

TÍNH TOÁN CẤU KIỆN BÊ TÔNG CỐT CƯỜNG

VI.1. TÍNH CỘT:

VI.1.1. Tính toán cấu kiện bê tông-thép liên hợp chịu nén uốn theo phương pháp chuyển đổi t-ơng đ-ơng.

Hiện nay trên thế giới đã có một số phương pháp thiết kế cấu kiện bê tông - thép liên hợp, tuy nhiên chúng còn chưa được kiểm nghiệm nhiều qua thực tế và rất phức tạp. Vì thế, trong phạm vi đồ án này ta chỉ sử dụng một phương pháp tương đối đơn giản để xác định khả năng chịu lực của tiết diện. Theo đó, ta sẽ tiến hành thiết kế sơ bộ tiết diện và tính toán khả năng chịu lực của tiết diện đó. Nếu khả năng chịu lực của tiết diện thỏa mãn yêu cầu thiết kế, gần với giá trị nội lực mà cấu kiện phải chịu là được, nếu chưa thỏa mãn, ta sẽ thiết kế lại, thay đổi các kích thước tiết diện và kiểm tra lại cho đến khi đạt yêu cầu.

* Các giả thiết cơ bản:

1. Các thành phần trên tiết diện làm việc như một thể thống nhất trước khi đạt tới trạng thái giới hạn.
2. Khi cấu kiện chịu lực đạt tới trạng thái giới hạn vẫn xem rằng tiết diện phẳng, cho phép áp dụng các giả thiết cơ bản của sức bền vật liệu.
3. Khi cấu kiện chịu lực đạt tới trạng thái giới hạn thì toàn bộ tiết diện, cả phần thép và bê tông đều cùng đạt giới hạn cường độ tính toán của chúng.
4. Trong cấu kiện hỗn hợp, lực dính kết giữa bê tông và thép chưa bị khắc phục, hay nói cách khác kết cấu sẽ bị phá hoại trước khi thép và bê tông trượt lên nhau.

Một số kí hiệu:

A_s : diện tích tiết diện phần lõi thép.

A_r : diện tích tiết diện phần cốt thép mềm.

A_c : diện tích tiết diện phần bê tông (đã trừ đi phần thép lõi và phần cốt mềm).

O : trọng tâm của tiết diện hỗn hợp.

O_s, O_r, O_c : trọng tâm của tiết diện lõi thép, phần cốt thép mềm và phần bê tông.

r_o : Khoảng cách từ trọng tâm của tiết diện hỗn hợp tới thớ trên cùng.

r_s, r_{ri}, r_c : Khoảng cách từ trọng tâm tiết diện lõi thép, cốt thép mềm thứ i và bê tông tới thớ trên cùng.

J_s, J_r, J_c : Mô men quán tính của tiết diện riêng phần lõi thép, phần cốt mềm và phần bê tông đối với trục bản thân của chúng.

E_s, E_r, E_c : Mô đun biến dạng đàn hồi của lõi thép, cốt thép mềm và bê tông.

Y_s, Y_r, Y_c : Khoảng cách từ trọng tâm các phần lõi thép, cốt thép mềm và bê tông tới trọng tâm toàn tiết diện.

Khi đó, thanh hỗn hợp có thể được tính toán như một thanh đồng chất có các đặc trưng như sau:

$$J_{td} = J_s + A_s Y_s^2 + J_r + A_r Y_r^2 + J_c + A_c Y_c^2$$

$$E_{td} = \frac{E_s(J_s + A_s Y_s^2) + E_r(J_r + A_r Y_r^2) + E_c(J_c + A_c Y_c^2)}{J_{td}}$$

$$A_{td} = \frac{E_s A_s + E_r A_r + E_c A_c}{E_{td}}$$

Với:

$$Y_s = r_s - r_o$$

$$Y_r = r_r - r_o$$

$$Y_c = r_c - r_o$$

Trong đó, r_o được tính theo công thức:

$$r_o = \frac{E_s A_s r_s + \sum (E_{ri} A_{ri} r_{ri}) + E_c A_c r_c}{E_s A_s + \sum (E_{ri} A_{ri}) + E_c A_c}$$

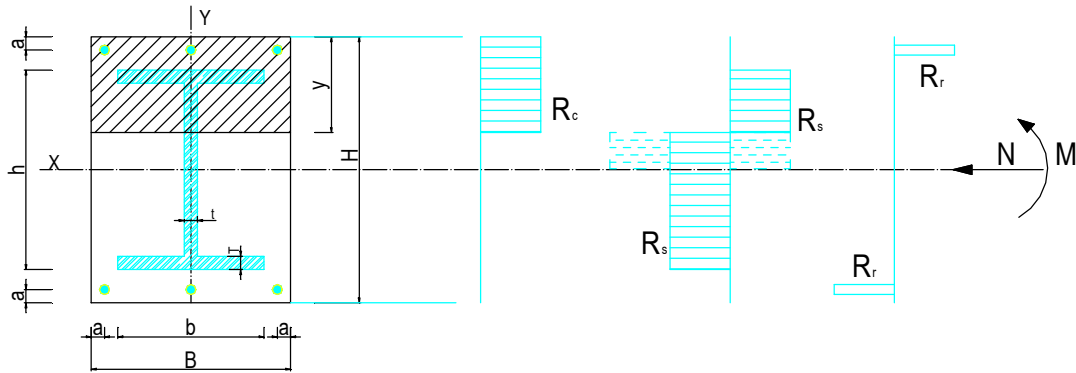
* Tính thanh hỗn hợp thép-bê tông chịu nén uốn:

Các thanh chịu nén thường đặt các lõi thép dạng chữ I, chữ H hoặc các dạng thép tổ hợp khác đối xứng với trục trọng tâm của tiết diện. Ngoài ra trên tiết diện còn có các cốt thép mềm và cũng được đặt đối xứng. Ở trạng thái giới hạn xem rằng bê tông, lõi thép cứng và cốt thép mềm đều đạt tới giới hạn cường độ tính toán của chúng. Nghĩa là ứng suất nén trong bê tông đạt tới giới hạn R_n , ứng suất trong cốt thép chịu kéo đạt tới R_a , trong cốt thép chịu nén đạt tới R'_a .

- Tính thanh nén - uốn theo điều kiện độ bền:

Xét thanh có tiết diện lõi thép đặt đối xứng dạng chữ H chịu lực tác dụng đồng thời của lực nén N và mômen uốn M . Giả thiết rằng ở trạng thái giới hạn về bền, ứng suất trên tiết diện lõi thép bị chảy hoàn toàn, ứng suất tại vùng bê tông chịu nén đạt tới cường độ tính toán của nó và ứng suất trong cốt thép tròn cũng đạt giới hạn chảy. Tại vùng bê tông chịu kéo xem như đã nứt và bỏ qua khả năng chịu kéo của bê tông tại vùng đó.

Giả thiết tại trạng thái chịu lực của tiết diện với chiều cao vùng nén là y có sơ đồ ứng suất như sau:



Theo hướng dẫn trong kết quả đề tài NCKH “Nhà cao tầng trong thành phố” [6], xét điều kiện cân bằng của tiết diện ta sẽ tính được khả năng chịu lực của thanh ở trạng thái giới hạn là:

$$[N] = R_c b y - 2 R_s t \left(\frac{H}{2} - y \right)$$

$$[M] = M_s + M_c + M_r$$

Trong đó:

$$M_c = R_c \cdot b \cdot y \cdot \left(d - \frac{y}{2} \right)$$

$$M_s = M_{so} - 2 \cdot R_s \cdot t \cdot \frac{(d - y)^2}{2}$$

$$M_r = M_{ro} = R_r A_r (d - d_r)$$

M_{so} là mômen khả năng của riêng lõi thép đối với trục bản thân tương ứng của nó.

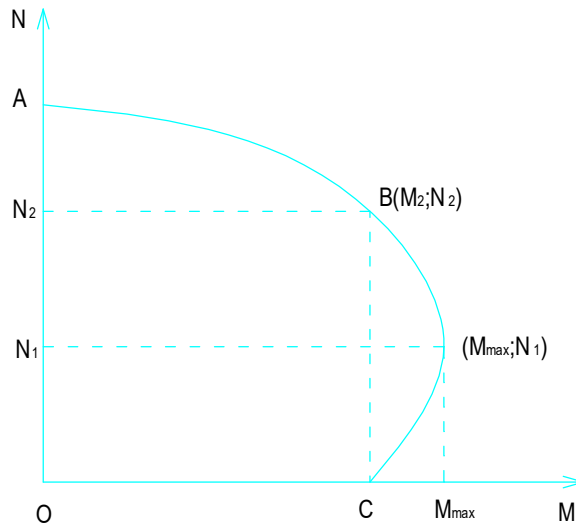
Thay các giá trị trên vào phương trình và thực hiện biến đổi tương đương, ta được hệ phương trình:

$$[N] = R_c - 2 R_s t \left(\frac{H}{2} - y \right) \quad (*)$$

$$[M] = (R_c \cdot b \cdot d + 2 \cdot R_s \cdot t \cdot d) y - \left(\frac{R_c \cdot b}{2} + R_s \cdot t \right) y^2 + M_{so} + M_r - R_s \cdot t \cdot d^2 \quad (**)$$

Từ hệ phương trình trên rút ra kết luận, với một tiết diện xác định thì giá trị M, N phụ thuộc vào tham số y (chiều cao vùng nén). Bằng cách cho các giá trị y xác định sẽ vẽ được đường cong quan hệ giữa M và N và thu được đường cong như trang bên:

Nếu chấp nhận giả thiết ứng suất đều đạt tới trạng thái giới hạn như trên thì đường cong trên chính là đường cong bền. Với các cặp M, N bất kì nằm trong vùng giới hạn của đường cong ABC trên thì được xem là an toàn (đủ khả năng chịu lực). Như vậy, muốn xác định khả năng chịu lực của tiết diện, ta sẽ thay liên tiếp các



giá trị y xác định vào hệ phương trình (*) và (**) để nhận được các cặp giá trị $[M]$, $[N]$ và so sánh với giá trị nội lực mà thanh phải chịu.

Từ đường cong trên rút ra tiết diện sẽ đạt M_{\max} khi thoả mãn:

$$\frac{\partial M}{\partial N} = 0$$

Từ hệ phương trình trên rút ra:

$$\frac{\partial M}{\partial y} = (R_c b + 2.R_s.t)(d - t)$$

$$\frac{\partial N}{\partial y} = (R_c b + 2.R_s.t)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial M}{\partial N} = \frac{(R_c.b + 2.R_s.t).(d - y)}{R_c.b + 2.R_s.t} = d - y = 0$$

Như vậy, tiết diện sẽ đạt M_{\max} khi trục trung hoà trùng với trục trung tâm của tiết diện.

Khi đó:

$$M_{\max} = \frac{R_c.b.d^2}{2} + M_{so} + M_{ro}$$

Và lực dọc tương ứng là:

$$N_1 = R_c.b.d$$

Ngược lại, lực dọc sẽ đạt N_{\max} khi $M = 0$. Lúc đó bài toán trở thành thanh chịu nén đúng tâm. Theo điều kiện độ bền, xem rằng ở trạng thái giới hạn ứng suất của

phần bê tông, phần lõi thép và toàn bộ cốt thép mềm đều đạt tới giới hạn tính toán thì có thể dễ dàng tìm được N_{\max} theo công thức:

$$N_{\max} = R_s \cdot A_s + R_c \cdot A_c + R_r \cdot A_r$$

Tuy nhiên, do thấy việc cho rằng ứng suất trên tiết diện đều có dạng hình chữ nhật là quá thiên về nguy hiểm, tác giả đã đưa ra kiến nghị khi xác định N_{\max} chỉ lấy với 85% cường độ chịu nén tính toán của bê tông:

$$R_c = 0,85 \cdot R_n$$

$$\Rightarrow N_{\max} = R_s \cdot A_s + 0,85 \cdot R_n \cdot A_c + R_r \cdot A_r$$

Từ hệ phương trình và đồ thị nhận thấy đường cong quan hệ $M - N$ là đường parabol, nên có thể dễ dàng xác định được điểm B trên đồ thị với $N_2 = 2N_1$.

