



PHÂN TÍCH TÌNH PHI TUYẾN CỦA KHUNG THÉP PHẪNG SMRF CHỊU ĐỘNG ĐẤT

Đỗ Trọng Nghĩa¹, Nguyễn Hồng Ân¹ và Nguyễn Khánh Hùng²

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa Tp HCM

²Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Lạc Hồng

Thông tin chung:

Ngày nhận: 14/09/2012

Ngày chấp nhận: 25/03/2013

Title:

Assessment of nonlinear static procedures for seismic evaluation of SMRF buildings

Từ khóa:

Khung thép chịu moment, phân tích phi tuyến theo miền thời gian, phân tích tình phi tuyến

Keywords:

Steel Moment Resting Frame, Standard Pushover Analysis, Modal Pushover Analysis, Nonlinear Response History Analysis

ABSTRACT

Nonlinear static procedures (NSPs) are now standard in engineering practice to estimate seismic demands in the design and evaluation of buildings. The aim of this research is to improve the knowledge base on the accuracy of NSPs in estimating seismic behaviour of typical steel moment resisting frame structures (SMRF), considering the area of different seismicity and sets of ground motions of various intensities and frequency characteristics. The emphasis is on behavior assessment and quantification of global and local force and deformation demands for different hazard levels. Results of displacement, inelastic story drift response of a 9-storey steel building are determined by the Modal Pushover Analysis (MPA) procedure is compared with Standard Pushover Analysis (SPA) and Nonlinear Response History Analysis (NL-RHA) procedures. Thus, the modal pushover analysis procedure is accurate enough for practical application in SMRF buildings evaluation and design.

TÓM TẮT

Các phương pháp tình phi tuyến (NSPs) là tiêu chuẩn trong thực hành kỹ thuật hiện nay để ước tính phản ứng địa chấn trong yêu cầu về thiết kế và đánh giá các tòa nhà. Mục tiêu của nghiên cứu là cải thiện cơ sở kiến thức về độ chính xác của các phương pháp tình phi tuyến trong việc dự đoán ứng xử động đất cho các kết cấu khung thép chịu moment (SMRF), xem xét ở các khu vực địa chấn khác nhau và các bộ dao động nền có đặc tính về cường độ và tần số khác nhau. Chú trọng vào đánh giá phản ứng và định lượng nội lực, lực tổng thể và các yêu cầu về biến dạng ở cấp rủi ro khác nhau. Kết quả chuyển vị, độ trôi tầng không đàn hồi của tòa nhà thép 9 tầng được xác định bởi phương pháp phân tích có xét đến đóng góp của các dạng dao động cao (MPA) được so sánh với phương pháp đẩy dần chuẩn (SPA) và phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian (NL-RHA). Thực vậy, phương pháp MPA có đủ chính xác để ứng dụng thực hành vào thiết kế và đánh giá địa chấn cho kết cấu các tòa nhà SMRF.

1 GIỚI THIỆU

Khung thép chịu moment (SMRF) là kết cấu chịu tải ngang do địa chấn được sử dụng phổ

biến trong thiết kế nhà cao tầng. Khi có động đất xảy ra thì loại kết cấu này có các phần tử cột và dầm cùng chịu moment, đây là điểm khác

biệt với các loại kết cấu thép chịu địa chấn khác như kết cấu khung giằng (Bracing frame).

Trong quá khứ có hơn 150 kết cấu khung thép chịu moment bị thiệt hại do động đất Northridge năm 1994, chủ yếu dưới hình thức của phá hoại giòn chỗ mối hàn liên kết giữa dầm và cột. Kết cấu thép bị hư hỏng và sụp đổ trong trận động đất Kobe 1995 tiếp tục nhấn mạnh mức độ quan trọng trong việc dự đoán phản ứng của khung thép phẳng SMRF chịu địa chấn.

Các phương pháp tĩnh phi tuyến được mô tả trong FEMA-356 (ASCE, 2000) [1] và trong ATC-40 (ATC, 1996) [2] về đánh giá địa chấn của công trình được tính toán theo qui luật của các kết cấu chịu tác dụng từ một hệ lực ngang tương đương tăng dần cho đến khi chuyển vị đỉnh đạt đến giá trị chuyển vị mục tiêu đã xác định trước. Chuyển vị mục tiêu trong FEMA-356 được xác định dựa vào các hệ số. Trong khi đó chuyển vị mục tiêu trong phương pháp ATC-40 tìm được dựa vào giao điểm của đường cong khả năng (Capacity curve) và phổ thiết kế (Acceleration spectrum). Tuy nhiên, các phương pháp này dựa trên các mẫu tải bất biến nên việc đánh giá phản ứng địa chấn chỉ chính xác cho các tòa nhà thấp và trung tầng (Krawinkler và Seneviratna [3], Gupta và Kunnath [4], Chopra và Chintanapakdee [5]). Để khắc phục hạn chế này, một phương pháp cải tiến từ phương pháp tĩnh phi tuyến được gọi là phương pháp MPA được đề xuất bởi Chopra và Goel (2002) [6]. Phương pháp MPA đã được chứng minh là có độ chính xác cao hơn trong việc đánh giá địa chấn không những cho các công trình thấp tầng mà cho cả các tòa nhà cao tầng so với phương pháp tĩnh phi tuyến thông thường. Gần đây đã có nhiều tác giả trong và ngoài nước vận dụng phương pháp MPA vào nghiên cứu của họ và cho kết quả đáng tin cậy [7,8]. Bài báo này đã ứng dụng phương pháp MPA vào đánh giá phản ứng địa chấn cho kết cấu khung 9 tầng SMRF tại ba vị trí là Los Angeles, Seattle và Boston với các dao động nền khác nhau. Kết quả phân tích được so sánh với phương pháp đẩy dần chuẩn và phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian.

