



**TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC**

# **KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG**

**Hà Nội, 11 - 11 - 2022**

**ERSD 2022**



**NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI**

## Nghiên cứu ảnh hưởng của đứt gãy đến sự biến đổi cơ học trong khối đá xung quanh công trình ngầm khi chịu động đất

Nguyễn Quang Phích<sup>1,\*</sup>, Nguyễn Ngọc Huệ<sup>2</sup>,  
Nguyễn Quang Minh<sup>3</sup>, Nguyễn Văn Mạnh<sup>3</sup>, Trần Tuấn Minh<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Trường Đại học Văn Lang Lang,  
<sup>2</sup>Trường Đại học Thủ Dầu Một,  
<sup>3</sup>Trường Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội

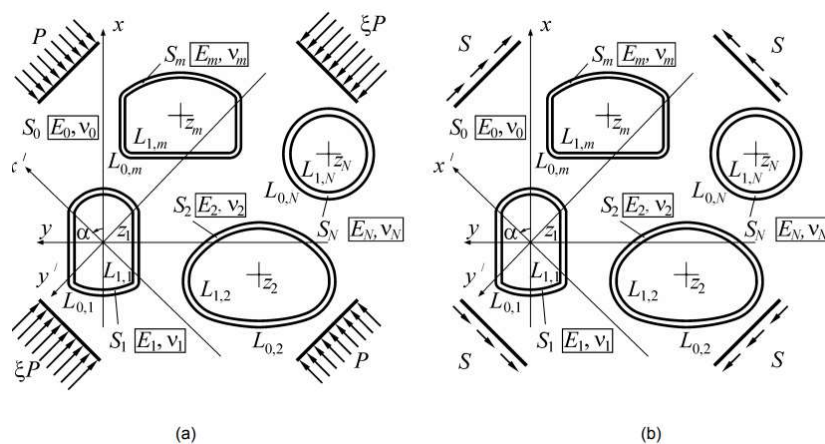
### TÓM TẮT

Mặc dù động đất thường xảy ra trong khoảng thời gian ngắn, nhưng đã từng gây phá hủy các công trình ngầm ở nhiều dạng khác nhau. Cho đến nay đã có nhiều đề xuất về các phương pháp tính toán, thiết kế công trình ngầm chịu động đất, nhưng đa phần xuất phát từ các quan điểm và sơ đồ phân tích khác nhau, nên không cho các nhận định, kết quả thông nhất. Các hướng dẫn thiết kế cũng thường xuất phát từ kết quả phân tích các bài toán giả tĩnh, với các điều kiện biên giả tĩnh. Các biến đổi cơ học trong khối đá, kết cấu chống của các công trình ngầm thường chịu ảnh hưởng bởi: a) quá trình lan truyền các sóng địa chấn, cụ thể là tùy thuộc vào cường độ, hướng lan truyền sóng; b) các điều kiện địa chất và c) kích thước hình dạng, thể tích của công trình ngầm. Nghiên cứu các ứng xử cơ học có chú ý đến các tác động lan truyền sóng do vậy là cần thiết, để có thể hình thành các phương pháp thiết kế sát với thực tế về các điều kiện động đất. Bài báo giới thiệu một số kết quả mô phỏng về quy luật biến đổi cơ học trong khối đá có đứt gãy địa chất xung quanh công trình ngầm khi chịu động đất bằng phương pháp phân tử rời rạc.

*Từ khóa:* Công trình ngầm; động đất; đứt gãy; biến đổi cơ học.

