

NGHIÊN CỨU SỤT LÚN CỦA MẶT ĐẤT KHI ĐÀO HẦM TRONG KHỐI ĐÁ ĐÀN HỒI

Đỗ Xuân Huỳnh^{1,*}

¹Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh

*Email: huyhnx.d42@gmail.com

TÓM TẮT

Từ thực tế Việt Nam ngày nay, các đường hầm được xây dựng và đưa vào sử dụng ngày càng nhiều nên việc quan tâm đến vấn đề mức độ sụt lún của mặt đất khi xây dựng đường hầm là vấn đề rất cấp thiết. Bài báo xây dựng lên các phương trình và biểu đồ mối quan hệ giữa độ sụt lún và các tham số kỹ thuật như hệ số cơ học đá, độ sâu đường hầm và bán kính đường hầm. Phạm vi nghiên cứu chỉ trong khối đá đàn hồi có tính chất tuân thủ định luật Hooke. Để hoàn thiện hơn bài báo kiến nghị cần nghiên cứu sâu hơn đối với khối đá có tính chất không hoàn toàn đàn hồi và sử dụng các phương pháp kỹ thuật đo đạc để kiểm chứng.

Từ khóa: Khối đá đàn hồi, đường hầm, ứng suất, biến dạng, độ sụt lún.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, hệ thống công trình ngầm ở nước ta ngày càng được mở rộng về quy mô, gia tăng về kích cỡ và chiều dài, phát triển mạnh về kỹ thuật để đáp ứng sự quy hoạch cơ sở hạ tầng phục vụ sự tăng trưởng kinh tế. Trong những năm 80 thế kỷ trước chúng ta có nhà máy thủy điện Hòa Bình, những năm 2000 chúng ta xây dựng hầm Hải Vân, đó đều là các công trình có tầm cỡ Châu lục. Hiện nay, chúng ta đang gấp rút đưa hệ thống giao thông Cao tốc Bắc- Nam và vận hành và sắp tới là dự án Xây dựng đường sắt tốc độ cao Bắc Nam. Đi đôi với công trình giao thông, thủy điện hiện đại thì việc xây dựng các đường hầm có kích thước lớn là việc tất yếu. Tuy nhiên, việc nghiêm cứu đánh giá mức độ biến dạng, dịch chuyển của mặt đất sau khi xây dựng các đường hầm này thì chưa được quan tâm thích đáng.

Trên thế giới đã có nhiều tác giả đề cập đến vấn đề này như Peck, Gunn [2], Protodiconov, Tximbarevic, Bierbaumer [5],[6], tuy nhiên do công thức còn khá phức tạp, các hệ số còn mang tính tổng quát nên chưa thực sự thuận tiện cho việc áp dụng.

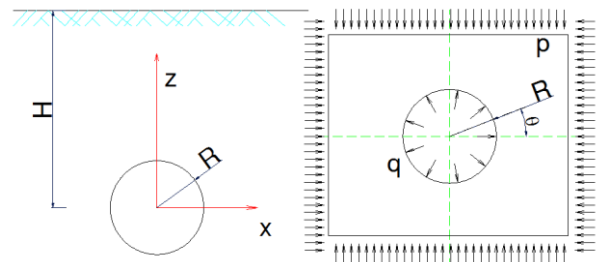
Khối đá nói chung rất đa dạng về chủng loại, phức tạp về tính chất, tuy nhiên trong bài

báo này tác giả chỉ đề cập kết quả nghiên cứu khi đường hầm đào trong khối đá đàn hồi, đồng nhất và đẳng hướng, các tính chất cơ học tuân thủ định luật Hooke

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Xây dựng mô hình nghiên cứu

Khi đào đường hầm các yếu tố cơ học như khoảng trống, chấn động sẽ làm cho khối đá xung quanh bị biến dạng, suy yếu và có xu thế biến dạng dịch chuyển về phía khoảng trống. Do đó, mô hình lý thuyết được xây dựng như sau [1],[2]:



