

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG GIẢI PHÁP JET GROUTING GIẢM CHUYỂN VỊ NGANG HỒ ĐÀO

TS. Nguyễn Minh Tâm, ThS. Hoàng Bá Linh

Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Chuyển vị ngang vượt giới hạn cho phép và lún mặt đất thường do thi công hố đào sâu là những nguyên nhân chính gây thiệt hại cho những công trình kế cận. Vì vậy, bắt buộc phải giảm thiểu tối đa chuyển vị ngang của tường vây. Dựa trên những nghiên cứu tổng quan trên thế giới, bài viết mô tả ứng dụng giải pháp phun vữa cao áp (jet grouting) giảm chuyển vị ngang quanh hố đào trong điều kiện địa chất Việt Nam. Đất trong khu vực đáy hố đào được thay thế một phần bằng những cọc jet grouting (JGPs) nhằm tăng sức kháng bị động. Phương pháp phân tích số được lựa chọn sử dụng đánh giá tính hiệu quả của jet grouting.

Abstract: Horizontal displacements exceeding the permitted limits and ground subsidence usually caused by deep excavations construction are the main cause of damage to the adjacent buildings. Therefore, it is imperative to minimize the horizontal displacement of the diaphragm wall. Based on the studies abroad, this paper describes the application of jet grouting in order to reduce the horizontal displacement around excavations in Vietnam geological conditions. The soil in the bottom of the excavation area are replaced in part by the jet grouting piles (JGPs) to increase passive resistance. Numerical methods of analysis are used for evaluating the effectiveness of jet grouting.

1. Tổng quan

Ngày nay cùng với sự phát triển về kinh tế, nhu cầu sử dụng phần không gian dưới mặt đất để xây dựng công trình ngày càng phổ biến và bức thiết, nhất là trong các thành phố lớn như thành phố Hồ Chí Minh. Các công trình xây dựng này có phần kết cấu ngầm sâu trong đất, điều này đã trở thành xu thế chính trong quá trình hiện đại hóa các thành phố lớn. Hố đào sâu ở trong thành phố thường được tiến hành với mật độ dày đặc trong khu vực đô thị. Vì vậy, làm giảm sự dịch chuyển tường vây liên quan đến hố đào khi sử dụng những biện pháp phụ trợ là những sự lựa chọn khả thi. Hai giải pháp thường được sử dụng là biện pháp tăng cường giằng hệ chống và/ hoặc tăng sức kháng bị động bằng cách xử lý mặt đất dưới đáy hố đào.

Sử dụng giải pháp chống đỡ hố đào để đảm bảo sự an toàn cho công trình lân cận trong lớp đất yếu thì có thể phải dùng chiều dày tường vây lớn điều đó gây nên sự tốn kém về chi phí xây dựng, hoặc nếu dùng biện pháp bằng thanh chống mà vẫn không đảm bảo chuyển vị công trình được thỏa mãn trong điều kiện cho phép. Vì vậy, biện pháp sử dụng kết hợp phun vữa áp lực cao jet grouting dưới đáy hố đào có thể giải quyết được những khó khăn trong quá trình thi công do chuyển vị gây ra.

Mục đích của phương pháp phun vữa áp lực cao là để tăng sức kháng bị động dưới đáy hố đào, giúp giảm chuyển vị ngang tường trong quá trình đào.

Cọc xi măng đất sử dụng công nghệ jet grouting cải tạo đất sử dụng trong các hố đào áp dụng ở nhiều nước trên thế giới. Tuy nhiên, phương pháp phân tích và ý tưởng thiết kế vẫn còn đánh giá cao kinh nghiệm và thiếu một phương pháp thiết kế rõ ràng vào thời điểm này. Vì vậy, phân tích những vấn đề này thường đòi hỏi một khối lượng tính toán lớn. Sử dụng phần tử hữu hạn (PTHH) phân tích và tìm ra phương pháp mô phỏng hợp lý cho các trường hợp tỷ lệ xử lý mặt đất khác nhau.

