

Mái lợp ống cho công trình hầm đào nông tại đô thị

Pipe roofs for shallow tunneling in urban condition

Lương Thị Hằng⁽¹⁾

Tóm tắt

Trong khi xây dựng hầm đang là lựa chọn cho các dự án cơ sở hạ tầng trong khu vực đô thị hoá, thì nhu cầu về xây dựng đối với hầm nông đặt gần khu vực hạ tầng và công trình nhà dân ngày một gia tăng.

Khi mà đóng cửa trong thời gian dài của các đường ray tàu hoặc đường bộ đang hoạt động là không được phép, thì phương pháp đào mở bên dưới ga hoặc toà nhà lại không khả thi trong đô thị luôn tắc nghẽn và chật chội. Do đó, các phương pháp đào ngầm an toàn bên dưới các hạ tầng đô thị cần được thiết kế. Bài viết này nghiên cứu các lựa chọn và thách thức liên quan đến phương án thi công thiết bị chống đỡ trước dưới dạng mái lợp ống khung thép. Các thách thức kỹ thuật và thi công cho các lựa chọn hầm sâu hơn cũng như thi công hầm giao cắt nông sẽ được thảo luận, và những thay thế khả dĩ cho việc thi công mái lợp ống ngầm. Bài báo trình bày ảnh hưởng của mái lợp ống trên bề mặt ổn định được sử dụng bởi mô hình số 3D và các kết quả được so sánh với các mô hình cân bằng giới hạn truyền thống bằng cách sử dụng áp lực đất quá tải tác dụng lên các dầm trên nền đàn hồi.

Từ khóa: chống đỡ trước, đào mở, hầm nông, kỹ thuật đào hộp, mái lợp ống

Abstract

Demands for shallow tunneling which is close to existing buildings or infrastructure, are increasing while tunneling continues to be the choice for structural projects in urban areas. While closing of existing rail lines or roads for a long duration is not be allowed, open cut methods under remaining stations or buildings are not feasible in congested urban areas near busy roads and underground utilities. Methods to allow tunneling safely underneath current infrastructure, therefore, are necessary to be designed. This paper investigates the opportunities and challenges associated with installing pre-support in the form of pipe roofs with steel frames as one such method. The challenges of deeper options as well as shallow crossings, in terms of engineering and construction, are discussed, including possible alternatives to underground pipe roof installation. This paper presents the effects of pipe roofs on surface stability using a 3D numerical model and the results are compared with conventional limited equilibrium models using overburden earth pressure applying on elastic foundation beams.

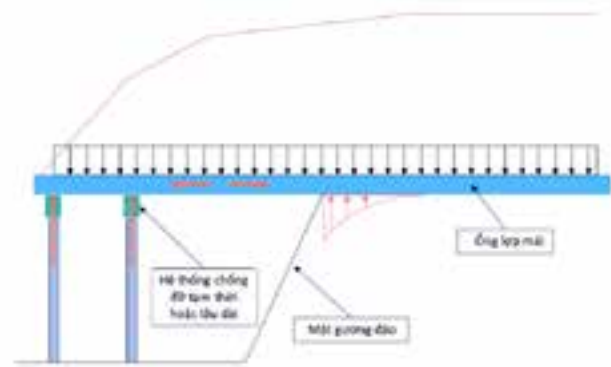
Key words: cut and cover, jacked boxes, pipe proof, pre-support, shallow tunneling

1. Tổng quan

Các đô thị trên thế giới ngày càng trở nên chật chội hơn khi dân số tăng cao, do đó nhu cầu xây dựng các cơ sở hạ tầng mới để đáp ứng được sự tăng trưởng về dân số, trong khi các không gian có sẵn cho các dịch vụ này thì ngày càng giảm đi. Do đó, phương pháp đào ngầm thường được áp dụng để xây dựng những cơ sở hạ tầng và dịch vụ mới dưới mặt đất và được đặt gần cơ sở hạ tầng có sẵn. Các kỹ thuật xây dựng ngầm mà hạn chế tác động lên cơ sở hạ tầng xung quanh sẽ ngày một trở nên quan trọng hơn. Một trong những kỹ thuật đó là sử dụng mái lợp ống để chống đỡ trong quá trình đào những đường hầm nông, thường được sử dụng cho việc xây dựng những giao cắt đường bộ hoặc đường ray có sẵn. Các loại khác nhau của mái lợp ống và phương pháp đào hầm sẽ được mô tả trong bài báo này.

