

SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ PHỤT VỮA CAO ÁP ĐỂ GIԱ CỐ HẦM METRO SỐ 1 TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

APPLYING JET GROUTING TO REINFORCE THE METRO LINE NO.1 IN HO CHI MINH CITY

Nguyễn Tăng Thanh Bình và Trần Nguyễn Hoàng Hùng

Khoa KT Xây dựng, Đại học Bách Khoa TP. HCM, Việt Nam.
nttbinh@hcmut.edu.vn & tnhhung@hcmut.edu.vn

TÓM TẮT

Công nghệ Jet Grouting ngày càng được sử dụng phổ biến trên thế giới trong công tác gia cố nền và xử lý đất yếu. Ở Việt Nam, Phụt vữa cao áp chỉ mới được nghiên cứu áp dụng trong vài năm lại đây. Trong nghiên cứu này, công nghệ Phụt vữa cao áp được sử dụng để gia cố đất nền xung quanh tuyến hầm được đi ngầm trong nội ô thành phố Hồ Chí Minh. Mục đích của việc gia cố này là nhằm giảm độ lún bề mặt do quá trình thi công hầm Metro số 1 bằng máy khiên đào (TBM). Các công thức kinh nghiệm sẽ được sử dụng để đánh giá độ lún bề mặt. Kết quả tính lún bằng các công thức này sẽ được so sánh với kết quả tính toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Mối quan hệ giữa các đặc trưng của đất trộn xi măng bằng công nghệ phụt vữa cao áp và độ lún bề mặt được thiết lập dựa trên kết quả tính toán bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

Từ khóa: Phụt vữa cao áp, hầm, lún bề mặt, gia cố nền, máy khiên đào, TBM.

ABSTRACT

Jet Grouting is widely used nowadays in over the world as an effective technology for soil improvement. In Vietnam, this technology has just been studied and used recent years. In this research, Jet Grouting is used to stabilize the soil around a tunnel that will be built in the urban area of Ho Chi Minh City. The purpose of using Jet Grouting is to reduce the surface settlement due to tunneling with Tunnel boring machine -TBM. The surface settlement calculated by empirical equations are compared with that of finite element method -FEM. As a result, the relationship between the soilcrete properties including modulus and thickness from Jet Grouting and the surface settlement is proposed by using FEM analysis.

Keywords: Jet Grouting, tunnel, surface settlement, ground reinforcement, TBM.

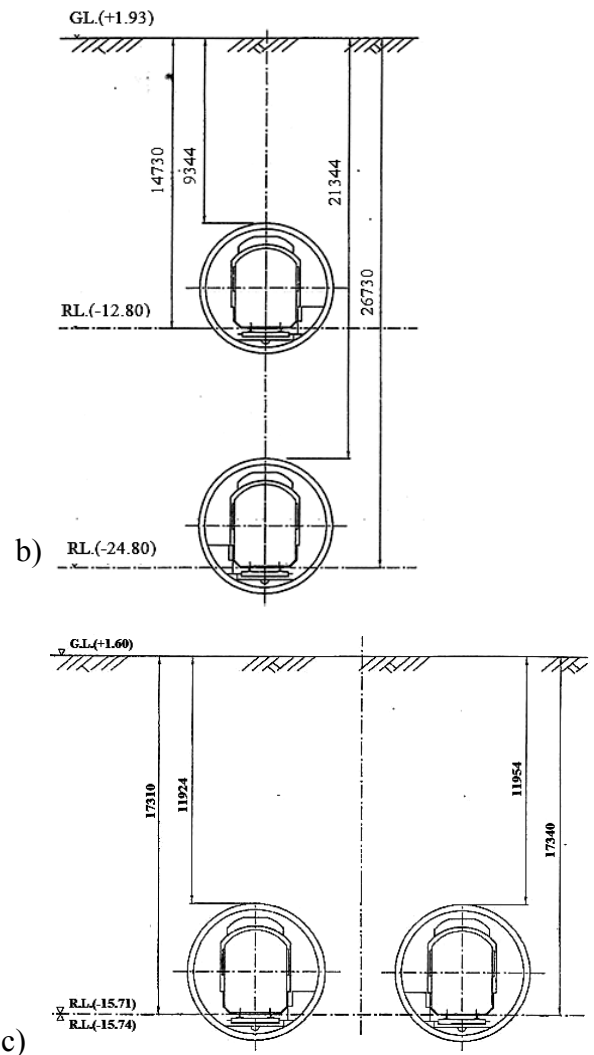
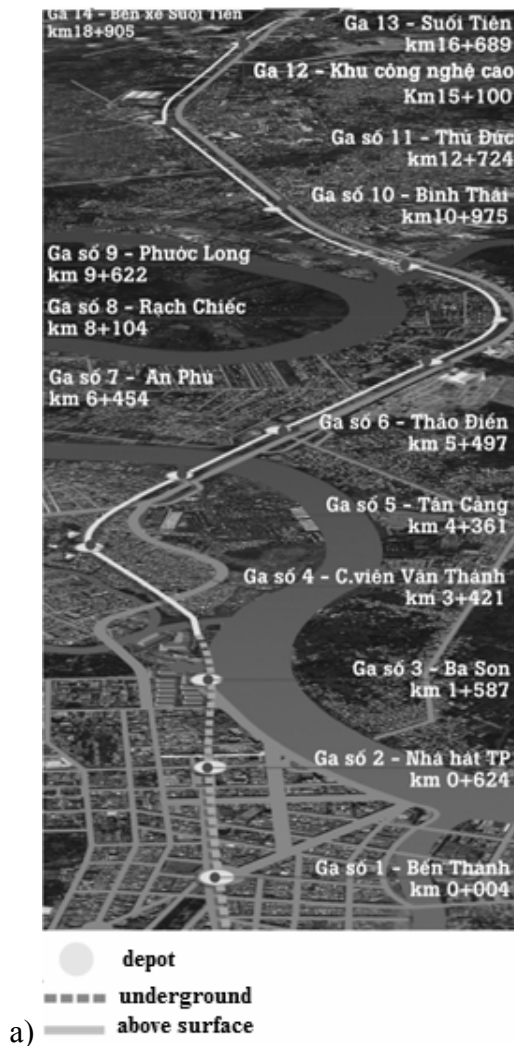
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tuyến Metro số 1 (đi từ Bến Thành đến Suối Tiên) có một đoạn dài 2,6 km đi ngầm, được thi công bằng máy khiên đào TBM -EPB (Tài liệu thiết kế 2010, Ban QLDS-DT). Đoạn ngầm này đi qua nhiều công trình quan trọng trong khu vực nội ô thành phố Hồ Chí Minh, trong đó có khu vực Nhà hát thành phố. Đây là công trình mang ý nghĩa lịch sử cần được bảo vệ tốt, và yêu cầu độ lún tối đa là 10 mm. Do đó, cần phải nghiên cứu giải pháp giảm độ lún bề mặt cho khu vực trên. Tuy nhiên, mối tương quan giữa đặc trưng vữa phun và độ lún bề mặt vẫn chưa được nghiên cứu ở Việt Nam, đặc biệt là cho địa chất ở thành phố Hồ Chí Minh. Nghiên cứu này tập trung vào việc sử dụng jet-grouting cho bài toán hạn chế độ lún bề mặt bên trên. Tuy nhiên, tùy theo điều kiện địa chất từng khu vực mà có sự lựa chọn đặc trưng vữa phun bao gồm độ cứng vật liệu và độ cứng hình học. Mục tiêu của nghiên cứu này là tìm ra

