

Chương 3

TIẾT DIỆN CHỮ T VÀ CHỮ I

3.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ TIẾT DIỆN CHỮ T

Tiết diện chữ T gồm có cánh và sườn (hình 3.1) với kí hiệu các kích thước như trên hình vẽ.

b - bề rộng sườn.;

B - bề rộng cánh;

c - bề dày (chiều cao) cánh;

h - chiều cao tiết diện (trong phương mặt phẳng uốn);

A_w, A_c - diện tích cốt thép đặt tập trung ở phần sườn (theo cạnh b) và ở phần cánh (theo cạnh B);

a_w, a_c - khoảng cách từ trọng tâm cốt thép A_w, A_c đến mép tiết diện gần nhất.

$Z_a = h - a_w - a_c$ - khoảng cách giữa trọng tâm A_w và A_c .

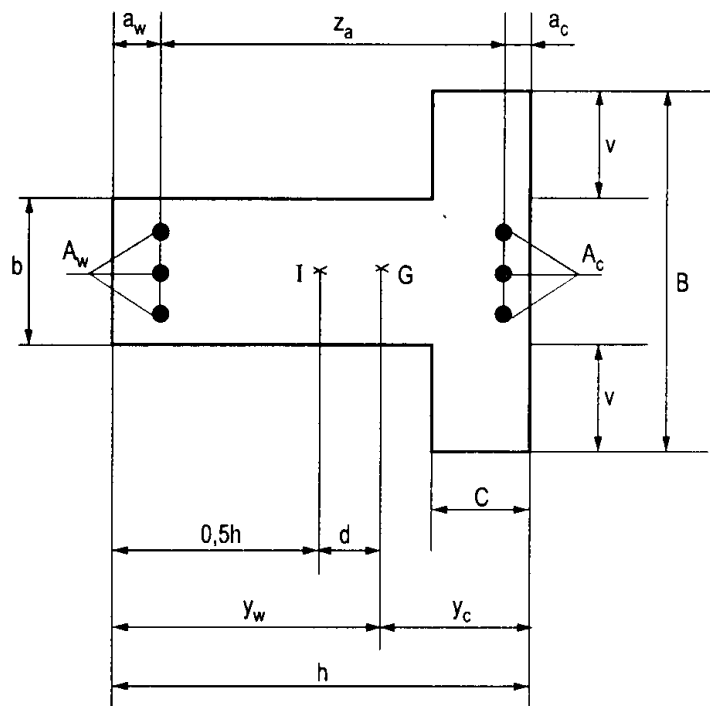
I - điểm giữa của tiết diện, cách đều hai mép một đoạn $0,5h$;

G - trọng tâm hình học của tiết diện.

Tiết diện có một trục đối xứng. Mômen uốn tác dụng trong mặt phẳng chứa trục đối xứng đó.

Tiết diện chữ T thường gặp là tiết diện của vòm với cánh là phần vỏ đúc liền khối với sườn. Trong khung của kết cấu nhà, cột có tiết diện chữ T có thể gặp trong một số trường hợp đặc biệt, hoặc là cột độc lập khi cần mở rộng ra hai bên, hoặc cột được đúc liền với tường của vách cứng, lõi cứng.

Trường hợp cột độc lập thì bề rộng B được cấu tạo trong một phạm vi giới hạn nào đó còn khi cột được đúc liền với tường thì bề rộng của tường có thể là khá lớn, lúc này để lấy B đưa vào trong tính toán cần có một hạn chế nào đó.



Hình 3.1. Tiết diện chữ T

$$B = b + 2v$$

Với dầm tiết diện chữ T đã có những quy định về độ vươn của cánh v được ghi trong các tiêu chuẩn thiết kế. Đối với cột có tiết diện chữ T các tiêu chuẩn còn ít đề cập đến. Sau đây đưa ra một vài giới hạn có tính chất tham khảo, do tác giả đề nghị.

Lấy $v \leq \frac{1}{8}$ chiều cao của cột, đồng thời:

Khi $c \geq 0,15h$ lấy $v \leq 4c$.

$0,1h \leq c < 0,15h$ lấy $v \leq 3c$.

$0,05h < c \leq 0,1h$ lấy $v \leq 2c$.

$c \leq 0,05h$ lấy $v \leq c$.

Diện tích tiết diện chữ T là A_T :

$$A_T = bh + (B - b)c$$

Trọng tâm hình học của tiết diện G cách mép cánh một đoạn y_c và cách mép sườn một đoạn y_w .

$$y_c = \frac{0,5bh^2 + 0,5(B - b)c^2}{A_T} \quad (3-1)$$

$$y_w = h - y_c$$

Trọng tâm G cách điểm giữa của tiết diện I một đoạn là d :

$$d = 0,5h - y_c \quad (3-2)$$

Mômen quán tính của tiết diện lấy đối với trục đi qua trọng tâm G và vuông góc với cạnh h là:

$$J = \frac{b}{3}(y_w^3 + y_c^3) + \frac{(B - b)c^3}{12} + (B - b)c(y_c - 0,5c)^2 \quad (3-3)$$

Bán kính quán tính i và độ mảnh λ :

$$i = \sqrt{\frac{J}{A_T}} ; \quad \lambda = \frac{l_0}{i} \quad (3-4)$$

3.2. NỘI LỰC VÀ ĐIỀU KIỆN TÍNH TOÁN

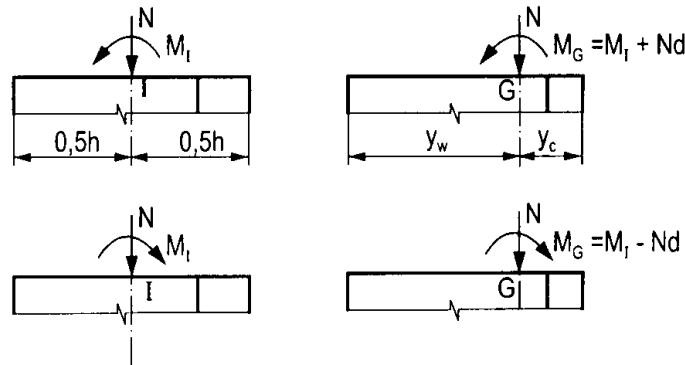
3.2.1. Nội lực

Nội lực để tính toán tiết diện chữ T cũng gồm lực nén N và mômen uốn M nhưng ở đây cần chú ý mômen M đã được lấy theo trục nào, trục đi qua điểm I hay trục đi qua điểm G (hình 3.2).

Gọi M_I - mômen uốn đối với trục qua I.

M_G - mômen uốn đối với trục qua G.

$$M_G = M_I \pm Nd \quad (3-5)$$



Hình 3.2: Nội lực để tính tiết diện chữ T

Trong công thức (3-5) lấy dấu (+) khi mômen làm cho cánh chịu kéo, dấu (-) khi mômen làm cho cánh chịu nén.

Trong khi tính toán kết cấu và tổ hợp nội lực cần chú ý là các mômen đã được tính theo trục qua I hoặc qua G.

Khi chuyển mômen từ M_I sang M_G thì có thể xảy ra là M_I và M_G cùng chiều hoặc khác chiều (M_I là dương nhưng M_G là âm). Thông thường, khi M_I và M_G cùng chiều thì trong tính toán, dù tính với M_I hay M_G cũng không có gì khác biệt, chỉ cần tính đúng giá trị độ lệch tâm e và e' (e và e' không thay đổi khi tính với M_I hoặc M_G). Khi M_I và M_G khác chiều thì phải đảo ngược phép tính vì nếu lấy theo chiều M_I (giả thử là mômen dương) thì cánh chịu nén còn theo chiều M_G (mômen âm) cánh trở thành chịu kéo.

Độ lệch tâm tĩnh học:
$$e_1 = \frac{M_G}{N} \quad (3-6a)$$

Độ lệch tâm ban đầu e_o :

cầu kiện tĩnh định:
$$e_o = e_1 + e_a$$

cầu kiện siêu tĩnh:
$$e_o = \max(e_1, e_a) \quad (3-6b)$$

Với e_a là độ lệch tâm ngẫu nhiên (xem mục 1-5.2).

Khi xét ảnh hưởng của uốn dọc, độ lệch tâm từ e_o tăng lên thành ηe_o với $\eta \geq 1$ được xác định theo mục 1-5-3.

Khi $\lambda = \frac{l_o}{i} \leq 28$ bỏ qua uốn dọc, lấy $\eta = 1$. Với $\lambda > 28$ cần tính J theo công thức (3-

3) tính N_{th} theo công thức (1.14) hoặc (1.16) tính η theo (1.11).

