



PHÂN TÍCH PHI TUYẾN KHUNG THÉP PHẪNG SMRF CHỊU ĐỊA CHẤN BẰNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH CÓ XÉT ĐẾN ĐÓNG GÓP CỦA CÁC DẠNG DAO ĐỘNG CAO

Assessment of modal pushover analysis procedure for seismic evaluation of steel moment resisting frames

Nguyễn Hồng Ân¹, Nguyễn Khánh Hùng²

¹annguyenbk@gmail.com, ²nguyenkhanhhung1979@gmail.com

¹Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa, TP.Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai, Việt Nam

Đền tòa soạn: 02/06/2017; Chấp nhận đăng: 05/07/2017

Tóm tắt. Kết cấu khung SMRF (Steel Moment Resisting Frame) là một trong các kết cấu thép được thiết kế để chịu địa chấn. Bên cạnh đó, các phương pháp tính phi tuyến (Nonlinear Static Procedures -NSPs) đang được biết đến như là tiêu chuẩn trong thực hành kỹ thuật để ước tính phản ứng địa chấn của công trình. Nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá xu hướng và độ chính xác của phương pháp tính phi tuyến MPA (Modal Pushover Analysis) trong việc dự đoán ứng xử địa chấn cho các kết cấu khung SMRF, trong sự so sánh với phương pháp động phi tuyến theo miền thời gian (NL_RHA). Các công trình SMRFs 3-, 9- và 20 tầng được phân tích dưới sự tác động của các bộ dao động nền lựa chọn ở các khu vực địa lý khác nhau với các đặc tính về cường độ và xác suất xảy ra khác nhau. Kết quả cho thấy phương pháp tính MPA có thể tính toán khá chính xác các phản ứng địa chấn như chuyển vị và độ trôi tầng trong khi phương pháp chuẩn SPA (Standard Pushover Analysis) thì hợp lý để áp dụng cho công trình thấp tầng.

Từ khóa: Khung thép chịu moment; Phân tích tĩnh phi tuyến; Phân tích phi tuyến theo miền thời gian; Phân tích phi tuyến đẩy dần chuẩn

Abstract. Steel Moment Resisting Frame (SMRF) is considered as lateral load resisting system. Beside that, nonlinear static procedures (NSPs) are now widely used in engineering practice to predict seismic demands in building structures. This paper aims to investigate comparatively the bias and accuracy of Modal Pushover Analysis (MPA) and standard pushover analysis (SPA) procedures when they are applied to Steel Moment Resisting Frames. Three-, 9-, and 20-storey SMRFs were analyzed due to selected strong ground motions. The assessment is based on comparing seismic displacement demands such as target roof displacements, peak floor/roof displacements and inter-storey drifts. The MPA estimates are compared to results from nonlinear response history analysis (NL-RHA). The response statistics presented show that the MPA procedure can accurately estimate critical demand parameters such as roof displacement and interstorey drift while the SPA can reasonably use in low buildings.

Keywords: Steel moment resisting frame; Nonlinear static pushover analysis; MPA, SPA, NL-RHA

1. GIỚI THIỆU

Trên thế giới có nhiều công trình trung và cao tầng được thiết kế sử dụng kết cấu khung thép chịu moment (SMRF). Đây là dạng kết cấu có khả năng chịu tải trọng ngang do liên kết nút khung là cứng. Khi có tải trọng ngang tác dụng thì các phần tử cột và dầm cùng chịu lực, đây cũng là một điểm khác biệt với các loại kết cấu thép chịu địa chấn khác như kết cấu khung giằng (Bracing frame). Trong quá khứ đã có hơn 150 kết cấu khung thép chịu moment bị thiệt hại do động đất Northridge gây ra năm 1994, chủ yếu dưới hình thức của phá hoại giòn nơi mối hàn liên kết giữa dầm và cột. Nhiều 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. Điều này thúc đẩy yêu cầu cần phân tích, đánh giá chính xác phản ứng chịu địa chấn của các kết cấu SMRF.

Phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian (NL-RHA) là một công cụ mạnh trong nghiên cứu phản ứng địa chấn của kết cấu, các phản ứng của kết cấu khi chịu động đất có thể được ước tính chính xác. Mặc dù tính chính xác và hiệu quả của phương pháp này đã tăng lên đáng kể, nhưng vẫn còn một số hạn chế mà chủ yếu liên quan đến sự phức tạp của phương pháp trong ứng dụng thiết kế hằng ngày: phân tích phức tạp, tốn nhiều tài nguyên... Vì vậy, phương

pháp NLRHA vẫn là một phương pháp khó áp dụng trong thực tế.

Để khắc phục nhược điểm trên, nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới đang cố gắng để phát triển nhiều phương pháp phân tích hợp lý hơn mà có thể đạt được sự cân bằng thỏa đáng giữa yêu cầu về độ tin cậy và tính ứng dụng cho việc sử dụng thiết kế hàng ngày. Do đó, các phương pháp tính phi tuyến (NSPs) được bắt nguồn từ lý thuyết động lực học đã được phát triển như là một sự lựa chọn thay thế cho phương pháp chính xác NL-RHA. Các phương pháp tính phi tuyến được trình bày trong tiêu chuẩn FEMA-356 (ASCE, 2000) và ATC-40 (ATC, 1996) đề xuất cách ước đoán phản ứng địa chấn của công trình 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 một 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, còn gọi là phương pháp hệ số chuyển vị CDM (Coefficient Displacement Method). Trong khi đó chuyển vị mục tiêu được đề xuất bởi phương pháp ATC-40 là giao điểm của đường cong khả năng (Capacity curve) và phổ thiết kế (Acceleration spectrum), nên còn gọi là phương pháp Phổ Khả Năng CSM (Capacity Spectrum Method). Tuy nhiên, những phương pháp này dựa trên các dạng tải ngang bất biến và chỉ xét đóng góp của mode dao động chính đầu tiên nên việc đánh giá phản ứng địa chấn chỉ chính xác cho các tòa nhà thấp và trung tầng (Krawinkler và Seneviratna,

Gupta và Kunnath, Chopra và Chintanapakdee). Để khắc phục hạn chế này, một phương pháp cải tiến được gọi là phương pháp tính dựa trên dạng dao động MPA (Modal Pushover Analysis) đã được đề xuất bởi Chopra và Goel (2002). 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 tính phi tuyến thông thường (Chatpan Chintanapakdee *et al.*, 2009; An Hong Nguyen *et al.*, 2010).

Tuy nhiên, vì là phương pháp gần đúng, nên phương pháp tính MPA cần phải được kiểm chứng, đánh giá trong việc áp dụng cho nhiều dạng công trình có tính khác biệt về hình dáng, sự phân bố độ cứng, khối lượng và độ bền, cũng như các dữ liệu địa chấn có cường độ và tính chất khác nhau. Mục đích chính của nghiên cứu này là đánh giá độ chính xác và sai lệch của phương pháp tính MPA và phân tích đẩy dần chuẩn SPA trong việc tính toán phản ứng địa chấn của công trình SMRF khi so với kết quả chính xác theo miền thời gian NL-RHA (Nonlinear Response History Analysis).

2. PHƯƠNG PHÁP MPA

Trình tự tính toán của phương pháp tính MPA bao gồm 9 bước:

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

Bước 2: Đối với dạng dao động thứ n, xây dựng đường cong đẩy dần (pushover curve) 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 $s_n^* = m\phi_n$.

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

Bước 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:

$$\frac{F_{sn}}{L_n} = \frac{V_{bn}}{M_n^*}; \quad D_n = \frac{u_{rn}}{\Gamma_n \phi_{rn}} \quad (1)$$

Trong đó: M_n^* là khối lượng dao động hữu hiệu của mode thứ n, ϕ_{rn} là trị chuyển vị ngang của đỉnh ứng với mode thứ n, Γ_n là hệ số tham gia dao động ứng với mode thứ n.

Bước 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 giải phương trình phi tuyến sau:

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

Trong đó: ζ_n là tỉ số cản ứng với mode thứ n.

