

# VỀ ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỊA HÌNH TỚI DAO ĐỘNG NỀN

NGUYỄN CÔNG THĂNG<sup>1</sup>, PHẠM ĐÌNH NGUYỄN<sup>2</sup>

E-mail: thangtr05@yahoo.com.vn

<sup>1</sup>Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Vật lý Địa cầu - Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài: 9 - 7 - 2012

## 1. Mở đầu

Trong lĩnh vực địa chấn công trình, để phục vụ công tác quy hoạch và thiết kế chống động đất, các nhà địa chấn cần xác định được các đặc trưng dao động nền do động đất sinh ra tại các vị trí quan tâm [6]. Để làm được điều đó, cần phải biết quá trình sóng địa chấn lan truyền từ vị trí động đất có thể phát sinh tới vị trí cần khảo sát. Quá trình này có thể được phân làm hai giai đoạn: (i) Sóng địa chấn lan truyền ở phần sâu của Trái Đất, từ vị trí động đất phát sinh tới nền đá gốc bên dưới vị trí quan tâm. Môi trường truyền sóng trong giai đoạn này thường phù hợp với mô hình chung cho khu vực hoặc toàn cầu; (ii) Sóng địa chấn lan truyền từ nền đá gốc bên dưới vị trí quan tâm tới mặt đất. Môi trường truyền sóng trong giai đoạn này thường có tính đặc thù địa phương, đặc trưng bởi một số yếu tố chi phối trường sóng địa chấn như đặc điểm phân bố và tính chất vật lý của các lớp đất đá bên trên đá gốc, điều kiện địa hình trên mặt [1, 3, 5, 8, 10-14]. Trong công tác đánh giá độ nguy hiểm động đất cho các vùng phục vụ công tác quy hoạch, các nhà địa chấn thường dừng lại ở giai đoạn thứ nhất nêu trên. Tuy vậy, trong công tác phân vùng chi tiết động đất và xác định các tham số địa chấn phục vụ thiết kế chống động đất cần phải tính đến những ảnh hưởng của các yếu tố địa phương. Một trong các yếu tố địa phương được cho là có ảnh hưởng tới dao động nền là điều kiện địa hình của mặt đất [1, 5].

Ở Việt Nam, hoạt động động đất mạnh mẽ nhất thường diễn ra ở các vùng miền núi, nơi có đặc thù về địa hình khá phức tạp (xem: Cơ sở dữ liệu cho các giải pháp giảm nhẹ hậu quả động đất ở Việt Nam của Nguyễn Đình Xuyên và nnk, 1996 và

[17]. Cho đến nay, mặc dù đã có rất nhiều công trình đánh giá độ nguy hiểm động đất được thực hiện cho các đô thị và công trình quan trọng ở nước ta (chẳng hạn: Phân vùng dự báo chi tiết động đất ở vùng Tây Bắc của Nguyễn Ngọc Thủy và nnk, 2005; Cơ sở dữ liệu cho các giải pháp giảm nhẹ hậu quả động đất ở Việt Nam của Nguyễn Đình Xuyên và nnk, 1996; Nghiên cứu dự báo động đất và dao động nền ở Việt Nam của Nguyễn Đình Xuyên và nnk, 2004; [15] và [17] nhưng chưa có nghiên cứu nào tiến hành đánh giá ảnh hưởng của điều kiện địa hình mặt đất tới dao động nền (sau đây gọi tắt là ảnh hưởng của điều kiện địa hình). Trong khuôn khổ bài báo này, trước hết chúng tôi giới thiệu một phương pháp cho phép đánh giá ảnh hưởng của điều kiện địa hình trong điều kiện các quan trắc về địa chấn ở Việt Nam còn rất hạn chế, đó là phương pháp mô phỏng quá trình lan truyền sóng địa chấn trong không gian ba chiều (3D) sử dụng các tính toán số trên lưới phi cấu trúc [4]. Sau đó, chúng tôi ứng dụng phương pháp này để khảo sát những biến động của một trường sóng địa chấn đơn giản sinh ra bởi một sóng phẳng P khi thay đổi các mô hình địa hình trên mặt một cách có hệ thống. Mục đích chính của nghiên cứu là chỉ ra những ảnh hưởng của điều kiện địa hình, đồng thời bước đầu thiết lập cơ sở cho công tác đánh giá ảnh hưởng của điều kiện địa hình tại những vị trí cụ thể ở Việt Nam sau này, phục vụ công tác thiết kế chống động đất.