Dựa trên cơ sở các giả thiết này, ta sẽ tiến hành phân tích cụ thể từng trường hợp theo sự phát triển dần của vùng nén và đưa ra kiến nghị về đường cong bền một cách chính xác hơn, đồng thời xây dựng công thức tính khả năng chịu lực của tiết diện theo cả hai phương vuông góc.

Giả sử tiết diện cần tính được bố trí như hình vẽ:

Tiết diện có chiều cao H , chiều rộng B .

Lõi thép có chiều cao h , chiều rộng b , chiều dày cánh T , chiều dày bụng t đặt đối xứng trong tiết diện.

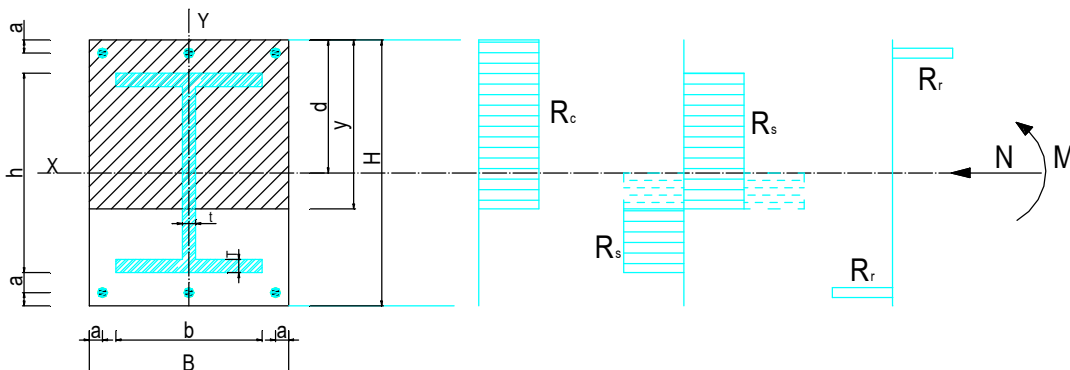
Cốt thép mềm được bố trí theo cả hai phương, khoảng cách từ tim thép đến mép tiết diện là a .

+ Tính khả năng chịu lực của cột theo phương trục X :

- Trường hợp 1: Vùng nén nằm giữa hai cánh của lõi thép:

$$y \leq \frac{H}{2} + \frac{h}{2}$$

Ta có biểu đồ ứng suất như sau:



Xét điều kiện cân bằng:

$$[N]_x = N_{cx} + N_{sx} + N_{rx}$$

$$[M]_x = M_{cx} + M_{sx} + M_{rx}$$

Với: $N_{cx} = R_c B y$

$$N_{sx} = 2R_s t(y - d)$$

$$N_{rx} = 0$$

$$M_{cx} = R_c B y(d - \frac{y}{2})$$

$$M_{sx} = M_{sox} - R_s t(d - y)^2$$

$$M_{rx} = M_{rox} = R_r A_r(d - a)$$

$$\Rightarrow [N] = (R_c B + 2R_s t)y - R_s tH$$

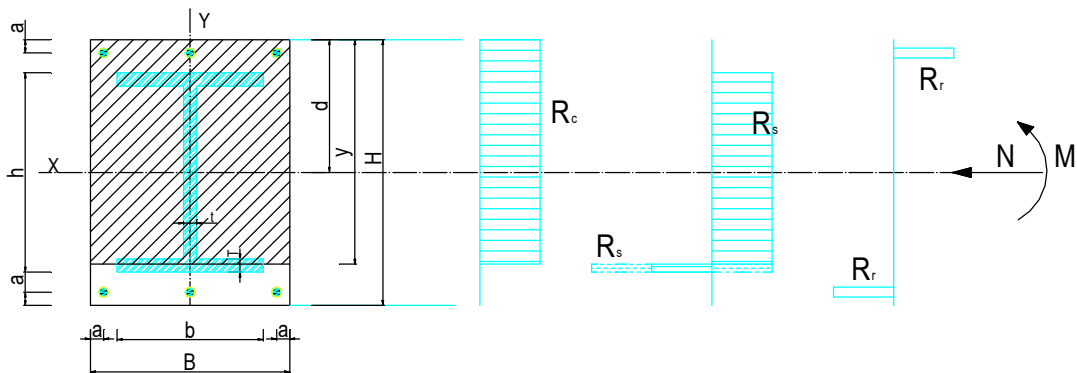
$$[M] = (R_c B + 2R_s t)dy - (\frac{R_c B}{2} + R_s t)y^2 + M_{sox} + M_{rox} - R_s t d^2$$

Công thức thu được tương tự như trong tài liệu hướng dẫn.

- Trường hợp 2: Một phần cánh lõi phía chịu kéo nằm trong vùng nén:

$$\frac{H}{2} + \frac{h}{2} - T \leq y \leq \frac{H}{2} + \frac{h}{2}$$

Ta có biểu đồ ứng suất như hình:



Xét điều kiện cân bằng:

$$[N]_x = N_{cx} + N_{sx} + N_{rx}$$

$$[M]_x = M_{cx} + M_{sx} + M_{rx}$$

Với: $N_{cx} = R_c B y$

$$N_{sx} = R_s A_s - 2R_s b(\frac{H}{2} + \frac{h}{2} - y)$$

h_b là chiều cao phần bụng lõi thép: $h_b = h - 2T$

$$N_{rx} = 0$$

$$M_{cx} = R_c B y(d - \frac{y}{2})$$

$$\begin{aligned}
 M_{sx} &= 2R_s b \left(\frac{H+h}{2} - y \right) \left(\frac{h}{2} - \frac{\frac{H+h}{2} - y}{2} \right) \\
 &= R_s b \left(\frac{H+h}{2} - y \right) \left(\frac{h-H}{2} + y \right) \\
 &= R_s b \left(\frac{h^2}{4} - \left(\frac{H}{2} - y \right)^2 \right)
 \end{aligned}$$

$$M_{rx} = M_{rox} = R_r A_r (d - a)$$

$$\Rightarrow [N] = (R_c B + 2R_s b)y + R_s A_s - R_s b(H+h)$$

$$[M] = (R_c B d + R_s b H)y - \left(\frac{R_c B}{2} + R_s b \right) y^2 + M_{rox} - R_s b \frac{H^2 - h^2}{4}$$

Khi vùng nén phát triển ra toàn bộ tiết diện lõi ($y = \frac{H+h}{2}$), toàn bộ lõi thép chịu nén, mômen do phần lõi thép bằng 0.

- Trường hợp 3: Với $\frac{H+h}{2} < y \leq H - a$:

$$N_s = R_s A_s$$

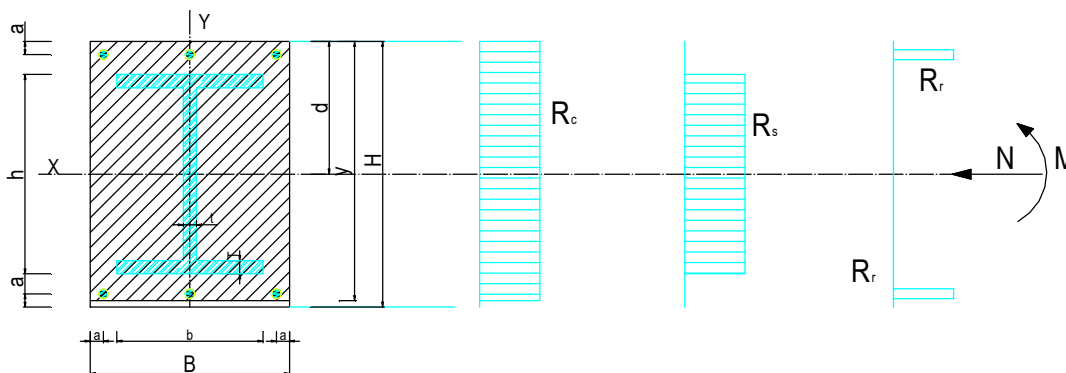
$$M_s = 0$$

$$\Rightarrow [N] = R_c B y + R_s A_s$$

$$[M] = R_c B y \left(d - \frac{y}{2} \right) + M_{rox}$$

- Trường hợp 4: Khi vùng nén phát triển vượt qua cả phần cốt thép mềm: $y > H - a$ -
a. Toàn bộ phần cốt thép chịu nén, mômen trong cốt thép bằng 0.

Biểu đồ ứng suất của trường hợp này như sau:



Điều kiện cân bằng:

$$[N]_x = N_{cx} + N_{sx} + N_{rx}$$

$$[M]_x = M_{cx} + M_{sx} + M_{rx}$$

Với: $N_{cx} = R_c B y$

$$N_{sx} = R_s A_s$$

$$N_{rx} = R_r A_r$$

$$M_{cx} = R_c B y (d - \frac{y}{2})$$

$$M_{sx} = 0$$

$$M_{rx} = 0$$

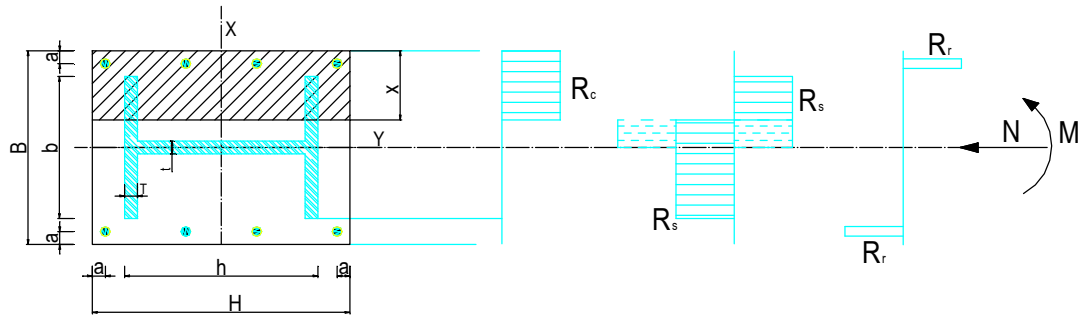
$$\Rightarrow [N] = R_c B y + R_s A_s + R_r A_r$$

$$[M] = R_c B y (d - \frac{y}{2})$$

* Tính khả năng chịu lực của cột theo phương trục Y.

- Trường hợp 1: $y < \frac{B}{2} - \frac{t}{2}$: vùng nén chưa qua phần bụng của tiết diện.

