

SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ PHỤT VỮA CAO ÁP GIA CỐ NỀN GIẢM ĐỘ LÚN CÔNG TRÌNH LÂN CẬN TẠI TUYẾN METRO SỐ 1 – THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

Phan Sỹ Liêm*

TÓM TẮT

Title: Using jet-grouting to reinforced soid mass surrounding the tunel and protect the constuction foundation in metro line 1

Từ khóa: Jet-Grouting, lún bề mặt, khiên đào, PTHH

Keywords: Jet-Grouting, surface settlerment, tunnel boring machine, FEM.

Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 07/10/2016;

Ngày nhận kết quả bình duyệt: 28/11/2016;

Ngày chấp nhận đăng bài: 05/01/2017

Tác giả:

KS., Công ty Cổ phần Tư vấn đầu tư GTVT - Sài Gòn

syliem91@gmail.com

Việc thi công hầm bằng công nghệ khiên đào sẽ xuất hiện biến dạng bề mặt đất trong quá trình thi công. Với điều kiện hạn chế về không gian thi công và bảo vệ công trình kiến trúc cổ Nhà hát Thành phố cần đảm bảo yêu cầu kỹ thuật và lúc vận hành khai thác. Tại nghiên cứu này, tác giả nghiên cứu công nghệ Jet-Grouting (cọc Xi măng-đất phụt vữa áp lực cao) gia cố đất nền xung quanh hầm tại vị trí khó khăn trên để giảm lún bề mặt đất và công trình Nhà hát. Phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) được sử dụng để đánh giá độ lún bề mặt đất nền. Từ kết quả tính toán bằng phương pháp PTHH đưa ra quan hệ giữa đặc trưng thông số của cọc XM-Đ (Jet-Grouting) với độ lún bề mặt đất nền trên hầm và góc Nhà hát tại vị trí nguy hiểm nhất, trong điều kiện độ lún mặt đất cho phép nhỏ hơn 10mm.

ABSTRACT

Due to tunneling with tunnel boring machine the surface settlerment will appear. With the restriction on constrution site and have to protection of ancient architicture Opera House building, the tunnel have to be placed ensure technical requirements and operating. In this study, the authors use the Jet-Grouting (Cement piles-high pressure grouting) for reinforcement of surrounding ground tunnels going through the restriction site to reduce surface settlerment and Opera House building. The finite element method (FEM) will be used to evaluate the surface settlerment. From the results calculated by the finite element method will make the relationship between the characteristic parameters of the pile Jet-Grouting with the surface settlerment above the tunnel and the most dangerous locations Opeara House building corner's, with a maximum allowable surface settlement of 10mm.

1. Đặt vấn đề

Với vị thế trung tâm tài chính và văn hóa của cả nước và trong khu vực TP. Hồ Chí Minh (TP.HCM) được xem năng động bậc nhất cả nước và khu vực ASEAN. Với sự phát triển quá nóng về dân số nên tình trạng kẹt xe giờ cao điểm ngày càng lớn. Những năm 90 của thế kỷ trước TP.HCM đã bắt đầu nghiên cứu xây dựng hệ thống Đường sắt đô thị (ĐSĐT). Trên thế giới, tại các thành phố lớn việc xây dựng metro hầu như dưới lòng đất đó cũng là tiêu chí của TP.HCM. Độ sâu trung bình -12 ÷ -25m theo cao độ đỉnh ray và được thi công bằng TBM.

