

PHỔ PHẢN ỨNG CHUYỂN VỊ TRONG PHÂN TÍCH NHÀ CAO TẦNG CHỊU ĐỘNG ĐẤT Ở VIỆT NAM BẰNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH PHI TUYẾN

ThS. NGUYỄN HỒNG HẢI, TS. NGUYỄN HỒNG HÀ
 Viện KHCN Xây dựng
 ThS. VŨ XUÂN THƯƠNG
 Công ty Cổ phần Giải pháp và công nghệ Xây dựng SF

17.11.14

1-9

Tóm tắt: *Thiết kế kết cấu nhà cao tầng chịu động đất dựa trên chuyển vị, sử dụng phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến, yêu cầu phải xác định phổ phản ứng chuyển vị (dưới đây gọi tắt là phổ chuyển vị) phù hợp và tin cậy trong dải chu kỳ dài. Phổ chuyển vị áp dụng trong phân tích có ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả tính toán. Bài báo này trình bày nghiên cứu của một số tác giả trên thế giới liên quan tới việc sử dụng phổ chuyển vị trong phân tích ứng xử của kết cấu theo phương pháp dựa trên chuyển vị. Ví dụ so sánh kết quả phân tích khi áp dụng phổ chuyển vị theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 và ASCE 7-2010 cũng được trình bày. Kết quả cho thấy phổ chuyển vị theo tiêu chuẩn TCVN 9386:2012 không phù hợp để xác định chuyển vị mục tiêu cho kết cấu nhà cao tầng. Trong trường hợp này, kiến nghị sử dụng phổ chuyển vị theo ASCE 7 để phân tích.*

1. Đặt vấn đề

Phương pháp thiết kế kháng chấn dựa trên tính năng (performance-based design), vận dụng khái niệm thiết kế dựa trên chuyển vị (displacement based design), được xem là cho phép kiểm soát sự phá hoại một cách trực tiếp hơn so với phương pháp thiết kế kháng chấn truyền thống (dựa trên lực - force-based design) [1]. Thiết kế kết cấu dựa trên tính năng chỉ có thể đạt được thông qua việc áp dụng các phương pháp phân tích phi tuyến, tĩnh hoặc động. Tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất hiện hành của Việt Nam TCVN 9386:2012 [2] (dưới đây gọi tắt là TCVN 9386), biên soạn dựa trên cơ sở chuyển dịch tiêu chuẩn Eurocode 8 [3] (dưới đây viết tắt là EC8), trình bày một trong số các phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến phổ biến trên thế giới, với tên gọi là "phương pháp N2" do Fajfar [4] đề xuất.

Phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến có thể sử dụng để kiểm tra tính năng kết cấu của nhà hiện hữu và nhà thiết kế mới, nhằm các mục đích: (1) kiểm tra hoặc đánh giá lại các tỷ số vượt cường độ α/α_1 , (2) xác định các cơ cấu dẻo dự kiến và sự phân bố hư hỏng, (3) đánh giá tính năng kết cấu của nhà hiện hữu hoặc được cải tạo theo các mục tiêu của tiêu chuẩn liên quan và (4) sử dụng như một phương

pháp thiết kế thay cho phương pháp phân tích đàn hồi - tuyến tính có sử dụng hệ số ứng xử μ .

