

Nghiên cứu ảnh hưởng độ cứng của nền đến áp lực của sóng xung kích trên mặt đất bằng phần mềm Abaqus

Research on the effect of soil surface hardness on pressure of shock waves on the ground by using Abaqus software

> PGS.TS NGUYỄN TRÍ TÁ¹, KS HÀ DUY TÂN¹

¹ Học viện Kỹ thuật Quân sự

TÓM TẮT

Bài báo trình bày sự hình thành và lan truyền của sóng xung kích khi nổ trong không khí. Phương pháp xác định áp lực sóng tới, sóng phản xạ và sóng bề mặt khi sóng xung kích tiếp xúc với mặt đất và kết quả nghiên cứu bằng phần mềm Abaqus về ảnh hưởng của độ cứng bề mặt đất đến áp lực sóng phản xạ và sóng bề mặt trên mặt đất. Từ đó có những khuyến cáo về việc tính toán áp lực sóng phản xạ và sóng bề mặt khi xét đến độ cứng của nền đất.

Từ khóa: Sóng xung kích; sóng phản xạ; độ cứng bề mặt, phần mềm abaqus.

ABSTRACT

The paper presents the formation and propagation of shock waves when exploding in air. Method of determining incident wave pressure, reflected wave and surface wave when the shock wave is in contact with the ground and research results using Abaqus software on the influence of soil surface hardness on reflected wave pressure and surface waves on the ground. From there, recommendations are made on the calculation of reflected wave pressure and surface wave when considering the stiffness of the ground.

Keywords: Shock waves; reflected wave; soil surface hardness; software abaqus.

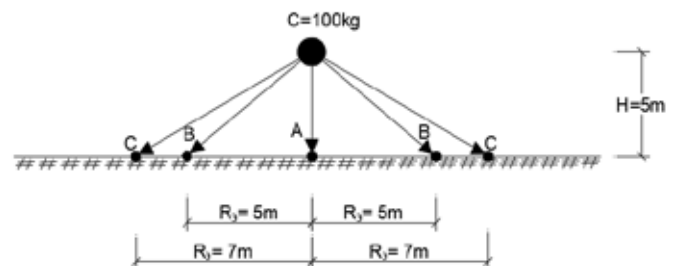
1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sóng xung kích do nổ trong không khí khi lan truyền đến bề mặt đất sẽ gây ra hiện tượng phản xạ, làm tăng giá trị áp lực của sóng xung kích tác dụng lên các công trình. Tùy theo vị trí công trình so với chấm tâm, giá trị áp lực có thể là sóng phản xạ hoặc sóng bề mặt (là sóng kết hợp của sóng phản xạ và sóng tới). Thực

tế, áp lực sóng phản xạ hay sóng bề mặt sẽ phụ thuộc vào nhiều yếu tố: cường độ áp lực, độ cứng của bề mặt tiếp nhận, độ lún của nền đất ... Hiện nay, lý thuyết tính toán áp lực phản xạ hay sóng bề mặt đều giả thiết nền đất cứng tuyệt đối, không chuyển vị, trong khi nền đất không hoàn toàn như vậy, nền đất có mô đun đàn hồi khác nhau ở những vị trí và thời điểm khác nhau, có chuyển vị không tuyệt đối cứng. Vì vậy, tính chất mềm của nền thông qua các chuyển vị nền khi chịu tác dụng của áp lực sóng xung kích sẽ làm hấp thụ một phần năng lượng của sóng xung kích. Do đó, áp lực sóng phản xạ hay sóng bề mặt trên mặt đất cũng sẽ giảm so với tính toán lý thuyết khi coi nền đất là cứng tuyệt đối.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU