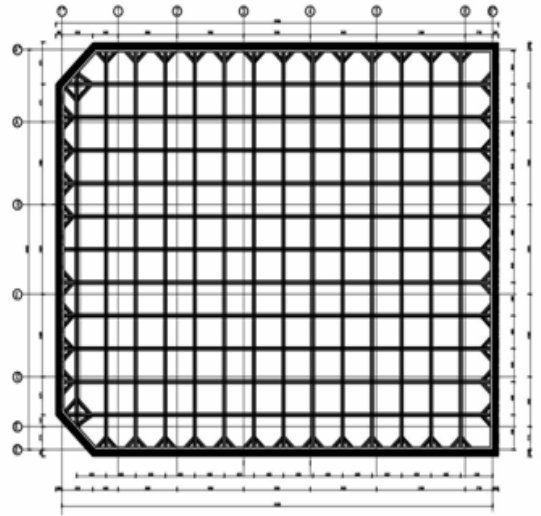
2. Thiết lập mô hình phân tích

2.1. Mô tả công trình

Công trình dùng để phân tích trong nghiên cứu là Trung Tâm Thương Mại Tài Chính Dầu Khí Phú Mỹ Hưng Petroland. Công trình gồm có 33 tầng, trong đó 3 tầng hầm và 30 tầng cao, nằm trong khu vực địa chất có mực nước ngầm cao (-0.5m). Khái quát về tầng hầm nghiên cứu: Kích thước trung bình hố đào: 50m x 60m, chiều sâu đào lớn nhất (3 tầng hầm) -14.0m, biện pháp thi công Semi Top – Down, mặt bằng bố trí hệ giằng chống như trong (Hình 1), trình tự thi công đào đất và chống đỡ hố đào được tổng hợp trong (Bảng 1).

Biện pháp chống đỡ hố đào: tường vây dày 0.8m, kết hợp với thanh chống ngang, sàn tầng hầm. Tường vây được cắm vào độ sâu -24.0m so với mặt đất tự nhiên.

Tính chất cơ lý chủ yếu của địa chất công trình trong khu vực xây dựng công trình được tổng hợp trong (Bảng 2).



Hình 1. Mặt bằng chống đỡ hố đào

Bảng 1. Các giai đoạn tính toán

Phase	Công tác
01	Thi công tường vây (Diaphragm wall)
02	Đào đất đến cao độ -2.5m
03	Thi công tầng chống thép H400x400x13x21 ở cao độ -2.0m
04	Đào đất đến cao độ -4.50m
05	Thi công sàn tầng hầm B1 dày 0.3m ở cao độ -3.60m
06	Đào đất đến cao độ -8.00m
07	Thi công sàn tầng hầm B2 dày 0.3m ở cao độ -7.20m
08	Đào đất đến cao độ -11.00m
09	Thi công tầng chống thép 2H400x400x13x21 ở cao độ -9.50m
10	Đào đất đến cao độ -14.0m

Bảng 2. Tính chất cơ lý chủ yếu của đất nền xây dựng công trình

STT	Lớp đất	Dày (m)	Trạng thái	W (%)	γ_w g/cm ³	γ_d g/cm ³	k (cm/s)	Cắt trực tiếp		Ngoài hiện trường	
								c kN/m ²	φ Độ	S _u daN/cm ²	N _{SPT}
1	Lớp 1	1.5	San lấp	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Lớp 2	12.5	Bùn sét	112.5	1.45	0.71	6.4E-5	7.9	1°56'	0.29	-
3	Lớp 3	6.5	Sét dẻo mềm	23.4	2.01	1.63	1.8E-5	16.8	16°35'	-	21
4	Lớp 4	27	Cát chặt vừa	13.39	2.62	1.94	-	7.5	29°48'	-	38
5	Lớp 5	5.5	Sét cứng	19.11	2.06	1.73	-	64.7	23°27'	-	44
6	Lớp 6	27	Cát chặt	15.4	2.63	1.81	-	11.8	31°36'	-	48

2.2. Thông số đất nền

Theo chương trình Plaxis, thông số E^{ref} (mô hình M-C) cũng như E_{50}^{ref} (mô hình HS) sẽ được lấy trong thí nghiệm nén 3 trục thoát nước CD. Tuy nhiên trong thực tế có rất nhiều công trình lại không có tiến hành thí nghiệm này vì nhiều lý do khác nhau. Vì vậy, đối với đất nền loại cát, chỉ số N_{SPT} ảnh hưởng rất lớn đến khả năng biến dạng của nền đất nên mô đun biến dạng E của đất có thể được lấy tương quan theo chỉ số N_{SPT} . Đối với loại đất sét có thể lấy từ thí nghiệm nén 3 trục UU, CU hoặc từ thí nghiệm cắt cánh hiện trường như sau:

- Đất cát bồi tích (cát, cát pha bụi, trạng thái rời đến chặt) thì $E_{50}^{ref} = 2000N_{SPT}$ đối với tường Barrette thi công semi top-down theo kết quả nghiên cứu của Liew S.S. & Gan S.J. (2007).
- Đất sét mềm đến nửa cứng: $E_u = 500S_u$, đất sét cứng: $E_u = 2000S_u$ (Pornpot Tanseng (1997)).