Khác với phương pháp phân tích tuyến tính hoặc phi tuyến theo lịch sử thời gian có thể đưa ra ứng xử lớn nhất (nội lực, chuyển vị) của kết cấu (hoặc cấu kiện) ứng với độ lớn của tải trọng động đất đầu vào, phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến chỉ có thể đưa ra đường cong quan hệ lực - chuyển vị. Các ứng xử (nội lực, chuyển vị) của kết cấu (hoặc cấu kiện) được xác định tại mức chuyển vị mục tiêu. Một số nghiên cứu của Fajfar [4], Penelis và Papanikolaou [5] có trình bày việc áp dụng phương pháp này cho một số dạng kết cấu thấp tầng. Đối với công trình cao tầng, về lý thuyết, phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến không thực sự phù hợp khi áp dụng cho kết cấu có ảnh hưởng của dao động bậc cao là đáng kể. Tuy nhiên, ngay cả khi phương pháp tĩnh phi tuyến không thích hợp cho việc đánh giá tính năng kháng chấn một cách hoàn chỉnh thì phương pháp này vẫn là một công cụ thiết kế hiệu quả để tìm hiểu ứng xử phi tuyến của kết cấu khi không thể tiến hành phân tích theo phương pháp phân tích động phi tuyến [6]. Các tài liệu [7~10] có trình bày việc áp dụng phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến cho nhà cao tầng, song chưa tìm thấy các ví dụ tương tự có áp dụng phổ phản ứng chuyển vị theo EC8.

Việc lựa chọn phổ chuyển vị phù hợp là rất quan trọng trong thiết kế dựa theo chuyển vị (displacement-based design) bằng phương pháp tĩnh phi tuyến, bởi nó biểu thị chuyển vị kỳ vọng (chuyển vị mục tiêu) của công trình ứng với mức động đất đang xét. Sự chính xác của việc xác định chuyển vị mục tiêu phụ thuộc hoàn toàn vào phổ chuyển vị được chọn. Trong quá trình áp dụng phương pháp tĩnh phi tuyến để nghiên cứu ứng xử của nhà cao tầng có tầng cứng, chúng tôi nhận thấy phổ chuyển vị quy định trong tiêu chuẩn TCVN 9386 có những đặc điểm chưa phù hợp đối với loại công trình này (có chu kỳ dài). Bài báo, thông qua việc so sánh phổ chuyển vị giữa TCVN 9386 và ASCE 7-2010 [11] (dưới đây viết tắt là ASCE 7), đồng thời tham khảo một số tài liệu nghiên cứu liên quan và ví dụ tính toán cụ thể sẽ làm rõ hơn vấn đề này.

2. Phổ chuyển vị theo TCVN 9386 và ASCE 7

2.1 Phổ phản ứng theo tiêu chuẩn TCVN 9386

Theo TCVN 9386, phổ phản ứng gia tốc đàn hồi $S_a(T)$ được xác định bằng các công thức sau:

$$0 \leq T \leq T_B : S_r(T) = a_g S \left[1 + \frac{T}{T_B} (2.5\eta - 1) \right] \quad (1)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_r(T) = 2.5 a_g S \eta \quad (2)$$

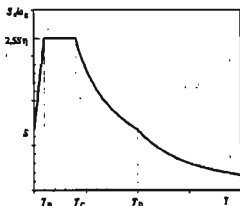
$$T_C \leq T \leq T_D : S_r(T) = a_g S \eta \times 2.5 \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (3)$$

$$S_d = S_o \frac{T^2}{4\pi^2} \quad (5)$$

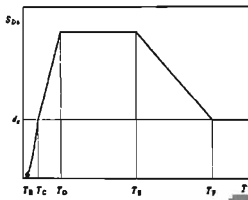
$$T_E \leq T \leq T_F : S_{Dc}(T) = 0.025 a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \left[2.5\eta + \left(\frac{T - T_E}{T_F - T_E} \right) (1 - 2.5\eta) \right] \quad (6)$$

$$T \geq T_F : S_c(T) = d_g \cdot 0.025 a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D \quad (7)$$

Hình 1 và hình 2 lần lượt thể hiện hình dáng của phổ gia tốc và phổ chuyển vị.



