

# NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA CHẤN ĐỘNG NỔ Mìn ĐẾN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH NGẦM LÂN CẬN BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐẠC HIỆN TRƯỜNG VÀ PHƯƠNG PHÁP SỐ

NCS.ThS. ĐẶNG VĂN KIẾN  
 Trường Đại học Mô-Địa chất

**N**ghiên cứu ảnh hưởng của chấn động nổ mìn đến kết cấu công trình ngầm lân cận đã được chú ý trong thời gian gần đây do số lượng các đường hầm phải mở rộng và đào mới liền kề với các đường hầm đã xây dựng tăng nhanh để đáp ứng nhu cầu mật độ giao thông tăng nhanh.

Có rất nhiều phương pháp được sử dụng nghiên cứu vấn đề trên như: phương pháp giải tích, phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý tương đương, phương pháp đo đạc thực nghiệm và phương pháp mô phỏng số,... Cùng với sự phát triển của máy tính điện tử, phương pháp số ngày càng trở nên hiệu quả và có độ tin cậy cao. Trong bài báo này chúng tôi trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng chấn động nổ mìn đến kết cấu công trình ngầm lân cận bằng phương pháp số và phương pháp đo đạc thực nghiệm. Mô hình số được xây dựng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm Abaqus. Trong mô hình, biên sử dụng là loại không phản xạ (Non-Reflecting Boundary Condition-NRBC) dựa trên việc sử dụng phần tử vô hạn (Infinite element - IE) tại biên. Các phần còn lại của mô hình sử dụng phần tử hữu hạn (Finite Element-FE). Kết quả mô hình số đã được kiểm chứng với kết quả đo đạc thực nghiệm góp phần thể hiện tính chính xác của mô hình.

## 1. Giới thiệu chung

Sử dụng mô phỏng số để nghiên cứu ảnh hưởng của chấn động nổ mìn đến kết cấu công trình ngầm lân cận đã được nhiều tác giả trên thế giới quan tâm. Phương pháp đo đạc thực nghiệm đã được các tác giả như (Zhao, J., Li, HB., 2000); (Ansell, A., 2004); (Li, X. et al, 2009); (Nateghi, 2011; Ahmed, L., Ansell, A., 2011), các phương pháp số đã được một số tác giả quan tâm nghiên cứu như (Hao, H.,2002); (Wu, Ch., Lu, Y. và Hao, H.,2004); (Lu, Y. et al, 2005); (Saian, D.

and Nordlund, E., 2009); (Muhammad, E. và Traevor Orr, 2011); (Yang, J., et, 2012); (Lua, W. et al, 2012); (Xia, X., et al, 2013); (Yang, J., et al, 2012), (Liang, Q. et al, 2013), (Xia, X. et al, 2013). Tại Việt Nam, vấn đề này chưa được nghiên cứu nhiều, kết quả đạt được còn hạn chế. Một số tác giả nghiên cứu bằng phương pháp giải tích như Nguyễn Văn Cận, Hoàng Thị Hồng, Nguyễn Xuân Mãn. Phương pháp mô phỏng số mới được một số ít tác giả nghiên cứu như Lê Đình Tân, Nguyễn Hải Hưng, Nguyễn Hữu Thế,... Tuy nhiên các nghiên cứu này mới chỉ đề cập đến nổ mìn cho một khối thuốc nổ tập trung do bom mìn trên mặt đất mà chưa nghiên cứu đến nổ mìn khi đào hầm.

Ngoài ra, việc mô phỏng ảnh hưởng của chấn động nổ mìn đến kết cấu công trình ngầm lân cận là một việc rất phức tạp do liên quan đến bài toán truyền sóng trong môi trường đất đá và nổ mìn trên gương hầm. Hầu hết các nghiên cứu mới chỉ dừng lại ở mô hình số, việc kiểm chứng mô hình so sánh với kết quả đo thực tế hầu như ít được thực hiện. Hiện tại, công ty CPĐT Đèo Cả cùng với tư vấn Nippon Koei (Nhật Bản) đã thực hiện việc nghiên cứu mở rộng hầm Hải Vân từ cuối năm 2014, đến nay đã cơ bản hoàn thành nghiên cứu khả thi và đã đề xuất lên Bộ GTVT và Thủ tướng Chính phủ về việc cho phép triển khai mở rộng hầm Hải Vân, do vậy trong thời gian ngắn sắp tới dự án hầm Hải Vân của Việt nam sẽ tiến hành mở rộng nên việc nghiên cứu ảnh hưởng của chấn động nổ mìn đến kết cấu đường hầm lân cận là rất cần thiết và cấp bách.

