

HỘI CƠ HỌC VIỆT NAM

**Tuyển tập công trình khoa học
Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ XI**

Hà Nội, 02-03/12/2022

Tập 1. Cơ học Vật rắn biến dạng

HÀ NỘI, 2022

Tuyển tập công trình khoa học Hội nghị Cơ học toàn quốc lần thứ XI

Hà Nội, 02-03/12/2022

Tập 1. Cơ học Vật rắn biến dạng

ISBN: 978-604-357-084-7

© 2022 Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ

Không phần nào trong xuất bản phẩm này được phép sao chép hay phát hành dưới bất kỳ hình thức hoặc phương tiện nào mà không có sự cho phép trước bằng văn bản của cơ quan chủ quản.

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

Trụ sở: Nhà A16, số 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội.

Điện thoại: 024 22149040 Fax: 024 37910147

Website: <http://www.vap.vast.vn>

MỤC LỤC

Lời nói đầu	v
TIỂU BAN CƠ HỌC VẬT RẮN BIẾN DẠNG	1
1. <i>Nonlinear bending analysis of functionally graded porous micro-plate resting on elastic foundation</i>	
Dang Van Hieu, Nguyen Thi Hoa and Vu Hong Quan	3
2. <i>Nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng sợi thép gia cường đến sức kháng uốn của bê tông tính năng cao</i>	
Vương Thị Ngọc Hân, Nguyễn Huỳnh Tấn Tài và Nguyễn Duy Liêm	14
3. <i>Nghiệm chính xác cho bài toán dao động cưỡng bức của dầm nano FGM với các điều kiện biên khác nhau</i>	
Trần Văn Liên, Trần Bình Định và Nguyễn Tất Thắng	24
4. <i>Hệ số dẫn nhiệt và các trường vi mô trong vật liệu composite cốt liệu cầu hoặc tròn có mặt tiếp xúc không hoàn hảo dạng Kapitza</i>	
Nguyễn Trung Kiên và Phạm Đức Chính	35
5. <i>Sóng Rayleigh trong bán không gian đàn hồi trục hướng phủ lớp đàn hồi trục hướng, không nén được, lệch trục</i>	
Trịnh Thị Thanh Huệ và Phạm Chí Vĩnh	43
6. <i>Simulation of superelastic behavior of shape memory alloy considering the influence of strain rate</i>	
Hoang Ngoc Quy, Haidang Phan, Phan Dinh Hau and TruongGiang Nguyen	53
7. <i>Simulation of superelastic behavior of shape memory alloy at different working temperatures</i>	
Hoang Ngoc Quy, Haidang Phan and TruongGiang Nguyen	64
8. <i>Phân tích đáp ứng cơ – điện của dầm FGM có vết nứt gắn lớp áp điện chịu tải trọng di động</i>	
Dương Thành Huân, Lê Vũ Quân và Nguyễn Tiên Khiêm	75
9. <i>Receptance function of an axially functional graded beam with varying width using Adomian method</i>	
Thao Thi Bich Dao, Khoa Viet Nguyen and Long Do Vu	87
10. <i>Influence of the varying axial force on the detection of diameter reduction of bridge cables using climbing robot</i>	
Khoa Viet Nguyen, Thao Thi Bich Dao and Quang Nguyen Van	98
11. <i>Large displacement analysis of beam and frame structure using a total Lagrange formulation</i>	
Cong Ich Le, Thanh Tien Pham and Dinh Kien Nguyen	109
12. <i>Tính toán vỏ trụ FG-CNTRC chịu tác dụng của tải trọng cơ nhiệt bằng lý thuyết biến dạng cắt bậc cao và thông số vật liệu phụ thuộc nhiệt độ</i>	
Dương Văn Quang, Trần Ngọc Đoàn và Đoàn Trắc Luật	118
13. <i>Phân tích dao động của vỏ trụ FGM có độ dày thay đổi theo lý thuyết biến dạng cắt bậc 3</i>	
Phạm Minh Vương và Nguyễn Đình Đức	129

