

Phương pháp sử dụng biểu đồ tương tác P-M không thứ nguyên cho việc tính toán cột chịu nén lệch tâm theo TCVN 11823-2017

■ TS. TRẦN VIỆT HÙNG - Trường Đại học Giao thông vận tải
■ KS. PHẠM MẠNH THẮNG - Tổng cục Đường bộ Việt Nam

TÓM TẮT: Bài báo trình bày phương pháp xây dựng họ các biểu đồ tương tác P-M không thứ nguyên của cột chịu nén lệch tâm theo TCVN 11823-2017 Từ các họ biểu đồ này có thể áp dụng tính toán khả năng chịu lực của các cột chịu nén lệch tâm một phương, hai phương.

TỪ KHÓA: Cột bê tông cốt thép, lệch tâm, M-P, biểu đồ tương tác

ABSTRACT: This paper presents the method of building a family of dimensionless P-M interactive diagrams of eccentric compression columns according to TCVN 11823-2017 From these families, the chart can apply the calculation of bearing capacity of the unilateral and two-way eccentric compression columns.

KEYWORDS: Reinforced concrete columns, eccentric, M-P, interactive chart

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

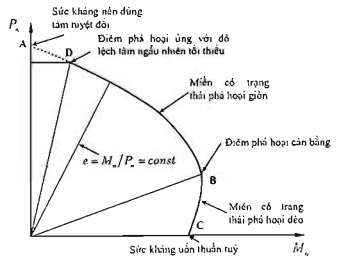
Hiện nay, có nhiều phương pháp tính toán cấu kiện chịu nén lệch tâm như: Phương pháp tính cột lệch tâm theo một phương với độ lệch tâm tương đương; phương pháp đường viền tải trọng và phương pháp tải trọng nghịch đảo được giới thiệu bởi Bresler dựa vào mặt cắt phẳng phá hoại; phương pháp xây dựng biểu đồ tương tác cấu trúc cơ sở xây dựng đường bao tải trọng theo không gian.

Khi tính toán cột chịu nén, trong cột xuất hiện lực dọc trục P và các mô-men theo các phương x và y (x, y là các trục vuông góc của tiết diện). Khi đó, mặt cắt bất kỳ trên cột sẽ có hai thành phần lực là mô-men và lực nén. Mối quan hệ giữa hai thành phần này sẽ có một dạng cố định khi xét theo khả năng chịu lực của cột.

Bài báo này sẽ xây dựng biểu đồ tương tác mô-men - lực dọc (M-P) cho cột chịu nén lệch tâm một phương với các cấp cường độ bê tông và hàm lượng cốt thép khác nhau, từ đó ứng dụng biểu đồ này để thiết kế các cấu kiện bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm theo TCVN 11823-2017.

2. ĐẶC ĐIỂM CỦA BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC P-M TRONG CỘT CHỊU NÉN LỆCH TÂM

Sức kháng của cột chịu nén lệch tâm phụ thuộc vào quan hệ giữa lực nén và mô-men uốn (quan hệ P-M) hay quan hệ giữa lực nén và độ lệch tâm. Ngoài ra, quan hệ P-M cũng quyết định dạng phá hoại của mặt cắt như phá hoại do kéo (phá hoại dẻo), phá hoại do nén (phá hoại giòn) hay các dạng phá hoại trung gian. Nếu tính toán các khả năng phối hợp có thể của lực nén và mô-men uốn để gây ra trạng thái phá hoại của mặt cắt và thể hiện chúng dưới dạng biểu đồ thì người ta sẽ nhận được biểu đồ tương tác P-M [3].



Hình 2.1: Biểu đồ tương tác P-M tổng quát [3]

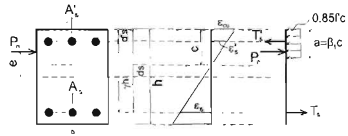
Hình 2.1 thể hiện một biểu đồ tương tác P-M tổng quát. Đường biên của biểu đồ này được gọi là đường bao phá hoại. Các điểm nằm trên đường bao thể hiện các tổ hợp P-M tới hạn. Các tổ hợp P-M ứng với các điểm nằm ngoài đường bao sẽ làm cho mặt cắt bị phá hoại, trong khi đó, các tổ hợp P-M ứng với các điểm nằm trong đường bao là các tổ hợp an toàn. Đường nối một điểm trên đường bao với gốc toạ độ thể hiện tập hợp các giá trị lực nén với một độ lệch tâm cố định.

