



PHÂN TÍCH PHI TUYẾN KẾT CẤU NHÀ CAO TẦNG CHỊU ĐỘNG ĐẤT VỚI GỐI CÔ LẬP MÓNG (LRB)

NONLINEAR ANALYSIS OF BUILDING STRUCTURE ON SEISMIC RESPONSE WITH LEAD RUBBER BEARING (LRB)

Nguyễn Khánh Hùng¹, Nguyễn Đình Du²

¹nguyenkhanhung1979@gmail.com, ²dinhdu85@gmail.com

^{1,2}Khoa Kỹ thuật Công trình, Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai, Việt Nam

TÓM TẮT. Sự rung động của móng có ảnh hưởng rất lớn đến kết cấu bên trên. Nguyên nhân chủ yếu là do động đất gây ra. Việc khắc phục và kiểm soát vấn đề này luôn được các nhà khoa học trong nước cũng như trên thế giới không ngừng nghiên cứu. Một trong những giải pháp tạo được sự ưu việt là cô lập liên kết giữa giữa móng và kết cấu bên trên, sự “mềm hóa”, đó chính là gối cô lập (LRB). Một công trình cao 15 tầng được khảo sát, yếu tố phi tuyến vật liệu cũng được xét đến. Kết quả thu được so sánh với gối cố định để thấy hiệu quả của phương pháp được chọn.

TỪ KHOÁ. gối trượt ma sát, nhà cao tầng, tải trọng động đất, phân tích phi tuyến

ABSTRACT. The vibration of the nail has a great influence on the structure above. The main reason is caused by earthquakes. Overcoming and controlling this issue has always been constantly researched by domestic and international scientists. One of the solutions that created superiority was the isolation between the foundation and the above structure, the "softening", which is the isolated pillow (LRB). A 15-storey building is surveyed, the nonlinear element is also considered. The obtained results are compared with fixed pillows to see the effect of the selected method.

KEYWORDS. lead-rubber bearing, building structure, earthquake, nonlinear analysis

1. GIỚI THIỆU

Sự sụp đổ hay hư hại của kết cấu nhà cao tầng chịu động đất là vấn đề đáng lo ngại. Bên cạnh nguyên nhân là do cường độ các trận động đất ngày càng lớn và xuất hiện ngày càng thường xuyên thì phương pháp phân tích kết cấu nhà cao tầng chịu động đất dựa trên phương pháp đàn hồi có độ tin cậy không cao. Trên thực tế ứng xử của kết cấu nhà cao tầng khi chịu động đất nằm ngoài miền đàn hồi trong đó bao gồm ứng xử phi tuyến kết cấu và phi tuyến vật liệu. Vì vậy rất cần áp dụng phương pháp phân tích phi tuyến kết cấu nhà cao tầng chịu động đất chính xác hơn. Thêm nữa cũng cần giải pháp để giảm ảnh hưởng của tác động động đất gây nguy hiểm cho kết cấu. Việc đánh giá kết cấu chịu địa chấn có xét phân tích phi tuyến hình học và phi tuyến vật liệu được xem là một trong những phân tích quan trọng cũng như là đánh giá mức độ an toàn của kết cấu. Hiện nay có rất nhiều phương pháp để phân tích phi tuyến kết cấu chịu địa chấn trong đó phương pháp phân tích phản ứng phi tuyến theo miền thời gian NL-RHA (Nonlinear Response History Analysis) được xem như là một công cụ để đánh giá đáp ứng của kết cấu một cách chính xác. Tuy nhiên, phương pháp này rất phức tạp, tốn nhiều tài nguyên... vì vậy, khó áp dụng trong thực tế tính toán.

Để khắc phục nhược điểm trên, nhiều nhà nghiên cứu trên thế giới đang cố gắng phát triển nhiều phương pháp phân tích hợp lý hơn để có thể đạt được sự cân bằng thỏa đáng giữa độ tin cậy và tính ứng dụng cho việc sử dụng thiết kế hàng ngày. Do đó, các phương pháp gần đúng, gọi là phương pháp tính phi tuyến (NSPs) dựa trên lý thuyết động học công trình đã được phát triển như là một sự lựa chọn thay thế cho phương pháp chính xác (NL-RHA).

