

# MỘT CÁCH TIẾP CẬN ĐỂ TÍNH TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH PHỔ PHẢN ỨNG THEO TCXDVN 375 : 2006

KS. LÊ XUÂN TÙNG

Trường Đại học Phương Đông

## 1. Đặt vấn đề

Phương pháp phân tích phổ phản ứng (RSM) được áp dụng khá hiệu quả để phân tích nội lực và biến dạng của kết cấu dưới tác dụng của động đất. Đặc biệt trong trường hợp công trình có khối lượng hay độ cứng thay đổi theo chiều cao, hay có sự đóng góp đáng kể của dạng dao động bậc cao. Tiêu chuẩn TCXDVN 375:2006 quy định việc cần thiết áp dụng phương pháp phân tích phổ phản ứng đối với hầu hết các trường hợp kết cấu nhà có chu kỳ dao động riêng bậc một lớn hơn 2 giây.

Bài báo này đưa ra một cách tiếp cận TCXDVN 375 : 2006 để tính tải trọng động đất bằng phương pháp phân tích phổ phản ứng theo quy trình gián lược.

## 2. Trình tự xác định tải trọng động đất bằng phương pháp phân tích phổ phản ứng theo TCXDVN 375 : 2006

**Bước 1:** Xác định các đặc trưng dao động riêng của hệ kết cấu: chu kỳ dao động riêng  $T_k$  và chuyển vị  $\phi_{k,i}$  của tầng thứ  $i$  ứng với dạng dao động thứ  $k$ . Ngày nay, công cụ tính toán khá mạnh, do đó nên dùng mô hình không gian với giả thiết các bản sàn tuyệt đối cứng trong mặt phẳng của chúng. Các đặc trưng này có thể được xác định theo chương trình phân tích kết cấu như Sap 2000, Etabs...

**Bước 2:** Xác định phổ gia tốc thiết kế  $S_d(T)$  với hệ số cản nhớt  $h = 5\%$  cho vị trí xây dựng công trình, phụ thuộc vào các thông số: đỉnh gia tốc nền quy ước trên nền đá cứng (loại A)  $a_{gR}$ , loại nền đất, hệ số tầm quan trọng  $\gamma_1$  của công trình và hệ số ứng xử  $q$  của kết cấu [1].

**Bước 3:** Xác định lực cắt tại chân công trình ứng với dạng dao động thứ  $k$  ( $F_{bk}$ ) [1].

Theo mỗi hướng được phân tích, ứng với mỗi dạng dao động, lực cắt đáy động đất  $F_{bk}$  phải được xác định theo biểu thức sau:

$$F_{bk} = S_d(T_k) * m_k \quad (1)$$

Trong đó:

$S_d(T_k)$  - tung độ của phổ thiết kế tại chu kỳ  $T_k$ ;

$T_k$  - chu kỳ dao động thứ  $k$  của nhà và công trình;

$m_k$  - khối lượng hiệu dụng của nhà và công trình ở trên móng hoặc ở trên đỉnh của phần cứng phía dưới, được tính theo công thức:

$$m_k = \frac{\left( \sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k} \right)^2}{\sum_i m_i \cdot \phi_{i,k}^2} \quad (2)$$

Trong đó:

$m_i$  - khối lượng phần công trình đặt tại điểm thứ  $i$ ;

$\phi_{i,k}$  - chuyển vị ngang tỉ đối của trọng tâm phần công trình thứ  $i$  ứng với dạng dao động thứ  $k$  (lấy ra từ kết quả phân tích dao động bằng phần mềm Sap 2000, Etabs...).

**Bước 4:** Phân bố lực động đất theo phương ngang ( $F_{k,i}$ ). Tác động của động đất phải được xác định bằng cách đặt các lực ngang  $F_{k,i}$  vào tất cả các tầng ở hai mô hình phẳng [1].

$$F_{ik} = F_{bk} * \frac{s_i * m_i}{\sum s_j * m_j} \quad (3)$$

Trong đó:

$F_{i,k}$  - lực ngang tác dụng tại tầng thứ  $i$  ứng với dạng dao động thứ  $k$ ;

$F_b$  - lực cắt đáy động đất tính theo (1);

$s_i$ ;  $s_j$  - lần lượt là chuyển vị của các khối lượng  $m_i$ ;  $m_j$  trong các dạng dao động;

$m_i$ ;  $m_j$  - khối lượng của các tầng.

