

Dự báo biến đổi địa cơ học trong khối đá có đứt gãy xung quanh công trình ngầm chịu động đất

Nguyễn Quang Phích^{1*}, Nguyễn Ngọc Huệ², Nguyễn Quang Minh³, Nguyễn Văn Mạnh³, Trần Tuấn Minh³

¹Trường Đại học Văn Lang, 69/68 Đặng Thuỳ Trâm, phường 13, quận Bình Thạnh, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Đại học Thủ Dầu Một, 6 Trần Văn Ôn, phường Phú Hòa, TP Thủ Dầu Một, tỉnh Bình Dương, Việt Nam

³Trường Đại học Mở - Địa chất, 18 phố Viên, phường Đức Thắng, quận Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 3/6/2022; ngày chuyển phản biện 7/6/2022; ngày nhận phản biện 27/6/2022; ngày chấp nhận đăng 30/6/2022

Tóm tắt:

Đứt gãy là cấu trúc địa chất thường dẫn đến các tai biến địa chất trong xây dựng công trình ngầm ngay trong điều kiện bình thường và đặc biệt khi xuất hiện động đất nên cần phải nghiên cứu cẩn trọng. Bài báo giới thiệu một số kết quả mô phỏng số về quá trình lan truyền sóng địa chấn, biến đổi trạng thái ứng suất - dịch chuyển trong khối đá có đứt gãy nhỏ với góc cắm 45° , xung quanh hầm tiết diện tròn, sử dụng phương pháp phần tử rời rạc (Universal distinct element code - UDEC). 3 trường hợp được mô phỏng gồm: a) Hầm nằm trong phần đá vách, đứt gãy nằm cách tâm hầm 10 m trên trục thẳng đứng; b) Đứt gãy chạy qua tâm hầm và c) Hầm nằm trong phần đá trụ, đứt gãy cách tâm hầm 10 m 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 thiết kế hợp lý đường hầm chịu động đất.

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

Chỉ số phân loại: 1.5

1. Đặt vấn đề

Nhiều sự kiện động đất đã xảy ra trên thế giới và phá hủy nghiêm trọng các công trình ngầm, do vậy chú ý tác động của động đất khi thiết kế, xây dựng công trình ngầm trong vùng từng có hoạt động động đất là cần thiết. Đã có nhiều công trình nghiên cứu về tác động của động đất đến công trình ngầm, như nghiên cứu lý thuyết trong các công trình [1-3], quan trắc và thí nghiệm [4-8], từ đó có nhiều giải pháp thiết kế khác nhau đã được đề xuất và giới thiệu [9-14]. Tuy nhiên, do xuất phát từ các quan điểm, giả thiết khác nhau (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 vật chất và đặc điểm cấu trúc..., nên cần thiết phải 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. Cho đến nay cũng đã có nhiều công trình nghiên cứu vấn đề này và cho các kết quả định tính, định lượng thú vị, giúp người thiết kế có thể phân tích, áp dụng để đảm bảo kết quả thiết kế hợp lý hơn, tùy thuộc vào điều kiện cụ thể [15-17].

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 (đới phá hủy), xuất hiện ở các mức độ khác nhau trong khối đá do các hoạt động địa kiến tạo để lại. Kế tiếp các kết quả đã khảo sát, được giới thiệu trước đó [16, 17], bài báo này giới thiệu một số kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của vị trí tương đối giữa đứt gãy nhỏ và đường hầm đến các biểu hiện địa chấn, bằng mô phỏng số theo phương pháp phần tử rời rạc (UDEC - Universal distinct element code).