Hình 1. Mô hình lý thuyết tính toán ứng suất biến dạng khối đá xung quanh đường hầm

Trong đó:

H- khoảng cách từ tâm đường hầm đến mặt đất;

R- bán kính đường hầm,

p- ứng suất nguyên sinh khối đá, trong khối đá đàn hồi, thực tế cho thấy khi đường hầm ở

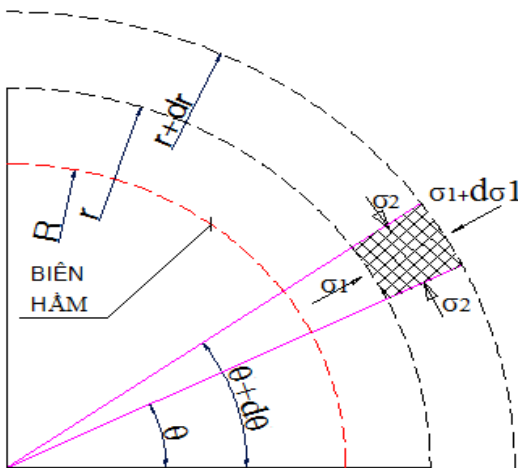
một độ sâu đủ lớn thì p được xem là một hằng số,

q-áp lực chống giữ của đường hầm, trong giai đoạn đầu chống giữ, do khối đá biến dạng nhỏ nên áp lực chống giữ gần bằng không, áp lực này tăng dần theo độ biến dạng của biên hầm và lớn nhất khi cân bằng với ứng suất nguyên sinh;

2.2. Thiết lập phương trình ứng suất biến dạng cơ bản

Các phương trình cơ bản sẽ được thiết lập trên cơ sở giả thuyết như sau: Chiều sâu đường hầm (H) lớn hơn nhiều lần đường kính đường hầm (R); khối đá là đồng nhất đẳng hướng và liên tục; trạng thái ứng suất nguyên sinh là thủy tĩnh.

Xét một phần tử khối đá nằm cách xa tâm đường hầm một khoảng là r ($r \geq R$), khi đó sơ đồ phân tích ứng suất và biến dạng trên phần tử đó như hình 2 và hình 3:



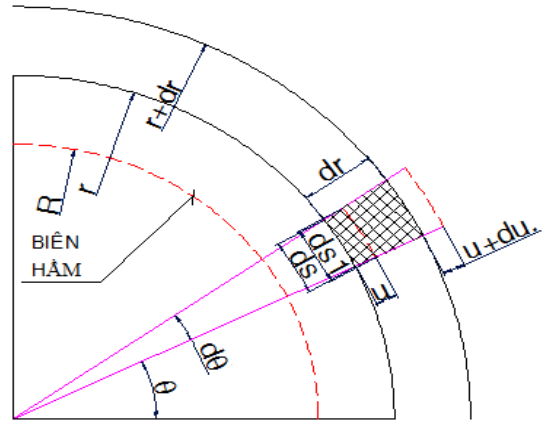
Hình 2. Mô hình thể hiện ứng suất trên phần tử khối.

Khi phần tử khối đạt trạng thái cân bằng khi đó tổng các lực đi qua trọng tâm tác dụng lên phần tử này theo phương r có giá trị bằng không.

$$\sigma_1 \cdot r d\theta - \left(\sigma_1 + \frac{d\sigma_1}{dr} dr\right) (r + dr) d\theta + 2\sigma_2 \cdot dr \cdot \frac{d\theta}{2} = 0$$

Biến đổi và rút gọn phương trình trên sẽ được phương trình cân bằng ứng suất như sau:

$$\frac{d\sigma_1}{dr} - \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{r} = 0 \quad (1)$$



Hình 3. Mô hình thể hiện biến dạng trên phần tử khối.