2.3. Thông số Jet Grouting

Tùy thuộc vào lượng dùng xi măng và loại đất và thời gian ninh kết mà đất nền sau khi được xử lý bằng công nghệ jet grouting sẽ có sự phát triển về cường độ khác nhau.

Theo Trần Nguyễn Hoàng Hùng (2013) nghiên cứu cọc jet grouting trong điều kiện địa chất TP.HCM, thì để cho trong quá trình khoan phụt không xảy ra hiện tượng tắt nghẽn vòi phun thì tỷ lệ nước và xi măng hợp lý là 0.7 (w/c = 0.7). Địa chất khu vực TP.HCM, sản phẩm soilcrete có đặc điểm như (Bảng 3).

Hiệp Hội Jet-grouting của Nhật Bản đưa ra thông số lực dính tiêu chuẩn dùng trong thiết kế cọc Jet-grouting là $c = q_u / 2$ và $\varphi_u = 0$.

Hệ số Poisson: mặc dù có sự phân tán tương đối lớn trong các dữ liệu thí nghiệm, hệ số Poisson của đất được cải tạo từ 0.25÷0.45. (CDIT. 2000).

Bảng 3. Thông số JGPs ở địa chất TP.HCM

Địa chất	Đường kính cọc (m)	q_u (MPa)
Cát	0.8 – 1.0	4.3 – 14.7
Sét	0.4 – 1.2	1.7 – 16.0
Bùn sét	1.1 – 1.7	0.2 – 2.2

Trên thế giới công nghệ jet grouting phát triển mạnh mẽ, đã có nhiều tác giả nghiên cứu và đưa ra mối quan hệ giữa mô đun E_u và cường độ nén q_u . Dựa trên những nghiên cứu trước đó. Chang-Yu Ou, Tzong-Shiann Wu, and Hsii-Sheng Hsieh (1996) đã tổng hợp các giá trị E_{50}/q_u cho những loại đất được xử lý khác nhau trong (Bảng 4). Để đơn giản cho tính toán, có thể giả định giá trị E_{50}/q_u .

2.4. Thông số đất được xử lý

Áp lực đất tác dụng lên bề mặt đất hỗn hợp bao gồm các khu vực đất được cải tạo và khu vực đất không được cải tạo ở dưới đáy hố đào, công thức (1) dùng để quy đổi tính chất vật liệu tổng thể của hỗn hợp mặt đất theo Chang-Yu Ou, Tzong-Shiann Wu, and Hsii-Sheng Hsieh (1996) như sau:

$$P_{eq} = P_g I_r^m + P_c (1 - I_r^m) \quad (1)$$

Trong đó:

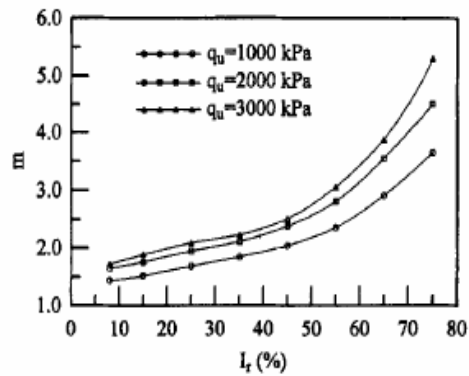
P_g : thông số của đất được cải thiện.

P_c : thông số đất không được cải thiện

m : tham số tương đương được xác định thông qua mối quan hệ với q_u và I_r như trong Hình 2

I_r : tỷ lệ cải tạo của đất xác định theo công thức: $I_r = \frac{A_p}{d_1 d_2}$ với $A_p = \frac{\pi D^2}{4}$; D : là đường kính của cọc

JGPs; d_1, d_2 : là khoảng cách giữa hai tim cọc theo hai phương.



