



AN OVERVIEW OF CALCULATION OF ELASTIC RESPONSE SPECTRUM AND SEISMIC-RESISTANT DESIGN FOR BRIDGES

Nguyen Thanh Dong^{1,2*}, Phung Ba Thang¹, Nguyen Xuan Dai³

¹ University of Transport Technology, No 54 Trieu Khuc Street, Ha Noi, Vietnam

² Institute of Technical Engineering, No 3 Sa Doi Street, Phu Do, Ha Noi, Vietnam

³ Le Quy Don Technical University, No 236 Hoang Quoc Viet Street, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 30/11/2023

Revised: 13/05/2024

Accepted: 12/06/2024

Published online: 15/06/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.5.14>

* *Corresponding author*

Email: thanhdongm2m@gmail.com; Tel: +84976016623

Abstract. Earthquake is one of the natural disasters that cause heavy losses to people and social properties, especially for infrastructures. The study of earthquake calculation and seismic-resistant design solutions for structures plays an important and essential role, and that has been received the great attention of many researchers domestically and globally. Foreign standards have presented fully comprehensive earthquake design specifications. Although the seismic resistant design is specified in the Vietnamese standards, there is inconsistency in the method of determining the acceleration spectrum, in other words, the seismic loading, leading to different design concepts. The article presents an overview of the acceleration response spectrum calculation process in accordance with common design standards, offering comparisons and observations regarding the approach provided by Vietnamese standards with great standards in the world. The earthquake-resistant design solutions and practical applications for bridge structures in Vietnam are presented as a basis for providing recommendations for future research orientations and practical applications.

Keywords: earthquake, acceleration response spectrum, seismic design of bridges, earthquake resistant design standards for bridges.

@ 2024 University of Transport and Communications



TỔNG QUAN VỀ TÍNH TOÁN PHỔ PHẢN ỨNG GIA TỐC ĐÀN HỒI VÀ THIẾT KẾ CÔNG TRÌNH CẦU CHỐNG ĐỘNG ĐẤT

Nguyễn Thành Đồng^{1,2*}, Phùng Bá Thắng¹, Nguyễn Xuân Đại³

¹ Đại học Công nghệ GTVT, Số 54 Triều Khúc, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

² Viện Kỹ thuật Công binh, Số 3 Đường Sa Đới, Phú Đô, Hà Nội, Việt Nam

³ Học viện Kỹ thuật Quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 30/11/2023

Ngày nhận bài sửa: 13/05/2024

Ngày chấp nhận đăng: 12/06/2024

Ngày xuất bản Online: 15/06/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.5.14>

* Tác giả liên hệ

Email: thanhdongm2m@gmail.com; Tel: +84976016623

Tóm tắt. Động đất là một trong những thảm họa tự nhiên gây ra thiệt hại nặng nề về người và tài sản xã hội, đặc biệt là cơ sở hạ tầng. Nghiên cứu tính toán động đất và các giải pháp thiết kế kháng chấn cho công trình có vai trò quan trọng, cần thiết và đã nhận được sự quan tâm sâu sắc của nhiều nhà nghiên cứu. Các tiêu chuẩn nước ngoài đã trình bày chỉ dẫn tính toán động đất tương đối toàn diện. Mặc dù hệ thống tiêu chuẩn Việt Nam đã đề cập đến thiết kế kháng chấn nhưng chưa đồng bộ trong cách tính toán phổ phản ứng gia tốc, dẫn đến những quan niệm thiết kế khác nhau. Bài báo trình bày nội dung tổng quan về cách tính phổ phản ứng gia tốc theo các tiêu chuẩn thiết kế tiêu biểu từ đó đưa ra các nhận xét, so sánh về phương pháp trình bày trong các tiêu chuẩn Việt Nam với các tiêu chuẩn lớn trên thế giới. Các giải pháp thiết kế chống động đất và thực tiễn áp dụng cho công trình cầu tại Việt Nam được trình bày khái quát làm cơ sở đưa ra các kiến nghị về định hướng nghiên cứu và ứng dụng trong thực tế.

Từ khóa: động đất, phổ phản ứng gia tốc, thiết kế kháng chấn cho cầu, tiêu chuẩn thiết kế cầu chịu động đất.

@ 2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. MỞ ĐẦU

Động đất là hiện tượng dịch chuyển mạnh của bề mặt trái đất do sự giải phóng năng lượng trong thời gian ngắn ở phía sâu của vỏ quả đất, gây ra bởi các hoạt động kiến tạo, thay đổi cấu

trúc địa tầng, nổ hạt nhân, v.v. Xung quanh khu vực chấn tiêu, các biến dạng của môi trường đất đá được truyền đi dưới dạng sóng, gây dao động cho các kết cấu công trình. Các tác động này nếu quá mức có thể làm hư hỏng hoặc phá hoại kết cấu công trình. Thực tế từ lịch sử đã chứng minh, động đất là một trong những thảm họa thiên nhiên gây nhiều thiệt hại nghiêm trọng cho con người và cơ sở hạ tầng kỹ thuật.

Một trận động đất thường được đặc trưng bởi nhiều tham số phức tạp. Theo quan điểm thiết kế kết cấu công trình, các đặc trưng tiêu biểu của chuyển động nền có ảnh hưởng trực tiếp đến ứng xử của kết cấu bao gồm: Độ mạnh; biên độ của chuyển động; khoảng thời gian duy trì của chuyển động; nội dung tần số; đặc trưng khoảng cách, v.v. Trong đó, biên độ của chuyển động ảnh hưởng trực tiếp đến biên độ dao động của công trình, đặc biệt là đỉnh gia tốc và đỉnh vận tốc; khoảng thời gian duy trì của chuyển động có tác động quan trọng đến mức độ phá hoại đối với kết cấu; nội dung tần số sóng động đất liên quan chặt chẽ đến hình dạng phổ phản ứng và khả năng khuếch đại dao động của kết cấu công trình [1, 2]. Ngoài ra, sóng động đất lan truyền trong đất đá nên các đặc trưng của nó có quan hệ mật thiết với tính chất môi trường và khoảng cách từ chấn tiêu đến vị trí công trình. Các chuyển động của mặt đất ở vùng gần chấn tâm thường có những hiệu ứng hướng của xung lan truyền với tần số cao và dữ dội (xung vận tốc lớn). Ở vùng xa chấn tâm, sóng tần số cao có xu hướng tiêu hao năng lượng nhanh hơn, các rung lắc ở tần số thấp chi phối hầu hết các chuyển động ở khu vực này [2, 3].

Về mặt ứng xử của kết cấu, mức thiệt hại của kết cấu phụ thuộc vào mức rung động của nó khi chịu động đất, thông qua các đặc trưng về tần số, năng lượng, số lượng chu kỳ dao động, v.v. tạo ra sự phức tạp trong phản ứng của kết cấu khi chịu tác dụng của động đất.

Việt Nam nằm trong vùng có nguy cơ động đất với nhiều đứt gãy đang hoạt động mạnh [4]. Theo báo cáo khoa học tại Hội thảo quốc tế “Nguy hiểm động đất, sóng thần và các hệ thống cảnh báo sớm khu vực Châu Á – Thái Bình Dương” do Viện Vật lý địa cầu – Viện Khoa học Công nghệ Việt Nam tổ chức (5-6/9/2011), Việt Nam có mối hiểm họa động đất khá cao. Hiện nay ở Việt Nam có bốn vùng tiềm ẩn nguy cơ động đất cao gồm: i) Tây Bắc; ii) Vùng dọc theo đứt gãy sông Hồng và sông Chảy, kéo dài từ Lào Cai đến Vịnh Bắc bộ; iii) Vùng đứt gãy sông Cả, kéo dài từ biên giới Việt – Lào đến Cửa Lò Nghệ An, Thạch Khê Hà Tĩnh; iv) Vùng ven biển Trung bộ và Nam bộ, từ Quảng Ngãi đến Vũng Tàu. Bên cạnh đó, các đứt gãy lớn như Sông Mã, Sông Đà, v.v. cũng được xem là các đứt gãy đang hoạt động. Lịch sử nước ta đã xuất hiện những trận động đất có cường độ lớn (Điện Biên, 1935, 6,8 độ richter; Tuần Giáo, 1983, 6,7 độ richter; ...) và các dư chấn từ các nước xung quanh đã gây ra nhiều thiệt hại về cơ sở hạ tầng. Từ năm 2011 đến nay, trung bình mỗi năm có hàng chục trận động đất được ghi nhận cho thấy tần suất xuất hiện động đất ngày càng nhiều. Ngoài ra, do ảnh hưởng của việc xây dựng các dự án lớn đã tác động đáng kể đến các đứt gãy và cấu trúc địa tầng, dẫn đến các hoạt động địa chấn diễn ra thường xuyên hơn tại một số khu vực (như tại Kon Tum). Dự báo trong tương lai, các trận động đất mạnh tiếp tục xuất hiện trên phạm vi lãnh thổ Việt Nam [5, 6].