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

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

*Tác giả liên hệ: Email: npqphichhung@gmail.com

Prediction of geomechanical changes in faulted rock mass around underground structures subjected to earthquakes

Quang Phich Nguyen^{1*}, Ngoc Hue Nguyen²,
Quang Minh Nguyen³, Van Manh Nguyen³, Tuan Minh Tran³

¹Van Lang University, 69/68 Dang Thuy Tram Street,
Ward 13, Binh Thanh District, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Thu Dau Mot University, 6 Tran Van On Street,
Phu Hoa Ward, Thu Dau Mot City, Binh Duong Province, Vietnam

³Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Street,
Duc Thang Ward, Bac Tu Liem District, Hanoi, Vietnam

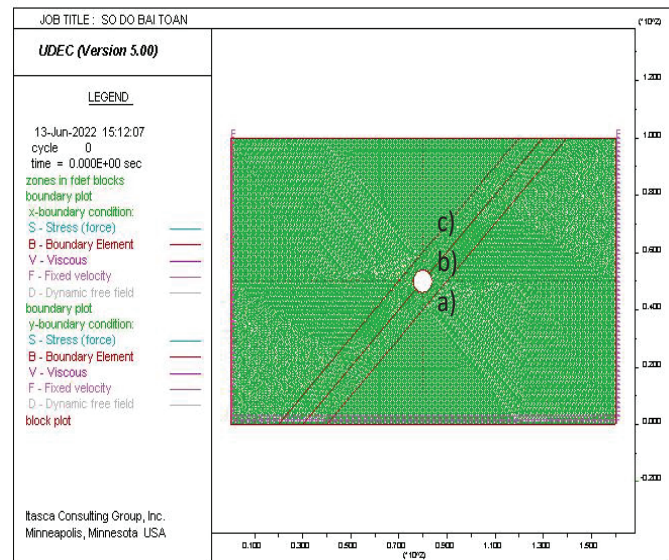
Received 3 June 2022; revised 27 June 2022; accepted 30 June 2022

Abstract:

Faults are a type of geological structure that often leads to geological disasters in underground structures under normal conditions and especially when earthquakes occur, thereby requiring careful study. 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 a small fault of a dip angle of 45° , 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 hanging wall rock, the fault is located 10m from the centre of the tunnel on the vertical axis; b) The fault runs through the centre of the tunnel and c) The tunnel is located in the footing wall rock, the fault is located 10m from the centre 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, contributing to the reasonable design of tunnels subjected to earthquakes.

Keywords: circular tunnel, earthquake, faulted rock mass, stress-displacement state, wave propagation.

Classification number: 1.5



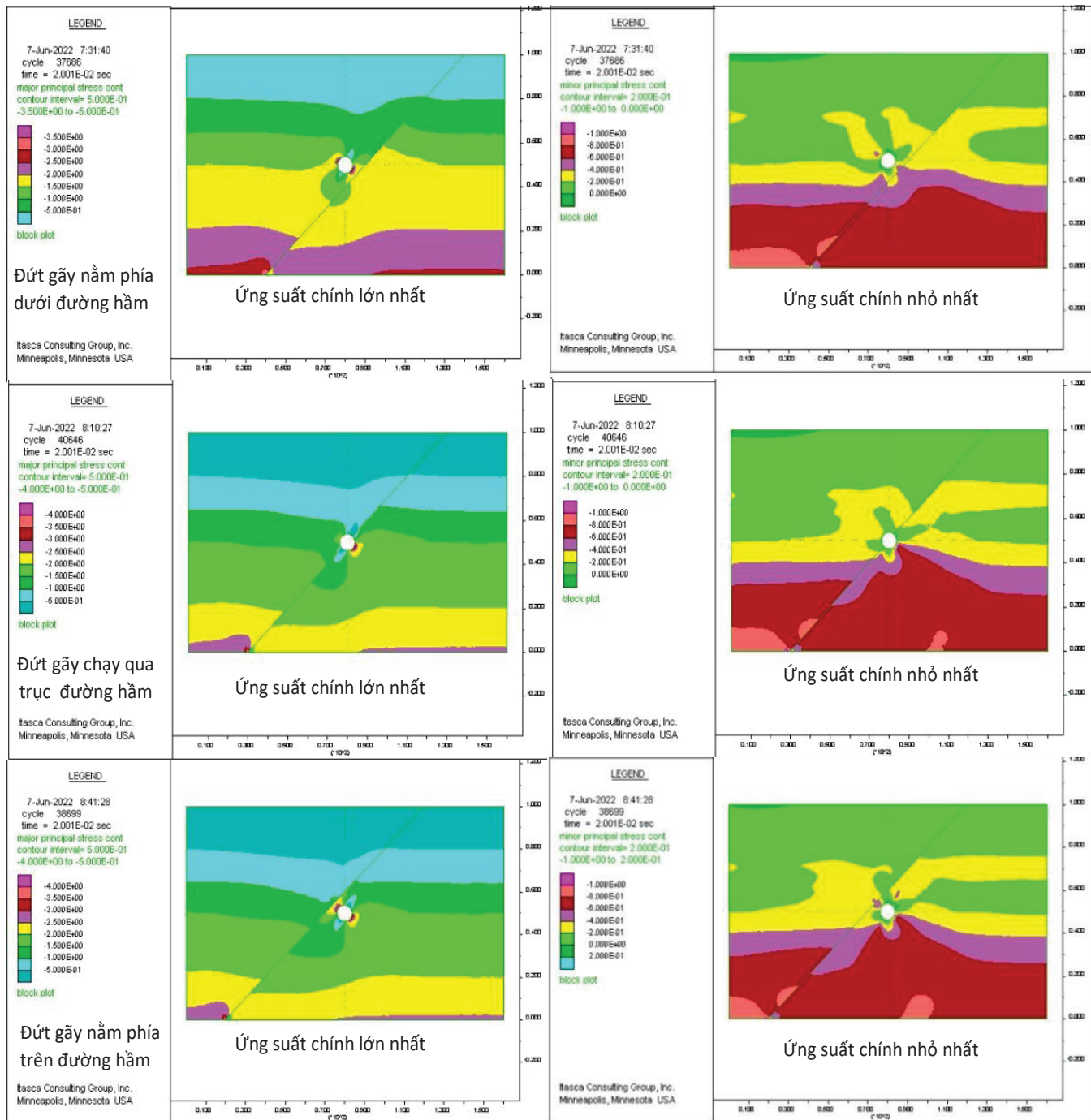
Hình 1. Sơ đồ tổng quát của bài toán và các điều kiện biên tương ứng.

