

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,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

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 Mô-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:

DOI:



1 ĐẶT VẤN ĐỀ

2 Với những sự kiện động đất đã gây phá hủy cho các
3 công trình ngầm cho thấy cần thiết phải triển khai
4 công việc thiết kế có chú ý động đất khi xây dựng
5 trong vùng từng có hoạt động động đất. Trên cơ sở các
6 kết quả của công trình nghiên cứu tác động của động
7 đất đến công trình ngầm, ví dụ bằng lý thuyết trong
8 các công trình¹⁻³, quan trắc và thí nghiệm trong các
9 nghiên cứu⁴⁻⁸, nhiều giải pháp thiết kế khác nhau đã
10 được đề xuất và giới thiệu trong các nghiên cứu⁹⁻¹⁴.
11 Tuy nhiên, do xuất phát từ các quan điểm khác nhau
12 khi nghiên cứu (các điều kiện biên giả tĩnh, động),
13 nên các đề xuất thiết kế cũng đa dạng và có những
14 khác biệt đáng kể đã được so sánh trong nhiều tài
15 liệu chuyên môn. Ngoài ra, khối đất đá vốn dĩ là môi
16 trường phức tạp về thành phần, cấu trúc..., nên luôn
17 cần thiết xúc tiến nghiên cứu ảnh hưởng của các yếu
18 tố khác nhau, liên quan đến sự lan truyền của sóng
19 địa chấn cũng như các quá trình biến đổi cơ học trong
20 khối đá khi chịu tác động địa chấn. Cũng đã có nhiều
21 công trình nghiên cứu xung quanh vấn đề này và cho
22 các kết quả định tính, định lượng thú vị, giúp cho
23 người thiết kế có thể phân tích áp dụng để đảm bảo
24 kết quả thiết kế ngày một hợp lý hơn, tùy thuộc vào
25 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 (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 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).

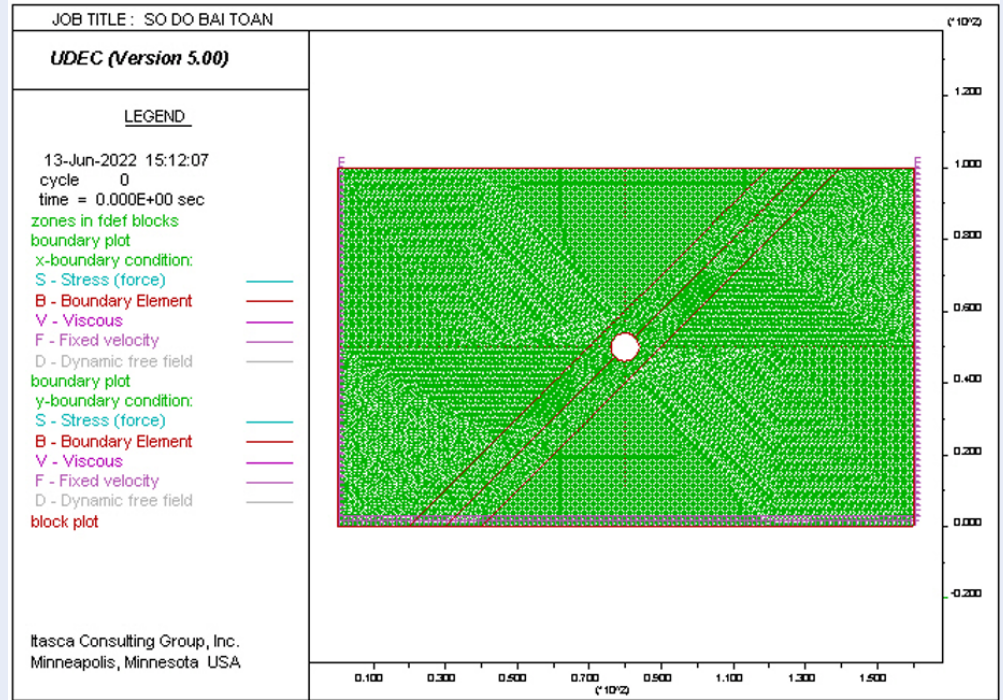
PHƯƠNG PHÁP VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

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 $2,5g/cm^3$, 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 đới phá hủy hay đới 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; (1):1-7.