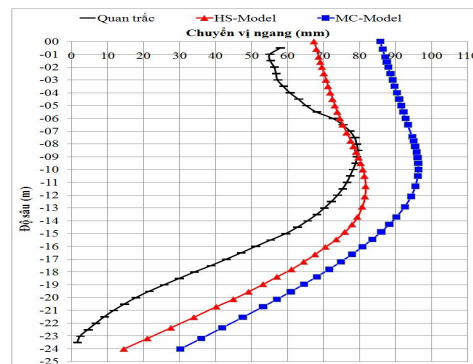
Hình 2. Mối quan hệ giữa $q_u - I_r - m$

Bảng 4. Một số mối quan hệ giữa giá trị E_u và q_u

Tác giả	Loại đất	E_u/q_u
Woo(1993)	Bùn sét Đài Loan	200
Chen (1985)	Bùn sét Đài Loan	105 –
Lin(1992)	Bùn sét Đài Loan	160 –
Fang at all.(1992)	Bùn sét Đài	200 –
JSG Association		100 –

2.5. Kiểm chứng các thông số mô hình

Hai mô hình được lựa chọn để đánh giá sự đúng đắn của các thông số đầu vào là mô hình Mohr-Coulomb (MC-Model) và mô hình Hardening Soil (HS-Model), kết quả chuyển vị tường vây sử dụng hai mô hình so với kết quả đo đạc thực tế khi đào đến đáy hố đào (-14m) thể hiện trong (Hình 3).



Hình 3. Biểu đồ so sánh chuyển vị ngang của tường vây khi đào tới -14,0 m

So sánh qua các bước đào thì kết quả quan trắc thực tế chuyển vị tường vây của công trình với chuyển vị tường vây bằng phương pháp mô phỏng PTHH cho kết quả gần giống nhau, trong đó kết quả mô phỏng bằng mô hình Hardening soil cho kết quả gần sát với thực tế hơn là sử dụng mô hình Mohr-Coulomb. Do đó, mô hình Hardening soil sẽ được sử dụng để phân tích trong bài toán phân tích ứng dụng Jet grouting trong hố đào giảm chuyển vị ngang của tường vây.

Nhìn vào đồ thị chuyển vị của tường vây, thấy rằng kết quả chuyển vị lớn nhất của tường vây ở vị trí đáy hố đào, điều này khá phù hợp với những lý thuyết tính toán. Do đó, để giải quyết vấn đề chuyển vị của tường vây ta tập trung giải quyết chuyển vị của tường ở vị trí này, phương pháp được đưa ra là cải tạo và xử lý đất nền ở vùng đáy hố đào bằng cách bơm vào những cọc xi măng đất sử dụng công nghệ jet grouting (JGPs).

3. Đánh giá kiểm chứng các phương pháp mô phỏng ứng dụng Jet Grouting

Bài toán được đưa ra làm giảm chuyển vị ngang của tường vây là xử lý đất nền trong khu vực hố đào, nhằm tăng sức kháng bị động trong hố đào bằng cách bơm vào khu vực hố đào những cọc xi măng đất sử dụng công nghệ bơm phụt cao áp jet grouting hay còn gọi là những cọc JGPs. Cọc JGPs mô phỏng được giả

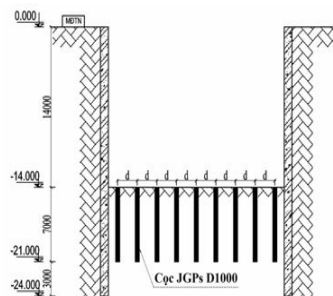
định có đường kính $D = 1\text{m}$, cường độ nén 1 trục nở hông tự do (unconfined compression test) là $q_u = 1\text{ (MPa)} = 1000\text{ (kN/m}^2\text{)}$. Và khi đó, sức kháng cắt của cọc JGPs là: $c = q_u/2 = 500\text{ (kN/m}^2\text{)}$, giá trị môđun biến dạng của lớp JGPs được chọn theo Dazhiwen (2005) là $E = 200q_u = 200000\text{ (kN/m}^2\text{)}$. Ngoài ra theo Almer, E. C., (2001), Bzowka (2004) thì đặc tính của JGPs dùng để phân tích bằng PTHH lấy giá trị dung trọng: $\gamma_{\text{unsat}} = 20\text{ kN/m}^3$; $\gamma_{\text{sat}} = 22\text{ kN/m}^3$.