Ngoài ra có khá nhiều giải pháp để giảm ảnh hưởng của tác động động đất bằng cách gia tăng mức độ tiêu tán năng lượng như tăng cường sử dụng kết cấu nhẹ có khả năng kháng chấn cao (thép, gỗ), sử dụng gối tựa đàn hồi (cao su, thép) hay gối cô lập, giải pháp tăng cứng, con lắc ngược,

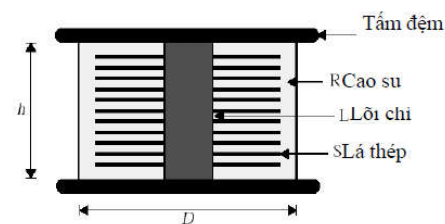
tầm ma sát, giằng kháng chấn... Trong đó sử dụng gối cô lập móng (LRB) là giải pháp khá hiệu quả thậm chí có thể áp dụng cho kết cấu siêu cao tầng.

Để gia tăng độ tin cậy của kết cấu nhà cao tầng chịu động đất, đề tài này sẽ tập trung đánh giá phương pháp phân tích tính phi tuyến cho kết cấu nhà cao tầng chịu động đất có xét đến phi tuyến hình học kết hợp khảo sát ảnh hưởng của gối cô lập móng.

2. MÔ HÌNH GỐI LRB

2.1 Cấu tạo gối LRB

Gối cô lập móng LRB được cấu tạo như Hình 1, thành phần chủ yếu là các lá thép kết hợp với lõi chì nằm trong gối đỡ cao su. Gối đỡ này gồm nhiều lớp cao su được dán vào các lá thép (hình 4a,b) để giữ cao su không biến dạng ngang dưới tác dụng của tải trọng đứng, do đó làm cho gối có độ cứng theo phương đứng lớn gấp nhiều lần theo phương ngang. Độ cứng theo phương ngang sẽ càng giảm khi ta càng tăng chiều dày hoặc số lượng lớp cao su. Cao su thiên nhiên là vật liệu đàn nhớt phi tuyến, có thể biến dạng đến 300% mà không bị phá hoại.



Hình 1. Cấu tạo gối đỡ bằng cao su có lõi chì (LRB)

Received: May, 20th 2019

Accepted: July, 30th 2019

*Corresponding Author

Email: dinhdu85@gmail.com

2.2 Mô hình hóa gói LRB

Ta có thể xem LRB gồm hai phần tử (Hình 2), thứ nhất là phần tử đàn nhớt tuyến tính đại diện cho cao su (rubber) có độ cứng k_1 , và thứ hai là phần tử đàn-dẻo tuyệt đối đại diện cho lõi chì (lead) có độ cứng k_2 .

Công thức tính độ cứng có thể dùng cho phần tử gói cao su (k_1)

$$k_{(cao\ su)} = k_{(1)} = fdGs \quad (1)$$

Nếu xem chì ứng xử đàn hồi tuyến tính (ban đầu) thì độ cứng của lõi chì là

$$K_{(chì)} = k_2 = A_p G_p / h_p \quad (2)$$

A_p , h_p và G_p lần lượt là diện tích mặt cắt ngang, chiều cao và module chống cắt của lõi chì, G_s mô-đun cắt của vật liệu đàn nhớt.