Biểu đồ ứng suất:



Điều kiện cân bằng:

$$[N]_y = N_{cy} + N_{sy} + N_{ry}$$

$$[M]_y = M_{cy} + M_{sy} + M_{ry}$$

Với: $N_{cy} = R_c H x$

$$N_{sy} = -4R_s T (\frac{B}{2} - x) = 4R_s T (x - \frac{B}{2})$$

$$N_{ry} = 0$$

$$M_{cy} = R_c H x (\frac{B}{2} - \frac{x}{2})$$

$$M_{sy} = M_{so} - 4R_s T \frac{1}{2} (\frac{B}{2} - x)^2$$

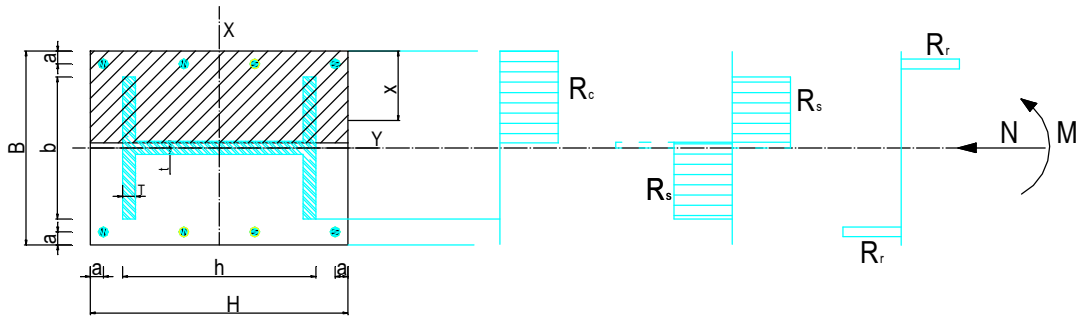
$$M_{ry} = M_{roy} = R_r A_r (\frac{B}{2} - a)$$

$$\Rightarrow [N]_y = (R_c H + 4R_s T)x - 2R_s T B$$

$$[M]_y = (\frac{R_c B H}{2} + 2R_s T B)x - (\frac{R_c H}{2} + 2R_s T)x^2 + M_{soy} + M_{roy} - \frac{R_s T B^2}{2}$$

- Trường hợp 2: $\frac{B}{2} - \frac{t}{2} < y < \frac{B}{2} + \frac{t}{2}$: Một phần bản bụng nằm trong vùng nén.

Biểu đồ ứng suất:



Điều kiện cân bằng:

$$[N]_y = N_{cy} + N_{sy} + N_{ry}$$

$$[M]_y = M_{cy} + M_{sy} + M_{ry}$$

Với: $N_{cy} = R_c H x$

$$N_{sy} = 2R_s h \left(x - \frac{B}{2} \right)$$

$$N_{ry} = 0$$

$$M_{cy} = R_c H x \left(\frac{B}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$M_{sy} = M_{so} - 2R_s h \frac{1}{2} \left(\frac{B}{2} - x \right)^2$$

$$M_{ry} = M_{roy} = R_r A_r \left(\frac{B}{2} - a \right)$$

$$\Rightarrow [N]_y = (R_c H + 2R_s h)x - R_s B h$$

$$[M]_y = \left(R_c H \frac{B}{2} + R_s B h \right) x - \left(\frac{R_c H}{2} + R_s h \right) x^2 + M_{soy} + M_{roy} - \frac{R_s B^2 h}{4}$$

- Trường hợp 3: $\frac{B}{2} + \frac{t}{2} < x < \frac{B}{2} + \frac{b}{2}$: vùng nén vượt qua trục trung tâm của tiết diện.

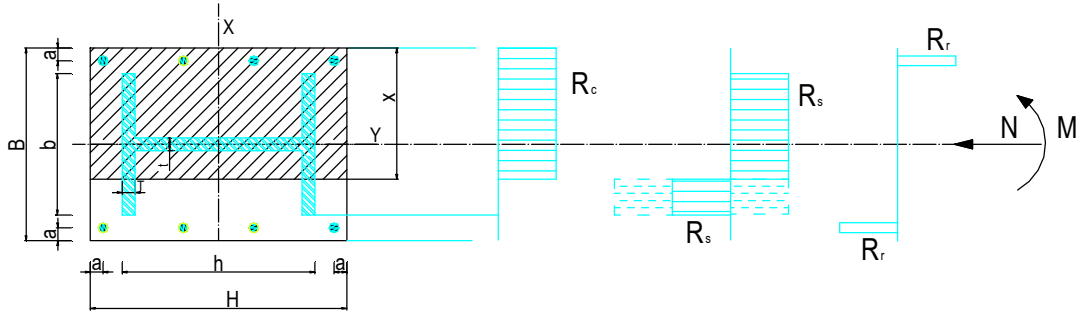
Biểu đồ ứng suất:

Điều kiện cân bằng:

$$[N]_y = N_{cy} + N_{sy} + N_{ry}$$

$$[M]_y = M_{cy} + M_{sy} + M_{ry}$$

Với: $N_{cy} = R_c H x$



$$N_{sy} = R_s A_s - 4R_s T \left(\frac{B+b}{2} - x \right)$$

$$N_{ry} = 0$$

$$M_{cy} = R_c H x \left(\frac{B}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

$$\begin{aligned} M_{sy} &= 4R_s T \left(\frac{B+b}{2} - x \right) \left(\frac{b}{2} - \frac{B+b}{4} + \frac{x}{2} \right) \\ &= 2R_s T \left(\frac{b}{2} + \frac{B}{2} - x \right) \left(\frac{b}{2} - \frac{B}{2} + x \right) \\ &= 2R_s T \left[\frac{b^2}{4} - \left(\frac{B}{2} - x \right)^2 \right] \end{aligned}$$

$$M_{ry} = M_{roy} = R_r A_r \left(\frac{B}{2} - a \right)$$

$$\Rightarrow [N]_y = (R_c H + 4R_s T)x + R_s A_s - 2R_s T(B+b)$$

$$[M]_y = \left(\frac{R_c H B}{2} + 2R_s T B \right) x - \left(\frac{R_c H}{2} + 2R_s T \right) x^2 + M_{roy} - R_s T \frac{B^2 - b^2}{2}$$

Khi vùng nén phát triển ra toàn bộ tiết diện lõi ($x = \frac{B+b}{2}$), toàn bộ lõi thép chịu nén, mômen do phần lõi thép bằng 0.

- Trường hợp 4: Với $\frac{B+b}{2} < x \leq B - a$:

$$N_s = R_s A_s$$

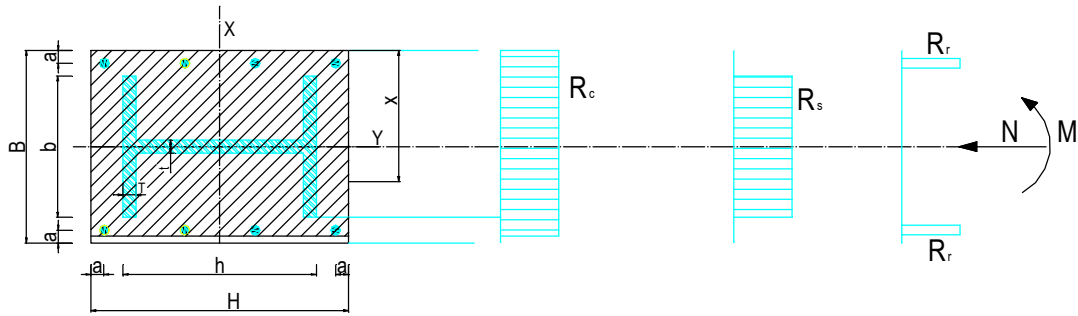
$$M_s = 0$$

$$\Rightarrow [N]_y = R_c H x + R_s A_s$$

$$[M]_y = R_c H x \left(\frac{B}{2} - \frac{x}{2} \right) + M_{roy}$$

- Trường hợp 5: Khi vùng nén phát triển vượt qua cả phần cốt thép mềm: $x > B - a$. Toàn bộ phần cốt thép chịu nén, mômen trong cốt thép bằng 0.

Biểu đồ ứng suất:



Điều kiện cân bằng:

$$[N]_y = N_{cy} + N_{sy} + N_{ry}$$

$$[M]_y = M_{cy} + M_{sy} + M_{ry}$$

Với: $N_{cy} = R_c H x$

$$N_{sy} = R_s A_s$$

$$N_{ry} = R_r A_r$$

$$M_{cy} = R_c H x \left(\frac{B}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

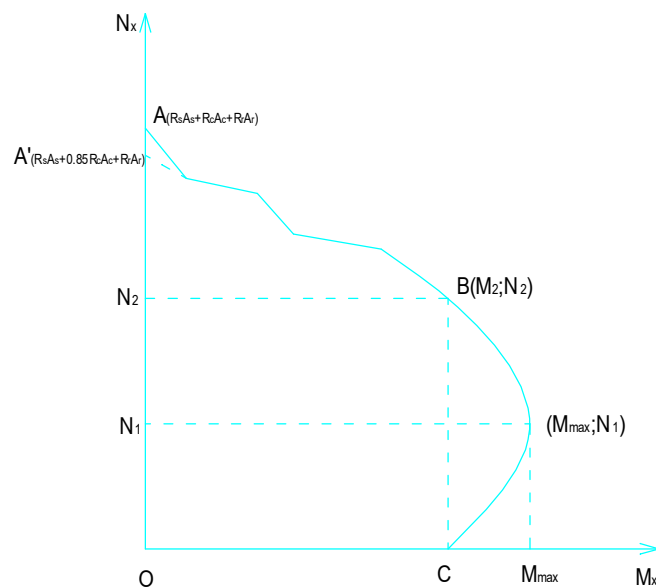
$$M_{sy} = 0$$

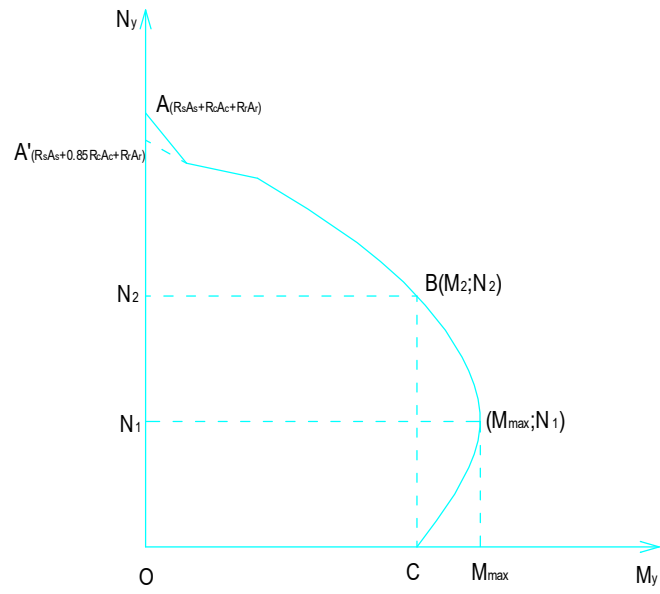
$$M_{ry} = 0$$

$$\Rightarrow [N]_y = R_c H x + R_s A_s + R_r A_r$$

$$[M]_y = R_c H x \left(\frac{B}{2} - \frac{x}{2} \right)$$

Từ đó ta có thể xác định được đường cong bền có dạng như sau:





VI.1.2. Thiết kế tiết diện cột A2:

* Bố trí cốt thép cột A2 tầng ngầm 2:

Trước hết ta thiết kế sơ bộ tiết diện như sau:

- Tiết diện cột: $B = 80 \text{ cm.}$

$H = 80 \text{ cm.}$

$$d = \frac{H}{2} = 40 \text{ cm.}$$

- Kích thước lõi: $b = 60 \text{ cm.}$

$h = 60 \text{ cm.}$

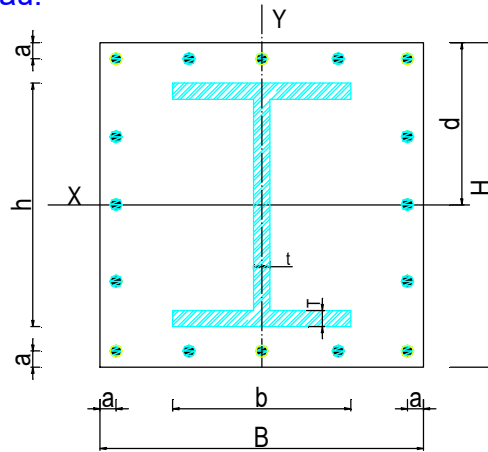
$T = 3 \text{ cm.}$

$t = 1,2 \text{ cm.}$

$h_b = 54 \text{ cm.}$

$E_s = 2,1.10^6 \text{ kG/cm}^2.$

$R_s = 2250 \text{ kG/cm}^2.$



- Cốt mềm: $16 \phi 25$

$$A_{r0} = 4,91 \text{ cm}^2.$$

$$a = 5 \text{ cm.}$$

$$E_a = 2,1.10^6 \text{ kG/cm}^2.$$

$$R_a = 2800 \text{ kG/cm}^2.$$

Để đơn giản cho tính toán và thiên về an toàn, khi tính toán uốn theo các phương, ta bỏ qua sự làm việc của các lớp cốt mềm phía trong, coi như chỉ có cốt thép mềm lớp ngoài cùng làm việc.

