

Ứng dụng phần mềm Abaqus tính toán áp lực tại một điểm trên mặt đất chịu tác dụng của sóng xung kích do hai vụ nổ liên tiếp

Abaqus software application calculate the pressure at one point on the soil surface effected by shock waves due to two sequential explosions

> TS LÊ HẢI DƯƠNG

Viện Kỹ thuật Công trình đặc biệt

TÓM TẮT

Tính kết cấu công trình chịu tác dụng của sóng xung kích do một vụ nổ gây ra không còn là vấn đề riêng của lĩnh vực công trình quân sự, mà nhiều công trình công cộng đã đề cập đến và yêu cầu phải tính toán. Tuy nhiên, các bài toán mới xét đến tác dụng độc lập của sóng xung kích do một vụ nổ gây ra. Thực tế cho thấy, công trình có thể tiếp nhận tiếp nhận cùng một lúc hai hay nhiều nguồn sóng xung kích, hoặc tiếp nhận liên tiếp trong một khoảng thời gian rất ngắn. Hiện nay, chưa có nhiều nghiên cứu lý thuyết về tác dụng liên tiếp sóng xung kích của các vụ nổ, nghiên cứu thực nghiệm cũng rất ít công bố, các công thức chuyên ngành hiện có để tính toán kết cấu chịu tác dụng liên tiếp của nhiều sóng xung kích chưa thể đáp ứng các lớp bài toán khác nhau. Với sự phát triển của khoa học công nghệ, nhiều phần mềm chuyên ngành có thể giải quyết được một số bài toán phức tạp như tác dụng của nhiều sóng xung kích. Trong đó, phải kể đến phần mềm Abaqus.

Từ khóa: Sóng xung kích; tác dụng liên tiếp; phần mềm abaqus.

ABSTRACT

Calculating the structure under the effects of a shock wave caused by an explosion is no longer exclusively of the field of military works, but many public works have mentioned and required calculations. However, the problems only consider the independent effects of shock waves caused by an explosion. Reality, the building can receive and receive at the same time two or more shock wave sources, or receive consecutively in a very short period of time. At present, there are not many theoretical studies on the effects of shock waves in succession of explosions, experimental studies are also very few published, and specialized formulas are available to calculate structures subjected to successive effects. of many shock waves cannot satisfy different classes of problems. With the development of science and technology, many specialized software can solve some complex problems such as the effect of many shock waves. In which, Abaqus software must be mentioned.

Keywords: Shock waves; successive effects; software abaqus.

1. GIỚI THIỆU

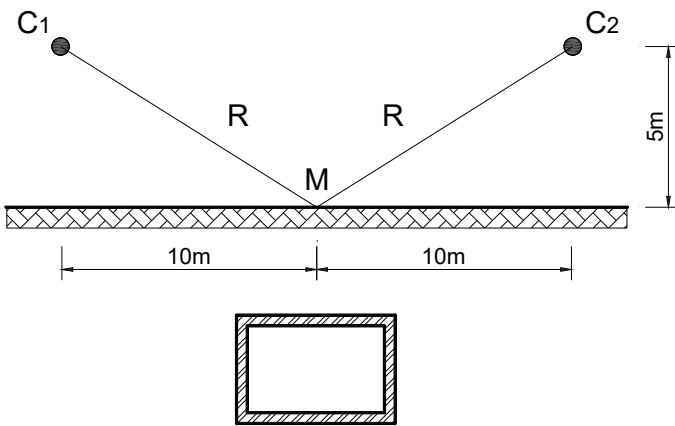
Sóng xung kích (Shock wave) là một mặt gián đoạn lan truyền trong môi trường không khí mà khi đi qua mặt truyền sóng các thông số khí động, nhiệt động như mật độ, áp suất, nhiệt độ, vận tốc, ... bị gián đoạn với các bước nhảy hữu hạn. Sóng xung kích được hình thành khi vật chất nổ trong không khí, môi trường không khí xung quanh khối thuốc nổ lập tức bị nén mạnh và lan truyền ra xung quanh với tốc độ rất lớn, tạo nên sự nhảy vọt các tham số trạng thái khí như mật độ, nhiệt độ, áp suất... Tham số quan trọng nhất khi nghiên cứu về sóng xung kích là siêu áp mặt sóng (ΔP_0), là cơ sở để xác định các tham số khác, cũng là nhân tố để xác định áp lực tác dụng lên chướng ngại đặt nổi trên mặt đất, hoặc xác định áp lực sóng nén tác dụng lên công trình đặt trong đất.