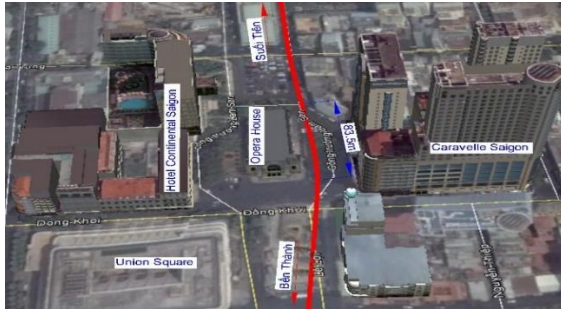
Việc thi công bằng khiên đào ít nhiều dẫn đến lún bề mặt đất tại khu vực. Trong khi đó tìm tuyến chỉ cách mép Nhà Hát Thành Phố (NHTP) dưới 10m tại vị trí nguy hiểm nhất cách tim hầm 9,14m. NHTP được người Pháp xây dựng hơn 100 năm với móng nhà hát bằng cọc cừ (25 cây/m²) Bên cạnh đó, với nghĩa lịch sử và kiến trúc nên việc bảo vệ tòa nhà giảm thiểu lún bề mặt trong điều kiện cho phép bé hơn 10mm (Attewell, 1986) được xem là ưu tiên hàng đầu cần giải quyết gấp trước khi thi công tuyến hầm.

2. Tuyển metro số 1 Tp. HCM

2.1. Giới thiệu về dự án metro số 1

Tuyến ĐSĐT số 1 (Bến Thành – Suối Tiên) dài 19,7km; trong đó có 17,1km đi trên cao và 2,6km đi ngầm. Đoạn ngầm đi trong khu vực dân cư và mật độ xây dựng công trình quan trọng của thành phố xem “hình 1 và hình 2” theo Ban Quản lý đường sắt đô thị (BQLĐSĐT).

2.2. Vị trí công trình nghiên cứu



- Tải trọng (BQL ĐSĐT, 2016)
- Tải trọng nhà hát gồm 4 tầng (bề rộng phương ngang 30m): 60kN/m²;
- Tải trọng công viên và giao thông trên bề mặt: 10 kN/m².
- Móng nhà hát cọc cừ tràm dày 0,6 – 0,7m, mật độ 25 cây/1m² => quy đổi Móng nhà hát dày 0,6m – vật liệu đàn hồi (Theo bảng 3);

3. Phương pháp nghiên cứu

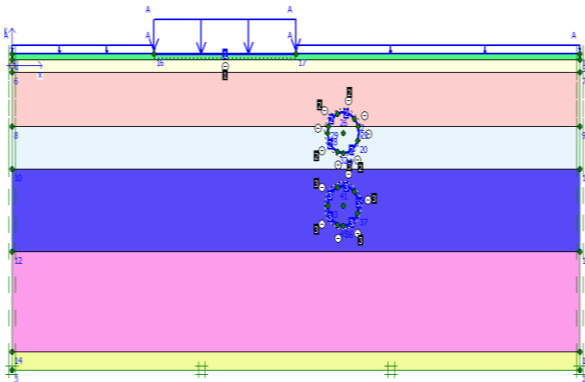
3.1. Cơ sở lý thuyết

Dựa trên kết quả nghiên cứu tổng quan về vấn đề lún sụt bề mặt nền đất trong thi công bằng máy khiên đào TBM (Tunnel Boring Machine). Dựa trên cơ sở đường cong (Graus, 1969), (New & O'Reilly, 1982) và (Mair, 1996) về độ lún lớn nhất trên bề mặt tại đỉnh hầm.

Độ lún của cấu trúc đất xung quanh đường hầm trong bài này được phân tích bằng phần tử FEM trên thông số địa chất tại Bảng 1 và theo “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” (Nguyễn Đức Toàn, 2006). Phương pháp FEM sử dụng để mô phỏng lún bề mặt khi thi công hầm bằng máy TBM, phân tích độ lún của bề mặt đất khi được gia cố bằng Jet-Grouting tạo một hệ khung bao quanh hầm tròn. Độ lún bề mặt nền đất được khảo sát theo sự thay đổi của đặc trưng của XM-Đ (Ximăng-Đất) gồm: Mô đun đàn hồi và bề dày tường cọc.

3.2. Phương pháp PTHH

Phần mềm Plaxis 2D được sử dụng để mô phỏng lún bề mặt nền dựa trên giá trị mất mát thể tích $V_L(\%)$. Mô hình Mohr-Culomb được chọn để mô phỏng ứng xử đất nền, cho bài toán thoát nước (Darin), Mô hình bài toán theo “Hình 3”.



