

ỨNG DỤNG GIẢI PHÁP KHOAN TRỘN VỮA ÁP LỰC CAO ĐỂ NGĂN DÒNG THẨM DƯỚI CHÂN TƯỜNG VÂY KHI THI CÔNG HỒ ĐÀO TRONG ĐẤT CÁT

THE APPLICATION OF JET-GROUTING MIXING TO PREVENT SEEPAGE FLOWING INTO THE DEEP EXCAVATION PIT IN SAND

^{1*}Nguyễn Anh Tuấn, ²Lê Trọng Nghĩa

¹Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

²Trường Đại học Bách khoa – Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

^{1*}tuanna@ut.edu.vn

Tóm tắt: Giải pháp thi công xử lý nước ngầm trong quá trình thi công hồ đào sâu thuộc khu vực nền đất có tầng cát dày và mực nước ngầm cao để không làm ảnh hưởng đến công trình xung quanh luôn là vấn đề khó khăn. Và trong nghiên cứu này tập trung vào việc phân tích và đánh giá giải pháp áp dụng công nghệ khoan trộn vữa áp lực cao (Jet-grouting mixing) để xử lý toàn bộ nền đất bên dưới đáy hồ đào làm giảm hệ số thấm của nền đất nhằm ngăn chặn dòng thấm chảy vào trong hồ đào. Kết quả phân tích ngược chuyển vị ngang của tường vây với mô hình đất Hardening-Soil (HS) cho kết quả phù hợp kết quả quan trắc ứng với mô đun biến dạng của nền đất từ 2300N_{SPT} đến 2600N_{SPT}. Quá trình phân tích sự ảnh hưởng của lớp đất Jet-grouting bên dưới đáy hồ đào (Jet-grouting slab, viết tắt là JGS) được tiến hành. Lớp JGS sẽ được phân tích theo ba biến cần khảo sát: Hệ số thấm k , chiều dày T , vị trí Z của lớp JGS so với mặt đáy hồ đào. Kết quả phân tích cho thấy bộ ba thông số khảo sát k , T , Z có sự ảnh hưởng rất lớn đến tính ổn định của lớp JGS bên dưới đáy hồ đào, hệ số an toàn nhỏ nhất chống áp lực nước đẩy trôi [FS_{uplift}] lên lớp JGS không phải là hằng số mà thay đổi phụ thuộc vào hệ số thấm k của lớp JGS, với giá trị k , T , Z thích hợp thì giải pháp tạo ra lớp JGS bên dưới đáy hồ đào để ngăn chặn dòng thấm chảy vào trong hồ đào là hoàn toàn khả thi và có thể làm giảm lưu lượng nước ngầm chảy thấm vào trong hồ đào xuống khoảng 100 lần mà lớp JGS vẫn ổn định.

Mã phân loại: 11.2

Từ khóa: Trộn vữa áp lực cao, tường vây, chuyển vị ngang, ổn định, cát.

Abstract: Excavating process for deep pits in geologic regions with the thick sandy layer and high groundwater level is always very difficult to not influence on adjacent buildings. The Jet-grouting technology was concentrated in this study to treating the soil below the bottom of the pit to reduce the permeability of the soil to prevent seepage from flowing into the pit. With the Hardening-Soil model (HS) in the Plaxis program, back-analysis results show that horizontal displacement of diaphragm wall was appropriated with the monitoring results when the modulus of the ground was taken from 2300NSPT to 2600NSPT. The influence of the Jet-grouting slab layer (JGS) below the bottom of the pit was analyzed. The JGS layer shall be analyzed with three variables parameters: the permeability k , thickness T , Z position of the JGS layer from the bottom of a pit. Analysis results show that the parameters k , T , Z has a great influence on the stability of the JGS layer beneath the bottom of the excavation, the minimum factor of safety against uplift water pressure [FS_{uplift}] on the JGS layer is not constant, that depends on the permeability coefficient k of JGS layer, with the suitable value of k , T , Z , the JGS layer underneath the bottom of the pit is completely feasible to prevent seepage flow into the pit and total seepage discharge flow into the pit can decrease about 100 times whereas JGS layer is still stable.

Keywords: Jet-Grouting mixing, diaphragm wall, horizontal displacement, stability, sand.

Classification code: 11.2

1. Giới thiệu

Trong các khu đô thị chật hẹp, việc chọn lựa giải pháp thi công hồ đào tầng hầm sâu sao cho không ảnh hưởng đến những công trình lân cận luôn là một vấn đề cấp thiết. Đặc biệt, trong khu vực địa chất có tầng cát dày và có mực nước ngầm cao, quá trình thi

công tầng hầm sẽ ẩn chứa nhiều mối nguy hiểm như nước ngầm chảy thấm từ bên ngoài vào bên trong hồ đào gây sụp lún những công trình bên cạnh hoặc gây ra mất ổn định hồ đào dẫn đến sụp đổ hệ chống, hậu quả là sự tốn kém về chi phí để sửa chữa và thời gian tiến độ thi công bị chậm trễ.

Công nghệ Jet-grouting được phát minh ở Nhật Bản vào năm 1970. Sau đó các công ty của Ý, Đức đã mua lại phát minh trên và đến nay nhiều công ty xử lý nền móng hàng đầu thế giới như Layne Christensen (Mỹ), Bauer (Đức), Keller (Anh), Frankipile (Úc) đều sử dụng công nghệ này.

Jet - grouting có thể tạo ra các khối bê tông đất đảm bảo cường độ với các hình dạng khác nhau thông qua nhiều yếu tố như tốc độ quay, tốc độ nâng, cách bố trí, sắp xếp các lỗ khoan,... phục vụ cho các mục đích cụ thể. Hình dạng phổ biến nhất của Jet - grouting là dạng cột vữa được tạo ra bằng cách xoay và nâng lên trong quá trình vữa [6].

Để giảm hệ số thấm của đất nền hay ngăn chặn dòng thấm thì công nghệ Jet-grouting có nhiều ưu điểm, đặc biệt trong lĩnh vực hố đào sâu công trình, rất khả thi và có hiệu quả cao trong việc giải quyết vấn đề chống thấm. Kết quả nghiên cứu cho thấy với nền đất cát được xử lý bơm vữa có thể giảm hệ số thấm k của đất từ 10 - 4 m/s xuống 10 - 8 m/s khi cấp phối vữa phun có hàm lượng bentonite với tỷ lệ thích hợp [1].