Muốn xác định được tải trọng do sóng nén tác dụng lên công trình đặt trong đất, trước hết phải xác định áp lực sóng xung kích tại điểm trên mặt đất phía trên công trình. Đối với bài toán chỉ có

một vụ nổ, có đầy đủ cơ sở lý thuyết để xác định áp lực tại điểm trên mặt đất, nên việc tính toán rất tường minh, có thể giải quyết bài toán bằng phương pháp giải tích một cách đơn giản. Với bài toán có từ hai vụ nổ liên tiếp xảy ra, việc ứng dụng phần mềm chuyên dụng vào tính toán áp lực tại điểm khảo sát trên mặt đất nhằm giải quyết những bài toán phức tạp, đồng thời so sánh giữa nghiên cứu bằng phương pháp mô phỏng số với lý thuyết tính toán hiện có.

2. BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU

Công trình nằm sâu trong đất, chịu tác dụng của hai vụ nổ liên tiếp trên mặt đất. Sóng xung kích từ hai vụ nổ gây ra áp lực tại điểm M, hình thành sóng nén lan truyền trong đất tác dụng lên kết cấu công trình dưới dạng tải trọng động tác dụng ngắn hạn. Nhiệm vụ đặt ra là phải xác định áp lực sóng xung kích tại điểm M trên mặt đất khi hai khối chất nổ C_1 và C_2 nổ liên tiếp nhau.



Hình 1 - Mô hình bài toán

Mô hình nghiên cứu là hai lượng nổ $C_1 = C_2 = 100\text{kg}$ thuốc nổ TNT, đặt cao hơn mặt đất 5,0m, tâm chấn cách điểm M một khoảng 10,0m. Bề mặt đất được lu nền chặt, có mô đun đàn hồi $E = 4250$ Mpa. Hai lượng nổ nổ cách nhau một khoảng thời gian theo bài toán khảo sát với các trường hợp: hai sóng xung kích giao nhau ở vùng pha nén; hai sóng xung kích giao nhau ở vùng pha giãn; hai sóng xung kích không giao nhau.

2.1. Cơ sở lý thuyết

Bằng thực nghiệm giáo sư Xa-đốp-sky đã xác định được trị số siêu áp mặt sóng xung kích khi nổ trong môi trường không khí vô

hạn ở khoảng cách $R \geq 0,8 \sqrt[3]{C}$ [1][2]:

$$\Delta P_{\phi} = 0,84 \frac{\sqrt[3]{C}}{R} + 2,7 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^2 + 7 \left(\frac{\sqrt[3]{C}}{R} \right)^3 \quad (1)$$

trong đó:

- ΔP_{ϕ} là siêu áp mặt sóng, kg/cm^2 ;
- C là trọng lượng của khối thuốc nổ, kg ;
- R là khoảng cách từ điểm tính toán đến tâm nổ, m .

Sóng xung kích lan truyền trong khu gần, gặp mặt đất phản xạ lại (phản xạ chính diện) hình thành sóng mới gọi là sóng phản xạ (ΔP_{fx}) [1][2]:

$$\Delta P_{fx} = 2\Delta P_{\phi} + \frac{6\Delta P_{\phi}}{\Delta P_{\phi} + 7,2} \quad (2)$$

Sóng xung kích lan truyền trong khu xa, gặp sóng phản xạ từ mặt đất tạo thành sóng kết hợp, gọi là sóng bề mặt (ΔP_{bm}) [1][2]:

$$\Delta P_{bm} = \Delta P_{\phi} \left(1 + 7 \frac{\Delta P_{\phi} + 1}{\Delta P_{\phi} + 7,2} \cdot \frac{R + H}{2R} \right) \quad (3)$$