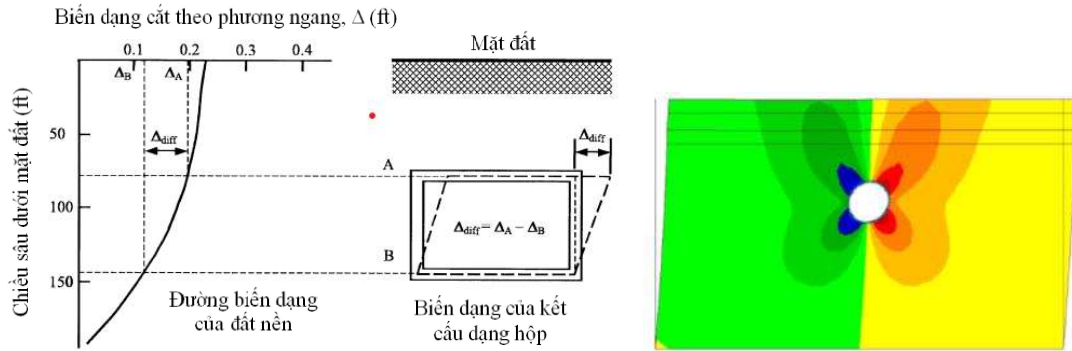
### 1. Đặt vấn đề

Động đất và các hậu quả của nó gây phá hoại các công trình xây dựng nói chung và các công trình ngầm nói riêng, do đó, đòi hỏi khi thiết kế các công trình ngầm cần chú ý đến tác động của động đất, đặc biệt trong các vùng đã từng có động đất. Cho đến nay việc thiết kế các công trình ngầm thường được tiến hành dựa trên các đề xuất với các sơ đồ tính có điều kiện biên giả tĩnh, cụ thể là điều kiện ứng suất pháp tuyến, tiếp tuyến ở xa vô cùng, ví dụ theo Fotieva (1980), Fotieva và nnk (2008) với sơ đồ tính như trên Hình 1; điều kiện trường tự do (free field), với dịch chuyển ngang cường bức trên biên miền hữu hạn, ví dụ theo Wang (1993), Hanash và nnk (2001) với sơ đồ tính như trên Hình 2.



Hình 1. Sơ đồ xác định phân bố ứng suất khi chịu tác động sóng địa chấn: a) tác động của sóng dọc P; b) tác động bởi sóng cắt S (Fotieva et. al., 2008)

\* Tác giả liên hệ  
Email: nqphichumg@gmail.com



Hình 2. Sơ đồ thiết kế theo điều kiện biên “trường tự do” với công trình tiết diện chữ nhật (trái) theo Wang (1993) và ví dụ về phân bố ứng suất từ điều kiện biên trường tự do cho công trình ngầm tiết diện tròn (phải)

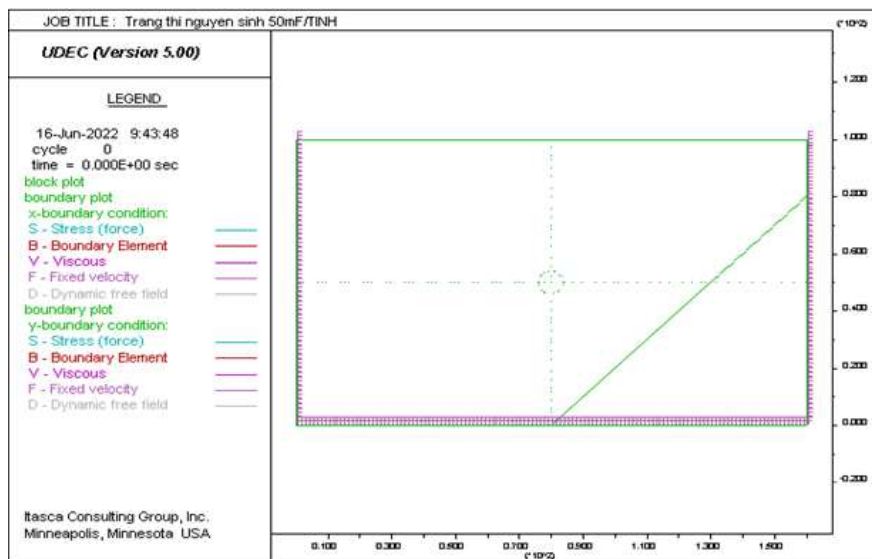
Tuy nhiên, tác động của động đất lên công trình ngầm thực tế rất phức tạp, phụ thuộc vào vị trí xuất phát, cường độ, hướng lan truyền, các đặc điểm địa chất của khối đá cũng như hình dạng, kích thước và vị trí, thể nằm của công trình ngầm, kích thước và đặc điểm của kết cấu chống..., như được giới thiệu bởi Carlos (2017), Hanash và nnk (2001), Nguyen Quang Phich và nnk (2014, 2018). Nhiều phương pháp và kết quả nghiên cứu đã được đề xuất và giới thiệu với mục tiêu hình thành phương pháp thiết kế động, có chú ý được các biểu hiện của công trình khi chịu động đất với các điều kiện khác nhau, ví dụ như theo Grigorios Tsinidis và nnk (2020).

