

ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN TÁC DỤNG NỔ ĐẾN KẾT CẤU CÔNG TRÌNH NGẦM QUÂN SỰ

LÊ VĂN HƯNG, NGUYỄN HẢI HƯNG
 Trường Sĩ quan Công binh, Bộ Quốc Phòng
 NGUYỄN XUÂN MÃN, NGUYỄN DUYÊN PHONG
 Trường Đại học Mỏ-Địa chất
 Email: mannxdoky@gmail.com

Hiện nay, khi tính toán kết cấu công trình quân sự đặt trong môi trường đất đá dưới tác dụng của tải trọng bom đạn cần xem xét một số chủng loại tải trọng đặc biệt như sau: tải trọng do va chạm; tải trọng nổ; tải trọng sóng xung kích; sóng nén;... Các loại tải trọng này có đặc điểm: cường độ tác dụng mạnh; thời gian tác dụng ngắn. Vì vậy, việc tính toán sự ảnh hưởng của các dạng tải trọng trên đến trạng thái ứng suất-biến dạng của kết cấu công trình cần được nghiên cứu tính toán một cách chi tiết, đầy đủ; từ đó đưa ra một số biện pháp làm suy giảm chuyển vị và nội lực tác dụng trong kết cấu công trình.

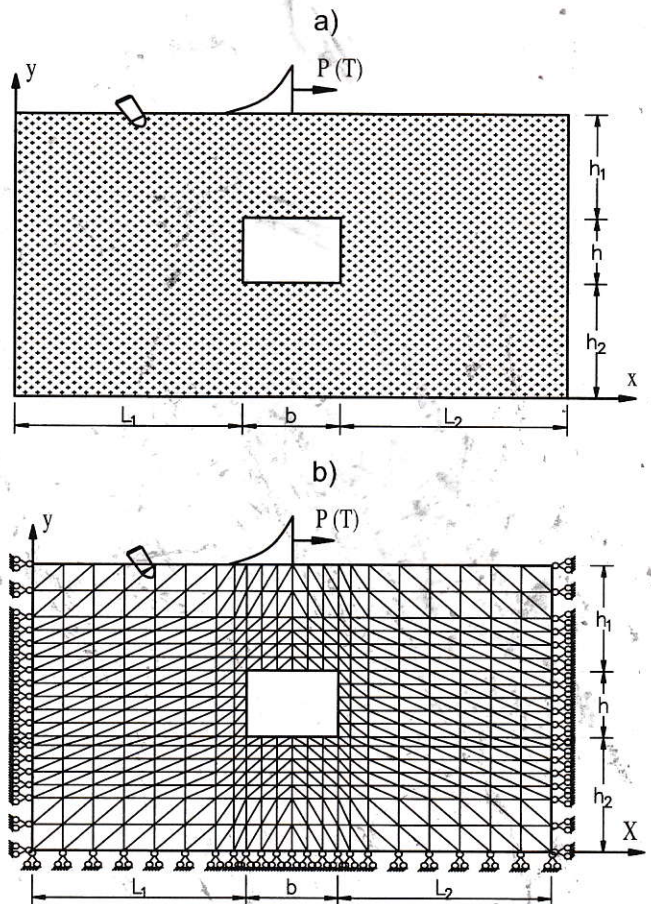
Dưới đây các tác giả trình bày phương pháp giải bài toán động lực học của kết cấu tương tác với môi trường dưới tác dụng của tải trọng sóng nổ có xét đến ảnh hưởng của yếu tố thời gian, với mục đích nhận được các kết quả tính toán phù hợp hơn với thực tế.

1. Xây dựng bài toán và phương pháp giải

1.1. Xây dựng bài toán

Tiến hành khảo sát hệ kết cấu-môi trường biến dạng, hệ làm việc theo sơ đồ biến dạng phẳng cho trên hình H.1.a và hình H.1.b.

Môi trường biến dạng gồm nhiều lớp. Tải trọng tác dụng lên hệ là tải trọng động do sóng xung kích trên mặt đất có quy luật thay đổi theo thời gian được xác định trước hoặc chịu tác dụng cục bộ của bom đạn. Cần xác định trạng thái ứng suất-biến dạng của hệ kết cấu-môi trường theo quan điểm tương tác động lực học. Giả thiết rằng, vật liệu kết cấu là đàn hồi tuyến tính và đồng nhất đẳng hướng. Hệ kết cấu-môi trường làm việc theo sơ đồ biến dạng phẳng trong điều kiện chuyển vị bé và biến dạng bé. Trong quá trình chất tải coi liên kết trên bề mặt tiếp xúc giữa kết cấu và môi trường là liên tục không có sự trượt hay tách cục bộ.



