

PHÂN TÍCH HỆ SỐ ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU NHÀ CAO TẦNG BÊ TÔNG CỐT THÉP

ANALYSIS BEHAVIOR FACTOR APPLIED IN REINFORCED CONCRETE DESIGN OF TALL BUILDING

NGUYỄN TRẦN TRUNG^(*) và VŨ NGỌC QUANG^(**)

TÓM TẮT: Nghiên cứu này tập trung làm rõ giá trị hệ số ứng xử q của một công trình 20 tầng bằng bê tông cốt thép với giải pháp kết cấu cụ thể theo yêu cầu của kiến trúc. Giá trị q được xác định bằng việc áp dụng theo TCVN 9386-2012 và do tác giả đề xuất dựa trên công thức phổ phản ứng đàn hồi thiết kế trong TCVN 9386-2012 với công cụ MS Excel 2016 kết hợp với phần mềm phân tích phần tử hữu hạn Etabs 2016.

Từ khóa: Hệ số ứng xử, thiết kế kết cấu bê tông cốt thép, tải trọng động đất, kết cấu nhà cao tầng.

ABSTRACT: This study focuses on clarifying the value of behavior factor q of a 20-storey building with reinforced concrete (RC) with specific structural solutions at the request of Architecture. Values of q are determined by applying TCVN 9386-2012 and by the author based on a formula proposed universal design elastic response of TCVN 9386-2012 with MS Excel 2016 tools combined with analysis finite element software ETABS 2016.

Key words: Behavior factor in seismic design, reinforced concrete design, structural tall buildings.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nhà cao tầng xuất hiện ở nước ta do việc tăng dân số nhanh ở thành phố, thiếu đất xây dựng và giá thành cao. Nhà cao tầng là loại công trình xây dựng lớn và phức tạp, không giống như các công trình thấp tầng khi chịu tác dụng chủ yếu của tải trọng đứng, các công trình cao tầng với chiều cao lớn ngoài tải trọng đứng, tác dụng của tải trọng ngang như gió, động đất đều rất nguy hiểm cho công trình.

Để giải quyết bài toán tải trọng ngang, đòi hỏi kết cấu phải có độ dẻo hay khả

năng tiêu tán năng lượng hợp lý để làm hạn chế ảnh hưởng của các tác động trên. Vấn đề này liên quan đến giải pháp kết cấu cho các công trình cao tầng [4] và khả năng tiêu tán năng lượng của các hệ kết cấu chính là hệ số ứng xử. Mặt khác khi nói đến hệ số này, trong TCVN 9386-2012 đều lấy chung cho các kết cấu bê tông cốt thép một giá trị nhất định, theo ý kiến tác giả thì giá trị này không hợp lý ứng với từng loại mặt bằng và giải pháp kết cấu khác nhau. Giải pháp kết cấu xuất phát từ phương án kiến trúc và trên thực tế việc thay đổi kiến trúc rất khó

(*) ThS. Trường Đại học Văn Lang, Email: nguyentrantrung@vanlanguni.edu.vn

(**) PGS.TS. Học viện Kỹ thuật Quân sự, Email: vungocquangcse@gmail.com

thực hiện và hệ số ứng xử đề xuất không thỏa mãn với một số điều kiện quy định khi thiết lập phổ phản ứng với từng giá trị chu kỳ của các dạng dao động. Vì vậy việc phân tích hệ số ứng xử phù hợp với mặt bằng và giải pháp kết cấu mà không làm thay đổi phương án thiết kế kiến trúc ban đầu là sự cần thiết trong việc thực hành tính toán [5].

Vấn đề hệ số ứng xử vẫn là một vấn đề còn nhiều tiềm năng nghiên cứu vì đã có rất nhiều tác giả, nhóm nghiên cứu cùng với các bài báo đã được công bố trong nhiều năm qua, cụ thể: Borzi [1, tr. 47 - 61] cho rằng hệ số hồi quy của gia tốc phổ không đàn hồi đã được tính toán bằng mô hình đáp ứng đàn dẻo lý tưởng (EPP – Elastic Perfectly Plastic) và tăng bền mềm hóa trễ (HHS – Hysteretic Hardening Softening). Độ dẻo của kết cấu trong nghiên cứu này đều dựa trên hệ số ứng xử (q hay R) vì nó cung cấp giá trị phản ánh được mức độ dẻo thấp nhất và khả năng phân tán năng lượng của kết cấu. Daza chỉ ra rằng sự khác biệt giá trị hệ số ứng xử mong muốn và thực tế tính toán là do hệ số cường độ (C_Ω) [3]. Khi giá trị hệ số cường độ lớn sẽ đảm bảo hệ số R tính toán vượt quá hệ số R mong muốn. Hệ số R đặc biệt có thể đạt được bằng cách điều chỉnh tỷ lệ độ dẻo (μ) và hệ số cường độ (C_Ω). Nói cách khác, có vài cách kết hợp (μ , C_Ω) để đạt được hệ số hiệu chỉnh đáp ứng như nhau. Các tiêu chuẩn thiết kế động đất trong tương lai gần, cần rà soát lại quy trình tính toán hệ số hiệu chỉnh đáp ứng, sử dụng một cách tiếp cận hợp lý hơn. Cần phải có nhiều nghiên cứu về hệ số dư (R_p). Naga Wisva Teja thực hiện nghiên cứu ảnh hưởng chiều cao của tường chịu lực bê tông

