

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ DÀI CỦA MÔ HÌNH BA CHIỀU (3D) ĐẾN KẾT QUẢ MÔ HÌNH KHI NGHIÊN CỨU CHẤN ĐỘNG NỔ Mìn ĐẾN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH NGẦM LÂN CẬN

NCS.ThS. ĐẶNG VĂN KIÊN
Trường Đại học Mỏ-Địa Chất

Khi tiến hành mô phỏng số ảnh hưởng của chấn động nổ mìn đến công trình lân cận ta có thể tiến hành theo mô hình hai chiều (2D) hoặc ba chiều (3D). Việc mô phỏng bằng mô hình 3D sẽ cho kết quả tốt hơn so với mô hình 2D do kể đến sự ảnh hưởng của môi trường xung quanh vụ nổ và gần với điều kiện thực tế hơn. Chiều dài mô hình là thông số quan trọng ảnh hưởng đến độ chính xác của mô hình, quyết định đến số lượng phần tử cũng như thời gian chạy mô hình. Do vậy, việc lựa chọn chiều dài mô hình 3D hợp lý trong đó loại bỏ được sự ảnh hưởng của điều kiện biên, đảm bảo được sự chính xác của mô hình với số lượng phần tử ít nhất có thể là hết sức cần thiết trước khi tiến hành mô phỏng số.

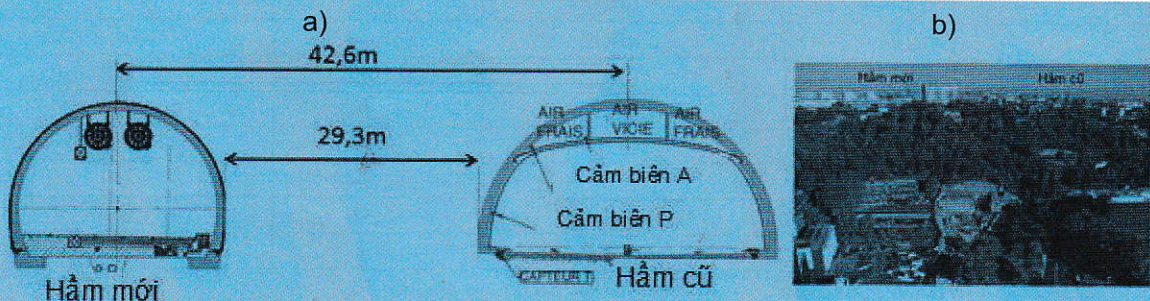
Bài báo trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của chiều dài mô hình 3D trong nghiên cứu ảnh hưởng của chấn động nổ mìn tại đường hầm Croix-Rousse, Lyon, Pháp. Nghiên cứu đã tiến hành so sánh kết quả của mô hình khi thay đổi chiều dài mô hình. Mô hình số được xây dựng dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn 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).

1. Các thông số đường hầm nghiên cứu

1.1. Mô tả đường hầm

Đường hầm Croix-Rousse là một công trình hầm giao thông đô thị, nằm ở thành phố Lyon, Pháp, giữa sông Rhône và sông Saône. Chiều dài của đường hầm là 1757,5 m, diện tích mặt cắt ngang của 84,10 m². Vị trí hầm nằm ở khu vực rất đông dân cư và có nhiều tòa nhà gần đó [1]; cùng một lúc, có một đường hầm cũ tồn tại nằm song song với hầm mới (H.1). Đường hầm đang tồn tại có dạng vòm tường thẳng. Bán kính vòm là 8,05 m chiều cao tường 1,0 m. Đường hầm đào mới gần đó có dạng hình vòm móng ngựa. Bán kính của vòm là 5,55 m. Khoảng cách giữa hai trục đường hầm là 42,6 m.



H.1. Điều kiện khu vực xung quanh đường hầm: a - Mặt cắt ngang đường hầm; b - Vị trí mặt bằng cửa hầm.

