

TÍNH TOÁN BĂNG ĐỊA CHẤN TỔNG HỢP PHỤC VỤ VI PHÂN VÙNG ĐỘNG ĐẤT VÙNG HÀ NỘI CŨ

THÁI ANH TUẤN¹, NGUYỄN ĐỨC VINH²

¹Viện Vật lý Địa cầu, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hoàng Quốc Việt, Hà Nội.

²Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội.

Tóm tắt: Trong khuôn khổ bài báo này, các tác giả trình bày kết quả thử nghiệm áp dụng phương pháp lai (hybrid method) tính toán băng địa chấn tổng hợp với kích bản là một trận động đất xảy ra trên đứt gãy Sông Hồng có $M = 6,5$, độ sâu chấn tiêu 10 km. Các thông số về cơ cấu chấn tiêu của vùng nguồn: góc dốc = 80° , đường phương = 312° . Mười mặt cắt địa chất công trình ngang qua vùng Hà Nội cũ được đưa vào để tính băng địa chấn tổng hợp.

Với kích bản động đất này, kết quả tính toán băng địa chấn tổng hợp dọc theo mười tuyến mặt cắt cho phép rút ra một số nhận định sau:

- Gia tốc thành phần nằm ngang có biên độ lớn nhất, giá trị gia tốc cực đại (A_{max}) thành phần nằm ngang thay đổi từ 150 đến 545 cm/s^2 , thành phần tia thay đổi từ 30 đến 151 cm/s^2 , thành phần thẳng đứng thay đổi từ 23 đến 104 cm/s^2 . So sánh giá trị A_{max} với thang chia cường độ chấn động MM (modified Mercalli scale) cho thấy vùng nghiên cứu có cường độ chấn động từ cấp VI đến IX.

- Tỷ lệ phổ phản ứng RSR (response spectra ratio) giữa mô hình 2D/1D có giá trị cực đại trong miền tần số từ 1 đến 3Hz (tương ứng với chu kỳ trội từ 0,33 đến 1 s). Khuếch đại nền lớn nhất quan sát được tại các vùng có nền đất lỏng và bề dày trầm tích lớn.

MỞ ĐẦU

Đã có một số công trình nghiên cứu về vi phân vùng động đất vùng Hà Nội cũ [8, 9, 11, 12] sử dụng phương pháp độ cứng địa chấn và quan sát dao động vi địa chấn. Các phương pháp nghiên cứu này chủ yếu dựa trên việc phân tích các băng địa chấn ghi được từ các trận động đất mạnh đã xảy ra trong quá khứ để tìm ra các băng ghi địa chấn có cùng các đặc trưng về nguồn chấn động, đường truyền và điểm quan sát, từ đó xác định được giá trị của tham số rung động nền phục vụ vi phân vùng động đất. Tuy nhiên, đối với những vùng có ít số liệu về động đất và các băng ghi địa chấn quan trắc như vùng Hà Nội cũ thì việc áp dụng phương pháp nghiên cứu này khó mà đưa ra được những kết quả đáng tin cậy.

Nhằm khắc phục những hạn chế trên, trong bài báo này chúng tôi thử nghiệm tính toán băng địa chấn tổng hợp của một trận động đất kích bản phục vụ nghiên cứu vi phân vùng động đất. Một kích bản động đất được xây dựng cho vùng Hà Nội cũ với các tham số của nguồn chấn động. Mô hình cấu trúc khu vực và địa phương cũng được xây dựng dựa trên đặc điểm địa chất, địa chất công trình và tính chất địa vật lý của vùng nghiên cứu. Và từ những hiểu biết về sự lan truyền sóng có thể mô phỏng quá trình phát sinh và lan truyền sóng từ nguồn địa chấn đến các điểm quan sát. Băng địa chấn tổng hợp gồm các thành phần gia tốc, vận tốc và dịch chuyển nền tại các điểm quan sát được xác định. Các tài liệu này cho phép chúng ta có thể ước lượng được các giá trị của tham số rung động nền.