Hình 3. Mô hình bằng Plaxis 2D

Giá trị độ lún phụ thuộc vào giá trị mất mát thể tích $V_L(\%)$ theo từng loại đất và công nghệ thi công. Đối với đất cát: 0,5%; đất sét 1% ÷ 2% thi công bằng công nghệ gương kín (New & O'Reilly 1991). Tham khảo dự án Circle Line - Singapore địa chất tương tự TP.HCM chọn $V_L = 1\%$ thiên về an toàn.

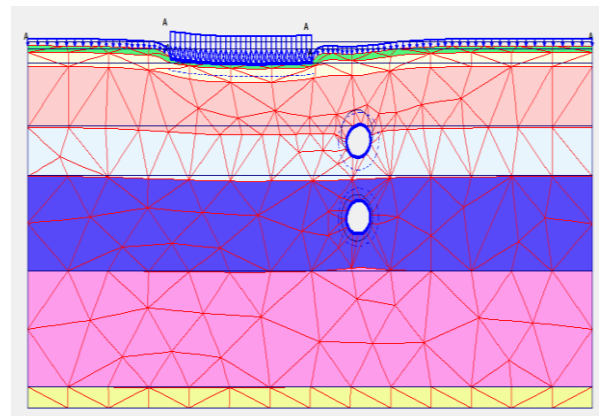
Tác giả đề xuất giá trị mất mát thể tích $V_L = 1\%$ đảm bảo an toàn.

4. Kết quả tính toán

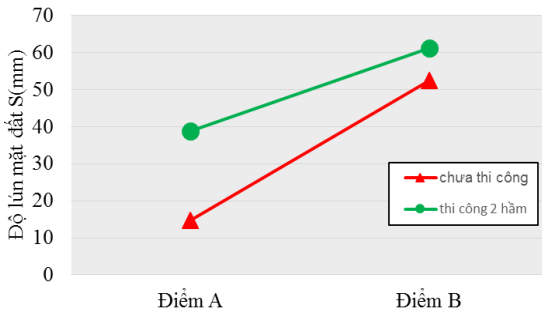
Để so sánh các trường hợp trước và sau khi gia cố nền, tác giả đề xuất các trường hợp để phân tích độ lún bề mặt đất nền như sau:

1. Vị trí khảo sát: Điểm A (mặt nền đất trên đỉnh hầm) và điểm B (góc phải nhà hát cách tim hầm 9,14m vị trí nguy hiểm nhất);
2. Khi nền chưa gia cố độ lún với trường hợp tải trọng bên trên, thi công hầm dưới trước, hầm trên sau;
3. Khi nền được gia cố phân tích độ lún với trường hợp tải trọng bên trên, xử lý nền bằng Jet-Grouting trước, tiếp theo thi công hầm dưới, sau cùng thi công hầm trên;
4. Khảo sát mối quan hệ về độ lún bề mặt S với giá trị Mô đun đàn hồi E và bề dày δ tường XM-Đ.

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



Hình 4. Mô hình chuyển vị trường hợp không gia cố



Hình 5. Giá trị lún bề mặt đất nền lớn nhất S(mm) tại 2 điểm khảo sát

Nhận xét:

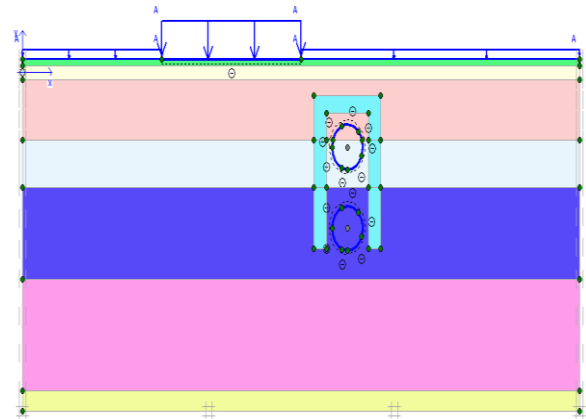
- Độ lún lớn nhất tại 2 điểm khảo sát khi thi công hầm không có gia cố nền tăng lên so với lúc chưa thi công; điểm A độ lún tăng từ 14,62mm lên 38,71mm; điểm B độ lún tăng từ 52,48mm lên 61,04mm.
- Lúc thi công hầm TBM đất nền bên dưới, ngoài việc chịu tải trọng của tòa nhà, giao thông còn chịu thêm tải trọng của khiên đào và vỏ hầm, bên cạnh đó có thêm mất mát thể tích khi đào. Điều này dẫn đến độ lún bề mặt tăng lên là điều hợp lý.
- Khi thi công việc mất mát thể tích và công nghệ thi công là yếu tố chính dẫn đến độ lún mặt nền đất.
- Tuy nhiên giá trị độ lún lớn nhất vẫn lớn hơn độ lún cho phép 10mm nên cần phải đưa ra giải pháp xử lý gia cố nền trước khi thi công hầm.

