

HIỆU CHỈNH GIẢN ĐỒ GIA TỐC ĐỘNG ĐẤT ĐÁP ỨNG THEO TIÊU CHUẨN VIỆT NAM CALIBRATION OF ARTIFICIAL EARTHQUAKE ACCELEROGRAMS ACCORDING TO TCVN 9386-2012

TS. NGUYỄN XUÂN ĐẠI, TS. NGUYỄN VĂN TÚ
Học viện Kỹ thuật Quân sự

Tóm tắt: Bài báo trình bày quy trình hiệu chỉnh giản đồ gia tốc động đất nhân tạo đáp ứng theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9386:2012. Phương pháp đề xuất bao gồm việc lựa chọn giản đồ gia tốc phù hợp và tính toán các hệ số hiệu chỉnh đảm bảo phổ phản ứng đàn hồi giản đồ gia tốc sau hiệu chỉnh phù hợp với phổ phản ứng đàn hồi theo tiêu chuẩn, đáp ứng các quy định của TCVN 9386:2012. Kết quả cho thấy quy trình đề xuất có hiệu quả cao trong việc hiệu chỉnh giản đồ gia tốc động đất với độ tin cậy được đảm bảo.

Từ khóa: Giản đồ gia tốc nhân tạo, lựa chọn và hiệu chỉnh giản đồ gia tốc, phổ phản ứng đàn hồi.

Abstract: The paper presents the selection and scaling process of artificial accelerograms according to Vietnamese code TCVN 9386:2012. The proposed method includes the selection of appropriate artificial accelerograms and determination of the scaling factors to achieve the specified requirements and matching the elastic response spectrum of TCVN 9386:2012. The results show that the proposed method is highly effective in matching the accelerogram with high reliability.

Keywords: Artificial accelerogram, selection and scaling ground motion, elastic response spectrum.

1. Mở đầu

Trong các tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất hiện hành [1-6], nhóm phương pháp phân tích động học được ưu tiên sử dụng nhờ khả năng cung cấp lời giải đầy đủ và chính xác hơn, có thể áp dụng được cho hầu hết các trường hợp. Hai phương pháp phân tích động học chủ yếu gồm: phân tích phổ phản ứng dạng dao động và phân tích theo lịch sử thời gian.

Phương pháp phân tích phổ phản ứng dạng dao động có thể áp dụng đối với hầu hết các loại kết cấu với độ chính xác hợp lý, đặc biệt là với các kết cấu

làm việc ở trạng thái đàn hồi tuyến tính. Tuy nhiên, theo quan điểm thiết kế có tính đến khả năng chịu lực và tiêu tán năng lượng thông qua các biến dạng dẻo tại một số bộ phận kết cấu, hoặc xu hướng thiết kế hiện đại sử dụng các thiết bị tiêu tán năng lượng, gối cách chấn,... phương pháp này không phản ánh được ứng xử phi tuyến của kết cấu.

Phương pháp phân tích theo lịch sử thời gian có độ chính xác cao, đưa ra lời giải chi tiết các ứng xử tuyến tính và/hoặc phi tuyến của kết cấu; được xem là giải pháp hiệu quả và có thể được sử dụng để đo độ chính xác của các phương pháp khác [1, 4, 5, 7]. Phương pháp này đòi hỏi cần có giản đồ gia tốc phù hợp (số lượng, tính chất) với vị trí đặt công trình và thỏa mãn các điều kiện của tiêu chuẩn. Tuy nhiên, dữ liệu về động đất thường sẵn có tại vùng hoạt động địa chấn mạnh như Mỹ, Nhật Bản, Italia,... nhưng còn hiếm (hoặc thiếu sót) tại vùng động đất trung bình như Việt Nam. Hơn nữa, quy định về số lượng giản đồ gia tốc tối thiểu (03 giản đồ với phân tích đàn hồi, 07 giản đồ với phân tích phi tuyến - TCVN 9386:2012 [6]) dẫn đến khó khăn trong việc đảm bảo dữ liệu động đất phù hợp phục vụ cho phân tích.

Các giản đồ gia tốc động đất được sử dụng trong phân tích hiện nay gồm hai loại chủ yếu: giản đồ thực và giản đồ nhân tạo. Giản đồ thực là các bản ghi dữ liệu động đất thu được tại các trạm quan trắc, thường cung cấp đầy đủ ba thành phần sóng động đất (02 thành phần nằm ngang, 01 thành phần thẳng đứng). Các thành phần sóng nằm ngang thường có liên quan (về mặt hình học) với nhau, và hiếm khi thỏa mãn điều kiện “độc lập” như quy định trong các tiêu chuẩn hiện hành [1-4, 8]. Do đó, việc sử dụng giản đồ này cần có các bước hiệu chỉnh đặc thù để đảm bảo giản đồ gia tốc sử dụng phản ánh tốt nhất hàm lượng năng lượng của sóng động đất.

