

Phân tích ảnh hưởng của đứt gãy đến phân bố ứng suất - dịch chuyển trong khối đá xung quanh đường hầm khi chịu động đất

Nguyễn Quang Phích¹, Nguyễn Ngọc Huệ², Nguyễn Quang Minh³, Đào Hồng Hải^{4,5}, Bùi Trọng Vinh^{4,5,*}

TÓM TẮT

Xây dựng các công trình ngầm sẽ phá vỡ trạng thái cân bằng và làm thay đổi trạng thái ứng suất – biến dạng ban đầu trong khối đất đá xung quanh đường hầm và có thể gây ra các sự cố phá hủy. Hiểu biết thấu đáo về quá trình biến đổi trạng thái ứng suất – dịch chuyển xung quanh đường hầm, các sự cố phá hủy có thể xuất hiện là rất cần thiết để phục vụ công tác thiết kế và thi công trong điều kiện thực tế tại hiện trường và đặc biệt khi khối đất đá chịu động đất.

Bài viết giới thiệu một số kết quả mô phỏng số về quá trình lan truyền sóng địa chấn, về biến đổi về trạng thái ứng suất, dịch chuyển trong khối đá có đứt gãy nhỏ với góc cắm 45^0 , xung quanh đường hầm tiết diện tròn, sử dụng phương pháp phần tử rời rạc (Universal Distinct Element Code-UDEC). Ba trường hợp được mô phỏng là: a) hầm nằm trong phần đá vách, đứt gãy nằm cách tâm hầm 10m trên trục thẳng đứng; b) đứt gãy chạy qua tâm hầm và c) hầm nằm trong phần đá trụ, đứt gãy cách tâm hầm 10m trên trục thẳng đứng. Các kết quả nhận được cho thấy ảnh hưởng rất rõ nét của thể nằm và vị trí của đứt gãy đến biến đổi địa cơ học trong khối đá, góp phần tăng cường cho công tác dự báo, thiết kế được chính xác hơn.

Từ khóa: đường hầm tiết diện tròn, khối đá có đứt gãy, động đất, trạng thái ứng suất-dịch chuyển, lan truyền sóng

¹Trường Đại học Văn Lang, Việt Nam

²Trường Đại học Thủ Dầu Một, Việt Nam

³Trường Đại học Mở-Địa chất, Việt Nam

⁴Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa Kỹ thuật Địa chất và Dầu khí, Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM, 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

⁵Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Tp. Thủ Đức, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Bùi Trọng Vinh, Bộ môn Địa kỹ thuật, Khoa Kỹ thuật Địa chất và Dầu khí, Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM, 268 Lý Thường Kiệt, Quận 10, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Tp. Thủ Đức, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: btvinh@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 13-11-2023
- Ngày chấp nhận: 25-4-2024
- Ngày đăng: 31-12-2024

DOI : 10.32508/stdjet.v6iS17.1305



ĐẶT VẤN ĐỀ

Với những sự kiện động đất đã gây phá hủy cho các công trình ngầm cho thấy cần thiết phải triển khai công việc thiết kế có chú ý động đất khi xây dựng trong vùng từng có hoạt động động đất. Trên cơ sở các kết quả của công trình nghiên cứu tác động của động đất đến công trình ngầm, ví dụ bằng lý thuyết trong các công trình¹⁻³, quan trắc và thí nghiệm trong các nghiên cứu⁴⁻⁸, nhiều giải pháp thiết kế khác nhau đã được đề xuất và giới thiệu trong các nghiên cứu⁹⁻¹⁴. Tuy nhiên, do xuất phát từ các quan điểm khác nhau khi nghiên cứu (các điều kiện biên giả tĩnh, động), nên các đề xuất thiết kế cũng đa dạng và có những khác biệt đáng kể đã được so sánh trong nhiều tài liệu chuyên môn. Ngoài ra, khối đất đá vốn dĩ là môi trường phức tạp về thành phần, cấu trúc..., nên luôn cần thiết xúc tiến nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu tố khác nhau, liên quan đến sự lan truyền của sóng địa chấn cũng như các quá trình biến đổi cơ học trong khối đá khi chịu tác động địa chấn. Cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu xung quanh vấn đề này và cho các kết quả định tính, định lượng thú vị, giúp cho người thiết kế có thể phân tích áp dụng để đảm bảo kết quả thiết kế ngày một hợp lý hơn, tùy thuộc vào điều kiện cụ thể, ví dụ như trong các công trình¹⁵⁻¹⁷.