3.2.3. Điều kiện tính toán

Tính toán tiết diện bê tông cốt thép theo trạng thái giới hạn về khả năng chịu lực cần tuân theo các điều kiện về độ bền ở (1.19) và (1.20) và các chỉ dẫn ở mục 1.6.1. Tương tự như đối với tiết diện chữ nhật, trục U để lấy mô men thường được chọn đi qua trọng tâm cốt thép A_w hoặc A_c và như vậy $M_u = Ne$ hoặc Ne' . Điều kiện (1.20) được cụ thể hoá thành:

$$Ne \leq M_{1gh} \quad (3-7)$$

$$Ne' \leq M_{2gh} \quad (3-8)$$

Trong đó:

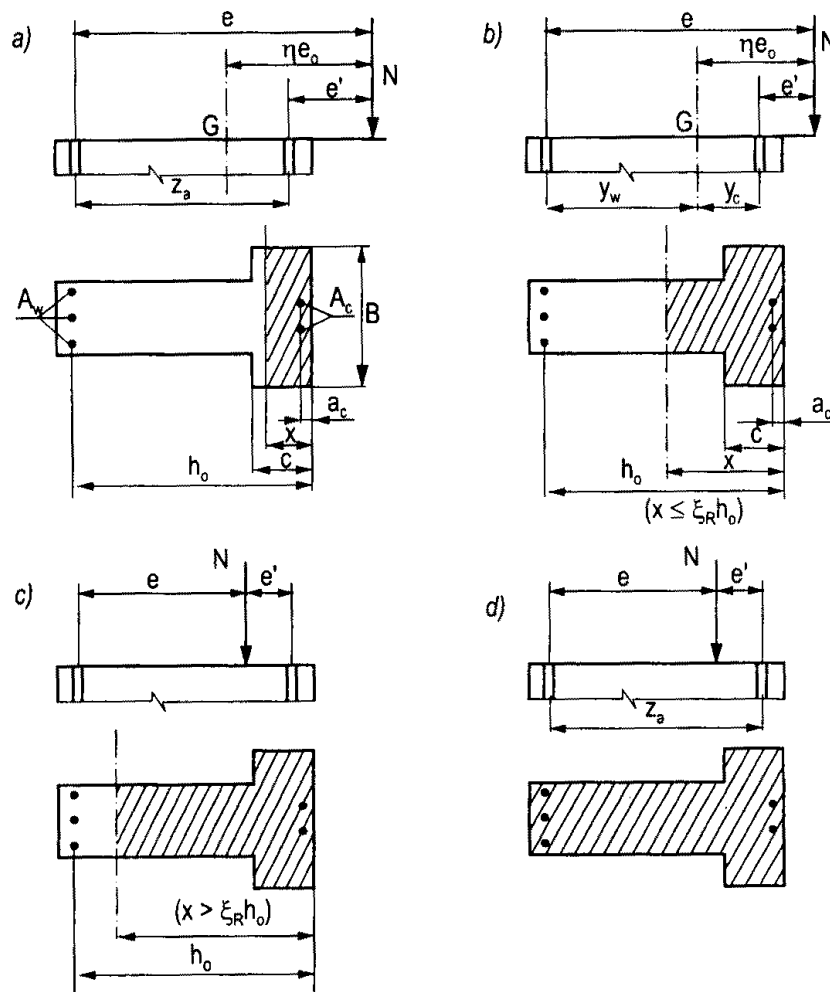
e - khoảng cách từ điểm đặt lực lệch tâm N đến trọng tâm cốt thép chịu kéo (hoặc nén ít);

e' - khoảng cách từ điểm đặt lực lệch tâm N đến trọng tâm cốt thép chịu nén (hoặc nén nhiều).

3.3. TIẾT DIỆN CÓ CÁNH BỊ NÉN

Phân biệt trường hợp cánh bị nén hay bị kéo dựa vào chiều tác dụng của mô men M_G .

3.3.1. Các trường hợp tính toán (hình 3.4)



Hình 3.4. Các trường hợp cánh bị nén

Tuỳ theo tương quan của vùng chịu nén mà có thể xảy ra:

a) Nén lệch tâm lớn khi $x \leq \xi_R h_0$, trong đó còn có các trường hợp đặc biệt $x \leq c$ (trục tung hoà nằm trong cánh và $x < 2a_c$ (a_c đóng vai trò a' là khoảng cách từ trọng tâm cốt thép chịu nén đến mép chịu nén của tiết diện)).

b) Nén lệch tâm bé khi $x > \xi_R h_0$ với hai trường hợp: tiết diện có một phần lớn chịu nén (phần nhỏ chịu kéo) (hình 3.4c) và toàn bộ tiết diện chịu nén (hình 3.4d).

3.3.2. Công thức cơ bản

Trường hợp chung tính toán dựa vào điều kiện (3-7), trường hợp đặc biệt, dùng điều kiện (3-8) trong đó:

$$e = \eta e_0 + y_w - a_w \quad (3-9)$$

Khi lực dọc đặt ra ngoài tiết diện thì:

$$e' = e - z_a = \eta e_0 + a_c - y_c \quad (3-10)$$

3.3.2.1. Trường hợp trục trung hoà qua cánh

$$M_{lgh} = R_b Bx(h_0 - 0,5x) + \sigma'_s A_c z_a \quad (3-11)$$

$$N = N_{gh} = R_b Bx + \sigma'_s A_c - \sigma_s A_w \quad (3-12)$$

Điều kiện là $x \leq c$.

3.3.2.2. Trường hợp trục trung hoà qua sườn

$$M_{lgh} = R_b bx(h_0 - 0,5x) + R_b (B - b)c(h_0 - 0,5c) + \sigma'_s A_c z_a \quad (3-13)$$

$$N_{gh} = R_b bx + R_b (B - b)c + \sigma'_s A_c - \sigma_s A_w \quad (3-14)$$

3.3.2.3. Giá trị của σ_s và σ'_s

Khi thoả mãn $x \leq \xi_R h_0$ thì $\sigma_s = R_s$;

Khi thoả mãn $x \geq 2a_c$ thì $\sigma'_s = R_{sc}$;

Khi đồng thời thoả mãn: $2a_c \leq x \leq \xi_R h_0$ điều kiện (3-14) trở thành (3-15):

$$N = R_b bx + R_b (B - b)c + R_{sc} A_c - R_s A_w \quad (3-15)$$

3.3.2.4. Giá trị σ_s và x khi nén lệch tâm bé

Khi $x > \xi_R h_0$ xảy ra nén lệch tâm bé, $\sigma_s < R_s$ và có thể là kéo hoặc nén. Lúc này, để xác định x có thể dùng phương trình (3-14) trong đó lấy quan hệ của x và σ_s theo công thức (1.23) hoặc (1.23a), viết lại dưới đây (3-16).

$$\sigma_s = \left(1 - \frac{2(x - \xi_R h_o)}{h - \xi_R h_o} \right) R_s \quad (3-16) \quad (1.23a)$$

$$\sigma_s = \left(2 \frac{1 - x/h_o}{1 - \xi_R} - 1 \right) R_s \quad (3-16) \quad (1.23)$$

Cũng có thể dùng công thức thực nghiệm để xác định x :

$$x = \left[\xi_R + \frac{(1 - \xi_R)(0,8y_c - e_o)}{0,8y_c} \right] h_o \quad (3-17)$$

Khi $e_o > 0,8y_c$ lấy $x = \xi_R h_o$

3.3.3. Trường hợp đặc biệt

Nén lệch tâm lớn, khi xảy ra $x < 2a_c$ (mặc nhiên công nhận $x < \xi_R h_o$ để có $\sigma_s = R_s$). Lúc này dùng điều kiện (3-8) để tính toán, trong đó:

$$M_{2gh} = R_s A_w Z_a + M_B \quad (3-18)$$

Trong đó: M_B - mômen của nội lực trong bê tông vùng nén. Trường hợp trục trung hoà nằm trong cánh, $x \leq c$, tính M_B theo (3-18):

$$M_B = 0,8R_b Bx \left(a_c - \frac{x}{2} \right) \quad (3-18a)$$

Tuy vậy trong nhiều trường hợp, để đơn giản hoá tính toán và thiên về an toàn có thể lấy $M_B = 0$ vì khá bé.

3.3.4. Tính toán cốt thép đối xứng

Biết kích thước tiết diện, chiều dài tính toán l_o , nội lực gồm N và M (có chiều gây cho cánh chịu nén). Biết đặc trưng của vật liệu (R_b, E_b, R_s, R_{sc}) hệ số ξ_R . Cần tính toán cốt thép đối xứng $A_w = A_c$.

