

DOI:10.22144/ctu.jvn.2020.076

## NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP CÂN BẰNG LỰC CẮT ĐÁY TRONG THIẾT KẾ CÔNG TRÌNH CHỊU TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT

Trịnh Hồng Vi và Nguyễn Văn Linh\*

Khoa Kỹ thuật - Nông nghiệp, Phân hiệu Đại học Đà Nẵng tại Kon Tum- Đại học Đà Nẵng

\*Người chịu trách nhiệm về bài viết: Nguyễn Văn Linh (email: nvlinh@kontum.udn.vn)

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 10/03/2020

Ngày nhận bài sửa: 28/04/2020

Ngày duyệt đăng: 28/08/2020

### Title:

A study on the balanced method of base shear in the design of structures for earthquake

### Từ khóa:

Cân bằng lực cắt đáy, công trình có tính đều đặn, động đất, phương pháp phổ phản ứng dạng dao động, phương pháp tính lực ngang tương đương

### Keywords:

Earthquake, lateral force method, regular buildings, response spectrum method, scale factor base shear

### ABSTRACT

The assessment of the degree of safety in seismic force calculation in designing high-rise buildings has not been mentioned in previous studies and in current standard TCVN 9386:2012 (Vietnam Institute For Building Science And Technology, 2012) which is applied for regular and irregular buildings. In normal cases, the base shear calculated by lateral force method is higher than the one calculated by response spectrum method. Therefore, it is necessary to determine the more effective and safer method. The article is aimed to propose the base shear balance between two earthquake calculation methods, namely lateral force method and response spectrum method according to ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010) in order to more accurately simulate the working of the structure while ensuring the structure working safely and saving materials.

### TÓM TẮT

Việc đánh giá mức độ an toàn của các phương pháp tính lực động đất trong thiết kế kết cấu nhà cao tầng chưa được đề cập trong tiêu chuẩn hiện hành TCVN 9386:2012 của Việt Nam (Viện KHCN Xây dựng, 2012) cũng như các nghiên cứu đã có trước đây. TCVN 9386:2012 (Viện KHCN Xây dựng, 2012) cũng chỉ đưa ra các trường hợp áp dụng cho các công trình có tính đều đặn và không đều đặn. Thông thường lực cắt đáy tính theo phương pháp tính lực ngang tương đương sẽ có giá trị lớn hơn so với lực cắt đáy tính theo phương pháp phổ phản ứng dạng dao động. Do đó, việc đánh giá phương pháp nào mang lại hiệu quả và an toàn cho kết cấu cần được xem xét và làm rõ. Bài báo này nhằm đưa ra kiến nghị cho việc cân bằng lực cắt đáy công trình giữa hai phương pháp thực hành tính toán động đất là phương pháp tính lực ngang tương đương và phương pháp phổ phản ứng dạng dao động theo chỉ dẫn của tiêu chuẩn ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010) để mô phỏng chính xác hơn sự làm việc của kết cấu mà vẫn đảm bảo kết cấu làm việc an toàn và tiết kiệm vật liệu.

Trích dẫn: Trịnh Hồng Vi và Nguyễn Văn Linh, 2020. Nghiên cứu phương pháp cân bằng lực cắt đáy trong thiết kế công trình chịu tải trọng động đất. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. 56(4A): 1-9.

## 1 ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thực hành tính toán thiết kế kết cấu nhà cao tầng chịu động đất ở nước ta, các kỹ sư kết cấu dựa trên tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9386:2012 (Viện KHCN Xây dựng, 2012) và một số kết quả nghiên cứu trước đây (David Key, 1997; Nguyễn Lê Ninh, 2007; Nguyễn Hoàng Anh và Nguyễn Đại Minh, 2008) để phân tích tính toán lực động đất lên công trình. Theo đó, hai phương pháp thực hành được đề nghị sử dụng là phương pháp tĩnh ngang tương đương và phương pháp phổ phản ứng dạng dao động. Tuy nhiên, việc đánh giá phương pháp nào mang lại sự an toàn cho kết cấu cũng như là tiết kiệm vật liệu cho công trình chưa được đề cập trong tiêu chuẩn và các nghiên cứu, do đó gây khó khăn cho các kỹ sư thiết kế kết cấu trong việc lựa chọn phương pháp tính và đánh giá mức độ an toàn mà phương pháp mình sử dụng khi thiết kế các công trình có xét tới tải trọng động đất.

