

# Đánh giá chuyển vị mục tiêu nhà cao tầng chịu động đất có xét biến dạng nền sử dụng phương pháp tĩnh MPA và CSM kết hợp

Target displacement of high-rise buildings subjected to earthquake ground motions using MPA-CSM procedure considered soil-structure interaction

> TS NGUYỄN HỒNG AN

Khoa Kỹ thuật xây dựng, Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP.HCM

Email: [anhnguyen@hcmut.edu.vn](mailto:anhnguyen@hcmut.edu.vn)

## TÓM TẮT

Xác định chuyển vị mục tiêu trong quy trình phân tích tĩnh phi tuyến các công trình chịu địa chấn là một bước tính quan trọng, là tiên đề để đánh giá đáp ứng của hệ kết cấu dưới tác dụng của động đất. Vì vậy, việc đánh giá sự chính xác và độ sai lệch của chuyển vị mục tiêu là rất cần thiết. Nghiên cứu này đánh giá sự chính xác và độ sai lệch của chuyển vị mục tiêu được xác định bằng phương pháp MPA - CSM kết hợp (Modal Pushover Analysis - Capacity Spectrum Method) đối với hệ khung thép phẳng 3, 9, 18 tầng chịu tác động của hai bộ động đất xảy ra với tần suất là 2% và 10% trong 50 năm, trong hai trường hợp có và không có xét đến biến dạng nền. Kết quả phân tích của phương pháp đề xuất MPA - CSM kết hợp được so sánh với kết quả từ phương pháp phân tích đẩy dần chuẩn SPA (Standard Pushover Analysis), phương pháp MPA (Modal Pushover Analysis), phương pháp MPA - CSM mode I (chỉ xét dạng dao động đầu tiên) và phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian NL-RHA (Nonlinear Response History Analysis).

**Từ khóa:** Phân tích tĩnh phi tuyến; chuyển vị mục tiêu; phân tích đẩy dần; MPA - CSM; tương tác đất nền.

## ABSTRACT

One of critical steps of nonlinear static pushover analysis procedures is to predict the target displacement of monitoring point, which is usually the roof when buildings are analyzed. This research aims to assess the bias and accuracy of the target displacements predicted by the Modal Pushover Analysis combined with the Capacity Spectrum Method (MPA - CSM) procedure when it is applied to 3, 9, 18- storey steel frames due to two sets of strong ground motions having 2% and 10% probability of being exceeded in 50 years. The influence of soil-structure interaction (SSI) was taken into account in this study. The results of the MPA - CSM method were compared with the results from Standard Pushover Analysis (SPA), Modal Pushover Analysis (MPA), MPA - CSM (mode I) procedure and "exact" results from Nonlinear Response History Analysis (NL-RHA).

**Key words:** Nonlinear static Procedure; target Displacement; standard pushover analysis; MPA - CSM; Soil-Structure Interaction.

## 1. GIỚI THIỆU

Đánh giá tác động của động đất đến công trình cũng như ứng xử của kết cấu khi chịu động đất có thể được ước tính một cách "chính xác" dựa trên phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian NL - RHA (Nonlinear Response History Analysis). Tuy nhiên, phương pháp này có một số hạn chế: thời gian xây dựng mô hình tính toán, các thông số đầu vào, việc tính toán và xử lý kết quả mất nhiều thời gian... làm cho việc sử dụng phương pháp này trong tính toán thực tế có những khó khăn nhất định. Do đó, để khắc phục những hạn chế này, các phương pháp và các mô hình tính toán đơn giản hơn đã được đề xuất để ước tính tác động của động đất đến công trình.