Góp phần vào các mục tiêu đó, ở đây tiến hành khảo sát một công trình ngầm không chống, tiết diện tròn, trong khối đá đồng nhất, đàn hồi có một đứt gãy nhỏ cắt qua. Kết quả mô phỏng số cho phép có được các nhận định về quá trình biến đổi cơ học cụ thể cho trường hợp này.

## 2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

Với giả thiết công trình ngầm là đường hầm đủ dài, bài toán được đưa về dạng đơn giản là bài toán biến dạng phẳng. Trạng thái ứng suất, dịch chuyển trong khối đá được phân tích dựa trên các điều kiện cân bằng động, có thể tham khảo trong tài liệu của Nguyễn Quang Phích (2018).

Bài toán được khảo sát bằng mô hình phần tử rời rạc (UDEC - Universal Distinct element Code). Kích thước biên mô hình khảo sát có chiều rộng 160m và chiều cao 100m. Đường hầm được đào chính giữa miền khảo sát và có đường kính bằng 8m. Khối đá, ngoại trừ đứt gãy, được coi là đàn hồi, đồng nhất với các thông số cơ học đặc trưng như sau: khối lượng riêng bằng  $2,5 \text{ g/cm}^3$ , mô đun trượt bằng 4,0 GPa, mô đun nén thể tích bằng 6,6 GPa. Khối đá có một đứt gãy nhỏ (được mô phỏng như một khe nứt) cắt qua vùng khảo sát với góc cắm  $45^\circ$  như trên hình 3. Đứt gãy có các tham số cơ học sau: độ cứng pháp tuyến bằng 20 MPa/m, độ cứng tiếp tuyến bằng 1,5 MPa/m và góc ma sát trong bằng  $30^\circ$ . Sóng địa chấn là sóng cắt dạng hình sin, lan truyền theo hướng từ phía dưới lên, với biên độ của ứng suất cắt bằng 1 MPa, chu kỳ dao động là 0,15 giây. Mô hình bài toán được lập bằng phần mềm UDEC thể hiện trên Hình 3.