Bước 6: Tính toán chuyển vị đỉnh u_{rno} của hệ nhiều bậc tự do không đàn hồi ứng với mode thứ n từ công thức:

$$u_{rno} = \Gamma_n \phi_{rn} D_n \quad (3)$$

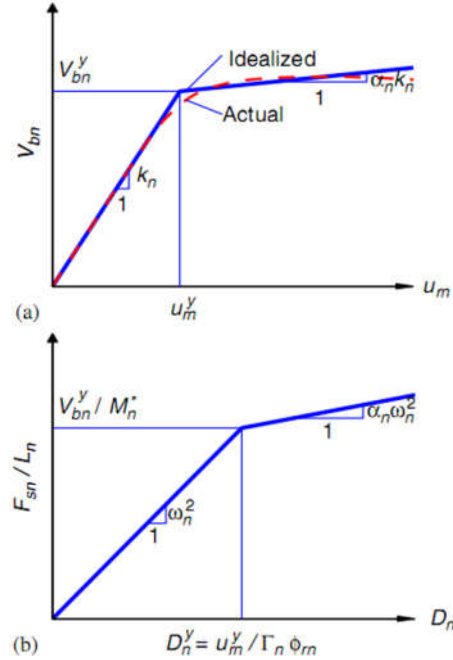
Bước 7: Rút ra kết quả phản ứng mong muốn, r_{no} , từ dữ liệu đường cong pushover khi chuyển vị mái bằng chuyển vị u_{rno} .

Bước 8: Lặp lại bước 2 đến bước 7 cho các dạng dao động bậc cao.

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

$$r_{MPA} = \sqrt{\sum_{n=1}^j r_{no}^2} \quad (4)$$

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

3. MÔ HÌNH VÀ DỮ LIỆU ĐỊA CHẤN TÍNH TOÁN

3.1 Mô hình phân tích

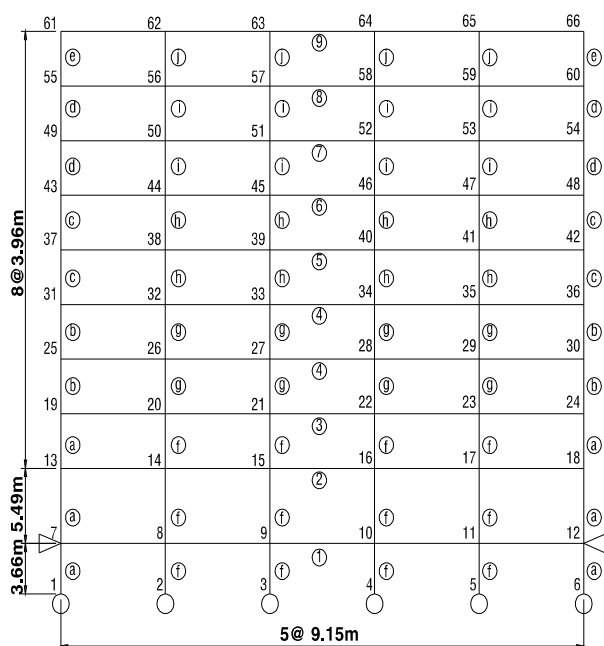
Kết cấu khung SMRF sử dụng trong nghiên cứu này là các khung thép phẳng nằm trong dự án SAC và đã được Akshay Gupta và Helmut Krawinkler nghiên cứu vào năm 1999. Để đánh giá độ chính xác của phương pháp MPA trong việc dự đoán phản ứng địa chấn của công trình. Nghiên cứu này đã tiến hành phân tích ứng xử phi tuyến của khung SMRF 3, 9 và 20 tầng chịu động đất với dữ liệu địa chấn ở Los Angeles, Seattle và Boston. Hình 2 và Bảng 1 thể hiện chiều cao, chiều dài nhịp tính toán và tiết diện cho hệ khung SMRF 9 tầng tại Boston.

3.2 Dữ liệu địa chấn

Các phương pháp tính phi tuyến đã được chứng minh có tính chính xác giảm đi khi kết cấu bị đưa sâu và miền phi tuyến (Nguyen và cộng sự, 2010; Chintanapakdee và cộng sự, 2009; Chopra và Goel, 1999, Kalkan và Kunnath, 2007). Để đảm bảo khối lượng tính toán cũng như sự đa dạng về kết quả, các dao động nền được trình bày với các cấp rủi ro khác nhau cho ba vị trí địa lý Los Angeles, Seattle và Boston (Somerville và cộng sự, 1997). Chúng nằm trong các bộ chuyển động nền được ghi lại và mô phỏng theo chu kỳ 2475 năm (2% xác suất xảy ra trong 50 năm; gọi là các bộ 2/50). Đồng thời các dao động này được chọn ra từ dự án nghiên cứu SAC và được thể hiện qua Bảng 2.

