



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG (ERSD 2024)

HÀ NỘI 14 - 11 - 2024

ERSD 2024



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Nghiên cứu lún bề mặt khi thi công đường hầm mặt cắt ngang hình bán chữ nhật bằng phương pháp đường đặc tính

Nguyễn Tài Tiến^{1,*}, Phạm Văn Vi¹, Vũ Ngọc Tuấn²

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

²Công ty cổ phần tư vấn xây dựng A2Z

TÓM TẮT

Xu hướng mới trong thiết kế đường hầm là tối ưu hình dạng mặt cắt ngang để nâng cao hệ số sử dụng diện tích và giảm nội lực trong kết cấu chống. Đường hầm với mặt cắt ngang hình bán chữ nhật có hai đường xe được phát triển theo xu hướng này. Một đường hầm có hai làn xe còn có ưu điểm làm giảm phạm vi ảnh hưởng đến đất đá xung quanh và các công trình trên bề mặt so với phương án hai đường hầm tròn đơn. Ưu điểm này có ý nghĩa lớn, nhất là trong các khu vực đô thị lớn với nhiều công trình trên bề mặt cũng như các công trình dưới mặt đất. Lún bề mặt khi thi công các đường hầm có mặt cắt ngang hình bán chữ nhật đã được một số tác giả nghiên cứu bằng phương pháp giải tích, phương pháp số với mô hình 2D và 3D. Với phương pháp 2D, để mô phỏng quá trình đào, trong nghiên cứu này phương pháp đường đặc tính (CCM) được sử dụng thông qua hệ số giảm ứng suất, λ . Kết quả về lún bề mặt thu được từ mô hình 2D được so sánh với kết quả thu được từ đo đạc hiện trường. Kết quả cho thấy, không thể áp dụng một hệ số giảm ứng suất, λ để thu được một phễu lún vừa đúng về hình dạng và vừa đúng về giá trị lún bề mặt lớn nhất S_{max} . Để thu được hình dạng phễu lún đúng với thực tế thì hệ số giảm ứng suất phải lớn hơn (19%) so với hệ số giảm ứng suất, λ (17,5%) để thu được độ lún lớn nhất phù hợp với thực tế.

Từ khóa: đường hầm bán chữ nhật; lún bề mặt; phương pháp đường đặc tính

1. Đặt vấn đề

Sự phát triển nhanh chóng của các đô thị lớn dẫn tới sự gia tăng các công trình hạ tầng kỹ thuật như đường giao thông, nhà ở. Tuy nhiên, không gian bề mặt rất hạn chế, do vậy sự phát triển không gian ngầm là giải pháp tất yếu để giải quyết vấn đề này. Phương pháp sử dụng máy khoan hầm (TBM-Tunnel Boring Machine) được sử dụng rộng rãi khi xây dựng các tuyến đường hầm trong đô thị vì phương pháp này ít ảnh hưởng đến đất đá xung quanh và ít ảnh hưởng đến các công trình bề mặt, đặc biệt là trong các trường hợp đường hầm nằm nông. Hình dạng mặt cắt ngang phổ biến của đường hầm là hình tròn, tuy nhiên dạng mặt cắt ngang này có nhược điểm là hệ số sử dụng diện tích nhỏ. Tại Việt Nam, các tuyến đường hầm đang được thiết kế và xây dựng đều có cấu hình là hai đường hầm đơn có mặt cắt ngang hình tròn.

Đường hầm có mặt cắt ngang hình bán chữ nhật là sự kết hợp ưu điểm của hình tròn (ứng suất trong kết cấu chống nhỏ) và hình chữ nhật (hệ số sử dụng mặt cắt ngang lớn). Hình dạng này trở thành một phương án mới trong thiết kế các tuyến đường hầm ở các thành phố nơi có mật độ các công trình ngầm lớn. Đường hầm có mặt cắt ngang hình bán chữ nhật được sử dụng chủ yếu ở Trung Quốc tại các tuyến đường hầm số 3, Ning Ba và tuyến đường hầm số 9, Hàng Châu.