44. Công thức tỷ số H/V của sóng Rayleigh đối với bán không gian đàn hồi có biến dạng trước, chịu ràng buộc trong tổng quát Lê Thị Huệ	439
45. Analysis the influence of particle size to the macroscopic behavior of duplex ferrite/martensite steel with RVE method Binh Khanh Ngo and Thien Tich Truong.....	450
46. Dynamic analysis of stiffened functionally graded composite plates reinforced by carbon nanotubes subjected to moving mass using a new four - variable refined plate theory and FEM Nguyen Thai Chung, Duong Thi Ngoc Thu, Nguyen Van Dang and Tran Van Binh.....	460
47. Dao động phi tuyến của vỏ thoải hai độ cong composite ba pha có lớp ngoài làm bằng vật liệu có tính chất điện từ trường đàn hồi Phạm Hồng Công, Nguyễn Trọng Thường và Nguyễn Đình Đức	472
48. Static bending analysis of FGM stiffened plate resting on discontinuous elastic foundation Nguyen Thi Cam Nhung, Do Van Thom, Phung Van Minh and Truong Thi Huong Huyen.....	482
TIỂU BAN CƠ HỌC ĐẤT, ĐÁ VÀ MÔI TRƯỜNG RỜI	489
49. Nghiên cứu đánh giá điều kiện địa chất, đề xuất đồng bộ dây chuyền thiết bị khoan doa mở rộng đào các lò thượng dốc trong than đảm bảo an toàn hiệu quả tại các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh Nguyễn Cao Khải, Nông Việt Trung, Nguyễn Ngọc Bảo, Vũ Mạnh Anh và Nguyễn Hồng Thái.....	491
50. Strain based brittle failure criteria for rocks Manfred Staat and Trần Ngọc Trinh	500
51. Limit and shakedown analysis of structures under random strength Trần Ngọc Trinh, Trịnh Tự Lực, Đào Ngọc Tiến, Trương Mạnh Khuyến, Giáp Văn Tấn, Đinh Thuý Hà and Manfred Staat.....	510
52. Nguyên nhân và giải pháp phòng tránh rung lắc công trình, nhà cửa khu vực các Quận 1, 2, 3, 4 và Bình Thạnh, Thành phố Hồ Chí Minh Lê Ngọc Thanh, Nguyễn Quang Dũng, Nguyễn Phi Hùng, Nguyễn Tư Tường Khánh, Đào Văn Tuyết, Nguyễn Xuân Mãn, Phạm Minh Tiến và Lưu Hải Tùng.....	519
53. Xác định mô đun đàn hồi và mô đun dẻo của đá granodiorit phức hệ Định Quán ở mỏ đá Gia Huynh, huyện Tân Linh, tỉnh Bình Thuận bằng đường cong ứng suất - biến dạng của thí nghiệm nén một trục Phạm Quốc Tuấn và Nguyễn Sỹ Ngọc.....	531
54. Ổn định của hai đường hầm khi có sự thay đổi điều kiện bề mặt đất Trần Tuấn Minh, Đặng Trung Thành và Nguyễn Duyên Phong	539
55. Nghiên cứu ảnh hưởng của đường hầm đến kết cấu ngầm công trình xây dựng lân cận Đỗ Ngọc Thái và Nguyễn Xuân Mãn.....	547
TIỂU BAN TRÍ TUỆ NHÂN TẠO TRONG CƠ HỌC	557
56. A tracking method of auto-focus points for optical surface 3D measurement using a non-contact laser probe Vo Quang Sang and Duan Yi Ting	559

Ổn định của hai đường hầm khi có sự thay đổi điều kiện bề mặt đất

Trần Tuấn Minh*, Đặng Trung Thành và Nguyễn Duyên Phong

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

*Email: tuanminhhung@yahoo.com

Tóm tắt. Quá trình xây dựng các đường hầm giao thông qua núi cũng như các đường hầm tàu điện ngầm thường sử dụng hai đường hầm song song để tăng năng lực vận tải cũng như thuận tiện trong quá trình vận hành các đường hầm. Hiện nay, các bài toán phân tích hai đường hầm thường sử dụng các giả thiết cho các đường hầm mặt cắt ngang tròn trong môi trường đàn hồi, đồng nhất đẳng hướng bề mặt đất được giả thiết là bằng phẳng, hai đường hầm trong bán không gian vô hạn. Tuy nhiên, trên thực tế các đường hầm thường có các dạng mặt cắt ngang khác nhau tùy thuộc vào mục đích sử dụng của đường hầm cũng như công nghệ khai đào các đường hầm. Trên thực tế, điều kiện địa chất thì biến đổi rất phức tạp không tuân theo quy tắc đàn hồi, đồng nhất đẳng hướng. Mặt cắt ngang đường hầm có thể là hình vòm, hình vòm móng ngựa, chữ nhật cong, elip, ôvan và các dạng hình dạng khác. Điều kiện bề mặt địa hình khu vực có những thay đổi không phải là bằng phẳng giống như các bài toán lý thuyết đơn giản hoá. Điều này đòi hỏi phải có các nghiên cứu chuyên sâu để đảm bảo hiệu quả công tác khai đào, chống giữ và sử dụng các đường hầm. Bài báo tìm hiểu sự biến đổi cơ học xung quanh các đường hầm có mặt cắt ngang khác nhau trong điều kiện địa hình biến đổi.

Từ khóa: Đường hầm song song; sườn dốc, hầm không tròn; neo; bê tông phun; mô hình số.