Cọc được cắm vào đáy hố đào với chiều dài giả định là 7.0m tính từ mặt đáy hố đào, thực tế cọc JGPs được thi công sau khi công tác thi công tường vây hoàn thành, đợi cho đến khi các cọc JGPs được hoàn thành đạt ổn định thì tiến hành đào đất lần 1.

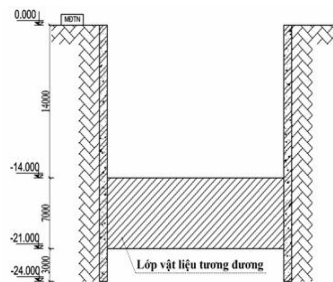
3.1. Các phương pháp mô phỏng

Phương pháp phân tích số được lựa chọn sử dụng đánh giá tính hiệu quả của jet grouting có 3 phương pháp mô phỏng như sau:

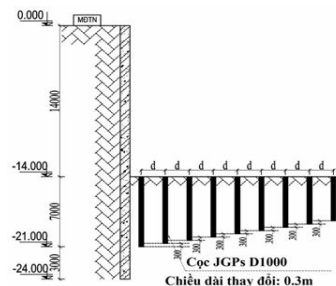
- Phương pháp RAS (The real allocation simulation) mô phỏng vật liệu riêng biệt theo tính chất thật của đất nền và JGPs như hình (Hình 4).
- Phương pháp EMS (Equivalent material simulation) mô phỏng qui đổi vật liệu tương đương, xem cọc JGPs và đất nền làm việc như một khối duy nhất thể hiện (Hình 5).
- Ngoài ra để xét đến tính hiệu quả gia cố của các cọc JGPs nhằm huy động hết khả năng làm việc của từng cọc, phải xét thêm cách thức bố trí chiều dài các cọc khác nhau. Chiều dài các cọc chênh nhau 0.3m theo chiều hướng giảm dần từ phía ngoài tường vây vào trong tâm hố đào như ở (Hình 6).



Hình 4. Mô phỏng JGPs gia cường hố đào theo PP RAS



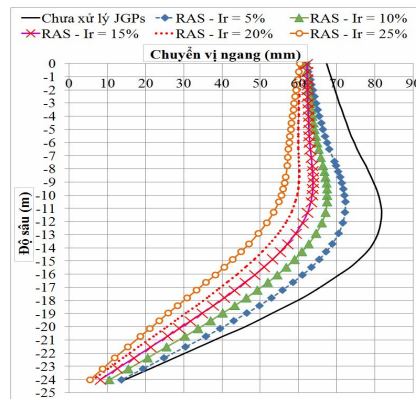
Hình 5. Mô phỏng JGPs gia cường hố đào theo PP EMS



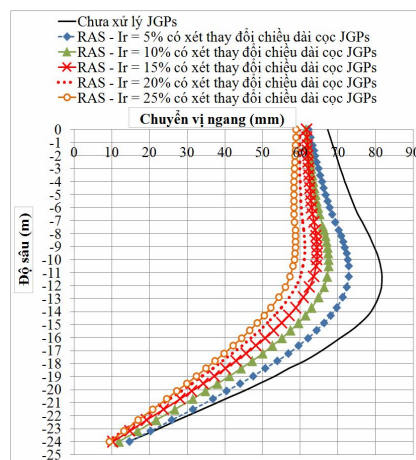
Hình 6. Bố trí mô phỏng hố đào xét đến sự thay đổi chiều dài cọc JGPs

3.2. Phân tích ảnh hưởng của tỷ lệ xử lý mặt đất I, đến chuyển vị tường vây

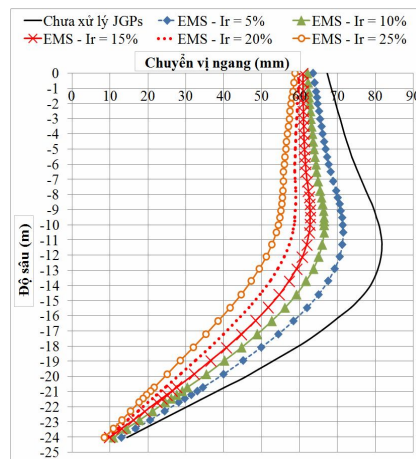
Khảo sát với các tỷ lệ xử lý mặt đất của đáy hồ đào $I_r = 5\%, 10\%, 15\%, 20\%, 25\%$, ảnh hưởng đến kết quả chuyển vị tường vây theo từng phương pháp mô phỏng khi đào đất đến cao độ đáy hồ đào (-14.0m). Kết quả này được trình bày trên Hình 7 – 9.