## 2. Giới thiệu dự án hầm Croix-Rousse

### 2.1. Mô tả đường hầm

Croix-Rousse là một dự án hầm giao thông đô thị với vị trí, hình dạng, kích thước đường hầm được giới thiệu cụ thể trong [2]. Dự án gồm hai đường hầm đào song song trong đó hầm cũ được

xây dựng trước đó vài chục năm, chống bằng bê tông liền khối Khoảng cách giữa hai trục đường hầm là 42,6 m. Mặc dù dự án hầm nằm hoàn toàn dưới lòng thành phố Lyon với khoảng cách trung bình 100 m nhưng do đào trong đá granite rắn cứng (độ bền nén lớn hơn 120 MPa) nên vẫn lựa chọn phương pháp khoan nổ mìn để thi công.

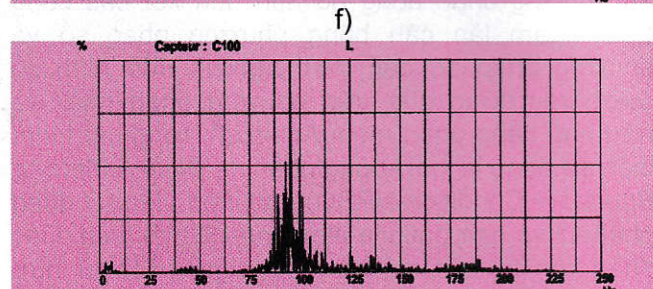
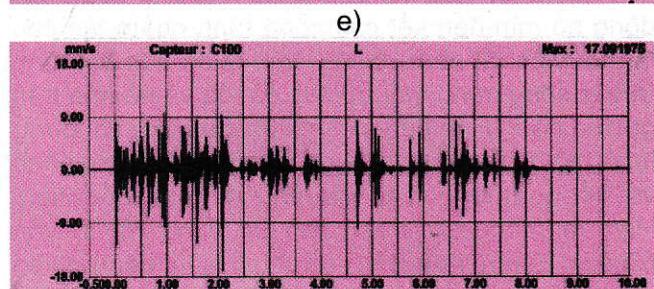
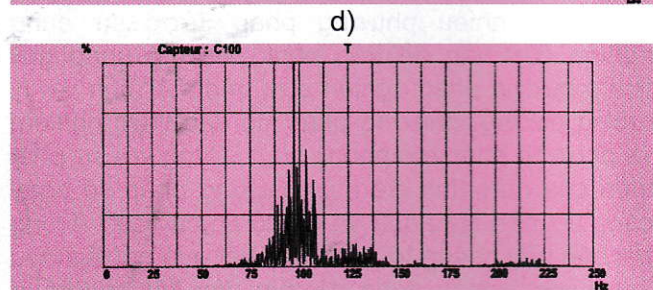
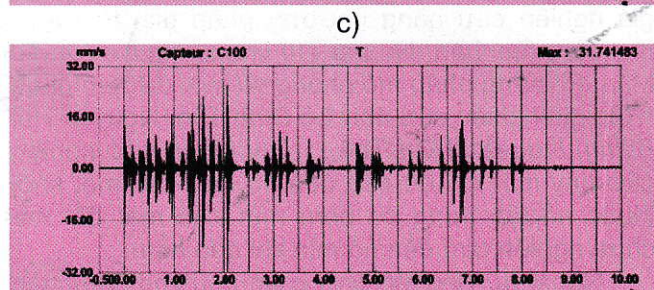
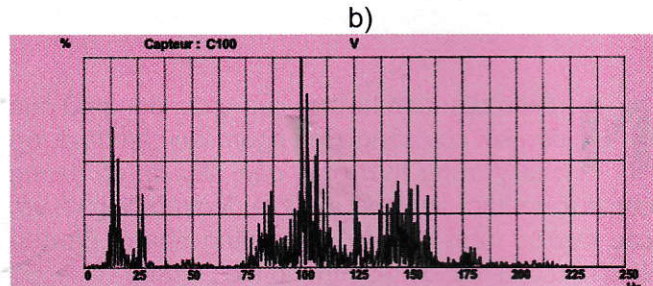
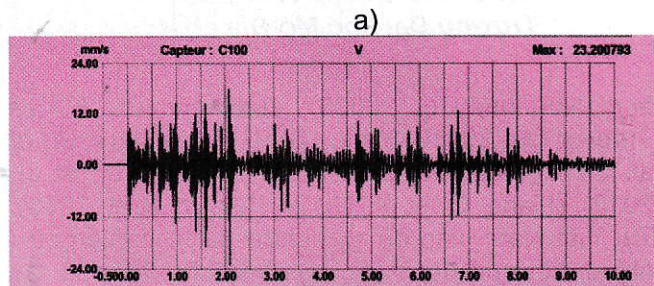
**2.2. Các thông số khoan nổ mìn**