Từ hình 3 có thể xây dựng được mối quan hệ giữa biến dạng hướng kính và biến dạng tiếp tuyến như sau:

$$\epsilon_1 = \frac{(dr+du)-dr}{dr} = \frac{du}{dr} \quad (2)$$

$$\epsilon_2 = \frac{ds1-ds}{ds} = \frac{(r+u)d\theta - rd\theta}{rd\theta} = \frac{u}{r} \quad (3)$$

Từ phương trình (3) ta có:

$$u = \epsilon_2 \cdot r$$

Từ phương trình (2) ta có:

$$\begin{aligned} \epsilon_1 &= \frac{du}{dr} = \frac{d(r\epsilon_2)}{dr} = \epsilon_2 + r \frac{d\epsilon_2}{dr} \\ &\rightarrow \epsilon_1 - \epsilon_2 = r \frac{d\epsilon_2}{dr} \\ &\rightarrow \frac{d\epsilon_1}{dr} - \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{r} = 0 \quad (4) \end{aligned}$$

2.2. Thiết lập phương trình ứng suất biến dạng trong điều kiện môi trường đàn hồi

Phương trình định luật Mohr được thiết lập cho trường hợp ứng suất phẳng, biến dạng theo phương hướng tâm và phương tiếp tuyến lần lượt theo phương trình sau [2]:

$$\epsilon_1 = \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_1 - \frac{1}{1-\mu} \sigma_2 \right) \quad (5)$$

$$\epsilon_2 = \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_2 - \frac{1}{1-\mu} \sigma_1 \right) \quad (6)$$

Trong đó: E- mô đun đàn hồi; μ - Hệ số Poát xông

Từ 2 phương trình (5), (6) có thể thiết lập được phương trình ứng suất theo phương hướng tâm và ứng suất tiếp tuyến như sau:

$$\sigma_1 = \frac{1-\mu}{(1-2\mu)(1+\mu)} \cdot E \cdot \left(\epsilon_1 + \frac{\mu}{1-\mu} \epsilon_2 \right)$$

$$\sigma_2 = \frac{1-\mu}{(1-2\mu)(1+\mu)} \cdot E \cdot \left(\varepsilon_2 + \frac{\mu}{1-\mu} \varepsilon_1 \right)$$

Đặt:

$$m = \frac{1-\mu}{(1-2\mu)(1+\mu)} \cdot E$$

$$n = \frac{\mu}{1-\mu}$$

Khi đó phương trình ứng suất như sau:

$$\sigma_1 = m(\varepsilon_1 + n\varepsilon_2) \quad (7)$$

$$\sigma_2 = m(\varepsilon_2 + n\varepsilon_1) \quad (8)$$

2.3. Thiết lập phương trình độ dịch chuyển của phần tử khối trong điều kiện môi trường đàn hồi

Từ phương trình (7) và (8) sẽ có:

$$\sigma_2 - \sigma_1 = m(1-n)(\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \quad (9)$$

Kết hợp phương trình (9) với phương trình (2),(3) sẽ được:

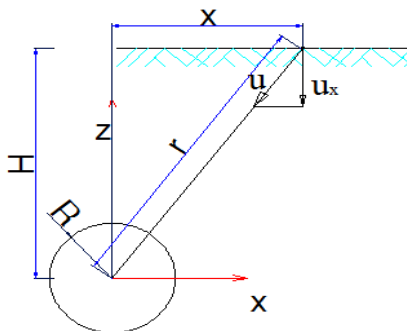
$$\sigma_2 - \sigma_1 = m(1-n) \left(\frac{u}{r} - \frac{du}{dr} \right) \quad (10)$$

Từ phương trình (10), áp dụng lời giải từ tài liệu [2], sẽ có kết quả độ dịch chuyển của phần tử khối trong khối đá xung quanh công trình ngầm như sau:

$$u = \frac{(p-q)}{m(1-n)} \cdot \frac{R^2}{r} \quad (11)$$

2.4. Xây dựng mô hình và công thức lý thuyết độ sụt lún của mặt đất

Giả sử công trình ngầm có tiết diện hình tròn đường kính R được đào cách mặt đất một khoảng H (hình 1). Giả thuyết đặt ra công trình đào trong đá có tính đàn hồi phù hợp với các điều kiện lý thuyết đã tính toán ở trên. Khi đó xây dựng mô hình tính toán độ sụt lún (u_x) của mặt đất như sau:



Hình 4. Mô hình thể hiện biến dạng trên phần tử khối.

