

CHUYỂN VỊ BỀ MẶT CỦA THUNG LŨNG BỒI TÍCH NHIỀU LỚP ĐẤT DƯỚI TÁC DỤNG CỦA SÓNG CẮT SV

Nguyễn Trung Kiên^{1,2,*}



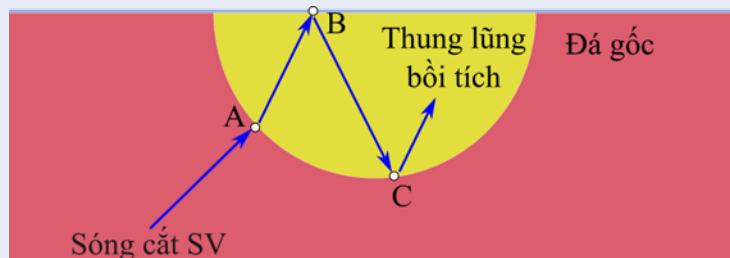
Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Do sự giao thoa sóng địa chấn trong khu vực thung lũng bồi tích, chuyển vị bề mặt tại nhiều vị trí trong vùng thung lũng được khuếch đại và gây nguy hiểm cho các công trình xây dựng. Nhiều nghiên cứu đã được tiến hành để khảo sát chuyển vị bề mặt thung lũng bồi tích trong trường hợp lan truyền sóng cắt. Tuy nhiên, các nghiên cứu đa phần sử dụng giả thiết đơn giản hóa với thung lũng đồng nhất, được thành tạo từ một lớp đất duy nhất. Trong thực tế, vùng thung lũng bồi tích có cấu tạo địa chất phân lớp với nhiều lớp đất khác nhau. Sự khác biệt về vật liệu giữa các lớp đất khác nhau khiến cho sóng địa chấn bị phản xạ và khúc xạ tại mặt phân cách lớp đất, và trường chuyển vị sẽ phức tạp hơn nhiều so với trường hợp thung lũng đồng nhất. Theo đó, bài báo này sử dụng mô hình phần tử hữu hạn 2D để khảo sát chuyển vị bề mặt của thung lũng bồi tích thành tạo bởi hai lớp đất khi sóng cắt truyền đến theo phương thẳng đứng và phương nghiêng. Kết quả mô phỏng số được kiểm chứng với kết quả nghiên cứu đã xuất bản. Sau đó, ảnh hưởng của góc truyền sóng tới, độ tương phản vật liệu giữa hai lớp đất trong thung lũng, và tần số sóng đến chuyển vị bề mặt thung lũng sẽ được khảo sát thông qua hệ số khuếch đại (AF). Kết quả phân tích cho thấy rằng chuyển vị ngang và chuyển vị đứng được khuếch đại lên lần lượt là 32 và 22.3 lần trong trường hợp sóng nghiêng 30° so với phương thẳng đứng. Giá trị AF có xu hướng tăng khi độ tương phản vật liệu tăng và biến động ít hơn khi tăng tần số dao động của sóng tới.

GIỚI THIỆU

Trong bài toán khảo sát sự lan truyền sóng địa chấn, hiệu ứng thung lũng (basin effect) đề cập đến hiện tượng sóng địa chấn bị giữ lại trong vùng thung lũng bồi tích có lớp đất mềm hơn so với tầng đá gốc xung quanh [1]. Cơ chế của hiệu ứng thung lũng được giải thích như trong Hình 1. Khi sóng địa chấn lan truyền từ phía dưới lên bề mặt phân cách giữa lớp bồi tích và đá gốc (điểm A), một phần sóng được khúc xạ vào trong thung lũng. Sóng này tiếp tục được phản xạ tại bề mặt đất (điểm B), và truyền ngược lại mặt phân cách (điểm C). Do sự tương phản về vật liệu (thông thường lớp đất bồi tích trong thung lũng mềm hơn lớp đá gốc bên ngoài), một phần sóng địa chấn tiếp tục được phản xạ ngược trở lại trong thung lũng. Quá trình này vẫn tiếp diễn, gây ra sự giao thoa của các sóng (sóng tới, sóng phản xạ, sóng khúc xạ) trong vùng thung lũng. Kết quả là chuyển vị bề mặt đất trên thung lũng phân bố không đều, với những vị trí có chuyển vị được khuếch đại hoặc giảm thiểu. Chuyển vị mặt đất, do đó, có thể rất lớn, gây ra nguy hại cho các công trình xây dựng.



Hình 1: Cơ chế hiệu ứng thung lũng trong bài toán truyền sóng địa chấn. [Nguồn: Nhóm tác giả].

Thực tế quan trắc sau các trận động đất cho thấy rằng hiệu ứng thung lũng khuếch đại chuyển vị và gây ra những thiệt hại nghiêm trọng cho các công trình và kết cấu. Một số ví dụ có thể kể đến như: trận động đất

¹Khoa Kỹ thuật Xây Dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

Liên hệ

Nguyễn Trung Kiên, Khoa Kỹ thuật Xây Dựng, Trường Đại học Bách Khoa TP.HCM
Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
Email: nguyentrungkien@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 21-11-2024
- Ngày chấp nhận: 13-04-2026
- Ngày đăng: 30-07-2026

DOI : <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-et.v9i3.1478>



Bản quyền

© Tập chí ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Trích dẫn bài báo này: Trung Kiên N. **CHUYỂN VỊ BỀ MẶT CỦA THUNG LŨNG BỒI TÍCH NHIỀU LỚP ĐẤT DƯỚI TÁC DỤNG CỦA SÓNG CẮT SV.** VNUHCM J. Eng. Technol. 2026; 9(3): 3042-3056.

năm 1985 ở Mexico với hiệu ứng thung lũng khiến cho chuyển vị khuếch đại lên 5 lần và gây hư hỏng cho hơn 2000 kết cấu [2, 3]; trận động đất Northridge năm 1994 gây ra chuyển vị ở khu vực thung lũng Los Angeles và San Fernando lớn hơn gấp 3 đến 4 lần khu vực ngoài thung lũng [4, 5]. Do đó, đây là một vấn đề rất quan trọng và cần được nghiên cứu.

Các nhà nghiên cứu trên thế giới cũng tập trung phân tích chuyển vị bề mặt của thung lũng dưới tác dụng của sóng địa chấn. Kawase và Aki đã dùng phương pháp phần tử biên với số sóng rời rạc để phân tích ứng xử của thung lũng bồi tích Mexico trong trận động đất Michoacan năm 1985 [6]. Khair và đồng nghiệp kết hợp hai phương pháp phần tử biên và phần tử hữu hạn để khảo sát hệ số khuếch đại chuyển vị trên bề mặt thung lũng bồi tích đồng nhất [7]. Phương pháp hỗn hợp này cũng được Amini và đồng nghiệp sử dụng để khảo sát ứng xử động của thung lũng đồng nhất dạng elip và hình sin [8]. Trong khi đó, Khanbabazadeh và đồng nghiệp sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn với phần mềm FLAC để nghiên cứu ứng xử của thung lũng đồng nhất hình thang [9].