cốt thép có xét đến độ dẻo cao [6, tr. 1345 – 1353]. Trong nghiên cứu này, ứng xử phi tuyến của kết cấu công trình được nghiên cứu bằng phương pháp phân tử hữu hạn với các tấm tường là phân tử vỏ nhiều lớp với tiết diện là các thớ, cùng với sự hình thành các khớp dẻo do thuộc tính của các thớ bê tông và cốt thép. Trong phân tích phi tuyến do tải trọng động đất có xét đến vài tham số như là các dạng dao động chủ yếu, hệ số dẻo, hệ số cường độ và hệ số đáp ứng hiệu chỉnh. Các kết quả đạt được chứng tỏ ứng xử do tải trọng động đất đều thỏa mãn, đặc biệt là dạng dao động xoắn trong công trình Cunha [2] đã thực hiện tính toán độ dẻo và hệ số vượt tải trong thiết kế động đất cho kết cấu bê tông cốt thép để xem lại toàn bộ các phương pháp được đề nghị trong các tiêu chuẩn thiết kế động đất mà đều xem xét cả hai thành phần là độ dẻo và hệ số vượt tải, những hệ số ảnh hưởng tới cường độ. Các khung bê tông cốt thép hoặc hệ hỗn hợp khung và hệ tường chịu cắt sẽ được phân tích phi tuyến tĩnh bằng phương pháp Static Push – over khi chịu tải trọng ngang. Mục đích cuối cùng của nghiên cứu này là làm rõ tầm quan trọng của hệ số vượt tải trong thiết kế động đất.

Trong nghiên cứu này, tác giả phân tích giá trị hệ số ứng xử q [5] là không hợp lý vì hình dạng mặt bằng với các giải pháp kết cấu khác nhau sẽ có giá trị q khác nhau. Phân tích này được thực hiện bằng việc xác định chu kỳ dao động của công trình bằng phần mềm tích hợp thiết kế kết cấu công trình ETABS phiên bản 2016, từ đó thiết lập các phổ phản ứng đàn hồi $S_e(T_i)$ và phổ thiết kế $S_d(T_i)$ có kể đến hệ số ứng xử q bằng phần mềm MS EXCEL.

2. HỆ SỐ ỨNG XỬ VÀ TẢI TRỌNG DO TÁC ĐỘNG CỦA ĐỘNG ĐẤT THEO TCVN 9386-2012

2.1. Hệ số ứng xử

Theo TCVN 9386-2012, hệ số ứng xử lấy theo giải pháp cấu tạo và phương án kết cấu. Hệ số này nhằm xét đến khả năng tiêu tán năng lượng được xác định cho mỗi hướng tác động của động đất.

$$q = q_0 \cdot k_w \quad (1)$$

Trong đó: q_0 giá trị cơ bản của hệ số ứng xử, phụ thuộc vào các loại kết cấu sử dụng và tính đều đặn theo phương mặt đứng của công trình; k_w hệ số phản ánh dạng kết cấu chiếm ưu thế trong hệ kết cấu có tường chịu lực.

Hệ khung hoặc hệ khung tương đương (hỗn hợp khung - vách) có thể xác định gần đúng như sau (cấp dẻo trung bình): $q = 3.3$ nhà một tầng; $q = 3.6$ nhà nhiều tầng, khung một nhịp; $q = 3.9$ nhà nhiều tầng, khung nhiều nhịp (hoặc kết cấu hỗn hợp khung vách).

Hệ vách cứng hoặc vách cứng có lỗ: $q = 3.6$ hệ kết cấu hỗn hợp tương đương vách cứng, hoặc hệ vách cứng có lỗ (hệ tường có dầm liên kết) nhà một tầng; $q = 3.0k_w$ hệ tường vách cứng chỉ có hai tường vách cứng; $q = 3.1k_w$ các hệ vách cứng không phải là vách cứng có lỗ. Trong đó:

$$0.5 < k_w = \frac{1 + \alpha_0}{3} \leq 1 \quad (2)$$

$$\alpha_0 = \frac{\sum h_{wi}}{\sum l_{wi}} \quad (3)$$

Với: h_{wi} chiều cao tường thứ i ; l_{wi} chiều dài đoạn tường thứ i .

