

Đặc điểm ổn định của môi trường đất xung quanh khi thi công cống ngầm ở khu vực đất sét mềm

Feature of stability of surrounding soil environment during construction of underground sewer in soft clayey area

> PGS.TS BÙI TRƯỜNG SƠN¹,
THS NGUYỄN THÀNH LÂM², THS VÕ ĐÌNH DŨNG³

¹ Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường ĐH Bách khoa - Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh

Email: buitruongson@hcmut.edu.vn

² Ban Quản lý dự án đầu tư xây dựng hạ tầng đô thị - TP Hồ Chí Minh

Email: ntlamxd87@gmail.com

³ Ban Quản lý dự án đầu tư xây dựng hạ tầng đô thị - TP Hồ Chí Minh

Email: dinhdungkt492@yahoo.com

TÓM TẮT

Ổn định và biến dạng môi trường đất xung quanh trong quá trình khoan đào đóng vai trò quan trọng trong thi công hầm đào. Căn cứ phương pháp giải tích và phương pháp số, trạng thái ứng suất-biến dạng của đất đá xung quanh hầm tròn được đánh giá và phân tích. Kết quả cho thấy hầm tròn đào ngang đường kính 4000 mm trong môi trường sét cứng và sét mềm được xử lý bằng trụ xi măng đất đảm bảo điều kiện ổn định trong quá trình thi công và phù hợp để kích cồng kích thước 3920 mm. Kết quả này cho phép sử dụng hiệu quả thiết bị thi công cho toàn dự án với điều kiện cấu tạo địa chất khác nhau. Cơ sở và kết quả tính toán là kinh nghiệm cần thiết cho lựa chọn công trình tương tự.

Từ khóa: công trình ngầm, môi trường đất xung quanh, khả năng ổn định

ABSTRACT

Stability and deformation of surrounding soil environment during drilling plays an important role in tunnel construction. Based on analytical and numerical methods, stress-strain state of surrounding soil of circular tunnel is evaluated and analyzed. The results show that circular tunnel diameter of 4000 mm excavated in hard and soft clay treated with soil cement column is ensures and stable during construction and it is suitable for jacking sewer diameter 3920 mm. This result allows effective use of construction equipment for whole project with different geological conditions. The basis and results of calculation are necessary experience for similar constructions.

Key words: underground construction, surrounding soil environment, stability

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Với mục đích cải tạo hệ thống thoát nước mưa khu vực Quận 2 nhằm giảm thiểu ô nhiễm môi trường và nước thải ra sông Sài Gòn, dự án thu gom và xử lý nước thải bao gồm các hạng mục như: xây dựng mới hệ thống thoát nước thải khu vực Quận 2, xây dựng tuyến cống bao từ giếng bờ Đông sông Sài Gòn về phường Thạnh Mỹ Lợi, Quận 2 và nhà máy xử lý nước thải. Trong đó, hệ thống cống thu gom nước thải được thi công sâu trong lòng đất với đường kính ngoài 3920 mm (đường kính trong 3200 mm). Trong trường hợp này, biện pháp thi công đào kín là một trong những chọn lựa hợp lý nhằm giảm thiểu khối lượng đào đắp và

ảnh hưởng đến các hoạt động khác trên bề mặt. Việc tính toán phân tích và đánh giá khả năng ổn định kết cấu công trình cống chôn sâu phù hợp với điều kiện môi trường địa chất, điều kiện thi công và sử dụng đóng vai trò quan trọng trong việc triển khai dự án.

Trong tính toán thiết kế hầm tròn đào ngang, việc lựa chọn hình thức chống đỡ, kết cấu vỏ hầm và độ ổn định tổng thể của đường hầm phụ thuộc vào mức độ chuyển vị đường viền của đất đá xung quanh đường hầm trong quá trình thi công và lắp dựng. Đối với công trình cống thoát nước cấp 1 có kích cỡ lớn, việc thi công trong lớp đất yếu gặp nhiều khó khăn do có thể gây chuyển vị lớn của đầu

khoan khi thi công bằng phương pháp khiên đào. Do đó, để đảm bảo điều kiện thi công, đất nền cần thiết phải được xử lý.

Trong dự án thoát nước đô thị giai đoạn 2 ở khu vực Quận 2, TP. HCM, nhiệm vụ phân tích ứng xử môi trường đất đá khi khoan đào và đánh giá áp lực lên vỏ cống ngầm ở khu vực phổ biến lớp sét mềm có bề dày lớn đóng vai trò quan trọng trong quá trình thi công và sử dụng công trình. Ở đây, ống tròn chôn sâu có đường kính ngoài 3920 mm được bố trí ở độ sâu từ 12,0 m đến 22,0 m và được thi công bằng phương pháp đào kín. Với kích thước của thiết bị khiên đào, sau khi hầm tròn được đào sẽ có bán kính $r_0 = 2,0$ m. Sau đó, ống bê tông được lắp ghép bằng phương pháp kích đẩy. Việc tính toán đánh giá và phân tích chủ yếu trong giai đoạn thi công đào và đánh giá áp lực lên vỏ.