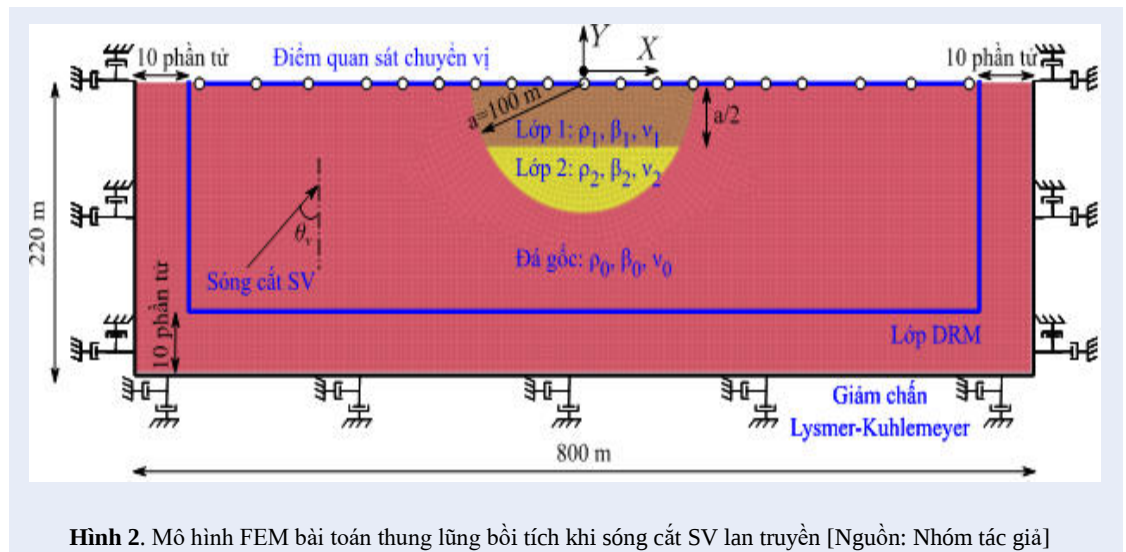
Các công trình nghiên cứu đã xuất bản đa phần tập trung phân tích ứng xử của thung lũng đồng nhất với một lớp đất. Tuy nhiên trong thực tế, thung lũng bồi tích thường bao gồm nhiều lớp đất khác nhau. Các lớp đất này có module đàn hồi và module cắt khác nhau, và tốc độ truyền sóng cắt trong đất cũng khác nhau. Sự khác nhau này được gọi chung là độ tương phản vật liệu (material contrast), và là nguyên nhân gây ra sự phản xạ và khúc xạ của sóng địa chấn tại các mặt phân cách giữa các lớp đất. Các kết quả nghiên cứu cho thung lũng đồng nhất sẽ không áp dụng được cho các trường hợp thung lũng nhiều lớp đất vừa nêu. Các nhà nghiên cứu trên thế giới cũng đã bắt đầu chuyển hướng sang trường hợp phân lớp của thung lũng [10]. Tuy nhiên, số lượng công trình còn khá hạn chế. Nhằm cung cấp những phân tích sâu hơn về ứng xử động, cũng như những yếu tố ảnh hưởng đến ứng xử động của thung lũng bồi tích không đồng nhất, bài báo này tập trung khảo sát chuyển vị bề mặt của thung lũng bồi tích thành tạo bởi hai lớp đất khi sóng cắt lan truyền theo phương thẳng đứng và phương nghiêng. Bài báo cũng phân tích ảnh hưởng của góc truyền sóng, của độ tương phản vật liệu giữa hai lớp đất trong thung lũng, và của tần số sóng cắt SV đến chuyển vị bề mặt thung lũng.

PHƯƠNG PHÁP MÔ PHỎNG PHẦN TỬ HỮU HẠN

Bài báo sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (finite element method – FEM) được tích hợp trong phần mềm Ls-Dyna để mô phỏng bài toán thung lũng bồi tích chịu tác dụng của sóng cắt SV lan truyền. Trong mô hình 2D, miền tính toán được rời rạc hóa bằng các phần tử tứ giác như trong Hình 2. Thung lũng bồi tích được giả thiết đơn giản hóa có dạng nửa hình tròn với bán kính $a = 100$ m, được tạo thành bởi hai lớp đất 1 và 2, với bề dày mỗi lớp là $a/2$. Bao xung quanh thung lũng bồi tích là tầng đá gốc đồng nhất. Các điểm quan sát chuyển

vị là các nút FEM nằm trên bề mặt tự do của miền tính toán, gồm các điểm nằm trên mặt lớp đất 1 ($x/a \in [-1.0, 1.0]$) và các điểm nằm trên mặt tầng đá gốc ($x/a < -1.0$ và $x/a > 1.0$), với x là tọa độ tính từ tâm thung lũng.

Trong mô hình FEM ở Hình 2, lớp đá gốc và hai lớp đất thành tạo thung lũng được giả thiết là vật liệu đồng nhất, đẳng hướng, và đàn hồi tuyến tính. Các ký hiệu ρ , β , và ν lần lượt thể hiện khối lượng riêng, tốc độ truyền sóng cắt, và hệ số Poisson của vật liệu. Các chỉ số dưới 0, 1, và 2 lần lượt đại diện cho lớp đá gốc, lớp 1, và lớp 2. Module cắt G của từng lớp đất được tính toán thông qua công thức liên hệ cơ bản của lý thuyết đàn hồi: $G = \rho\beta^2$. Các thông số vật liệu sử dụng trong bài báo này được liệt kê chi tiết ở Bảng 1.