2. Các nguyên tắc xây dựng hầm mái lợp ống

Xây dựng đường hầm bằng mái lợp ống được biết đến bởi nhiều tên gọi khác nhau như: các ống tán, mái lợp ống, mái ô bằng ống, hệ thống chống đỡ tạm thời hoặc lâu dài. Tất cả những tên gọi này đều liên hệ tới kỹ thuật trong đó sử dụng ống thép đóng vào đất nền và xung quanh đường hầm, phía trước mặt gương đào và có tác dụng như là một mái che và chống đỡ bề mặt như Hình 1.



Hình 1. Nguyên tắc kết cấu của mái lợp bằng ống

Hình 2 bên tay phải cho thấy máy đào hầm siêu nhỏ khi thi công các đường kính lớn hơn. Khi thi công các ống với đường kính lớn hơn khoảng 600mm, ổn định gương đào và lún bề mặt cần phải xem xét về tính ổn định và độ lún đối với việc đào hầm. Thi công các lỗ khoan dẫn thường sẽ nhanh hơn và kinh tế hơn, trong trường hợp đất nền không ổn định máy đào hầm siêu nhỏ với điều áp bề mặt gương đào có thể được sử dụng nhằm giảm thiểu độ lún và tránh cho các ống dẫn động bị kẹt.

3. Các loại kết cấu mái lợp ống

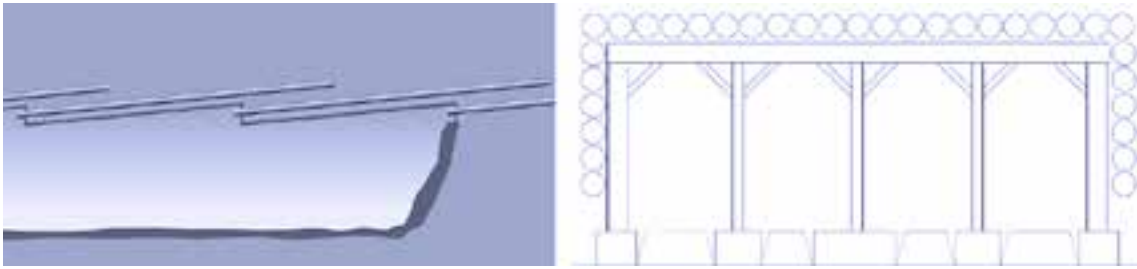
Ngoài những hệ thống chống đỡ trước đã đề cập trong đào hầm, các phương pháp thi công điển hình đối với mái lợp ống được sử dụng bao gồm đào hầm hộp kích và đào thứ tự với khung đỡ bằng thép, trong đó kết cấu bê tông cốt thép tại hiện trường sẽ được đổ ngay sau đó. Các phương pháp

(1) ThS, Giảng viên, khoa Xây dựng, ĐH Kiến trúc Hà Nội, Email: <hanglt@hau.edu.vn>

Ngày nhận bài: 30/7/2022

Ngày sửa bài: 05/8/2022

Ngày duyệt đăng: 22/5/2023



Hình 2. Chống sào trước trong đường hầm thông thường với mái lợp ống toàn chiều dài chống đỡ bởi khung thép

này sẽ được mô tả chi tiết sau đây.

3.1. Thi công hầm hộp kích

Thi công hầm hộp kích là quá trình thi công các miếng ghép khối bê tông cốt thép hình chữ nhật dưới khu vực hạ tầng kỹ thuật có sẵn và thường được đặt dưới kè, bằng cách sử dụng kích thủy lực lớn. Ví dụ của kỹ thuật thi công hộp kích không có mái lợp ống là đường hầm I90 trong Dự án Central Artery/ Đường hầm tại Boston (CA/T), Massachusetts, Hoa Kỳ [1], nơi mà đất đóng băng được sử dụng nhằm ổn định đất nền và giảm thiểu lún [2]. Mặt cắt của đường hầm kết nối với sân bay bên dưới sân bay và đường ray Caboolture tại Brisbane, Úc là một ví dụ của đường hầm kích đẩy được bao phủ bởi mái lợp ống [3].

