



Mô phỏng trận động đất ngày 22 tháng 10 năm 2012, $M = 4,6$ khu vực thủy điện Sông Tranh 2

Trần Thị Mỹ Thành^{*1}, Vi Văn Vững¹, Hiroe Miyake², Kojiro Irikura³

¹*Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

²*University of Tokyo, Japan*

³*Aichi Institute of Technology, Japan*

Chấp nhận đăng: 20 - 9 - 2015

ABSTRACT

Simulated ground motion of the earthquake on October 22nd, 2012, M4.6 at Song Tranh 2 dam area

Records of ground motion by strong earthquakes are important documents used in earthquake-resistant design, particularly for key construction projects. In reality, there are few records of ground motion caused by maximum earthquakes at major infrastructure facilities, even at locations where strong earthquakes frequently occur with adequate monitoring facilities such as those in Japan, US and Taiwan. To overcome the shortage of raw seismic records at these facilities, there are many simulation studies to model strong earthquake records. This research has been conducted by developed countries to apply to seismic hazard assessment in the important facilities such as hydropower, thermal or nuclear power plants.

By the end of 2010, Vietnam has obtained 24 records of ground acceleration of 21 earthquakes (mostly recorded at Tuan Giao and Dien Bien seismic stations). Of these, there are 17 records of earthquakes and the rest are aftershocks of the Dien Bien earthquake on 19 February 2001 with $M = 5.3$. Song Tranh 2 Hydropower was built in 2010 with a seismic design of the dam of $M = 5.5$. In reality, the collection of strong motion records above is not enough to select a design ground acceleration for the seismic design of the Song Tranh 2 hydropower plant. In November 2010 Song Tranh 2 hydropower reservoir began water filling. From then to the end of March 2011, the people of North Tra My felt slight tremors and explosive noises, this phenomenon occurred on an increasing frequency. According to the Earthquake Observation Room of the Institute of Geophysics, from 03 November 2011 to March 2014, there were more than 468 earthquakes with magnitude $M \geq 1$ occurred near Song Tranh 2 area. Among these, there were 5 earthquake with magnitude greater than $M = 4.0$ and one $M = 4.7$; 19 earthquakes with $M \geq 3$; 36 earthquakes with $M \geq 2.5$. Collection of these records has been very valuable for us to simulate an earthquake of $M = 4.6$ and compared with observed results. This result confirms that simulation strong ground motion can fully apply in seismic hazard assessment in Vietnam. Song Tranh 2 area we applied the empirical Green's function method to predict broadband ground motion of earthquake $M = 4.6$ base on observed records of earthquake $M = 3.5$. We can also use the recorder earthquake $M = 4.6$ to simulation design earthquake $M = 5.5$.

©2015 Vietnam Academy of Science and Technology

1. Mở đầu

Thủy điện Sông Tranh 2 được xây dựng năm 2010 với động đất thiết kế đối với đập là 5.5. Bảng

gia tốc phục vụ công tác thiết kế kháng chấn cho thủy điện Sông Tranh 2 được chọn theo phương pháp tương tự vật lý từ các nguồn số liệu băng ghi dao động của động đất mạnh trên thế giới, giải pháp xây dựng giản đồ gia tốc lý thuyết chưa được tính đến. Tháng 11 năm 2010 thủy điện Sông

*Tác giả liên hệ, Email: tmythanh@gmail.com

Tranh 2 bắt đầu tích nước, tới tháng 3 năm 2011 nhân dân khu vực Bắc Trà My cảm nhận thấy rung động nhẹ kèm theo tiếng nổ, hiện tượng này xảy ra ngày một nhiều, gây nên một tâm lý hoang mang lo sợ cho cả người dân và chính quyền địa phương, đặc biệt ở khu vực huyện Trà My và huyện Hiệp Đức. Chính quyền và người dân ở khu vực này lúc đầu đều nghĩ là do nổ mìn. Chỉ tới tháng 11/2011, sau khi ghi nhận được hai trận động đất $M = 3,4$ độ Richter xảy ra thì các hiện tượng rung động ở khu vực này bấy lâu nay mới được khẳng định là do động đất gây ra. Theo “Báo cáo kết quả Khảo sát động đất tháng 12/2011 khu vực thủy điện Sông Tranh 2” và “Báo cáo kết quả Khảo sát động đất tháng 9/2012 khu vực thủy điện Sông Tranh 2” tại Viện Vật lý Địa cầu của Lê Huy Minh và nnk cho thấy động đất với magnitude xấp xỉ 3,0 xảy ra nhiều từ cuối năm 2011. Tháng 11 năm 2011 tại khu vực này đã có 2 trận có magnitude $M=3,4$ vào các ngày 17 và 27. Từ ngày 24/12/2011 đến ngày 15/4/2012 ở khu vực đập thủy điện Sông Tranh 2 đã ghi được 37 trận động đất xảy ra ở gần khu vực đập. Trong đó, có 3 trận vào các ngày 30/01, 02/03 và 15/04/2012, gia tốc cực đại ghi nhận được ở mặt đập ứng với rung động động đất cấp 7 theo thang MSK64. Ba trận động đất này được mạng lưới trạm của Viện Vật lý Địa cầu ghi nhận với magnitude $M < 3,2$. “Danh mục động đất khu vực Thủy điện Sông Tranh 2 và lân cận năm 2014” của Phòng Quan sát Động đất báo cáo Viện Vật lý Địa cầu cho thấy trong vòng hơn 2 năm thủy điện hoạt động có tới 5 trận động đất có magnitude lớn hơn hoặc bằng 4,0, trong đó có 1 trận $M = 4,6$ và một trận $M = 4,7$; 19 trận động đất có magnitude lớn hơn hoặc bằng 3,0; 36 trận động đất có magnitude lớn hơn hoặc bằng 2,5. Tập hợp băng quan trắc của các trận động đất có $M \geq 3,0$ là cơ sở để chúng tôi nghĩ đến phương pháp mô phỏng động đất bằng phương pháp hàm Green thực nghiệm. Phương pháp hàm Green thực nghiệm (Irikura, K 1983, 1986) cho phép mô phỏng băng gia tốc lý thuyết của trận động đất mạnh từ các băng ghi gia tốc của trận động đất nhỏ hơn gần kề. Từ tập số liệu là các băng quan trắc động đất $3,0 < M < 4,0$ chúng tôi chọn ra băng ghi thích hợp để mô phỏng lại một trong 2 trận động đất $M > 4,0$. Băng lý thuyết thu được sẽ dùng để so sánh với băng ghi quan sát được.