1. Khái quát chung

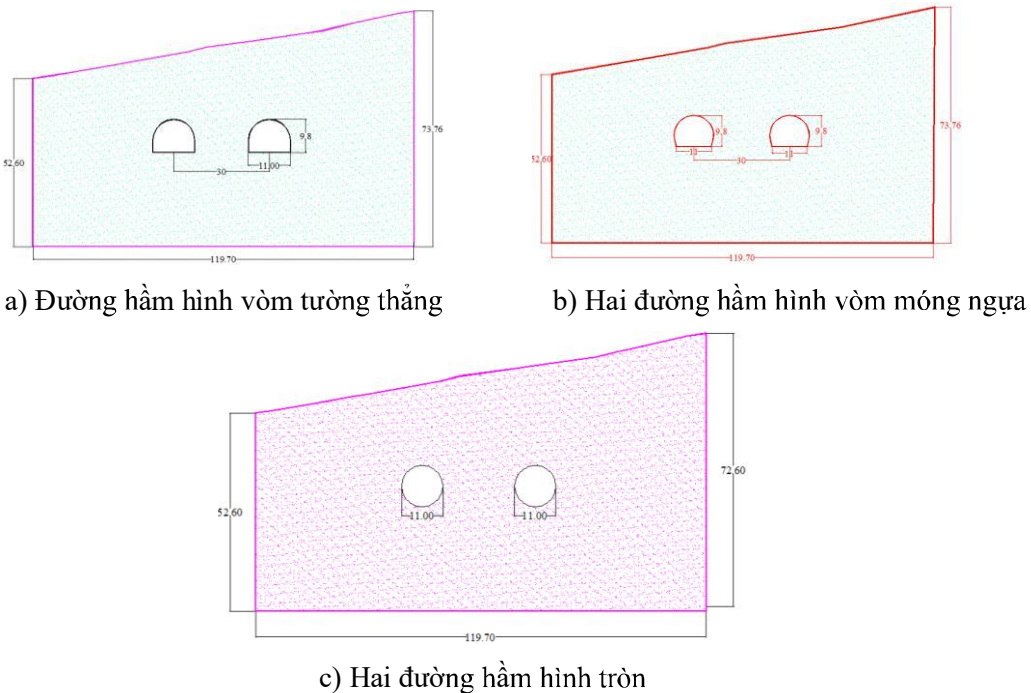
Sự phát triển mạnh mẽ của nền kinh tế ở các khu vực trên thế giới trong đó có Việt Nam dẫn đến sự thay đổi tích cực của cơ sở hạ tầng, giao thông trong các khu vực giữa miền núi với miền xuôi, đồng bằng với thành phố đô thị. Các đường hầm giao thông xuyên núi, hệ thống tàu điện ngầm ngày càng được quan tâm chú trọng và xây dựng nhiều tại nhiều quốc gia, trong đó có Việt Nam [3-11]. Việc phân tích, tính toán các đường hầm đôi đã được nhiều nhà khoa học quan tâm. Họ thường giả thiết bài toán đường hầm đôi trong môi trường bán không gian vô hạn, mặt cắt ngang đường hầm tròn [1-2], [4-11]. Với các dạng mặt cắt ngang đường hầm không tròn thường được giải quyết bằng phương pháp hàm biến phức, chuyển đổi mặt cắt tương đương [12-13]. Các bài toán thường là dạng xem xét sự thay đổi nội lực, sự biến đổi cơ học (vùng biến dạng dẻo, vùng phân bố áp lực) xung quanh các đường hầm này [6-9]. Thời gian gần đây, việc khai đào các đường hầm trong đô thị bằng công nghệ khiên đào phổ biến thì các bài toán xem xét đến lún sụt bề mặt do thi công đường hầm đơn và hầm đôi cũng được quan tâm nhiều hơn [4-9].

Hiện nay công nghệ và phần mềm phát triển, các phần mềm số ngày càng được sử dụng rộng rãi mang lại những hiệu quả cao trong công tác thiết kế các đường hầm [6-8], [10-11]. Các phần mềm chuyên dụng hiện nay có thể được chia ra ở các nhóm phân tích khác nhau như: các phương pháp phân tích biến dạng không liên tục DDA (Discontinuous Deformation Analysis), phần tử hữu hạn FEM (Finite Element Method), sai phân hữu hạn DEM (Different Element Method), phần tử biên BEM (Boundary Element Method). Ưu điểm của nhóm phương pháp này là mô hình được sát với điều kiện thực tế, kể được cùng lúc nhiều yếu tố ảnh hưởng của điều kiện địa chất, địa chất thủy văn công trình khu vực xây dựng đường hầm. Không những vậy, chúng còn có thể mô phỏng cho cả các quá trình thi công, các bước thi công và quá trình lắp đặt các kết cấu chống giữ các đường hầm. Trong bài báo này sẽ đi phân tích sự biến đổi cơ học, tính ổn định của hai đường hầm với các dạng mặt cắt ngang tròn, vòm một tâm tường thẳng và hình vòm móng ngựa.

2. Mô hình cho bài toán phân tích

2.1. Thiết lập mô hình

Xem xét một trường hợp thực tế bao gồm hai đường hầm sẽ được xây dựng tại khu vực sườn dốc, sườn núi có sự thay đổi điều kiện bề mặt địa hình (không bằng phẳng). Do điều kiện khu vực thi công, giảm khoảng cách giữa hai hầm để rút ngắn các đường ngang nối giữa hai hầm thuận tiện cho công tác thi công và lánh nạn nên vị trí của hai hạng mục này được thiết kế tương đối gần nhau. Đường hầm có chiều rộng $B = 11\text{ m}$, chiều cao $H = 9,8\text{ m}$ được khai đào trong khu vực đất đá có điều kiện tương đối vững chắc. Bài toán được thực hiện cho 3 dạng mặt cắt ngang đường hầm khác nhau để xem xét sự biến đổi cơ học cũng như sự thay đổi chuyển vị của đất đá xung quanh biên các đường hầm trong điều kiện 2 đường hầm được khai đào song song với nhau cùng lúc. Mô hình bài toán được thực hiện như trên Hình 1, đường hầm được sử dụng có khẩu độ 11 m, đào trong khu vực đất đá yếu chủ yếu là đất phủ với các thông số đất đá được mô tả như trong Bảng 1.