2. KHẢ NĂNG ỔN ĐỊNH TRONG THI CÔNG VÀ SỬ DỤNG CỐNG NGẦM THOÁT NƯỚC Ở KHU VỰC ĐẤT SÉT MỀM CÓ BỀ DÀY LỚN

2.1 Giới thiệu hiện trạng dự án và cấu tạo địa chất

Theo báo cáo trước đây của Ban quản lý đầu tư đường sắt đô thị, độ sâu nhỏ nhất của đỉnh đường hầm metro là 16 m dưới mặt đất. Tại các vị trí này, tuyến cống bao sẽ đi ngang với độ sâu 12,9 m dưới mặt đất, nghĩa là cao hơn đường hầm metro 3,1 m để có thể đảm bảo an toàn cho xây dựng và vận hành. Tuy nhiên, do dự án metro số thay đổi thiết kế và lộ tuyến nên tuyến cống được bố trí lại ở độ sâu từ 12,0 m đến 22,0 m. Tuyến cống bao đi qua bên dưới một số kênh hiện hữu. Trong đó, có kênh có độ sâu khá lớn, khoảng 6,5 m dưới mặt đất, vị trí này nằm giữa giếng SS5 và RS5. Tại vị trí này, đỉnh cống bao sẽ có độ sâu 12 m dưới mặt đất nghĩa là 5,5 m thấp hơn đáy kênh.

Một số cọc cắm sâu 25 m đã được xây quanh đảo Kim Cương để gia cố bờ sông. Ở phía Tây, tuyến cống sẽ băng ngang các cọc này. Về vấn đề này, chủ đầu tư cần thay thế bằng các cọc mới để điều chỉnh hiện trạng. Một số cọc cũng đã được thi công dọc theo tuyến cống bao ở đảo Kim Cương với độ sâu đến 12 m. Độ sâu cống bao được điều chỉnh sao cho sâu hơn và không ảnh hưởng đến các cọc hiện hữu.

Việc xây dựng được tiến hành với giải pháp thi công kích đẩy, hình ảnh hồ kích và quá trình kích đẩy thể hiện như ở Hình 2 và 3. Việc kích cống được phân chia từng đoạn và giếng đứng đường kính 11 m được bố trí phục vụ thi công.

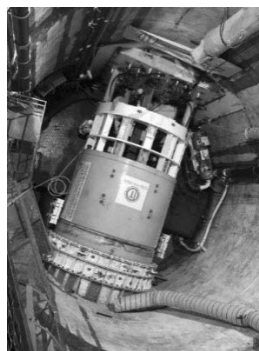


Hình 1. Lộ trình kích tuyến cống dài 8,4 km từ sông Sài Gòn về phường Thạnh Mỹ Lợi, quận 2, TP. HCM

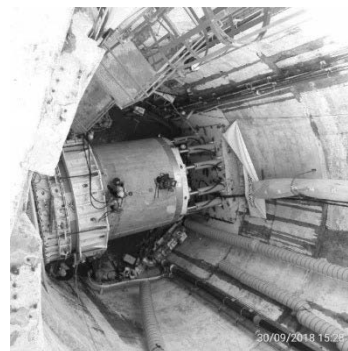
Quận 2 nằm trong vùng có địa hình thấp, phức tạp của TP. HCM và có mạng lưới kênh rạch đa dạng. Độ nghiêng mặt đất thấp dần theo hướng từ Bắc xuống Nam. Cao độ mặt đất tự nhiên trung bình so với mặt nước biển từ 0,5 m đến 1,1 m, riêng gò Bình Trưng, Cát Lái có cao độ từ 2 m đến 5 m.

Theo hồ sơ khảo sát địa chất công trình của dự án, khu vực này có lớp đất yếu có bề dày đáng kể nằm ngay trên bề mặt, cấu tạo địa chất có thể tóm tắt như sau: *Lớp san lấp-Sét*, sét pha lẫn sỏi sạn, đá vụn, màu xám nâu, xám đen, bề dày của lớp biến đổi từ 0,7 m đến