Từ mô hình, dịch chuyển toàn phần là u, độ sụt lún là u_x , theo quy tắc hình học của tam giác đồng dạng thì có thể xác lập công thức tính u_x theo công thức sau:

$$\frac{u_x}{u} = \frac{H}{r} \text{ hay } u_x = \frac{H}{r} \cdot u \quad (12)$$

Thay công thức (11) vào công thức (12) sẽ được:

$$u_x = \frac{(p-q)}{m(1-n)} \cdot \frac{HR^2}{r^2} \quad (13)$$

Cũng từ mô hình, có thể xác định được

$$r^2 = x^2 + H^2 \quad (14)$$

Thay phương trình (14) vào phương trình (13) sẽ được:

$$u_x = \frac{(p-q)}{m(1-n)} \cdot \frac{HR^2}{x^2 + H^2} \quad (15)$$

Do x biến thiên từ 0 đến vô cùng nên u_x lớn nhất khi $x=0$. Đồng thời, nếu đường hầm không được chống giữ kịp thời sau khi đào thì phản lực của cửa vỏ chống $q=0$. Từ đó có thể xác định được giá trị lớn nhất của u_x như công thức dưới đây và tại vị trí có tọa độ (0,H)

$$u_x^{max} = \frac{p}{m(1-n)} \cdot \frac{R^2}{H} \quad (16)$$

Ta có:

$$\begin{aligned} m(1-n) &= E \cdot \frac{1-\mu}{(1-2\mu)(1+\mu)} \cdot \left(1 - \frac{\mu}{1-\mu}\right) \\ &= \frac{E}{(1+\mu)} \end{aligned}$$

Đặt:

$$k = \frac{1}{m(1-n)}$$

ta có:

$$k = \frac{(1+\mu)}{E}$$

$$\text{Suy ra } u_x^{max} = k \cdot \frac{pR^2}{H} = \frac{(1+\mu)}{E} \cdot \frac{pR^2}{H} \quad (17)$$

Phương trình (17) là phương trình lý thuyết về độ sụt lún của mặt đất khi xây dựng đường hầm trong khối đá đàn hồi. Với giả thuyết p là

hằng số nên từ phương trình trên có thể thấy u_x^{max} là hàm số có 3 biến số (k,R,H)

- k- Đại diện cho tính chất cơ học của khối đá
- R- Đại diện cho kích thước của đường hầm.
- H- Đại diện cho độ sâu của đường hầm

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

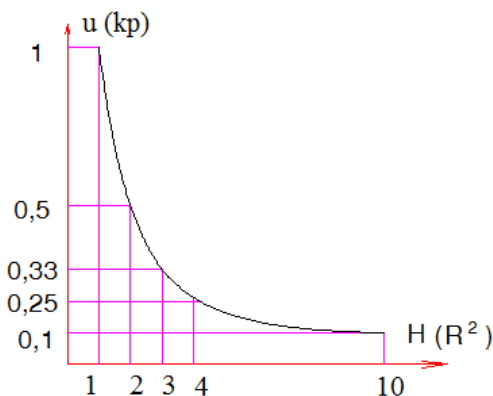
3.1 Kết quả

* Sự phụ thuộc của độ sụt lún vào hệ số k

k- Đại diện cho yếu tố tính cơ học của khối đá, vì khảo sát trong điều kiện khối đá đàn hồi nên k ổn định, sự biến thiên không lớn cho nên có thể coi k như một hằng số. Tuy nhiên theo phương trình (17) nếu cố định H và R thì hàm số $u_x^{max}(k)$ là hàm số đồng biến bậc nhất.