Khối đá, trong đó đường hầm đào qua, bao gồm đá granit và đá gneis có độ bền nén đơn trục lớn hơn 100 MPa. Giá trị trung bình RQD=68, RMR=70÷80. Đá liền khối ít nứt nẻ, khoảng cách trung bình các khe nứt 0,6÷2 m [1]. Độ sâu đặt

đường hầm trung bình là 100 m. Đường hầm được đào bằng phương pháp khoan nổ mìn.

1.2. 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 được nạp thuốc nổ nhũ tương loại Emulsion Réelle. Các thông số của hộ chiếu khoan nổ mìn, trình tự nổ các lỗ mìn trên gương được trình bày trong [2].

1.3. Kết quả đo vận tốc chấn động tại hầm Croix-Rousse

Thiết bị đo được sử dụng để đo là loại Géophone, các thông số được sử dụng để đo gồm vận tốc dao động phần tử lớn nhất, chuyển vị và quang phổ của vận tốc dao động phần tử. Kết quả đo đặc chấn động tại dự án được trình bày kỹ trong [2] của cùng tác giả.

2. 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.

2.1. 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:

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

Trong đó: u - Chuyển vị, \dot{u} - vận tốc, và \ddot{u} - Gia tốc
Ma trận khối lượng được tính toán theo (2):

$$[M] = \int_V \rho [N]^T [N] dV \quad (2)$$

Trong đó: ρ - 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: α và β - 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 vec tơ 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)

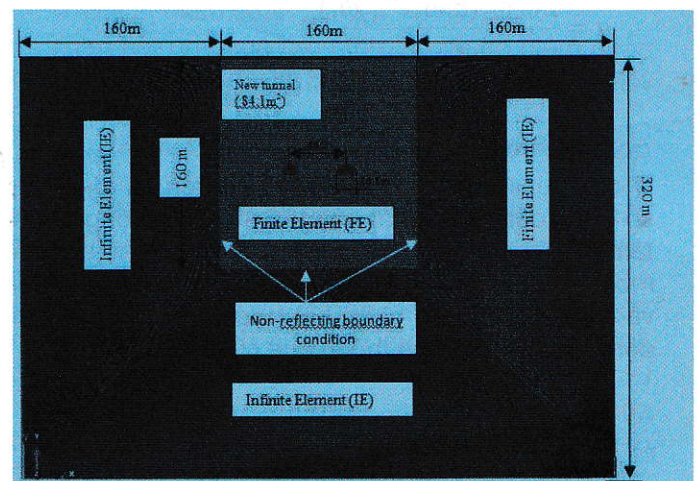
hoặc bằng phương pháp implicit-ẩn (thuật toán Nemark hoặc Hubolt). Khi xác định được gia tốc của phần tử theo biểu thức (6) ta hoàn toàn có thể tính được các thành phần khác như vận tốc dao động, chuyển vị của phần tử.

2.2. 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. Chiều dài mô hình được thay đổi lần lượt là $L_1=28,0$ m, $L_2=42,0$ m tức bằng $(1,5 \times L_1)$ m, và $L_3=84,0$ m tức bằng $(2 \times L_2)$ m, 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 (xem H.3).

2.3. Điều kiện biên

Phần tử vô hạn đã được sử dụng trong mô hình để tạo ra biên loại không phản xạ (Non-reflecting boundary condition), do vậy tại biên không có sóng và năng lượng phản xạ trở lại mô hình đảm bảo sự phù hợp của mô hình với điều kiện thực tế và tính chính xác của mô hình. Phần tử vô hạn được sử dụng để tạo ra loại biên trên là loại CIN3D8 với 8 nút. Bề mặt đất phía trên ở dạng tự do, hai bên hông và đáy mô hình là loại biên không phản xạ (H.2 và H.3).

