



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Ảnh hưởng của kích thước hình học đến sự thay đổi nội lực trong mô hình khung nhà nhiều tầng chịu tải trọng động đất

Đặng Văn Phi *, Nguyễn Văn Mạnh, Bùi Văn Đức, Phạm Thị Nhân

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 15/6/2017
Chấp nhận 20/7/2017
Đăng online 28/2/2018

Từ khóa:

Khung nhà nhiều tầng
Tải trọng động đất
Kích thước hình học
Lý thuyết tương tự

TÓM TẮT

Dự báo sự thay đổi nội lực trong kết cấu khung nhà nhiều tầng đóng vai trò quan trọng trong tính toán thiết kế cũng như ổn định công trình dân dụng, đặc biệt khi công trình chịu tải trọng động đất. Dựa trên lý thuyết tương tự, bài báo nghiên cứu ảnh hưởng của kích thước hình học đến sự thay đổi về nội lực trong mô hình khung nhà nhiều tầng chịu tải trọng động đất thông qua việc tính toán với các số tỷ lệ kích thước hình học khác nhau, giữa mô hình mô phỏng và mô hình bài toán thực (nguyên hình). Kết quả nghiên cứu với các tỷ lệ kích thước khác nhau của cấu kiện chịu lực cơ bản của khung nhà nhiều tầng (cột, dầm) cho thấy sự sai số về nội lực giữa các mô hình và nguyên hình là tương đối lớn, sự sai số này phụ thuộc vào kích thước hình học của mô hình. Vì vậy, khi xây dựng mô hình để nghiên cứu ứng xử của kết cấu chịu lực chính (kết cấu khung) trong nhà cao tầng cần đặc biệt chú ý đến việc lựa chọn tỷ lệ kích thước hình học của cấu kiện chịu lực chính nói riêng, của mô hình nói chung để hạn chế sai số giữa đại lượng mô hình và nguyên hình.

© 2018 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Nghiên cứu ứng xử cơ học cũng như dự báo sự thay đổi thành phần nội lực trong kết cấu công trình đóng vai trò hết sức quan trọng trong việc giải quyết bài toán độ bền, độ ổn định của công trình, đặc biệt khi công trình chịu tải trọng động đất. Trong lĩnh vực kết cấu nhà cao tầng, đã có một số phương pháp được sử dụng để phân tích, nghiên cứu và tính toán định lượng sự thay đổi của các thành phần nội lực, chuyển vị của kết cấu. Hiện nay đã có khá nhiều phương pháp được

nghiên cứu và áp dụng, trong đó có phương pháp sử dụng mô hình tương đương. Ưu điểm của phương pháp này là quá trình tính toán đơn giản và có thể áp dụng cho các loại công trình khác nhau. Sử dụng phương pháp mô hình tương đương để nghiên cứu tính toán công trình đã được một số tác giả trong và ngoài nước nghiên cứu (Đặng Văn Phi, 2014; Võ Văn Thảo, 2013; Nguyễn Võ Thông và nnk, 2013; Yue, 2008; Moncarz and Karawinkler, 1981), trong đó chủ yếu tập trung vào việc xây dựng lý thuyết tương tự, nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu, tải trọng và thời gian tác dụng của tải trọng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu trong mô hình; các nghiên cứu trên chưa đề cập nhiều tới sự ảnh hưởng của kích thước

*Tác giả liên hệ

E-mail: dangvanphi@khoaxaydung.edu.vn

hình học đến sự thay đổi nội lực trong mô hình tính tương đương, đặc biệt khi mô hình chịu tải trọng động. Để phản ánh chính xác ứng xử của nguyên hình, các tham số của mô hình tương đương như kích thước hình học (tỷ lệ chiều cao, kích thước tiết diện cấu kiện), chủng loại vật liệu phải được tính toán và lựa chọn một cách phù hợp trước khi mô hình được sử dụng để nghiên cứu. Các mô hình tương đương thường được thiết kế với kích thước hình học và quy mô nhỏ hơn với nguyên hình, tuy nhiên luôn dựa trên nguyên tắc mô phỏng chính xác được dạng liên kết, chủng loại vật liệu sử dụng, trạng thái làm việc và kết cấu của công trình.