Hình 1. Mô hình lý thuyết cho bài toán phân tích

Bảng 1. Các thông số đất đá cho mô hình bài toán

N ⁰	Tên các tham số	Kí hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Trọng lượng thể tích đất đá	γ	0,018	MN/m ³
2	Độ bền kéo của khối đá	σ_k	0,02	MPa
3	Lực dính kết của khối đá	c	0,05	MPa
4	Góc ma sát trong của khối đất đá	φ	19	độ
5	Mô đun đàn hồi của khối đá	E	300	MPa
6	Hệ số Poisson của khối đá	μ	0,30	-
7	Góc ma sát trong dư	φ_{re}	15	độ
8	Lực dính kết dư	c_{re}	0,0	MPa
9	Chiều rộng đường hầm	B	11	m
10	Mô hình vật liệu	-	Đàn-Dẻo	-

Ổn định của hai đường hầm khi có sự thay đổi điều kiện bề mặt đất

Đường hầm được chống bằng neo kết hợp với bê tông phun lưới thép trên cơ sở mô hình số để lựa chọn các tham số neo và bê tông phun lưới thép. Đặc tính của kết cấu chống neo, bê tông phun kết hợp với lưới thép được mô tả như trong Bảng 2 và 3.

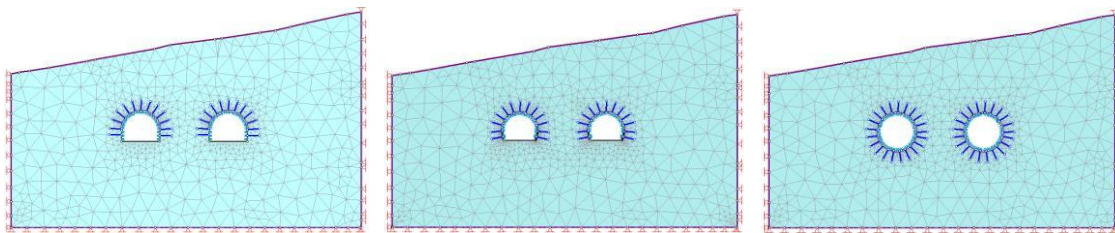
Bảng 2. Các thông số của kết cấu chống neo

TT	Các thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Đường kính của thanh cốt neo thép	d	20	mm
2	Mô đun đàn hồi của cốt neo	E_t	200000	MPa
3	Khả năng chịu kéo	P_k	0,1	MN
4	Khả năng chịu kéo dư	P_{dur}	0,01	MN
5	Kích thước mạng neo axb	axb	2x1,5	m
6	Chiều dài neo sử dụng	L	4,0	m
7	Góc cắm neo vuông góc với biên hầm	-	-	-

Bảng 3. Các tham số bê tông phun lưới thép

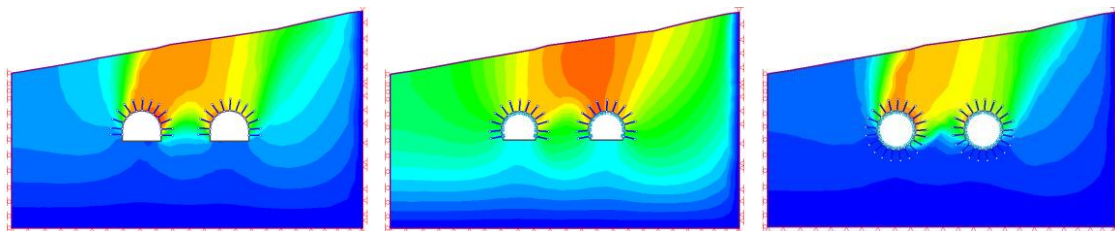
TT	Các tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Lưới thép sử dụng B40x40 đường kính	ϕ	4	mm
2	Chiều dày bê tông phun	d	3	cm
3	Mô đun đàn hồi	E_{bt}	36000	MPa
4	Hệ số Poisson	μ	0,15	-
5	Cường độ bền nén	σ_b	41,0	MPa
6	Độ bền kéo	σ_{bk}	5,0	MPa

Bằng phần mềm số Phase 2 chúng ta có thể mô phỏng được mô hình cho các bài toán với các tham số đầu vào như Bảng 1 và mô hình lý thuyết (Hình 1) như trong Hình 2. Kết quả phân tích cho phân bố chuyển vị đất đá xung quanh hai đường hầm được thể hiện như trong Hình 3.