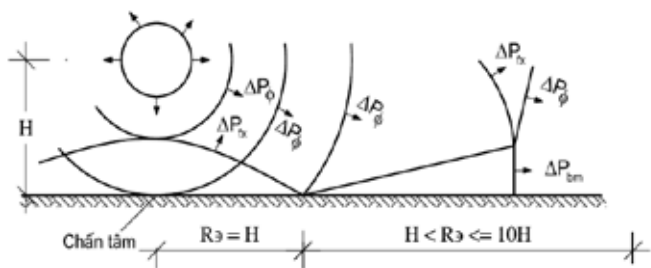
Có một vụ nổ trong không khí cách mặt đất là H với khối lượng thuốc nổ là C . Nhiệm vụ tính toán áp lực sóng xung kích trên mặt đất tại điểm A với $R_0 = 0m$, đây là điểm sẽ nhận sóng phản xạ chính diện. Tại điểm B với $R_0 = 5m$, đây là điểm biên giới giữa sóng phản xạ và sóng bề mặt và tại điểm C với $R_0 = 7m$, đây là điểm sẽ nhận sóng bề mặt hình 1. Bề mặt đất có mô đun đàn hồi E thay đổi với các giá trị sau E : 50 MPa, 100 MPa, 250 MPa, 500 MPa, 1000 MPa, 2000 MPa, 3000 MPa, 4000 MPa, 5000 MPa. Các tham số mật độ khối lượng ρ và hệ số Poisson ν là không đổi.



Hình 1. Mô hình bài toán

2.1. Cơ sở lý thuyết

Khi 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 nhay vọt các tham số trạng thái khí như mật độ, nhiệt độ, áp suất. Từ những đặc điểm như vậy đã hình thành sóng xung kích. Với sự lan truyền của sóng xung kích như trên hình 2.



ΔP_ϕ là siêu áp mặt sóng tới, $\Delta P_{\phi x}$ là siêu áp mặt sóng phản xạ, ΔP_{bm} là siêu áp mặt sóng bề mặt

Hình 2. Sự lan truyền của sóng xung kích

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 khi $R_3 \leq H$ gặp mặt đất phản xạ lại (phản xạ chính diện) hình thành sóng mới gọi là sóng phản xạ ($\Delta P_{\phi x}$) [1][2]:

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

Sóng xung kích lan truyền trong khu xa khi $H \leq R_3 \leq 10H$, gặp sóng phản xạ từ mặt đất kết hợp với sóng tới, gọi là sóng bề mặt (ΔP_{bm}) [1][2]:

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

Quy luật của sóng xung kích theo thời gian:

$$\Delta P_{(t)} = \Delta P_{\max} \left(1 - \frac{t}{\tau} \right)^n \quad (4)$$

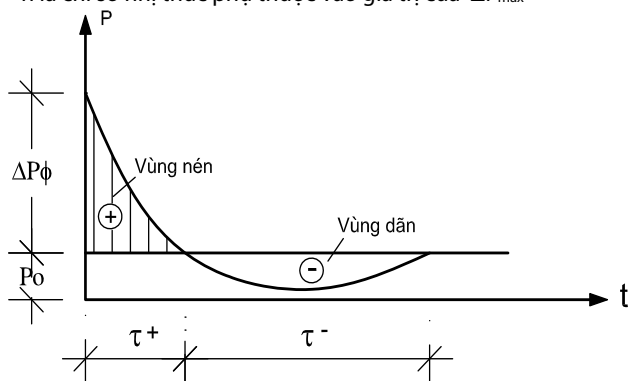
Trong đó:

ΔP_{\max} có thể là áp lực sóng tới, áp lực sóng phản xạ hoặc áp lực sóng bề mặt

τ là thời gian tác dụng của pha nén phụ thuộc vào giá trị của

ΔP_{\max} và tỷ số $\frac{R}{\sqrt[3]{C}}$

n là chỉ số nhệ thức phụ thuộc vào giá trị của ΔP_{\max}



Hình 3. Quy luật của sóng xung kích theo thời gian

2.2. Giải bài toán theo công thức lý thuyết

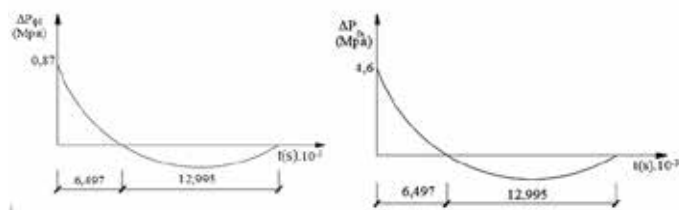
Các tham số của sóng xác định theo công thức thực nghiệm của Xa-đốp-sky, theo đó, áp lực của sóng tới ΔP_ϕ được xác định theo công thức (1), áp lực sóng phản xạ $\Delta P_{\phi x}$ được xác định theo công thức (2) và áp lực sóng bề mặt ΔP_{bm} được xác định theo công thức (3). Kết quả tính toán áp lực tại các điểm A, B, C như sau:

a. Tại điểm A

Áp lực sóng tới: $\Delta P_\phi = 0,87 \left(1 - \frac{t}{0,006497} \right)^5, (\text{Mpa}),$