2. Số liệu động đất khu vực Sông Tranh 2

2.1. Danh mục động đất khu vực Sông Tranh 2

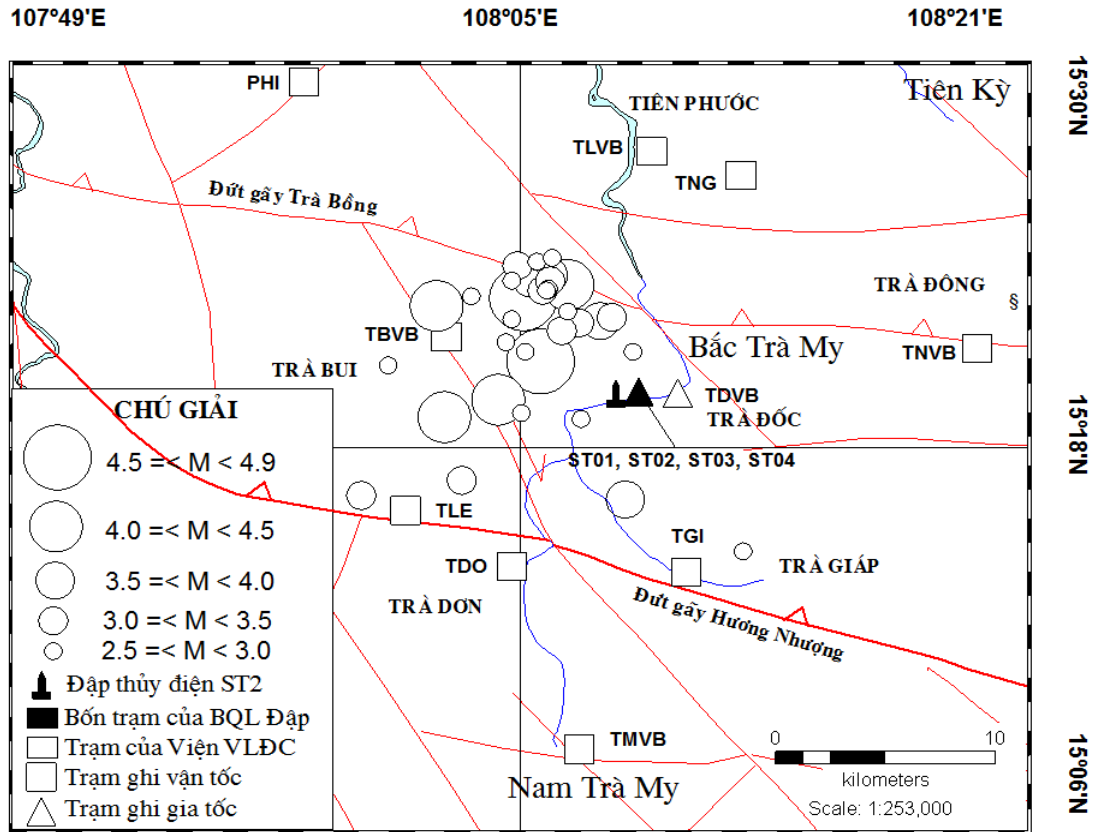
Trước khi tích nước, khu vực Sông Tranh 2 hầu như không có động đất. Cuối năm 2010, thủy điện Sông Tranh 2 đi vào hoạt động, tới đầu năm 2011 có nhiều rung động xảy ra xung quanh khu vực hồ thủy điện Sông Tranh 2. Theo các báo cáo khảo sát, điều tra động đất (Báo cáo kết quả Khảo sát động đất tháng 9/2012 khu vực thủy điện Sông Tranh 2; Báo cáo kết quả Khảo sát động đất tháng 12/2011 khu vực thủy điện Sông Tranh 2 và Báo cáo kết quả Khảo sát động đất tháng 12/2011 khu vực thủy điện Sông Tranh 2 tại Viện Vật lý Địa cầu của tác giả Lê Huy Minh và nnk) cho thấy một số trận động đất làm cho nhà dân hư hại nhẹ (nứt tường, rơi ngói) làm nhiều người hoảng loạn, nhiều người đang ở trong nhà sợ hãi chạy ra khỏi nhà.

Trong “Danh mục động đất khu vực Thủy điện Sông Tranh 2 và lân cận” năm 2014 của Phòng Quan sát Động đất báo cáo Viện Vật lý Địa cầu từ ngày 3/11/2011 tính đến tháng 3 năm 2014 có khoảng hơn 468 trận động đất với $M \geq 1$ xảy ra gần khu vực Sông Tranh 2 và lân cận (hình 1). Trong đó có 5 trận động đất $M \geq 4,0$; 19 trận động đất $M \geq 3,0$. Các số liệu trên cho thấy sau khi hồ thủy điện tích nước đi vào hoạt động, hoạt động động đất ở đây đã tăng rõ rệt, các trận động đất được ghi lại nhờ hệ trạm của Ban Quản lý Dự án và mạng trạm Vật lý Địa cầu.

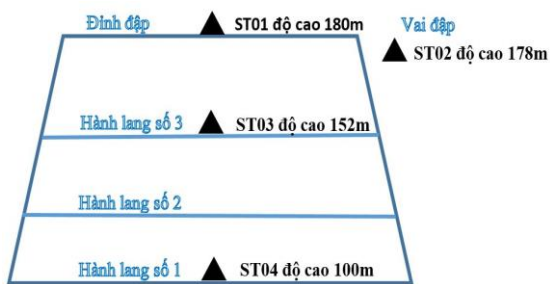
2.2. Mạng trạm động đất khu vực Sông Tranh 2

Trước khi xây ra động đất, khu vực này không có trạm ghi động đất. Số liệu của các trận động đất khi thủy điện chưa tích nước hầu hết do trạm ghi động đất của viện Vật lý Địa cầu đặt tại Huế ghi được. Đầu tháng 12/2011, khi có nhiều động đất xảy ra, Ban Quản lý dự án thủy điện Sông Tranh 2 đã đặt 2 máy ghi gia tốc trên mặt đập. Tháng 4/2012 lắp đặt thêm 2 máy gia tốc nữa. Vị trí các trạm lần lượt như sau: mặt đập - trạm ST01 (độ cao 180m), hành lang thân đập số 3 - trạm ST03 (độ cao 158m), hành lang thân đập số 1 - trạm ST04 (độ cao 100m) và vai trái đập - trạm ST02 (độ cao 178m) (hình 2). Trạm ST02 được đặt ở ngoài thân đập, trên nền đá gốc. Hệ 4 trạm này đã ghi lại được nhiều trận động đất xảy ra ở khu vực từ tháng 11/2011 đến 10/2012, trong đó có 2 trận $M = 3,4$ vào tháng 11/2011; 1 trận $M = 3,1$ vào

tháng 3/2012; trong tháng 9/2012 là 4 trận có $M = 4,6$; ngày 22/10/2012 xảy ra trận có $M = 4,6$; ngày $M = 4,0$; 4,1; 4,2 và 1 trận có $M = 3,8$; ngày 15/11/2012 xảy ra trận có $M = 4,7$.