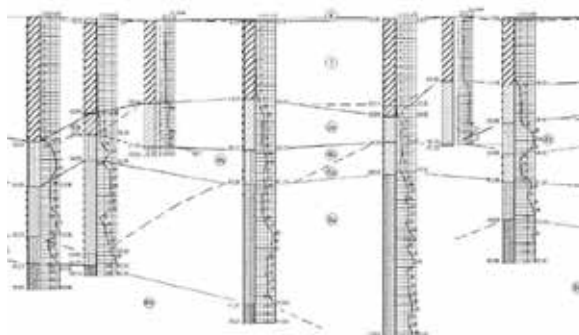
3,5 m; *Lớp 1-Sét* màu xám xanh, xám đen, trạng thái dẻo nhão – nhão, bề dày lớp từ 13,0 m đến 25,0 m; *Lớp 2-Sét*, màu xám vàng, nâu vàng, trạng thái nửa cứng, bề dày lớp từ 5,2 m đến 8,5 m; *Lớp 3-Sét*, màu xám vàng, xám trắng, nâu đỏ, trạng thái dẻo cứng, bề dày lớp từ 3,0 m đến 5,7 m; *Lớp 4-Cát pha*, màu xám trắng, xám vàng, trạng thái dẻo, bề dày lớp 4,5 m; *Lớp 5-Cát hạt trung*, màu xám vàng, xám trắng, bề dày lớp từ 1,3 m đến 1,5 m.



Hình 2. Giếng đứng và thiết bị kích



Hình 3. Quá trình kích cống trong giếng đứng

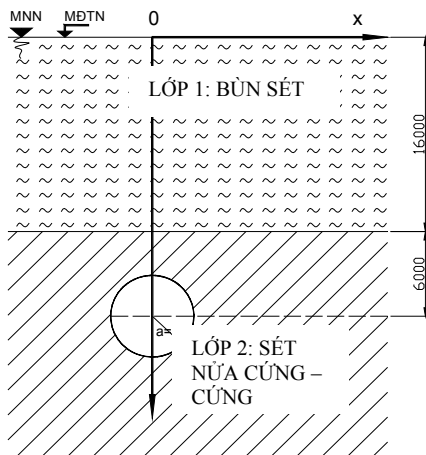


Hình 4. Mặt cắt địa chất điển hình khu vực công trình

Các ống có kích cỡ $\phi 3920$ mm, bề dày vỏ bê tông của ống tròn $t = 350$ mm, nhất thiết phải được đặt ở độ sâu lớn nhằm tránh tác động đến các công trình hiện hữu. Biện pháp thi công trong trường hợp này là đào kín. Để đảm bảo điều kiện vận hành của thiết bị thi công và đảm bảo độ chính xác cần thiết thì khu vực khoan đào phải đi qua các lớp đất tốt. Trong trường hợp này, độ sâu chôn các cống được chọn lựa từ 16 m đến 22 m tùy vào cấu tạo địa chất khu vực. Phạm vi cống cấp 1 thi công bằng phương pháp kích đẩy chủ yếu nằm trong Lớp 1 hoặc Lớp 2 tùy vào khu vực. Chi tiết đặc trưng cơ lý của hai lớp này được tóm tắt như sau: *Lớp 1: Sét mềm bão hòa nước*: trọng lượng riêng $\gamma = 15,8$ KN/m³; module tổng biến dạng $E_0 = 1085$ KN/m²; hệ số Poisson $\nu = 0,30$; góc ma sát trong $\varphi = 7^\circ$; lực dính $c = 12$ KN/m²; *Lớp 2: Sét nửa cứng – cứng*: trọng lượng riêng $\gamma = 20,9$ KN/m³; module tổng biến dạng $E_0 = 24500$ KN/m²; hệ số Poisson $\nu = 0,42$; góc ma sát trong $\varphi = 24^\circ$; lực dính $c = 92$ KN/m².

2.2 Ứng xử trong môi trường đất đá và khả năng ổn định của cống trong lớp đất tốt

Cần chú ý chi tiết cấu tạo địa chất và thiết kế, ở khu vực có lớp sét mềm có bề dày bé hơn, cống cấp 1 được bố trí trong lớp đất sét nửa cứng bên dưới. Sơ đồ bố trí cống trong đoạn này thể hiện như ở Hình 5. Ngoài ra, do độ sâu bố trí cống khá lớn và dọc theo các tuyến đường giao thông chính nên ảnh hưởng của tải trọng do các phương tiện giao thông không đáng kể nên trong tính toán giá trị tải trọng ngoài không cần thiết xét đến.



Hình 5. Sơ đồ vị trí hầm tròn bố trí trong lớp sét cứng

Ở đoạn này, hầm tròn đào ngang được đặt toàn bộ trong lớp sét nửa cứng-cứng. Do ở trạng thái nửa cứng-cứng, trong đất không xuất hiện nước tự do và ứng suất do trọng lượng bản thân của đất được đánh giá thông qua giá trị tổng ứng suất.

