

Chương 6:

CẤU KIỆN CHỊU NÉN

Mục tiêu và nội dung cơ bản của chương 6 trình bày các vấn đề sau:

Giới thiệu chung về cấu kiện chịu nén, các trường hợp chịu nén.

Trình bày đặc điểm cấu tạo về tiết diện và cốt thép của cấu kiện chịu nén đúng tâm và lệch tâm.

Tính toán cấu kiện chịu nén đúng tâm, lệch tâm bao gồm sơ đồ ứng suất, các phương trình cơ bản, điều kiện hạn chế và các bài toán vận dụng. Qua đó có thể nắm được trình tự tính toán và có thể vận dụng để tính toán các cấu kiện chịu nén.

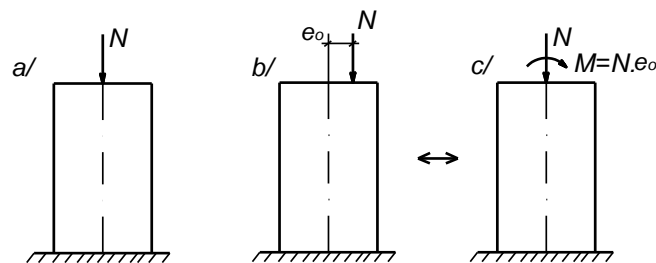
6.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ CẤU KIỆN CHỊU NÉN

Cấu kiện chịu nén là cấu kiện chịu tác dụng của lực nén N dọc theo trục của nó.

Tùy theo vị trí của N mà phân biệt thành hai trường hợp nén đúng tâm và nén lệch tâm:

Khi lực N đặt trùng với trọng tâm tiết diện ngang ta có cấu kiện chịu nén đúng tâm.

Khi N đặt lệch so với trọng tâm tiết diện, ta có cấu kiện chịu nén lệch tâm.



H 6.1: Các trường hợp của cấu kiện chịu nén

a) Nén đúng tâm; b,c) nén lệch tâm.

Lực N đặt lệch tâm tương đương với lực N đặt đúng tâm và một momen có giá trị: $M = Ne_0$.

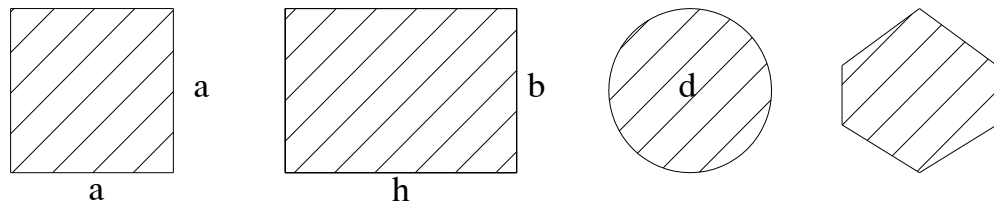
Cấu kiện chịu nén thường gặp là cột, thanh nén của dàn, thân vòm... Trên tiết diện ngang xuất hiện lực dọc và mômen.

Trong cấu kiện chịu nén, lực cắt Q thường ít nguy hiểm hơn so với cấu kiện chịu uốn. Tuy vậy khi Q lớn cũng có thể gây ra sự phá hoại trên tiết diện nghiêng nên cần phải tính toán kiểm tra.

6.2. CẤU TẠO CHUNG

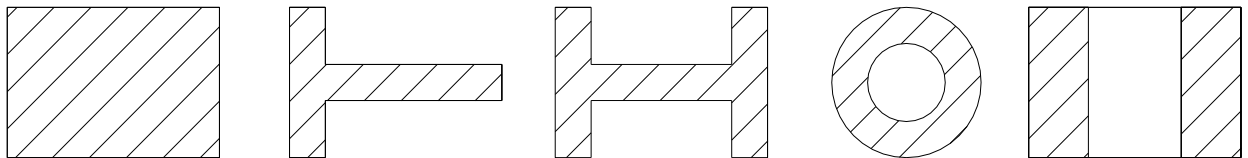
6.2.1. Tiết diện

Đối với cấu kiện nén đúng tâm: thường có dạng vuông, chữ nhật, tròn hay đa giác đều.



H 6.2: Tiết diện cấu kiện chịu nén đúng tâm

Đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm: tiết diện ngang thường có dạng chữ nhật, I, T, vành khuyên hoặc cột rỗng 2 nhánh có chiều cao của tiết diện song song với mặt phẳng uốn.



H 6.3: Tiết diện cấu kiện chịu nén lệch tâm

Tỷ số h/b thường = 1,5 ÷ 3

Diện tích tiết diện ngang của cấu kiện có thể được xác định sơ bộ theo công thức:

$$A = \frac{kN}{R_b}$$

N : lực dọc tính toán. Trong trường hợp chưa có số liệu một cách chính xác, có thể dùng cách tính gần đúng để xác định N .

R_b : cường độ chịu nén tính toán của bê tông

k : hệ số phụ thuộc vào các nhiệm vụ thiết kế cụ thể.

= 0,9 ÷ 1,1 đối với cấu kiện nén đúng tâm

= 1,2 ÷ 1,5 đối với cấu kiện nén lệch tâm

Khi chọn kích thước tiết diện cũng cần phải thỏa mãn các điều kiện về thi công, về hạn chế độ mảnh và bảo đảm khả năng chịu lực.

Về thi công, cần chọn kích thước sao cho có được sự thuận lợi về việc làm ván khuôn, đặt cốt thép, đổ bê tông. Thông thường cạnh tiết diện được chọn theo bội số của 2cm hoặc 5cm, với cạnh khá lớn nên chọn bội số của 10cm.

Về hạn chế độ mảnh nhằm đảm bảo sự ổn định của cấu kiện. Cần hạn chế độ mảnh λ theo điều kiện sau:

Đối với tiết diện bất kỳ: $\lambda = \frac{l_o}{r} \leq \lambda_o$

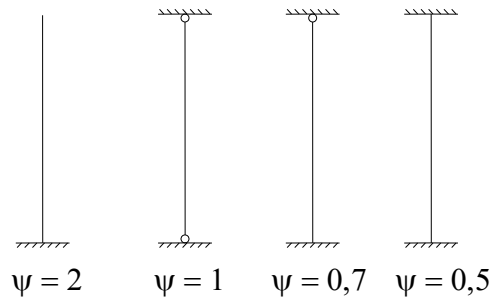
Đối với tiết diện chữ nhật: $\lambda_b = \frac{l_o}{b} \leq \lambda_{ob}$

($r = 0.288b$)

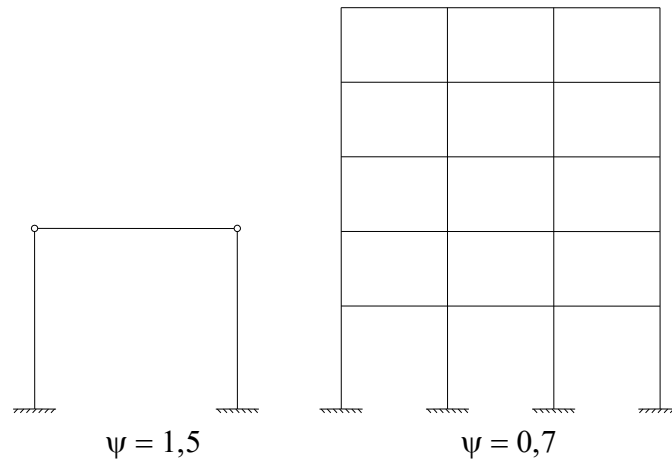
l_o : chiều dài tính toán của cấu kiện được xác định theo công thức:

$$l_o = \psi l$$

Với ψ - hệ số uốn dọc, phụ thuộc vào sơ đồ biến dạng của cấu kiện khi bị mất ổn định, tức phụ thuộc vào liên kết của cấu kiện:



H 6.4-Hệ số ψ ứng với các liên kết lý tưởng.



H 6.5-Hệ số ψ ứng với một số kết cấu

Với khung nhiều tầng có liên kết cứng giữa dầm và cột, kết cấu sàn đổ toàn khối:

- Khung có từ ba nhịp trở lên $\psi = 0,7$

Với khung như trên, kết cấu sàn lắp ghép:

- Khung một nhịp $\psi = 1,2$ với tầng 1; $\psi = 1,5$ ở các tầng trên;
- Khung có từ 3 nhịp trở lên $\psi = 1$

r : bán kính quán tính của tiết diện được xác định theo công thức của sức bền vật liệu.

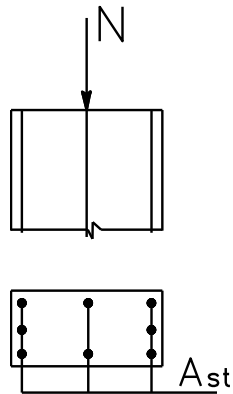
λ_o, λ_{ob} : độ mảnh giới hạn

- đối với cột nhà: $\lambda_o = 120, \lambda_{ob} = 31$
- đối với các cấu kiện khác: $\lambda_o = 200, \lambda_{ob} = 52$

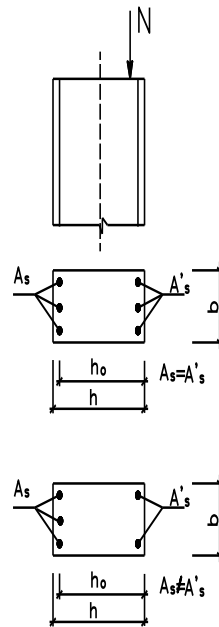
6.2.2. Cấu tạo cốt thép

Cốt thép trong cột gồm có cốt dọc chịu lực, cốt dọc cấu tạo và cốt đai.

Cốt thép dọc chịu lực:



a. Cấu kiện chịu nén đúng tâm



b. Cấu kiện chịu nén lệch tâm

H6.6-Cốt thép dọc chịu lực

Cốt dọc chịu lực $\phi = 12 \div 40\text{mm}$. Khi cạnh tiết diện $> 20\text{cm}$ nên dùng $\phi \geq 16$
 Trong cấu kiện chịu nén đúng tâm cốt dọc được đặt đều theo chu vi.

$$\mu_t = \frac{A_{st}}{A} 100\%$$

$$\mu_{\min} \leq \mu_t \leq 3\%$$

A_{st} : tổng diện tích cốt dọc

A : diện tích tiết diện ngang

Trong cấu kiện chịu nén lệch tâm:

A'_s : cốt thép đặt trên cạnh chịu nén nhiều

A_s : cốt thép đặt ở cạnh đối diện (chịu nén ít hoặc kéo)

Nếu $A'_s = A_s$ ta có tiết diện đặt thép đối xứng

$$\mu = \frac{A_s}{A_b} 100\%; \mu' = \frac{A'_s}{A_b} 100\%$$

Trong đó :

A_b : tiết diện làm việc của cấu kiện (đối với tiết diện chữ nhật $A_b = b.h_o$)

μ và μ' không được nhỏ hơn μ_{\min} và $(\mu + \mu') \leq \mu_{\max}$ (Khi cần hạn chế việc sử dụng quá nhiều cốt thép người ta lấy $\mu_{\max} = 3\%$; để đảm bảo sự làm việc chung giữa thép và bê tông thường lấy $\mu_{\max} = 6\%$), thường $\mu_t = (\mu + \mu') = 0,5\% \div 1,5\%$

Đối với cấu kiện nén lệch tâm, μ_{\min} lấy như sau:

$\mu_{\min} \%$	khi độ mảnh
0,05	$\lambda \leq 17$ hoặc $\lambda_h \leq 5$

0,1	$17 < \lambda \leq 35$ hoặc $\lambda_h \leq 10$
0,2	$35 < \lambda \leq 83$ hoặc $\lambda_h \leq 24$
0,25	$\lambda > 83$.

