

THIẾT KẾ LƯỚI QUAN TRẮC CHUYỂN DỊCH VÀ BIẾN DẠNG BỀ MẶT DO CÔNG TRÌNH ĐƯỜNG HÀM TÀU ĐIỆN NGẦM GÂY RA

Nguyễn Xuân Bắc, Phạm Thị Thu Hương, Trần Thị Thu Trang
Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Bài viết nghiên cứu ứng dụng phương pháp phần tử hữu hạn để mô hình hóa đường hầm tàu điện ngầm với các thông số đầu vào là bán kính đường hầm, độ sâu đặt đường hầm, tính chất cơ lý của các lớp đất và tính chất của vỏ hầm. Mô hình hóa được thực hiện với các phương án khác nhau, thay đổi kích thước đường kính và mực sâu phân bố đường hầm. Thực hiện mô hình hóa thu được kết quả chuyển dịch và biến dạng bề mặt đất, tác giả đã đề xuất hàm đa thức với các biến là góc ma sát trong, bán kính đường hầm và độ sâu đặt đường hầm. Từ đó, dự báo góc chuyển dịch đoạn Kim Mã - ga Hà Nội. Trên cơ sở đó, nghiên cứu này đề xuất phương án thiết kế lưới quan trắc chuyển dịch bề mặt do công trình tàu điện ngầm gây ra.

Từ khoá: Dịch chuyển bề mặt; Biến dạng; Công trình ngầm.

Abstract

Designing displacement monitoring network and surface deformation caused by subway tunnels

The finite element method was applied to model subway tunnels with different input features, such as tunnel diameters, tunnel depths, mechanical and physical properties of soil layers and characteristics of tunnel lining. There are some scenarios of the subway tunnels model (e.g. changing the tunnel diameters and tunnel depths). A polynomial function using internal friction angle, tunnel diameters and tunnel depths was derived from the results of the ground surface movement and deformation modelling for predicting displacement angle of Hanoi subway at Kim Ma - Hanoi Station section. On that basis, this study proposes a design plan for the surface displacement monitoring network caused by the subway project.

Keywords: Displacements of a terrestrial surface; Deformations; Underground building.

1. Giới thiệu

Ngày nay việc khai thác không gian ngầm ở các thành phố lớn, đặc biệt việc xây dựng các công trình giao thông ngầm dẫn đến hệ quả ảnh hưởng xấu đến địa chất môi trường, nhà ở và các công trình công cộng phân bố phía trên bề mặt, nơi có công trình ngầm chạy qua.

Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin, việc áp dụng tin học vào dự báo chuyển dịch và biến dạng đạt được nhiều thành tựu, cần phải kể đến phương pháp phần tử hữu hạn, phương pháp giới hạn biên và các phương pháp khác. Được ứng dụng rộng rãi trong dự báo chuyển dịch và biến dạng bề mặt do xây dựng

đường hầm tàu điện ngầm đó là phương pháp phần tử hữu hạn, có thể kể đến các tác giả A. G. Protosen, V.M. Ulsik, D.A. Potemkin, M.A. Karaseva, P.A. Demenkova, Phạm Anh Tuấn, Nguyễn Xuân Bắc và các tác giả khác.

Trong bài báo này tác giả đưa ra phương án tính biến dạng và chuyển dịch bề mặt có tính đến bán kính đường hầm, độ sâu đặt đường hầm, tính chất cơ lý của các lớp đất, tính chất của vỏ hầm.

Tư liệu sử dụng được tác giả lấy từ thuyết minh thiết kế kỹ thuật dự án tuyến đường sắt đô thị đoạn Nhổn - ga Hà Nội, cụ thể đoạn đi ngầm Kim Mã - ga Hà Nội.