3.2. Đổ bê tông hiện trường với hệ chống đỡ bằng khung thép

Trong trường hợp đổ bê tông hiện trường đối với kết cấu hầm, đất nền ban đầu tạm thời được chống đỡ đầy đủ bởi các ống thép và khung thép bên trong. Các khung thép sẽ được giữ lại và đổ bê tông khi kết cấu cuối cùng được thi công. Cách làm này tốn ít vật liệu và phải đào ít hơn do kết cấu tạm thời và kết cấu vĩnh cửu được kết hợp. Khi bê tông đạt đủ cường độ, các cột thép thừa có thể được cắt và bỏ đi.

4. Xem xét điều kiện đất nền

4.1. Ổn định mặt gương đào

Có hai vấn đề về ổn định mặt gương đào cần xem xét trong thiết kế mái lợp ống. Đầu tiên, sự mất ổn định ngay lập tức của mặt gương đào có thể xảy ra trong quá trình thi công ống lợp. Quan sát cho thấy hầu hết độ lún xuất hiện trong quá trình ống lợp đang được thi công [4]. Do đó, trong khi vực xảy ra lún, máy đào hầm loại nhỏ với áp lực bề mặt gương đào cân bằng được sử dụng để ổn định mặt gương đào.

Hình 3 thể hiện sự ổn định bề mặt gương đào. Tại điểm cân bằng giới hạn, lực đẩy gây phá hoại trượt bằng với áp

lực chống đỡ Sk. Khi góc nghiêng thay đổi, lực đẩy tiến phía trước thay đổi, và áp lực chống đỡ hữu hiệu được cung cấp bởi neo cũng thay đổi.

4.2. Độ lún

Hình 4 thể hiện mối quan hệ giữa điều kiện địa hình đã cho và địa chất địa tầng trong mô hình 3D. Giá trị này được dùng để xác định áp lực chống đỡ nhỏ nhất cần để đạt được với khối lượng đất đào cụ thể. Ngoài ra, phần lún lớn xảy ra trong quá trình đào hầm do có sự chênh lệch khoảng cách giữa đường kính hố đào và đường kính của ống. Do đó, áp lực bentonite hình vòm cung (trong quá trình đào hầm nhỏ) và phun vữa hình vòm cung (sau khi hoàn thiện từng ống mái) phải được xem xét cân trọng trong chỉ dẫn thiết kế.

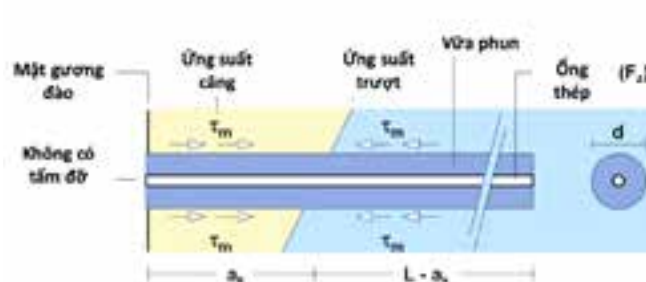
Trong trường hợp bề mặt gương đào không ổn định hoặc bị lún quá lớn, tính chất của đất có thể được cải thiện thông qua việc cải tạo đất nền. Phun vữa áp lực cao là một trong những phương pháp phổ biến. Sự kết hợp của đóng đinh đất và phun vữa cổ kết đã được sử dụng trong kỹ thuật đào hộp tại dự án liên kết sân bay Brisbane [6].

5. Ví dụ áp dụng 1

Nghiên cứu trường hợp giao cắt đường sắt rộng 35m với lớp che phủ hạn chế. Ví dụ về thiết kế của một mái lợp ống cạn xuyên qua, trường hợp của đường hầm rộng 35 m dưới 4 đường ray với khoảng 1,2 m được bao phủ (Hình 5). Mái lợp ống thép tuần tự được chống đỡ bởi khung kết cấu thép trong quá trình đào hầm diễn ra. Độ lún và độ biến dạng được phân tích, đánh giá các yêu cầu về cải tạo nền đất và xác định các lực trong các cấu kiện thép.