2.2. Tải trọng do tác động của động đất

2.2.1. Phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang

Với các thành phần nằm ngang của tác động động đất, phổ phản ứng đàn hồi $S_e(T)$ được xác định bằng công thức (4) đến (7)

$$0 \leq T \leq T_B : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \left[1 + \frac{T}{T_B} \cdot (\eta \cdot 2.5 - 1) \right] \quad (4)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \quad (5)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \quad (6)$$

$$T_D \leq T \leq 4s : S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot 2.5 \cdot \left[\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right] \quad (7)$$

Trong đó: $S_e(T)$ phổ phản ứng đàn hồi; T : là chu kỳ dao động của hệ tuyến tính một bậc tự do; a_g : là gia tốc nền thiết kế trên nền loại A ($a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$); T_B : là giới hạn dưới của chu kỳ, ứng với đoạn nằm ngang của phổ phản ứng gia tốc; T_C : là giới hạn trên của chu kỳ, ứng với đoạn nằm ngang của phổ phản ứng gia tốc; T_D : là giá trị xác định điểm bắt đầu của phần phản ứng dịch chuyển không đổi trong phổ phản ứng; S : là hệ số nền; η : là hệ số điều chỉnh độ cản với giá trị tham chiếu $\eta = 1$ đối với độ cản nhỏ nhất 5%.

Giá trị của chu kỳ T_B , T_C , T_D và hệ số nền S (**Error! Reference source not found.**) mô tả dạng phổ phản ứng đàn hồi phụ thuộc vào loại nền đất, nếu không xét đến địa chất tầng sâu (xem 3.1.2(1) [5]).

Bảng 1. Giá trị của các tham số mô tả các phổ phản ứng đàn hồi

Loại nền đất	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,00	0,15	0,40	2,30
B	1,20	0,15	0,50	2,00
C	1,15	0,20	0,60	2,00
D	1,35	0,20	0,80	2,00
E	1,40	0,15	0,50	2,00

Hệ số điều chỉnh độ cản η có thể xác định bằng biểu thức

$$\eta = \frac{10}{5 + \xi} \geq 0.55 \quad (8)$$

Trong đó: ξ tỷ số cản nhót của kết cấu, tính bằng phần trăm.

2.2.2. Phổ thiết kế dùng cho phân tích đàn hồi

Đối với các thành phần nằm ngang của tác động động đất, phổ thiết kế $S_d(T)$ được xác định bằng cách biểu thức (9) đến (12)

$$0 \leq T \leq T_B : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad (9)$$

$$T_B \leq T \leq T_C : S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (10)$$

$$T_C \leq T \leq T_D : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (11)$$

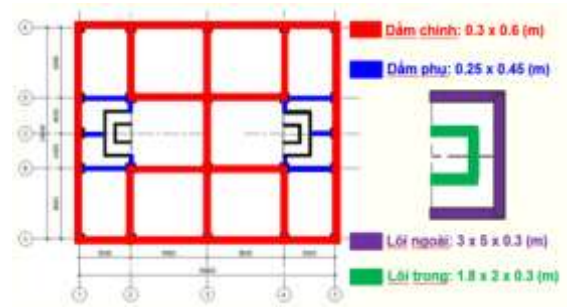
$$T_D \leq T : S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases} \quad (12)$$

Trong đó: a_g , S , T_C và T_D đã được định nghĩa trong mục 2.2.1 (TCVN 9386-2012, 2012); $S_d(T)$ là phổ thiết kế; q là hệ số ứng xử; β hệ số ứng với cận dưới của phổ thiết kế theo phương nằm ngang, $\beta = 0.2$.