Bảng 1. Thông số cơ lý trung bình của các lớp đất

Các lớp	g_w (g/)	g_c (g/)	E (kg/)	C (kg/)	φ_{TB} ()
lớp 1 (8 m)	1.839	1.385	152.904	0.124	18.265
lớp 2 (10 m)	1.865	1.450	146.540	0.226	18.529
lớp 3 (12 m)	1.942	1.564	146.768	0.086	26.520
lớp 4 (10 m)	1.946	1.591	154.997	0.092	28.655

2. Dự báo chuyển dịch và biến dạng

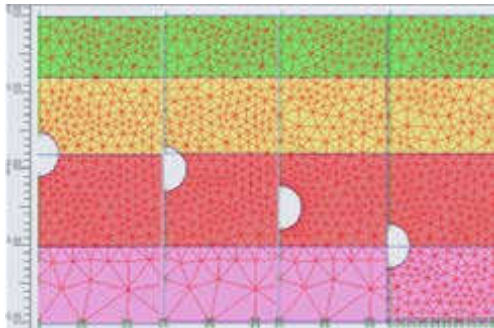
2.1. Thực hiện mô hình hóa bằng phần mềm plaxis 8.2

Từ 5 thông số đầu vào trong Bảng 1 tác giả tiến hành nhập vào chương trình Plaxis 8.2 để thực hiện mô hình hóa với độ sâu của đường hầm $h = (18 \text{ m}, 20 \text{ m}, 25 \text{ m}, 30 \text{ m})$, ứng với các độ sâu đó, tác giả thay đổi bán kính đường hầm theo các giá trị $R = (2.75 \text{ m}, 3 \text{ m}, 3.5 \text{ m}, 4 \text{ m})$ và 7 giá trị góc nội ma sát từ giá trị trung bình thay đổi theo công thức:

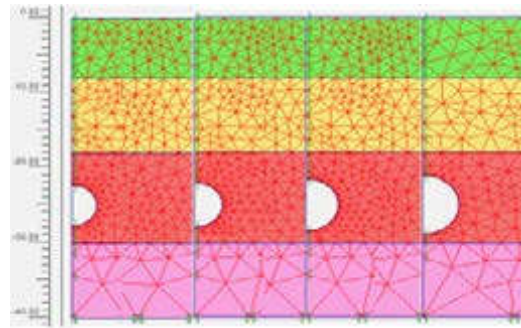
$$\varphi_1 = \varphi_{TB}; \varphi_2 = \varphi_{TB} - 0.12\varphi_{TB}; \varphi_3 = \varphi_{TB} - 0.08\varphi_{TB}; \varphi_4 = \varphi_{TB} - 0.04\varphi_{TB}; \\ \varphi_5 = \varphi_{TB} + 0.04\varphi_{TB}; \varphi_6 = \varphi_{TB} + 0.08\varphi_{TB}; \varphi_7 = \varphi_{TB} + 0.12\varphi_{TB}$$

trong đó φ_{TB} là giá trị trung bình của góc ma sát trong ở Bảng 1.

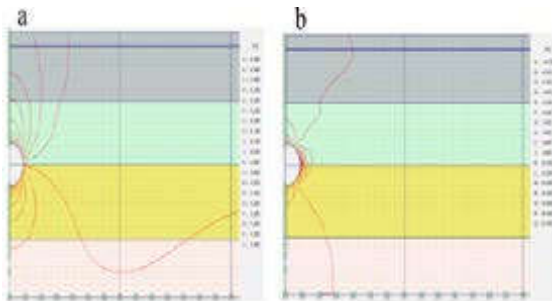
Kết quả thu nhận được từ mô hình: đó là các giá trị dịch chuyển đứng, giá trị dịch chuyển ngang, giá trị biến dạng đứng, giá trị biến dạng ngang. Sử dụng kết quả đó cùng với các giá trị giới hạn biến dạng và giới hạn độ nghiêng $= 0.5.10^{-3}$ [2], thu được giá trị góc giới hạn chuyển dịch ứng với từng mô hình.