Cầu là công trình thiết yếu có vai trò quan trọng trong hệ thống cơ sở hạ tầng giao thông. Kết cấu cầu có đặc trưng là vượt nhịp lớn, khối lượng tập trung chủ yếu ở trên cao, kết cấu phía dưới thường là hệ thống trụ, móng cầu, do đó dễ ảnh hưởng bởi các tác động ngang, đặc biệt là động đất. Quan sát qua các trận động đất trong lịch sử thế giới cho thấy, cầu là một trong những công trình dễ bị phá hoại nhất của hạ tầng giao thông. Do đó, vấn đề cấp thiết đặt ra là phải khảo sát khả năng và giải pháp thiết kế chống động đất cho cầu, đặc biệt là những cây cầu được thiết kế theo các hệ thống tiêu chuẩn cũ đã lỗi thời và không đáp ứng được yêu cầu của các tiêu chuẩn hiện hành. Ngoài ra, nội dung nghiên cứu thiết kế chống động đất ở Việt Nam mặc dù đã

được triển khai nhiều năm, xong lĩnh vực nghiên cứu thiết kế chống động đất cho cầu vẫn chưa được quan tâm xứng đáng do đó cần có những nghiên cứu sâu hơn và toàn diện hơn [7].

Bài báo này trình bày các nghiên cứu tổng quan về tính toán tác động của động đất thông qua giá trị phổ phản ứng gia tốc đàn hồi và tình hình thiết kế kết cấu cầu chống động đất ở Việt Nam. Một số bộ tiêu chuẩn thiết kế lớn trên thế giới và hai bộ Tiêu chuẩn Việt Nam được sử dụng để đối chiếu phương pháp tính toán nhằm đánh giá mức độ phù hợp của Tiêu chuẩn Việt Nam. Một số vấn đề tổng quan về thiết kế chống động đất cho công trình cầu được tổng hợp trên cơ sở các nghiên cứu tiêu biểu trên thế giới, từ đó đánh giá bối cảnh thực tiễn xây dựng tại Việt Nam, rút ra ưu nhược điểm và đề xuất giải pháp triển vọng áp dụng trong thời gian tới.

2. TÍNH TOÁN TÁC ĐỘNG CỦA ĐỘNG ĐẤT

Tác động của động đất là sự kiện ngẫu nhiên và thường được biểu diễn dưới dạng phổ phản ứng và/hoặc các giản đồ gia tốc [1, 2]. Các giản đồ gia tốc thường được sử dụng trong phương pháp phân tích theo lịch sử thời gian và các nghiên cứu chuyên sâu về phản ứng động học của kết cấu. Tuy vậy, các tham số của giản đồ gia tốc cần thỏa mãn các điều kiện được quy định theo tiêu chuẩn thiết kế, đặc biệt là quy định về khớp phổ phản ứng [8-12]. Trong phân tích kết cấu công trình chịu tác dụng của động đất, phổ phản ứng động đất vẫn giữ vai trò thiết yếu.

Các tham số phổ phản ứng cung cấp các giá trị lớn nhất của sự khuếch đại chuyển động trên mặt đất tạo ra bởi phản ứng của kết cấu, chúng có vai trò quan trọng để đánh giá tác động của trận động đất đối với các kết cấu. Theo đó, các giá trị phổ phản ứng đã được thiết lập phù hợp với đặc tính sóng động đất [11-13] và có mối liên hệ bản chất với các đặc điểm địa chấn của khu vực bố trí công trình. Các loại phổ phản ứng động đất có thể là đàn hồi, không đàn hồi, thiết kế, hoặc phổ phản ứng có độ rủi ro đồng đều. Hầu hết các phổ phản ứng như vậy đều có nguyên tắc xây dựng giống nhau và dựa trên phổ phản ứng đàn hồi. Do đó, trong nghiên cứu này, tác giả tập trung đi sâu vào xem xét phương pháp tính toán phổ phản ứng gia tốc đàn hồi.

Tại mỗi khu vực, tải trọng động đất được quy định cụ thể theo các tiêu chuẩn thiết kế trên cơ sở các nghiên cứu về đặc điểm, tính chất của động đất tại khu vực đó. Các tiêu chuẩn thiết kế nổi tiếng trên thế giới về tính toán tải trọng động đất (áp dụng cho công trình cầu) như: AASHTO [12], Eurocode 8 [14], CSA-S6 [15]. Hiện nay, tính toán tải trọng động đất tại Việt Nam đang được áp dụng hai bộ tiêu chuẩn khác nhau, tương ứng dành cho kết cấu nhà (TCVN 9386:2012) và kết cấu cầu (TCVN 11823:2017). Tải trọng động đất theo mỗi bộ tiêu chuẩn được thiết lập theo triết lý khác nhau, nhưng đều có đặc điểm chung là: phổ phản ứng gia tốc phụ thuộc vào xác suất xuất hiện động đất, nền đất, tỷ số cản và chu kỳ dao động của kết cấu.

2.1 Tiêu chuẩn Châu Âu Eurocode 8

Tiêu chuẩn Eurocode 8 quy định, có hai loại phổ phản ứng gia tốc đàn hồi khác nhau được sử dụng tính toán cho cả kết cấu nhà và cầu. Phổ phản ứng loại 1 được khuyến nghị dùng cho các vùng động đất mạnh, phổ phản ứng loại 2 được đề xuất sử dụng khi các trận động đất được xem xét để đánh giá xác suất rủi ro động đất có cường độ sóng bề mặt $M_s \leq 5,5$ (xem xét áp dụng cho các vùng động đất trung bình, yếu). Giá trị các giới hạn chu kỳ của phổ phản ứng gia tốc cho từng loại phổ phản ứng được trình bày trong Bảng PL-1 (xem Phụ lục [16]).

Với các chu kỳ dao động ngắn hơn 4,0s, phổ phản ứng đàn hồi theo phương nằm ngang, $S_e(T)$, được tính theo công thức sau:

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

Phổ phản ứng đàn hồi chuyển vị $S_{de}(T)$ được tính từ phổ phản ứng gia tốc đàn hồi:

$$S_{de}(T) = S_e(T) \cdot (T/2\pi)^2 \tag{2}$$

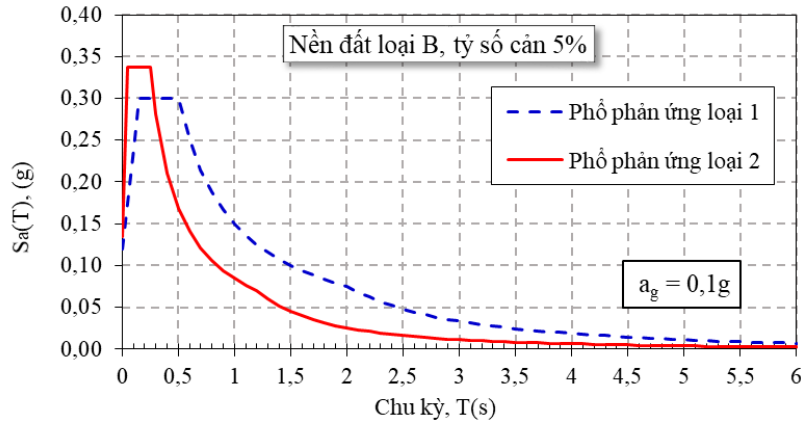
Với các chu kỳ dao động lớn hơn 4,0s, phổ phản ứng gia tốc đàn hồi được tính toán từ phổ phản ứng chuyển vị đàn hồi $S_{de}(T)$, với $S_{de}(T)$ được định nghĩa như sau [10]:

$$T_E \leq T \leq T_F : S_{de}(T) = 0,025 a_g S T_C T_D \left[2,5\eta + \left(\frac{T - T_E}{T_F - T_E} \right) (1 - 2,5\eta) \right] \tag{3}$$

$$T_F \leq T : S_{de}(T) = 0,025 a_g S T_C T_D$$

trong đó, a_g ($a_g = \gamma_I \times a_{gR}$) là gia tốc nền thiết kế với nền loại A; γ_I là hệ số tầm quan trọng, a_{gR} là đỉnh gia tốc nền tham chiếu; S là hệ số nền; η là hệ số điều chỉnh phụ thuộc vào độ cản nhớt $\xi(\%)$, $\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55$.