Một số nghiên cứu trước đây (David Key, 1997; Nguyễn Lê Ninh, 2007; Nguyễn Hoàng Anh và Nguyễn Đại Minh, 2008) chỉ dừng lại ở việc đề cập đến ứng xử của kết cấu với từng phương pháp trên. Ngay cả tài liệu quy chuẩn về thiết kế công trình động đất BS EN 1998-1 (British Standard Institution, 2004) cũng chưa đưa ra đánh giá về việc áp dụng phương pháp nào là mang lại tính an toàn và hiệu quả.

Vì vậy, nghiên cứu này sẽ tiến hành cân bằng lực cắt đáy công trình cao tầng dựa trên tham khảo chỉ dẫn của tiêu chuẩn ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010). Từ đó, nghiên cứu đưa ra kiến nghị cân bằng lực cắt đáy công trình dựa trên phần mềm phân tích tính toán kết cấu Etabs khi thiết kế các công trình có xét tới tải trọng động đất.

## 2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### 2.1 Phương pháp tĩnh lực ngang tương đương

Phương pháp phân tích này có thể áp dụng cho các công trình mà phản ứng của nó không chịu ảnh hưởng đáng kể bởi các dạng dao động bậc cao hơn dạng dao động cơ bản trong mỗi phương chính.

Yêu cầu trên được xem là thỏa mãn nếu kết cấu nhà đáp ứng được cả hai điều kiện sau:

Có các chu kỳ dao động cơ bản  $T_1$  theo hai hướng chính nhỏ hơn các giá trị sau:

$$T_1 \leq \begin{cases} 4.T_C \\ 2,0s \end{cases}$$

Trong đó:  $T_c$  cho trong bảng 5 của tiêu chuẩn TCVN 9386-2012 (Viện KHCN Xây dựng, 2012).

Thỏa mãn những tiêu chí về tính đều đặn theo mặt đứng:

Tất cả các hệ kết cấu chịu tải trọng ngang như lõi, tường hoặc khung, phải liên tục từ móng tới mái của nhà hoặc tới đỉnh của vùng có giằng cấp của nhà nếu có giằng cấp tại các độ cao khác nhau.

Cả độ cứng ngang lẫn khối lượng của các tầng riêng rẽ phải giữ nguyên không đổi hoặc giảm từ từ, không thay đổi đột ngột từ móng tới đỉnh nhà đang xét.

Trong các nhà khung, tỷ số giữa độ bền thực tế và độ bền yêu cầu theo tính toán của tầng không được thay đổi một cách không cân xứng giữa các tầng liên kế.

Theo mỗi phương nằm ngang được phân tích, lực cắt đáy động đất  $F_b$  phải được xác định theo biểu thức sau:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda$$

Trong đó:

$S_d(T_1)$  là tung độ của phổ thiết kế tại chu kỳ  $T_1$

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

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

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

$$F_i = F_b \cdot \frac{s_i \cdot m_i}{\sum s_j \cdot m_j}$$

Trong đó:

$F_i$  là lực ngang tác dụng tại tầng thứ  $i$ ;

$F_b$  là lực cắt đáy do động đất tính theo;

$s_i, s_j$  lần lượt là chuyển vị của các khối lượng.

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

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

Trong đó:

$a_g$  là gia tốc nền thiết kế trên nền loại A ( $a_g = \gamma I_a R$ );

$T_B$  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;

$S_d(T)$  là phổ thiết kế;

$q$  là hệ số ứng xử;

$\beta$  là hệ số ứng với cận dưới của phổ thiết kế theo phương nằm ngang,  $\beta = 0,2$ .

$T_1$  là chu kỳ dao động cơ bản của nhà do chuyển động ngang theo phương đang xét;

$m$  là tổng khối lượng của nhà ở trên móng hoặc ở trên đỉnh của phần cứng phía dưới.

$\lambda$  là hệ số hiệu chỉnh, lấy như sau:

$\lambda = 0,85$  nếu  $T_1 \leq 2$ .  $T_c$  với nhà có trên 2 tầng hoặc  $\lambda = 1,0$  với các trường hợp khác.