a) Đường hầm vòm tường thẳng b) Hầm hình vòm móng ngựa c) Đường hầm hình tròn

Hình 2. Mô hình số cho bài toán phân tích

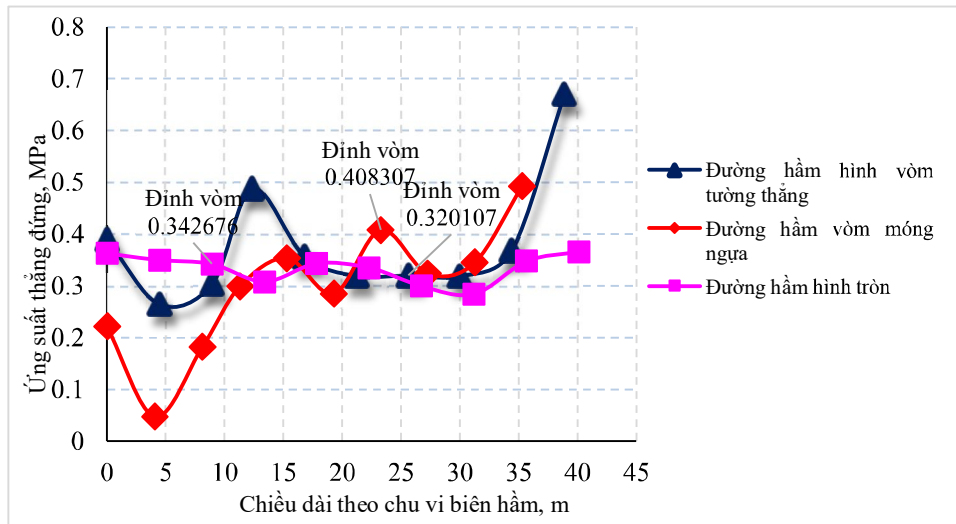


a) Hầm hình vòm tường thẳng b) Hầm hình vòm móng ngựa c) Hầm hình tròn

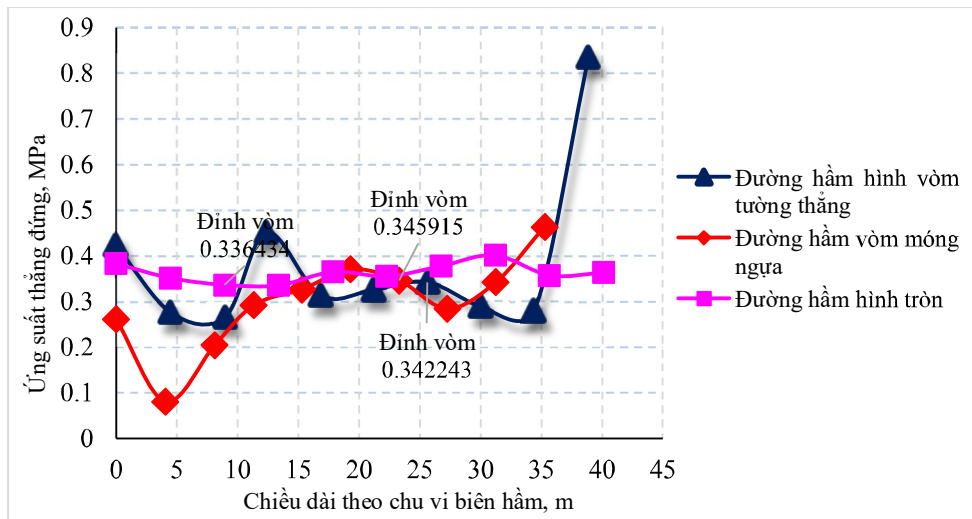
Hình 3. Phân bố chuyển vị xung quanh các đường hầm

Quan sát kết quả phân bố chuyển vị trên Hình 3 thấy rằng, phân bố chuyển vị xung quanh đường hầm tròn có vùng ảnh hưởng nhỏ nhất, tiếp sau đó là đường hầm hình móng ngựa và sau

cùng là đường hầm hình vòm tường thẳng. Để thấy được sự thay đổi ứng suất-biến dạng xung quanh các đường hầm, tiến hành xây dựng biểu đồ giá trị ứng suất và chuyển vị trên các vị trí khác nhau của biên hầm. Mục đích nhằm đánh giá vai trò của hình dạng đến sự thay đổi giá trị của ứng suất và chuyển vị của đất đá trên biên đường hầm, từ đây đánh giá loại hình mặt cắt ngang hiệu quả cho các đường hầm. Qua phân tích chúng ta thu được mối quan hệ giữa ứng suất thẳng đứng và chuyển vị của biên hầm của hai đường hầm bên trái và bên phải mô hình cho 3 trường hợp hình dạng đường hầm khác nhau khi điều kiện bề mặt địa hình dốc từ phải sang trái (Hình 2) được thể hiện như trong các hình từ Hình 4 đến Hình 7.