Các giản đồ nhân tạo được xây dựng dựa trên các thuật toán để cung cấp dữ liệu sao cho phù hợp với đặc điểm địa chấn tại khu vực nghiên cứu. Thông thường các giản đồ nhân tạo bao gồm 03 thành phần sóng động đất thỏa mãn điều kiện “độc lập”. Các nghiên cứu về giản đồ nhân tạo tiêu biểu của các tác giả như Atkinson [9], Zhao, Zhang and Lü [10], sử dụng phần mềm có sẵn như ETABS,... và một số tác giả trong nước như Đinh Văn Thuật [19], Vũ Ngọc Anh [20], sử dụng các thuật toán wavelet và phương trình vi phân để tạo giản đồ gia tốc nhân tạo và điều chỉnh chúng để phù hợp với phổ phản ứng đàn hồi tại khu vực bố trí công trình.

Trong hầu hết các trường hợp, giản đồ gia tốc đều phải được hiệu chỉnh để thỏa mãn các chỉ định cụ thể và đảm bảo độ chính xác cần thiết với các phổ thiết kế. Miền chu kỳ dao động hiệu chỉnh được chỉ định trên cơ sở chu kỳ dao động cơ bản của kết cấu nhằm tăng độ chính xác và đảm bảo điều kiện hội tụ trong phân tích. Số lượng giản đồ gia tốc tối thiểu được quy định khác nhau tùy theo phương pháp phân tích và tiêu chuẩn thiết kế được áp dụng. Trường hợp đặc biệt, đối với các phân tích xác suất, tối ưu,... số lượng giản đồ gia tốc có thể cần đến vài chục dữ liệu để đảm bảo độ tin cậy của kết quả [3-5].

Từ phổ phản ứng đàn hồi $S_e(T)$ (phổ đàn hồi mục tiêu), việc hiệu chỉnh các giản đồ gia tốc được thực hiện thông qua tính toán độ lệch giữa $S_e(T)$ và phổ phản ứng đàn hồi của sóng động đất $S_g(T)$. Hai phương pháp hiệu chỉnh giản đồ gia tốc được biết đến chủ yếu là: phương pháp hiệu chỉnh miền tần số và phương pháp hiệu chỉnh miền thời gian.

Phương pháp hiệu chỉnh miền tần số là quá trình hiệu chỉnh lặp lại bằng cách sửa đổi phổ Fourier của giản đồ gia tốc ban đầu. Phương pháp này có ưu điểm hội tụ nhanh, do đó khi số lần lặp thấp sẽ bảo toàn được các đặc tính quan trọng của giản đồ gia tốc như góc pha tín hiệu, đặc tính không chuyển động của giản đồ gia tốc [11-13]. Tuy nhiên phương pháp này phụ thuộc rất nhiều vào các đặc tính của tín hiệu địa chấn, nếu không việc hiệu chỉnh với các hệ số quá cao có thể dẫn đến ước tính quá lớn về chuyển vị, đặc biệt trong các trường hợp phân tích kết cấu có yếu tố phi tuyến [14].

Phương pháp hiệu chỉnh miền thời gian liên quan đến việc khớp phổ gia tốc ban đầu với phổ phản ứng mục tiêu bằng cách co/giãn bước thời gian trong khoảng chu kỳ nhất định. Phương pháp này được tiếp cận trên cơ sở thêm vào các hàm biến thiên trong miền chu kỳ và trừ đi từ tín hiệu ban đầu. Làm như vậy, giản đồ gia tốc hiệu chỉnh sẽ tránh việc tăng thêm sự dịch chuyển do hiệu chỉnh [15]. Phương pháp này thường được sử dụng để hiệu chỉnh giản đồ gia tốc có sẵn, đặc biệt trong các phân tích phi tuyến kết cấu.

Các quy định trong tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 [6] có đề cập khái quát đến việc hiệu chỉnh các bản ghi gia tốc, với khoảng chu kỳ dao động cần xét đến và mức độ sai số cho phép. Tuy nhiên nội dung và cách thức thực hiện các bước hiệu chỉnh vẫn còn chưa được trình bày cụ thể.

Mục tiêu chính của bài báo trình bày quy trình hiệu chỉnh giản đồ gia tốc trong miền thời gian đáp ứng theo các quy định trong TCVN 9386-2012 [6]. Theo đó, nội dung tính toán phổ phản ứng đàn hồi theo TCVN 9386-2012 [6] được trình bày tóm tắt. Các quy định trong tiêu chuẩn về việc hiệu chỉnh và sử dụng giản đồ gia tốc trong phân tích được làm rõ và minh họa cụ thể. Các bước hiệu chỉnh giản đồ gia tốc được trình bày chi tiết, có thể áp dụng cho điều kiện động đất tại Việt Nam cũng như các vùng khác. Nội dung ví dụ số, tác giả trình bày kết quả hiệu chỉnh bộ dữ liệu gồm 24 giản đồ gia tốc nhân tạo, tương ứng với hai trường động đất gần và xa, cho phổ gia tốc đàn hồi tại Thanh Xuân, Hà Nội. Kết quả được so sánh với kết quả phân tích bằng phần mềm SeismoMatch [16] để đánh giá độ tin cậy.