Hình 3. Cơ chế phá hoại cho thiết kế gia cố gương đào [5]



Lớp đất bao gồm một lớp đất cát phù sa dày 1 m phủ lên lớp đất còn lại bên dưới. Giá trị SPT N của lớp đất phủ được giả định bằng 5, giá trị còn lại khi tăng theo độ sâu bên dưới lớp đất là 12 và 49. Lớp đá nằm ngay bên dưới khu vực đào. Khu vực này bao gồm 3 m đá cường độ rất thấp ($E = 85 \text{ Mpa}$), bên trên lớp đá cường độ thấp ($E = 400 \text{ Mpa}$). Hai tiêu chí chính cần được kiểm tra trong giai đoạn đầu thiết kế là lún bề mặt và lực của các cấu kiện thép.

5.1. Thiết kế kết cấu

Để tính sơ bộ cấu kiện, trước tiên các tải trọng trên kết cấu cần được xác định. Tải trọng này bao gồm trọng lượng bản thân của đường ống bao gồm bề tổng nếu có, tải trọng đất và tải trọng bề mặt bất kỳ có thể tác dụng lên công trình, ví dụ như tải trọng của tàu hỏa nếu giao cắt nằm ngay dưới kè đường sắt. Thông thường những giao cắt rộng và nông với toàn bộ tải trọng quá tải sẽ được tính đến (trong trường hợp này được tính với trọng lượng đơn vị là 19 kN/m^3). Trong một số trường hợp nhất định, ảnh hưởng của mái vòm có thể được kể đến ví dụ như việc sử dụng lý thuyết silo của Terzaghi.

Đối với ví dụ này, giả sử ống thép có đường kính 1000 mm, độ dày $t = 12,7 \text{ mm}$ chứa đầy vữa cường độ 30 Mpa, ($\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$), tải trọng trên các ống như sau:

Tải trọng bản thân:

$$Q_{\text{ống}} = q_{\text{thép}} + q_{\text{phun_vữa}} \\ = 1000 \cdot \pi \cdot 12,7 \cdot 78,5 \cdot 10^{-6} + \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 9752 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \\ = 3,1 + 16,4 = 19,5 \text{ kN/m}$$

Tải trọng đất:

$$q_{\text{đất}} = 1,1 \cdot 19 = 21 \text{ kN/m}^2$$

Hoạt tải:

Tải trọng của tàu tại độ sâu 1,1 m được lấy xấp xỉ 60 kN/m^2 [7], [8]. Bao gồm hệ số động 0,3 thì tải trọng đoàn tàu bao gồm:

$$q_{\text{tàu}} = (1 + 0,3) \cdot 60 = 78 \text{ kN/m}^2$$

Tải trọng thêm vào 4 kN/m^2 được giả định cho tải trọng của đá balát, ray và tà vẹt.

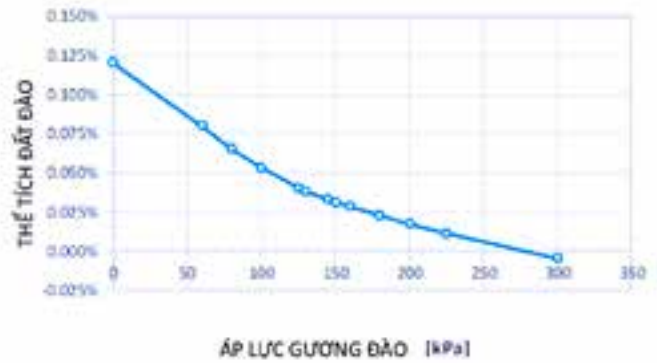
Tổng tải trọng theo trạng thái giới hạn trong giai đoạn sử dụng (SLS) là:

$$P_{\text{SLS}} = 1,2 \cdot 21 + 1,0 \cdot 78 + 1,2 \cdot 4 = 108 \text{ kN/m}^2$$

Tổng tải trọng theo trạng thái giới hạn cuối cùng (ULS) là:

$$P_{\text{ULS}} = 1,5 \cdot 21 + 1,6 \cdot 78 + 1,4 \cdot 4 = 162 \text{ kN/m}^2$$

Tại độ sâu 1,1m, tải trọng lên từng ống thép bao gồm tải



Hình 4. Kiểm tra độ nhạy điển hình của áp lực gương đào lên khối lượng đất đào

trọng bản thân là:

$$Q_{\text{SLS}} = 1,0 \cdot 19,5 + 108 \cdot 1,1 = 138 \text{ kN/m}$$

$$P_{\text{SLS}} = 1,2 \cdot 19,5 + 162 \cdot 1,1 = 202 \text{ kN/m}$$

Phân tích tính toán lực cấu kiện đã được miêu tả như sau.