## 2. Phương pháp

Để đánh giá được ảnh hưởng của điều kiện địa hình, người ta cần so sánh băng ghi tín hiệu địa chấn do cùng một nguồn phát sinh ra, cùng lan truyền trong một môi trường truyền sóng, nhưng có

sự khác biệt về địa hình trên mặt nơi đặt các máy ghi địa chấn. Ở những khu vực miền núi có mạng lưới trạm quan trắc địa chấn đủ dày, ảnh hưởng này có thể thấy được qua các băng ghi dao động nền khi động đất hoặc các vụ nổ nhân tạo lớn xảy ra. Trong trường hợp không có được các quan trắc địa chấn như vậy, để đánh giá ảnh hưởng của điều kiện địa hình cần thực hiện các mô phỏng quá trình lan truyền sóng địa chấn trong không gian 3D.

Trong vòng vài thập kỷ qua, cùng với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ máy tính, nhiều phương pháp tính toán số đã được phát triển phục vụ mô hình hóa các quá trình lan truyền sóng địa chấn. Một số phương pháp tiêu biểu có thể đề cập ở đây gồm có phương pháp sai phân hữu hạn [16], phương pháp giả phổ Fourier [2], phương pháp phân tử hữu hạn [9], phương pháp phân tử phổ [7]. Gần đây, một phương pháp kết hợp giữa phương pháp phân tử hữu hạn rời rạc Galerkin và phương pháp sử dụng các đạo hàm bậc cao tùy ý cho tính toán dòng chảy (được gọi tắt là phương pháp ADER-DG) đã được xây dựng và nhanh chóng nổi tiếng vì những ưu điểm trong việc mô phỏng quá trình lan truyền sóng địa chấn trong môi trường đàn hồi nói chung cũng như trong môi trường bất đồng nhất và có cấu trúc phức tạp [3-5]. Trong nghiên cứu này, phương pháp ADER-DG sẽ được chúng tôi sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của điều kiện địa hình. Các giải thích chi tiết về phương pháp ADER-DG đã được trình bày trong [4]. Một số ưu điểm nổi trội của phương pháp có thể tóm lược như sau: (i) Phương pháp cho phép sử dụng lưới phi cấu trúc 3D hợp thành bởi các phần tử là các hình khối bốn hoặc sáu mặt để mô hình hóa các cấu trúc ba chiều phức tạp; (ii) Phương pháp cho phép sử dụng nhiều đặc tính vật lý (chẳng hạn đàn hồi, đàn hồi - dẻo chảy, đàn hồi - xốp, bất đẳng hướng) để mô hình hóa xác thực các vật liệu địa chất gần mặt đất; (iii) Với việc sử dụng xấp xỉ bậc cao tùy ý theo không gian và thời gian, phương pháp có thể cung cấp các băng địa chấn tổng hợp phức tạp một cách xác thực và có độ chính xác cao. Những ưu điểm này chính là lý do chúng tôi chọn sử dụng phương pháp để đánh giá ảnh hưởng của điều kiện địa hình trong nghiên cứu này.