Chú thích: Hệ số  $\lambda$  tính đến thực tế là trong các nhà có ít nhất 3 tầng và 3 bậc tự do theo mỗi phương nằm ngang, khối lượng hữu hiệu của dạng dao động cơ bản là trung bình nhỏ hơn 15 % so với tổng khối lượng nhà.

Để xác định chu kỳ dao động cơ bản  $T_1$  của nhà, có thể sử dụng các biểu thức của các phương pháp động lực học công trình (ví dụ: phương pháp Rayleigh).

Tác động động đất phải được xác định bằng cách đặt các lực ngang  $F_i$  vào tất cả các tầng ở hai mô hình phẳng  $m_j$  trong dạng dao động cơ bản;  $m_i, m_j$  là khối lượng của các tầng tính.

Khi dạng dao động cơ bản được lấy gần đúng bằng các chuyển vị nằm ngang tăng tuyến tính dọc theo chiều cao thì lực ngang  $F_i$  tính bằng:

$$F_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot m_i}{\sum z_j \cdot m_j}$$

Trong đó:

$z_i, z_j$  là độ cao của các khối lượng  $m_i, m_j$  so với điểm đặt tác động động đất (mặt móng hoặc đỉnh của phần cứng phía dưới).

Lực nằm ngang  $F_i$  xác định theo điều này phải được phân bố cho hệ kết cấu chịu tải ngang với giả thiết sàn cứng trong mặt phẳng của chúng.

## 2.2 Phương pháp phổ phản ứng dạng dao động

Phương pháp phân tích này cần được áp dụng cho nhà không thỏa mãn những điều kiện khi ứng dụng phương pháp phân tích tĩnh lực ngang tương đương.

Phải xét tới phản ứng của tất cả các dạng dao động góp phần đáng kể vào phản ứng tổng thể của nhà, tức là thỏa mãn nếu đạt được một trong hai điều kiện sau:

- Tổng các khối lượng hữu hiệu của các dạng dao động được xét chiếm ít nhất 90% tổng khối lượng của kết cấu;
- Tất cả các dạng dao động có khối lượng hữu hiệu lớn hơn 5 % của tổng khối lượng đều được xét đến.

Chú thích: Khối lượng hữu hiệu  $m_k$  ứng với dạng dao động  $k$ , được xác định sao cho lực cắt đáy  $F_{bk}$ , tác động theo phương tác động của lực động đất, có thể biểu thị dưới dạng  $F_{bk} = S_d(T_k) m_k$ . Có thể chứng minh rằng tổng các khối lượng hữu hiệu (đối với tất cả các dạng dao động và đối với một hướng cho trước) là bằng khối lượng kết cấu.

Khi sử dụng mô hình không gian, những điều kiện trên cần được kiểm tra cho mỗi phương cần thiết.

## 3 MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU

Theo khuyến nghị trong tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 9386-2012 (Viện KHCN Xây dựng, 2012), khi thiết kế công trình cao tầng thì cần ưu tiên lựa chọn phương án kết cấu theo nguyên tắc “đều đặn, đối xứng (hoặc gần đối xứng) và siêu tĩnh”. Vì thế, trong phạm vi nghiên cứu này sẽ tiến hành lựa chọn 1 mô hình công trình cao tầng tuân theo nguyên tắc trên cho việc mô phỏng, phân tích và đưa ra các kết quả nghiên cứu.

Mô hình công trình nghiên cứu là tòa nhà cao 18 tầng, mặt bằng tầng bố trí gần đối xứng và không đổi cho tất cả các tầng; hệ kết cấu theo phương đứng là khung giằng (khung kết hợp vách cứng chịu lực) có các tiết diện cấu kiện cột, dầm, sàn và vách không đổi suốt chiều cao công trình; hệ kết cấu khung giằng được ngàm cứng vào đài móng. Hệ kết cấu khung giằng thường được các kỹ sư thiết kế sử dụng cho các công trình cao dưới 40 tầng và cũng được khuyến nghị sử dụng theo tiêu chuẩn Việt Nam

TCVN 9386-2012 (Viện KHCN Xây dựng, 2012). Như vậy, mô hình kết cấu nhà đảm bảo đều đặn, gần đối xứng và siêu tĩnh. Mô hình công trình đề tài nghiên cứu có các thông số như sau:

Thông số nhà:

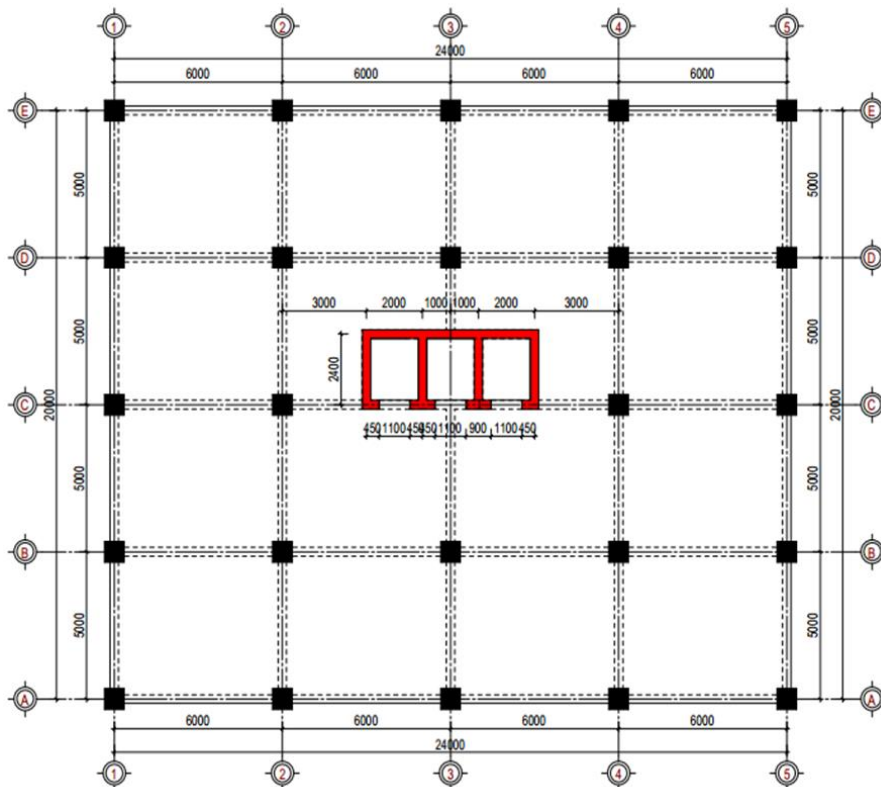
- Kích thước nhà: 24x20 (m)
- Số tầng nhà: 18 tầng
- Chiều cao tầng: 3.4m
- Kích thước cột giữa: 600x600 (mm)
- Kích thước cột biên: 550x550 (mm)
- Kích thước cột góc: 500x500 (mm)
- Kích thước dầm: 300x600 (mm)
- Chiều dày vách: 250 (mm)
- Chiều dày sàn: 140 (mm)

Vật liệu:

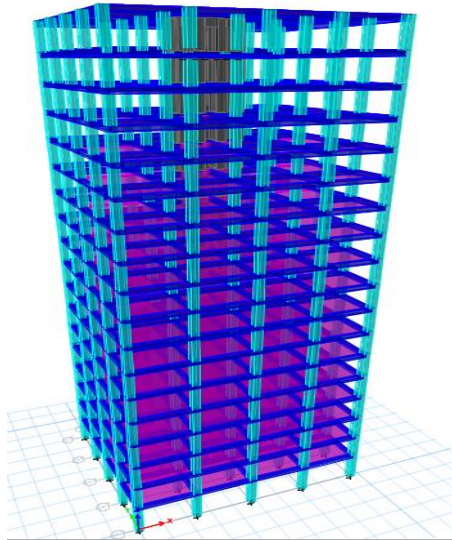
- Bê tông dùng cho dầm sàn: B30
- Bê tông dùng cho cột vách: B40
- Cốt thép chủ: CB400-V
- Cốt thép đai: CB-300-T

Tải trọng:

- DL “Dead load”: Trọng lượng bản thân kết cấu (Phần mềm tự tính toán).
- SDL “Supper dead load”: Trọng lượng các lớp cấu tạo sàn và hệ thống treo ME. Giá trị khai báo 1.15 kN/m<sup>2</sup>
- SWL “Supper wall load”: Tải trọng tường xây bằng gạch, vách kích ....Tường 200 lấy 11.42 kN/m.
- LL “Live load”: Theo TCVN 2737-1995 bảng 3, lấy 2kN/m<sup>2</sup> cho sàn tầng và 0.75 kN/m<sup>2</sup> cho sân mái..
- EX: Động đất theo phương X “Xác định theo phương pháp tĩnh lực ngang tương đương”. Tự động bằng Etabs.
- EY: Động đất theo phương Y “Xác định theo phương pháp tĩnh lực ngang tương đương”. Tự động bằng Etabs.
- EX-SPEC: Động đất theo phương X “Xác định theo phương pháp phổ phản ứng dạng dao động”. Tự động bằng Etabs.
- EY SPEC: Động đất theo phương Y “Xác định theo phương pháp phổ phản ứng dạng dao động”. Tự động bằng Etabs.



Hình 1: Mặt bằng kích thước công trình



Hình 2: Mô hình không gian kết cấu công trình trên Etabs

## 4 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 4.1 Kết quả phân tích khi chưa cân bằng lực cắt đáy

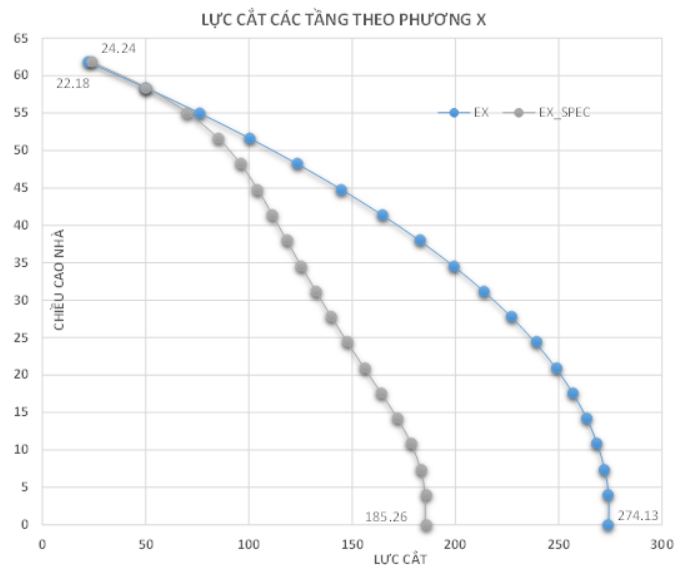
#### Nhận xét:

Độ lớn lực cắt đáy tính theo phương pháp tĩnh lực ngang tương đương từ đáy móng đến độ cao 2/3 chiều cao công trình có trị lớn hơn nhiều so với độ lớn lực cắt đáy theo phương pháp phổ phản ứng dạng dao động. Ngược lại độ lớn lực cắt đáy các tầng ở vị trí từ 2/3 chiều cao công trình đến mái theo phương pháp phổ phản ứng dạng dao động lại có xu

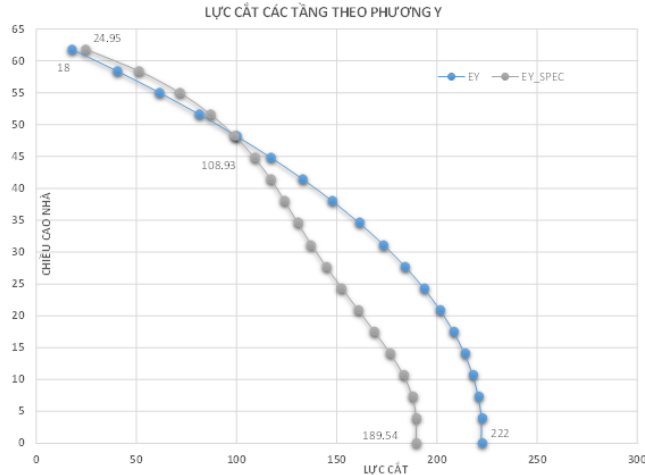
hướng lớn hơn so với phương pháp tĩnh lực ngang tương đương.

Việc lựa chọn phương pháp tính nào cho thiết kế động đất nhằm đảm bảo sự an toàn cho công trình cần được xem xét và cân nhắc. Mặt khác, chúng ta có thể cân bằng giá trị giữa hai phương pháp này để đề xuất một phương pháp khác thay thế, trong đó các giá trị thiên về trung bình mà vẫn đảm bảo an toàn cho kết cấu.