Phương pháp tính toán lực:

Hệ thống kết cấu cho các ống có thể được giả thiết bằng mỗi nối mô-men cố định, trong đó các ống phía trước của hố đào sẽ được cố định trong đất và được ghim tại vị trí chống đỡ đầu tiên. Phương pháp đề xuất sử dụng độ dài không được chống đỡ 1,5 lần cho nhịp ước tính đầu tiên [9].

Độ dài không được chống đỡ phụ thuộc vào độ dốc có thể có của gương đào tại vị trí hố đào vẫn đang được ổn định. Có thể kiểm tra độ ổn định mặt gương đào bằng cách sử dụng phương pháp kể trên. Nếu độ dốc giả thiết là 1:3, thì độ dài không được chống đỡ = khoảng cách được chống đỡ + $h_{\text{hố đào}}/3$.

Với độ cao hố đào là 8 m và khoảng cách khung chống đỡ là 2 m, thì độ dài không được chống đỡ sẽ là:

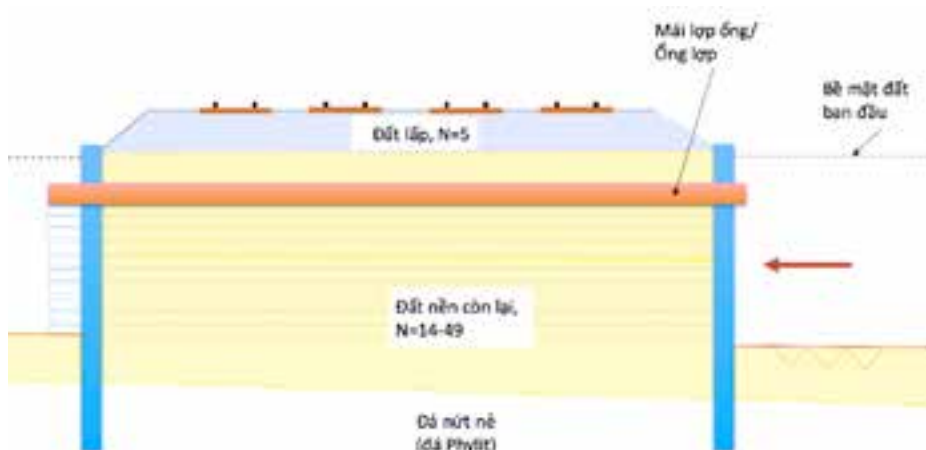
$$L_{\text{không chống}} = 2 + 8/3 = 4,7 \text{ m}$$

$$L_{\text{cố định}} = 1,5 \cdot L_{\text{không chống}} = 1,5 \cdot 4,7 = 7 \text{ m}$$

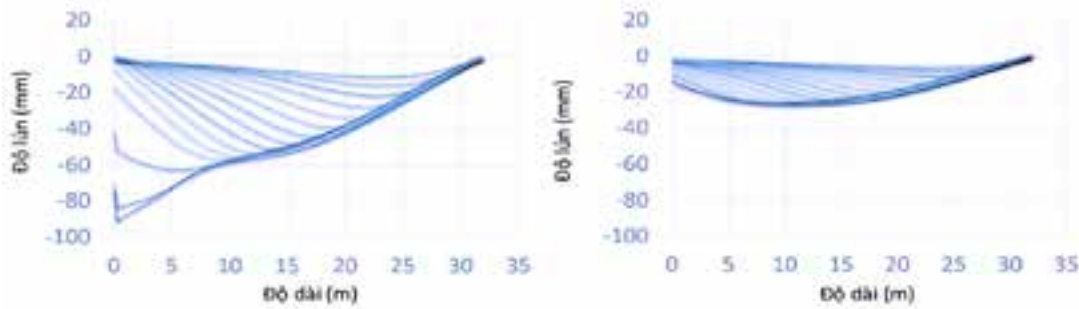
Mô-men uốn lớn nhất và lực cắt của ống thép (như dầm có khớp đỡ một đầu) là:

$$M_{\text{max;ULS}} = 1/8 \cdot q \cdot L_{\text{cố định}}^2 = 1225 \text{ kNm}$$