2 CÁC PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Phương pháp phân tích theo miền thời gian (NL-RHA)

Phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian được xác định dựa trên phương trình động lực học phi tuyến:

$$\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{c}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{f}_s(\mathbf{u}, \text{sign}\dot{\mathbf{u}}) = -\mathbf{m}\ddot{\mathbf{u}}_g(t) \quad (1)$$

Trong đó: \mathbf{u} là vector của chuyển vị; \mathbf{m} và \mathbf{c} là ma trận khối lượng và ma trận cản của hệ; \mathbf{u} là vector ảnh hưởng mà mỗi phần tử bằng một đơn vị.

2.2 Phương pháp SPA

Đây là phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến đẩy dần chuẩn chỉ đánh giá vai trò đóng góp của dạng dao động đầu tiên [1], [9]. Nói cách khác phương pháp SPA không có kể đến đóng góp của các dạng dao động cao hơn. Do đó, ở phương pháp SPA không cần sử dụng thuật toán tổ hợp để thu được giá trị đáp ứng cần thiết.

2.3 Phương pháp MPA

Năm 2002 Chopra và Goel đã đề xuất phương pháp MPA theo 9 bước:

(1). Tính các tần số tự nhiên ω_n , và các dạng dao động (mode shape) ϕ_n , của các công trình đàn hồi tuyến tính.

(2). Đối với dạng dao động thứ n, xây dựng đường cong pushover biểu diễn mối quan hệ giữa lực cắt đáy- chuyển vị mái ($V_{bn} - u_{rn}$) bằng phân tích tĩnh phi tuyến của công trình, dùng lực phân phối $\mathbf{s}_n^* = \mathbf{m}\phi_n$.

(3). Lý tưởng hóa đường cong pushover như một đường cong song tuyến tính (Hình 1a).

(4). Chuyển đổi đường cong lý tưởng pushover qua mối quan hệ lực - biến dạng $F_{sn} / L_n - D_n$ của hệ một bậc tự do tương đương cho dạng dao động thứ n không đàn hồi (Hình 1b) bởi công thức:

$$\frac{F_{sn}}{L_n} = \frac{V_{bn}}{M_n^*}; D_n = \frac{u_{rn}}{\Gamma_n \phi_{rn}} \quad (2)$$

(5). Tính biến dạng đỉnh $D_n = \max |D_n(t)|$ của hệ một bậc tự do không đàn hồi tương đương do lực kích thích nền $\ddot{u}_g(t)$ bằng cách phương trình phi tuyến sau:

$$\ddot{D}_n + 2\zeta_n \omega_n \dot{D}_n + \frac{F_{sn}}{L_n} = -\ddot{u}_g(t) \quad (3)$$

(6). Tính toán chuyển vị đỉnh u_{rno} của hệ một bậc tự do ứng với mode thứ n hệ không đàn hồi từ công thức $u_{rno} = \Gamma_n \phi_{rn} D_n$ (4)

(7). Rút ra kết quả phản ứng mong muốn, r_{no} , dữ liệu pushover khi chuyển vị mái bằng chuyển vị u_{rno} .