Một trong những yếu tố cấu tạo địa chất có ảnh hưởng đáng kể đến biểu hiện địa chấn của công trình ngầm là sự có mặt của các đứt gãy (đối phá hủy), xuất hiện ở các mức độ khác nhau trong khối đá do các hoạt động địa kiến tạo để lại. Kế tiếp với các kết quả đã khảo sát đã được giới thiệu trong các công trình^{16,17}, trong bài này trình bày kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của vị trí tương đối giữa đứt gãy và đường hầm đến các biểu hiện địa chấn, bằng mô phỏng số theo phương pháp phần tử rời rạc (UDEC- Universail Distinct Element Code).

PHƯƠNG PHÁP VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

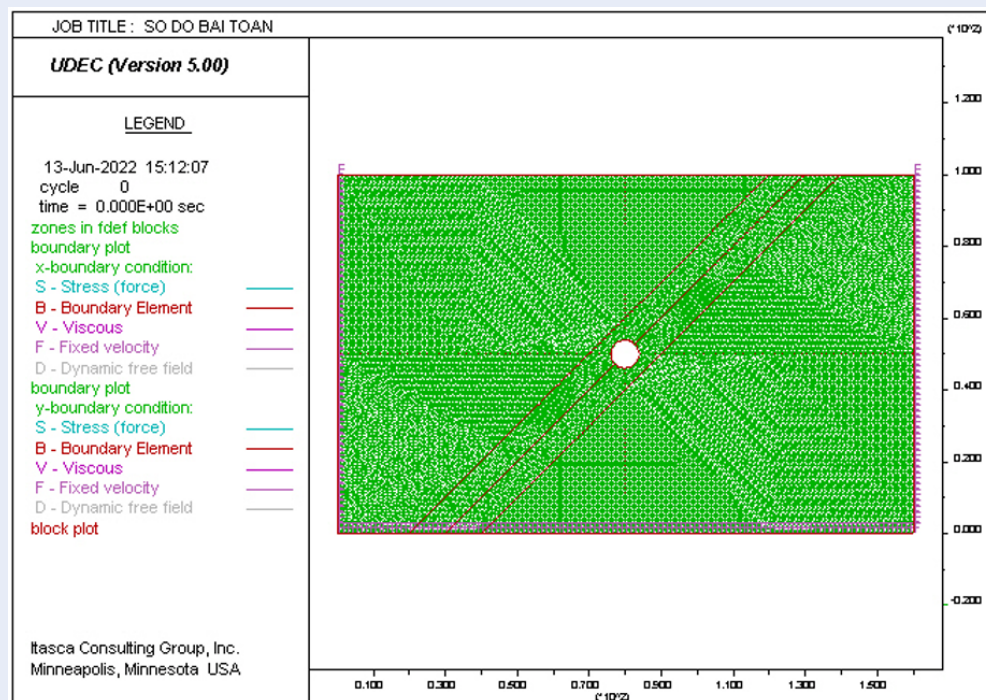
Bài toán được khảo sát có các đặc điểm sau: Miền khảo sát có chiều dài 160m và chiều cao 100m. Đường hầm được đào chính giữa miền khảo sát, cụ thể tâm hầm có tọa độ (x = 50, y = 50) và đường kính bằng 8m. Khối đá, ngoại trừ đứt gãy, được coi là đàn hồi, đồng nhất với mật độ bằng $2,5\text{g/cm}^3$, mô đun trượt bằng 4,0GPa, mô đun nén thể tích bằng 6,6GPa. Sóng địa chấn lan truyền theo hướng từ phía dưới lên. Hình 1 cho thấy sơ đồ bài toán cùng lưới sai phân và các điều kiện biên tương ứng.

Đứt gãy được coi là nhỏ (không chú ý biên độ hay chiều rộng của đối phá hủy hay đối đứt gãy), có góc

Trích dẫn bài báo này: Phích N Q, Huệ N N, Minh N Q, Hải D H, Vinh B T. **Phân tích ảnh hưởng của đứt gãy đến phân bố ứng suất - dịch chuyển trong khối đá xung quanh đường hầm khi chịu động đất.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2024; 6(S17):258-265.

Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Hình 1: Sơ đồ tổng quát của bài toán và các điều kiện biên tương ứng

cầm 45^0 và cắt qua mặt cắt ngang của đường hầm, có hệ số độ cứng pháp tuyến bằng 20MPa/m, độ cứng tiếp tuyến bằng 1,5MPa/m và góc ma sát bằng 30^0 . Ba trường hợp được khảo sát với đứt gãy nằm ở các tọa độ khác nhau, cụ thể: a) trường hợp A cách tâm đường hầm 20m (phía dưới đường hầm); b) trường hợp B, chạy qua tâm hầm; c) trường hợp C cách tâm hầm 20m (phía trên đường hầm).