Trên biểu đồ P-M, điểm A ứng với trường hợp cột chịu nén đứng tâm (không có mô-men uốn), điểm B ứng với trường hợp mặt cắt có trạng thái phá hoại cân bằng và C là trường hợp mặt cắt chịu uốn thuần túy. Có thể

thấy rằng, trong đoạn từ A đến B, sức kháng uốn tăng cùng với sự giảm của sức kháng nén. Tuy nhiên, trong đoạn từ C đến B, sức kháng uốn lại tăng cùng với sự tăng của sức kháng nén. Điều này có thể được giải thích là, trong đoạn từ C đến B, sự phá hoại là do kéo không chế (phá hoại do đứt của cốt thép chịu kéo) nên việc tăng lực nén sẽ làm giảm ứng suất kéo trong cốt thép và dẫn đến việc tăng khả năng chịu uốn [3].

3. XÂY DỰNG BIỂU ĐỒ TƯƠNG TÁC KHÔNG THỨ NGUYÊN P-M CỦA CỘT CHỊU NÉN LỆCH TÂM MỘT PHƯƠNG

Dưới tác dụng của lực nén lệch tâm, mặt cắt ngang cốt sẽ chịu tác dụng đồng thời của lực nén dọc trục và mô-men uốn, do đó ta có sơ đồ ứng suất - biến dạng trên mặt cắt ngang của cốt ở trạng thái giới hạn như sau [1]:



Hình 3.1: Sơ đồ ứng suất - biến dạng trên mặt cắt chữ nhật chịu nén lệch tâm

Từ sơ đồ ứng suất - biến dạng ở trên, ta có các phương trình cân bằng tĩnh học hay phương trình cơ bản xác định sức kháng của mặt cắt như sau:

Sức kháng nén dọc danh định được xác định bằng phương trình hình chiếu của các lực lên trục dọc cấu kiện [2].

Sức kháng nén dọc danh định được xác định bằng phương trình hình chiếu của các lực lên trục dọc cấu kiện:

$$P_n = 0.85\beta_1 f_c' b c + A_s' f_c' - A_s f_t \tag{1}$$

Sức kháng uốn danh định xác định bằng cách lấy tổng mô-men của các lực đối trục trong tâm của mặt cắt:

$$M_n = P_n e = 0.85\beta_1 f_c' b c \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s' f_c' \left(\frac{h}{2} - d_s \right) + A_s f_t \left(d_s - \frac{h}{2} \right) \tag{2}$$

Trong đó: β_1 - Hệ số khối ứng suất tương đương của vùng bê tông chịu nén;

- f_c' - Cường độ chịu nén đặc trưng của bê tông;
- B - Chiều rộng mặt cắt;
- C - Chiều cao vùng bê tông chịu nén.

Cần chú ý rằng, sức kháng nén P_n xác định được ở đây phải có giá trị nhỏ hơn sức kháng nén dọc trục xác định được theo các công thức (1) hoặc (2).

Ứng suất trong cốt thép chịu nén A_s' và cốt thép chịu kéo A_s tương ứng là f_c' và f_t được xác định đưa vào biến dạng của chúng ϵ_c' và ϵ_s ở trạng thái giới hạn như sau:

$$f_c' = \epsilon_c' E_s = \epsilon_{cu} \left(\frac{c-d_s}{c} \right) E_s = 0.003 \left(\frac{c-d_s}{c} \right) E_s \leq f_y \tag{3}$$

$$f_t = \epsilon_s E_s = \epsilon_{cu} \left(\frac{d_s-c}{c} \right) E_s = 0.003 \left(\frac{d_s-c}{c} \right) E_s \leq f_y$$

Đặt: $\xi = \frac{c}{h}$ thì $0 \leq \xi \leq 1$,

$\rho = \frac{A_s + A_s'}{A_g}$ là hàm lượng cốt thép của cột thì:

$$\frac{\rho}{2} = \frac{A_s}{A_g} - \frac{A_s'}{A_g} \tag{4}$$

Khi đó: $K_n = \frac{P_n}{A_g} = 0.85 f_c' \beta_1 \xi + \frac{\rho}{2} f_c' - \frac{\rho}{2} f_t$ (5)

$$R_n = \frac{M_n}{A_g h} = 0.85 f_c' \beta_1 \xi \left(\frac{1-\beta_1 \xi}{2} \right) + f_c' \frac{\rho}{2} \xi + f_t \frac{\rho}{2} \xi \tag{6}$$

Điều kiện cường độ đối với cốt chịu nén lệch tâm sẽ là [2]: $P_n \leq P_t = \phi P_n$ và $M_u \leq M_t = \phi M_n$ (7)

Trong đó:
 ϕ - Hệ số sức kháng, được lấy trung gian giữa hệ số sức kháng đối với cầu kiện chịu uốn và cầu kiện chịu nén dọc trục như sau (A5.5.4.2):

$$0.9 \geq \phi \geq 0.75 + 0.15 \frac{\epsilon_t - \epsilon_{t1}}{\epsilon_{t1} - \epsilon_{t2}} \geq 0.75 \tag{8}$$

$\epsilon_t = \frac{d_s - c}{c} 0.003$ - Biến dạng của cốt thép ở xa trục trung hòa nhất.

d_s - Khoảng cách từ trọng tâm lớp cốt thép xa trục trung hòa nhất đến bề tổng chiều dài của bê tông chịu nén ngoài cùng.