H.1. Mô hình tính của bài toán tương tác hệ kết cấu-môi trường: a - Mô hình xuất phát; b - Mô hình tính

1.2. Phương pháp giải

Để giải bài toán đặt ra, đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn. Hệ kết cấu-môi trường được rời rạc hóa như sau: từ hệ thực bán vô hạn ta tách ra một miền hữu hạn bao gồm kết cấu và một phần

môi trường xung quanh kết cấu (miền nghiên cứu). Hình dạng của miền này là tùy ý, nhưng để đơn giản có thể chọn dạng hình chữ nhật. Với phần môi trường và kết cấu được chia thành các phần tử tam giác phẳng. Thay cho tác dụng của phần môi trường còn lại đối với miền nghiên cứu, đặt các liên kết lên biên của miền này là các liên kết gối tựa.

2. Phương trình chuyển động của toàn hệ

Theo phương pháp chuyển vị khả dĩ hay nguyên lý thế năng dừng đã xây dựng được phương trình chuyển động cho mỗi phần tử hữu hạn của kết cấu và môi trường. Sau khi “ghép nối” chúng với nhau theo phương pháp “độ cứng trực tiếp” nhận được phương trình chuyển động của hệ kết cấu - môi trường như sau [1], [4]:

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = \{R\}, \tag{1}$$

Trong đó: [M], [C] và [K] - Tương ứng là ma trận khối lượng, ma trận cản nhớt và ma trận độ cứng của hệ; {R} - Véc tơ tải trọng nút của hệ; {U}, {U̇} và {Ü} - Tương ứng là véc tơ gia tốc, véc tơ vận tốc và véc tơ chuyển vị.

Để giải phương trình trên sẽ áp dụng phương pháp tích phân trực tiếp của Newmark và phương trình (1) được viết lại tại thời điểm (t+Δt) như sau [1], [3]:

$$[M]\{\ddot{U}_{t+\Delta t}\} + [C]\{\dot{U}_{t+\Delta t}\} + [K]\{U_{t+\Delta t}\} = \{R_{t+\Delta t}\} \tag{2}$$

hoặc viết gọn lại dưới dạng:

$$[\hat{K}]\{U_{t+\Delta t}\} = \{\hat{R}_{t+\Delta t}\} \tag{3}$$

Trong đó: $[\hat{K}]$ là ma trận độ cứng hiệu quả, xác định theo công thức [6]:

$$[\hat{K}] = [K] + a_0 \cdot [M] + a_1 \cdot [C]; \tag{4}$$

$\{\hat{R}_{t+\Delta t}\}$ là véc tơ tải trọng hiệu quả;

$$\{\hat{R}_{t+\Delta t}\} = \{R_{t+\Delta t}\} + [M] \cdot [a_0(U_t) + a_2(\dot{U}_t) + a_3(\ddot{U}_t)] + [C] \cdot [a_1(\dot{U}_t) + a_4(\ddot{U}_t) + a_5(\ddot{\ddot{U}}_t)] \tag{5}$$

Trong đó: a_0, a_1 - Các hệ số của phương pháp Newmark.

3. Tính véc tơ tải trọng quy nút do tải trọng sóng nổ trên mặt đất gây ra

Tải trọng được khảo sát là tải trọng sóng nổ dưới dạng siêu áp của sóng tới lan truyền trên mặt đất và tải trọng cục bộ do nổ của bom đạn gây ra:

$$\{p_s\} = \begin{Bmatrix} 0 \\ p_{sy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \Delta p(t) \end{Bmatrix} \tag{6}$$

Trong đó:

$$\Delta p(t) = \Delta p_0 \cdot (1 - t/\tau)^n \tag{7}$$

Thuật toán tính tích phân trực tiếp theo phương

pháp Newmark cho bài toán đàn hồi tuyến tính được tóm tắt như sau [1], [3], [4]:

➤ Tính toán sơ bộ ban đầu:

✦ Tính các ma trận cơ bản: ma trận [K], ma trận [M] và ma trận cản [C];

