

ĐÁNH GIÁ CHUYỂN VỊ MỤC TIÊU CHO NHÀ CAO TẦNG CHỊU ĐỘNG ĐẤT BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH PHI TUYẾN

KS. TRẦN THANH TUẤN¹, TS. NGUYỄN HỒNG AN²

KS. NGUYỄN KHÁNH HÙNG³

1. Trường Đại học Quy Nhơn

2. Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM

3. Trường Đại học Lạc Hồng

Tóm tắt: Chuyển vị mục tiêu là một bước tính quan trọng trong quy trình phân tích tĩnh phi tuyến nhà cao tầng chịu địa chấn. Một vài phương pháp đã được đưa ra để dự đoán chuyển vị mục tiêu bằng cách sử dụng hệ một bậc tự do tương đương. Bài báo này đánh giá độ chính xác và sai lệch của chuyển vị mục tiêu được xác định bằng phương pháp đẩy dần MPA (Modal Pushover Analysis) dựa trên phổ khả năng (Capacity Spectrum Method) cho khung thép phẳng một nhịp 3, 6, 9, 12, 15 và 18 tầng chịu tác động của hai bộ động đất với tần suất xảy ra là 2% và 10% trong 50 năm. Kết quả của phương pháp MPA-CSM được so sánh với kết quả phương pháp đẩy dần chuẩn SPA (Standard Pushover Analysis), phương pháp MPA (Modal Pushover Analysis) và kết quả chính xác của phương pháp phân tích theo miền thời gian NL-RHA (Nonlinear Response History Analysis).

1. Giới thiệu

Phương pháp phân tích phản ứng 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 địa chấn của kết cấu khi chịu động đất có thể được ước tính chính xác. Phương pháp này khá chính xác và hiệu quả, tuy nhiên khó ứng dụng trong thực tế và phân tích phức tạp, tốn kém,... Để khắc phục nhược điểm trên, nhiều nhà nghiên cứu đã đề xuất những phương pháp phân tích khác hợp lý hơn.

Các phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến được đề xuất đã trở thành một phương pháp được sử dụng phổ biến trong thiết kế động đất cho nhà cao tầng. Tuy nhiên, việc xác định chuyển vị mục tiêu cho công trình đều có những hạn chế. Phương pháp phổ khả năng CSM [5], được trình bày trong [1], xác định điểm chuyển vị mục tiêu thông qua việc tìm giao điểm đường cong khả năng của kết cấu và đường cong phổ thiết kế bằng đồ thị. Quy trình thực hiện này đơn giản, tuy nhiên độ chính xác thì có giới hạn, phương pháp có thể đánh giá tốt cho các công trình thấp tầng khi mà sự đóng góp của dạng dao động đầu tiên là chủ đạo [2-4]. Với các công trình cao tầng, khi sự đóng góp của các dạng dao động cao hơn là đáng kể thì độ chính xác của phương pháp giảm đi. Phương pháp phân tích đẩy dần, được đề xuất bởi Chopra và Goel [6], xét ảnh hưởng của dạng dao động cao hơn dự đoán chính xác ứng xử không đàn hồi của kết cấu [6-8]. Tuy nhiên, chuyển vị mục tiêu được xác định thông qua việc giải phương trình phi tuyến, nhưng việc giải phương trình phi tuyến mất nhiều thời gian.

Trong bài báo này, phương pháp phân tích đẩy dần MPA trong đó chuyển vị mục tiêu được xác định theo phương pháp phổ khả năng CSM (gọi là MPA-CSM) được trình bày để xem xét phản ứng của kết cấu khi chịu tác động của động đất. Việc đánh giá sai lệch và độ chính xác của phương pháp MPA-CSM trong đánh giá địa chấn công trình thực tế được thực hiện bằng cách so sánh kết quả chuyển vị mục tiêu với các phương pháp phân tích đẩy dần chuẩn SPA, chỉ đóng góp của dạng dao động đầu tiên, phương pháp MPA và phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian (NL-RHA). Qua đó có thể đánh giá sự đóng góp của phương pháp này trong thiết kế công trình thực tế chịu động đất.