Đối với cấu kiện chịu nén đúng tâm, độ mảnh tính theo cạnh bé của tiết diện và μ_{\min} lấy gấp đôi trị số cho ở trên.

Cốt thép dọc cấu tạo:

Với cấu kiện nén lệch tâm, khi $h > 500\text{mm}$ mà cốt thép dọc A_s, A_s' được đặt tập trung theo cạnh b thì còn cần đặt cốt thép dọc cấu tạo vào khoảng giữa cạnh h , dùng để chịu những ứng suất sinh ra do bê tông co ngót, do nhiệt độ thay đổi và cũng có thể giữ ổn định cho những nhánh cốt thép đai quá dài. Cốt thép dọc cấu tạo không tham gia vào tính toán khả năng chịu lực, có đường kính $\Phi \geq 12\text{mm}$, có khoảng cách theo phương cạnh h là $S_o = \leq 500\text{mm}$ (H6.7). Trên hình 6.7 các thanh số (1) là cốt thép cấu tạo. Khi đã đặt cốt thép dọc chịu lực theo chu vi thì không cần đặt cốt thép dọc cấu tạo nữa.

Cốt đai:

Tác dụng: giữ vị trí cốt thép dọc khi thi công, hạn chế nở ngang của bê tông, giữ ổn định cốt thép dọc chịu nén, khi cấu kiện chịu lực cắt lớn thì cốt đai tham gia chịu lực cắt.

$\phi_{sw} \geq 0,25\phi_{\max}$ và 5mm .

Khoảng cách đai: $a \leq k.\phi_{\min}$ và a_o .

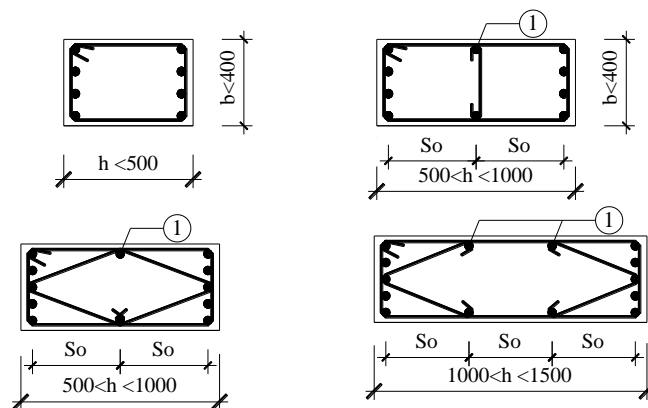
Khi $R_{sc} \leq 400\text{MPa}$; lấy $k=15$ và $a_o=500\text{ mm}$.

Khi $R_{sc} > 400\text{MPa}$; lấy $k=12$ và $a_o=400\text{ mm}$.

Nếu hàm lượng cốt thép dọc $\mu' \geq 1.5\%$ cũng như khi toàn bộ tiết diện chịu nén mà $\mu_t > 3\%$ thì $k=10$ và $a_o=300\text{mm}$.

Trong đoạn nối chồng cốt thép dọc: $a \leq 10.\phi_{\min}$

Các đai phải được móc neo để không bật ra khi chịu nén. Tiêu chuẩn thiết kế quy phạm cứ cách một cốt dọc phải có một cốt dọc đặt ở góc cốt đai, khi cạnh của tiết diện $\leq 40\text{cm}$ và trên mỗi cạnh có không quá 4 cốt dọc thì cho phép dùng một đai bao quanh các cốt dọc đó.



H 6.7-Cốt dọc cấu tạo và cốt đai

6.3. SỰ LÀM VIỆC CỦA CẤU KIỆN

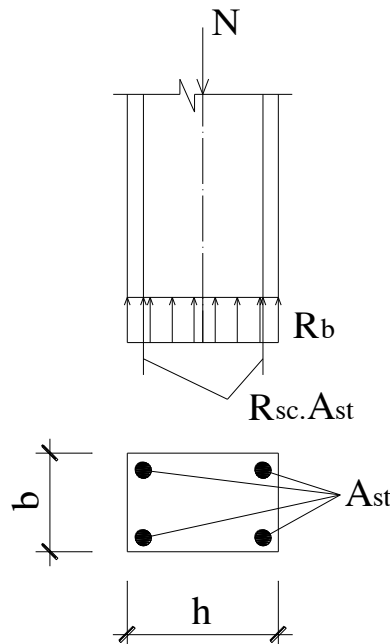
Khi chịu nén đúng tâm bê tông và cốt thép dọc cùng chịu lực cho đến khi bê tông bắt đầu bị phá hoại. Lúc này biến dạng của bê tông đạt giá trị $\varepsilon_{bc} = 0,002$ và biến dạng của cốt thép ε_s cũng bằng chừng ấy. Nếu cốt thép còn làm việc trong giai đoạn đàn hồi thì ứng suất sẽ là: $\sigma_s = \varepsilon_s E_s$ với $E_s = 200000$ MPa thì $\sigma_s = 400$ MPa. Như vậy nếu cốt thép có cường độ (giới hạn chảy) dưới 400 Mpa thì khi bê tông phá hoại cốt thép đã làm việc ở vùng có biến dạng dẻo, ứng suất đạt cường độ của thép. Nếu cốt thép có giới hạn chảy trên 400 Mpa thì khi bê tông bắt đầu phá hoại ứng suất trong cốt thép cũng chỉ mới đạt 400 Mpa.

Khi chịu nén thì cấu kiện bị uốn dọc, khả năng chịu lực giảm xuống, để kể đến ảnh hưởng này ta đưa vào hệ số $\varphi \leq 1$ vào khả năng chịu lực đối với cấu kiện chịu nén đúng tâm và hệ số $\eta \geq 1$ vào độ lệch tâm để tăng độ lệch tâm (giảm khả năng chịu lực) đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm.

6.4. TÍNH TOÁN CẤU KIỆN CHỊU NÉN ĐÚNG TÂM CÓ TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT

6.4.1. Sơ đồ ứng suất

Thực nghiệm cho biết khi kết cấu bị phá hoại, ứng suất trong bê tông đạt đến cường độ chịu nén của bê tông và ứng suất trong cốt thép đạt cường độ chịu nén của cốt thép. Nhờ lực dính mà có thể tận dụng hết khả năng chịu lực của bê tông và cốt thép



**H6.8-Sơ đồ ứng suất
cấu kiện chịu nén trung tâm**

Ở trạng thái giới hạn ứng suất trong cốt thép đạt tới R_{sc} , ứng suất trong bê tông đạt tới R_b

Phương trình cân bằng tĩnh học:

$$N \leq N_{gh} = R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot A_{st}$$

Tính theo trạng thái giới hạn (có kể đến ảnh hưởng của uốn dọc):

$$N \leq \varphi(R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot A_{st}) \quad (6.1)$$

N : lực dọc do tải trọng tính toán gây ra

A_b : diện tích làm việc của tiết diện bê tông

$$A_b = A \quad (\mu_t \leq 3\%)$$

$$A_b = A - A_{st} \quad (\mu_t > 3\%)$$

R_b cường độ chịu nén tính toán của bê tông, trong đó có kể đến hệ số điều kiện làm việc của bê tông γ_b , γ_b tra phụ lục.

R_{sc} : cường độ chịu nén tính toán của cốt thép

φ : hệ số kể đến ảnh hưởng của uốn dọc, phụ thuộc độ mảnh λ

Khi $\lambda = \frac{l_o}{r_{\min}} \leq 28$ thì có thể bỏ qua uốn dọc, lấy $\varphi=1$.

Khi $28 < \lambda \leq 120$ có thể xác định φ theo công thức thực nghiệm:

$$\varphi = 1,028 - 0,0000288\lambda^2 - 0,0016\lambda$$

6.4.2. Vận dụng

a. Bài toán thiết kế: Biết kích thước tiết diện, biết l_o , N , R_{sc} , R_b . Tính A_{st}

Tính $\lambda = \frac{l_o}{r}$ tra bảng được φ

$$\text{Từ (6.1) } \Rightarrow A_{st} = \frac{\frac{N}{\varphi} - R_b A_b}{R_{sc}} \quad (6.2)$$

$(A_b = A)$

Phải kiểm tra điều kiện : $\mu_{\min} \leq \mu_t = \frac{A_s}{A} \leq 3\%$

$\mu_t < \mu_{\min}$: nên giảm kích thước tiết diện hoặc cấp độ bền của bê tông để tính lại.
Nếu vẫn giữ nguyên số liệu thì cần chọn cốt thép theo yêu cầu tối thiểu, lấy $A_{st} = \mu_{\min} A$.

$\mu_t > 3\%$: nên tăng kích thước tiết diện hoặc tăng cấp độ bền bê tông, lúc này lấy $A_b = A - A_{st}$ để tính lại A_{st}

Ví dụ 6.1. Cho một cột chịu nén đúng tâm với các số liệu sau: bê tông có cấp độ bền chịu nén B20, cốt thép nhóm CIII, bxbh= (25x40)cm, chiều dài cột $l = 5,4m$ (cột có liên kết một đầu ngàm – một đầu khớp), hệ số điều kiện làm việc của bê tông lấy bằng 1, $N = 1400kN$. Yêu cầu thiết kế cốt thép dọc chịu lực, chọn cốt đai theo cấu tạo vẽ mặt cắt bố trí cốt thép.

Lời giải

- Bước 1: Tra số liệu

Với bê tông B20, cốt thép nhóm CII, hệ số điều kiện làm việc của bê tông $\gamma_b=1$ tra bảng có $R_b=11,5Mpa$; $R_s=R_{sc}=280Mpa$.