Bảng 1. Tiết diện khung 9 tầng tại Boston

Dầm		Cột	
STT	Tiết Diện	STT	Tiết Diện
(1)	W24x68	(a)	W14x211
(2)	W36x135	(b)	W14x159
(3)	W33x118	(c)	W14x132
(4)	W30x116	(d)	W14x99
(5)	W30x108	(e)	W14x61
(6)	W30x99	(f)	W14x283
(7)	W27x94	(g)	W14x233
(8)	W24x76	(h)	W14x211
(9)	W18x40	(i)	W14x176
		(j)	W14x120



Hình 2. Mặt đứng khung 9 tầng Boston

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
SE29	1985 Valpariso	8	42	1605.5

4. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH

4.1 Chuyển vị mục tiêu/Target displacement

Hình 3 trình bày đường cong đẩy dần (pushover curve) ứng với hệ tải ngang theo dạng dao động đầu tiên cho kết cấu khung SMRF 3 tầng chịu các trận động đất ở Boston, Seattle và Los Angeles. Các điểm đánh dấu (star maker) trên đường cong đẩy dần thể hiện chuyển vị đỉnh (còn gọi là chuyển vị mục tiêu) dự đoán bởi phương pháp tĩnh MPA. Kết quả cho thấy dưới tác động của các dao động nền ở Seattle và Los Angeles, chuyển vị đỉnh công trình đều nằm ngoài miền đàn hồi và có xu hướng đi sâu vào miền phi tuyến. Trong khi đó chuyển vị đỉnh công trình ứng với các dao động nền ở Boston cho thấy kết cấu vẫn làm việc trong miền đàn hồi cho công trình SMRF 3 tầng.

4.2 Chuyển vị tầng/Floor displacement

Chuyển vị trung bình các tầng của 2 hệ khung SMRF 3- và 20- tầng chịu tác động của ba bộ dao động nền được thể hiện qua Hình 4. Giá trị được thể hiện trên hình là chuyển vị tầng trung bình chia cho chiều cao của mỗi khung (%). Kết quả cho thấy đối với khung SMRF 3 tầng thì kết quả từ 2 phương pháp tĩnh phi tuyến SPA và MPA là như nhau. Kết quả từ các phương pháp tĩnh cũng bám sát kết quả chính xác từ phương pháp động theo miền thời gian NL-RHA. Điều này chứng tỏ đối với các công trình SMRF thấp tầng, các phương pháp tĩnh dự báo rất tốt chuyển vị tầng trung bình và trong trường hợp này chỉ cần dùng phương pháp SPA là đủ. Vì phương pháp SPA vốn vẫn sử dụng lực ngang quán tính tác dụng dựa theo hàm dạng dao động của kết cấu, mà đối với các công trình thấp tầng thì dạng dao động đầu tiên chiếm một tỷ lệ tham gia rất lớn so với các dạng dao động còn lại. Tuy nhiên, đối với công trình SMRF 20 tầng, kết quả chuyển vị tầng dự báo bởi các phương pháp tĩnh SPA và MPA có sự sai lệch so với nghiệm chính xác từ phương pháp động theo miền thời gian NL-RHA, đặc biệt cho các tầng cao. Tuy nhiên sự sai lệch tương đối nhỏ và có thể chấp nhận được trong tính toán chuyển vị công trình. Nghiệm từ hai phương pháp SPA và MPA không có sự sai khác nhiều. Điều này cho thấy đóng góp của các dạng dao động bậc cao lên chuyển vị tầng là không đáng kể.