2. Tổng quan về phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang theo TCVN 9386:2012

2.1 Tính toán phổ phản ứng đàn hồi theo phương nằm ngang

Tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất TCVN 9386:2012 [6] được xây dựng trên cơ sở tiêu chuẩn Eurocode 8 với các hiệu chỉnh để phù hợp với điều kiện tại Việt Nam.

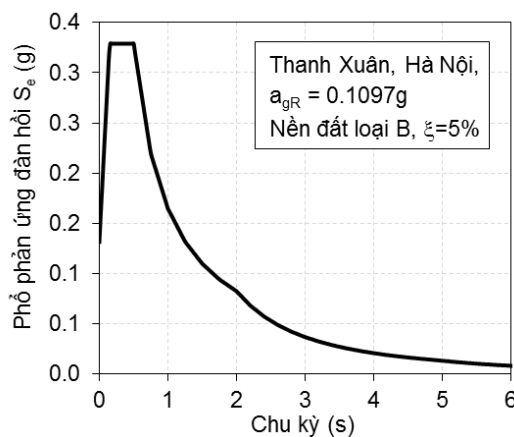
Phổ phản ứng đàn hồi theo phương nằm ngang, $S_e(T)$ được tính theo công thức (1) như sau:

$$\begin{aligned}
 S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot [1 + (2,5\eta - 1) \cdot T/T_B] & 0 \leq T \leq T_B \\
 S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 & T_B \leq T \leq T_C \\
 S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 \cdot (T_C/T) & T_C \leq T \leq T_D \\
 S_e(T) &= a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2,5 (T_C \cdot T_D / T^2) & T_D \leq T \leq 4s
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

trong đó:

a_g ($a_g = \gamma_I \times a_{gR}$) - gia tốc nền thiết kế với nền loại A, γ_I - hệ số tầm quan trọng, a_{gR} - đỉnh gia tốc nền tham chiếu;

S - hệ số nền, η - hệ số điều chỉnh phụ thuộc vào độ cản nhớt $\xi(\%)$, $\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55$;

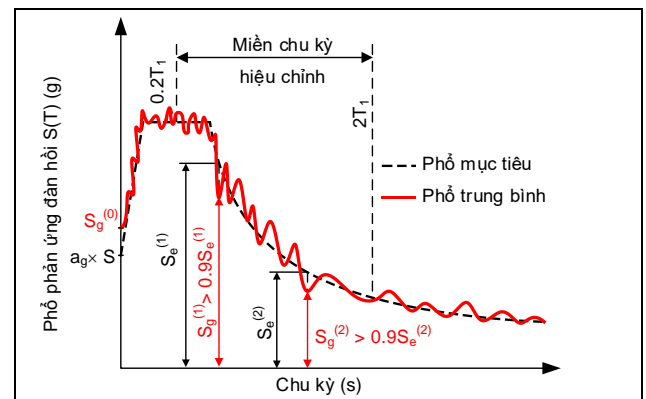


Hình 1. Phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang tại Thanh Xuân, Hà Nội

T - chu kỳ dao động của kết cấu, T_B , T_C , T_D - các giới hạn chu kỳ của phổ phản ứng gia tốc;

Các tham số S, T_B , T_C , T_D phụ thuộc vào loại nền đất.

Hình 1 trình bày phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang tại Thanh Xuân, Hà Nội.



Hình 2. Điều kiện kiểm tra giản đồ gia tốc sau hiệu chỉnh (TCVN 9386-2012)

2.2 Quy định về lựa chọn và hiệu chỉnh giản đồ gia tốc trong tiêu chuẩn TCVN 9386:2012

Mục 3.2.3 của tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 [6] quy định về việc sử dụng giản đồ gia tốc dùng cho phân tích. Theo đó, tác động của động đất theo phương nằm ngang được mô tả bằng hai thành phần vuông góc được xem là “độc lập”. Khi tính toán kết cấu theo mô hình không gian, chuyển động động đất phải bao gồm ba giản đồ gia tốc tác động đồng thời theo ba phương. Các giản đồ gia tốc nhân tạo được sử dụng phải phù hợp với phổ phản ứng mục tiêu (phổ phản ứng đàn hồi nằm ngang, độ cản nhớt $\xi=5\%$) và khoảng thời gian kéo dài của giản đồ gia tốc như quy định trong mục 3.2.3.1.2 của tiêu chuẩn.

Các quy định cụ thể gồm:

- Tối thiểu cần sử dụng ba (03) giản đồ gia tốc trong phân tích;
- $S_g(T=0) \geq a_g \times S$;
- Trong miền chu kỳ từ $0.2T_1$ đến $2T_1$ (T_1 là chu kỳ cơ bản của kết cấu theo phương tính toán), bất kỳ giá trị nào của phổ phản ứng đàn hồi trung bình

ứng với $\xi=5\%$ tính được từ tất cả các khoảng thời gian không được nhỏ hơn 90% giá trị ứng với phổ phản ứng đàn hồi có tỷ số cản $\xi=5\%$.