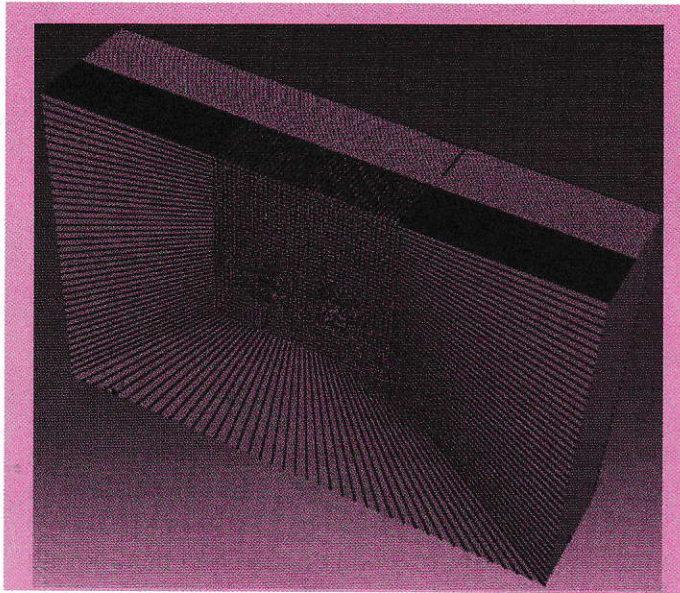


H.2. Kích thước phẳng của mô hình

2.4. 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.



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

2.5. Ma trận giảm chấn

Phương pháp giảm chấn loại Rayleigh được sử dụng trong nghiên cứu này, trong đó ma trận giảm chấn của hệ thống được giả thiết là sự kết hợp tuyến tính của ma trận khối lượng và ma trận độ cứng:

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K] \tag{7}$$

Trong đó: α và β - Các hằng số giảm chấn phụ thuộc vào năng lượng giảm chấn, tính chất của vật liệu, có thể được tính theo công thức sau:

$$\alpha = \frac{2\omega_1\omega_2(\xi_1\omega_2 - \xi_2\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2}$$

$$\beta = \frac{2(\xi_1\omega_2 - \xi_2\omega_1)}{\omega_2^2 - \omega_1^2} \tag{8}$$

Ở đây: ω_1 - Tần số chấn động đầu tiên và ω_2 - Tần số chấn động lớn nhất của tần số quan trọng quan tâm (thường $f_1 = \omega_1/2\pi$ và $f_2 = \omega_2/2\pi$). Các hệ số của mô hình giảm chấn ξ_1 và ξ_2 tương ứng với tần số ω_1 và ω_2 . Hệ số giảm chấn kết hợp với chế độ chấn động j được xác định thông qua công thức:

$$\xi_j = \frac{\alpha}{2\omega_j} + \frac{\beta\omega_j}{2} \tag{9}$$

2.6. Mô hình áp lực nổ mìn

Áp lực nổ sinh ra từ việc mở rộng các khí từ vụ nổ, có thể được tính theo công thức theo đề nghị của các Konya và Walter (1991) [8]:

$$P_d = \frac{449,93 \times SG_e \times VOD^2}{1 + 0,8SG_e} \tag{10}$$

Trong đó: P_d - Đại lượng áp lực nổ, Pa; SG_e - Mật độ của thuốc nổ, g/cm^3 ; VOD - Vận tốc sóng nổ của thuốc nổ, m/s.

Áp lực nổ là áp lực gây ra bởi một lượng nạp đầy lỗ khoan. Để đề cập đến sự ảnh hưởng của khoảng trống giữa cột thuốc nổ và thành lỗ khoan, phương trình xác định áp lực sau đây được sử dụng:

$$P_B = P_d \left(\frac{d_c}{d_h} \right)^2 \tag{11}$$

Trong đó: P_B - Đại lượng áp lực lên thành lỗ khoan, Pa; d_c, d_h - Tương ứng là đường kính thời thuốc và đường kính lỗ khoan, mm.