Với công nghệ Jet-grouting tại dạng ống phun vữa ba sẽ hiệu quả hơn dạng ống phun vữa đôi trong việc xử lý chống thấm cho công trình, với đất nền cát pha bụi thì hệ số thấm k của đất nền có thể giảm xuống còn 10 - 7 m/s đến 10 - 8 m/s [2]. Công nghệ Jet-grouting với hệ thống phun ba (Triple Fluid) có thể xử lý toàn bộ diện tích nền đất bên dưới hố đào để ngăn chặn dòng thấm gây mất ổn định hố đào do áp lực artesian và lún đất nền xung quanh công trình khi hạ nước ngầm và hệ số thấm của nền đất có thể giảm từ 10 - 3 m/s xuống 6 x 10 - 8 m/s [3].

Sự hiệu quả của lớp đất nền bên dưới đáy hố đào đã xử lý Jet-grouting để giảm dòng chảy thấm của nước ngầm vào trong hố đào có thể được khảo sát bằng chương trình phần tử hữu hạn Plaxis [4]. Với hố đào sâu trong tầng đất cát, để ngăn cản dòng chảy thấm dưới chân tường vây vào trong hố đào có hai biện pháp hữu hiệu như sau:

Thứ nhất, kéo dài chân tường vây bằng vữa Jet-grouting để tường vây xem như cắm vào lớp đất sét không thấm. Phương pháp

này chỉ thích hợp cho khu vực đất nền có tầng sét không thấm xuất hiện bên dưới chân tường vây không quá sâu và công nghệ Jet-grouting có thể ứng dụng xử lý phần đất nền bên dưới chân tường vây để xem như kéo dài tường vây trở thành tường chống thấm theo chu vi hố đào, chân tường cắm vào lớp đất sét không thấm. Tuy nhiên, trong trường hợp đất nền có tầng cát dày, tầng sét không thấm ở quá sâu so với chân tường vây thì biện pháp này sẽ không khả thi.

Thứ hai, thi công sàn ngăn nước Jet-grouting cho toàn bộ diện tích đáy hố đào. Phương pháp này thích hợp cho hố đào sâu trong khu vực tầng cát dày và biện pháp này có thể xử lý nền đất cát có hệ số thấm lớn bên dưới đáy hố đào trở thành lớp hỗn hợp xi măng - đất có hệ số thấm bé. Từ đó, ngăn cản dòng thấm chảy vào trong hố đào.

Tuy nhiên, sự ổn định đáy hố đào sau khi đã xử lý nền đất bằng công nghệ Jet-grouting vẫn còn nhiều vấn đề cần được phân tích như:

- Chiều dày và hệ số thấm thích hợp của lớp Jet-grouting để chống thấm dưới đáy hố đào;

- Vị trí hợp lý cần xử lý lớp Jet-grouting so với mặt đáy hố đào;

- Sự ảnh hưởng hệ số thấm k của lớp Jet-grouting đến áp lực nước ngầm đẩy trôi lên lớp Jet-grouting (sự ổn định của lớp Jet-Grouting), mực nước ngầm thay đổi xung quanh hố đào, độ lún của nền đất xung quanh hố đào, chuyển vị ngang của tường vây.

Dựa vào các nghiên cứu và ứng dụng trên thế giới cũng như các vấn đề tồn tại cần phải xem xét, bài báo tập trung nghiên cứu giải pháp khoan trộn vữa phun áp lực cao (Jet-grouting mixing) để ngăn chặn nước ngầm chảy thấm dưới chân tường vây khi thi công hố đào trong nền đất có tầng cát dày.

2. Công trình nghiên cứu và quá trình phân tích ngược (back-analysis)

Công trình dùng để phân tích trong nghiên cứu ở Quận 1, Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) với kích thước trung bình hố đào: 20 m x 60 m; $h_{max} = 14.5m$ (3 tầng hầm), thi công theo phương pháp bottom-up,

kết hợp chống đỡ bằng tường vây dày 0.6 m, dài 25 m. Mặt bằng hố móng và các mốc quan trắc chuyển vị của tường vây được thể hiện trong hình 1.

Chân tường vây (ở độ cao - 25.0 m so với mặt đất tự nhiên) nằm hoàn toàn trong lớp cát pha, trạng thái chặt vừa, có hệ số thấm lớn. Trong quá trình thi công hố đào đã xảy ra sự cô lún nền đất xung quanh và gây nứt cho những công trình bên cạnh dẫn đến công trình phải tạm ngưng thi công, gây ảnh hưởng lớn đến tiến độ thi công công trình, thiệt hại kinh tế rất lớn. Nguyên nhân chính yếu là do quá trình bơm hạ nước ngầm liên tục trong hố đào đã kéo theo dòng chảy thấm nước ngầm từ bên ngoài vào trong hố làm gia tăng độ lún mặt đất và dẫn đến nhà dân quanh công trình bị lún và nứt. Mực nước ngầm ổn định ở độ sâu - 2.8 m.

Hố đào sẽ được mô phỏng bằng chương trình Plaxis. Trình tự thực hiện nghiên cứu được mô tả tại hình 2, chi tiết như sau:

Bước 1: Phân tích ngược (back - analysis) để tìm mối tương quan giữa mô đun biến dạng của đất nền theo chỉ số SPT dựa vào kết quả quan trắc chuyển vị thực tế của tường vây hố đào trong khu vực địa chất có tầng cát dày tại TP.HCM;

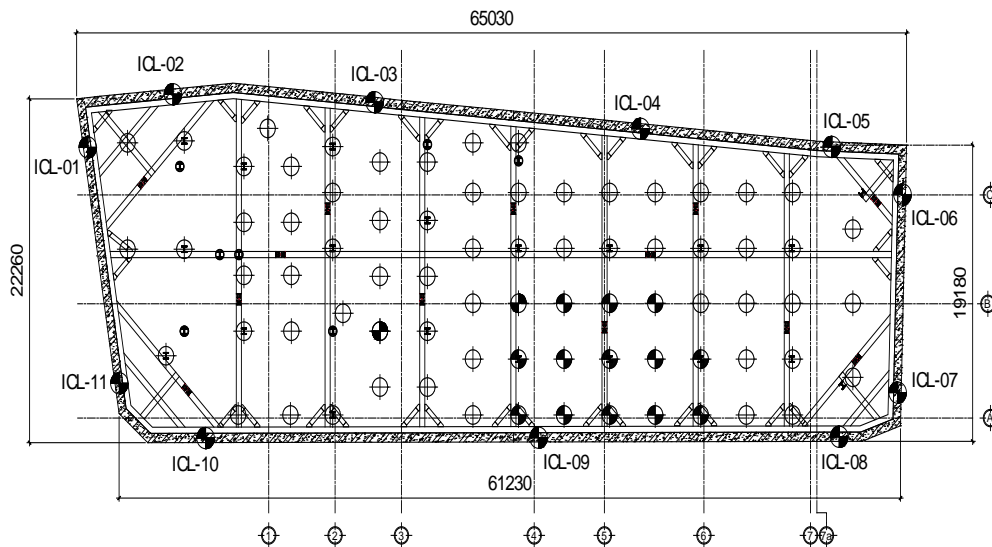
Bước 2: Chọn giá trị mô đun biến dạng E thích hợp để phân tích bài toán. Các vấn đề khảo sát bao gồm:

- Khảo sát chiều dày T , hệ số thấm k thích hợp của lớp Jet-grouting cần xử lý chống thấm bên dưới đáy hố đào;

- Khảo sát chiều sâu Z cần xử lý lớp Jet-grouting kể từ đáy hố đào;

- Khảo sát sự ổn định của lớp Jet-grouting chống thấm bên dưới đáy hố đào và sự ảnh hưởng của lớp Jet-grouting đến mực nước ngầm xung quanh, độ lún của đất nền xung quanh hố đào và chuyển vị ngang của tường vây.

Các thông số đầu vào của lớp đất nền trong chương trình Plaxis được tổng hợp trong bảng 2. Xét tại giai đoạn đào cuối cùng, $h_{max} = 14.5$ m. Kết quả phân tích cho thấy, tại khu vực hố đào công trình nghiên cứu, với đất nền loại cát, tương quan giữa mô đun biến dạng E_{50}^{ref} và chỉ số búa NSPT nằm trong khoảng $E_{50}^{ref} = (2300 \div 2600)NSPT$ sẽ cho kết quả phân tích chuyển vị ngang phù hợp với kết quả quan trắc thực tế. Do đó, giá trị mô đun biến của đất cát $E_{50}^{ref} = 2300NSPT$ sẽ được sử dụng trong các mô hình phân tích và khảo sát hố đào có xử lý nền Jet-grouting để chống thấm ở các phần tiếp theo. Và khía cạnh địa chất công trình được đề cập trong bảng 1.



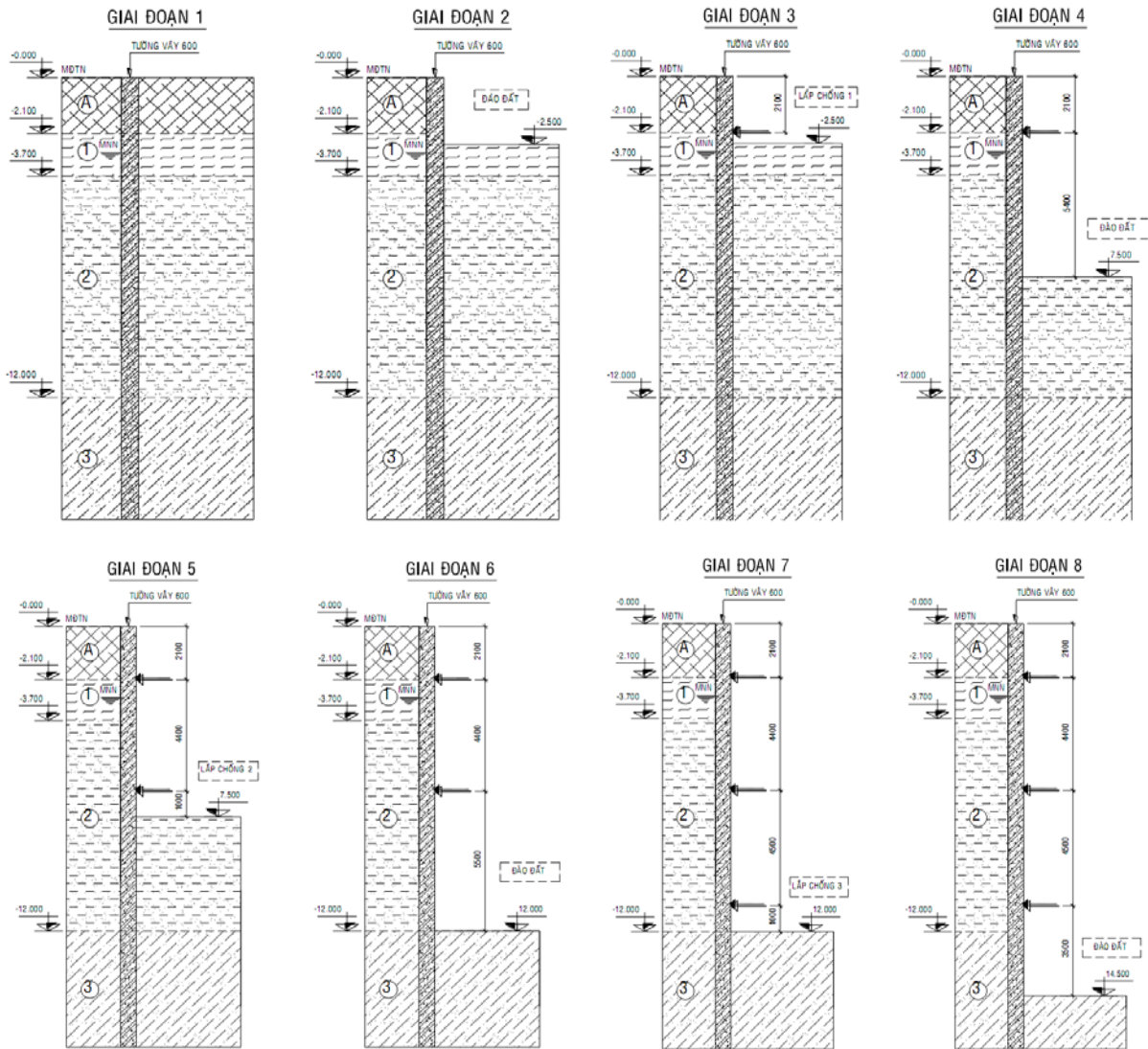
Hình 1. Mặt bằng hố móng và các mốc quan trắc chuyển vị của tường vây.