Trong môi trường đàn hồi-dẻo, phạm vi vùng dẻo có thể được xác định bằng biểu thức sau:

$$\frac{r_e}{r_0} = \left[(1 - \sin \varphi) \frac{\gamma H + c \cdot \cot \varphi}{p + c \cdot \cot \varphi} \right]^{\frac{1}{\alpha}} \quad (1)$$

Với: $\alpha = \frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi} = 1,371$, phạm vi vùng dẻo thu nhận được: $r_e/r_0 = 1,46$ và $r_e = 2,92\text{m}$

Khi bỏ qua biến dạng thể tích do giãn nở, tại đường viền, tức là tại $r_0 = 2,0\text{m}$, chuyển vị có dạng:

$$u_{r_0} = \frac{r_0}{2G} \sin \varphi (\gamma H + c \cdot \cot \varphi) \left(\frac{r_e}{r_0} \right)^2 \quad (2)$$

Đối với sét cứng hay cát chặt, khi bị phá hoại, thể tích trong phạm vi vùng trượt có thể thay đổi do giãn nở. Khi xét sự giãn nở trong phạm vi vùng dẻo, chuyển vị tại đường viền có dạng:

$$u_{r_0} = \frac{r_0}{2G} \sin \varphi (\gamma H + c \cdot \cot \varphi) \left[(1 - \sin \varphi) \frac{\gamma H + c \cdot \cot \varphi}{p + c \cdot \cot \varphi} \right]^{\frac{1}{\sin \varphi}} \quad (3)$$

Ở độ sâu 22 m trong khu vực lớp sét cứng, các thành phần ứng suất chủ yếu do trọng lượng bản thân: $p_1 = 378,2\text{ kN/m}^2$; $p_2 = 273,8\text{ kN/m}^2$. Với module trượt của đất $G = E_0/2(1+\nu) = 8626\text{ kN/m}^2$, chuyển vị tại đường viền sau khi khoan đào trong môi trường đàn hồi - dẻo không và có xét biến dạng thể tích đất do giãn nở tương ứng là $u_{r_0} = 0,059$ và $0,099\text{ m}$.

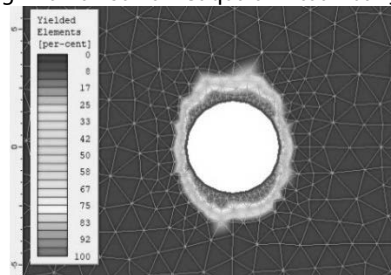
Trong thực tế, sau khi khiên đào đi qua, trong khoảng thời gian ngắn vỏ cống được kích vào vị trí định sẵn nên đất nền sẽ được chống giữ ngay sau đó. Trong trường hợp biến dạng do chuyển vị xuyên tâm có giá trị lớn hơn và cần một khoảng thời gian nhất định để đạt giá trị lớn nhất thì việc thi công kích đẩy vẫn được đảm bảo.

Việc phân tích đánh giá trạng thái ứng suất biến dạng trong môi trường đất đá trong quá trình khoan đào có thể thực hiện bằng sự trợ giúp của phần mềm Phase2, là phần mềm phù hợp với việc phân tích ứng xử công trình ngầm. Kết quả mô phỏng phân tích quá trình khoan đào khi cống đi qua lớp sét cứng thể hiện ở Hình 6 và 7. Kết quả tính toán bằng phương pháp giải tích và mô phỏng cho thấy phạm vi vùng biến dạng dẻo xung quanh hầm tròn gần như nhau.

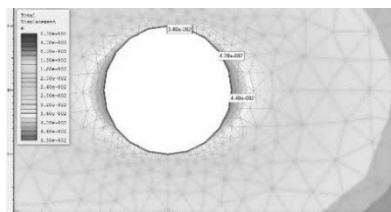
Kết quả mô phỏng với mô hình đất đàn hồi-dẻo cho thấy phạm vi vùng dẻo phát triển ra bên ngoài môi trường đất gần với giá trị tính toán theo phương pháp giải tích. Tuy nhiên, khác với kết quả

tính toán bằng giải tích thì phạm vi này theo kết quả mô phỏng hẹp hơn và không đồng đều như nhau tại các vị trí mà tập trung nhiều hơn ở nóc và đáy hầm đào.

Kết quả tính toán sử dụng phần mềm Phase2 cho giá trị chuyển vị đường viền xấp xỉ giá trị xác định được từ tính toán bằng giải tích không xét biến dạng thể tích trong vùng dẻo. Ở đây, chuyển vị nhỏ nhất $0,034\text{ m}$ ở đỉnh, lớn nhất ở hông $0,044\text{ m}$. Giá trị chuyển vị đường viền theo kết quả mô phỏng nhỏ hơn là do phạm vi vùng dẻo tương ứng nhỏ hơn so với kết quả tính toán bằng giải tích.



Hình 6. Phạm vi vùng biến dạng dẻo trong môi trường sét cứng trong quá trình khoan đào trong lớp sét cứng



Hình 7. Chuyển vị trong đất nền khi khoan đào trong lớp sét cứng

Giá trị chuyển vị đường viền trên cơ sở mô hình đàn hồi - dẻo từ tính toán giải tích và mô phỏng bằng phần mềm đều cho thấy chuyển vị đường viền vượt quá bề rộng khe hở giữa hầm đào và vỏ cống ($\Delta = 0,04\text{ m}$). Như vậy, sau khi thi công lắp đặt khoảng hở này sẽ bị triệt tiêu do chuyển vị của đất xung quanh và gây áp lực một phần lên vỏ cống.