Phân tích tĩnh phi tuyến đã được phát triển trong nhiều năm qua và đã trở thành phương pháp được sử dụng phổ biến trong

thiết kế và đánh giá công trình chịu động đất. Nhiều công trình nghiên cứu khác nhau về phương pháp phân tích tĩnh đã được công bố: phương pháp phổ khả năng CSM (Capacity Spectrum Method) [1], phương pháp hệ số chuyển vị DCM (Displacement Coefficient Method) [2], và phương pháp phân tích đẩy dần MPA (Modal Pushover Analysis) do Chopra và Goel đề xuất năm 2000 [3]. Trong số các phương pháp tĩnh phi tuyến được đề xuất, phương pháp MPA là phương pháp có nhiều ưu điểm vượt trội vì có xét đến đóng góp của các dạng dao động bậc cao, hơn nữa chuyển vị mục tiêu của hệ một bậc tự do tương đương được xác định bằng cách giải phương trình phi tuyến theo miền thời gian nên kết quả dự báo rất tốt. Tuy nhiên, việc này khá phức tạp và mất nhiều thời gian tính toán. Vì vậy, để giảm bớt những khó khăn trong việc thực hiện quy trình phân tích MPA, nghiên cứu này để

xuất quy trình phân tích tĩnh MPA - CSM kết hợp. Trong đó, với ưu điểm là xác định nhanh chóng chuyển vị mục tiêu của nhà cao tầng chịu động đất bằng đồ thị, phương pháp CSM được đề xuất thực hiện để thay thế bước tính xác định chuyển vị mục tiêu của hệ trong tiến trình của phương pháp MPA giúp đơn giản hóa qui trình thực hiện của phương pháp MPA.

Bài báo thực hiện với mục đích nhằm đánh giá sự chính xác và độ sai lệch của chuyển vị mục tiêu được dự báo bằng phương pháp đề xuất MPA - CSM kết hợp cho hệ khung phẳng cao tầng có xét đến ảnh hưởng của yếu tố tương tác nền - kết cấu bên trên SSI (Soil-Structure Interaction).

Việc đánh giá sự chính xác và độ sai lệch của phương pháp đề xuất MPA - CSM được thực hiện bằng cách so sánh với kết quả phân tích của phương pháp phân tích đẩy dẫn chuẩn SPA (Standard Pushover Analysis), phương pháp MPA (Modal Pushover Analysis), phương pháp MPA - CSM mode 1 (chỉ xét dạng dao động đầu) và phương pháp phân tích phi tuyến theo miền thời gian NL-RHA (Nonlinear Response History Analysis).

## 2. PHƯƠNG PHÁP MPA - CSM KẾT HỢP

Quy trình thực hiện của phương pháp MPA - CSM kết hợp để xuất gồm các bước sau:

1. Tính các tần số dao động tự nhiên,  $\omega_n$ , và các vector dạng dao động (mode shape),  $\phi_n$ , cho các dạng dao động của công trình.

2. Đối với dạng dao động thứ  $n$ , xây dựng đường cong đẩy dẫn biểu diễn mối quan hệ giữa lực cắt đáy và chuyển vị mái ( $V_{bn}-U_m$ ) bằng cách phân tích tĩnh phi tuyến công trình, dùng lực phân phối  $s_n^* = \mathbf{m}\phi_n$  với  $\mathbf{m}$  là ma trận khối lượng.

3. Chuyển đổi đường cong đẩy dẫn sang phổ khả năng bằng cách sử dụng quan hệ:

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

4. Vẽ phổ khả năng và phổ thiết kế trên cùng đồ thị gia tốc chuyển vị ADRS (Acceleration-Displacement Response Spectrum).

5. Xác định chuyển vị mục tiêu của công trình bằng cách xác định giao điểm của phổ khả năng và phổ thiết kế,  $D_n$ .

6. Tính toán chuyển vị đỉnh mục tiêu của hệ nhiều bậc tự do,  $u_{mo}$ , ứng với dạng dao động thứ  $n$  của hệ từ phương trình:

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

7. Rút ra kết quả mong muốn,  $r_{no}$ , từ dữ liệu đường cong đẩy dẫn khi chuyển vị đỉnh bằng chuyển vị  $u_{mo}$

8. Lập lại bước 2 đến bước 7 ứng với các dạng dao động bậc cao theo yêu cầu về độ chính xác.

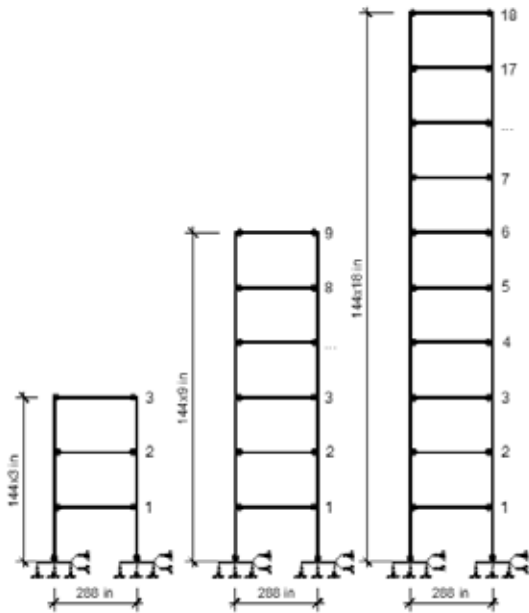
9. Xác định phản ứng tổng,  $r_{MPA-CSM}$ , bằng cách tổ hợp phản ứng của công trình ứng với nhiều dạng dao động bằng cách sử dụng tổ hợp SRSS:

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

## 3. MÔ HÌNH PHÂN TÍCH

Mô hình được sử dụng để phân tích và đánh giá là mô hình khung thép phẳng với số tầng lần lượt là 3, 9, và 18 tầng (Hình 1) đã được giới thiệu bởi Chintanapakdee và Chopra [4] với các thông số: chiều cao tầng là 144 in, bề rộng nhịp là 288 in, khối lượng mỗi tầng là 200 kips. Phi tuyến hình học và phi tuyến vật liệu đều được xét đến trong nghiên cứu này. Giả thiết khớp dẻo chỉ hình thành ở

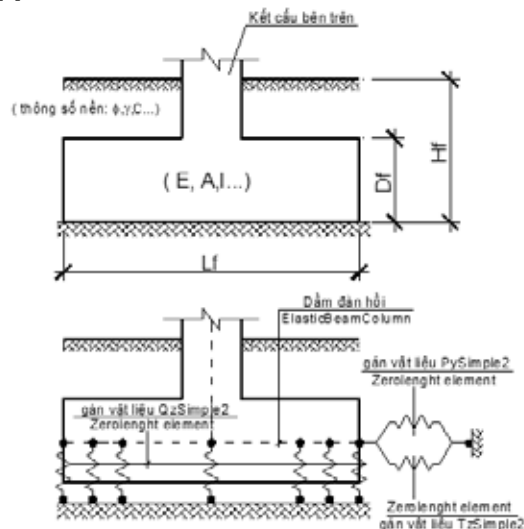
hai đầu mút dầm và chân cột tầng 1 theo mô hình dầm yếu - cột khỏe khi moment do tải trọng tác dụng vượt quá moment chảy dẻo  $M_y$ , phần còn lại của mỗi cấu kiện vẫn làm việc đàn hồi. Mô hình cản theo Rayleigh được sử dụng trong nghiên cứu này. Thông tin chi tiết về các mô hình phân tích có thể được tìm thấy trong tài liệu [4].



Hình 1. Mô hình hệ khung phân tích [4]

## 4. MÔ HÌNH ĐẤT NỀN

Để đánh giá đầy đủ phản ứng của công trình dưới tác động của động đất, mô hình tương tác giữa đất nền và kết cấu được xem xét. Mô hình tương tác SSI được thực hiện dựa trên mô hình dầm trên nền phi tuyến Winkler - BNWF (Beam-on-Nonlinear-Winkler-Foundation) [5] nhằm mô phỏng ứng xử của hệ kết cấu và nền móng (Hình 2). Các thông số về độ cứng, sức kháng cắt của nền đất theo phương ngang và phương đứng được mô phỏng bằng các lò xo phi tuyến [5]. Mô hình tương tác này được thực hiện với sự hỗ trợ của phần mềm OPENSEES [6]. Quy trình tính toán, phân tích được sử dụng chương trình tự viết dùng ngôn ngữ lập trình Matlab [7].