I. VỊ TRÍ KIẾN TẠO VÀ ĐẶC ĐIỂM ĐỊA CHẤT CÔNG TRÌNH VÙNG HÀ NỘI CŨ

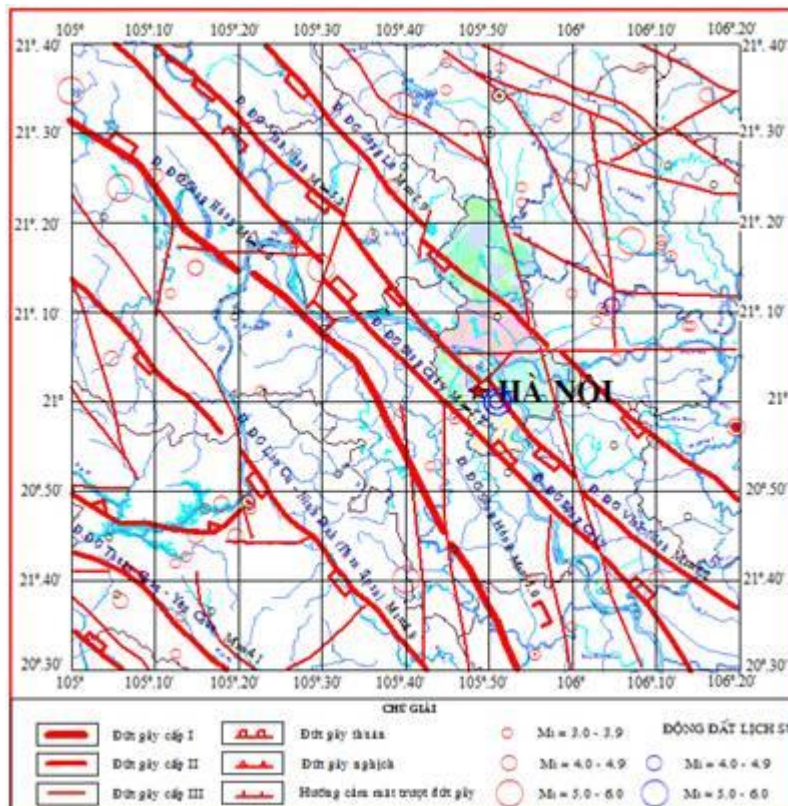
1. Vị trí kiến tạo

Vùng Hà Nội cũ được giới hạn trong phạm vi từ $20^{\circ}53'$ đến $21^{\circ}23'$ vĩ độ Bắc và từ $105^{\circ}40'$ đến $106^{\circ}02'$ độ kinh Đông. Vùng này nằm về phía tây bắc vông Kainozoi Sông Hồng (phần trên đất liền) phát triển trên đới đứt gãy Sông Hồng. Trong Kainozoi đới đứt gãy sâu Sông Hồng đóng vai trò ranh giới giữa hai địa khối Hoa Nam ở phía đông bắc và Indosinia (Đông Dương) ở phía tây nam. Từ Tây Tạng (Trung Quốc) đới đứt gãy phát triển theo phương TB-ĐN vào lãnh thổ Việt Nam. Ở gần biên giới Việt-Trung đới đứt gãy phân nhánh tạo ra đứt gãy Sông Chảy và tới Vĩnh Ninh phát triển thêm nhánh đứt gãy Sông Lô [15].

Trong Kainozoi, vùng nghiên cứu chịu sự tác động của 3 mảng thạch quyển Ấn-Úc, Á-Âu và Thái Bình Dương. Tác động tương tác này biến đổi theo thời gian và không gian. Trong Kainozoi sớm, đới đứt gãy Sông Hồng được đặc trưng chủ yếu bởi cơ chế trượt bằng trái và trong Kainozoi muộn đặc trưng chủ yếu bởi cơ chế trượt bằng phải là chủ yếu với hợp phần thuận tăng dần về phía đông nam.

Vùng Hà Nội cũ nằm phía bắc đứt gãy Sông Hồng và đứt gãy Sông Chảy thuộc hệ chuẩn uốn nếp Đông Việt Nam. Khu vực này được thành tạo trên móng kết tinh Neoproterozoi - Cambri hạ với các lớp phủ trên gồm các thành tạo Mesozoi, Neogen và Đệ tứ.

Nhìn chung, vùng Hà Nội cũ nằm trên một khu vực địa chất khá phức tạp. Các công trình nghiên cứu trong những năm gần đây làm sáng tỏ được quy luật cấu trúc gồm phần trên móng kết tinh là các thành tạo Mesozoi và Kainozoi, các thành tạo thuộc phần dưới của lớp phủ Kainozoi trở xuống trên phần lớn địa bàn chưa có nhiều thông tin để làm rõ được đặc điểm cấu trúc.



Hình 1. Sơ đồ địa chấn - kiến tạo vùng Hà Nội và lân cận [14].

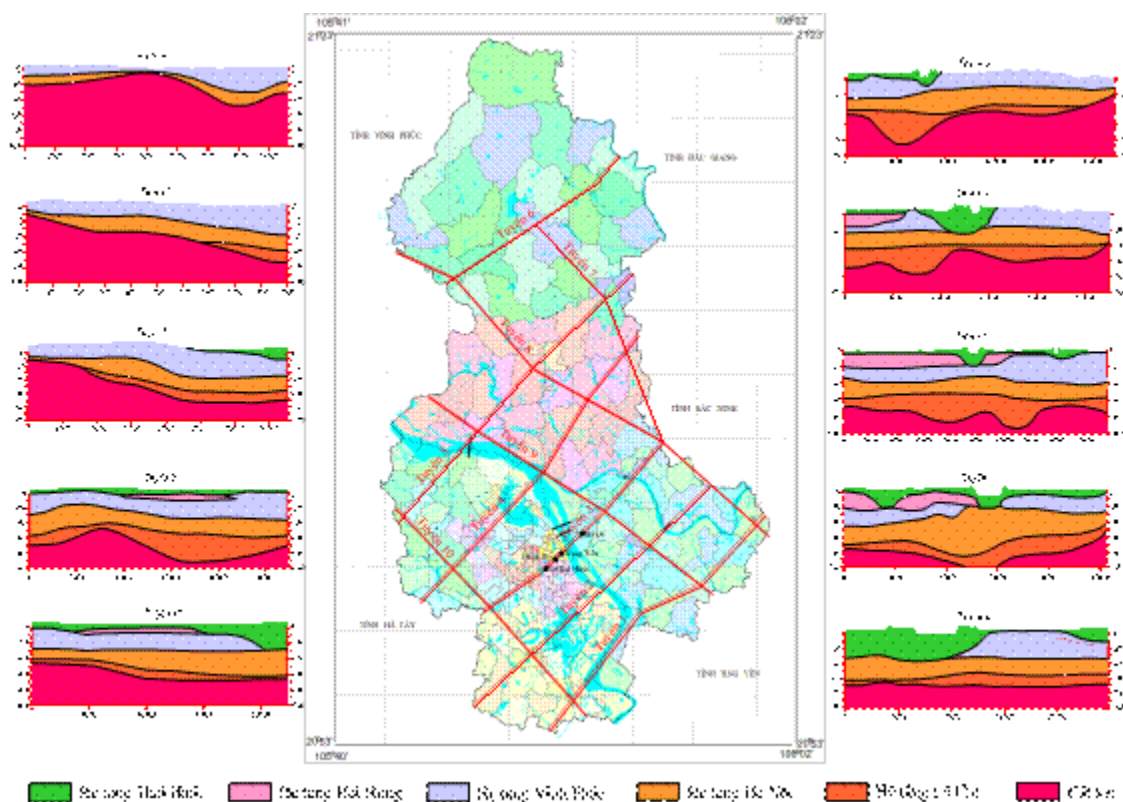
2. Sơ lược về đặc điểm địa chất công trình

Các thành tạo Đệ tứ ở Hà Nội được hình thành khoảng 1,6 Tr.n. trước, từ Pleistocen sớm đến Holocen muộn. Bề dày trầm tích Đệ tứ tăng dần từ phía bắc xuống phía nam; vùng có bề dày trầm tích Đệ tứ tăng cao gần như trùng với dòng chảy sông Hồng hiện đại. Trầm tích Đệ tứ ở địa bàn Hà Nội được phân ra làm 5 phân vị chính với tuổi và nguồn gốc khác nhau gồm: hệ tầng Lê Chi, hệ tầng Hà Nội, hệ tầng Vĩnh Phúc, hệ tầng Hải Hưng và hệ tầng Thái Bình [3, 15].