### 3. Ảnh hưởng của điều kiện địa hình

Như đã nêu trên, để đánh giá được ảnh hưởng của điều kiện địa hình, chúng ta cần so sánh tín hiệu địa chấn do cùng một nguồn phát sinh ra,

cùng lan truyền trong một môi trường truyền sóng, nhưng có sự khác biệt về địa hình trên mặt nơi bố trí thu sóng địa chấn. Trong một nghiên cứu trước đây của chúng tôi, phương pháp ADER-DG cũng đã được sử dụng để khảo sát sự khác biệt của các băng ghi địa chấn gây ra bởi một trận động đất xa có độ lớn  $M=6,8$  thu được tại các vị trí khác nhau trong một phạm vi hẹp trên một địa hình vùng núi [5]. Môi trường truyền sóng được giả định là đồng nhất trong nghiên cứu nêu trên. Kết quả thu được đã chỉ ra rằng, với các thành phần nằm ngang tại vị trí ở đỉnh núi, biên độ của tín hiệu địa chấn lớn gấp nhiều lần biên độ tín hiệu tương ứng ở vị trí chân núi. Rõ ràng, điều kiện địa hình trên mặt là một yếu tố quan trọng tác động tới trường sóng địa chấn.

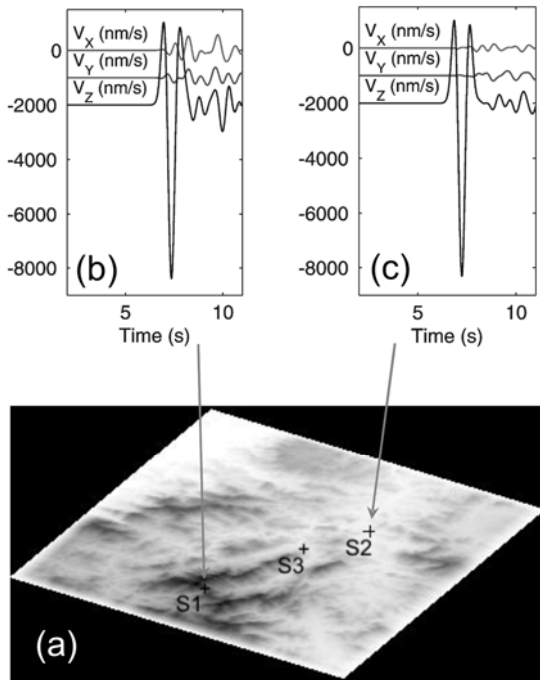
Trong nghiên cứu này, chúng tôi cũng sử dụng phương pháp ADER-DG nhưng nhằm tới mục đích xem xét kỹ hơn ảnh hưởng của một yếu tố cụ thể là mức tương phản của địa hình tới trường sóng địa chấn. Để đạt được mục tiêu này, chúng tôi xuất phát từ một mẫu địa hình trên mặt được giả định như trên *hình 1*. Các mẫu địa hình khác nhau sử dụng trong nghiên cứu này được biến đổi từ mẫu địa hình giả định ban đầu này theo công thức:

$$Z_{M(m,n)} = Z_{R(m,n)} + \text{tpf} * [Z_{R(m,n)} - Z_{R(0,0)}], \quad (1)$$

với  $Z_{R(m,n)}$  là độ cao tại nút lưới (m,n) trên mẫu địa hình giả định ban đầu,  $Z_{R(0,0)}$  là độ cao tại một vị trí trung tâm được ký hiệu là S3 trên mẫu địa hình giả định ban đầu, và  $Z_{M(m,n)}$  độ cao tại các nút lưới (m,n) của mô hình địa hình đã được biến đổi từ mẫu địa hình giả định ban đầu tương ứng với hệ số tpf trong công thức (1). Sau đây, tpf được chúng tôi gọi là hệ số địa hình. Có thể nhận thấy rằng: (i) với tpf = -1 địa hình trên mặt sẽ phẳng và tại tất cả các nút lưới đều có độ cao bằng  $Z_{R(0,0)}$ ; (ii) nếu tpf = 0 địa hình trên mặt chính là mẫu địa hình giả định ban đầu; (iii) so với mẫu địa hình giả định ban đầu mức tương phản địa hình sẽ tăng lên nếu như tpf > 0 và giảm đi nếu như  $-1 < \text{tpf} < 0$ ; và (iv) độ cao của vị trí S3 luôn được giữ không thay đổi  $Z_{M(0,0)} = Z_{R(0,0)}$  với mọi giá trị tpf. Để mô hình hóa chính xác các môi trường truyền sóng có bề mặt là các mẫu địa hình phức tạp này, chúng tôi sử dụng lưới phi cấu trúc 3D tạo bởi các phần tử là các khối tứ diện.