3.3.4.1. Chuẩn bị số liệu

Giả thiết a_w, a_c để tính $h_o = h - a_w$ và $Z_a = h_o - a_c$.

Tính y_c, y_w, J, i, λ , xét ảnh hưởng uốn dọc, xác định η .

Khi $\lambda = \frac{l_o}{i} \leq 28$ có thể bỏ qua uốn dọc, $\eta = 1$.

Khi $\lambda > 28$, tính N_{th}, η

$$\text{Tính } e_1 = \frac{M}{N} ; e_o$$

Khi tính độ lệch tâm tĩnh học e_1 cần chú ý là giá trị mômen M đã được lấy đối với trục qua trọng tâm G . Nếu M đã biết được lấy đối với trục qua trung điểm O thì cần tính M_G theo công thức (3-5).

Tính độ lệch tâm e theo công thức (3-9).

3.3.4.2. Lập công thức tính toán theo các trường hợp với $R_{sc} = R_s$

Với $A_s = A_c$ và $R_{sc} = R_s$, giả thiết x thỏa mãn điều kiện $2a_c \leq x \leq \xi_R h_o$ từ điều kiện (3-15) rút ra biểu thức tính x và tạm đặt là x_1 :

$$x_1 = \frac{N - R_b(B - b)c}{R_b b} \quad (3-1a)$$

Dựa vào x_1 để phân biệt các trường hợp tính toán.

a) Trường hợp 1. Khi $x \geq c$ đồng thời $x_1 \geq 2a_c$. Dùng điều kiện (3-7) trong đó M_{lgh} theo (3-13) với $\sigma'_s = R_{sc}$.

$$A_c = \frac{Ne - R_b bx(h_o - 0,5x) - R_b(B - b)c(h_o - 0,5c)}{R_{sc} Z_a} \quad (3-20)$$

Trong đó: khi $x_1 \leq \xi_R h_o$ - nén lệch tâm lớn, lấy $x = x_1$.

Khi $x_1 > \xi_R h_o$ - nén lệch tâm bé, có thể lấy x theo công thức thực nghiệm (3-16) hoặc lập và giải hệ phương trình (tương tự như đối với tiết diện chữ nhật) để đồng thời xác định x và σ_s . Cốt thép đối xứng, lấy $A_w = A_c$.

b) Trường hợp 2. Khi $x_1 \geq c$ mà $x_1 < 2a_c$ (mặc nhiên công nhận $x < \xi_R h_o$). Dùng công thức của điều kiện đặc biệt (3-8) và (3-17) trong đó dùng $x = c$ để tính M_B theo (3-18):

$$A_w = \frac{Ne' - M_B}{R_s Z_a} = \frac{N(e - Z_a) - M_B}{R_s Z_a} \quad (3-21)$$

Cốt thép đối xứng, lấy $A_c = A_w$.

c) Trường hợp 3. Khi $x_1 < c$. Cần tính giá trị x theo công thức (3-22) rút ra từ (3-12) với $\sigma'_s A_c = \sigma_s A_w$:

$$x = \frac{N}{R_b B} \quad (3-22)$$

Điều kiện là $x \leq c$.

Khi $x \geq 2a_c$ tính cốt thép theo công thức (3-23) được rút ra từ điều kiện (3-7) và công thức (3-11) với $\sigma'_s = R_{sc}$:

$$A_c = \frac{Ne - R_b Bx(h_0 - 0,5x)}{R_{sc} Z_a} \quad (3-23)$$

Khi $x < 2a_c$, tính A_w theo công thức (3-24) rút từ công thức (3-21) với $M_B = 0$.

$$A_w = \frac{N(e - Z)}{R_s Z} \quad (3-24)$$

$$Z = \max (Z_a = h_0 - a_c \text{ và } Z_c = h_0 - 0,5c)$$

3.3.5. Tính toán cốt thép không đối xứng

Số liệu đã biết và chuẩn bị số liệu để tính toán như trong mục 3.3.4.1.

Để phân biệt trường hợp nén lệch tâm là lớn hay bé, lấy trường hợp phân giới $x_R = \xi_R h_0$ làm chuẩn. Tìm vị trí trọng tâm vùng nén Q , có khoảng cách đến mép của cánh là y_Q . Với $x_R \geq c$ có:

$$y_Q = \frac{0,5bx_R^2 + 0,5(B-b)c^2}{bx_R + (B-b)c} \quad (3-25)$$

Khoảng cách từ Q đến trọng tâm G của tiết diện là d_1 :

$$d_1 = y_c - y_Q \quad (3-26)$$

Xem là nén lệch tâm lớn khi $\eta e_0 \geq 1,25d_1$ và ngược lại.

3.3.5.1. Nén lệch tâm lớn

Khi xảy ra $\eta e_0 \geq 1,25d_1$, tính toán theo nén lệch tâm lớn. Lúc này có hai phương trình (3-13), (3-15) để xác định 3 ẩn số là A_w , A_c và x . Có thể giải bằng cách chọn trước x hoặc A_c (cốt thép chịu nén).

a) Chọn trước x . Có thể tự chọn một giá trị x đồng thời thoả mãn các điều kiện: $x \leq \xi_R h_0$; $x \geq c$; $x \geq 2a_c$ tính được A_c theo công thức (3-20).

Khi $A_c \geq 0$, từ (3-15) rút ra công thức A_w :

$$A_w = \frac{R_b bx + R_b (B-b)c + R_{sc} A_c - N}{R_s} \quad (3-27)$$

Khi tính được $A_c < 0$ thì hoặc là giảm x để tính lại hoặc là chọn A_c theo cấu tạo để tính theo mục b. Có thể giảm x đến giá trị nhỏ nhất bằng $\max(c \text{ và } 2a_c)$.

b) Chọn trước A_c . Có thể biết trước A_c bằng cách chọn đặt theo cấu tạo hoặc vì một lí do nào đó mà đã có sẵn cốt thép đặt trong phần cánh. Cũng có thể xem $A_c = 0$ (chỉ xem là cốt thép cấu tạo, không kể vào trong tính toán). Lúc này cần xác định vị trí trục trung hoà bằng cách tính M_c .

$$M_c = R_b Bc(h_0 - 0,5c) + R_{sc} A_c Z_a \quad (3-28)$$

Trường hợp 1. Khi $Ne \geq M_c$ trục trung hoà qua sườn.

Tính:
$$M_b = R_b (B - b)c(h_0 - 0,5c) + R_{sc} A_c Z_a \quad (3-29)$$

$$\alpha_m = \frac{Ne - M_b}{R_b b h_0^2} \quad (3-30)$$

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

$$x = \xi h_0 \quad (3-31)$$

Điều kiện là $x \leq \xi_R h_0$ ($\xi \leq \xi_R$) đồng thời $x \geq c$ và $x \geq 2a'$. Thay giá trị x và A_c vào công thức (3-27) để tính A_w .

Trường hợp 2. Khi $Ne < M_c$. Trục trung hoà qua cánh ($x < c$).

$$\alpha_{m1} = \frac{Ne - R_{sc} A_c Z_a}{R_b B h_0^2} \quad (3-30a)$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_{m1}} ; x = \xi h_0 \quad (3-31a)$$

Khi $x \geq 2a_c$, tính A_w theo công thức (3-32):

$$A_w = \frac{R_b Bx + R_{sc} A_c - N}{R_s} \quad (3-32)$$

Khi $x < 2a_c$, kể cả khi $\alpha_{m1} < 0$, tính A_w theo công thức (3-24) thuộc trường hợp đặc biệt.

3.3.5.2. Nén lệch tâm bé

Khi xảy ra $\eta e_0 < 1,25d_1$, tính toán theo nén lệch tâm bé. Tính x bằng công thức thực nghiệm (3-16). Kiểm tra điều kiện $x \geq c$. Tính cốt thép A_c theo công thức (3-20). Chọn A_w theo điều kiện:

$$A_w \geq \max(0,0025bh_0 \text{ và } \theta_c A_c)$$

Giá trị θ_c lấy phụ thuộc vào tỉ số e_1/d_1 .

e_1/d_1	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,1	1,25
θ_c	1	0,85	0,70	0,55	0,4	0,30	0,34	0,40

Trường hợp đặc biệt. Với nén lệch tâm bé, khi thoả mãn điều kiện $0,2y_c \leq \eta e_o \leq 0,8y_c$ có thể tính toán với giả thiết $A_w = 0$ (xem cốt thép ở phía chịu kéo hoặc nén ít là hoàn toàn đặt theo cấu tạo, không kể vào trong tính toán). Lúc này kết hợp phương trình (3-7) với phương trình (3-14) trong đó M_{lgh} lấy theo (3-13), cho $A_w = 0$ và $\sigma'_s = R_{sc}$ đưa về một phương trình bậc hai của x :

$$R_b b x \left(\frac{x}{2} - a_c \right) = N(Z_a - e) - R_b (B - b) c \left(\frac{c}{2} - a_c \right) \quad (3-33)$$

Cũng có thể đạt được phương trình (3-33) bằng cách lấy mômen các lực đối với trục đi qua trọng tâm A_c .