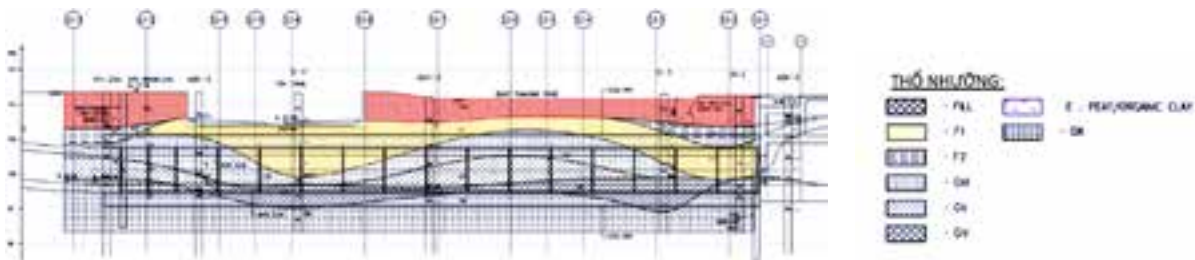
$$V_{\text{max;ULS}} = 5/8 \cdot q \cdot L_{\text{cố định}} = 875 \text{ kN}$$



Hình 5. Sơ đồ mặt cắt của đường chui



Hình 6. Kết quả phân tích của Plaxis không có (LHS) và với cải thiện đất nền (RHS) - miêu tả độ lún bề mặt tại các giai đoạn khác nhau, hố đào bắt đầu từ 32 m và đào trước 0 m



Hình 7. Điều kiện địa chất dọc theo đường hầm

5.2. Thiết kế địa kỹ thuật

Mục đích đánh giá độ lún bề mặt và sau đó thiết lập nhu cầu cải tạo đất nền, phân tích theo các giai đoạn bằng mô hình 2D đã được thực hiện.

Trường hợp cơ bản được tính toán với các thuộc tính sau:

Mô đun của đất nền: $E' = 32,5 \text{ Mpa}$

Sức kháng đất không thoát nước: $c_u = 125 \text{ kPa}$

Hình 6 cho thấy độ lún bề mặt ở mỗi giai đoạn. Với độ lún lớn nhất trên 80 mm có thể coi là quá mức cho phép, ví dụ nếu các hoạt động đường sắt phải tiếp tục trong quá trình xây dựng. Một phân tích khác được thực hiện với nền đất đã được gia cố có $E' = 90 \text{ MPa}$ và $c_u = 300 \text{ kPa}$, thông qua phụt vữa, được thể hiện ở bên phải hình 6. Với độ lún tối đa đạt được là 27mm, giá trị này được chấp nhận hơn nhiều so với giá trị trước. Phân tích này cho thấy trong đất yếu việc cải thiện đất thường được yêu cầu trong giới hạn độ lún theo thời gian trong quá trình đào hầm. Điều này đặc biệt đúng với các hố đào gần khu vực công trình xây dựng nhạy cảm.

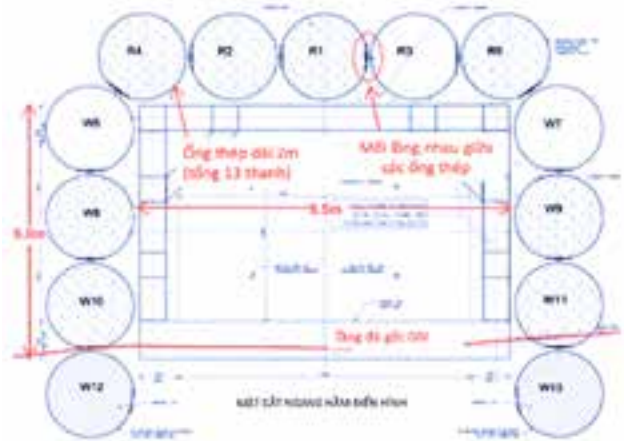
6. Ví dụ áp dụng 2

Một ví dụ khác của mái lợp ống có đường kính lớn và điều kiện bên dưới có thể được sử dụng. Thiết kế kết cấu được xem xét đối với mái lợp ống đường kính lớn tương tự như trong Phương pháp tính toán lực của Ví dụ áp dụng 1, và không được lặp lại ở đây.