Đứt gãy được coi là nhỏ (không chú ý biên độ hay chiều rộng của đới phá hủy hay đới đứt gãy), có góc cắm 45° và cắt qua mặt cắt ngang của đường hầm, có hệ số độ cứng pháp tuyến bằng 20 MPa/m, độ cứng tiếp tuyến bằng 1,5 MPa/m và góc ma sát bằng 30° . 3 trường hợp được khảo sát với đứt gãy nằm ở các tọa độ khác nhau, cụ thể: a) Đứt gãy nằm phía dưới đường hầm, cách tâm đường hầm 10 m; b) Đứt gãy chạy qua tâm hầm; c) Đứt gãy nằm phía trên đường hầm, cách tâm hầm 10 m.

3. Kết quả và bàn luận

Một số kết quả mô phỏng được thể hiện ở các hình 2 đến 5. Hình 2 minh họa quy luật phân bố các thành phần 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.

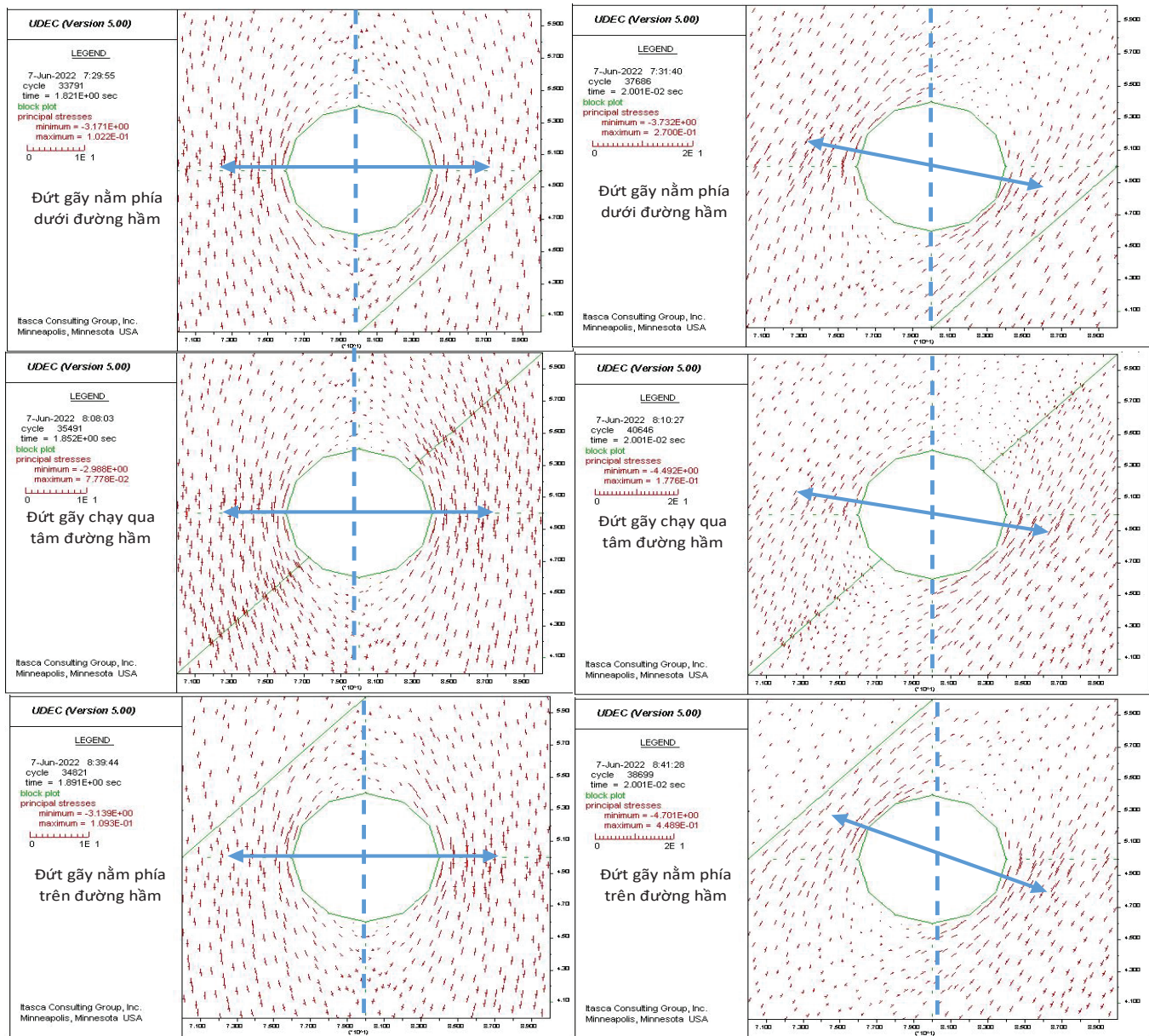
Hình 3 minh họa sự phân bố của các véc tơ ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất tại mỗi điểm ở vùng gần biên đường hầm, với phương, chiều tác dụng và cường độ của các thành phần ứng suất được thể hiện bởi 2 đoạn thẳng trực giao với nhau. Mũi tên trên các đoạn thẳng chỉ hướng tác dụng (kéo hay nén), thể 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.



Hình 2. Phân bố ứng suất chính lớn nhất (trái) và nhỏ nhất (phải) khi chịu động đất sau khoảng 2 giây.

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 3 nhằm cho thấy rõ hơn 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 sau:

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 quen biết không có đứt gãy. Có sự khác nhau rõ ràng 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.