✦ Xác định bước tích phân Δt và các tham số tích phân δ, α và tính các hệ số của phương pháp: $a_0, a_1, a_2, \dots, a_7$;

✦ Xác định các vector điều kiện ban đầu $\{\dot{U}_0\}$, $\{U_0\}$ và $\{U_0\}$;

✦ Tính ma trận độ cứng hiệu quả $[\hat{K}]$;

➤ Tính lặp cho các bước tích phân tại các thời điểm $t = \Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots$ theo các bước:

✦ Bước 1: tính vector tải trọng hiệu quả $\{\hat{R}_{t+\Delta t}\}$

tại thời điểm (t+Δt);

✦ Bước 2: giải hệ phương trình tìm vector chuyển vị nút $\{U_{t+\Delta t}\}$ tại thời điểm (t+Δt):

$$\{U_{t+\Delta t}\} = [\hat{K}]^{-1} \{\hat{R}_{t+\Delta t}\} \tag{8}$$

✦ Bước 3: tính các vector vận tốc và gia tốc nút tại thời điểm (t+Δt):

$$\begin{aligned} \{\ddot{U}_{t+\Delta t}\} &= a_0 (\{U_{t+\Delta t}\} - \{U_t\}) - a_2 \{\dot{U}_t\} - a_3 \{\ddot{U}_t\}; \\ \{\dot{U}_{t+\Delta t}\} &= a_1 \{\dot{U}_t\} + a_6 \{\ddot{U}_t\} + a_7 \{\ddot{\ddot{U}}_{t+\Delta t}\}; \end{aligned} \tag{9}$$

✦ Bước 4: tính ứng suất, biến dạng, phản lực biên tại thời điểm (t+Δt);

✦ Bước 5: tăng bước thời gian $t = (t+\Delta t)$ và lặp lại từ bước 1.

Trên cơ sở thuật toán vừa nêu tác giả đã áp dụng phần mềm SAP2000 để giải bài toán. Chương trình cho phép giải bằng số các bài toán tương tác động lực học của hệ kết cấu-môi trường dưới tác dụng của tải trọng động.

4. Tính toán ảnh hưởng về thời gian tác dụng của tải trọng

Sử dụng chương trình đã được lập để khảo sát công trình nằm trong môi trường đất á cát với kết cấu công trình chịu tác dụng của siêu áp sóng xung kích lan truyền trên mặt đất có dạng quy luật đường cong $n=2$, với $\Delta P_0 = 10 \text{ T/m}^2$ và thời gian tác dụng của tải trọng sóng nổ biến đổi từ $\tau = 0,01 \div 0,05 \text{ s}$.

Sơ đồ tính được thể hiện trên hình H.2, môi trường và kết cấu được chia thành các phần tử tam giác ba nút. Môi trường đặt công trình giả thiết là một lớp đồng nhất, vật liệu đất sét có các thông số như sau: mô đun đàn hồi $E = 20.000 \text{ MPa} = 20.000 \text{ N/mm}^2$; trọng lượng riêng $\rho = 1,8 \text{ T/m}^3$; hệ số Poát-xông $\nu = 0,3$. Kết cấu công trình bằng bê tông cốt thép mác 300 có các thông số: mô đun đàn hồi $E = 24.000 \text{ MPa} = 24.000 \text{ N/mm}^2$; trọng lượng thể tích $\rho = 2,54 \text{ T/m}^3$; hệ số Poát-xông $\nu = 0,25$.

Kích thước hình học thông thủy của công trình là (3×2,5) m, nóc công trình có chiều dày 0,5 m, hai tường bên có chiều dày 0,4 m và đáy có chiều dày 0,35 m. Khoảng cách từ bề mặt môi trường đến mặt trên nóc công sự là $h_1=4$ m, khoảng cách từ mặt dưới đáy công trình đến hết miền nghiên cứu là $h_2=4,35$ m, khoảng cách từ mặt ngoài tường công trình ra hai bên biên miền nghiên cứu là bằng nhau: $L_1=L_2=7$ m.