Hình 1. Dạng của phổ gia tốc



Hình 2. Phổ chuyển vị

2.2 Phổ phản ứng theo tiêu chuẩn ASCE 7

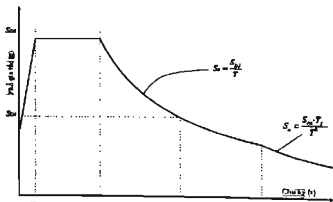
Phổ phản ứng gia tốc đàn hồi theo tiêu chuẩn ASCE 7 được xác định theo công thức sau (hình 3):

$$T \leq T_0 \quad S_a = S_{DS} \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (8)$$

$$T_0 < T \leq T_S \quad S_a = S_{DS} \quad (9)$$

$$T_S < T \leq T_L \quad S_a = \frac{S_{D1}}{T} \quad (10)$$

$$T > T_L \quad S_a = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (11)$$



Hình 3. Phổ gia tốc theo ASCE 7

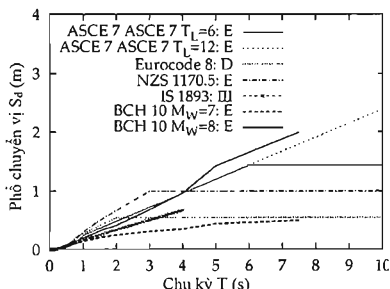
trong đó: S_{Ds} , S_{Dl} – lần lượt là giá trị của phổ gia tốc thiết kế ứng với độ cản nhất 5% tại chu kỳ bằng 0.2s và 1.0s; $T_0 = 0.2S_{Dl} / S_{Ds}$; $T_s = S_{Dl} / S_{Ds}$; T_L – xác định theo bản đồ phân vùng động đất của Mỹ.

ASCE 7 không có quy định riêng cho phổ chuyển vị, mà được xác định thông qua công thức (5). Tài liệu [13] có trình bày cách sử dụng phổ gia tốc theo ASCE khi áp dụng tại Việt Nam, trong đó thiên về an toàn lấy $T_L=6.0s$.

3. Vai trò của chu kỳ góc đối với phổ chuyển vị trong vùng chu kỳ dài

Phổ chuyển vị có hình dạng điển hình, ngoài phần phi tuyến ở giai đoạn đầu, là tuyến tính tới một giá trị chu kỳ (gọi là chu kỳ góc), sau đó nằm ngang biểu thị chuyển vị không đổi trong phần chu kỳ dài. Chu kỳ góc (giữa vùng kiểm soát vận tốc và kiểm soát

chuyển vị) là một tham số căn bản của phổ chuyển vị. Chu kỳ góc phụ thuộc vào loại nguồn động đất, cấp động đất, khoảng cách tâm chấn^[14, 15, 17, 18] và khó xác định. ASCE 7 chỉ định giá trị chu kỳ góc trong khoảng từ 4-16s. FEMA 450 quy định chu kỳ góc từ 4-20s theo cường độ chấn động M_w (moment magnitude) từ cấp 6 tới 9+^[19]. Tiêu chuẩn EC8 và NZS 1170.5 ấn định chu kỳ góc lần lượt bằng 2s và 3s. Hình 4 thể hiện tương quan phổ chuyển vị của các tiêu chuẩn khác nhau so với phổ ASCE 7, đất nền loại E, PGA 0.2g^[20]. Việc ấn định chu kỳ góc khác nhau đối với các tiêu chuẩn khác nhau có ảnh hưởng đáng kể tới độ lớn của phổ chuyển vị. Trong ví dụ trên, giá trị chuyển vị trong vùng chu kỳ dài theo tiêu chuẩn EC8 chỉ khoảng 0.5m, trong khi đó giá trị này là 1.4m theo tiêu chuẩn ASCE 7 (với $T_L=6s$).