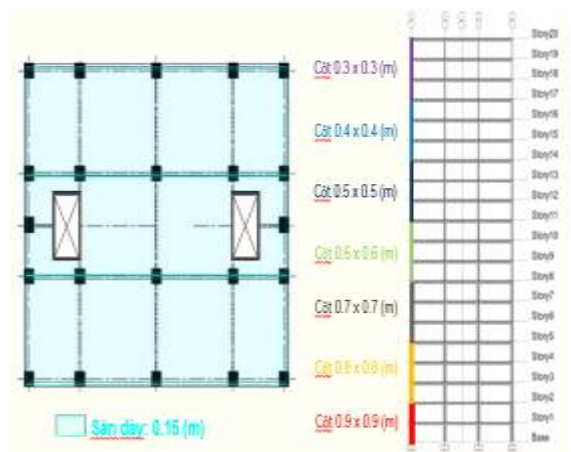
3. NGHIÊN CỨU BẰNG SỐ

3.1. Số liệu hình học

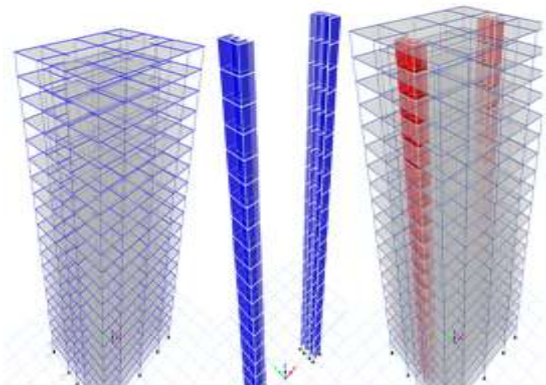
Công trình sử dụng trong nghiên cứu số, khung kết hợp với vách lõi bằng vật liệu bê tông cốt thép, công trình thuộc khối văn phòng. Công trình gồm 20 tầng với mặt bằng đối xứng. Mặt bằng kích thước $L \times B = 24 \times 30$ (m).. Chiều cao tính chung cho các tầng là 3.2 (m). Kích thước các cầu kiện (Hình 1, Hình 2).



Hình 1. Kích thước hình học của dầm và lõi



Hình 2. Kích thước hình học cột và sàn



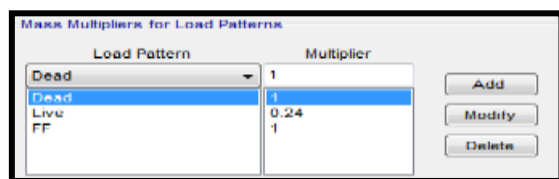
Hình 3. Công trình được khảo sát dưới dạng mô hình phần tử hữu hạn trong ETABS 2016

3.2. Vật liệu sử dụng

Bê tông sử dụng cấp độ bền B20 (M250), cốt thép sử dụng nhóm CI cho sàn, CII cho các cấu kiện dầm, cột, vách và lõi; nhóm CIII cho móng. Kết cấu được thiết kế theo cấp dẻo trung bình.

3.3. Tải trọng

Từ những hệ số tra bảng tùy thuộc vào chức năng công trình đã được quy định trong TCVN 9386-2012, ta định nghĩa được Mass Source sử dụng trong phân tích động đất trong công trình trên (Hình 4).



Hình 4. Định nghĩa Mass Soucre cho công trình khi phân tích bài toán tác động động đất lên công trình

3.4. Kết quả và thảo luận

3.4.1. Chu kỳ dao động

Dựa vào (Bảng 2) và điều kiện tổng các khối lượng hữu hiệu của các dạng dao động được xét chiếm ít nhất 90% tổng khối lượng của kết cấu, từ đó ta xét được các dạng dao động ảnh hưởng theo từng phương.

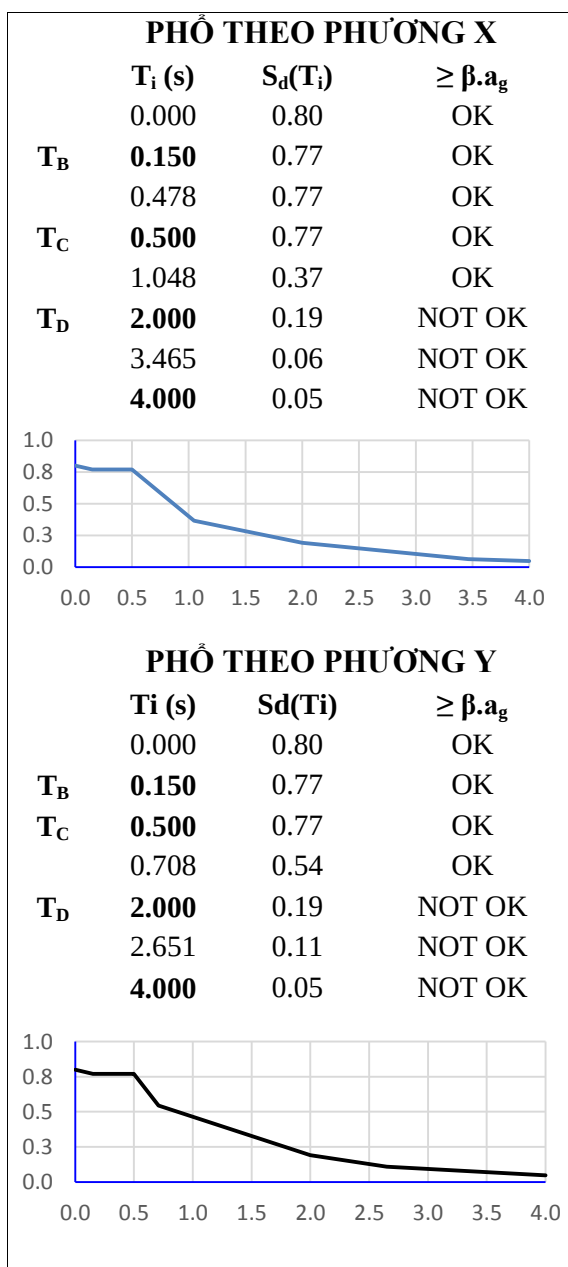
Bảng 2. Giá trị chu kỳ dao động ứng với từng dạng dao động