Bài toán xác định lún khi thi công các đường hầm thường được thực hiện bằng các phương pháp như phương pháp giải tích và phương pháp số (bài toán 2D và 3D). Với các bài toán xác định lún, độ lún bề mặt thường được xác định theo lời giải của Peck (1969) với đường phễu lún có dạng đường Gauss cho các đường hầm có hình dạng tròn. Cũng trên cơ sở lời giải của Peck (1969) đã có nhiều tác giả xây dựng một lời giải để xác định độ lún bề mặt cho các đường hầm có mặt cắt ngang hình bán chữ nhật như Liu và nnk (2018), Li và nnk, (2023).

Phương pháp số để xác định độ lún bề mặt khi thi công đường hầm thường sử dụng các kỹ thuật mô phỏng 3D để có thể mô hình hóa đầy đủ ảnh hưởng của phương pháp thi công, quá trình thi công và trình tự thi công đến lún bề mặt. Việc sử dụng các kỹ thuật mô phỏng trong không gian ba chiều này đảm bảo độ chính xác cao về kết quả, tuy nhiên chúng đòi hỏi kỹ thuật cao, nhiều tham số đầu vào và thời gian mô phỏng lớn. Phương pháp mô phỏng trong không gian hai chiều (2D) đơn giản hơn về tham số đầu vào và

* Tác giả liên hệ

Email: nguyentaitien@humg.edu.vn

quá trình mô phỏng nhanh hơn, phù hợp với các nghiên cứu tính toán sơ bộ khi thiết kế dự án. Để mô phỏng hiệu ứng 3 chiều trong không gian 2 chiều, một vài kỹ thuật được sử dụng như sử dụng hệ số mất thể tích V_L (Volume loss), phương pháp đường đặc tính (CCM – Convergence-Confinement Method) và phương pháp giảm cường độ của đất đá phía trong đường hầm. Các phương pháp kể trên đã sử dụng rộng rãi trong thiết kế kết cấu đường hầm và sử dụng rộng rãi trong các đường hầm có hình dạng mặt cắt ngang hình tròn. Gần đây, khi đường hầm có dạng mặt cắt ngang hình bán chữ nhật được sử dụng phổ biến, các phương pháp này cũng được sử dụng trong tính toán thiết kế dạng đường hầm có mặt cắt ngang này. Liu và nnk, 2018 đã sử dụng hệ số mất thể tích V_L trong xác định độ lún bề mặt khi sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn 2 chiều, FEM để mô phỏng hiệu ứng ba chiều khi thi công đường hầm có mặt cắt ngang dạng bán chữ nhật. Liu và nnk, 2018 đã đề xuất giá trị giới hạn của hệ số mất thể tích theo độ sâu để có thể khống chế giá trị lún bề mặt không vượt quá 30mm. Chưa có nghiên cứu nào sử dụng phương pháp đường đặc tính để nghiên cứu mô phỏng hiệu ứng 3 chiều trên mô hình 2 chiều khi thiết lập mô hình tính toán lún bề mặt khi thi công đường hầm có mặt cắt ngang bán chữ nhật. Do đó, trong nghiên cứu này, dựa trên phương pháp đường đặc tính kết hợp với kết quả đo đạc thực tế tại hiện trường về lún bề mặt tại công trình cụ thể để xác định hệ số giảm ứng suất (λ) trong phương pháp đường đặc tính.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp đường đặc tính

Hiện nay, phương pháp 2D có thể được sử dụng để mô phỏng hiệu ứng 3D bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Rõ ràng có thể thấy phương pháp 3D thường cho kết quả phân tích chính xác hơn do tính đến nhiều tham số trong quá trình thi công đường hầm. Tuy nhiên, với một dự án thi công công trình ngầm với chiều dài lớn và nhiều dạng mặt cắt ngang, đồng thời đi qua nhiều điều kiện địa chất khác nhau, thì sử dụng bài toán phân tích hai chiều được sử dụng rộng rãi và thuận tiện hơn do tính toán thiết kế nhanh chóng.