Áp lực trung bình tác dụng lên vỏ bỏ qua việc xét đến sự mềm hóa của môi trường đất được xác định bằng biểu thức sau:

$$p^* = \sigma^{(0)} - 2G \frac{\Delta}{r_0} \quad (4)$$

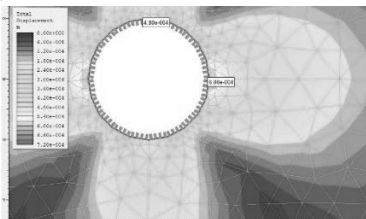
Với ứng suất ban đầu $\sigma^{(0)} = p_1 = 378\text{ kN/m}^2$, nhận được: $p^* = 33,2\text{ kN/m}^2$. Trong trường hợp xét đến sự mềm hóa do bị tẩm ướt của môi trường đất giá trị còn nhỏ hơn. Kết quả tính toán cho thấy áp lực lên vỏ cống không đáng kể. Như vậy, việc chọn lựa kích cỡ khiên đào phù hợp với kích cỡ vỏ ống và đặc trưng cơ lý của môi trường đất có ý nghĩa quan trọng và ảnh hưởng đáng kể lên giá trị áp lực tác dụng lên vỏ sau khi thi công.

Như vậy, trong môi trường sét cứng quá trình khoan đào và lắp đặt cống bằng kích đẩy không gặp nhiều vấn đề phức tạp do môi trường sét cứng có khả năng tự ổn định. Trong trường hợp môi trường sét cứng bị tẩm ướt và xét biến dạng dẻo thì áp lực tác dụng lên vỏ có thể lớn hơn do đất xung quanh sẽ chuyển vị và tác dụng lên vỏ. Với bề dày lớn của vỏ và mức độ chuyển vị chênh lệch không đáng kể nên khả năng ổn định được đảm bảo. Kết quả tính toán theo lý thuyết đàn hồi cho thấy $\alpha^* = p^*/\sigma^{(0)} < 1$ nên độ ổn định của công trình được xem như bảo đảm.

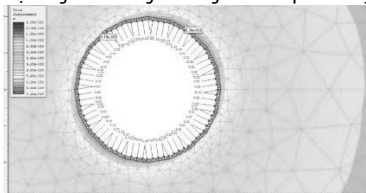
Kết quả mô phỏng cho thấy sau khi lắp vỏ chống bê tông dày 350 mm , vùng dẻo trong môi trường đất đá không còn tồn tại do có sự chống giữ của vỏ. Hơn nữa, chuyển vị và biến dạng khu vực

đường viền hầu như không đáng kể (Hình 8) nên sự thay đổi thể tích đất gây ra độ lún có thể có của đất trên bề mặt không đáng kể.

Khi vận hành và giả thiết rằng cống làm việc tối đa khi toàn bộ cống bị nước lấp đầy và chiều cao cột nước là 22 m (do cống đặt ở độ sâu 22 m). Kết quả mô phỏng ở Hình 9 cho thấy biến dạng xảy ra có giá trị không đáng kể, áp lực xung quanh vỏ cống sẽ cân bằng với áp lực do cột đất và có giá trị không đáng kể so với khả năng chịu lực của vỏ.



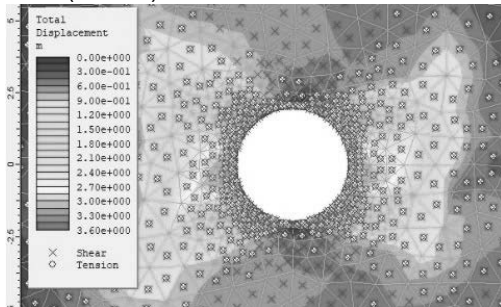
Hình 8. Chuyển vị trong môi trường sét cứng sau khi lấp vỏ chống



Hình 9. Biến dạng khi cống chịu áp lực cột nước khi vận hành.

2.3 Ứng xử trong môi trường đất và khả năng ổn định của cống trong lớp sét mềm có bề dày lớn được xử lý bằng biện pháp đất trộn xi măng

Theo lộ trình tuyến cống đi qua, một số khu vực có lớp sét mềm có bề dày lớn và độ sâu đoạn cống trong trường hợp này là 17 m để phù hợp với thiết kế và thuận tiện khi cần xử lý và thi công. Như vậy, cống nằm hoàn toàn trong lớp sét mềm. Kết quả tính toán sơ bộ của tỷ số phạm vi vùng biến dạng dẻo $r_e/r_o = 238$ cho thấy môi trường đất nền có khả năng mất ổn định trong quá trình đào. Tương tự, trong trường hợp này kết quả mô phỏng cũng cho thấy phạm vi vùng dẻo xuất hiện toàn bộ khu vực và giá trị chuyển vị rất lớn, không đảm bảo điều kiện ổn định hay hầm đào hoàn toàn sụp đổ khi khoan đào (Hình 10).