Hình 2. Mô hình tương tác đất nền - kết cấu (SSI)

**5. GIA TỐC NỀN**

Dữ liệu động đất được dùng để thực hiện trong nghiên cứu này là 20 trận động đất được chia thành 2 bộ, mỗi bộ có 10 trận động đất có tần suất là 10% trong 50 năm (LA10IN50) và 10 trận động đất có tần suất là 2% trong 50 năm (LA2IN50) nghĩa là chu kỳ xảy ra 1 lần trong 475 năm và 2475 năm tương ứng [8], được trình bày trong Bảng 1 và Bảng 2. Vì các phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến đã được chứng minh có độ chính xác giảm khi ứng xử của kết cấu đi sâu vào miền phi tuyến [9-11] nên hai bộ dữ liệu được chọn là tập hợp các trận động đất có cường độ mạnh nhằm đánh giá sâu hơn và triệt để hơn kết quả chuyển vị mục tiêu của phương pháp MPA - CSM đề xuất.

**6. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH**

**6.1. Đường cong đẩy dẫn (Pushover curve)**

Đường cong đẩy dẫn thể hiện mối quan hệ giữa lực cắt đáy - chuyển vị đỉnh của kết cấu và đại diện cho toàn bộ phản ứng của kết cấu. Đường cong đẩy dẫn của hệ khung trong nghiên cứu này được trình bày ở Hình 3 và Hình 4 thể hiện rõ ràng hai giai đoạn làm việc của hệ kết cấu: đàn hồi và không đàn hồi.

**6.2 Chuyển vị mục tiêu (Target displacement)**

Chuyển vị mục tiêu của hệ khung được xác định bằng phương pháp MPA - CSM dưới tác động của bộ dữ liệu động đất (20 trận) được thể hiện bằng kí hiệu (X) trên đường cong đẩy dẫn và được trình bày ở Hình 3 và 4. Kết quả phân tích cho thấy phần lớn chuyển vị mục tiêu của hệ nằm trong miền không đàn hồi, điều này cho thấy kết cấu bị dẫn sâu vào miền phi tuyến. Dưới tác động của các trận động đất khác nhau, giá trị chuyển vị mục tiêu được xác định là khác nhau, chuyển vị mục tiêu có giá trị càng lớn tương ứng với bộ động đất có cường độ lớn (LA2IN50), ngoài ra, với cùng hệ khung, cùng dữ liệu động đất hệ liên kết ngàm cứng (fixed - base) có chuyển vị mục tiêu được xác định nhỏ hơn so với hệ xét tương tác SSI.

**Bảng 1.** Dữ liệu 10 trận động đất tần suất xảy ra 10% trong 50 năm [8]

Ký hiệu	Trận động đất, vị trí	Cường độ động đất	Khoảng cách (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )
LA01	1940 Imperial Valley, El Centro	6.9	10	452
LA02	1940 Imperial Valley, El Centro	6.9	10	662
LA03	1979 Imperial Valley, Array #05	6.5	4.1	386
LA04	1979 Imperial Valley, Array #05	6.5	4.1	478
LA05	1979 Imperial Valley, Array #06	6.5	1.2	295
LA06	1979 Imperial Valley, Array #06	6.5	1.2	230
LA07	1992 Landers, Barstow	7.3	36	412
LA08	1992 Landers, Barstow	7.3	36	417
LA09	1992 Landers, Yermo	7.3	25	509
LA10	1992 Landers, Yermo	7.3	25	353