Để mô phỏng quá trình đào hầm trong bài toán hai chiều, một phương pháp thường được sử dụng là phương pháp đường đặc tính. Phương pháp đường đặc tính (CCM) cho phép thấy được sự tương tác giữa khối đất đá xung quanh đường hầm và kết cấu chống giữ trong quá trình đào. Biểu hiện với khối đá đàn hồi được xây dựng trong phương pháp CCM lần đầu được nghiên cứu bởi Kirsch (1898) dựa trên bài toán lỗ tròn trong không gian phẳng. Sự xuất hiện của vùng dẻo xung quanh đường hầm đã được Fenner (1938) đề xuất, sau đó các tác giả như Panet and Guenot (1983), Duncan-Fama (1993), Carranza-Torres và Fairhurst (2000) phát triển. Phương pháp đường đặc tính (CCM) được đặt trưng bởi độ hội tụ của đường hầm, độ hội tụ này phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như: trường ứng suất ban đầu, tính chất cơ học của khối đá, phương pháp xây dựng, loại kết cấu chống giữ, diện tích mặt cắt ngang hầm v.v...

Phương pháp CCM bao gồm 3 đường: 1) Đường đặc tính của khối đá; 2) Đường đặc tính của kết cấu chống và 3) Chuyển vị dọc trục. Đường đặc tính thường được xây dựng theo phương pháp giải tích dựa vào tính chất cơ học của khối đá hoặc dựa trên kết quả đo đạc độ hội tụ biên hầm từ thực tế. Với phương pháp giải tích, đường đặc tính của khối đá được xây dựng trên cơ sở tạo một áp lực giả định từ bên trong trên biên của đường hầm, σ_R , được xác định như sau (Kabwe và nnk, 2020, Svoboda và Mašín, 2010):

$$\sigma_R = (1 - \lambda)\sigma_0 \quad (1)$$

trong đó:

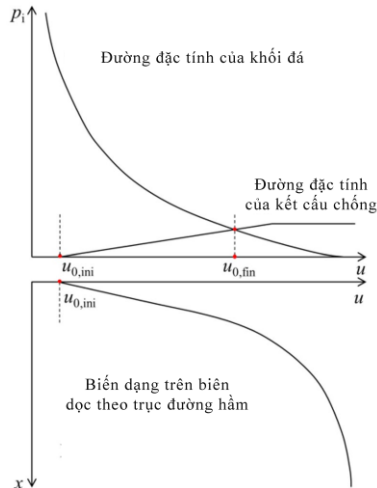
σ_0 – ứng suất nguyên sinh; λ – hệ số giảm ứng suất, giá trị của thay đổi trong khoảng từ 0-1.

Trên cơ sở thay áp lực bên trong hầm σ_R , một mối quan hệ giữa ứng suất và chuyển vị trên biên đường hầm tương ứng với điều kiện đất đá được xác định.

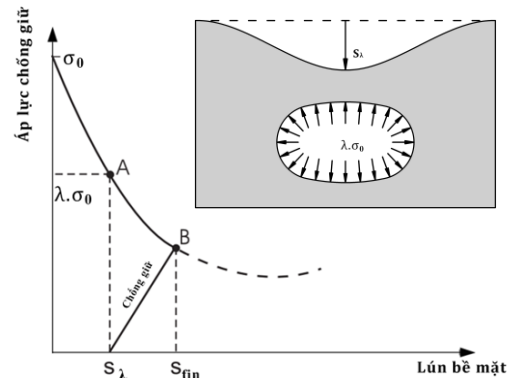
Khi thi công đường hầm, tùy thuộc vào khoảng cách đến gương hầm/ thời điểm lắp dựng kết cấu chống và mối tương quan với đặc tính của khối đất đá xung quanh đường hầm, đường đặc tính của kết cấu chống, giá trị λ được xác định.