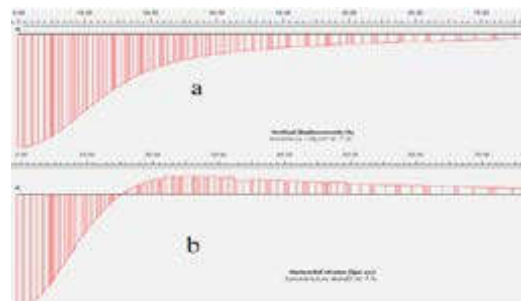
Hình 1: Mô hình hóa đường hầm có cùng bán kính phân bố ở độ sâu khác nhau



Hình 2: Mô hình hóa đường hầm ở cùng độ sâu với bán kính khác nhau

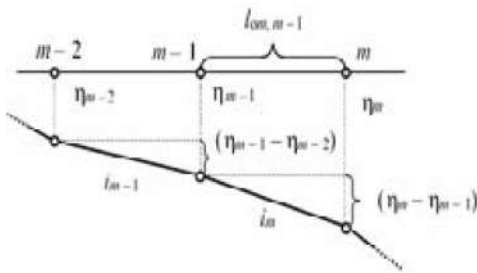


Hình 3: Kết quả phân bố chuyển dịch đứng (a) và biến dạng ngang (b) thu nhận được ở các mô hình

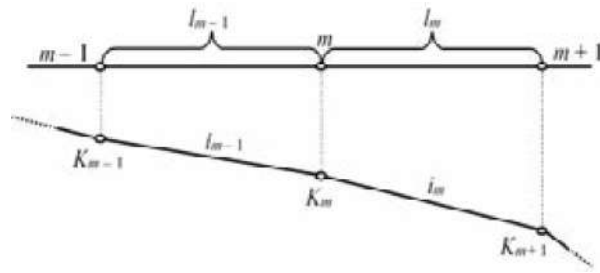


Hình 4: Kết quả chuyển dịch đứng (a) và biến dạng ngang (b) trên bề mặt đất

Phương pháp xử lý số liệu mô hình:



Hình 5: Sơ đồ tính độ nghiêng của các đoạn trên bề mặt đất



Hình 6: Sơ đồ tính độ cong

2.2. Đề xuất hàm dự báo góc chuyển dịch

Tác giả xác định hàm góc chuyển dịch phụ thuộc vào góc ma sát trong, bán kính đường hầm R và độ sâu đặt đường hầm H có dạng như sau [3]:

$$\delta_0(\varphi, R, H) = a.\varphi + b.R^2 - c.R + k.H \quad (1)$$

Sau quá trình tính toán kết quả bài báo đã đưa ra được các hệ số a, b, c, k trong hàm số góc chuyển dịch trong phương trình (1) ứng với các trường hợp các độ sâu khác nhau (ứng với nền địa chất tuyến Kim Mã - ga Hà Nội). Từ đó xác định được biên độ ảnh hưởng trên bề mặt do việc thi công công trình ngầm gây ra.

+ Trường hợp hầm đơn không có vỏ hầm thu được góc chuyển dịch theo hàm sau:

$$\delta_0 = 1,55. \varphi + 2,4.R^2 - 19,2.R - 0,0807.H + 3,8761$$

+ Trường hợp hầm đơn có vỏ hầm thu được góc chuyển dịch theo hàm sau:

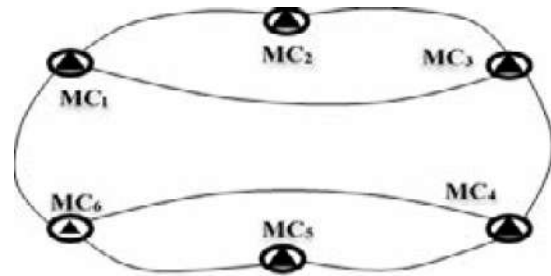
$$\delta_0 = 1,55. \varphi + 1,4.R^2 - 22.R + 1,2608.H - 1,5207$$

Hàm thực nghiệm của tác giả đưa ra ứng với độ sâu H = 18m trở xuống (18 m, 20 m, 25 m, 30 m) hoàn toàn đáng tin cậy, có độ lệch giá trị góc chuyển dịch tính theo hàm thực nghiệm so với kết quả thu được từ mô hình là < 10%.

