■Ngày nhận bài: 05/5/2025 ■Ngày sửa bài: 14/5/2025 ■Ngày chấp nhận đăng: 30/5/2025

# Một số nội dung tính toán kháng chấn nhà cao tầng với kết cấu khung chịu lực bê tông cốt thép theo tiêu chuẩn ACI-318 và IBC-2018

## Some calculation contents for the seismic resistance of high - rise buildings with reinforced concrete frame structures according to ACI-318 and IBC-2018 standards

**> TS NGUYỄN LỘC KHA**
Trường Đại học Giao thông vận tải
Email: khanl_ph@utc.edu.vn

**TÓM TẮT**

Động đất là một trong những thảm họa thiên nhiên gây ra thiệt hại lớn đến các công trình xây dựng, đặc biệt là những công trình cao tầng. Khi cường độ động đất càng lớn, mức độ tàn phá đối với các công trình càng trở nên nghiêm trọng. Việc tính toán và phân tích khả năng chịu động đất của công trình là một bài toán phức tạp và đầy thách thức. Để giải quyết vấn đề này, việc đơn giản hóa quy trình tính toán là một yêu cầu cấp thiết nhằm đảm bảo độ chính xác và hiệu quả trong thiết kế. Bài báo sẽ trình bày một số nội dung quan trọng trong việc tính toán kháng chấn cho kết cấu bê tông cốt thép áp dụng cho nhà cao tầng, dựa trên quan điểm của các tiêu chuẩn ACI-318 và IBC-2018, nhằm góp phần nâng cao độ an toàn và bền vững của các công trình trong điều kiện động đất.

**Từ khóa:** Động đất, tính toán kháng chấn, kết cấu bê tông cốt thép, nhà cao tầng.

**ABSTRACT**

Earthquakes are one of the natural disasters that cause significant damage to buildings, especially high-rise towers. The greater the earthquake intensity, the more severe the destruction to the structures becomes. Calculating and analyzing the seismic resistance of structures is a complex and challenging work. To solve this issue, simplifying the calculation process is an necessary requirement to ensure accuracy and efficiency in design. This paper presents some key aspects of seismic resistance calculations for reinforced concrete structures applied to high-rise buildings, based on the perspectives of the ACI-318 and IBC-2018 standards, aiming to enhance the safety and durability of structures under earthquake.

**Keywords:** Earthquake, seismic analysis, reinforced concrete structure, high-rise building.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong thời gian gần đây, các trận động đất và dư chấn xảy ra trong nước với mật độ và độ lớn ngày càng tăng, đặc biệt là khu vực miền Trung và Tây Nguyên. Theo số liệu thống kê từ Viện Vật lý Địa cầu, số trận động đất đã gia tăng mạnh trong 5 năm qua. Trong các năm từ 2019 đến 2023, số trận động đất tương ứng là 52, 98, 183, 293 và 353. Đặc biệt, độ sâu tâm chấn đang giảm nhiều, trước đây từ 15 km đến 17 km nhưng hiện nay chỉ còn khoảng hơn 8 km. Mức độ tàn phá do động đất gây ra là khủng khiếp, gây thiệt hại lớn về tính mạng con người và tàn phá các công trình xây dựng. Do đó, việc tìm hiểu nội dung các hướng dẫn về tính toán, thiết kế kết cấu công trình, đặc biệt là nhà cao tầng chịu tải trọng động đất là cần thiết.

Trên thế giới, nhiều tiêu chuẩn hướng dẫn tính toán kết cấu công trình chịu tải trọng động đất khác nhau đang được sử dụng. Bài báo trình bày một một số đặc trưng cơ bản trong việc phân tích các tải trọng tác động và tải trọng tính toán đối với kết cấu bê tông cốt thép nhà cao tầng chịu tải trọng động đất theo tiêu chuẩn ACI-318 của Mỹ và tiêu chuẩn xây dựng quốc tế IBC-2018.

### 2. NHỮNG ĐẶC TRƯNG CƠ BẢN TRONG TÍNH TOÁN TẢI TRỌNG ĐỘNG ĐẤT

#### 2.1 Lực cắt động tác dụng lên chân công trình

- Lực cắt động (lực ngang) thiết kế trước tiên phải được tính toán cho toàn bộ tòa nhà. Sau đó, lực ngang thiết kế này sẽ được phân bổ cho các tầng khác nhau. Lực động đất thiết kế tổng thể thu được tại mỗi tầng sẽ được phân bổ cho các thành phần chịu tải ngang riêng lẻ tùy thuộc vào cấu tạo và bố trí kết cấu tại sàn.