mối quan hệ giữa các đặc trưng trên với độ lún bề mặt của tuyến hầm Metro số 1 tại mặt cắt hầm đi ngang khu vực Nhà hát thành phố và đề xuất các đặc trưng hợp lý cho yêu cầu hạn chế độ lún tại khu vực này.

2. GIỚI THIỆU DỰ ÁN METRO SỐ 1

Tuyến Metro số 1 (Bến Thành - Suối Tiên) được Ủy ban Nhân dân thành phố phê duyệt với sự hỗ trợ vay vốn ODA - Official Development Assistance của Ngân hàng hợp tác quốc tế Nhật Bản (JBIC) ký kết với chính phủ Việt Nam ngày 30 tháng 03 năm 2007 (Ban QLDS-DT). Tuyến Metro này dài 19,7 km, trong đó có 17,1 km đi trên cao và 2,6 km đi ngầm. Hình 1 (a) thể hiện bình đồ dọc tuyến metro số 1, và 02 mặt cắt tiêu biểu các tuyến hầm trong đoạn đi ngầm được thể hiện trong Hình 1 (b) và (c).

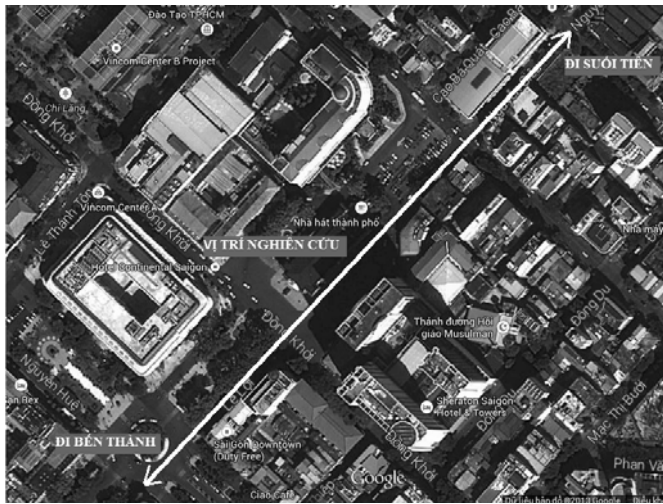


Hình 1. Bình đồ đoạn tuyến Metro Số 1 (Ban QLDS-DT 2010)

3. VỊ TRÍ NGHIÊN CỨU VÀ ĐIỀU KIỆN TỰ NHIÊN

3.1. Vị trí nghiên cứu

Vị trí tuyến hầm tại khu vực Nhà hát Thành phố được sử dụng cho nghiên cứu này (Hình 2). Trong đó mặt cắt ngang tiêu biểu của tuyến hầm tại vị trí đi qua khu vực Nhà hát Thành phố thể hiện trong Hình 3, với các thông số về tuyến hầm thể hiện trong Bảng 1.



Hình 2. Vị trí nghiên cứu (Google map)

Bảng 1. Thông tin tuyến hầm và máy TBM tại khu vực Nhà hát thành phố (Ban QLDS-ĐT 2010)

Các thành phần	Đơn vị	Giá trị
Đường kính trong hầm	m	6.05
Đường kính ngoài hầm	m	6.65
Đường kính TBM	m	6.79
Chiều dài máy TBM	m	7.8
Chiều sâu đặt hầm trên z_0	m	12.7
Chiều sâu đặt hầm dưới z_0	m	24.7

Bảng 2: Số liệu địa chất được sử dụng cho mô hình Mohr-Coulomb (Tài liệu thiết kế 2010, Ban QLDS-DT)

	Đất đắp	Sét dẻo	Cát hạt mịn	Cát hạt trung	Cát hạt mịn	Cát hạt trung
Bề dày (m)	0.5	2.2	11.3	9	10.5	> 2
γ_{Sat} (kN/m ³)	17	17.8	20.2	20.4	20.1	19.4
Lực dính c (kN/m ²)	12	12	-	-	-	-
Góc ma sát ϕ (độ)	-	-	26	31	33	34
Modul đàn hồi (MN/m ²)	5	5	15	40	55	65

3.2. Điều kiện tự nhiên

Thông tin địa chất xung quanh tuyến hầm được thể hiện trong Bảng 2.