Để tránh việc giải phương trình bậc hai, đem đặt $\alpha_a = \frac{x}{a_c}$; $T = \alpha_a (0,5\alpha_a - 1)$.

Tính được:

$$T = \frac{N(Z_a - e) - R_b (B - b) c (0,5c - a_c)}{R_b b a_c^2} \quad (3-34)$$

$$\alpha_a = 1 + \sqrt{1 + 2T}$$

$$x = \alpha_a a_c$$

Điều kiện của x là: $c \leq x \leq h$.

Có được x , đem thay vào công thức (3-35) để tính A_c :

$$A_c = \frac{N - R_b b x - R_b (B - b) c}{R_{sc}} \quad (3-35)$$

Nếu tính được $x > h$ thì không thể bỏ qua A_w .

3.3.6. Đánh giá và xử lí kết quả

Cốt thép tính được theo các công thức đã lập có thể là dương hoặc âm, lớn hoặc bé. Đánh giá sự hợp lí bằng cách tính tỉ lệ cốt thép:

$$\mu_s = \frac{A_w + A_c}{bh_o} \text{ hoặc } \mu_s \% = \frac{(A_w + A_c)}{bh_o} 100\%$$

Điều kiện là: $\mu_{\min} \leq \mu_s \leq \mu_{\max}$.

Nếu tính được μ_s quá bé, thậm chí cốt thép âm chứng tỏ kích thước quá lớn và ngược lại.

Sau khi đã chọn và bố trí cốt thép cần xác định các trị số a_w , a_c , tính lại h_0 và Z_a . Khi h_0 và Z_a tính được theo cấu tạo thực tế của cốt thép đều lớn hơn các giá trị đã dùng để tính toán (a_w và a_c theo giả thiết) là có kết quả thiên về an toàn.

3.3.7. Kiểm tra khả năng chịu lực

Biết kích thước tiết diện và cấu tạo cốt thép, l_0 . Yêu cầu kiểm tra xem tiết diện có đủ khả năng chịu cặp nội lực M , N hay không, trong đó M được lấy đối với trọng tâm G của tiết diện và có chiều làm cho cánh chịu nén.

3.3.7.1. Chuẩn bị số liệu

Với cốt thép đã biết, xác định A_w , A_c , a_w , a_c , tính h_0 , Z_a . Tra các số liệu R_b , E_b , R_s , R_{sc} , ξ_R . Tính toán y_c , y_w , J . Xét ảnh hưởng uốn dọc, xác định η , tính toán độ lệch tâm e_1 , e_0 , e .

3.3.7.2. Lập công thức tính toán cho các trường hợp

Trước hết tạm giả thiết trường hợp nén lệch tâm lớn có trục trung hoà đi qua sườn: $x \leq \xi_R h_0$; $x \geq c$ đồng thời $x \geq 2a_c$. Tính x theo công thức (3-36) rút ra từ điều kiện (3-15) và đặt là x_2 .

$$x_2 = \frac{N + R_s A_w - R_b (B - b)c - R_{sc} A_c}{R_b b} \quad (3-36)$$

Dựa vào giá trị x_2 để phân định các trường hợp.

a) Trường hợp 1. Khi thoả mãn các điều kiện đã nêu ra trong giả thiết ($x_2 \leq \xi_R h_0$; $x_2 \geq c$ đồng thời $x_2 \geq 2a_c$) thì lấy $x = x_2$ và $\sigma'_s = R'_s$ thay vào công thức (3-13) để tính M_{lgh} , kiểm tra theo điều kiện (3-7).

b) Trường hợp 2. Khi $x_2 \leq \xi_R h_0$; $x_2 \geq c$ nhưng $x_2 < 2a_c$. Tính toán kiểm tra theo trường hợp đặc biệt, tính M_{2gh} theo công thức (3-17) trong đó lấy $x = c$ để tính M_B theo công thức (3-18). Kiểm tra theo điều kiện (3-8).

c) Trường hợp 3. Khi $x_2 < c$ (mặc nhiên xem $x < \xi_R h_0$) cần tính x theo công thức (3-37a) rút ra từ (3-12).

$$x = \frac{N + R_s A_w - R_{sc} A_c}{R_b B} \quad (3-37a)$$

Khi $x \geq 2a'$, tính M_{lgh} theo công thức (3-11) với $\sigma'_s = R_{sc}$ và kiểm tra theo điều kiện (3-7).

Khi $x < 2a'$ tính M_{2gh} theo công thức (3-17) trong đó lấy $M_B = 0$, kiểm tra theo điều kiện (2-8).

d) Trường hợp 4. Khi $x_2 > \xi_R h_0$. Cần xác định lại x .

Từ hai phương trình (3-14) và (3-16) rút ra công thức tính x :

$$x = \frac{[N - R_b(B - b)c - R_{sc}A_c](h - \xi_R h_0) + R_s A_w(h + \xi_R h_0)}{R_b b(h - \xi_R h_0) + 2R_s A_w} \quad (3-37b)$$

Điều kiện là $\xi_R h_0 \leq x \leq h$.

Có được x , đem thay vào công thức (3-13) với $\sigma'_s = R_{sc}$ để tính M_{lgh} và kiểm tra theo điều kiện (3-7).

3.3.8. Biểu đồ tương tác

Để vẽ biểu đồ tương tác của tiết diện chữ T có cánh trong vùng nén cũng tiến hành như đối với tiết diện chữ nhật, có thể dùng một số phương pháp khác nhau, trong đó phương pháp dùng biến số trong gian x là thuận lợi hơn cả. Đầu tiên tính với $N = 0$, tìm giá trị x_3 theo công thức (3-38) (là công thức 3.36 với $N = 0$).

$$x_3 = \frac{R_s A_w - R_b(B - b)c - R_{sc}A_c}{R_b b} \quad (3-38)$$

Khi $x_3 \leq \xi_R h_0$ đồng thời $x_3 \geq c$; $x_3 \geq 2a_c$ tính M_0 theo công thức (3-39) trong đó lấy $x = x_3$.

$$M_0 = R_b b x(h_0 - 0,5x) + R_b(B - b)c(h_0 - 0,5c) + R_{sc}A_c Z_a \quad (3-39)$$

Khi $x \geq c$ mà $x < 2a_c$ (mặc nhiên xem $x \leq \xi_R h_0$):

$$M_0 = R_s A_w Z_a + M_B \quad (3-40)$$

Trong đó M_B tính theo (3-18) với $x = c$.

Khi $x_3 < c$, trục trung hoà nằm trong cánh, (bao gồm cả trường hợp $x_3 < 0$), tính x_c theo công thức (3-41):

$$x_c = \frac{R_s A_w - R_{sc}A_c}{R_b B} \quad (3-41)$$

Khi $x_c \geq 2a'$ tính M_0 theo (3-42).

$$M_0 = R_b B x_c (h_0 - 0,5x_c) + R_{sc} A_c Z_a \quad (3-42)$$

Khi $x_c < 2a_c$ tính M_0 theo công thức (3-43):

$$M_0 = R_s A Z \quad (3-43)$$

Trong đó: $Z = \max (Z_a; Z_c = h_0 - 0,5c)$

Khi $x_3 > \xi_R h_0$ tính M_0 theo công thức (3-39) trong đó lấy $x = \xi_R h_0$.