2. Phương pháp phân tích đẩy dần MPA-CSM

Quy trình thực hiện phương pháp MPA-CSM gồm các bước sau:

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

b. Đối với dạng dao động thứ n , xây dựng đường cong đẩy dần biểu diễn mối quan hệ giữa lực cắt đáy-

chuyển vị mái ($V_{bn} - u_m$) bằng cách phân tích tĩnh phi tuyến công trình, dùng lực phân phối $s_n^* = m\phi_n$ với m là ma trận khối lượng (hình 1).

c. Chuyển đổi đường cong khả năng sang phổ khả năng (hình 2) bằng cách sử dụng công thức:

$$S_a = \frac{V_{bn}}{M_n^*}, \quad S_d = \frac{u_m}{\Gamma_n \phi_m} \quad (1)$$

Trong đó: $M_n^* = \Gamma_n L_n$ là khối lượng dao động đáp ứng, ϕ_m là giá trị của ϕ_n tại điểm khảo sát, và $L_n = \phi_n^T m u$, $\Gamma_n = L_n / M_n$ và $M_n = \phi_n^T m \phi_n$ là khối lượng tổng thể cho dạng dao động thứ n .

d. Vẽ phổ khả năng và phổ thiết kế trên cùng đồ thị gia tốc-chuyển vị ADRS.

e. Tính chuyển vị đỉnh của hệ một bậc tự do tương đương bằng cách xác định giao điểm của phổ khả năng và phổ thiết kế (hình 2).

g. Tính toán chuyển vị đỉnh mục tiêu của hệ nhiều bậc tự do, u_{mo} , kết hợp với dạng dao động thứ n hệ một bậc tự do không đàn hồi từ phương trình (2):

$$u_{mo} = \Gamma_n \phi_m D_n \quad (2)$$

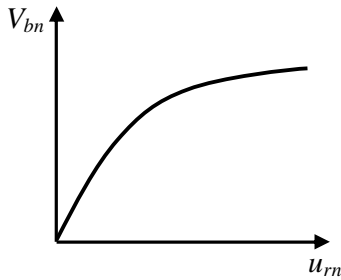
h. Rút ra kết quả mong muốn, r_{no} , từ dữ liệu đường cong đẩy dần khi chuyển vị mái bằng chuyển vị u_{mo} .

i. Lặp lại bước 2 đến bước 7 cho nhiều dạng dao động theo yêu cầu về độ chính xác.

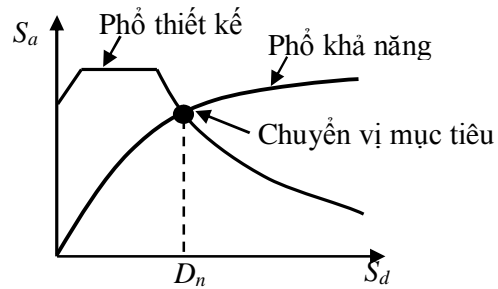
k. Xác định phản ứng tổng, $r_{MPA-CSM}$, bằng cách kết hợp phản ứng của nhiều dạng dao động bằng cách sử dụng tổ hợp các phản ứng lớn nhất của các dạng chính dao động, ví dụ, căn bậc hai của tổng bình phương chuyển vị đỉnh được biểu diễn ở công thức (3):

$$r_{MPA-CSM} = \sqrt{\sum_{n=1}^j r_{no}^2} \quad (3)$$

với j là số dạng dao động tham gia.



Hình 1. Đường cong khả năng



Hình 2. Xác định chuyển vị mục tiêu

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1 Mô hình phân tích

Mô hình khung được sử dụng trong bài báo này là khung thép 3, 6, 9, 12, 15, 18 tầng và một số các thông số hình học ban đầu như chiều cao tầng, h ; chiều dài nhịp, L ; khối lượng tầng, m theo dự án SAC - giai đoạn 2, do Chính phủ Mỹ thực hiện cho các công trình thép và đã được thiết kế tuân theo tiêu chuẩn IBC (International Building Code).