Trong kỹ thuật mô hình hóa, các tham số tỷ lệ tương tự được tạo thành bởi tỷ số những đại lượng của các biến số tương ứng giữa nguyên hình và mô hình. Gọi (s) là tỷ số giữa đại lượng nguyên hình (N) trên đại lượng mô hình (M) , phương trình (1) thể hiện mối liên hệ giữa các đại lượng của mô hình và nguyên hình (Võ Văn Thảo, 2013).

$$(s) \frac{(N)}{(M)} \Rightarrow (N) = (s) \cdot (M) \quad (1)$$

Hướng tới mục tiêu làm rõ được ảnh hưởng của kích thước hình học tới sự thay đổi các thành phần nội lực trong khung nhà nhiều tầng chịu tải trọng động, bài báo sử dụng nguyên lý của mô hình tương đương xây dựng mô hình để nghiên cứu sự thay đổi của thành phần nội lực ứng với những giá trị cụ thể của kích thước hình học của kết cấu khung nhà nhiều tầng; trong đó hai cấu kiện chịu lực chính của kết cấu khung nhà nhiều tầng bê tông cốt thép là dầm và cột được xem xét.

2. Lý thuyết tương tự và mối quan hệ giữa các tham số tỷ lệ tương tự

2.1. Cơ sở lý luận của lý thuyết tương tự

Trạng thái của đối tượng nguyên hình, mô hình và các hiện tượng xảy ra trong quá trình tồn tại của chúng là những đặc trưng vật lý, những nguyên nhân phát sinh ra các đặc trưng vật lý đó trong chúng sẽ có cùng chung các định luật vật lý như nhau. Đó là điều kiện tương tự vật lý. Khi đó, những điều kiện tương tự hình học giữa nguyên hình và mô hình là những điều kiện tương tự bắt buộc, khi trạng thái của nguyên hình và mô hình phụ thuộc yếu tố thời gian. Nếu đảm bảo được những điều kiện tương tự đó, thì từ những kết quả

nhận được trên mô hình hoàn toàn có thể suy ra cho đối tượng nguyên hình nhờ các mối liên hệ khách quan giữa chúng với nhau.

Các định luật của sự tương tự

- Định luật thứ nhất của sự tương tự: Đối với những hiện tượng tương tự các chỉ tiêu tương tự bằng 1, các tỷ số không thứ nguyên của những tham số có mang thứ nguyên tương ứng nào đó trong những hiện tượng tương tự là bất biến.

- Định luật thứ hai của sự tương tự: Một phương trình đầy đủ Φ bất biểu diễn một hiện tượng hay một quá trình vật lý cần được khảo sát nào đó, được viết trong một hệ đơn vị xác định, có thể thể hiện được thành một phương trình Φ' chứa các biến số không thứ nguyên.

- Định luật thứ ba của sự tương tự: Điều kiện cần và đủ để những hiện tượng nghiên cứu là tương tự khi chúng có cùng chung một phương trình biểu diễn trạng thái, có những điều kiện ban đầu và những điều kiện biên tương tự với nhau.

Theo lý thuyết tương tự, quan hệ của các tham số trên có thể được biểu thị dưới dạng phương trình vật lý mô tả trạng thái làm việc của đối tượng nghiên cứu, với các tham số ảnh hưởng. Phương trình này có dạng tổng quát sau (Nguyễn Võ Thông và nnk., 2013):

$$\Phi[L, u, \rho, E, \varepsilon, F, \sigma, g, a, v, f, T, E_n, t] \quad (1)$$

Thông qua các quan hệ thứ nguyên của các tham số, phương trình trạng thái (2) có thể viết lại dưới dạng (3):

$$\Phi' \left[\frac{u}{L}, \frac{\rho g L}{E}, \varepsilon, \frac{F}{EL^2}, \frac{\sigma}{E}, \frac{at^2}{L}, \frac{vt}{L}, fT, \frac{E_n}{EL^3} \right] \quad (2)$$

Từ phương trình (3) các số tỷ lệ tương tự của các tham số tương ứng theo các định luật của sự tương tự được xác định.