Đặc trưng hình học của thiết bị cản

$$Fd = 2wL/t_d \quad (3)$$

Độ cứng cát tuyến liên hệ với các độ cứng thành phần k_1 , k_2 qua biểu thức

$$k_s = k_1 + k_2/\mu \quad (4)$$

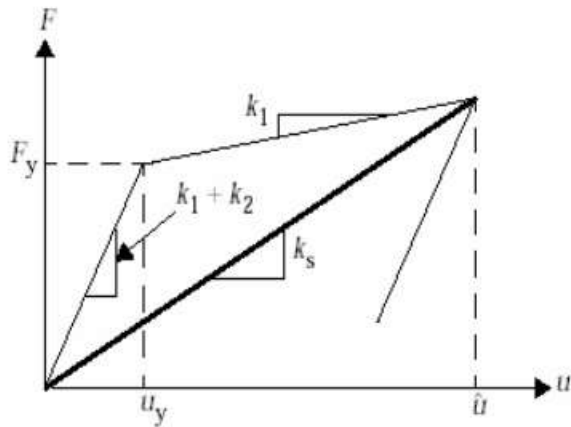
với μ là tỷ số độ dẻo

$$\mu = \frac{\hat{u}}{u_y} = \frac{\hat{\gamma}}{\gamma_y} \quad (5)$$

Trong đó:

- u_y là chuyển vị ứng với thời điểm bắt đầu có biến dạng dẻo trong chì

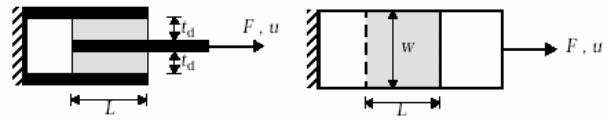
- γ_y là ứng suất chịu cắt của thiết bị cản, $u = \gamma t d$, $\hat{u} = \hat{\gamma} t d$



Hình 2. Mô hình gói đỡ bằng cao su có lõi chì - đáp ứng giả tĩnh



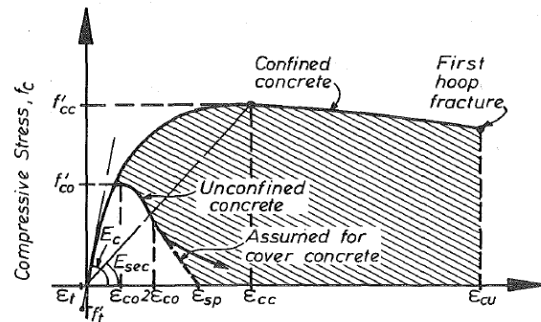
Hình 3. Gói đỡ LRBs chịu lực dọc trục (a) và chịu cắt (b)



Hình 4. Mô hình thiết bị cản đàn nhớt

3. MÔ HÌNH PHI TUYẾN VẬT LIỆU

Có rất nhiều mô hình phi tuyến vật liệu bê tông được nghiên cứu bởi nhiều tác giả khác nhau. Mỗi mô hình đều đáp ứng được những đòi hỏi riêng khi phân tích và tất cả đều đóng góp chung cho sự phát triển của kết cấu bê tông. Trong nghiên cứu này, tác giả sử dụng mô hình phi tuyến của Mander với lý do đơn giản là được hỗ trợ trong phần mềm ETAB 2016. Mô hình này được Mander đề xuất năm 1984, mối quan hệ ứng suất - biến dạng được nghiên cứu thực tế cho tiết diện bê tông hình chữ nhật và hình tròn xét đến ép ngang của bê tông. Hình 5 biểu thị mối quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông bị ép ngang. Diện tích phần gạch chéo của quan hệ ứng suất biến dạng đặc trưng cho phần năng lượng cộng thêm. Phần năng lượng này có thể bị tiêu tán trong tiết diện bê tông bị ép ngang, điều này rất quan trọng cho kết cấu chịu động đất vì nó làm tăng độ dẻo của kết cấu một cách đáng kể.