- *Hệ tầng Lê Chi* phân bố ở độ sâu từ 45 đến 69,5 m, với bề dày thay đổi từ 2,5 đến 24,5 m. Theo không gian phân bố, bề dày tăng dần về phía nam. Hệ tầng Lê Chi chủ yếu gồm cát, cuội, sạn nằm không chỉnh hợp trên trầm tích Pliocen thượng và nằm không chỉnh hợp dưới hệ tầng Hà Nội. Hệ tầng này không lộ trên mặt và được định tuổi là Pleistocen.

- *Hệ tầng Hà Nội* lộ ra trên mặt ở rìa đồng bằng thuộc các xã Minh Phú, Minh Trí và đền Vệ Linh. Bề dày lớn nhất ở nam Thanh Trì đạt khoảng 34 m. Ở vùng ven rìa đồng bằng, bề dày hệ tầng chỉ đạt 0,5-3 m. Đặc điểm nổi bật về mặt thạch học của hệ tầng này là khối lượng hạt vụn thô gồm cuội, sỏi sạn cát chiếm tỷ trọng lớn.

- *Hệ tầng Vĩnh Phúc* lộ ra trên diện rộng dưới dạng đồng bằng bồi tích cổ thuộc huyện Sóc Sơn, Đông Anh, một phần ở Cổ Nhuế, Xuân Đình với độ cao tuyệt đối của bề mặt biển đổi từ 8 đến 20 m. Ven sông Hồng, chúng phân bố ở độ sâu từ 18 đến 41,7 m, ven sông Đuống 2-41 m. Bề dày của hệ tầng có xu hướng tăng dần về phía nam, tây nam. Thành phần chủ yếu gồm sét bột, cát lẫn sét, cát vàng xây dựng.



Hình 2. Sơ đồ mười tuyến mặt cắt địa chất công trình ngang qua vùng Hà Nội cũ (độ sâu và chiều dài tuyến mặt cắt có đơn vị là m).

- *Hệ tầng Hải Hưng* được đặc trưng 2 loại nguồn gốc: trầm tích hồ - đầm lầy trước biển tiến nằm dưới và trầm tích biển màu xám xanh, mịn dẻo nằm trên. Hệ tầng không lộ ra trên mặt mà nằm ở độ sâu 1,5-20 m, bề dày lớn nhất là 13,5 m.

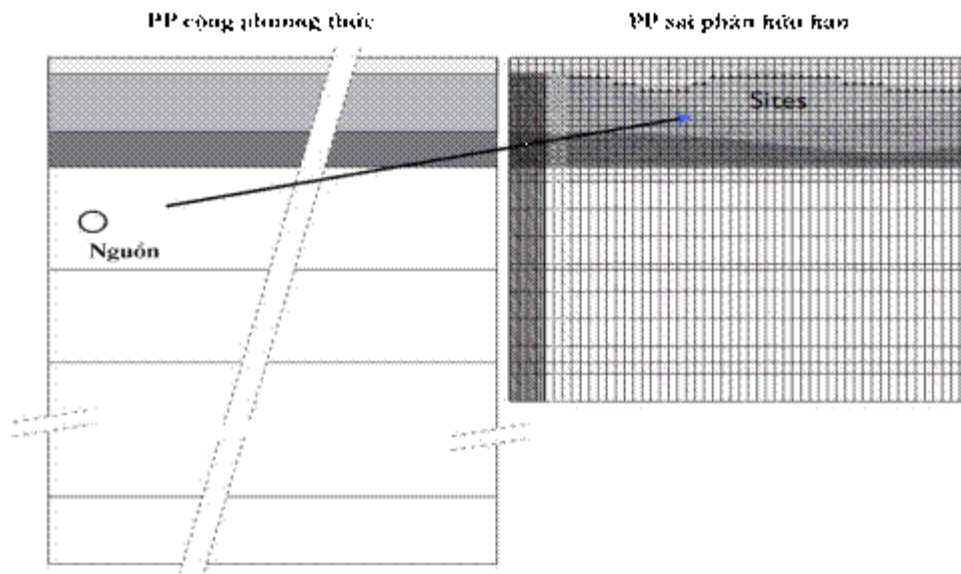
- *Hệ tầng Thái Bình* là các trầm tích hiện đại được thành tạo sau khi biển lùi, mực nước biển hạ thấp. Thành phần chủ yếu sét pha, cát pha, cát hạt nhỏ, cát bột lẫn mùn thực vật với chiều dày biến đổi 2-15 m. Bề dày lớn nhất của hệ tầng Thái Bình là 35,5 m ở vùng Thanh Trì.

II. MỘT SỐ KẾT QUẢ TÍNH TOÁN BẰNG ĐỊA CHẤN TỔNG HỢP KHU VỰC HÀ NỘI CŨ

1. Phương pháp

Việc tính toán bằng địa chấn tổng hợp được tiến hành bằng phương pháp lai (hybrid method) [4, 5]. Phương pháp này là tổ hợp của 2 phương pháp: phương pháp cộng phương thức (modal summation viết tắt là MS) [13] và phương pháp sai phân hữu hạn (finite difference viết tắt là FD) [17, 18]. Tổ hợp 2 phương pháp này cho phép đánh giá phản ứng rung động nền có xét đến cả ba yếu tố quan trọng là đặc trưng nguồn chấn động, sự lan truyền sóng địa chấn và các điều kiện địa chất, địa kỹ thuật của môi trường địa phương.