Sự phân bố lại ứng suất của khối đất đá xung quanh đường hầm kèm theo là sự biến dạng đất đá vào bên trong đường hầm. Biến dạng này lan truyền dần đến bề mặt đất tạo thành một phễu lún. Hình 2 thể hiện mối tương quan giữa phản lực kết cấu chống với lún bề mặt trên cơ sở phương pháp đường đặc tính (Hình 1), trong đó S_λ là độ lún bề mặt lớn nhất tương ứng với hệ số giảm ứng suất λ và S_{fin} là độ lún bề mặt lớn nhất sau khi lắp đặt kết cấu chống và kết cấu chống làm việc.

Phương pháp này là phương pháp rất phổ biến trong việc mô phỏng quá trình đào hầm khi xây dựng mô hình hai chiều. Sự giảm ứng suất của khối đất đá xung quanh đường hầm là do độ cong của của khiên, khoảng hở giữa đuôi khiên và kích thước bên ngoài của kết cấu chống (khi thi công bằng phương pháp khiên đào) hoặc độ trễ trong việc thi công kết cấu chống tạm (khi thi công bằng phương pháp NATM).



Hình 1. Phương pháp đường đặc tính CCM (Chang và nnk, 2023)

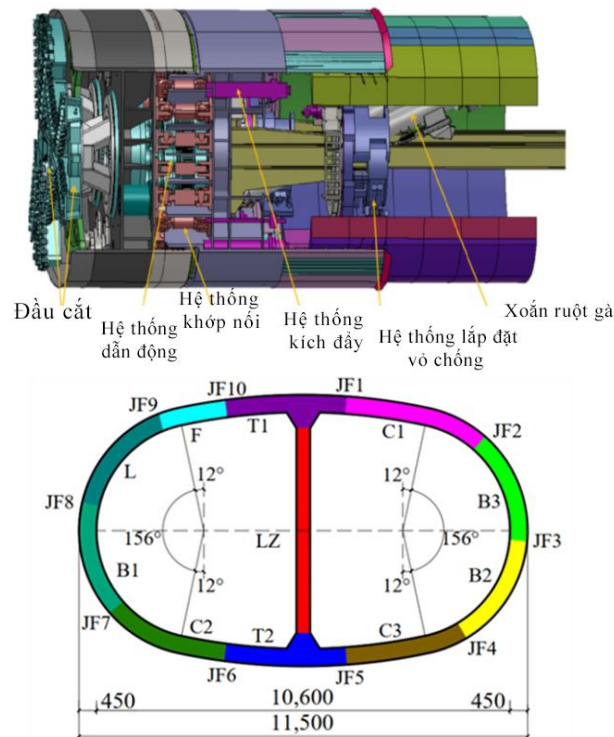


Hình 2. Tương quan giữa lún bề mặt và đường đặc tính

2.2. Mô phỏng số

2.2.1. Khái quát về đường hầm bán chữ nhật

Đường hầm bán chữ nhật có kính thước chiều rộng và chiều cao bên ngoài vỏ chống là 11,5m và 6,937m. Đường hầm được thi công bằng phương pháp sử dụng máy khoan hầm cân bằng áp lực đất EPBM. Kích thước của đầu đào là 11,83m x 7,27m tương ứng với chiều rộng và chiều cao. (Li và nnk, 2022; Wei và nnk, 2019)



Hình 3. Máy đào hầm EPBM và kết cấu chống đường hầm bán chữ nhật (Zhang và nnk, 2020)

Kết cấu chống giữ đường hầm được lắp ghép từ 10 đoạn (JF1 đến JF10) và 1 cột chống bên trong hầm (LZ). Chiều dày của vỏ chống là 0,45m và chiều dày của cột chống là 0,35m. Chiều rộng của mỗi đốt hầm là 1,20m.

Đoạn đường hầm được thi công bằng máy khoan đào hình dạng bán chữ nhật có chiều dài 163,9 m. Độ sâu đặt đặt hầm từ 10,9m ÷ 11,4m. Điều kiện địa chất tại khu vực nghiên cứu được mô tả trong Bảng 1. Đường hầm đi qua các địa tầng chủ yếu là đất pha cát (3), cát với đất pha cát (4) và đất pha cát (5).