4.2. Kết quả tính toán độ lún của nền được gia cố Jet-Grouting

4.2.1. Mô hình nghiên cứu

Nhà hát Thành phố được xem như biểu tượng kiến trúc của thành phố, không những có giá trị về nghệ thuật mà nó còn chứng kiến cả một quá trình lịch sử biến động của TP.HCM ngày nay cũng như Đô thành Sài Gòn xưa. Nên việc bảo vệ công trình này trong quá trình thi công hầm được xem là giải pháp ưu tiên với độ lún cho phép nhỏ hơn 10mm.

Phương pháp Jet-Grouting được đề xuất trong thiết kế sơ bộ dạng khung xung quanh hầm chiều dài vùng gia cố 83,5m đi qua vị trí Nhà hát Thành phố (BQLĐSDT, 2010) xem “hình 6”.



Hình 6. Mô hình gia cố bằng Jet-Grouting

Trong bài nghiên cứu này, các giá trị được thay đổi như sau:

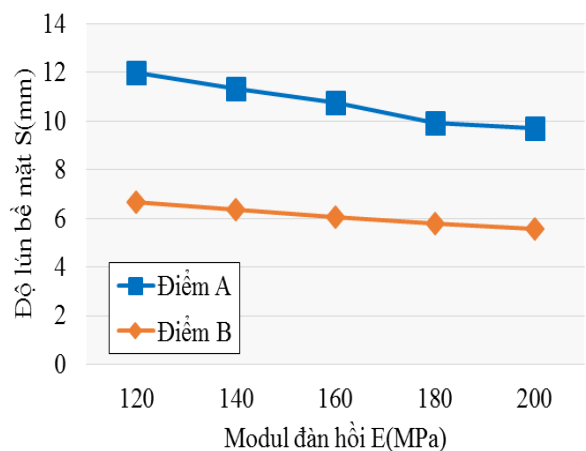
- Bề dày tường XM-Đ $[\delta]$ thay đổi như sau: 0,5m; 1,0m; 1,5; 2,0m; 2,5m; 3,0m; 3,5m.
- Mô đun đàn hồi E thay đổi như sau: 120MPa; 140MPa; 160MPa; 180MPa (BQLĐSDT); 200MPa.

Các thông số còn lại được giữ nguyên trong các trường hợp thay đổi δ và E lấy theo Bảng 4.

4.2.2. Kết quả tính toán

a) Quan hệ E-S với δ cố định

Tính toán ban đầu với Mô đun đàn hồi thay đổi [120 ÷ 200] MPa với chiều dày tường 2,7m (BQLĐSDT, 2010) để khảo sát độ lún lớn nhất theo Mô đun đàn hồi. Kết quả tính toán như sau:



Hình 7. Quan hệ E-S với $\delta = 2,7$ m

Nhận xét:

Với kết quả tính toán và đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa E-S cho ta thấy.