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

51 cắm 45⁰ và cắt qua mặt cắt ngang của đường hầm, có
 52 hệ số độ cứng pháp tuyến bằng 20MPa/m, độ cứng
 53 tiếp tuyến bằng 1,5MPa/m và góc ma sát bằng 30⁰.
 54 Ba trường hợp được khảo sát với đứt gãy nằm ở các
 55 tọa độ khác nhau, cụ thể: a) trường hợp A cách tâm
 56 đường hầm 20m (phía dưới đường hầm); b) trường
 57 hợp B, chạy qua tâm hầm; c) trường hợp C cách tâm
 58 hầm 20m (phía trên đường hầm).

59 **KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

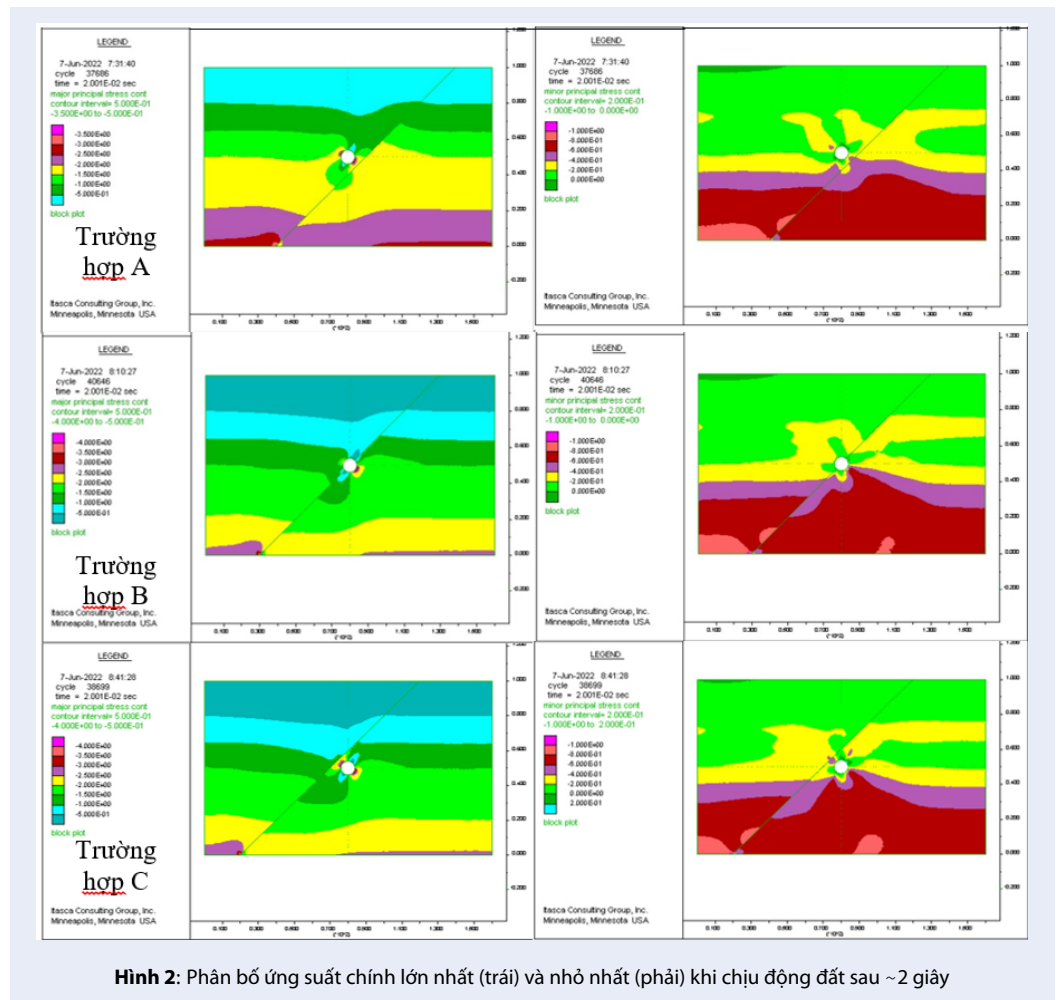
60 Trên các Hình từ 2 đến 5 là các kết quả được xuất
 61 ra (plot) trong quá trình thực hiện tính mô phỏng.
 62 Hình 2 minh họa quy luật phân bố các ứng suất chính
 63 lớn nhất (bên phải) và các ứng suất chính nhỏ nhất
 64 (bên trái) trên toàn miền khảo sát, sau khoảng 2 giây
 65 động đất. Hình 3 thể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