Thuốc nổ sử dụng là loại Emulsion Réelle với ($d_c/d_h=0,9$). Áp lực nổ được tính toán từ phương trình (11), kết quả $P_B=7,478$ GPa. Áp lực nổ mìn tác dụng lên biên đường hầm mới được thể hiện bằng phương trình (12).

$$P(t) = P_B \cdot f(t) = 7,478 \cdot f(t); \text{ GPa.} \tag{12}$$

Trong đó: $f(t)$ - Hàm áp lực theo thời gian.

Hàm hình dạng đã được sử dụng để có được quan hệ giữa áp lực nổ và thời gian. Hầu hết các nghiên cứu đã sử dụng hàm mũ để mô hình hình dạng sóng áp lực nổ hoặc kết hợp của hàm mũ và dạng hình sin cho hàm áp lực. Chẳng hạn hàm thời gian được sử dụng bởi Park và các cộng sự [8]:

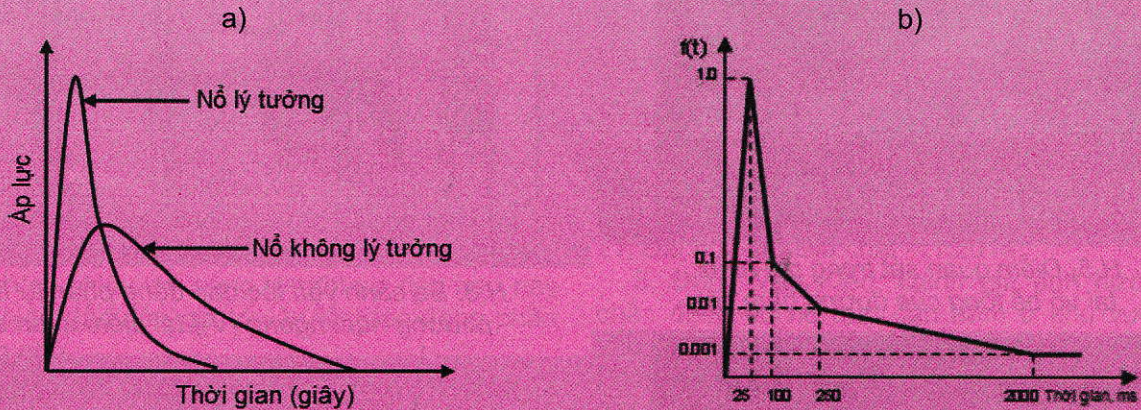
$$f(t) = \frac{t}{t_d} e^{\left(1 - \frac{t}{t_d}\right)} \tag{13}$$

Trong đó: $f(t)$ - Phương trình hình dạng; t - Thời gian khảo sát; t_d - Thời gian đạt được áp lực lớn nhất, $t_d=0,0003361$ giây [8].

Có hai loại áp lực nổ mìn chính thường được chấp nhận để mô phỏng nổ mìn cho môi trường đá, cụ thể là, nổ lý tưởng và không lý tưởng. Dạng nổ lý tưởng tương ứng với loại chất nổ nhũ tương trong đó thời gian tăng áp lực nổ là rất ngắn và đường giảm áp lực có độ dốc lớn. Dạng nổ không lý tưởng tương ứng với chất nổ ANFO trong đó thời gian để áp lực nổ đạt giá trị lớn nhất là dài hơn và đường giảm áp lực có độ dốc nhỏ hơn so với loại thuốc nổ nhũ tương (xem H.4 [8]). Tại đường hầm Croix-Rousse, do sử dụng thuốc nổ loại nhũ tương nên dạng nổ lý tưởng đã được chọn để sử dụng để tính toán và với sơ đồ đơn giản hóa được thể hiện trên H.4.b. Theo sơ đồ bố trí các lỗ mìn trên gương, trên gương hầm gồm bốn nhóm lỗ mìn khác nhau là nhóm đột phá, nhóm phá, nhóm biên và nhóm nền. Những nhóm này nổ tại các thời điểm khác nhau nhờ sử dụng kip phi điện vi sai. Trong nghiên cứu này, áp lực nổ mìn đã được chia thành 8 lần chậm nổ, trong mỗi lần chậm nổ có một

số lỗ mìn nổ đồng thời. Áp lực nổ mìn có thể đơn giản hóa là 8 tải trọng độc lập cùng với áp lực lớn nhất lên

biên hàm mới là (P_B) ứng với thời gian chậm nổ, hàm thời gian $f(t)$ được chọn như hình H.4.b.