3.2 Dữ liệu động đất

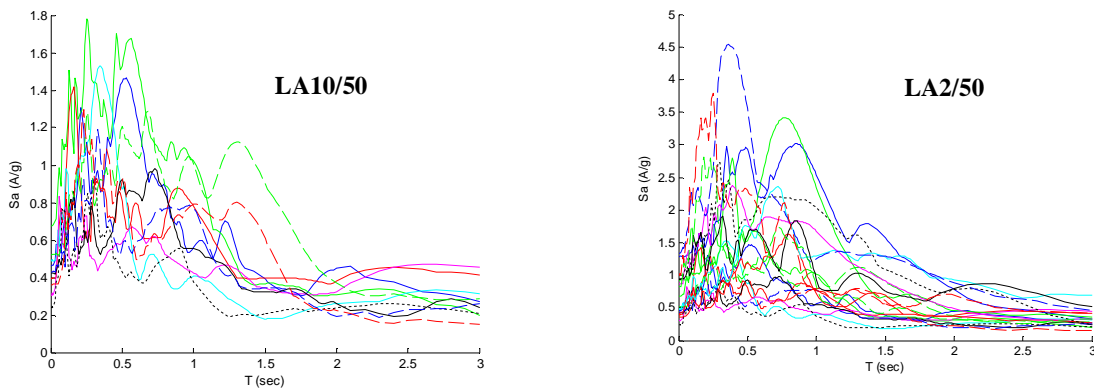
Sử dụng hai bộ động đất ở Los Angeles, California có tần suất xảy ra là 2% trong 50 năm (LA2/50) và 10% trong 50 năm (LA10/50), nghĩa là xảy ra 1 lần trong 2475 năm và 475 năm[9]. Mỗi bộ động đất gồm 10 trận động đất gần đối đứt gãy và xa đối đứt gãy. Phổ gia tốc của hai bộ động đất được thể hiện ở hình 3.

Đáp ứng của hệ khung ứng với mỗi trận động đất được xác định bằng phương pháp phân tích phi tuyến

theo miền thời gian (NL-RHA) và phương pháp phi tuyến tính MPA-CSM, SPA, MPA. Giá trị chính xác của chuyển vị mục tiêu, (u_r) , xác định bởi NL-RHA được ký hiệu là $(u_r)_{NL-RHA}$, MPA-CSM là $(u_r)_{MPA-CSM}$, từ SPA là $(u_r)_{SPA}$, từ MPA là $(u_r)_{MPA}$. Từ những dữ liệu cho mỗi trận động đất, tỷ số chuyển vị mục tiêu được xác định: $(u_r^*)_{MPA-CSM} = (u_r)_{MPA-CSM} / (u_r)_{NL-RHA}$, $(u_r^*)_{SPA} = (u_r)_{SPA} / (u_r)_{NL-RHA}$, $(u_r^*)_{MPA} = (u_r)_{MPA} / (u_r)_{NL-RHA}$. Giá trị trung bình, \hat{x} , và giá trị độ phân tán δ được xác định theo công thức sau:

$$\hat{x} = \exp \left[\frac{\sum_{i=1}^n \ln x_i}{n} \right] \quad (4)$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln x_i - \ln \hat{x})^2}{n-1}} \quad (5)$$



Hình 3. Phổ gia tốc của hai bộ động đất

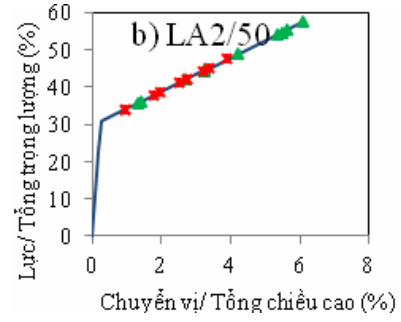
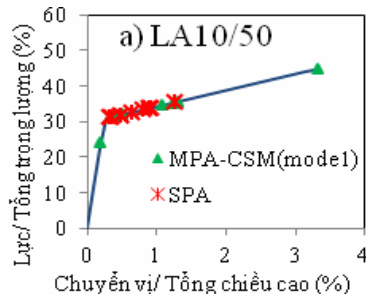
4. Đánh giá phương pháp phân tích đẩy dần đề xuất MPA-CSM

Độ chính xác và sai lệch chuyển vị mục tiêu của phương pháp nghiên cứu MPA-CSM trong phân tích đẩy dần được đánh giá trong phần này. Sau đó, so sánh kết quả thu được với kết quả phương pháp MPA và kết quả phương pháp chính xác NL-RHA.