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

81 Từ đó có thể rút ra nhận định rằng:

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

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

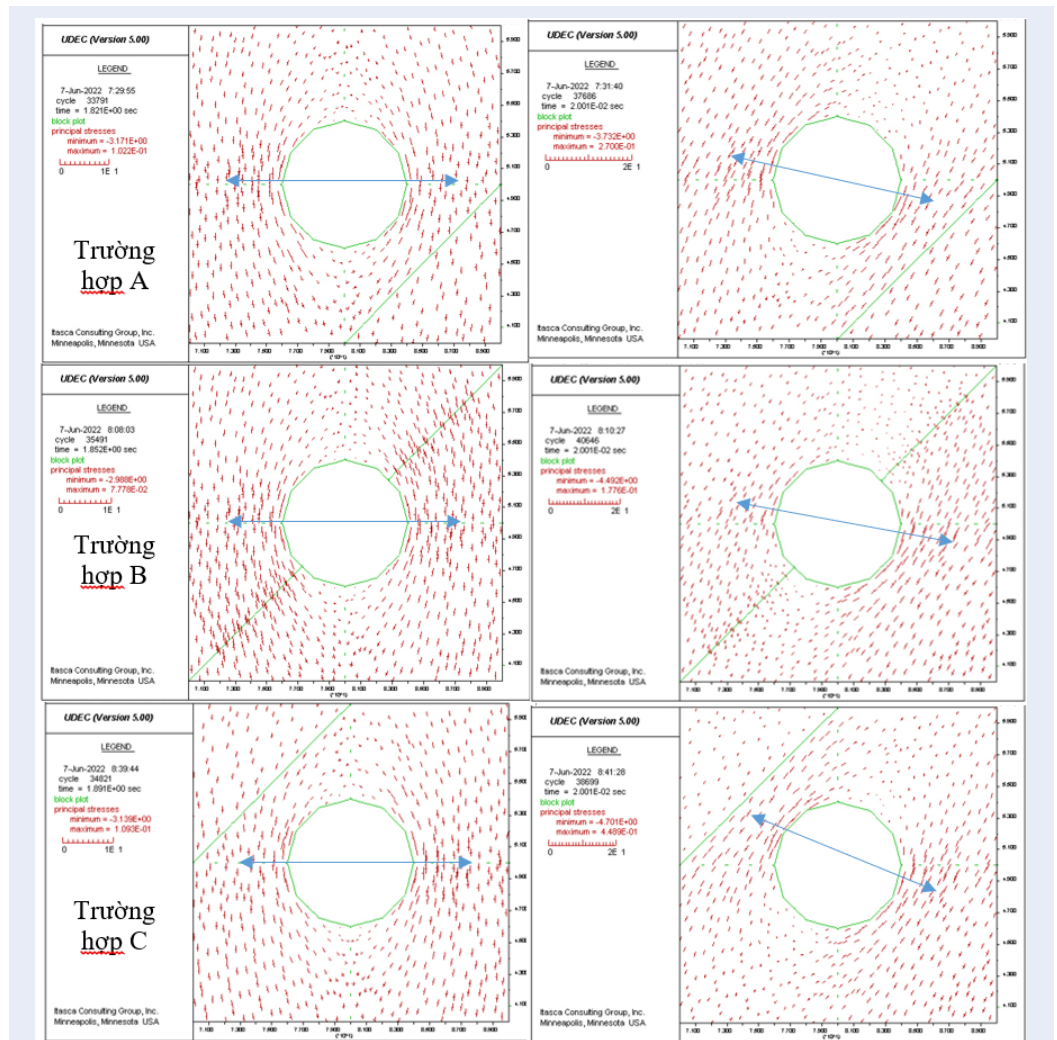


Hình 2: Phân bố ứng suất chính lớn nhất (trái) và nhỏ nhất (phải) khi chịu động đất sau ~2 giây

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

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

- 121 xáo trộn khá phức tạp. Trong trường hợp cụ thể
 122 này, khi giá trị cực đại của véc tơ chuyển vị trên
 123 vùng gần biên hầm lớn nhất khi đứt gãy nằm
 124 phía dưới (trong đá trụ, hay nền hầm) và nhỏ
 125 nhất khi đứt gãy nằm phía trên hầm (trong đá
 126 vách hay nóc hầm) do bị chi phối bởi trượt dọc
 127 theo đứt gãy. Còn khi chịu động đất, giá trị cực
 128 đại của véc tơ dịch chuyển có giá trị lớn nhất và
 129 xuất hiện phía nền hầm khi đứt gãy cắt qua tâm
 130 đường hầm và có giá trị nhỏ nhất khi đứt gãy
 131 nằm phía nền hầm. Điều này thể hiện rất rõ nét
 132 hiệu ứng phản xạ, do sự có mặt của các đứt gãy.
- 133 • Khi có các đứt gãy trên mặt cắt ngang ở các
 134 vị trí khác nhau, biến dạng của hầm hình tròn
 135 không hoàn toàn còn là hình bầu dục (ovan)
 136 cân xứng rõ rệt. Điều này dễ nhận thấy qua các
 137 véc tơ chuyển vị xuất phát từ biên đường hầm
 138 với hướng và cường độ phức tạp, do ảnh hưởng
 139 của hiệu ứng phản xạ của mặt đứt gãy. Biến
 140 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)