Trong đó: u - Chuyển vị, thứ nguyên $[L]$; ε - Biến dạng dài tương đối, thứ nguyên $[L]$; E - Môđun đàn hồi, thứ nguyên $[ML^{-1}T^{-2}]$; F - Lực tập trung, thứ nguyên $[MLT^{-2}]$; σ - Ứng suất, thứ nguyên $[ML^{-1}T^{-2}]$; t - Thời gian, thứ nguyên $[T]$; g - Gia tốc trọng trường, thứ nguyên $[LT^{-2}]$; a - Gia tốc chuyển động, thứ nguyên $[LT^{-2}]$; v - Tốc độ chuyển động, thứ nguyên $[LT^{-1}]$; f - Tần số dao động, thứ nguyên $[T^{-1}]$; T - Chu kỳ, thứ nguyên $[T]$; E_n - Năng lượng, thứ nguyên $[ML^2T^{-2}]$; V - Thể tích, thứ nguyên $[L^3]$; m - Khối lượng, thứ nguyên $[M]$; ρ - Khối lượng riêng, thứ nguyên $[ML^{-3}]$.

2.2. Mối quan hệ giữa các số tỷ lệ tương tự

Theo lý thuyết Mô hình hóa, để mô hình thí nghiệm (mô hình) làm việc tương tự như công trình hoặc kết cấu thực (nguyên hình) thì các đặc trưng liên quan đến mô hình thí nghiệm (về hình học, vật liệu, đặc trưng cơ - lý, đặc trưng động học, năng lượng, v.v.) và điều kiện thí nghiệm (tải trọng, thời gian, nhiệt độ, v.v.) phải được thiết lập trên nguyên lý tương tự vật lý với nguyên hình và điều kiện làm việc của mô hình (kết cấu) trong thực tế. Khi đó, từ những kết quả nhận được trên mô hình có thể suy ra cho nguyên hình thông qua các tham số tỷ lệ tương tự và ngược lại (Võ Văn

Thảo, 2013; Yue, 2008; Moncarz and Karawinkler, 1981).

Lý thuyết và các kết quả nghiên cứu cho thấy, các mối quan hệ về thứ nguyên cho các tham số đặc trưng của một đối tượng nguyên hình tồn tại trong tự nhiên hoặc nhân tạo luôn có thể được thiết lập thông qua một số tham số độc lập cơ bản. Với trường hợp nguyên hình khảo sát là công trình hoặc kết cấu chịu tải trọng động và sử dụng hệ đo lường quốc tế (SI) thì các mối quan hệ thứ nguyên đó được biểu diễn thông qua thứ nguyên của các đơn vị đo lường M (Khối lượng), L (Độ dài), T (Thời gian) (Vo Van Thao, 2013).

Bảng 1. Mối quan hệ giữa các tham số tỷ lệ tương tự.