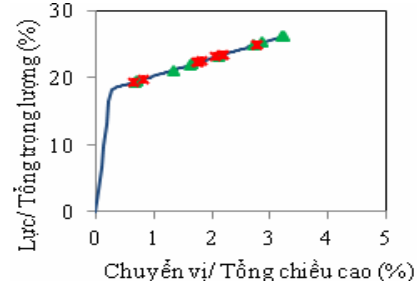
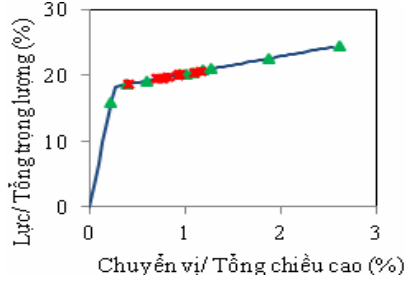
Đường cong khả năng thể hiện quan hệ lực cắt – chuyển vị đỉnh ($V_{bn} - u_m$) là toàn bộ lực-chuyển vị của kết cấu và đại diện cho toàn bộ phản ứng của kết cấu. Đường cong khả năng cho hệ khung trong bài báo này thu được từ phân tích đẩy dần dựa vào phân phối lực bất biến theo dạng dao động $s_n^* = \mathbf{m}\phi_n$, cho đến khi đạt đến giá trị chuyển vị đỉnh cần quan sát. Giá trị chuyển vị mục tiêu được ước tính dưới tác động của động đất hệ một bậc tự do được tìm từ đường cong đẩy dần.

Hình 4 biểu diễn đường cong đẩy dần của dạng dao động đầu tiên ứng với các hệ khung 3, 6, 9, 12, 15, 18 tầng. 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. Và tùy theo độ lớn các trận động đất khác nhau mà ở mỗi hệ khung, các chuyển vị mục tiêu là khác nhau. Với hệ khung càng cao thì cho giá trị chuyển vị mục tiêu càng lớn và lực đẩy dần càng nhỏ. Những điểm trên hình 4 là kết quả chuyển vị mục tiêu của phương pháp MPA-CSM chịu tác động của hai bộ động đất.

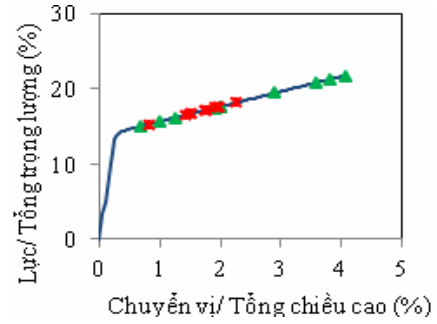
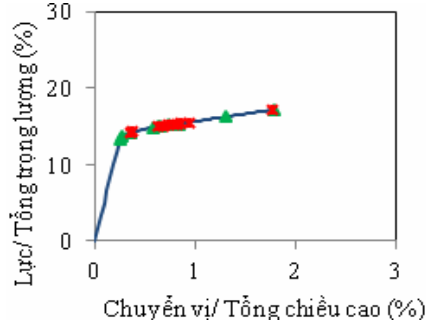
3 tầng



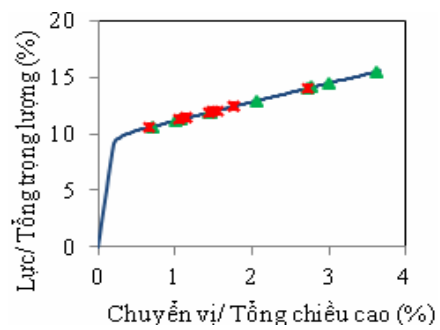
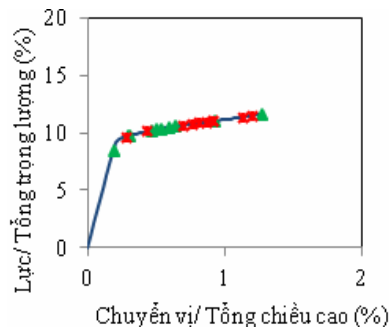
6 tầng