Bảng 1. Mô tả địa chất công trình

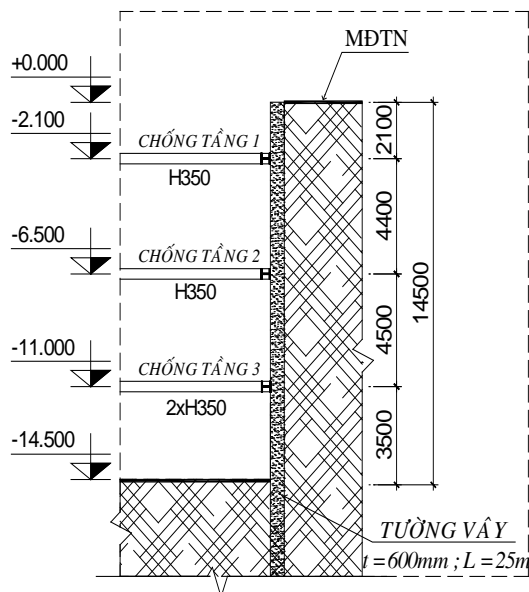
Tên lớp	Mô tả	Độ sâu (m)
Lớp A	Đất san lấp lẫn sỏi sạn, xà bần	0 ÷ -2.5
Lớp 1	Bụi hữu cơ, xám đen, trạng thái chảy	-1.6 ÷ -4.7
Lớp 2	Cát pha bụi, nâu vàng, xám trắng, trạng thái chặt vừa	-2.7 ÷ -15.0
Lớp 3	Cát cấp phối tốt lẫn sét, vàng nhạt, kết cấu chặt vừa	-9.0 ÷ -17.5
Lớp 4	Cát pha, pha bụi, nâu hồng, kết cấu chặt vừa	-15.0 ÷ -35.0
Lớp 5	Cát cấp phối tốt lẫn sét, nâu vàng, kết cấu chặt vừa	-35.0 ÷ -45.8
Lớp 6	Sét nâu vàng đốm trắng, trạng thái nửa cứng	-45.8 ÷ -55.2
Lớp 7	Cát pha bụi, xám nâu, kết cấu chặt	-55.2 ÷ -65.0
Lớp 8	Cát cấp phối tốt lẫn sét, xám tro, kết cấu chặt vừa	-65.0 ÷ -70

Bảng 2. Thông số đầu vào của các lớp đất nền trong chương trình Plaxis
(Dr = Drained: Thoát nước; UnDr = Undrained: Không thoát nước).

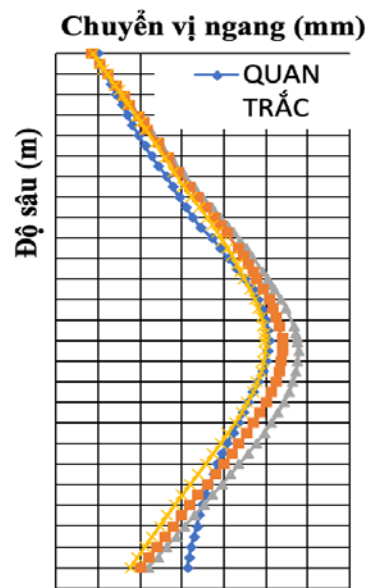
Thông số	Ký hiệu	Lớp A Đất san lấp	Lớp 1 Bụi hữu cơ	Lớp 2 Cát pha bụi	Lớp 3 Cát cấp phối tốt	Lớp 4 Cát pha bụi	Lớp 5 Cát cấp phối tốt	Lớp 6 Sét nửa cứng	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	HS	HS	HS	HS	HS	HS	HS	
Ứng xử của vật liệu	Type	Dr	UnDr	Dr	Dr	Dr	Dr	UnDr	
Dung trọng khô	γ	18.0	16.0	19.9	20.2	20.1	20.4	20.0	kN/m ³
Dung trọng ướt	γ_{sat}	19.0	16.2	20.3	20.7	20.6	20.8	20.3	kN/m ³
Hệ số thấm	k	3.00	8.64E-4	1.00	2.00	1.00	2.00	8.64E-4	m/ngày
Mô đun biến dạng (với đất cát, $E_{50}^{ref} = 300.N_{SPT}$)	E_{50}^{ref}	10000	3500	28000	30000	35000	45000	62500	kN/m ²
	E_{oed}^{ref}	10000	3500	28000	30000	35000	45000	62500	kN/m ²
	E_{ur}^{ref}	30000	10500	84000	90000	105000	135000	187500	kN/m ²
Hệ số poisson	ν_{ur}	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	
Lực dính	c_{ref}	1.0	7.2	10.1	3.7	9.1	3.5	46.0	kN/m ²
Góc nội ma sát	ϕ	28.0	0.1	20.3	29.7	22.5	30.0	16.0	độ
Góc giãn nở	ψ	0	0	0	0	0	0	0	độ
Hệ số tiếp xúc	R_{inter}	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
Tỷ số phá hoại	R_f	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
Chiều dày lớp đất	h	2.1	1.6	8.3	8.5	16.5	9.5	3.5	m



Hình 2. Các giai đoạn thi công hố đào.



Hình 3. Cao độ 3 tầng chống hố đào.