Hình 4. Tương quan phổ chuyển vị theo một số tiêu chuẩn, ứng với phổ ASCE 7, đất nền loại E, PGA 0.2g^[20]

Nghiên cứu của Bommer^[13], Sinan Akkar^[16] cũng đưa ra các nhận định: phổ chuyển vị theo EC8 cho giá trị quá thấp, đặc biệt đối với phần chu kỳ trung bình và dài, mà nguyên nhân chính là do việc lựa chọn giá trị $T_D=2s$ là điểm bắt đầu của đoạn chuyển vị không đổi. Việc ấn định giá trị thấp đối với chu kỳ góc cho độ lớn của phổ chuyển vị thiên về không an toàn^[20]. Kiến nghị cần phải soát xét lại các nội dung liên quan đến vấn đề này của tiêu chuẩn EC8 cũng được nhiều tác giả đưa ra. Nghiên cứu của Faccioli^[17] chỉ ra rằng giá trị T_D trong phổ của EC8 (hay TCVN 9386) phụ thuộc vào độ lớn của trận động đất và khoảng cách đến tâm chấn, đồng thời cũng kiến nghị công thức xác định giá trị T_D đối với động đất có cường độ chấn động $M_w > 5.7$ như sau:

$$T_D = 1.0 + 2.5(M_w - 5.7) \quad (12)$$

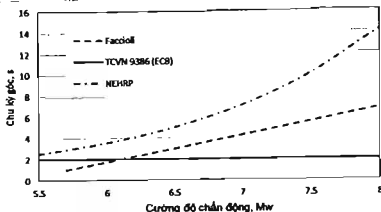
Ngoài ra, các nghiên cứu của Phạm Tuấn Hiệp^[25], Nilupa^[26] đều có hiệu chỉnh phổ chuyển vị theo EC8 khi thực hiện các bài toán phân tích phi tuyến, mặc dù không đưa ra giải thích chặt chẽ cho những điều chỉnh này.

Các nhận định trên là xác đáng khi tham chiếu đến chỉ dẫn của NEHRP^[19] đối với đoạn nằm ngang của phổ chuyển vị bắt đầu từ chu kỳ không chế T_L (có ý nghĩa tương đương với giá trị T_D trong EC8). Giá trị của T_L được thể hiện trên bản đồ phân vùng động đất của Mỹ, biến thiên trong khoảng từ 4~16s phụ thuộc vào độ lớn của động đất. NEHRP cũng đưa ra công thức xác định T_C (là giá trị gần đúng của T_L) thông qua quan hệ với cường độ chấn động M_w như sau:

$$\log T_C = -1.25 + 0.3 M_w \quad (13)$$

Hình 5 thể hiện quan hệ giữa chu kỳ góc T_D theo EC8 (hay T_L theo ASCE) với cường độ chấn động M_w .

Có thể thấy giá trị chu kỳ góc trong tiêu chuẩn EC8 và theo Faccioli (công thức (12)) đều nhỏ hơn giá trị xác định theo NEHRP.



Hình 5. Biểu đồ quan hệ giữa chu kỳ góc của phổ chuyển vị và cường độ chấn động

4. Ví dụ tính toán so sánh áp dụng phổ chuyển vị TCVN 9386 và ASCE 7

Ảnh hưởng của việc lựa chọn phổ chuyển vị trong phương pháp thiết kế dựa vào chuyển vị được thể hiện cụ thể trong ví dụ dưới đây, xem xét ứng xử của kết cấu một nhà cao tầng (có chu kỳ dài) thông qua phân tích phi tuyến tính. Trong đó chuyển vị mục tiêu được xác định theo phương pháp nêu trong phụ lục B của tiêu chuẩn TCVN 9386. Mô hình dùng để khảo sát là một khung phẳng 55 tầng, 2 nhịp (mỗi nhịp 19m) có 01 tầng cứng tại tầng 34 (hình 7), các thông tin cơ bản của công trình cho trong bảng 1.