Kích thước mô hình môi trường truyền sóng phía dưới được lấy khoảng 60km mỗi chiều. Với kích thước mô hình như vậy, mức độ suy giảm biên độ dao động của trường sóng địa chấn theo

khoảng cách tại các điểm thu tín hiệu trên bề mặt có thể coi là như nhau. Môi trường được giả định là đồng nhất với mật độ  $\rho = 2.9\text{g/cm}^3$ , vận tốc truyền sóng P và S lần lượt là  $V_p = 6600\text{m/s}$ ,  $V_s = 3700\text{m/s}$ .

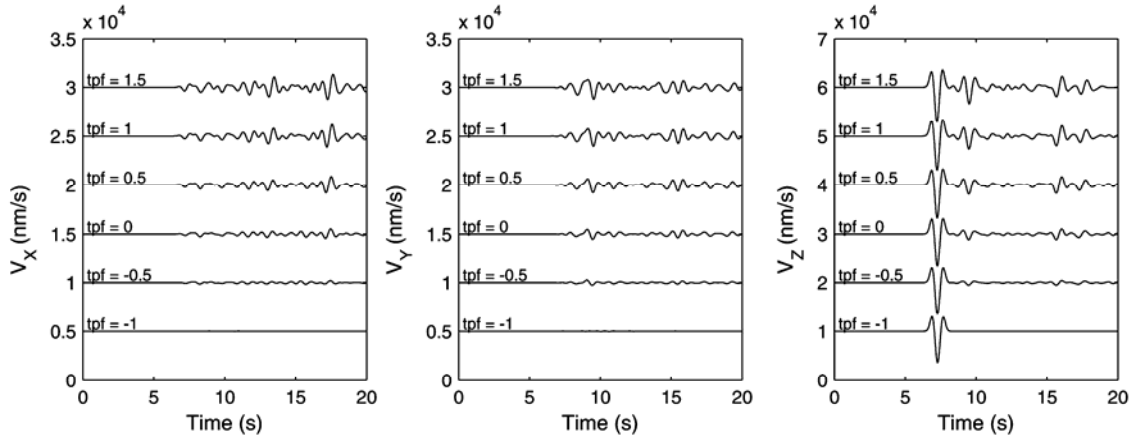


Hình 1. (a) Mẫu địa hình trên mặt giả định ban đầu sử dụng trong nghiên cứu này (màu sẫm ứng với vị trí cao, màu sáng ứng với vị trí thấp). S1, S2 và S3 là các vị trí sẽ thu lại tín hiệu địa chấn trong các mô phỏng. Độ cao so với mặt nước biển của các vị trí S1, S2 và S3 ở đây lần lượt là 1052,6m, 367,5m và 501,8m; (b) và (c): Vận tốc dao động nền mô phỏng tại các vị trí S1 và S2 cho trường hợp một sóng phẳng P truyền từ dưới lên theo phương thẳng đứng. Ký hiệu x và y ứng với hai thành phần nằm ngang, còn z ứng với thành phần thẳng đứng