- Bê tông mác 400:

$$E_c = 3,3.10^5 \text{ kG/cm}^2.$$

$$R_c = 170 \text{ kG/cm}^2.$$

Ta có:

$$A_s = 54.1,2 + 2.3.60 = 424,8 \text{ cm}^2.$$

$$J_{sx} = 2.3.60.28,5^2 = 292410 \text{ cm}^4.$$

$$J_{sy} = 2. \frac{3.60^3}{12} = 108000 \text{ cm}^4.$$

$$W_{sx} = \frac{J_{sx}}{y_s} = \frac{134560}{30} = 9747 \text{ cm}^3.$$

$$W_{sy} = \frac{J_{sy}}{x_s} = \frac{108000}{30} = 3600 \text{ cm}^3.$$

$$M_{sox} = W_{sx} \cdot R_s = 9747.2250 = 21930750 \text{ kG.cm.}$$

$$M_{soy} = W_{sy} \cdot R_s = 3600.2250 = 8100000 \text{ kG.cm.}$$

$$A_r = 16.4,91 = 78,56 \text{ cm}^2.$$

$$J_{rx} = J_{ry} = 2.5.4,91.(40-5)^2 = 60148 \text{ cm}^4.$$

$$M_{rox} = M_{roy} = 2.5.4,91.2800.(40-5) = 4811800 \text{ kG.cm.}$$

$$A_c = B.H - A_s - A_r = 80^2 - 424,8 - 78,56 = 5896,64 \text{ cm}^2.$$

$$J_{cx} = \frac{BH^3}{12} - J_{sx} - J_{rx} = \frac{80^4}{12} - 292410 - 60148 = 3060776 \text{ cm}^4.$$

$$J_{cy} = \frac{B^3H}{12} - J_{sy} - J_{ry} = \frac{80^4}{12} - 108000 - 60148 = 3245186 \text{ cm}^4.$$

$$\mu = \frac{A_s + A_r}{B.H} \cdot 100\% = \frac{424,8 + 78,56}{80^2} \cdot 100\% = 7,87\% < 15\%.$$

Để kiểm tra khả năng chịu lực của tiết diện, phương pháp thông thường là dựa trên công thức xác định $[M]$, $[N]$ từ hệ phương trình (*) và (**), cho y các giá trị xác định, tính các giá trị của M , N tương ứng, từ đó vẽ ra được đường cong bền của tiết diện. Sau đó đưa các giá trị nội lực mà tiết diện đó phải chịu vào so sánh với đường cong bền. Nếu điểm có tọa độ M , N đó nằm trong giới hạn bền của tiết diện thì coi như thoả mãn, tiết diện đủ khả năng chịu lực.

Như vậy, với mỗi tiết diện ta phải xây dựng đường cong bền của nó, sau đó nếu không thoả mãn thì tiến hành thiết kế lại tiết diện và lập lại đường cong bền một lần nữa để so sánh cho đến khi đạt yêu cầu. Tuy nhiên, việc này chỉ có thể thực hiện khi thiết kế một vài cấu kiện đơn lẻ, với cả một công trình thì phương pháp này sẽ dẫn đến một khối lượng công việc rất lớn, việc tính toán sẽ mất rất nhiều công sức và thời gian.

Do đó ta sẽ tính toán bằng cách từ các công thức tính $[M]$, $[N]$ ở trên, cho $[N] = N^{tt}$, từ đó tính ra $y_{nén}$, thay vào công thức để tính được $[M]$ tương ứng đem so sánh với M^{tt} . Nếu $M^{tt} \leq [M]_{tư}$ thì tiết diện đủ khả năng chịu lực.

Tuy nhiên, do ta chưa biết được chiều cao vùng nén để chọn công thức tính $y_{nén}$, vì thế ta sẽ tính chiều cao vùng nén theo các công thức áp dụng cho các trường hợp, sau đó chọn kết quả nào phù hợp với khoảng giới hạn của công thức tương ứng tức là chiều cao vùng nén ứng với lực nén đó.

Từ bảng kết quả nội lực trên, ta chọn được 2 tổ hợp nguy hiểm nhất là:

+ Tổ hợp đặc biệt 1 gây ra tại tiết diện chân cột:

$$N_1 = 1279,744 \text{ T} = 1279744 \text{ kG.}$$

$$M_{x1} = 9,958 \text{ Tm} = 995800 \text{ kGcm.}$$

$$M_{y1} = 113,417 \text{ Tm} = 11341700 \text{ kGcm.}$$

+ Tổ hợp đặc biệt 2 gây ra tại tiết diện chân cột:

$$N_2 = 1745,024 \text{ T} = 1745024 \text{ kG}.$$

$$M_{x2} = 154,513 \text{ Tm} = 15451300 \text{ kGcm}.$$

$$M_{y2} = 1,792 \text{ Tm} = 179200 \text{ kGcm}.$$

- Khả năng chịu lực của tiết diện:

$$\begin{aligned} N_{\max} &= R_s A_s + 0,85 R_n A_c + R_r A_r \\ &= 2250.424,8 + 0,85.170.5896,64 + 2800.78,56 \\ &= 2027832 \text{ kG}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{x\max} &= \frac{R_c b d^2}{2} + M_{\text{sox}} + M_{\text{rox}} \\ &= \frac{170.60.40^2}{2} + 21930750 + 4811800 = 37622550 \text{ kGcm}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{y\max} &= \frac{R_c B^2 h}{8} + M_{\text{soy}} + M_{\text{roy}} \\ &= \frac{170.60.40^2}{2} + 8100000 + 4811800 = 23791800 \text{ kGcm}. \end{aligned}$$

- Kiểm tra cho cặp (N_1, M_{x1}, M_{y1}) :

+ Nén uốn theo phương trục x:

Tính chiều cao vùng nén theo các công thức:

$$y_1 = \frac{N + R_s t H}{R_c B + 2R_s t} = \frac{1279744 + 2250.12.80}{170.80 + 2.2250.12} = 78,72 \text{ cm}.$$

$$\begin{aligned} y_2 &= \frac{N - R_s A_s + R_s b(H + h)}{R_c B + 2R_s b} \\ &= \frac{1279744 - 2250.424,8 + 2250.60.(80 + 60)}{170.80 + 2.2250.60} = 67,79 \text{ cm}. \end{aligned}$$

$$y_3 = \frac{N - R_s A_s}{R_c B} = \frac{1279744 - 2250.424,8}{170.80} = 23,82 \text{ cm}.$$

$$y_4 = \frac{N - R_s A_s - R_r A_r}{R_c B} = \frac{1279744 - 2250.424,8 - 2800.78,56}{170.80} = 7,65 \text{ cm}.$$

Ta thấy $y_2 = 67,79 \text{ cm}$ là phù hợp với khoảng giới hạn của công thức:

$$\frac{H+h}{2} - T = \frac{80+60}{2} - 3 = 67 < y = 67,79 < \frac{H+h}{2} = 70 \text{ cm}.$$

$$\Rightarrow y = y_2 = 67,79 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
\Rightarrow M_{xtư} &= M_{x2} = (R_c B d + R_s b H) y - \left(\frac{R_c B}{2} + R_s b \right) y^2 + M_{rox} - R_s b \frac{H^2 - h^2}{4} \\
&= (170.80.40 + 2250.60.80).67,79 - \left(\frac{170.80}{2} + 2250.60 \right).67,79^2 + 4811800 \\
&\quad - 2250.60. \frac{80^2 - 60^2}{4} \\
&= 27718039 \text{ kG.cm} > M_1 = 995800 \text{ kG.cm}
\end{aligned}$$

⇒ Tiết diện đủ khả năng chịu lực.

+ Nén uốn theo phương trục y:

Tính chiều cao vùng nén theo các công thức:

$$x_1 = \frac{N + 2R_s T B}{R_c H + 4R_s T} = \frac{1279744 + 2.2250.3.80}{170.80 + 4.2250.3} = 58,12 \text{ cm.}$$

$$x_2 = \frac{N + R_s B h}{R_c H + 2R_s h} = \frac{1279744 + 2250.80.60}{170.80 + 2.2250.60} = 42,23 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned}
x_3 &= \frac{N - R_s A_s + 2R_s T(B + b)}{R_c H + 4R_s T} \\
&= \frac{1279744 - 2250.424,8 + 2.2250.3.(80 + 60)}{170.80 + 4.2250.3} = 54,53 \text{ cm.}
\end{aligned}$$

$$x_4 = \frac{N - R_s A_s}{R_c H} = \frac{1279744 - 2250.424,8}{170.80} = 23,82 \text{ cm.}$$

$$x_5 = \frac{N - R_s A_s - R_r A_r}{R_c H} = \frac{1279744 - 2250.424,8 - 2800.78,56}{170.80} = 7,65 \text{ cm.}$$

Ta thấy $x_3 = 54,53 \text{ cm}$ là phù hợp với khoảng giới hạn của công thức:

$$\frac{B + t}{2} = \frac{80 + 1,2}{2} = 40,6 < x < \frac{B + b}{2} = 70 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow x = x_3 = 54,53 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned}
\Rightarrow M_{ytư} &= M_{y3} = \left(\frac{R_c B H}{2} + 2R_s T B \right) x - \left(\frac{R_c H}{2} + 2R_s T \right) x^2 + M_{rox} - R_s T \frac{B^2 - b^2}{2} \\
&= (170.80.40 + 2.2250.3.80).54,53 - \left(\frac{170.80}{2} + 2.2250.3 \right).54,53^2 + \\
&\quad 4811800 - 2250.3. \frac{80^2 - 60^2}{2} \\
&= 23555668 \text{ kG.cm} > M_{y1} = 11341700 \text{ kG.cm}
\end{aligned}$$

⇒ Tiết diện đủ khả năng chịu lực.

- Kiểm tra cho cặp (N_2 , M_{x2} , M_{y2}):

+ Nén uốn theo phương trục x:

Tính chiều cao vùng nén theo các công thức:

$$y_1 = \frac{N + R_s t H}{R_c B + 2R_s t} = \frac{1745024 + 2250.1,2.80}{170.80 + 2.2250.1,2} = 103,21 \text{ cm.}$$

$$y_2 = \frac{N - R_s A_s + R_s b(H + h)}{R_c B + 2R_s b}$$

$$= \frac{1745024 - 2250.424,8 + 2250.60.(80 + 60)}{170.80 + 2.2250.60} = 69,43 \text{ cm.}$$

$$y_3 = \frac{N - R_s A_s}{R_c B} = \frac{1745024 - 2250.424,8}{170.80} = 58,03 \text{ cm.}$$

$$y_4 = \frac{N - R_s A_s - R_r A_r}{R_c B} = \frac{1745024 - 2250.424,8 - 2800.78,56}{170.80} = 41,86 \text{ cm.}$$

Ta thấy $y_2 = 69,43 \text{ cm}$ là đúng với khoảng giới hạn của công thức:

$$\frac{H+h}{2} - T = \frac{80+60}{2} - 3 = 67 < y = 69,43 < \frac{H+h}{2} = 70 \text{ cm.}$$

$$\Rightarrow y = y_2 = 69,43 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow M_{xtl} = M_{x2} = (R_c B d + R_s b H) y - \left(\frac{R_c B}{2} + R_s b \right) y^2 + M_{rox} - R_s b \frac{H^2 - h^2}{4}$$

$$= (170.80.40 + 2250.60.80).69,43 - \left(\frac{170.80}{2} + 2250.60 \right).69,43^2 + 4811800$$

$$- 2250.60. \frac{80^2 - 60^2}{4}$$

$$= 14408366 \text{ kG.cm} < M_{x2} = 15451307 \text{ kG.cm.}$$

\Rightarrow Tiết diện không đủ khả năng chịu lực.