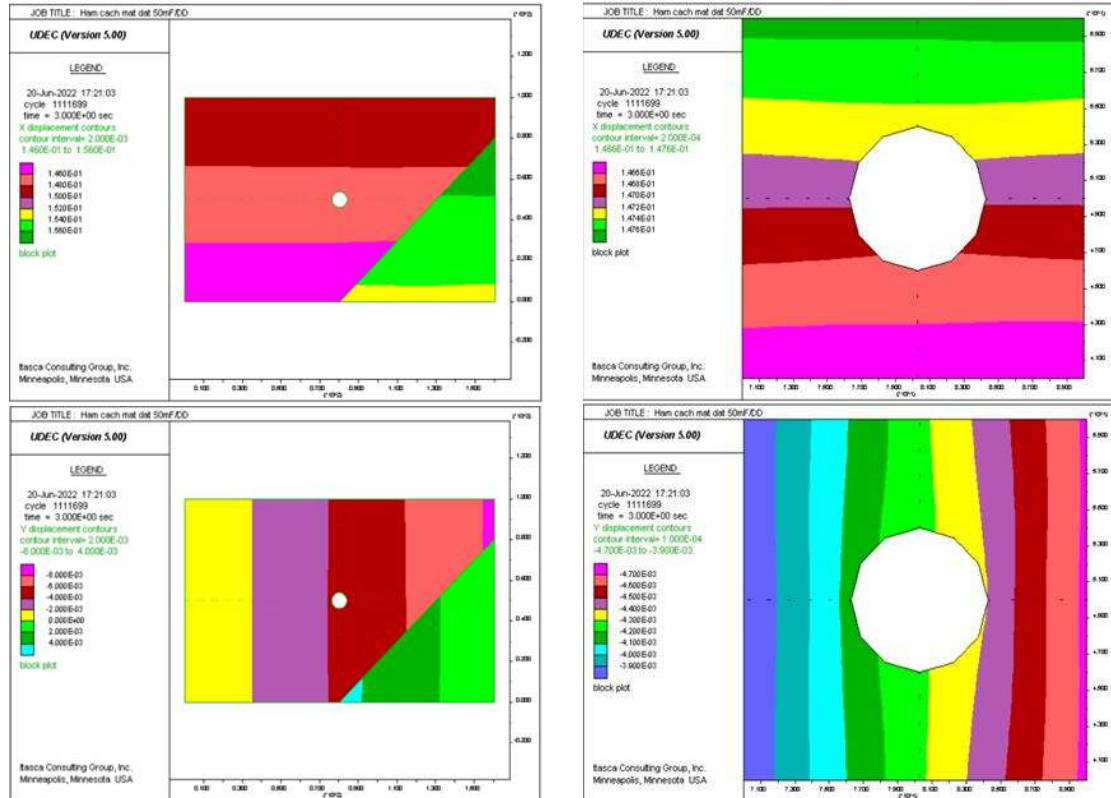


Hình 3. Sơ đồ bài toán công trình ngầm trong khối đá có đứt gãy chịu động đất

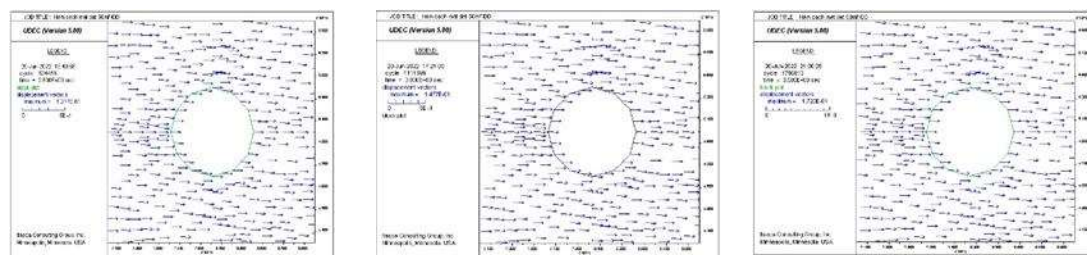


### 3. Kết quả và thảo luận

Một vài kết quả điển hình mô phỏng ứng xử của khối đá xung quanh công trình ngầm có đứt gãy chịu tác động của động đất được giới thiệu trên các Hình 4 đến 7. Hình 4 thể hiện quy luật dịch chuyển theo phương ngang (trên) và thẳng đứng (dưới), trong toàn vùng khảo sát (trái) và trong vùng gần khoảng trống ngầm (phải) sau 3 giây chịu tác động của động đất. Hình 5 cho thấy quy luật phân bố các véc tơ dịch chuyển ở vùng xung quanh công trình ngầm sau 2,5 giây, 3,0 giây và 3,5 giây cùng với giá trị biên độ lớn nhất của véc tơ dịch chuyển trong vùng. Ảnh hưởng của đứt gãy được nhận thấy rõ nét qua phân bố dịch chuyển ở Hình 4, bên trái và hướng lan truyền của các véc tơ dịch chuyển phía bên phải hầm trên Hình 5..



Hình 4. Quy luật dịch chuyển theo phương ngang (trên) và thẳng đứng (dưới) trong toàn vùng khảo sát (trái) và trong vùng gần khoảng trống ngầm (phải) sau 3 giây chịu động đất