- Bước 2: tính $\lambda_{\min} = \frac{l_0}{r_{\min}}$

Với $l_0 = \psi \cdot l = 0,7540 = 378\text{cm}$

$r_{\min} = 0,288b = 0,288 \cdot 25 = 7,2\text{cm}$

$\Rightarrow \lambda = \frac{378}{7,2} = 52,5 > 28$: cần xét đến uốn dọc

$\varphi = 1,028 - 0,0000288\lambda^2 - 0,0016\lambda = 1,028 - 0,0000288 \cdot (52,5)^2 - 0,0016 \cdot 52,5 = 0,865$

- Bước 3: Lấy $A_b = A = b \times h = 250 \times 400 = 100000\text{mm}^2$

$$A_{st} = \frac{\frac{N}{\varphi} - R_b A_b}{R_{sc}} = \frac{\frac{1400 \cdot 10^3}{0,865} - 11,5 \cdot 100000}{280} = 1673\text{mm}^2 = 16,73\text{cm}^2$$

- Bước 4: $\mu_t = \frac{A_{st}}{A} \cdot 100\% = \frac{16,73}{25 \cdot 40} \cdot 100\% = 1,673\%$

Với $\lambda = 52,5 \Rightarrow \mu_{\min} = 0,4\%$

Vậy $2\mu_{\min} \leq \mu_t \leq 3\%$

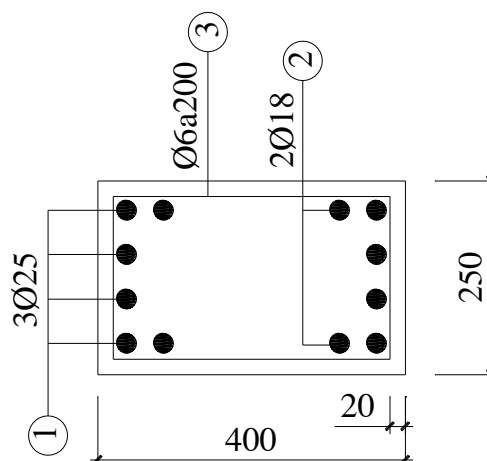
- Bước 5: chọn và bố trí cốt thép. Chọn $4\phi 20 + 2\phi 18$ có diện tích $17,65\text{cm}^2$. Bố trí như hình vẽ.

- Bước 6: chọn cốt đai theo cấu tạo

Đường kính cốt đai $\phi_{sw} = \max(0,25\phi_{\max}; 5\text{mm}) = \max(0,25 \cdot 20; 5\text{mm}) = 5\text{mm}$. Chọn đai $\phi 6$.

Khoảng cách cốt đai: $a \leq 15\phi_{\min} = 15 \cdot 18 = 270\text{mm}$. Chọn khoảng cách đai 200mm

- Bước 7: Bố trí cốt thép như hình vẽ



H6.8a: Bố trí thép trên mặt cắt

b. Bài toán kiểm tra: Biết kích thước tiết diện, biết A_{st} , l_0 , cường độ vật liệu. Yêu cầu tính khả năng chịu lực.

Từ kích thước tiết diện tính bán kính quán tính r_{\min} , tính $\lambda = \frac{l_0}{r_{\min}}$ để xét uốn dọc, xác định φ . Tính N_{gh} theo công thức (6.1) và kiểm tra theo điều kiện $N \leq N_{gh}$.

Ví dụ 6.2. Cho một cột chịu nén đúng tâm với các số liệu sau: bê tông có cấp độ bền chịu nén B15 (cột được đổ bê tông theo phương đứng), cốt thép nhóm CII, $b \times h = (20 \times 25) \text{cm}$, chiều dài cột $l = 3,9 \text{m}$ (cột có liên kết hai đầu khớp), cột chịu lực dọc $N = 650 \text{kN}$, cốt thép dọc chịu lực $4\phi 20$. Yêu cầu kiểm tra khả năng chịu lực.

Lời giải

Bước 1: tra số liệu

Với bê tông B15 tra bảng ta có cường độ tính toán gốc $8,5 \text{Mpa}$

Thép nhóm CII tra bảng ta có $R_s = R_{sc} = 280 \text{Mpa}$

Với bê tông đổ thẳng đứng và cạnh tiết diện nhỏ hơn 30cm tra bảng ta có hệ số điều kiện làm việc của bê tông $\gamma_b = 0,85 \times 0,85 = 0,723$

Cường độ tính toán của bê tông $R_b = 8,5 \times 0,723 = 6,146 \text{Mpa}$

Bước 2:

Cột có 2 đầu liên kết khớp do vậy $l_0 = l = 3,9 \text{m}$

$$r_{\min} = 0,288b = 0,288 \cdot 200 = 57,6 \text{mm}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{r_{\min}} = \frac{3900}{57,6} = 67,71$$

$28 < \lambda < 120$: cột đảm bảo yêu cầu về độ mảnh và cần xét đến ảnh hưởng của uốn dọc

$$\varphi = 1,028 - 0,0000288\lambda^2 - 0,0016\lambda = 1,028 - 0,0000288 \cdot (67,71)^2 - 0,0016 \cdot 67,71 = 0,797$$

$$\text{Bước 3: } \mu_t = \frac{A_s}{A_b} \cdot 100\% = \frac{1256}{200 \cdot 250} \cdot 100\% = 2,51\% < 3\%$$

$$\text{Lấy } A_b = A = 200 \times 250 = 50000 \text{mm}^2$$

Bước 4:

$$N_{gh} = \varphi \cdot (R_b \cdot A_b + R_{sc} \cdot A_{st}) = 0,797 \cdot (6,146 \cdot 50000 + 280 \cdot 1256) = 525207 \text{N} = 525,207 \text{kN}$$

$N_{gh} < N$ cấu kiện không đủ khả năng chịu lực.

6.5. TÍNH TOÁN CẤU KIỆN CHỊU NÉN LỆCH TÂM CÓ TIẾT DIỆN HCN

6.5.1. Sự làm việc của cấu kiện chịu nén lệch tâm

a. Phân biệt các độ lệch tâm

Ngoài độ lệch tâm tĩnh học $e_{o1} = \frac{M}{N}$ còn phải kể đến độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a do sai lệch về kích thước hình học, do cốt thép đặt không đối xứng, do bê tông không đồng chất,... e_a được lấy theo số liệu thực tế. Nếu không có số liệu thực tế thì lấy như sau:

Với kết cấu siêu tĩnh không chịu lực nén trực tiếp có thể lấy $e_a = 0$.

Với kết cấu tĩnh định hoặc là bộ phận của kết cấu siêu tĩnh nhưng chịu lực nén trực tiếp đặt lên nó chọn e_a không nhỏ hơn $\left(\frac{1}{600} \cdot l_{ck}, \frac{1}{30} \cdot h \right)$, đồng thời:

$e_a \geq 2\text{cm}$ đối với cột và tấm có $h \geq 25\text{cm}$.

$e_a \geq 1,5\text{cm}$ đối với cấu kiện có $h = (15 \div 25)\text{cm}$.

$e_a \geq 1\text{cm}$ đối với cấu kiện có $h < 15\text{cm}$.

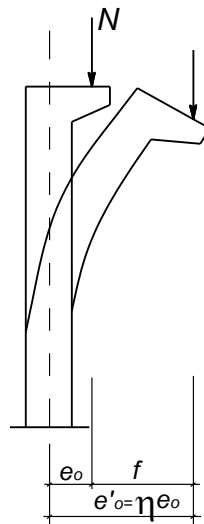
Với kết cấu tĩnh định, độ lệch tâm tính toán sẽ là:

$$e_o = e_{o1} + e_a$$

Với kết cấu siêu tĩnh, độ lệch tâm tính toán sẽ là:

$$e_o = \max(e_{o1}, e_a)$$

b. Ảnh hưởng của uốn dọc đối với cấu kiện chịu nén lệch tâm



H 6.9- Ảnh hưởng của uốn dọc.

Nếu cấu kiện bê tông cốt thép có l lớn, kích thước tiết diện nhỏ, khi lực dọc đặt lệch tâm sẽ làm cho cấu kiện có độ võng. Độ lệch tâm ban đầu e_o sẽ tăng lên thành:

$$e_o + f = e_o(1 + f/e_o) = \eta e_o$$

($\eta \geq 1$: hệ số xét đến ảnh hưởng của uốn dọc. Hình 6.9).

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \quad (6.3)$$

N_{cr} : lực dọc tới hạn, được xác định bằng công thức thực nghiệm

$$N_{cr} = \frac{6,4E_b}{l_o^2} \left(\frac{SI}{\varphi_l} + \alpha I_s \right) \quad (6.4)$$

Trong đó:

l_o - chiều dài tính toán của cấu kiện.

E_b - môđun đàn hồi của bê tông.

I – mômen quán tính của tiết diện lấy đối với trục qua trọng tâm tiết diện và vuông góc với mặt phẳng uốn.

I_s – mômen quán tính của tổng diện tích tiết diện cốt thép dọc chịu lực lấy đối với trục qua trọng tâm tiết diện và vuông góc với mặt phẳng uốn

Với tiết diện chữ nhật bxh: $I = \frac{bh^3}{12}$

$$I_s = (A_s + A_s')(0,5h - a)^2$$

Khi chưa biết A_s, A_s' giả thiết trước $\mu_t = (0,01 \div 0,02)$

$$\Rightarrow I_s = (A_s + A_s')(0,5h - a)^2$$

+ $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$ với E_s - môđun đàn hồi của cốt thép.

+ S - hệ số xét đến ảnh hưởng của độ lệch tâm.

$$S = \frac{0,11}{0,1 + \frac{\delta_e}{\varphi_p}} + 0,1 \quad (6.5)$$

Với δ_e - hệ số lấy theo quy định sau:

$$\delta_e = \max\left(\frac{e_o}{h}; \delta_{\min}\right) \quad (6.6)$$

$$\text{Với } \delta_{\min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_o}{h} - 0,01 R_b$$

R_b - tính bằng MPa.

φ_p - hệ số xét đến ảnh hưởng của cốt thép căng ứng lực trước. Với kết cấu BTCT thường $\varphi_p = 1$.

+ $\varphi_l \geq 1$ - hệ số xét đến ảnh hưởng của tải trọng tác dụng dài hạn.

$$\varphi_l = 1 + \beta \frac{M_l + N_l y}{M + N y} \leq 1 + \beta \quad (6.7)$$

Trong đó:

+ y - khoảng cách từ trọng tâm tiết diện đến mép chịu kéo (hoặc nén ít), với tiết diện chữ nhật: $y = 0,5h$.

+ β - hệ số phụ thuộc vào loại bê tông, lấy theo Bảng 29-TCXDVN 356-2005

+ M_1, N_1 - nội lực do tải trọng tác dụng dài hạn.

Chú ý:

+ Khi M_1 và M ngược dấu nhau thì M_1 được lấy giá trị âm, lúc này nếu tính được $\varphi_l < 1$ thì phải lấy $\varphi_l = 1$.