Hình 2. Mô hình FEM bài toán thung lũng bồi tích khi sóng cắt SV lan truyền [Nguồn: Nhóm tác giả]

Bảng 1. Các thông số đất sử dụng trong mô hình

	ρ (kg/m ³)	β (m/s)	ν	G (Mpa)
Lớp 1	1600	100*	1/3	16
Lớp 2	1800	200	1/3	72
Lớp đá gốc	2400	400	1/3	384
*: Trong các trường hợp phân tích ảnh hưởng của độ tương phản vật liệu, giá trị β_1 sẽ được tính từ β_2 và tỷ số β_2/β_1				

Sóng cắt SV lan truyền tới mặt đất theo phương nghiêng hợp với phương đứng một góc θ . Để mô phỏng sự lan truyền sóng cắt SV trong mô hình FEM, phương pháp hai bước được mô tả trong nghiên cứu của Kusanovic và đồng nghiệp [11] được sử dụng. Trong bước 1, trường chuyển vị tự do của sóng cắt SV lan

truyền trong môi trường đá gốc (đồng nhất, không có thung lũng bồi tích) với phương truyền θ_v được tính toán. Trong bước 2, phương pháp thu gọn miền tính toán (Domain Reduction Method – DRM) của Bielak và đồng nghiệp [12] được sử dụng để tính toán vector lực tương đương $\mathbf{P}^{\text{eff}}$ tại vị trí các nút DRM chọn trước:

$$\mathbf{P}^{\text{eff}} = \begin{bmatrix} \mathbf{0} \\ -\mathbf{M}_{be}^{\Omega^+} \dot{\mathbf{u}}_e^0 - \mathbf{C}_{be}^{\Omega^+} \dot{\mathbf{u}}_e^0 - \mathbf{K}_{be}^{\Omega^+} \mathbf{u}_e^0 \\ \mathbf{M}_{eb}^{\Omega^+} \dot{\mathbf{u}}_b^0 + \mathbf{C}_{eb}^{\Omega^+} \dot{\mathbf{u}}_b^0 + \mathbf{K}_{eb}^{\Omega^+} \mathbf{u}_b^0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

trong đó $\mathbf{M}$, $\mathbf{C}$, $\mathbf{K}$ lần lượt là các ma trận khối lượng, giảm chấn, và độ cứng tổng thể của các phần tử tứ giác thuộc lớp DRM, $\mathbf{u}^0$ là vector chuyển vị tự do tại các nút DRM đã xác định trong bước 1, các ký tự b và e đề cập đến vị trí biên trong (boundary) và vị trí biên ngoài (exterior) của lớp DRM. Các chương trình con MATLAB được lập trình để tự động hóa việc tính toán trường chuyển vị tự do, tính toán vector lực tương đương, và gán tải tác dụng (biến đổi theo thời gian) tại mỗi nút của lớp DRM trong mô hình FEM. Vị trí của lớp DRM được chọn đặt cách biên mô hình 10 phần tử.

Sóng cắt SV được chọn trong bài báo này là sóng điều hòa dạng hình sin, có tần số không thứ nguyên $\eta = \omega a / \pi \beta_0$, với ω là tần số góc của sóng tới. Gọi chiều dài bước sóng lan truyền trong lớp đất thứ 1 là λ_1 . Kích thước trung bình của phần tử tứ giác trong mô hình FEM được chọn xấp xỉ từ $\lambda_1/20$ đến $\lambda_1/10$ nhằm đảm bảo độ chính xác của kết quả mô phỏng số [13]. Kích thước phần tử được chọn trung bình là 5m cho trường hợp $\eta = \{0.25, 0.5\}$ và 2.5m cho trường hợp $\eta = \{1.0, 1.5\}$. Với mô hình FEM có kích thước $800\text{m} \times 220\text{m}$, tổng số lượng phần tử tứ giác cho hai trường hợp kích thước phần tử kể trên lần lượt là 6985 và 27877 phần tử. Kết quả mô hình FEM đã được kiểm tra và đảm bảo tính hội tụ khi so sánh với lưới phần tử mịn hơn.

Điều kiện biên của bài toán động cần được chú ý để đảm bảo tính chính xác của kết quả. Như trong Hình 1, khi sóng SV lan truyền từ dưới lên đến điểm A, một phần sóng được phản xạ lại trong đá gốc và truyền ra phía ngoài (hướng ra xa thung lũng). Tương tự, bên trong thung lũng, khi sóng truyền đến điểm C, một phần sóng được khúc xạ vào đá gốc và truyền ra phía ngoài. Trong môi trường thực tế, các sóng truyền ra phía ngoài này sẽ tiếp tục lan truyền ra xa thung lũng và tiêu tán dần. Tuy nhiên, trong mô hình tính toán, các sóng truyền ra phía ngoài này sẽ lan truyền đến biên của mô hình. Để kết quả tính toán là phù hợp với điều kiện thực tế, biên mô hình số phải “hấp thụ” các sóng này và không tạo ra bất kỳ sóng phản xạ nào lan truyền ngược lại về phía thung lũng vào bên trong miền tính toán. Bài toán này sử dụng điều kiện biên được phát triển bởi Lysmer và Kuhlemeyer [14], với các giảm chấn (dashpot) đặt theo phương tiếp tuyến và pháp tuyến dọc theo biên ngoài của mô hình tính toán. Hệ số giảm chấn theo phương tiếp tuyến và pháp tuyến lần lượt là

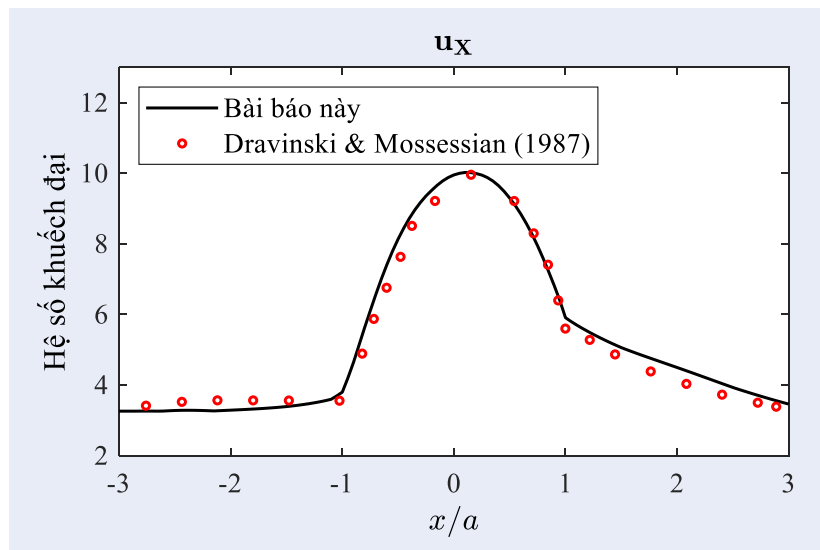
$C_\beta = \rho_0 \beta_0$ và $C_\alpha = \rho_0 \alpha_0$, với ρ_0 là khối lượng riêng của đá gốc, α_0 và β_0 là vận tốc truyền sóng nén và sóng cắt trong tầng đá gốc.