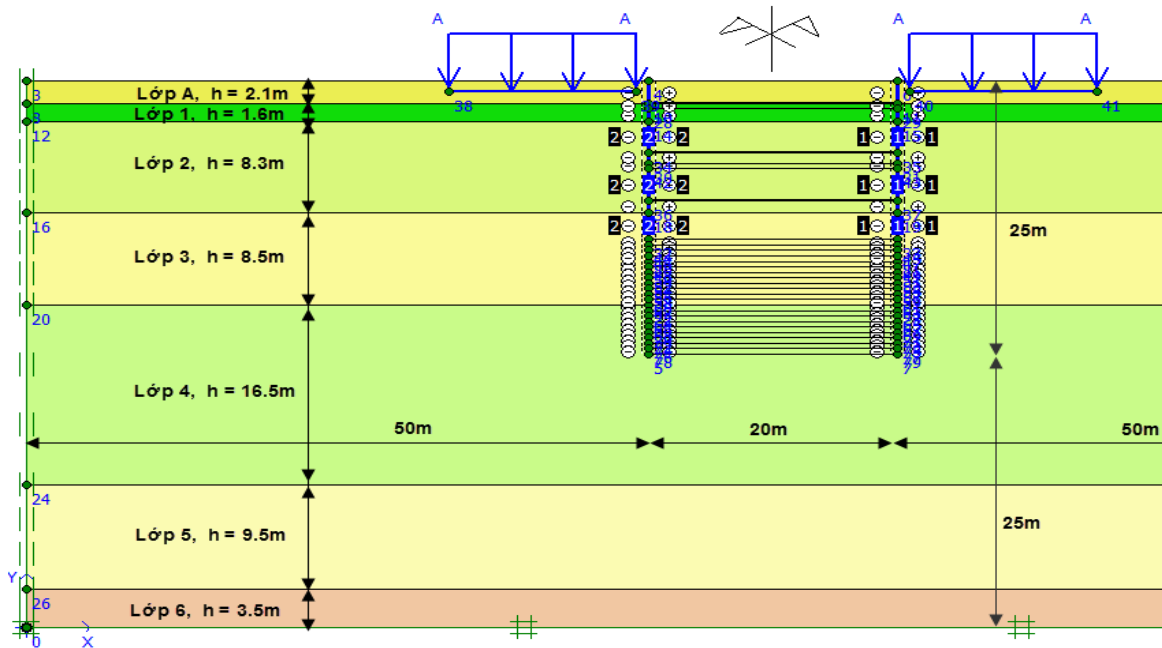
Hình 4. Chuyển vị ngang của tường vây.

3. Phân tích với lớp đất xử lý Jet-grouting để chống thấm bên dưới đáy hố đào

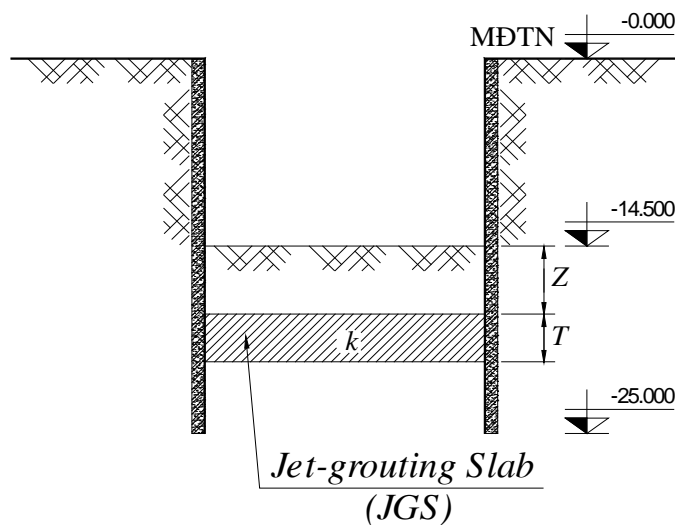
Để giảm bớt dòng thấm từ bên ngoài vào trong hố đào, giải pháp được chọn lựa để nghiên cứu là xử lý toàn bộ nền đất bên dưới đáy hố đào thành một lớp đất có hệ số thấm nhỏ bằng công nghệ Jet-grouting, được đặt tên là lớp "Jet-grouting Slab" (viết tắt là JGS). Các biến cần khảo sát trong mô hình phân tích dòng thấm vào trong hố đào (bảng 3).

- k : Hệ số thấm của lớp JGS (m/ngày);
- T : Chiều dày lớp JGS cần xử lý bên dưới đáy hố đào (m);
- Z : Khoảng cách từ mặt trên lớp JGS đến đáy hố đào (m);

Mô hình phân tích hố đào và các biến k , T , Z cần khảo sát phân tích và mô phỏng lớp JGS được thể hiện trên hình 5 (a,b). Thông số đầu vào của cọc xi măng đất Jet-grouting được tổng hợp trong bảng 4.



(a)



(b)

Hình 5. Mô hình phân tích hố đào và các biến k , T , Z cần khảo sát phân tích và mô phỏng lớp JGS trong nghiên cứu.

Bảng 3. Phạm vi các biến khảo sát trong mô hình nghiên cứu.

Thông số	Đơn vị	Khoảng khảo sát
k	m/s	1xE-6 ÷ 1xE-8
	m/ngày	8.64xE-2 ÷ 8.64xE-4
T	m	2.0÷4.0
Z	m	2.0÷8.5

Bảng 4. Thông số đầu vào của cọc xi măng đất Jet-grouting (lớp JGS).

Thông số	Ký hiệu	Lớp JGS	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Model	M-C	
Ứng xử vật liệu	Type	Drained	
Dung trọng khô	γ (unsat)	20.7	kN/m ³
Dung trọng ướt	γ (sat)	20.7	kN/m ³
Hệ số thấm	k	Khảo sát	m/ngày
Môđun biến dạng	E _{ref}	100000	kN/m ²
Hệ số poisson	ν	0.2	
Lực dính	c _{ref}	250	kN/m ²
Góc nội ma sát	φ	0	độ
Góc giãn nở	ψ	0	độ
Hệ số tiếp xúc	R _{inter}	0.8	
Chiều dày lớp đất	T	Khảo sát	m

Theo [5], cần phải kiểm tra hệ số an toàn chống áp lực nước đẩy trôi lên lớp Jet-grouting bên dưới đáy hố đào như sau:

$$FS_{uplift} = \frac{W_s + W_J + F}{P_{uplift}} = \frac{W_{res}}{P_{uplift}} \geq [FS_{uplift}] \quad (1)$$

Trong đó: $[FS_{uplift}]$: Hệ số an toàn nhỏ nhất chống áp lực nước đẩy trôi; W_s : Tổng trọng lượng của lớp đất nằm bên trên lớp JGS; $W_s = \gamma * X * B$ (2)

Z (m): Khoảng cách từ đáy hố đào đến mặt trên lớp JGS; $B = 20$ m: Bề rộng hố đào;

W_J : Tổng trọng lượng của lớp JGS:

$$W_J = \gamma * T * B \quad (3)$$

T (m): Chiều dày lớp JGS; F : Tổng lực ma sát thành bên giữa đất, lớp JGS và tường vây.

$$F = F_s + F_J \quad (4)$$

F_s : Tổng lực ma sát giữa đất nền và tường vây

Theo [5]:

$$F_s = \left[\sigma'_v \times \left(\frac{\nu_{ur}}{1 - \nu_{ur}} \right) \times \tan(\varphi_a) + c_a \right] \times Z \times 2 \quad (\text{kN}) \quad (5)$$

$$\varphi_a = R_{inter} * \varphi \quad (6)$$

$$c_a = R_{inter} * c \quad (7)$$

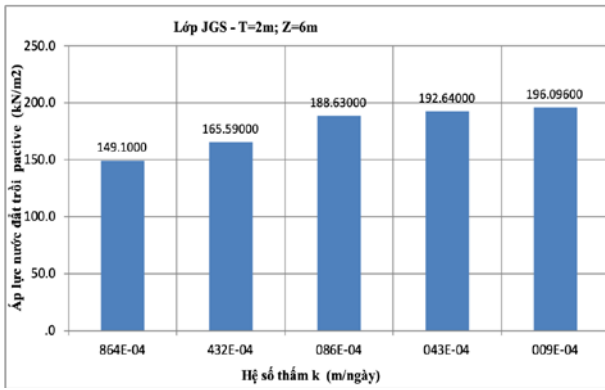
$$F_J = R_{inter} * c_u * T * 2 \quad (8)$$

Với P_{uplift} : Tổng lực đẩy của nước ngầm tại mặt dưới của lớp JGS.