Phương pháp nổ mìn tạo biên được sử dụng khi đào đường hầm nhằm hạn chế chấn động đến khối đá. Các lỗ mìn có đường kính 51 mm và 48 mm sâu 4,0 m được nạp thuốc nổ nhũ tương loại

Emulsion Reelle. Các thông số của hộ chiếu khoan nổ mìn, trình tự nổ các lỗ mìn trên gương được trình bày trong [2].

**3. Phương pháp đo đạc thực nghiệm vận tốc chấn động tại hầm Croix-Rousse**

Thiết bị đo được sử dụng để đo là loại Géophone được đặt trong vỏ chống bê tông của đường hầm cũ, các thông số được đo gồm vận tốc dao động phần tử lớn nhất (Peak Particle Velocity-PPV), chuyển vị và quang phổ của vận tốc dao động phần tử theo ba phương. Quá trình đo được tiến hành sau mỗi đợt nổ mìn như trên H.1.



H.1. Kết quả đo vận tốc chấn động của cảm biến C100 tại PM100: a - Vận tốc chấn động theo phương thẳng đứng; b - Quang phổ vận tốc theo phương thẳng đứng; c - Vận tốc chấn động theo phương nằm ngang; d - Quang phổ vận tốc theo phương nằm ngang; e - Vận tốc chấn động theo phương trục hầm; f - Quang phổ vận tốc theo phương trục hầm

**4. Mô hình số**

Phân tích số hai chiều được thực hiện trên mô hình phần tử hữu hạn xây dựng trên phần mềm Abaqus phiên bản 6.10-2.

**4.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp**

Cơ sở lý thuyết của phương pháp dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn đã được trình bày rất cụ thể trong [4]. Phương trình động học cơ bản của phương pháp có dạng:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{P(t)\} \tag{1}$$

Trong đó: u - Chuyển vị;  $\dot{u}$  - Vận tốc, và  $\ddot{u}$  - Gia tốc. Ma trận khối lượng được tính toán theo:

$$[M] = \int_v \rho [N]^T [N] dV \tag{2}$$

Trong đó:  $\rho$  - Trọng lượng thể tích của vật liệu; [N] - Ma trận hình dạng của kết cấu.

Ma trận giảm chấn [C] tính cho giảm chấn Rayleigh

được tính theo công thức:

$$[C] = \alpha [M] + \beta [K]. \quad (3)$$

Với  $\alpha$  và  $\beta$  - Hằng số xác định trước. Ma trận độ cứng phụ thuộc vào thời gian và được tính toán theo công thức:

$$[K] = \int_V B^T [D] [B] dV. \quad (4)$$

Trong đó:  $[D]$  và  $[B]$  - Ma trận cấu tạo và ma trận ứng suất-biến dạng tương ứng. Các vectơ lực tại các nút của phần tử do lực kéo bề mặt,  $[q(t)]$ , và lực thể tích  $[f(t)]$ , được tính toán theo công thức:

$$\{P(t)\} = \int_S [N]^T q(t) S + \int_V [N]^T f(t) V. \quad (5)$$

Khi đó phương trình (1) có thể viết dưới dạng:

$$[M]\{\ddot{u}\} = \{f^{ext}\} - \{f^{int}\} \quad (6)$$

Ở đây:  $\{f^{ext}\} = P(t)$  và  $\{f^{int}\} = [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\}$ .

