

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

ThS. NGUYỄN TĂNG THANH BÌNH;
TS. TRẦN NGUYỄN HOÀNG HÙNG
Trường Đại học Bách Khoa TP. Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Lún bề mặt trong quá trình thi công các công trình ngầm sẽ ảnh hưởng đến các công trình hiện hữu trên mặt đất. Tuyến Metro Số 1 với chiều sâu đặt hầm khoảng 20 m đi bên dưới nhiều công trình quan trọng có giá trị lịch sử cao ở TP. HCM. Gia cố đất nền xung quanh tuyến hầm bằng hỗn hợp đất-xi (soilcrete) được tạo bằng phương pháp khoan phụt vữa cao áp (Jet Grouting) được xem là một giải pháp hiệu quả để giảm lún bề mặt. Tuy nhiên, đặc trưng của soilcrete cho địa chất của TP. HCM vẫn chưa được nghiên cứu nhiều. Nghiên cứu này nhằm tìm ra mối quan hệ giữa các đặc trưng soilcrete (modul đàn hồi và bề dày gia cố) với lún bề mặt tại khu vực Nhà hát thành phố, nằm rất gần tuyến metro, với độ lún cho phép là 10 mm.

Từ khoá: Jet Grouting, đất-xi, lún bề mặt, khiên đào hầm, metro, công trình ngầm.

Abstract: Excess surface settlement during construction of underground structures such as tunnels is concerned for historic buildings in big cities. A metro line No. 1 located at 20 m deep under ground surface will be built in HCMC soon, and this metro crosses the City underneath many historic buildings. Reinforcement soil mass surrounding the tunnel by soilcrete using jet grouting is considered a feasible solution to reduce surface settlement. However, appropriate characteristics of soilcrete for geological conditions of HCMC have not been thoroughly investigated. This study investigated the relationship between the characteristics of soilcrete (young modulus and thickness) and surface settlement at the city opera house, the historic building close to the metro, with a maximum allowable surface settlement of 10 mm.

Keywords: Jet Grouting, soilcrete, surface settlement, tunnel boring machine, metro, underground construction.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các thành phố (TP) lớn của Việt Nam, hệ thống giao thông trở nên quá tải với lưu lượng xe cộ ngày càng cao. Trong khi đó, diện tích đất sử dụng cho giao thông gần như rất khó gia tăng. Do đó, một số tuyến Metro được đề xuất để giải quyết vấn đề giao thông trong các TP lớn như TP.HCM và Hà Nội. Tuy nhiên, với lượng dân cư đông và mật độ xây dựng cao ở các TP lớn, các tuyến Metro thường đi ngầm dưới lòng đất. Theo hồ sơ thiết kế sơ bộ, tuyến Metro số 1 có đoạn đi ngầm dài 2.6 km được thi công bằng máy đào TBM - Tunnel Boring Machine (Tài liệu thiết kế 2010, Ban quản lý Đường Sắt - Đô Thị - QLĐS-ĐT).

Việc thi công đào hầm bằng máy đào TBM có thể gây lún bề mặt cho khu vực tuyến hầm đi qua (Maidl 1996). Tuyến Metro số 1 này đi rất gần và bên dưới Nhà hát lớn thành phố, công trình có ý nghĩa lịch sử cao và chỉ cho phép độ lún bề mặt tối đa 10 mm. Vì vậy, việc thi công Metro phải có giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng đến Nhà hát lớn thành phố.