H.4. Mô hình áp lực nổ lên biên hàm: a - Hình dạng xung áp lực cho hai loại nổ mìn [3]; b - Mô hình áp lực nổ lý tưởng [7]

2.7. Mô hình vật liệu

Khối đá xung quanh đường hầm Croix-Rousse là đá granit 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 nổ, 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 ³
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 nổ	4,00	-	Độ
Lực dính kết	23	-	MPa
Độ bền nén	120	35,00	MPa
Độ bền kéo	5,70	2,90	MPa

3. Kết quả mô hình

3.1. Điểm quan sát

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.

3.2. 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 cho đá trên mô hình 2D, với vỏ chống bê tông chọn cố định bằng 4 %:

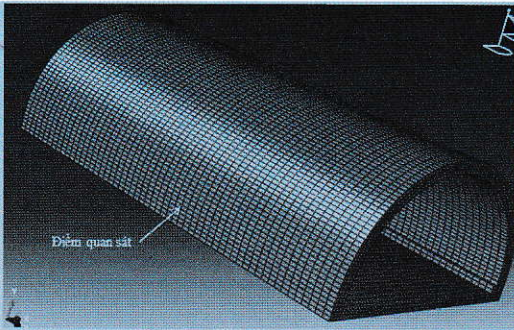
- ❖ Giá trị giảm chấn bằng 3 %;
- ❖ Giá trị giảm chấn bằng 4 %;
- ❖ Giá trị giảm chấn bằng 5 %;
- ❖ Giá trị giảm chấn bằng 6 %.

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].

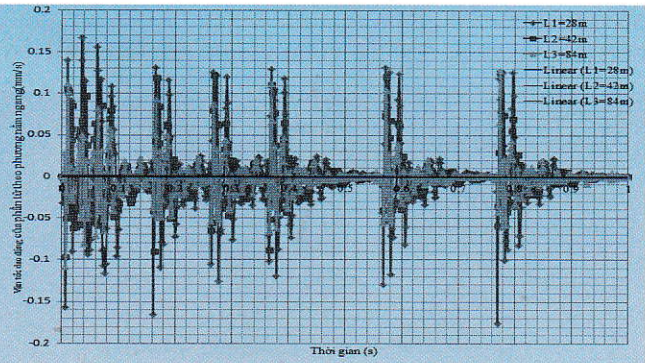
3.3. Kết quả mô hình và so sánh các trường hợp

Sau khi tiến hành chạy với ba mô hình có chiều dài khác nhau 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. Sự ảnh hưởng của chiều dài mô hình đến kết quả mô hình có thể quan sát trên H.6.

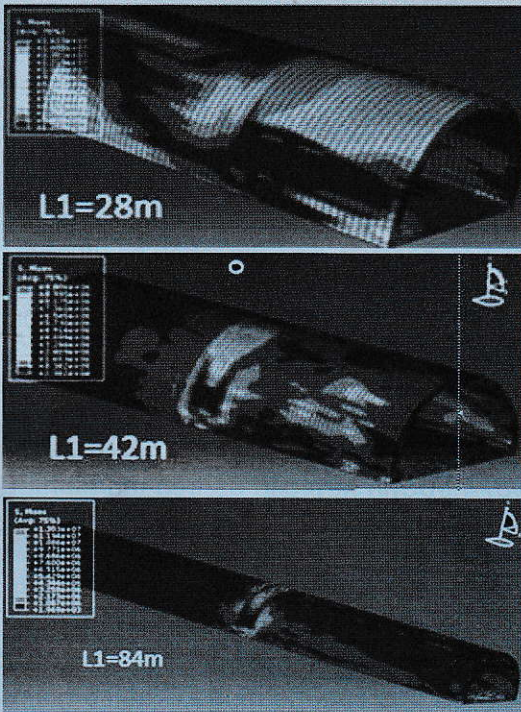
Giá trị được sử dụng để so sánh kết quả của các mô hình với chiều dài khác nhau là vận tốc dao động phần tử lớn nhất theo phương thẳng đứng (V_1), theo phương nằm ngang (V_2) và theo phương dọc trục đường hầm (V_3) giá vận tốc cực đại theo ba phương được thể hiện trên các hình H.7, H.8, H.9 và H.10. Giá trị ứng suất cực đại trong vỏ chống với ba trường hợp khác nhau được thể hiện trên H.11.