Bảng 1. Bảng tính chất cơ lý đất đá khu vực nghiên cứu (Liu và nnk, 2022)

TT	Lớp	Ký hiệu	K_0	γ (kN/m ³)	E_s (MPa)	ν	C (kPa)	ϕ (°)
1	Lớp phủ	L1	0,50	17,50	3,00	0,33	8,00	15,00
2	Đất pha cát	L2	0,52	19,20	6,00	0,34	4,00	26,00
3	Đất pha cát	L3	0,45	19,20	14,00	0,32	6,00	30,00
4	Cát với đất cát	L4	0,37	19,70	10,00	0,28	5,00	34,00
5	Đất pha cát	L5	0,52	19,40	15,00	0,31	7,00	24,00
6	Bùn sét	L6	0,38	19,90	4,00	0,27	12,00	10,00
7	Sét	L7	0,45	18,20	8,50	0,34	10,00	16,00

2.2.2. Mô phỏng bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Phương pháp đường đặc tính CCM được áp dụng trong phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) bằng phần mềm Plaxis 2D. Các tham số về kết cấu chống đường hầm và tính chất cơ học của đất được thể hiện như trong bảng và bảng. Mô hình đất tuân theo mô hình đàn hồi tuyến tính Mohr-Coulomb (MC), do chúng đòi hỏi lượng tham số đầu vào ít và đơn giản để xác định. Mặc dù mô hình đất hóa cứng - Hardening soil (HS) mô phỏng chính xác hơn về lún bề mặt (Çelik, 2017; Chen và Peng, 2018; Miliziano và de Lillis, 2019), tuy nhiên do thiếu tham số về tính chất cơ học của đất về mô hình HS, nên trong nghiên cứu này vẫn sử dụng mô hình MC. Mặt khác, trong các nghiên cứu của Li và nnk (2022), Li và nnk (2023) Liu và nnk (2022) đối với công trình áp dụng với mô hình MC và cho ra các kết quả đảm bảo độ tin cậy cần thiết.

Mô hình có chiều rộng 100m x và 30m chiều cao. Lưới của mô hình là dạng lưới 15 nút, mô hình bao gồm hơn 50.200 nút và 6.200 phần tử. Kết cấu chống được mô phỏng là phần tử dầm, tương tác giữa đất và kết cấu thông qua một bề mặt, đặc trưng bởi hệ số giảm cường độ R_{inner} so với đất xung quanh đường hầm. Trong nghiên cứu này, hệ số $R_{inner} = 1$, tức là đặc tính của lớp này tương tự như đặc tính của lớp đất xung quanh. Điều kiện biên của mô hình được mô tả như sau: 1) đáy của mô hình được cố định theo phương nằm ngang và thẳng đứng; 2) Hai bên của mô hình cố định theo phương thẳng đứng; 3) Phần trên của mô hình dịch chuyển tự do theo 2 phương.

Quy trình mô phỏng trong FEM, được thực hiện theo trình tự như sau:

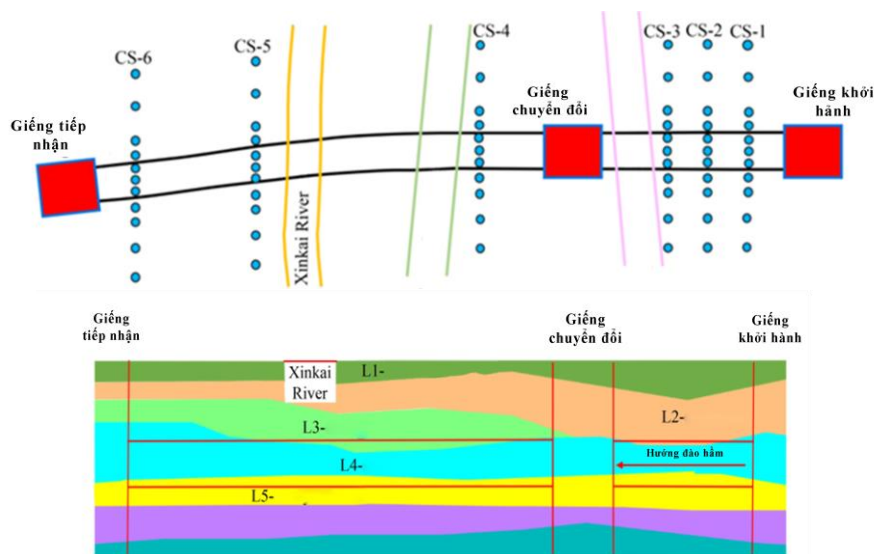
Bước 1: Mô phỏng trạng thái ứng suất ban đầu khi chưa xây dựng tường hầm.