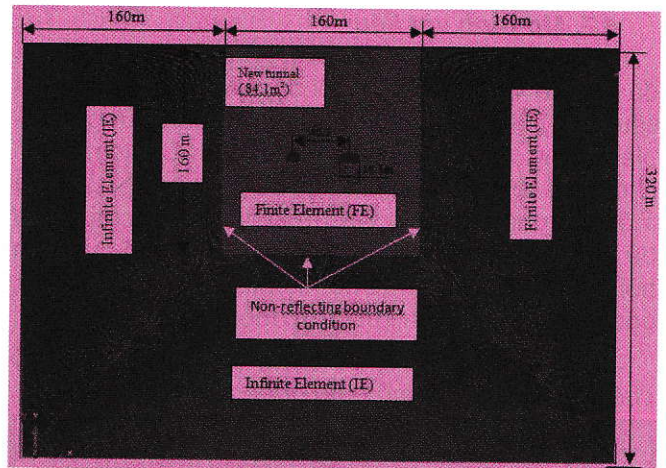
Phương trình (1) và (6) có thể được giải quyết bằng cách phương pháp explicit (một trong những phổ biến nhất là phương pháp sai phân trung tâm) hoặc bằng phương pháp implicit-ẩn (thuật toán Nemark hoặc Hubolt). Khi xác định được gia tốc của phần tử theo biểu thức (6) ta hoàn toàn có thể tính được các thành phần khác như vận tốc dao động, chuyển vị của phần tử.

#### 4.2. Mô tả kích thước mô hình số

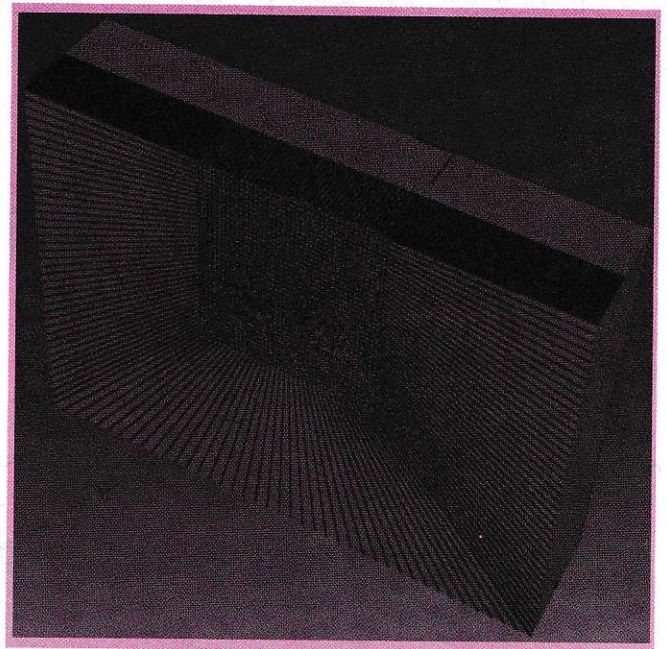
Mô hình số được xây dựng để khảo sát ảnh hưởng chấn động nổ mìn khi đào đường hầm mới bằng phương pháp khoan nổ mìn đến vỏ chống bê tông của đường hầm cũ. Kích thước của mô hình được thể hiện trên H.2. Mô hình xây dựng bao gồm ba phần: khối đá bao quanh công trình rộng 160 m, cao 160 m, vỏ chống của đường hầm cũ với chiều dày trung bình 0,7 m và phần biên của mô hình được tạo ra từ các phần tử vô hạn với chiều dài 160 m. Như vậy kích thước mô hình rộng tổng cộng 480 m, cao 320 m. Trên cơ sở kết quả của mô hình được trình bày trong [2], tác giả tiến hành xây dựng mô hình 3D. Theo khảo sát trong [3] khi chiều dài mô hình đạt 42 m trở lên hoàn toàn loại bỏ được sự ảnh hưởng của chiều dài mô hình đến kết quả mô hình. Trong trường hợp này tác giả tiến hành xây dựng mô hình với chiều dài 102 m (xem H.3) trong đó luôn bảo đảm gương hầm đặt ở giữa mô hình, chiều sâu lỗ mìn trung bình để mô phỏng là 4,0 m.