Hình 7. Kết quả chuyển vị tường vây mô phỏng theo PP RAS



Hình 8. Kết quả chuyển vị tường vây mô phỏng theo PP RAS có xét sự thay đổi chiều dài cọc JGPs



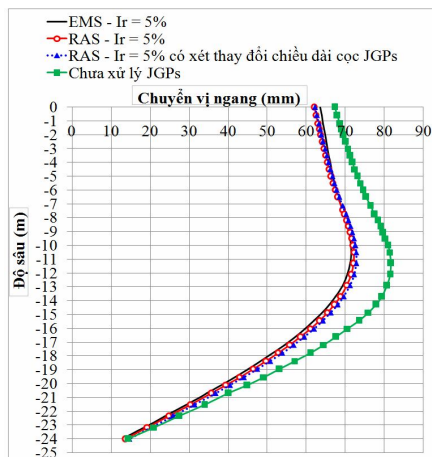
Hình 9. Kết quả chuyển vị tường vây mô phỏng theo PP EMS

Kết quả của những phương pháp mô phỏng, giải pháp khoan phụt vữa cao áp (Jet Grouting) là một phương pháp hiệu quả trong việc ngăn chặn chuyển vị ngang của hố đào, nhất là trong những trường hợp chuyển vị từ đáy hố đào trở xuống lớn.

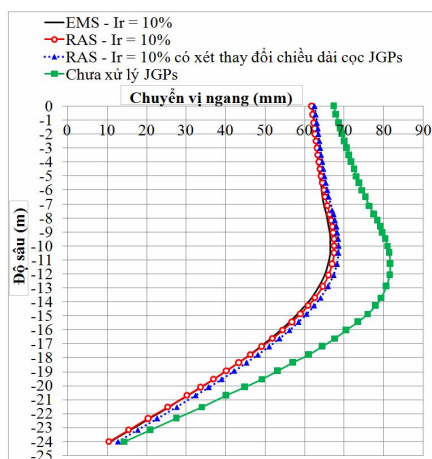
Khảo sát với 5 trường hợp đất nền dưới đáy hố đào được xử lý bằng các cọc JGPs theo các tỷ lệ cải thiện mặt đất khác nhau là: $I_r = 5\%, 10\%, 15\%, 20\%, 25\%$, chuyển vị tường vây giảm rõ rệt ở vị trí gần đáy hố đào, trong trường hợp này $I_r = 15\%$ là giá trị cải tạo hợp lý nhất, vì trị chuyển vị tường vây với $I_r = 5\%, 10\%$ mặc dù giảm nhiều nhưng chuyển vị ở đáy hố đào vẫn lớn nhất, trong khi giá trị $I_r = 20\%, 25\%$ chuyển vị đỉnh tường vây lớn hơn đáy hố đào, như vậy sẽ dẫn tới lãng phí.

Vị trí chuyển vị của tường lớn nhất trong quá trình thi công khi chưa có gia cố nền hố đào bằng cọc JGPs tại cao độ -12m là 82mm, trong khi chuyển vị cũng tại cao độ -12m khi có gia cố bằng cọc JGPs theo các tỷ lệ $I_r = 5\%$, 10% , 15% , 20% , 25% lần lượt là: 72mm, 66mm, 61mm, 56mm, 51mm. Như vậy, chuyển vị tương ứng tại vị trí gần đáy hố đào giảm xuống lần lượt là: 14% , 24% , 34% , 46% , 60% .