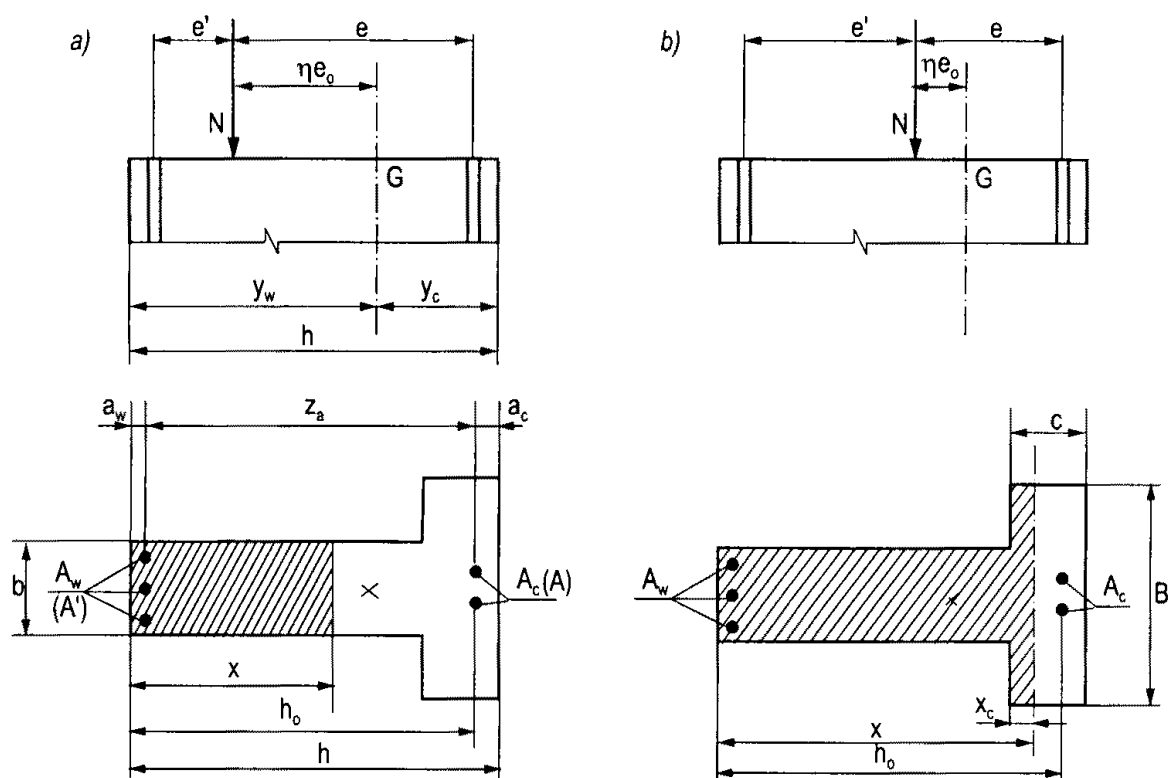
Tính tiếp với các giá trị khác của x ; $x = x_3 + \Delta x$. Ứng với mỗi giá trị của x tìm được N và M^* .

3.4. TIẾT DIỆN CÓ CÁNH BỊ KÉO

3.4.1. Các trường hợp tính toán

Dựa vào chiều của mômen $M = M_G$ để biết được trường hợp cánh bị kéo do tác dụng của mômen uốn (khi kể cả lực nén N thì cánh có thể bị kéo hoặc bị nén ít hơn). Lúc này cốt thép đặt phía sườn A_w là chịu nén, cốt thép đặt phía cánh A_c chịu kéo hoặc nén ít hơn. Dựa vào giá trị chiều cao vùng nén x để phân biệt nén lệch tâm lớn ($x \leq \xi_R h_0$) và nén lệch tâm bé ($x > \xi_R h_0$).

Trường hợp 1. Khi $x \leq h - c$. Toàn bộ cánh chịu kéo (hình 3.5a). Bỏ qua sự làm việc của bê tông phần cánh. Lập công thức tính toán như đối với tiết diện chữ nhật $b \times h$, cốt thép $A_s = A_c$; $A'_s = A_w$.



Hình 3.5: Các trường hợp cánh bị kéo

Trường hợp 2. Khi $x > h - c$, cánh có một phần hoặc toàn bộ chịu nén, thường chỉ có thể xảy ra với trường hợp nén lệch tâm rất bé.

3.4.2. Điều kiện tính toán, công thức cơ bản

Điều kiện tính toán là điều kiện chung (3-7), trong đó:

$$e = \eta e_0 + y_c - a_c \quad (3-44)$$

Trường hợp đặc biệt dùng điều kiện (3-8).

Công thức tính M_{lgh} , M_{2gh} được thành lập tùy theo giá trị của x .

3.4.2.1. Trường hợp cánh chịu kéo toàn bộ

Khi cánh chịu kéo toàn bộ; $x < h - c$; xác định M_{lgh} theo công thức (2-4), với các chỉ dẫn về xác định x theo mục 2.1.2. Trường hợp đặc biệt, khi $x \leq 2a_w$ tính M_{2gh} theo công thức (2-12).

3.4.2.2. Trường hợp cánh có một phần chịu nén

Nén lệch tâm bé, khi tính được $x > h - c$ thì cánh có một phần chịu nén. Đặt $x_c = x + c - h$ là chiều cao phần chịu nén của cánh. Tính khả năng chịu lực theo công thức (3-45):

$$M_{lgh} = R_b b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + 0,8 R_b (B - b) x_c (c - a_c - 0,5 x_c) + R_{sc} A_w Z_a \quad (3-45)$$

$$N = N_{gh} = R_b b x + 0,8 R_b (B - b) x_c + R_{sc} A_w - \sigma_s A_c \quad (3-45a)$$

3.4.3. Tính toán cốt thép đối xứng

Điều kiện và chuẩn bị số liệu giống như ở các mục 2.2.1 và 3.3.5.1. Chú ý mômen M được lấy đối với trục qua trọng tâm G và có chiều làm cho cánh bị kéo.

Trước hết tính x_l theo công thức (2-13) viết lại thành (3-46):

$$x_l = \frac{N}{R_b b} \quad (3-46) \quad (2-13)$$

Dựa vào giá trị của x_l để phân biệt các trường hợp tính toán.

3.4.3.1. Nén lệch tâm lớn thông thường

Khi $x_l \leq \xi_R h_0$ đồng thời $x_l \geq 2a_w$ ($2a'$) lấy $x = x_l$ thay vào công thức (3-47), viết lại từ công thức (2-14) để tính A_w . Cốt thép đối xứng lấy $A_c = A_w$.

$$A_w = \frac{N(e + 0,5x - h_0)}{R_{sc} Z_a} \quad (3-47) \quad (2-14)$$

3.4.3.2. Nén lệch tâm lớn, đặc biệt

Khi $x_l < 2a_w$, dùng công thức (3-48) để tính A_c , lấy $A_w = A_c$.

$$A_c = \frac{N(e - Z_a)}{R_s Z_a} \quad (3-48) \quad (2-18)$$

3.4.3.3. Nén lệch tâm bé thông thường

Khi $x_l > \xi_R h_0$ cần xác định x theo các chỉ dẫn ở mục 2.2.3.2. bằng cách giải phương trình (2-15), phương trình bậc ba của x hoặc có thể dùng công thức gần đúng (2-10). Khi có được $x \leq h - c$ dùng công thức (3-49) viết lại từ công thức (2-17) để tính A_w .

$$A_w = \frac{Ne - R_b bx(h_0 - 0,5x)}{R_{sc} Z_a} \quad (3-49) \quad (2-17)$$

Cốt thép đối xứng lấy $A_c = A_w$.

3.4.3.4. Nén lệch tâm bé đặc biệt

Khi tính được $x > h - c$, trục trung hoà nằm trong cánh, cánh có một phần chịu nén, có trường hợp đặc biệt, phải tính lại x theo cách khác.

Kết hợp phương trình cân bằng lực, phương trình (3-16) quan hệ giữa x và σ_s có được phương trình bậc ba của x :

$$x^3 - h_0(2 + \xi_R)x^2 + Dx - E = 0 \quad (3-50)$$

$$D = \frac{2Ne}{R_b B} + 2\xi_R h_0^2 + Z_a(h - \xi_R h_0) + (h - c)(c + h - 2a) \left(1 - \frac{b}{B}\right)$$

$$E = \frac{N}{R_b B} (2e\xi_R h_0 + hZ_a - \xi_R h_0 Z_a) + (h - c)(\xi_R h_0 c + hZ_a) \left(1 - \frac{b}{B}\right)$$

Giải phương trình (3-46) tìm x . Điều kiện là $h - c \leq x \leq h$. Đem x thay vào công thức (3-45) rút ra công thức tính A_w .

$$A_w = \frac{Ne - R_b bx(h_0 - x/2) - 0,8R_b(B - b)x_c(c - a_c - 0,5x_c)}{R_{sc} Z_a} \quad (3-51)$$

Trong đó $x_c = x + c - h$.