4.3 Độ trôi tầng/Story drift

Độ trôi tầng được xác định từ tỉ số chênh lệch của chuyển vị chia cho chiều cao tầng:

$$\Delta_{SDF} = \frac{u_{n+1} - u_n}{h} \quad (5)$$

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

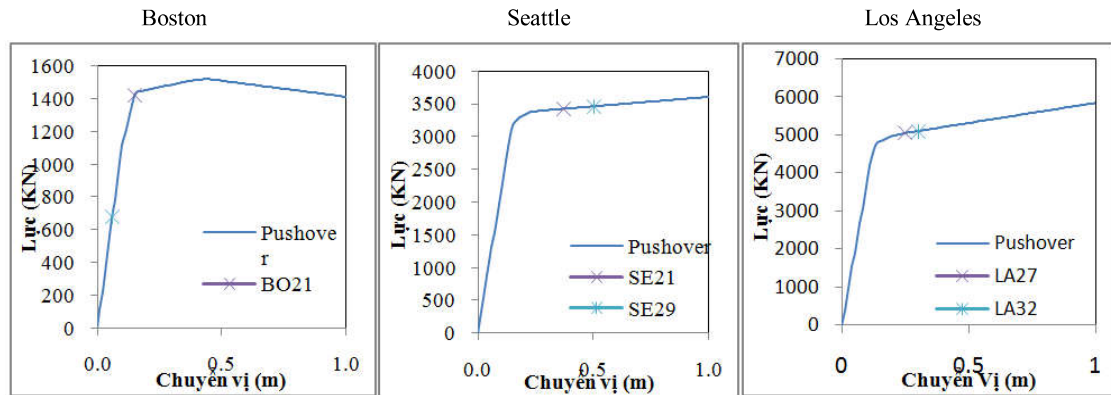
Độ trôi tầng trung bình của hệ khung SMRF 3, 9, và 20 tầng chịu tác động địa chấn của các bộ dao động nền lựa chọn được dự đoán bằng các phương pháp SPA, MPA và NL-RHA được thể hiện trên Hình 5. Với hệ khung SMRF thấp tầng (3 tầng) sự khác biệt độ trôi tầng từ 2 phương pháp tĩnh phi tuyến SPA và MPA là không đáng kể. Hơn nữa, kết quả từ các phương pháp tĩnh tiệm cận kết quả chính xác bằng phương pháp động theo miền thời gian NL-RHA. Điều này cho thấy đối với các kết cấu thấp tầng, đóng góp của các mode dao động bậc cao là không nhiều, vì vậy có thể chỉ cần sử dụng phương pháp chuẩn SPA là đủ. Với các kết cấu cao tầng (khung SMRF 9 và 20 tầng) thì có sự khác biệt giữa phương pháp MPA so với phương pháp SPA, biểu đồ thể hiện đường biểu diễn độ trôi tầng của phương pháp MPA có xu hướng bám sát vào đường NL-RHA hơn so với phương pháp SPA, đặc biệt cho các tầng cao. Điều này cho thấy ảnh

hường của các mode dao động cao là đáng kể và cần được xét đến.