Đồ thị phổ phản ứng gia tốc đàn hồi tính toán theo Eurocode 8 với gia tốc điển hình tính toán với hai loại phổ phản ứng khác nhau được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1. Phổ phản ứng gia tốc tính theo Eurocode 8.

Nhận xét: Hình dạng phổ phản ứng gia tốc có sự khác nhau rõ rệt giữa loại 1 và loại 2. Phổ phản ứng loại 1 đặc trưng cho sóng động đất có mức tập trung năng lượng cao ở các chu kỳ lớn với độ dốc của đường cong phổ nhỏ hơn. Phổ phản ứng loại 2 có giá trị gia tốc rất lớn tại dải chu kỳ ngắn và giảm nhanh (tiêu hao năng lượng nhanh hơn) khi chu kỳ dao động tăng. Sự khác nhau về hình dạng đường cong phổ phản ứng này có tác động đáng kể đến triết lý thiết kế công trình chịu động đất [17].

2.2 Tiêu chuẩn Mỹ AASHTO

Tiêu chuẩn AASHTO được phát triển từ cuối những năm 1990 đến nay với nhiều phiên bản được sửa đổi, cập nhật cho phù hợp với các kết quả ghi nhận được từ thực tế động đất. Trong đó, nội dung tính toán tải trọng động đất được thay đổi đáng kể từ phiên bản AASHTO

2009 khi kể đến các hệ số ảnh hưởng của đất nền trong những khoảng chu kỳ dao động khác nhau.

Theo quy định được trình bày trong tiêu chuẩn AASHTO 2020 [12], với các chu kỳ dao động nhỏ hơn hoặc bằng T_0 , giá trị phổ phản ứng gia tốc đàn hồi của dạng dao động thứ "m" được tính theo công thức :

$$C_{sm} = A_S + (S_{DS} - A_S)(T_m/T_0) \quad (4)$$

trong đó, $A_S = F_{pga} \cdot PGA$; $S_{DS} = F_a S_S$; PGA là đỉnh gia tốc tại nền đá (nền đất loại B); S_S là phổ phản ứng gia tốc tại chu kỳ 0,2 s (nền đất loại B); T_m là chu kỳ dao động của dạng dao động thứ "m"; T_0 là giá trị tham chiếu của chu kỳ dao động để xác định hình dạng của phổ phản ứng gia tốc tại giá trị $0,2T_S$ (s) ($T_0 = 0,2T_S$); T_S là giá trị xác định sự thay đổi từ không phụ thuộc vào chu kỳ dao động đến phụ thuộc vào nghịch đảo chu kỳ dao động tại chu kỳ $T_S = S_{D1}/S_{DS}$ (s).

Với các chu kỳ dao động lớn hơn hoặc bằng T_0 và nhỏ hơn hoặc bằng T_S , giá trị phổ phản ứng gia tốc đàn hồi được tính toán theo công thức sau:

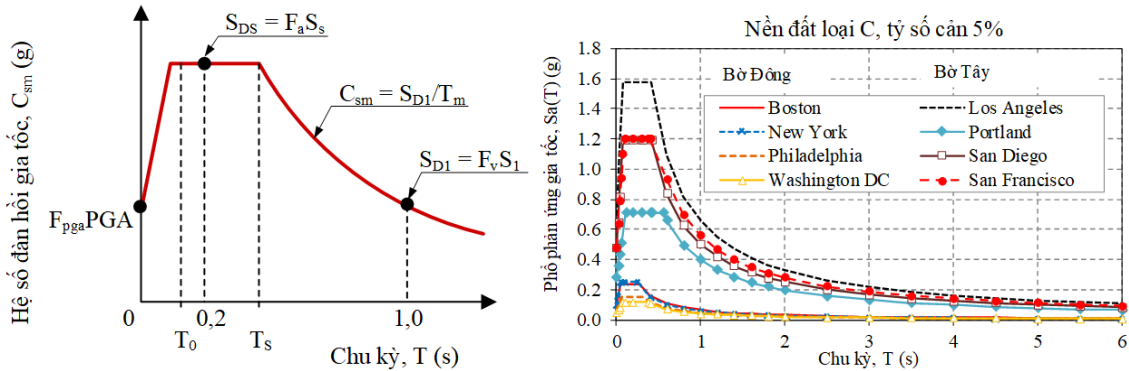
$$C_{sm} = S_{DS} \quad (5)$$

Với các chu kỳ dao động lớn hơn T_S , giá trị phổ phản ứng gia tốc tính theo công thức:

$$C_{sm} = S_{D1}/T_m \quad (6)$$

trong đó, $S_{D1} = F_v S_I$; S_I là giá trị phổ phản ứng gia tốc đàn hồi tại chu kỳ 1,0 s ở nền đá.

Hình 2 minh họa giá trị phổ phản ứng gia tốc đàn hồi tính toán theo AASHTO 2017.



Hình 2. Phổ phản ứng gia tốc tính theo AASHTO tại một số địa điểm ở Mỹ.

Các hệ số F_{pga} , F_a và F_v được áp dụng cho các khoảng chu kỳ bằng 0, khoảng chu kỳ ngắn (từ T_0 đến T_S), và khoảng chu kỳ dài ($> T_S$) được quy định tại Bảng PL-2, Bảng PL-3 và Bảng PL-4 (xem Phụ lục [16]). So sánh với phiên bản AASHTO 2007 (bản tham khảo cho tiêu chuẩn TCVN 11823:2017), tại khoảng chu kỳ dài, giá trị hệ số đàn hồi gia tốc động đất tính theo tiêu chuẩn AASHTO 2020 tỷ lệ nghịch với chu kỳ dao động T thay vì tỷ lệ nghịch với $T^{2/3}$. Kết quả là tại các chu kỳ lớn hơn 1,0 s giá trị hệ số đàn hồi gia tốc động đất theo AASHTO 2020 sẽ nhỏ hơn phiên bản AASHTO 2007 và ngược lại với các chu kỳ dao động nhỏ hơn 1,0 s (nhưng lớn hơn T_S), giá trị tính theo AASHTO 2020 lớn hơn AASHTO 2007 [12].

2.3 Tiêu chuẩn Canada CSA-S6

Tiêu chuẩn thiết kế cầu, đường bộ Canada CSA-S6 [15] áp dụng phương pháp thiết kế dựa theo hiệu năng đối với ba cấp độ tương ứng với xác suất xuất hiện động đất lần lượt là 2%, 5% và 10% trong 50 năm theo mục tiêu hiệu năng được thiết lập cho từng loại kết cấu cầu.

Giá trị phổ phản ứng gia tốc đàn hồi phụ thuộc vào nền đất và chu kỳ dao động của công

trình, thông qua hệ số $F(T)$. Giá trị $F(T)$ phụ thuộc vào đỉnh gia tốc tham chiếu (PGA_{ref}) và nền đất, trong đó, giá trị đỉnh gia tốc tham chiếu PGA_{ref} xác định như sau:

$$\begin{cases} Sa(0,2)/PGA < 2,0: & PGA_{ref} = 0,8PGA \\ Sa(0,2)/PGA \geq 2,0: & PGA_{ref} = PGA \end{cases} \quad (7)$$

Giá trị hệ số đất nền tương ứng với chu kỳ dao động được xác định theo các bảng PL-5 đến Bảng PL-10 (xem Phụ lục [16]). Các giá trị trung gian được tính nội suy tuyến tính.