Vì vậy, nghiên cứu này sẽ cân bằng lực cắt đáy công trình dựa trên kết quả lực tĩnh và động với tham chiếu là tiêu chuẩn ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010)



Hình 3: Biểu đồ phân bố lực tầng theo phương X



**Hình 4: Biểu đồ phân bố lực tầng theo phương Y**

**4.2 Phương pháp cân bằng lực cắt đáy**

**4.2.1 Cơ sở lý thuyết để cân bằng lực cắt đáy công trình**

Mục 12.9.4.1. Scaling of Force trang 94 của tiêu chuẩn ASCE 7-10 (American Society of Civil Engineers, 2010) đề cập đến việc khuyến nghị cho các kỹ sư kết cấu trong việc thiết kế các công trình trong vùng động đất nên cân bằng lực cắt đáy công trình sao cho lực cắt đáy theo phương pháp phổ dạng dao động phải ít nhất lớn hơn hoặc bằng 85% lực cắt ngang theo phương pháp tính lực ngang tương đương (tức là lực động phải ít nhất bằng 85% lực tĩnh do động đất gây ra cho công trình đang xét). Trong bài báo này dựa trên khuyến nghị trên, nhằm đảm bảo thiên về an toàn cho kết cấu khi có động đất xảy ra, nghiên cứu sẽ cân bằng lực cắt đáy theo phương pháp động bằng 95% lực cắt đáy theo phương pháp tính lực ngang tương đương.

**4.2.2 Phương thức cân bằng**

Sử dụng công thức cân bằng sau:  $g/RI$

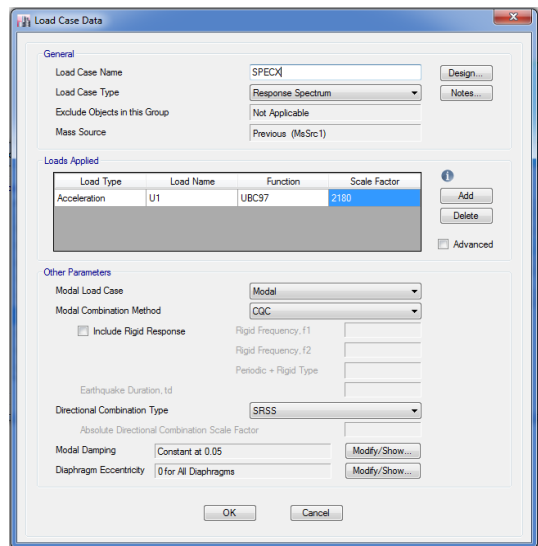
Trong đó:

$g$ : Gia tốc trọng trường ( $9.81 \text{ m/s}^2 = 9810 \text{ mm/s}^2$ );

$R$ : Hệ số cân bằng tham khảo UBC 97- Table 16-N;

$I$ : Hệ số tầm quan trọng công trình.

Cách khai báo hệ số này vào Etabs: trên menu bar chọn Define chọn Load cases



**Hình 5: khai báo hệ số Scale factor**

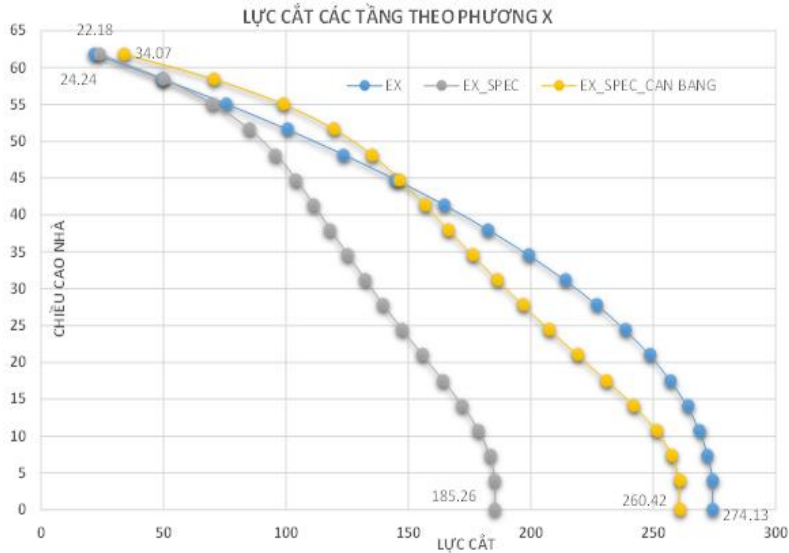
**4.3 Kết quả phân tích khi cân bằng lực cắt đáy**