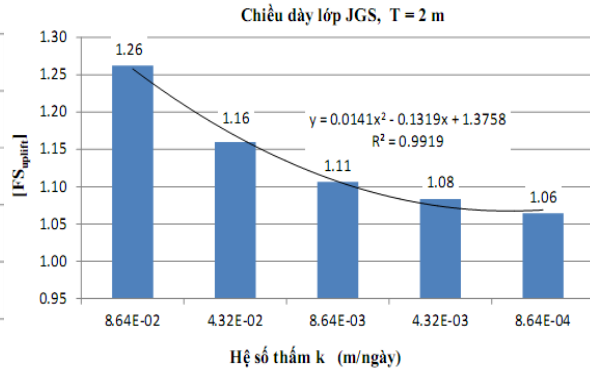
Theo [5]: $P_{uplift} = P_{active} * B$ (9)

Với: P_{active} : Áp lực nước ngầm tại mặt dưới của lớp JGS (kN/m²); W_{res} : Tổng lực chống đẩy trôi lên lớp JGS (kN).

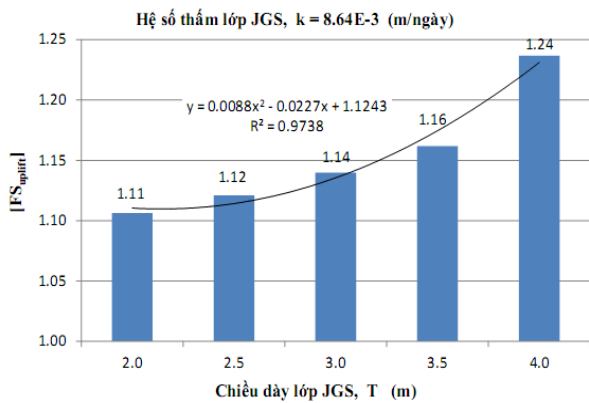
Kết quả tính toán được thể hiện trên hình 6 đến hình 18.



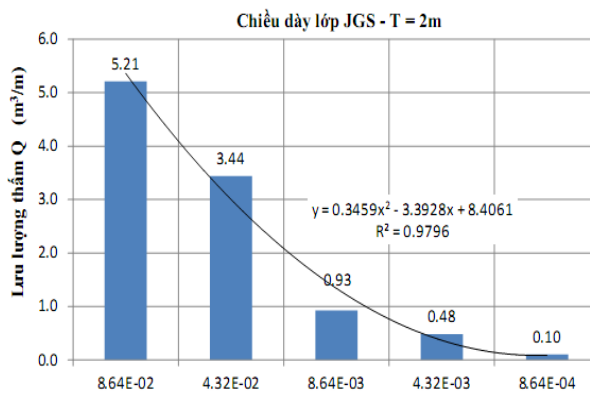
Hình 6. Áp lực nước đẩy trôi p_{active} theo hệ số thấm k (T = 2 m; Z = 6 m).



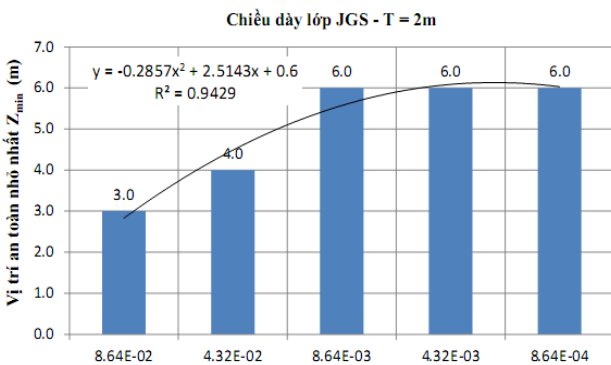
Hình 7. Ảnh hưởng của hệ số thấm k lên hệ số an toàn nhỏ nhất chống áp lực đẩy trôi [FS_{uplift}] (T = 2m).



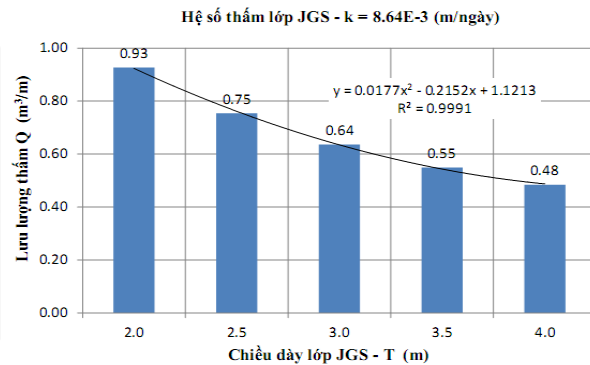
Hình 8. Ảnh hưởng của chiều dày T của lớp JGS lên hệ số an toàn nhỏ nhất chống áp lực đẩy trôi [FS_{uplift}] (k = 8.64E-3 m/ngày).



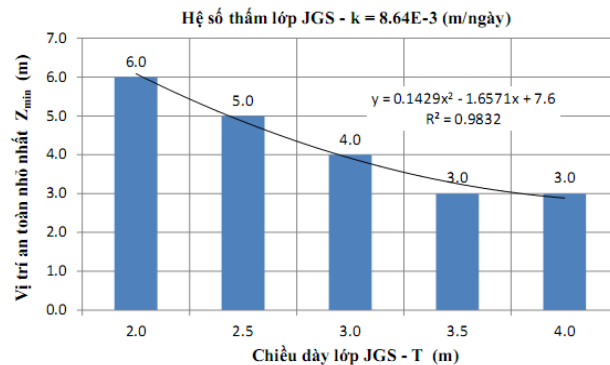
Hình 9. Lưu lượng thấm Q theo hệ số thấm k (T = 2 m).