Phổ phản ứng gia tốc đàn hồi được xác định theo công thức sau:

$$\begin{aligned} S(T) &= \max[F(0,2)S_a(0,2); F(0,5)S_a(0,5)] & T \leq 0,2 \text{ s} \\ &= F(0,5)S_a(0,5) & T = 0,5 \text{ s} \\ &= F(1,0)S_a(1,0) & T = 1,0 \text{ s} \\ &= F(2,0)S_a(2,0) & T = 2,0 \text{ s} \\ &= F(5,0)S_a(5,0) & T = 5,0 \text{ s} \\ &= F(10,0)S_a(10,0) & T \geq 10,0 \text{ s} \end{aligned} \quad (8)$$

trong đó, $S_a(T)$ là giá trị phổ phản ứng gia tốc đàn hồi tại chu kỳ dao động T ; $F(T)$ là hệ số kể đến ảnh hưởng của đất nền tại chu kỳ T .

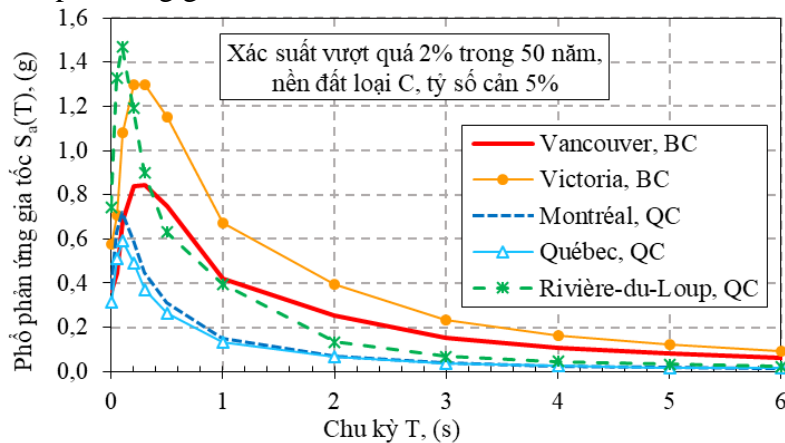
Hệ số điều chỉnh phổ phản ứng gia tốc theo các tỷ số cản ξ xác định theo công thức sau:

$$R_D = (0,05/\xi)^{0,4} \quad (9)$$

Phổ phản ứng chuyển vị đàn hồi tại các chu kỳ dao động $T = 0 \text{ s}; 0,2 \text{ s}; 0,5 \text{ s}; 1,0 \text{ s}; 2,0 \text{ s}; 5,0 \text{ s}$ và $10,0 \text{ s}$ được tính toán từ phổ phản ứng gia tốc theo công thức sau:

$$S(T) = S_d(T)/(250 \times T^2)$$

Các giá trị trung gian của phổ phản ứng chuyển vị được tính toán bằng phương pháp nội suy tuyến tính. Phổ phản ứng gia tốc của một số khu vực điển hình xác định được như sau:



Hình 3. Phổ phản ứng gia tốc tại một số địa điểm tại Canada tính theo CSA-S6-2019.

2.4 Tiêu chuẩn TCVN 9386:2012

Tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất TCVN 9386:2012 [10] được xây dựng trên cơ sở tiêu chuẩn Eurocode 8 với các hiệu chỉnh để áp dụng phù hợp trong thiết kế kết cấu nhà tại Việt Nam. Trong bối cảnh tiêu chuẩn Eurocode 8 được áp dụng đồng thời cho cả kết cấu cầu, tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 được tác giả đề cập đến trong phần này như một trong những

phương pháp tính toán tham chiếu (tại Việt Nam) để so sánh. Theo đó, giá trị phổ phản ứng gia tốc được tính trên từng khoảng chu kỳ nhất định phụ thuộc vào nền đất, cụ thể như sau:

Với các chu kỳ dao động ngắn hơn 4,0s, phổ phản ứng đàn hồi theo phương nằm ngang, $S_e(T)$, được tính theo công thức sau:

$$\begin{aligned} 0 \leq T \leq T_B : S_e(T) &= a_g S [1 + (2,5\eta - 1)T / T_B] \\ T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) &= 2,5a_g S \eta \\ T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) &= 2,5a_g S \eta (T_C / T) \\ T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) &= 2,5a_g S \eta (T_C T_D / T^2) \end{aligned} \quad (10)$$

Phổ phản ứng đàn hồi chuyển vị $S_{de}(T)$ được tính từ phổ phản ứng gia tốc đàn hồi:

$$S_{de}(T) = S_e(T) \cdot (T/2\pi)^2 \quad (11)$$

Với các chu kỳ dao động dài hơn 4,0s, phổ phản ứng gia tốc đàn hồi được tính toán từ phổ phản ứng chuyển vị đàn hồi $S_{de}(T)$ dựa theo tiêu chuẩn nguồn Eurocode 8 như sau [10]:

$$\begin{aligned} T_E \leq T \leq T_F : S_{de}(T) &= 0,025a_g S T_C T_D \left[2,5\eta + \left(\frac{T - T_E}{T_F - T_E} \right) (1 - 2,5\eta) \right] \\ T_F \leq T : S_{de}(T) &= 0,025a_g S T_C T_D \end{aligned} \quad (12)$$

trong đó, a_g ($a_g = \gamma_I \times a_{gR}$) là gia tốc nền thiết kế với nền loại A; γ_I là hệ số tầm quan trọng, a_{gR} là đỉnh gia tốc tham chiếu; S là hệ số nền; η là hệ số phụ thuộc vào độ cản nhớt ξ (%).

T là chu kỳ dao động của kết cấu, T_B , T_C , T_D , T_E , T_F là các giới hạn chu kỳ của phổ phản ứng gia tốc, phụ thuộc vào loại nền đất và được lấy như Bảng PL-11 (xem Phụ lục [16]). Thực tế theo tiêu chuẩn tham chiếu, phương pháp tính phổ phản ứng gia tốc động đất của TCVN 9386:2012 trùng khớp với cách tính phổ phản ứng loại 1 trong tiêu chuẩn Eurocode 8 [14].

2.5 Tiêu chuẩn TCVN 11823:2017

Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 11823:2017 “Thiết kế Cầu đường bộ”, được xây dựng dựa trên nền tảng tiêu chuẩn AASHTO 2007, có quy định về tính toán hệ số đáp ứng động đất đàn hồi (ý nghĩa tương tự phổ phản ứng gia tốc đàn hồi theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012) như sau:

Hệ số đáp ứng động đất đàn hồi C_{sm} cho dạng thức dao động thứ “ m ” được lấy theo:

$$C_{sm} = \frac{1,2AS}{T_m^{2/3}} \leq 2,5A \quad (13)$$

trong đó: T_m là chu kỳ dao động của dạng thức dao động thứ “ m ” (s), xác định dựa trên cơ sở khối lượng danh định, không có hệ số của các cấu kiện hoặc kết cấu; A là hệ số gia tốc, lấy theo Phụ lục H của TCVN 9386:2012; S là hệ số thực địa, được lấy theo bảng sau:

Bảng 1. Hệ số thực địa theo TCVN 11823:2017 [18].

Hệ số thực địa	Loại đất			
	I	II	III	IV
S	1,0	1,2	1,5	2,0

Với vùng đất loại III và trong các vùng mà hệ số "A" không nhỏ hơn 0,30 thì $C_{sm} \leq 2,0A$.

