), thông số S_u được lấy tại độ sâu bắt đầu và cùng với số gia để ra được S_u tăng theo độ sâu dẫn đến biểu đồ Su max thể hiện tuyến tính (Hình 12).

Theo kết quả so sánh chuyển vị ngang lớn nhất của các mô hình tại bước đào cuối so với kết quả quan trắc (Bảng 4), ta có thể thấy mô hình phương án UNB (Su_inc) có kết quả chuyển vị tiệm cận nhất so với kết quả quan trắc do thể hiện đúng bản chất sức kháng cắt không thoát nước của lớp bùn sét. Do vậy, mô hình phương án UNB (Su_inc) này được chọn làm mô hình gốc để tiếp tục triển khai phân tích các phạm vi gia cố ở bước tiếp theo.

3.2. Phân tích phạm vi gia cố

Theo mô hình ban đầu, phạm vi gia cố là $0.5B$ (với bề rộng công trình $B = 34.050\text{m}$) tương ứng với mật độ gia cố chiếm 32% tỉ lệ cọc CDM thay thế cho đất nền. Phạm vi gia cố sẽ được tiến hành phân tích theo hướng điều chỉnh tăng và giảm để tìm giá trị cận trên và cận dưới như trong Bảng 5 và Bảng 6.

Bảng 5

Bề Rộng và Mật Độ Gia Cố Cận Trên

	0.6B	0.7B	0.8B
Bề rộng vùng phân bố (mm)	20,430	23,835	20,430
Mật độ gia cố (%)	38	45	51

Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Bảng 6

Bề Rộng và Mật Độ Gia Cố Cận Dưới

	0.4B	0.3B	0.2B
Bề rộng vùng phân bố (mm)	13,620	10,215	6,810
Mật độ gia cố (%)	26	19	13

Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Mô hình được mô phỏng và kiểm tra đến khi đạt điều kiện dừng bài toán để xác định được cận trên và cận dưới như Bảng 7.

Bảng 7

So Sánh Kết Quả Cận Trên và Cận Dưới với Mô Hình Ban Đầu

Đoạn cừ	Mô tả	Đơn vị	Mô hình ban đầu	Mô hình gốc	0.6B	0.4B	0.3B	0.2B
	Chuyển vị ngang lớn nhất	mm		105.4	99.78	116.8	133.4	164.2
	Giá trị momen lớn nhất	kNm/m	400.5	393.6	391.4	394.6	394.8	391.8
12m	Giá trị lực cắt lớn nhất	kN/m	287.6	281.5	281.8	279.8	280.2	282
	Lực dọc lên hệ chống lớp 1	kN/m	132.4	135.57	134.47	136.8	138.05	138.32
12m	Giá trị momen lớn nhất	kNm/m	130.5	67.62	65.29	75.11	82.55	99.35
xen kê 18m	Giá trị lực cắt lớn nhất	kN/m	42.3	48.92	53.27	43.91	35.83	32.49
	FS			2.113	2.102	2.11	2.11	2.114

Ghi chú: Kết quả xử lý từ dữ liệu điều tra

Đối với cận trên, tại phạm vi $0.6B$ ta thấy chuyển vị ngang lớn nhất tại bước đào cuối chênh lệch giảm so với mô hình gốc 4.6mm (5%) (Bảng 7). Các thông số momen, lực cắt giảm không đáng kể. Theo điều kiện phân tích, dừng xác định giá trị cận trên của bài toán. Đối với cận dưới, tại phạm vi gia cố $0.2B$ các thông số momen, lực cắt và lực dọc tác dụng lên hệ văng chống vẫn nằm trong giới hạn cho phép và không chênh lệch đáng kể, tuy nhiên

kết quả chuyển vị ngang 16.42cm nằm ngay cận trên của giới hạn chuyển vị ngang cho phép (4cm đến 16.6cm). Theo điều kiện phân tích, dùng xác định giá trị cận dưới của bài toán.

Theo kết quả xác định giá trị cận trên và cận dưới được tính toán từ mô hình gốc theo bài toán phân tích ngược từ kết quả quan trắc thực tế cho ta phạm vi gia cố cọc CDM tối ưu khả thi trong khoảng từ 0.3B đến 0.4B mà vẫn đảm bảo được tính ổn định của hố đào. Qua kết quả của những phương pháp mô phỏng nhận thấy việc phân tích ngược mô hình từ kết quả quan trắc thực tế đem đến sự chính xác cao cho mô hình và là cơ sở để đưa ra kết quả tính toán tối ưu hóa chi phí cũng như tiến độ thi công.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã phân tích ảnh hưởng của cọc xi măng đất đến hiệu quả gia cố hố đào sâu tại khu vực Thành phố Hồ Chí Minh thông qua mô hình phần tử hữu hạn. Kết quả cho thấy phạm vi và mật độ gia cố tối ưu của cọc xi măng đất đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát chuyển vị ngang của tường chắn và duy trì sự ổn định của hố đào. Cụ thể, phạm vi gia cố tối ưu được xác định trong khoảng 0.3B đến 0.4B (với B là chiều rộng hố đào), đảm bảo các thông số chuyển vị và nội lực đều nằm trong giới hạn an toàn.