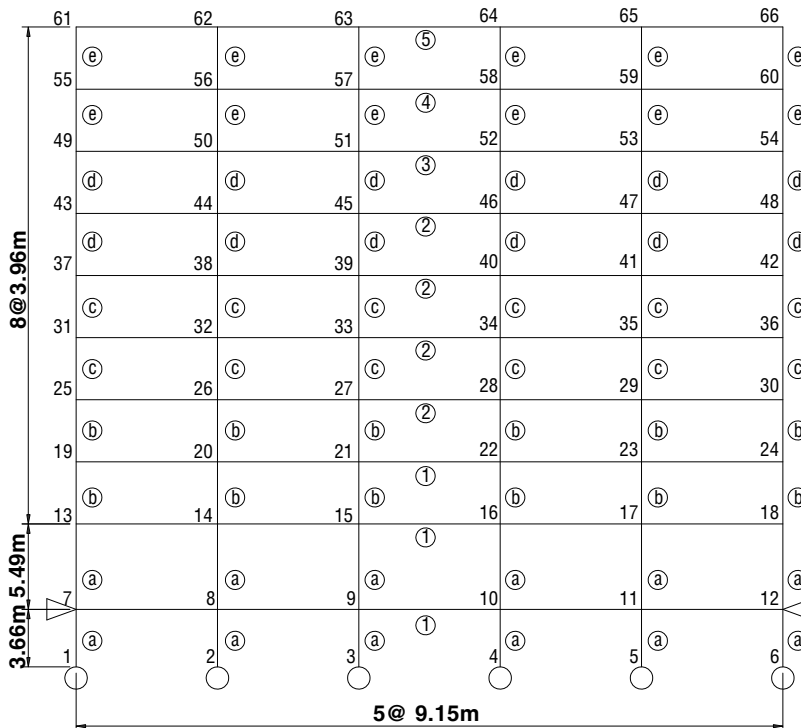
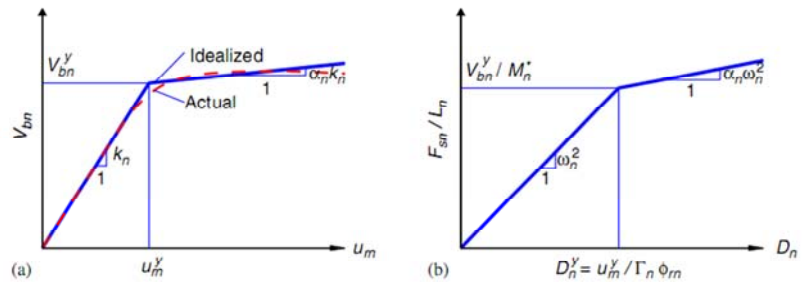
(8). Lặp lại bước 2 đến bước 7 cho nhiều dạng công trình.

(9). Xác định phản ứng tổng, r_{MPA} , bằng cách kết hợp phản ứng của nhiều dạng dao động theo tổ hợp SRSS:

$$r_{MPA} = \sqrt{\sum_{n=1}^j r_{no}^2} \quad (5)$$

Với j là số dạng dao động tham gia

Hình 1: Hệ SDF không đàn hồi từ đường cong đẩy dần: (a) Lý tưởng hóa đường cong đẩy dần; (b) Quan hệ giữa lực-chuyển vị của hệ SDF



Hình 2: Mặt đứng khung 9 tầng Los Angeles

3 MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

Để đánh giá độ chính xác của các phương pháp tính phi tuyến trong việc dự đoán phản ứng địa chấn của công trình. Bài báo này phân tích ứng xử phi tuyến của khung thép phẳng (SMRF) 9 tầng chịu động đất ở ba thành phố: Los Angeles, Seattle và Boston. Đây là mô hình thực tế được Akshay Gupta và Helmut Krawinkler [10] nghiên cứu vào năm 1999. Việc đánh giá hiệu suất của hệ thống kết cấu SMRF là một trong những mục tiêu quan trọng trong dự án nghiên cứu SAC. Phi tuyến hình học và phi tuyến vật liệu đã được xét đến trong nghiên cứu này.

Bảng 1: Tiết diện khung 9 tầng Los Angeles

Dầm		Cột	
STT	Tiết Diện	STT	Tiết Diện
(1)	W36x160	(a)	W14x500
(2)	W36x135	(b)	W14x455
(3)	W30x99	(c)	W14x370
(4)	W27x84	(d)	W14x283
(5)	W24x68	(e)	W14x257

Hình 2 thể hiện chi tiết kích thước và cách đánh số phần tử thanh cho khung thép phẳng 9

Bảng 3: Dữ liệu các trận động đất tần suất xảy ra là 10% trong 50 năm

Tên	Thông tin ghi nhận	Cường độ	Khoảng cách (km)	PGA (cm/s ²)
LA01	Imperial Valley, 1940, EL Centro	6.9	10	452.03
LA09	Landers, 1992, Yermo	7.3	25	509.7
BO02	Simulation, hanging wall	6.5	30	72.93
BO14	Saugenay, 1988	5.9	96	284.44
SE02	Long Beach, Vernon CMD Bldg	6.5	1.2	132.7
SE11	Puget Sound, Wa, Olympia, 1994	7.1	80	737.82

5 KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Một số qui ước chung về độ trôi tầng của ba phương pháp NL-RHA, SPA và MPA trong việc xác định phản ứng địa chấn cho các tòa nhà chịu động đất: Δ_{NL-RHA} , Δ_{SPA} và Δ_{MPA}

Từ kết quả phản ứng đối với mỗi trận địa chấn, tỷ số phản ứng được định nghĩa:

$$\Delta_{SPA}^* = \Delta_{SPA} / \Delta_{NL-RHA} \text{ và}$$

$$\Delta_{MPA}^* = \Delta_{MPA} / \Delta_{NL-RHA}$$

tầng tại Los Angeles.