3. Thiết kế hệ thống lưới trong quan trắc chuyển dịch biến dạng

3.1. Thiết kế lưới không chế cơ sở

Hệ thống lưới không chế cơ sở nằm ngoài khu vực chịu ảnh hưởng chuyển dịch bề mặt do tác động của đường hầm tàu điện ngầm, cách tim trục của đường hầm chiều lên mặt đất trên 50 mét. Mốc cơ sở thường được bố trí thành từng cụm 3 mốc để có điều kiện kiểm tra sự ổn định của các mốc. Trong bài báo sẽ đưa ra một số phương án thiết kế lưới, tiến hành so sánh độ chính xác giữa các phương án để từ đó đề xuất phương án được cho là tối ưu. Hình 7 là một trong những phương án thiết kế.



Hình 7: Sơ đồ bố trí mốc cơ sở

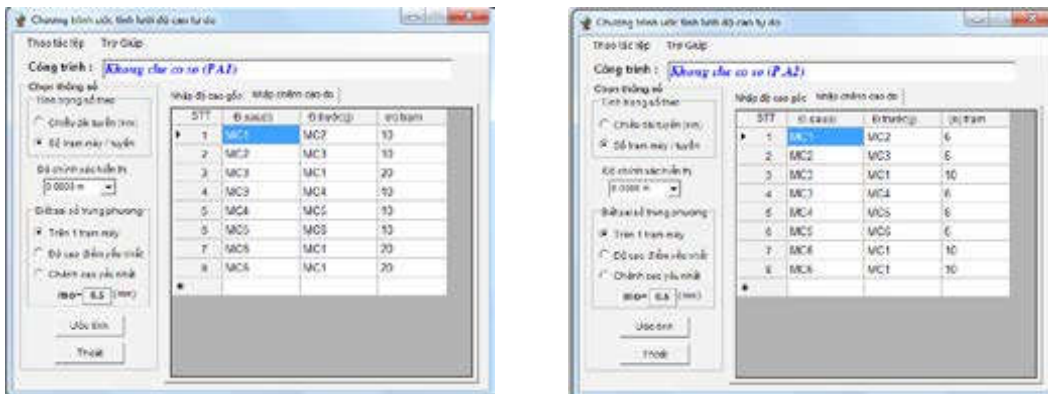


Hình 8: Sơ đồ ước tính lưới

Ước tính độ chính xác của lưới cơ sở:

Tác giả sử dụng phần mềm DPSURVEY 2.8, để ước tính lưới theo phương pháp chặt chẽ với sơ đồ ước tính được minh họa trong Hình 8. Ước tính độ chính xác của lưới cơ sở áp dụng cho 2 trường hợp hầm có vỏ và hầm không vỏ. Sự khác nhau giữa hai phương án là ở dự

kiến số lượng trạm máy trên mỗi tuyến đo, còn về độ chính xác đo dự kiến ở cả hai phương án đều cho tương đương với thủy chuẩn hạng II, tức là sai số trung phương trên 1 trạm máy $m_0 = 0.5 \text{ mm}$. Khi đó có thể coi hiệu độ cao của điểm quan trắc giữa các chu kỳ chính là độ lún thực tế của điểm quan trắc.



Hình 9: Ước tính lưới không chế cơ sở

Kết quả ước tính lưới không chế cơ sở:

Phương án 1: Thành lập 06 mốc không chế cơ sở từ MC1 đến MC6 như sơ đồ Hình 7, số lượng trạm đo trên mỗi tuyến từ 4 - 8 trạm.

- Sai số trung phương (SSTP) trọng số đơn vị $m_0 = \pm 0.50 \text{ mm/Trạm}$.

- SSTP độ cao điểm yếu nhất:

$$m_{H(MC5)} = \pm 1.09 \text{ (mm)}.$$

- SSTP chênh cao yếu nhất:

$$m_{(MC6 - MC4)} = \pm 0.87 \text{ (mm)}.$$

Phương án 2: Thành lập 05 mốc không chế cơ sở gồm mốc MC1, MC2 MC3, MC4, MC6 tạo thành 1 vòng thủy chuẩn khép kín, số lượng trạm đo trên mỗi tuyến từ 6 - 12 trạm.

- Sai số trung phương (SSTP) trọng số đơn vị $m_0 = \pm 0.50 \text{ mm/Trạm}$.