Áp lực sóng phản xạ: $\Delta P_{\phi x} = 4,6 \left(1 - \frac{t}{0,006497} \right)^2, (\text{Mpa}).$

Quy luật của sóng tới và sóng phản xạ theo thời gian



a. Quy luật của sóng tới tại điểm A b. Quy luật của sóng phản xạ tại điểm A

Hình 4. Quy luật của sóng tới và sóng phản xạ theo thời gian tại điểm A

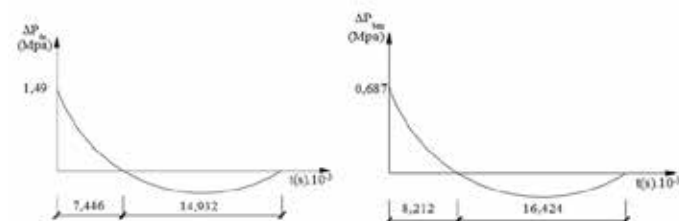
b. Tại điểm B và điểm C

Áp lực sóng phản xạ tại điểm B:

$$\Delta P_{\phi x} = 1,49 \left(1 - \frac{t}{0,007446} \right)^2, (\text{Mpa}),$$

Áp lực sóng bề mặt tại điểm C:

$$\Delta P_{bm} = 0,687 \left(1 - \frac{t}{0,008212} \right)^5, (\text{Mpa}).$$

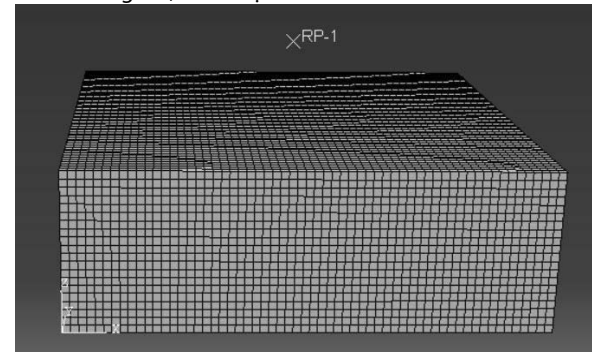


a. Quy luật của sóng phản xạ tại điểm B b. Quy luật của sóng bề mặt tại điểm C

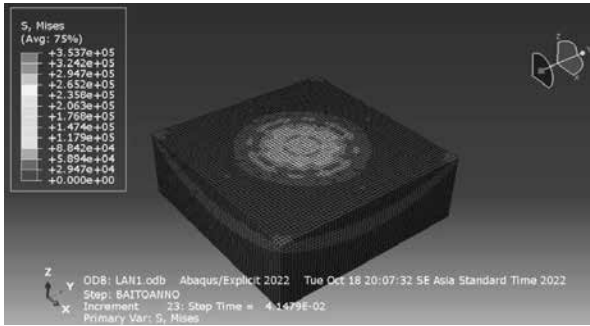
Hình 5. Quy luật của sóng phản xạ tại điểm B và sóng bề mặt tại điểm C

2.3. Kết quả tính áp lực sóng theo phần mềm Abaqus

Nền đất được chọn với kích thước $30 \times 30 \times 10$ (m), liên kết cứng cố định tại đáy, trọng lượng riêng $\gamma = 1600 \text{kg/m}^3$ và hệ số Poisson $\nu = 0,3$. Điểm xác định áp lực cách tâm chấn lần lượt là $R_3 = 0\text{m}$; $R_3 = 5\text{m}$; $R_3 = 7\text{m}$. Khối thuốc nổ TNT có trọng lượng 100kg nằm trên không khí, cách mặt đất 5m .