Trong một loạt nổ, các khối nổ cùng loại chất nổ, cùng cơ chế gây nổ nên coi công suất của mỗi khối chất nổ là không đổi và điều khiển nổ đều. Do đó, tính chất và các tham số của sóng xung kích do mỗi khối chất nổ sinh ra (khi xét nổ độc lập) là như nhau. Tuy nhiên, do ảnh hưởng của siêu áp mặt sóng sơ cấp $\Delta P_{\phi(i-1)}$ làm tăng mật độ môi trường, gây ảnh hưởng đến mật độ sóng thứ cấp $\Delta P_{\phi(i)}$. Khi đó, siêu áp mặt sóng thứ cấp xác định theo công thức [4]:

$$\Delta P_{\phi(i)} = \alpha(\rho_{i-1}) \Delta P_{\phi(i-1)} \quad (4)$$

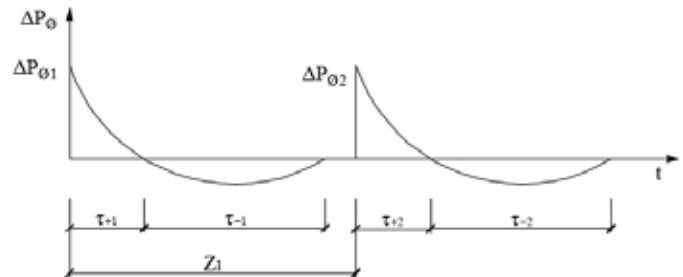
trong đó, $\alpha(\rho_{i-1})$ là hàm số phản ánh ảnh hưởng mức tăng mật độ môi trường do sóng sơ cấp ($i-1$) gây ra đến siêu áp mặt sóng thứ cấp (i).

Cường độ mặt sóng xung kích phụ thuộc vào mật độ môi trường trước mặt sóng, mà mật độ môi trường cao hay thấp lại tùy thuộc vào thời điểm xuất hiện sóng thứ cấp (i). Điều đó có nghĩa là,

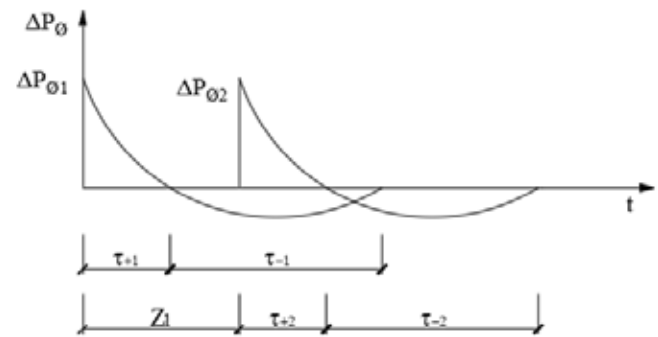
áp lực tại điểm M không những phụ thuộc vào quy luật biến thiên siêu áp sau mặt sóng theo thời gian và độ cứng bề mặt đất, mà còn phụ thuộc vào mối tương quan giữa chu kỳ sóng (Z) và thời gian tồn tại nhiều động nén của sóng (τ_+) theo biểu thức (5).

$$\bar{Z} = \frac{Z}{\tau_+} \quad (5)$$

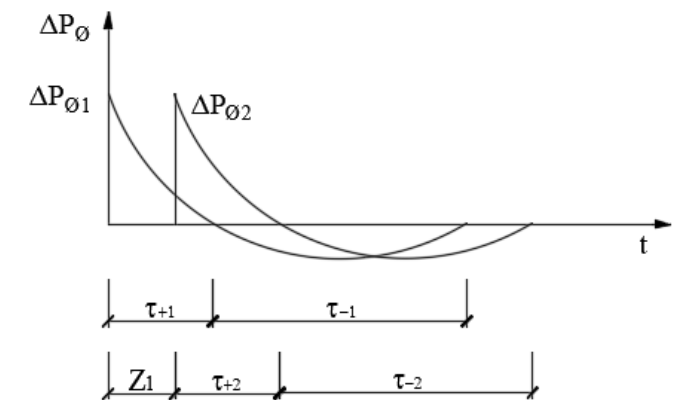
Hay nói cách khác, cường độ mặt sóng thứ cấp cũng phụ thuộc vào vị trí của nó so với mật độ sóng sơ cấp trên biểu đồ áp lực theo thời gian (Hình 2, 3, 4, 5).