- SSTP độ cao điểm yếu nhất:

$$m_{H(MC4)} = \pm 1.34 \text{ (mm)}.$$

- SSTP chênh cao yếu nhất:

$$m_{(MC4 - MC6)} = \pm 1.34 \text{ (mm)}.$$

Phương án 3: Thành lập 04 mốc không chế cơ sở gồm mốc MC1, MC3, MC4, MC6 tạo thành 1 vòng thủy chuẩn khép kín, số lượng trạm đo trên mỗi tuyến từ 10 - 12 trạm.

- Sai số trung phương (SSTP) trọng số đơn vị $m_0 = \pm 0.50 \text{ mm/Trạm}$.

- SSTP độ cao điểm yếu nhất:

$$m_{H(MC4)} = \pm 1.66 \text{ (mm)}.$$

- SSTP chênh cao yếu nhất:

$$m_{(MC4 - MC6)} = \pm 1.48 \text{ (mm)}.$$

Nhận xét: Dựa trên kết quả ước tính và yêu cầu về độ chính xác theo [6] về quan trắc lún, cũng như tiêu chí độ nhạy của lưới trong việc phát hiện độ lún [5]:

+ Trường hợp hầm có xây vỏ giá trị nhỏ nhất của độ lún cực đại theo dự báo đạt 11 mm: Để phát hiện độ lún một cách chính xác, lưới cần thành lập 6 điểm không chế cơ sở, độ chính xác đo đặc tương đương hạng II nhà nước như theo phương án 1.

+ Trường hợp hầm không xây vỏ trị nhỏ nhất của độ lún cực đại theo dự báo đạt 24 mm: Để phát hiện độ lún một cách chính xác, lưới có thể thành lập từ 4 đến 6 điểm lưới khống chế cơ sở, độ chính xác đo đặc tương đương hạng II nhà nước như theo phương án 3.

Như vậy trong thiết kế tác giả đề xuất lựa chọn cụm mốc cơ sở gồm 6 mốc được bố trí như đồ hình trong Hình 7.

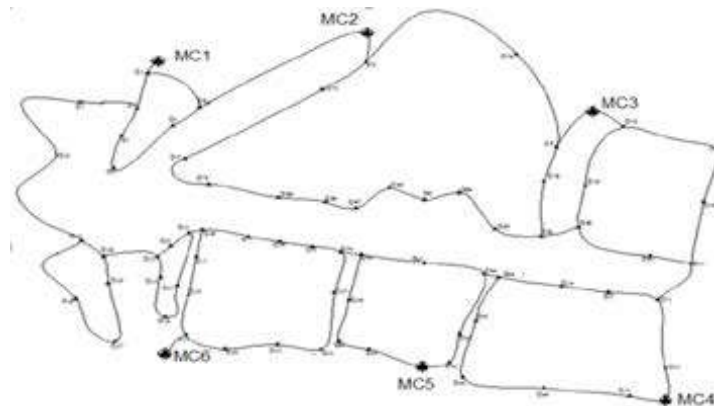
3.2. Thiết kế lưới quan trắc

Hệ thống lưới khống chế quan trắc gồm nhiều vòng khép với số lượng lớn

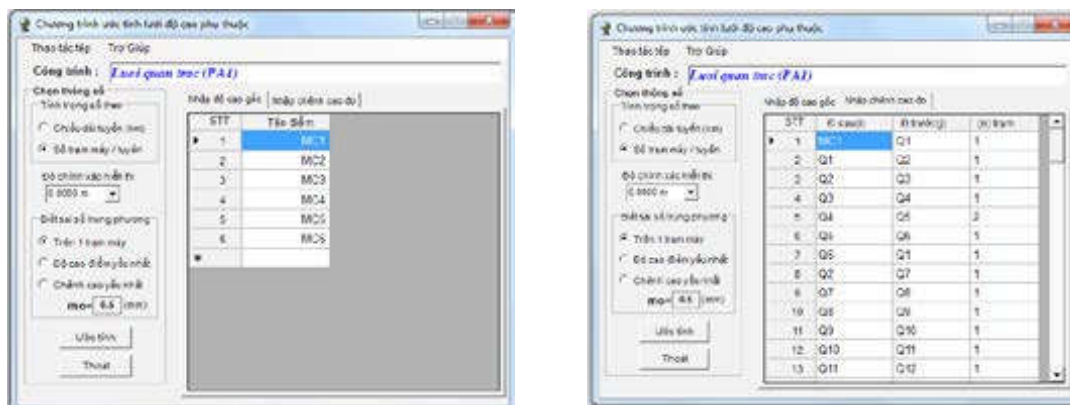
các điểm mốc nằm trong khu vực chịu ảnh hưởng chuyển dịch bề mặt do tác động của đường hầm tàu điện ngầm. Các điểm mốc phủ trùm trên khu vực thực nghiệm, được xây lựa chọn và xây dựng theo đúng tiêu chí của mốc quan trắc.