Khi tính toán ảnh hưởng các dạng tải trọng đến trạng thái ứng suất-biến dạng của kết cấu công trình, để đơn giản nhưng không mất tính tổng quát, mô hình vật liệu của kết cấu và môi trường được giả thiết là

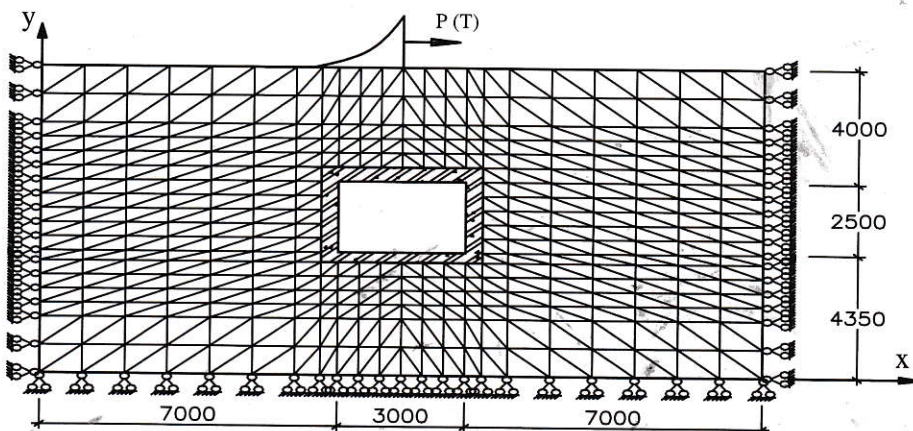
đàn hồi tuyến tính, còn tải trọng sóng nổ vừa được coi là cố định vừa được coi là di động. Tải trọng sóng xung kích trên mặt đất có qui luật [2], [5]:

$$\Delta P(t) = \Delta P_{\max} \cdot (1-t/\tau)^n = 10 \cdot (1-t/\tau)^2, T/m^2. \quad (10)$$

Với các số liệu về kết cấu, tải trọng như trên, sẽ tiến hành khảo sát các bài toán tương ứng với thời gian duy trì tải trọng tác dụng lên công trình khác nhau, cụ thể là:

- Bài toán 1: thời gian duy trì $\tau=0,01$ s;
- Bài toán 2: thời gian duy trì $\tau=0,02$ s;
- Bài toán 3: thời gian duy trì $\tau=0,04$ s;
- Bài toán 4: thời gian duy trì $\tau=0,05$ s.

Sơ đồ mô hình tính được thể hiện trên H.2.



H.2. Sơ đồ mô hình tính theo phương pháp phần tử hữu hạn

4.1. Bài toán 1

Với thời gian duy trì $\tau=0,01$ s. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian tác dụng của tải trọng đến mô men và chuyển vị tại tâm nóc công trình được thể hiện trên hình H.3.a và H.3.b.

4.2. Bài toán 2

Với thời gian duy trì $\tau=0,02$ s. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian tác dụng của tải trọng đến mô men và chuyển vị tại tâm nóc công trình được thể hiện trên hình H.4.a và H.4.b.

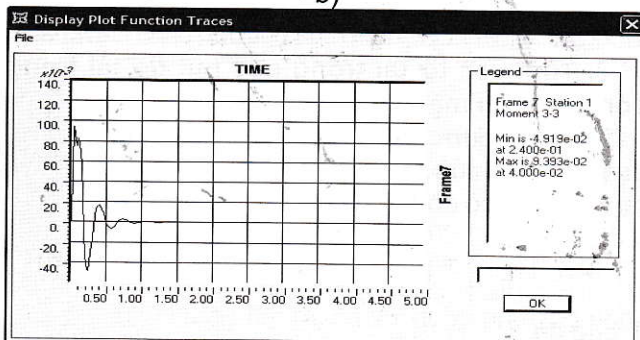
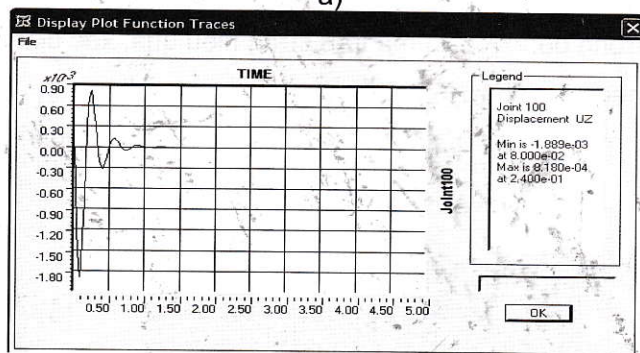
4.3. Bài toán 3

Với thời gian duy trì $\tau=0,04$ s. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian tác dụng của tải trọng đến mô men và chuyển vị tại tâm nóc công trình được thể hiện trên hình H.5.a và H.5.b.