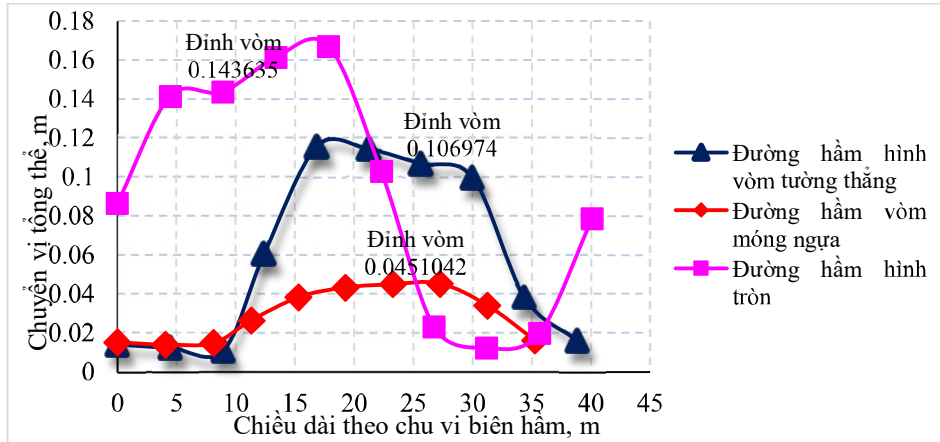


Hình 4. Ứng suất thẳng đứng của đường hầm bên trái

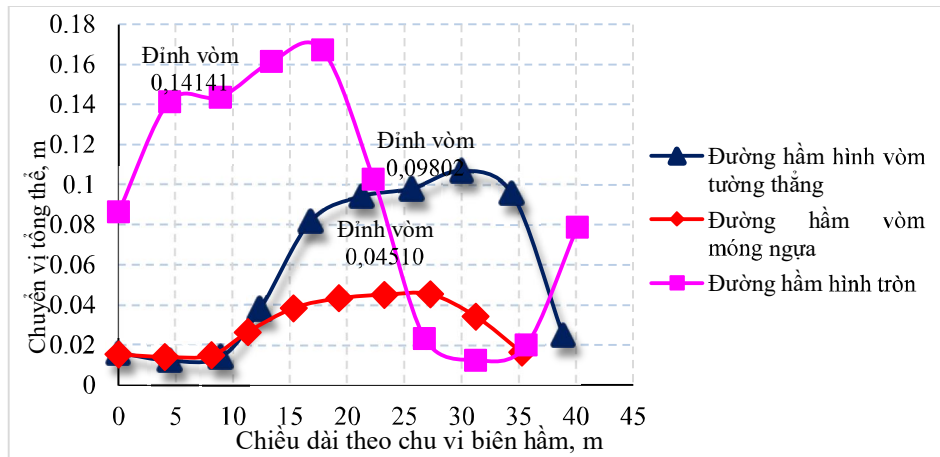


Hình 5. Ứng suất thẳng đứng của đường hầm bên phải

Ổn định của hai đường hầm khi có sự thay đổi điều kiện bề mặt đất



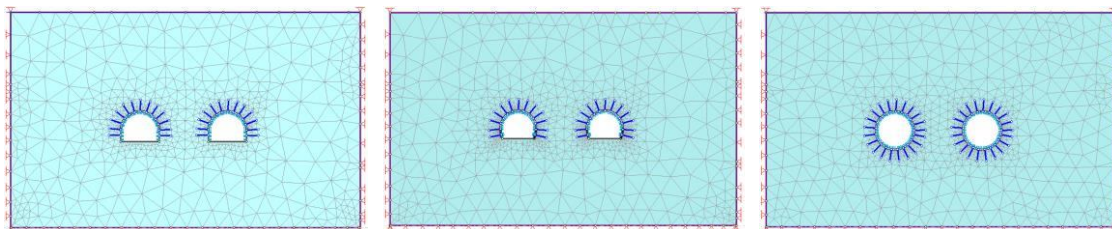
Hình 6. Chuyển vị tổng thể trên biên đường hầm bên trái



Hình 7. Chuyển vị tổng thể trên biên đường hầm bên phải

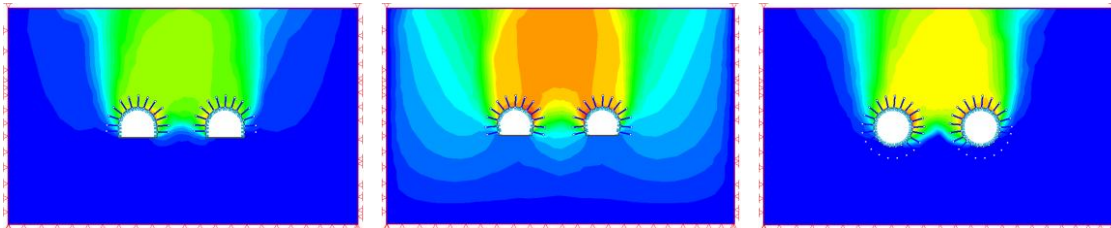
Các kết quả trên các Hình 4 đến Hình 7 chỉ ra rằng, cho mỗi mặt cắt ngang đường hầm khác nhau, ở các đường hầm khác nhau (bên trái hoặc bên phải) thì giá trị ứng suất và chuyển vị ở trên đỉnh vòm (nơi có sự nguy hiểm) có khả năng gây mất ổn định đường hầm sẽ có các giá trị khác nhau. Tuy nhiên, giá trị ứng suất nhỏ nhất trên nóc trong trường hợp đường hầm có hình vòm móng ngựa cũng có giá trị nhỏ nhất, tương ứng với hình dạng ổn định hơn cả.

Để thấy rõ sự khác biệt giữa hai đường hầm trong điều kiện thay đổi bề mặt, tiến hành phân tích so sánh đối chứng với trường hợp hai đường hầm trong điều kiện bề mặt nằm ngang trong điều kiện tương tự bằng mô hình phân tích số như Hình 8. Kết quả mô hình số cho phân bố chuyển vị xung quanh các đường hầm này được mô tả trong Hình 9.



a) Đường hầm vòm tường thẳng b) Hầm hình vòm móng ngựa c) Đường hầm hình tròn

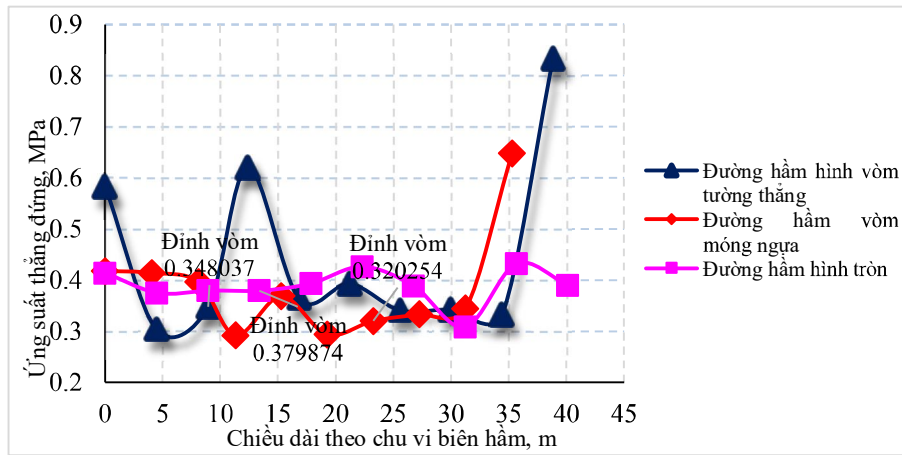
Hình 8. Mô hình bài toán cho trường hợp bề mặt đất bằng phẳng