Bảng 3 trình bày sai lệch kết quả chuyển vị mục tiêu trung bình (%) được dự đoán bởi các phương pháp tĩnh SPA, MPA, MPA - CSM (mode1) so với kết quả từ phương pháp chính xác theo miền thời gian NL-RHA khi hệ chịu tác động của hai bộ động đất trong trường hợp hệ ngàm cứng (Fixed Base). Bảng 4 trình bày kết quả tương tự cho hệ có xét đến tương tác đất nền - kết cấu SSI. Kết quả cho thấy chuyển vị mục tiêu được dự đoán bởi các phương pháp tĩnh có xu hướng kém chính xác khi chiều cao công trình tăng lên, hoặc dao động nền có cường độ tăng lên. Xu hướng này đúng cho cả hai trường hợp có và không có xét tương tác SSI khi phân tích công trình. Kết quả cũng cho thấy chuyển vị mục tiêu từ phương pháp đề xuất MPA - CSM có sai số khá lớn khi so sánh với phương pháp phân tích MPA. Điều này cho

thấy rằng chuyển vị mục tiêu được xác định bằng việc phân tích trực tiếp phương trình động học phi tuyến có độ chính xác cao hơn hẳn so với việc xác định chuyển vị mục tiêu bằng phương pháp CSM thông qua đồ thị, sai số tương tự khi so sánh kết quả chuyển vị mục tiêu của phương pháp MPA - CSM (mode 1) với phương pháp SPA. Kết quả phân tích cũng cho thấy rõ các dao động cao ảnh hưởng đáng kể đến kết quả phân tích của các phương pháp tĩnh. Phương pháp MPA tỏ ra tin cậy hơn so với phương pháp SPA khi cho kết quả sai số thấp hơn, tương tự khi so sánh phương pháp MPA - CSM và MPA - CSM mode 1.

Đối với các công trình thấp tầng và cường độ động đất yếu, sai số chuyển vị mục tiêu được dự báo bởi các phương pháp tĩnh MPA, SPA, MPA - CSM, MPA - CSM mode 1 là tương đối tốt.

**Bảng 2.** Dữ liệu 10 trận động đất tần suất xảy ra 2% trong 50 năm [8].

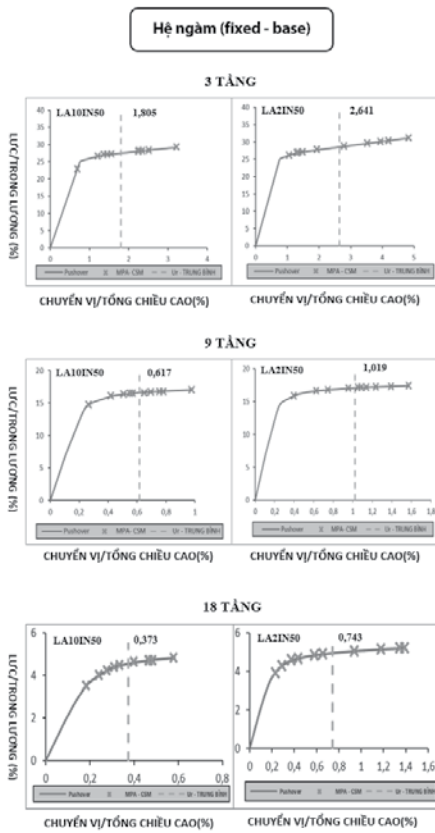
Ký hiệu	Trận động đất, vị trí	Cường độ động đất	Khoảng cách (km)	PGA (cm/s <sup>2</sup> )
LA11	1995 Kobe	6.9	3.4	1285
LA12	1995 Kobe	6.9	3.4	903
LA13	1989 Loma Prieta	7.0	3.5	410
LA14	1989 Loma Prieta	7.0	3.5	464
LA15	1994 Northridge	6.7	7.5	854
LA16	1994 Northridge	6.7	7.5	925
LA17	1994 Northridge	6.7	6.4	909
LA18	1994 Northridge	6.7	6.4	1304
LA19	1974 Tabas	7.4	1.2	793
LA20	1974 Tabas	7.4	1.2	973