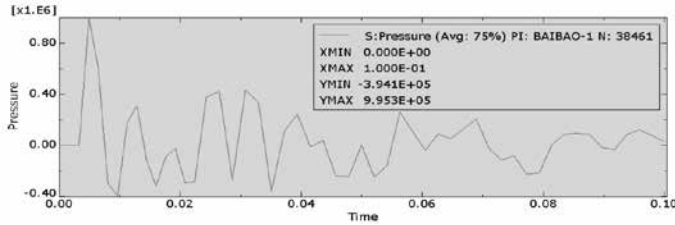
Hình 6. Mô hình bài toán



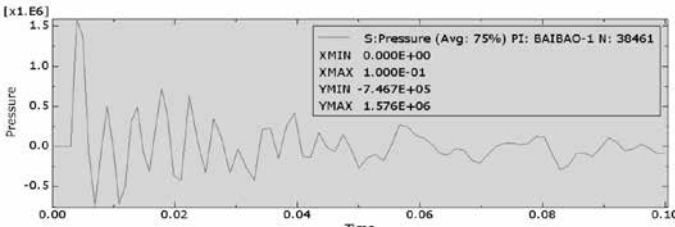
Hình 7. Mô hình tác dụng nổ và áp lực sóng xung kích lên bề mặt nền đất

a. Áp lực sóng phản xạ tại điểm A

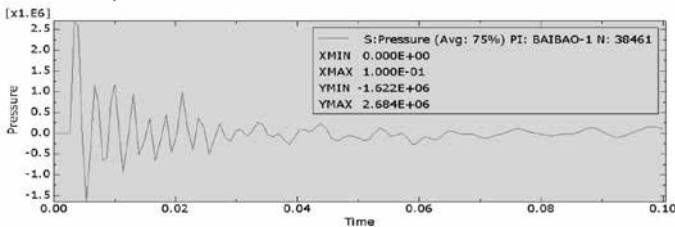
Kết quả mô phỏng với các trường hợp thay đổi mô đun đàn hồi E của nền đất:



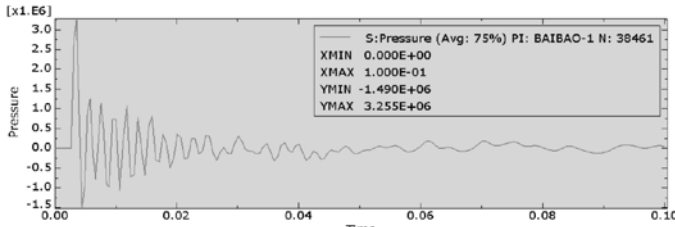
Hình 8. Áp lực P (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 50 MPa



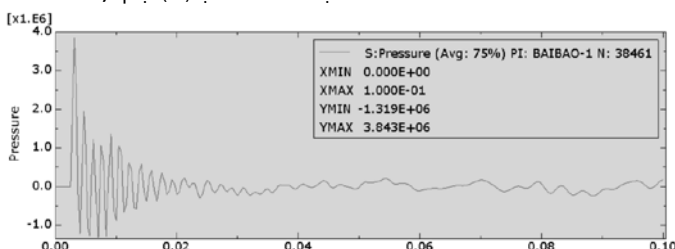
Hình 9. Áp lực P (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 100 MPa



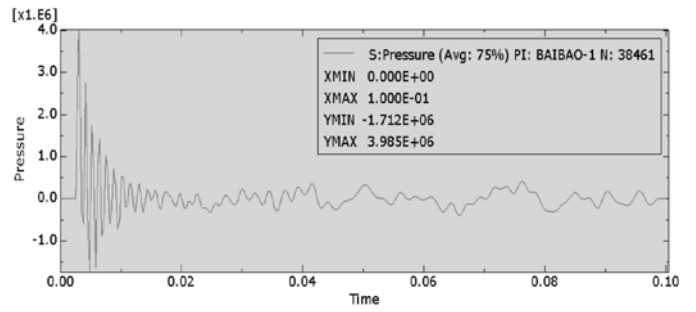
Hình 10. Áp lực P (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 250 MPa