Hình 2 - Chu kỳ sóng lớn hơn tổng thời gian duy trì pha nén và pha giãn



Hình 3 - Chu kỳ sóng nằm ngoài thời gian duy trì pha nén và trong pha giãn



Hình 4 - Chu kỳ sóng nằm trong thời gian duy trì pha nén

Để xác định được giá trị siêu áp mặt sóng xung kích thứ cấp, các nhà khoa học [4], đã nghiên cứu thí nghiệm hiện trường kết hợp với tính toán, xây dựng tập hợp thống kê biểu hiện sự phụ thuộc tải trọng và hệ số động lực vào số vụ nổ trong loạt nổ và tỷ số giữa chu kỳ sóng với thời gian duy trì tác dụng nén của mỗi sóng. Từ tập thống kê đó, xác định hàm ảnh hưởng mức độ tăng mật độ môi trường và siêu áp mặt sóng thứ cấp, từ đó tính ra giá trị trung bình của hàm $\alpha(\rho_{i-1})$ trong từng khoảng $(\bar{Z}_{\alpha}, \bar{Z}_{\beta})$ nhất định [4].

Bảng 1: Giá trị trung bình của hàm $\alpha(\rho_{i-1})$

$(\bar{z}_\alpha; \bar{z}_\beta)$	$\alpha(\rho_1)$	$\alpha(\rho_2)$	$\alpha(\rho_3)$	$\alpha(\rho_4)$
0,05; 0,15	1,510	1,078	1,056	1,034
0,15; 0,30	1,393	1,053	1,032	1,027
0,30; 0,60	1,198	1,036	1,018	1,009

Loại nổ có hai lượng nổ, công thức (4) xác định được giá trị siêu áp mặt sóng thứ cấp theo mặt sóng sơ cấp viết lại như sau [4]:

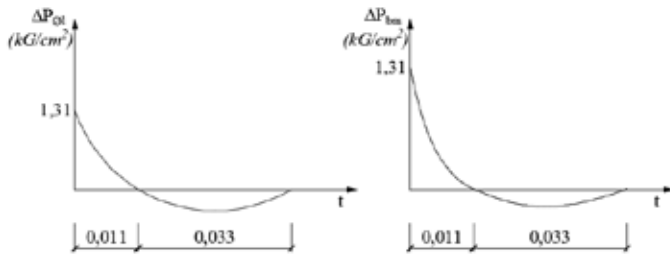
$$\Delta P_{\phi 2} = \alpha(\rho_1) \Delta P_{\phi 1} \quad (6)$$

2.2. Giải bài toán theo công thức lý thuyết

Siêu áp mặt sóng xung kích xác định theo (1), sóng bề mặt xác định theo (2), các tham số của sóng xác định theo công thức thực nghiệm của Xa-đốp-sky, được phương trình siêu áp mặt sóng tại điểm M do lượng nổ thứ nhất C_1 gây ra:

$$\Delta P_{\phi 1} = 1,31 \left(1 - \frac{t}{0,011} \right)^3 \text{ (KG/cm}^2\text{)} \quad (7)$$

$$\Delta P_{bm1} = 3,12 \left(1 - \frac{t}{0,011} \right)^3 \text{ (KG/cm}^2\text{)} \quad (8)$$



a) Biểu đồ sóng xung kích b) Biểu đồ sóng bề mặt

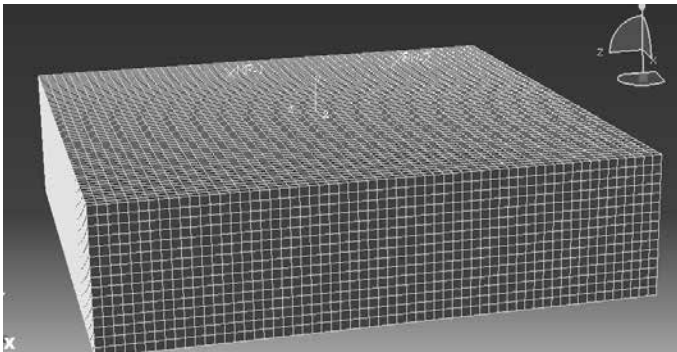
Hình 5 - Biểu đồ áp lực sóng xung kích, sóng bề mặt tại điểm M