Cho phép bỏ qua uốn dọc ($\eta = 1$) khi:

$$l_0/r \leq 28$$

$$l_0/h \leq 8$$

r : bán kính quán tính của tiết diện $r = \sqrt{\frac{I}{A}}$

h : cạnh của tiết diện chữ nhật theo phương mặt phẳng uốn

Công thức (6.4) đã có kể đến nhiều nhân tố ảnh hưởng nhưng phức tạp trong tính toán. GS Nguyễn Đình Công đã đề xuất tính theo công thức sau:

$$N_{cr} = \frac{2,5 \cdot \theta \cdot E_b \cdot I}{l_0^2} \quad (6.8)$$

$$\theta: \text{hệ số xét đến độ lệch tâm: } \theta = \frac{0,2 \cdot e_0 + 1,05h}{1,5e_0 + h} \quad (6.9)$$

c. Hai trường hợp nén lệch tâm

- Trường hợp nén lệch tâm lớn :

Khi M tương đối lớn và N tương đối bé, tức $e_{o1} = M/N$ tương đối lớn. Trên tiết diện ngang của cấu kiện có 2 vùng kéo nén rõ rệt. Sự phá hoại có thể bắt đầu từ vùng kéo khi A_s không nhiều (tương tự cấu kiện chịu uốn có cốt kép). Trường hợp này xảy ra khi:

$$x \leq \xi_R \cdot h_0 \quad (6.10)$$

- Trường hợp lệch tâm bé :

Khi N tương đối lớn, M tương đối bé, $e_o = M/N$ tương đối bé. Cấu kiện có thể bị nén toàn bộ trên tiết diện hoặc 1 phần nhỏ tiết diện chịu kéo. Sự phá hoại thường bắt đầu từ vùng chịu nén nhiều, ứng với:

$$x > \xi_R \cdot h_0 \quad (6.11)$$

Khi chưa biết x , có thể phân biệt hai theo độ lệch tâm như sau:

- lệch tâm lớn khi $\eta e_o \geq e_p$

- lệch tâm bé khi $\eta e_o < e_p$

Với $e_p = 0,4 (1,25 h - \xi_R h_0)$ hoặc lấy theo kinh nghiệm $e_p = (0,28 - 0,33)h$, thường chọn $e_p = 0,3h$.

6.5.2. Tính toán cấu kiện chịu nén có tiết diện chữ nhật

a. Sơ đồ ứng suất

Ở TTGH sơ đồ ứng suất dùng để tính toán cho cả hai trường hợp có thể mô tả theo sơ đồ dưới.

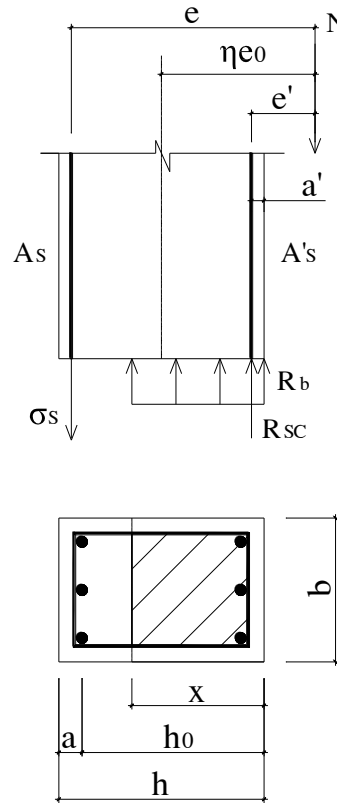
Các giả thiết:

+ Bỏ qua sự làm việc của bê tông vùng kéo, ứng suất trong cốt thép A_s là σ_s

Lệch tâm lớn: $\sigma_s = R_s$

Lệch tâm bé: σ_s có thể '+' hoặc '-', được xác định bằng thực nghiệm.

+ Ứng suất trong bê tông vùng nén phân bố đều và đạt giá trị R_b .



H6.10: Sơ đồ ứng suất.

+ Ứng suất trong cốt thép A'_s là σ'_s .

Khi $x \geq 2a' \rightarrow \sigma'_s = R_{sc}$.

Khi $x < 2a' \rightarrow \sigma'_s < R_{sc}$.

b. Công thức cơ bản

$$Ne \leq [Ne]_{gh} = R_b \cdot bx \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot z_a \quad (6.12)$$

$$N \leq [N]_{gh} = R_b \cdot b \cdot x + R_{sc} \cdot A'_s - \sigma_s \cdot A_s \quad (6.13)$$

Trường hợp lệch tâm lớn: $x \leq \xi_R \cdot h_0$ lấy $\sigma_s = R_s$

Trường hợp lệch tâm bé: $x > \xi_R \cdot h_0$, xác định σ_s theo công thức thực nghiệm:

- Đối với cấu kiện BTCT có $B \leq B30$, dùng cốt thép có $R_s \leq 365MPa$:

$$\sigma_s = \left(\frac{2 - \frac{2x}{h_0}}{1 - \xi_R} - 1 \right) R_s \quad (6.14)$$

- Đối với cấu kiện BTCT có $B > B_{30}$, và cốt thép nhóm cao hơn AIII ($R_s > 365 \text{MPa}$):

$$\sigma_{si} = \frac{\sigma_{sc,u}}{1 - \frac{\omega}{1,1}} \left(\frac{\omega}{\xi_i} - 1 \right) \quad (6.15)$$

Trong đó:

$$\xi_i = \frac{x}{h_{oi}} - \text{chiều cao tương đối của vùng bê tông chịu nén.}$$

ω ; $\sigma_{sc,u}$ – như đã giải thích ở mục xác định ξ_R trong chương 4.

Chú ý:

Giá trị σ_s cần thỏa mãn điều kiện sau: $-R_{sc} \leq \sigma_s \leq R_s$.

Điều kiện để dùng được biểu thức (6.12) và (6.13) là $x \geq 2a'$ để cho ứng suất trong cốt thép A'_s đạt đến R_{sc} .

Khi $x < 2a'$, không thể dùng các biểu thức đã nêu, lấy mômen đối với trục đi qua trọng tâm A'_s . Điều kiện (6.12) trở thành:

$$Ne' \leq [Ne']_{gh} = R_b b x \left(a' - \frac{x}{2} \right) + R_s A_s z_a$$

Vì $a' - \frac{x}{2}$ là khá bé nên có thể bỏ qua để an toàn. Khi đó:

$$Ne' \leq [Ne']_{gh} = R_s A_s z_a \quad (6.16)$$

1. Bài toán thiết kế cốt thép đối xứng: Biết kích thước tiết diện b, h , chiều dài tính toán l_0 , loại vật liệu, M, N . Yêu cầu tính toán cốt thép đối xứng $A_s = A'_s$.

a. Số liệu

Từ vật liệu $\rightarrow E_b, R_b, R_s, R_{sc}, E_s$.

Tính toán hoặc tra bảng tìm ξ_R

Giả thiết $a, a' \rightarrow h_o, Z_a$.

Xác định độ lệch tâm ngẫu nhiên e_a . Tính $e_1 = \frac{M}{N}$ và e_0 .

Xét ảnh hưởng của uốn dọc.

Giả thiết hàm lượng cốt thép để tính I_s

$$I_s = A_s (0,5h - a)^2 + A'_s (0,5h - a')^2 = \mu_t b h_o (0,5h - a)^2 \quad (6.17)$$

Tính $\eta \rightarrow e = \eta e_0 + \frac{h}{2} - a$

b. Xác định sơ bộ chiều cao vùng nén

Khi dùng cốt thép có $R_s = R_{sc}$.

Giả thiết $2a' \leq x \leq \xi_R \cdot h_o$ được thỏa mãn, từ (6.13) tính $x_1 = \frac{N}{R_b b}$.

Khi dùng cốt thép có: $R_s \neq R_{sc}$.

Giả thiết $2a' \leq x \leq \xi_R \cdot h_o$ được thoả mãn, từ (6.13), (6.12) và $A_s = A'_s$ có:

$$x^2 - 2(h_o + t_s)x + \frac{2N}{R_b b}(e + t_s) = 0 \quad (6.18)$$

$$\text{Với: } t_s = \frac{R_{sc} \cdot z_a}{R_s - R_{sc}}$$

Xác định x_1 từ (6.18).

c. Các trường hợp tính toán:

Trường hợp 1: Khi $2a' \leq x_1 \leq \xi_R \cdot h_o$, đúng với giả thiết, lấy $x = x_1$, thay vào (6.12) được:

$$A'_s = \frac{Ne - R_b b x (h_o - \frac{x}{2})}{R_{sc} \cdot Z_a} \quad (6.19)$$

Khi $R_s = R_{sc}$, từ (6.13) ta có: $R_b b x = N$, thay vào (6.12) ta được:

$$A'_s = \frac{N(e + \frac{x}{2} - h_o)}{R_{sc} \cdot Z_a} \quad (6.20)$$

Trường hợp 2: Khi $x_1 < 2a'$, giả thiết không đúng. Không dùng x_1 .

$$\text{Từ (6.16)} \rightarrow A_s = \frac{Ne'}{R_s Z_a} = \frac{N(e - Z_a)}{R_s \cdot Z_a}$$

Trường hợp 3. khi $x_1 > \xi_R \cdot h_o$, giả thiết không đúng, có trường hợp nén lệch tâm bé, tính lại x .

Khi cấu kiện BTCT có $B \leq B30$, dùng cốt thép có $R_s \leq 365 \text{MPa}$, từ (6.12); (6.13); (6.14) (6.15) có: $x^3 + a_2 x^2 + a_1 x + a_o = 0$ (6.21)

Trong đó:

$$a_2 = -(2 + \xi_R)h_o;$$

$$a_1 = \frac{2Ne}{R_b b} + 2\xi_R \cdot h_o^2 + (1 - \xi_R)h_o z_a;$$

$$a_o = \frac{-N[2e\xi_R + (1 - \xi_R)Z_a]h_o}{R_b \cdot b}$$

Giải (6.21) tìm được x phải thoả mãn: $\xi_R \cdot h_o < x < h_o$, nếu $x > h_o$ thì lấy $x = h_o$ để tính.

Có x , tính cốt thép $A'_s = A_s$ theo (6.19).

*** Có thể chọn x theo các công thức gần đúng**

$$x = \frac{[(1 - \xi_R)\gamma_a n + 2\xi_R(n\varepsilon - 0.48)]h_o}{(1 - \xi_R)\gamma_a + 2(n\varepsilon - 0.48)} \quad (6.22)$$

$$\text{Với: } n = \frac{N}{R_b b h_o}; \quad \varepsilon = \frac{e}{h_o}; \quad \gamma_a = \frac{Z_a}{h_o}$$

d. Kiểm tra

Kết quả tính cốt thép dương chấp nhận lúc này cần kiểm tra hàm lượng cốt thép và so sánh với $\mu_t \leq \mu_{max}$ và $\mu = \mu' \geq \mu_{min}$

$$\text{Với } \mu = \frac{A_s}{b.h_0} \cdot 100\%; \mu' = \frac{A_s'}{b.h_0} \cdot 100\%; \mu_t = \mu + \mu'$$

Nếu $\mu = \mu' < \mu_{min}$ hoặc có thể tính ra A_s âm điều này chứng tỏ tiết diện chọn lớn cần giảm kích thước tiết diện hoặc giảm cấp độ bền của bê tông hoặc lấy

$$A_s = A_s' = \mu_{min} \cdot \frac{b.h_0}{100}$$

Nếu $\mu_t > \mu_{max}$ chứng tỏ tiết diện chọn bé cần tăng kích thước tiết diện hoặc tăng cấp độ bền của bê tông hoặc tăng nhóm cốt thép và tính lại.

e. Bố trí cốt thép: theo các yêu cầu cấu tạo về đường kính, khoảng cách, chiều dày lớp bảo vệ.