Cốt thép đối xứng lấy $A_c = A_w$.

3.4.4. Tính toán cốt thép không đối xứng

Lấy trường hợp phân giới của vùng nén, $x = \xi_R h_0$, tính khoảng cách d_2 từ trọng tâm vùng nén của trường hợp này đến trọng tâm G của tiết diện.

$$d_2 = y_w - 0,5 \xi_R h_0 \quad (3-52)$$

So sánh độ lệch tâm η_{e_0} với d_2 để phân biệt trường hợp tính toán.

3.4.4.1. Nén lệch tâm lớn

Tính toán theo nén lệch tâm lớn khi $\eta_{e_0} \geq 1,25d_2$.

Lúc này có thể tính toán bằng cách cho trước x hoặc A_w (A'_s).

a) Cho trước x . Có thể chọn một giá trị x thoả mãn các điều kiện $2a_w \leq x \leq \xi_R h_0$, thay vào công thức (3-49) để tính A_w .

Khi $A_w > 0$ thì thay A_w và x vào công thức (3-53) để tính cốt thép chịu kéo A_c :

$$A_c = \frac{R_b b x + R_{sc} A_w - N}{R_s} \quad (3-53) \quad (2-20)$$

Nếu tính được $A_w < 0$ thì giảm x để tính lại hoặc chuyển sang tính toán theo trường hợp b.

b) Chọn trước cốt thép chịu nén A_w .

Có thể chọn trước hoặc biết trước A_w , tính A_c . Dùng công thức (2-22) và (2-23) để tính α_m và ξ . Tính $x = \xi h_0$ và kiểm tra điều kiện: $2a_w \leq x \leq \xi_R h_0$. Khi điều kiện về x được thoả mãn thì dùng công thức (2-20) để tính A_c .

Khi $x > \xi_R h_0$ chứng tỏ A_w đã biết là quá bé, cần tăng lên hoặc tính theo mục a.

Khi $x < 2a_w$, kể cả trường hợp $\alpha_m < 0$, tính A_c theo trường hợp đặc biệt, dùng công thức (3-48).

3.4.4.2. Nén lệch tâm bé thông thường

Khi $\eta_{e_0} < 1,25d_2$ tính toán theo nén lệch tâm bé.

Xác định x theo công thức thực nghiệm (2-10) hoặc (2-11). Khi thoả mãn điều kiện $\xi_R h_0 \leq x \leq h - c$, dùng công thức (3-49) để tính cốt thép chịu nén nhiều A_w . Cốt thép A_c được chọn theo cấu tạo theo điều kiện (2-28).

3.4.4.3. Nén lệch tâm bé đặc biệt

Khi tính được $x > h - c$, có trường hợp đặc biệt. Lúc này nếu $\eta_{e_0} \leq 0,4d_2$ nên tính toán và cấu tạo cốt thép đối xứng. Khi $0,4d_2 < \eta_{e_0} < 1,2d_2$, chọn đặt A_c theo cấu tạo, tính x từ phương trình (3-54):

$$x^2 - 2a_c x + F = 0 \quad (3-54)$$

$$F = \frac{2N(e - Z_a)}{RB} + (h - c)(c + h - 2Z_a - 2a_c) \left(1 - \frac{b}{B}\right)$$

Điều kiện là $h - c \leq x \leq h$.

Có được x đem thay vào công thức (3-47) để tính A_w .

3.4.5. Đánh giá và xử lý kết quả

Việc đánh giá và xử lý kết quả tính cốt thép trường hợp không đối xứng cũng tiến hành như trường hợp đối xứng đã trình bày ở mục 3.37.

3.4.6. Kiểm tra khả năng chịu lực

Với tiết diện đã biết, kiểm tra xem có đủ khả năng chịu cặp nội lực M, N trong đó M được lấy đối với trục qua trọng tâm G của tiết diện ($M = M_G$) và tác dụng của M làm cho cánh bị kéo. Lúc này cốt thép A_w ở trong sườn là cốt thép chịu nén.

Trước hết giả thiết trường hợp chịu nén lệch tâm lớn thông thường, thoả mãn điều kiện $2a_w \leq x \leq \xi_R h_0$. Tính x_2 theo công thức (3-55), chép lại từ (2-34).

$$x_2 = \frac{N + R_s A_c - R_{sc} A_w}{R_b b} \quad (3-55) \quad (2-34)$$

Dựa vào x_2 để phân biệt các trường hợp tính toán

3.4.6.1. Nén lệch tâm lớn thông thường

Khi thoả mãn điều kiện $2a_w \leq x_2 \leq \xi_R h_0$, lấy $x = x_2$ thay vào công thức (3-56) để tính M_{lgh} .

$$M_{lgh} = R_b b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_{sc} A_w Z_a \quad (3-56) \quad (2-4)$$

Dùng điều kiện (3-7) để kiểm tra, trong đó tính e theo (3-44).

3.4.6.2. Nén lệch tâm lớn đặc biệt

Khi xảy ra $x_2 < 2a_c$, có trường hợp đặc biệt. Tính M_{2gh} theo công thức (3-57) chép lại từ (2-12b).

$$M_{2gh} = R_s A_c Z_a \quad (3-57) \quad (2-12b)$$

Và kiểm tra theo điều kiện (3-8) với $e' = e - Z_a$.

3.4.6.3. Nén lệch tâm bé thông thường

Tính chiều cao vùng nén theo công thức (3-58) chép lại từ (2-35):

$$x = \frac{(N - R_{sc}A_w(h - \xi_R h_o) + R_s A_c(h + \xi_R h_o))}{R_b b(h - \xi_R h_o) + 2R_s A_c} \quad (3-58) \quad (2-35)$$

Điều kiện của x là $\xi_R h_o \leq x \leq h - c$

Với x thỏa mãn điều kiện trên đây, thay x vào công thức (3-56) để tính M_{lgh} và kiểm tra theo điều kiện (3-7).

3.4.6.4. Nén lệch tâm bé đặc biệt

Khi xảy ra $x > h - c$, có trường hợp đặc biệt. Tính lại giá trị của x:

$$x = \frac{(N + R_b(B - b)(h - c) - R_{sc}A_w(h - \xi_R h_o) + R_s A_c(h + \xi_R h_o))}{RB(h - \xi_R h_o) + 2R_s A_c} \quad (3-59)$$

Điều kiện là $h - c \leq x \leq h$. Tính $x_c = x + c - h$.

Thay x và x_c vào công thức (3-45) để tính M_{lgh} . Kiểm tra theo điều kiện (3-7) trong đó e tính theo (3-44).

3.4.7. Biểu đồ tương tác

Để lập biểu đồ tương tác cho tiết diện chữ T có cánh trong vùng kéo (hoặc nén ít hơn), dùng x làm biến số trung gian. Trước hết cho x biến thiên trong khoảng $0 < x \leq h - c$ và tính toán như đối với tiết diện chữ nhật $b \times h$ có cốt thép chịu kéo $A_s = A_c$, cốt thép chịu nén $A'_s = A_w$, đã được trình bày trong mục 2.5.3 và 2.5.7. Tiếp đến cho x biến thiên trong khoảng tiếp theo $h - c < x \leq h$. Dùng công thức (3-16) để tính σ_s (với $x > \xi_R h_o$). Tính N theo công thức (3-45a), tính M_{lgh} theo công thức (3-45). Từ M_{lgh} tính ra được $M^* = N\eta e_o$ với chú ý $M_{lgh} = Ne = N(\eta e_o + y_c - a_c)$.

3.5. TÍNH TIẾT DIỆN CHỮ T VỚI NHIỀU CẶP NỘI LỰC

Việc tính toán với nhiều cặp nội lực cho tiết diện chữ nhật đã trình bày trong mục 2.6. Tính toán tiết diện chữ T cũng tương tự như vậy.

Khi đặt cốt thép đối xứng, chỉ việc tính cốt thép cho tất cả các cặp rồi chọn lấy giá trị lớn nhất.

Khi đặt cốt thép không đối xứng với mục đích dùng hợp lý và tiết kiệm cốt thép thì việc tính toán trở nên khá phức tạp, nhất là khi tính với các cặp có mô men ngược chiều và chịu nén lệch tâm lớn. Việc lập và dùng biểu đồ tương tác cũng tương đối phức tạp hơn so với tiết diện chữ nhật vì mỗi tiết diện cần lập hai biểu đồ tương tác theo hai chiều của mô men. Tuy vậy khi đã lập được biểu đồ tương tác thì có thể dùng để kiểm tra khả năng chịu lực của rất nhiều cặp nội lực một cách nhanh chóng.