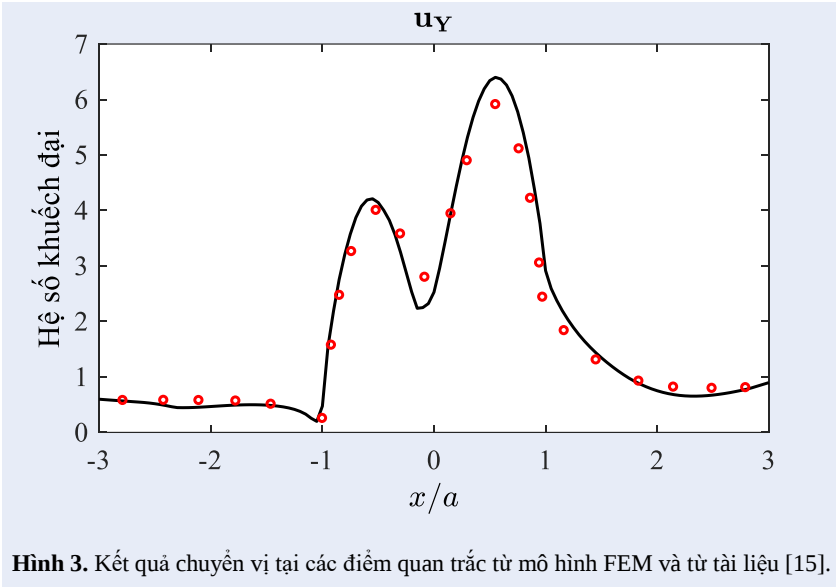
KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Kiểm chứng mô hình phần tử hữu hạn

Để kiểm chứng độ chính xác của mô hình số FEM, kết quả nghiên cứu của Dravinski và Mossessian sẽ được sử dụng [15], trong đó thung lũng đồng nhất dạng nửa hình tròn chịu tác dụng của sóng SV lan truyền theo phương nghiêng 30° so với phương thẳng đứng. Do thung lũng là đồng nhất, các thông số vật liệu của lớp 2 được chọn giống như của lớp 1. Thông số đầu vào dưới dạng không thứ nguyên của mô hình số: $\rho_1/\rho_0 = 2/3$, $\beta_1/\beta_0 = 0.5$, $\nu_1 = \nu_0 = 1/3$, $\eta = 0.5$, $\theta_v = 30^\circ$.

Hệ số khuếch đại AF của chuyển vị theo phương ngang u_x và phương đứng u_y tại các điểm quan sát được tính theo công thức $AF = A_u/A_{SV}$, với A_u là biên độ dao động ngang hoặc đứng của điểm quan sát và A_{SV} là biên độ dao động của sóng tới SV. Hình 3 thể hiện giá trị AF từ kết quả của mô hình số FEM và từ tài liệu [15]. Trong nghiên cứu [15], Dravinski và Mossessian đã sử dụng phương pháp phương trình tích phân biên gián tiếp (indirect boundary integral equation approach) để khảo sát sóng tới SV điều hòa trong miền tần số. Hình 3 cho thấy kết quả của phương pháp mô phỏng FEM trong miền thời gian hoàn toàn phù hợp với kết quả từ tài liệu [15], chứng minh cho tính chính xác và độ tin cậy của mô phỏng số FEM.





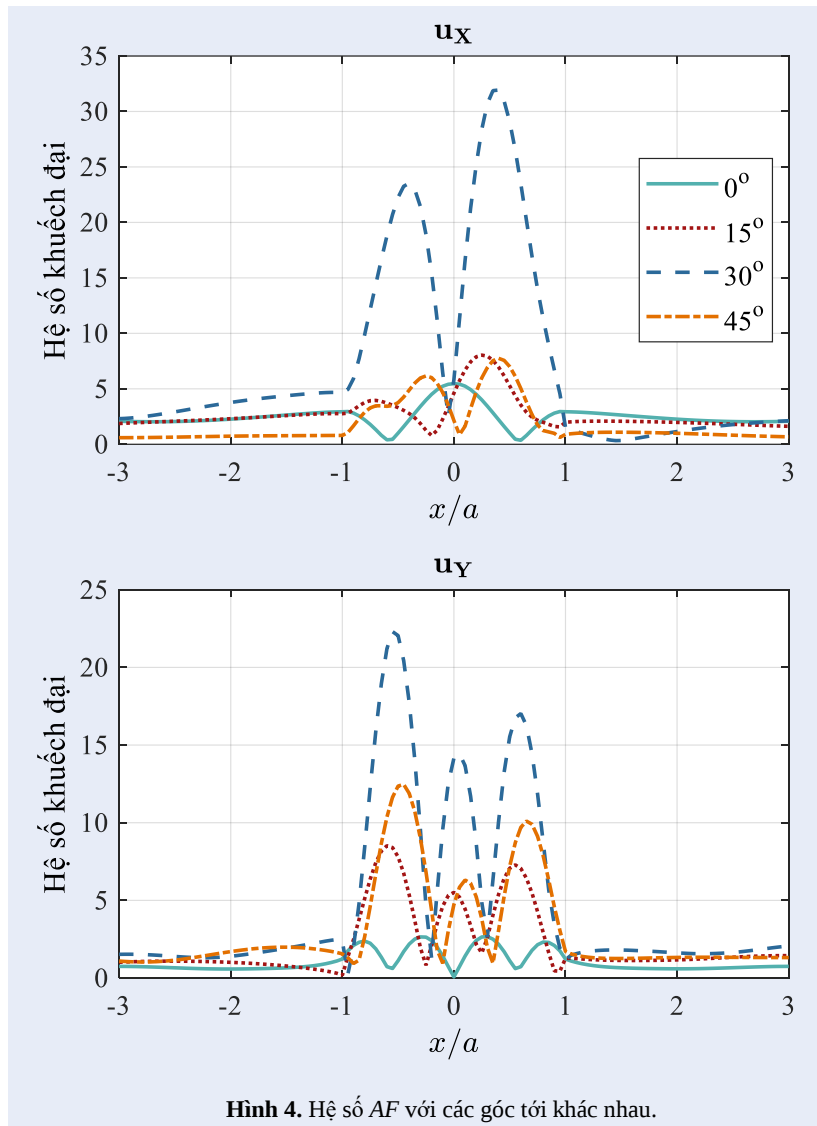
Hình 3. Kết quả chuyển vị tại các điểm quan trắc từ mô hình FEM và từ tài liệu [15].

Phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến chuyển vị bề mặt thung lũng

Sau khi được kiểm chứng về độ tin cậy và tính chính xác, mô hình số FEM được sử dụng để phân tích ảnh hưởng của các yếu tố sau đây đến ứng xử động của thung lũng hai lớp đất: góc truyền sóng tới θ , độ tương phản vật liệu β_2/β_1 , và tần số của sóng cắt η .

Ảnh hưởng của góc truyền sóng tới

Ảnh hưởng của góc truyền sóng tới đến sự phân bố và độ lớn chuyển vị bề mặt đất sẽ được phân tích trong phần này. Bốn trường hợp góc tới khác nhau sẽ được xem xét: $\theta_v = \{0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$, các thông số khác được chọn như sau: $\beta_1/\beta_0 = 0.25$, $\beta_2/\beta_0 = 0.5$, $\rho_1/\rho_0 = 2/3$, $\rho_2/\rho_0 = 3/4$, $\eta = 0.5$, $v_1 = v_2 = v_0 = 1/3$. Hệ số AF của chuyển vị ngang và đứng tại các điểm quan sát được thể hiện trong Hình 4.