#### 4.3. Điều kiện biên

Sử dụng biên loại không phản xạ như trong [2] và [3]. Với mô hình 2D, bề mặt đất phía trên ở dạng tự do, hai bên hông và đáy mô hình là loại biên không phản xạ (H.2). Với mô hình 3D, ngoài biên hai bên và đáy là loại không phản xạ, bề mặt phía trên mặt trước và mặt sau được cố định (H.3).



H.2. Kích thước phẳng của mô hình



H.3. Mô hình 3D với chiều dài khác nhau

#### 4.4. Kiểm tra sự hội tụ của lưới

Việc nghiên cứu sự hội tụ của lưới được tiến hành trong [3] bằng cách thay đổi kích thước của lưới đồng thời sử dụng vận tốc Rayleigh để so sánh. Kết quả với kích thước phần tử cho khối đá là 0,5 m lưới sẽ hội tụ, kích thước cho phần tử vỏ bê tông của đường hầm cũ là 0,25 m.

#### 4.5. Ma trận giảm chấn

Phương pháp giảm chấn loại Rayleigh với cách tính các hệ số  $\alpha$  và  $\beta$  như thể hiện trong [2] và [3].

#### 4.6. Mô hình áp lực nổ mìn

Áp lực nổ mìn là một hàm theo thời gian với biên độ tính toán trong [2] và [3] là  $P_B = 7,478$  GPa. Hàm áp lực có dạng tam giác với đường giảm áp lực có độ dốc lớn ứng với thuốc nổ nhũ tương được sử dụng tại dự án. Mô hình áp lực là tải trọng phân bố đều theo thời gian.

**4.7. Mô hình vật liệu**

Khối đá xung quanh đường hầm Croix-Rousse là đá granite và gneis [1]. Khối đá được giả định là vật liệu đàn hồi dẻo cùng với quá trình tăng ứng suất-biến dạng tuân theo mô hình Mohr-Coulomb. Vỏ chống bê tông đường hầm được mô phỏng sử dụng mô hình phá hủy dẻo. Các thông số động của đá và bê tông sử dụng cho mô hình bao gồm mô đun đàn hồi, hệ số Poisson, mật độ, độ bền nén, độ bền kéo, góc dẫn nở, lực dính kết được thể hiện trên Bảng 1.

*Bảng 1. Các thông số động của khối đá và vỏ chống bê tông cho mô hình phân tích*

Tên thông số	Giá trị		Đơn vị
	Đá	Vỏ bê tông	
Trọng lượng thể tích	2650	2400	kg/m <sup>3</sup>
Mô đun đàn hồi động	60,0	35,00	GPa
Hệ số Poisson	0,25	0,200	-
Góc ma sát trong	53,99	-	Độ
Góc dẫn nở	4,00	-	Độ
Lực dính kết	23	-	MPa
Độ bền nén	120	35,00	MPa
Độ bền kéo	5,70	2,90	MPa

**5. So sánh kết quả mô hình số với phương pháp đo đạc thực nghiệm**

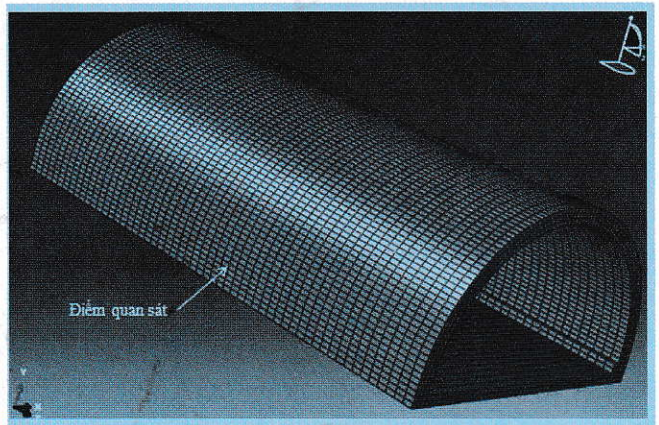
**5.1. Điểm quan sát**

Với mô hình 3D, điểm quan sát trên vỏ chống bê tông của đường hầm cũ được lựa chọn là điểm nguy hiểm nhất gần với gương thi công của hầm mới. Điểm này nằm ở trung điểm của chiều dài vỏ