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

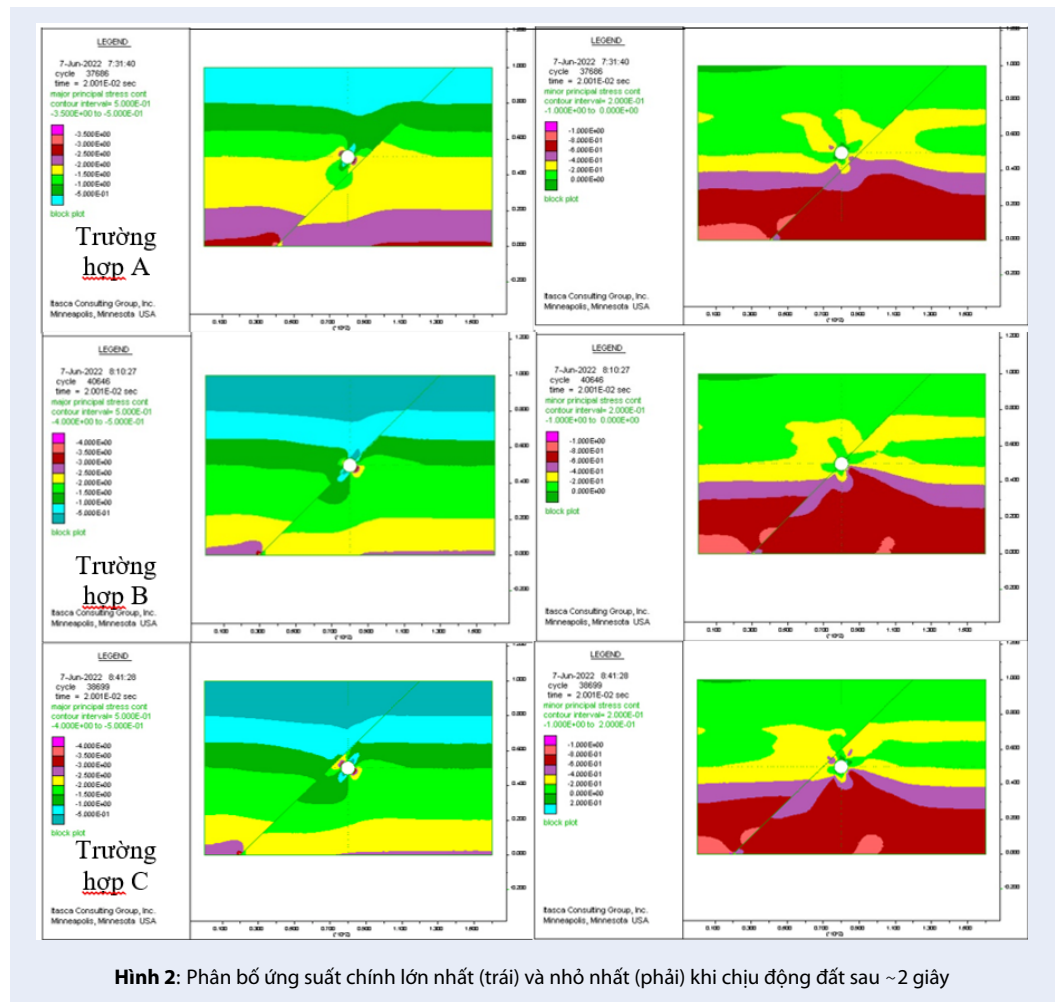
Trên các Hình từ 2 đến 5 là các kết quả được xuất ra (plot) trong quá trình thực hiện tính mô phỏng. Hình 2 minh họa quy luật phân bố các ứng suất chính lớn nhất (bên phải) và các ứng suất chính nhỏ nhất (bên trái) trên toàn miền khảo sát, sau khoảng 2 giây động đất. Hình 3 thể hiện sự phân bố của các véc tơ ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất tại mỗi điểm ở vùng gần biên đường hầm. Phương, chiều tác dụng và cường độ của các thành phần ứng suất được minh họa bởi hai đoạn thẳng trực giao với nhau. Mũi tên trên các đoạn thẳng chỉ hướng tác dụng (kéo hay nén), thể nằm của các đoạn thẳng (độ nghiêng của các đoạn thẳng) cho biết phương tác dụng và chiều dài các đoạn thẳng tương ứng với cường độ của các thành phần ứng suất. Khi cần khảo sát định lượng có thể cho xuất các giá trị ở tệp dữ liệu số. Mức độ đậm nhạt trên Hình 3 phản ánh mức độ tập trung ứng suất tại thời điểm này.

Các mũi tên màu xanh được sử dụng trên hình chỉ để chỉ rõ về sự biến động về hướng tác dụng của các thành phần ứng suất chính, tương đối so với thể nằm của các đứt gãy.