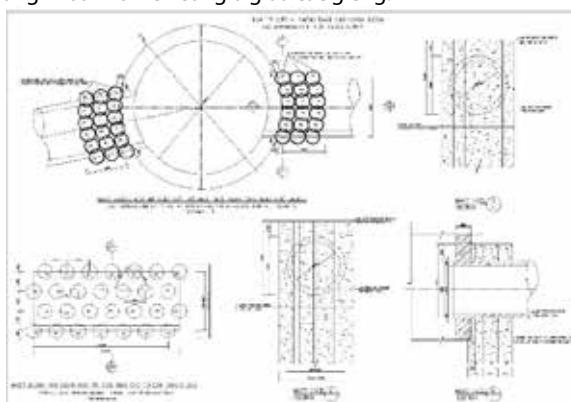


Hình 10. Tổng chuyển vị và phạm vi vùng biến dạng dẻo trong môi trường sét mềm xung quanh hầm tròn đào khi không chống.

Để đảm bảo an toàn ổn định trong quá trình thi công và khai thác, biện pháp trụ đất trộn xi măng được đề nghị áp dụng phục vụ gia cố nền. Ở đây, trụ đất trộn xi măng đường kính 1 m cách nhau 1,5 m được thi công dọc theo vị trí tuyến cống đi qua trước khi khoan đào và kích đẩy ở toàn bộ khu vực cống đi qua.

Sau khi thí nghiệm và chọn lựa hàm lượng xi măng và nước phù hợp, trụ đất trộn xi măng được thi công đại trà sau khi kiểm định bằng mẫu lõi khoan ở hiện trường thử nghiệm. Với hàm lượng xi măng 240 kg/m³ và tỷ lệ nước / xi măng: 0,8, cường độ sức kháng nén của mẫu đất trộn xi măng trung bình $q_u = 900$ KN/m², module biến dạng $E_c =$

180.000 KN/m². Xem góc ma sát trong của vật liệu đất xi măng tương đương với sét mềm, từ trạng thái cân bằng giới hạn, lực dính của vật liệu đất xi măng được tính lại và có giá trị tương đương $c_m = 400$ KN/m². Khu vực kế cận giếng đứng, mật độ trụ đất xi măng dày hơn để đảm bảo không xảy ra phá hoại cục bộ khi bắt đầu khoan và kích cũng như giai đoạn thu nhận kiến đào khi kết thúc chu kỳ thi công. Nội dung phân tích trong phần này chủ yếu để cập tới khả năng ổn định trong quá trình thi công khoan và kích cống ở giữa các giếng.



Hình 11. Sơ đồ bố trí trụ đất xi măng ở đoạn cống đi qua đất yếu ở độ sâu 17 m.

Nền đất sau gia cố được xem là một hệ tương đương đất - xi măng. Khi tính toán, hệ này được quy đổi thành một khối tương đương có các đặc trưng cơ lý phụ thuộc vào đặc trưng cơ lý của đất - trụ đất - xi măng và dạng bố trí trụ đất - xi măng.

Nền trụ và đất dưới đáy móng được xem như nền đồng nhất với các số liệu cường độ φ_{td} , c_{td} , E_{td} được nâng cao. Gọi a_s là tỉ lệ giữa diện tích trụ xi măng - đất thay thế trên diện tích đất nền:

$$a_s = A_s/A_p = (\pi D^2/4)/S^2 = 0,349$$

$$\gamma_{td} = a_s \cdot \gamma_c + (1-a_s) \cdot \gamma_{nền} = 15,8 \text{ (KN/m}^3\text{)}$$

$$\varphi_{td} = a_s \cdot \varphi_{trụ} + (1-a_s) \cdot \varphi_{nền} = 7^\circ$$

$$c_{td} = a_s \cdot c_{trụ} + (1-a_s) \cdot c_{nền} = 147,4 \text{ kN/m}^2$$

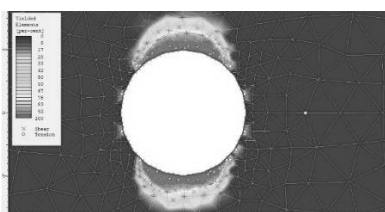
$$E_{td} = a_s \cdot E_{trụ} + (1-a_s) \cdot E_{nền} = 63526 \text{ kN/m}^2$$

Trong đó: A_p – Diện tích đất nền thay thế bằng trụ đất - xi măng;
 A_s – Diện tích đất nền cần thay thế.