Bước 2: Mô phỏng việc đào đường hầm bằng việc loại bỏ đất bên trong đường hầm và áp dụng hệ số giảm ứng suất trên biên đường hầm (λ).

Bước 3: Kích hoạt kết cấu chống giữ đường hầm.

Bảng 2. Tính chất của vỏ chống bê tông cốt thép

Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Mô hình vật liệu	Đàn hồi tuyến tính	-	-
Mô đun đàn hồi	E	31.000	MPa
Mật độ	γ_c	24	kN/m ³
Chiều dày vỏ chống	t_{lining}	0,45	m
Chiều dày cột	t_{column}	0,35	m



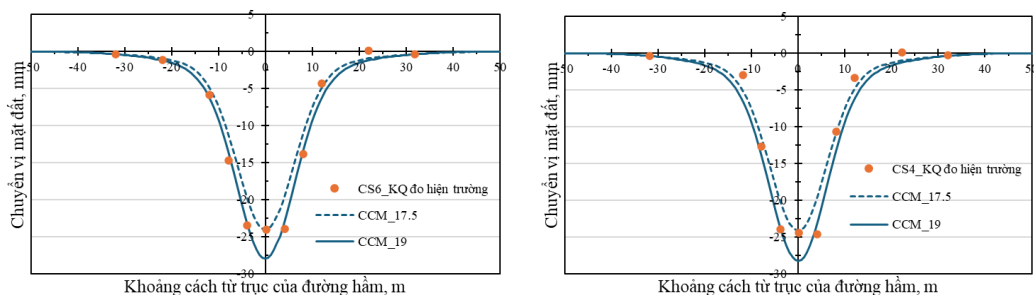
Hình 4. Mặt cắt địa chất tuyến hầm số 3 (Li và nnk, 2023)

3. Kết quả và thảo luận

Trên cơ sở sử dụng phương pháp số cùng với phương pháp sử dụng hệ số giảm ứng suất tương ứng với phương pháp đường đặc tính, kết quả được thể hiện tại Hình 5 ứng với các trường hợp tại vị trí CS6 và vị trí CS4. Kết quả này được so sánh với kết quả đo đạc tại hiện trường.

Hình 5a cho thấy ứng với hệ số giảm ứng suất, λ là 17,5%, khi đó độ lún bề mặt lớn nhất tương ứng với độ lún từ kết quả thực tế đo đạc tại hiện trường là 24,2 mm. Tuy nhiên, kích thước của phễu lún lại nhỏ hơn so với kích thước của phễu lún trên thực tế. Tại hệ số giảm ứng suất, λ là 19%, kích thước phễu lún thu được từ kết quả mô phỏng tương ứng với kết quả phễu lún đo đạc tại hiện trường. Tuy nhiên, lúc này độ lún lớn nhất thu được từ kết quả mô phỏng là 27,9 mm tại vị trí trục của đường hầm, kết quả này lớn hơn kết quả đo thực tế. Điều này có thể lý giải như sau, khác với đường hầm có hình dạng tròn, đường hầm có mặt cắt ngang hình bán chữ nhật có phần nóc với độ cong nhỏ, phía đỉnh hầm gần bằng phẳng. Do đó, đất ở trên phần nóc đường hầm với mặt cắt ngang hình bán chữ nhật có chuyển vị ít hơn so với đường hầm có mặt cắt ngang dạng tròn, với phần nóc hầm có độ cong ($1/R$) lớn hơn.