4 DỮ LIỆU ĐỊA CHẤN

Các bộ dao động nền này trình bày ở các cấp độ rủi ro khác nhau cho ba vị trí địa lý Los Angeles, Seattle và Boston. Bộ bao gồm các chuyển động nền được ghi lại và mô phỏng theo chu kỳ là 475 năm (10% xác suất xảy ra trong 50 năm, gọi tắt là bộ 10/50), và 2475 năm (2% xác suất xảy ra trong 50 năm; gọi là các bộ 2/50). Các bộ dao động này đã được chọn lựa, tính toán trong dự án nghiên cứu SAC và được thể hiện qua Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2: Dữ liệu các trận động đất tần suất xảy ra là 2% trong 50 năm

Tên	Thông tin ghi nhận	Cường độ	Khoảng cách (km)	PGA (cm/s ²)
LA27	1994 Northridge	6.7	6.4	908.7
LA 32	Elysian Park (simulated)	7.1	17.5	1163.5
BO21	Simulation, foot wall	6.5	30	309.99
BO27	Nahanni, 1985 Station 1	6.9	9.6	246.99
SE21	1992 Mendocino	7.1	8.5	741.13

Giá trị trung bình của các phản ứng nhận được từ Δ_{SPA} , Δ_{MPA} , Δ_{NL-RHA} , Δ_{SPA}^* và Δ_{MPA}^* được xác định theo công thức bên dưới:

$$\hat{x} = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} \right] \quad (6)$$

Bảng 4 trình bày kết quả chu kỳ dao động của 3 mode đầu tiên cho công trình 9 tầng ở Boston, Seattle và Los Angeles.

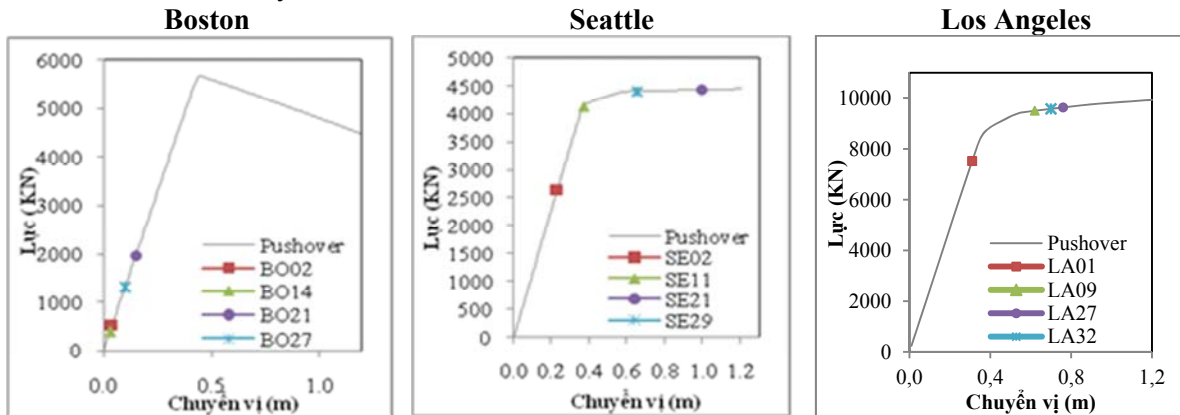
Bảng 4: Chu kỳ dao động tự nhiên của hệ khung 9 tầng

Mode	Chu kỳ Tn (s)		
	Boston	Seattle	Los Angeles
1	2.286	2.126	1.685
2	0.851	0.774	0.636
3	0.514	0.421	0.37

tầng SMRF ở Boston làm việc trong miền đàn hồi cho tất cả các dao động nền. Các chuyển vị này đều nằm dưới vùng chuyển vị chảy dẻo. Ở Seattle và Los Angeles đa phần các chuyển vị đều nằm ngoài giới hạn đàn hồi và đi sâu vào miền phi tuyến. Tùy theo độ mềm của hệ khung sẽ cho các đường cong đẩy dần có hệ số góc ở giai đoạn đàn hồi khác nhau, và đường cong trong giai đoạn không đàn hồi cũng khác nhau.