- Tổng lực ngang (lực cắt nền địa chấn) thiết kế ($V_B$) theo bất kỳ hướng chính nào sẽ được xác định theo biểu thức sau:

$$V_B = A_h . W \quad (1)$$

*Trong đó:*

W - Trọng lượng địa chấn của tòa nhà bao gồm tổng tải trọng tĩnh và các tải trọng khác;

$A_h$ - Giá trị phổ gia tốc (hệ số phản ứng địa chấn) ngang thiết kế theo chu kỳ tự nhiên cơ bản T, được xác định theo biểu thức sau:

$$A_h = \frac{Z.I.S_a}{2.R.g} \quad (2)$$

Z - Hệ số vùng phụ thuộc vào sự phân chia vùng động đất của quốc gia;

I - Hệ số quan trọng tùy thuộc tầm quan trọng về kinh tế, mục đích sử dụng, chức năng của các công trình…;

R - Hệ số điều chỉnh phản hồi giảm phản ứng có xét đến khả năng dẻo và tính chất kém đàn hồi của vật liệu kết cấu. Tỷ lệ (I/R) không được lớn hơn 1,0; g - Gia tốc trọng trường; Sa/g - Hệ số gia tốc phản ứng trung bình.

Hệ số phản ứng địa chấn $A_h$ phải nằm trong khoảng:

$$A_{h(min)} \le A_h \le A_{h(max)}$$

*Trong đó:*

$$A_{h(min)} = \frac{S_{DS}}{R/I_e} \quad (3)$$

$$A_{h(max)} = \begin{cases} \dfrac{S_{D1}}{T.(R/I_e)} & với \quad T \le T_L \\ \dfrac{S_{D1}.T_L}{T^2.(R/I_e)} & với \quad T \ge T_L \end{cases} \quad (4)$$

$S_{DS}$ - Tham số tăng tốc gia tốc phản ứng phổ động đất thiết kế trong thời gian ngắn; $I_e$ - Hệ số phân loại rủi ro tùy thuộc vào cấu trúc địa chất khu vực công trình;

$S_{D1}$ - Tham số gia tốc đáp ứng phổ thiết kế ở khoảng thời gian 1,0s, $T_L$ là các giai đoạn chuyển tiếp dài hạn. Ngoài ra, yêu cầu.

$$A_h = 0{,}44 S_{DS}.I_e \ge 0{,}01 \quad (5)$$

**2.2. Chu kỳ dao động tự nhiên cơ bản (T)**

Chu kỳ dao động tự nhiên đàn hồi là hàm số của khối lượng và độ cứng của kết cấu (tính bằng giây). Với tòa nhà có khung chịu mô-men, có thể được xác định bằng công thức sau:

$$T = C_t.h_n^x \quad (6)$$

$h_n$ - Chiều cao tính từ chân đế móng đến vị trí cao nhất của kết cấu cần tính toán và các hệ số $C_t$ và x xác định theo tiêu chuẩn.

Đối với nhà có khung bê tông cốt thép chiều cao không quá 12 tầng và chiều cao tầng ≥ 3 m chu kỳ dao động gần đúng T có thể được xác định bằng công thức (7), với N là số tầng của tòa nhà.

$$T_a = 0{,}1N \quad (7)$$

Lực ngang kháng chấn thiết kế tối thiểu $F_x$ tại sàn thứ x của tòa nhà xác định theo công thức:

$$F_x = C_{vx}.V_B \quad (8)$$

$C_{vx}$ - Hệ số phân phối dọc, xác định theo công thức:

$$C_{vx} = \frac{w_x.h_x^k}{\sum_{i=1}^{n} w_i.h_i^k} \quad (9)$$

Với k số mũ phân bổ liên quan đến chu kỳ dao động thiết kế, k = 1,0 đối với công trình có chu kỳ T ≤ 0,5s, k = 2,0 đối với công trình có chu kỳ T ≥ 2,5s, hay k được nội suy tuyến tính trong khoảng từ 1 đến 2 với công trình có chu kỳ dao động thiết kế 0,5 đến 2s; $h_i$, $h_x$ - Chiều cao từ chân móng đến tầng thứ x và chiều cao tầng tính toán; $w_i$, $w_x$ - Phần tổng trọng lượng của kết cấu; n - Số tầng; V - Tổng lực ngang thiết kế hoặc lực cắt địa chấn tại chân kết cấu.