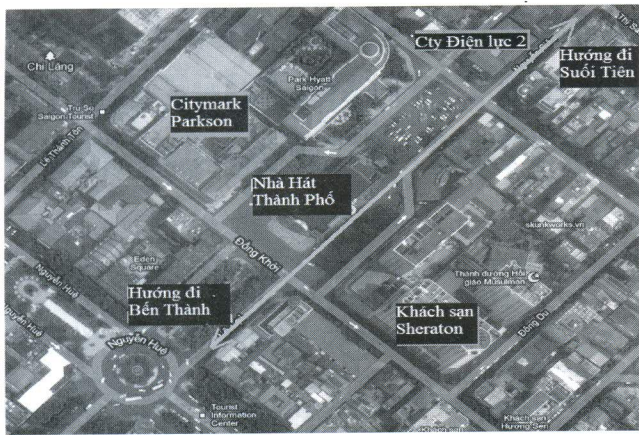
Công nghệ phụt vữa áp lực cao (Jet Grouting), dùng tia nước và khí áp lực cao (1 – 60 MPa) để cắt đất tại chỗ và trộn với vữa phun xi măng để tạo ra hỗn hợp đất-xi măng (Soilcrete) có cường độ tốt hơn đất tại chỗ (Burke 2004), được đề xuất sử dụng để gia cố hạn chế độ lún tại khu vực tuyến hầm đi ngang qua Nhà hát lớn thành phố. Công nghệ Jet Grouting được phát triển từ thập niên 70 ở Nhật và được ứng dụng rộng rãi ở Châu Âu và Mỹ từ thập niên 80 (Essler & Yoshida 2004). Việc thi công Jet Grouting không đòi hỏi mặt bằng thi công lớn và đào phá toàn bộ từ lớp mặt đến độ sâu gia cố. Vì vậy, Jet Grouting hiệu quả trong các gia cố chống lún cho các công trình có mặt bằng thi công hạn chế. Đặc biệt, công nghệ này tỏ ra rất linh hoạt và thích hợp thi công trong những thành phố lớn có dân cư đông đúc và không gian chật hẹp cho thi công như TP. HCM. Tuy nhiên, nghiên cứu ứng dụng công nghệ Jet Grouting để giảm lún bề mặt trong quá trình thi công hầm vẫn chưa được thực hiện cho điều kiện địa chất TP. HCM, mặc dù công nghệ Jet Grouting đã được nghiên cứu ứng dụng chống thấm cho các công trình thủy lợi ở Việt Nam từ năm 2004 (Nguyễn Quốc Dũng et al. 2010). Bài báo tập trung nghiên cứu đặc trưng đất-xi măng (soilcrete) đến lún bề mặt trong quá trình thi công tuyến Metro số 1 cho điều kiện địa chất TP. HCM.

2. ĐIỀU KIỆN TỰ NHIÊN

2.1. Giới thiệu về dự án Metro số 1

Tuyến Metro số 1 (Bến Thành – Suối Tiên) được Ủy Ban Nhân Dân TP 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 QLĐS-ĐT). Tuyến Metro này dài 19.7 km, trong đó có 17.1 km đi trên cao và 2.6 km đi ngầm. Đoạn ngầm đi dưới nhiều công trình quan trọng sẵn có ở TP. HCM (Hình 1).

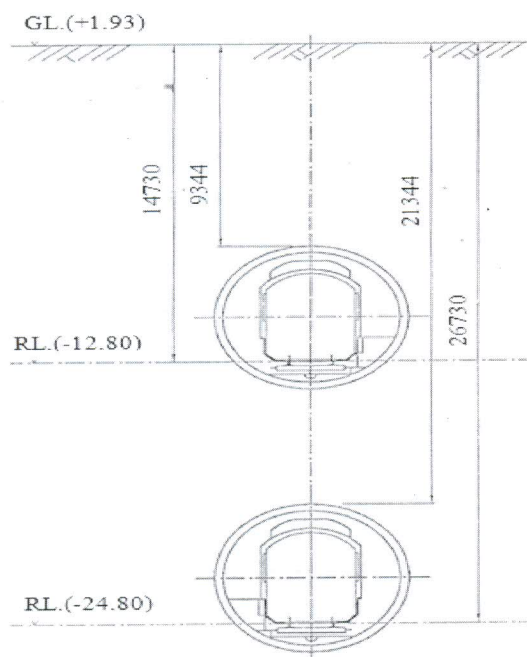
Vị trí tuyến hầm tại khu vực Nhà hát TP được sử dụng cho nghiên cứu này. Trong đó mặt cắt ngang tiêu biểu của tuyến hầm tại vị trí đi qua khu vực Nhà hát TP thể hiện trong Hình 2, với các thông số thể hiện trong Bảng 1.