**Bảng 3.** Sai lệch kết quả chuyển vị mục tiêu trung bình (%) của phương pháp SPA, MPA, MPA - CSM (Mode 1), MPA - CSM so với kết quả từ phương pháp chính xác theo miền thời gian NL-RHA khi hệ chịu tác động của hai bộ động đất trong trường hợp liên kết móng là ngàm cứng (fixed - base)

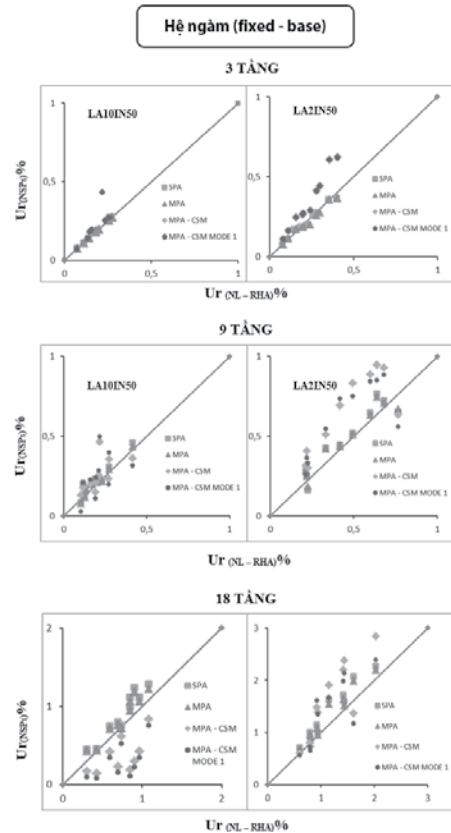
	HỆ LIÊN KẾT NGÀM (Fixed Base)							
	LA10IN50				LA2IN50			
	SPA	MPA	MPA - CSM Mode 1	MPA - CSM	SPA	MPA	MPA - CSM Mode 1	MPA - CSM
3 Tầng	1,05	1,05	3,39	3,39	4,07	4,07	13,71	13,71
9 Tầng	12,14	8,74	14,62	14,55	19,36	10,34	32,52	32,33
18 Tầng	19,16	14,02	45,18	46,74	27,28	17,55	67,73	68,14

**Bảng 4.** Sai lệch kết quả chuyển vị mục tiêu trung bình (%) của phương pháp SPA, MPA, MPA - CSM (Mode 1), MPA - CSM so với kết quả từ phương pháp chính xác theo miền thời gian NL-RHA khi hệ chịu tác động của hai bộ động đất trong trường hợp liên kết móng là SSI

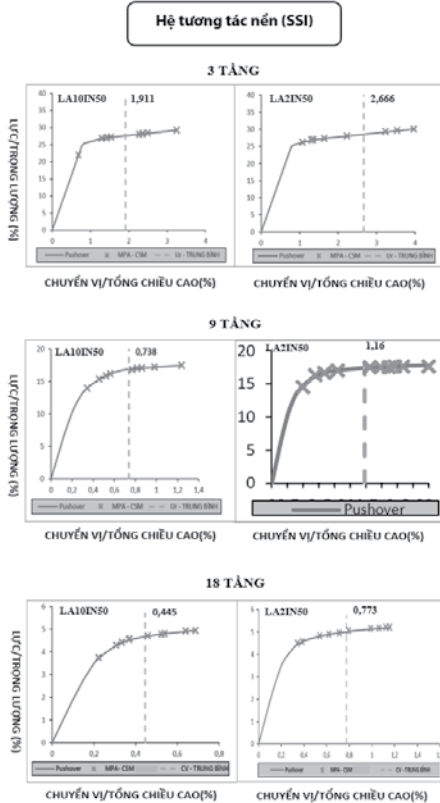
	HỆ LIÊN KẾT SSI							
	LA10IN50				LA2IN50			
	SPA	MPA	MPA - CSM Mode 1	MPA - CSM	SPA	MPA	MPA - CSM Mode 1	MPA - CSM
3 Tầng	2,13	2,13	4,71	4,71	4,22	4,22	15,63	15,63
9 Tầng	18,56	10,27	26,43	26,32	25,17	13,12	40,28	40,13
18 Tầng	25,39	18,23	62,57	63,24	39,46	23,18	81,82	83,18