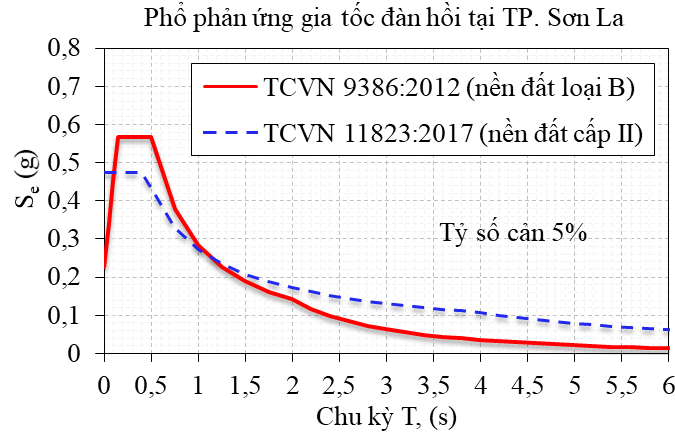
Đối với đất loại III, đất loại IV và đối với các dạng thức dao động khác khi dạng thức dao động cơ bản có chu kỳ nhỏ hơn 0,3 s, thì C_{sm} phải lấy theo công thức:

$$C_{sm} = A(0,8 + 4,0T_m) \quad (14)$$

Trường hợp chu kỳ dao động của một dạng thức dao động bất kỳ lớn hơn 4,0 s:

$$C_{sm} = \frac{3AS}{T_m^{4/3}} \quad (15)$$

Như vậy, theo tiêu chuẩn TCVN 11823:2017, trong khoảng chu kỳ 0,3s đến 4s, phổ phản ứng gia tốc đàn hồi không phân biệt giữa các khoảng chu kỳ khác nhau. Dẫn đến sự khác nhau đáng kể về hình dạng và giá trị của phổ phản ứng gia tốc đàn hồi khi so sánh với tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 (và Eurocode 8). Hình 4 trình bày so sánh phổ phản ứng gia tốc đàn hồi tại thành phố Sơn La, khi tính toán theo TCVN 9386:2012 và TCVN 11823:2017, với nền đất loại B (đất cấp II tính theo TCVN 11823:2017).



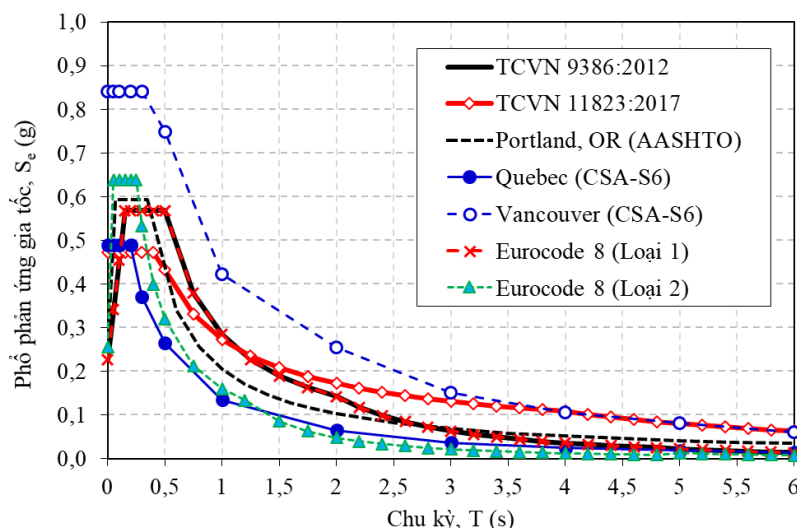
Hình 4. So sánh phổ phản ứng gia tốc tính theo TCVN 9386:2012 và TCVN 11823:2017.

Theo đó, tại các khoảng chu kỳ nhỏ ($T < 1,2s$), phương pháp tính theo TCVN 11823:2017 cho giá trị phổ phản ứng gia tốc nhỏ hơn đáng kể so với TCVN 9386:2012. Ngược lại, với các chu kỳ dao động lớn ($T > 1,5s$), phương pháp tính theo TCVN 11823:2017 cho kết quả giá trị phổ phản ứng gia tốc lớn hơn khi so sánh với TCVN 9386:2012 (tương đồng với sự khác nhau giữa phiên bản năm 2007 và phiên bản mới của tiêu chuẩn AASHTO). Sự khác nhau này có ảnh hưởng đáng kể đến công tác tính toán thiết kế kết cấu công trình. Các kết cấu có chu kỳ dao động cơ bản nhỏ hơn 1,0 s, phương pháp tính toán theo TCVN 11823:2017 cho kết quả lực tác động của động đất nhỏ hơn, trong khi với các chu kỳ lớn hơn (vùng chu kỳ mà các giải pháp thiết kế kháng chấn kể đến các biến dạng dẻo và/hoặc gói cách chấn hướng đến) thì tác động của động đất theo cách tính như vậy lớn hơn đáng kể khi so sánh với TCVN 9386:2012. Ngoài ra, phương pháp tính theo TCVN 11823:2017 được xây dựng dựa trên sự tham khảo các phiên bản cũ (AASHTO 2007). Trong khi đó, các phiên bản mới của tiêu chuẩn AASHTO (từ phiên bản AASHTO 2009) đã có những thay đổi quan trọng trong cách tính toán phổ phản ứng gia tốc với việc kể các hệ số ảnh hưởng của nền đất tại các khoảng chu kỳ dao động khác nhau. Sự thay đổi này dẫn đến những thay đổi đáng kể trong tính phổ phản ứng gia tốc cũng như trong phân tích thiết kế kết cấu cầu chịu động đất.

2.6 So sánh các tiêu chuẩn thiết kế

Trên cơ sở phương pháp tính toán phổ phản ứng gia tốc theo các tiêu chuẩn ở trên, một phân tích so sánh được thực hiện nhằm đánh giá về hình dạng, tính chất các tham số phổ phản

ứng gia tốc theo mỗi tiêu chuẩn. Theo đó, nền đất loại B (TCVN 9386:2012, Eurocode 8), tương ứng với nền đất loại II (TCVN 11823:2017) và nền đất loại C (AASHTO, CSA-S6) với giá trị đỉnh gia tốc tương đồng nhau được đưa vào tính toán theo mỗi tiêu chuẩn tương ứng, hệ số tầm quan trọng của kết cấu được tính thống nhất bằng 1, kết quả được thể hiện trong Hình 5.



Hình 5. So sánh phổ phản ứng gia tốc tính toán theo các tiêu chuẩn khác nhau.

Từ biểu đồ ta thấy, giá trị phổ phản ứng gia tốc tính theo TCVN 9386:2012 và Eurocode 8 loại 1 hoàn toàn trùng khớp. Độ dốc của đường cong phổ phản ứng gia tốc của các tiêu chuẩn có sự khác biệt. Theo giá trị tăng dần của chu kỳ dao động, phổ phản ứng gia tốc loại 2 tính theo Eurocode 8 có độ giảm lớn nhất, phổ phản ứng tính theo TCVN 9386:2012 và Eurocode 8 (phổ phản ứng gia tốc loại 1), AASHTO và CSA-S6 (Quebec) có độ suy giảm tương đương nhau, phổ phản ứng gia tốc tính theo TCVN 11823:2017 có độ suy giảm nhỏ nhất. Sự khác nhau này dẫn đến những khác nhau trong dự đoán phản ứng của công trình chịu động đất. Cụ thể, từ các giá trị $T < 1,5$ s, phổ phản ứng gia tốc tính theo TCVN 11823:2017 nhỏ hơn đáng kể so với TCVN 9386:2012. Ngược lại, từ giá trị $T > 1,5$ s, giá trị phổ phản ứng gia tốc tính theo TCVN 11823:2017 lớn hơn đáng kể. Sự khác nhau này đặc biệt ảnh hưởng đến dự đoán ứng xử của kết cấu có phản ứng phi tuyến (chu kỳ dao động hữu hiệu lớn như các kết cấu cầu sử dụng gối cách chấn). Do đó, tác giả kiến nghị cần có các nghiên cứu sâu hơn, toàn diện hơn để đánh giá sự phù hợp của phổ phản ứng gia tốc tính theo TCVN 11823:2017 như hiện nay.

3. THIẾT KẾ CHỐNG ĐỘNG ĐẤT VÀ THỰC TIỄN ÁP DỤNG CHO KẾT CẤU CẦU TẠI VIỆT NAM

Nhìn chung, các giải pháp thiết kế chống động đất ứng dụng cho các loại kết cấu công trình đều dựa vào nguyên lý nhằm tác động vào các yếu tố động lực học (độ cứng, độ cản, tần số dao động) của kết cấu. Tuy nhiên, việc ứng dụng các giải pháp này cho công trình cầu vẫn có những đặc thù riêng do sự khác biệt về đặc trưng kết cấu so với các dạng công trình khác.