Từ đó có thể rút ra nhận định rằng:

- Có sự biến động rất rõ ràng khi khối đá có đứt gãy và chịu tải trọng động (Hình 2), nếu so sánh với quy luật phân bố ứng suất ở trường hợp không có đứt gãy. Dễ dàng nhận biết được sự khác nhau về quy luật phân bố ứng suất tại các vùng phía trên và dưới đứt gãy, cũng như giữa các trường hợp đứt gãy nằm ở các vị trí khác nhau.
- Nếu như ở trạng thái tĩnh, phân bố các ứng suất chính (lớn nhất và nhỏ nhất) ít nhiều còn có hướng song song và vuông góc với trục của đường hầm, thì khi có động đất, các thành phần ứng suất chính có hướng tác dụng ít nhiều gần song song và vuông góc với hướng cầm của đứt gãy (Hình 3). Ảnh hưởng rõ nét nhất nhận thấy khi đứt gãy chạy qua tâm hầm.

Trên Hình 4 là các kết quả xuất ra về trạng thái dịch chuyển toàn phần trên toàn miền khảo sát, bởi quy luật phân bố của các véc tơ chuyển vị khi có động đất và trên Hình 5 minh họa kết quả mô phỏng dịch

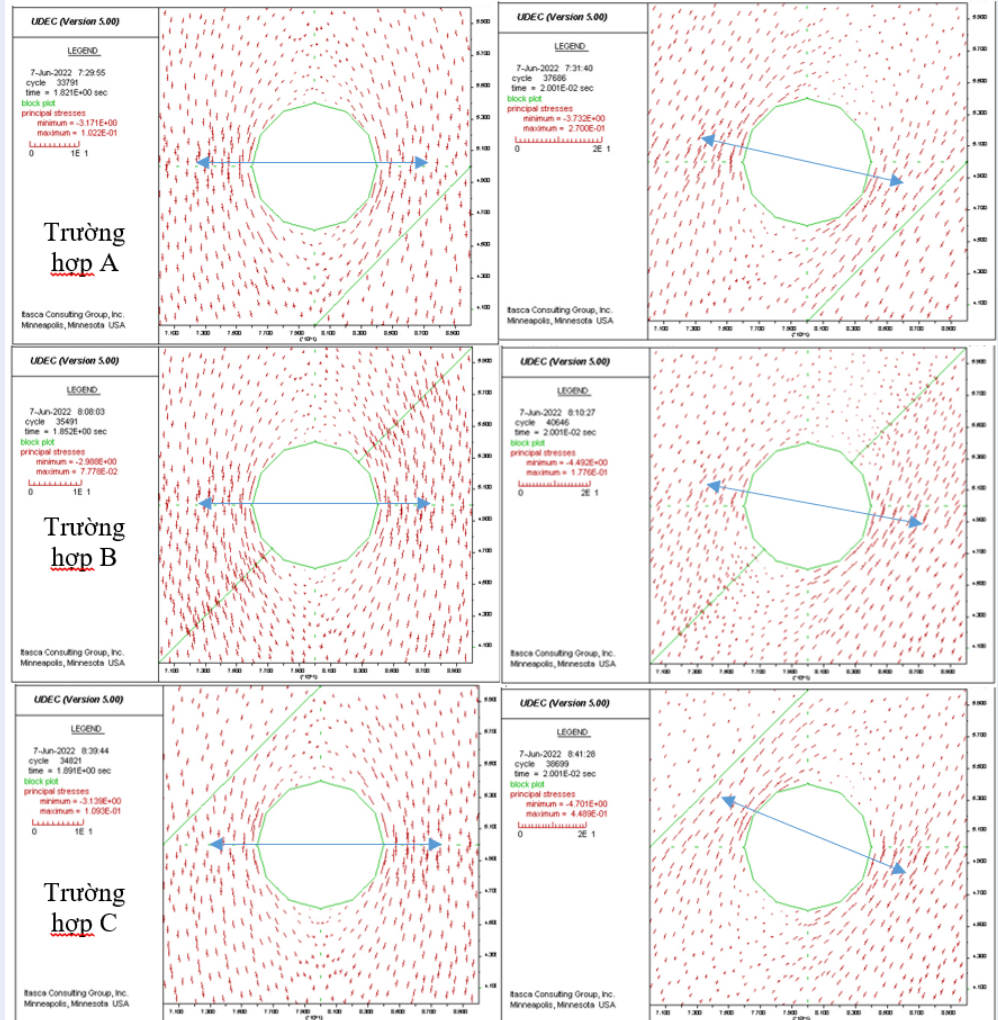


chuyển ở vùng gần biên đường hầm: bên trái cho trường hợp ở trạng thái tĩnh và bên phải cho trường hợp động, tại thời điểm động đất sau khoảng 2 giây. Từ các kết quả nhận được về các trạng thái dịch chuyển trong khối đá có đứt gãy, có thể rút ra các nhận xét sau:

- Với sự có mặt của đứt gãy, dịch chuyển xảy ra trong khối đá bị chi phối rất rõ rệt do hiệu ứng phản xạ của các mặt đứt gãy đối với sóng địa chấn và phụ thuộc vào vị trí của đứt gãy (Hình 4).
- Nếu như dưới tác dụng thuần túy của lực trọng trường (tác động tĩnh) trường chuyển vị ở vùng gần biên đường hầm có biến đổi không nhiều lắm so với trường hợp không có đứt gãy (Hình 5, bên trái), thì ở trạng thái chịu động đất trường chuyển vị cho thấy hướng dịch chuyển bị chi phối rõ rệt bởi vị trí tương đối của đứt gãy. Cụ thể hướng và cường độ của các véc tơ chuyển vị

xáo trộn khá phức tạp. Trong trường hợp cụ thể này, khi giá trị cực đại của véc tơ chuyển vị trên vùng gần biên hầm lớn nhất khi đứt gãy nằm phía dưới (trong đá trụ, hay nền hầm) và nhỏ nhất khi đứt gãy nằm phía trên hầm (trong đá vách hay nóc hầm) do bị chi phối bởi trượt dọc theo đứt gãy. Còn khi chịu động đất, giá trị cực đại của véc tơ dịch chuyển có giá trị lớn nhất và xuất hiện phía nền hầm khi đứt gãy cắt qua tâm đường hầm và có giá trị nhỏ nhất khi đứt gãy nằm phía nền hầm. Điều này thể hiện rất rõ nét hiệu ứng phản xạ, do sự có mặt của các đứt gãy.

- Khi có các đứt gãy trên mặt cắt ngang ở các vị trí khác nhau, biến dạng của hầm hình tròn không hoàn toàn còn là hình bầu dục (ovan) cân xứng rõ rệt. Điều này dễ nhận thấy qua các véc tơ chuyển vị xuất phát từ biên đường hầm với hướng và cường độ phức tạp, do ảnh hưởng của hiệu ứng phản xạ của mặt đứt gãy. Biến dạng hình bầu dục (khi hầm có tiết diện tròn)



Hình 3: Phân bố các thành phần ứng suất chính gần biên đường hầm trạng thái tĩnh (phải) và khi chịu động đất sau ~2 giây (trái)

hoặc hình bình hành (khi hầm có tiết diện hình vuông hoặc chữ nhật) của chu tuyến hoặc kết cấu chống đường hầm chỉ hình thành khi sóng cắt truyền vuông góc hoặc gần vuông góc với trục đường hầm^{2,3,5,13}.