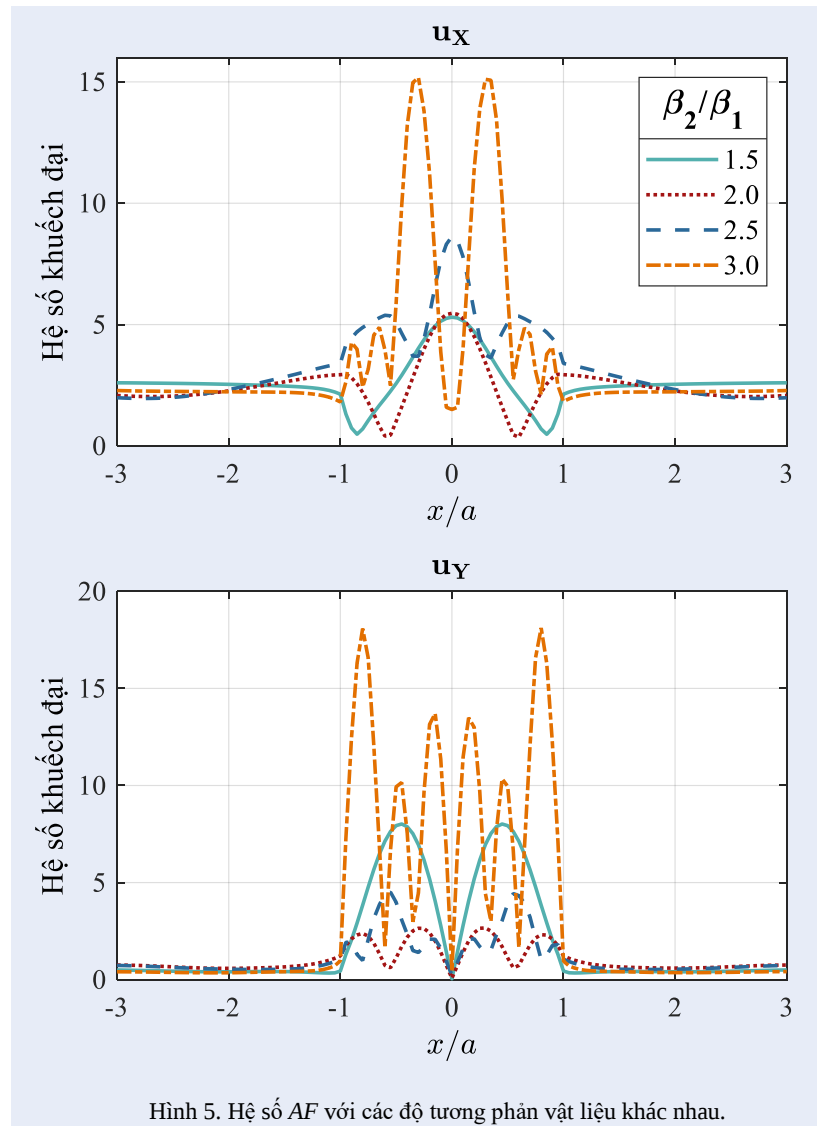
Hình 4. Hệ số AF với các góc tới khác nhau.

Tổng quan, biên độ dao động của chuyển vị ngang và chuyển vị đứng biến động mạnh ở khu vực bên trong thung lũng ($x/a \in [-1.0, 1.0]$), trong khi biên độ chuyển vị tương đối ổn định ở khu vực ngoài ($x/a < -1.0$ và $x/a > 1.0$). Điều này chứng minh tác dụng khuếch đại/giảm thiểu chuyển vị của hiệu ứng thung lũng, do sự giao thoa của sóng tới, sóng khúc xạ, và sóng phản xạ trong khu vực thung lũng bồi tích.

Với trường hợp sóng cắt SV truyền thẳng đứng $\theta = 0^\circ$, đồ thị AF – x/a đối xứng qua vị trí tâm thung lũng ($x/a = 0$), do dạng hình học của miền tính toán và tải trọng đều đối xứng. Với các trường hợp góc nghiêng đang xét, sóng truyền theo phương nghiêng $\theta = \{15^\circ, 30^\circ, 45^\circ\}$ đều gây ra sự khuếch đại chuyển vị lớn hơn so với trường hợp sóng truyền thẳng đứng $\theta = 0^\circ$. Hệ số khuếch đại lớn nhất xảy ra ở trường hợp sóng truyền theo phương nghiêng góc 30° so với phương thẳng đứng, với AF = 32 cho chuyển vị ngang, và AF = 22.3 cho chuyển vị đứng.