6.1. Điều kiện địa chất và đất nền

Đường hầm trong nghiên cứu này nằm sâu 13 m bên dưới cốt 0,0 m và được đào trong đất hỗn hợp. Điều kiện đất nền thường bao gồm 3m đất lấp, cát phù sa và sét phù sa bồi đắp granit phong hoá. Nền của đá granit nằm ở độ cao khoảng 18 m đến 20 m dưới mặt đất. Dựa trên cấu trúc địa chất như hình 9, đường hầm đào được dự kiến nằm trong đất đá phong hoá granit.

Một số đoạn nhất định của hầm có mái ống thép dự kiến sẽ có đất cát pha tại đỉnh hầm, điều này dẫn tới nguy cơ mất



Hình 8. Mặt cắt điển hình của dự án đường nổi

ổn định mặt gương đào trong mái lợp ống trong quá trình đào, tăng nguy cơ sụt lún trên mặt đất. Kết cấu chống đỡ tạm thời được đề xuất bao gồm các ống thép tạo thành khung thép tạm thời như Hình 8. Mái ống thép được xây dựng bằng cách sử dụng 13 thanh thép đường kính 2m, hộp ống xung quanh biên đường hầm sử dụng máy đào hầm cỡ nhỏ mini TBM. Đường kính của các ống thép dùng cho dự án này lớn hơn nhiều so với các dự án tương tự.

6.2. Ưu nhược điểm của mái lợp ống đường kính lớn

Ưu điểm chính của việc sử dụng mái lợp ống đường kính lớn là giảm thiểu số lượng ống thép sử dụng. Trong trường hợp này số lượng ống thép giảm từ 42 ống đường kính 0,8 m thành 13 ống với đường kính 2m. Ống thép có đường kính lớn hơn cũng cung cấp sức kháng uốn tốt hơn, do đó nhịp đào cũng lớn hơn, tuy nhiên điều này cũng gây ra các lực

(xem tiếp trang 81)

4. Kết luận

Trong quá trình nuôi bùn hạt hiếu khí, quá trình hình thành hạt và quá trình loại bỏ các chất hữu cơ trong nước thải luôn diễn ra đồng thời.

Hiệu quả loại bỏ trên 90%COD, trên 80% NH₄⁺ - N. Kết quả nghiên cứu xử lý cơ chất của bùn hạt hiếu khí trên

mô hình công nghệ SBR đối với nước thải nhân tạo trong phòng thí nghiệm với điều kiện tại Việt Nam cho kết quả tốt. Đây là căn cứ làm cơ sở cho các nghiên cứu khác liên quan đến ứng dụng bùn hạt hiếu khí trong XLNT đô thị tại Việt Nam./.

Tài liệu tham khảo

1. Nguyễn Đăng Hải, Trần Quang Lộc, Trần Thị Tú, Hoàng Ngọc Tường Vân và Nguyễn Quang Hưng. Sự hình thành và phát triển của bùn hạt hiếu khí ở các lưu lượng sục khí khác nhau trên bể SBR. Viện Tài nguyên và Môi trường. Đại học Huế -24/4/2015.
2. Trương thị Bích Hồng, Nguyễn Phương Thanh, Bùi Việt Hà, Nguyễn Văn Phước. Sự hình thành và ổn định của bùn hạt hiếu khí trên mô hình công nghệ SBR trong XLNT chế biến tinh bột sắn. Viện tài Nguyên môi trường - ĐHQG-TPHCM-19/4/2016.
3. JICA, Quản lý thoát nước, xử lý nước thải tại Việt Nam và kinh nghiệm của Nhật Bản. Báo cáo hội thảo 2020.
4. Adav SS, Lee DJ, Show KY, Tay JH. Aerobic granular sludge: recent advances. *Biotechnol Adv* 2008;26:411–23.
5. Boston: McGraw Hill. McSwain, BS.; Irvine, RL.; Wilderal, PA. (2003) *The effect of intermittent feeding on aerobic granule structure. 5th International Conference on Biofilm Systems by International Water Association. South Africa: Cape Town.*
6. Gaetano Di Bellaa, Michele Torregrossa. Aerobic Granular Sludge for Leachate Treatment. *Facoltà di Ingegneria e Architettura dell'Università Kore di Enna, Cittadella Universitaria 94100 Enna, Italy, Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale, Aerospaziale, dei Materiali, Università degli Studi di Palermo-2014.*
7. Norhayati Abdullah, Zaini Ujang, Adibah Yahya. Aerobic granular sludge formation for high strength agro-based wastewater treatment. *Universiti Teknologi Malaysia, 81310 Skudai, Johor, Malaysia 2011.*
8. Meyer, RL.; Saunders, AM.; Zeng, RJ.; Keller, J.; Blackall, LL. (2003). *Microscale structure and function of anaerobic-aerobic granules containing*
9. Liu Y, Yang SF, Tay JH. Elemental compositions and characteristics of aerobic granules cultivated at different substrate N/C ratios. *Appl Microbiol Biotechnol*, 61, 556.
10. Liu, Y.; Tay, JH. (2004). *State of the art of biogranulation technology for wastewater treatment Biotechnology Advances. Environ Technol* 22, 533.