* Sự phụ thuộc của độ sụt lún vào độ sâu công trình H

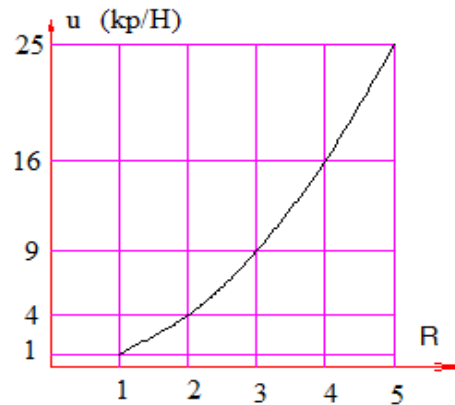
Từ phương trình (17), cố định hệ số k và đường kính R thì phương trình (17) là một hàm số với biến số H luôn lớn hơn không thì đây là hàm nghịch biến. Khi đó độ sâu H càng lớn thì sự sụt lún của mặt đất càng nhỏ. Khi giá trị H đạt tới độ lớn nhất định thì u_x^{max} bằng không. Điều đó có nghĩa rằng khi đào đường hầm có khoảng cách với mặt đất đủ lớn thì độ sụt lún của mặt đất sẽ rất nhỏ, có thể xem như bằng không. Khi đó có thể xem như đường hầm không gây sụt lún đến mặt đất.



Hình 5. Biểu đồ mô tả sự biến thiên của u_x^{max} theo độ sâu H

* Sự phụ thuộc của độ sụt lún vào bán kính đường hầm R

Cũng từ phương trình (17), nếu cố định hệ số k và độ sâu H, thì phương trình đó trở thành phương trình bậc 2 đối với biến số là R. Khi ấy giá trị u_x^{max} đạt giá trị là không khi R bằng không, và giá trị R tăng lên thì u_x^{max} sẽ biến thiên theo một hàm số bậc 2. Có nghĩa là ở một độ sâu nhất định, đường hầm có đường kính càng lớn thì mức độ gây sụt lún của mặt đất càng nhiều.



Hình 6. Biểu đồ mô tả sự biến thiên của u_x^{max} theo độ sâu R

3.2 Thảo luận

Trên đây chúng ta mới khảo sát về mặt lý thuyết trong phạm vi hạn hẹp đó là khối đá đàn hồi có tính chất đồng nhất đẳng hướng, đường hầm có độ sâu đủ lớn để áp lực do ứng suất nguyên sinh tác dụng lên đường hầm ổn định, các tính chất khối đá tuân theo định luật Hooke. Trên thực tế các khối đá đạt được những điều kiện này không nhiều không nhiều. Để kết quả nghiên cứu phù hợp hơn với điều kiện khối đá trong thực tế, cần khảo sát thêm trong điều kiện đàn hồi- dẻo và khối đá có tính chất đảm bảo các điều kiện theo định luật Mohr- Coulomb.

Các kết quả trên mới chỉ được nghiên cứu về phương diện lý thuyết, để kết quả này có độ tin cậy cao hơn, phù hợp với thực tiễn hơn cần nghiên cứu các giải pháp đo lường để kiểm chứng, từ đó mới có thể làm cơ sở lý luận để ứng dụng vào các lĩnh vực khoa học kỹ thuật.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Khi đào đường hầm trong khối đá đàn hồi, ở một độ sâu đủ lớn, đường hầm sẽ gây nên sự sụt lún của mặt đất, mức độ sụt lún đó phụ thuộc chủ yếu vào 3 yếu tố là hệ số cơ lý khối đá k , độ sâu đường hầm H và bán kính đường hầm R .

- Trong khối đá đàn hồi hệ số k khá ổn định, biến đổi không lớn, sự biến thiên của u_x^{\max} theo biến số k là một hàm số đồng biến bậc nhất.