Các quy định về tính hợp lệ của giản đồ gia tốc sử dụng trong phân tích được minh họa như hình 2, trong đó $S_g(T)$ là giá trị phổ đàn hồi trung bình của các giản đồ gia tốc thành phần sử dụng, phổ đàn hồi mục tiêu là phổ phản ứng đàn hồi theo tiêu chuẩn thiết kế, $S_e(T)$. Ngoài ra, một số tiêu chuẩn xây dựng tham khảo khác yêu cầu chi tiết hơn về giản đồ gia tốc sử dụng trong phân tích [1-4, 8], bao gồm sóng động đất ở trường gần (near field) và trường xa (far field) với số lượng giản đồ gia tốc nhiều hơn.

3. Phương pháp hiệu chỉnh giản đồ gia tốc

Trình tự hiệu chỉnh được xác định như sau:

Bước 1. Xác định miền chu kỳ hiệu chỉnh

Miền chu kỳ cần được xác định cụ thể nhằm đảm bảo phản ánh hết các dạng dao động quan trọng của kết cấu, bao gồm cả những ứng xử phi

tuyến (nếu có). TCVN 9386:2012 [6] quy định giới hạn dưới của chu kỳ $T_{\min} = 0.2T_1$ (T_1 là chu kỳ dao động cơ bản). Ngoài ra, T_{\min} cũng cần đảm bảo tần số dao động cao nhất cần thiết để tích lũy khối lượng tham gia dao động tối thiểu bằng 90% khối lượng kết cấu ($T_{90\%}$).

Để phản ánh được các dạng dao động có ứng xử phi tuyến, giới hạn trên của chu kỳ T_{\max} được tính bằng $2T_1$. Hơn nữa, T_{\max} cần bao trùm khoảng thời gian tối thiểu mà phần lớn năng lượng động đất tích lũy trong vùng đó, đặc biệt với kết cấu có chu kỳ dao động cơ bản ngắn. Theo một số tiêu chuẩn thiết kế [2, 5], $T_{\max} \geq 1.5s$. Trên cơ sở đó, khoảng chu kỳ hiệu chỉnh các giản đồ gia tốc được đề xuất như sau:

$$T_{\min} = \min [0.2T_1, T_{90\%}]; T_{\max} = \max [2.0T_1, 1.5s]$$

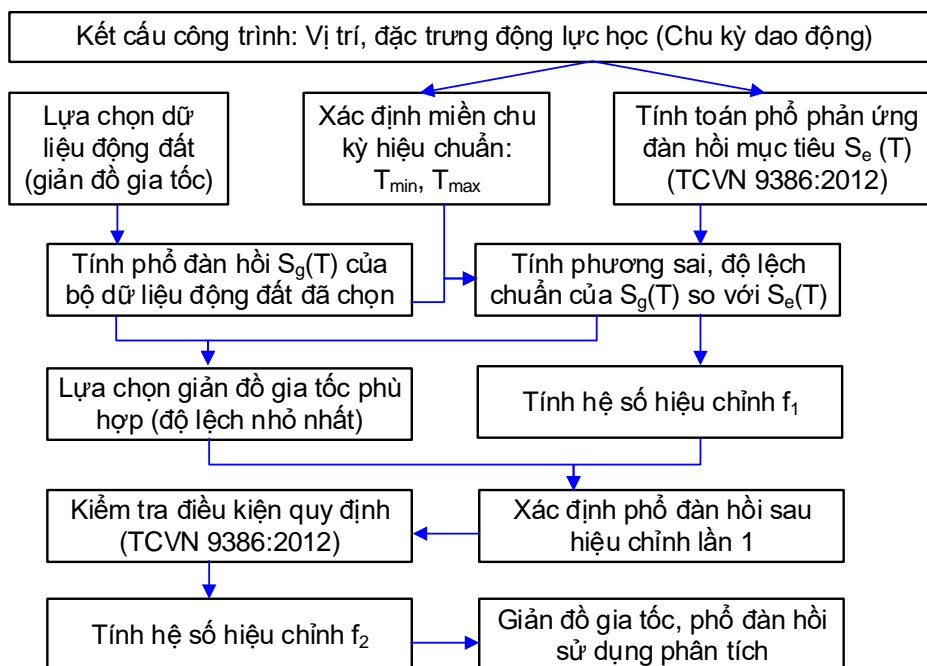
Bước 2. Lựa chọn và hiệu chỉnh giản đồ gia tốc

Việc lựa chọn giản đồ gia tốc cần đảm bảo phản ánh được đặc trưng về tần số và năng lượng của động đất. Bên cạnh cường độ, các đặc trưng của

sóng động đất ở trường gần và trường xa cần được kể đến thông qua các tình huống “Cường độ - khoảng cách” (M-R: Magnitude – distance) được lựa chọn [1, 3, 4].