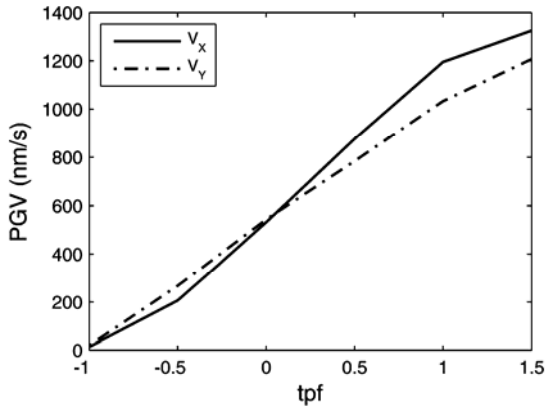
Khi đánh giá về dao động nền phục vụ công tác thiết kế chống động đất người ta thường quan tâm đến các dao động ngang do sóng S gây ra. Trong [5] cũng chỉ ra rằng điều kiện địa hình có ảnh hưởng chủ yếu đến các dao động ngang. Chính vì vậy, trong nghiên cứu này chúng tôi chỉ tập trung xem xét sự thay đổi của các sóng S do tác động của điều kiện địa hình. Để làm rõ vấn đề này chúng tôi sử dụng phương pháp ADER-DG để tính toán các

băng địa chấn trên mặt địa hình tại tọa độ ứng với các vị trí S1, S2, S3 đưa ra trên hình 1. Nguồn phát được giả định là một sóng phẳng P thuần túy có chu kỳ trội 1 giây, truyền từ dưới lên theo phương thẳng đứng. Theo lý thuyết, nếu địa hình trên mặt là bằng phẳng, với nguồn phát như vậy các sóng S sẽ không được sinh ra và biên độ tín hiệu của các thành phần nằm ngang là bằng không ( $V_x = 0$ ;  $V_y = 0$ ). Chính vì vậy, các tín hiệu  $V_x$ ,  $V_y$  nếu xuất hiện sẽ là chỉ dấu cho thấy ảnh hưởng của yếu tố địa hình. Các mô phỏng lần lượt được thực hiện ứng với các mô hình trên mặt khác nhau theo xu thế tăng dần mức độ tương phản địa hình một cách hệ thống, đặc trưng bởi các hệ số địa hình tpf lần lượt là -1,0; -0,5; 0; 0,5; 1,0 và 1,5. Các tham số mô hình sử dụng trong các mô phỏng được đưa ra trong bảng 1. Các tính toán được thực hiện trên máy tính Intel Itanium2 Montecito Dual Core (được gọi là HLRB II) đặt ở Trung tâm dữ liệu Leibniz tại Garching, Munich, CHLB Đức.

Trước hết, chúng tôi xem xét sự khác biệt của băng địa chấn mô phỏng nhận được tại hai vị trí S1 (đỉnh núi) và S2 (dưới thung lũng) cho trường hợp mẫu địa hình giả định ban đầu (hình 1). Do nguồn phát được sử dụng là một sóng phẳng P thuần túy, truyền từ dưới lên theo phương thẳng đứng nên biên độ của các tín hiệu thu được ở thành phần thẳng đứng  $V_z$  là nổi trội. Kết quả thể hiện trên hai thành phần  $V_x$  và  $V_y$  cũng phù hợp với kết quả chúng tôi đã công bố trong [5] rằng với các thành phần nằm ngang tại vị trí ở đỉnh núi biên độ của tín hiệu địa chấn lớn hơn rõ rệt biên độ tín hiệu tương ứng ở vị trí chân núi. Tiếp theo, chúng tôi xem xét sự thay đổi của tín hiệu địa chấn thu được tại vị trí S3, vị trí có độ cao không thay đổi trong tất cả các mô hình địa hình trên mặt được sử dụng. Có thể nhận xét ngay rằng kết quả mô phỏng phù hợp với dự đoán lý thuyết, nếu địa hình trên mặt là bằng phẳng (tpf = -1), các sóng S sẽ không được sinh ra và biên độ tín hiệu của các thành phần nằm ngang là bằng không ( $V_x = 0$ ;  $V_y = 0$ , xem hình 2). Tuy nhiên, khi độ cao tại các vị trí trên mặt bắt đầu có sự khác nhau (nghĩa là có sự tương phản về địa hình), các sóng S sẽ được sinh ra. Sự tương phản về độ cao tại các vị trí trên mặt càng lớn, biên độ sóng S sinh ra cũng càng lớn (hình 2, 3).