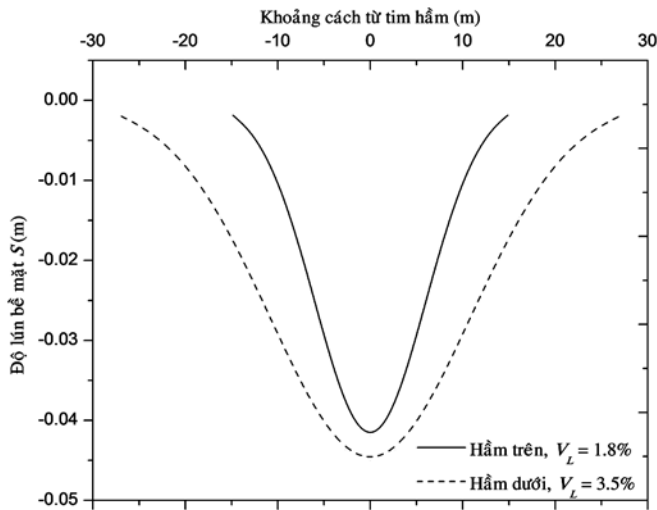
4. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

4.1. Cơ sở lý thuyết

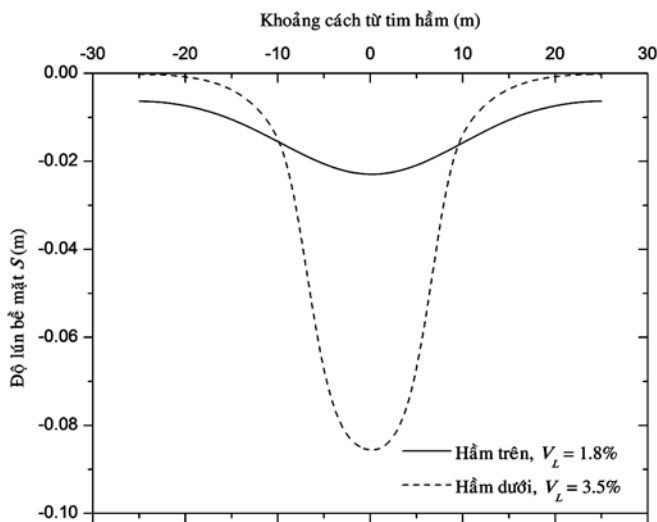
Dựa trên kết quả nghiên cứu tổng quan về vấn đề lún sụt bề mặt trong thi công hầm bằng máy đào TBM. Độ lún này có thể được phân tích theo hai phương pháp.

Phân tích dựa trên các công thức thực nghiệm và kinh nghiệm: các công thức kinh nghiệm dựa trên cơ sở sử dụng đường cong Grauss cho hình dạng trũng lún tại bề mặt được nhiều tác giả nghiên cứu. Dựa trên cơ sở sử dụng đường cong Grauss của Peck (1969) trong công thức (1), New & O'Reilly (1982), Mair (1996) đề xuất các công thức kinh nghiệm tính toán độ lún lớn nhất trên bề mặt tại vị trí đỉnh hầm theo các công thức (2), trong khi đó Herzog (1985) đề xuất các công thức (3) để tính toán độ lún này.

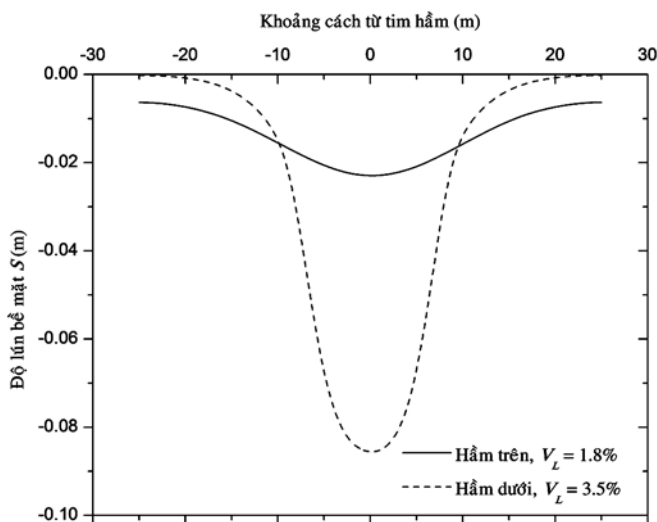
Phương pháp số: độ lún dựa trên các số liệu địa chất thu thập được từ các thí nghiệm, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để tính toán độ lún của kết cấu đất xung quanh đường hầm. Phương pháp này được đánh giá là sử dụng tốt hơn các công thức kinh nghiệm. Nguyễn Đức Toàn (2006) đã tính toán lại độ lún của hầm trong dự án tuyến hầm Italian National Railway bằng phương pháp FEM bao gồm bài toán lún bề mặt đất nền và về độ ổn định bề mặt khiên đào.



(a) Theo Herzog



(b) Theo New & O'Reilly



(c) Theo FEM

Hình 3: Lún bề mặt do từng hầm riêng lẻ theo các phương pháp

Tính toán lại độ lún bề mặt lúc đã có jet-grouting dựa trên cơ sở lý thuyết tính lún bằng

phương pháp phân lớp, với một phần thể tích đất được thay thế bằng phần vữa jet-grouting với modul đàn hồi, trọng lượng riêng, góc ma sát và lực dính thay đổi so với đất nền ban đầu. Bài toán trở nên phức tạp và sẽ mất nhiều thời gian. Do đó, phần mềm PLAXIS 2D dựa trên cơ sở phương pháp phần tử hữu hạn được sử dụng để giải quyết bài toán lún bề mặt khi sử dụng jet-grouting, sử dụng mô hình vật liệu đất nền theo mô hình Mohr-Culomb để đánh giá hiệu quả giảm lún với vữa jet-grouting đã đạt đủ cường độ.