\Rightarrow Thiết kế lại tiết diện.

Tăng chiều dày bản bụng lõi thép lên 1,6 cm.

Ta có:

$$A_s = 54.1,2 + 2.3.60 = 446,4 \text{ cm}^2.$$

$$J_{sx} = 2.3.60.28,5^2 = 292410 \text{ cm}^4.$$

$$J_{sy} = 2. \frac{3.60^3}{12} = 108000 \text{ cm}^4.$$

$$W_{sx} = \frac{J_{sx}}{y_s} = \frac{134560}{30} = 9747 \text{ cm}^3.$$

$$W_{sy} = \frac{J_{sy}}{x_s} = \frac{108000}{30} = 3600 \text{ cm}^3.$$

$$M_{sox} = W_{sx} \cdot R_s = 9747.2250 = 21930750 \text{ kG.cm.}$$

$$M_{soy} = W_{sy} \cdot R_s = 3600.2250 = 8100000 \text{ kG.cm.}$$

$$A_r = 16.4,91 = 78,56 \text{ cm}^2.$$

$$J_{rx} = J_{ry} = 2.5.4,91.(40-5)^2 = 60148 \text{ cm}^4.$$

$$M_{rox} = M_{roy} = 2.5.4,91.2800.(40-5) = 4811800 \text{ kG.cm.}$$

$$A_c = B.H - A_s - A_r = 80^2 - 446,4 - 78,56 = 5875,04 \text{ cm}^2.$$

$$J_{cx} = \frac{BH^3}{12} - J_{sx} - J_{rx} = \frac{80^4}{12} - 292410 - 60148 = 3060776 \text{ cm}^4.$$

$$J_{cy} = \frac{B^3H}{12} - J_{sy} - J_{ry} = \frac{80^4}{12} - 108000 - 60148 = 3245186 \text{ cm}^4.$$

$$\mu = \frac{A_s + A_r}{B.H} \cdot 100\% = \frac{446,4 + 78,56}{80^2} \cdot 100\% = 8,2\% < 15\%.$$

- Khả năng chịu lực của tiết diện:

$$\begin{aligned} N_{\max} &= R_s A_s + 0,85 \cdot R_n A_c + R_r A_r \\ &= 2250.446,4 + 0,85.170.5875,04 + 2800.78,56 \\ &= 2073311 \text{ kG.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{x\max} &= \frac{R_c b d^2}{2} + M_{sox} + M_{rox} \\ &= \frac{170.60.40^2}{2} + 21930750 + 4811800 = 37622550 \text{ kGcm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{y\max} &= \frac{R_c B^2 h}{8} + M_{soy} + M_{roy} \\ &= \frac{170.60.40^2}{2} + 8100000 + 4811800 = 23791800 \text{ kGcm.} \end{aligned}$$

- Kiểm tra cho cặp (N_1, M_{x1}, M_{y1}) :

+ Nén uốn theo phương trục x:

Tính chiều cao vùng nén theo các công thức:

$$y_1 = \frac{N + R_s t H}{R_c B + 2R_s t} = \frac{1279744 + 2250.1,6.80}{170.80 + 2.2250.1,6} = 75,37 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} y_2 &= \frac{N - R_s A_s + R_s b(H + h)}{R_c B + 2R_s b} \\ &= \frac{1279744 - 2250.446,4 + 2250.60.(80 + 60)}{170.80 + 2.2250.60} = 67,61 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$y_3 = \frac{N - R_s A_s}{R_c B} = \frac{1279744 - 2250.446,4}{170.80} = 20,25 \text{ cm.}$$

$$y_4 = \frac{N - R_s A_s - R_r A_r}{R_c B} = \frac{1279744 - 2250.446,4 - 2800.78,56}{170.80} = 4,07 \text{ cm.}$$

Ta thấy $y_2 = 67,61 \text{ cm}$ là phù hợp với khoảng giới hạn của công thức:

$$\frac{H+h}{2} - T = \frac{80+60}{2} - 3 = 67 < y = 67,61 < \frac{H+h}{2} = 70 \text{ cm.}$$

$$\Rightarrow y = y_2 = 67,61 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow M_{xtu} = M_{x2} &= (R_c B d + R_s b H) y - \left(\frac{R_c B}{2} + R_s b \right) y^2 + M_{rox} - R_s b \frac{H^2 - h^2}{4} \\ &= (170.80.40 + 2250.60.80).67,61 - \left(\frac{170.80}{2} + 2250.60 \right).67,61^2 + 4811800 \\ &\quad - 2250.60. \frac{80^2 - 60^2}{4} \\ &= 29064246 \text{ kG.cm} > M_1 = 995800 \text{ kG.cm} \end{aligned}$$

\Rightarrow Tiết diện đủ khả năng chịu lực.

+ Nén uốn theo phương trục y:

Tính chiều cao vùng nén theo các công thức:

$$x_1 = \frac{N + 2R_s T B}{R_c H + 4R_s T} = \frac{1745024 + 2.2250.3.80}{170.80 + 4.2250.3} = 58,12 \text{ cm.}$$

$$x_2 = \frac{N + R_s B h}{R_c H + 2R_s h} = \frac{1745024 + 2250.80.60}{170.80 + 2.2250.60} = 42,59 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned} x_3 &= \frac{N - R_s A_s + 2R_s T (B + b)}{R_c H + 4R_s T} \\ &= \frac{1745024 - 2250.424,8 + 2.2250.3.(80 + 60)}{170.80 + 4.2250.3} = 53,33 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$x_4 = \frac{N - R_s A_s}{R_c H} = \frac{1745024 - 2250.424,8}{170.80} = 20,25 \text{ cm.}$$

$$x_5 = \frac{N - R_s A_s - R_r A_r}{R_c H} = \frac{1745024 - 2250.424,8 - 2800.78,56}{170.80} = 4,07 \text{ cm.}$$

Ta thấy $x_3 = 53,33 \text{ cm}$ là phù hợp với khoảng giới hạn của công thức:

$$\frac{B+t}{2} = \frac{80+1,6}{2} = 40,8 < x < \frac{B+b}{2} = 70 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow x = x_3 = 53,33 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned}
\Rightarrow M_{ytr} = M_{y3} &= \left(\frac{R_c B H}{2} + 2R_s T B \right) x - \left(\frac{R_c H}{2} + 2R_s T \right) x^2 + M_{rox} - R_s T \frac{B^2 - b^2}{2} \\
&= (170.80.40 + 2.2250.3.80).53,33 - \left(\frac{170.80}{2} + 2.2250.3 \right).53,33^2 + \\
&4811800 - 2250.3. \frac{80^2 - 60^2}{2} \\
&= 24232769 \text{ kG.cm} > M_{y1} = 11341700 \text{ kG.cm}
\end{aligned}$$

⇒ Tiết diện đủ khả năng chịu lực.

- Kiểm tra cho cặp (N_2 , M_{x2} , M_{y2}):

+ Nén uốn theo phương trục x:

Tính chiều cao vùng nén theo các công thức:

$$y_1 = \frac{N + R_s t H}{R_c B + 2R_s t} = \frac{1745024 + 2250.1,2.80}{170.80 + 2.2250.1,2} = 97,74 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned}
y_2 &= \frac{N - R_s A_s + R_s b(H + h)}{R_c B + 2R_s b} \\
&= \frac{1745024 - 2250.424,8 + 2250.60.(80 + 60)}{170.80 + 2.2250.60} = 69,25 \text{ cm.}
\end{aligned}$$

$$y_3 = \frac{N - R_s A_s}{R_c B} = \frac{1745024 - 2250.424,8}{170.80} = 54,46 \text{ cm.}$$

$$y_4 = \frac{N - R_s A_s - R_r A_r}{R_c B} = \frac{1745024 - 2250.424,8 - 2800.78,56}{170.80} = 38,28 \text{ cm.}$$

Ta thấy $y_2 = 69,25 \text{ cm}$ là phù hợp với khoảng giới hạn của công thức:

$$\frac{B+b}{2} - T = \frac{80+60}{2} - 3 = 67 < y = 69,25 < \frac{B+b}{2} = 70 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow y = y_2 = 69,25 \text{ cm.}$$

$$\begin{aligned}
\Rightarrow M_{xtr} = M_{x2} &= (R_c B d + R_s b H) y - \left(\frac{R_c B}{2} + R_s b \right) y^2 + M_{rox} - R_s b \frac{H^2 - h^2}{4} \\
&= (170.80.40 + 2250.60.80).69,25 - \left(\frac{170.80}{2} + 2250.60 \right).69,25^2 + 4811800 \\
&- 2250.60. \frac{80^2 - 60^2}{4} \\
&= 15834307 \text{ kG.cm} > M_{x2} = 15451300 \text{ kG.cm.}
\end{aligned}$$

⇒ Tiết diện đủ khả năng chịu lực.

+ Nén uốn theo phương trục y:

Tính chiều cao vùng nén theo các công thức:

$$x_1 = \frac{N + 2R_s TB}{R_c H + 4R_s T} = \frac{1745024 + 2.2250.3.80}{170.80 + 4.2250.3} = 69,58 \text{ cm.}$$

$$x_2 = \frac{N + R_s Bh}{R_c H + 2R_s h} = \frac{1745024 + 2250.80.60}{170.80 + 2.2250.60} = 44,23 \text{ cm.}$$

$$x_3 = \frac{N - R_s A_s + 2R_s T(B + b)}{R_c H + 4R_s T}$$

$$= \frac{1745024 - 2250.424,8 + 2.2250.3.(80 + 60)}{170.80 + 4.2250.3} = 64,79 \text{ cm.}$$

$$x_4 = \frac{N - R_s A_s}{R_c H} = \frac{1745024 - 2250.424,8}{170.80} = 54,46 \text{ cm.}$$

$$x_5 = \frac{N - R_s A_s - R_r A_r}{R_c H} = \frac{1745024 - 2250.424,8 - 2800.78,56}{170.80} = 38,28 \text{ cm.}$$

Ta thấy $x_3 = 64,79 \text{ cm}$ thỏa mãn $\frac{B+t}{2} = \frac{80+1.6}{2} = 40,8 < y < \frac{B+b}{2} = 70 \text{ cm}$

$$\Rightarrow x = x_3 = 64,79 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow M_{ytr} = M_{y3} = \left(\frac{R_c BH}{2} + 2R_s TB \right) x - \left(\frac{R_c H}{2} + 2R_s T \right) x^2 + M_{rox} - R_s T \frac{B^2 - b^2}{2}$$

$$= (170.80.40 + 2.2250.3.80).64,79 - \left(\frac{170.80}{2} + 2.2250.3 \right).64,79^2 +$$

$$4811800 - 2250.3. \frac{80^2 - 60^2}{2}$$

$$= 15362836 \text{ kG.cm} > M_{y2} = 179200 \text{ kG.cm}$$

\Rightarrow Tiết diện đủ khả năng chịu lực theo điều kiện bền.