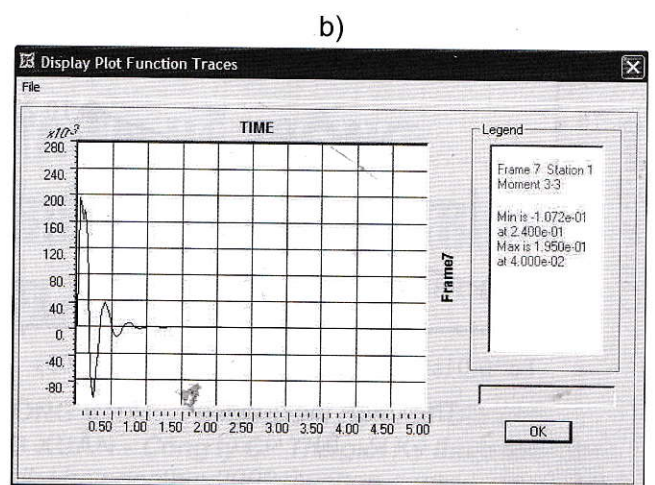
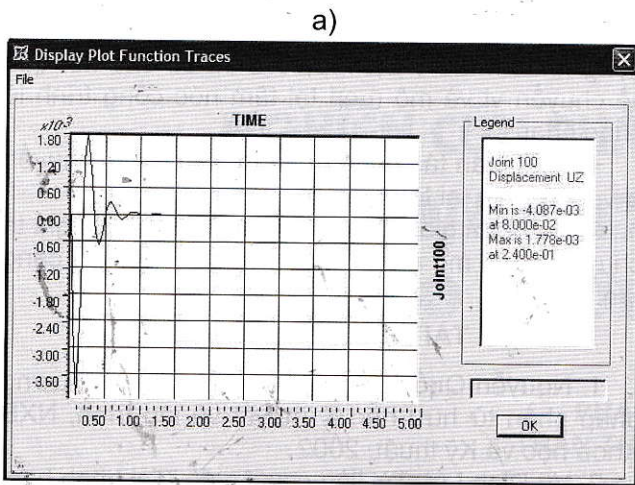
4.4. Bài toán 4

Với thời gian duy trì $\tau=0,05$ s. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian tác dụng của tải trọng đến mô men và chuyển vị tại tâm nóc công trình được thể hiện trên hình H.6.a và H.6.b.

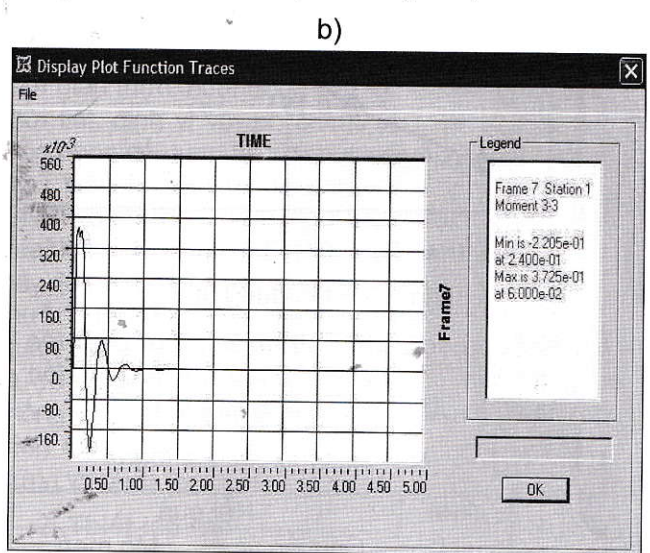
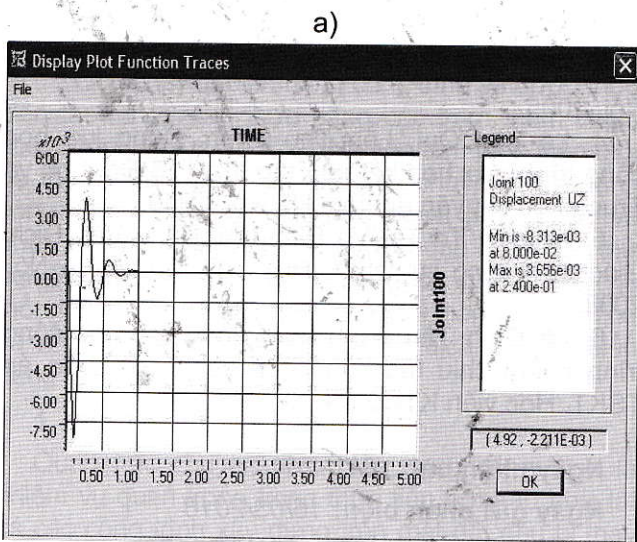
Kết quả so sánh ảnh hưởng thời gian tác dụng nổ đến chuyển vị và mô men tại tâm nóc công trình được cho trên hình H.7.