3.6. TÍNH TOÁN TIẾT DIỆN CHỮ I

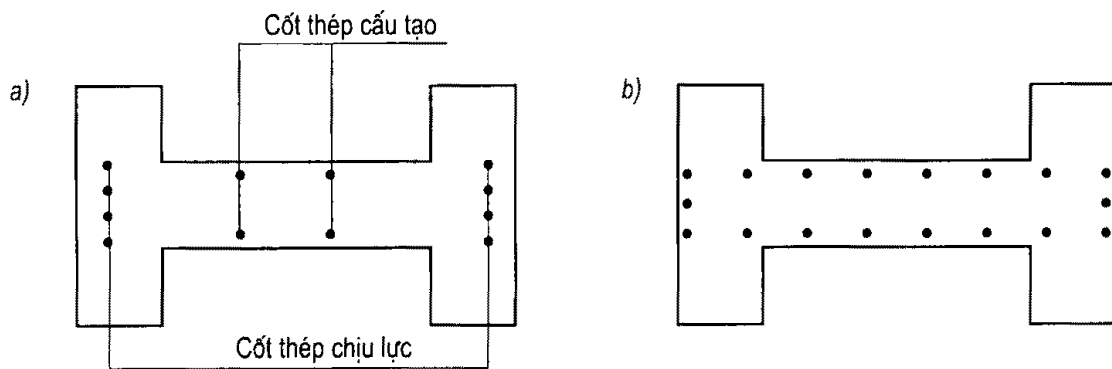
3.6.1. Đại cương về tiết diện chữ I

Tiết diện chữ I gồm có phần sườn và hai cánh, thông thường là đối xứng qua hai trục (hình 3.6). Cột tiết diện chữ I thường gặp là các cột lắp ghép trong các nhà công nghiệp. Trong nhà dân dụng ít gặp cột tiết diện chữ I.

Cấu tạo cốt thép trong tiết diện có hai cách:

a) Đặt cốt thép chịu lực tập trung trong phần cánh, trong phần sườn chỉ đặt cốt thép cấu tạo (hình 3.6a).

b) Đặt cốt thép chịu lực gồm hai phần, một phần tập trung trong hai cánh, phần còn lại đặt dọc theo sườn (hình 3.6b).



Hình 3.6. Tiết diện chữ I

3.6.2. Tính toán trường hợp đặt cốt thép tập trung

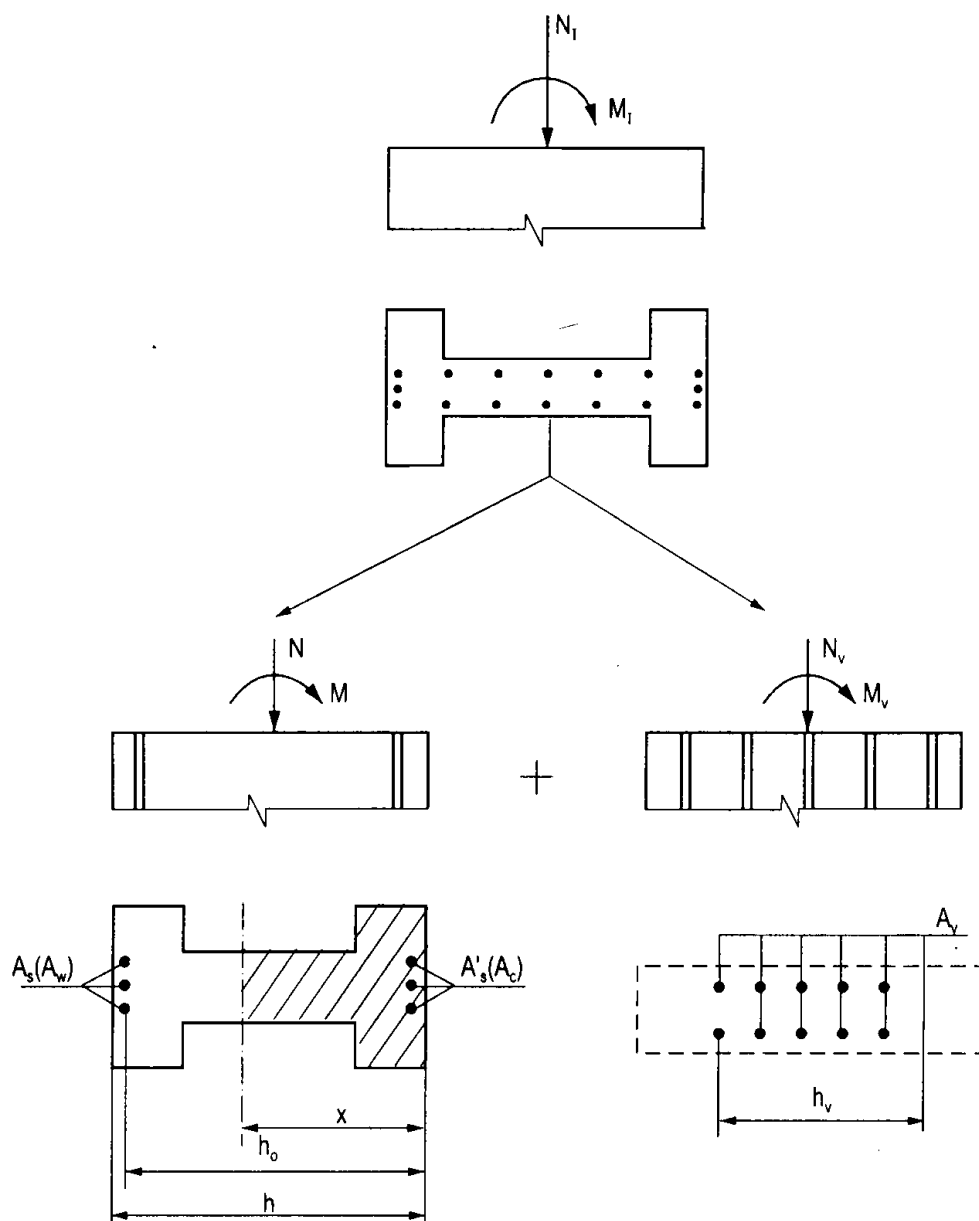
Cốt thép dọc chịu lực được đặt tập trung ở hai phía như trên hình 3.6a. Lúc này luôn luôn có một cánh chịu nén nhiều (cánh kia chịu kéo hoặc chịu nén ít hơn). Bỏ qua sự làm việc của bê tông trong cánh chịu kéo (hoặc nén ít hơn). Tính toán tiết diện chữ I theo trường hợp tiết diện chữ T có cánh chịu nén.

3.6.3. Tính toán trường hợp có cốt thép chịu lực đặt theo sườn

Để lập công thức tính toán cho trường hợp này có thể theo phương pháp đã trình bày trong mục 2.7 với tiết diện chữ nhật có cốt thép đặt theo chu vi. Theo phương pháp này cần lập biểu đồ biến dạng của tiết diện, xác định biến dạng và ứng suất trong từng thanh cốt thép, từ đó lập ra công thức tính toán, dùng điều kiện cân bằng lực.

Cách tính gần đúng là phân chia tiết diện làm hai phần như trên hình 3.7. Phần tiết diện chữ I với cốt thép đặt tập trung ở hai phía, chịu cặp nội lực M , N ; phần tiết diện chỉ gồm các cốt thép đặt trong sườn (không có bê tông) chịu cặp nội lực M_v ; N_v .

Theo Quy phạm thiết kế kết cấu bê tông của Trung Quốc GB50010 - 2002 khi dùng cốt thép có giới hạn chảy rõ ràng ($R_s \leq 400$ MPa) giá trị N_v , M_v được tính toán theo các công thức sau:



Hình 3.7: Sơ đồ tính tiết diện chữ I có cốt thép chịu lực đặt theo sườn

$$N_v = \left(1 + \frac{\xi - 0,8}{0,4\omega} \right) R_s A_v \quad (3-60)$$

$$M_v = \left[0,5 - \left(\frac{\xi - 0,8}{0,8\omega} \right)^2 \right] R_s A_v h_s \quad (3-61)$$

Trong đó:

A_v - diện tích tiết diện toàn bộ cốt thép đặt dọc theo sườn;

h_v - chiều dài đoạn đặt A_v ;

$\xi = \frac{x}{h_o}$ - chiều cao tương đối của vùng nén;

$\omega = \frac{h_v}{h_o}$.