**Bước 5:** Kiểm tra các yêu cầu trong phương pháp phân tích phổ phản ứng dao động, tức là phải xét tới phản ứng của tất cả các dạng dao động góp phần đáng kể vào phản ứng tổng thể của nhà [1]. Điều này được thực hiện nếu thỏa mãn một trong hai điều kiện sau:

- Tổng khối lượng hữu hiệu của các dạng dao động được xét chiếm ít nhất 90% tổng khối lượng kết cấu;

- Tất cả các dạng dao động có khối lượng hữu hiệu lớn hơn 5% tổng khối lượng đều được xét đến.

**Bước 6:** Xác định nội lực và chuyển vị trong hệ kết cấu dưới tác dụng của các lực phân bố  $F_{i,k}$  cho từng dạng dao động, chẳng hạn sử dụng chương trình Sap 2000, Etabs...

**Bước 7:** Chuyển vị hay nội lực trong hệ kết cấu được xác định theo phương pháp RSS.

$$E_i = \sqrt{\sum_{k=1}^n E_{i,k}^2} \quad (4)$$

### 3. Một cách tiếp cận theo TCXDVN 375 : 2006

#### 3.1. Ứng xử của nhà cao tầng chịu động đất

Phương trình vi phân dao động của hệ kết cấu nhà n tầng có cản nhớt dưới tác dụng của gia tốc dịch chuyển nền  $\ddot{y}_0(t)$  là:

$$[M]\{\ddot{y}(t)\} + [C]\{\dot{y}(t)\} + K\{y(t)\} = -[M]\{1\}\ddot{y}_0(t) \quad (5)$$

Trong đó: [M] - ma trận khối lượng;

[C] - ma trận độ cản;

[K] - ma trận độ cứng.

Từ phương trình (5) ta tìm được n phương trình vi phân độc lập ứng với từng dạng giao động [2] như sau:

$$\ddot{p}_k(t) + 2h_k \cdot \omega_k \cdot \dot{p}_k(t) + \omega_k^2 \cdot p_k(t) = -\beta_k \cdot \ddot{y}_0(t) \quad (6)$$

Với  $k=1, 2, \dots, n$ .

$$\beta_k = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k}}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k}^2} \quad (7)$$

$\beta_k$  - hệ số tham gia của giao động thứ k.

$\beta_k \cdot \{\phi_k\}$  - véc tơ tham gia của giao động thứ k có tính chất sau [2]:

$$\sum_{k=1}^n \beta_k \cdot \{\phi_k\} = \{1\} \text{ hoặc } \sum_{k=1}^n \beta_k \cdot \phi_{i,k} = 1 \quad (8)$$

Từ công thức tính toán khối lượng hữu hiệu  $m_k$  (2) ta chứng minh được tổng khối lượng hữu hiệu đối với tất cả các dao động theo một phương bằng khối lượng kết cấu:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n m_k &= \sum_{k=1}^n \frac{(\sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k})^2}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k}^2} = \\ &= \sum_{k=1}^n \left( \sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k}}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k}^2} \right) = \\ &= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^n m_i \cdot \phi_{i,k} \cdot \beta_k = \sum_{i=1}^n m_i \sum_{k=1}^n \beta_k \cdot \phi_{i,k} \stackrel{(8)}{=} \sum_{i=1}^n m_i \end{aligned}$$

Xét phần trăm giữa  $m_k$  với tổng khối lượng kết cấu:

$$\varepsilon_k = \frac{m_k}{\sum_{i=1}^n m_i} * 100\% \quad (9)$$

$\varepsilon_k$  được gọi là phần trăm tham gia của dao động thứ k vào dao động tổng thể của công trình ( $\sum_{k=1}^m \varepsilon_k = 100\%$ ). Giá trị  $\varepsilon_k$  (Individual Mode - percent) được thể hiện khá rõ trong quá trình phân tích dao động riêng của kết cấu bằng các chương trình như Sap 2000, Etabs...

Từ công thức (9) suy ra:

$$m_k = \varepsilon_k \cdot \sum_{i=1}^n m_i \quad (10)$$

### 3.2. Các bước xác định tải trọng động đất theo quy trình giản lược

**Bước 1:** Xác định các đặc trưng dao động riêng của hệ kết cấu.

Nội dung của bước này giống như bước 1 mục 2. Nhưng ta xác định thêm phần trăm tham gia của dao động thứ k vào dao động tổng thể của công trình (giá trị của  $\varepsilon_k$  - Individual Mode). Dao động nào có  $\varepsilon \geq 0,05$  (tức 5%) đều phải được xét đến.