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

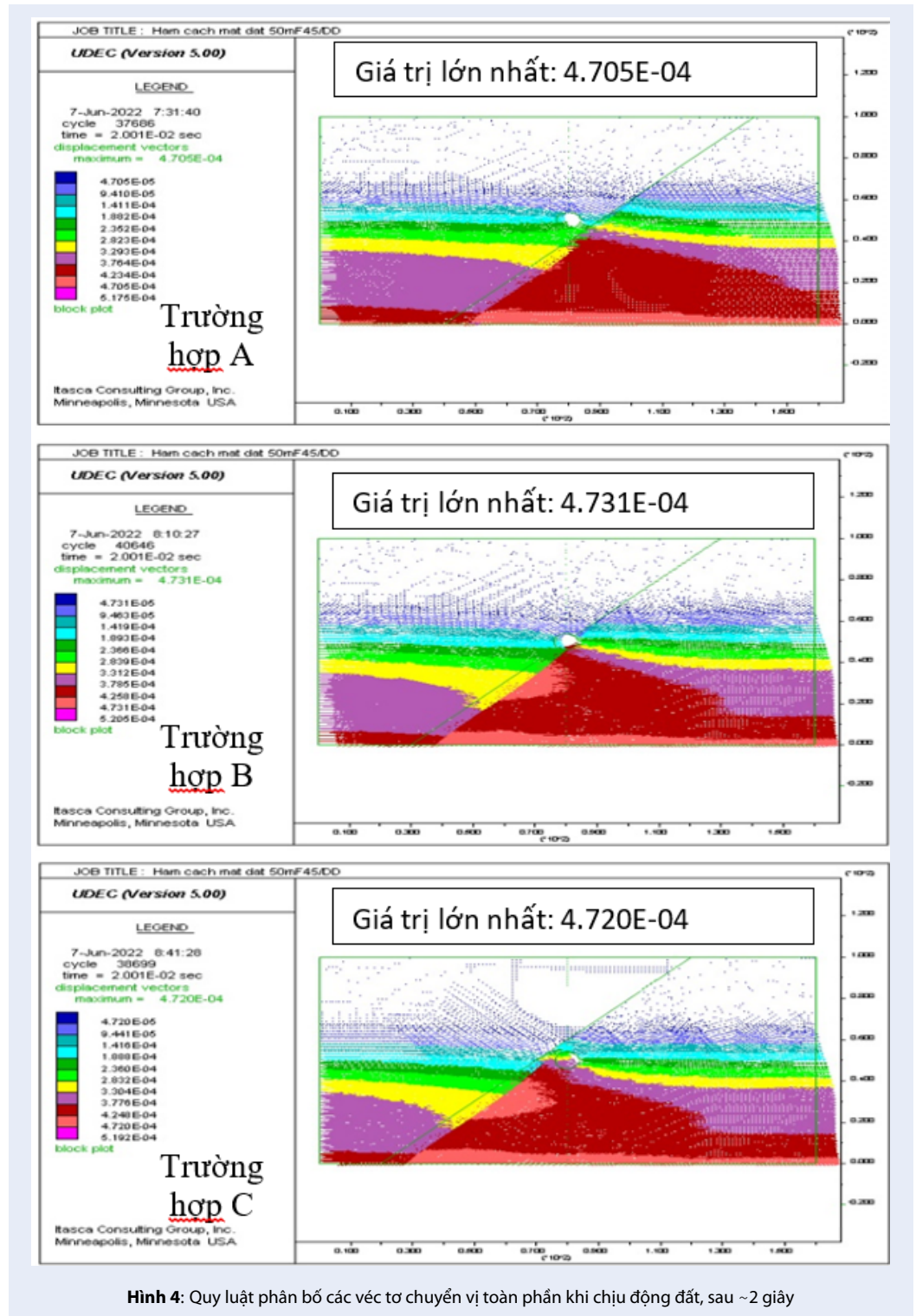
146 KẾT LUẬN

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

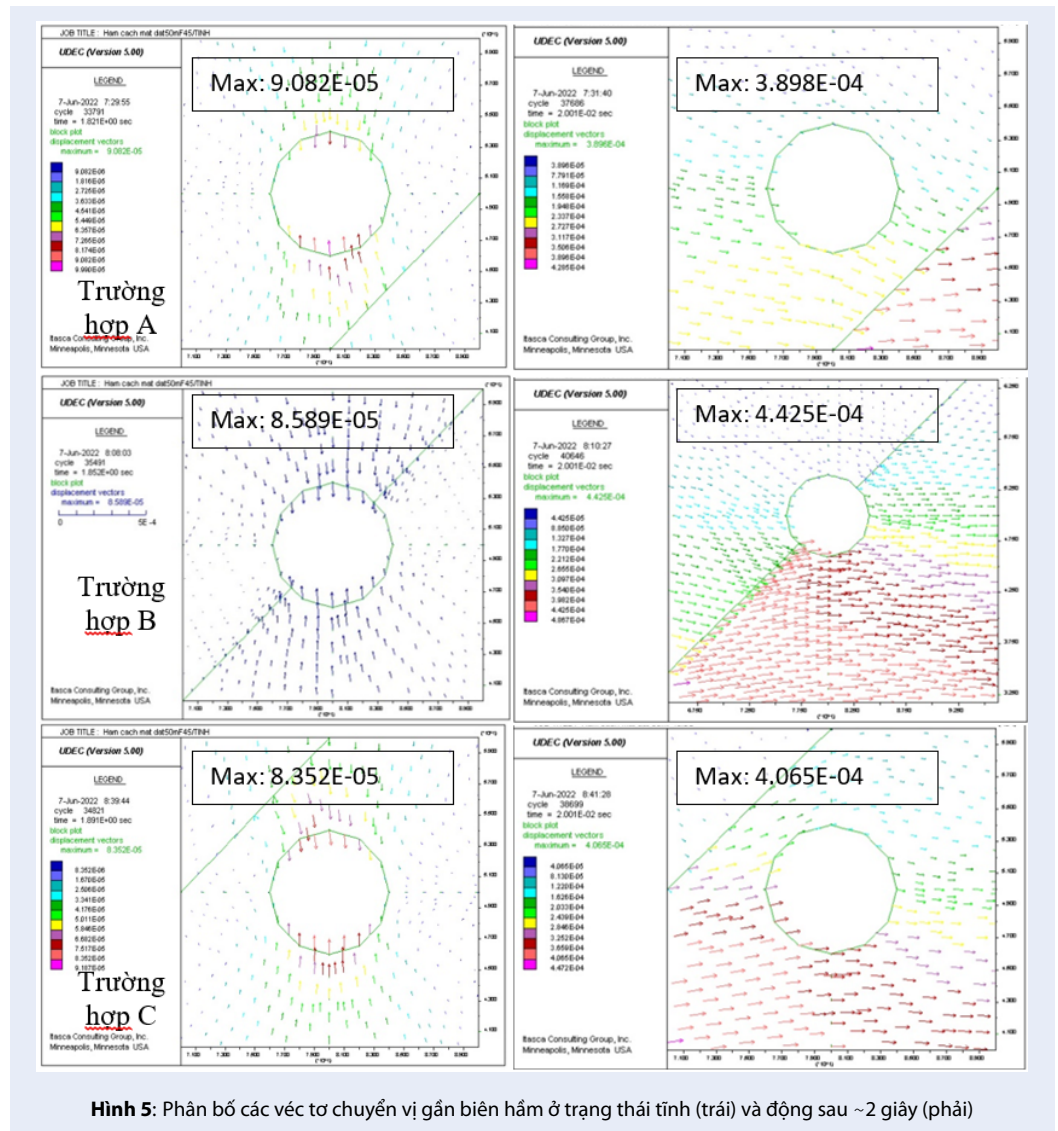
- 149 • Sự có mặt của đứt gãy gây ra xáo động về phân
 150 bố ứng suất, dịch chuyển trong khối đá ngay ở
 151 trạng thái nguyên sinh, ở trạng thái tĩnh và đặc
 152 biệt ở trạng thái khối đá chịu tải trọng động;
- 153 • Sự có mặt của đứt gãy gây hiệu ứng phản xạ sóng
 154 ứng suất, chi phối sự biến đổi và phân bố các
 155 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 4: Quy luật phân bố các véc tơ chuyển vị toàn phần khi chịu động đất, sau ~2 giây



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

169 **XUNG ĐỘNG LỢI ÍCH**

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

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

181 **ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ**

- 182 • Nguyễn Quang Phích: Tác giả chính là người soạn
 183 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

- 186 • Bùi Trọng Vinh: tham gia vào các công tác thu thập
 187 dữ liệu, tổng hợp các kết quả phân tích tính toán mô
 188 phỏng mô hình.
- 189 • Đào Hồng Hải: tham gia thực hiện các phân tích bài
 190 toán mô phỏng mô hình, tổng hợp các kết quả phân
 191 tích.
- 192 • Nguyễn Ngọc Huệ: tham gia vào các công tác thu
 193 thập dữ liệu, thực hiện các công tác mô phỏng thí
 194 nghiệm.
- 195 • Nguyễn Quang Minh: tham gia vào các công tác
 196 thu thập dữ liệu, thực hiện các công tác mô phỏng
 197 thí nghiệm, tổng hợp kết quả.