Hình 1. Sơ đồ chấn tâm các trận động đất dùng trong nghiên cứu



Hình 2. Sơ đồ vị trí 4 trạm ghi gia tốc trên đập thủy điện Sông Tranh 2

Cuối năm 2012, Viện Vật lý Địa cầu lắp đặt 1 trạm ghi gia tốc trên nền đá gốc ở ngoài thân đập. Tính tới nay, Viện Vật lý Địa cầu đã có thêm hệ thống mạng lưới trạm ghi động đất khu vực Sông Tranh và lân cận bằng máy ghi vận tốc (hình 1).

Bên cạnh đó còn có mạng trạm là kết quả hợp tác khoa học giữa Viện Vật lý Địa cầu thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam và Viện Vật lý Địa cầu thuộc Viện Hàn lâm Khoa học Ba Lan (IGF-PAS). Trong hợp tác khoa này đã xây dựng được 10 trạm ghi địa chấn: trạm Trà Núi, trạm Trà Mai, trạm Phước Hiệp, trạm Tiên Lãnh, trạm Trà Giác, trạm Trà Đốc, trạm Tiên Ngọc, trạm Trà Đon, trạm Trà Leng, và trạm Trà Bui (Jan Wiszniowski et al., 2015).

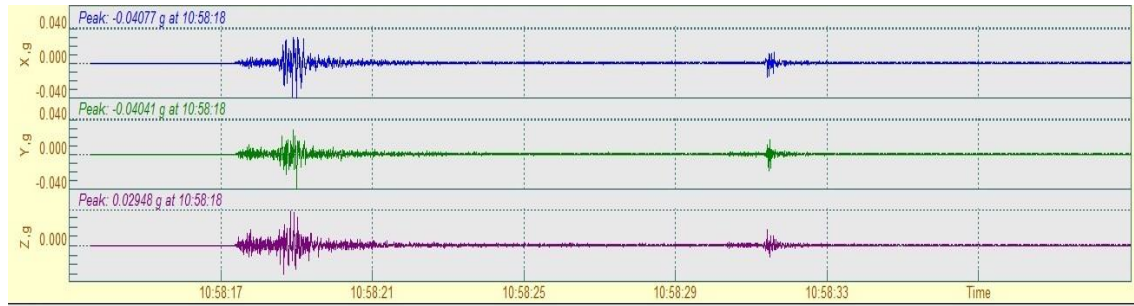
2.3. Số liệu động đất - Bảng ghi gia tốc rung động nền

Từ “Danh mục động đất khu vực thủy điện Sông Tranh 2 và lân cận” năm 2014 của Phòng Quan sát Động đất báo cáo Viện Vật lý Địa cầu cho thấy, từ cuối năm 2011 đến đầu tháng 3 năm 2014 đã có 36 trận động đất với magnitude

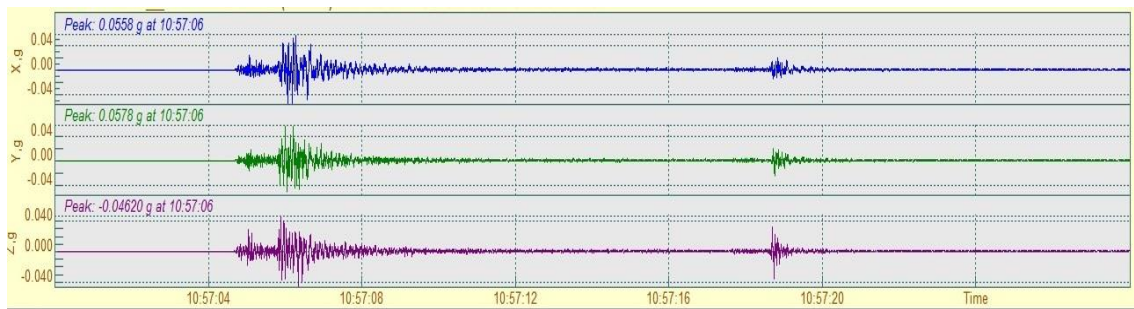
$M \geq 2,5$ và rất nhiều động đất nhỏ hơn xảy ra trong khu vực nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung nghiên cứu vào các băng ghi dao động của các trận động đất có magnitude $M \geq 3,5$.

Băng ghi động đất xảy ra trong 2011 và đầu 2012, tại khu vực sông Tranh 2 và các vùng lân cận, hầu

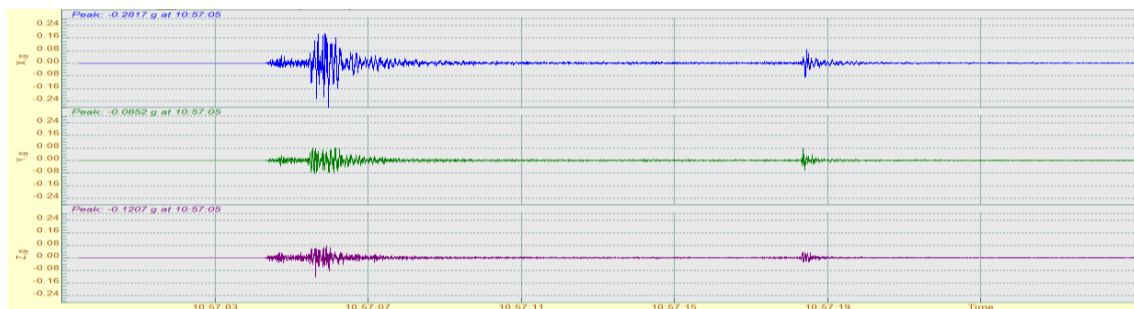
hết được ghi bởi hệ 4 trạm của Ban quản lý Dự án. Thiết bị ghi là máy gia tốc có 3 thành phần: thẳng đứng, bắc - nam và đông - tây, như vậy mỗi trận động đất, tại mỗi trạm có 3 băng ghi gia tốc khác nhau ứng với 3 thành phần. Hình 3 là một số băng gia tốc ghi được của một số trận động đất kể trên tại các trạm địa chấn khác nhau.



Trạm đáy đập - ST04



Trạm giữa đập - ST03



Trạm đỉnh đập - ST01

Hình 3. Băng ghi gia tốc trận động đất $M = 4,1$ ngày 23/09/2012 tại các trạm khác nhau

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Mô phỏng băng gia tốc dao động nền đất - Phương pháp hàm Green thực nghiệm

Dịch chuyển nền đất trong động đất có thể được mô phỏng bằng 3 phương pháp khác nhau,

đó là lý thuyết, bán thực nghiệm và thực nghiệm. Trong thực tế cấu trúc địa chất từ nguồn tới điểm quan sát thường phức tạp hơn rất nhiều so với mô hình lý thuyết. Các phương pháp bán thực nghiệm như phương pháp hàm Green thực nghiệm, giúp chúng ta giải quyết vấn đề này.