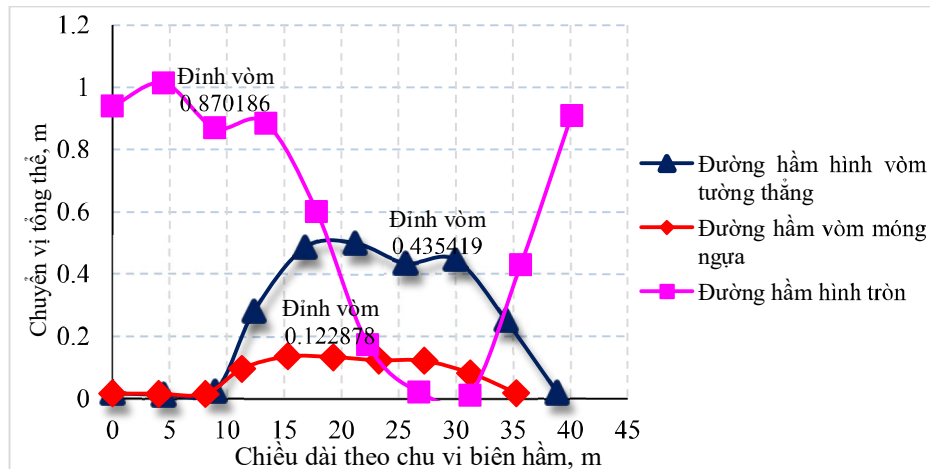
a) Đường hầm vòm tường thẳng b) Hầm hình vòm móng ngựa c) Đường hầm hình tròn

Hình 9. Phân bố chuyển vị đất đá xung quanh đường hầm

Do bài toán bề mặt đất bằng phẳng, mô hình bài toán có tính chất đối xứng nên việc xác định ứng suất và chuyển vị tổng thể trên biên hầm có thể lấy ở bất cứ hầm nào (bên trái hoặc bên phải). Sau khi thiết lập, chúng ta thu được quy luật biến thiên của ứng suất và chuyển vị trên biên hầm như trên Hình 10 và 11.

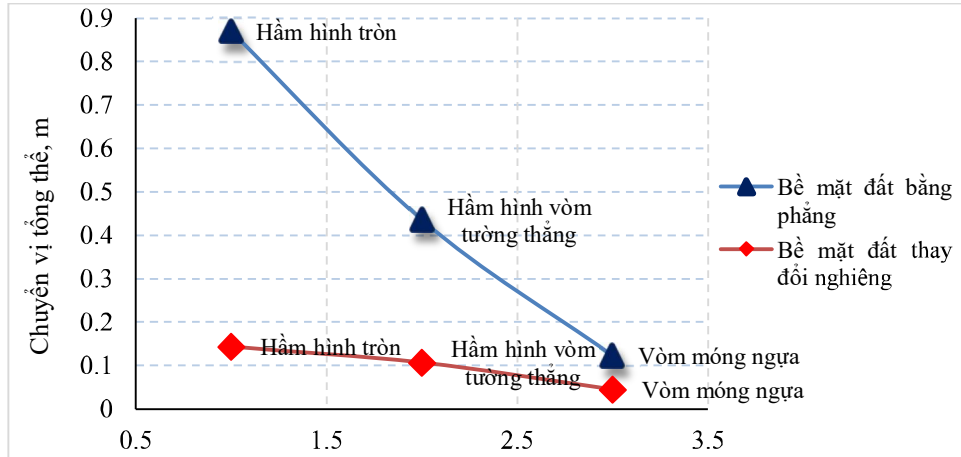


Hình 10. Ứng suất thẳng đứng trên biên hầm trường hợp bề mặt đất bằng phẳng



Hình 11. Chuyển vị tổng thể trên biên hầm trường hợp bề mặt đất bằng phẳng

Ổn định của hai đường hầm khi có sự thay đổi điều kiện bề mặt đất



Hình 12. So sánh giá trị chuyển vị tổng thể trong trường hợp bề mặt đất bằng phẳng và bề mặt đất thay đổi độ dốc

5. Kết luận và kiến nghị

Qua phân tích các lý thuyết cũng như kết quả mô hình phân tích số ở trên thấy rằng, điều kiện bề mặt đất biên mô hình có ảnh hưởng nhất định đến sự phân bố ứng suất, chuyển vị trong khối đất đá và trên biên các đường hầm trong các trường hợp khác nhau.

Trong trường hợp điều kiện bề mặt đất bằng phẳng thì giá trị ứng suất, chuyển vị là đối xứng xung quanh các đường hầm. Tuy nhiên, trong điều kiện bề mặt đất thay đổi nghiêng như trong bài toán nghiên cứu thì các giá trị ứng suất và chuyển vị có xu hướng bị lệch sang trái, do bề mặt đất có độ dốc từ phải qua trái lên phía phải của các đường hầm giá trị ứng suất và chuyển vị lớn hơn bên phía hầm bên trái. Điều này được giải thích do sự chênh cao của địa hình, trong bài toán đồng nhất nên ứng suất và chuyển vị càng vào phía sâu trong lòng núi thì càng tăng.