4.2. Phương pháp nghiên cứu

4.2.1. Công thức kinh nghiệm

Độ lún bề mặt được giả thiết là làm việc xấp xỉ theo đường cong Gauss (Peck 1969) như sau:

$$S = S_{max} \exp\left(\frac{-y^2}{2i^2}\right) \quad (1)$$

Độ lún lớn nhất tại bề mặt được tính toán theo công thức kinh nghiệm theo Herzog (1985) và New & O'Reilly (1982).

Theo Herzog (1985):

$$S_{max} = 0,785(\gamma Z_o + P_s) \left(\frac{D^2}{iE}\right) \quad (2)$$

Theo New & O'Reilly (1982):

$$S_{max} = \frac{0,313V_L D^2}{i} \quad (3)$$

trong đó: S - độ lún bề mặt, S_{max} - độ lún lớn nhất tại tim hầm, y - khoảng cách từ tim hầm, i - khoảng cách từ tim hầm đến điểm uốn của đường cong Gauss, γ - khối lượng riêng trung bình của các lớp đất, Z_o - độ sâu đặt hầm tính từ mặt đất đến tim hầm, P_s - tải trọng chất thềm, D - đường kính vỏ hầm, E - modul đàn hồi trung bình đất nền, V_L - thể tích mất mát đất tính cho 1 mét dài.

4.2.2. Phương pháp phần tử hữu hạn

Phần mềm PLAXIS 2D được sử dụng mô hình hoá cho phân tích độ lún bề mặt dựa trên thể tích V_L . Mô hình tính toán được lựa chọn theo

mô hình Morh - Culomb, cho bài toán thoát nước (Drain), với vật liệu chủ yếu là các lớp đất cát, và không xét các loại tải trọng tác dụng trên bề mặt để có thể so sánh các kết quả nghiên cứu bằng công thức kinh nghiệm. Bài toán xem như không có tải trọng của các công trình bên trên, theo giả thiết vùng “Green field” của các trường hợp tính toán theo công thức kinh nghiệm của O’Reilly và của Herzog.

5. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

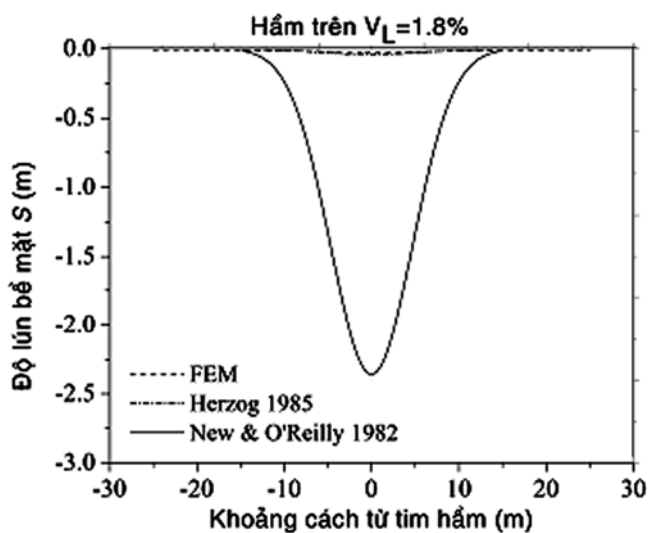
5.1. Độ lún bề mặt trước khi gia cố

5.1.1. So sánh độ lún từng hầm riêng biệt

Chênh lệch độ lún giữa 2 tuyến hầm (hầm trên và hầm dưới) bằng 3 phương pháp bao gồm tính theo Herzog, theo O’Reilly và phương pháp phần tử hữu hạn, được thể hiện trong Hình 3.

5.1.2. So sánh kết quả tính lún giữa các phương pháp

Kết quả tính toán độ lún bề mặt theo các phương pháp được thể hiện trong Hình 4.

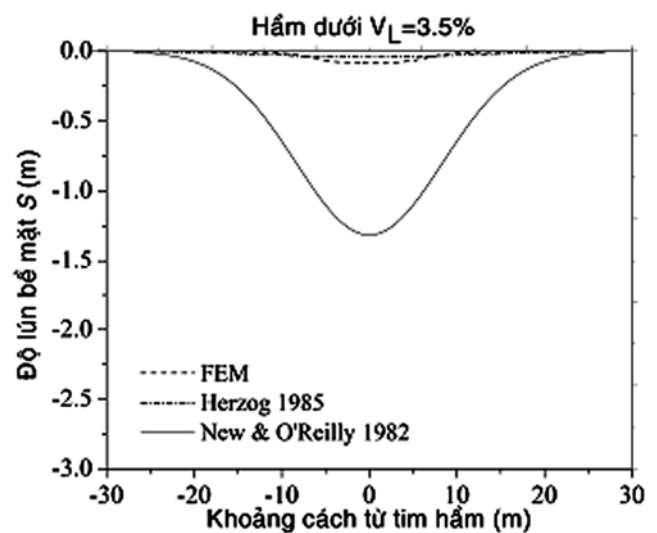


Nhận xét chung:

Độ lún lớn nhất tại bề mặt đối với hầm trên (chiều sâu đặt hầm nhỏ hơn) luôn lớn hơn trường hợp hầm bên dưới (có chiều sâu đặt hầm lớn hơn) ứng với một giá trị V_L . Điều này dẫn đến kết quả là hầm đặt càng sâu bên dưới mặt đất thì mức độ ảnh hưởng đến bề mặt càng giảm. Hình 4 cho thấy ảnh hưởng lún bề mặt theo phương ngang tại mặt cắt được phân tích theo công thức kinh nghiệm của Herzog (1985) và phương pháp FEM là gần bằng nhau, và nhỏ hơn rất nhiều so với trường hợp tính theo O’Reilly (1982).