Các thông số đầu vào là nguồn động đất kích bản và đặc điểm cấu trúc địa chất vùng nghiên cứu. Mô hình cấu trúc được đưa vào tính toán bao gồm 2 phần: mô hình đơn giản 1D là mô hình khu vực (đá gốc) và mô hình cấu trúc địa phương 2D. Mô hình 1D được xác định như là một tập hợp của các lớp nằm ngang, mỗi lớp được xác định với các thông số về mật độ, bề dày, vận tốc sóng P và sóng S. Mô hình cấu trúc địa phương 2D là mô hình mặt cắt địa chất công trình vùng nghiên cứu với đầy đủ các thông tin về mật độ, vận tốc sóng P và S của mỗi lớp cấu trúc.



Hình 3. Sơ đồ minh họa phương pháp lai là tổ hợp của hai phương pháp cộng phương thức (MS) và sai phân hữu hạn (FD).

Các điểm quan sát được bố trí dọc theo mặt cắt địa chất công trình qua vùng nghiên cứu. Nguồn chấn động nằm trong đá gốc và sự tính toán được thực hiện qua 2 công đoạn:

- Sử dụng phương pháp cộng phương thức (MS) tính toán sự lan truyền sóng trong mô hình cấu trúc 1D từ nguồn động đất đến vùng lân cận của mô hình cấu trúc địa phương 2D.

- Kết quả này được sử dụng làm đầu vào để tính toán sự lan truyền sóng trong môi trường bất đồng nhất 2D bằng phương pháp sai phân hữu hạn (FD).

Kết quả tính toán bằng địa chấn cho mô hình 1D và 2D được biểu thị dưới dạng các thông số rung động nền bao gồm gia tốc nền, vận tốc nền, dịch chuyển nền ở cả ba thành phần ngang, tia và thẳng đứng. Từ kết quả này suy ra phổ phản ứng cho mô hình 1D và 2D. Tỷ lệ phổ phản ứng (response spectra ratio còn được gọi là hệ số khuếch đại phổ viết tắt là RSR) giữa mô hình 2D/1D được sử dụng để ước lượng sự khuếch đại nền tại mỗi điểm quan sát. Hình 3 minh họa sơ đồ áp dụng phương pháp lai.

2. Các thông số đầu vào tính toán bằng địa chấn tổng hợp

Các thông số đầu vào tính toán bằng địa chấn tổng hợp sử dụng phương pháp lai bao gồm: a) Mô hình nguồn động đất kích bản; b) Các thông số của mô hình khu vực (đá gốc) 1D; c) Các thông số của mô hình địa phương 2D.

a/ Nguồn động đất được chọn là một trận động đất kích bản xảy ra trên đứt gãy Sông Hồng có $M = 6,5$, độ sâu chấn tiêu 10 km. Các thông số về cơ cấu chấn tiêu của nguồn được xác định theo các thông số hình học và địa động lực của đứt gãy Sông Hồng, góc dốc = 80° , đường phương = 312° [1].

Bảng 1. Các thông số của mô hình cấu trúc khu vực 1D (nền đá gốc)

Tên lớp	Độ dày lớp (km)	Mật độ ρ (g/cm ³)	V_p (km/s)	V_s (km/s)	Độ sâu (km)
Phong Châu	2	2,20	2,20	1,27	2
KZ	5	2,60	4,60	2,70	7
Móng kết tinh	10	2,80	6,40	3,60	17
Mặt Moho	15	2,90	6,50	3,70	32
Manti trên	70	3,15	7,90	4,57	102

Bảng 2. Các thông số về mật độ, vận tốc sóng S và sóng P của mô hình cấu trúc địa phương 2D

Các kiểu thạch học	Mật độ (g/cm ³)	Vận tốc V_s (m/s)	Vận tốc V_p (m/s)
Sét (Thái Bình)	1,86	150	200
Sét pha (Hải Hưng)	1,9	170	260
Cát pha (Vĩnh Phúc)	1,89	215	300
Cát (Vĩnh Phúc)	1,89	330	470
Cát, cuội, sạn (Hà Nội)	2,00	430	615
Cát, cuội, sạn (Lệ Chi)	2,1	600	860
Cát kết	2,5	950	1360

b/ Các thông số của mô hình khu vực 1D về mật độ và vận tốc truyền sóng trong mỗi lớp ở các độ sâu khác nhau được liệt kê trong Bảng 1. Các thông số này được tham khảo từ các công trình đã công bố trước đây [1, 2, 6, 7, 14, 15].

c/ Các thông số của mô hình địa phương 2D: Dựa vào các đặc điểm địa chất công trình nêu trên và tham khảo một số kết quả phân tích lỗ khoan, chúng tôi đã thiết kế 10 tuyến mặt cắt địa chất công trình cắt ngang qua vùng Hà Nội cũ từ tuyến 1 đến tuyến 10 (Hình 2). Mặt cắt tuyến 1 dài

24,7 km, tuyến 2 dài 25,5 km, tuyến 3 dài 19,7 km, tuyến 4 dài 27,5 km, tuyến 5 dài 27 km, tuyến 6 dài 17 km, tuyến 7 dài 20 km, tuyến 8 dài 37 km, tuyến 9 dài 27,5 km, tuyến 10 dài 22 km. Các thông số về mật độ và vận tốc truyền sóng sử dụng cho mô hình 2D được tham khảo từ [3, 6, 7, 10]. Các thông số này được liệt kê trong Bảng 2.

3. Kết quả

Với kịch bản một trận động đất xảy ra trên đứt gãy sông Hồng với các thông số đầu vào như đã trình bày ở trên, chúng tôi đã sử dụng bộ chương trình GNDT để tính toán băng địa chấn tổng hợp. Bộ chương trình GNDT (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti) được Camassi và Stucchi viết năm 1996 sau đó được phát triển và cập nhật bởi các nhà khoa học thuộc khoa Địa chất trường Đại học Trieste, Italia [16]. Bộ chương trình này đã thử nghiệm tính toán độ nguy hiểm động đất cho một số thành phố lớn trên thế giới và cho kết quả được các chuyên gia trong ngành đánh giá cao.