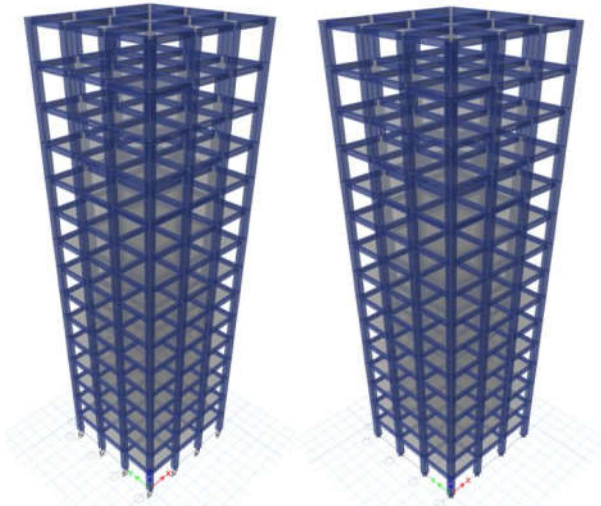
Hình 5. Mô hình Mander về quan hệ ứng suất - biến dạng bê tông bị ép ngang

4. KẾT QUẢ

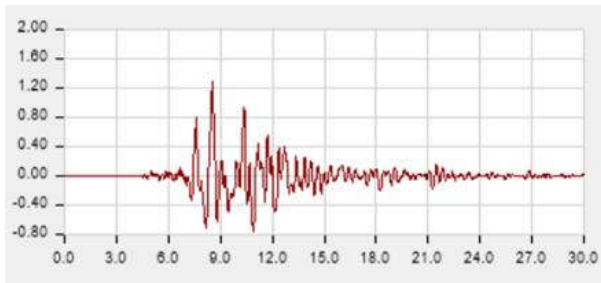
Mô hình nhà cao tầng được xét là giả định có chiều cao 15 tầng (60m), mặt bằng có kích thước 15m×15m chịu tải trọng động đất theo miền thời gian, xem Hình 6. Các dạng phân tích được dung là phi tuyến và tuyến tính. Hệ có có ngầm chân móng và gói cô lập móng (LRB). Những thông số tính chất vật liệu trong mô hình được liệt kê như sau: Cường độ chịu nén tiêu chuẩn $R_{bn}=18.5$ MPa, chịu kéo tiêu chuẩn $R_{bt}=1.6$ MPa, chịu nén tính toán $R_b=14.5$ MPa, chịu kéo tính toán $R_{bt}=1.05$ MPa. Mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông khi nén và khi kéo: $E_b=3 \times 10^3$ MPa. Thông số về gói cô lập móng được cho như trong bảng 1. Mô hình được thực hiện với phần mềm ETAB phiên bản 2016. Tải trọng động đất được gán từ một trận động đất có thực tại Kobe thuộc nước Mỹ với thời gian đo trong 30s được mô tả trong Hình 7.

Bảng 1. Thông số dùng cho gói cô lập móng (LRB)

U1 Linear Effective Stiffness	1500000 kN/m
U2 and U3 Linear Effective Stiffness	800 kN/m
U2 and U3 Nonlinear Stiffness	250 kN/m
U2 and U3 Yield strength	80 kN
U2 and U3 Post Yield stiffness ratio	0.1



Hình 6. Mô hình không gian công trình khảo sát



Hình 7. Động đất Kobe trong 30s

Bảng 2. Kết quả chu kỳ dao động của mô hình với liên kết LRB và liên kết ngàm

Số thứ tự	Chu kỳ dao động (s)		Chênh lệch (%)
	LK ngàm	LRB	
1	2.79	5.78	51.8
2	2.79	5.78	51.8
3	2.23	4.97	55.2
4	0.90	1.36	33.8
5	0.90	1.36	33.8
6	0.73	1.07	31.8
7	0.50	0.65	22.8
8	0.50	0.65	22.8
9	0.42	0.54	22.2
10	0.34	0.42	18.4
11	0.34	0.42	18.4
12	0.29	0.35	18.1