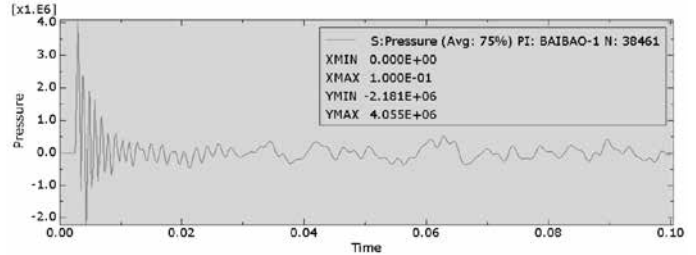
Hình 11. Áp lực P (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 500 MPa



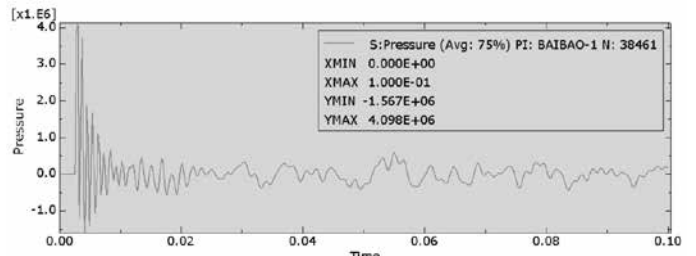
Hình 12. Áp lực P (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 1000 MPa



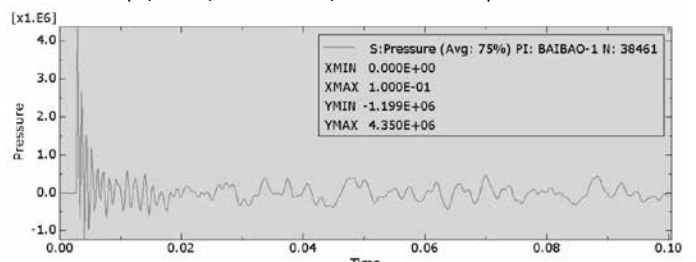
Hình 13. Áp lực (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 2000 MPa



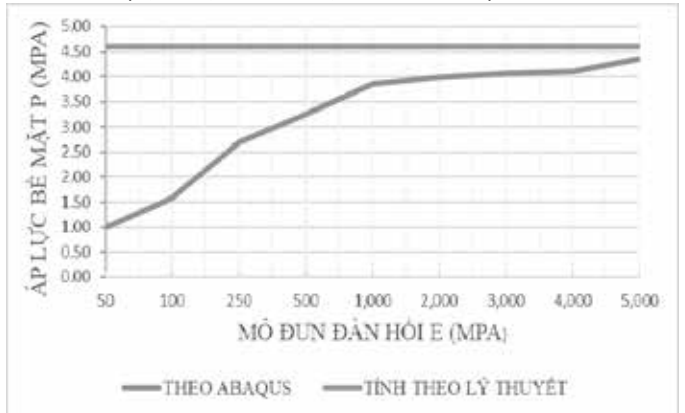
Hình 14. Áp lực (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 3000 MPa



Hình 15. Áp lực (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 4000 MPa



Hình 16. Áp lực (Pa) tại điểm A trên mặt đất khi E = 5000 MPa



Hình 17. Biểu đồ quan hệ giữa áp lực sóng phản xạ tại điểm A và mô đun đàn hồi của nền đất

b. Áp lực sóng phản xạ tại điểm B

Tương tự như trên kết quả tính toán áp lực sóng phản xạ tại điểm B cho trong bảng 2

Bảng 1. Tổng hợp kết quả khảo sát áp lực tại điểm A

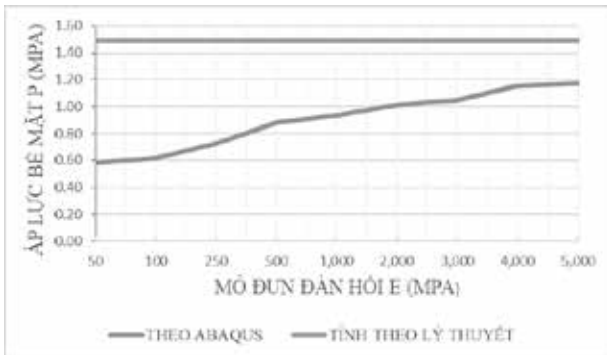
E (MPa)	50	100	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
Theo lý thuyết (Mpa)	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6
Theo Abaqus (MPa)	0,995	1,58	2,68	3,26	3,84	3,99	4,06	4,10	4,35