Hình 2. Vận tốc dao động nền mô phỏng tại vị trí S3 cho trường hợp một sóng phẳng P truyền từ dưới lên theo phương thẳng đứng ứng với các hệ số địa hình tpf khác nhau (tpf = -1: bề mặt tự do là phẳng; tpf = 1.5: mức tương phản địa hình trên bề mặt tự do cao nhất)



Hình 3. Sự biến đổi giá trị đỉnh vận tốc dao động nền PGV của các thành phần nằm ngang  $V_x$  và  $V_y$  (đại diện cho năng lượng sóng S sinh ra do điều kiện địa hình trên mặt) tại vị trí S3 như một hàm của hệ số địa hình tpf

**Bảng 1. Các tham số mô hình sử dụng trong nghiên cứu**

| Dạng lưới                           | Lưới phi cấu trúc 3D tạo bởi các phần tử là các khối tứ diện          |
|-------------------------------------|---|
| Kích thước phần tử ban đầu          | 450m  |
| Tốc độ gia tăng kích thước phần tử  | 1,2   |
| Giới hạn của kích thước phần tử     | 3000m   |
| Tổng số phần tử                     | ~ 700.000 - 950.000   |
| Bậc đa thức trong các phần tử       | 4   |
| Số lượng bộ xử lý                   | 256   |
| Thời gian kéo dài của băng địa chấn | ~ 22 giây   |
| Các điều kiện biên                  | Bề mặt tự do (trên mặt), dòng chảy vào (đáy), tuần hoàn (các mặt bên) |
| Thời gian tính cho một mô hình      | 36 giờ - 54 giờ   |

#### 4. Thảo luận và kết luận

Có thể thấy rằng trên mặt đất các dao động ngang đã tới chậm hơn so với các dao động thẳng đứng (hình 1). Rõ ràng, các dao động ngang không phải được sinh ra trực tiếp từ nguồn phát (sóng phẳng P). Việc xuất hiện các sóng S trên mặt đất trong điều kiện nguồn phát là một sóng phẳng P truyền trong môi trường đồng nhất chính là do yếu tố địa hình. Hiện tượng này có thể được giải thích là do quá trình phản xạ nhiều lần sóng địa chấn trên bề mặt địa hình phức tạp, từ đó gián tiếp sinh ra các sóng S (và cả các sóng P thứ cấp). Khi sự tương phản địa hình càng lớn thì quá trình phản xạ nhiều lần sóng địa chấn sẽ tăng lên, do vậy năng lượng sóng S sinh ra và bị bẫy trong các cấu trúc gần đỉnh núi cũng càng lớn. Điều này dẫn tới sự gia tăng về biên độ dao động nền của các thành phần nằm ngang thu được tại mặt đất trên các cấu trúc này.

Các kết quả nhận được trong nghiên cứu này đưa đến một số kết luận sau đây: (i) Điều kiện địa hình trên mặt đất là một yếu tố quan trọng có ảnh hưởng đến trường sóng địa chấn; (ii) Điều kiện địa hình trên mặt đất có xu hướng làm gia tăng biên độ dao động nền ứng với các thành phần nằm ngang tại các vị trí quanh đỉnh núi; (iii) Mức độ ảnh hưởng của địa hình trên mặt tới trường sóng địa chấn sẽ tăng lên hay giảm đi tương ứng với mức tăng hay giảm độ tương phản về địa hình.