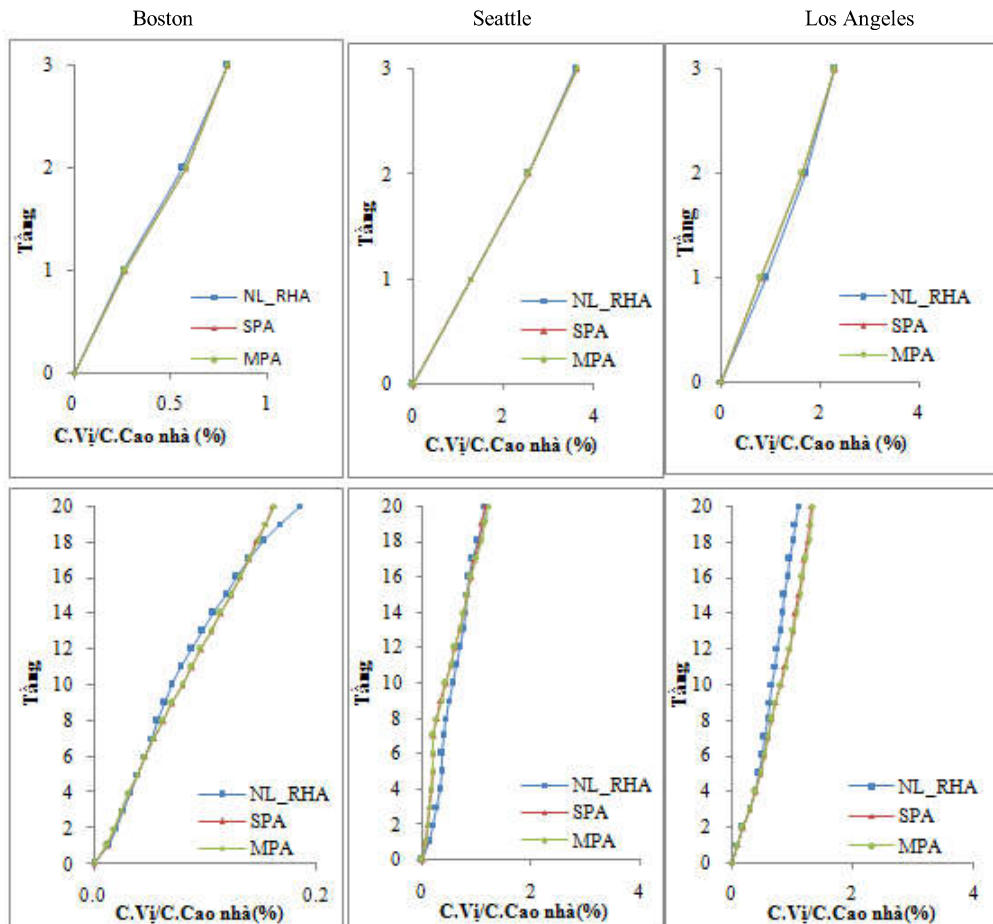
Hình 6 thể hiện sự phân bố mang tính so sánh giữa độ trôi tầng lớn nhất được dự đoán bởi các phương pháp tính phi tuyến SPA, MPA so với độ trôi tầng lớn nhất có được từ phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian NL-RHA ứng với ba bộ động đất được chọn. Giá trị chính xác theo phương pháp NL-RHA được thể hiện trên trục hoành, trong khi giá trị độ trôi tầng lớn nhất từ các phương pháp tính được thể hiện trên trục tung cho từng bộ động đất và từng công trình tương ứng. Kết quả cho thấy đối với kết cấu 3 tầng trong các trường hợp phân tích, giá trị chuyển vị mục tiêu phân bố bám theo đường chuẩn có hệ số góc bằng 1. Điều

này cho thấy đối với các công trình thấp tầng, khi mode 1 thống trị, các phương pháp tính có khả năng dự báo độ trôi tầng lớn nhất với độ chính xác cao. Tuy nhiên khi chiều cao công trình tăng lên, kết quả có sự phân tán lớn hơn.