Hartzell (1978) lần đầu tiên đưa ra phương pháp mô phỏng bằng dao động của động đất mạnh bằng hàm Green thực nghiệm. Sau này phương pháp này được Kanamori (1975), Irikura (1983, 1986, 1994), Poiata, N. (2006); Miyake, H (2006), Sadeghi, H. (2013) và nhiều người khác ứng dụng và phát triển. Phương pháp hàm Green thực nghiệm của Irikura (1986) cho phép mô phỏng bằng gia tốc lý thuyết của trận động đất mạnh từ các băng ghi gia tốc của trận động đất nhỏ hơn gần kề. Về cơ bản, phương pháp được xây dựng trên trên cơ sở tương quan tham số đứt gãy của hai trận động đất (Kanamori and Anderson, 1975), động đất tuân theo mô hình ω^{-2} (Brune, 1970, 1971), Khi đó dao động nền của động đất được biểu diễn (Aki, 1967, 1980):

$$U(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \frac{r}{r_{ij}} F(t) * (C \cdot u(t)) \quad (1)$$

$$F(t) = \delta(t-t_{ij}) + \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{(N-1)n} [\delta\{t-t_{ij} - \frac{(k-1)T}{(N-1)n}\}] \quad (2)$$

$$t_{ij} = \frac{r_{ij} - r_0}{V_s} + \frac{\xi_{ij}}{V_r} \quad (3)$$

Trong đó $U(t)$ là băng sóng lý thuyết của động đất mạnh thu được nhờ mô phỏng và $u(t)$ là băng

sóng quan trắc của động đất nhỏ. N và C là các hệ số tương quan giữa kích thước đứt gãy và độ suy giảm ứng suất của 2 trận động đất lớn và nhỏ. $F(t)$ là hàm lọc dùng để điều chỉnh sự khác biệt của hàm vận tốc trượt của 2 trận động đất lớn và nhỏ. V_s và V_r là vận tốc sóng ngang xung quanh vùng nguồn và tốc độ rạn nứt của mặt đứt gãy. T là thời gian tới của động đất lớn.

Irikura và nnk. (1997) đã biến đổi phương trình (2) dưới dạng sau:

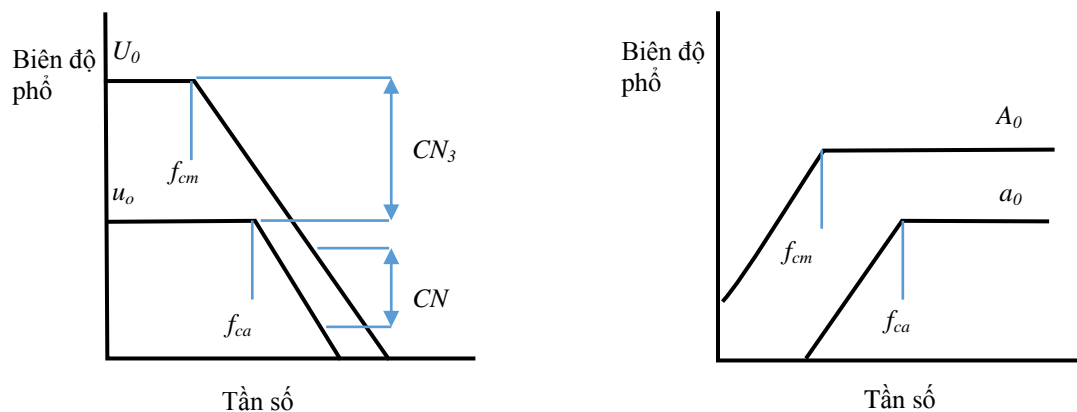
$$F(t) = \delta(t-t_{ij}) + \frac{1}{n(1-\frac{1}{e})} \sum_{k=1}^{(N-1)n} [\frac{1}{e^{\frac{(k-1)}{(N-1)n}}} \delta\{t-t_{ij} - \frac{(k-1)T}{(N-1)n}\}] \quad (4)$$

Theo Irikura (1986) có thể xác định hai tham số N và C dựa trên đường mức của phổ dịch chuyển và phổ gia tốc của hai trận động đất lớn và nhỏ (hình 4).

U_0 và u_0 ; A_0 và a_0 là giới hạn trên (đường mức) của phổ dịch chuyển và phổ gia tốc của trận động đất lớn và dư chấn.

$$\frac{U_0}{u_0} = CN^3 \quad (5)$$

$$\frac{A_0}{a_0} = CN \quad (6)$$



Hình 4. Phổ dịch chuyển và phổ gia tốc của động đất tuân theo quy luật ω^{-2}

Từ (5) và (6) ta có:

$$N = \left(\frac{U_0}{u_0}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{a_0}{A_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (7)$$

$$C = \left(\frac{u_0}{U_0}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{A_0}{a_0}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (8)$$

Như vậy với hai biểu thức (7) và (8) chúng ta có thể tính được băng gia tốc của trận động đất mạnh.

3.2. Lựa chọn trận động đất để mô phỏng và trận động đất nhỏ làm hàm Green khu vực Sông Tranh 2

Áp dụng phương pháp hàm Green thực nghiệm mô phỏng trận động đất ngày 22/10/2012, $M = 4,6$ khu vực Sông Tranh 2.

Với tập hợp băng gia tốc đã ghi được ở khu vực Sông Tranh 2 chúng tôi áp dụng phương pháp hàm Green thực nghiệm để mô phỏng lại trận động đất ngày 22/10/2012, $M = 4,6$. Phương pháp hàm Green thực nghiệm đã được thử nghiệm thành công trong việc mô phỏng lại nhiều trận động đất mạnh ở các nước trên thế giới, như động đất Kobe (Nhật Bản), động đất Duzce (Thổ Nhĩ Kỳ, $M_w = 7,1$) 1999.

Lựa chọn trận động đất mạnh để mô phỏng và trận động đất nhỏ làm hàm Green dùng trong mô phỏng:

Bảng 1 cho thấy khu vực Sông Tranh 2 đã xảy ra 4 trận động đất với $M \geq 4,0$. Đây là những trận động đất mạnh mà chúng tôi hướng đến để lựa chọn mô phỏng. Bên cạnh đó các băng ghi gia tốc của các trận động đất $M \geq 3,5$ là tập số liệu giúp chúng tôi chọn ra trận động đất nhỏ làm hàm Green trong thuật toán mô phỏng.