* Kiểm tra điều kiện ổn định:

Khả năng chịu lực của thanh theo điều kiện ổn định được tính toán theo công thức:

$$N \leq I_t R_s A_s + (R_c b y + R_r A_r')$$

Trong đó:

y : chiều cao vùng nén.

A_r' : diện tích phần cốt thép mềm nằm trong vùng nén.

I_t : hệ số kể đến ảnh hưởng của uốn dọc, phụ thuộc độ mảnh của cột, xác định theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép TCVN 5574-1991.

I_t : hệ số kể đến ổn định tổng thể của thanh nén lệch tâm, xác định theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCVN 5575-1991.

Các đặc trưng của tiết diện tương đương:

$$J_{\text{xtđ}} = J_{\text{sx}} + J_{\text{cx}} + J_{\text{rx}} = 3413333 \text{ cm}^4.$$

$$J_{\text{ytd}} = J_{\text{sy}} + J_{\text{cy}} + J_{\text{ry}} = 3413333 \text{ cm}^4.$$

$$\begin{aligned} E_{\text{xtđ}} &= \frac{E_s J_{\text{sx}} + E_c J_{\text{cx}} + E_r J_{\text{rx}}}{J_{\text{xtđ}}} \\ &= \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 292410 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 3060776 + 2,1 \cdot 10^6 \cdot 60148}{3413333} \\ &= 512820 \text{ kG/cm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{\text{ytd}} &= \frac{E_s J_{\text{sy}} + E_c J_{\text{cy}} + E_r J_{\text{ry}}}{J_{\text{ytd}}} \\ &= \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 108000 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 3245186 + 2,1 \cdot 10^6 \cdot 60148}{3413333} \\ &= 417194 \text{ kG/cm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{xtđ}} &= \frac{E_x A_s + E_c A_c + E_r A_r}{E_{\text{xtđ}}} \\ &= \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 446,4 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 5875,04 + 2,1 \cdot 10^6 \cdot 78,56}{512820} \\ &= 5930,30 \text{ cm}^2. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{ytd}} &= \frac{E_x A_s + E_c A_c + E_r A_r}{E_{\text{ytd}}} \\ &= \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 446,4 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 5875,04 + 2,1 \cdot 10^6 \cdot 78,56}{417194} \\ &= 7289,61 \text{ cm}^2. \end{aligned}$$

$$r_{\text{xtđ}} = \sqrt{\frac{J_{\text{xtđ}}}{A_{\text{xtđ}}}} = \sqrt{\frac{3413333}{5930,30}} = 23,99 \text{ cm}.$$

$$r_{\text{ytd}} = \sqrt{\frac{J_{\text{ytd}}}{A_{\text{ytd}}}} = \sqrt{\frac{3413333}{7289,61}} = 21,64 \text{ cm}.$$

$$W_{\text{xtđ}} = \frac{J_{\text{xtđ}}}{d} = \frac{3413333}{40} = 85333 \text{ cm}^3 = W_{\text{ytd}}.$$

$$\rho_{\text{xtđ}} = \frac{W_{\text{xtđ}}}{A_{\text{xtđ}}} = \frac{85333}{5930,3} = 14,39 \text{ cm}.$$

$$\rho_{\text{ytd}} = \frac{W_{\text{ytd}}}{A_{\text{ytd}}} = \frac{85333}{7289,61} = 11,71 \text{ cm}.$$

Chiều cao tính toán của cột:

$$l_o = 0,7.h = 0,7.2,4 = 1,68 \text{ m} = 168 \text{ cm.}$$

$$\lambda_{\text{xtđ}} = \frac{l_o}{r_{\text{xtđ}}} = \frac{168}{23,99} = 7 < 20 \Rightarrow x = 1.$$

$$\lambda_{\text{ytd}} = \frac{l_o}{r_{\text{ytd}}} = \frac{168}{21,64} = 7,76 < 20 \Rightarrow y = 1.$$

$$\overline{\lambda_{\text{xtđ}}} = \lambda_{\text{xtđ}} \sqrt{\frac{R_s}{E_{\text{xtđ}}}} = 7 \cdot \sqrt{\frac{2250}{512820}} = 0,464.$$

$$\overline{\lambda_{\text{ytd}}} = \lambda_{\text{ytd}} \sqrt{\frac{R_s}{E_{\text{ytd}}}} = 7,76 \cdot \sqrt{\frac{2250}{417194}} = 0,541.$$

+ Kiểm tra với cặp M_1, N_1 :

@ Theo phương trục x:

$$e_{x1} = \frac{M_{x1}}{N_1} = \frac{99580}{1279744} = 0,778 \text{ cm.}$$

$$m_{x1} = \frac{e_{x1}}{\rho_{\text{xtđ}}} = \frac{0,778}{14,39} = 0,05.$$

$$\frac{A_c}{A_b} = \frac{2.60.3}{54.1,6} = 4,17.$$

Tra bảng 73 TCVN 5575-1991 ta được:

$$x_1 = 1,9 - 0,1m - 0,02.(6 - m) \overline{\lambda} = 1,839$$

$$\Rightarrow m'_{x1} = x_1 m_{x1} = 1,839.0,05 = 0,1.$$

Tra bảng 74 TCVN 5575-1991 theo $\overline{\lambda_{\text{xtđ}}}$ và m'_{x1} ta được:

$$\varphi_{\text{ltx1}} = 0,97$$

$$\Rightarrow [N] = 0,97.2250.446,6 + 1(170.80.67,61 + 2800.5.4,91) = 1962559 \text{ kG.}$$

$$\Rightarrow [N] > N_1 = 1279744 \text{ kG.}$$

@ Theo phương trục y:

$$e_{y1} = \frac{M_{y1}}{N_1} = \frac{11341700}{1279744} = 8,862 \text{ cm.}$$

$$m_{y1} = \frac{e_{y1}}{\rho_{\text{ytd}}} = \frac{8,862}{11,71} = 0,76.$$

$$\frac{A_c}{A_b} = \frac{54.1,6}{2.60.3} = 0,24.$$

Tra bảng 73 TCVN 5575-1991 ta được:

$$y_1 = 0,75 + 0,05m + 0,01.(5 - m)\bar{\lambda} = 0,810$$

$$\Rightarrow m'_{y1} = y_1 m_{y1} = 0,810.0,76 = 0,61.$$

Tra bảng 74 TCVN 5575-1991 theo $\bar{\lambda}_{ytd}$ và m'_{y1} ta được:

$$\varphi_{lty1} = 0,815$$

$$\Rightarrow [N] = 0,815.2250.446,6 + 1(170.80.53,33 + 2800.5.4,91) = 1612663 \text{ kG.}$$

$$\Rightarrow [N] > N_1 = 1279744 \text{ kG.}$$

+ Kiểm tra với cặp M_2, N_2 :

@ Theo phương trục x:

$$e_{x2} = \frac{M_{x2}}{N_2} = \frac{15451307}{1745024} = 8,854 \text{ cm.}$$

$$m_{x2} = \frac{e_{x2}}{\rho_{xtd}} = \frac{8,854}{14,39} = 0,62.$$

$$\frac{A_c}{A_b} = \frac{2.60.3}{54.1,6} = 4,17.$$

Tra bảng 73 TCVN 5575-1991 ta được:

$$x_2 = 1,9 - 0,1m - 0,02.(6 - m)\bar{\lambda} = 1,789$$

$$\Rightarrow m'_{x2} = x_2 m_{x2} = 1,789.0,62 = 1,10.$$

Tra bảng 74 TCVN 5575-1991 theo $\bar{\lambda}_{xtd}$ và m'_{x2} ta được:

$$\varphi_{ltx2} = 0,703$$

$$\Rightarrow [N] = 0,703.2250.446,6 + 1(170.80.69,25 + 2800.5.4,91) = 1716697 \text{ kG.}$$

$$\Rightarrow [N] < N_2 = 1745024 \text{ kG.}$$

\Rightarrow Cột không đủ khả năng chịu lực \Rightarrow tăng kích thước tiết diện.

Điều kiện bền đã thỏa mãn, ta chỉ kiểm tra lại theo điều kiện ổn định.

Chọn $t = 2 \text{ cm.}$

$$A_s = 468 \text{ cm}^2.$$

$$J_{sx} = 292410 \text{ cm}^4.$$

$$J_{sy} = 108000 \text{ cm}^4.$$

$$A_r = 78,56 \text{ cm}^2.$$

$$J_{rx} = J_{ry} = 60148 \text{ cm}^4.$$

$$A_c = 5853,44 \text{ cm}^2.$$

$$J_{cx} = 3060776 \text{ cm}^4.$$

$$J_{cy} = 3245186 \text{ cm}^4.$$

$$J_{\text{xtđ}} = J_{\text{ytd}} = 3413333 \text{ cm}^4.$$

$$E_{\text{xtđ}} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 292410 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 3060776 + 2,1 \cdot 10^6 \cdot 60148}{3413333}$$

$$= 512820 \text{ kG/cm}^2.$$

$$E_{\text{ytd}} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 108000 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 3245186 + 2,1 \cdot 10^6 \cdot 60148}{3413333}$$

$$= 417194 \text{ kG/cm}^2.$$

$$A_{\text{xtđ}} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 468 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 5853,44 + 2,1 \cdot 10^6 \cdot 78,56}{512820}$$

$$= 6004,85 \text{ cm}^2.$$

$$A_{\text{ytd}} = \frac{2,1 \cdot 10^6 \cdot 468 + 3,3 \cdot 10^5 \cdot 5853,44 + 2,1 \cdot 10^6 \cdot 78,56}{417194}$$

$$= 7381,25 \text{ cm}^2.$$

$$r_{\text{xtđ}} = \sqrt{\frac{3413333}{6004,85}} = 23,84 \text{ cm}.$$

$$r_{\text{ytd}} = \sqrt{\frac{3413333}{7381,25}} = 21,50 \text{ cm}.$$

$$W_{\text{xtđ}} = W_{\text{ytd}} = \frac{3413333}{40} = 85333 \text{ cm}^3.$$

$$\rho_{\text{xtđ}} = \frac{85333}{6004,85} = 14,21 \text{ cm}.$$

$$\rho_{\text{ytd}} = \frac{85333}{7381,25} = 11,56 \text{ cm}.$$

$$x_{\text{td}} = \frac{168}{23,84} = 7,046 < 20 \Rightarrow x = 1.$$

$$x_{\text{td}} = \frac{168}{21,5} = 7,812 < 20 \Rightarrow y = 1.$$

$$= 7,046 \cdot \sqrt{\frac{2250}{512820}} = 0,467.$$

$$\overline{\lambda}_{\text{ytd}} = 7,812 \cdot \sqrt{\frac{2250}{417194}} = 0,517.$$

+ Kiểm tra với cặp M_1, N_1 :