Hình 1. Bình đồ đoạn tuyến Metro Số 1 đi bên dưới Nhà hát Thành phố

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

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



Hình 2. Mặt cắt ngang tiêu biểu tuyến hầm đi qua Nhà hát thành phố (Ban QLDS-ĐT 2010)

	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

Bảng 2. Số liệu địa chất tại mặt cắt nghiên cứu (Ban QLDS-ĐT 2010)

2.2. Điều kiện địa chất

Địa chất khu vực được sử dụng cho vị trí mặt cắt tuyến hầm đi qua Nhà hát TP thể hiện trong Bảng 2.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1 Cơ sở lý thuyết

Dựa trên cơ sở sử dụng đường cong Grauss, Peck (1969) đề xuất hình dạng trũng lún bề mặt đất nền bên trên hầm theo đường cong này. Herzog (1985), New & O'Reilly (1982), và Mair (1996), đã đề xuất các công thức kinh nghiệm tính toán độ lún lớn nhất trên bề mặt tại vị trí đỉnh hầm. Trong khi đó, để hạn chế độ lún bề mặt trên, Tan & Ranjith (2003) đã đề xuất sử dụng cọc thép tạo thành dạng vòm xung quanh kết cấu hầm để giảm độ lún bề mặt, phương pháp này giảm được 40-50% độ lún ban đầu.

Độ lún bề mặt trong trường hợp chưa gia cố dùng Jet Grouting được phân tích dựa trên các công thức kinh nghiệm. Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) (dùng phần mềm PLAXIS 2D v8.5) được sử dụng để mô phỏng lún bề mặt khi thi công hầm bằng máy khiên đào, và áp dụng phân tích khả năng giảm lún khi đã gia cố sử dụng Jet Grouting tạo một hệ khung bao xung quanh kết cấu hầm. Độ lún bề mặt được khảo sát theo sự biến thiên của đặc trưng của soil-crete (modul đàn hồi và bề dày tường đất-xi).

3.2. Phương pháp sử dụng

3.2.1 Công thức kinh nghiệm

Độ lún bề mặt được giả thiết là làm việc xấp xỉ theo đường cong Grauss (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 theo kinh nghiệm:

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):

$$S_{max} = \frac{0.313V_L D^2}{i} \quad (3)$$

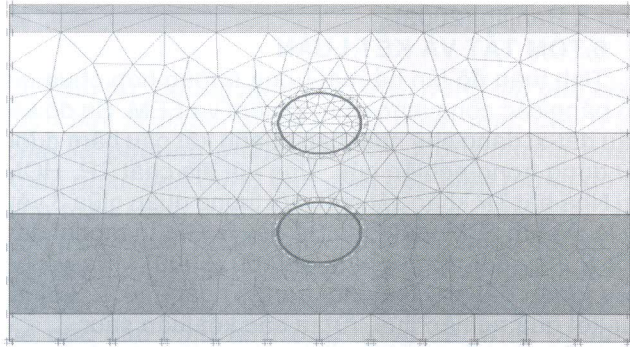
trong đó: S - độ lún bề mặt, S_{max} - độ lún lớn nhất tại tim hầm, y - khoảng cách từ tim hầm, i - khoảng cách từ tim hầm đến điểm uốn của đường cong Grauss, γ - khối lượng riêng trung bình của các lớp đất, Z_o - độ sâu đặt hầm tính từ mặt đất đến tim hầm, P_s - tải trọng chất thêm, D - đường kính vỏ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

3.2.2 FEM

Phần mềm Plaxis 2D v8.5 được sử dụng để mô phỏng lún bề mặt dựa trên giá trị V_L . Mô hình Mohr-Culomb được chọn để mô phỏng ứng xử đất nền, cho bài toán thoát nước (Drain), và bỏ qua các loại tải trọng tác dụng trên bề mặt để có thể so sánh các kết quả nghiên cứu bằng công thức kinh nghiệm. Hình 3 thể hiện mô hình tiêu biểu cho mặt cắt hầm nghiên cứu sử dụng

Plaxis 2D v8.5.

Giá trị độ lún phụ thuộc vào giá trị V_L tùy theo từng loại đất giá trị này có thể thay đổi trong phạm vi từ 0.3% đến 5.0% (Nguyễn Đức Toàn 2006). Kết quả tính toán độ lún bề mặt dưới đây tương ứng với giá trị V_L là 1.8% và 3.5% (để tiện so sánh với phương pháp tính bằng kinh nghiệm).



Hình 3. Mô hình phân tích hầm Metro 1 bằng Plaxis 2D v8.5.