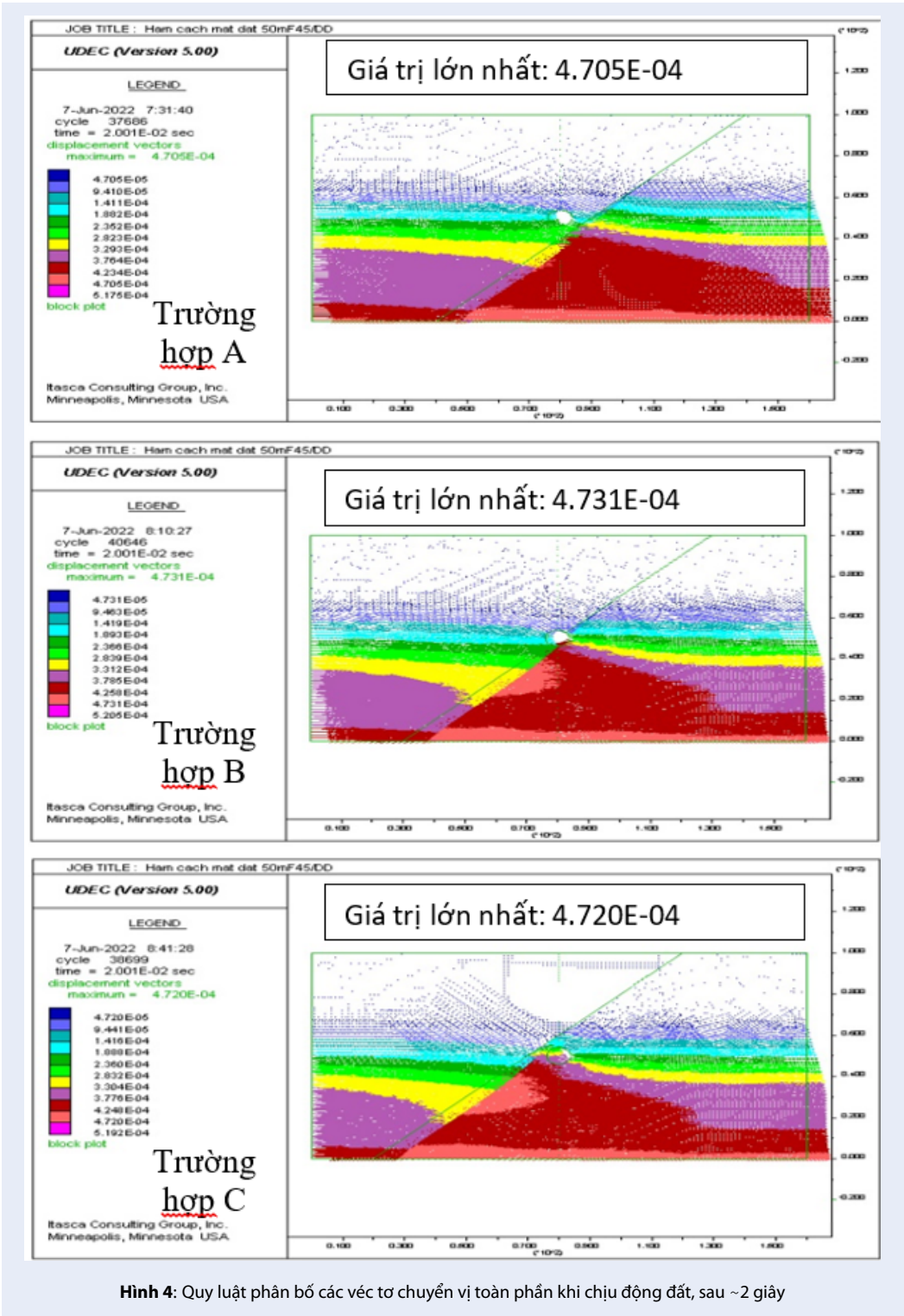
KẾT LUẬN

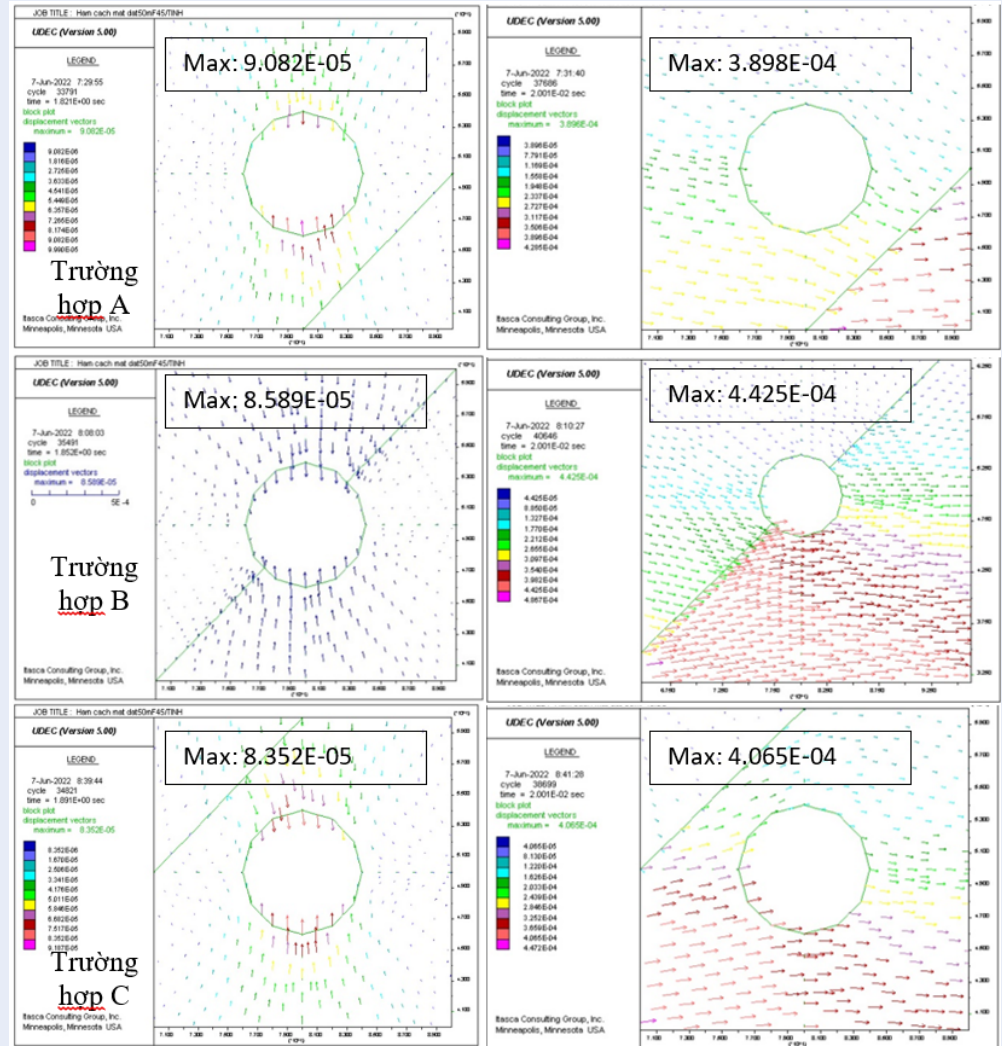
Trên cơ sở các kết quả đã tổng hợp có thể rút ra các kết luận chung sau:

- Sự có mặt của đứt gãy gây ra xáo động về phân bố ứng suất, dịch chuyển trong khối đá ngay ở trạng thái nguyên sinh, ở trạng thái tĩnh và đặc biệt ở trạng thái khối đá chịu tải trọng động;
- Sự có mặt của đứt gãy gây hiệu ứng phản xạ sóng ứng suất, chi phối sự biến đổi và phân bố các thành phần ứng suất và dịch chuyển;

- Quá trình biến đổi các thành phần ứng suất và dịch chuyển rất đa dạng, phụ thuộc vị trí xuất hiện của đứt gãy cũng như đặc điểm lan truyền sóng.

Những biến động đa dạng và phức tạp này sẽ dẫn đến sự biến hình, phá hoại đa dạng khối đá xung quanh khoảng trống ngầm cũng như kết cấu chống. Do vậy, để có thể lựa chọn và thiết kế được kết cấu chống hợp lý cần thiết phải tiến hành mô phỏng số để dự báo các khả năng biến động có thể xảy ra cho từng trường hợp cụ thể, chứ không thể chỉ thiết kế theo các quy định, chỉ dẫn, hướng dẫn ít nhiều được xây dựng từ các bài toán với các điều kiện giả tĩnh.





Hình 5: Phân bố các véc tơ chuyển vị gần biên hầm ở trạng thái tĩnh (trái) và động sau ~2 giây (phải)

XUNG ĐỘNG LỢI ÍCH

Tôi là tác giả chính của bản thảo công bố kết quả nghiên cứu: “Phân tích ảnh hưởng của đứt gãy đến phân bố ứng suất - dịch chuyển trong khối đá xung quanh đường hầm khi chịu động đất”. Tôi xin cam kết như sau:

- Tất cả các tác giả có tên trong bài đều đã đọc bản thảo, đã thỏa thuận về thứ tự tác giả và đồng ý gửi bài đăng trên tạp chí STDJET.
- Công trình này không có bất kỳ sự xung đột về lợi ích nào giữa các tác giả trong bài và với các tác giả khác.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

- Nguyễn Quang Phích: Tác giả chính là người soạn thảo bài báo, lên kế hoạch, thiết kế nghiên cứu và thực