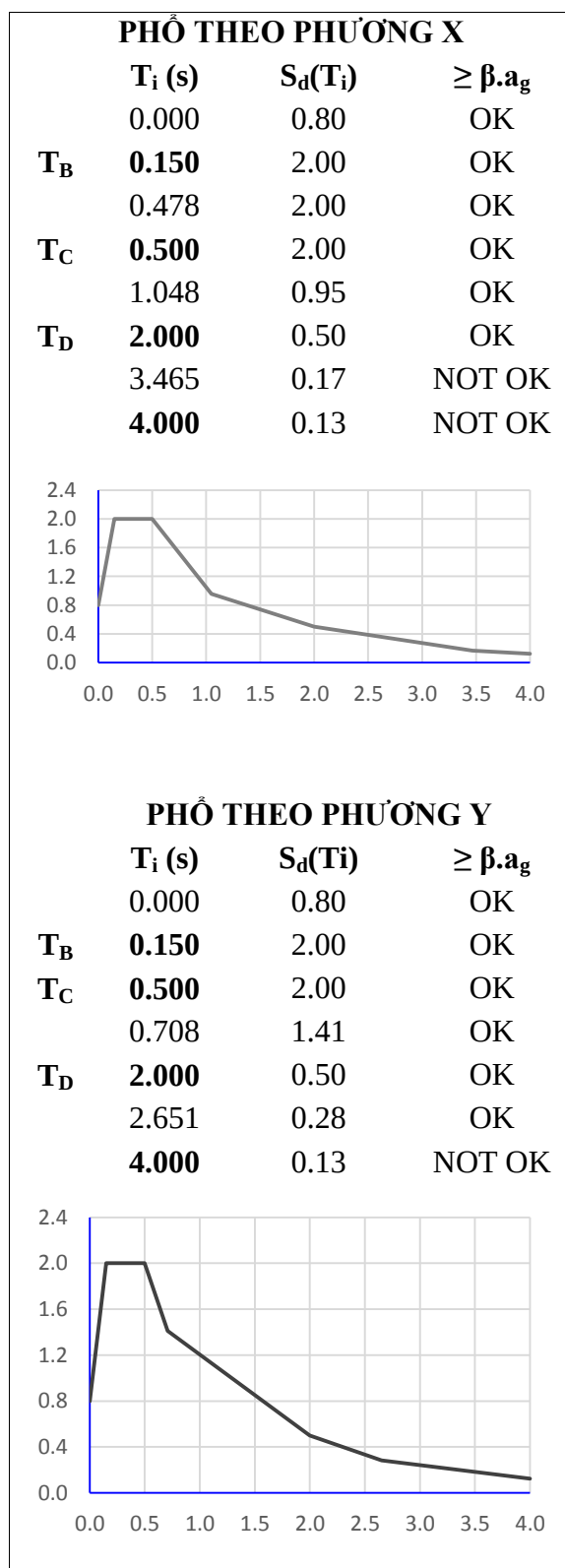
TH tải	Dạng dao động	T (s)	UX	UY
Modal	1	3.465	0.6746	0
Modal	2	2.651	0	0.6565
Modal	3	2.300	0	0
Modal	4	1.048	0.1571	0
Modal	5	0.708	0	0.1847
Modal	6	0.638	0	0

Modal	7	0.478	0.0612	0
Modal	8	0.311	0	0.0661
Modal	9	0.285	0	0
Modal	10	0.275	0.0325	0
Modal	11	0.184	0	0.0328
Modal	12	0.180	0.0200	0