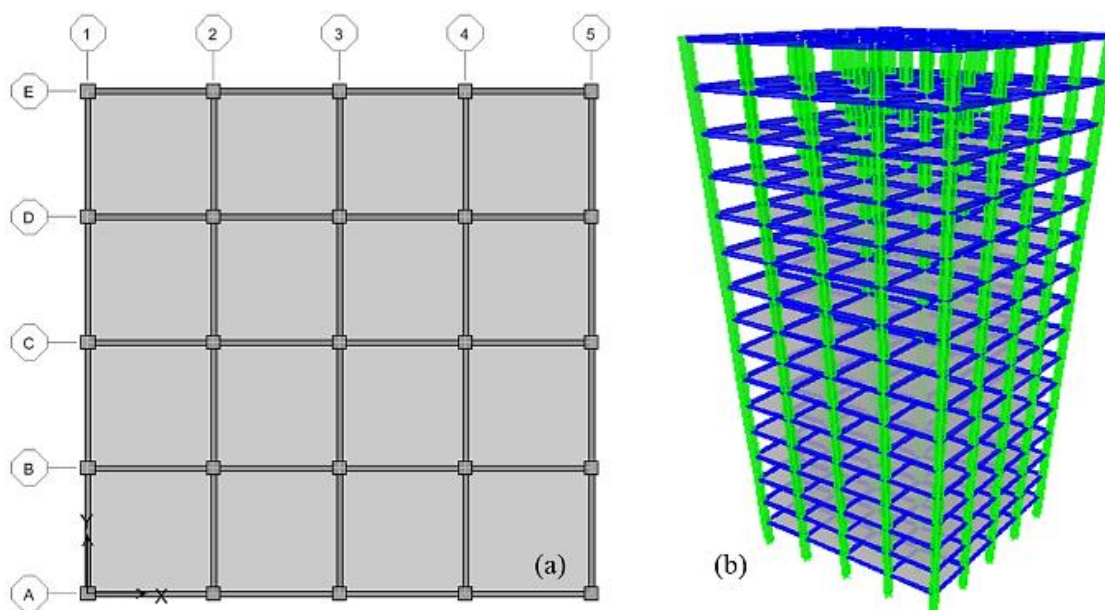
Tham số tỷ lệ tương tự		Phương trình liên hệ giữa các tham số tỷ lệ tương tự
Hình học	Tham số tỷ lệ tương tự độ dài s_L	$s_L = \frac{L_N}{L_M}$
	Tham số tỷ lệ tương tự chuyển vị s_u	$s_u = s_L$
	Tham số tỷ lệ tương tự biến dạng s_ϵ	$s_\epsilon = 1$
	Tham số tỷ lệ tương tự diện tích s_A	$s_A = s_L^2$
	Tham số tỷ lệ tương tự thể tích s_v	$s_v = \frac{L_N^3}{L_M^3} = s_L^3$
Vật liệu	Tham số tỷ lệ tương tự Poisson s_μ	$s_\mu = 1$
	Tham số tỷ lệ tương tự mô đun đàn hồi s_E	$s_E = \frac{E_N}{E_M}$
	Tham số tỷ lệ tương tự khối lượng đơn vị thể tích s_γ	$s_\gamma = \frac{\gamma_N}{\gamma_M} = \frac{s_\sigma}{s_L} = \frac{s_E}{s_L}$
Môi trường	Tham số tỷ lệ tương tự lực phân bố đường s_q	$s_q = \frac{q_N}{q_M} = s_\sigma s_L = s_E s_L$
	Tham số tỷ lệ tương tự lực phân bố mặt s_p	$s_p = \frac{q_N}{q_M} = s_\sigma s_L = s_E s_L$
	Tham số tỷ lệ tương tự lực tập trung s_F	$s_F = \frac{F_N}{F_M} = s_\sigma s_L^2 = s_E s_L^2$
	Tham số tỷ lệ tương tự mô men s_M	$s_M = \frac{M_N}{M_M} = s_\sigma s_L^3 = s_E s_L^3$
	Tham số tỷ lệ tương tự vận tốc s_v	$\left(\frac{v \cdot t}{L}\right)_N = \left(\frac{v \cdot t}{L}\right)_M \rightarrow \frac{s_v \cdot s_t}{s_L} = 1 \rightarrow s_v = \frac{s_L}{s_t}$
	Tham số tỷ lệ tương tự gia tốc s_a	$\left(\frac{a \cdot t^2}{L}\right)_N = \left(\frac{a \cdot t^2}{L}\right)_M \rightarrow \frac{s_a \cdot s_t^2}{s_L} = 1 \rightarrow s_a = \frac{s_L}{s_t^2}$
	Tham số tỷ lệ tương tự chu kỳ s_f và tần số s_T	$(f \cdot T)_N = (f \cdot T)_M \rightarrow s_f \cdot s_t = 1$
	Tham số tỷ lệ tương tự ứng suất s_σ	$s_\sigma = \frac{\sigma_N}{\sigma_M} = \frac{E_N \cdot \epsilon_N}{E_M \cdot \epsilon_M} = s_E \cdot s_\epsilon$
	Tham số tỷ lệ tương tự năng lượng s_{En}	$\left(\frac{E_n}{EL^3}\right)_N = \left(\frac{E_n}{EL^3}\right)_M \rightarrow \frac{s_{En}}{s_E \cdot s_L^3} = 1 \rightarrow s_{En} = s_E \cdot s_L^3$

Một trong những nội dung cơ bản của lý thuyết tương tự là xây dựng mối liên hệ phụ thuộc giữa các đại lượng ở trạng thái ban đầu và trong quá trình làm việc giữa đối tượng nguyên hình và mô hình, hay nói cách khác là xác lập những tham số tỷ lệ tương tự giữa những tham số tương ứng của nguyên hình và mô hình khảo sát. Do đó, mối liên hệ giữa các số tỷ lệ tương tự thông qua số tỷ lệ độ dài được thể hiện trên Bảng 1 (Đặng Văn Phi, 2014; Võ Văn Thảo, 2013; Nguyễn Võ Thông và nnk., 2013).