4.1 So sánh kết quả giữa liên kết ngàm và liên kết LRB

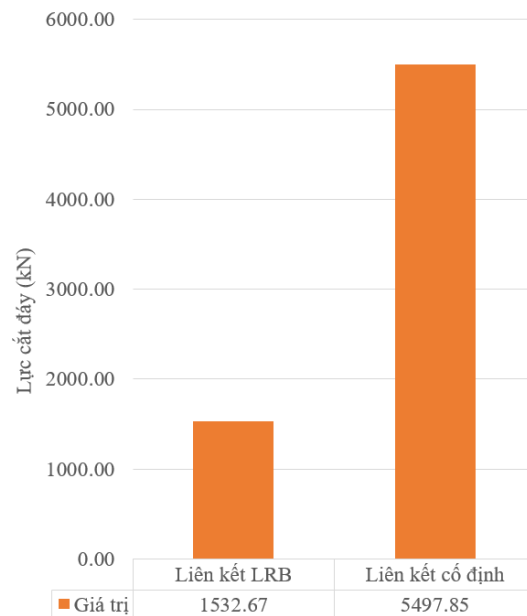
Kết quả thu được khi phân tích tuyến tính được thể hiện thông qua ba mục tiêu khảo sát. Đầu tiên là chu kỳ dao động của công trình, Bảng 2 cho thấy chu kỳ dao động của mô hình với liên kết LRB là lớn hơn nhiều so với liên kết ngàm. Lớn nhất là ở mode dao động đầu tiên với độ chênh lệch là gần 52%, sau đó độ chênh lệch giảm dần theo số thứ tự tầng dần của mode dao động.

Hình 8 biểu thị giá trị lực cắt đáy công trình với hai kiểu liên kết khác nhau. Dễ dàng nhận thấy lực cắt đáy khi dùng liên kết ngàm là lớn hơn nhiều, gấp 3.6 lần khi dùng liên kết LRB. Tuy nhiên, tổng moment đáy công trình là tương đối gần nhau với độ chênh lệch là 9.58%, trong đó liên kết ngàm có moment cao hơn với độ lớn 492568.29 kNm, liên kết LRB là 445362.76 kNm. Hình 9a,b mô tả đáp ứng động của lực cắt đáy khi động đất xảy ra. Trong giai đoạn đầu thì ứng xử của kết cấu là giống nhau, tuy nhiên khi biên độ dao động rất (sự rung lắc lớn) thì gối cô lập LRB có sự tiêu tán năng lượng nên đỉnh của lực cắt đáy bé trong khi liên kết ngàm thì đỉnh lực cắt lớn.

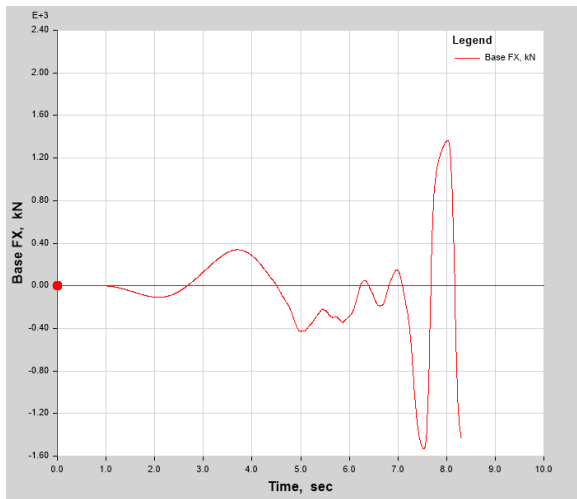
Cuối cùng, để giải thích cho hiện tượng về sự khác biệt nội lực có lợi khi dùng gối LRB chịu tải động đất là do chuyển vị lệch tầng bé nên biến dạng tương đối là bé. Do đó, sự phát sinh nội lực là nhỏ hơn khi so sánh với liên kết ngàm, Hình 10 minh họa về chuyển vị lệch tầng giữa hai liên kết.