Ước tính độ chính xác của lưới quan trắc:

Phương án 1: Sử dụng 6 điểm mốc thuộc lưới khống chế cơ sở làm gốc (như Hình 10). Ước tính độ chính xác đo đặc tương đương hạng II nhà nước. Chọn sai số trung phương trên 1 trạm máy = ± 0.5 mm.



Hình 10: Hệ thống mốc quan trắc



Hình 11: Ước tính lưới quan trắc (Phương án 1)

Kết quả ước tính lưới quan trắc trường hợp xây dựng hầm có vỏ hầm như sau:

- Sai số trung phương trọng số đơn vị $m_0 = \pm 0.50$ mm/Trạm.
- SSTP độ cao điểm yếu nhất: $m_{H(Q16)} = 1.14$ (mm).

- SSTP chênh cao yếu nhất: $m_{(Q71 - Q72)} = 0.66$ (mm).

Phương án 2: Sử dụng 6 điểm mốc thuộc lưới khống chế cơ sở làm gốc (như Hình 10). Ước tính độ chính xác

Nghiên cứu

đo đặc tương đương hạng III nhà nước. Chọn sai số trung phương trên 1 trạm máy = ± 1.0 mm.

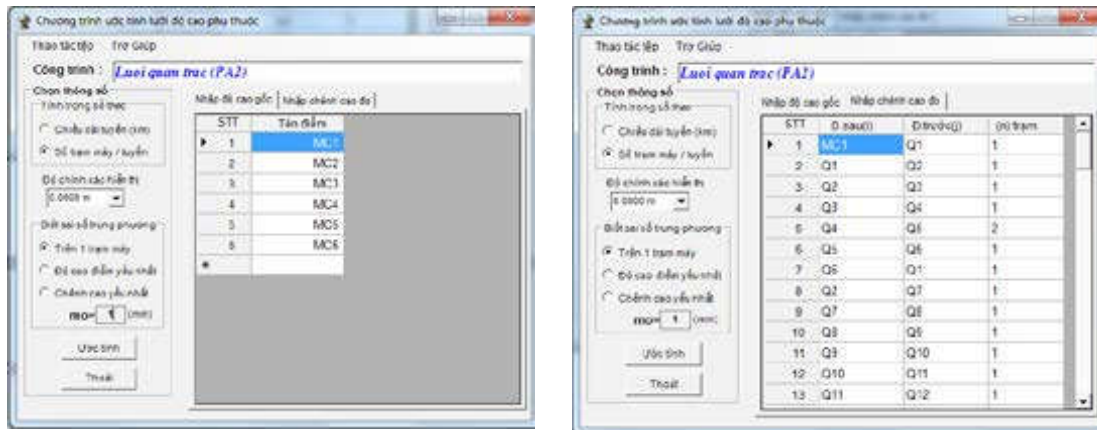
Kết quả ước tính lưới quan trắc trường hợp xây dựng hầm không có vỏ hầm như sau:

- Sai số trung phương trọng số đơn vị $m_0 = \pm 1.00$ mm/Trạm.

- SSTP độ cao điểm yếu nhất: $m_{H(Q16)} = 2.28$ (mm).

- SSTP chênh cao yếu nhất:

$$m_{(Q71 - Q72)} = 1.33 \text{ (mm)}.$$



Hình 12: Ước tính lưới quan trắc (Phương án 2)

Kết quả ước tính lưới quan trắc như sau:

- Sai số trung phương trọng số đơn vị $m_0 = \pm 1.00$ mm/Trạm.