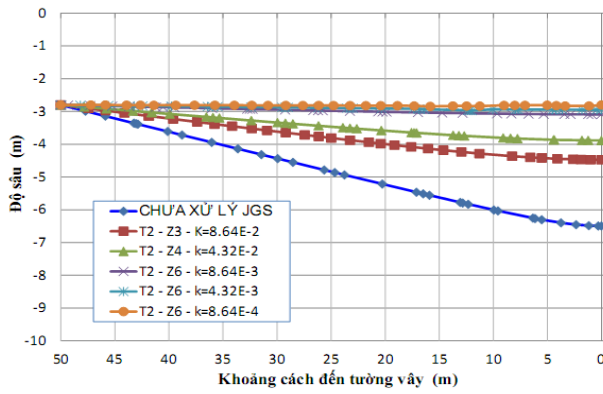
Hình 10. Vị trí an toàn nhỏ nhất Z_{min} theo hệ số thấm k (T=2m.)



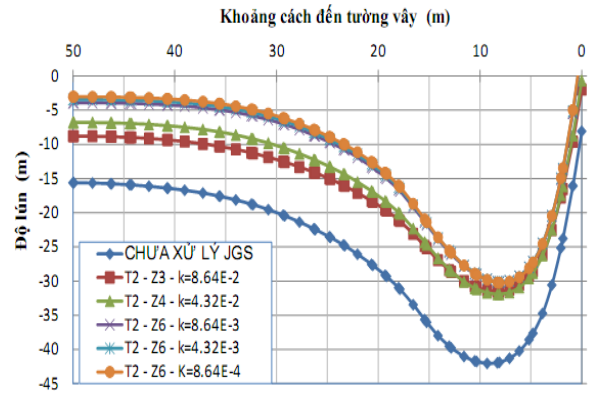
Hình 11. Lưu lượng thấm Q theo chiều dày T (k = 8.64E-3 m/ngày).



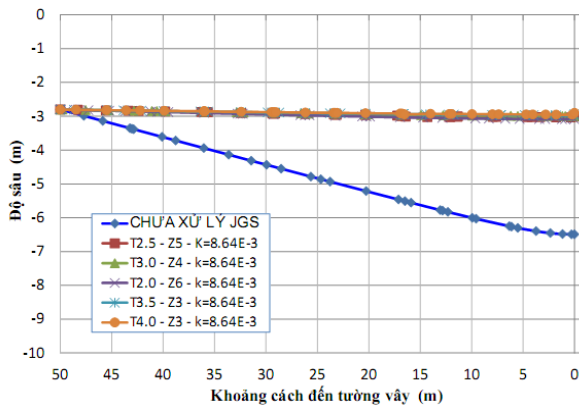
Hình 12. Vị trí an toàn nhỏ nhất Z_{min} theo chiều dày T (k = 8.64E-3 m/ngày).



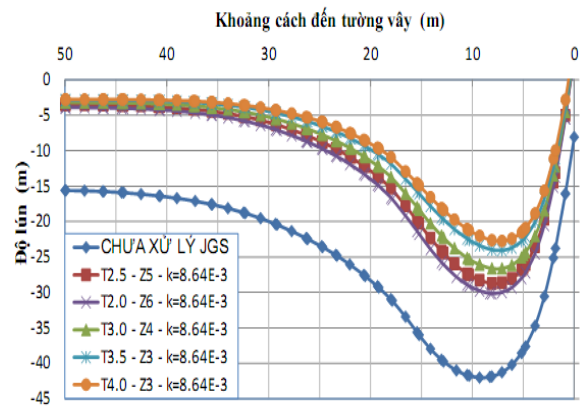
Hình 13. Mức nước ngầm thay đổi xung quanh hố đào ($T = 2\text{ m}$).



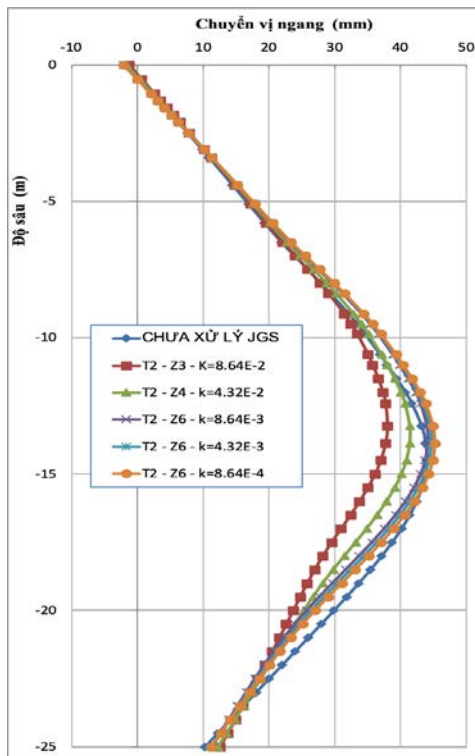
Hình 14. Độ lún mặt đất xung quanh hố đào ($T = 2\text{ m}$).



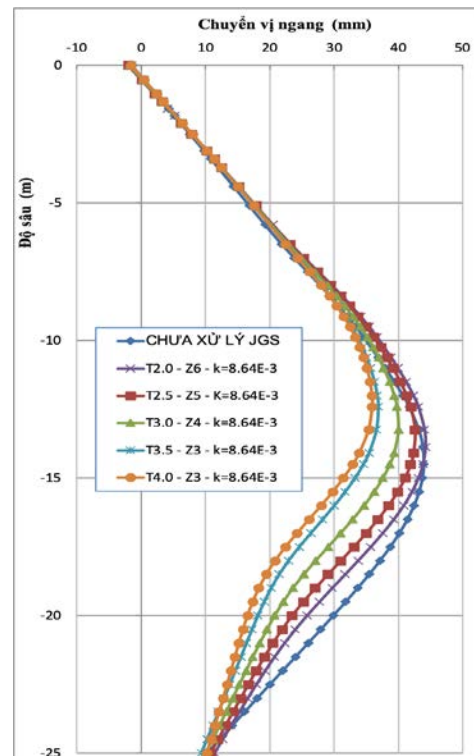
Hình 15. Mức nước ngầm thay đổi xung quanh hố đào ($k = 8.64E-3\text{ m/ngày}$).