Kết quả tính toán băng địa chấn tổng hợp tại các điểm quan sát dọc theo 10 tuyến mặt cắt được thể hiện dưới dạng phân bố không gian của các tham số rung động nền như gia tốc nền, vận tốc nền, dịch chuyển nền với 3 thành phần nằm ngang, tia và thẳng đứng. Tỷ lệ phổ phản ứng RSR giữa mô hình 2D/1D cũng được thể hiện như là một hàm của tần số. Để phục vụ công tác vi phân vùng động đất, thường thì chỉ quan tâm đến gia tốc nền nên trong bài báo này chúng tôi chỉ đưa ra những kết quả liên quan đến gia tốc nền. Băng gia tốc và tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc RSRA (response spectra ratio acceleration) dọc theo tuyến 3 được mô tả trên các Hình 4, 5.

Các kết quả tính toán băng địa chấn tổng hợp dọc theo 10 tuyến mặt cắt địa chất công trình cho chúng ta thấy:

1/ Gia tốc thành phần nằm ngang có biên độ lớn nhất, giá trị gia tốc cực đại (A_{max}) thành phần nằm ngang thay đổi từ 150 đến 545 cm/s^2 , thành phần tia thay đổi từ 30 đến 151 cm/s^2 , thành phần thẳng đứng thay đổi từ 23 đến 104 cm/s^2 . So sánh giá trị gia tốc cực đại với thang chia cường độ chấn động MM (modified Mercalli scale) cho thấy với kịch bản động đất này thì vùng Hà Nội cũ có cường độ chấn động từ cấp VII đến IX.

2/ Tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc RSRA giữa mô hình 2D/1D thành phần nằm ngang đạt giá trị cực đại từ 2 đến 4,8 trong miền tần số từ 1 đến 2 Hz (tương ứng với chu kỳ trội từ 0,5 đến 1 s), thành phần tia đạt cực đại từ 3 đến 5,5 trong miền tần số từ 1 đến 3 Hz (tương ứng với chu kỳ trội từ 0,33 đến 1 s), thành phần thẳng đứng đạt cực đại từ 4 đến 7 trong miền tần số từ 1 đến 2,5 Hz (tương ứng với chu kỳ trội từ 0,4 đến 1 s).

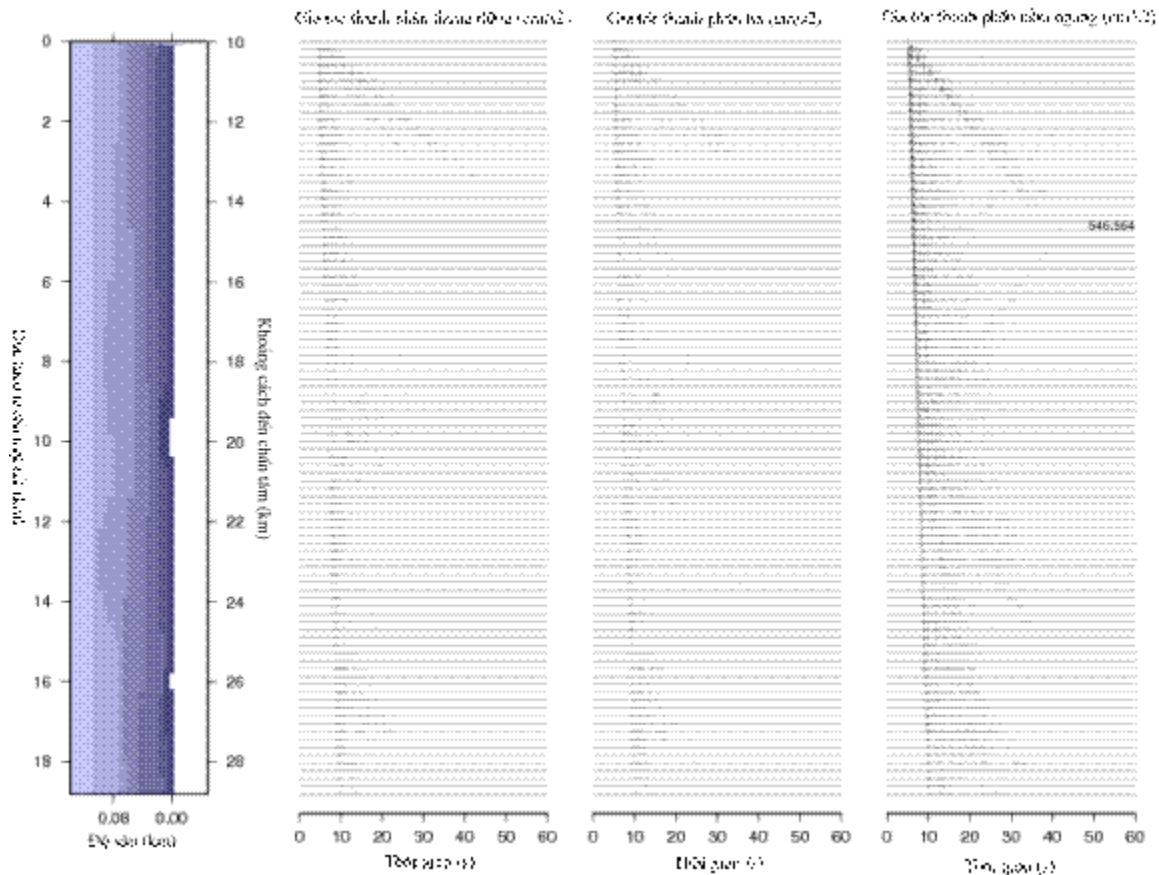
3/ Phía Bắc vùng Hà Nội cũ, cụ thể tại phần đầu mặt cắt tuyến 6, tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc RSRA của cả ba thành phần đạt giá trị cực đại nhỏ chỉ từ 2 đến 3 trong miền tần số từ 1,5 đến 3 Hz (tương ứng với chu kỳ trội từ 0,33 đến 0,66 s). Dọc theo sông Hồng, nội thành Hà Nội và phía đông nam Hà Nội cũ tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc đạt giá trị cực đại lớn từ 4 đến 7 trong miền tần số từ 1 đến 2 Hz (tương ứng với chu kỳ trội từ 0,5 đến 1 s). Kết quả này cho thấy có thể do bề dày của lớp phủ trầm tích đã ảnh hưởng đến giá trị tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc và chu kỳ trội. Vùng có bề dày trầm tích mỏng thì tỷ lệ phổ phản ứng nhỏ và chu kỳ trội nhỏ, khu vực có bề dày trầm tích lớn thì tỷ lệ phổ phản ứng lớn và chu kỳ trội lớn.