5.2. Giải pháp sử dụng phụt vữa cao áp

Với ý nghĩa lịch sử quan trọng của các toà nhà hiện hữu trong nội ô thành phố Hồ Chí Minh, yêu cầu đảm bảo độ lún tối đa nằm trong giới hạn cho phép. Nhà hát thành phố là một công trình mang ý nghĩa quan trọng, và được đề xuất hạn chế lún bằng cách sử dụng jet -grouting. Phương án sử dụng vữa được đề xuất trong bản thiết kế sơ bộ, sử dụng dạng khung bao quanh 2 tuyến hầm đang đi trùng tim (Hình 1b).



Hình 4. Lún bề mặt quanh tuyến hầm khi chưa gia cố Phụt vữa cao áp.

Tuy nhiên, đây chỉ là phương án sơ bộ, các kết quả chưa được tính toán chi tiết với độ cứng vữa như thế nào, bề dày tường vữa phun bao nhiêu sẽ đảm bảo độ lún bề mặt nằm trong phạm vi cho phép. Nghiên cứu này tập trung

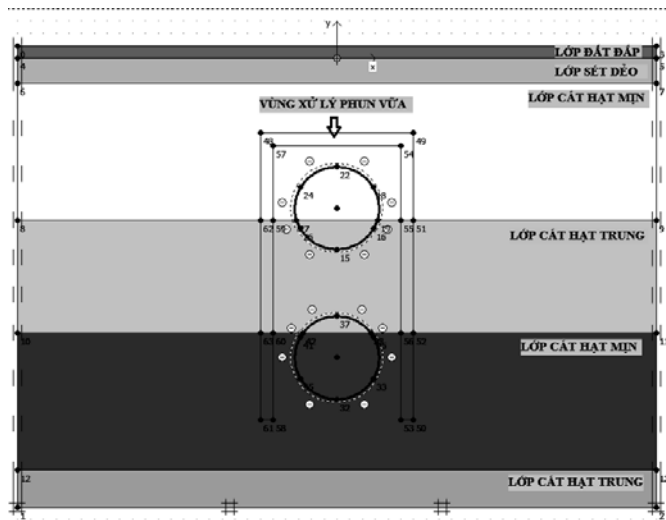
tìm ra đặc trưng phù hợp của vữa bao gồm độ cứng vữa (modul đàn hồi E) và kích thước hình học (bề dày tường vữa phun δ). Trong nghiên cứu này, tác giả đề xuất sử dụng sơ đồ kết cấu như đề xuất trong thiết kế sơ bộ, thay đổi giá trị

modul đàn hồi E trong khoảng 100 MPa đến 5000 MPa, và bề dày tường xem như bằng nhau cho tường đứng và tường ngang, lấy giá trị δ trong phạm vi 0,4 m đến 3,5 m. Từ đó khảo sát mối quan hệ giữa 2 yếu tố đặc trưng trên với độ lún của bề mặt. Và đề xuất một giá trị modul và bề dày tường phù hợp cho địa chất khu vực thành phố để đạt được độ lún như mong muốn.

Với các tải trọng bên trên tại vị trí khảo sát do các tòa nhà và các tuyến đường hiện hữu, đã trở nên ổn định qua nhiều năm khai thác. Do đó, trong nghiên cứu này bỏ qua sự tác động của các tải trọng này lên sự lún sụt của bề mặt. Tức là xem khu vực bên trên là trống trải (green field) trong quá trình tính toán.

5.2.1. Số liệu đầu vào

Mô hình tính toán sử dụng PLAXIS 2D được thể hiện trong Hình 5, trong đó bề dày được thay đổi, khoảng cách từ tim hầm đến vách trong tường được giữ nguyên là 5m.



Hình 5: Mô hình tính sử dụng PLAXIS 2D

Trong bài nghiên cứu này, các giá trị được thay đổi như đã đề cập bên phần trên, chi tiết độ thay đổi như sau:

- Bề dày δ thay đổi như sau: 0,4 m; 0,5 m; 1,0 m; 1,5 m; 2,0 m; 2,5 m; 3,0 m; 3,5 m.
- Modul đàn hồi E thay đổi như sau: 100 MPa; 500 MPa; 1000 MPa; 2000 MPa; 5000 MPa.
- Các thông số còn lại để mô hình tính toán được giữ nguyên trong các trường hợp thay đổi

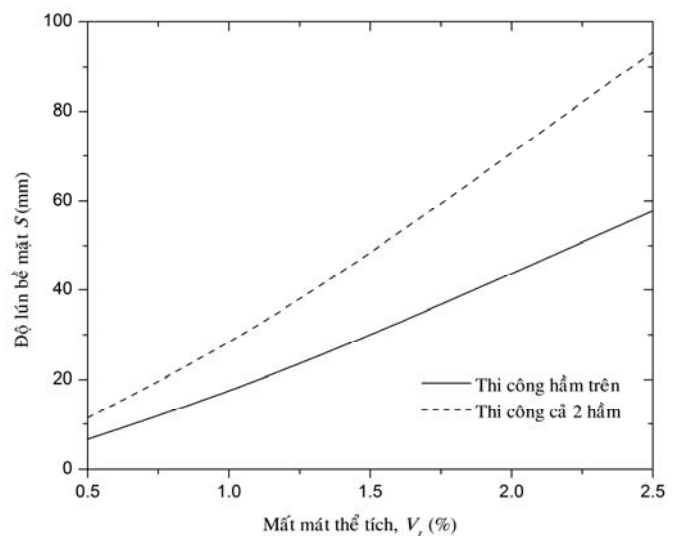
giá trị δ và E . Và được lấy trong Bảng 4 bên dưới.