5.1 Phản ứng chuyển vị đỉnh

Hình 3 thể hiện chuyển vị đỉnh của tòa nhà 9

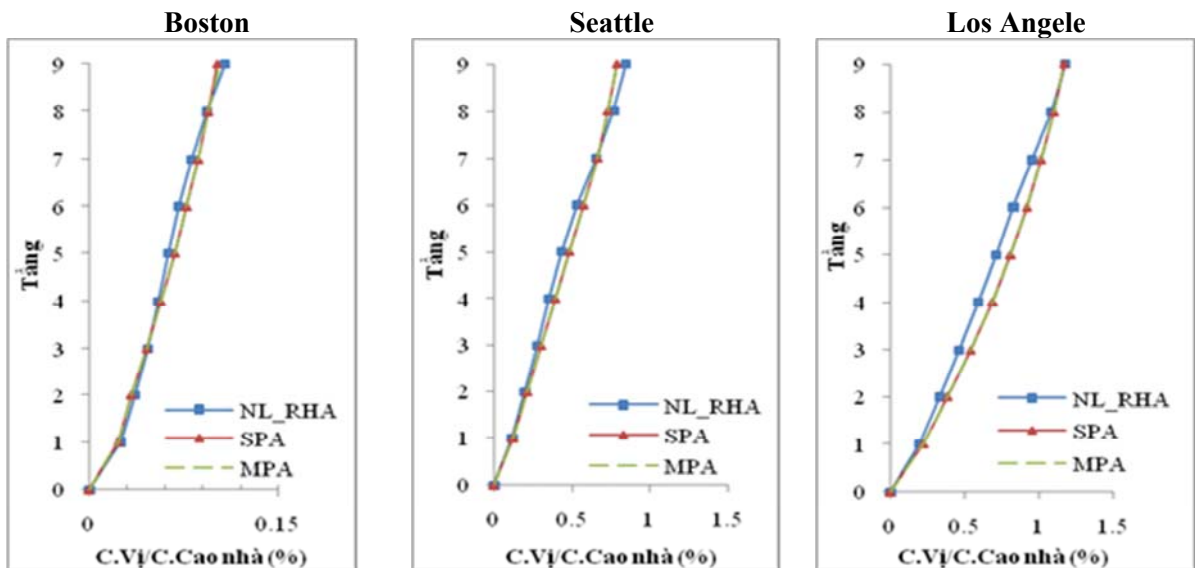


Hình 3: Chuyển vị đỉnh của khung 9 tầng chịu các trận động đất ở Boston, Seattle và Los Angeles

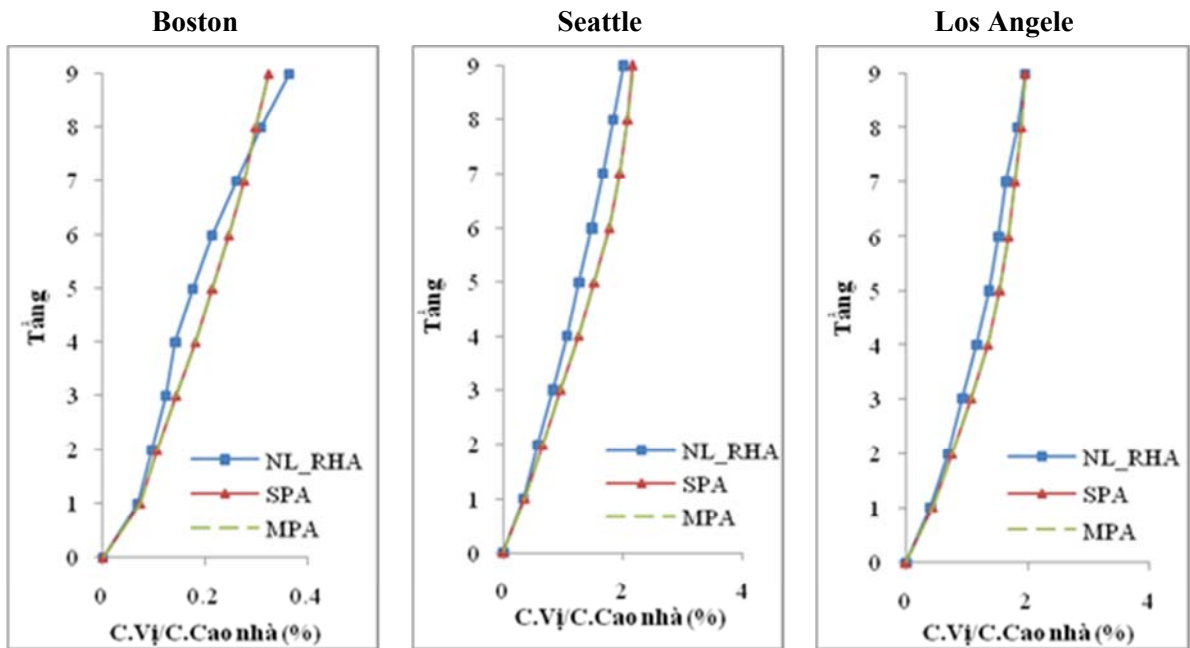
5.2 Chuyển vị tầng

Kết quả chuyển vị tầng (Hình 4a và Hình 4b) được dự đoán từ ba phương pháp SPA, MPA và NL-RHA cho thấy sự đóng góp của các dạng dao động cao của phương pháp MPA

là đáng kể và cho kết quả tốt hơn phương pháp SPA khi cùng so sánh với kết quả từ phương pháp NL_RHA. Riêng khung 9 tầng ở Los Angeles có sự sai lệch lớn của hai phương pháp SPA và MPA so với phương pháp chính xác NL_RHA.