Kết quả tính về tỷ lệ phổ và chu kỳ trội này khá phù hợp với kết quả nghiên cứu của một số công trình nghiên cứu trước đây [4, 6, 9, 11, 12].

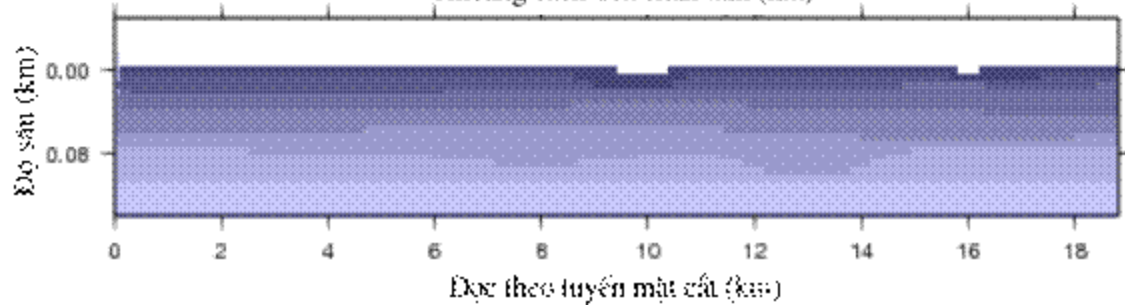
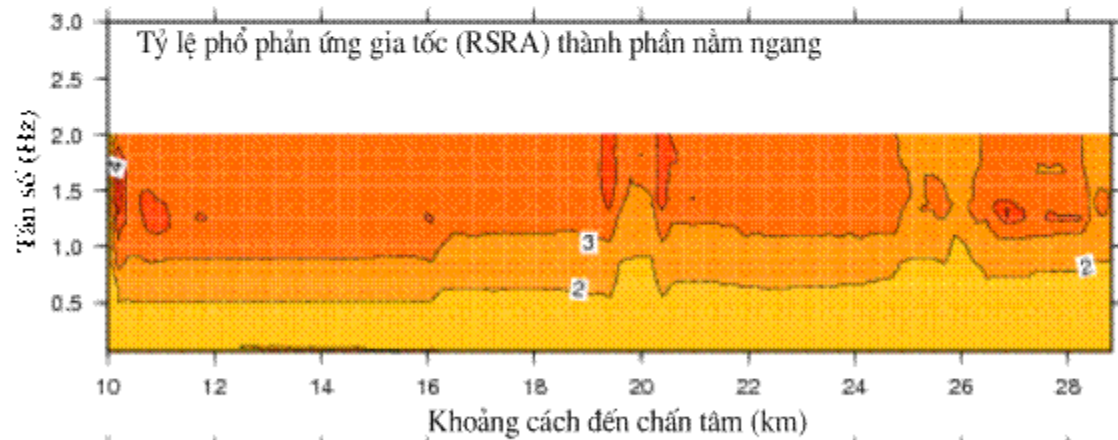
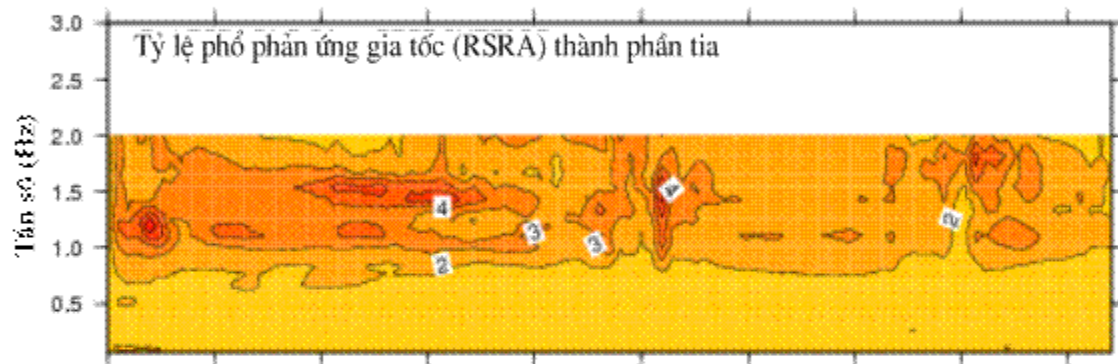
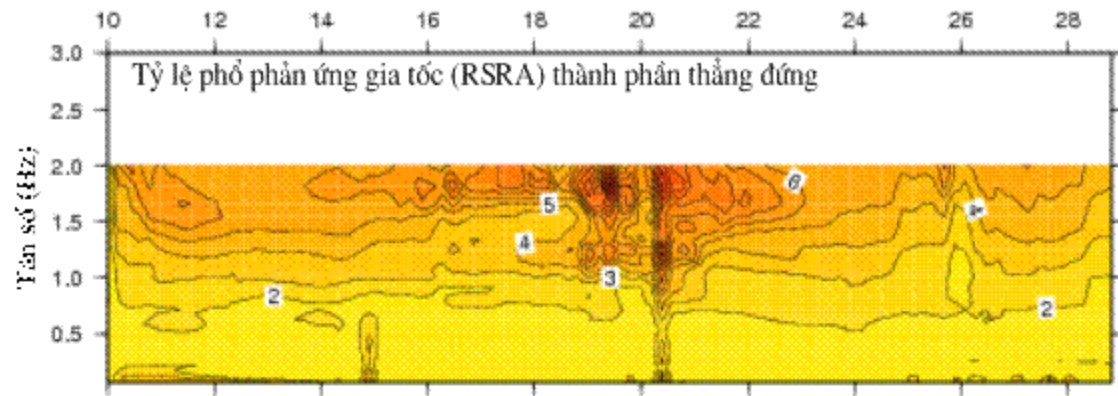
Cụ thể kết quả tính bằng gia tốc, tỷ lệ phổ gia tốc RSRA tại các điểm quan sát trên mặt cắt tuyến 3 thuộc phường Lê Đại Hành, Hàng Bài, Tràng Tiền và xã Bồ Đề (các điểm này được đánh dấu sao trên Hình 2) được liệt kê trong Bảng 3 và được mô tả trên các Hình 6 và 7.