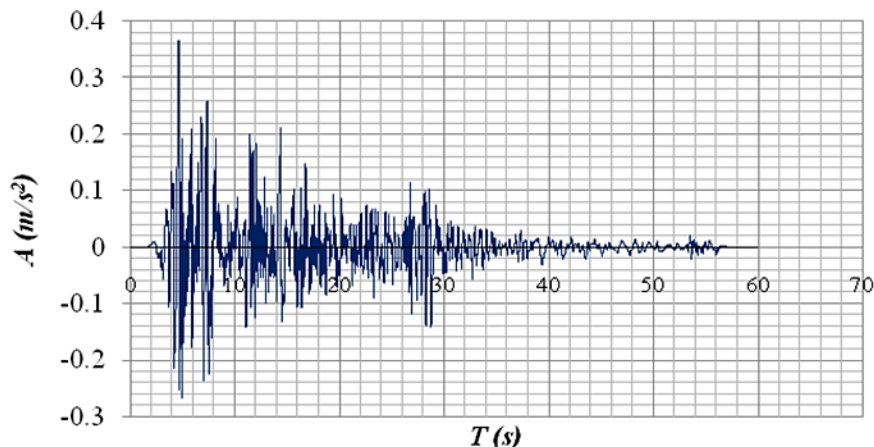
3. Mô phỏng và tính toán nội lực công trình

Trong phần này tác giả sử dụng công trình (Hình 1) để khảo sát, đối tượng nguyên hình là

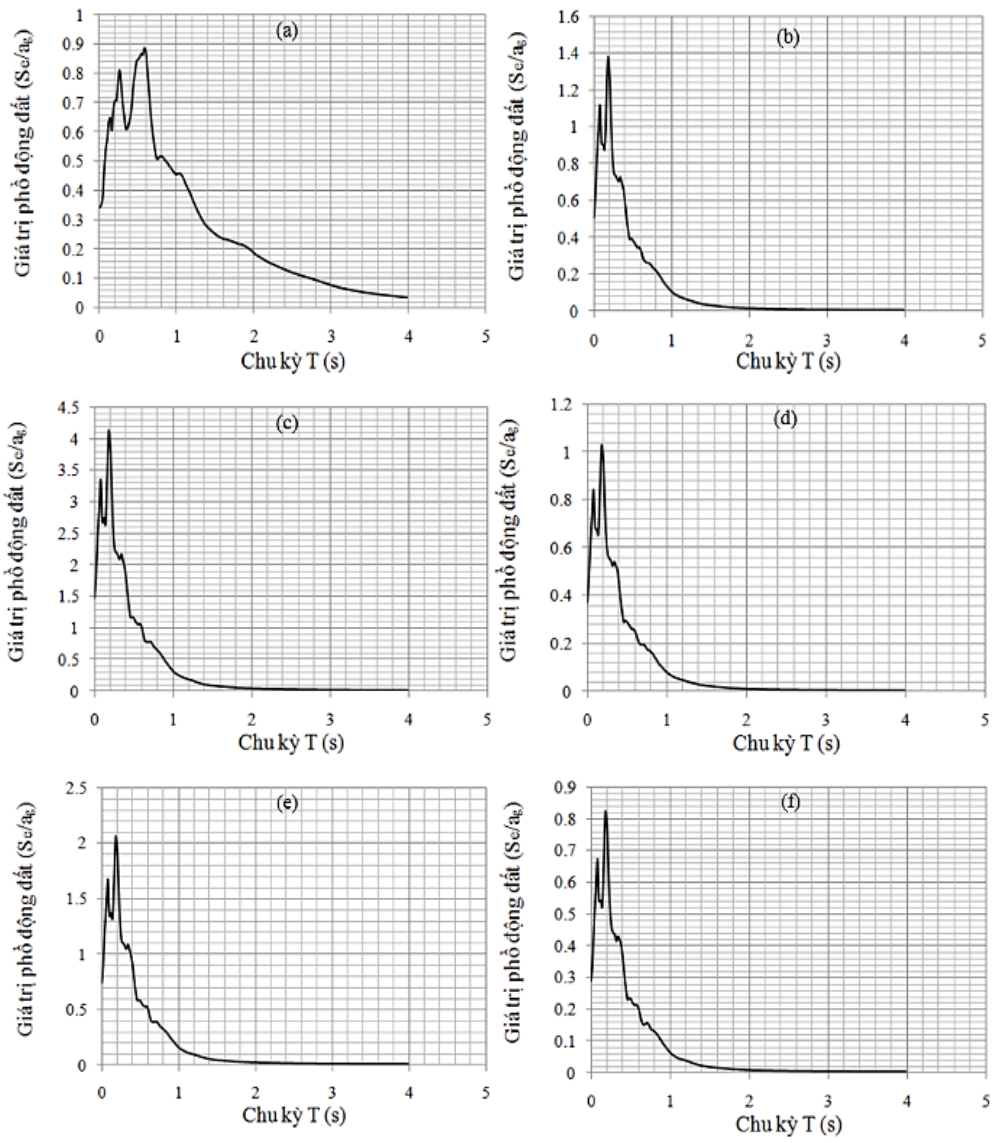
công trình gồm 16 tầng; chiều cao tầng 3,6 m; tiết diện cột 500x500 mm; tiết diện dầm 200x400 mm; chiều dày sàn 120 mm. Lần lượt thay đổi kích thước hình học của công trình, ứng với các số tỷ lệ hình học từ $s_L = 1$; $s_L = 2$; $s_L = 4$; $s_L = 6$; $s_L = 8$ và $s_L = 10$ có được các mô hình tính toán tương ứng. Những mô hình này được mô phỏng và tính toán dựa trên phần mềm Etabs 9.7.1. Tải trọng động đất (Hình 2) được đưa vào tính toán cho các mô hình là gia tốc đồ của trận động đất Elcentro (California, Hoa Kỳ, năm 1940). Sau đó sử dụng chương trình Seismo Artif để tạo ra phổ phản ứng đàn hồi của trận động đất tương ứng với các tham số tỷ lệ tương tự độ dài s_L .