Với cốt thép có giới hạn chảy $f_y \leq 520 \text{MPa}$ thì các giới hạn biến dạng kiểm soát nén và kiểm soát kéo có thể lấy như sau:

$\epsilon_{t1} = 0.002$ là giới hạn biến dạng kiểm soát nén;
 $\epsilon_{t2} = 0.005$ là giới hạn biến dạng kiểm soát kéo.

Hệ số khối ứng suất được xác định như sau:

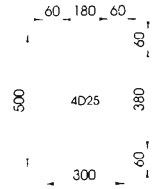
$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 \text{ cho } f_c' \leq 28 \text{MPa} \\ 0.85 - 0.05 \left(\frac{f_c' - 28}{7} \right) \text{ cho } 28 \text{MPa} < f_c' < 56 \text{MPa} \\ 0.65 \text{ cho } f_c' > 56 \text{MPa} \end{cases} \tag{9}$$

Từ những phân tích ở trên ta có thể vẽ được biểu đồ quan hệ giữa K_n và R_n với các thông số biến đổi phụ thuộc vào cường độ đặc trưng của bê tông, hệ số khoảng cách giữa hai hàng cốt thép và hàm lượng cốt thép chịu nén.

4. Ví dụ xây dựng biểu đồ tương tác không thứ nguyên của cột chịu nén lệch tâm

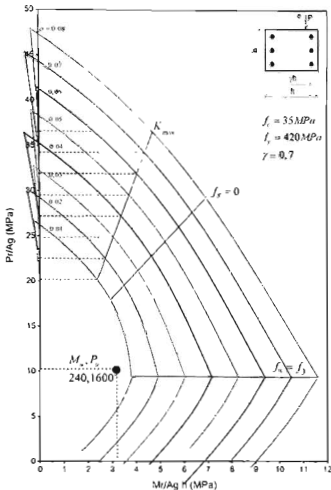
4.1. Bài toán tính duyệt cột chịu nén lệch tâm một phương

Cho một cột ngắn chịu nén lệch tâm một phương, tiết diện hình chữ nhật như Hình 2.1 dưới đây. Biết cột sử dụng loại bê tông có $f_c' = 35 \text{MPa}$, cốt thép theo ASTM A615M có $f_y = 420 \text{MPa}$ và tải trọng tác dụng là $M_t = 240 \text{kN.m}$; $P_t = 1.600 \text{kN}$. Yêu cầu kiểm tra xem cột có đủ khả năng chịu lực hay không?



Hình 4.1: Mặt cắt ngang cột tính toán

Lời giải:



Hình 4.2: Đồ thị tương tác P-M với $\gamma = 0,7$

Xác định hàm lượng cốt thép của cột:

$$\rho = \frac{A_s \times \bar{\sigma}_s}{A_g \times \bar{\sigma}_c} = \frac{4510}{300 \cdot 300} = 0,0135 > \rho_{\min} = 0,135 \frac{f_c}{f_y} = 0,135 \frac{35}{420} = 0,01125$$

Cột đảm bảo hàm lượng cốt thép tối thiểu.

Ta có:

$$\frac{P_n}{A_g} = \frac{1600000}{300 \cdot 300} = 10,67$$

$$\frac{M_n}{A_s \cdot h} = \frac{240000000}{300 \cdot 300 \cdot 500} = 3,2$$

$$\gamma = \frac{380}{500} = 0,76$$

$$f_c = 35 \text{ MPa}$$

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

Từ các dữ liệu trên, dựa theo đồ thị tương tác P-M như trên Hình 4.2 được xây dựng theo lý thuyết từ mục 3, có $\gamma = 0,7$ với lý do khi γ nhỏ thì đường bao lực nhỏ hơn. Kết quả nội suy thể hiện trên Hình 4.2 cho thấy, điểm tác dụng của tải trọng (M_n, P_n) nằm trong giới hạn của đường ứng suất $\rho = 0,01$, do vậy cột đủ khả năng chịu lực.