Tính toán độ lệch chuẩn: trong miền chu kỳ tính toán, $S_g(T)$ được tính toán tại các bước thời gian T_i , sao cho số bước tính toán tối thiểu bằng 20 [2]. Tính tỷ số $S_g(T_i)/S_e(T_i)$ tại các bước thời gian T_i .

Trong số các giản đồ gia tốc có $S_g(T_i)/S_e(T_i)$ nhỏ nhất, các giản đồ có độ lệch chuẩn trung bình nhỏ nhất được lựa chọn để tính toán các hệ số hiệu chỉnh. Hệ số hiệu chỉnh lần một (f_1) được tính toán là giá trị phương sai trung bình của $S_g(T)$ trong miền chu kỳ tính toán. Các giá trị $S_g(T)$ sau hiệu chỉnh lần một được sử dụng để kiểm tra các quy định trong tiêu chuẩn thiết kế. Các hệ số hiệu chỉnh lần hai (f_2) được tính toán để đảm bảo thỏa mãn các điều kiện: $S_g(T_i) > 90\% S_e(T_i)$ và $S_g(0) > a_g \times S$ (khi đó, $f_2 \geq 1$). Sơ đồ các bước hiệu chỉnh được thể hiện tóm tắt như hình 3.



Hình 3. Quy trình hiệu chỉnh giản đồ gia tốc

4. Ví dụ phân tích số

Phân tích dao động tòa nhà 11 tầng kết cấu bê tông cốt thép theo kết quả của nhóm tác giả [17], chu kỳ dao động cơ bản của công trình tính toán được bằng $T_1 = 1.07s$, $T_{92\%} = 0.13s$ [17].

4.1 Hiệu chỉnh giản đồ gia tốc

Miền chu kỳ xác định bằng: $T_{\min} = \min [0.2T_1, T_{92\%}] = 0.13s$, $T_{\max} = 2.0s$.

Dữ liệu động đất lựa chọn phân tích là bộ dữ liệu gia tốc nền nhân tạo được phát triển bởi Atkinson và đồng nghiệp [9]. Việt Nam nằm trong vùng động đất trung bình, tính chất động đất được đánh giá là tương đồng với các vùng động đất trung

bình khác như Tây Bắc Âu, bờ đông Canada như nghiên cứu trước đó của tác giả [18]. Tương ứng với mỗi tình huống “M-R”, bộ dữ liệu động đất bao gồm 15 vị trí, mỗi vị trí bao gồm 03 thành phần gia tốc. Trong phân tích này, tác giả lựa chọn hai tình huống “M-R” tương ứng với động đất ở trường gần và trường xa, mỗi vị trí một cặp giản đồ gia tốc để hiệu chỉnh. Các giản đồ gia tốc nhân tạo được xây dựng thỏa mãn điều kiện độc lập [9], do đó có thể sử dụng trực tiếp để hiệu chỉnh. Phương sai, độ lệch và các hệ số hiệu chỉnh được tính toán bằng

phần mềm Microsoft Excel. Các thành phần gia tốc được lựa chọn thỏa mãn độ lệch trung bình là nhỏ nhất, như thể hiện trong bảng 1. Mỗi tình huống “M-R” bao gồm 6 vị trí, tổng cộng 24 giản đồ gia tốc được lựa chọn để hiệu chỉnh.

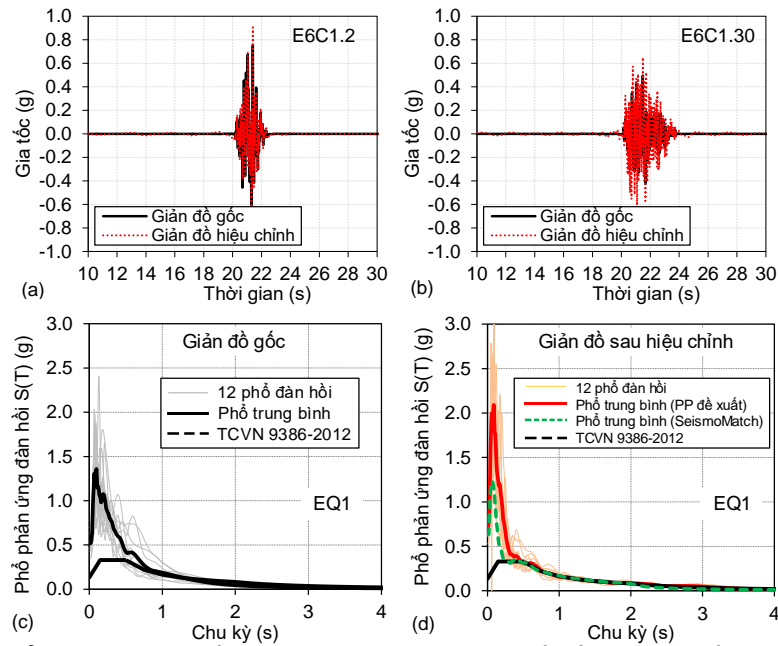
Các hệ số hiệu chỉnh được tính toán cho từng cặp giản đồ gia tốc tại mỗi vị trí thông qua giá trị trung bình của phổ phản ứng đàn hồi. Hệ số hiệu chỉnh lần một (f_1) và lần hai (f_2) được xác định theo các bước như trình bày trong phần 3, kết quả thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Giản đồ gia tốc phân tích và các hệ số hiệu chỉnh