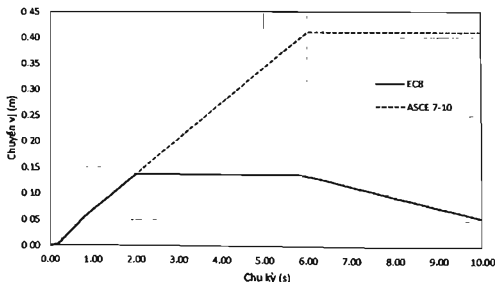
Công trình được xem xét thiết kế chịu động đất theo hai tiêu chuẩn TCVN 9386 và ASCE 7 ứng với gia tốc nền 0.1g (chu kỳ lặp 475 năm) trên nền đất có SPT<15 (loại D đất rời xốp - chặt vừa theo TCVN 9386 hoặc loại E sét mềm theo ASCE 7). Hình 6 thể hiện tương quan phổ chuyển vị theo tiêu chuẩn với các tham số như sau:

Phổ TCVN 9386: $a_g=0.1g$; $T_B=0.2$; $T_C=0.8$; $T_D=2.0$; $T_E=6.0$; $T_F=10.0$; $S=1.35$;

- Phổ ASCE 7: $S_{D5}=0.344g$; $S_{D1}=0.275g$; $T_0=0.16$; $T_S=0.8$; $T_L=6.0$.

Bảng 1. Các thông tin cơ bản về công trình

Thông tin	Tầng thường	Tầng cứng
Chiều cao tầng (m)	4.0	6.5
Tiết diện dầm	2000x500mm	800x6500mm
Tiết diện cột	1500x1800	
Tiết diện vách	800x12000	



Hình 6 So sánh phổ chuyển vị theo TCVN 9386 và ASCE 7

Có thể thấy phổ chuyển vị đàn hồi giữa hai tiêu chuẩn có sai khác rất lớn ở đoạn chu kỳ lớn hơn 2s. Phổ chuyển vị theo TCVN 9386 đi ngang trong đoạn từ T_D (2s) đến T_E (6s), sau đó đi xuống từ T_E (6s) đến T_F (10s), trong khi phổ chuyển vị theo ASCE 7 tăng tuyến tính trong đoạn từ T_S đến T_L (6s) sau đó mới đi ngang. Điều này cũng phù hợp với nhận xét của các nhà nghiên cứu trên thế giới trình bày trong mục 3.

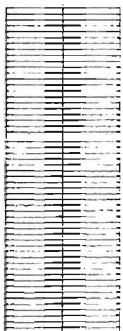
Phân tích phi tuyến đẩy dần được thực hiện bằng phần mềm Ruaumoko 2D, trong đó quan hệ lực – biến dạng của các cấu kiện sử dụng quan hệ đàn dẻo lý tưởng. Sơ đồ phân bố tải trọng ngang sử dụng sơ đồ phân bố tuyến tính. Hình 8 thể hiện đường cong lực cắt đáy – chuyển vị đỉnh (đường cong khả năng) ứng với sơ đồ tải trọng ngang này. Các tham số chuyển đổi sang hệ một bậc tự do tương đương của công trình như sau:

- Khối lượng của hệ một bậc tự do tương đương: $m = 14605.9$ ton;

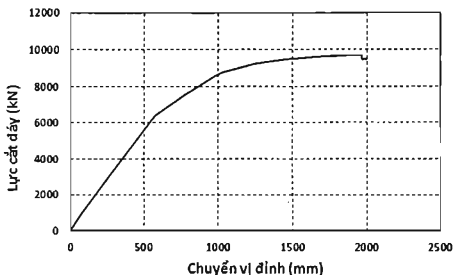
- Hệ số chuyển đổi: $\Gamma = 1.485$.

Đường cong lực – chuyển vị của hệ một bậc tự do tương đương được thể hiện trong hình 9. Chuyển vị mục tiêu được xác định khi sử dụng phổ chuyển vị theo TCVN 9386 và ASCE 7 như sau:

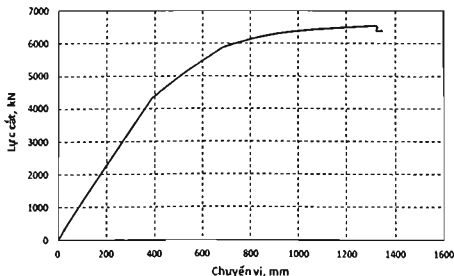
Theo TCVN 9386: Thực hiện phân tích phi tuyến bằng phương pháp N2 trình bày trong phụ lục B của tiêu chuẩn. Quá trình lặp để tìm chuyển vị mục tiêu không hội tụ. Như thể hiện trong hình 6, chuyển vị đàn hồi rất nhỏ (giá trị lớn nhất là 0.137m) so với giá trị chuyển vị thể hiện trên đường cong khả năng và không hợp lý so với quy mô của công trình.