Ảnh hưởng của độ tương phản vật liệu

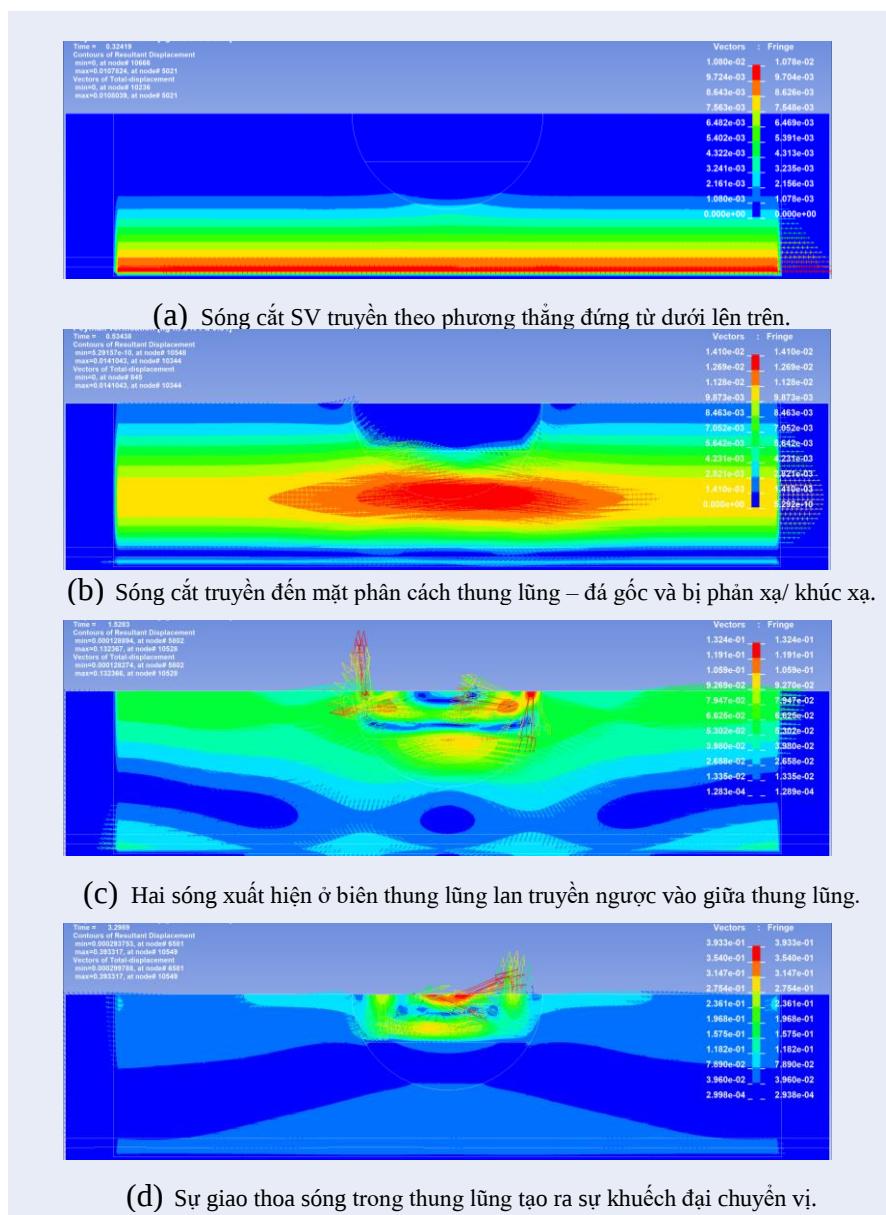
Phần này sẽ phân tích ảnh hưởng của độ tương phản vật liệu giữa hai lớp đất 1 và 2, thể hiện qua tỷ số β_2/β_1 , đến sự phân bố và độ lớn chuyển vị bề mặt đất. Bằng cách thay đổi β_1 , bốn trường hợp khác nhau của độ tương phản sẽ được xem xét: $\beta_2/\beta_1 = \{1.5, 2.0, 2.5, 3.0\}$, các thông số khác được chọn như sau: $\theta_v = 0^\circ$, $\beta_2/\beta_0 = 0.5$, $\rho_1/\rho_0 = 2/3$, $\rho_2/\rho_0 = 3/4$, $\eta = 0.5$, $v_1 = v_2 = v_0 = 1/3$. Hệ số AF của chuyển vị ngang và đứng tại các điểm quan sát được thể hiện trong Hình 5.

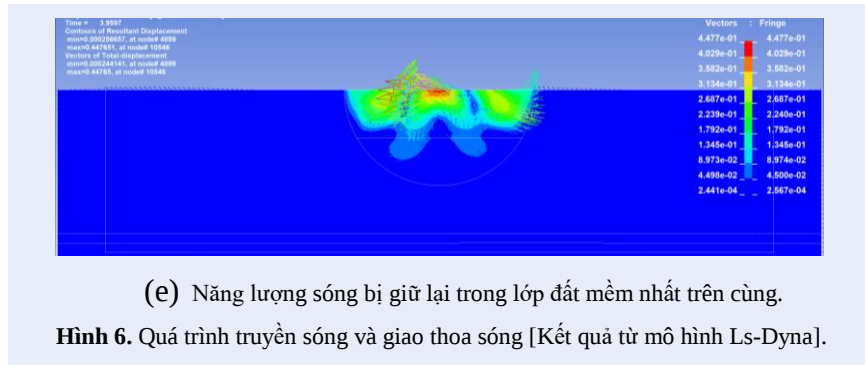


Tổng quan, xu hướng chung của hệ số AF là tăng khi độ tương phản vật liệu β_2/β_1 tăng, chỉ trừ đường chuyển vị đứng u_y với $\beta_2/\beta_1 = 1.5$ là không theo xu hướng này. Xu hướng chung này được giải thích là do khi độ tương phản vật liệu lớn, năng lượng sóng địa chấn sẽ được giữ lại nhiều hơn trong lớp đất trên cùng của thung

lũng. Điều này làm gia tăng khả năng giao thoa và tạo thành các chuyển vị có biên độ lớn. Hệ số khuếch đại biên độ dao động lớn nhất xảy ra ở trường hợp $\beta_2/\beta_1 = 3.0$, với giá trị AF lần lượt là 15 và 18 cho chuyển vị ngang và chuyển vị đứng. Hiện tượng này có ý nghĩa cảnh báo trong công tác thiết kế thực tế, khi cho thấy việc mô phỏng lý tưởng hóa thung lũng bằng một lớp đất đồng nhất thường cho kết quả thiết kế thiên về hướng kém an toàn, với chuyển vị nhỏ hơn thực tế. Việc mô phỏng đầy đủ các lớp địa chất, đặc biệt là thung lũng thành tạo bởi các lớp đất yếu nằm trên lớp đất cứng, trở nên đặc biệt quan trọng và sẽ giúp đánh giá chuyển vị bề mặt chính xác hơn.

Trường chuyển vị của miền mô phỏng số trong quá trình lan truyền và giao thoa sóng dẫn đến sự khuếch đại hoặc giảm thiểu biên độ dao động được thể hiện trong Hình 6.