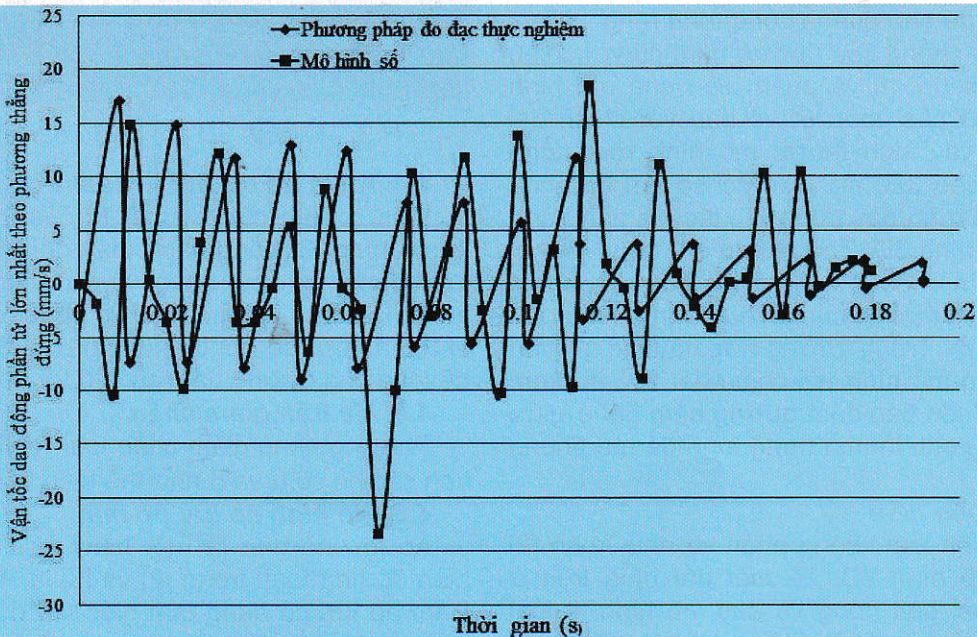
chống theo phương dọc trục hầm và cũng là điểm đối diện với tâm của gương nổ như H.5.

**5.2. Chọn hệ số giảm chấn cho mô hình**

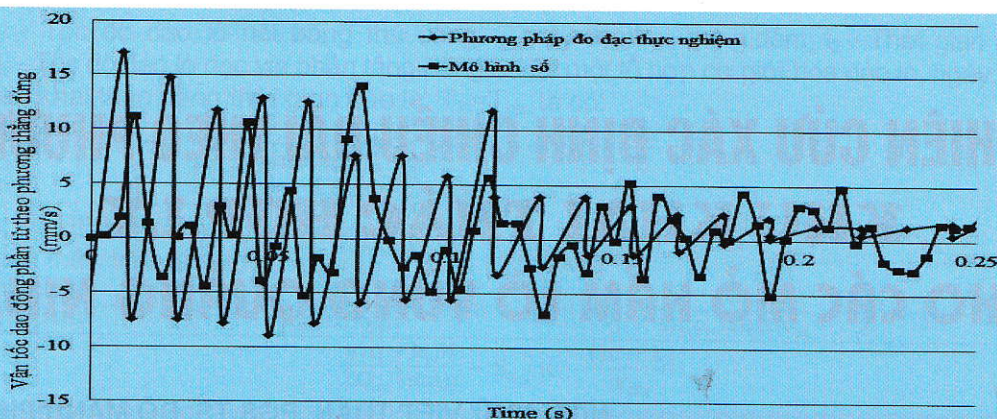
Đối với các vật liệu địa chất (ví dụ như đất, đá...) thường hệ số giảm chấn thay đổi trong khoảng 2 % đến 5 %, giá trị này với hệ thống kết cấu công trình là từ 2 % đến 10 %. Việc khảo sát ảnh hưởng của hệ số giảm chấn của đá đến kết quả mô hình đã được tiến hành trên mô hình 2D bằng cách thay đổi giá trị giảm chấn ứng với 4 trường hợp: bằng 3 %, bằng 4 %, bằng 5 %, và bằng 6 % cho đá trên mô hình 2D, với vỏ chống bê tông chọn cố định bằng 4 %. Theo kết quả của mô hình 2D hệ số giảm chấn hợp lý cho khối đá là 5 %, cho vỏ bê tông là 4 % như trong [3].