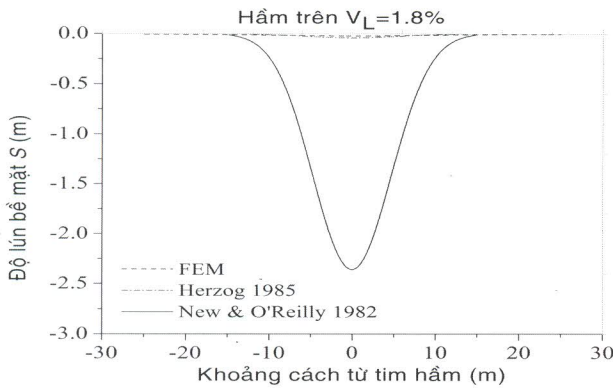
4. PHÂN TÍCH VÀ KẾT QUẢ

Để đạt mục tiêu nghiên cứu, độ lún bề mặt được phân tích với các trường hợp sau:

1. Khi nền chưa được gia cố dùng Jet Grouting, phân tích độ lún với các trường hợp đào hầm trên trước rồi đào hầm dưới sau.
2. Trường hợp đào hầm với nền đã được gia cố bằng Jet Grouting và tường đất-xi đạt đủ cường độ, xét trường hợp đào hầm bên trên trước và đào hầm bên dưới sau.
3. Khảo sát mối quan hệ độ lún bề mặt với giá trị modul đàn hồi và bề dày tường đất-xi.

4.1. Kết quả tính toán độ lún của nền chưa gia cố

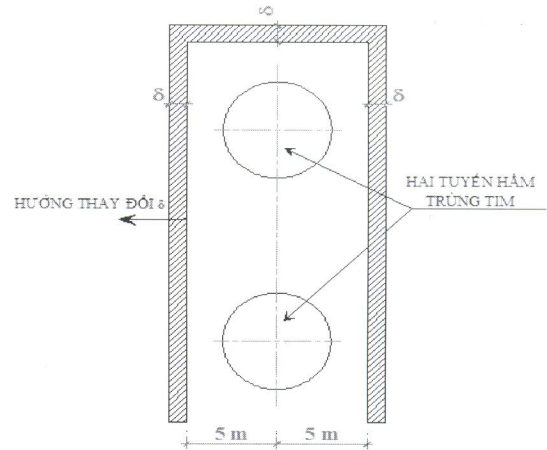
Kết quả tính toán độ lún bề mặt theo các phương pháp được thể hiện trong Hình 4.



với trường hợp tính theo O'Reilly (1982).

4.2. Lún bề mặt khi nền được gia cố sử dụng Jet Grouting

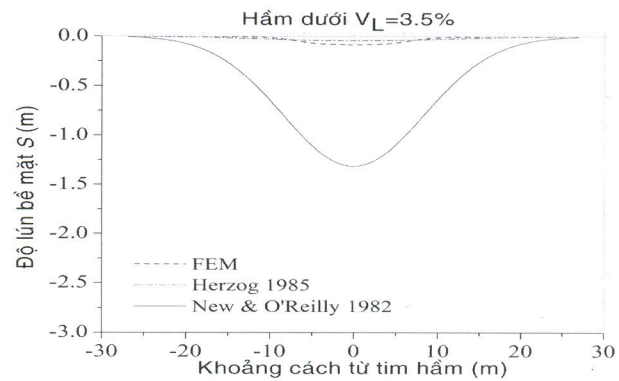
Gia cố dùng Jet Grouting dạng khung chữ nhật bao quanh hai tuyến hầm trùng tim (Hình 5). Các thông số của tường đất-xi sử dụng trong mô hình tính toán bằng PLAXIS 2D v8.5 được thể hiện trong Bảng 3.