Trong cả hai trường hợp bề mặt đất bằng phẳng và dốc nghiêng thì dạng mặt cắt ngang phù hợp cho hai đường hầm này nên có dạng vòm móng ngựa. Khi đó, giá trị ứng suất và chuyển vị ở vị trí nóc hầm sẽ là nhỏ nhất, đường hầm có dạng ổn định hơn cả về giá trị áp lực tác dụng lên vỏ hầm.

Mô hình phân tích số cũng như phương pháp số nên được áp dụng trong quá trình phân tích và thiết kế, dự báo sớm áp lực đất đá và sơ bộ lựa chọn kết cấu chống ban đầu trong phân tích. Tuy nhiên, cần thiết phải có sự linh hoạt, thay đổi khi cập nhật điều kiện địa chất ở từng đoạn, từng khu vực đường hầm khai đào trong thực tế.

Tài liệu tham khảo

[1] Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc (2006). *Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình*.
 [2] Nguyễn Quang Phích (2007). *Cơ học đá*. NXB Xây dựng.
 [3] Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Khắc Cường, Nguyễn Ngọc Huệ, *Ảnh hưởng của mực nước ngầm đến trạng thái cơ học trong khối đá xung quanh công trình ngầm và tác động lên kết cấu*, Hội nghị toàn quốc Khoa học Trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững (ERSD 2020), Tiểu ban công trình ngầm và địa kỹ thuật, tr. 84-90, 2020.
 [4] Đỗ Ngọc Thái, Nguyễn Đức Trường, Nghiên cứu dự báo độ lún mặt đất khi thi công hai đường hầm song song trong đô thị bằng máy khiên đào, *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, T 62, No 2, Tr 47-56, 2021.
 [5] Đỗ Ngọc Thái, Phương pháp dự báo độ lún mặt đất khi thi công hai đường hầm song song, *Tạp chí Công nghiệp mỏ*, 5, 34-38, 2020.

- [6] Ngoc Anh Do, Daniel Dias, Trong Thang Dang, A Numerical Investigation of the Impact of Shield Machine's Operation Parameters on the Settlements above Twin Stacked Tunnels - A case study of Ho Chi Minh Urban Railway Line 1, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 43, 4, 443-457, 2021.
- [7]. Do Ngoc Anh, Dias Daniel, Oreste Pierpaolo, 3D Numerical Investigation of Mechanized Twin Tunnels in Soft Ground - Influence of Lagging Distance between Two Tunnel Faces, *Engineering Structures*, 109, 117-125, 2016.
- [8]. Do Ngoc Anh, Dias Daniel, Oreste Pierpaolo, 3D numerical investigation on the interaction between mechanized twin tunnels in soft ground, *Environmental Earth Sciences*, 73, 5, 2101-2113, 2014.
- [9]. Thai Do Ngoc, Kien Dang Van, Vi Pham Van, Quang Nguyen Van, Prediction of surface settlement due to twin tunnel construction in soft ground of Hanoi metro line 03, *International Journal of GEOMATE*, Vol. 22, Issue 94, pp. 66-72, 2022.
- [10]. Tran Tuan Minh, Nguyen Duyen Phong, Research on determination of optimal distance between two unsupported tunnels when consideration to shape changes, *Vietrock 2015 International Symposium "Rock mechanics for sustainable development"*, Ha Noi 12-13 March - 2015, P401-409, 2015.
- [11]. Tran Tuan Minh, Nguyen Duyen Phong, Research on determination of optimal distance between two unsupported tunnels when consideration to shape changes, *International Conference CIGOS-PARIS-2015*, 2015.
- [12]. N.S. Bulutrev. *Underground mechanics*, Moscow Publishouse, 1994.
- [13]. Fotieva N.N., Bulychev N.S., Sammal A.S. Design of shallow tunnel linings. *Proceeding of the ISRM international Symposium Eurock' 96*. Rotterdam: Balkema, 1996, P677-680.

NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC TỰ NHIÊN VÀ CÔNG NGHỆ

Nhà A16 - Số 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội

Điện thoại: Phòng Phát hành: **024.22149040**;

Phòng Biên tập: **024.37917148**;

Phòng Quản lý Tổng hợp: **024.22149041**;

Fax: **024.37910147**; Email: **nxb@vap.ac.vn**; Website: **www.vap.ac.vn**

**TUYỂN TẬP CÔNG TRÌNH KHOA HỌC
HỘI NGHỊ CƠ HỌC TOÀN QUỐC LẦN THỨ XI**

Tập 1. Cơ học Vật rắn biến dạng

Hội Cơ học Việt Nam

Chịu trách nhiệm xuất bản
Giám đốc, Tổng biên tập
PHẠM THỊ HIẾU

Biên tập: Nguyễn Văn Vĩnh, Lê Phi Loan
Trình bày kỹ thuật: Trần Ngọc Trung
Trình bày bìa: Trần Ngọc Trung

Liên kết xuất bản: Hội Cơ học Việt Nam
Địa chỉ: P102, 264 Đội Cấn, Ba Đình, Hà Nội

ISBN: 978-604-357-084-7

In 100 cuốn, khổ 19x26,5 cm, tại Công ty Cổ phần Khoa học & Công nghệ Hoàng Quốc Việt.

Địa chỉ: 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội.

Số xác nhận đăng ký xuất bản: 3562-2022/CXBIPH/02-53/KHTNVCN.

Số quyết định xuất bản: 78/QĐ-KHTNCN, cấp ngày 30 tháng 11 năm 2022.

In xong và nộp lưu chiểu quý IV năm 2022.