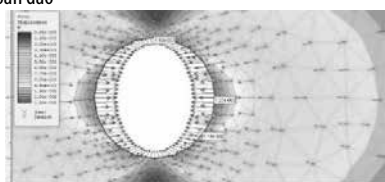
Ở độ sâu 17 m trong khu vực lớp sét mềm được xử lý bằng trụ xi măng đất, các thành phần ứng suất chủ yếu do trọng lượng bản thân: $p_1 = 268,6$ kN/m²; $p_2 = 115,1$ kN/m². Phạm vi vùng dẻo thu nhận được: $r_e/r_o = 1,296$ và $r_e = 2,59$ m. Với module trượt của đất $G = E_o/2(1+\nu) = 24433$ kN/m², chuyển vị tại đường viền sau khi khoan đào trong môi trường đàn hồi – dẻo không và có xét biến dạng thể tích đất do giãn nở tương ứng là $u_{r0} = 0,0123$ và $0,0132$ m.

Kết quả tính toán bằng phương pháp giải tích cho thấy phạm vi vùng biến dạng dẻo trong nền xử lý xung quanh hầm tròn chôn sâu 17 m xảy ra trong phạm vi cách đường viền 0,59 m ít hơn so với trường hợp trong sét cứng ở độ sâu 22 m. Như vậy, trong nền xử lý, mặc dù xuất hiện vùng dẻo xung quanh hầm tròn đào bán kính 2 m nhưng biến dạng do chuyển vị ở đường viền có giá trị không đáng kể, đảm bảo điều kiện thi công công trình.

Kết quả mô phỏng phân tích quá trình khoan đào khi cống đi qua lớp sét mềm được xử lý bằng trụ đất xi măng thể hiện ở Hình 12 và 13. Kết quả mô phỏng cho thấy phạm vi vùng dẻo phát triển ra bên ngoài môi trường đất gần với giá trị tính toán theo phương pháp giải tích nhưng tập trung nhiều hơn ở nóc và đáy hầm đào. Kết quả tính toán sử dụng phần mềm Phase2 cho giá trị chuyển vị đường viền xấp xỉ giá trị xác định được từ tính toán bằng giải tích không xét biến dạng thể tích trong vùng dẻo. Ở đây, chuyển vị nhỏ nhất 0,004 m ở đỉnh, lớn nhất ở hông 0,013 m. Giá trị chuyển vị đường viền lớn nhất theo kết quả mô phỏng xấp xỉ giá trị trung bình tính theo phương pháp giải tích.



Hình 12. Phạm vi vùng biến dạng dẻo trong nền sét mềm xử lý bằng trụ đất xi măng trong quá trình khoan đào

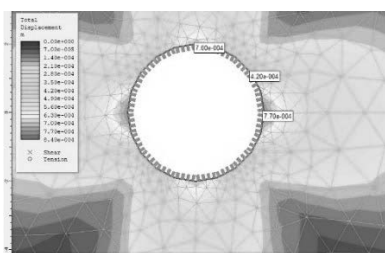


Hình 13. Chuyển vị trong nền sét mềm xử lý bằng trụ đất xi măng trong quá trình khoan đào.

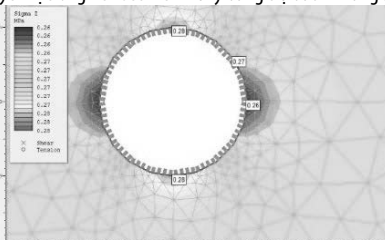
Áp lực trung bình tác dụng lên vỏ $p^* < 0$ trong môi trường đất nền được xử lý, quá trình khoan đào và lắp đặt cống bằng kích đẩy không gặp nhiều vấn đề phức tạp do môi trường có khả năng tự ổn định. Kết quả tính toán theo lý thuyết đàn hồi và đàn hồi dẻo cho thấy $\alpha^* < 1$ nên độ ổn định của công trình được xem như bảo đảm.

Chuyển vị và áp lực đất tác dụng lên vỏ sau khi lắp đặt là không đáng kể. Ở đây, giá trị chuyển vị hầu như chưa đến 1 mm và áp lực trong phạm vi từ 260 đến 280 KN/m². Với bề dày vỏ 350 mm thì khả năng làm việc ổn định lâu dài được đảm bảo.

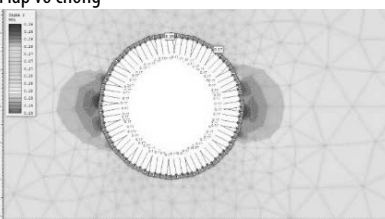
Khi chịu áp lực tối đa của cột nước là 17 m tác dụng phía bên trong vỏ thì áp lực xung quanh vỏ và biến dạng cho thấy không xuất hiện ứng suất kéo trong vỏ bê tông nên vỏ được đảm bảo không bị nứt trong quá trình vận hành.