**2.3. Tính lực cắt thiết kế ở các tầng**

Lực ngang động đất sẽ tạo ra lực cắt ở các tầng, lực cắt ở tầng x ($V_x$) được tính theo công thức:

$$V_x = \sum_{i=x}^{n} F_i^x \quad (10)$$

$F_i^x$ - Lực cắt nền do lực động đất (V) gây ra ở cấp thứ (i) cho sàn tầng thứ (x).

**2.4. Tính hiệu ứng xoắn**

- Trong tất cả các tòa nhà, do sự lệch giữa tâm khối lượng và tâm độ cứng, lực thiết kế được đặt tại tâm khối lượng và gây ra mô-men xoắn.

- Độ lệch tâm thiết kế ($e_{dx}$) tại tầng "x" sẽ được lấy là:

$$e_{dx} = \begin{cases} 1{,}5e_{sx} + 0{,}05b_x \\ hoặc\ e_{sx} - 0{,}05b_x \end{cases} \quad (11)$$

$e_{dx}$ - Độ lệch tâm tĩnh tại sàn "x" được định nghĩa là khoảng cách giữa tâm khối lượng và tâm độ cứng; $b_x$ - Kích thước mặt bằng của sàn "x" vuông góc với hướng của lực.

Mô-men xoắn do lực cắt "T" tại cao độ tầng x được tính theo công thức:

$$T = V_x.e_{dx} \quad (12)$$

**2.5. Mô-men lật**

Lực ngang $F_i^x$ tạo ra mô-men lật $M_x$ tính theo công thức:

$$M_x = \tau \sum_{i=1}^{n} [F_i^x.(h_i - h_x)] \quad (13)$$

- Mô-men lật tại cao độ tầng x; $F_i^x$ - Lực cắt nền do lực động đất (V) gây ra ở cấp động đất (i) cho tầng thứ "x"; $h_i$ và $h_x$ - Chiều cao từ chân móng đến tầng thứ x và chiều cao tầng tính toán; τ - Hệ số giảm mô-men lật để an toàn có thể lấy τ = 1,0 cho toàn bộ chiều cao của kết cấu.

**2.6. Biến dạng ngang của kết cấu**

Lực ngang động được sử dụng để tính toán chuyển vị của kết cấu. Chuyển vị của các tầng nhà dưới tác động của lực động đất quyết định rất lớn đến tính ổn định của kết cấu, khả năng gây hư hại cho các thành phần phi kết cấu và ảnh hưởng rất lớn đến tâm lý của người sử dụng.

Chuyển vị theo phương ngang $\delta_x$ của sàn tầng thứ x được tính theo công thức:

$$\delta_x = \frac{C_d.\delta_{xe}}{I_e} \quad (14)$$

Với: $\delta_{xe}$ - Chuyển vị ngang đàn hồi thiết kế tại sàn thứ x; $C_d$ - Hệ số khuếch đại chuyển vị; $I_e$ - Hệ số phân loại rủi ro tùy thuộc vào cấu trúc địa chất khu vực vị trí công trình tra tiêu chuẩn.

Chuyển vị của tầng thiết kế là sự chênh lệch giữa chuyển vị của các khối tâm của hai tầng liền kề, xác định theo công thức:

$$\Delta = \delta_x - \delta_{x-1} \le [\Delta] \quad (15)$$

**2.7. Kết hợp mô thức**

Các đại lượng phản ứng cực đại (như lực thành phần, chuyển vị, lực tầng, lực cắt tầng và phản ứng đáy…) sẽ được kết hợp theo phương pháp kết hợp toàn phương bậc hai với hệ số kết hợp mô thức λ.

$$\lambda = \sqrt{\sum_{i=1}^{r}\sum_{j=1}^{r} \lambda_i.\rho_{ij}.\lambda_j} \quad (16)$$

*Trong đó:*

r - Số chế độ tính toán đang được xem xét; $p_{ij}$ - Hệ số đa chế

độ; $\lambda_i$ - Lượng phản hồi ở chế độ thứ i; $\lambda_j$ - Lượng phản hồi ở mô thức thứ j.

$$\rho_{ij} = \frac{8\psi^2.(1+\beta).\beta^{1,5}}{(1+\beta^2)^2 + 4\psi^2.\beta.(1+\beta)^2} \quad (17)$$

Ψ - Tỷ lệ giảm chấn; $\beta = w_j/w_i$ - Tỉ lệ tần số; $w_i$ - Tần số tuần hoàn khi xét ở mô thức "I"; $w_j$ - Tần số tuần hoàn khi xét ở mô thức "j".