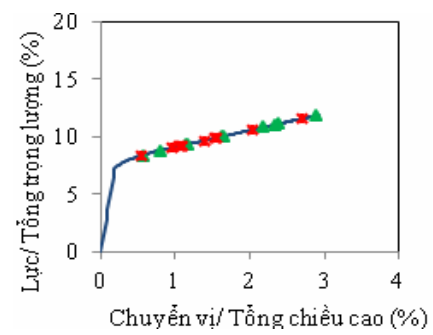
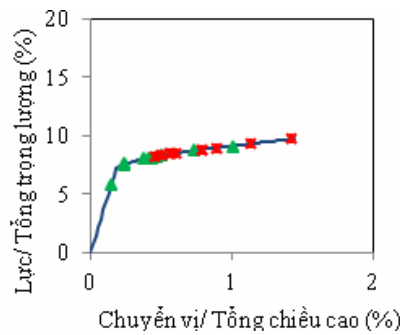
9 tầng

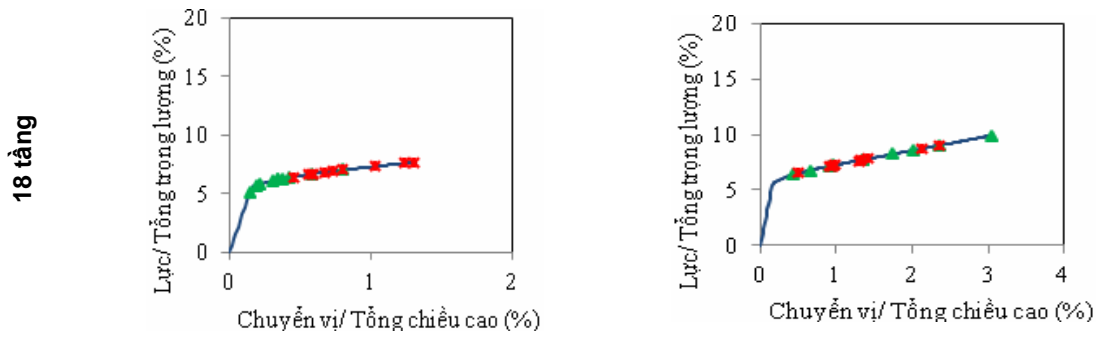


12 tầng



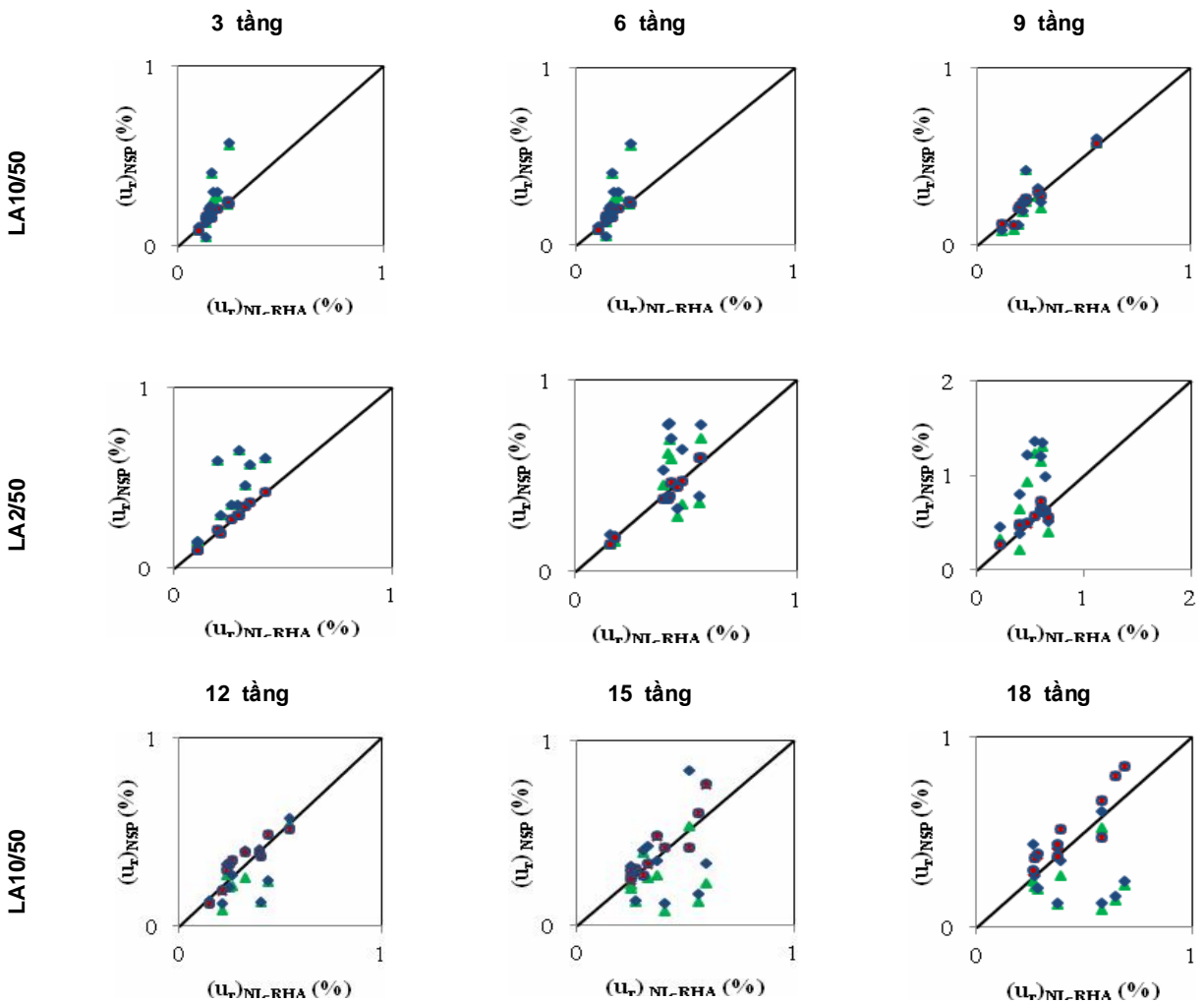
15 tầng

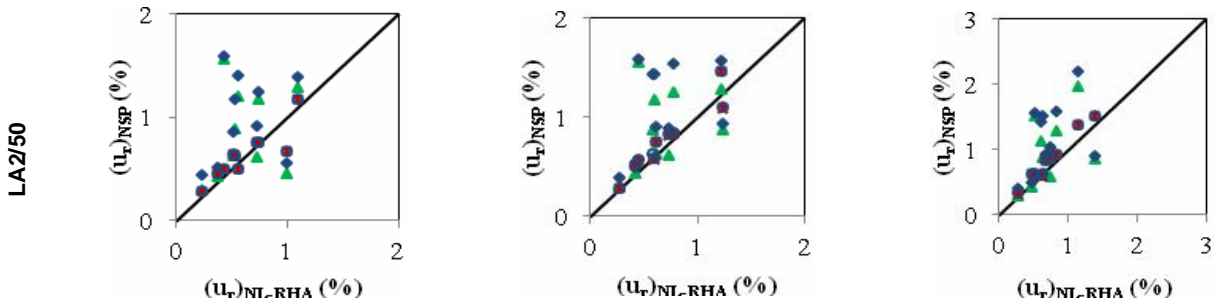




Hình 4. Đường cong đẩy dần ở dạng dao động đầu tiên của các hệ khung
a) Trận động đất LA10/50; b) Trận động đất LA2/50

Một cách biểu diễn khác của giá trị chuyển vị đỉnh: nếu lấy giá trị chuyển vị từ kết quả phương pháp NL-RHA là chuẩn, ta xem xét tập hợp điểm kết quả chuyển vị mái của các phương pháp ứng với hai bộ trận động đất được chọn sẽ hội tụ như thế nào đến đường chuẩn. Tập hợp các giá trị $(u_r^*)_{NSP}$ trên đường chuẩn $(u_r^*)_{NL-RHA}$ có hệ số góc bằng 1 được trình bày tại hình 5. Với mỗi bộ các trận động đất, ở các hệ khung càng cao thì tập hợp các điểm chuyển vị đỉnh được xác định bởi các phương pháp càng phân tán, tách rời khỏi đường chuẩn.