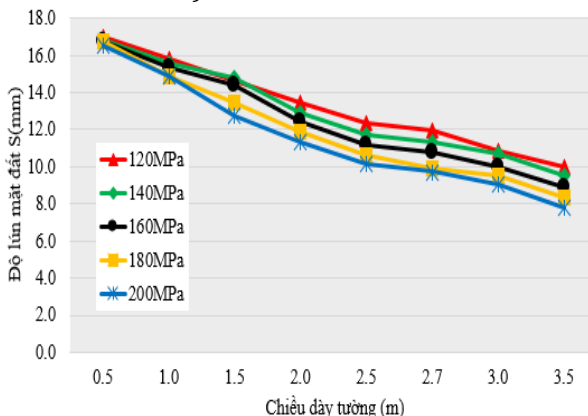
- Tại điểm A với $V_L=1\%$ (mặt đất trên nóc hầm): Khi giá trị E tăng từ 120MPa đến 180MPa độ lún bề mặt giảm dần từ 11,99mm xuống 9,91mm vượt qua giá trị lún cho phép 10mm và giảm chậm lại khi E từ [180 ÷ 200] MPa từ 9,91mm xuống 9,71mm.

- Tại trường hợp điểm B với $V_L=1\%$ khi giá trị E tăng từ [120 ÷ 200] MPa độ lún giảm dần nhưng giá trị cao nhất của các trường hợp đều nhỏ hơn 10mm.

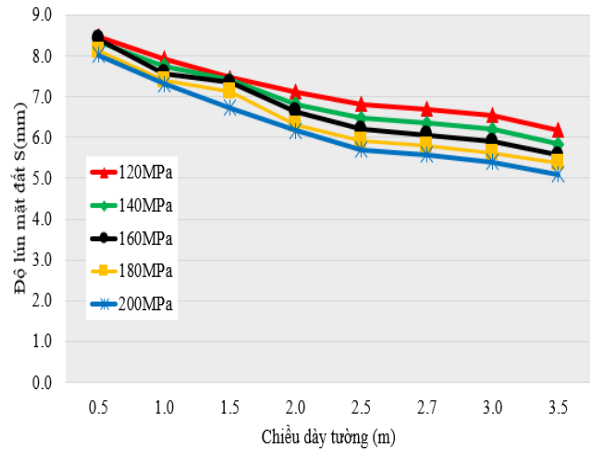
Từ các phân tích cho thấy để hạn chế độ lún mặt đất lớn nhất nhỏ hơn 10mm khi sử dụng vừa có Mô đun đàn hồi từ [180 ÷ 200] MPa. Với giá trị E = 180 MPa đảm bảo độ lún cho phép $9,91\text{mm} < 10\text{mm}$, giá trị E này tối ưu nhất thiết kế, khi tăng E từ 200MPa trở lên độ lún giảm dần nhưng lại gây khó khăn cho việc tạo ra vừa có cường độ cao gây tốn kém thời gian và kinh phí thực hiện.

b) Quan hệ E-S- δ cho độ lún bề mặt.

Để xác định quan hệ E-S- δ , giá trị Mô đun đàn hồi E thay đổi trong khoảng [120 ÷ 180] MPa và bề dày tường δ thay đổi từ [0,5 ÷ 3,5] m. Khảo sát độ lún bề mặt tại 2 điểm A (mặt đất trên đỉnh hầm) và điểm B (góc tòa nhà cách tim hầm 9,14m).



Hình 8. Quan hệ E-S- δ tại điểm A



Hình 9. Quan hệ E-S- δ tại điểm B

Nhận xét:

Từ kết quả tính và đồ thị thể hiện tại 2 điểm A, B theo các trường hợp tăng Mô đun đàn hồi E và bề dày tường δ cho thấy mức độ lún giảm dần và vượt qua độ lún cho phép $< 10\text{mm}$.

- Tại điểm A, với giá trị E = [120 ÷ 140]MPa chiều dày tường $\delta = 3,5\text{m}$ có độ lún mặt đất lớn nhất lần lượt là 9,98mm và 9,49mm nhỏ hơn độ lún cho phép 10mm.

- Tại điểm A, với giá trị E = 160 MPa chiều dày tường $\delta = 3,0\text{m}$ có độ lún mặt đất lớn nhất là 9,99 mm nhỏ hơn độ lún cho phép 10mm.

- Tại điểm A, với giá trị E = 180MPa và E = 200MPa chiều dày tường $\delta = 2,7\text{m}$ thì có độ lún mặt đất lần lượt là 9,91mm và 9,71mm nhỏ hơn độ lún cho phép 10mm.