Hình 4a: Chuyển vị trung bình của hệ khung 9 tầng bằng phương pháp NL_RHA, SPA và MPA chịu các trận động đất xác suất 10% trong 50 năm



Hình 4b: Chuyển vị trung bình của hệ khung 9 tầng bằng phương pháp NL_RHA, SPA và MPA chịu các trận động đất xác suất 2% trong 50 năm

5.3 Độ trôi tầng

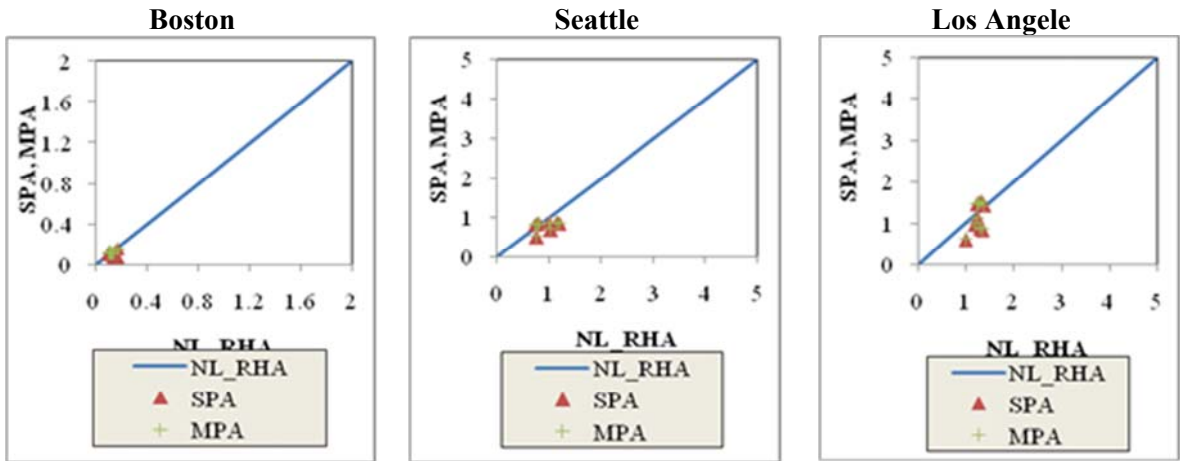
Để đánh giá một cách đầy đủ về phản ứng địa chấn đối với kết cấu khung SMRF thì kết quả về giá trị độ trôi tầng cho thấy rõ điều đó. Độ trôi tầng được xác định từ tỉ số chênh lệch của chuyển vị chia cho chiều cao tầng.

$$\Delta_{SDF} = \frac{u_{n+1} - u_n}{h} \tag{7}$$

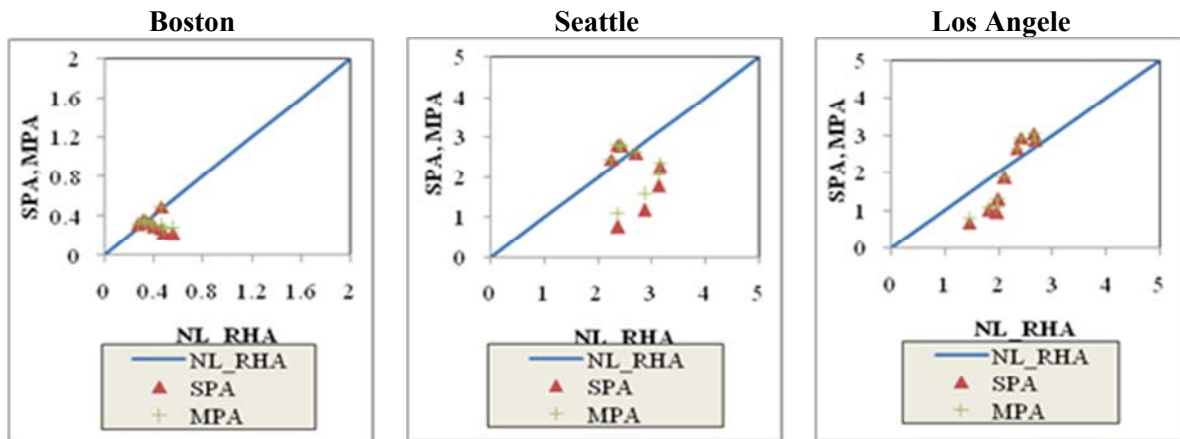
Trong đó: u_{n+1} , u_n : lần lượt là chuyển vị tầng thứ n+1 và n; h: chiều cao tầng

Trong Hình 5a và Hình 5b, trục tung trình bày giá trị trôi tầng (%) của phương pháp SPA hoặc MPA, còn trục hoành chính là giá trị trôi tầng (%) của phương pháp NL_RHA. Kết quả cho thấy các khung ở Boston và Seattle có các điểm xa đường chéo nằm chủ yếu ở cận dưới (có hệ số tỷ lệ nhỏ hơn 1), ở Los Angeles các