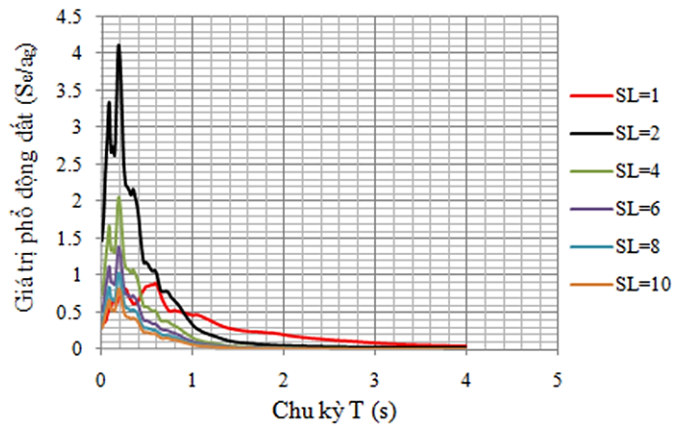
Hình 1. Mô hình công trình trên phần mềm Etabs 9.7.1; (a) Mặt bằng công trình; (b) Mô hình 3D công trình.



Hình 2. Gia tốc đồ của trận động đất El centro (Gia tốc nền A, Thời gian T).



Hình 3. Phổ phản ứng động đất ứng với các giá trị s_L khác nhau - (a) $s_L = 1$; (b) $s_L = 6$; (c) $s_L = 2$; (d) $s_L = 8$; (e) $s_L = 4$; (f) $s_L = 10$.



Hình 4. Tổng hợp phổ phản ứng động đất ứng với các giá trị s_L .

Sau khi đưa gia tốc đồ Elcentro vào phân tích và tổ hợp phổ phản ứng bằng chương trình Seismo Artif thu được các kết quả:

+ Ứng với $s_L = 1$, sai số là 9,64% với gia tốc (PGA) trung bình bằng 0,344 (g); vận tốc (PGV) trung bình bằng 33,345 (cm/s); chuyển vị (PGD) trung bình bằng 0,135 (m).

+ Ứng với $s_L = 2$, sai số 9,47% với gia tốc (PGA) trung bình bằng 1,472 (g); vận tốc (PGV) trung bình bằng 48,313 (cm/s); chuyển vị (PGD) trung bình bằng 0,329 (m).