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

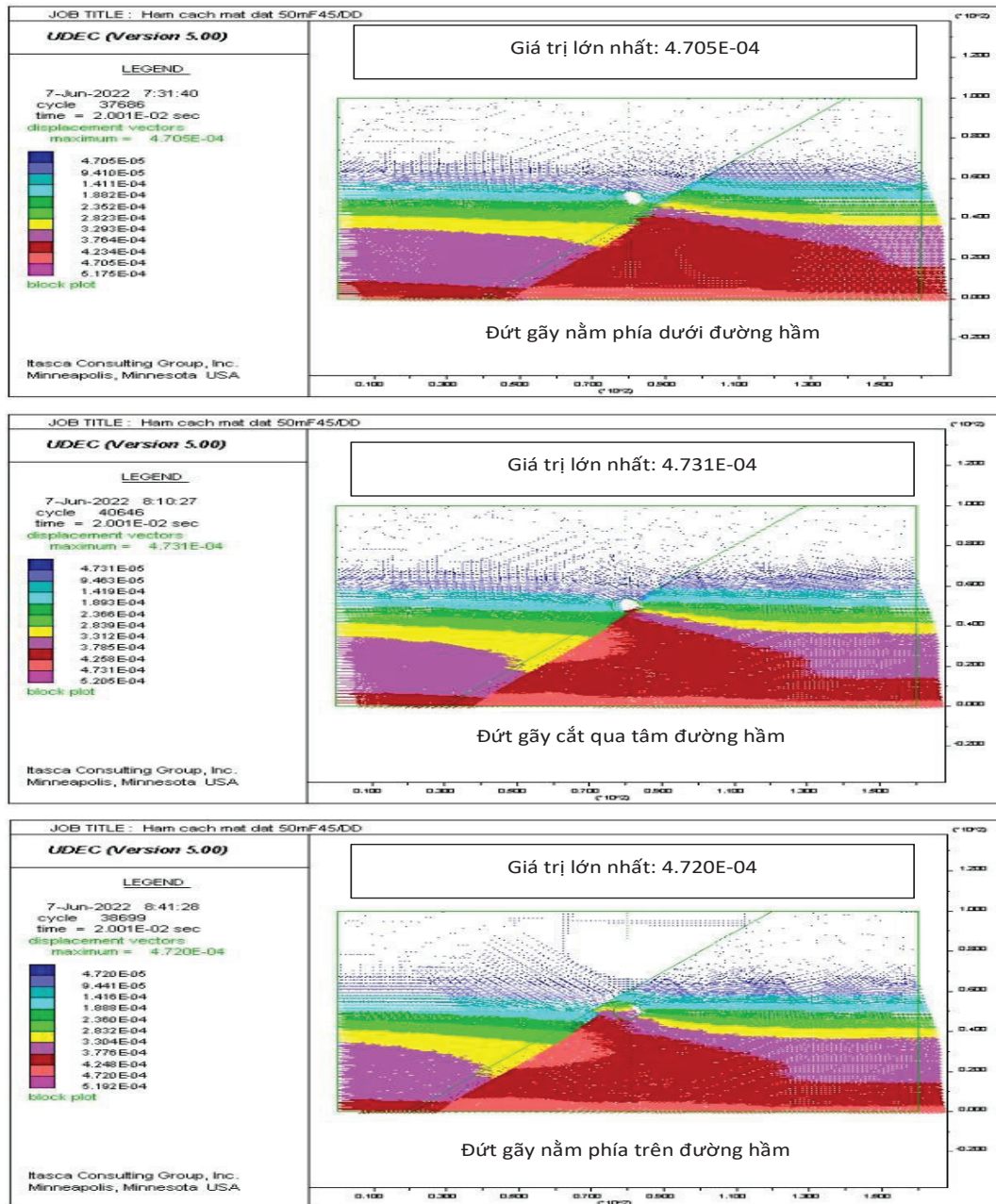
Nếu như ở trạng thái tĩnh, phân bố các ứng suất chính (lớn nhất và nhỏ nhất) ít nhiều còn có hướng song song và vuông góc với trục của đường hầm, thì khi có động đất, các thành phần ứng suất chính có hướng tác dụng ít nhiều gần song song và vuông góc với hướng cắm của đứt gãy (hình 3). Ảnh hưởng rõ nét nhất nhận thấy khi đứt gãy chạy qua tâm hầm.

Hình 4 cho thấy các kết quả 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 sau khoảng 2 giây.

Hình 5 thể hiện 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, tương ứng với 3 vị trí của đứt gãy.

Từ các những kết quả nhận được 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).