Bảng 1. Danh mục một số trận động đất được lựa chọn trong nghiên cứu (Trích từ “Danh mục động đất khu vực Thủy điện Sông Tranh 2 và lân cận” năm 2014 của Phòng Quan sát Động đất báo cáo Viện Vật lý Địa cầu)

STT	Thời gian phát sinh động đất (GMT)						Chấn tâm		Độ sâu	Độ lớn (Mag)	Tên trạm ghi được
	Năm	Tháng	Ngày	Giờ	Phút	Giây	Vĩ độ	Kinh độ			
1	2012	9	23	3	57	31.7	108.379	108.046	5.7	4	ST04, ST03, ST02, ST01
2	2012	9	27	6	34	12.9	15.39	108.114	6	4.1	ST04, ST03, ST02, ST01
3	2012	10	16	02	29	40	15.399	108.158	8	3.5	ST03, ST02, ST01
4	2012	10	22	13	41	39.5	15.383	108.091	6.8	4.6	ST02, ST01
5	2012	11	15	7	24	8.6	15.35	108.1	5.5	4.7	ST04, ST02

Việc lựa chọn động đất mạnh và động đất yếu hơn (động đất nhỏ) dựa trên một số tiêu chuẩn chính như sau:

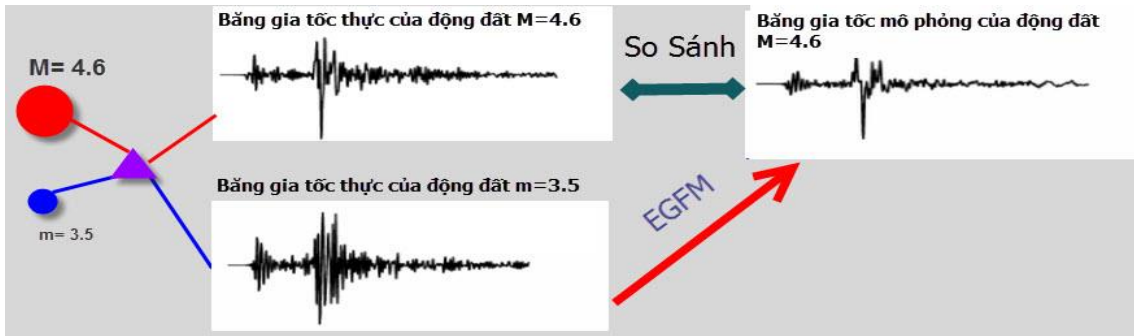
- Trận động đất nhỏ - hàm Green có magnitude nhỏ hơn trận động đất mạnh theo kinh nghiệm khoảng 1 đơn vị là tốt nhất.

- Trận động đất nhỏ - hàm Green có vị trí gần kề với trận động đất mạnh nhằm làm giảm các hiệu ứng về đường truyền sóng cũng như hiệu ứng nền.

- Trận động đất nhỏ - hàm Green cũng như động đất mạnh có băng ghi gia tốc dao động nền đạt chất lượng tốt (nhiều không lớn hơn tín hiệu sóng địa chấn).

Sau khi phân tích tập số liệu đã có chúng tôi chọn được 2 trận động đất đáp ứng các tiêu chuẩn trên đó là trận động đất mạnh xảy ra ngày 22/10/2012, $M = 4,6$ ở tọa độ 15.383 vĩ độ bắc ,

108.091 kinh độ đông, và trận động đất nhỏ hơn xảy ra ngày 16 tháng 10 năm 2012, $M = 3,5$ ở vị trí 15.399 vĩ độ bắc, 108.158 kinh độ đông. Trong thực tế, khi có một trận động đất xảy ra không phải tất cả các trạm xung quanh nó đều ghi được do nhiều nguyên nhân khách quan, cũng như chủ quan như mất điện, máy ghi hỏng,... vào thời điểm xảy ra động đất. Điều đó cũng xảy ra đối với mạng trạm của ban quản lý dự án. Một điều mà chúng tôi quan tâm là cả hai trận động đất phải có băng ghi gia tốc từ cùng một trạm địa chấn để có độ chính xác khi so sánh. Hai trận động đất chúng tôi chọn cùng có băng ghi gia tốc dao động nền từ 2 trạm là ST01 và ST02 (bảng 1). Để loại bỏ nhiễu do ảnh hưởng dao động của thân đập, chúng tôi chỉ sử dụng băng ghi gia tốc thu được của trạm đặt trên nền đá gốc ST02 trong tính toán. Trong quá trình mô phỏng băng lý thuyết được so sánh với băng quan trắc (hình 5).



Hình 5. Sơ đồ các bước thực hiện mô phỏng băng gia tốc dao động nền của trận động đất mạnh $M = 4.6$ từ trận động đất nhỏ hơn $M = 3.5$ tại trạm ST02

3.3 Đánh giá các tham số dùng trong mô phỏng

Như phần giới thiệu phương pháp hàm Green thực nghiệm chúng ta cần xác định 2 tham số đó là:

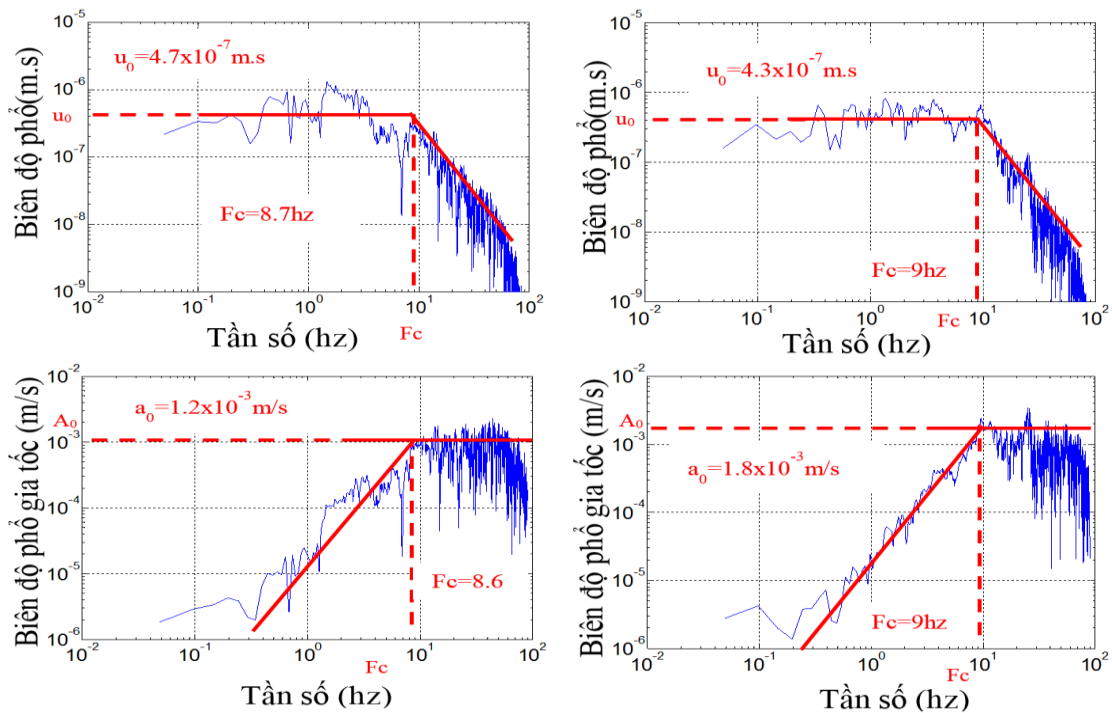
$$\frac{A_o}{a_o} = CN \quad \frac{U_o}{u_o} = CN^3$$