3.4.2. Thiết lập phổ phản ứng

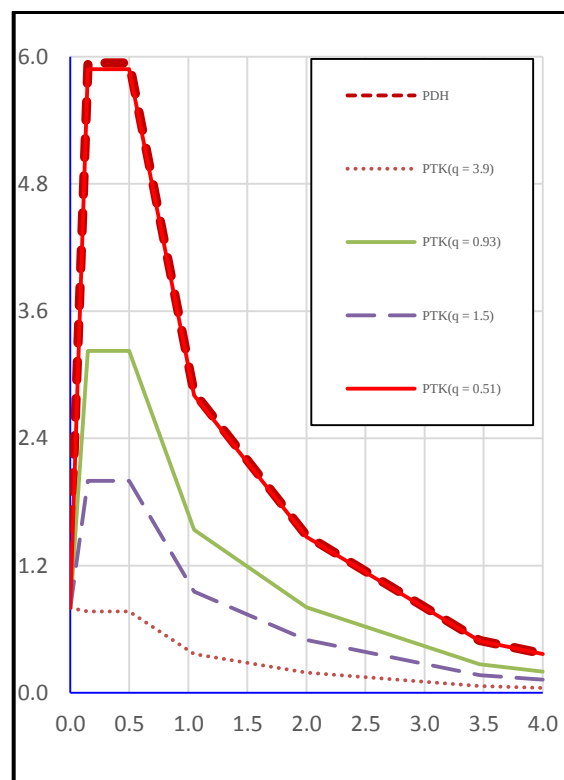
Bảng 3. Giá trị phổ $S_d(T_i)$ được thiết lập từ giá trị chu kỳ theo hai phương

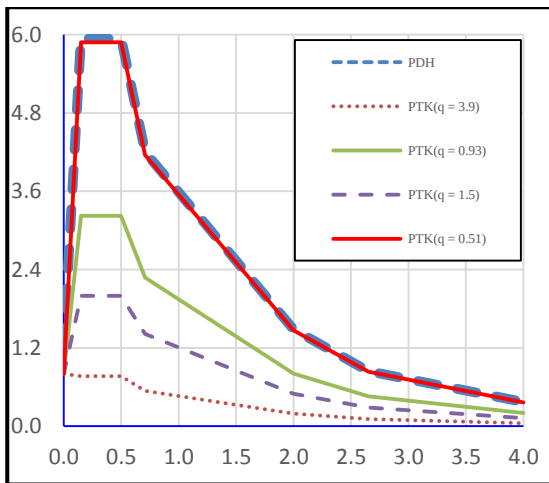


Bảng 4. Phổ thiết kế với hệ số ứng xử $q = 1.5$ 

Từ những kết quả phân tích trên, tác giả đã đề xuất giá trị q cho phổ thiết kế $S_d(T_i)$ thỏa mãn điều kiện $\geq \beta \cdot a_g$ và giá trị q cho kết quả $S_d(T_i) \approx S_e(T_i)$ ứng với mặt bằng kiến trúc và phương án kết cấu đề xuất; (**Error! Reference source not found.**), (Hình 6) cho thấy phổ thiết kế với hệ số ứng xử lấy theo hệ kết cấu được quy định trong (TCVN 9386-2012, 2012) là giá trị thấp nhất, chênh lệch rất nhiều với phổ đàn hồi trên 80%. Còn hai phổ thiết kế có hệ số ứng xử tương ứng $q = 1.5$ và $q = 0.93$ chênh lệch trên 60% và 40% phổ đàn hồi.

Phổ thiết kế với hệ số ứng xử phù hợp cho hệ kết cấu này chính là $q = 0.51$ vì giá trị phổ thiết kế rất gần với phổ đàn hồi.

**Hình 5.** So sánh giá trị phổ đàn hồi $S_e(T_i)$ và phổ thiết kế $S_d(T_i)$ tương ứng với hệ số ứng xử q theo phương X

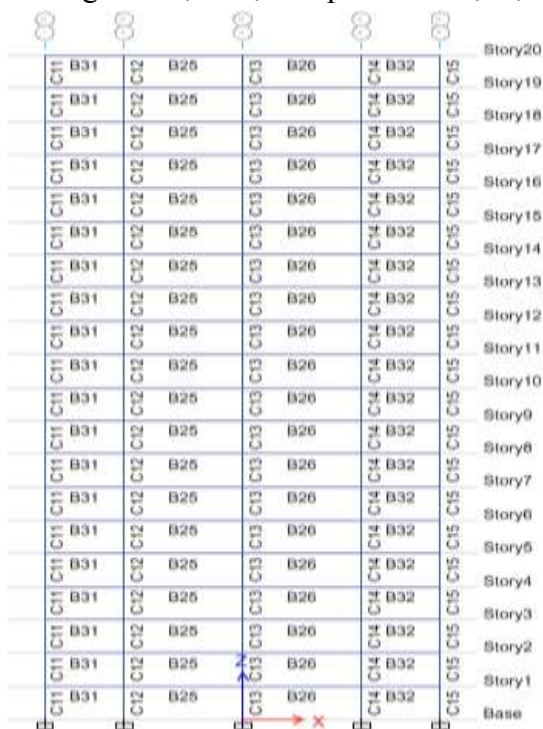


Hình 6. So sánh giá trị phổ đàn hồi $S_e(Ti)$ và phổ thiết kế $S_d(Ti)$ tương ứng với hệ số ứng xử q theo phương Y