Hình 16. Độ lún mặt đất xung quanh hố đào ($k = 8.64E-3\text{ m/ngày}$).



Hình 17. Chuyển vị ngang của tường vây với độ sâu đào $h_{\max} = 14.5\text{ m}$ ($T = 2\text{ m}$).



Hình 18. Chuyển vị ngang của tường vây với độ sâu đào $h_{\max} = 14.5\text{ m}$ ($k = 8.64E-3\text{ m/ngày}$).

4. Kết luận

Trong khu vực địa chất nền cát, mô hình phân tích ngược Hardening-Soil cho kết quả phù hợp với quan trắc thực tế với mô đun biến dạng trong đất nền loại cát được lấy tương quan theo chỉ số NSPT như sau:

$$E_{50}^{ref} \approx (2300 \div 2600)N_{SPT}$$

$$E_{ur}^{ref} = 3E_{50}^{ref}$$

Giải pháp khoan phụt trộn vữa phun áp lực cao (Jet-grouting mixing) hoàn toàn khả thi và hiệu quả trong việc ngăn chặn dòng thấm nước ngầm chảy vào trong hố đào đối với những công trình tại khu vực có tầng cát dày. Bộ thông số: Hệ số thấm k , chiều dày T và vị trí Z đặt lớp có ảnh hưởng rất lớn đến sự ổn định của hố đào:

- Hệ số thấm k càng nhỏ thì áp lực nước đẩy trời P_{active} lên lớp JGS càng lớn và khi đó lớp JGS càng dễ mất ổn định;

- Hệ số an toàn nhỏ nhất chống áp lực nước đẩy trời $[FS_{uplift}]$ lên lớp JGS không phải là hằng số mà phụ thuộc chủ yếu vào hệ số thấm k và vị trí Z của lớp JGS;

- Lớp JGS có vị trí Z càng sâu gần chân tường vây càng dễ đạt trạng thái cân bằng ổn định chống áp lực nước đẩy trời lên lớp JGS. Với lớp JGS có chiều dày $T = 2\text{m}$ và hệ số thấm $k \leq 8.64\text{E-}3$ (m/ngày) của lớp JGS, vị trí Z an toàn chống áp lực nước đẩy trời lên lớp JGS: $Z \geq 6.0$ (m). Với lớp JGS có hệ số thấm $k = 8.64\text{E-}3$ m/ngày, với chiều dày $T = 4$ m, vị trí an toàn tối thiểu: $Z \geq 3\text{m}$;

- Sự hạ thấp mực nước ngầm xung quanh hố đào có thể gây lún mặt đất tự nhiên công trình xung quanh tăng thêm 40% so với trường hợp lún không có dòng thấm xuất hiện;

- Lớp JGS có hệ số thấm k càng nhỏ, độ lún của mặt đất xung quanh càng giảm. Với lớp JGS có chiều dày $T = 2$ m và hệ số thấm $k = 8.64\text{E-}4$ m/ngày, độ lún mặt đất xung quanh có thể giảm đến 30%;

- Lớp JGS có chiều dày T càng lớn thì chuyển vị ngang của tường vây và độ lún mặt đất xung quanh càng giảm. Với lớp JGS có chiều dày $T = 4$ m và hệ số thấm $k = 8.64\text{E-}3$ m/ngày, chuyển vị ngang có thể giảm đến 10% và độ lún mặt đất xung quanh giảm đến 50%;

- Vị trí Z của lớp JGS nằm sâu xuống dưới chân tường vây sẽ có hiệu quả hơn việc tăng chiều dày T lớp JGS với mục đích ổn định hố đào chống áp lực nước đẩy trời lên lớp JGS;

- Với lớp JGS có chiều dày $T = 2$ m và hệ số thấm $k = 8.64\text{E-}4$ m/ngày, lưu lượng thấm tổng chảy vào trong hố đào đã giảm khoảng 100 lần so với trạng thái ban đầu (từ $10.25 \text{ m}^3/\text{m}$ giảm xuống còn $0.1 \text{ m}^3/\text{m}$);

- Với lớp JGS có chiều dày $T = 4$ m, hệ số thấm $k = 8.64\text{E-}3$ m/ngày, lưu lượng thấm tổng chảy vào trong hố đào đã giảm khoảng 20 lần so với trạng thái ban đầu (từ $10.25 \text{ m}^3/\text{m}$ giảm xuống còn $0.48 \text{ m}^3/\text{m}$);

- Giải pháp hợp lý với lớp JGS chống thấm cho hố đào trong công trình nghiên cứu nên được chọn lựa như sau: $k = 8.64\text{E-}4$ m/ngày; $T = 2$ m; $Z = 6 \text{ m}$ □

Tài liệu tham khảo

- [1] Santhosh Kumar T. G. (2010), *A study on the engineering behaviour of grouted loose sandy soils*. Doctor thesis, Cochin University of Science and Technology, Korea;
- [2] Hong, Won-Pyon et al. (2002), *Case Study on Ground Improvement by High Pressure Jet Grouting*. International Offshore and Polar Engineering Conference Kitakyushu. Japan, pp. 610-615;
- [3] R. L. Newman et al. (1994), *Jet grouting to enable basement construction in difficult ground conditions*. Grouting in the Ground, pp 385-402;
- [4] Fathalla M. EI-nahhas, Mohamed T. Abdelrahman, George M. Iskander (2006), *Utilization of Grouting Techniques for Construction of Underground Structures in Urban Areas*. International Symposium on Utilization of Underground Space in Urban Areas, Egypt;
- [5] Stefan M. Buykx, Steven Delfgaauw. Johan W. Bosch (2009), *Probabilistic analysis of soil: Diaphragm wall friction used for value engineering of deep excavation, north/south metro Amsterdam*. The Safe Tunnelling for the City and Environment: ITA-AITES World Tunnel Congress, Budapest, Hungary, 23-28;

- [6] Nguyen Anh Tuan, Tran Duc Chinh, Nguyen Thanh Dat (2016), *The application of Jet Grouting technology to reduce ground deformation of construction the metro line in Ho Chi Minh City*. Strength of Materials and Theory of Structures, No. 97, pp. 121-132.

Ngày nhận bài: 06/04/2021

Ngày chuyển phản biện: 09/04/2021

Ngày hoàn thành sửa bài: 01/05/2021

Ngày chấp nhận đăng: 07/05/2021