Trong khuôn khổ bài báo này, xuất phát từ ý tưởng muốn nghiên cứu về dao động nền phục vụ công tác thiết kế chống động đất, chúng tôi mới chỉ tập trung phân tích về ảnh hưởng của điều kiện địa hình tới các dao động ngang do sóng S gây ra. Việc

phân tích chi tiết sự biến đổi của các sóng P dưới tác động của địa hình chưa được thực hiện ở đây, mặc dù vấn đề này cũng hết sức quan trọng và có ý nghĩa trong công tác khảo sát địa chấn thăm dò phục vụ nghiên cứu cấu trúc. Các pha sóng P thứ cấp xuất hiện ở phần đuôi của sóng P trực tiếp (xem thành phần  $V_z$  trên hình 2) khi mức tương phản địa hình tăng cao, rõ ràng được sinh ra do yếu tố địa hình trên mặt (vì môi trường truyền sóng bên dưới được giả định là đồng nhất) nhưng sẽ rất dễ bị nhầm sang dạng tín hiệu sinh ra do có một mặt ranh giới phía dưới. Đây sẽ là vấn đề mở cho những nghiên cứu tiếp theo, sau công trình này.

Các kết quả nêu ra trong bài báo đã chỉ ra rằng việc đánh giá ảnh hưởng của điều kiện địa hình trong công tác đánh giá nguy hiểm động đất ở các vùng miền núi là hết sức cần thiết. Trong điều kiện các trạm quan trắc động đất được bố trí thưa như ở nước ta, việc tiến hành các mô phỏng quá trình lan truyền sóng địa chấn trong môi trường 3D để đánh giá ảnh hưởng của điều kiện địa hình như đã thực hiện trong báo cáo này là một giải pháp hữu hiệu.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả xin gửi lời cảm ơn tới các đồng nghiệp tại Viện Địa vật lý, Đại học LMU Munich, CHLB Đức đã hỗ trợ, cho phép chúng tôi sử dụng các phần mềm và công cụ tính toán trong quá trình thực hiện nghiên cứu này.

#### TÀI LIỆU DẪN

[1] *Bard P.Y.*, 1999: Local effects on strong ground motion: physical basis and estimation methods in view of microzoning studies, Lecture and exercise notes of International Training Course on Seismology, Seismic Hazard Assessment and Risk Mitigation, Beijing - China, 1999.

[2] *Carcione, J. M.*, 1994: The wave equation in generalised coordinates, *Geophysics*, 59, 1911-1919.

[3] *Chaljub E., P. Moczo, S. Tsuno, P.Y. Bard, J. Kristek, M. Käser, M. Stupazzini, and M. Kristekova*, 2010: Quantitative Comparison of Four Numerical Predictions of 3D Ground Motion in the Grenoble Valley, France, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 100, No. 4, 1427-1455, doi:10.1785/0120090052.

[4] *Dumbser, M., and M. Käser*, 2006: An Arbitrary High Order Discontinuous Galerkin Method for Elastic Waves on Unstructured Meshes II: The Three-Dimensional Isotropic Case,

*Geophysical Journal International*, 167 (1), 319-336, doi:10.1111/j.1365-246X.2006.03120.x.

[5] *Hermann Verena, Nguyen Dinh Pham, Andreas Fichtner, Simon Kremers, Hans-Peter Bunge, and Heiner Igel*, 2010: Advances in Modelling and Inversion of Seismic Wave Propagation, in S. Wagner et al. (eds.), *High Performance Computing in Science and Engineering, Garching/Munich 2009*, Vol. 3, 293-306, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, doi: 10.1007/978-3-642-13872-025.

[6] *Kanai K.*, 1983: *Engineering seismology*, University of Tokyo Press, Tokyo.

[7] *Komatitsch, D., and J. P. Vilotte*, 1998: The spectral-element method: an efficient tool to simulate the seismic response of 2D and 3D geological structures, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 368-392.