Hình 14. Chuyển vị trong nền sét mềm xử lý bằng trụ đất xi măng sau khi lắp vỏ chống



Hình 15. Áp lực theo phương đứng xung quanh vỏ trong nền sét mềm xử lý bằng trụ đất xi măng sau khi lắp vỏ chống



Hình 16. Ứng suất theo phương đứng khi cống trong lớp sét mềm xử lý trụ đất xi măng chịu áp lực nước khi vận hành

3. KẾT LUẬN & KIẾN NGHỊ

Kết quả tính toán phân tích môi trường đất đá xung quanh hầm tròn đào ngang đường kính 4,0 m trên cơ sở mô hình đàn hồi dẻo ở dự án thoát nước đô thị giai đoạn 2 ở khu vực quận 2, TP.Hồ Chí Minh cho phép rút ra các kết luận như sau:

- Ở khu vực có lớp đất sét mềm nhỏ hơn 16 m, độ sâu chôn cống được bố trí trong lớp sét cứng ở độ sâu 22 m: phạm vi vùng dẻo theo phương pháp giải tích và mô phỏng khác biệt nhau không đáng kể. Giá trị chuyển vị đường viền theo tính toán giải tích đạt đến 0,0587 m trong khi theo kết quả mô phỏng từ 0,034 đến 0,044 m. Khoảng hở giữa vỏ và đất đủ để đảm bảo thi công kích đẩy và áp lực lên vỏ không đáng kể sau khi lắp đặt. Khi chịu áp lực tối đa của cột nước cao 22 m thì trong vỏ không xuất hiện ứng suất kéo do áp lực cột đất đủ lớn để giữ cho vỏ cống không xuất hiện ứng suất kéo và gây nứt bê tông.

- Ở khu vực có lớp đất yếu có bề dày lớn hơn 25 m, độ sâu chôn cống theo tuyến 17 m: nền đất sét mềm bão hòa nước mất ổn định trong quá trình khoan đào do mức độ chuyển vị quá lớn không đảm bảo điều kiện thi công và có khả năng gây phá hoại các công trình bên trên trong quá trình khoan đào. Sau khi xử lý bằng trụ xi măng đất, chuyển vị đường viền theo tính toán giải tích có giá trị 0,0123 đến 0,132 m và chuyển vị đường viền lớn nhất theo mô phỏng chỉ 0,013 m. Như vậy, sau khi nền đất được xử lý bằng trụ xi măng đất, chuyển vị đường viền đảm bảo cho việc thi công kích đẩy cống có đường kính vỏ ngoài 3,9 m do chuyển vị đường viền bé nên khoảng hở còn lại đủ đảm bảo cho việc thi công kích đẩy và lắp vỏ. Khi chịu áp lực của cột nước cao 17 m thì trong vỏ cống khu vực sét mềm xử lý trụ đất xi măng không xuất hiện ứng suất kéo do áp lực cột đất đủ lớn để giữ cho vỏ cống không xuất hiện ứng suất kéo và gây nứt bê tông.

Giải pháp trụ đất trộn xi măng chẳng những làm tăng độ bền tổng thể của nền và còn giảm đáng kể mức độ chuyển vị đường viền và áp lực lên vỏ công trình do độ cứng của nền cũng tăng lên đáng kể. Do đó, đây có thể làm giải pháp hợp lý sử dụng để gia cường khi thi công công trình ngầm bằng phương pháp kích đẩy, khi mà độ lớn của khoảng hở giữa đường kính khi đào và vỏ đóng vai trò quan trọng trong áp lực lên vỏ, khả năng lún bề mặt. Thực vậy, khi khoảng hở nhỏ thì áp lực lên vỏ sẽ lớn nhưng biến dạng thể đất nhỏ không gây độ lún bề mặt, khi khoảng hở lớn thì áp lực lên vỏ sau khi lắp nhỏ nhưng có thể không đảm bảo kiểm soát áp lực kéo do cột nước bên trong vỏ cũng như độ lún bề mặt có thể xảy ra do biến dạng thể tích đất giữa khoảng hở.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kiesselbach, G. Curvature (2003). Pipe Jacking with HOBAS CC-GRP Pipes, Water & Wastewater Europe 4-6 March 2003, Nice, France.
2. A.P. Moser (2001). Buried pipe design (2nd edition). Mc. Graw Hill.
3. Watkins, R. K., Loren Runar Anderson (2000). Structural Mechanics of Buried Pipes, CRC Press LLC.
4. Lee, C. J., and Bing-Ru WU, and Shean-Yau CHIOU. Soil movements around a tunnel in soft soils. Proc. Natl. Sci. Counc. ROC (A), Vol. 23, No. 2, 1999, pp. 235-247.
5. G. K. Klein. Tính toán cống ngầm (bản dịch) (1987). Nhà in Minh Sang, Hà Nội.
6. Lee, C. J., and B.R. Wu, H.T. Chen, K.H. Chiang (2006). Tunnel stability and arching effects during tunneling in soft clayey soil, Tunnelling and Underground Space Technology 21, p. 119-132.
7. Bùi Trường Sơn, Võ Đình Dũng. Đánh giá áp lực đất lên công trình ống chôn sâu theo điều kiện thi công. Tạp chí Xây dựng, tháng 04 năm 2013, trang 45-48