Bảng 3. Bảng các giá trị về gia tốc nền và tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc RSRA tại một số điểm quan sát

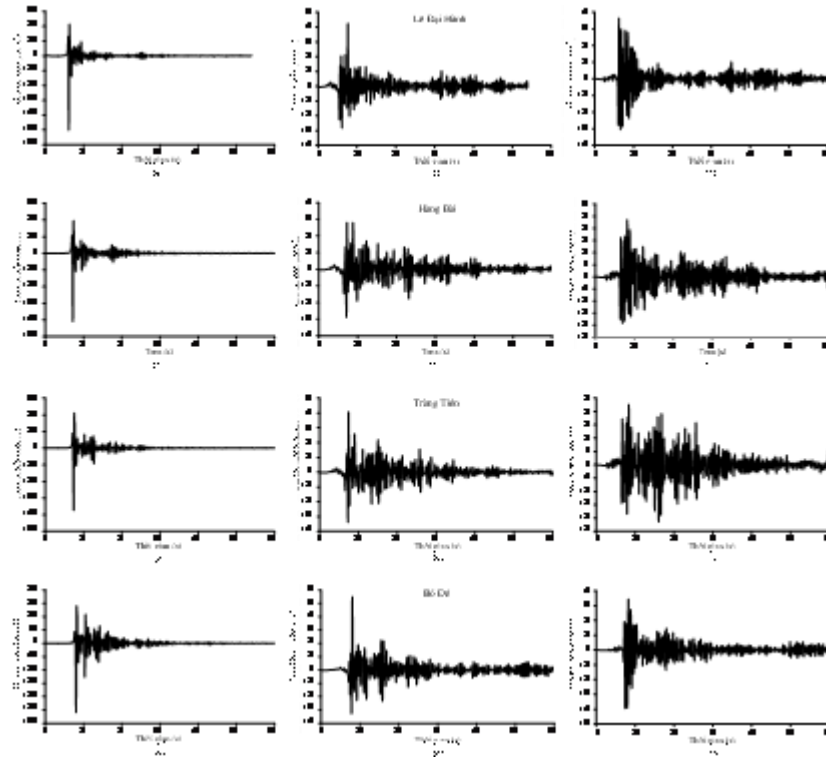
Điểm tính	Gia tốc nền cực đại Amax (cm/s ²)			Tỷ lệ phổ gia tốc RSRA cực đại			Tần số tương ứng với RSRA cực đại (Hz)		
	Ngang	Tia	Thẳng đứng	Ngang	Tia	Thẳng đứng	Ngang	Tia	Thẳng đứng
Lê Đại Hành	501	42	36	3,8	5	6	1,3	1,17	2
Hàng Bài	409	29	23	3,6	3,5	5,5	1,3	1,8	2
Tràng Tiền	373	40	23	3,7	3,7	5,8	1,8	1,8	2
Bồ Đề	260	54	39	3,7	5,5	6,8	1,4	1,5	1,8



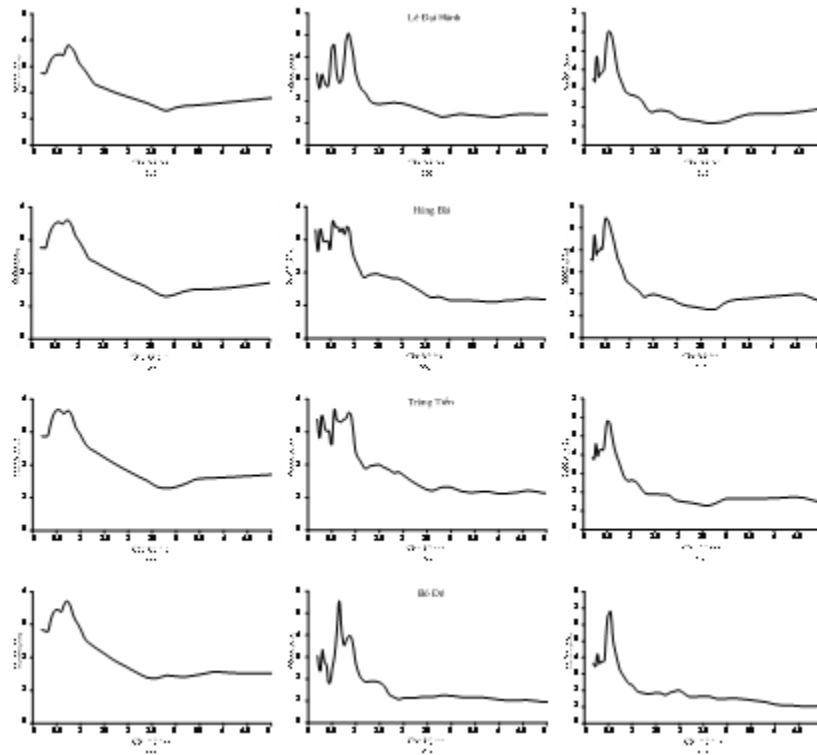
Hình 4. Ba thành phần của băng gia tốc dọc theo mặt cắt tuyến 3.



Hình 5. Tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc giữa mô hình 2D/1D thu được dọc theo mặt cắt tuyến 3 với sự tắt dần 5%.



Hình 6. Bảng gia tốc nền tại các điểm Lê Đại Hành, Hàng Bài, Tràng Tiền, Bồ Đề với các thành phần: (a) ngang, (b) tia, (c) thẳng đứng.