- Sự biến thiên của u_x^{\max} theo H theo hàm số nghịch biến, độ sâu đường hầm càng lớn thì độ sụt lún mặt đất càng nhỏ

- Sự biến thiên của u_x^{\max} theo R theo hàm số đồng biến, đường kính đường hầm càng lớn thì độ sụt lún của mặt đất càng lớn.

4.2. Kiến nghị

Vấn đề sụt lún mặt đất khi đào đường hầm cần được nghiên cứu sâu hơn, trong điều kiện khối đá phức tạp hơn, như độ sâu gần mặt đất, khối đá biến dạng không đàn hồi, khối đá phân lớp...

Kết quả nghiên cứu cần được đầu tư nhiều thời gian hơn để nghiên cứu thực nghiệm, cần kiểm chứng bằng các kỹ thuật đo lường trước khi áp dụng vào thực tiễn khoa học kỹ thuật

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PGS.TS. Võ Trọng Hùng và nnk (2005). Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng Công trình ngầm và khai thác mỏ. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật.
2. Nguyễn Quang Phích (2007). Cơ học đá. Nhà xuất bản xây dựng.
3. XuanHuynh Do. (2018). Research of deep roadway reinforcement supporting by anchorage. Zhong Nan Univesity
4. 余诗刚 (等) (2010)。地下采矿岩石力学。北京科学出版社。Dư Thư Cương và nnk (2010). Cơ học đá trong khai thác mỏ Hàm lò. Nhà xuất bản Khoa học Bắc Kinh
5. 利俊平 (等) (2011)。矿山岩石力学。北京冶金工业出版社。Lý Tuấn Bình và nnk (2011) Cơ học đá trong mỏ khoáng sản. Nhà xuất bản Công nghệ luyện kim Bắc kinh
6. 张永兴 (2004)。岩石力学。重庆大学。Trương Vĩnh Hưng (2004). Cơ học đá. Đại học Trưng Khánh.

Thông tin của tác giả:

TS. Đỗ Xuân Huỳnh

Giảng viên, khoa Mỏ & Công trình, Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh
Điện thoại: +(84)906.006.017 - Email: huynh.xd42@gmail.com

STUDY OF GROUND SETTLEMENT DURING TUNNEL EXCAVATION IN ELASTIC ROCK MASS

Information about authors:

Do Xuan Huynh, Ph.D, Quang Ninh University of Industry,
Email: huynh.xd42@gmail.com

ABSTRACT:

From the current reality in Vietnam, road tunnels are increasingly being built and put into use, so paying attention to the problem of ground subsidence when building tunnels is a very urgent issue.

The article builds equations and charts on the relationship between subsidence and technical parameters such as soil and rock mechanics coefficient, tunnel depth and tunnel radius. The scope of the study is only in elastic rock masses that comply with Hooke's law. To make the article more complete, it is recommended to conduct further research on non-perfectly elastic rock masses and use technical measurement methods for verification.

Keywords: Elastic rock mass, tunnel, stress, deformation, settlement.

REFERENCES

1. Assoc.Prof.Dr. Vo Trong Hung et al. (2005). Rock mechanics applied in underground construction and mining. Science and Technology Publishing House.
2. Nguyen Quang Phich (2007). Rock mechanics. Construction publishing house.
3. XuanHuynh Do. (2018). Research of deep roadway reinforcement supporting by anchorage. Zhong Nan Univesity
4. Yu Shigang (et al.) (2010). Rock mechanics of underground mining. Beijing Science Press.
5. Li Junping (et al.) (2011). Rock mechanics of mines. Beijing Metallurgical Industry Press.
6. Zhang Yongxing (2004). Rock mechanics. Chongqing University.

Ngày nhận bài: 10/12/2024;

Ngày gửi phản biện: 10/12/2024;

Ngày nhận phản biện: 29/12/2024;

Ngày chấp nhận đăng: 06/01/2025.