@ Theo phương trục x:

$$y_{\text{nén}} = y_2 = \frac{1279744 - 2250.468 + 2250.60.(80 + 60)}{170.80 + 2.2250.60} = 67,44 \text{ cm.}$$

$$e_{x1} = \frac{M_{x1}}{N_1} = \frac{99580}{1279744} = 0,778 \text{ cm.}$$

$$m_{x1} = \frac{e_{x1}}{\rho_{\text{xtđ}}} = \frac{0,778}{14,21} = 0,055.$$

$$\frac{A_c}{A_b} = \frac{2.60.3}{54.2} = 3,33.$$

Tra bảng 73 TCVN 5575-1991 ta được:

$$x_1 = 1,9 - 0,1m - 0,02.(6 - m)\bar{\lambda} = 1,839$$

$$\Rightarrow m'_{x1} = x_1 m_{x1} = 1,839.0,055 = 0,10.$$

Tra bảng 74 TCVN 5575-1991 theo $\bar{\lambda}_{\text{xtđ}}$ và m'_{x1} ta được:

$$\varphi_{\text{ltx1}} = 0,97$$

$$\Rightarrow [N] = 0,97.2250.468 + 1(170.80.67,44 + 2800.5.4,91) = 2007370 \text{ kG.}$$

$$\Rightarrow [N] > N_1 = 1279744 \text{ kG.}$$

@ Theo phương trục y:

$$\begin{aligned} x_{\text{nén}} = x_3 &= \frac{N - R_s A_s + 2R_s T(B + b)}{R_c H + 4R_s T} \\ &= \frac{1279744 - 2250.468 + 2.2250.3.(80 + 60)}{170.80 + 4.2250.3} = 52,14 \text{ cm.} \end{aligned}$$

$$e_{y1} = \frac{M_{y1}}{N_1} = \frac{11341700}{1279744} = 8,862 \text{ cm.}$$

$$m_{y1} = \frac{e_{y1}}{\rho_{\text{ytd}}} = \frac{8,862}{11,56} = 0,767.$$

$$\frac{A_c}{A_b} = \frac{54.2}{2.60.3} = 0,3.$$

Tra bảng 73 TCVN 5575-1991 ta được:

$$y_1 = 0,75 + 0,05m + 0,01.(5 - m)\bar{\lambda} = 0,810$$

$$\Rightarrow m'_{y1} = y_1 m_{y1} = 0,810.0,767 = 0,62.$$

Tra bảng 74 TCVN 5575-1991 theo $\bar{\lambda}_{\text{ytd}}$ và m'_{y1} ta được:

$$\varphi_{\text{ity1}} = 0,815$$

$$\Rightarrow [N] = 0,815.2250.468 + 1(170.80.52,14 + 2800.5.4,91) = 1635992 \text{ kG.}$$

$$\Rightarrow [N] > N_1 = 1279744 \text{ kG.}$$

+ Kiểm tra với cặp M_2, N_2 :

@ Theo phương trục x:

$$y_{\text{nén}} = y_2 = \frac{N - R_s A_s + R_s b(H + h)}{R_c B + 2R_s b}$$

$$= \frac{1745024 - 2250.468 + 2250.60.(80 + 60)}{170.80 + 2.2250.60} = 69,08 \text{ cm.}$$

$$e_{x2} = \frac{M_{x2}}{N_2} = \frac{15451307}{1745024} = 8,854 \text{ cm.}$$

$$m_{x2} = \frac{e_{x2}}{\rho_{\text{xtđ}}} = \frac{8,854}{14,21} = 0,623.$$

$$\frac{A_c}{A_b} = \frac{2.60.3}{54.2} = 3,33.$$

Tra bảng 73 TCVN 5575-1991 ta được:

$$x_2 = 1,9 - 0,1m - 0,02.(6 - m)\bar{\lambda} = 1,787$$

$$\Rightarrow m'_{x2} = x_2 m_{x2} = 1,787.0,623 = 1,11.$$

Tra bảng 74 TCVN 5575-1991 theo $\bar{\lambda}_{\text{xtđ}}$ và m'_{x2} ta được:

$$\varphi_{\text{ltx1}} = 0,703$$

$$\Rightarrow [N] = 0,703.2250.468 + 1(170.80.69,08 + 2800.5.4,91) = 1748532 \text{ kG.}$$

$$\Rightarrow [N] > N_2 = 1745024 \text{ kG.}$$

@ Theo phương trục y:

$$x_{\text{nén}} = x_3 = \frac{N - R_s A_s + 2R_s T(B + b)}{R_c H + 4R_s T}$$

$$= \frac{1745024 - 2250.468 + 2.2250.3.(80 + 60)}{170.80 + 4.2250.3} = 63,60 \text{ cm.}$$

$$e_{y2} = \frac{M_{y2}}{N_2} = \frac{179200}{1745024} = 0,103 \text{ cm.}$$

$$m_{y2} = \frac{e_{y2}}{\rho_{\text{ytd}}} = \frac{0,103}{11,56} = 0,01.$$

$$\frac{A_c}{A_b} = \frac{54.2}{2.60.3} = 0,3.$$

Tra bảng 73 TCVN 5575-1991 ta được:

$$y_2 = 0,75 + 0,05m + 0,01.(5 - m)\bar{\lambda} = 0,776.$$

$$\Rightarrow m'_{y2} = {}_{y2}m_{y2} = 0,776.0,01 = 0,0069.$$

Tra bảng 74 TCVN 5575-1991 theo $\overline{\lambda_{ytd}}$ và m'_{y2} ta được:

$$\varphi_{ltx2} = 0,993$$

$$\Rightarrow [N] = 0,993.2250.468 + 1(170.80.63,60 + 2800.5.4,91) = 1979283 \text{ kG.}$$

$$\Rightarrow [N] > N_2 = 1745024 \text{ kG.}$$

\Rightarrow Cột đủ khả năng chịu lực.

\Rightarrow Chọn tiết diện cột:

$$B = 80 \text{ cm}$$

$$H = 80 \text{ cm}$$

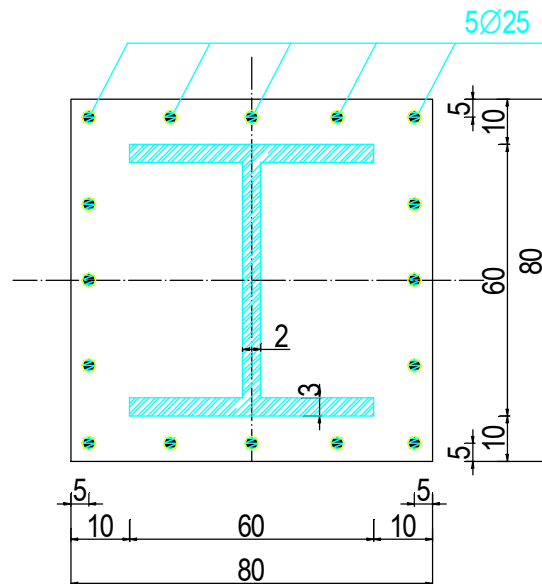
$$b = 60 \text{ cm}$$

$$h = 60 \text{ cm}$$

$$T = 3 \text{ cm}$$

$$T = 2 \text{ cm}$$

Cốt mềm 16 ϕ 25, a = 5 cm.



Để tính toán sàn bê tông - thép liên hợp, ta sử dụng các giả thiết tính toán của T.S. Arda và C. Yorgun [11]:

- Biểu đồ ứng suất có dạng hình chữ nhật.

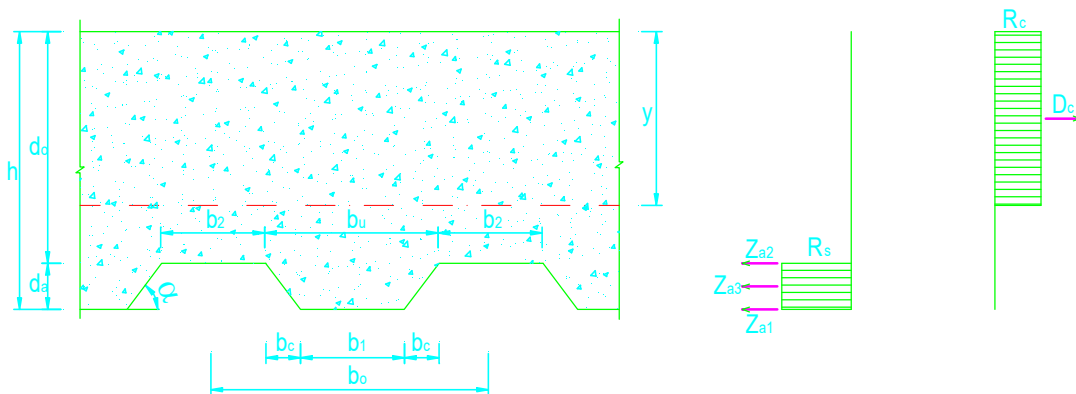
- Bỏ qua sự làm việc của bê tông vùng kéo. ứng suất kéo chỉ do bản thép và cốt thép chịu.

Cắt một dải bản rộng 1 m vuông góc với dầm. Bản sàn được tính toán tại 2 vị trí, tại giữa nhịp có M_{\max} và tại gối có M_{\min} .

* Xét vị trí giữa nhịp, thớt dưới chịu kéo, thớt trên chịu nén. Có 2 trường hợp xảy ra: trục trung hoà đi qua phần thép bản và trục trung hoà đi qua phần bê tông. - -

Trường hợp 1: $A_s R_s < b d_o R_c \Rightarrow$ trục trung hoà đi qua phần bản bê tông.

Khi đó, biểu đồ ứng suất như trong hình vẽ:



Vị trí trục trung tâm tiết diện được xác định từ phương trình:

$$D_c = Z_{a1} + Z_{a2} + Z_{a3}$$

Trong đó:

D_c : lực nén trong bê tông.

Z_{a1} : lực kéo trong cánh dưới của bản thép.

Z_{a2} : lực kéo trong cánh trên của bản thép.

Z_{a3} : lực kéo trong phần bụng của bản thép.

Với:

$$D_c = b y R_c$$

$$Z_{a1} = n_1 \cdot b_1 \cdot t \cdot R_s$$

$$Z_{a2} = n_2 \cdot b_2 \cdot t \cdot R_s$$

$$Z_{a3} = (n_1 + n_2) \cdot t \cdot \frac{d_a}{\sin \alpha} \cdot R_s$$

Trong đó:

R_s : cường độ thép bản.

R_c : cường độ chịu nén của bê tông.

b_1, b_2 : chiều rộng sóng thép trên và sóng thép dưới.

Thay vào ta có phương trình:

$$\text{by}R_c = n_1.b_1.t.R_s + n_2.b_2.t.R_s + (n_1 + n_2).t.\frac{d_a}{\sin\alpha}.R_s$$

$$\Rightarrow R_{cby} = (n_1 b_1 + n_2 b_2 + (n_1 + n_2) \frac{d_a}{\sin \alpha}) R_{st}$$

$$\Rightarrow y = (n_1 b_1 + n_2 b_2 + (n_1 + n_2) \frac{d_a}{\sin \alpha}) \frac{R_s t}{R_c b}$$

Khả năng chịu lực của tiết diện được tính theo công thức:

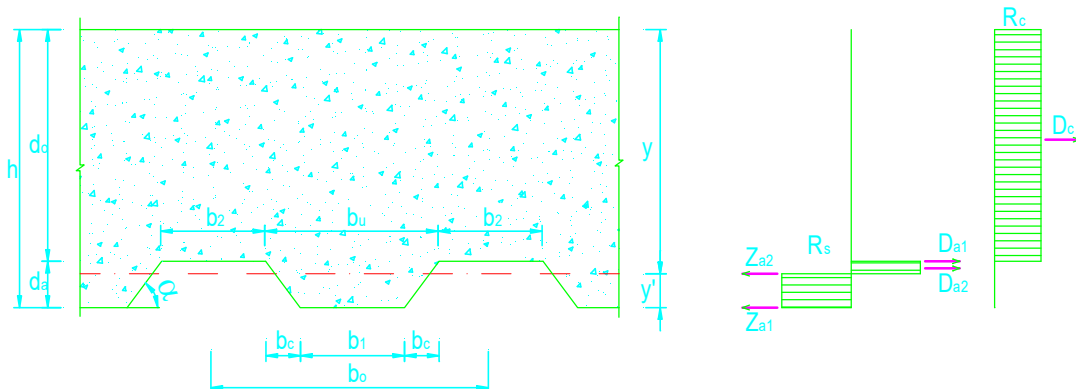
$$[M] = D_c \cdot \frac{y}{2} + Z_{a1} \cdot (h - y) + Z_{a2} \cdot (d_o - y) + Z_{a3} \cdot (d_o - y + \frac{d_a}{2})$$

Điều kiện kiểm tra:

$$M < [M]$$

- Trường hợp 2: $A_s R_s < b d_0 R_c \Rightarrow$ trục trung hoà đi qua phần sóng thép.