Hình 7. Đồ thị tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc nền (RSRA) tại các điểm Lê Đại Hành, Hàng Bài, Tràng Tiền, Bồ Đề với các thành phần: (a) ngang, (b) tia, (c) thẳng đứng, với sự tắt dần 5%

KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu này, chúng tôi đi đến kết luận: tính toán bằng địa chấn tổng hợp phục vụ vi phân vùng động đất là một phương pháp phù hợp cho các vùng có ít số liệu về động đất như vùng Hà Nội cũ.

Với kịch bản động đất xảy ra trên đứt gãy Sông Hồng có $M = 6,5$, độ sâu chấn tiêu 10 km, bằng địa chấn tổng hợp tại các điểm quan sát dọc theo mười tuyến mặt được xác định. Độ nguy hiểm động đất được biểu thị qua các thông số về gia tốc nền cực đại Amax và tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc RSR với sự tắt dần 5%.

Giá trị Amax thành phần nằm ngang thay đổi từ 150 cm/s^2 ÷ 545 cm/s^2 , thành phần tia thay đổi từ 30 đến 151 cm/s^2 , thành phần thẳng đứng thay đổi từ 23 đến 104 cm/s^2 . So sánh giá trị gia tốc cực đại với thang chia cường độ chấn động MM cho thấy với kịch bản động đất này thì vùng Hà Nội cũ có cường độ chấn động từ cấp VI đến IX.

Tỷ lệ phổ phản ứng gia tốc RSRA đạt giá trị cực đại trong miền tần số từ 1 đến 3 Hz (tương ứng với chu kỳ trội từ 0,33 đến 1 s). Khuếch đại nền lớn nhất quan sát được tại các vùng đất lỏng và bề dày trầm tích lớn.

VĂN LIỆU

1. Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Nguyễn Hữu Tuyên, 2000. Mô hình mật độ vỏ Trái đất đới đứt gãy Sông Hồng trên phần đất liền lãnh thổ Việt Nam. *TC Các KH về TĐ*, 22/4: 347-354. Hà Nội.
2. Cao Đình Triều, Lê Văn Dũng, Cao Đình Trọng, 2008. Áp dụng phương pháp tắt định mới trong nghiên cứu tai biến động đất ở Việt Nam. Báo cáo *HTKH toàn quốc Tai biến địa chất và giải pháp phòng chống*, tr. 31 - 43. Hà Nội.
3. Cục địa chất và Khoáng sản Việt nam, 2003. Địa chất và tài nguyên khoáng sản thành phố Hà Nội. *Lưu trữ Địa chất*, Hà Nội.
4. Fäh D., Suhadolc P. and Panza G.F., 1993. Variability of seismic ground motion in complex media: The Friuli area (Italy). In *Geophy. Exploration in Areas of Complex Geology, II* (Eds Cassinis, R., Helbig, K. and Panza, G.F.), *J. Appl. Geophys.*, 30: 131-148.
5. Fäh D., Suhadolc P., Mueller and Panza G.F., 1994. A hybrid method for the estimation of ground motion in sedimentary basins; quantitative modelling for Mexico City. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84: 383-399.
6. Lê Tử Sơn, 2000. Cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội ứng với bản đồ phân vùng nhỏ động đất Hà Nội. *Lưu trữ Viện VLĐC*, Hà Nội.
7. Lê Tử Sơn, 2008. Nghiên cứu quy luật suy giảm sóng địa chấn và mặt cắt vận tốc nhằm nâng cao độ tin cậy trong dự báo thiên tai địa chấn. *Lưu trữ Viện VLĐC*, Hà Nội.
8. Nguyễn Đình Xuyên, 1990. Phân vùng nhỏ động đất thành phố Hà Nội. *Nxb KH&KT*, Hà Nội.
9. Nguyễn Đình Xuyên, 1994. Hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất nội thành Hà Nội và ven nội tỷ lệ 1:25,000. *Lưu trữ Viện VLĐC*.

- 10. Nguyễn Hồng Phương, 2006.** Đánh giá rủi ro động đất đô thị và các ứng dụng địa chất công trình, *TC Các KH về TĐ*, 28/3: 293-304. Hà Nội.
- 11. Nguyễn Ngọc Thủy (Chủ biên), 2004.** Nghiên cứu bổ sung và hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất Tp. Hà Nội mở rộng, tỷ lệ 1:25,000, lập cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội. *Lưu trữ Viện Kỹ thuật xây dựng và Viện Vật lý địa cầu.VLĐC*.
- 12. Nguyễn Tiên Hùng, Kuo Liang Wen, 2011.** Sơ đồ vi phân vùng động đất thành phố Hà Nội trên cơ sở các kết quả đo dao động vi địa chấn, *TC Các KH về TĐ*, 33/2: 175-184. Hà Nội.
- 13. Panza G.F, Romanelli F., and Vaccari F., 2001.** Seismic wave propagation in laterally heterogeneous anelastic media: theory and application to seismic zonation. *Advances in Geophysics*, 42: 1-95. Acad. Press,
- 14. Thái Anh Tuấn, Lê Văn Dũng, Mai Xuân Bách, 2011.** Đánh giá độ nguy hiểm động đất khu vực thành phố Hà Nội và lân cận trên cơ sở thuật toán tất định mới. *TC Các KH về TĐ*, 33/2: 200-208. Hà Nội.
- 15. Trần Văn Thắng, 2009.** Điều tra đặc điểm địa động lực hiện đại và các tai biến địa chất - môi trường khu vực đồng bằng Sông Hồng và ảnh hưởng của chúng tới hạ tầng cơ sở. *Lưu trữ Viện VLĐC, Hà Nội*.
- 16. University of Trieste, 2004.** GNDT Deterministic seismic zoning referee guide (Version 0,5,4). *Univ. of Trieste*, pp. 68.
- 17. Virieux J., 1984.** SH wave propagation in heterogeneous media: Velocity-stress finite-difference method. *Geophysics*, 49: 1933-1957.
- 18. Virieux J., 1986.** P-SH wave propagation in heterogeneous media: Velocity-stress finite-difference method. *Geophysics*, 51: 889 – 901.