**Bước 2:** Xác định phổ gia tốc thiết kế  $S_d(T)$ . Nội dung của bước này giống như bước 2 mục 2.

**Bước 3:** Xác định lực cắt tại chân công trình ứng với dạng dao động thứ k ( $F_{bk}$ ):

Lực cắt đáy tính theo công thức (1), nhưng trong đó giá trị  $m_k$  được tính theo công thức (10).

**Bước 4:** Phân bố lực động đất theo phương ngang ( $F_{k,i}$ ).

Nội dung của bước này giống như bước 4 mục 2. Đến đây chúng ta không cần thực hiện bước kiểm tra (bước 5 mục 2) vì đã biết sự đóng góp của những dao động được chọn trong phản ứng tổng thể của công trình (bước 1 mục 3).

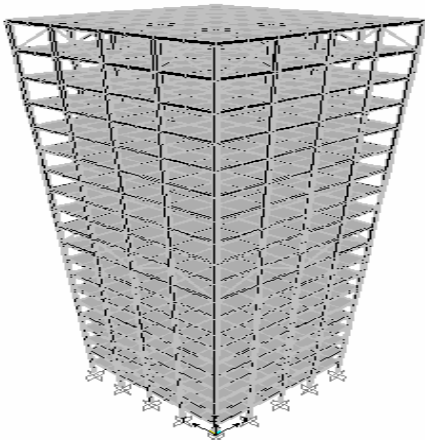
**Bước 5:** Nội dung giống bước 6 mục 2.

**Bước 6:** Nội dung giống bước 7 mục 2.

Như vậy theo quy trình tính toán nêu trên chúng ta đã rút ngắn được các bước tính toán (bỏ qua bước 5 mục 2). Sau đây là ví dụ cụ thể về tính tải trọng động đất theo quy trình giản lược đã nêu ở trên.

### 4. Ví dụ

**Mô tả:** Công trình có 20 tầng cao 66 m, kích thước hai cạnh là 20m x 20m. Lựa chọn vật liệu kết cấu khung, giằng bằng kết cấu thép và sàn bằng bê tông cốt thép. Công trình được xây dựng ở quận Cầu Giấy – Tp. Hà Nội. Sau đây là các bước xác định tải trọng động đất:



**Bước 1:** Xác định các đặc trưng dao động riêng.

Sau khi phân tích hệ kết cấu dao động tự do (bằng phần mềm Etabs), ta thấy những mode góp phần đáng kể vào phản ứng tổng thể của công trình.

a. Theo phương Y - Y:

Dạng dao động	Chu kỳ T (s)	Phần trăm tham gia
Bậc nhất	3,2	$\varepsilon_1 = 79,66\%$
Bậc hai	1,04	$\varepsilon_2 = 11,50\%$
Bậc ba	0,58	$\varepsilon_3 = 4,04\%$

b. Theo phương X - X

Dạng dao động	Chu kỳ T (s)	Phần trăm tham gia
Bậc nhất	2,70	$\varepsilon_1 = 78,40\%$
Bậc hai	0,87	$\varepsilon_2 = 12,03\%$
Bậc ba	0,48	$\varepsilon_3 = 4,01\%$

Căn cứ theo phần trăm tham gia của các dao động ta thấy rằng:

- Theo phương Y: hai dao động đầu tiên chiếm  $91,2\% > 90\%$ .

- Theo phương X: hai dao động đầu tiên chiếm  $90,4\% > 90\%$ .

Nên có thể bỏ qua ảnh hưởng của dao động thứ ba.

Bước 2: Xác định phổ gia tốc thiết kế  $S_d(T)$

Công trình được xây dựng ở phường Quan Hoa - quận Cầu Giấy, nền đất xây dựng thuộc loại C. Giá trị của phổ phản ứng mô tả đàn hồi đối với nền đất loại C:

$S = 1,15$ ;  $TB(s) = 0,15$ ;  $TC(s) = 0,6$ ;  $TD(s) = 2,0$ .

a. Giá trị gia tốc nền trên nền loại A

Giá trị đỉnh gia tốc nền tham chiếu trên nền loại A là  $a_{gR} = 0,1032 * g(m/s^2)$ . Công trình có chức năng làm văn phòng, cao 20 tầng, thường xuyên đông người, lắp đặt thiết bị có giá trị kinh tế cao, nên thuộc mức độ quan trọng cấp II có hệ số tầm quan trọng  $\gamma_1 = 1,00$ . Giá trị đỉnh gia tốc nền thiết kế là:

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 1,00 * 0,1032 * 9,81 = 1,0124 m/s^2.$$

b. Hệ số ứng xử của kết cấu

Công trình có hệ kết cấu thép đều đặn theo mặt đứng, khung được gia cường bằng các thanh giằng đồng tâm, hệ số ứng xử  $q = 4$ .

c. Xác định phổ gia tốc thiết kế  $S_d(T)$  của các dạng dao động theo phương Y

Các dao động theo phương Y		Các dao động theo phương X	
Các dạng dao động	$S_d(T)$ ( $m/s^2$ )	Các dạng dao động	$S_d(T)$ ( $m/s^2$ )
Bậc nhất	0,202	Bậc nhất	0,202
Bậc hai	0,42	Bậc hai	0,502

Bước 3 và 4: Lập bảng tính lực cắt đáy và lực ngang tác dụng tại tầng thứ i ứng với dao động thứ k.

Theo phương Y - Y:

+ Đối với dạng dao động thứ nhất,  $T = 3,2s$ .

Thông số tính toán				Kết quả tính theo quy trình giản lược			Kết quả tính theo quy trình đầy đủ trong TCXDVN 375:2006
Tầng	$S_d(T_k)$ ( $m/s^2$ )	$m_i$ (tấn)	$\phi_i$ (m)	$\varepsilon_k$	$m_k$ (tấn)	$F_{k,i}$ (T)	$F_{k,i}$ (T)
1	0.202	36.19	0.0029	0,7966	5.77E+02	0.512	0.512
2	0.202	36.19	0.0063	0,7966	5.77E+02	1.11	1.11

3	0.202	36.19	0.0097	0,7966	5.77E+02	1.70	1.70
4	0.202	36.19	0.0133	0,7966	5.77E+02	2.34	2.34
5	0.202	36.19	0.0169	0,7966	5.77E+02	2.97	2.97
6	0.202	36.19	0.0206	0,7966	5.77E+02	3.62	3.62
7	0.202	36.19	0.0242	0,7966	5.77E+02	4.25	4.25
8	0.202	36.21	0.0278	0,7966	5.77E+02	4.89	4.89
9	0.202	36.19	0.0313	0,7966	5.77E+02	5.50	5.50
10	0.202	36.28	0.0346	0,7966	5.77E+02	6.10	6.10
11	0.202	36.28	0.0363	0,7966	5.77E+02	6.40	6.40
12	0.202	36.19	0.0394	0,7966	5.77E+02	6.93	6.93
13	0.202	36.21	0.0423	0,7966	5.77E+02	7.44	7.44
14	0.202	36.19	0.045	0,7966	5.77E+02	7.91	7.91
15	0.202	36.19	0.0475	0,7966	5.77E+02	8.35	8.35
16	0.202	36.19	0.0498	0,7966	5.77E+02	8.75	8.75
17	0.202	36.19	0.0518	0,7966	5.77E+02	9.10	9.10
18	0.202	36.19	0.0535	0,7966	5.77E+02	9.40	9.40
19	0.202	36.33	0.055	0,7966	5.77E+02	9.70	9.70
20	0.202	35.64	0.0558	0,7966	5.77E+02	9.66	9.66

+ Đối với các dao động còn lại được tính tương tự.

Sau khi xác định được tải trọng động đất, ta thực hiện các bước 5 và 6 (mục 3) để xác định thông số đầu ra của kết cấu.

### 5. Kết luận

Theo quy trình tính toán giản lược nêu ở mục 3 cho kết quả tính toán đúng như tính theo quy trình đầy đủ trong TCXDVN 375 : 2006.

Việc sử dụng quy trình giản lược này giúp các kỹ sư giản hoá được tính toán và nhận biết dao động nào góp phần đáng kể trong phản ứng tổng thể của công trình ngay từ giai đoạn phân tích đặc trưng dao động riêng của kết cấu.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCXDVN 375 - 2006. Thiết kế công trình chịu động đất – Tiêu chuẩn thiết kế. NXB Xây dựng, Hà Nội, 2006.
2. ĐẶNG DANH THUẬT. Phương pháp phân tích phổ phản ứng trong thiết kế kháng chấn nhà cao tầng. Tạp chí Xây dựng, số 8/2007.  
Ngày nhận bài: 31/7/2008.