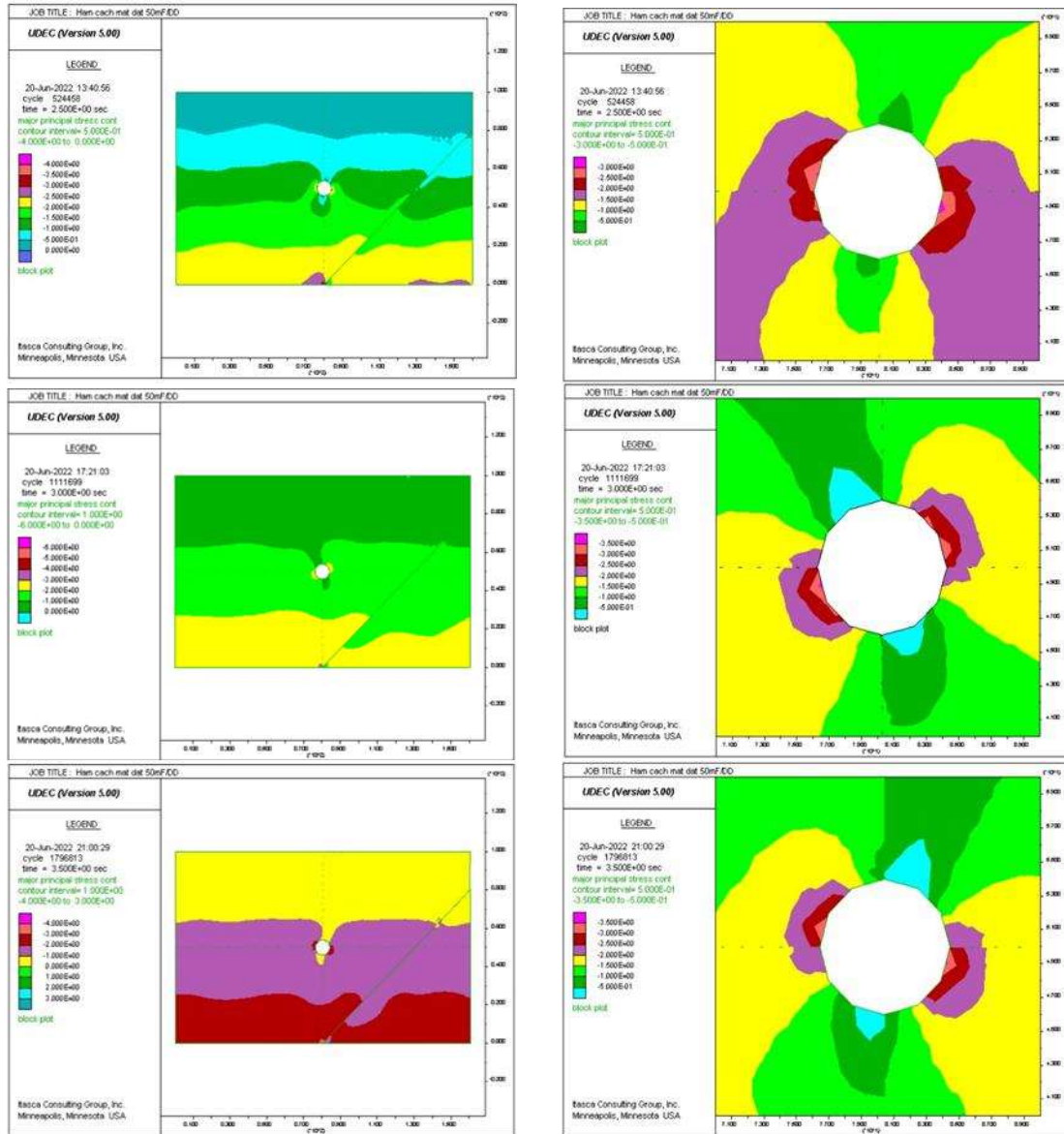
$u_{max} = 0,1217$  (m) sau 2,5 giây       $u_{max} = 0,1477$  (m) sau 3,5 giây       $u_{max} = 0,172$  (m) sau 3,5 giây

Hình 5. Quy luật dịch chuyển (véc tơ dịch chuyển) vùng khối đá xung quanh công trình ngầm theo thời gian tác động của động đất