Việc áp dụng phương pháp FEM dựa trên các dữ liệu thực nghiệm và mô phỏng thực tế đã chứng minh rằng phương pháp gia cố bằng cọc xi măng đất không chỉ giúp cải thiện tính ổn định của hố đào sâu trong nền đất yếu mà còn tối ưu hóa về mặt chi phí và tiến độ thi công. Phân tích mô hình cũng cho thấy sự tương quan chặt chẽ giữa mật độ gia cố và hiệu quả giảm chuyển vị ngang, đặc biệt khi áp dụng phương án gia cố từ 0.3 đến 0.4 lần chiều rộng hố đào.

Từ các kết quả thu được, nghiên cứu này cung cấp một cơ sở khoa học và thực tiễn cho các kỹ sư và nhà thầu trong việc thiết kế và thi công các công trình tương tự. Việc xác định phạm vi gia cố tối ưu không chỉ đảm bảo tính an toàn mà còn giúp giảm thiểu lượng vật liệu cần sử dụng, từ đó tiết kiệm chi phí thi công. Trong tương lai, cần tiếp tục các nghiên cứu ứng dụng trên nhiều điều kiện địa chất khác nhau để xác nhận và mở rộng tính khả thi của phương pháp này.

TUYÊN BỐ KHÔNG CÓ XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Các tác giả cam kết, tuyên bố không có bất kỳ xung đột lợi ích nào liên quan đến việc công bố bài báo này.

Tài liệu tham khảo

- Bentley. (n.d.). *Manual of Plaxis 2D version 2024*. https://bentleysystems.service-now.com/community?id=kb_article_view&sysparm_article=KB0107989
- Công ty Cổ phần Đầu tư Xây dựng Ricons. (2021). *Hồ sơ thiết kế biện pháp thi công cho dự án River Panorama Block 7 & 8 - Hoàng Quốc Việt, Phường Phú Thuận, Quận 7, Thành phố Hồ Chí Minh* [Design of construction methods for the River Panorama Block 7&8 project - Hoang Quoc Viet Street, Phu Thuan Ward, District 7, Ho Chi Minh City]. Internal Company Document.
- Ignat, R., Baker, S., Larsson, S., & Liedberg, S. (2015). Two- and three-dimensional analyses of excavation support with rows of dry deep mixing columns. *Computers and Geotechnics*, 66, 16-30.

- Le, L. D., Le, V. B., & Nguyen, N. N. (2021). Phân tích ổn định tường vây trong hố đào sâu được gia cường bằng cọc xi măng đất [Analysis stability of deep excavation reinforced by cement piled]. *Địa Kỹ Thuật*, 3(6), 78-93.
- Le, T. T., & Dao, C. T. K. (2020). Application of CDM walls in the construction of basements in Ho Chi Minh City area. In *Geotechnics for sustainable infrastructure development* (pp. 431-437). Springer Nature.
- Mai, T. L., & Le, H. V. (2012). *Kết hợp cọc cừ với cọc xi măng đất để bảo vệ mái hố móng sâu và có mực nước ngầm cao* [Combination of sheet piles and soil-cement column for protecting the slopes of deep excavations with high groundwater levels]. *Khoa Học Kỹ Thuật Thủy Lợi và Môi Trường*, 38, 91-96.
- Nguyen, T. M., & Hoang, L. B. (2013). Nghiên cứu sử dụng giải pháp Jet grouting giảm chuyển vị ngang hố đào [Study on the Application of Jet Grouting to Imperatively Minimize Horizontal Displacement in Excavations.]. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng*, 3(4/2013), 57-63.
- Nguyen, T. T., Nguyen, A. P. B., Bui, T. Q., & Hoang, T. T. (2021). Soft soil improvement in deep excavation by Cement Deep Mixing (CDM) method combined with sheet pile: An application case in Ho Chi Minh City. In *The 2nd international conference on Science, Technology and Society studies STS 2021* (pp. 395-403). Science and Technics Publishing House.
- Ou, C. Y., Teng, F. C., & Wang, I. W. (2008). Analysis and design of partial ground improvement in deep excavations. *Computers and Geotechnics*, 35(4), 576-584.
- Pham, M. V., Vu, T. B., & Nguyen, D. Q. (2016). Phân tích ảnh hưởng của trụ đất xi măng đến ổn định vách hố đào tường liên tục [Analysis of the effects of soil cement columns on stability of diaphragm wall trench]. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh*, 11(1), 74-83.
- Rutherford, C., Biscontin, G., & Briaud, J. L. (2005). *Design manual for excavation support using deep mixing technology*. Texas A&M University.
- Severino, A., Wahrhaftig, A. de M., Tiutkin, O., Gubashova, V., & Neduzha, L. (2022). Effective Jet-grouting application for improving the state of deformation of landmarks. *Buildings*, 12(3), Article 368.
- Tran, H. N. H., Le, T. T., & Ly, T. H. (2013). Soilcrete characteristics created by a single Jet grouting system in Ho Chi Minh City. In *Geotechnics for sustainable development* (pp. 335-343). Construction Publishing House.
- Vo, H. T. (2016). *Nghiên cứu ứng xử tường vây tầng hầm gia cường bằng cọc xi măng đất* [Investigation of the Behavior of Basement Retaining Walls Reinforced with Soil-Cement Column] [Luận văn thạc sĩ]. Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật Thành Phố Hồ Chí Minh.