| Tình huống động đất | Giản đồ | R (km) | Phương sai trung bình | Độ lệch trung bình | f_1 | f_2 |
|---------------------|---------|--------|-----------------------|--------------------|-------|-------|
| EQ1 (M6-R15) | E6C1.1 | 12.8 | 0.78 | 0.41 | 0.75 | 1.62 |
| | E6C1.2 | 12.8 | 0.82 | 0.22 | | |
| | E6C1.7 | 12.8 | 0.79 | 0.35 | | |
| | E6C1.9 | 12.8 | 1.23 | 0.40 | 0.93 | 1.64 |
| | E6C1.10 | 12.8 | 1.17 | 0.48 | | |
| | E6C1.12 | 12.8 | 0.81 | 0.37 | | |
| | E6C1.14 | 10.7 | 1.19 | 0.46 | 1.26 | 1.61 |
| | E6C1.15 | 10.7 | 1.34 | 0.46 | | |
| | E6C1.19 | 14.4 | 1.35 | 0.58 | | |
| | E6C1.20 | 14.4 | 1.04 | 0.37 | 0.92 | 1.55 |
| | E6C1.28 | 14.3 | 1.43 | 0.65 | | |
| | E6C1.30 | 14.3 | 1.00 | 0.38 | | |
| EQ2 (M6-R30) | E6C2.2 | 20.8 | 3.30 | 1.27 | 2.08 | 1.34 |
| | E6C2.3 | 20.8 | 1.65 | 0.42 | | |
| | E6C2.7 | 16.9 | 2.82 | 1.54 | | |
| | E6C2.9 | 16.9 | 1.73 | 0.61 | 2.11 | 1.84 |
| | E6C2.13 | 21.6 | 2.27 | 1.00 | | |
| | E6C2.15 | 21.6 | 1.53 | 0.51 | | |
| | E6C2.28 | 26.3 | 2.37 | 0.61 | 1.77 | 1.84 |
| | E6C2.30 | 26.3 | 2.67 | 1.04 | | |
| | E6C2.31 | 25.6 | 2.41 | 1.11 | | |
| | E6C2.32 | 25.6 | 2.11 | 0.76 | 2.46 | 1.49 |
| | E6C2.43 | 24.8 | 2.75 | 0.85 | | |
| | E6C2.45 | 24.8 | 3.43 | 1.10 | | |

Hình 4 thể hiện phổ đàn hồi của giản đồ gia tốc ban đầu và sau hiệu chỉnh cho tình huống trường động đất gần M6-R15. Theo đó, các giản đồ gia tốc sau hiệu chỉnh thể hiện sự phù hợp đối với phổ phản ứng đàn hồi mục tiêu, đặc biệt tại các chu kỳ dài ($T \geq 0.5s$). Với

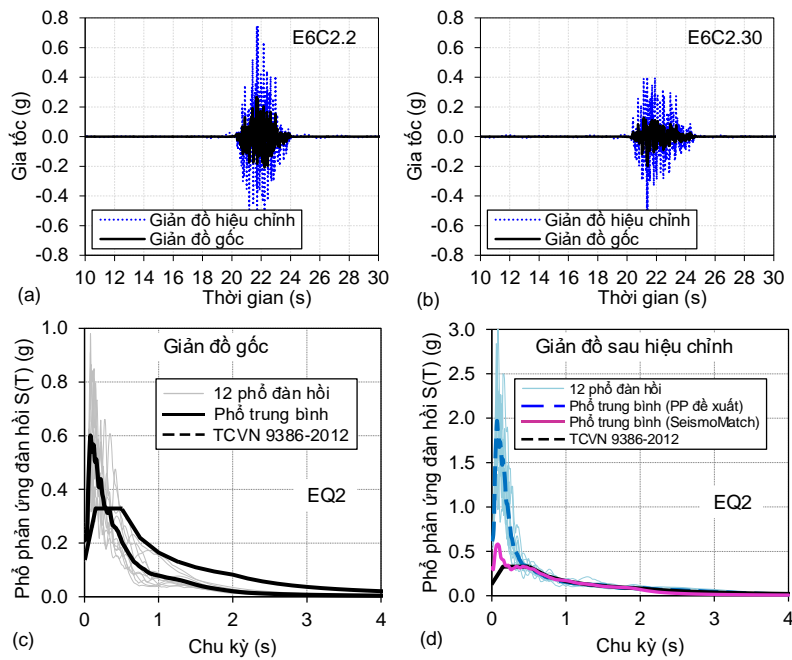
các chu kỳ ngắn hơn ($T < 0.5s$), giá trị phổ đàn hồi sau hiệu chỉnh lớn hơn giá trị phổ mục tiêu. Tuy nhiên các vị trí này chủ yếu nằm trong miền dao động tần số cao của kết cấu, kết quả này có tác động làm tăng mức độ an toàn đối với việc thiết kế kết cấu.