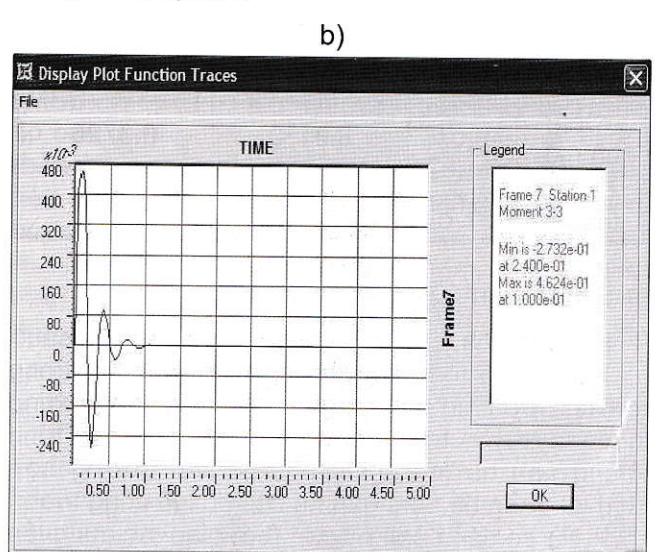
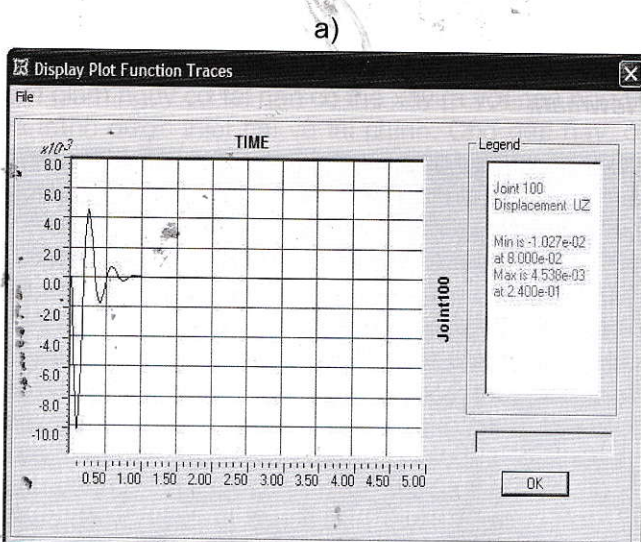
H.3. Mô men và chuyển vị tại tâm nóc công trình: a - Mô men; b - Chuyển vị



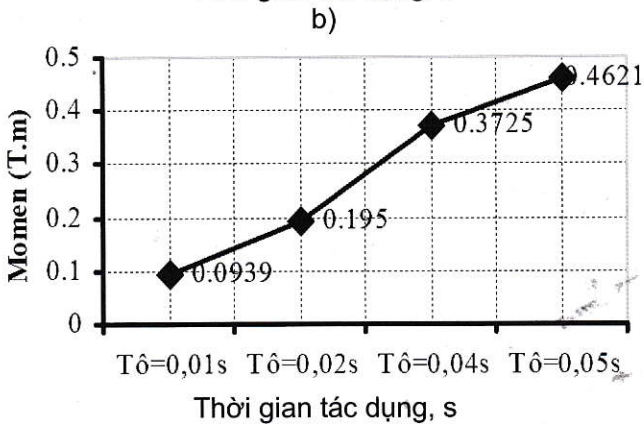
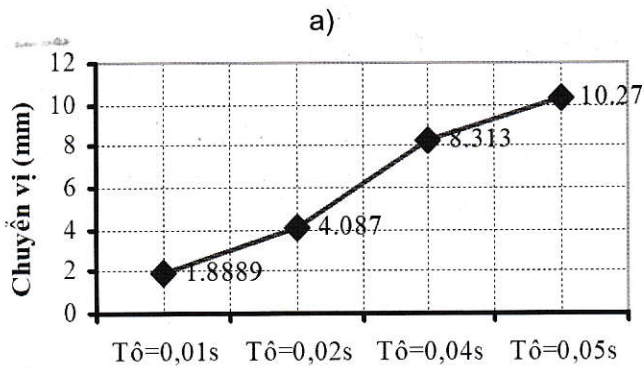
H.4. Mô men và chuyển vị và tại tâm nóc công trình: a - Mô men; b - Chuyển vị