Hình 5. Phương án sử dụng Jet Grouting tại vị trí Nhà hát thành phố (Ban QLDS-ĐT 2010)

	Đơn vị	Giá trị
Bề dày δ	m	Thay đổi
γ_{Unsat}	KN/m ³	20
γ_{sat}	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

Bảng 3. Các thông số đặc trưng của đất-xi được sử dụng trong mô hình (Almer 2001, Bzowka 2004)

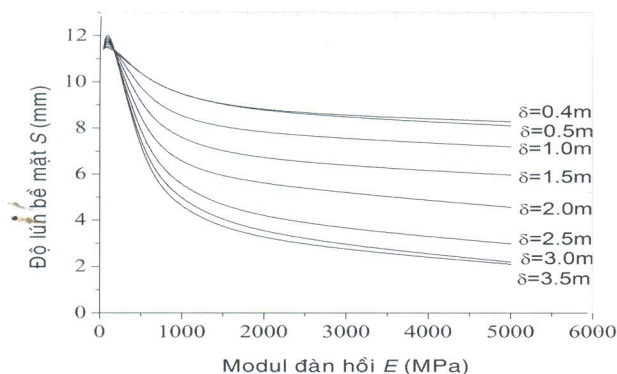


Hình 4. Lún bề mặt quanh tuyến hầm khi chưa gia cố Jet Grouting.

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

Hình 6 thể hiện mối quan hệ của 3 thành phần modul đàn hồi E , bề dày tường soilcrete δ và độ lún bề mặt S , trong trường hợp nền đất được gia cố dùng Jet Grouting trước khi thi công hầm. Độ lún bề mặt được tính toán thông qua giá trị V_L khi thi công đào hầm bằng máy TBM. Với đất cát, 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 vì địa chất khu vực tuyến Metro Số 1 đi qua chủ yếu là đất cát.



Hình 6. Quan hệ $E - \delta - S$ tại bề mặt khi $E = 100 - 5000$ Mpa khi có tường soilcrete.

5. THẢO LUẬN

Độ lún bề mặt khi thi công hầm trong trường hợp không có gia cố sử dụng Jet Grouting tính toán theo 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, độ lún được tính theo O'Reilly (1982) cho kết quả lớn hơn, có thể công thức tính toán độ lún của O'Reilly (1982) không phụ thuộc vào độ cứng đất nền nên không phản ánh được hết các yếu tố ảnh hưởng đến độ lún. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả tính toán độ lún theo các công thức thực nghiệm và FEM trong nghiên cứu của Nguyễn Đức Toàn (2005). Với tỷ lệ chiều sâu đặt hầm trên đường kính hầm $z_0/D = 1.73$ (với $z_0 = 21.8$ m và $D = 12.63$ m), độ lún được tính theo Herzog (1985) là 0.148 m (ứng với $V_L = 3.5\%$), so với kết quả trong nghiên cứu này với $z_0/D = 2.1$ cho hầm trên, độ lún được tính theo Herzog (1985) là 0.042 m (ứng với $V_L = 1.8\%$).

Phương pháp FEM phụ thuộc vào điều kiện địa chất từng khu vực, với địa chất thuộc dự án Italy National Railway trong nghiên cứu của Nguyễn Đức Toàn (2005), cho thấy độ lún bề mặt ứng với $V_L = 1\%$ là 64 mm, trong khi đó dự án tuyến Metro số 1 có địa chất tương đối tốt hơn thì độ lún ứng với $V_L = 1\%$ chỉ 17.1 mm.

Với sơ đồ bố trí hầm khi nền được gia cố sử dụng công nghệ Jet Grouting (Hình 5), mức độ giảm lún tại bề mặt phụ thuộc vào hai yếu tố chính là môđun đàn hồi và bề dày của tường đất-xi sau đông cứng. Trong đó, sự gia tăng môđun đàn hồi, E , đạt hiệu quả cao khi giá trị E thay đổi trong khoảng từ 200 MPa đến 1000 MPa, khi giá trị môđun vượt quá 1000 MPa thì tốc độ giảm lún bề mặt chậm lại. Điều này biểu hiện rõ qua mức độ giảm độ lún tại bề mặt ứng với bề dày tường soilcrete $\delta = 1$ m, như sau:

1. Khi giá trị môđun E quá nhỏ (khoảng 100 MPa) thì độ lún bề mặt tăng lên do trọng lượng đất-xi lớn hơn phần đất nền được thay thế.