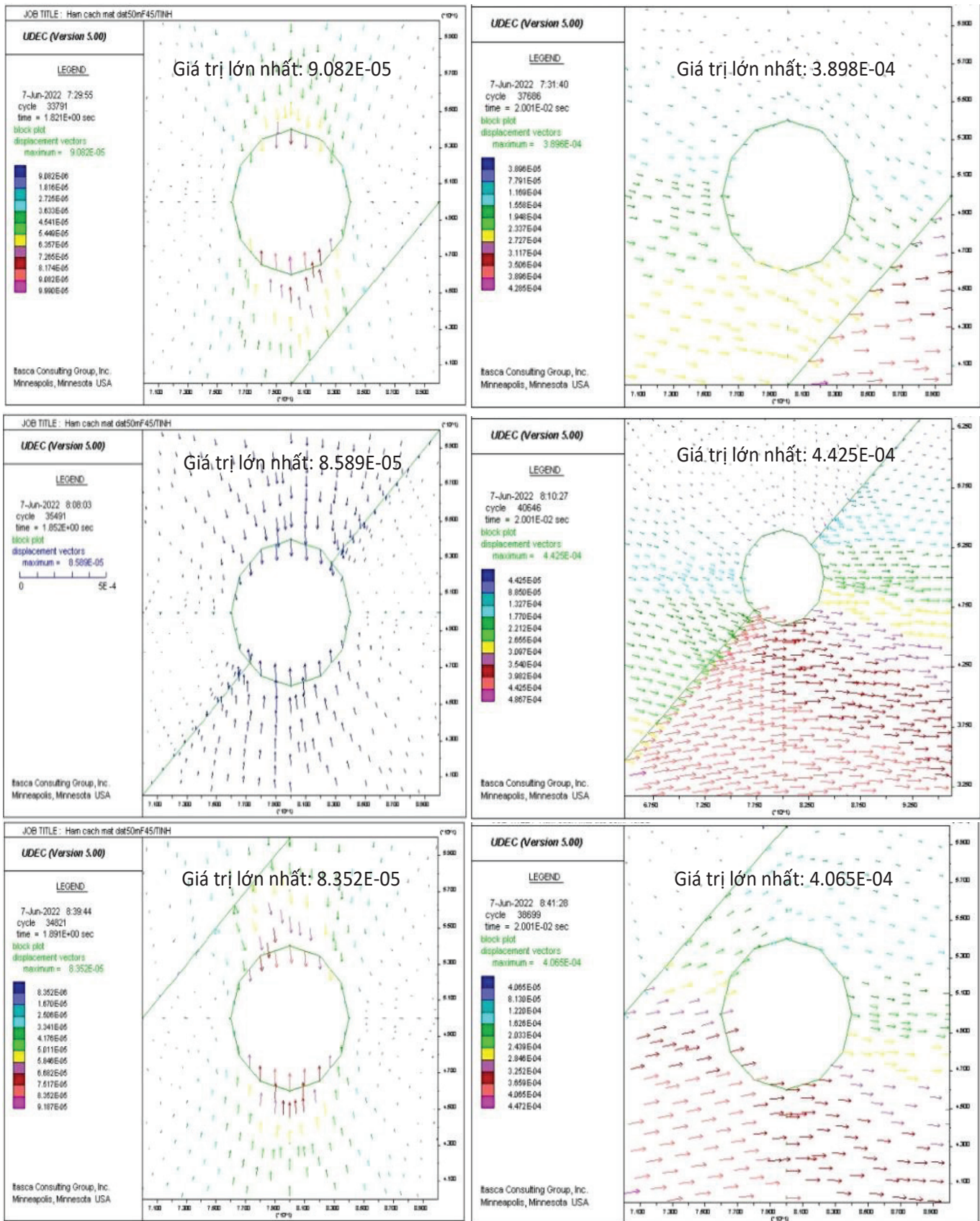


Hình 4. Quy luật phân bố các véc tơ chuyển vị toàn phần khi chịu động đất sau ~2 giây.

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 hướng dịch chuyển trường chuyển vị bị chi phối rõ rệt bởi vị trí tương đối của đứt gãy. Cụ thể, hướng và cường độ của các véc tơ chuyển bị xáo trộn khá phức tạp. Trong trường hợp được khảo sát cho thấy: a) Ở trạng thái tĩnh, giá trị cực đại của véc tơ chuyển vị trên vùng gần biên hầm là lớn nhất khi đứt gãy nằm phía dưới và nhỏ nhất khi đứt gãy nằm phía

trên hầm (trong đá vách hay nóc hầm) do bị chi phối bởi khả năng trượt dọc theo đứt gãy; b) Khi chịu động đất giá trị lớn nhất của véc tơ dịch chuyển khi đứt gãy nằm phía nền hầm nhỏ hơn so với trường hợp đứt gãy cắt qua tâm đường hầm và có giá trị lớn nhất khi đứt gãy nằm phía nóc hầm. Điều này phản ánh rất rõ nét hiệu ứng phản xạ, do sự có mặt của các đứt gãy.