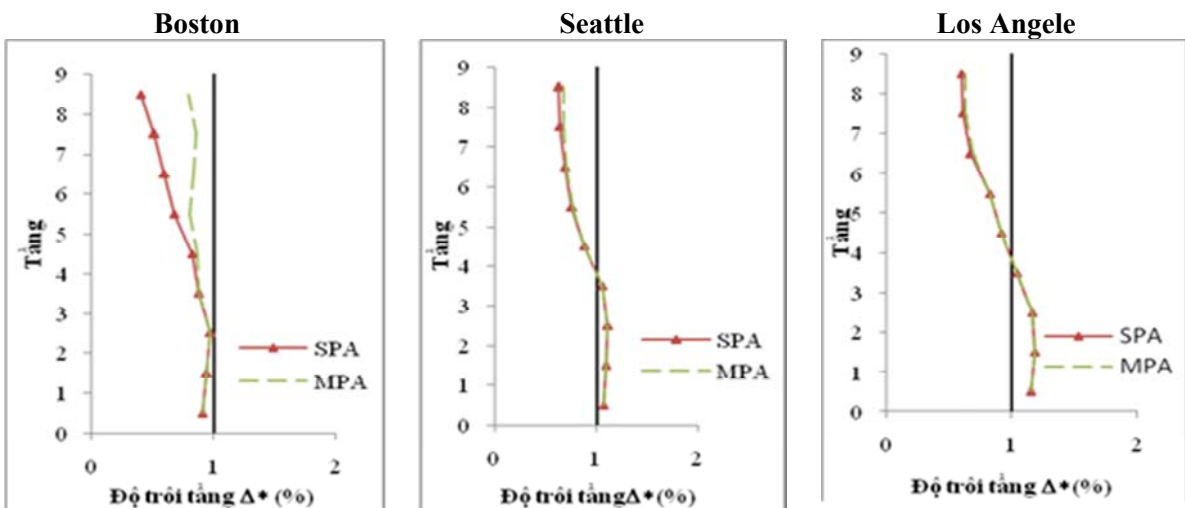
điểm nằm rời rạc cả cận trên lẫn cận dưới. Đặc biệt khung 9 tầng ở Seattle với dao động nền xác suất 2% trong 50 năm kết quả không hội tụ tốt trên đường chéo. Kết quả của phương pháp MPA chính xác hơn phương pháp SPA khi các điểm đánh giá cho phương pháp MPA nằm tiệm cận đường chéo hơn. Một cách so sánh khác từ kết quả độ trôi tầng của các hệ khung là xét tỷ số: $\Delta_{SDF}^* = \Delta_{SDF} / \Delta_{NL-RHA}$. Kết quả được thể hiện qua Hình 6a và Hình 6b giúp nhận định rõ hơn về kết quả độ trôi tầng của phương pháp MPA và SPA. Khi đó đường cong của phương pháp MPA tiệm cận trên đường thẳng có trục hoành bằng một hơn phương pháp SPA, vì vậy phương pháp MPA cho đánh giá tốt hơn phương pháp SPA. Các hệ khung 9 tầng của hai phương pháp SPA và MPA có sự sai lệch lớn ở các tầng trên đỉnh so với phương pháp NL_RHA.



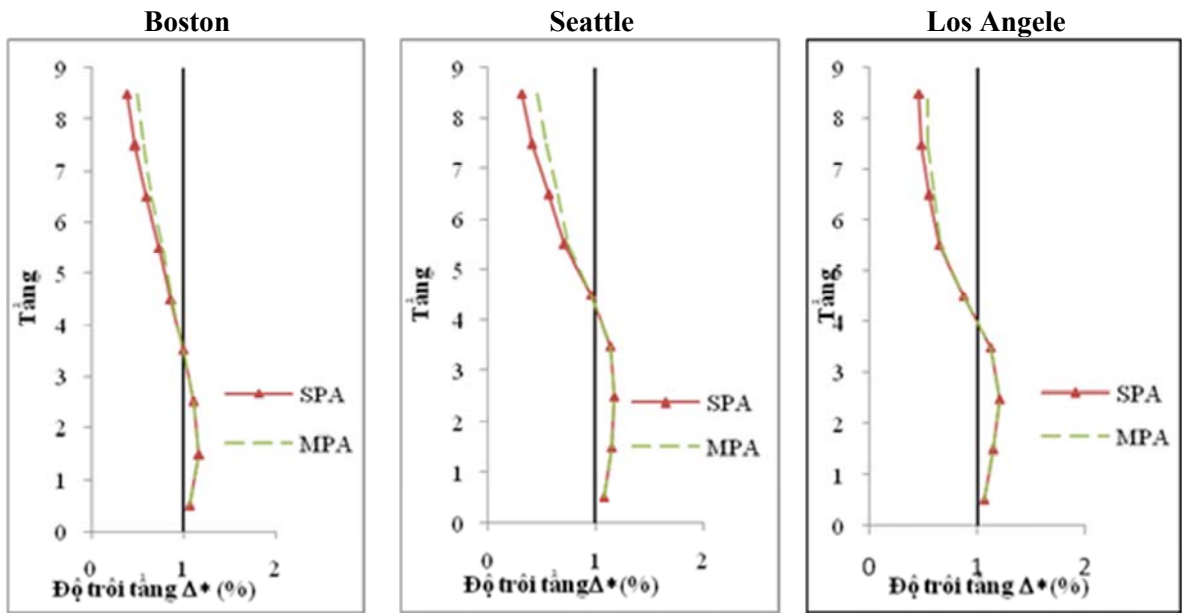
Hình 5a: Độ trôi tầng xác định bởi phương pháp SPA, MPA so với nghiệm chính xác từ phương pháp NL_RHA của hệ khung 9 tầng chịu động đất với xác suất 10% trong 50 năm