Bảng 4: Các thông số jet -grouting được sử dụng trong mô hình (Almer 2001, Bzowka 2004)

	Đơn vị	Giá trị
Bề dày δ	m	Thay đổi
Trọng lượng riêng không bão hoà $\gamma\text{-Unsaturated}$	KN/m ³	20
Trọng lượng riêng bão hoà $\gamma\text{-Saturated}$	KN/m ³	22
Modul đàn hồi E_{ref}	KN/m ²	Thay đổi
Hệ số poisson ν		0.2
Lực dính c	KN/m ²	100
Góc ma sát ϕ	độ	30
Góc giãn nở ψ	độ	0
Hệ số thấm ngang K_x	m/ngày	0.5
Hệ số thấm đứng K_y	m/ngày	0.5

Mô hình tính toán sử dụng chương trình Plaxis 2D có xử lý bằng vữa phun được thể hiện qua Hình 10.

Mối quan hệ giữa giá trị mất mát thể tích V_L (%) và độ lún bề mặt S được biểu diễn thành các đường cong thể hiện trong Hình 6 bên dưới, cho 02 trường hợp chỉ do một hầm trên gây ra và do cả hai hầm gây ra.



Hình 6: Mối quan hệ độ lún S và V_L

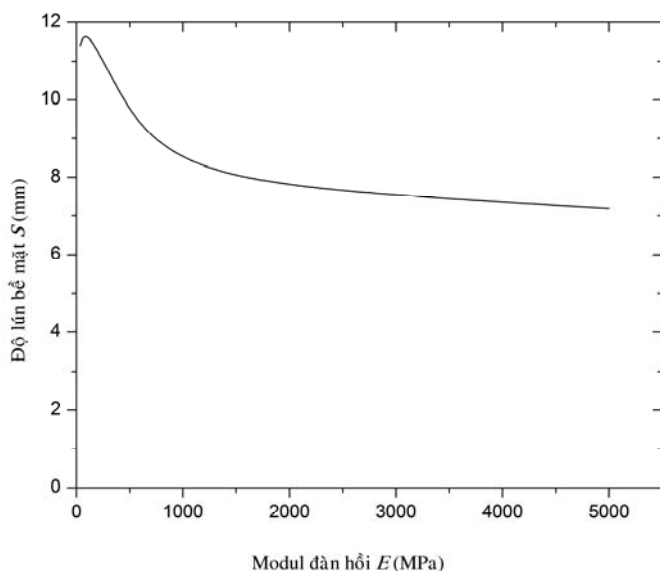
Thực tế, nếu đảm bảo được các yêu cầu kỹ thuật trong thi công đào hầm bằng máy TBM, với các chuyên gia nhiều kinh nghiệm thì độ lún có thể được hạn chế thông qua giá trị V_L . Trong trường hợp thi công trong địa chất chủ

yếu là cát thì giá trị V_L có thể lấy trong khoảng 0.3% đến 0.8% (Nguyễn Đức Toàn 2006), nghiên cứu này sử dụng giá trị $V_L = 0,5\%$ cho toàn bộ phân tích.

5.2.2. Kết quả tính toán

a) Quan hệ $E - S$ với δ cố định

Tính toán ban đầu với các giá trị modul đàn hồi thay đổi trong khoảng rộng (100 MPa; 500 MPa; 1000 MPa; 2000 MPa; 5000 MPa) để khảo sát hiệu quả hạn chế lún theo modul đàn hồi với giá trị δ cố định bằng 1m. Giá trị $\delta = 1$ m là đường kính cọc vữa phun được sử dụng phổ biến. Kết quả tính toán biểu diễn trong Hình 7 bên dưới.



Hình 7: Quan hệ modul E và độ lún bề mặt ứng với $\delta = 1$ m

Từ kết quả tính toán và đồ thị về mối quan hệ cường độ vữa phun sau đông cứng (Modul đàn hồi E) và độ lún (bao gồm lún bề mặt và lún lớn nhất trong khu vực quanh đường hầm), cho thấy:

Khi giá trị E bắt đầu tăng từ 35,35 MPa lên 100 MPa, thì độ lún tăng lên và tạo nên đỉnh của đường cong. Nguyên nhân này là do vật liệu đất ban đầu với trọng lượng riêng trung bình là $\gamma = 19,98 \text{ KN/m}^3$ được thay thế bằng đất trộn với vữa phun có $\gamma = 22 \text{ KN/m}^3$, làm tăng trọng lượng bản thân đất nền và gây tăng độ lún ban đầu.

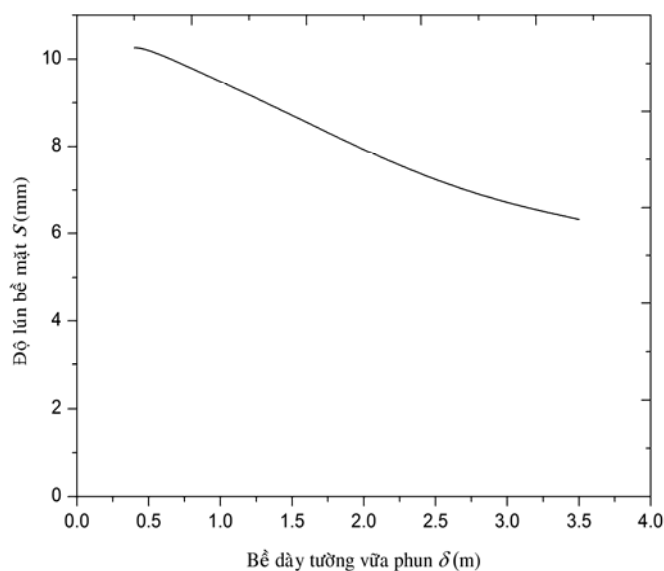
Khi giá trị E tăng lên từ 100 MPa đến 1000 MPa thì độ lún bề mặt cũng như độ lún lớn nhất bắt đầu giảm nhanh. Từ 11.957 mm xuống còn 8.344 mm cho độ lún bề mặt, và từ 20.26 mm xuống còn 16.54 mm cho độ lún lớn nhất.