Ví dụ 6.3. Cho cột của một khung siêu tĩnh chịu nén lệch tâm với các số liệu sau:

Tiết diện cột (b \times h)= (250 \times 400)mm; $l = 3,9m$ (cột có 1 đầu ngàm, 1 đầu khớp). Bê tông B20 (cột đổ bê tông theo phương đứng); thép dọc chịu lực nhóm CII; $M = 150kNm$, $N = 500kN$, $M_{dh} = 50kNm$, $N_{dh} = 300kN$

Yêu cầu: thiết kế cốt thép đối xứng và chọn cốt đai theo cấu tạo, vẽ mặt cắt bố trí cốt thép.

Lời giải

- Bước 1: tra các số liệu tính toán

Bê tông B20 có cường độ tính toán gốc 11,5 Mpa; $E_b = 27 \times 10^3 Mpa$

Cột đổ bê tông theo phương đứng, kích thước lớn nhất của tiết diện lớn hơn 300mm tra bảng ta có hệ số điều kiện làm việc $\gamma_b = 0,85 \times 1 = 0,85$

Cường độ tính toán của bê tông $R_b = 11,5 \times 0,85 = 9,775 Mpa$

Thép nhóm CII có $R_s = R_{sc} = 280 Mpa$; $E_s = 21 \times 10^4 Mpa$

B20 và CII có $\xi_R = 0,623$; $\alpha_R = 0,429$

Giả thiết $a = a' = 4cm \Rightarrow h_0 = h - a = 400 - 40 = 360mm$

Xác định các độ lệch tâm

$$\text{Độ lệch tâm tĩnh học } e_1 = \frac{M}{N} = \frac{150}{500} = 0,3m = 300mm$$

$$\text{Độ lệch tâm ngẫu nhiên } e_a \geq \begin{cases} \frac{1}{600} \cdot l = \frac{1}{600} \cdot 3900 = 6,5mm \\ \frac{h}{30} = \frac{400}{30} = 13,33mm \end{cases}$$

Lấy $e_a = 13,33mm$

Với kết cấu siêu tĩnh do vậy độ lệch tâm ban đầu $e_0 = \max(e_1; e_a) = 300mm$

Xét ảnh hưởng của uốn dọc:

Chiều dài tính toán $l_0 = 0,7l = 0,7.5200 = 3640\text{mm}$

Độ mảnh $\lambda_h = \frac{l_0}{h} = \frac{3640}{400} = 9,1 > 8$: cần xét đến uốn dọc

Giả thiết hàm lượng cốt thép $\mu_t = 1,5\%$

$$I_s = \mu_t \cdot b \cdot h_0 \cdot (0,5 \cdot h - a)^2 = 0,015 \cdot 250 \cdot 360 \cdot (0,5 \cdot 400 - 40)^2 = 34,56 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$\alpha = \frac{E_s}{E_b} = \frac{21 \cdot 10^4}{27 \cdot 10^3} = 7,78; I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{250 \cdot 400^3}{12} = 1,333 \cdot 10^6 \text{mm}^4$$

$$\frac{e_0}{h} = \frac{300}{400} = 0,75;$$

$$\delta_{\min} = 0,5 - 0,01 \frac{l_0}{h} - 0,01 R_b = 0,5 - 0,01 \cdot \frac{3640}{400} - 0,01 \cdot 9,775 = 0,311;$$

$$\delta_e = \max\left(\frac{e_0}{h}; \delta_{\min}\right) = 0,75;$$

$$S = \frac{0,11}{0,1 + \frac{\delta_e}{\varphi_p}} + 0,1 = \frac{0,11}{0,1 + \frac{0,75}{1}} + 0,1 = 0,23$$

$$\varphi_t = 1 + \beta \cdot \frac{M_l + N_l \cdot y}{M + N \cdot y} = 1 + 1 \cdot \frac{50 + 300 \cdot 200}{150 + 500 \cdot 200} = 1,6 \leq 1 + \beta = 2$$

Với $\beta = 1; y = 0,5 \cdot y = 0,5 \cdot 400 = 200\text{mm}$

$$N_{cr} = \frac{6,4 E_b}{l_0^2} \left(\frac{SI}{\varphi_t} + \alpha I_s \right) \\ = \frac{6,4 \cdot 27 \cdot 10^3}{3640^2} \cdot \left(\frac{0,23 \cdot 1333 \cdot 10^6}{1,6} + 7,78 \cdot 34,56 \cdot 10^6 \right) = 6,006 \cdot 10^3 \text{N} = 6,006 \text{kN}$$

Tính theo công thức của GS. Nguyễn Đình Công: $N_{cr} = \frac{2,5 \cdot \theta \cdot E_b \cdot I}{l_0^2}$

$$\text{Với } \theta = 1; N_{cr} = \frac{2,5 \cdot 1 \cdot 27 \cdot 10^3 \cdot 1333 \cdot 10^6}{3640^2} = 6,791 \cdot 10^3 \text{N} = 6,791 \text{kN}$$

Sai lệch giữa 2 giá trị là không lớn, có thể chấp nhận được:

$$\text{Hệ số uốn dọc } \eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{500}{6005,738}} = 1,091$$

$$e = \eta \cdot e_0 + \frac{h}{2} - a = 1,091 \cdot 300 + \frac{400}{2} - 40 = 487,3 \text{mm}$$

- Bước 2: xác định sơ bộ chiều cao vùng nén x với giả thiết lệch tâm lớn và thép có

$R_s = R_{sc}$

$$x = \frac{N}{R_b \cdot b} = \frac{500 \cdot 10^3}{9,775 \cdot 250} = 204,6 \text{mm}$$

Ta có $\xi_R \cdot h_0 = 0,623 \cdot 360 = 224,28 \text{mm}; 2 \cdot a' = 2 \cdot 40 = 80 \text{mm}$

Vậy $2 \cdot a' \leq x \leq \xi_R \cdot h_0$: thỏa điều kiện đã giả thiết

- Bước 3: tính cốt thép

$$A_s = A'_s = \frac{N \cdot (e + \frac{x}{2} - h_o)}{R_{sc} \cdot (h_0 - a')} = \frac{500 \cdot 10^3 \cdot (487,3 + \frac{206,4}{2} - 360)}{280 \cdot (360 - 40)} = 1196 \text{ mm}^2$$

- Bước 4: xử lý kết quả tính toán

Kết quả tính toán A_s dương nên chấp nhận

$$\mu = \mu' = \frac{A_s}{b \cdot h_o} \cdot 100\% = \frac{1196}{250 \cdot 360} \cdot 100\% = 1,32\% \quad (\text{so với giả thiết sai lệch không nhiều}).$$

$5 \leq \lambda_h \leq 10$ nên $\mu_{\min} = 0,2\%$; $\mu_{\max} = 3,5\%$

Thỏa mãn yêu cầu về hàm lượng cốt thép.

- Bước 5: chọn và bố trí cốt thép

$A_s = A'_s = 1196 \text{ mm}^2$: chọn $2\phi 25 + \phi 20$ (1296 mm^2)

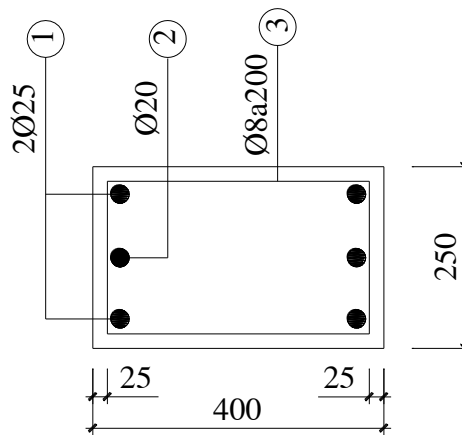
- Bước 6: kiểm tra a , a'

$a = a' = 25 + 25/2 = 37,5 \text{ mm}$: sai lệch ít và thiên về an toàn nên bài toán kết thúc.

Chọn cốt đai theo yêu cầu cấu tạo:

Đường kính cốt đai: $\phi_{sw} \geq 0,25 \cdot \phi_{\max} = 0,25 \cdot 25 = 6,25 \text{ mm}$, chọn đai $\phi 8$

Khoảng cách giữa các cốt đai: $a \leq 15 \cdot \phi_{\min} = 15 \cdot 20 = 300 \text{ mm}$, chọn khoảng cách 200mm.



Hình 6.10a: Bố trí cốt thép

Ví dụ 6.4. Cho phần trên của cột nhà công nghiệp một tầng lắp ghép. Tiết diện cột (b \times h)= (400 \times 600)mm; $l = 4,8 \text{ m}$ (cột có 1 đầu ngàm, 1 đầu tự do). Bê tông B30 (hệ số điều kiện làm việc của bê tông bằng 1); thép dọc chịu lực nhóm CII; $M = 124 \text{ kNm}$, $N = 384 \text{ kN}$, $M_{dh} = 8 \text{ kNm}$, $N_{dh} = 280 \text{ kN}$.

Yêu cầu: thiết kế cốt thép đối xứng và chọn cốt đai theo cấu tạo, vẽ mặt cắt bố trí cốt thép.

Lời giải

- Bước 1: tra các số liệu tính toán

Bê tông B30 có cường độ tính toán gốc 17 Mpa; $E_b = 32500 \text{ Mpa}$

Cột lắp ghép có hệ số điều kiện làm việc $\gamma_b = 1$

Cường độ tính toán của bê tông $R_b = 17 \text{ MPa}$

Thép nhóm CII có $R_s=R_{sc}=280\text{Mpa}$; $E_s= 21 \times 10^4 \text{ Mpa}$

B30 và CII có $\xi_R= 0,573$; $\alpha_R= 0,409$

Giả thiết $a = a' = 5\text{cm} \Rightarrow h_0 = h - a = 600 - 50 = 550\text{mm}$

Xác định các độ lệch tâm:

Độ lệch tâm tĩnh học $e_1 = \frac{M}{N} = \frac{124}{384} = 0,323\text{m} = 323\text{mm}$

Độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_a \geq \begin{cases} \frac{1}{600} \cdot l = \frac{1}{600} \cdot 4800 = 8\text{mm} \\ \frac{h}{30} = \frac{600}{30} = 20\text{mm} \end{cases}$

Lấy $e_a = 20\text{mm}$

Với kết cấu tĩnh định do vậy độ lệch tâm tính toán $e_0 = e_1 + e_a = 323 + 20 = 343\text{mm}$

Xét ảnh hưởng của uốn dọc:

Chiều dài tính toán $l_0 = 0,7l = 2,5 \cdot 4800 = 12000\text{mm}$

Độ mảnh $\lambda_h = \frac{l_0}{h} = \frac{12000}{600} = 20 > 8$: cần xét đến uốn dọc

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{400 \cdot 600^3}{12} = 72 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

Tính theo công thức của GS. Nguyễn Đình Công: $N_{cr} = \frac{2,5 \cdot \theta \cdot E_b \cdot I}{l_0^2}$

Với $\theta = \frac{0,2 \cdot e_0 + 1,05h}{1,5e_0 + h} = \frac{0,2 \cdot 343 + 1,05 \cdot 600}{1,5 \cdot 343 + 600} = 0,626$

$$N_{cr} = \frac{2,5 \cdot 0,626 \cdot 32500 \cdot 72 \cdot 10^8}{12000^2} = 2,54 \cdot 10^3 \text{ N} = 2540\text{kN}$$

Hệ số uốn dọc $\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} = \frac{1}{1 - \frac{384}{2540}} = 1,18$

$$e = \eta \cdot e_0 + \frac{h}{2} - a = 1,18 \cdot 343 + 300 - 50 = 655\text{mm}$$

- Bước 2: xác định sơ bộ chiều cao vùng nén x với giả thiết lệch tâm lớn và thép có $R_s=R_{sc}$

$$x = \frac{N}{R_b \cdot b} = \frac{384 \cdot 10^3}{17 \cdot 400} = 56,5\text{mm}$$

Ta có $2 \cdot a' = 2 \cdot 50 = 100\text{mm}$

Vậy $x < 2a'$

- Bước 3: tính cốt thép

$$A_s = A'_s = \frac{N(e - z_a)}{R_s \cdot z_a} = \frac{384000 \cdot (655 - 500)}{280 \cdot 500} = 422\text{mm}^2$$

- Bước 4: xử lý kết quả tính toán

Kết quả tính toán A_s dương nên chấp nhận

$$\mu = \mu' = \frac{A_s}{b \cdot h_0} \cdot 100\% = \frac{422}{400 \cdot 550} \cdot 100\% = 0,192\% \quad (\text{so với giả thiết sai lệch không nhiều}).$$

$$\lambda_h \leq 24 \text{ nên } \mu_{\min} = 0,2\%; \mu_{\max} = 3,5\%$$

Thỏa mãn yêu cầu về hàm lượng cốt thép.