**Nhận xét:**

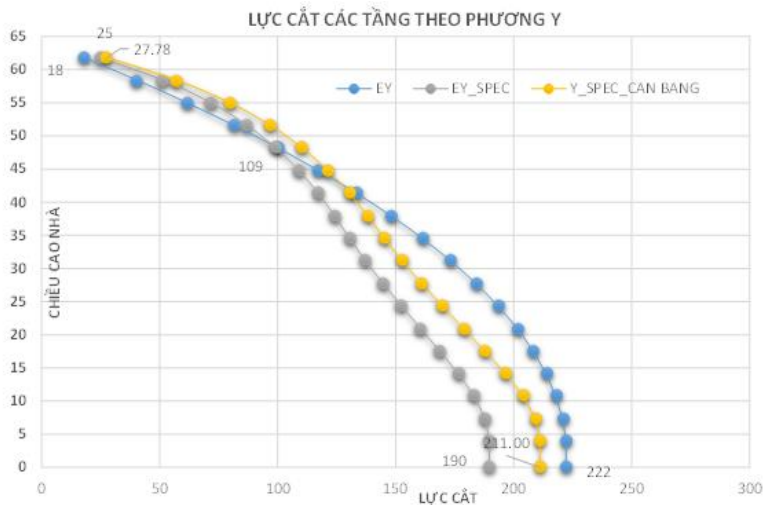
Độ lớn lực cắt đáy sau khi cân bằng (đường màu vàng) cho kết quả bao quát và thiên về an toàn khi sử dụng phương pháp phổ phản ứng dạng dao động từ 2/3 chiều cao công trình trở xuống. Đồng thời thiên về an toàn khi sử dụng phương pháp tính lực ngang tương đương cho 1/3 chiều cao công trình phía trên.

Độ lớn lực cắt đáy sau khi cân bằng cho giá trị trung gian giữa 2 phương pháp ban đầu khi xét từ chân công trình tới độ cao 2/3 chiều cao của nó. Mặt

khác, khi xét từ 1/3 chiều cao công trình trở lên thì độ lớn lực cắt đáy khi cân bằng lại lớn hơn cả 2 phương pháp ban đầu.



Hình 6: Biểu đồ phân bố lực cắt tầng theo phương X



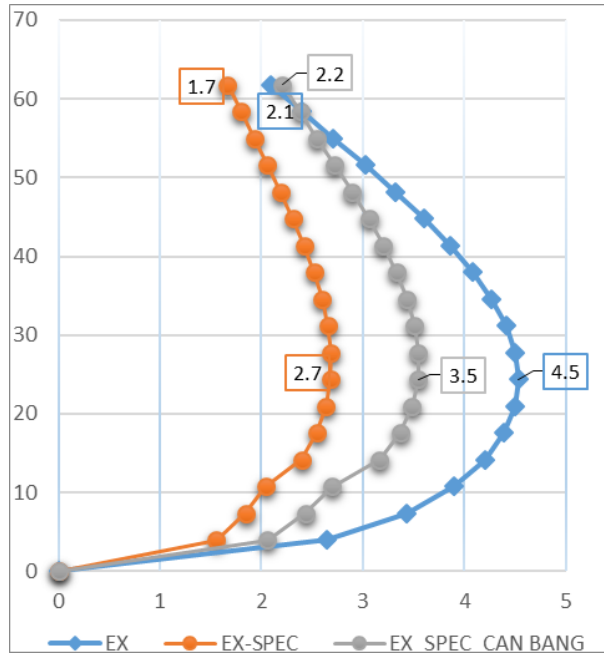
Hình 7: Biểu đồ phân bố lực cắt tầng theo phương Y