2. Khi giá trị E thay đổi từ 200 MPa đến 1000 Mpa, ứng với E tăng 1MPa thì độ lún giảm 4×10^{-3} mm.

3. Khi giá trị E thay đổi từ 1000 MPa đến 5000 MPa, ứng với E tăng 1 MPa thì độ lún giảm 0.3×10^{-3} mm.

Tuy nhiên, hiệu quả giảm lún còn phụ thuộc đặc trưng hình học của soilcrete. Hiệu quả giảm lún thay đổi theo giá trị gần như tuyến tính. So với trường hợp sử dụng ống thép tạo thành khung vòm xung quanh

kết cấu hầm trong nghiên cứu của Tan & Ranjith (2003), với môđun đàn hồi của thép lấy bằng 70 GPa, thì hiệu quả giảm lún đạt đến 50% đối với dạng khung chữ nhật, và khoảng 40% cho trường hợp sử dụng vòm hình móng ngựa. Nghiên cứu này sử dụng khung Jet Grouting chữ nhật, với môđun đàn hồi của soilcrete là 5 GPa, thì hiệu quả giảm lún đạt 37%. Từ đó, cho thấy kết quả tính toán là phù hợp với nghiên cứu của Tan & Ranjith (2003).

6. TÓM TẮT VÀ KẾT LUẬN

Tính toán độ lún bề mặt trong trường hợp chưa gia cố bằng các công thức kinh nghiệm và FEM. Sơ đồ kết cấu đất-xi dạng chữ nhật bao quanh kết cấu hầm được sử dụng trong nghiên cứu. Ứng với địa chất TP. HCM tại Nhà hát TP khảo sát mỗi tương quan giữa 3 yếu tố là Độ lún S , Môđun E và Bề dày δ . Giá trị môđun đàn hồi E thay đổi trong phạm vi [100, 5000] MPa và bề dày tường đất-xi δ thay đổi trong khoảng [0.4, 3.5] m. Từ kết quả nghiên cứu, rút ra các kết luận sau:

1. Độ lún bề mặt phụ thuộc vào chiều sâu đặt hầm, nếu hầm càng sâu thì độ lún bề mặt càng nhỏ.

2. Hiệu quả giảm độ lún bề mặt bằng cách sử dụng Jet Grouting phụ thuộc vào 2 yếu tố chính là Môđun E và Bề dày δ của kết cấu đất-xi.

3. Bề dày của tường đất-xi ảnh hưởng mạnh đến độ lún bề mặt khi môđun đàn hồi E của đất-xi nằm trong khoảng [100, 1000] MPa và độ lún ít ảnh hưởng hơn khi $E > 1$ GPa. Nói cách khác, với địa chất khu vực TP. HCM, thì $E \leq 1$ GPa, kết hợp với bề dày thích hợp sẽ tăng hiệu quả giảm lún bề mặt □

7. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Almer, E. C. (2001), Grouting for Pile Foundation Improvement, PhD Thesis, Delft University of technology, 217 trang.
- [2] Maidl, B. (1996), Mechanised Shield Tunneling, Wiley-VCH, 1st edition, 446 trang.
- [3] Burke (2004), Jet Grouting Systems: Advantages and Disadvantages, *Proceedings of the Conference American Society of Civil Engineering*, Orlando, Florida. (in CDRom)
- [4] Bzowka (2004), Computational model for jet-grouting pile-soil interaction, *Studia Geotechnica et Mechanica*, Polan XXVI, trang 3-4.
- [5] Essler, R. and Yoshida, H. (2004), Jet Grouting, *Ground Improvement*, edited by Moseley & Kirsch(2004), Spon Press, trang 160-196.
- [6] Nguyen Duc Toan (2006), TBM and Lining - Essential Interface, Master of Science, COREP, Turin, Italy. 174 trang.
- [7] Nguyen Quoc Dung (2010), Ứng dụng công nghệ Jet Grouting cho để chống thấm cho công trình thủy lợi, *Hội nghị quốc tế về đập lớn thế giới*, Hà Nội.
- [8] O'Reilly, M. P. and B. M. New (1982), Settlement aboved tunnels in the United Kingdom - Their magnitude and prediction, *Brighton, Engl, Inst of Mining & Metallurgy*, Volume 20, Issue 1, trang 173-181.
- [9] Peck, R. B. (1969), Deep excavations and tunnelling in soft ground, *The 7th International Conference Soil Mesh*, Mexico City, State of the art 3, trang 225-290.
- [10] Tan, W.L., and Ranjith, P.G. (2003), Numerical analysis of pipe group reinforcement in soft ground tunneling, *16th International Conference On Engineering Mechanics*, ASCE, Settle, USA. (in CDRom).