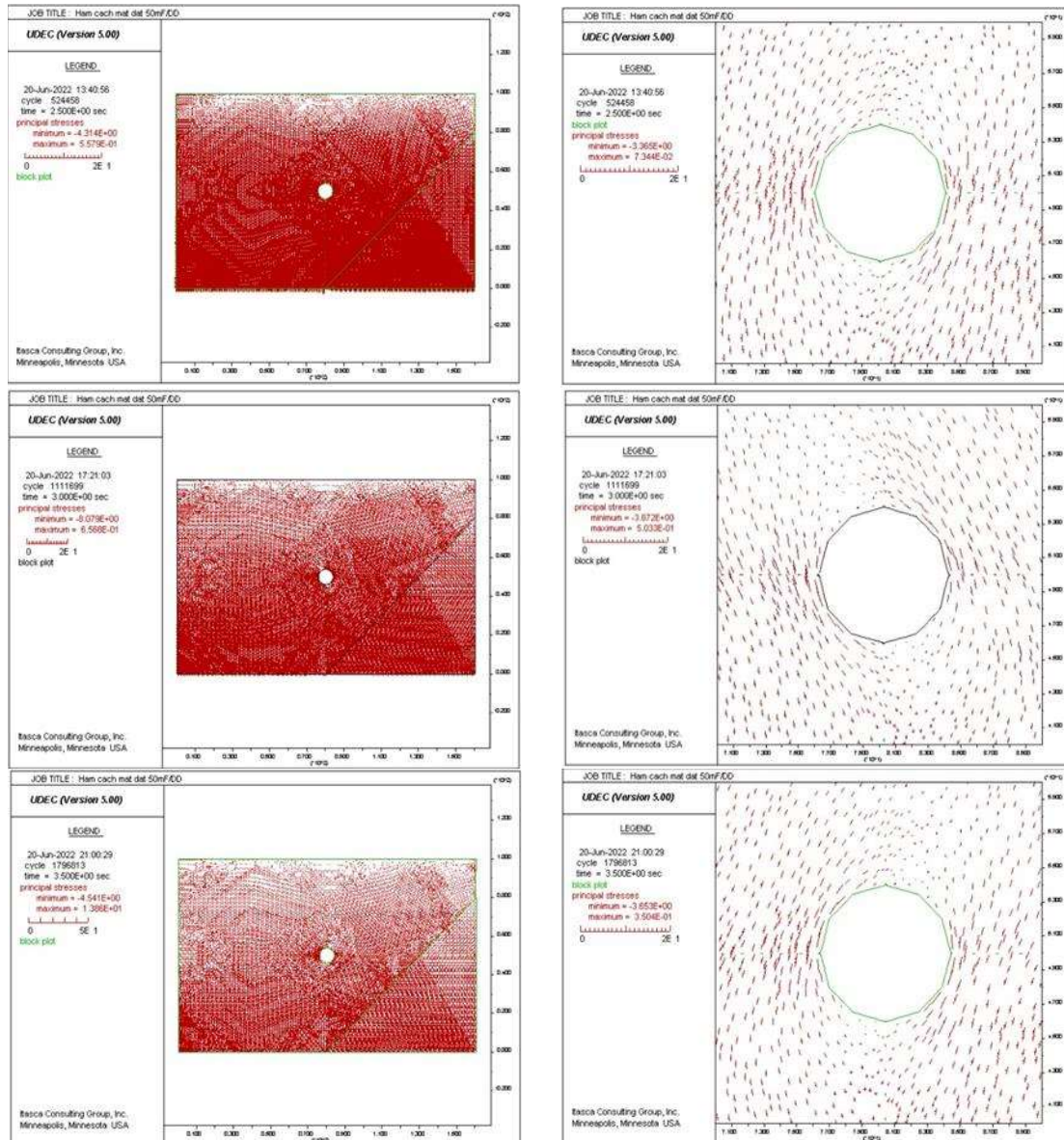
Trên hình 6 thể hiện các quy luật phân bố của thành phần ứng suất chính lớn nhất (MPa) trong toàn vùng khảo sát (bên trái) và trong vùng xung quanh công trình ngầm tại các thời điểm 2,5 giây, 3,0 giây và 3,5 giây sau khi động đất bắt đầu tác động. Kết quả cho thấy rõ ảnh hưởng của đứt gãy và thời gian tác động của động đất đến sự phân bố thành phần ứng suất chính lớn nhất trong khối đá. Quy luật phân bố cho thấy các trường ứng suất biến động rất rõ rệt về phương, chiều, cường độ, do tác động của động đất.

Hình 7 biểu diễn quy luật phân bố của trạng thái ứng suất trên toàn vùng khảo sát (bên trái) và tại các vùng xung quanh công trình ngầm (bên phải), cụ thể: các ứng suất chính được thể hiện bằng chữ thập với độ dài phản ánh cường độ, mũi tên phản ánh chiều tác dụng và thể nằm của chữ thập thể hiện hướng tác dụng của hai thành phần ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất; ngoài ra mức độ đậm, nhạt của hình phân

ảnh mức độ tập trung ứng suất ở các vị trí khác nhau (càng đậm thì mức độ tập trung ứng suất càng lớn). Cùng với Hình 6, Hình 7 cho phép phân tích được ảnh hưởng của sự có mặt của đứt gãy và yếu tố thời gian đến quy luật biến đổi của các trạng thái ứng suất. Từ đó cho phép có nhận định rằng, bằng mô hình mô phỏng có thể phân tích, đánh giá được tác động của động đất đến từng trường hợp cụ thể cần mô phỏng. Đây chính là ưu điểm cơ bản của mô hình số.