Khi giá trị E tăng lên từ 1000 MPa đến 5000 MPa, thì độ lún cũng giảm dần. Tuy nhiên, tốc độ giảm này chậm hơn so với trường hợp giá trị E thay đổi từ 100 MPa đến 1000 MPa.

Từ kết quả so sánh giá trị độ dốc cho thấy: hiệu quả hạn chế lún tốt hơn khi sử dụng vữa có độ cứng thay đổi từ 100 MPa đến 1000 MPa. Với giá trị E lớn hơn 1000 MPa, độ lún có giảm nhưng mức độ giảm không đáng kể, lại gây khó khăn trong việc tạo nên hỗn hợp vữa có thể tạo ra cường độ cao.

b) Quan hệ $\delta - S$, với E cố định

Cố định giá trị modul đàn hồi $E = 500$ MPa (đây là giá trị modul thường được sử dụng trong trường hợp đất nền là đất cát), thay đổi bề dày tường vữa phun δ (trong khoảng 0.4 m; 0.5 m; 1.0 m; 1.5 m; 2.0 m; 2.5 m; 3.0 m; 3.5 m) để khảo sát mối quan hệ giữa bề dày tường vữa phun với hiệu quả hạn chế lún. Kết quả tính toán được thể hiện trong Bảng 7 và được biểu diễn trên đồ thị ở Hình 8.



Hình 8: Quan hệ bề dày tường vữa phun và độ lún khi $E = 500$ MPa

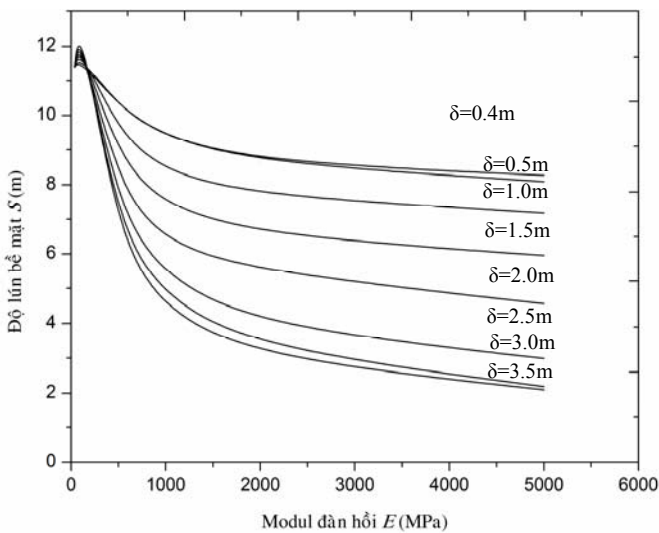
Từ kết quả tính toán và đồ thị thể hiện mối quan hệ giữa bề dày tường vữa phun δ và độ lún khi giá trị modul đàn hồi cố định $E = 500$

MPa, nhận thấy hiệu quả giảm độ lún gần như tuyến tính so với giá trị bề dày δ .

Từ đó cho thấy, sự thay đổi giá trị δ là tuyến tính, nên giá trị δ được lựa chọn sử dụng sẽ được chọn tương ứng trong mối quan hệ với modul đàn hồi E . Đồng thời, ưu tiên lựa chọn δ nằm trong phạm vi giá trị đường kính cột được thi công bởi các thiết bị và máy móc thông thường vào khoảng 0,5 m đến 2 m.

c) Quan hệ E - δ - S cho độ lún bề mặt

Trong nội dung tính toán này, giá trị E thay đổi trong phạm vi từ 100 MPa đến 5000 MPa trong mối quan hệ với sự thay đổi của bề dày tường vữa phun δ , về độ lún tại bề mặt đất nền bên trên. Hình 9 thể hiện các giá trị tính toán và được biểu diễn thành các đường cong trên biểu đồ của bên dưới



Hình 9: Quan hệ E - δ - S tại bề mặt khi E = 100 - 5000 MPa

Từ biểu đồ trên cho thấy mức độ giảm lún đạt hiệu quả cao khi modul đàn hồi thay đổi từ 100 MPa đến 1000 MPa.

6. THẢO LUẬN

Độ lún bề mặt khi thi công hầm trong trường hợp không có jet-grouting tính toán theo phương pháp FEM và theo công thức kinh nghiệm cho các kết quả chênh lệch nhau. Kết quả tính toán độ lún theo FEM cho kết quả tương đương với trường hợp tính toán theo

công thức kinh nghiệm của Herzog (1985). Trong khi đó, độ lún được tính theo O'Reilly cho kết quả lớn hơn, vì quá trình tính toán độ lún này không phụ thuộc vào độ cứng đất nền nên không phản ánh được hết các yếu tố ảnh hưởng đến độ lún. Điều này cũng phù hợp với kết quả tính toán độ lún theo các công thức thực nghiệm và theo phương pháp FEM trong nghiên cứu của Nguyễn Đức Toàn (2006).

Độ lún trong trường hợp chỉ có một hầm được thi công, thì độ lún của hầm đặt sâu hơn sẽ nhỏ hơn trường hợp hầm đặt cạn.

Khi sử dụng giải pháp jet -grouting như Hình 5, mức độ giảm lún thay đổi dựa trên sự thay đổi của modul đàn hồi và bề dày tường vữa phun, cụ thể.