hiện các phân tích tổng hợp kết quả, định hình bài viết với các nội dung công bố

- Bùi Trọng Vinh: tham gia vào các công tác thu thập dữ liệu, tổng hợp các kết quả phân tích tính toán mô phỏng mô hình.
- Đào Hồng Hải: tham gia thực hiện các phân tích bài toán mô phỏng mô hình, tổng hợp các kết quả phân tích.
- Nguyễn Ngọc Huệ: tham gia vào các công tác thu thập dữ liệu, thực hiện các công tác mô phỏng thí nghiệm.
- Nguyễn Quang Minh: tham gia vào các công tác thu thập dữ liệu, thực hiện các công tác mô phỏng thí nghiệm, tổng hợp kết quả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Hög K. Stresses against underground structural cylinders. J Soil Mech Found Div ASCE. 1968;94(SM4):833-59;Available from: <https://doi.org/10.1061/JSFDAQ.0001175>.
2. Фотиева НН. Расчет крепи подземных сооружений в сейсмических районах. МОСКВА: НЕДРА; 1980;.
3. Owen GN, Scholl RE. Earthquake engineering of large underground structures. Report no. FHWA/RD-80/195. Federal Highway Administration and National Science Foundation; 1981;.
4. Nishiyama S, Seiji N, et al. Experimental study of seismic behavior of box type tunnel constructed by open cutting method. 12WCEE. 2000. 8 p;.
5. Lanzano G, et al. Experimental and numerical study on circular tunnels under seismic loading. Eur J Environ Civ Eng. 2014;Available from: <http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2014.893211>.
6. Tsiniadis G, et al. Seismic behaviour of tunnels: From experiments to analysis. Tunnelling Underground Space Technol. 2020;99:103334. p. 1-20;Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103334>.
7. Lê Văn Tuấn, et al. Thí nghiệm bàn rung nghiên cứu ứng xử của công trình ngầm dưới tác dụng của động đất. Tạp chí KHCN Xây dựng. 2016;1:15-24;.
8. Trần Thị Thu Hằng, et al. Nghiên cứu ảnh hưởng của động đất tới ứng xử động lực học của công trình ngầm trong điều kiện Việt Nam. Báo cáo kết quả nghiên cứu của Đề tài - Mã số 16694/2019. Hà Nội; 2019;.
9. John CM, Zahrah TF. Aseismic design of underground structures. Tunnelling Underground Space Technol. 1987;2(2):165-97;Available from: [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(87\)90011-3](https://doi.org/10.1016/0886-7798(87)90011-3).
10. Wang J. Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art Design Approach. William Barclay Parsons Fellowship, Parsons Brinckerhoff, Monograph 7; 1993;.
11. СНИП II-7-81*. Строительные нормы и правила строительство в сейсмических районах. Минстрой России Москва; 1995;.
12. Hashash YMA, Hook JJ, Schmidt B, Yao JIC. ITA&AITES Accredited Material. Seismic design and analysis of underground structures. Tunnelling Underground Space Technol. 2001;16:247-93;Available from: [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(01\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00051-7).
13. Wang J-N, Munfakh GA. Seismic design of tunnels. Trans Built Environ. 2001;57;Available from: www.witpress.com.
14. Nguyễn Quang Phích, et al. Hiện trạng nghiên cứu, thiết kế công trình ngầm có chú ý động đất. 2014;Available from: www.itavietnam.org.
15. Wang ZZ, et al. The seismic behavior of the tunnel across active fault. 15WCEE. Lisboa; 2012. 7 p;.
16. Nguyễn Quang Phích, et al. Xây dựng mô hình phân tích, đánh giá tai biến địa chất - kỹ thuật do tác động của động đất kích thích khi xây dựng đường hầm. Kỷ yếu Hội nghị KHKT Giao thông Vận tải. 2018;5:719-24;.
17. Nguyễn Quang Phích, Trần Nhật Minh. Một số kết quả phân tích, dự báo, đánh giá tác động động đất đến các quá trình biến đổi cơ học, phá hủy khối đá xung quanh công trình ngầm. The 1st National Conference on Dynamics and Control. University of Science and Technology - The Danang University; July 19-20, 2019;.

Analysis of the influences of fault on the distribution of stresses and displacements in the rock mas around the tunnel under seismic loading

Quang Phich Nguyen¹, Ngoc Hue Nguyen², Quang Minh Nguyen³, Dao Hong Hai^{4,5}, Bui Trong Vinh^{4,5,*}

ABSTRACT

Construction of underground tunnels will disturb the initial state of geomechanical equilibrium and change the in-situ primary stress - strain state in the rock mass around the tunnel and can cause destructive incidents in different forms and levels. A thorough understanding of the changing process of the stress - displacement state and the forms and levels of destructive incidents that may appear in the rock mass around the tunnel is very necessary to ensure accurate and safe design and construction of tunnels in the real in-situ conditions at the tunnel location and especially when the rock mass is subjected to earthquake.

This article introduces some numerical simulation results on the seismic wave propagation process, on changes in stress and displacement states in the rock mass with small fault of an dip angle of 45^0 , around a circular cross-section tunnel, using the discrete element method (Universal Distinct Element Code-UDEC). Three cases are simulated: a) the tunnel is located in the hangingwall rock, the fault is located 10m from the center of the tunnel on the vertical axis; b) the fault runs through the center of the tunnel and c) the tunnel is located in the footingwall rock, the fault is located 10m from the center of the tunnel on the vertical axis. The results obtained show a very clear influence of the position and location of the fault on the geomechanical changes in the rock mass around the tunnel subjected to earthquake. The simulation results can contribute to more accurate forecasting and design. The research results can also provide some theoretical concepts on stability and control of fractured rock masses when an earthquake occurs.

Key words: circular tunnel, faulted rock mass, earthquake, stress-displacement state, wave propagation

¹Van Lang University

²Thu Dau Mot University, Vietnam

³Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

⁴Geotechnical Department, Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁵Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Bui Trong Vinh, Geotechnical Department, Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: btvinh@hcmut.edu.vn

History

- Received: 13-11-2023
- Accepted: 25-4-2024
- Published Online: 31-12-2024

DOI : 10.32508/stdjet.v6iS17.1305



Cite this article : Nguyen Q P, Nguyen N H, Nguyen Q M, Hai D H, Vinh B T. **Analysis of the influences of fault on the distribution of stresses and displacements in the rock mas around the tunnel under seismic loading.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2024; 6(S17):258-265.