- Tại điểm B, với mọi giá trị E và δ độ lún cho phép tại đây đảm bảo nhỏ hơn độ lún cho phép giá trị lún nằm trong khoảng giảm dần trong khoảng [8,47÷5,09]mm.

5. Kết luận và kiến nghị

5.1. Kết luận

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

1. Độ lún bề mặt phụ thuộc vào công nghệ đào hầm và việc kiểm soát quá trình vận hành máy đào trong lúc thi công.

2. Giá trị mất mát thể tích $V_L = 1\%$ được xem là giá trị an toàn để kiểm soát quá trình lún

bề mặt do phụ thuộc vào địa chất và công nghệ thi công.

3. Phương pháp gia cố nền Jet-Grouting phù hợp với địa chất tại khu vực dự án nhằm giảm độ lún bề mặt, khi sử dụng phương pháp này ta nhận thấy mối quan hệ chặt chẽ giữa Mô đun đàn hồi và bề dày tường XM-Đ.

4. Với Mô đun đàn hồi nằm trong khoảng $[180 \div 200]$ MPa độ lún nằm trong giới hạn cho phép và chiều dày tường $\delta = 2,7$ m đảm bảo khả năng chịu lực, tiết kiệm chi phí.

5. Khi Mô đun đàn hồi lớn hơn 180MPa thì chiều dày tường tăng từ $2,7 \div 3,5$ m chiếm nhiều diện tích trong điều kiện chật hẹp và kinh phí thi công cao.

5.2. Kiến nghị

Tổng hợp các nhận xét và quá trình tính toán, để đảm bảo độ lún cho phép nhỏ hơn 10mm thì công nghệ Jet-Grouting để giảm độ lún bề mặt tại khu vực Nhà hát thành phố là phương pháp phù hợp.

1. Chiều dày tường được kiến nghị $[2,7 \div 3,0]$ m là tối ưu đảm bảo yêu cầu về độ lún bề mặt cho phép và bảo vệ công trình Nhà hát Thành phố trong quá trình thi công.

2. Mô đun đàn hồi vữa phun nằm trong khoảng $[180 \div 200]$ MPa được xem phù hợp với các loại thông số vữa hiện nay tại Việt Nam, trên thế giới Mô đun đàn hồi của vữa phổ biến nhỏ hơn 500MPa (Trần Nguyễn Hoàng Hùng, 2011).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Attewell, P. B, Yeates, J. & Selby, A. R. (1986). *Soil movements induced by tunnelling and their effects on pipelines and structures*. UK: Blackie and Son Ltd;
2. Ban Quản lý Đường sắt Đô thị. (2010-2016). *Tài liệu thiết kế*. TP.Hồ Chí Minh;
3. Lê Thanh Bình và Nguyễn Anh Tuấn (2010). *Phân tích ảnh hưởng lún của việc xây dựng đường hầm Metro đến các công trình lân cận khu vực thành phố Hồ Chí Minh*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải, 30-34;
4. Phan Sỹ Liêm và Nguyễn Bá Hoàng (2016). *Sử dụng công nghệ Jet-Grouting gia cố xung quanh hầm bảo vệ công trình móng nông tại tuyến Đường sắt Đô thị số 1 – TP.HCM*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải, 26-30;
5. Maidi, B. (1996). *Mechanised Shield Tunnelling*, Wiley - VCH, 1st edition, 446 papers;
6. O'Reilly, M. P. and B. M. New. (1982). *Settlement above tunnels in the United Kingdom-Their magnitude and prediction*, Brighton, Engl, Inst of Mining & Metallurgy. Volume 20, Issue 1, 173-181;
7. Peck, R. B. (1969). *Deep excavations and tunnelling in soft ground*, The 7th International Conference Soil Mech. Mexico City: State of the art 3, 225-290;
8. Nguyễn Tăng Thanh và Trần Nguyễn Hoàng Hùng. (2011). *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), 23-26;
9. Nguyen Duc Toan. (2006). *TBM and Lining-Essential Interface*, Master of Science. Italy: COREP Turin;