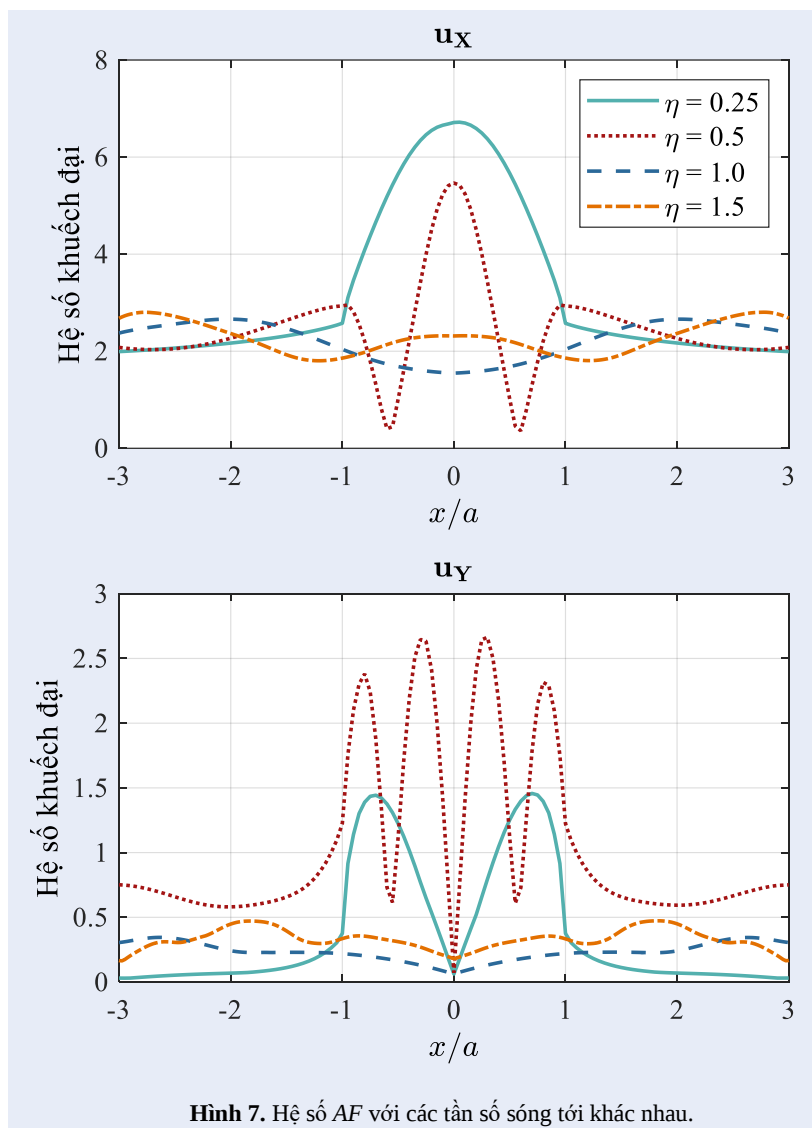


Ảnh hưởng của tần số sóng tới

Phần này sẽ phân tích ảnh hưởng của tần số sóng cắt SV đến sự phân bố và độ lớn chuyển vị bề mặt đất. Bài báo này khảo sát bốn trường hợp khác nhau của tần số: $\eta = \{0.25, 0.5, 1.0, 1.5\}$, các thông số khác được chọn như sau: $\theta_v = 0^\circ$, $\beta_1/\beta_0 = 0.25$, $\beta_2/\beta_0 = 0.5$, $\rho_1/\rho_0 = 2/3$, $\rho_2/\rho_0 = 3/4$, $v_1 = v_2 = v_0 = 1/3$.

Tần số không thứ nguyên theo định nghĩa $\eta = \omega a/\pi\beta_0$, sau khi biến đổi theo lý thuyết đàn hồi có thể được viết lại dưới dạng $\eta = 2a/\lambda_0$, với λ_0 là chiều dài bước sóng của sóng tới SV trong môi trường đá gốc. Như vậy, về ý nghĩa vật lý, tần số không thứ nguyên thể hiện tỷ lệ giữa chiều dài đường kính thung lũng bồi tích so với chiều dài bước sóng tới. Nếu chỉ số η rất nhỏ, nghĩa là sóng tới “không thấy” được thung lũng, do kích cỡ của thung lũng quá nhỏ so với chiều dài bước sóng tới. Ngược lại, nếu như η rất lớn, thung lũng rất lớn so với chiều dài bước sóng, bài toán sẽ gần với bài toán 1D – bài toán cột đất gồm 3 lớp đất chịu tác dụng của sóng tới truyền thẳng đứng [1].

Do tính chất đối xứng của tải sóng và hình dạng thung lũng, đồ thị $AF - x/a$ trong trường hợp này cũng đối xứng qua tâm thung lũng. Hệ số AF của chuyển vị ngang và đứng tại các điểm quan sát được thể hiện trong Hình 7. Nhìn chung, dạng phân bố và độ lớn của biên độ dao động tại các điểm quan sát phụ thuộc vào tần số sóng tới, hay nói cách khác là phụ thuộc vào tỷ lệ độ dài giữa đường kính thung lũng và chiều dài bước sóng tới. Hệ số khuếch đại AF trong hai trường hợp $\eta = \{0.25, 0.5\}$ có xu hướng lớn hơn và biến động mạnh hơn so với hệ số AF trong hai trường hợp $\eta = \{1.0, 1.5\}$, cho cả chuyển vị theo phương ngang và theo phương đứng. Giá trị AF lớn nhất của chuyển vị ngang lần lượt là 6.7 và 5.5 cho $\eta = 0.25$ và $\eta = 0.5$. Với hai trường hợp tần số sóng tới này, các công trình xây dựng ở vùng trung tâm thung lũng sẽ nguy hiểm hơn so với các công trình ở hai rìa thung lũng. Đối với hai trường hợp $\eta = 1.0$ và $\eta = 1.5$, hệ số AF dao động xung quanh giá trị 2.0, với qui luật phân bố tương đối đều đặn cả ở bên trong và bên ngoài thung lũng. Tương tự đối với chuyển vị phương đứng, AF dao động mạnh hơn với hai trường hợp $\eta = \{0.25, 0.5\}$, trong khi đều đặn hơn trong hai trường hợp $\eta = \{1.0, 1.5\}$.



Hình 7. Hệ số AF với các tần số sóng tới khác nhau.

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, mô hình FEM được xây dựng để mô phỏng ứng xử của thung lũng bồi tích hai lớp đất khi chịu tác dụng của sóng cắt SV truyền đến theo phương thẳng đứng và phương nghiêng. Các yếu tố ảnh hưởng đến chuyển vị bề mặt thung lũng cũng được phân tích, bao gồm góc truyền sóng tới, độ tương phản vật liệu, và tần số của sóng tới. Một số kết luận được rút ra từ kết quả nghiên cứu như sau:

- (i) Hiệu ứng thung lũng với sự giao thoa sóng là tác nhân gây ra sự khuếch đại và giảm thiểu chuyển vị bề mặt đất nền.
- (ii) Quy luật phân bố của chuyển vị biến động mạnh ở khu vực bề mặt thung lũng ($x/a \in [-1.0, 1.0]$), trong khi khá đều đặn ở phía ngoài thung lũng ($x/a < -1.0$ và $x/a > 1.0$).

- (iii) Góc truyền sóng ảnh hưởng lớn đến chuyển vị bề mặt thung lũng, với giá trị AF lên đến 32 cho chuyển vị ngang và 22.3 cho chuyển vị đứng trong trường hợp sóng truyền theo góc nghiêng 30° so với phương thẳng đứng.
- (iv) Hệ số AF có xu hướng tăng khi giá trị độ tương phản β_2/β_1 tăng. Trong các trường hợp của nghiên cứu này, chuyển vị bề mặt đất được khuếch đại nhiều nhất khi $\beta_2/\beta_1 = 3.0$, với $AF = 15$ cho u_x và $AF = 18$ cho u_y .
- (v) Giá trị AF biến động mạnh hơn trong trường hợp tần số sóng tới $\eta = \{0.25, 0.5\}$, trong khi tương đối đều đặn với $\eta = \{1.0, 1.5\}$.