- Bước 5: chọn và bố trí cốt thép

$$A_s = A'_s = 422 \text{mm}^2 : \text{chọn } 2\phi 20 \text{ (} 624 \text{mm}^2 \text{)}$$

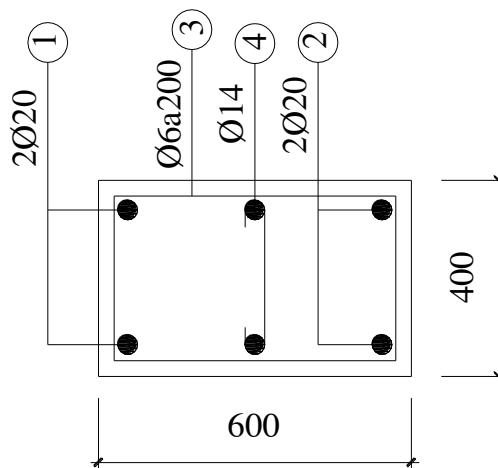
- Bước 6: kiểm tra a, a'

$$a = a' = 20 + 20/2 = 30 \text{mm: sai lệch ít và thiên về an toàn nên bài toán kết thúc.}$$

Chọn cốt đai theo yêu cầu cấu tạo:

$$\text{Đường kính cốt đai: } \phi_{sw} \geq 0,25 \cdot \phi_{\max} = 0,25 \cdot 20 = 5 \text{mm, chọn đai } \phi 6$$

Khoảng cách giữa các cốt đai: $a \leq 15 \cdot \phi_{\min} = 15 \cdot 20 = 300 \text{mm}$, chọn khoảng cách 200mm.



Hình 6.10a: Bố trí cốt thép

2. Bài toán thiết kế cốt thép không đối xứng

a. Trường hợp lệch tâm lớn: $\eta e_o \geq e_{ogh}$

$$Ne_u \leq [Ne]_{gh} = R_b b x (h_0 - \frac{x}{2}) + R_{sc} A'_s z_a \quad (6.12)$$

$$N = N_{gh} = R_b b x + R_{sc} A'_s - R_s A_s \quad (6.13)$$

Ta có ba ẩn số: x, A'_s, A_s . Vì vậy ta có thể giả thiết trước x hoặc A'_s .

Bài toán 1: Giả thiết x , trong khoảng hạn chế: $(2a'; \xi_R h_0)$. Thay x vào (6.12) tính A'_s .

$$\text{Khi } A'_s > 0 \text{ thì thay vào (6.13) tính } A_s = \frac{R_b b x + R_{sc} A'_s - N}{R_s} \quad (6.23)$$

Khi chọn x lưu ý nếu chọn $x = \xi_R h_0$ sẽ cho kết quả A'_s bé nhất nhưng A_s sẽ lớn nhất, $A_{st} = A_s + A'_s$ là một hàm của x , có thể chứng minh được nếu chọn $x = \frac{h_0 + a'}{2}$ thì sẽ có A_{st} bé nhất.

Khi $A'_s < 0$ nên giảm x để tính lại. Nếu $x = x_{\min} = 2a'$ mà vẫn xảy ra $A'_s < 0$ thì lấy A'_s theo cấu tạo và tính A_s theo (6.16).

Bài toán 2: Cho trước A'_s (theo cấu tạo hoặc theo một sự lựa chọn nào đó)

Đặt $\xi = \frac{x}{h_0}$; $\alpha_m = \xi(1 - 0,5\xi)$. từ (6.12) suy ra: α_m

$$\alpha_m = \frac{Ne - R_{sc} A'_s Z_a}{R_b b h_0^2}$$

$$\rightarrow \xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_m}$$

Tính $x = \xi h_0$. Khi thỏa mãn điều kiện $2a' \leq x \leq \xi_R h_0$ suy ra:

$$A_s = \frac{R_b b x + R_{sc} A'_s - N}{R_s}$$

Nếu $x > \xi_R h_0$ chứng tỏ A'_s chưa đủ, cần tăng A'_s hoặc tính A'_s theo công thức (6.12).

Nếu $x < 2a'$, kể cả trường hợp tính $\alpha_m \leq 0$, chứng tỏ A'_s khá lớn, nên giảm A'_s để tính lại. Khi không thể giảm A'_s thì tính A_s theo công thức (6.16).

b. Trường hợp nén lệch tâm bé: $\eta e_o < e_p$.

Nếu thỏa mãn điều kiện: $N \leq N_b = R_b b (h - 2\eta e_o)$ (6.24)

Bê tông đủ khả năng chịu lực, cốt thép chỉ cần đặt theo cấu tạo.

Khi điều kiện (6.24) không thỏa mãn ta phải tính cốt thép với điều kiện $\xi_R h_0 \leq x \leq h_0$.

Lúc này có ba phương trình:

$$Ne_u \leq [Ne]_{gh} = R_b b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{sc} A'_s z_a \quad (6.12)$$

$$N = N_{gh} = R_b b x + R_{sc} A'_s - \sigma_s A_s \quad (6.13)$$

$$\sigma_s = \left(\frac{2 - \frac{2x}{h_0}}{1 - \xi_R} - 1 \right) R_s \quad (6.14)$$

Có 3 phương trình mà 4 ẩn số: x , σ_s , A_s , A'_s

Bài toán 1: Chọn trước x (tính x theo phương pháp đúng dân)

Chọn A_s theo yêu cầu cấu tạo, chọn x theo các công thức gần đúng:

$$x = \frac{[(1 - \xi_R) \gamma_a n + 2 \xi_R (n \varepsilon - 0.48)] h_0}{(1 - \xi_R) \gamma_a + 2(n \varepsilon - 0.48)} \quad (6.22)$$

và tính A'_s :

$$A'_s = \frac{Ne - R_b b x (h_o - \frac{x}{2})}{R_{sc} Z_a} \quad (6.12)$$

Tính lại x :

$$x = \frac{N + C - R_{sc} A'_s - R_s A_s}{R_b b + \frac{C}{h_o}} \quad (6.25)$$

$$\text{Với } C = \frac{2R_s A_s}{1 - \xi_R}.$$

Tính lại A'_s theo (6.12) với giá trị mới của x . Quy trình tính toán này có độ hội tụ cao và có thể lấy các giá trị thu được sau một chu kỳ lặp.

Khi $\eta e_o < 0,15h_o$, cốt thép A_s chịu nén đáng kể, cần kiểm tra theo công thức:

$$A_s = \frac{Ne' - R_b b x (0,5x - a')}{\sigma_s (h_o - a')} \quad (6.26)$$

Bài toán 2:

Chọn trước A_s theo cấu tạo. Bài toán còn lại 3 ẩn số. Sau khi biến đổi, ta được phương trình bậc 2 của x :

$$0,5R_b b d x^2 + 2(R_s A_s Z_a - R_b b d a')x - (Ne' d + t R_s A_s z_a) = 0 \quad (6.27)$$

Trong đó:

$$d = h - \xi_R h_o; \quad t = h + \xi_R h_o; \quad e' = Z_a - e.$$

Giải phương trình trên, kiểm tra điều kiện $\xi_R h_o \leq x \leq h_o$. Nếu tính x vượt ra khỏi giới hạn trên chứng tỏ A_s chọn là chưa hợp lý, cần chọn lại.

Trường hợp đặc biệt: chọn A_s hoàn toàn theo cấu tạo và không kể vào trong tính toán thì có thể cho $A_s = 0$, phương trình (6.27) đơn giản hơn.

Cũng có thể lập phương trình của x bằng cách lấy mô men đối với trục đi qua trọng tâm cốt thép A'_s , có:

$$Ne' - R_b b x (\frac{x}{2} - a') = 0 \quad (6.28)$$

$$\text{Đặt } \alpha = \frac{x}{a'}; \quad T = \alpha(0,5\alpha - 1)$$

$$\text{Suy ra: } T = \frac{Ne'}{R_b b a'^2}; \quad \alpha = 1 + \sqrt{1 + 2T}; \quad x = \alpha a'$$

Điều kiện $x \leq h$. Nếu tính được $x > h$ thì phải đặt cốt thép A_s theo tính toán, lúc này A_s chịu nén. Sau khi có x tính A'_s :

$$A'_s = \frac{N - R_b b x}{R_{sc}} \quad (6.29)$$

Sau khi tính ra phải kiểm tra lại hàm lượng cốt thép như đối với tính cốt thép đối xứng.

Ví dụ 6.4: số liệu như ví dụ 6.3, yêu cầu thiết kế cốt thép không đối xứng.

Bước 1: chuẩn bị số liệu tính toán, giống ví dụ 6.3

Bước 2: xác định trường hợp tính toán

Ta có $\eta \cdot e_0 = 1,091 \cdot 300 = 327,3 \text{ mm}$

$e_p = 0,4 \cdot (1,24h - \xi_R \cdot h_0) = 0,4 \cdot (1,24 \cdot 400 - 0,623 \cdot 360) = 110,3 \text{ mm}$

Ta có $\eta \cdot e_0 \geq e_p$ rơi vào trường hợp lệch tâm lớn, chuyển sang bước 3.