Mái lợp ống cho công trình hầm đào nông...

(tiếp theo trang 47)

trong khung lớn và bản thân khung cũng nặng hơn so với yêu cầu. Chiều dài mỗi đợt đào đất được tăng lên từ 1,5m tới 6,0m. Nhược điểm là giới hạn sự ép dùn mặt gương đào, dẫn đến giảm yêu cầu lắp đặt bu-lông bề mặt. Đồng thời sử dụng loại ống có đường kính lớn hơn dẫn đến thời gian hàn mối nối lâu hơn (khi đang tiến hành kích dầy) và lượng hư hỏng sẽ lớn hơn.

7. Kết luận

Các đặc tính và thiết kế hệ thống mái lợp ống trong hầm trong khu vực dân cư đã được nghiên cứu. Đặc biệt tập trung vào các phương pháp thi công ống thép có đường kính lớn và thi công với độ vượn dài phía trước hố đào. Sau khi mái lợp ống chống đỡ được xây dựng, đường hầm sẽ được đào bên dưới. Các phương pháp phân tích lực xuất hiện trong các cấu kiện chịu lực, cũng như ổn định bề mặt gương đào cũng đã được thảo luận trong bài viết này. Mái lợp ống có thể hiệu quả trong việc giảm độ lún và tăng ổn định gương đào của những đường hầm đào nông. Do mái lợp ống phụ thuộc vào sự chống đỡ từ đất nền chưa đào trước bề mặt gương đào, nên việc cải thiện đất nền là cần thiết, đặc biệt trong đất yếu. Ống thép với đường kính lớn, từ 2m trở lên, là một ưu thế. Bài viết kiến nghị nghiên cứu thêm về tính tương quan giữa độ cứng đường ống, độ cứng khung thép và khoảng cách giữa các hệ thống này trong giai đoạn thiết kế sau đó./.

Tài liệu tham khảo

1. Department, Massachusetts Turnpike Authority, Central Artery (I-93) / Tunnel Project (I-90), 2002.
2. O'Blenis, R.D., Lắp đặt đường hầm dưới đường ray xe lửa tại ga phía nam. Đường cao tốc Boston, MA, Massachusetts.
3. Pearson, A.M., S.K. Au, A.N. Lees, J. Kruger. Cải tạo mặt đất cho một đường hầm hộp lớn. Địa kỹ thuật HKIE.
4. Badurdeen, F.S. và Senthilnath, GT.. Mái bằng ống đường kính lớn kỹ thuật đào hộp cho đường hầm liên kết chờ khách. TUCSS, Singapore 2017.
5. Serafeimidis, K, M. Ramoni, G. Anagnostou. Phân tích sự ổn định của các gương đào đường hầm được gia cố. Hội nghị Châu Âu lần thứ 14 về Cơ học đất và Địa kỹ thuật, 2007, trang 1079–1084.
6. Cheng, Y.M., S.K. Au, A.M. Pearson, N. Li. Một hệ thống Geonail cải tiến để ổn định nền đất yếu. Đất và Nền móng 2013; 53 (2): 282–298, 2013.
7. Tiêu chuẩn xây dựng TCVN 2737:2020 Tải trọng và tác động – Tiêu chuẩn thiết kế.
8. Tiêu chuẩn ngành 22 TCN 18:79 – Quy trình thiết kế cầu cống theo trạng thái giới hạn.
9. John, M., B. Mattle, Thiết kế Ô dù ống, Đường hầm 11. RÖCKNIK, č. 3/2002, 2–9, 2003.