*H.5. Điểm quan sát trong mô hình tại vỏ bê tông của đường hầm cũ*



*H.6. So sánh vận tốc dao động phần tử theo phương thẳng đứng (V<sub>1</sub>) theo hai phương pháp đo đạc và mô hình số 2 chiều 2D*



H.7. So sánh vận tốc dao động phần tử theo phương thẳng đứng ( $V_z$ ) theo hai phương pháp đo đạc và mô hình số 3 chiều 3D

**5.3. So sánh kết quả mô hình với phương pháp đo đạc thực nghiệm**

Sau khi tiến hành chạy với mô hình số hai chiều 2D và mô hình số ba chiều 3D ta thu được giá trị vận tốc dao động phần tử lớn nhất, gia tốc dao động phần tử lớn nhất, ứng suất và biến dạng tại các điểm bất kỳ trong vỏ chống. Kết quả so sánh giá trị vận tốc dao động phần tử lớn nhất theo phương thẳng đứng giữa mô hình số và kết quả đo đạc thực nghiệm trong khoảng thời gian  $t=0,2$  s với mô hình 2D và  $t=0,25$  s với mô hình 3D được thể hiện trên H.6 và H.7.

Từ kết quả thu được khi so sánh vận tốc dao động phần tử lớn nhất của mô hình số 2D và 3D (H.6, H.7) cho thấy giá trị vận tốc dao động phần tử lớn thay đổi liên tục theo thời gian, vị trí các điểm đạt cực trị của biểu đồ trùng với vị trí của các đợt nổ trên gương hầm. Kết quả biên độ của vận tốc dao động phần tử lớn nhất trong mô hình 2D là lớn hơn so với mô hình 3D. Ngoài ra, qua so sánh vận tốc dao động phần tử lớn nhất theo hai phương pháp đo đạc thực nghiệm và mô hình số, dạng biểu đồ và điểm đạt giá trị vận tốc dao động phần tử lớn nhất theo hai phương pháp là chấp nhận được.

**4. Kết luận**

Các kết quả trong bài báo này cho phép rút ra một số kết luận được rút ra sau đây:

❖ Việc nghiên cứu ảnh hưởng của chấn động nổ mìn đến kết cấu công trình ngầm lân cận khi đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn dồn thời bằng hai phương pháp đo đạc thực nghiệm và mô hình số chưa được tiến hành nhiều trên thế giới cũng như tại Việt Nam do sự phức tạp của bài toán truyền sóng;

❖ Kết quả mô hình số 2 chiều 2D và 3 chiều 3D cho thấy biên độ của vận tốc dao động phần tử lớn nhất trong mô hình 2D là lớn hơn so với mô hình

3D. Nguyên nhân là do với mô hình 3D, môi trường xung quanh ở dạng khối nên năng lượng nổ mìn bị hấp thụ một phần trong khi với mô hình 2D, môi trường là mặt phẳng nên phần năng lượng bị tiêu tốn là không đáng kể;

❖ Qua so sánh kết quả vận tốc dao động phần tử lớn nhất giữa hai phương pháp mô phỏng số và phương pháp đo đạc hiện trường cho thấy sự sai khác giữa biên độ và dạng biểu đồ của vận tốc dao động phần tử lớn nhất giữa hai phương pháp là có thể chấp nhận được, điều này cho thấy các số liệu đầu vào cũng như mô hình số xây dựng là đáng tin cậy;

❖ Có thể sử dụng mô hình số đã xây dựng trong nghiên cứu này cho các nghiên cứu tiếp theo có điều kiện tương tự như đánh giá chấn động khi nổ mìn đào hầm tại dự án hầm Cổ Mã hoặc hầm Hải Vân. □

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Clayton E., Soler B., Voiron J. 2011. Renovation of Croix. Rousse tunnel Specific points of the technical design. AFTES. Congrès International, Lyon 1, page 135.
2. Đặng Văn Kiên. Khảo sát chấn động nổ mìn khi đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn ở khu vực thành phố bằng mô hình 2D. Tạp chí Công nghiệp Mỏ. Số 12/2014.
3. Dang Van Kien. The effect of element type on the boundary condition and the analysis result in a model of blasting vibration. International seminar on Numerical Analysis in Geotechnics (NAG2015) Hanoi, 20 August 2015.
4. Đặng Văn Kiên. Ảnh hưởng của loại phần tử biên đến điều kiện biên và kết quả mô hình số trong việc phân tích chấn động nổ mìn khi đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn ở khu vực thành phố. Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 21, Đại học Mỏ-Địa chất -11/2014;

(Xem tiếp trang 8)

2. D. Heliot, "Generating a blocky rock mass," Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstr., vol. 25, no. 3, pp. 127-138, 1988.