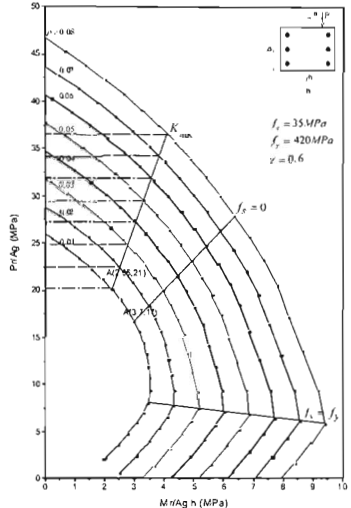
4.2. Bài toán thiết kế cột chịu nén lệch tâm hai phương

Thiết kế cột ngắn chịu nén lệch tâm hai phương kích thước 300x300. Biết cột sử dụng loại bê tông có $f_c = 35 \text{ MPa}$, cốt thép theo ASTM A615M có $f_y = 420 \text{ MPa}$. Tải trọng tác động $P_n = 1000 \text{ kN}$, $M_x = 100 \text{ kNm}$, $M_y = 80 \text{ kNm}$.

Lời giải:

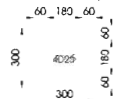
Xây dựng đồ thị tương tác P-M với $\gamma = 0,6$ như

Hình 4.3.



Hình 4.3: Đồ thị tương tác P-M với $\gamma = 0,6$

Lựa chọn mặt cắt như hình vẽ, sử dụng 4 thanh D25:



Tính duyệt lại với mặt cắt đã chọn:

$$\rho = \frac{A_s + A'_s}{A_g} = \frac{4580}{300 \cdot 300} = 0,0226 > \rho_{\min} = 0,135 \frac{f_c}{f_y} = 0,135 \frac{35}{420} = 0,01125$$

Sử dụng kết hợp phương pháp nghịch đảo tải trọng của Bresler.

Khoảng cách giữa hai hàng cốt thép theo phương x: 180mm.

Khoảng cách giữa hai hàng cốt thép theo phương y: 180mm.

Hệ số khoảng cách hai hàng cốt thép theo phương y:

$$\gamma_y = \frac{180}{300} = 0,6$$

Hệ số khoảng cách hai hàng cốt thép theo phương x:

$$\gamma_x = \frac{180}{300} = 0,6$$

Sử dụng đồ thị tương tác $\gamma = 0,6$ đã được xây dựng để xác định P_{nx} và P_{ny} .

Ta có:

$$\frac{M_{21}}{b \times h^2} = \frac{100 \times 10^6}{300 \times 300^2} = 3,7$$

$$\frac{M_n}{h \times b^2} = \frac{50 \times 10^6}{500 \times 300^2} = 2,96$$

Từ biểu đồ trên tra được:

$$P_n/A_g = 21 \Rightarrow P_n = 1890 \text{ (kN)}$$

$$P_{y_g}/A_g = 17 \Rightarrow P_{y_g} = 1530 \text{ (kN)}$$

Lực dọc tới hạn của cột chịu nén đúng tâm:

$$P_n = f_c \times b \times h + f_y \times A_s = 4006,8$$

Kiểm tra theo phương trình tải trọng nghịch đảo:

$$\frac{1}{P_n} = \frac{1}{P_n} + \frac{1}{P_n} - \frac{1}{\phi P_c}$$

$$\Rightarrow P_n = 1071 \text{ (kN)} > P_n = 1000.$$

Vậy thiết kế đã đưa ra đảm bảo yêu cầu chịu lực.

5. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày cách áp dụng phương pháp sử dụng biểu đồ tương tác P-M không thứ nguyên trong việc tính toán khả năng chịu lực của cột bê tông cốt thép chịu nén lệch tâm. Việc áp dụng phương pháp này là khá đơn giản. Cách xây dựng ho biểu đồ tương tác P-M phù hợp với TCVN 11823-2017 cũng đã được trình bày trong bài viết, không phụ thuộc vào kích thước mặt cắt ngang của cột, mà chỉ phụ thuộc vào cường độ đặc trưng của bê tông, hệ số khoảng cách giữa hai hàng cốt thép và hàm lượng cốt thép chịu nén.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Đào Văn Đình (2019), *Bài giảng kết cấu bê tông cốt thép theo TCVN11823-2017*, Trường Đại học GTVT.
- [2]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2017), *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 11823-5:2017, Thiết kế cấu đường bộ, Phần 5: Kết cấu bê tông cốt thép*
- [3]. PGS. TS. Ngô Đăng Quang, TS. Nguyễn Duy Tiến (2009), *Kết cấu bê tông*, NXB. GTVT, Hà Nội.

Ngày nhận bài: 12/02/2020

Ngày chấp nhận đăng: 09/3/2020

Người phản biện: TS. Nguyễn Thị Cẩm Nhung

TS. Hoàng Việt Hải