Sự có mặt của các đứt gãy trên mặt cắt ngang, ở các vị trí khác nhau cho thấy biến dạng của hầm hình tròn không



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

hoàn toàn còn là hình bầu dục (ovan) cân xứng rõ rệt, 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) 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].

4. 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.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] K. Höeg (1968), "Stresses against underground structural cylinders", *Journal of The Soil Mechanics and Foundations Division ASCE* 94, pp.833-859.

[2] N.N. Fotieva (1980), *Calculation of Support for Underground Structures in Seismic Areas*, Moscow, NEDRA, 222pp (in Russian).

[3] G.N. Owen, R.E. Scholl (1981), *Earthquake Engineering of Large Underground Structures*, Report no. FHWA/RD-80/195, Federal Highway Administration and National Science Foundation.

[4] S. Nishiyamas, I. Kawama, K. Muroya, et al. (2000), *Experimental Study of Seismic Behavior of Box Type Tunnel Constructed by Open Cutting Method*, 12WCEE, 8pp.

[5] G. Lanzanoa, E. Bilotta, G. Russo, et al. (2014), "Experimental and numerical study on circular tunnels under seismic loading", *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, **19**(5), pp.539-563, DOI: 10.1080/19648189.2014.893211.

[6] G. Tsiniidisa, F.D. Silva, I. Anastasopoulos, et al. (2020), "Seismic behaviour of tunnels: From experiments to analysis", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **99**, p.1-20, DOI: 10.1016/j.tust.2020.103334.

[7] L.V. Tuan, Z.Y. Lai (2016), "Vibration table experiment to study the behavior of underground structures under the effects of earthquakes", *Journal of Construction Science and Technology*, **1**, pp.15-24 (in Vietnamese).

[8] T.T.T. Hang, N.X. Tung, N.X. Huy, et al. (2019), *Research on The Influence of Earthquakes on The Dynamic Behavior of Underground Structures in Vietnamese Conditions*, Report on Research Results of Project code 16694/2019 (in Vietnamese).

[9] C.M. John, T.F. Zahrah (1987), "Aseismic design of underground structures", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **2**(2), pp.165-197.

[10] J. Wang (1993), *Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-The-Art Design Approach*, William Barclay Parsons Fellowship, Parsons Brinckerhoff, Monograph.

[11] SNIP II-7-81* (1995), *Building Codes and Regulations for Construction in Seismic Areas*, Ministry of Construction of Russia, 107pp (in Russian).

[12] Y.M.A. Hashash, J.J. Hook, B. Schmidt, et al. (2001), "ITA&AITES accredited material - Seismic design and analysis of underground structures", *Tunnelling and Underground Space Technology*, **16**, pp.247-293.

[13] J.N. Wang, G.A. Munfakh (2001), "Seismic design of tunnels", *Transactions on The Built Environment*, **57**, pp.1-10.

[14] N.Q. Phich (2014), *Current Status of Research and Design of Underground Works with Attention to Earthquakes*, <http://www.itavietnam.org>, accessed 18 May 2022.

[15] Z. Wang, Z. Zhang, B. Gao (2012), *The Seismic Behavior of The Tunnel Across Active Fault*, 15 WCEE, Lisboa, 7pp.

[16] N.Q. Phich (2018), "Building a model to analyze and evaluate geological and technical hazards caused by the impact of earthquakes when constructing tunnels", *Proceedings of The Transport Science and Technology Conference*, pp.719-724 (in Vietnamese).

[17] N.Q. Phich, T.N. Minh (2019), "Some results of analysis, prediction, and assessment of earthquake impacts on mechanical transformation processes and destruction of rock mass around underground works", *Proceedings of The 1st National Conference on Dynamics and Control*, University of Science and Technology, The Danang University (in Vietnamese).