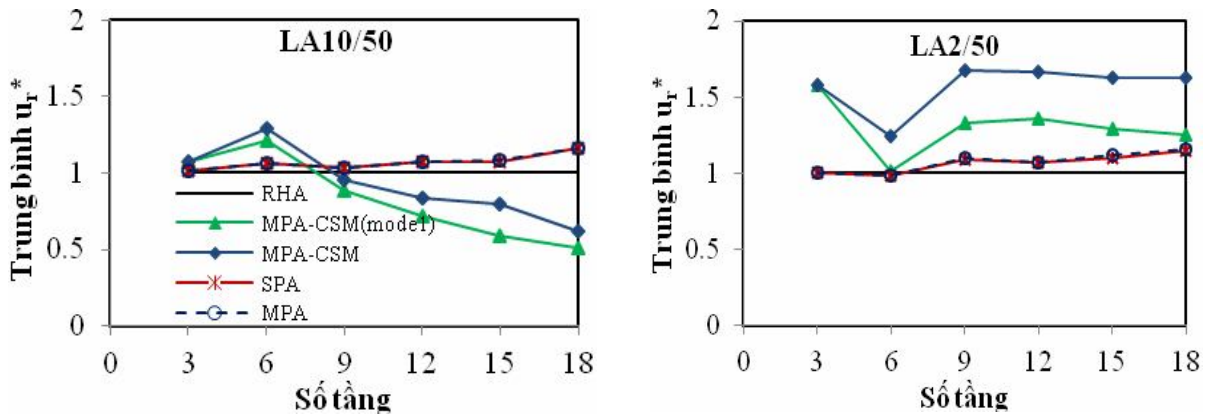
Hình 5. Tập hợp các điểm chuyển vị đỉnh của hệ khung ứng với hai bộ động đất

Đối với các trận động đất LA10/50, giá trị chuyển vị đỉnh trung bình của MPA-CSM(mode1), MPA-CSM nằm trên đường chuẩn ở hệ khung 3, 6 tầng, tức là giá trị chuyển vị đỉnh ước tính nhỏ hơn, còn với các hệ khung từ 9 tầng trở lên, tập hợp các điểm chuyển vị đỉnh xác định theo MPA-CSM (mode1) và MPA-CSM nằm dưới đường chuẩn, tức là giá trị chuyển vị đỉnh ước tính có giá trị nhỏ hơn. Đối với các trận động đất LA2/50, giá trị chuyển vị đỉnh trung bình xác định theo MPA-CSM (mode1), MPA-CSM nằm trên đường chuẩn ở tất cả các hệ khung, tức là giá trị chuyển vị đỉnh ước tính có giá trị lớn hơn. Đối với mỗi hệ khung, tập hợp chuyển vị đỉnh của phương pháp MPA bám sát với đường chuẩn hơn so với phương pháp MPA-CSM.

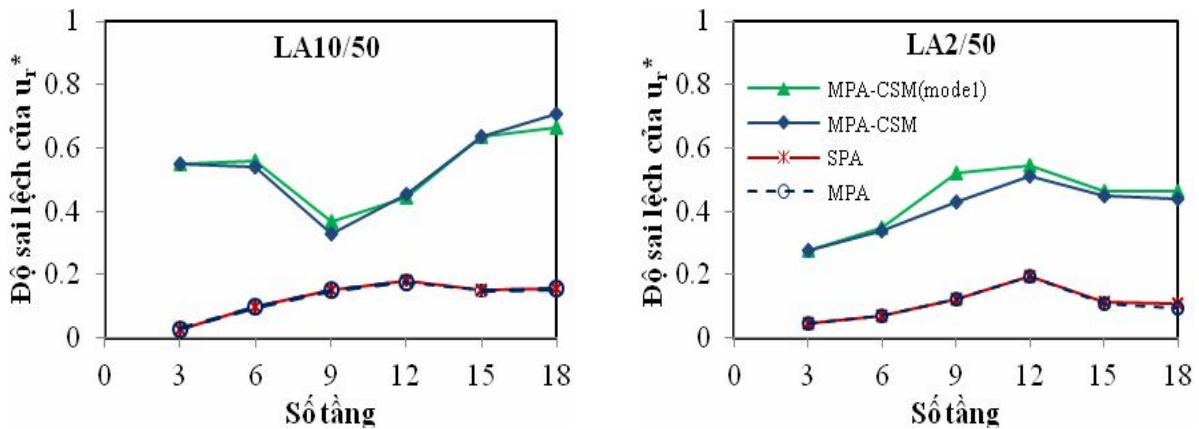
Hình 6 và 7 thể hiện giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của các hệ khung được xác định bởi các phương pháp MPA-CSM (mode1), MPA-CSM, SPA và MPA so với nghiệm chính xác NL-RHA.