- (i) Tham số biểu diễn tương quan giữa các đứt gãy của 2 trận động đất, N ;
- (ii) Tham số biểu diễn tương quan giữa hai trận

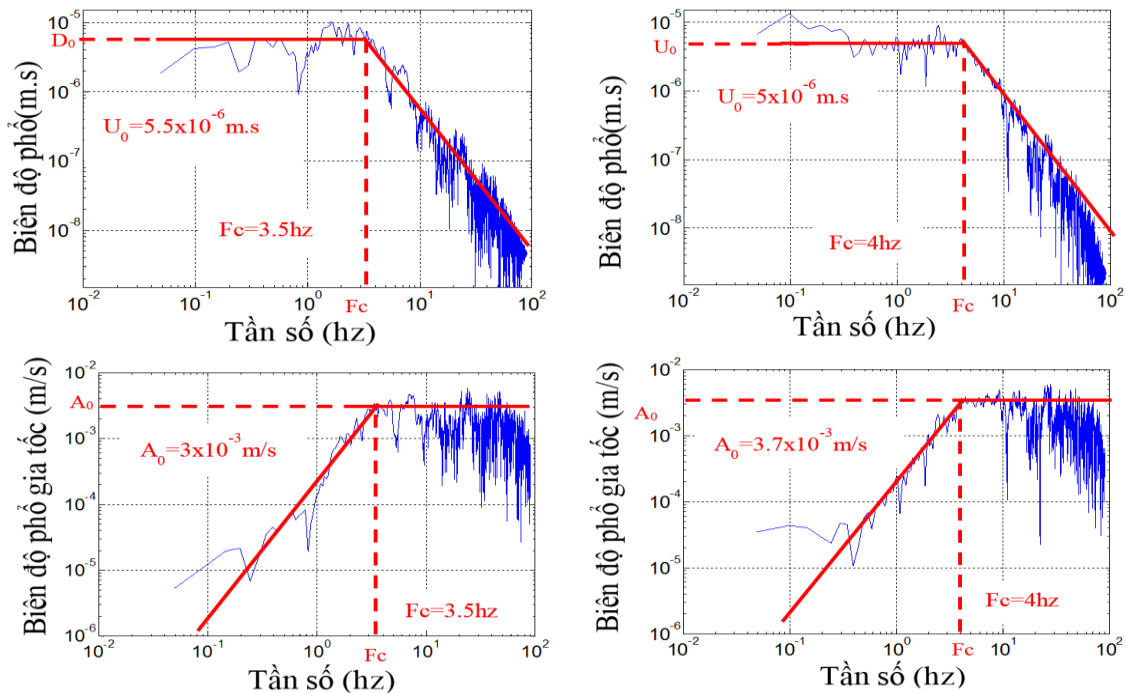
động đất C .

Các giá trị U_o và u_o ; A_o và a_o được xác định từ phổ dịch chuyển và phổ gia tốc của trận động đất lớn $M = 4,6$ và trận động đất nhỏ $M = 3,5$ (hình 6, 7).

Sau khi lựa chọn được động đất lớn và nhỏ, chúng tôi tiến hành phân tích số liệu để tính phổ gia tốc và dịch chuyển của 2 trận động đất trên với 2 thành phần bắc nam và đông tây. Kết quả tính A_o và U_o và tần số góc f_c tương ứng của hai trận động đất được biểu diễn dưới hình 6, hình 7 và bảng 2.



Hình 6. Phổ dịch chuyển và phổ gia tốc của trận $M = 3,5$ thành phần bắc nam và đông tây



Hình 7. Phổ dịch chuyển và phổ gia tốc của trận M = 4,6 thành phần bắc nam và đông tây

Bảng 2. Giá trị U_0 và u_0 ; A_0 và a_0 ; f_c (Kết quả phân tích phổ gia tốc và dịch chuyển ở hình 6 và hình 7)

Magnitude	Thành Phần	Fc tính theo phổ		Gia tốc (A_0 m/s)	Dịch chuyển (U_0 m.s)
		gia tốc	dịch chuyển		
M = 4,6	đông tây	3	3,3	2.00E-03	7.00E-06
	bắc nam	4	4	3.00E-03	5.50E-06
M = 3,5	đông tây	9	10	1.00E-03	2.00E-07
	bắc nam	8	9,7	1.00E-03	4.00E-07

Từ các giá trị U_0 và u_0 ; A_0 và a_0 thế vào hệ phương trình (7) và (8) ta tìm được giá trị ban đầu của N và C như sau: $C \sim 0,91$; $N \sim 2-3$.