Kết cấu cầu có đặc thù riêng gồm vượt nhịp lớn, khối lượng tập trung chủ yếu ở trên cao nên đặc biệt dễ bị phá hoại khi chịu các tác động ngang mạnh như động đất. Hơn nữa, công trình cầu thường được xây dựng nhằm vượt qua các chướng ngại vật, chủ yếu là các đứt gãy của địa hình, nên càng nhiều nguy cơ bị “tác động” bởi các trận động đất. Mặc dù vậy, các công trình cầu nhìn chung có rất ít hoặc không có giải pháp kết cấu dự phòng dẫn đến mức độ rủi ro cao, dễ bị hư hỏng nặng hoặc có nguy cơ sập toàn bộ khi chịu tải trọng địa chấn lớn, đặc biệt là khi xảy ra các tình huống động đất vượt tiêu chuẩn [19-21]. Do đó, tính toán kết cấu cầu chịu

tác dụng của động đất là nội dung quan trọng và không thể thiếu trong công tác thiết kế cầu hiện nay. Các phương pháp thiết kế kháng chấn phổ biến cho công trình nói chung và cho kết cấu cầu nói riêng hiện nay có thể tổng hợp lại thành 03 phương pháp chủ yếu như sau:

3.1 Phương pháp thiết kế truyền thống

Phương pháp này được áp dụng nhiều trong thiết kế và xây dựng cầu từ những năm 1960 trở về trước, tính toán theo nguyên tắc đảm bảo yêu cầu ứng xử đàn hồi của kết cấu khi chịu tác động của động đất. Theo đó, nội dung tính toán chỉ quan tâm đến khả năng chịu lực của kết cấu mà chưa xem xét đến yếu tố phân bố và tiêu tán năng lượng do động đất truyền vào công trình. Kết cấu công trình được thiết kế với kích thước lớn, độ bền cao.

Thực tế cho thấy, động đất được tính toán có tính xác suất, với tần suất xuất hiện khá thấp. Cụ thể, tiêu chuẩn Eurocode 8 [14], TCVN 11823:2017 [18], TCVN 9386:2012 [10] sử dụng giá trị gia tốc đỉnh tham chiếu với xác suất xuất hiện là 10% trong 50 năm; AASHTO [12] tính toán với xác suất xuất hiện là 7% trong 75 năm; CSA-S6 [15] thường tính toán với xác suất xuất hiện là 2% trong 50 năm. Việc thiết kế kết cấu cầu để đảm bảo chịu các tác động có tần suất thấp như vậy ở trạng thái đàn hồi dẫn đến quy mô kết cấu lớn, không có lợi về mặt kinh tế. Do đó, hiện nay phương pháp này hầu như rất ít được sử dụng, ngoại trừ những công trình có yêu cầu đặc biệt (công trình phòng thủ, lò phản ứng hạt nhân,...). Hơn nữa, qua quan sát thực tế hệ quả tác động của các trận động đất đối với kết cấu công trình, người ta thấy rằng nội lực xuất hiện trong kết cấu có sự gia tăng rất lớn, tuy nhiên kết cấu công trình vẫn đứng vững ngay cả khi chịu các tác động của động đất vượt tiêu chuẩn. Do đó, quan điểm thiết kế kháng chấn mới ra đời với việc có tính đến khả năng xuất hiện các biến dạng dẻo và tiêu tán một phần năng lượng của các bộ phận kết cấu. Kết cấu công trình khi đó được thiết kế đảm bảo khả năng chịu được các trận động đất vừa và nhỏ mà không bị hư hỏng, đồng thời đảm bảo không sụp đổ khi gặp các trận động đất mạnh xuất hiện trong quá trình khai thác công trình [1].

3.2 Phương pháp thiết kế theo khả năng (capacity-based design)

Khả năng kháng chấn của công trình phụ thuộc vào hai yếu tố chính gồm: sóng động đất (cường độ hay độ mạnh) và chất lượng công trình xây dựng. Trong đó, sóng động đất là yếu tố mang tính ngẫu nhiên, có độ tin cậy thấp và rất khó dự đoán. Chất lượng công trình là yếu tố dễ dàng kiểm soát trong tính toán, thiết kế. Phương pháp thiết kế này tập trung vào việc thiết kế công trình có mức độ an toàn chấp nhận được với tác động của động đất được dự kiến theo xác suất nhất định. Theo đó, công trình được thiết kế có độ cứng, độ bền thích hợp, nhằm đảm bảo an toàn sinh mạng và khả năng chịu lực với các trận động đất nhỏ, kiểm soát thiệt hại trong các trận động đất trung bình và chống sụp đổ khi chịu các tác động của động đất mạnh [1].

Nguyên lý thiết kế theo khả năng được trình bày phổ biến trong các tiêu chuẩn thiết kế hiện nay [10, 12, 14, 15, 18], dựa trên hai nội dung cốt lõi gồm mức độ biến dạng dẻo và khả năng tiêu tán năng lượng. Kết cấu khi đó được tính toán thiết kế ở mức thấp hơn nhu cầu về trạng thái làm việc đàn hồi khi chịu tải trọng động đất thiết kế. Để khắc phục tình trạng thiếu khả năng chịu lực, phương pháp này kể đến khả năng tiêu tán năng lượng qua các biến dạng dẻo tại một số bộ phận kết cấu được chọn trước và bảo toàn các bộ phận kết cấu chính. Thông thường, các vị trí dự kiến xuất hiện biến dạng dẻo được yêu cầu tính toán đặc biệt chi tiết để đảm bảo ứng xử của công trình gần đúng nhất với dự kiến. Tuy nhiên, độ tin cậy thực tế của thiết kế trong việc đạt được mục tiêu dự kiến theo phương pháp này rất khó được kiểm soát.

Việc xét đến khả năng tiêu tán năng lượng của kết cấu trong tính toán thiết kế được thực hiện thông qua việc kể đến hệ số ứng xử động đất (bản chất là hệ số chiết giảm đối với phổ

phản ứng gia tốc). Tuy nhiên, các hệ số này vẫn được tính toán ở mức khá nhỏ, cụ thể: theo tiêu chuẩn Eurocode 8, hệ số ứng xử “q” không vượt quá 3,5 (dành cho cầu trụ thép). Tiêu chuẩn AASHTO, CSA-S6, và TCVN 11823:2017 lấy hệ số kể đến biên dạng đèo $R \leq 5$ (ý nghĩa tương tự hệ số ứng xử “q”) dành cho cầu có trụ bằng thép. Thực tế cho thấy, độ dẻo thấp và khả năng chịu lực không đủ của các trụ cầu cũng đã dẫn đến các phá hoại nghiêm trọng trong các trận động đất trước đây [19-21].

Ngoài ra, việc sử dụng một kịch bản tần suất xuất hiện động đất thiết kế không cho phép dự kiến các mức độ hư hỏng của nhiều loại kết cấu với các trường hợp động đất khác nhau. Ví dụ, với các công trình ít quan trọng hơn, khả năng phá hoại một phần (gián đoạn quá trình khai thác) có thể được chấp nhận với mức động đất lặp lại trong chu kỳ 475 năm (xác suất 10% trong 50 năm) và có thể sụp đổ hoàn toàn với trường hợp động đất lặp lại trong chu kỳ 2475 năm (xác suất 2% trong 50 năm), nhưng với công trình cầu quan trọng, yêu cầu cần được bảo vệ cao hơn.

3.3 Phương pháp thiết kế theo hiệu năng (performance-based design)

Trong thực tế, tải trọng động đất tác dụng lên công trình thường có độ tin cậy thấp, nhiều chỉ tiêu liên quan đến nhu cầu và khả năng kháng chấn của kết cấu được thiết lập dựa vào phán đoán từ kinh nghiệm. Việc đánh giá nguy cơ phá hoại kết cấu cầu do động đất luôn có vai trò quan trọng đối với công tác dự báo và xây dựng kịch bản đảm bảo an toàn. Các thiết kế được xem là phù hợp khi có xu hướng giảm mức độ thiệt hại và đảm bảo hiệu năng công trình. Theo đó, phương pháp thiết kế theo hiệu năng ra đời với triết lý tổng quát hơn, trong đó các tiêu chí thiết kế được thể hiện dưới dạng các mục tiêu hiệu năng dự kiến khi kết cấu phải chịu các mức tác động dự kiến của động đất. Các mục tiêu thường được đề cập đến là trạng thái khai thác sử dụng, mức độ phá hoại công trình, yêu cầu về cải tạo, sửa chữa, ... thường gắn liền với cấp độ nguy hiểm động đất và khả năng kháng chấn của công trình.