- (1) Khi giá trị modul E quá nhỏ (khoảng 100 MPa) thì độ lún bề mặt tăng lên, tức là hiệu quả sử dụng vữa chưa đạt yêu cầu.
- (2) Khi giá trị E thay đổi từ 100 MPa đến 1000 MPa, khi E tăng 1MPa thì độ lún giảm $4,01 \times 10^{-3}$ mm.
- (3) Khi giá trị E thay đổi từ 1000 MPa đến 5000 MPa, khi E tăng 1 MPa thì độ lún giảm $0,29 \times 10^{-3}$ mm.
- (4) Khi độ cứng vữa phun là $E = 300$ MPa, với δ tăng lên 1m thì độ lún bề mặt S giảm 1,266 mm

So với trường hợp sử dụng ống thép tạo thành khung vòm xung quanh kết cấu hầm do Tan & Ranjith sử dụng trong nghiên cứu của mình với modul đàn hồi của thép lấy bằng 70 GPa, thì hiệu quả giảm lún đạt đến 50% đối với dạng khung chữ nhật (giống với nghiên cứu này), và khoảng 40% cho trường hợp sử dụng vòm hình móng ngựa.

Trong trường hợp sử dụng giá trị lớn nhất của modul đàn hồi jet-grouting là 5000Mpa, thì hiệu quả hạn chế lún giảm từ 11,4 mm xuống còn 7,184 mm (giảm 37%). Từ đó, cho thấy kết quả tính toán là phù hợp với nghiên cứu của Tan & Ranjith.

7. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

7.1. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu, rút ra các kết luận sau:

- (1) Độ lún bề mặt phụ thuộc vào chiều sâu đặt hàm, nếu hàm càng sâu thì độ lún bề mặt càng nhỏ.
- (1) Giá trị $V_L = 0,5\%$ là giá trị được lấy theo kinh nghiệm và độ lún bề mặt tăng theo độ tăng của V_L .
- (2) Hiệu quả giảm độ lún bề mặt bằng cách sử dụng jet-grouting phụ thuộc vào 2 yếu tố chính là cường độ vữa phun được sử dụng và bề dày của kết cấu vữa phun.
- (3) Bề dày của kết cấu vữa phun ảnh hưởng mạnh đến độ lún bề mặt khi modul đàn hồi E của vữa nằm trong khoảng [100, 1000] MPa và độ lún ít ảnh hưởng hơn khi $E > 1000$ MPa. Nói cách khác, với địa chất khu vực thành phố Hồ Chí Minh, thì $E \leq 1000$ MPa kết hợp với bề dày thích hợp sẽ giảm độ lún bề mặt cần thiết.

7.2. Kiến nghị

Từ các kết quả nghiên cứu trên, tác giả đề xuất sử dụng jet - grouting để giảm độ lún bề mặt tại khu vực Nhà hát thành phố, đảm bảo độ lún nhỏ hơn 10 mm theo yêu cầu, với các đặc trưng vữa như sau:

- (1) Giá trị modul đàn hồi của vữa phun sau khi đạt cường độ lấy trong khoảng từ 300 MPa đến 500 MPa, dễ dàng tạo ra tỷ lệ nước và xi măng phù hợp với địa chất khu vực cho độ cứng như trên. Giá trị E này cũng gần với giá trị E được sử dụng phổ biến trên thế giới khoảng 500 MPa.
- (2) Giá trị bề dày tường vữa phun δ nên lấy trong khoảng từ 0,7 m đến 1,5 m, cũng là giá trị đường kính cột vữa phun được sử dụng nhiều trên thế giới và có thể thi công dễ dàng trong điều kiện đất cát của khu vực thành phố Hồ Chí Minh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Burke, Jet Grouting Systems: Advantages and Disadvantages, *Proceedings of the Con-*

- ference American Society of Civil Engineering* (2004), Orlando, Florida. (in CDRom)
2. Ban Quản lý Đường sắt Đô thị - Tài liệu thiết kế (2010)
3. Bzowka, Computational model for jet-grouting pile-soil interaction, *Studia Geotechnica et Mechanica*, Polan XXVI (2004), trang 3-4.
4. B. Maidl, Mechanised Shield Tunnelling, Wiley-VCH, 1st edition (1996), 446 trang.
5. E. C. Almer, Grouting for Pile Foundation Improvement, PhD Thesis, Delft University of technology (2001), 217 trang.
6. Hoang-Hung Tran-Nguyen & Binh Tang Thanh Nguyen, Effect of soilcrete characteristics on surface settlement during tunneling in Vietnam, *MJCE* (2013), trang 25-39
7. M. P. O'Reilly and B. M. New, Settlement aboved tunnels in the United Kingdom - Their magnitude and prediction, *Brighton, Engl, Inst of Mining & Metallurgy*, Volume 20 (1982), Issue 1, trang 173-181
8. Nguyen Duc Toan, TBM and Lining - Essential Interface, Master of Science Thesis, COREP, Turin, Italy (2006). 174 trang.
9. Nguyễn Tăng Thanh Bình & Trần Nguyễn Hoàng Hùng, Đặc trưng của đất-xi dùng công nghệ phụt vữa cao áp (Jet grouting) để giảm lún bề mặt khi thi công tuyến metro số 1 bằng máy khiên đào (TBM) ở TP. Hồ Chí Minh, *Tạp chí GTVT* (12/2011), trang 23-26.
10. R. Essler and H. Yoshida, Jet Grouting, *Ground Improvement*, edited by Moseley & Kirsch(2004), Spon Press, trang 160-196
11. R. B. Peck, Deep excavations and tunneling in soft ground, *The 7th International Conference Soil Mesh* (1969), Mexico City, State of the art 3, trang 225-290
12. W. L. Tan and P. G. Ranjith, Numerical analysis of pipe group reinforcement in soft ground tunneling, *16th International Conference On Engineering Mechanics* (2003), ASCE, Settle, USA. (in CDRom).