Khi đó, biểu đồ ứng suất như trong hình vẽ:



Vị trí trục trung tâm tiết diện được xác định từ phương trình:

$$D_c + D_{a1} + D_{a2} = Z_{a1} + Z_{a2}$$

Trong đó:

D_c : lực nén trong bê tông.

D_{a1} : lực nén trong cánh trên của bản thép.

D_{a2} : lực nén trong phần bụng của bản thép.

Z_{a1} : lực kéo trong cánh dưới của bản thép.

Z_{a2} : lực kéo trong phần bụng của bản thép.

Với:

$$D_c = b d_o R_c$$

$$D_{a1} = n_2 \cdot b_2 \cdot t \cdot R_s$$

$$D_{a2} = 2 n_2 \cdot t \cdot \frac{d_a - y'}{\sin \alpha} \cdot R_s$$

$$Z_{a1} = n_1 \cdot b_1 \cdot t \cdot R_s$$

$$Z_{a2} = 2 n_1 \cdot t \cdot \frac{y'}{\sin \alpha} \cdot R_s$$

Thay vào ta có phương trình:

$$b d_o R_c + n_2 \cdot b_2 \cdot t \cdot R_s + 2 n_2 \cdot t \cdot \frac{d_a - y'}{\sin \alpha} \cdot R_s = n_1 \cdot b_1 \cdot t \cdot R_s + 2 n_1 \cdot t \cdot \frac{y'}{\sin \alpha} \cdot R_s$$

$$\Rightarrow \frac{2(n_1 + n_2)}{\sin \alpha} R_s t y' = R_c b d_o + (n_2 b_2 - n_1 b_1 + 2 n_2 \frac{d_a}{\sin \alpha}) R_s t$$

$$\Rightarrow y' = \frac{((n_2 b_2 - n_1 b_1) \sin \alpha + 2 n_2 d_a) R_s t + R_c b d_o \sin \alpha}{2(n_1 + n_2) R_s t}$$

$$y = h - y'$$

Khả năng chịu lực của tiết diện được tính theo công thức:

$$[M] = D_c \cdot \frac{y}{2} + D_{a1} \cdot (h_a - y') + D_{a2} \cdot \frac{d_a - y'}{2} + Z_{a1} y' + Z_{a2} \frac{y'}{2}$$

Điều kiện kiểm tra:

$$M < [M]$$

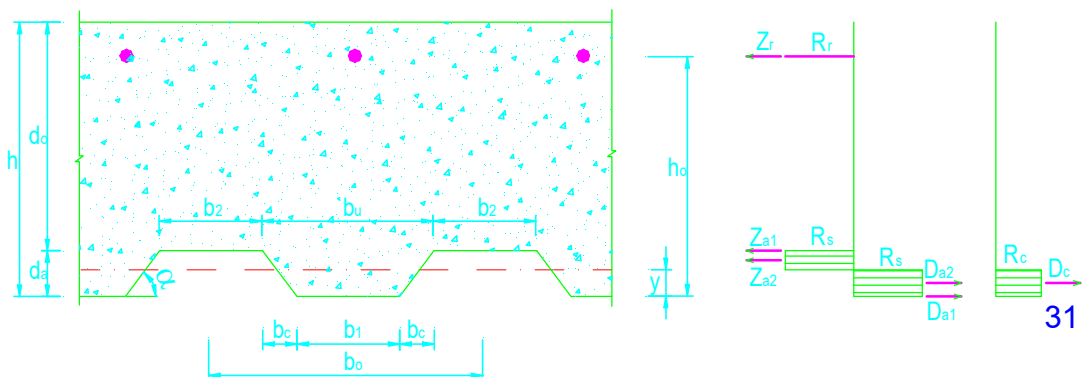
* Xét tiết diện trên gối, thép dưới chịu nén, thép trên chịu kéo.

Để tăng khả năng chịu mômen âm của bản, tại gối có tăng cường thêm cốt thép tròn. Trong trường hợp này, ngoài các giả thiết trên, ta sử dụng thêm một giả thiết nữa trong tính toán:

+ Tính tới sự làm việc chịu nén của toàn bộ bê tông nằm trong vùng sóng thép với mọi vị trí của trục trung hoà.

- Trường hợp 1: $R_r A_r < R_s A_s \Rightarrow$ trục trung hoà đi qua phần sóng thép.

Biểu đồ ứng suất như trong hình:



Vị trí trục trung tâm tiết diện được xác định từ phương trình:

$$D_{a1} + D_{a2} + D_c = Z_{a1} + Z_{a2} + Z_r$$

Trong đó:

D_c : lực nén trong bê tông.

D_{a1} : lực nén trong cánh dưới của bản thép.

D_{a2} : lực nén trong phần bụng của bản thép.

Z_{a1} : lực kéo trong cánh trên của bản thép.

Z_{a2} : lực kéo trong phần bụng của bản thép.

Z_r : lực kéo trong cốt thép của bản.

Với:

$$D_c = \beta b y R_c$$

$$D_{a1} = n_1 \cdot b_1 \cdot t \cdot R_s$$

$$D_{a2} = 2 \cdot n_1 \cdot t \cdot \frac{y}{\sin \alpha} \cdot R_s$$

$$Z_r = R_r A_r$$

$$Z_{a1} = n_2 \cdot b_2 \cdot t \cdot R_s$$

$$Z_{a2} = 2 \cdot n_2 \cdot t \cdot \frac{d_a - y}{\sin \alpha} \cdot R_s$$

Trong đó:

R_s : cường độ thép bản.

R_r : cường độ cốt thép tròn chịu kéo.

R_c : cường độ chịu nén của bê tông.

A_s : diện tích thép.

A_r : diện tích cốt thép tròn chịu kéo.

b : chiều rộng của bản, $b = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$.

t : chiều dày tấm thép.

n_1 : số sớ thép trong vùng chịu nén.

n_2 : số sớ thép trong vùng chịu kéo.

b_1, b_2 : chiều rộng sớ thép dưới và sớ thép trên.

$$\beta = \frac{b_{ort}}{b_o}$$

$$b_{ort} = \frac{b_1 + b_u}{2}$$

b_o : bước sớ thép.

b_u : khoảng cách giữa hai sóng thép trên.

Thay vào ta có phương trình:

$$\begin{aligned} \beta b y R_c + n_1 \cdot b_1 \cdot t \cdot R_s + 2 \cdot n_1 \cdot t \cdot \frac{y}{\sin \alpha} \cdot R_s &= R_r A_r + n_2 \cdot b_2 \cdot t \cdot R_s + 2 \cdot n_2 \cdot t \cdot \frac{d_a - y}{\sin \alpha} \cdot R_s \\ \Rightarrow \left(\frac{2(n_1 + n_2) R_s t}{\sin \alpha} + \beta b R_c \right) y &= (n_2 b_2 - n_1 b_1 + \frac{2n_2 d_a}{\sin \alpha}) R_s t + R_r A_r \\ \Rightarrow y &= \frac{((n_2 b_2 - n_1 b_1) \sin \alpha + 2n_2 d_a) R_s t + R_r A_r \sin \alpha}{2(n_1 + n_2) R_s t + \beta b R_c \sin \alpha} \end{aligned}$$

Khả năng chịu lực của tiết diện được tính theo công thức:

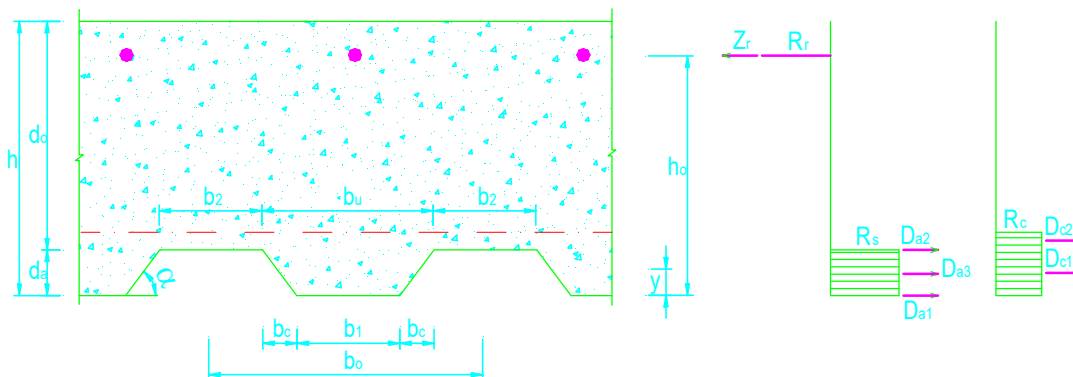
$$[M] = D_c \cdot \frac{y}{2} + D_{a1} \cdot y + D_{a2} \cdot \frac{y}{2} + Z_r (h_o - y) + Z_{a1} \cdot (d_a - y) + Z_{a2} \cdot \frac{d_a - y}{2}$$

Điều kiện kiểm tra:

$$M < [M]$$

- Trường hợp 2: $R_r A_r > R_s A_s \Rightarrow$ trục trung hoà đi qua phần bản bê tông.

Biểu đồ ứng suất như trong hình:



Vị trí trục trung tâm tiết diện được xác định từ phương trình:

$$D_{a1} + D_{a2} + D_{a3} + D_{c1} + D_{c2} = Z_r$$

Trong đó:

D_{c1} : lực nén trong bê tông nằm trong phần sóng thép.

D_{c2} : lực nén trong bê tông nằm ngoài phần sóng thép.

D_{a1} : lực nén trong cánh dưới của bản thép.

D_{a2} : lực nén trong cánh trên của bản thép.

D_{a3} : lực nén trong phần bụng của bản thép.

Z_r : lực kéo trong cốt thép của bản.

Với:

$$D_{c1} = \beta b y R_c$$

$$D_{c2} = b(y - d_a)R_c$$

$$D_{a1} = n_1 \cdot b_1 \cdot t \cdot R_s$$

$$D_{a2} = n_2 \cdot b_2 \cdot t \cdot R_s$$

$$D_{a3} = (n_1 + n_2) \cdot t \cdot \frac{d_a}{\sin \alpha} \cdot R_s$$

$$Z_r = R_r A_r$$

Thay vào ta có phương trình:

$$\beta b y R_c + b(y - d_a)R_c + n_1 b_1 t R_s + n_2 b_2 t R_s + (n_1 + n_2) t \frac{d_a}{\sin \alpha} R_s = R_r A_r$$

$$\Rightarrow R_c b y = (n_1 b_1 + n_2 b_2 + \frac{(n_1 + n_2) d_a}{\sin \alpha}) R_s t + R_r A_r$$

$$\Rightarrow y = \frac{((n_1 b_1 + n_2 b_2) \sin \alpha + (n_1 + n_2) d_a) R_s t + R_r A_r \sin \alpha + R_c b d_a (1 - \beta) \sin \alpha}{b R_c \sin \alpha}$$

Khả năng chịu lực của tiết diện được tính theo công thức:

$$[M] = D_{c1} \frac{y}{2} + D_{c2} \frac{y - d_a}{2} + D_{a1} \cdot y + D_{a2} \cdot (y - d_a) + D_{a3} (y - \frac{d_a}{2}) + Z_r (h_o - y)$$

Điều kiện kiểm tra:

$$M < [M]$$