[8] *Lermo J. and F.J. Chavez-Garcia*, 1993: Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, *Bull. Seism. Soc. Am.*, (83), 1574-1594.

[9] *Moczo, P., J. Kristek, M. Galis, P. Pazak, and M. Balazovjech*, 2007: The finite-difference and finite element modeling of seismic wave propagation and earthquake motion, *Acta physica slovacica*, 57 (2), 177-406.

[10] *Phạm Đình Nguyên*, 2002: Đánh giá ảnh hưởng của điều kiện nền lên dao động động đất mạnh. Luận văn Thạc sĩ Khoa học. Trường Đại học KHTN - Đại học QGHN, Hà Nội.

[11] *Pham Dinh Nguyen, Bor-Shouh Huang, Chin-Jen Lin, Tuan-Minh Vu, and Ngoc-Anh Tran*, 2012: Investigation of Ground Rotational Motions caused by Direct and Scattered P-Waves from the 4 March 2008 TAIGER Explosion Experiment, *Journal of Seismology*, DOI: 10.1007/s10950-012-9300-0 (online first).

[12] *Pham D.N., H. Igel, J. de la Puente, M. Käser, and M. A. Schoenberg*, 2010: Rotational Motions in Homogeneous Anisotropic Elastic Media, *Geophysics*, 75, D47-D56, doi:10.1190/1.3479489.

[13] *Pham D.N., H. Igel, J. Wassermann, M. Käser, J. de la Puente, U. Schreiber*, 2009: Observations and modelling of rotational signals in the P-Coda: constraints on crustal scattering, *Bull.*

Seism. Soc. Am., 99, no. 2B, 1315-1332, doi: 10.1785/0120080101.

[14] Stein, S., and M. Wysession, 2003: An introduction to seismology, earthquake, and earth structure, Blackwell Press.

[15] Vũ Minh Tuấn, Nguyễn Đức Vinh, Nguyễn Ánh Dương, Nguyễn Sinh Minh, Nguyễn Công Thăng, Phạm Đình Nguyên, 2012: Phương pháp tỷ số phổ H/V của sóng vi địa chấn và khả năng ứng dụng trong đánh giá ảnh hưởng của điều kiện nền

tới dao động động đất tại Hà Nội, Tạp chí Các khoa học về Trái Đất, T.34, (1), 70-75.

[16] Virieux, J., 1986: P-SV wave propagation in heterogeneous media: Velocity-stress finite-difference method, Geophysics, 51, 889-901.

[17] Nguyễn Đình Xuyên, Phạm Đình Nguyên, 2010: Một số thành tựu của địa chấn Việt Nam và xu thế phát triển hiện đại. Tuyển tập báo cáo tại Hội nghị Khoa học kỷ niệm 35 năm Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, ISBN 978-604-913-016-8, 9-20, Hà Nội.

## SUMMARY

### An Investigation of Topography Effects on Seismic Ground Motions

The paper mentioned the influence of topography of the free surface to seismic ground motions, an important topic in the field of engineering seismology, but often overlooked in seismic hazard assessments in Vietnam. The paper also introduced a method for estimating these effects in Vietnam context that the distribution of the seismic stations is sparse and the seismic activity is not so high. It is a method to allow simulating seismic wave propagations in three-dimensional media using numerical calculations in unstructured meshes. The method was then applied to investigate the changes of a simple seismic wave field generated by a plane P wave when changing the topography model of the free surface in a systematic way. The main goal of the study was to show effects of topography on seismic ground motions, and initially set up the basis for future assessments of such topography effects at specific locations in Vietnam to serve anti-seismic designs. The obtained results show that topography condition of the free surface is an important factor affecting the seismic wave field. A certain topography leads to an increase of amplitudes of seismic signals for horizontal components at sites around mountain summits. Such influences increase or decrease correspondingly with the increase or decrease of the contrast of the free surface topography.