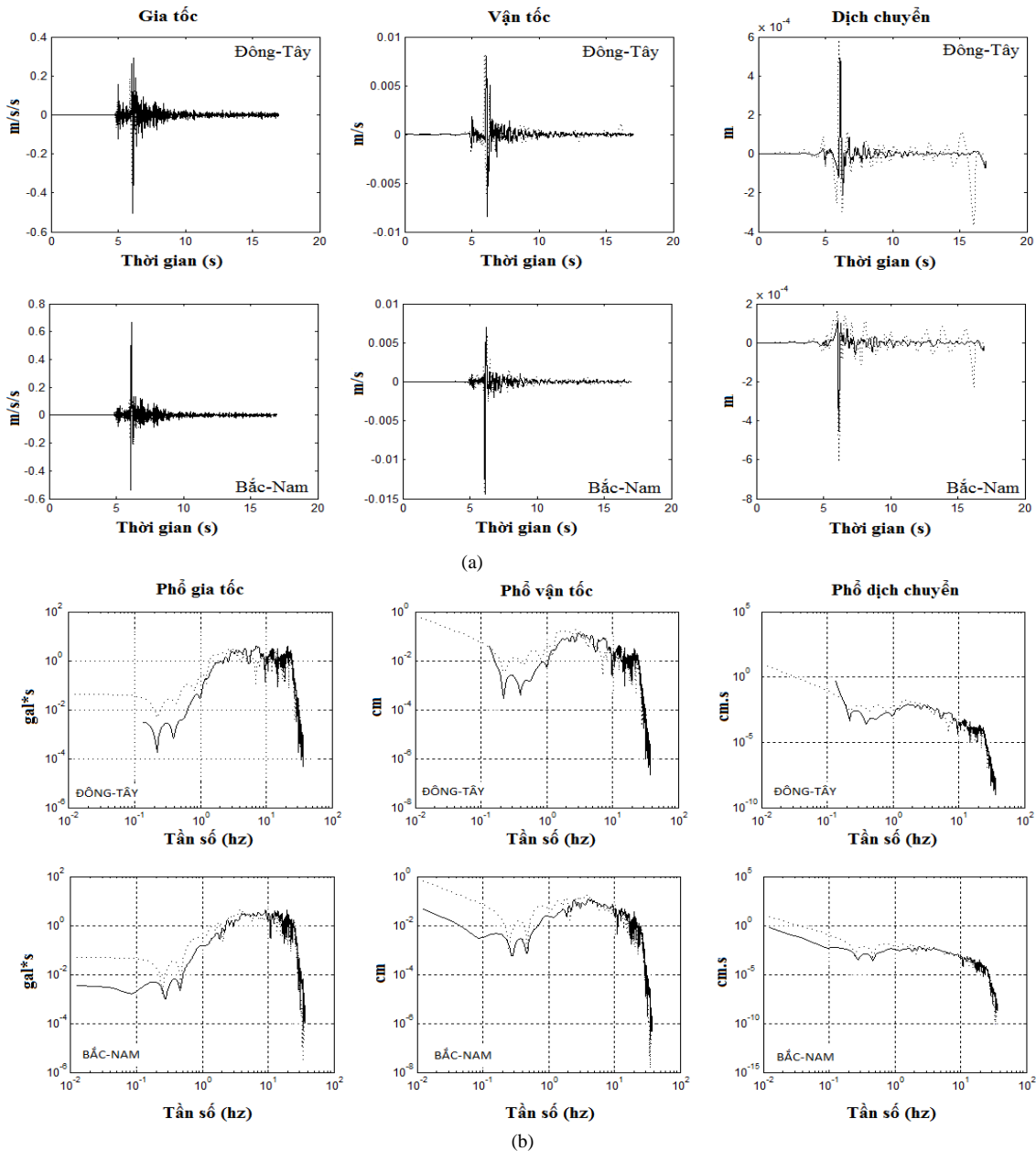
4. Kết quả

Việc tính toán mô phỏng trận động đất M = 4,6 được thực hiện bởi chương trình EGF (Empirical Green Function Method). Đây là chương trình mô phỏng bằng dao động nền lý thuyết theo phương pháp hàm Green thực nghiệm do giáo sư Irikura viết năm 1986 bằng ngôn ngữ fortran cho máy unix. Sau này chương trình đã được nhiều người sử dụng có bổ sung sửa chữa (Kamae K, Irikura K., 1991). Từ các giá trị ban đầu của các tham số N và C và bằng quan sát trận động đất nhỏ M = 3,5, chúng tôi tiến hành mô phỏng trận động đất chính ngày 22/10/2012 với M = 4,6. Đây là quá trình giải bài toán ngược, nghiệm tìm thấy là bằng

dao động lý thuyết sẽ được so sánh với bằng quan trắc của trận động đất mạnh ngày 22/10/2012 với M = 4,6. Sau nhiều lần thay đổi, thử nghiệm các mô hình khác nhau và so sánh bằng lý thuyết với bằng quan sát chúng tôi tìm thấy các giá trị N = 3 và C = 0,87 là thích hợp nhất, cho bằng lý thuyết trùng hợp tốt nhất với bằng quan sát. Trận động đất mạnh xảy ra trên đứt gãy có chiều dài bằng chiều rộng và bằng 0,9km. Điểm xuất phát của động đất nhỏ ở vị trí 1×3 cho bằng gia tốc lý thuyết gần giống nhất với bằng gia tốc ghi được. Kết quả mô phỏng được so sánh bằng dao động ở cả 3 thành phần đông tây, bắc nam và thành phần thẳng đứng, mỗi thành phần được so sánh cả 3 giá trị đó là gia tốc, vận tốc và dịch chuyển. Hình 8 và 9 là kết quả so sánh của 2 thành phần bắc nam và đông tây. Hình (a) từ trái qua phải lần lượt là bằng dịch chuyển, vận tốc, gia tốc và từ

trên xuống dưới là băng quan sát bằng lý thuyết, băng quan trắc trận động đất $M = 4,6$, băng quan trắc trận động đất nhỏ $M = 3,5$. Tương tự hình b từ trái sang phải và phổ dịch chuyển, phổ vận tốc, phổ gia tốc trên xuống dưới lần lượt băng quan sát và băng lý thuyết. Trên hình 8 và 9 thấy băng

dịch chuyển dễ so sánh hơn cả, cho thấy trùng hợp rõ nhất về cả pha và biên độ của băng dịch chuyển của trận động đất lý thuyết và quan trắc. Băng gia tốc hơi khó so sánh hơn về pha nhưng vẫn cho thấy sự trùng khớp về biên độ của băng quan sát và băng lý thuyết.



Hình 8. Kết quả mô phỏng động đất 4,6 từ động đất 3,5 thành phần đông tây: a) So sánh các băng ghi gia tốc, vận tốc và dịch chuyển, đường liền nét và đường chấm là băng ghi quan sát và mô phỏng tương ứng, hàng trên là thành phần đông-tây, hàng dưới là thành phần bắc-nam; b) So sánh phổ gia tốc, phổ vận tốc và phổ dịch chuyển, đường liền nét và đường chấm là phổ của băng ghi quan sát và mô phỏng tương ứng, hàng trên là thành phần đông-tây, hàng dưới là thành phần bắc-nam

5. Thảo luận

Mô phỏng dao động nền đất do động đất gây ra đòi hỏi quá trình tính toán hết sức phức tạp. Lựa chọn phương pháp cũng như kết quả, bằng lý thuyết nào phụ thuộc nhiều vào điều kiện, chất lượng số liệu. Cho đến nay mô phỏng động đất mạnh kịch bản vẫn là vấn đề thách thức đối với các nhà địa chấn học. Nhiều phương pháp, lý thuyết cũng như các chương trình mô phỏng được công bố, tuy nhiên kết quả, các băng động đất lý thuyết, còn gây tranh cãi về độ chính xác, sai số và khả năng áp dụng thực tiễn. Việc mô phỏng lại một số trận động đất mạnh đã xảy ra và đem kết quả ấy đối sánh với băng ghi dao động nền đất thực là một bước tiến quan trọng trong công tác mô phỏng. Tuy nhiên việc này mới chỉ thành công ở một số nước tiên tiến có hệ thống mạng quan trắc động đất hiện đại, có nhiều băng ghi dao động nền của các trận động đất mạnh xảy ra. Số liệu băng ghi gia tốc của Việt Nam rất ít và không có động đất mạnh ($M > 5,3$). Liệu có thể áp dụng phương pháp hàm Green thực nghiệm để mô phỏng những trận động đất $M \sim 4,5$ của Việt Nam là vấn đề chúng tôi luôn quan tâm. Năm 2006, chúng tôi mô phỏng thành công trận động đất Điện Biên $M = 5,3$ (Trần Thị Mỹ Thành, 2006). Trong nghiên cứu này kết quả mô phỏng băng lý thuyết của động đất $M = 4,6$ rất gần với băng quan trắc một lần nữa khẳng định phương pháp hàm Green thực nghiệm có khả năng áp dụng cao ở Việt Nam. Việc mô phỏng thành công động đất $M = 4,6$ có ý nghĩa thực tiễn quan trọng không chỉ ở Việt Nam mà còn trên quốc tế, đã khẳng định được một số quan điểm trong bài toán mô phỏng:

- Phương pháp hàm Green thực nghiệm có thể áp dụng đối với các nước có độ hoạt động động đất trung bình. Trên thế giới các nước tiên tiến áp dụng phương pháp hàm Green thực nghiệm là những nước có độ hoạt động động đất cao như Nhật Bản, Thổ Nhĩ Kỳ,...