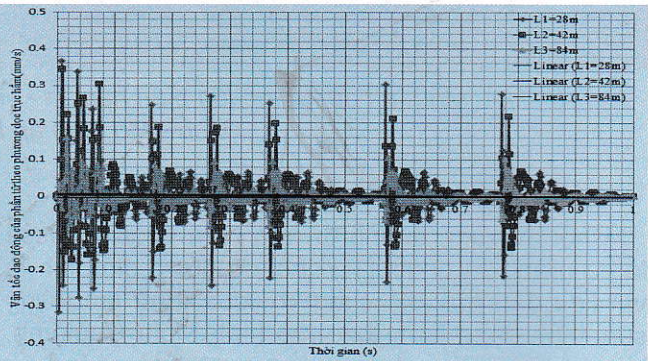
H.5. Điểm quan sát trong mô hình tại vỏ bê tông của đường hầm cũ



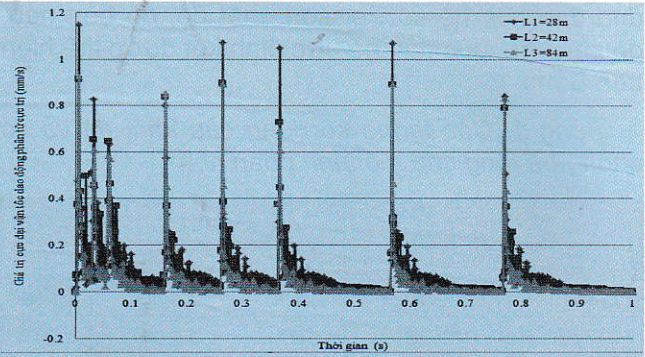
H.8. So sánh vận tốc dao động phần tử theo phương nằm ngang (V_2) tại điểm quan sát



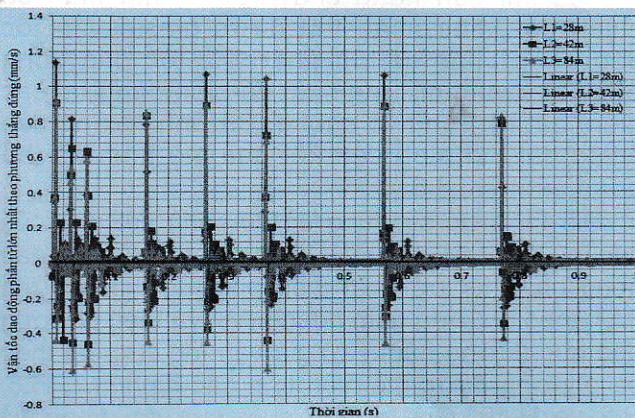
H.6. Ảnh hưởng của chấn động nổ mìn đến vỏ chống bê tông liền khối với các chiều dài mô hình khác nhau



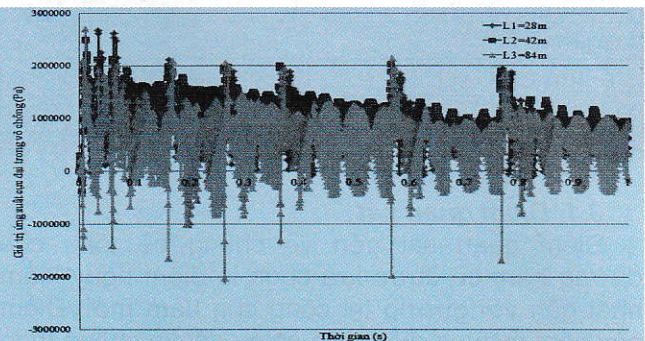
H.9. So sánh vận tốc dao động phần tử theo phương dọc trục hầm (V_3)