Phương pháp đánh giá rủi ro địa chấn được phát triển từ cuối những năm 1970 trên cơ sở tính toán tần suất trung bình hàng năm vượt quá một trạng thái giới hạn cụ thể [22]. Cấp độ nguy hiểm động đất thông thường được đề cập tới trong các tiêu chuẩn thiết kế là tần suất xuất hiện động đất từ thường xuyên đến cực kỳ hiếm, tương ứng với xác suất vượt quá 50% trong 30 năm, hoặc 50%, 10%, 5%, 2% trong 50 năm, ... Ví dụ: tiêu chuẩn AASHTO cho phép cây cầu được thiết kế có xác suất sụp đổ thấp, nhưng cho phép bị hư hại đáng kể và gián đoạn khai thác khi chịu tác động của động đất trên mặt đất với xác suất vượt quá 7% trong 75 năm. Tùy theo loại công trình và mục tiêu tính năng mà mức độ sửa chữa, thay thế một phần, hoặc toàn bộ kết cấu cầu khi chịu tải trọng động đất tính toán với xác suất 7% trong 75 năm.

Theo hướng nghiên cứu này, phương pháp sử dụng đồ thị trạng thái phá hoại của kết cấu (fragility curve) có hiệu quả cao và là phương pháp được sử dụng khá rộng rãi [23-25]. Ban đầu, đồ thị trạng thái phá hoại được dựa trên các phán đoán và kinh nghiệm chuyên gia về dữ liệu phá hoại sau động đất của công trình cầu [26, 27]. Hiện nay, đồ thị này được ước tính thông qua các phương pháp phân tích phi tuyến để đánh giá mức độ phá hủy của công trình.

Hiện nay, phương pháp thiết kế theo hiệu năng đang được phát triển và ứng dụng khá rộng rãi. Tuy nhiên, quan điểm thiết kế của phương pháp này vẫn cho phép xuất hiện các phá hoại đối với kết cấu khi công trình chịu tác động của động đất thiết kế.

3.4 Phương pháp sử dụng thiết bị phụ trợ

Việc chấp nhận mức độ hư hỏng của kết cấu trong hai phương pháp thiết kế theo khả năng và theo hiệu năng dẫn tới yêu cầu về sửa chữa cải tạo, làm gián đoạn hoặc mất khả năng khai thác sử dụng, thậm chí dẫn đến sự sụp đổ của kết cấu. Trong hơn 40 năm qua, các công nghệ

kháng chấn hiện đại đã trở nên phổ biến, với việc tích hợp các thiết bị phụ trợ được vào kết cấu để cải thiện phản ứng của chúng khi chịu động đất. Mỗi công nghệ có triết lý riêng nhằm điều khiển một hay nhiều thông số (khối lượng M , độ cản C và/hoặc độ cứng K) trong phương trình chuyển động của kết cấu để giảm tác động của động đất và/hoặc tăng khả năng của kết cấu (hệ số chiết giảm). Các giải pháp này áp dụng cho công trình cầu có thể được phân thành ba loại: hấp thụ năng lượng (tăng độ cản), truyền sóc (tăng cường sức kháng cho kết cấu bằng cách huy động thêm các kết cấu khác) và gói cách chấn (cách ly kết cấu khỏi nguồn dao động [28]).

Trong đó, gói cách chấn đã dần trở thành một trong những giải pháp thiết kế kháng chấn hấp dẫn nhất áp dụng cho công trình cầu. Điều này xuất phát từ nhiều ưu điểm: giảm tác động của động đất truyền đến công trình để duy trì trạng thái ứng xử đàn hồi của các phần tử kết cấu, giảm thiểu thiệt hại do động đất và bảo toàn chức năng của công trình. Ngoài ra, giải pháp này còn giúp giảm chi phí xây dựng, khả năng đảm bảo đầy đủ các chức năng của gói cầu thông thường và sự tương đồng về hình dạng làm cho gói cách chấn dễ dàng tích hợp vào kết cấu cầu (xây mới và cải tạo), dễ bảo trì và thay thế sau động đất, v.v. [15, 29-31], do đó xứng đáng được quan tâm, nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả tập trung nghiên cứu đánh giá tiềm năng ứng dụng của giải pháp này tại Việt Nam.

3.5 Bối cảnh thiết kế cầu chống động đất ở Việt Nam

Các giải pháp thiết kế kháng chấn ứng dụng vào thực tiễn công trình cầu ở Việt Nam còn khá hạn chế trong giai đoạn trước, trong đó hầu hết là các giải pháp kết cấu. Gần đây, các giải pháp thiết kế kháng chấn hiện đại, sử dụng thiết bị phụ trợ mới bắt đầu được quan tâm. GS. TSKH Nguyễn Đông Anh thực hiện đề tài “Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị tiêu tán năng lượng chống dao động có hại phục vụ các công trình kỹ thuật” năm 2005 [32], trong đó có nghiên cứu sử dụng thiết bị cản nhớt nhằm làm giảm dao động của dây cáp cho cầu Ngòi Lăn, Yên Bái và cầu Bến Cốc, Hà Tây (cũ). Kết quả cho thấy biên độ dao động của dây văng có thể giảm 40%-50%. Tác giả cũng đồng thời tổng hợp một số giải pháp kháng chấn tiêu biểu cho kết cấu công trình thông qua việc ứng dụng thiết bị tiêu tán năng lượng gắn vào công trình [33].

Các giải pháp sử dụng thiết bị phụ trợ khác như: thiết bị giảm chấn điều chỉnh khối lượng (TMD – Tuned mass damper), hệ thanh giằng kháng chấn (bracing systems), hệ giảm chấn thủy lực, bộ giảm sóc,... được coi là giải pháp tiềm năng có thể áp dụng cho kết cấu cầu. Tuy nhiên, trong các giải pháp thiết kế kháng chấn cho cầu, việc thay thế các gói cầu thông thường bằng gói cách chấn luôn được đánh giá cao và ưu tiên áp dụng trong thực tế xây dựng nhờ những ưu điểm vượt trội. Do đó, các nghiên cứu về sử dụng gói cách chấn cho công trình cầu ở Việt Nam được thúc đẩy một số năm gần đây [34, 35]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này mới dừng ở bước phân tích khảo sát hiệu quả sử dụng thiết bị cho kết cấu cầu thông qua các phân tích số.

Thực tế nhiều công trình cầu ở nước ta đã sử dụng giải pháp gói cách chấn, tiêu biểu như: Cầu Bạch Đằng (Hải Phòng), cầu Trần Phú (Nha Trang), cầu Vĩnh Tuy (Hà Nội), v.v. Tuy nhiên các thiết bị được sử dụng hầu hết được tính toán theo tiêu chuẩn nước ngoài (Châu Âu, Nhật Bản). Hiện nay, nhiều doanh nghiệp tại Việt Nam có năng lực sản xuất gói cầu tốt, việc tiếp tục nghiên cứu để hoàn thiện tiêu chuẩn thiết kế gói cầu cách chấn đáp ứng nhu cầu thiết kế kháng chấn cho công trình cầu ở nước ta là nội dung giàu tiềm năng phát triển.

4. KẾT LUẬN

Tính toán động đất có vai trò quan trọng trong thiết kế cầu. Việt Nam đang đồng thời lưu hành hai bộ tiêu chuẩn tính động đất khác nhau là TCVN 11823:2017 và TCVN 9386:2012. Tuy nhiên hai bộ tiêu chuẩn này được phát triển trên nền tảng các tiêu chuẩn khác nhau, dẫn

đến sự khác nhau đáng kể trong tính toán. Kết quả cho thấy, phương pháp tính toán theo TCVN 9386:2012 tỏ ra phù hợp hơn khi so sánh với các bộ tiêu chuẩn lớn hiện hành trên thế giới. Do đó, việc thống nhất nội dung tính toán tải trọng động đất để đưa ra hướng dẫn áp dụng chung cho các tiêu chuẩn thiết kế và công tác tính toán thiết kế công trình có ý nghĩa thiết thực.