3.4.3. Nội lực dầm B25 của tầng 10 và giá trị lực cắt tầng

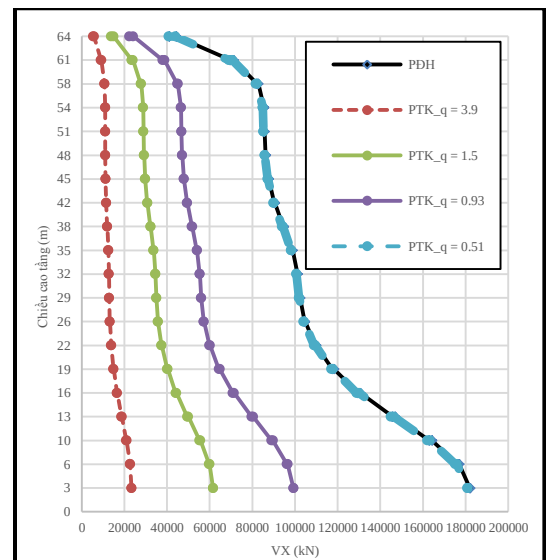
Để tiện theo dõi, nội lực trong công trình này sẽ được thể hiện qua khung trục B với các tên dầm và cột (

Hình 7). Trong đó cấu kiện dầm B25 của tầng 10 được chọn để phân tích nội lực.

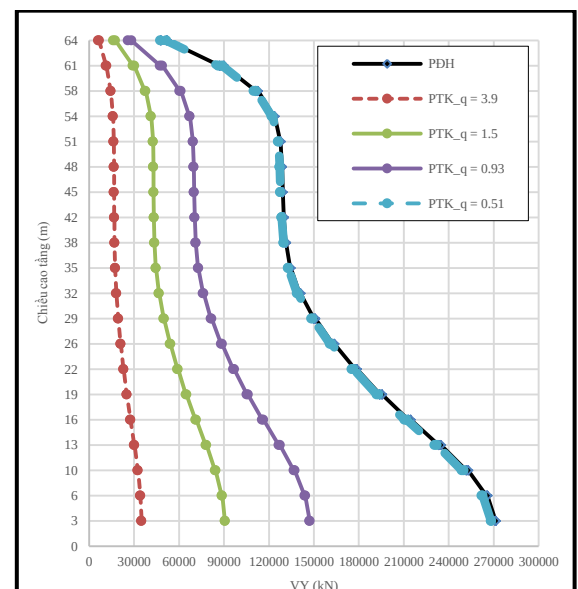


Hình 7. Các tên dầm, cột trong khung trục B

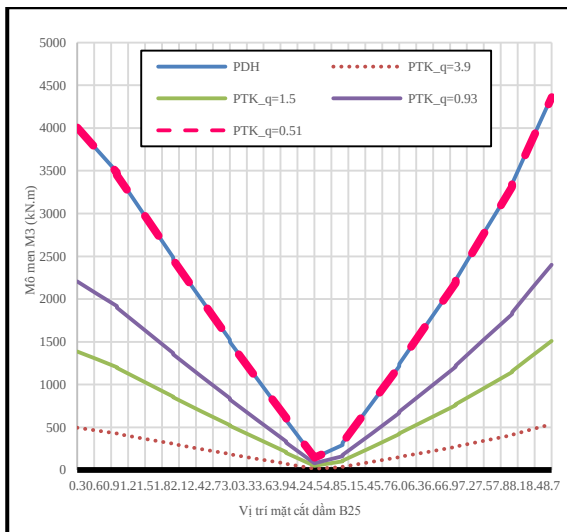
Độ chênh lệch của các giá trị phổ (**Error! Reference source not found.**) và (Hình 6) sẽ ảnh hưởng rất lớn đến tác động của động đất về lực cắt tầng, nội lực trong khung. Điện hình là cấu kiện dầm B25 tầng 10. Các độ chênh lệch đều được thể hiện dưới dạng các đồ thị so sánh.