Bài báo chỉ xét đến ứng xử đàn hồi tuyến tính của vật liệu đất, và chỉ cho trường hợp thung lũng hai lớp đất. Trong thực tế, đất có thể ứng xử phi tuyến, và điều kiện địa chất ở thung lũng có thể phức tạp với nhiều lớp đất đan xen. Bài báo này cung cấp một số kết quả sơ bộ ban đầu và cần có nhiều nghiên cứu hơn nữa về ứng xử động của thung lũng bồi tích với các điều kiện thực tế vừa nêu. Trong tình hình thực tế ở Việt Nam, với nhiều khu vực thung lũng gần các đới đứt gãy địa chất, ví dụ đới đứt gãy sông Hồng, đới đứt gãy Điện Biên – Mường Lay, hoặc đứt gãy Sông Mã – Tuần Giáo – Lai Châu, các nghiên cứu về vấn đề này càng trở nên cấp thiết, khi các trận động đất ngày càng tăng về cường độ và tần suất xuất hiện.

DANH MỤC VIẾT TẮT

FEM: Finite Element Method - Phương pháp Phần tử hữu hạn

DRM: Domain Reduction Method – Phương pháp thu gọn miền tính toán

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Tác giả không có xung đột lợi ích.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Nguyễn Trung Kiên: Chủ trì nghiên cứu, phác thảo ý tưởng, thiết lập mô hình, phân tích kết quả, viết bản thảo, kiểm tra và chỉnh sửa bài báo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh (ĐHQG-HCM) trong khuôn khổ Đề tài mã số: “B2024-20-21”.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ayoubi, P., Mohammadi, K., & Asimaki, D. (2021). A systematic analysis of basin effects on surface ground motion. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 141, 106490.
2. Campillo, M., Bard, P. Y., Nicollin, F., & Sánchez-Sesma, F. (1988). The Mexico earthquake of September 19, 1985—the incident wavefield in Mexico City during the great Michoacán earthquake and its interaction with the deep basin. *Earthquake Spectra*, 4(3), 591-608.
3. Padilla Y Sanchez, R. J. (1989). Geology and tectonics of the basin of Mexico and their relationship with the damage caused by the earthquakes of September 1985. *International Journal of Mining and Geological Engineering*, 7, 17-28.
4. Pitarka, A., & Irikura, K. (1996). Basin structure effects on long-period strong motions in the San Fernando Valley and the Los Angeles Basin from the 1994 Northridge earthquake and an aftershock. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 86(1B), S126-S137.
5. Wald, D. J., & Graves, R. W. (1998). The seismic response of the Los Angeles basin, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 88(2), 337-356.
6. Kawase, H., & Aki, K. (1989). A study on the response of a soft basin for incident S, P, and Rayleigh waves with special reference to the long duration observed in Mexico City. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79(5), 1361-1382.
7. Khair, K. R., Datta, S. K., & Shah, A. H. (1989). Amplification of obliquely incident seismic waves by cylindrical alluvial valleys of arbitrary cross-sectional shape. Part I. Incident P and SV waves. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 79(3), 610-630.
8. Amini, D., Gatmiri, B., & Maghoul, P. (2022). Seismic response of alluvial valleys subject to oblique incidence of shear waves. *Journal of Earthquake Engineering*, 26(12), 6304-6328.
9. Khanbabazadeh, H., Iyisan, R., & Ozaslan, B. (2022). Seismic behavior of the shallow clayey basins subjected to obliquely incident wave. *Geomechanics and Engineering*, 31(2), 183-195.
10. Liu, Z., Liang, J., Huang, Y., & Liu, L. (2016). IBIEM modelling of the amplification of seismic waves by a three-dimensional layered alluvial basin. *Geophysical Journal International*, 204(2), 999-1023.
11. Kusanovic, D. S., Seylabi, E. E., Ayoubi, P., Nguyen, K. T., Garcia-Suarez, J., Kottke, A. R., & Asimaki, D. (2023). Seismo-VLAB: An Open-Source Software for Soil–Structure Interaction Analyses. *Mathematics*, 11(21), 4530.

12. Bielak, J., Loukakis, K., Hisada, Y., & Yoshimura, C. (2003). Domain reduction method for three-dimensional earthquake modeling in localized regions, Part I: Theory. *Bulletin of the seismological Society of America*, 93(2), 817-824.
13. Serón, F. J., Badal, J., & Sabadell, F. J. (1996). A numerical laboratory for simulation and visualization of seismic wavefields1. *Geophysical Prospecting*, 44(4), 603-642.
14. Lysmer, J., & Kuhlemeyer, R. L. (1969). Finite dynamic model for infinite media. *Journal of the engineering mechanics division*, 95(4), 859-877.
15. Dravinski, M., & Mossessian, T. K. (1987). Scattering of plane harmonic P, SV, and Rayleigh waves by dipping layers of arbitrary shape. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 77(1), 212-235.

GROUND SURFACE DISPLACEMENTS OF LAYERED ALLUVIAL VALLEY SUBJECTED TO SV SHEAR WAVE

Trung Kien Nguyen^{1,2,*}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

Due to the wave interference occurring inside the alluvial valley, the displacements on the ground surface can be largely amplified and cause severe damage to the infrastructure. Numerous studies have been conducted to investigate the surface displacements of the valley subjected to the propagation of the SV shear wave. However, most of the work deal with homogeneous valleys, which is an ideal simplification and can not reflect the reality. Practically, the alluvial valley consists of multiple layers of soil. The material contrast between soil layers causes reflection and scattering at the soil interface, leading to a more complicated displacement field. Accordingly, this manuscript analyzes the ground surface displacements of the two-layer alluvial valley subjected to the oblique incidence of SV wave, using 2D finite element models. The results of the numerical models were initially verified with those from a published paper. Subsequently, this verified model was used to analyze the effect of material contrast, incident angle and frequency of the shear wave on the displacement field of the ground surface by means of the amplification factor (AF). The results of the simulation show that the lateral and vertical displacements are amplified 32 and 22.3 times, respectively, compared with the magnitude of the incoming SV wave. The values of AF tend to increase with increasing material contrast and less fluctuate with increasing frequency of the incident SV wave.

Key words: Surface displacements, basin effect, SV wave, finite element method

¹Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology.

²Vietnam National University Ho Chi Minh City.

Correspondence

Trung Kien Nguyen, Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology.

Vietnam National University Ho Chi Minh City.

Email: nguyentrungkien@hcmut.edu.vn

History

- Received: 21-11-2024
- Revised: 22-05-2025
- Accepted: 13-04-2026
- Published Online: 30-07-2026

DOI : <https://doi.org/10.32508/vnuhcmj-et.v9i3.1478>



Check for updates

Copyright

© VNUHCM Journal. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.

Cite this article : Nguyen T K. **GROUND SURFACE DISPLACEMENTS OF LAYERED ALLUVIAL VALLEY SUBJECTED TO SV SHEAR WAVE.** *VNUHCM J. Eng. Technol.* 2026; 9(3):3042-3056.