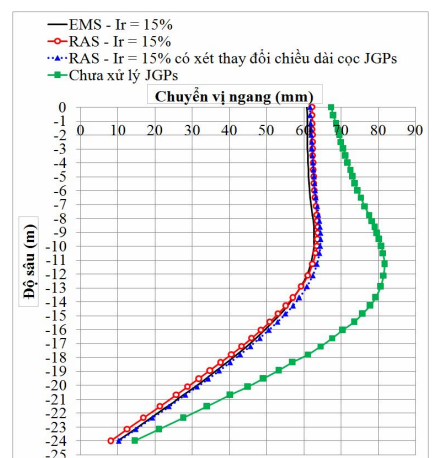
Dựa trên kết quả tổng thể chuyển vị tường vây ứng với từng phương pháp mô phỏng, rút ra kết quả so sánh cho từng trường hợp I_r cụ thể từ (Hình 10) tới (Hình 14) như sau:



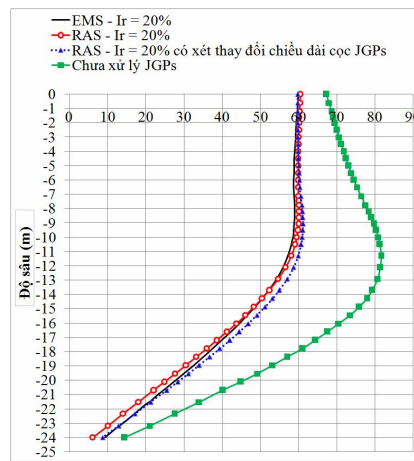
Hình 10. Kết quả chuyển vị tường vây với tỷ lệ cải tạo mặt đất 5% ($I_r = 5\%$)



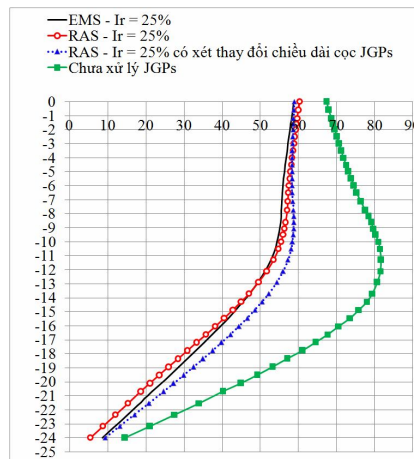
Hình 11. Kết quả chuyển vị tường vây với tỷ lệ cải tạo mặt đất 10% ($I_r = 10\%$)



Hình 12. Kết quả chuyển vị tường vây với tỷ lệ cải tạo mặt đất 15% ($I_r = 15\%$)



Hình 13. Kết quả chuyển vị tường vây với tỷ lệ cải tạo mặt đất 20% ($I_r=20\%$)

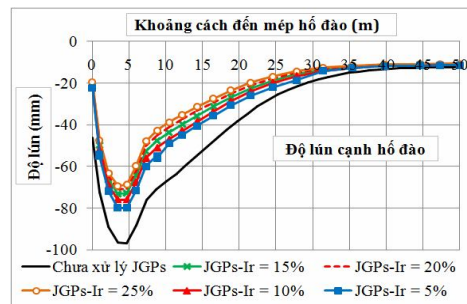


Hình 14. Kết quả chuyển vị tường vây với tỷ lệ cải tạo mặt đất 25% ($I_r=25\%$)

Qua việc mô phỏng bằng hai phương pháp là phương pháp vật liệu riêng biệt (RAS) và phương pháp vật liệu quy đổi tương đương (EMS) xem cọc JGPs và đất nền làm việc như một khối đồng nhất, cho kết quả là gần tương đương nhau sai lệch nhỏ hơn 5%. Điều này chứng tỏ rằng quan niệm cọc và đất làm việc như một khối đồng nhất là hợp lý.

Bố trí cọc JGPs có xét đến thay đổi chiều dài cọc theo chiều hướng giảm chiều dài từ phía ngoài tường vào trong tâm hố đào cho kết quả sai lệch nhỏ so với khi không có xét thay đổi chiều dài cọc. Chứng tỏ rằng, những cọc ở phía gần tường được huy động cường độ lớn hơn so với những cọc gần tâm hố đào. Trong khi mô phỏng lớp tương đương thì cường độ huy động của tất cả những cọc được xem là như nhau, dẫn tới có sự sai số giữa phương pháp RAS và phương pháp EMS.

Lún mặt đất xung quanh hố đào cũng được cải thiện rõ rệt (Hình 15), điều này hết sức cần thiết cho sự an toàn của những công trình kế cận.