Hình 7. Mô hình phân tích



Hình 8. Đường cong khả năng của công trình



Hình 9. Đường cong khả năng của hệ một bậc tự do tương đương

Theo ASCE 7: Thực hiện phân tích tương tự, quy trình lặp cho kết quả chuyển vị mục tiêu của hệ một bậc tự do tương đương là 0.492m ứng với lực cắt đáy bằng 4913 kN. Chuyển vị mục tiêu của hệ nhiều bậc tự do bằng $0.492 \times 1.485 = 0.73\text{m}$, ứng với lực cắt đáy bằng 7294kN.

Như vậy, có thể thấy việc lựa chọn phổ chuyển vị ảnh hưởng rất lớn tới giá trị chuyển vị mục tiêu trong bài toán phân tích tĩnh phi tuyến. Trong ví dụ trên, chuyển vị mục tiêu tính toán khi áp dụng phổ chuyển vị ASCE 7 bằng 0.73m, trong khi với phổ TCVN 9386 chuyển vị đàn hồi chỉ bằng 0.137m và quá trình tính lặp không hội tụ.

5. Kết luận và kiến nghị

Phổ chuyển vị có vai trò quan trọng trong việc xác định chuyển vị mục tiêu khi phân tích ứng xử của kết cấu bằng phương pháp tĩnh phi tuyến. Ảnh hưởng của chu kỳ góc tới phổ chuyển vị, đặc biệt là trong vùng chu kỳ dài, đã được các nhà nghiên cứu trên thế giới quan tâm. Các phân tích phía trên chỉ ra rằng phổ chuyển vị theo TCVN 9386 (hay EC8), với chu kỳ góc bằng 2s, được xem là thiên về không an toàn khi tính toán phân tích cho công trình có chu kỳ dài.