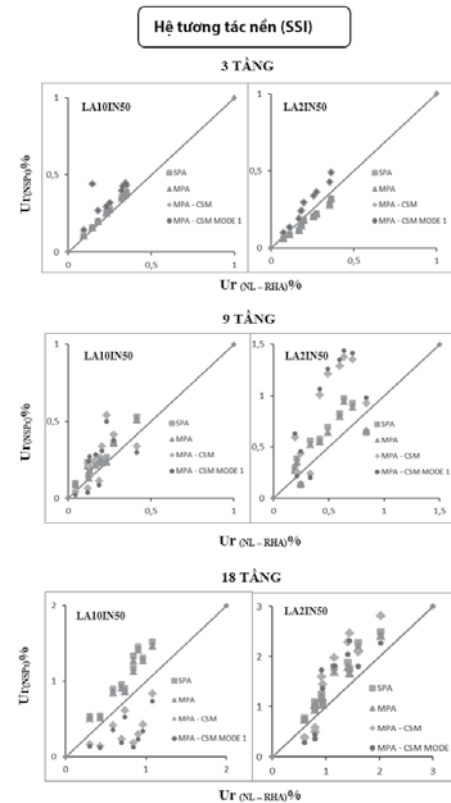
**Hình 3.** Đường cong khả năng và chuyển vị mục tiêu trung bình của khung 3,9,18 tầng (ngàm) ở dạng dao động đầu tiên khi chịu 2 bộ động đất



**Hình 5.** Tập hợp các điểm chuyển vị đỉnh của hệ khung 3, 9, 18 tầng (ngàm) ứng với hai bộ dữ liệu động đất



**Hình 4.** Đường cong khả năng và chuyển vị mục tiêu trung bình của khung 3,9,18 tầng (SSI) ở dạng dao động đầu tiên khi chịu 2 bộ động đất



**Hình 6.** Tập hợp các điểm chuyển vị đỉnh của hệ khung 3, 9, 18 tầng (SSI) ứng với hai bộ dữ liệu động đất

Hình 5, 6 biểu diễn chuyển vị mục tiêu theo 1 dạng khác nhằm đánh giá chuyển vị mục tiêu được dự báo bởi các phương pháp tính ở nhiều góc độ khác nhau. Trục tung trình bày chuyển vị mục tiêu được xác định bằng các phương pháp tính  $U_{r(NSPs)}$ , trục hoành thể hiện giá trị chuyển vị mục tiêu theo phương pháp chính xác  $U_{r(NL-RHA)}$  ứng với từng bộ động đất và từng hệ kết cấu tương ứng. Kết quả cho thấy, chuyển vị mục tiêu ở khung 3 tầng ở tất cả các trường hợp bám khá sát đường chuẩn có hệ số góc bằng 1, điều này đồng nghĩa với việc chuyển vị mục tiêu được dự báo bởi các phương pháp tính ở các công trình thấp tầng có độ chính xác cao. Độ phân tán ngày càng tăng khi chiều cao công trình tăng lên, các điểm chuyển vị nằm phía dưới đường chuẩn cho thấy chuyển vị mục tiêu được dự báo theo các phương pháp tính có giá trị bé hơn chuyển vị mục tiêu được xác định theo phương pháp NL - RHA và ngược lại, giá trị dự báo theo các phương pháp tính có giá trị dự báo vượt quá giá trị chính xác khi các điểm chuyển vị nằm phía trên đường chuẩn. Độ phân tán của chuyển vị mục tiêu tăng lên đáng kể khi xét đến tương tác nền SSI ở các hệ khung. Điều này cho thấy độ chính xác của chuyển vị mục tiêu được xác định bằng các phương pháp tính ngoài yếu tố chiều cao công trình, cường độ trận động đất thì tương tác nền đất – kết cấu ảnh hưởng đáng kể đến đáp ứng của hệ kết cấu khi chịu động đất.