+ Ứng với $s_L = 4$, sai số 9,52% với gia tốc (PGA) trung bình bằng 0,744 (g); vận tốc (PGV) trung bình bằng 24,222 (cm/s); chuyển vị (PGD) trung bình bằng 0,169 (m).

+ Ứng với $s_L = 6$, sai số 9,34% với gia tốc (PGA) trung bình bằng 0,508 (g); vận tốc (PGV) trung bình bằng 15,881 (cm/s); chuyển vị (PGD) trung bình bằng 0,100 (m).

+ Ứng với $s_L = 8$, sai số 9,41% với gia tốc (PGA) trung bình bằng 0,372 (g); vận tốc (PGV) trung bình bằng 11,919 (cm/s); chuyển vị (PGD) trung bình bằng 0,077 (m).

+ Ứng với $s_L = 10$, sai số 9,57% với gia tốc (PGA) trung bình bằng 0,290 (g); vận tốc (PGV) trung bình bằng 9,796 (cm/s); chuyển vị (PGD) trung bình bằng 0,071 (m).

Dựa vào kết quả phân tích và tổ hợp, xây dựng được các đường cong phổ phản ứng động đất (Hình 3, Hình 4); công trình được tính toán với các giá trị của phổ động đất này dựa trên phần mềm Etabs 9.7.1 tương ứng với các giá trị s_L , kết quả về nội lực được thể hiện trên hình vẽ (Hình 5, Hình 6 và Hình 7).

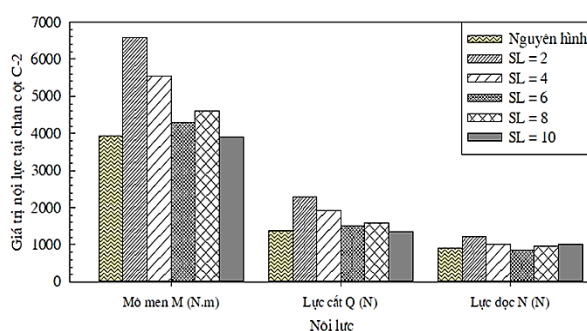
+ Nội lực tại vị trí chân cột C-2 (Hình 5), sai số về nội lực giữa các mô hình ($s_L=2; s_L=4$) và nguyên hình tương đối lớn; mô hình ứng với $s_L=6$ có sai số về nội lực nhỏ hơn 10%; mô hình ứng với $s_L=8$ với sai số về mômen (M) và lực cắt (Q) nhỏ hơn 18%, riêng lực dọc (N) có sai số nhỏ hơn 5%; mô hình ứng với $s_L=10$ có sai số rất nhỏ về mômen (M) và lực cắt (Q) nhỏ hơn 1%, lực dọc (N) sai số là 11,71%.

+ Kết quả so sánh nội lực trong dầm D-1 (Hình 6, Hình 7), cho thấy sai số về nội lực giữa các mô hình và nguyên hình đều nhỏ hơn 24%. Với mô hình có $s_L=8$ sai số nhỏ hơn 10% và mô hình có $s_L=4$ sai số nhỏ hơn 5%.

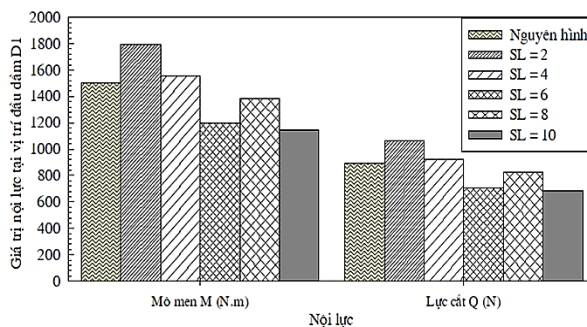
4. Kết luận

Bài báo trình bày các mối liên hệ giữa các tham số tỷ lệ tương tự thông qua các quan hệ thứ nguyên của các tham số trong phương trình trạng thái. Kết quả nghiên cứu cho thấy, nội lực thực tế của công trình (nguyên hình) có thể được xác định dựa trên các mô hình thu nhỏ (mô hình thí nghiệm) nhân với các số tỷ lệ tương ứng.