198 TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 199 1. Hög K. Stresses against underground structural cylinders.
200 J Soil Mech Found Div ASCE. 1968;94(SM4):833-59;Available
201 from: <https://doi.org/10.1061/JSFEAQ.0001175>.
- 202 2. Фотиева НН. Расчет крепи подземных сооружений в
203 сейсмических районах. МОСКВА: НЕДРА; 1980;.
- 204 3. Owen GN, Scholl RE. Earthquake engineering of large un-
205 derground structures. Report no. FHWA/RD-80/195. Federal
206 Highway Administration and National Science Foundation;
207 1981;.
- 208 4. Nishiyama S, Seiji N, et al. Experimental study of seismic
209 behavior of box type tunnel constructed by open cutting
210 method. 12WCEE. 2000. 8 p;.
- 211 5. Lanzanoa G, et al. Experimental and numerical study on
212 circular tunnels under seismic loading. Eur J Environ Civ
213 Eng. 2014;Available from: [http://dx.doi.org/10.1080/19648189.](http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2014.893211)
214 2014.893211.
- 215 6. Tsiniadis G, et al. Seismic behaviour of tunnels: From ex-
216 periments to analysis. Tunnelling Underground Space Technol. 2020;99:103334. p. 1-20;Available from: [https://doi.org/](https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103334)
217 [10.1016/j.tust.2020.103334](https://doi.org/10.1016/j.tust.2020.103334).
- 218 7. Lê Văn Tuấn, et al. Thí nghiệm bàn rung nghiên cứu ứng xử của
219 công trình ngầm dưới tác dụng của động đất. Tạp chí KHCN
220 Xây dựng. 2016;1:15-24;.
- 221 8. Trần Thị Thu Hằng, et al. Nghiên cứu ảnh hưởng của động
222 đất tới ứng xử động lực học của công trình ngầm trong điều
223 kiện Việt Nam. Báo cáo kết quả nghiên cứu của Đề tài - Mã số
224 16694/2019. Hà Nội; 2019;.
- 225 9. John CM, Zahrah TF. Aseismic design of underground struc-
226 tures. Tunnelling Underground Space Technol. 1987;2(2):165-
227 97;Available from: [https://doi.org/10.1016/0886-7798\(87\)](https://doi.org/10.1016/0886-7798(87)90011-3)
228 90011-3.
- 229 10. Wang J. Seismic Design of Tunnels - A Simple State-of-the-Art
230 Design Approach. William Barclay Parsons Fellowship, Parsons
231 Brinckerhoff, Monograph 7; 1993;.
- 232 11. СНИП II-7-81*. Строительные нормы и правила
233 строительство в сейсмических районах. Минстрой
234 России Москва; 1995;.
- 235 12. Hashash YMA, Hook JJ, Schmidt B, Yao JIC. ITA&AITES Ac-
236 credited Material. Seismic design and analysis of under-
237 ground structures. Tunnelling Underground Space Technol. 2001;16:247-93;Available from: [https://doi.org/10.1016/](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00051-7)
238 [S0886-7798\(01\)00051-7](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00051-7).
- 239 13. Wang J-N, Munfakh GA. Seismic design of tunnels. Trans Built
240 Environ. 2001;57;Available from: www.witpress.com.
- 241 14. Nguyễn Quang Phích, et al. Hiện trạng nghiên cứu, thiết kế
242 công trình ngầm có chú ý động đất. 2014;Available from:
243 www.itvietnam.org.
- 244 15. Wang ZZ, et al. The seismic behavior of the tunnel across ac-
245 tive fault. 15WCEE. Lisboa; 2012. 7 p;.
- 246 16. Nguyễn Quang Phích, et al. Xây dựng mô hình phân tích, đánh
247 giá tai biến địa chất - kỹ thuật do tác động của động đất kích
248 thích khi xây dựng đường hầm. Kỷ yếu Hội nghị KHKT Giao
249 thông Vận tải. 2018;5:719-24;.
- 250 17. Nguyễn Quang Phích, Trần Nhật Minh. Một số kết quả phân
251 tích, dự báo, đánh giá tác động động đất đến các quá trình
252 biến đổi cơ học, phá hủy khối đá xung quanh công trình
253 ngầm. The 1st National Conference on Dynamics and Control.
254 University of Science and Technology - The Danang Univer-
255 sity; July 19-20, 2019;.
- 256
- 257

Analysis of the influences of fault on the distribution of stresses and displacements in the rock mass 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,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

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 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 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:

DOI :



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 mass around the tunnel under seismic loading.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2024; (1):1-1.