#### 4.4 Kết quả phân tích chuyển vị Drift khi cân bằng lực cắt đáy

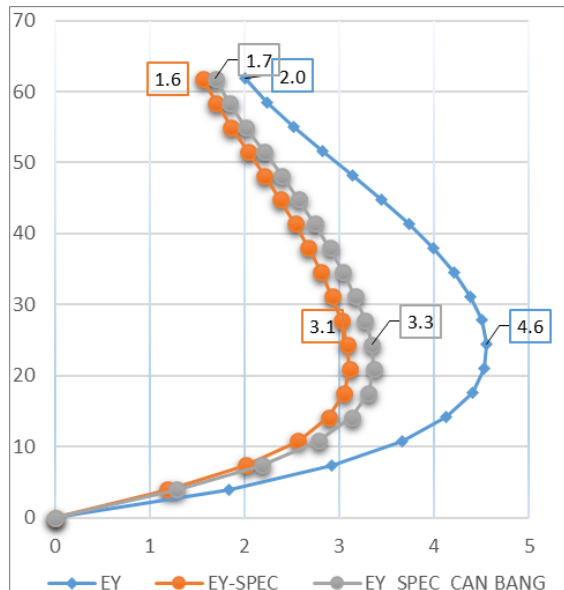
##### Nhận xét:

Chuyển vị lệch tầng drift đối với lực động đất sau khi cân bằng lực cắt đáy sẽ cho giá trị nhỏ hơn

so với phương pháp tính lực ngang tương đương, do đó dễ thỏa mãn điều kiện về drift đối với nhà cao tầng (một trong những yếu tố quan trọng khi kiểm tra ổn định tổng thể công trình với nhà cao tầng).



Hình 8: Chuyển vị tầng Drift theo phương X



Hình 9: Chuyển vị tầng Drift theo phương Y

## 5 KẾT LUẬN

Qua kết quả phân tích cân bằng lực cắt đáy cho 2 phương pháp tính lực ngang tương đương và phổ phản ứng dạng dao động cho công trình cao tầng có tính đều đặn, gần đối xứng và siêu tĩnh, nghiên cứu có một số nhận xét và đề xuất sau:

- Phân bố lực cắt đáy lên các tầng từ chân công trình đến 2/3 chiều cao công trình sau khi cân bằng sẽ cho giá trị nhỏ hơn so với khi tính toán theo phương pháp tính lực ngang tương đương và lớn hơn phương pháp phổ phản ứng dạng dao động. Điều đó làm thiết kế kết cấu theo phương pháp cân bằng mang lại tính an toàn và tiết kiệm hơn so với phương pháp tính lực ngang tương đương.



– Chuyển vị drift sinh ra sau khi cân bằng nhỏ hơn nhiều so với phương pháp tính lực ngang tương đương và lớn hơn so với phương pháp phổ phản ứng dạng dao động. Điều đó giúp công trình dễ thỏa mãn hơn được các yêu cầu khắt khe về chuyển vị và chuyển vị lệch tầng qui định trong các tiêu chuẩn thiết kế nhà cao tầng, từ đó, có thể tối ưu được tiết diện mà vẫn đảm bảo yêu cầu kết cấu công trình bền vững.

Từ hai nhận xét trên, nghiên cứu kiến nghị cần phải cân bằng lực cắt đáy trong thiết kế kết cấu chịu tải trọng động đất đối với trường hợp công trình có dạng đều đặn, gần đối xứng và siêu tĩnh để tối ưu vật liệu và kinh tế. Mặt khác, cần có những nghiên cứu cụ thể cho các dạng công trình cao tầng khác (như bất đối xứng, không đều đặn,...) và tiến hành mô phỏng thực nghiệm tất cả các trường hợp để làm cơ sở cho việc tính toán thành phần động đất trong thiết kế nhà cao tầng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Viện KHCN Xây dựng, 2012. TCVN 9386-2012, Thiết kế kết cấu công trình chịu động đất. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội, 230 trang.
- Nguyễn Hoàng Anh và Nguyễn Đại Minh, 2008. Xác định tải trọng động đất tác dụng lên công trình theo TCXDVN 375:2006: Quy trình đơn giản. Tạp chí KHCN Xây dựng, Viện KHCN Xây dựng, Số 2: 67-78.
- David Key, 1997. Thực hành thiết kế chống động đất cho công trình xây dựng. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội, 266 trang.
- Nguyễn Lê Ninh, 2007. Động đất và thiết kế công trình chịu động đất. Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội, 513 trang.
- British Standard Institution, 2004. BS EN 1998-1, Design of structures for earthquake resistance (Eurocode 8). UK, 219 pages.
- American Society of Civil Engineers, 2010. ASCE 7-10, Minimum design loads for buildings and other structures. USA, 108 pages.