Hình 5b: Độ trôi tầng xác định bởi phương pháp SPA, MPA so với nghiệm chính xác từ phương pháp NL_RHA của hệ khung 9 tầng chịu động đất với xác suất 2% trong 50 năm



Hình 6a: Hệ số độ trôi tầng trung bình của hệ khung 9 tầng chịu các trận động đất xác suất 10% trong 50 năm bằng phương pháp NL_RHA, SPA và MPA



Hình 6b: Hệ số độ trôi tầng trung bình của hệ khung 9 tầng chịu các trận động đất xác suất 2% trong 50 năm bằng phương pháp NL_RHA, SPA và MPA

6 KẾT LUẬN

Thông qua kết quả về chuyển vị và độ trôi tầng của kết cấu khung 9 tầng SMRF chịu các dao động nền khác nhau ở ba địa điểm Los Angeles, Seattle và Boston đã đưa đến một vài nhận xét:

Trong việc dự đoán phản ứng địa chấn cho kết cấu khung SMRF thì phương pháp MPA cho kết quả tốt hơn phương pháp SPA và tiệm cận kết quả với phương pháp NL-RHA hơn. Vì vậy khi tính toán cho nhà cao tầng phải xét đến sự tham gia của các dạng dao động cao.

Kết cấu khung SMRF tại Boston cho kết quả nằm trong miền đàn hồi nên sai số thấp cho cả ba phương pháp SPA, MPA và NL-RHA, trung bình ở các khung khoảng 6.13%. Các khung cho sai số lớn khi đi sâu vào miền phi tuyến, sai số trung bình của các khung ở Seattle và Los Angeles của hai phương pháp lần lượt là 8.05% và 7.56%.

Các dao động nền tần suất xảy ra 2% trong 50 năm cho kết quả lớn và sai số cao về chuyển vị lẫn độ trôi tầng so với các dao động nền tần suất xảy ra là 10% trong 50 năm. Vì vậy, khi thiết kế kết cấu phải chú ý đến miền phi tuyến cũng như mức độ rủi ro cho công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. American Society of Civil Engineers (ASCE). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Washington (DC): FEMA-356, Federal Emergency Management Agency; 2000.
2. ATC. Seismic evaluation and retrofit of concrete building: volumes 1 and 2. Redwood City (California): ATC-40, Applied Technology Council; 1996.
3. Krawinkler H., and Seneviratna, G.D.P.K., 1998. Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation. Engineering structures 20(4-6): 452-464.
4. Gupta, B. and Kunnath, S.K., 2000. Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures. Earthquake spectra 16(2): 367-391.
5. Chopra, A.K. and Chintanapakdee, C., 2004a. Evaluation of modal and FEMA pushover analyses: vertically “regular” and irregular generic frames. Earthquake spectra 20(1): 255-271.
6. Chopra AK, Goel RK (2002), “A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings”. Earthquake Engineering and Structural Dynamics; 31:561582.

7. Chatpan Chintanapakdee, An Hong Nguyen and Toshiro Hayashikawa (2009). "Assessment of modal pushover analysis procedure for seismic evaluation of buckling-restrained braced frames". *The IES Journal Part A: Civil and Structural Engineering*, Vol.2, No.3, pp. 174-186.
8. An Hong Nguyen, Chatpan Chintanapakdee and Toshiro Hayashikawa (2010). "Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of BRBF buildings". *Journal of Constructional Steel Research*, Vol.66, pp. 1118-1127.
9. M.S.Wiliams and Albermani (2003), "Evaluation of Displacement-Based Analysis and Design Methods for Steel Frames with Passive Energy Dissipators". *Civil Engineering Research Bulletin No.24*
10. Akshay Gupta and Helmut Krawinkler (1999). "Seismic demands for performance evaluation of steel moment resisting frame structures". *Report No.132, The John A.Blume Earthquake Engineering Center.*