- Phương pháp hàm Green thực nghiệm có thể áp dụng mô phỏng những động đất trung bình xảy ra trên đứt gãy thường (đứt gãy thuận). Các nhà địa chấn thế giới thường áp dụng phương pháp hàm Green thực nghiệm mô phỏng động đất mạnh xảy ra trên các đứt gãy dạng chòm nghịch hoặc đứt gãy nghịch.

- Phương pháp hàm Green thực nghiệm có thể áp dụng mô phỏng cả với động đất kích thích. Cả

hai trận động đất lớn $M = 4,6$ và trận động đất nhỏ $M = 3,5$ dùng trong nghiên cứu này là những trận động đất kích thích khu vực Sông Tranh 2 xảy ra sau khi hồ chứa đi vào hoạt động.

Hiện nay, khu vực Sông Tranh 2 chúng ta có tập hợp các băng ghi dao động đất có độ lớn $M > 4,0$, đặc biệt là 2 trận $M = 4,6$ và $4,7$ là cơ sở số liệu quan trọng để mô phỏng trận động đất mạnh thiết kế $M = 5,5$ (Vi Van Vung et al., 2012). Tuy nhiên để mô phỏng chính xác động đất thiết kế $M = 5,5$ đòi hỏi chúng ta phải có số liệu đứt gãy, cũng như các tham số nguồn chính xác của trận động đất kịch bản này.

6. Kết luận

Kết quả mô phỏng gia tốc dao động nền bằng phương pháp hàm Green thực nghiệm, cho băng lý thuyết trùng với băng quan trắc, giúp chúng ta chính xác lại các tham số động đất, cũng như làm rõ quá trình động đất. Phương pháp cho phép xây dựng băng gia tốc mạnh mang tính dự báo khi biết chính xác các tham số đứt gãy, nguồn gây động đất. Việt Nam có nhiều băng ghi động đất nhỏ và vừa nhưng lại thiếu băng ghi động đất mạnh, chúng ta có thể áp dụng phương pháp hàm Green thực nghiệm để mô phỏng những trận động đất lớn mang tính chất dự báo.

Các băng gia tốc mô phỏng ứng với các giá trị độ lớn khác nhau là nguồn số liệu quý giá giúp chúng ta khắc phục sự thiếu sót số liệu gia tốc dao động nền ở Việt Nam. Tập hợp băng gia tốc mô phỏng và băng gia tốc quan trắc là cơ sở giữ liệu quan trọng dùng trong thiết kế kháng chấn.

Khu vực Sông Tranh 2, chúng ta mô phỏng thành công trận động đất $M = 4,6$ nhờ băng ghi trận động đất $M = 3,5$. Chúng ta cũng có thể mô phỏng trận động đất thiết kế $M = 5,5$ từ băng ghi trận động đất $M = 4,6$ hoặc $M = 4,7$.

Ở Việt Nam đối với một số hồ thủy điện đã đi vào hoạt động nếu có băng ghi gia tốc của động đất kích thích có độ lớn $M \sim 3,5$ chúng ta có thể mô phỏng động đất kích thích $M \sim 4,5$ trước khi chúng có thể xảy ra.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn các nhà khoa học, các bạn đồng nghiệp, lãnh đạo Viện Vật lý Địa cầu và Trường Đại học Tokyo đã ủng hộ và giúp đỡ chúng tôi trong quá trình nghiên cứu.

Tài liệu dẫn

- Aki, K., 1967: Scaling Law of Seismic Spectrum, *J. Geophys. Res.*, 72, 1217-1231.
- Aki, K. và P. G. Richards, 1980: *Quantitative Seismology: Theory and Method*. M. H. Freeman and Co., New York, San Francisco, p.932
- Brune, J. N., 1970: Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 75, 4997-5009.
- Brune, J. N. 1971: Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, *J. Geophys. Res.*, 76, 5002, 1971.
- Hartzell, S.H., 1978: Earthquake aftershocks as Greens functions, *J. Geophys. Res.*, 5, 14.
- Irikura, K., 1983: Semi-Empirical Estimation of Strong Ground Motions During Large Earthquakes, *Bull. Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ.*, 33, 63-104.
- Irikura, K., 1986: Prediction of strong acceleration motion using empirical Green's function, *Proc. 7th Jap. Earthq. Eng. Symp.*, 151-156.
- Irikura, K. and K. Kamae, 1994: Estimation of strong ground motion in broad- frequency band based on a seismic source scaling model and an empirical Green's function technique, *Annali Di Geofisica*. 37, 6, 1721-1743.
- Jan Wiszniowski, Nguyen Van Giang, Beata Plesiewicz, Grzegorz Lizurek, Dinh Quoc Van, Le Quang Khoi and Stanislaw Lasocki, 2015: Preliminary Results of Anthropogenic Seismicity Monitoring in the Region of Song Tranh 2 Reservoir, Central Vietnam. *Acta Geophysica*, Vol 63, No 3, June 2015, 843-862.
- Kamae, K., Irikura K., 1991: Prediction strong ground motion using a semi-empirical technique. *SmiRT 11 Transactions Vol. K*, Tokyo, Japan.
- Kanamori, H. and D. L. Anderson, 1975: Theoretical basis of some empirical relations in seismology, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 65, 1073-1096.
- Miyake, H., Y. Tanaka, M. Sakaue, K. Koketsu, and Y. Ishigaki, 2006: Empirical Green's function simulation of broadband ground motions on Genkai Island during the 2005 West Off Fukuoka Prefecture earthquake, *Earth Planets Space*, 58, 1637-1642
- Poiata, N., and H. Miyake, 2006: Broadband ground motion simulation of Romanian earthquakes using empirical Green's function method, *Proceedings of the 1st European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*, p. 506.
- Sadeghi, H., H. Miyake, and A. Riahi, 2013: Strong ground motion simulation of the 2003 Bam, Iran, earthquake using the empirical Green's function method, *J. Seismol.*, 17, 297-312
- Trần Thị Mỹ Thành, 2006: Mô phỏng trận động đất Điện Biên, M = 5.3. *Tạp chí các khoa học về Trái đất*; Vol. 4, Số 29, tr.342-349.
- Vung, V., H. Miyake, T. My Thanh, K. Irikura, 2014: Empirical Green's function simulations towards site-specific ground motion prediction at the Song Tranh 2 dam in Vietnam, *AOGS 11th Annual Meeting*, Japan, Jul. 28-Aug. 01, 2014, SE24-A006.