Các giải pháp kết cấu thiết kế kháng chấn cho kết cấu cầu tụy khắc phục được vấn đề giảm bớt chi phí xây dựng nhưng còn tiềm ẩn nhiều nguy cơ phá hoại, hư hỏng kết cấu, chưa thực sự đáp ứng được mục tiêu xây dựng bền vững. Gói cách chấn là giải pháp hiện đại, đã được kiểm chứng về hiệu quả khi áp dụng cho nhiều công trình cầu trên thế giới. Tuy nhiên việc ứng dụng giải pháp này hiện còn chưa phổ biến ở Việt Nam. Do đó, tính toán thiết kế gói cách chấn cho công trình cầu ở nước ta do đó còn giàu tiềm năng phát triển và xứng đáng được quan tâm.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Nguyễn Lê Ninh, Động đất và thiết kế công trình chịu động đất: Phần 2, NXB Xây Dựng, 2008.
- [2]. S. L. Kramer, Geotechnical Earthquake Engineering Prentice Hall, New York, 1996.
- [3]. M. Ismail, J. Rodellar, J. R. Casas, Seismic behavior of RNC-isolated bridges: a comparative study under near-fault, long-period, and pulse-like ground motions, Advances in Materials Science and Engineering, 2016.
- [4]. M. Pagani, R. Gee, K. Johnson, V. Poggi, R. Styron, G. Weatherill, M. Simionato, D. Viganò, L. Danciu, D. Monelli, Global Earthquake Model (GEM) Seismic Hazard Map, 2018.
- [5]. Vietnamplus, Động đất ở Việt Nam xuất hiện ngày càng nhiều, 2011. <https://www.vietnamplus.vn/dong-dat-o-viet-nam-xuat-hien-ngay-cang-nhieu/83784.vnp>, truy cập ngày 26 tháng 4 năm 2024.
- [6]. Báo điện tử Đảng Cộng Sản Việt Nam, Hơn 100 trận động đất xảy ra trong 6 tháng đầu năm 2023, 2023. <https://dangcongsan.vn/khoa-hoc/hon-100-tran-dong-dat-xay-ra-trong-6-thang-dau-nam-2023-640104.html>, truy cập ngày 26 tháng 4 năm 2024.
- [7]. Báo điện tử Đảng Cộng Sản Việt Nam, Việt Nam cần có những nghiên cứu sâu hơn về động đất, 2/2023. <https://dangcongsan.vn/khoa-hoc/viet-nam-can-co-nhung-nghien-cuu-sau-hon-ve-dong-dat-632002.html>, truy cập ngày 26 tháng 4 năm 2024.
- [8]. Nguyễn Xuân Đại, Nguyễn Văn Tú, Hiệu chỉnh giản đồ gia tốc động đất đáp ứng theo tiêu chuẩn Việt Nam, Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, 3 (2021) 69-77.
- [9]. Xuan Dai Nguyen, Van Tu Nguyen, A proposed method for selecting and scaling recorded seismic accelerations according to TCVN-9386: 2012, Journal of Science and Technology in Civil Engineering, 16 (2022) 100-112. [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(1\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(1)-09)
- [10]. TCVN-9386:2012, Vietnam national standard - Design of structures for earthquake resistances, Ministry of Science and Technology, 2012.
- [11]. Eurocode 8a: Design of structures for earthquake resistance-part 1: general rules, seismic actions and rules for buildings, European Committee for Standardization Brussels, 2005.
- [12]. AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 9th Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials Washington, DC, 2020.
- [13]. ASCE/SEI-41-13, Seismic evaluation and retrofit of existing buildings, in ASCE Standard ASCE/SEI, American Society of Civil Engineers, 2014.
- [14]. Eurocode 8b, Design of structures for earthquake resistance. Part 2: Bridges, European Committee for Standardization Brussels, 2005.
- [15]. CSA-S6-19, Canadian highway bridge design code, Canadian Standards Association, 2019.
- [16]. Phụ lục nội dung bài báo, <https://docs.google.com/document/d/1VJs0EPjKJrYNCNHqJujorbXipC3aqFyoahNrXFJQ->

[aQ/edit?usp=sharing.](#)

- [17]. Xuan Dai Nguyen, Contributions sur l'optimisation et l'analyse de l'isolation sismique des ponts dans les zones à sismicité modérée, École de technologie supérieure, 2021.
- [18]. TCVN-11823-3:2017, Vietnam national standard - Highway Bridge Design Specification, in Part 3: Loads and load Factors, Ministry of Science and Technology, 2017.
- [19]. N. I. Basöz, Statistical analysis of bridge damage data from the 1994 Northridge, CA, earthquake, Earthquake spectra, 15 (1999) 25-54.
- [20]. Q. Han, Seismic damage of highway bridges during the 2008 Wenchuan earthquake, Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 8 (2009) 263-273.
- [21]. Z. Wang, G. C. Lee, A comparative study of bridge damage due to the Wenchuan, Northridge, Loma Prieta and San Fernando earthquakes, Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 8 (2009) 251-261.
- [22]. D. Veneziano, F. Casciati, L. Faravelli, Method OP Seismic Fragility for Complicated Systems, Probabilistic methods in seismic risk assessment for nuclear power plants, 1983.
- [23]. X. Wang, A. Ye, B. Ji, Fragility-based sensitivity analysis on the seismic performance of pile-group-supported bridges in liquefiable ground undergoing scour potentials, Engineering Structures, 2019.
- [24]. T. Wen, Interlayer area damage modeling and damage-based seismic fragility analysis of high-speed railway bridge and track system, Engineering Structures, 2022.
- [25]. Nguyễn Văn Mỹ, Phan Hoàng Nam, Nguyễn Minh Hải, Hoàng Phương Hoa, Phân tích xác suất phá hủy địa chấn cho trụ và gối cầu của công trình cầu vượt bê tông cốt thép trên tuyến cao tốc Đà Nẵng- Quảng Ngãi, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 73 (2022) 300-315. <https://doi.org/10.47869/tcsj.72.3.8>
- [26]. M. Shinozuka, Statistical analysis of fragility curves, Journal of engineering mechanics, 126 (2000) 1224-1231.
- [27]. T. Rossetto, A. Elnashai, Derivation of vulnerability functions for European-type RC structures based on observational data, Engineering structures, 25 (2003) 1241-1263.
- [28]. L. Guizani, Sur l'isolation sismique des ponts au Canada, in 10e Colloque sur la progression de la recherche québécoise sur les ouvrages d'art, 2021.
- [29]. F. Naeim, , J. M. Kelly, Design of seismic isolated structures: from theory to practice, John Wiley & Sons, 1999.
- [30]. N. Makris , Seismic isolation: Early history, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 48 (2019) 269-283.
- [31]. I. Buckle, Seismic isolation of highway bridges, 2006 MCEER, University at Buffalo, the State University of New York, 2006.
- [32]. Nguyễn Đông Anh, Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị tiêu tán năng lượng chống dao động có hại phục vụ các công trình kỹ thuật, Viện Khoa học và công nghệ Việt Nam Viện Cơ học, 2005.
- [33]. Nguyễn Đông Anh, Lê Đức Việt, Giảm dao động bằng thiết bị tiêu tán năng lượng, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam Nhà Xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, 2007.
- [34]. Nguyễn Xuân Đại, Nguyễn Hoàng, Tính toán gối cách chấn cho kết cấu cầu chịu tác dụng của động đất theo tiêu chuẩn Việt Nam, Người Xây dựng, 329-330 (2019) 40-44.
- [35]. Xuan Dai Nguyen, Van Tu Nguyen, Hoang Nguyen, Evaluation of Applicability of Seismic Base Isolation for Bridges According to Vietnamese Codes, in CIGOS 2021, Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure, Springer, 2022, pp. 217-225.