H.10. So sánh biên độ vận tốc dao động phần tử tại điểm quan sát



H.7. So sánh vận tốc dao động phần tử theo phương thẳng đứng (V_1) tại điểm quan sát



H.11. Giá trị ứng suất cực đại trong vỏ chống bê tông liền khối với các chiều dài mô hình khác nhau

Từ kết quả so sánh vận tốc dao động phần tử lớn nhất của 3 mô hình (H.7, H.8, H.9 và H.10) ta thấy dạng biểu đồ và điểm đạt giá trị vận tốc dao động phần tử lớn nhất giống nhau.

Biên độ lớn nhất của vận tốc dao động phần tử lớn nhất đạt được khi mô hình có chiều dài ngắn nhất $L_1=28$ m biên độ này và nhỏ nhất ứng với mô hình có chiều dài lớn nhất $L_3=84$ m.

Sự khác nhau trên là do với mô hình 3D, có sự tiêu hao một phần năng lượng nổ trong khối đá và vỏ chống trong mô hình có dạng khối. Do vậy, khi mô hình có chiều dài càng lớn thì sự tiêu hao này càng nhiều dẫn đến giá trị vận tốc dao động phần tử càng nhỏ.

Ngoài ra, với chiều dài mô hình thay đổi giữa 42 m và 84 m thì giá trị vận tốc dao động phần tử trong vỏ chống bê tông không thay đổi nên có thể kết luận với chiều dài 42 m là đủ độ chính xác cần thiết, khi đó có thể loại bỏ sự ảnh hưởng của điều kiện biên đến kết quả mô hình.

4. Kết luận

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

❖ Việc sử dụng điều kiện biên dạng không phản nhò cặp phần tử vô hạn và hữu hạn có thể cải thiện kết quả của mô hình;

❖ Khi mô phỏng số sự ảnh hưởng của chấn động nổ mìn đến kết cấu công trình ngầm lân cận trên mô hình 3D, chiều dài mô hình có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả mô hình. Qua nghiên cứu ba trường hợp dài $L_1=28,0$ m, $L_2=42,0$ m tức bằng $(1,5 \times L_1)$ m, và $L_3=84,0$ m tức bằng $(2 \times L_2)$ m cho thấy giá trị vận tốc dao động phần tử tại điểm quan sát càng giảm khi mô hình có chiều dài càng lớn và ngược lại. Sự hấp thụ năng lượng của phần khối đá xung quanh vụ nổ chính là nguyên nhân dẫn đến sự khác nhau trên;

❖ Với chiều dài mô hình $L=42$ m đủ để loại bỏ ảnh hưởng của điều kiện biên đến kết quả mô hình và đủ độ chính xác cần thiết khi sử dụng mô hình để mô phỏng ảnh hưởng của chấn động nổ mìn. Các nghiên cứu tiếp theo có thể sử dụng giá trị độ dài của mô hình này để nghiên cứu. □

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 2/2014.

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;

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 fo Reducing Ground Vibration, Rock Mech Rock Eng (2009) 42:449-473.

Người biên tập: Võ Trọng Hùng

SUMMARY

The application of 3D numerical simulation 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 a study of effect of length of model on the result of 3D model in these researchs is still not clear. It is difficult to chose a suitable length for 3D model. This paper carried out an investigation the effect of length of model on result of 3D model length through blast vibration value at existing tunnel lining of the Croix-Rousse tunnel project, Lyon, France Numerical simulations were carried out with Abaqus/ explicit model using coupled finite-infinite elements and Non-Reflecting Boundaries Conditions (NRBCs).