Kết quả tương tự cũng quan sát thấy tại vị trí CS4. Độ lún bề mặt lớn nhất khi áp dụng hệ số giảm ứng suất λ , 17,5% là 24,1 mm và phù hợp với kết quả đo đạc về độ lún lớn nhất tại đỉnh hầm. Hình dạng phễu lún phù hợp với kết quả đo đạc khi hệ số giảm ứng suất, λ là 19%.



Hình 5. So sánh kết quả đo lún thực tế và mô phỏng ở vị trí CS6 và CS4
a) Mặt cắt CS6; b) mặt cắt CS4

Có thể thấy rằng, khi sử dụng phương pháp CCM để xác định độ lún bề mặt, để xác định được đúng độ lún bề mặt và hình dạng phễu lún thì cần phải sử dụng 2 tham số khác nhau về hệ số giảm ứng suất, λ . Để xác định đúng hình dạng thì hệ số giảm ứng suất cần lớn hơn (1,5%) so với hệ số giảm ứng suất áp dụng khi xác định độ lún bề mặt lớn nhất.

4. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu sử dụng phương pháp số, kết hợp với kết quả đo đạc hiện trường của một công trình cụ thể đã rút ra được một số kết luận sau:

Có thể áp dụng phương pháp đường đặc tính (CCM) với hệ số giảm ứng suất λ để xác định độ lún bề mặt. Với điều kiện địa kỹ thuật tại khu vực nghiên cứu, để thu được hình dạng phễu lún tương ứng với thực tế đo đạc, hệ số giảm ứng suất, λ áp dụng là 19%, trong khi đó, để thu được độ lún lớn nhất phù hợp với kết quả đo đạc, thì hệ số giảm ứng suất, λ là 17,5%.

Đường đặc tính của khối đá có thể được xây dựng bằng các phương pháp giải tích, các phương pháp số kết hợp với các kết quả đo đạc hiện trường. Phương pháp đường đặc tính thường áp dụng trong khối đất đá rắn cứng, tuy nhiên cũng có thể được sử dụng để mô phỏng ảnh hưởng quá trình đào với không gian ba chiều trong không gian hai chiều, ngay cả với đất đá yếu.

Hệ số giảm ứng suất, λ áp dụng trong mô phỏng 2D nên được xác định bằng các kết quả đo đạc thực tế hoặc xác định từ các mô phỏng 3D. Trong các nghiên cứu sắp tới, nghiên cứu quá trình đào chống cho đường hầm bán chữ nhật trong không gian ba chiều sẽ được thực hiện với các tham số thực tế khi thi công.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Mở - Địa chất Hà Nội theo đề tài T23-44. Tác giả thứ hai được tài trợ bởi Chương trình học bổng sau tiến sĩ của Quỹ đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2023.STS.15.648. Xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ này.

Tài liệu tham khảo

Carranza-Torres, C., & Fairhurst, C., 2000. Application of the Convergence-Confinement method of tunnel design to rock masses that satisfy the Hoek-Brown failure criterion. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 15(2), 187–213.