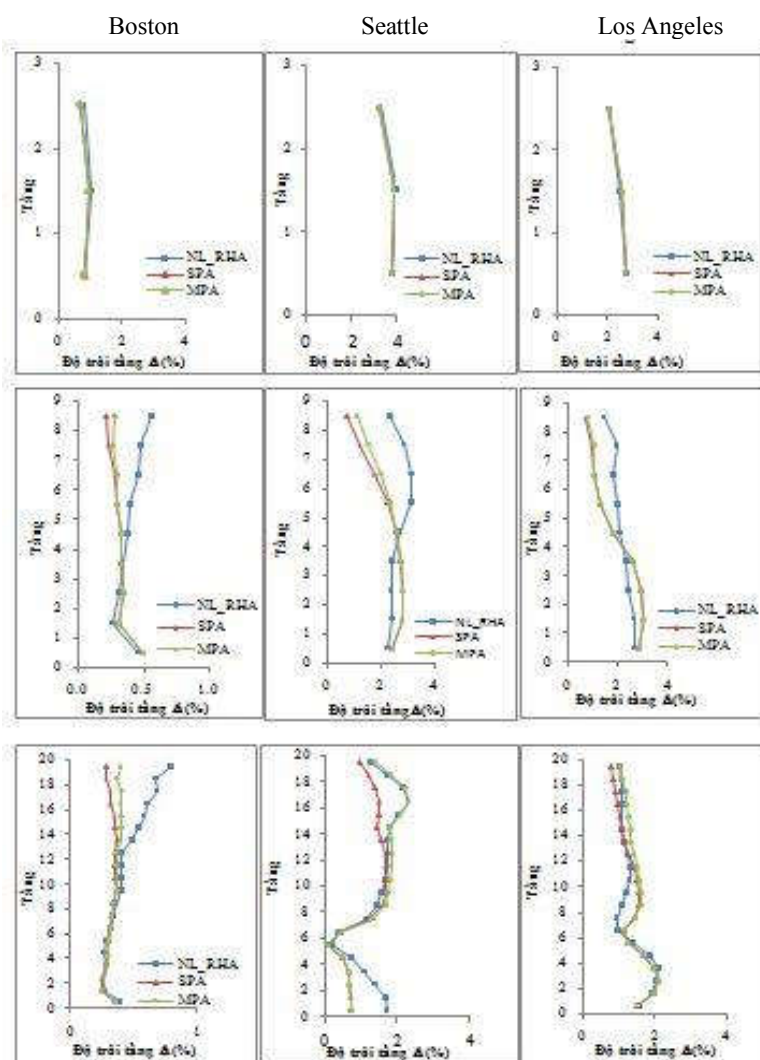
Những điểm nằm dưới đường chuẩn nghĩa là các phương pháp tính SPA, MPA dự báo độ trôi tầng lớn nhất dưới giá trị chính xác (underestimate), điều ngược lại có nghĩa các phương pháp tính dự báo chuyển vị đỉnh vượt giá trị chính xác (overestimate). Trường hợp này cũng cho thấy phương pháp MPA cho kết quả dự báo độ trôi tầng lớn nhất tốt hơn phương pháp chuẩn SPA khi so sánh với phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian NL-RHA.



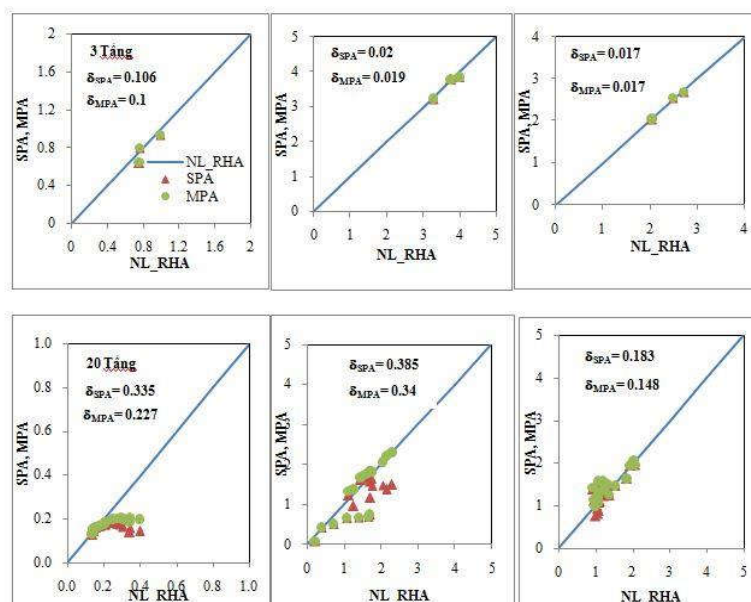
Hình 3. Đường cong đẩy dần ở dạng dao động đầu tiên ứng với khung 3 tầng chịu các trận động đất ở Boston, Seattle và Los Angeles



Hình 4. Chuyển vị trung bình của các hệ khung 3 à 20 tầng bằng phương pháp NLRHA, SPA và MP



Hình 5. Độ trôi tầng trung bình của các hệ khung 3, 9 và 20 tầng chịu các trận động đất dự đoán bằng phương pháp NLRHA, SPA và MPA



Hình 6. Độ trôi tầng lớn nhất ở tất cả các tầng được xác định bởi phương pháp SPA, MPA so với nghiệm chính xác từ phương pháp NLRHA của hệ khung 3 và 20 tầng chịu động đất