Bài báo, thông qua ví dụ cụ thể, cũng cho thấy sự chưa thích hợp trong việc áp dụng phổ chuyển vị theo TCVN 9386 (hay EC8) để xác định chuyển vị mục tiêu trong phân tích ứng xử của kết cấu nhà cao tầng (chu kỳ dài) bằng phương pháp tĩnh phi tuyến. Trong trường hợp này kiến nghị sử dụng phổ chuyển vị theo ASCE 7 để phân tích, trừ khi có các kết quả chính xác hơn thông qua đánh giá nguy cơ động đất (*seismic hazard assessment*) cho trường hợp đang xét.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. FAJFAR, P. AND KRAWINKLER, H., EDITOR, Seismic design methodologies for next generation of codes, *Balkema, Rotterdam, 1997.*
2. TCVN 9386-1:2012, Thiết kế công trình chịu động đất. Phần 1: Quy định chung, tác động động đất và quy định đối với kết cấu nhà. *Nhà Xuất bản Xây dựng.*
3. Comité Européen de Normalisation, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions and Rules for Building, 2004.
4. PETER FAJFAR, M. EERI. A Nonlinear Analysis Method for Performance Based Seismic Design. *Earthquake Spectra, Vol. 16, No. 3, pp.573-592, August 2000.*
5. G.G. PENELIS, V.K. PAPANIKOLAOU. Nonlinear Analysis of a 16-Storey R/C Building Designed According to EC2 & EC8. *14th European Conference on Earthquake Engineering, August 30 – September 3, 2010.*
6. GREGORY G. DEIERLEIN, ANDREI M. REINHORN, MICHAEL R. WILLFORD. Nonlinear Structural Analysis For Seismic Design – A Guide for Practicing Engineers. *NEHRP Seismic Design Technical Brief No. 4, Otc 2010.*
7. HIDEKI KIMURA, TADAO UEDA, KAZUO OHTAKE, ATSUSHI KAMBAYASHI. Structural Design of 80-Story RC High-rise using 200 Mpa Ultra-High-Strength Concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology Vol.5, No. 2, 181-191, June 2007.*
8. JIANG JUN, YOU BING, HU MING, HAO JIPING, LI YANGCHENG. Seismic Design of a Super High-rise Hybrid Structure. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.*
9. MEHDI POURSHA, FARAMARZ KHOSHNOUDIAN, A.S. MOGHADAM. A Breakthrough In Estimating the Seismic Demands of Tall Buildings. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.*
10. CHEN XIPING, ZHANG LIQIONG, XUE YUJING. Pushover Analysis on Super High-rise Building. *Journal of Jiangnan University (Natural Science Edition), Vol. 10, No. 6, Dec 2011.*
11. ASCE 7-10. Minimum Design Load for Buildings and Other Structures. *American Society of Civil Engineers, 2010.*
12. M. FARDIS, E. CARVALHO et al. Designers' Guide to EN 1998-1 and EN 1998-5, Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. *Thomas Telford Press, 2005.*
13. NGUYỄN ĐẠI MINH, NGUYỄN TRUNG NGHỊ, NGUYỄN QUỲNH HOA. Tính toán nhà cao tầng chịu động đất ở Việt Nam theo ASCE 7-05. *Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học kỷ niệm 50 năm ngày thành lập Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng, tập 3, trang 269-277.*
14. BOMMER, JULIAN J., AND ELNASHAI, AMR S. Displacement Spectra for Seismic Design. *Journal of Earthquake Engineering, 3 (1):1-32, 1999.*
15. TOLIS, STAVROS V., AND FACCIOLI, EZIO. Displacement Design Spectra. *Journal of Earthquake Engineering, 3 (1):107 – 125, 1999.*

16. JULIAN J. BOMMER, RUI PINHO. Adapting earthquake actions in Eurocode 8 for performance-based seismic design. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2006, 35:39-55.
17. EZIO FACCIOLI, ROBERTO PAOLUCCI, JULIEN REY. Displacement Spectra for Long Periods. *Earthquake Spectra*, Volume 20, No. 2, pages 347–376, May 2004.
18. SINAN AKKAR, JULIAN J. BOMMER. Prediction of elastic displacement response spectra in Europe and the Middle East. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2007, 36:1275-1301.
19. NehrP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, 2003 Edition, Part 1—Provisions, Part 2—Commentary. *Report FEMA 450, Building Seismic Safety Council, Washington, DC, 2004.*
20. ICSECM 2011 - Kandy - Sri Lanka - (15th to 17th December 2011), A comparative study of design seismic hazard in major national codes.
21. FEMA 356, 2000, "Prestandard and Commentary on the Seismic Rehabilitation of Buildings", *Federal Emergency Management Agency.*
22. ASCE 41-06: Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. *American Society of Civil Engineers, 2006.*
23. MEHMED CAUSEVIC, SASA MITROVIC. Comparison between non-linear dynamic and static seismic analysis of structures according to European and US provisions. *Bulletin of Earthquake Engineering*, Volume 9, Issue 2, pp 467-489, April 2011.
24. M.J.N PRIESTLY, G.M CALVI, M.J. KOWALSKY. Displacement Seismic Design of Structures. *IUSS Press, 2007.*
25. PHAM TUAN HIEP. Seismic Design Considerations for Tall Buildings. *Master thesis in Earthquake Engineering & Engineering Seismology, IUSS.*
26. HERATH NILUPA. Behaviour of outrigger braced tall buildings subjected to earthquake loads, PhD thesis, Dept. of Infrastructure Engineering, *The University of Melbourne, 2011*

Ngày nhận bài sửa: 10/11/2014.