- SSTP độ cao điểm yếu nhất:

$$m_{H(Q16)} = \pm 2.31 \text{ (mm)}.$$

- SSTP chênh cao yếu nhất:

$$m_{(Q71 - Q72)} = \pm 1.33 \text{ (mm)}.$$

Nhận xét: Dựa trên kết quả ước tính và yêu cầu về độ chính xác theo [6] về quan trắc lún, cũng như tiêu chí độ nhạy của lưới trong việc phát hiện độ lún [5]:

+ Trường hợp hầm có xây vỏ: Để phát hiện độ lún một cách chính xác, lưới phát triển dựa vào 6 điểm gốc thuộc lưới không chế cơ sở, độ chính xác đo đặc tương đương hạng II nhà nước như theo phương án 1.

+ Trường hợp hầm không xây vỏ: Để phát hiện độ lún một cách chính xác, lưới phát triển có thể dựa vào 6 điểm gốc thuộc

lưới không chế cơ sở, độ chính xác đo đặc tương đương hạng III nhà nước như theo phương án 2.

** Dụng cụ đo, phương pháp đo*

Để xác định độ lún công trình trong cả hai phương án sử dụng máy thủy bình độ chính xác cao Ni007, mia inva có gắn bọt thủy tròn, vạch chia đến 0.5 mm. Trước khi tiến hành đo đặc đều tiến hành kiểm nghiệm các điều kiện cơ bản của dụng cụ đo. Sử dụng phương pháp đo cao hình học tia ngắm ngắn. Sai số khép vòng đo không vượt quá hạn sai của hạng II là

$$f_{hcf} = \pm 0.5\sqrt{n}, \text{ n là số trạm đo.}$$

4. Kết luận

Tác giả dựa trên các tính chất cơ lý của nền đất đoạn Kim Mã - ga Hà Nội, từ đó thực hiện khối lượng lớn mô hình, xác định được hàm góc chuyển dịch phụ thuộc vào góc ma sát trong, bán kính đường hầm R và độ sâu đặt đường hầm H

có dạng như sau: $= a. + b.R^2 - c.R + k.H$. Từ đó xác định được biên độ ảnh hưởng trên bề mặt do việc thi công hầm tàu điện ngầm gây ra.

Lập được phương án thiết kế lưới quan trắc lún bề mặt cho vùng bị ảnh hưởng. Lưới cơ sở được ước tính với kết quả đánh giá độ chính xác đảm bảo yêu cầu độ chính xác lưới hạng II nhà nước. Độ chính xác ước tính cho lưới quan trắc trong trường hợp hầm có vỏ ứng với lưới hạng II, còn trường hợp hầm không vỏ có độ chính xác ước tính lưới quan trắc ứng với lưới hạng III.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. D.V. Panphilov (2005). *Dự báo biến dạng bề mặt do tác động của xây dựng đường hầm tàu điện ngầm trên cơ sở mô hình hóa không gian*. Luận án tiến sĩ, Matxcova.
- [2]. Gusev V.N., Volokhov E.M (2003). *Chuyển dịch và biến dạng đất đá*. Trường Đại

học Mô địa chất Xanhpetecbua, 83 trang.

- [3]. Nguyễn Xuân Bắc (2012). *Dự báo chuyển dịch và biến dạng của khối đất đá và trên bên mặt đất gây nên do tác động xây dựng đường hầm tàu điện ngầm ở thành phố Hồ Chí Minh*. Trường Đại học Xanhpetecbua, 120 trang.

- [4]. Phạm Anh Tuấn (2006). *Lựa chọn phương án tối ưu xây dựng đường hầm tàu điện ngầm tại thành phố lớn Việt Nam*. Luận án tiến sĩ, Matxcova.

- [5]. Phan Văn Hiến, Đỗ Ngọc Đường (2007). *Thiết kế tối ưu lưới trắc địa*. 122 trang.

- [6]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9360:2012. *Quy trình kỹ thuật xác định độ lún công trình dân dụng và công nghiệp bằng phương pháp đo cao hình học*.

BBT nhận bài: 23/12/2020; Phản biện xong: 26/01/2021; Chấp nhận đăng: 29/3/2021