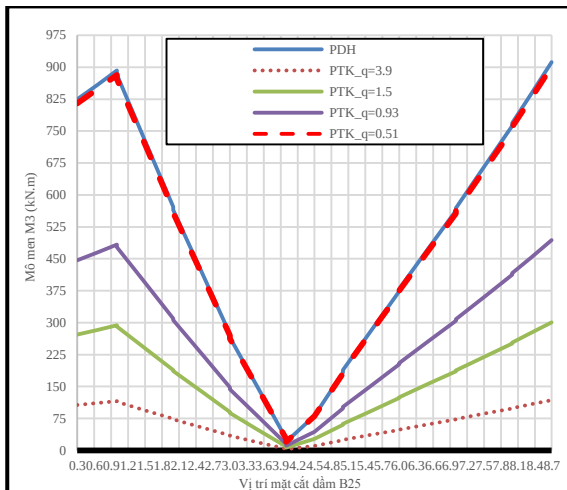
Hình 8. Biểu đồ so sánh lực cắt tầng theo phương X



Hình 9. Biểu đồ so sánh lực cắt tầng theo phương Y



Hình 10. So sánh mô men M3 dầm B25 tầng 10 theo phương X



Hình 11. So sánh mô men M3 dầm B25 tầng 10 theo phương Y

Từ các bảng so sánh trên, khi sử dụng phổ thiết kế có hệ số ứng xử q theo hệ kết cấu được quy định trong TCVN 9386-2012, độ chênh lệch về các giá trị lực cắt đáy, lực cắt tầng và nội lực trong khung chênh lệch với các giá trị trên khi phân tích bằng phổ đàn hồi là khá lớn (từ 80% - 90%). Mặt khác khi phân tích phổ thiết kế với hệ số ứng xử q thỏa điều kiện khi phân tích theo phổ ngang, giá trị $q \geq 1.5$ và điều kiện giá

trị phổ thiết kế khi chu kỳ nằm trong khoảng T_C (s) đến 4 (s), $S_d(T_i) \geq \beta \cdot a_g$, để đảm bảo các điều kiện này, các giá trị phân tích theo phổ thiết kế vẫn còn khá lớn nằm trong khoảng 40% đến 70%. Đối với hệ kết cấu của công trình được phân tích, hệ số ứng xử q lấy theo TCVN 9386-2012 và được hiệu chỉnh để đảm bảo điều kiện phổ theo phương ngang và giá trị phổ thiết kế trong khoảng chu kỳ T_C (s) đến 4(s) là chưa hợp lý đối với phương án kết cấu này, mà hệ số ứng xử hợp lý cho phương án kết cấu này chính là giá trị $q = 0.51$, cho ta các giá trị phân tích và so sánh rất gần với phân tích tác động động đất theo phổ đàn hồi dưới 1.2 %.

4. KẾT LUẬN

Để tránh phải phân tích trực tiếp các kết cấu không đàn hồi, người ta kể đến khả năng tiêu tán năng lượng chủ yếu thông qua ứng xử dẻo của các cấu kiện hoặc các cơ cấu khác bằng cách phân tích đàn hồi dựa trên phổ phản ứng thiết kế được chiết giảm từ phổ phản ứng đàn hồi, việc chiết giảm này thông qua hệ số ứng xử q . Nhưng nếu lấy hệ số này theo quy định của TCVN 9386-2012 lại chênh lệch quá nhiều so với việc phân tích bằng phổ phản ứng đàn hồi. Mặt khác lại không đảm bảo vài điều kiện trong tiêu chuẩn đã quy định, cụ thể là điều kiện $q \geq 1.5$ và giá trị phổ $S_d(T_i)$ khi chu kỳ nằm trong khoảng T_C (s) đến 4 (s) phải $\geq \beta \cdot a_g$. Dựa vào cách phân tích này, ứng với từng dạng phương án kết cấu sẽ cho ta khoảng hệ số ứng xử q phù hợp dùng trong phân tích tác động động đất bằng phương pháp phổ phản ứng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Borzi, B., Calvi, G., Elnashai, A., Faccioli, E., & Bommer, J. (2001), *Inelastic spectra for displacement-based seismic design*. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*.
2. Cunha, A., Caetano, E., & Ribeiro, P. (2014), *Accounting for ductility and overstrength in seismic design of reinforced concrete structures*.
3. Daza, L. (2010), *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction*.
4. Smith, B. S., Coull, A., & Stafford-Smith, B. S. (1991), *Tall building structures: analysis and design* (Vol. 5): Wiley New York.
5. TCVN 9386-2012 (2012), *Thiết kế công trình chịu động đất*, Hà Nội.
6. TEJA, N. W. (2013), *Effect of Height on the Seismic Behavior of Reinforced Concrete Bearing Wall Structural Systems with High Ductility*. *Middle-East Journal of Scientific Research*.

Ngày nhận bài: 05-11-2016. Ngày biên tập xong: 25-11-2016. Duyệt đăng: 15/12/2016