4.2 So sánh kết quả khi công trình chỉ dùng gối LRB nhưng được phân tích tuyến tính và phi tuyến

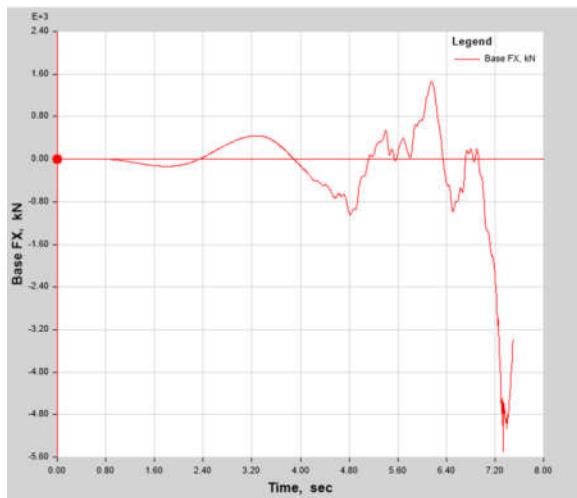
Kết quả thu được sau khi thực hiện tương tự giữa phân tích tuyến tính và phi tuyến vật liệu. Hình 11 minh họa chuyển vị toàn bộ công trình theo cách phân tích, dữ liệu từ hình ảnh cho thấy chuyển vị khi phân tích tuyến tính là lớn hơn nhiều, gấp 4 lần, khi phân tích phi tuyến. Như vậy với cách phân tích phi tuyến thông thường thì gây ra lãng phí không cần thiết vì chưa xét hết khả năng làm việc của vật liệu. Đặc biệt, giá trị lực cắt thu được từ phân tích phi tuyến (5218.34kN) rất hơn rất nhiều so với phân tích tuyến tính (1532.67kN), gấp 3.9 lần. Điều này gây nên lãng phí tài nguyên khi phải gia cố thêm cốt thép để chịu cắt. Thêm nữa, giá trị moment trong trường hợp phân tích phi tuyến cũng nhỏ hơn phân tích tuyến tính tương ứng với giá trị lần lượt là 445362 kNm và 642821 kNm. Độ chênh lệch này là khoảng 30%.



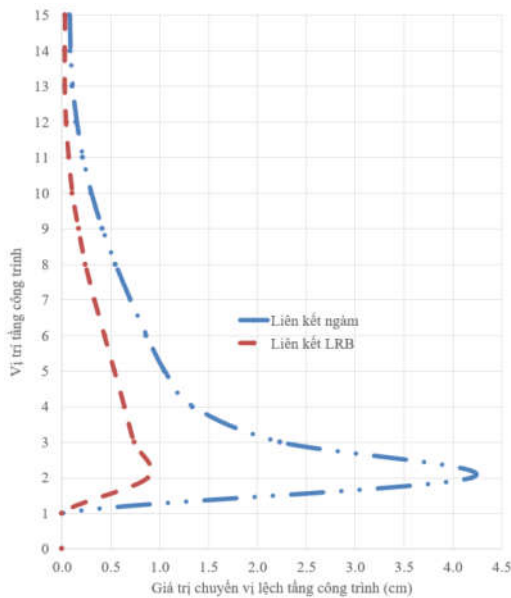
Hình 8. Giá trị lực cắt tại đáy công trình giữa hai liên kết



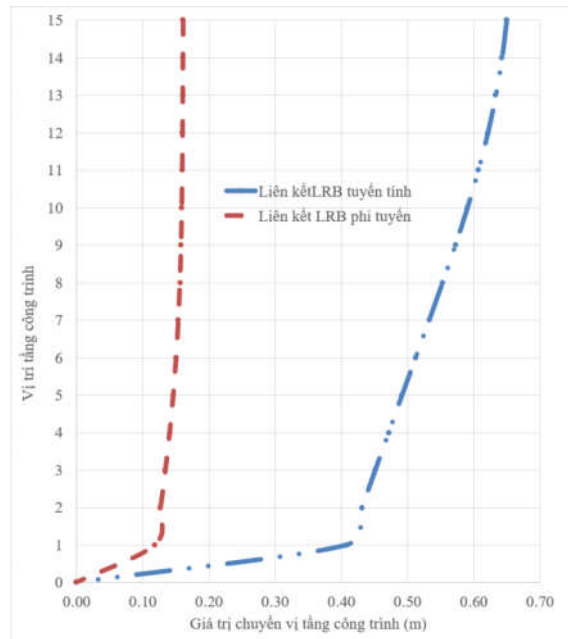
Hình 9a. Dao động của lực cắt đáy theo thời gian (RLB)