Hình 15. Lún mặt đất xung quanh hố đào

4. Kết luận

Tổng quát chung về nội dung nghiên cứu, đánh giá việc ứng dụng phun các cọc jet grouting (JGPs) để xử lý đất dưới đáy hố đào nhằm làm giảm chuyển vị ngang tường vây, qua những phân tích nghiên cứu đã cho những kết luận sau:

- Phân tích mô hình bằng PTHH so với kết quả đo đạc thực thì cho kết quả gần giống nhau, trong đó kết quả mô phỏng bằng mô hình Hardening soil cho kết quả gần sát với thực tế hơn là sử dụng mô hình Mohr-Coulomb. Nhìn vào đồ thị chuyển vị của tường vây, thấy rằng kết quả chuyển vị lớn nhất của tường vây ở vị trí đáy hố đào, điều này khá phù hợp với những lý thuyết tính toán.
- Khảo sát với 5 trường hợp đất nền dưới đáy hố đào được xử lý bằng các cọc JGPs theo các tỷ lệ cải thiện mặt đất khác nhau là: $I_r = 5\%$, 10% , 15% , 20% , 25% , chuyển vị tường vây giảm rõ rệt ở vị trí gần đáy hố đào và ảnh hưởng lún đến công trình lân cận cũng giảm, trong trường hợp này $I_r = 15\%$ là giá trị cải tạo hợp lý nhất.
- Vị trí chuyển vị của tường lớn nhất trong quá trình thi công khi chưa có gia cố nền hố đào bằng cọc JGPs tại cao độ -12m là 82mm, trong khi chuyển vị cũng tại cao độ -12m khi có gia cố bằng cọc JGPs theo các tỷ lệ $I_r = 5\%$, 10% , 15% , 20% , 25% lần lượt là: 66mm, 61mm, 57mm, 52mm. Như vậy, chuyển vị tương ứng tại vị trí gần đáy hố đào giảm xuống lần lượt là: 14%, 24%, 34%, 46%, 60%.
- Mô phỏng bằng hai phương pháp là phương pháp vật liệu riêng biệt (RAS) và phương pháp vật liệu quy đổi tương đương (EMS) xem cọc JGPs và đất nền làm việc như một khối đồng nhất, cho kết quả là gần tương đương. Điều này chứng tỏ rằng quan niệm cọc và đất làm việc như một khối đồng nhất là hợp lý. Nhờ vậy, giúp cho quá trình mô phỏng được dễ dàng và nhanh chóng, giảm bớt khối lượng công việc tính toán.
- Cách thức bố trí cọc JGPs cũng có ảnh hưởng đến kết quả chuyển vị tường vây. Những cọc ở phía gần tường được huy động cường độ lớn hơn so với những cọc gần tâm hố đào, Trong khi mô phỏng lớp tương đương thì cường độ huy động của tất cả những cọc được xem là như nhau, dẫn tới có sự sai số giữa phương pháp RAS và phương pháp EMS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Almer, E. C., (2001). Grouting for Pile Foundation Improvement. PhD Thesis, Delft University of technology, 217pp.
2. Bzowka (2004). Computational model for Jet Grouting pile-soil interaction, Studia Geotechnica et Mechanica, Polan XXVI, pp.3-4.
3. CDIT (2000). The deep mixing method: Principle design and construction. Coastal Development Institute of Technology (CDIT), Japan.
4. Chang-Yu Ou, Tzong-Shiann Wu, and Hsui-Sheng Hsieh (1996). "Analysis of Deep Excavation with Column Type of Ground Improvement in Soft Clay." J. Geotech. Engrg., 122(9), 709–716.
5. Dazhiwen (2005). "Use of Jet-grouting in Deep Excavations," Elsevier Geo - Engineering Book Series Volume 3, Ground Improvement - Case Histories, pp. 363.
6. Liew S.S. & Gan S.J (2007). "Back Analyses and Performance of Semi Top-Down Basement Excavation of 11m Deep in Sandy Alluvial Deposits overlying Kenny Hill Formation in Malaysia."
7. Pornpot Tanseng (1997). "Instrumented deep excavations in Bangkok subsoils." M.A thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.
8. Trần Nguyễn Hoàng Hùng (2013). "Ứng dụng công nghệ phụt vữa cao áp xử lý & gia cố nền." Hội thảo khoa học, TP.HCM, Việt Nam.