- Nếu các tòa nhà không ở gần nhau thì lượng phản ứng đỉnh (λ) của tất cả các mô thức được xem xét là:

$$\lambda = \sqrt{\sum_{k=1}^{r} (\lambda_k)^2} \quad (18)$$

*Trong đó:*

$\lambda_k$ - Giá trị tuyệt đối trong mô thức "k"; r - Số chế độ.

- Nếu tòa nhà có một vài chế độ ở gần nhau thì lượng phản ứng đỉnh (λ) của tất cả các mô thức này gây ra sẽ được tính như sau:

$$\lambda^* = \sum_{c}^{r} \lambda_c \quad (19)$$

- Khối lượng ở mô thức k được tính theo công thức:

$$m_k = \frac{[\sum_{x=1}^{n} W_x.\emptyset_{xk}]^2}{g.\sum_{x=1}^{n} W_x.(\emptyset_{xk})^2} \quad (20)$$

*Trong đó:*

G - Gia tốc trọng lực; $\phi_{xk}$ - Hệ số hình dạng tại sàn thứ "x" trong mô thức "k"; $W_x$ - Trọng lượng địa chấn của sàn thứ "x";

- Tải trọng thẳng đứng ($P_k$) của mô thức "k" được tính theo công thức:

$$P_k = \frac{\sum_{x=1}^{n} W_x.\emptyset_{xk}}{\sum_{x=1}^{n} W_x.(\emptyset_{xk})^2} \quad (21)$$

- Lực ngang tại tầng "x" của mô thức "k" được tính theo công thức:

$$Q_{xk} = A_k.\emptyset_{xk}.P_k.W_x \quad (22)$$

*Trong đó:*

$A_k$ - Thiết kế giá trị phổ gia tốc ngang theo chu kỳ dao động riêng ($T_k$) của mô thức "k";

- Lực cắt cực đại ($V_{xk}$) tác dụng vào tầng "x" ở mô thức "k" được tính theo công thức:

$$V_{xk} = \sum_{j=x+1}^{n} Q_{xk} \quad (23)$$

## 3. KẾT LUẬN

Để giảm thiểu tối đa những hậu quả thảm khốc về nhân mạng và tài sản do tác động của động đất gây ra, việc thiết kế kháng chấn cho các công trình xây dựng là vô cùng cần thiết, đặc biệt là những công trình có mật độ tập trung người cao như bệnh viện, trường học, khách sạn hay các công trình quan trọng như đập thủy điện. Những công trình này cần được tính toán và thiết kế cẩn trọng để đảm bảo khả năng chịu lực và an toàn tối đa trước các rung chấn. Bài báo đã trình bày một số nội dung lý thuyết quan trọng trong việc tính toán kháng chấn cho công trình bê tông cốt thép cao tầng, dựa trên các tiêu chuẩn ACI-318 và IBC-2018 nhằm cung cấp giải pháp thiết kế hiệu quả với độ tin cậy cao.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. American Concrete Institute (ACI) (2019), Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI Code 318-19. ACI, Detroit, MI.

[2]. International Code Council (ICC) (2018), International Building Code 2018 (IBC-2018), ICC, Country Club Hills, IL.

[3]. S. K. Ghosh and A. D. Fanella (2003), Seismic and Wind Design of Concrete Buildings. 2000 IBC, ASCE 7-98, ACI 318-99, International Code Council, Country Club Hills, IL.

[4]. S. K. Ghosh, A. W. Domel, Jr. and A. D. Fanella (1995), Design of Concrete Buildings for Earthquake and Wind Forces, 2nd ed. Portland Cement Association, Skokie, IL.

[5]. Portland Cement Association (PCA) (2002), Notes on ACI 318-02 Building Code Requirements for Structural Concrete with Design Applications. PCA, Skokie, IL.

[6]. Minimum Design Loads for Buildings and other Structures, ASCE 7-16. ASCE, Reston, VA, American Society of Civil Engineering (ASCE), 2017.

[7]. Criteria for earthquake resistant design of structures ICS 91.120.25.