3. V. Merrien-Soukatchoff, T. Korini, and A. Thoraval, "Use of an Integrated Discrete Fracture Network Code for Stochastic Stability Analyses of Fractured Rock Masses," Rock Mech. Rock Eng., Mar. 2011.

4. A.T. Nguyen, V. Merrien-Soukatchoff, M. Vinches, "Grouping discontinuities of fractured rock mass into main set: consequences on the stability analysis of open pit benches," Applications of Discrete Fracture Network Engineering, DFNE. 2014-213, Nov. 2014.

5. Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Việt, Trần Đình Bảo. Tối ưu một số thông số công nghệ khai thác đá khối bằng máy cưa cáp. Tuyển tập báo cáo Hội nghị KHKT mở toàn quốc lần thứ 22. Hội Khoa học và công nghệ mỏ Việt Nam. Nha Trang-Việt Nam. 2011. Tr. 271-280.

**Người biên tập:** Hồ Sĩ Giao

**Từ khóa:** mô hình đất đá; nứt nẻ; kế hoạch khai thác mỏ; đá khối; đá ốp lát.

**Ngày nhận bài:** 05 tháng 11 năm 2015

## SUMMARY

On the basis of geological marble deposit models and combined with advanced computer simulation methods, the development of a reliable geometric model of the available and recoverable rock blocks will be achieved. This geometric model was achieved by the database of the open-pit marble Thung Khuộc, modelling of the rock mass and discontinuity structure, and modelling the geomechanical rock mass behaviour. These techniques will allow the prediction of the most cost effective and safe quarry layouts that will lead to maximum block recovery of such sizes and quality that the market demands.

## NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG...

(Tiếp theo trang 21)

5. Đặng Văn Kiên, Đánh giá ảnh hưởng của chấn động do nổ mìn đào hầm ở khu vực thành phố: Đường hầm Croix-Rousse, Lyon, Cộng Hòa Pháp. Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Khoa học lần thứ 21, Đại học Mỏ-Địa chất -11/2014;

6. Yong Lu, Zhongqi Wang, Karen Chong. A comparative study of buried structure in soil subjected to blast load using 2D and 3D numerical simulations. Soil Dynamics and Earthquake Engineering 25 (2005) 275-288

7. Saharan, M. R. and Mitri, H. S. Numerical Procedure for Dynamic Simulation of Discrete Fractures Due to Blasting. Rock Mech. Rock Engng, 2008, 41 (5) : 641-670

8. Park, D. et al, A Numerical Study on the Screening of Blast-Induced Waves for Reducing Ground Vibration, Rock Mech Rock Eng (2009) 42:449-473.

**Người biên tập:** Võ Trọng Hùng

**Từ khóa:** mô hình số; chấn động; nổ mìn; kết cấu đường hầm

**Ngày nhận bài:** 12 tháng 09 năm 2015

## SUMMARY

The application of in-situ measurement method and numerical method to study the effect of blast vibration on surrounding structures (rock mass, existing tunnels, buildings,...) extended in recent years. Although many well documented numerical results exist in literature concerning this problem, but the result of the research on the effect of blasting at tunnel face on the vibration of existing adjacent tunnel by above methods still not clear. This paper investigates the effects of blast vibration at a newly excavated tunnel of the Croix-Rousse tunnel project, Lyon, France on the concrete lining systems of a adjacent existing tunnel by using numerical model based on vibration recordings. Numerical simulations were carried out with Abaqus/explicit model using coupled finite-infinite elements and Non-Reflecting Boundaries Conditions (NRBCs). Comparison of results obtained with above methods in order to validate the accurate numerical models shows that the accuracy of numerical models.