Hình 9b. Dao động của lực cắt đáy theo thời gian (Ngàm)



Hình 10. Giá trị chuyển vị lệch tầng công trình liên kết ngàm và LRB



Hình 11. Giá trị chuyển vị tầng công trình gối cô lập móng (LRB) trường hợp tuyến tính và phi tuyến

5. KẾT LUẬN

Từ kết quả phân tích, có thể nhận thấy rằng để giảm ảnh hưởng do tác động của địa chấn đến kết cấu công trình, giải pháp dùng gối cô lập móng (LRB) mang lại hiệu quả cao. Bên cạnh đó, việc phân tích kết cấu chịu địa chấn có xét đến phi tuyến vật liệu giúp đánh giá đúng ứng xử của kết cấu.

Từ những vấn đề quan sát cho thấy rằng lực cắt, moment, chuyển vị giảm dần khi dùng gối LRB thay cho liên kết ngàm. Đồng thời chuyển vị lệch tầng cũng giảm đáng kể khi dùng gối LRB. Cuối cùng, nội lực trong kết cấu nhà cao tầng giảm đáng kể khi dùng gối cô lập móng, dẫn đến ít tổn kém về mặt gia cường cốt thép. Sở dĩ có được điều này là do gối LRB hấp thụ và tiêu tán một phần năng lượng do động đất gây ra. Từ đó giảm thiểu đáng kể sự tác động lên kết cấu nhà cao tầng.

Như trên đã nhắc đến, việc phân tích phi tuyến cho kết quả nội lực nhỏ hơn nhiều khi phân tích tuyến tính do tận dụng hết khả năng làm việc của vật liệu. Từ đó giảm thiểu đáng kể lượng tài nguyên cấu thành nên công trình.

Tuy nhiên, để có cái nhìn tổng quát hơn, những nghiên cứu tiếp theo cần thực hiện phân tích với nhiều mô hình phi tuyến vật liệu hơn để đánh giá mô hình phù hợp. Đồng thời, cần đánh giá lại liên kết LRB với nhiều kết cấu nền khác nhau và kết cấu khung nhà khác nhau để tạo nên một cơ sở dữ liệu hoàn chỉnh cho nhà nghiên cứu mới cũng như dữ liệu cho người kỹ sư thiết kế.

6. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Huỳnh Quốc Hùng Giáo trình. *Kết cấu nhà cao tầng bê tông cốt thép*. Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, **2012**.
- [2] Lê Thanh Huân. *Kết cấu nhà cao tầng bê tông cốt thép*. Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội, **2007**.
- [3] Nguyễn, Ninh Le. *Động đất và thiết kế công trình chịu động đất*, Nhà xuất bản Xây Dựng, **2008**.
- [4] Ngô Thế Phong, Phan Quang Minh. *Kết cấu nhà bê tông – Cốt thép*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, **2015**.
- [5] A.M. Mwafy, A.S Elnashai. *Static Pushover versus Dynamic Analysis of R/C Buildings*. Engineering Structures 23, **2001**, 407-424.

- [6] A.S. Moghadam. *A Pushover Procedure for Tall Buildings*, 12 *European Conference on Earthquake Engineering*, Paper Reference 395, **2012**.
- [7] Baker, S.E., William F.; Pawlikowski, S.E., James J. *SAP2000 & ETABS*, **2009**.
- [8] B. Gupta. *Enhanced pushover Procedure and Inelastic Demand Estimate for Performance - Based Seismic Evaluation of Building*, Ph.D Dissertation, University of Central Florida, Orlando, FL, **1999**.
- [9] C. Chintanapakdee, A.K. Chopra. *Evaluation of modal pushover analysis using generic frames*. *Earthquake engineering and structural dynamics*, **2003**, 32, 417-442.
- [10] Dr. Bungale S.Taranath. *Reinforced Concrete Design of Tall building*, **2010**.