Siêu áp mặt sóng tại điểm M do lượng nổ thứ hai C_2 gây ra xác định theo (4) với chu kỳ gây nổ $Z_1 = 0,002s$ (Chu kỳ sóng nằm trong thời gian duy trì pha nén):

$$\Delta P_{bm2} = 5,07 \left(1 - \frac{t}{0,011} \right)^4 \text{ (KG/cm}^2\text{)} \quad (9)$$

Hai trường hợp còn lại: chu kỳ sóng nằm ngoài thời gian duy trì pha nén và trong pha giãn; chu kỳ sóng lớn hơn tổng thời gian duy trì pha nén và pha giãn, siêu áp mặt sóng xung kích thứ cấp do lượng nổ C_2 gây ra so với siêu áp mặt sóng sơ cấp do lượng nổ C_1 gây ra tăng không đáng kể nên xem như không ảnh hưởng bởi trường siêu áp sóng xung kích.

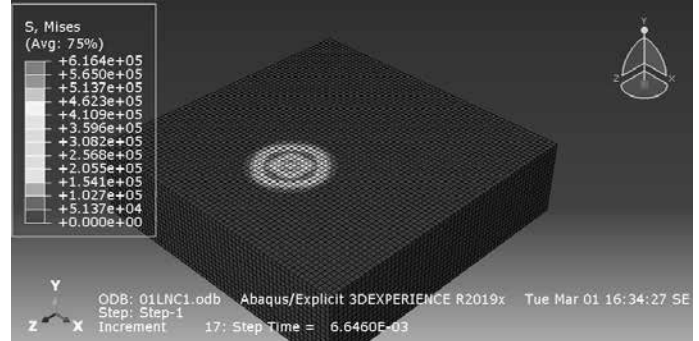
$$\Delta P_{bm1} = \Delta P_{bm1} = 3,12 \left(1 - \frac{t}{0,011} \right)^3 \text{ (KG/cm}^2\text{)} \quad (10)$$



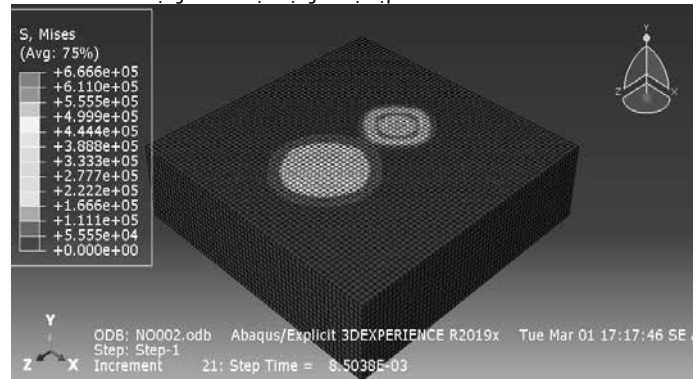
Hình 6 - Mô hình thử nghiệm số bằng phần mềm Abaqus

2.3. Thử nghiệm số

Thử nghiệm số bằng phần mềm Abaqus, mô hình nền có $E = 4250\text{Mpa}$, kích thước $30\text{m} \times 30\text{m} \times 10\text{m}$, chia lưới $1,0\text{m}$. Lượng nổ RP-1 và RP-2 cùng khối lượng 100kg , đặt trên không khí, cao hơn mặt nền $5,0\text{m}$, khoảng cách đến điểm khảo sát $10,0\text{m}$.