Bảng 2. Tổng hợp kết quả khảo sát áp lực tại điểm B

E (MPa)	50	100	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
Theo lý thuyết (MPa)	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49	1,49
Theo Abaqus (MPa)	0,58	0,619	0,73	0,88	0,93	1,02	1,05	1,16	1,18

Bảng 3. Tổng hợp kết quả khảo sát áp lực tại điểm C

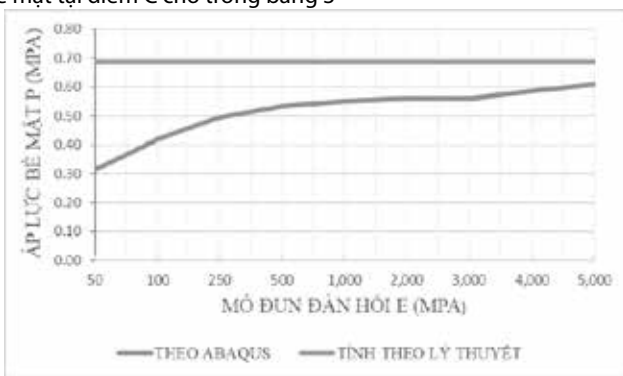
E (MPa)	50	100	250	500	1000	2000	3000	4000	5000
Theo lý thuyết (MPa)	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Theo Abaqus (MPa)	0,31	0,42	0,49	0,53	0,55	0,56	0,56	0,59	0,61



Hình 18. Biểu đồ quan hệ giữa áp lực sóng phản xạ tại điểm B và mô đun đàn hồi của nền đất

c. Áp lực sóng bề mặt tại điểm C

Tính toán tương tự như trên kết quả tính toán áp lực sóng bề mặt tại điểm C cho trong bảng 3



Hình 19. Biểu đồ quan hệ giữa áp lực sóng bề mặt tại điểm C và mô đun đàn hồi của nền đất

Nhận xét:

- Kết quả nghiên cứu theo phần mềm Abaqus cho thấy, khi độ

cứng của nền càng tăng thì các giá trị sóng phản xạ hay sóng bề mặt cũng tăng. Tuy nhiên, giá trị lớn nhất sẽ tiệm cận giá trị khi tính toán theo lý thuyết. Điều này chứng tỏ kết quả từ lý thuyết coi bề mặt đất là cứng tuyệt đối nên giá trị áp lực của sóng phản xạ và sóng bề mặt tại một điểm là không đổi.

- Tại các vị trí càng xa tâm nổ áp lực sóng phản xạ hay sóng bề mặt càng giảm phản ánh đúng quy luật lan truyền của sóng xung kích trên mặt đất.

3. KẾT LUẬN

Các kết quả thu được khẳng định tính hợp lý của phương pháp nghiên cứu thử nghiệm số bằng phần mềm Abaqus với kết quả nghiên cứu bằng các công thức thực nghiệm để tính toán áp lực sóng xung kích trên mặt đất có xét đến phản xạ của nền đất.

Theo lý thuyết coi nền đất là tuyệt đối cứng, đây là quan điểm thiên về an toàn vì áp lực tính toán sẽ cao hơn áp lực thực tế. Vì vậy, cần xem xét ảnh hưởng của độ cứng của nền đến áp lực sóng phản xạ và sóng bề mặt khi tính toán thiết kế các công trình đặt tại khu gần và khu xa chịu tác dụng của sóng xung kích trong không khí sát với thực tế hơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Trí Tá, Vũ Đình Lợi, Đặng Văn Đích (2008), *Giáo trình công sự tập I*, 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] 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.
 [5] 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).
 [6] ABAQUS Theory Manual, revision 2020, Pawtucket, Rhode Island, USA, 2020.