Hình 4. Phổ phản ứng đàn hồi nhân tạo M6-R15: (a) giản đồ gốc; (b) giản đồ sau hiệu chỉnh

Phổ đàn hồi của giản đồ gia tốc đặc trưng cho trường động đất xa (M6-R30) được thể hiện trong hình 5. Kết quả tương tự của phổ phản ứng thể hiện

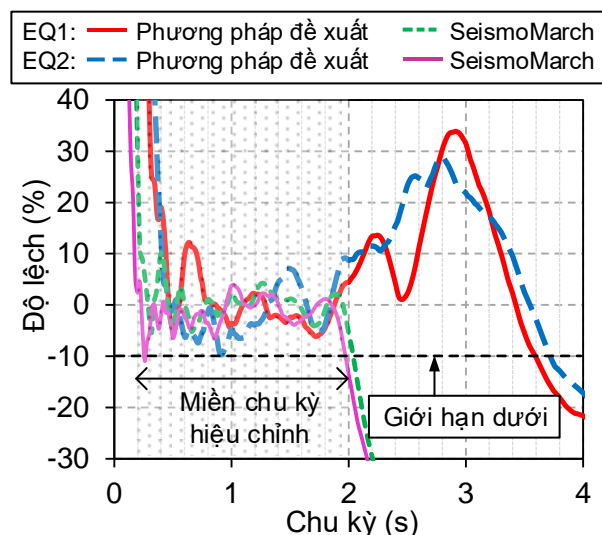
tính hiệu quả của phép hiệu chỉnh giản đồ gia tốc và khả năng ứng dụng trong nhiệm vụ xây dựng bộ dữ liệu động đất phù hợp để phục vụ phân tích.



Hình 5. Phổ phản ứng đàn hồi nhân tạo M6-R30: (a) giản đồ gốc; (b) giản đồ sau hiệu chỉnh

Hình 6 thể hiện sự khác nhau giữa phổ đàn hồi trung bình sau hiệu chỉnh của giản đồ gia tốc và phổ mục tiêu, cho hai tình huống động đất đã phân tích. Theo đó, trong miền chu kỳ hiệu chỉnh (kéo dài đến 2.5s), tiêu chí về giá trị phổ theo tiêu chuẩn được thỏa

mãn. Hơn nữa, vùng lân cận chu kỳ dao động cơ bản, giá trị phổ trung bình đồng thời không vượt quá 10% giá trị phổ mục tiêu, nghĩa là các giản đồ sau hiệu chỉnh sử dụng trong phân tích không làm cho kết quả trở nên quá an toàn (quá dư so với phổ mục tiêu).



Hình 6. Độ lệch giữa phổ trung bình sau hiệu chỉnh và phổ mục tiêu theo TCVN 9386-2012

4.2 So sánh kết quả hiệu chỉnh với phần mềm có sẵn

Kết quả hiệu chỉnh theo trình tự đề xuất được so sánh với kết quả hiệu chỉnh bằng phần mềm thương mại SeismoMatch [16]. Sai số trong phần mềm được lựa chọn 10% để đảm bảo điều kiện $S_g(T) \geq 0.9S_e(T)$.

Kết quả thể hiện trên các hình 4, 5, và 6 tương ứng với trường động đất gần, động đất xa và độ lệch so với phổ mục tiêu. Theo đó, trong miền chu kỳ hiệu chỉnh, phương pháp đề xuất cho kết quả sát với phần mềm SeismoMatch. Với các chu kỳ ngắn, phương pháp đề xuất cho giá trị phổ lớn hơn đáng kể so với SeismoMatch (theo hướng làm tăng tính an toàn cho kết quả phân tích). Mặt khác, với các chu kỳ dài, giá trị phổ đàn hồi hiệu chỉnh của SeismoMatch thấp hơn đáng kể (hơn 10%) so với phổ mục tiêu và phương pháp đề xuất.

5. Kết luận

Giản đồ gia tốc nền động đất có vai trò quan trọng trong nghiên cứu công trình chịu động đất, đặc biệt là các phân tích phi tuyến theo lịch sử thời gian. Lựa chọn và hiệu chỉnh giản đồ gia tốc có ý nghĩa thực tiễn nhằm giải quyết các thách thức về việc đảm bảo dữ liệu động đất cho các vùng động đất trung bình và yếu như Việt Nam. Bài báo trình bày cụ thể hóa phương pháp lựa chọn và hiệu chỉnh giản đồ gia tốc theo TCVN 9386-2012. Kết quả cho thấy, phương pháp lựa chọn và hiệu chỉnh giản đồ gia tốc đề xuất có hiệu quả cao khi các điều kiện ràng buộc quy định trong tiêu chuẩn thiết kế được trực tiếp kể đến khi xác định các hệ số hiệu chỉnh.