5. KẾT LUẬN

Những kết luận sau đây thu được từ sự đánh giá các phương pháp tính phi tuyến trong tính toán phản ứng địa chấn cho khung SMRFs sử dụng các dao động nền khác nhau ở ba địa điểm Los Angeles, Seattle và Boston. Những kết luận này dựa trên sự so sánh giữa kết quả tính toán phản ứng địa chấn của phương pháp MPA, SPA và kết quả ‘chính xác’ từ phương pháp phi tuyến theo miền thời gian NL_RHA cho khung SMRF 3-, 9-, và 20-tầng:

- Kết quả phân tích cho thấy đối với các khung SMRF thấp tầng, chuyển vị mục tiêu, chuyển vị tầng và độ trôi tầng dự đoán bởi phương pháp SPA và MPA cho kết quả như nhau và sai số dưới 6% so với kết quả từ phương pháp NL-RHA. Điều này cho thấy đóng góp của các mode dao động cao là không đáng kể trong trường hợp này và chỉ cần dùng phương pháp chuẩn SPA là đủ.
- Đối với hệ khung SMRF cao tầng thì kết quả độ trôi tầng dự báo bởi phương pháp SPA kém chính xác hơn so với phương pháp MPA. Vì vậy sự đóng góp của các dạng dao động cao cần được xét đến trong phương pháp tính phi tuyến khi thiết kế nhà cao tầng.
- Sự sai lệch kết quả tính toán (chuyển vị tầng và độ trôi tầng) từ các phương pháp tính phi tuyến so với phương pháp ‘chính xác’ NL-RHA sẽ càng tăng lên khi cường độ địa chấn mạnh hơn và chiều cao công trình cao hơn

6. 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] Akshay Gupta and Helmut Krawinkler, ‘Seismic demands for performance evaluation of steel moment resisting frame structures’, Report No.132, The John A.Blume Earthquake Engineering Center, 1999.
- [3] An, Hong Nguyen, Chatpan Chintanapakdee and Toshiro Hayashikawa, “Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of BRBF buildings”, Journal of Constructional Steel Research, Vol.66, pp. 1118-1127, 2010.
- [4] ATC, Seismic evaluation and retrofit of concrete building: volumes 1 and 2. Redwood City (California): ATC-40, Applied Technology Council; 1996.
- [5] Chatpan Chintanapakdee, An Hong Nguyen and Toshiro Hayashikawa, “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, 2009.
- [6] Chopra, A.K and Goel, R.K., “Capacity-demand-diagram methods based on inelastic design spectrum”, Earthquake spectra 15(4): 637-656, 1999.
- [7] Chopra, A.K, Goel R. K., “A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics; 31, pp.561582, 2002.
- [8] Chopra, A.K and Chintanapakdee, C., “Evaluation of modal and FEMA pushover analyses: Vertically “regular” and irregular generic frames”, Earthquake spectra, 20(1), pp. 255-271, 2004.
- [9] Gupta, B. and Kunnath, S.K., “Adaptive spectra-based pushover procedure for seismic evaluation of structures”, Earthquake spectra, 16(2), pp. 367-391, 2000.
- [10] Kalkan, E., and Kunnath, S. K., “Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of buildings”, Engineering Structures, 29(3), pp. 305–316, 2007.
- [11] Krawinkler H., and Seneviratna, G.D.P.K., “Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation”, Engineering structures, 20(4-6), pp. 452-464, 1998.
- [12] Somerville, P., Smith, N., Punyamurthula, S. and Sun, J., Development of ground motion time histories for phase 2 of the FEMA/SAC steel project, Report no. SAC/BD-97/04, California: SAC Joint Venture, Sacramento, 1997.

TIÊU SỬ TÁC GIẢ



Nguyễn Hồng Ân

Năm sinh 1979, Tp.HCM. Hiện đang công tác tại khoa Kỹ thuật Xây dựng, Đại học Bách khoa TP.HCM. Lĩnh vực nghiên cứu: Kỹ thuật động đất, phân tích kết cấu chịu tải trọng tĩnh và động, phương pháp số, kết cấu công trình xây dựng...



Nguyễn Khánh Hùng

Năm sinh 1979, Tiền Giang. Hiện công tác khoa Kỹ thuật Công trình, Đại học Lạc Hồng. Lĩnh vực nghiên cứu: Các vấn đề kết cấu công trình, các phần mềm ứng dụng...