- Çelik, Ş., 2017. Comparison of Mohr-Coulomb and Hardening Soil Models Numerical Estimation of Ground Surface Settlement Caused by Tunneling. *Journal of the Institute of Science Technology*, 7, 95-102.
- Chang, L., Alejano, L. R., Cui, L., Sheng, Q., & Xie, M., 2023. Limitation of convergence-confinement method on three-dimensional tunnelling effect. *Scientific Reports*, 13(1).
- Chen, K.-H., & Peng, F.-L., 2018. An improved method to calculate the vertical earth pressure for deep shield tunnel in Shanghai soil layers. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 75, 43-66. doi:https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.01.027
- Duncan-Fama, M. E., 1993. Numerical Modeling of Yield Zones in Weak Rock. In (pp. 49–75-49–75): Elsevier.
- Fenner, R., 1938. *Untersuchungen zur erkenntnis des gebirgsdruckes*. Paper presented at the Glückauf.
- Kabwe, E., Karakus, M., & Chanda, E. K., 2020. Proposed solution for the ground reaction of non-circular tunnels in an elastic-perfectly plastic rock mass. *Computers and Geotechnics*, 119, 103354. doi:https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.103354
- Kirsch, G., 1898. *Die Theorie der Elastizität und die Bedürfnisse der Festigkeitslehre*: Springer.
- Li, P., Dai, Z., Huang, D., Cai, W., & Fang, T., 2022. Impact Analysis for Safety Prevention and Control of Special-Shaped Shield Construction Closely Crossing Multiple Operational Metro Tunnels in Shallow Overburden. *Geotechnical and Geological Engineering*, 40(4), 2127-2144. doi:10.1007/s10706-021-02016-2
- Li, P., Liu, X., Jiang, X., Zhang, X., Wu, J., & Chen, P., 2023. Investigation of the first quasi-rectangular metro tunnel constructed by the 0- θ method. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 17(11), 1707–1722-1707–1722.
- Liu, J., Li, P., Kou, X., & Huang, D., 2018. Explorative Application of Peck Formula and Its Modifier Versions in Surface Subsidence Prediction Caused by Quasi-rectangular Tunnel Construction. In (pp. 232–240-232–240): Springer Singapore.
- Miliziano, S., & de Lillis, A., 2019. Predicted and observed settlements induced by the mechanized tunnel excavation of metro line C near S. Giovanni station in Rome. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 86, 236-246. doi:https://doi.org/10.1016/j.tust.2019.01.022
- Panet, M., & Guenot, A., 1983. Analysis of convergence behind the face of a tunnel : Tunnelling 82, proceedings of the 3rd international symposium, Brighton, 7–11 June 1982, P197–204. Publ London: IMM, 1982. 20.
- Peck, R. B., 1969. *Deep excavations and tunnelling in soft ground*.
- Svoboda, T., & Mašin, D., 2010. Convergence-confinement method for simulating NATM tunnels evaluated by comparison with full 3D simulations. *Proc. International Conference Underground Construction, Prague*, 795-801.
- Wei, G., Zhang, X.-h., Xu, Y.-f., & Wang, Z., 2019. Prediction of Ground Settlement Due to Excavation of a Quasi-Rectangular Shield Tunnel Based on Stochastic Medium Theory. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(5), 3605–3618-3605–3618.
- Zhang, W., De Corte, W., Liu, X., & Taerwe, L., 2020. Influence of Rotational Stiffness Modeling on the Joint Behavior of Quasi-Rectangular Shield Tunnel Linings. *Applied Sciences*, 10(23), 8396-8396.

ABSTRACT

Research on surface settlement due to tunneling with a quasi-rectangular cross-sectional shape using the convergence-confinement method

Nguyen Tai Tien¹, Pham Van Vi¹, Vu Ngoc Tuan

¹*Hanoi University of Mining and Geology*

²*A2Z Construction Consulting Joint Stock Company*

Recent trends in tunnel design focus on optimizing the cross-sectional shape to enhance the space utilization coefficient and reduce internal forces in the lining. A tunnel with a quasi-rectangular cross-section and two lanes is being developed according to this trend. Such a tunnel reduces the impact on the surrounding ground and surface structures compared to the option of two circular tunnels. This advantage is significant, especially in large urban areas with many surface and underground structures. Surface settlement during the construction of tunnels with a quasi-rectangular cross-section has been studied by several authors using analytical methods and numerical methods with 2D and 3D models. In the 2D method, to simulate the excavation process, this study employs the Convergence-Confinement Method (CCM) through the stress reduction coefficient, λ . The surface settlement results obtained from the 2D model are compared with field measurements. The results indicate that a single stress reduction coefficient, λ , cannot achieve a settlement trough that is both accurate in shape and maximum surface settlement value (S_{max}). To obtain a settlement trough shape consistent with reality, the stress reduction coefficient must be larger (19%) than the stress reduction coefficient, λ (17,5%), to achieve a maximum settlement value matching the results from field measurements.

Keywords: quasi-rectangular tunnel; settlement; convergence-confinement method