Do đó, các giản đồ gia tốc sau hiệu chỉnh có phổ phản ứng đàn hồi phù hợp với phổ mục tiêu và đáp ứng các điều kiện đề ra. Phương pháp đề xuất đảm bảo độ tin cậy thông qua việc so sánh với phần mềm thương mại sẵn có và có thể được áp dụng linh hoạt trong thực tiễn tính toán. Ví dụ tính toán cung cấp bộ dữ liệu gia tốc động đất phù hợp với địa chấn khu vực phân tích, đặc biệt là các công trình có các chu kỳ dao động từ 0.5s đến 2.5s. Với kết cấu có chu kỳ dao động ngắn hơn, việc sử dụng giản đồ gia tốc đã thiết lập có thể dẫn đến độ sai lệch nhất định. Trong trường hợp này, các phân tích khác có thể được áp dụng như giải pháp chia nhỏ miền chu kỳ hiệu chỉnh để áp dụng cho các bộ giản đồ khác nhau nhằm tăng độ chính xác của kết quả phân tích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ECS (2005a). "Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings". *European Committee for Standardization Brussels*.
2. NRCC (2015). "National building code of Canada (NBCC)". *National Research Council of Canada, Associate Committee on the National Building Code*.
3. ASCE-7 (2016). "Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures". *American Society of Civil Engineers*.
4. AASHTO (2017). "AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 8th Edition".

5. CSA-S6 (2019). "CSA-S6-19, Canadian highway bridge design code". *Canadian Standards Association*.
6. TCVN-9386:2012. "Vietnam national standard - Design of structures for earthquake resistances". *Ministry of Science and Technology*.
7. A.K. Chopra (2017). "Dynamics of structures. theory and applications to earthquake engineering".
8. CSA-S6.1 (2019). "Commentary on CSA S6:19, Canadian Highway Bridge Design Code". *CSA Group*.
9. G.M. Atkinson (2009). "Earthquake time histories compatible with the 2005 National building code of Canada uniform hazard spectrum". *Canadian Journal of Civil Engineering*. 36, 991-1000.
10. F. Zhao, Y. Zhang, H. Lü (2006). "Artificial ground motion compatible with specified ground shaking peaks and target response spectrum". *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*. 5, 41-48.
11. P. Léger, A. Tayebi, P. Paultre (1993). "Spectrum-compatible accelerograms for inelastic seismic analysis of short-period structures located in eastern Canada". *Canadian Journal of Civil Engineering*. 20, 951-968.
12. P. Léger, M. Leclerc (1996). "Evaluation of earthquake ground motions to predict cracking response of gravity dams". *Engineering Structures*. 18, 227-239.
13. J.E. Carballo, C.A. Cornell (2000). "Probabilistic seismic demand analysis: spectrum matching and design". *Reliability of Marine Structures Program, Department of Civil Engineering*.
14. D. Michaud, P. Léger (2014). "Ground motions selection and scaling for nonlinear dynamic analysis of structures located in Eastern North America". *Canadian journal of civil engineering*. 41, 232-244.
15. J. Hancock, J. Watson-Lamprey, N.A. Abrahamson, J.J. Bommer, A. Markatis, E. McCoy, R. Mendis (2006). "An improved method of matching response spectra of recorded earthquake ground motion using wavelets". *Journal of earthquake engineering*. 10, 67-89.
16. Seismosoft (2016). "SeismoMatch, software".
17. V.T. Nguyen, N.Q. Vu, X.D. Nguyen (2020). "Application of seismic isolation for multi-story buildings in moderate seismicity areas like Vietnam". *Journal of Physics: Conference Series, IOP Publishing*, pp. 012119.
18. X.D. Nguyen, L. Guizani (2020). "Optimal seismic isolation characteristics for bridges in moderate and high seismicity areas". *Canadian Journal of Civil Engineering*. 48, 642-655.
19. Đ.V. Thuật (2011). "Tạo băng gia tốc nền từ phổ phản ứng gia tốc đàn hồi sử dụng chuỗi Fourier". *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*. 10, 3-14.
20. V.N. Anh (2020). "Nghiên cứu sử dụng biến đổi wavelet tạo giả băng gia tốc nền theo điều kiện khớp phổ phản ứng để tính toán công trình chịu tác dụng của động đất". *Đề tài khoa học công nghệ, Học viện Kỹ thuật quân sự*.

Ngày nhận bài: 20/8/2021.

Ngày nhận bài sửa: 23/9/2021.

Ngày chấp nhận đăng: 24/9/2021.

Tên bài báo bằng tiếng Anh:

CALIBRATION OF ARTIFICIAL EARTHQUAKE ACCELEROGRAMS ACCORDING TO TCVN 9386-2012