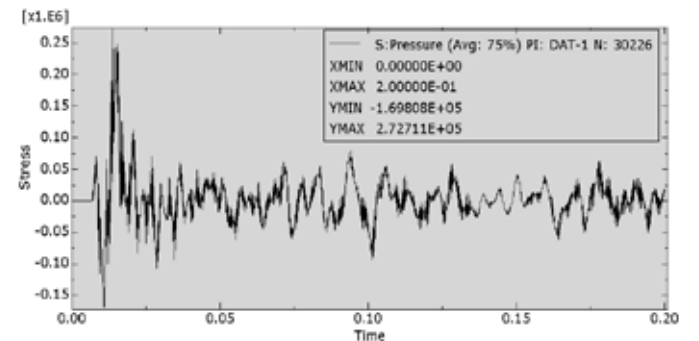


Hình 7 - Tác dụng nổ của một lượng nổ độc lập

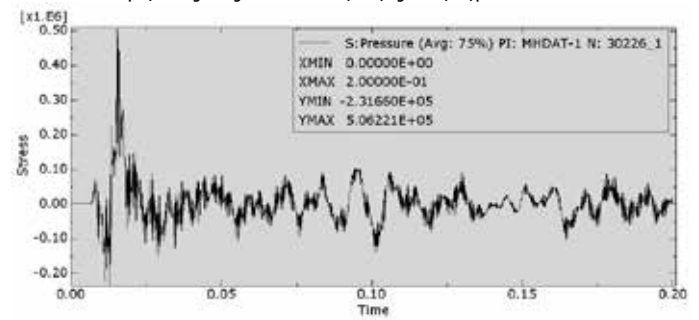


Hình 8 - Tác dụng nổ của hai lượng nổ liên tiếp

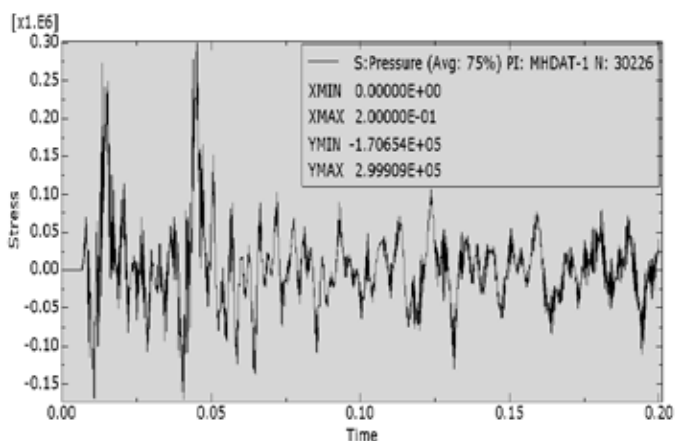
Chu kỳ nổ Z_1 thay đổi tùy theo điều kiện bài toán khảo sát để đánh giá mức độ ảnh hưởng lẫn nhau của các sóng xung kích khi loạt nổ liên tiếp các lượng nổ. Kết quả khảo sát nhận được biểu đồ sóng xung kích tại điểm M như sau:



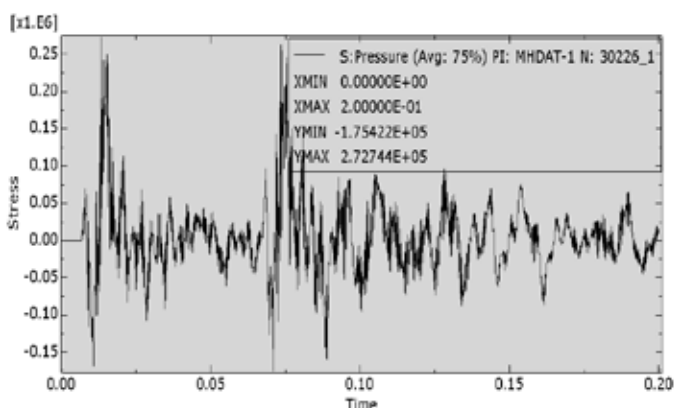
Hình 9 - Áp lực sóng xung kích khi nổ một lượng nổ độc lập



Hình 10 - Áp lực sóng xung kích khi nổ liên tiếp hai lượng nổ, chu kỳ nổ $Z_1 = 0,002s$



Hình 11 - Áp lực sóng xung kích khi nổ liên tiếp hai lượng nổ, chu kỳ nổ $Z_1 = 0,03s$



Hình 12 - Áp lực sóng xung kích khi nổ liên tiếp hai lượng nổ, chu kỳ nổ $Z_1 = 0,06s$

Bảng 2: Giải trị lớn nhất của áp lực mặt sóng tại điểm M (kg/cm^2) tính theo công thức lý thuyết và thử nghiệm số trên phần mềm Abaqus