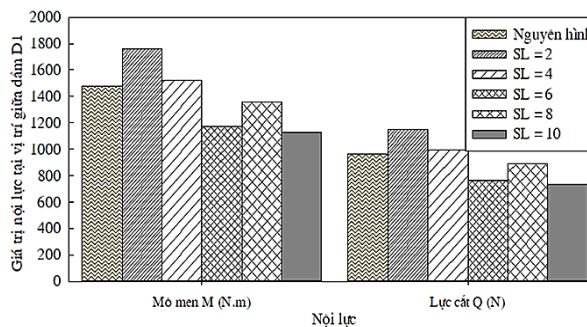
Bài báo trình bày kết quả tính toán và so sánh giá nội lực tại vị trí cột C-2 và dầm D-1 của mô hình công trình thực ($s_L = 1$) và các mô hình công trình thu nhỏ tương ứng với số tỷ lệ độ dài là $s_L = 2; s_L = 4; s_L = 6; s_L = 8$ và $s_L = 10$.



Hình 5. Ảnh hưởng của tham số tỷ lệ tương tự độ dài s_L đến nội lực trong cột.



Hình 6. Ảnh hưởng của số tỷ lệ độ dài s_L đến nội lực tại vị trí đầu dầm.



Hình 7. Ảnh hưởng của số tỷ lệ độ dài s_L đến nội lực tại vị trí giữa dầm.

Kết quả cho thấy sự khác nhau về sai số nội lực giữa các mô hình thu nhỏ và mô hình công trình thực. Vì vậy, khi nghiên cứu xây dựng mô hình làm thí nghiệm thì cần lưu ý đến việc thay đổi tham số độ dài s_L để hạn chế sự sai số giữa đại lượng mô hình và mô hình công trình thực.

Tài liệu tham khảo

- Chen, Y., Lu, X., Lu, W., Zhou, Y., 2008. Test Design a Shaking table Model for a Super Tall Building with High level Transfer Story, Proceedings of 14 th. *World Conference on Earthquake Engineering*. October 12-17, Beijing, China.
- Đặng Văn Phi, 2014. Nghiên cứu xác định các thông số đặc trưng của mô hình thí nghiệm cho kết cấu nhà cao tầng chịu tác dụng của tải trọng động đất. *Luận văn thạc sĩ*, 2014, 10-16.
- Nguyễn Võ Thông và nhóm nghiên cứu, 2013. Xây

dựng các tiêu chuẩn tương tự trong bài toán mô hình hóa chịu tác dụng động. *Tuyển tập báo cáo Hội nghị Khoa học kỷ niệm 50 năm thành lập Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng*, Hà Nội, tr. 327.

- Phùng Văn Lự, 2006. Giáo trình vật liệu xây dựng. *Nhà xuất bản giáo dục*, Hà Nội.
- Piotr, D. M., Helmut, K., 1981. Theory and Application of Experimental Model Analysis Earthquake Engineering, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford University.
- Võ Văn Thảo, 2013. Nghiên cứu thực nghiệm kết cấu xây dựng - Phương pháp mô hình hóa. Bài giảng cho các lớp cao học và nghiên cứu sinh chuyên ngành xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp, Hà Nội.

ABSTRACT

The influence of geometric scaling model on the changes in internal forces of high-rise building structures subjected to earthquake

Phi Van Dang, Manh Van Nguyen, Duc Van Bui, Nhan Thi Pham

Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam.

Prediction of the changes in internal forces developed in high-rise building structures play a vital role in structural element design as well as in dealing with stability of super-structures, especially when subjected to seismic load, earthquake for example. Recently, several methods have been investigated and proposed heading to examine the behaviour of the super-structures. Among the current methods, full scale physical exercise provide accurate results, but it costly and take time to achieve a work done; hence this method is rarely used. Based on the equivalent concept, the use of equivalent physical model has become common, since this method is low-priced and be able to predict the behaviour of actual structural well. The paper is also based on the equivalent hypothesis to assess the effects of geometric scaling model on the changes in internal forces developed in high-rise building structures by conducting a series of numerical computations, in which two main elements of super-structures were taken into accounts such as column and beam ratios between simulated model to that of actual model. The obtained results indicate that there are significant differences in calculated results of smaller numerical models to that of actual ones. Consequently, care must be paid when investigating the behaviour of super-structures via small-scale model, even with numerical or physical manners.