Bước 3: tính cốt thép

Chọn $x = \frac{h_0 + a'}{2} = \frac{360 + 40}{2} = 200 \text{ mm}$

$$A'_s = \frac{N \cdot e - R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - \frac{x}{2})}{R_{sc} \cdot (h_0 - a')} = \frac{500 \cdot 10^3 \cdot 487,3 - 11,5 \cdot 250 \cdot 200 \cdot (360 - \frac{200}{2})}{280 \cdot (360 - 40)} = 1051 \text{ mm}^2$$

$$A_s = \frac{R_b \cdot b \cdot x + R_{sc} \cdot A'_s - N}{R_s} = \frac{11,5 \cdot 250 \cdot 200 + 280 \cdot 1051 - 500 \cdot 10^3}{280} = 1319 \text{ mm}^2$$

Bước 5: xử lý kết quả tính toán

$$\mu = \frac{A_s}{b \cdot h_0} \cdot 100\% = \frac{1319}{250 \cdot 400} \cdot 100\% = 1,32\%$$

$$\mu' = \frac{A'_s}{b \cdot h_0} \cdot 100\% = \frac{1051}{250 \cdot 400} \cdot 100\% = 1,05\%$$

Vậy $\mu, \mu' > \mu_{\min} = 0,2\%$ và $\mu_t < 3,5\%$

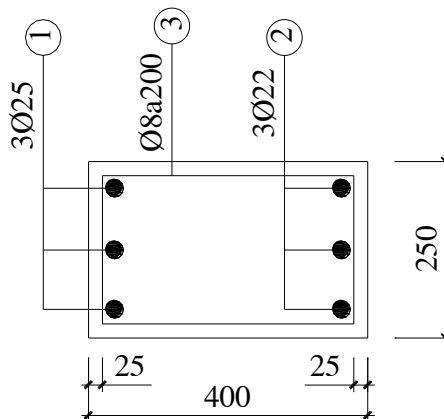
Bước 6: chọn và bố trí cốt thép

$A'_s = 1051 \text{ mm}^2$: chọn 3 ϕ 22 (1140 mm^2)

$A_s = 1319 \text{ mm}^2$: chọn 3 ϕ 25 (1473 mm^2)

Bước 7: kiểm tra a, a', μ_t . Các giá trị này nếu sai lệch nhiều hoặc thiên về nguy hiểm thì giả thiết lại và tính lại.

Tương tự ví dụ 6.3 ta có a, a' sai lệch ít và thiên về an toàn, μ_t có sai lệch nhưng kết quả chấp nhận được.



3. Bài toán kiểm tra khả năng chịu lực

Biết b, h, l_0 , vật liệu. Yêu cầu kiểm tra tiết diện có đủ khả năng chịu cặp nội lực M, N .

Từ vật liệu có: R_b, R_s, E , Tính ξ_R . Dựa vào chiều tác dụng của M để xác định cốt thép A_s, A'_s .

Tính $a, a', h_0, Z_a, e_1, e_0, \eta, e$.

Giả thiết có trường hợp nén lệch tâm lớn thông thường $2a' \leq x \leq \xi_R \cdot h_0$. Từ (6.13) xác định x và đặt là x_2 :

$$x_2 = \frac{N + R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b}$$

Các trường hợp xảy ra:

Trường hợp 1: Khi $2a' \leq x_2 \leq \xi_R \cdot h_0$, giả thiết đúng, lấy $x=x_2$ thay vào (6.12) tính $[Ne]_{gh}$ và kiểm tra.

Trường hợp 2: Khi $x_2 < 2a'$: không phù hợp giả thiết. Tính $[Ne']_{gh}$ theo

$$Ne' \leq [Ne']_{gh} = R_s \cdot A_s \cdot z_a \quad (6.16)$$

Với $e' = e - Z_a = \eta e_0 + a' - 0,5h$.

Trường hợp 3: Khi $x_2 > \xi_R \cdot h_0$, không phù hợp giả thiết, xảy ra nén lệch tâm bé, tính lại x .

$$x = \frac{(N - R_{sc} \cdot A'_s)(1 - \xi_R)h_0 + R_s \cdot A_s(1 + \xi_R)h_0}{R_b b(1 - \xi_R)h_0 + 2R_s \cdot A_s} \quad (6.30)$$

Điều kiện: $\xi_R h_0 \leq x \leq h_0$.

Nếu tính được $x > h_0$ thì phải tính lại x , lấy $\sigma_s = -R_{sc}$.

$$x = \frac{N - R_{sc}(A'_s + A_s)}{R_b \cdot b} \quad (6.31)$$

Thay giá trị x vào (6.12) tính $[Ne]_{gh}$

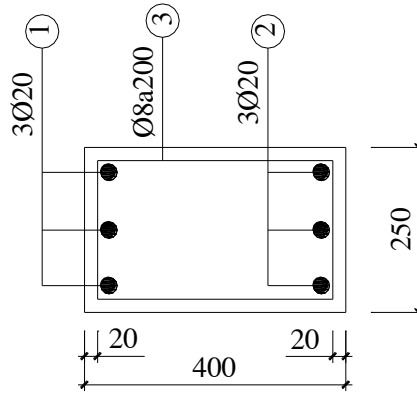
Chú ý:

Khi kiểm tra khả năng chịu lực, ngoài việc kiểm tra sự làm việc trong mặt phẳng uốn cần kiểm tra sự chịu lực theo phương ngoài mặt phẳng uốn khi $b < h$. Lúc này tính toán như trường hợp nén đúng tâm.

Ví dụ 6.5: số liệu như ví dụ 6.3, cho thêm $A_s = A'_s = 3\phi 20$, yêu cầu kiểm tra khả năng chịu lực.

Bước 1: tra số liệu, giống ví dụ 6.3

Bước 2: bố trí cốt thép để tính a, a', h_0



$$a = a' = 30\text{mm}; h_0 = 370\text{mm}; A_s = A'_s = 942\text{mm}^2$$

Bước 3: kết quả từ ví dụ 6.3 ta có

$$e_0 = 300\text{mm}; \eta = 1,091; e = 487,3\text{mm}; e' = \eta \cdot e_0 - \frac{h}{2} + a' = 1,091 \cdot 300 - \frac{400}{2} + 30 = 157,3\text{mm}$$

Bước 4: kiểm tra khả năng chịu lực

Giả thiết rơi vào trường hợp lệch tâm lớn:

$$x_0 = \frac{N + R_s \cdot A_s - R_{sc} \cdot A'_s}{R_b \cdot b} = \frac{500 \cdot 10^3}{11,5 \cdot 250} = 174\text{mm}$$

$$2 \cdot a' = 60\text{mm}; \xi_R \cdot h_0 = 224,28\text{mm} \text{ thỏa điều kiện } 2 \cdot a' \leq x \leq \xi_R \cdot h_0$$

Kiểm tra khả năng chịu lực theo điều kiện (6.12)

$$Ne \leq R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a')$$

$$N \cdot e = 500 \cdot 10^3 \cdot 487,3 = 243,65 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$R_b \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2}\right) + R_{sc} \cdot A'_s \cdot (h_0 - a') = 11,5 \cdot 250 \cdot 174 \cdot \left(370 - \frac{174}{2}\right) + 280 \cdot 942 \cdot (370 - 30)$$

$$= 231,25 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

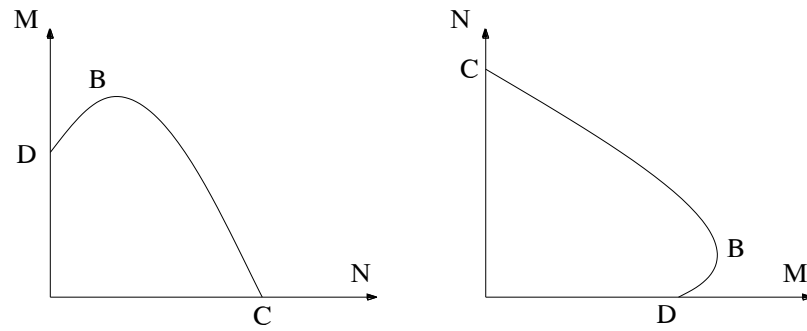
Cấu kiện không đủ khả năng chịu lực.

6.6. Biểu đồ tương tác

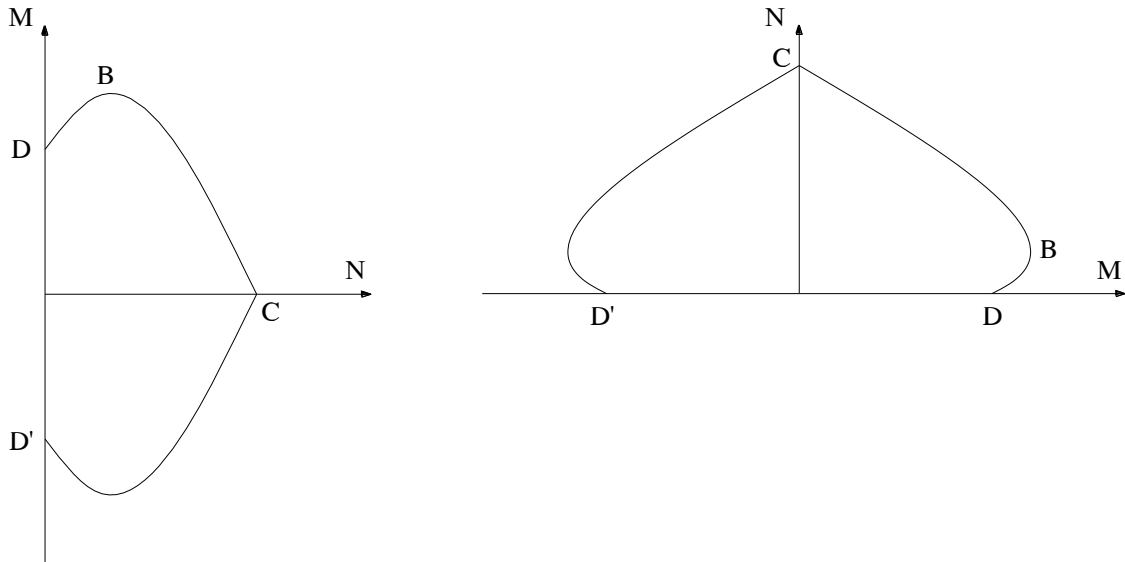
Biểu đồ tương tác là biểu đồ thể hiện khả năng chịu lực của tiết diện với mọi giá trị N và M. Tương tác có nghĩa là tương tác giữa M và N

Để tính toán và vẽ biểu đồ tương tác có thể theo một trong ba cách sau :