## 7. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 7.1. Kết luận

- Chuyển vị mục tiêu dự báo bởi phương pháp MPA - CSM cho kết quả tốt đối với công trình thấp tầng. Đối với công trình trung và cao tầng, phương pháp MPA - CSM cho kết quả dự báo chuyển vị mục tiêu kém chính xác khi so sánh chuyển vị mục tiêu với phương pháp MPA và NL - RHA. Kết quả này cho thấy việc sử dụng phương pháp CSM trong việc xác định chuyển vị mục tiêu trong tiến trình của phương pháp MPA - CSM có sai số khá lớn và ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả phân tích. Tuy nhiên, ưu điểm của phương pháp MPA - CSM kết hợp là tính đơn giản và khối lượng tính toán rất ít so với phương pháp MPA và NL - RHA.

- Chuyển vị mục tiêu được dự đoán bởi các phương pháp tính có xu hướng kém chính xác hơn khi chiều cao công trình tăng lên, hoặc dao động nền có cường độ mạnh hơn. Điều này xảy ra ở cả hai trường hợp có và không có xét tương tác nền khi phân tích công trình chịu địa chấn.

- Sai số chuyển vị mục tiêu của các phương pháp tính có xu hướng tăng lên khi hệ xét tương tác SSI, điều này cho thấy biến dạng nền ảnh hưởng lớn đến đáp ứng của hệ khung khi phân tích tác động của động đất.

### 7.2. Kiến nghị

Vi các phương pháp tính phi tuyến là phương pháp số nên các kết quả cần được kiểm chứng, so sánh và đánh giá với các dạng công trình khác nhau. Do đó, đề tài cần mở rộng phân tích, đánh giá cho các dạng công trình, kết cấu có những đặc trưng khác nhau về nhiều phương diện như độ cứng, khối lượng, đặc trưng hình học, vật liệu... Ngoài hệ kết cấu đã được trình bày, cần mở rộng nghiên cứu ở các kết cấu không gian 3 chiều, các công trình đặc biệt và các loại nền đất khác nhau để có thể áp dụng phương pháp một cách hợp lý vào thực tế tính toán.

**Lời cảm ơn:** Tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia TP.HCM đã hỗ trợ nghiên cứu này.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. ATC-40, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Redwood City, California, 1996.
- [2]. FEMA-356, "Prestandard and Commentary for the Rehabilitation of Buildings", 2000.

- [3]. Chopra, A.K. and R.K. Goel, "A modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol. 31, pp. 561-582, 2002.

- [4]. Chintanapakdee, C. and A. K. Chopra, "Evaluation of Modal Pushover Analysis Procedure Using Vertically "Regular" and Irregular Generic Frames", University of California, Berkeley, 2003/03.

- [5]. Raychowdhury, "Nonlinear Winkler-based shallow foundation model for performance assessment of seismically loaded structures.", PhD Dissertation, University of California, San Diego, 2008.

- [6]. [http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/OpenSees\\_User](http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/OpenSees_User)

- [7]. The MathWorks Inc.. MATLAB version: 9.13.0 (R2022b), Natick, Massachusetts: The MathWorks Inc. <https://www.mathworks.com>, (2022).

- [8]. 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.

- [9]. Nguyen, A.H., Chintanapakdee, C., and Hayashikawa, T., "Assessment of current nonlinear static procedures for seismic evaluation of BRBF buildings. Journal of Constructional Steel Research 66(8-9): 1118-1127", 2010.

- [10]. 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

- [11]. Chopra, A.K and Goel, R.K., "Capacity-demand-diagram methods based on inelastic design spectrum. Earthquake spectra 15(4): 637-656", 1999.