Hình 6. Quy luật phân bố thành phần ứng suất chính trong vùng khảo sát (trái) và vùng xung quanh công trình ngầm (phải) sau thời gian tác động của động đất 2,5 giây, 3,0 giây và 3,5 giây tương ứng từ trên xuống dưới



Hình 7. Quy luật biến đổi thành phần ứng suất trong mô hình khảo sát (trái) và trong vùng lân cận xung quanh công trình ngầm (phải) sau thời gian tác động của động đất 2,5 giây, 3,0 giây và 3,5 giây tương ứng từ trên xuống dưới

#### 4. Kết luận

Từ các kết quả nhận được sau khi mô phỏng đường hầm đặt cạnh đứt gãy chịu tác động của động đất có thể rút ra kết luận sau:

- 1) Sự có mặt của đứt gãy gây ra nhiễu loạn của các trường dịch chuyển và phân bố ứng suất trong khối đá và vùng xung quanh công trình ngầm;
- 2) Sự lan truyền sóng động đất phát triển và biến đổi theo thời gian, nên quá trình phân bố ứng suất và dịch chuyển phụ thuộc vào thời gian, cả về phương, chiều, cường độ và gây ra các tác động phức tạp đến biến đổi về cơ học trong khối đá như hiện tượng long rời, đặc biệt là đối với khối đá nứt nẻ, khi dịch chuyển của các khối nứt thay đổi theo các hướng khác nhau;
- 3) Muốn có nhận định hợp lý về biểu hiện của công trình ngầm khi chịu động đất, cần thiết phải khảo sát bài toán động với các mô hình đa dạng, phản ánh được các điều kiện cụ thể của vấn đề.

#### Tài liệu tham khảo

Carlos A. Jaramillo (2017). Impact of seismic design on tunnels in rock – Case histories. *Underground Space*, 2(2) (2017) 106–114.  
 Fotieva N. N. (1980). *Design of the underground structures support in seismically active areas*, Nedra,

Moscow (Russia).

Fotieva N.N., Bulychev N.S. , Deev P.V. (2008). Design of Multiple Tunnel Linings of Arbitrary Cross-section Shapes under Seismic Effects of Earthquakes. *The 12th International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)* 1-6 October, 2008 Goa, India. P. 2644-2649.

Hashash, Y.M., Hook, J.J., Schmidt, B., & Yao, J.I. (2001). Seismic design and analysis of underground structures. ITA-AITES Accredited Material. *Tunneling and Underground Space Technology*, 247-293.

Nguyễn Quang Phích và nnk. (2014). Hiện trạng thiết kế công trình ngầm chịu động đất. *Hội thảo Tai biến địa chất*. Hà Nội 2014.

Nguyễn Quang Phích, Nguyễn Kế Tường, Nguyễn Trọng Tâm (2018). Xây dựng mô hình phân tích, dự báo, đánh giá tai biến địa chất – kỹ thuật do tác động của động đất kích thích khi xây dựng đường hầm (Analysis, forecast and assessment of geological hazard due to the earthquake impacts at tunnels construction). *Kỷ yếu Hội nghị khoa học công nghệ giao thông vận tải*, 719-724.

Tsinidis G.et al. (2020). Seismic behaviour of tunnels: From experiments to analysis. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 99, May 2020, 103334.

Wang J.N. (1993). *Seismic design of tunnels: a simple state of the art design approach*. Parsons Brinckerhoff Inc., New York.

## ABSTRACT

### Study the effect of fault on the mechanical behavior of rockmass around tunneling under seismic loading

Nguyen Quang Phich<sup>1,\*</sup>, Nguyen Ngoc Hue<sup>2</sup>,  
Nguyen Quang Minh<sup>3</sup>, Nguyen Van Manh<sup>3</sup>, Tran Tuấn Minh<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Van Lang University

<sup>2</sup> Thu Dau Mot University

<sup>3</sup> Hanoi University of Mining and Geology

Although earthquakes usually occur for short periods of time, they have caused damage to underground structures in different forms. So far, there have been many proposals on methods of calculation and design of earthquake-resistant underground works, but from different points of view and analysis diagrams, it is not possible to give consensus conclusions and results. Design guidelines also often derive from the results of analysis of pseudo-static problems, with pseudo-static boundary conditions. The mechanical changes in the rock mass, and in the support structure of the underground excavations are actually governed by: a) the propagation of seismic waves, namely depending on the intensity and direction of wave propagation; b) geological conditions and c) size, shape, position of underground excavations. The study of mechanical manifestations paying attention to wave propagation effects is therefore necessary. This article introduces some numerical simulation results on the mechanical changes in rock mass with a small geological fault, around underground opening when subjected to earthquakes, using discrete element method.

*Keywords:* underground excavations; earthquake; fault; mechanical changing.