H.5. Mô men và chuyển vị và tại tâm nóc công trình: a - Mô men; b - Chuyển vị



H.6. Mô men và chuyển vị và tại tâm nóc công trình: a - Mô men; b - Chuyển vị



H.7. Kết quả so sánh ảnh hưởng thời gian tác dụng nổ lên công trình: a - Ảnh hưởng đến chuyển vị; b - Ảnh hưởng đến momen

Bảng 1. Tổng hợp so sánh các bài toán

Các bài toán	Thời gian τ (s)	Kết quả	
		Chuyển vị (mm)	Mô men (T.m)
Bài toán 1	0,01	1,8889	0,0939
Bài toán 2	0,02	4,0870	0,1950
Bài toán 3	0,04	8,3130	0,3725
Bài toán 4	0,05	10,270	0,4621

5. Kết luận

Kết quả tính toán trên có thể rút ra kết luận sau:

- > Khi tính toán kết cấu công trình ngầm trong trường hợp chịu tác dụng của tải trọng sóng xung kích lan truyền trên mặt đất thì kết cấu công trình không ảnh hưởng nhiều như so với trường hợp chịu tải trọng do bom đạn nổ cục bộ lên công trình;
- > Từ so sánh ảnh hưởng thời gian tác dụng lên công trình trên hình H.7, nếu cùng dạng tải trọng sóng xung kích và cùng cường độ tải trọng động

tác dụng lên kết cấu công trình nhưng thời gian tác dụng khác nhau $\tau=0,01\div 0,05$ s thì sẽ cho kết quả về chuyển vị và mô men tại tâm nóc công trình là khác nhau:

- ✦ Thời gian tác dụng ngắn thì các giá trị chuyển vị và mô men tại tâm nóc công trình nhỏ;
- ✦ Nếu thời gian tác dụng càng lớn thì các giá trị chuyển vị và mô men tại tâm nóc công trình càng lớn. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Quốc Bảo, Trần Nhất Dũng. Phương pháp phần tử hữu hạn lý thuyết và lập trình, NXB Khoa học và Kỹ thuật. 2002.
2. Vũ Đình Lợi. Tài liệu chuyên đề "Tải trọng bom đạn tác động lên công sự". Khoa Công trình Quân sự. Học viện KTQS. Hà Nội. 2006.
3. Phùng Thị Nguyệt. Tính toán kết cấu với SAP2000. Nhà xuất bản Giao thông Vận tải. Hà Nội. 2005.
4. Lê Văn Quý, Lều Thọ Trình. Động lực học công trình. Cơ học kết cấu tập III. NXB Đại học và Trung học chuyên nghiệp, Hà Nội. 1979
5. Nguyễn Trí Tá, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Đích. Giáo trình công sự tập 1. Học viện KTQS. Hà Nội. 2008.
6. Lê Đình Tân. Tính toán động lực học công trình ngầm chịu tác dụng của sóng nổ, Luận án TSKT. Học viện KTQS. 2000.

Ngày nhận bài: 16/01/2018

Ngày gửi phản biện: 16/03/2018

Ngày nhận phản biện: 28/06/2018

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/08/2018

Từ khóa: sóng nổ; bom đạn; thời gian nổ; trạng thái ứng suất-biến dạng; kết cấu công trình ngầm quân sự; phương pháp tích phân trực tiếp Newmark

SUMMARY

This article presents a method of resolving the problem of structural dynamics underground military environment under the effect of the blast wave load bombs and make the calculation results affect duration of the blast wave state of stress-deformation of structures. The problem is solved by the finite element method. Algorithm to solve the problem is the direct integration method Newmark.