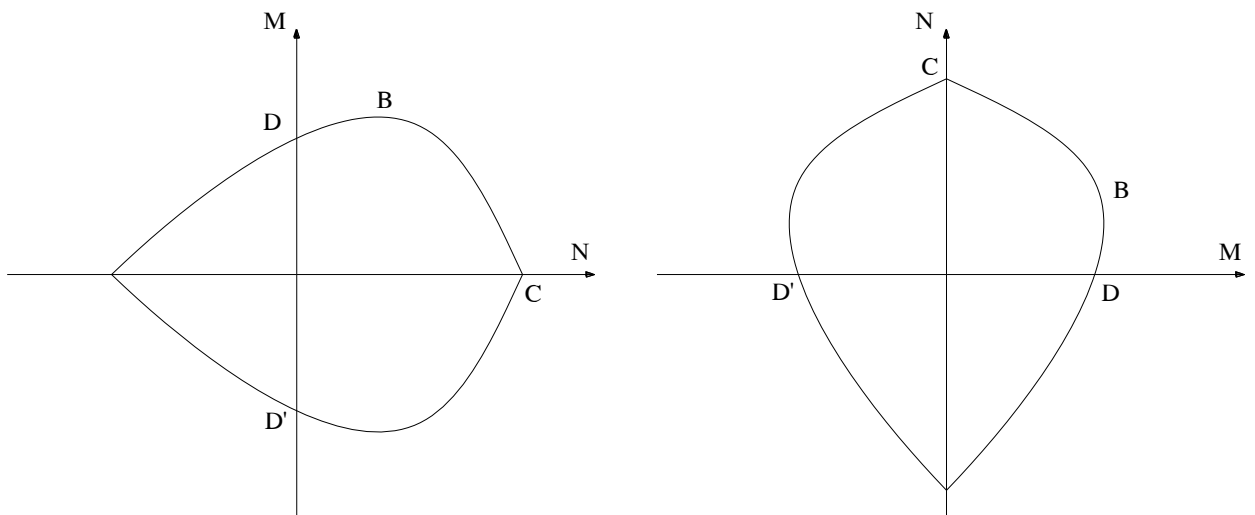
- ✓ Cho N thay đổi $0 \leq N \leq N_{gh}$, với mỗi giá trị N tìm được giá trị M tương ứng, từ đó được các điểm (M,N), nối các điểm đó sẽ được biểu đồ tương tác.
- ✓ Cho e_0 thay đổi $0 \leq e_0 \leq \infty$, với mỗi giá trị e_0 ta tìm được N tương ứng, từ đó xây dựng được biểu đồ tương tác.
- ✓ Cho x thay đổi $0 \leq x \leq \xi_R \cdot h_0$, tính theo nén lệch tâm lớn sau đó cho $\xi_R \cdot h_0 < x \leq h_0$ tính theo LTB, với mỗi giá trị của x tìm được cặp M, N.



Hình 6.11: Biểu đồ tương tác một chiều

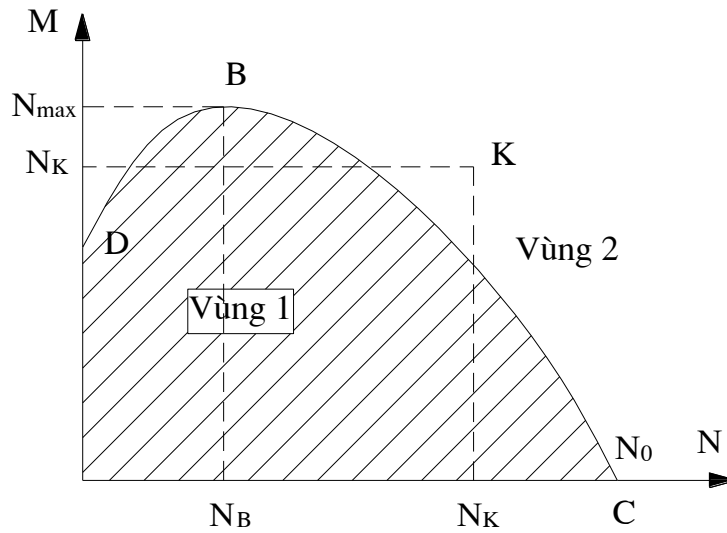


Hình 6.12: Biểu đồ tương tác với M hai chiều



Hình 6.13: Biểu đồ tương tác với M, N 2 chiều

Đặc điểm của biểu đồ tương tác: biểu đồ tương tác có 2 vùng, vùng 1 (vùng gạch chéo) và vùng 2. Nếu có cặp nội lực (N, M) nằm trong vùng 1 thì tiết diện đủ khả năng chịu lực và ngược lại. Lân cận điểm B có thể rơi vào trường hợp nén LTB hoặc LTL, đoạn BD tương ứng với nén LTL, đoạn BC tương ứng với nén LTB.



Hình 6.14: Các điểm đặc biệt trên biểu đồ tương tác

Với điểm K có $N_K < N_{max}$ và $M_K < M_{max}$ nhưng điểm K lại điểm nguy hiểm. Vì vậy khi thiết kế cấu kiện chịu nén lệch tâm cần phải kiểm tra cho tất cả các cặp nội lực, do vậy việc xây dựng biểu đồ tương tác là thuận lợi và nhanh chóng nhất.

6.7. Họ biểu đồ tương tác không thứ nguyên

Đặt các thông số:

$$\delta = \frac{a}{h_0} = \frac{a'}{h_0}; \alpha = \frac{R_{sc} \cdot A_s}{R_b \cdot b \cdot h_0} = \frac{R_s \cdot A_s}{R_b \cdot b \cdot h_0}; \xi = \frac{x}{h_0}$$

$$\beta_s = \frac{\sigma_s}{R_s} = \frac{1 - 2 \cdot \xi + \xi_R}{1 - \xi_R}; n = \frac{N}{R_b \cdot b \cdot h_0}; m = \frac{N \cdot \eta \cdot e_0}{R_b \cdot b \cdot h^2}$$

Biến đổi phương trình cân bằng lực trở thành: $n = \xi + \alpha \cdot (1 - \beta_s)$

Khi $\xi \leq \xi_R$ thì $\sigma_s = R_s; \beta_s = 1$

Khi $\xi > \xi_R$ thì $\beta_s = -1$

Biến đổi phương trình cân bằng mô men trở thành:

$$m = \xi \cdot (1 - 0,5 \cdot \xi) + (1 - \delta) \cdot (\alpha - 0,5 \cdot n)$$

Để lập họ biểu đồ không thứ nguyên cần cho các giá trị δ, ξ, α . Cho biết số ξ thay đổi tính ra các cặp giá trị m, n .

Dùng họ biểu đồ không thứ nguyên để kiểm tra khả năng chịu lực hoặc tính toán cốt thép, trình tự thực hiện theo các bước sau:

- Chuẩn bị số liệu tính toán:

Tra bảng để xác định các số liệu: $R_b; R_s; R_{sc}; \xi_R$

Dự kiến tổng số thanh thép t và số lượng các lớp thép bố trí k .

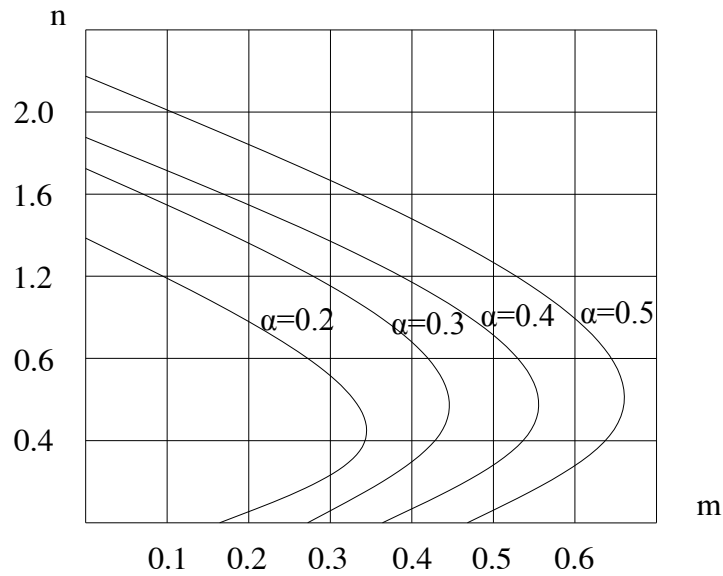
Tính $p_i = \frac{k}{t}; \delta = \frac{a}{h}$ (a là khoảng cách từ trọng tâm thép đến mép bê tông, có thể lấy $a=0,1h$).

Tính các hệ số: $\alpha_0 = \frac{1 - 2 \cdot \delta}{t - 1}; \gamma_i = 1 - \delta - (i - 1) \cdot \alpha_0; \beta_i = \gamma_i - 0,5$

- Cho μ_t các giá trị để tính m, n .

$$n = \xi - \mu_t \cdot \sum p_i \cdot \rho_i; m = 0,5 \cdot \xi \cdot (1 - \xi) + \mu_t \cdot \sum (p_i \cdot \rho_i \cdot \beta_i)$$

- Từ các cặp (m, n) xây dựng được họ biểu đồ tương tác



Hình 6.15: Họ biểu đồ tương tác không thứ nguyên

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 6

1. Trình bày đặc điểm cấu tạo của cấu kiện chịu nén?
2. Trình bày tác dụng của cốt đai trong cấu kiện chịu nén? Các yêu cầu cấu tạo của cốt đai trong cấu kiện chịu nén?
3. Vẽ sơ đồ ứng suất, thiết lập các công thức cơ bản và điều kiện hạn chế cho cấu kiện chịu nén có tiết diện chữ nhật theo các trường hợp sau: nén lệch tâm lớn, nén lệch tâm bé?
4. Tại sao với nhóm cốt thép CIV hoặc AIV trở đi thì cường độ chịu kéo khi tính toán lớn hơn cường độ chịu nén?
5. Trình bày trình tự thực hiện các bài toán vận dụng của cấu kiện chịu nén đúng tâm, lệch tâm lớn và lệch tâm bé?
6. Ý nghĩa và tác dụng của biểu đồ tương tác? Cách xây dựng biểu đồ tương tác?
7. Cột của khung bê tông cốt thép toàn khối, đổ bê tông theo phương đứng, sàn lắp ghép, chiều cao H, tiết diện cột b x h. Cặp nội lực tính toán gồm M, N trong đó phần do tải trọng dài hạn M_1, N_1 , cốt thép về phía chịu nén A_s' . Về phía chịu kéo A_s . Yêu cầu kiểm tra khả năng chịu lực.

STT	H (m)	b (cm)	h (cm)	M (kNm)	N (kN)	M_1 (kNm)	N_1 (kN)	Bê tông có B	Nhóm cốt thép	A_s	A_s'
1	3,2	22	60	200	600	100	350	15	CIII	3 ϕ 20	3 ϕ 18
2	3,6	25	60	250	800	150	400	15	CII	3 ϕ 22	3 ϕ 20
3	4,2	30	80	400	1200	200	450	25	CIV	3 ϕ 25	3 ϕ 20
4	4,5	25	70	600	1500	250	500	20	AII	4 ϕ 25	3 ϕ 18
5	5,4	30	90	800	1700	300	550	25	AIV	5 ϕ 22	3 ϕ 18

8. Cột lắp ghép có tiết diện b x h, l_0 . Cột chịu cặp nội lực tính toán M và N trong đó M_1 và N_1 . Yêu cầu tính cốt thép đối xứng, vẽ mặt cắt bố trí thép.

STT	l_0 (m)	b (cm)	h (cm)	M (kNm)	N (kN)	M_1 (kNm)	N_1 (kN)	Bê tông có B	Nhóm cốt thép
1	7	22	60	200	960	100	350	15	CIII
2	8	25	60	250	1000	150	400	15	CII
3	8,2	30	80	400	1200	200	450	25	CIV
4	8,6	25	70	600	1500	250	500	20	AII
5	9	30	90	800	1700	300	550	25	AIV

9. Số liệu như bài trên. Yêu cầu tính cốt thép không đối xứng, vẽ mặt cắt bố trí thép.