Phương pháp	Một lượng nổ độc lập	Chu kỳ hai lượng nổ liên hoàn		
		$Z_1 = 0,002s$	$Z_1 = 0,03s$	$Z_1 = 0,06s$
Công thức lý thuyết	3,12	5,07	3,12	3,12
Thử nghiệm số	2,73	5,06	2,99	2,73

NHẬN XÉT:

- Kết quả nghiên cứu theo hai phương pháp là tương đồng, phản ánh độ tin cậy của phương pháp nghiên cứu. Nghiên cứu trên mô hình thử nghiệm số cho kết quả nhỏ hơn, thể hiện tính an toàn của nghiên cứu lý thuyết và công thức tính xây dựng từ kết quả thực nghiệm hiện trường. Mặt khác, nghiên cứu thử nghiệm số thể hiện một cách đầy đủ quá trình duy trì áp lực mặt sóng theo thời gian cũng như ảnh hưởng của áp lực sóng sơ cấp đến áp lực sóng thứ cấp. Đây là cơ sở để xây dựng mô hình tải trọng động làm đầu vào trong tính toán kết cấu công trình đặt sâu trong đất chịu tác dụng của sóng xung kích lan truyền trên mặt đất do tác dụng nổ liên tiếp của các lượng nổ.

- Tác dụng của lượng nổ thứ cấp tăng lên đáng kể khi lượng nổ thứ hai gây ra siêu áp mặt sóng xung kích thứ cấp nằm trong vùng nén của sóng xung kích sơ cấp, nhưng gần như không gia tăng khi mặt sóng xung kích thứ cấp nằm trong vùng dãn hoặc nằm ngoài thời gian tác dụng của sóng xung kích sơ cấp.

3. KẾT LUẬN

Các kết quả thu được khẳng định tính hợp lý của phương pháp nghiên cứu thử nghiệm số trên mô hình bằng phần mềm Abaqus, phù hợp với kết quả nghiên cứu bằng thí nghiệm hiện trường để xây dựng công thức tính toán lý thuyết do các nhà khoa học thuộc Khoa Công trình quân sự (nay là Viện Kỹ thuật Công trình đặc biệt) đã thực hiện.

Khi tạo loạt nổ, chu kỳ gây nổ có vai trò quan trọng quyết định cường độ tác dụng của sóng nổ. Trong đó, chu kỳ nổ tạo ra mặt sóng xung kích thứ cấp trong vùng tác dụng nén của sóng sơ cấp làm gia tăng áp lực. Đây là cơ sở để tính toán tải trọng tác dụng lên công trình khi chịu tác dụng liên tiếp của các lượng nổ cũng như thiết kế chu kỳ gây nổ với mục đích sử dụng khác nhau

Kết quả thu được cung cấp thêm một cách tiếp cận mới, một hình thức nghiên cứu mới cho vấn đề nghiên cứu mới là tác dụng nổ liên tiếp của các lượng nổ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Trí Tá, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Đích (2008), *Giáo trình công sự tập 1*, Học viện Kỹ thuật quân sự: 71-92.
- [2] Vũ Đình Lợi (2005), *Giáo trình Công sự (dùng cho học viên cao học chuyên ngành xây dựng CTQP)*, Học viện Kỹ thuật quân sự: 23-36.
- [3] Vũ Đình Lợi (2002), *Tập bài giảng truyền sóng nổ và tải trọng nổ*, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [4] Nguyễn Thuận, Đỗ Như Tráng, Lê Hồng Đức, Lưu Trọng Giang (1980), *Phương pháp xác định siêu áp mặt sóng xung kích gây ra bởi nhiều vụ nổ liên tiếp của bom máy bay B-52 trên mục tiêu*, Học viện Kỹ thuật quân sự.
- [5] Dragos, J., Wu, C. (2014). *Interaction between direct shear and flexural responses for blast loaded one way reinforced concrete slabs using a finite element model*. Engineering Structures, 72:193-202.
- [6] Kot, C. A., Valentin, R. A., McLennan, D. A., Turula, P. (1978). *Effects of air blast on power plant structures and components*. Technical report, Argonne National Lab, IL (USA).
- [7] ABAQUS Theory Manual, revision 2020, Pawtucket, Rhode Island, USA, 2020.