Với cùng một bộ các trận động đất, với các hệ khung càng cao thì kết quả độ lệch chuẩn của phương pháp MPA-CSM, MPA-CSM (mode1) càng tăng. Đánh giá này cũng đúng đối với phương pháp SPA, MPA.

Với cùng một hệ khung, độ lệch chuẩn của hệ khung ở các trận động đất LA2/50 lớn hơn nhiều so với trận động đất LA2/50. Độ lệch chuẩn (σ) của giá trị chuyển vị đỉnh được xác định theo MPA-CSM so với phương pháp NL-RHA càng lớn khi các hệ khung càng cao.



Hình 6. Giá trị trung bình chuyển vị đỉnh của hệ khung được xác định bằng các phương pháp so với phương pháp NL-RHA ứng với hai bộ động đất



Hình 7. Sai lệch chuyển vị đỉnh của hệ khung được xác định bằng các phương pháp so với phương pháp NL-RHA ứng với hai bộ động đất

5. Kết luận

Dựa trên kết quả phân tích của các hệ khung từ các phương pháp MPA-CSM, MPA-CSM (mode 1), SPA, MPA và NL-RHA cho 10 trận động đất có tần suất 10% trong 50 năm và 2% trong 50 năm, ta có một số kết luận sau:

- Với cùng dữ liệu trận động đất, sai lệch chuyển vị mục tiêu được xác định từ các phương pháp có xu hướng tăng theo chiều cao tầng;
- Sai số trong dự đoán chuyển vị mục tiêu có xu hướng tăng lên khi cường độ động đất tăng;
- Phản ứng của hệ khung được xác định từ phương pháp SPA và MPA bám sát đường chuẩn, xác định từ phương pháp NL-RHA;
- Phương pháp MPA-CSM có thể áp dụng trong thiết kế cho công trình chịu động đất do sự đơn giản của nó so với phương pháp MPA.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Applied Technology Council. "Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Report, ATC-40". Redwood City, California, USA, 1996.
2. CHINTANAPAKDEE, C., NGUYEN, A.H., and HAYASHIKAWA, T., "Assessment of modal pushover analysis procedure for seismic evaluation of buckling-restrained braced frames". *The IES journal Part A: Civil & Structural Engineering* 2(3): 174-186, 2009.
3. CHOPRA, A.K., and GOEL, R.K. "A Modal Pushover Analysis Procedure to Estimate Seismic Demands for Buildings: Theory and Preliminary Evaluation". *Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER Report 2001/03, January, 2001*.
4. CHOPRA, A.K., and GOEL, R.K. "A Modal Pushover Analysis Procedure for Estimating Seismic Demands for Buildings". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.31, pp. 561-582, 2002*.
5. FREEMAN, S.A. "The Capacity Spectrum Method as a Tool for Seismic Design". *Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, September 6-11th 1998, Paris, A.A.Balkema, 1998*.
6. GOEL, R.K., and CHOPRA, A.K. "Evaluation of Modal and FEMA Pushover Analyses: SAC Buildings". *Earthquake Spectra, 20 (1), pp. 225-254, 2004*.
7. KALKAN, E., and KUNNATH, S.K., "Method of Modal Combination for Pushover Analysis of Buildings". *13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No. 2713, Vancouver, Canada, 2004*.
8. TJHIN, T., ASCHHEIM, M., and HERNANDEZ-MONTES, E. "Estimates of peak roof displacement using 'equivalent' single degree of freedom systems". *J. Struct. Eng., 131(3), 517-522, 2004*.
9. SOMERVILLE, P. et al., "Development of Ground Motion Time Histories for Phase 2 of the FEMA/SAC Steel Project". *SAC Background Document Report No. SAC/BD-9/04, SAC Joint Venture, 555 University Ave., Sacramento, California, 1997*.