Việc tính toán tiến hành theo cách gần đúng dần. Đầu tiên giả thiết bố trí cốt thép trong sườn, giả thiết ξ để tính N_v , M_v . Tiết diện chịu cặp nội lực M_I , N_I .

Tính phần nội lực $M = M_I - M_v$; $N = N_I - N_v$.

Dùng cặp nội lực M và N để tính toán cốt thép đặt tập trung trong phạm vi cánh và tính được x . Tính lại giá trị $\xi = \frac{x}{h_0}$ và tính lại M_v , N_v . Tính toán một số lần cho đến khi giá trị ξ dùng để tính và thu được sau khi tính gần bằng nhau là được.

3.7. THÍ DỤ TÍNH TOÁN

Thí dụ 1. Cho tiết diện chữ T có $b = 40\text{cm}$; $h = 80\text{cm}$;

$B = 160$; $c = 16\text{cm}$. Chiều cao cột $H = 6\text{m}$; chiều dài tính toán $l_0 = 4,2\text{m}$. Bê tông có $R_b = 9$; $E_b = 24000 \text{ MPa}$; cốt thép $R_s = R_{sc} = 260\text{MPa}$. Lực nén $N = 2000 \text{ kN}$, mômen được tính với trục đi qua trung điểm $M_I = 800 \text{ kNm}$ có chiều làm cho cánh tiết diện chịu nén. Độ lệch tâm ngẫu nhiên $e_a = 4\text{cm}$. Yêu cầu tính cốt thép đối xứng.

Kiểm tra cấu tạo của tiết diện:

Độ vươn của cánh:

$$v = \frac{B - b}{2} = \frac{160 - 40}{2} = 60\text{cm}$$

$$c = 16\text{cm} > 0,15h = 12\text{cm}; v \leq 4c = 64\text{cm} - \text{Thoả mãn.}$$

$$v = 60\text{cm} < \frac{1}{8}H = \frac{1}{8} \times 600 = 75\text{cm}.$$

Diện tích tiết diện:

$$A_T = bh + (B - b)c = 40 \times 80 + (160 - 40)16 = 5120 \text{ cm}^2$$

Toạ độ trọng tâm:

$$y_c = \frac{0,5bh^2 + 0,5(B - b)c^2}{A_T}$$

$$y_c = \frac{0,5 \times 40 \times 80^2 + 0,5 \times 120 \times 16^2}{5120} = 28\text{cm} = 280\text{mm}$$

$$y_w = h - y_c = 800 - 280 = 520\text{mm}$$

Khoảng cách từ trung điểm O đến trọng tâm G:

$$d = 0,5h - y_c = 400 - 280 = 120\text{mm}$$

Mômen quán tính J:

$$J = \frac{40}{3}(28^3 + 52^3) + \frac{120 \times 16^3}{12} + 120 \times 16(28 - 8)^2 = 2,976 \times 10^6 \text{ cm}^4$$

Bán kính quán tính i:

$$i = \sqrt{\frac{2976000}{5120}} = 24,1 \text{ cm} = 241 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_0}{i} = \frac{4200}{241} = 17,5 < 28$$

Bỏ qua ảnh hưởng uốn dọc, $\eta = 1$.

Mômen đã cho là đối với trục qua điểm giữa O. Tính mômen đối với trục qua trọng tâm G.

$$M_G = M_I \pm Nd = 800 - 2000 \times 0,12 = 560 \text{ kNm}$$

Giả thiết $a_w = a_c = 50 \text{ mm}$; $h_o = 800 - 50 = 750$; $Z_a = 700 \text{ mm}$.

$$\text{Độ lệch tâm } e_1 = \frac{560}{2000} = 0,28 \text{ m} = 280 \text{ mm}$$

$$e_o = e_1 + e_a = 280 + 40 = 320 \text{ mm}$$

$$e = \eta e_o + y_w - a_w = 1 \times 320 + 520 - 50 = 790 \text{ mm}$$

Hệ số ξ_R . Với $R_s = 260$; $R_b = 9$ có $\xi_R = 0,64$.

$$\xi_R h_o = 0,64 \times 750 = 480 \text{ mm}.$$

Tính toán cốt thép đối xứng, cánh trong vùng nén:

$$x_1 = \frac{N - R_b(B - b)c}{R_b b} = \frac{2000 \times 10^3 - 9(1600 - 400)160}{9 \times 400} = 75 \text{ mm}$$

$x_1 < c = 160$. Cần tính lại x.

$$x = \frac{N}{R_b B} = \frac{2000 \times 1000}{9 \times 1600} = 139 \text{ mm} < c = 160$$

Đồng thời $x > 2a_c = 100$.

$$A_c = \frac{Ne - R_b Bx(h_o - 0,5x)}{R_{sc} Z_a} = \frac{2000000 - 9 \times 160 \times 139(750 - 69,5)}{260 \times 700} = 1200 \text{ mm}^2$$

Cốt thép đối xứng lấy $A_w = A_c = 1200 \text{ mm}^2$

$$\mu_s = \frac{2 \times 1200}{400 \times 750} = 0,008 = 0,8\%$$

Thí dụ 2. Theo số liệu của thí dụ 1, yêu cầu tính cốt thép không đối xứng.

Đã tính được: $h_o = 750$; $Z_a = 700\text{mm}$; $x_R = \xi_R h_o = 480$

$$e = 790 ; \eta e_o = 320\text{mm}.$$

Tính y_Q theo công thức (3-25):

$$y_Q = \frac{0,5bx_R^2 + 0,5(B-b)c^2}{bx_R + (B-b)c} = \frac{0,5 \times 400 \times 465^2 + 0,5 \times 1200 \times 160^2}{400 \times 465 + 1200 \times 160} = 161\text{mm}$$

$$d_l = y_c - y_Q = 280 - 161 = 119\text{mm}$$

$$\eta e_o = 320 > 1,25 d_l = 1,25 \times 119 = 143\text{mm}.$$

Tính toán theo nén lệch tâm lớn.

Chọn $x = 300\text{mm} < \xi_R h_o = 480$; $x > c = 160$;

$$x > 2a_c = 100.$$

Tính A_c theo công thức (3-20):

$$A_c = \frac{Ne - R_b bx(h_o - 0,5x) - R_b (B-b)c(h_o - 0,5c)}{R_{sc} Z_a}$$

$$A_c = \frac{2000000 \times 790 - 9 \times 400 \times 300(750 - 150) - 9 \times 1200 \times 160(750 - 80)}{260 \times 700} < 0$$

Tính được A_c âm, chọn theo cấu tạo:

$$A_c \geq 0,0025 \times 400 \times 750 = 750 \text{ mm}^2$$

Chọn $A_c = 3 \phi 18 = 763 \text{ mm}^2$.

$$M_c = R_b Bc (h_o - 0,5c) + R_{sc} A_c Z_a$$

$$M_c = 9 \times 1600 \times 160 (750 - 80) + 260 \times 763 \times 700 = 1682 \times 10^6.$$

$$Ne = 2000.000 \times 790 = 1580 \times 10^6 < M_c.$$

Trục trung hoà qua cánh:

$$\alpha_{ml} = \frac{Ne - R_{sc} A_c Z_a}{R_b B h_o^2} = \frac{1580 \times 10^6 - 260 \times 763 \times 700}{9 \times 1600 \times 750^2} = 0,178$$

$$\xi = 1 - \sqrt{1 - 2\alpha_{ml}} = 1 - \sqrt{1 - 2 \times 0,178} = 0,1974$$

$$x = 0,1974 \times 750 = 148\text{mm} < c = 160; x > 2a_c = 100.$$

Tính A_w theo công thức (3-32):

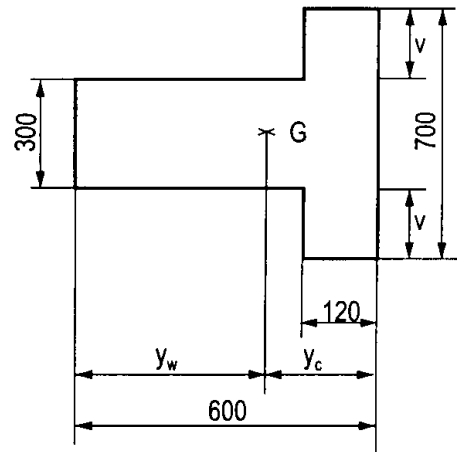
$$A_w = \frac{R_b Bx + R_{sc} A_c - N}{R_s} = \frac{9 \times 1600 \times 148 + 260 \times 763 - 2000000}{260}$$

$$A_w = 1267 \text{ mm}^2$$

$$\mu_s = \frac{763 + 1267}{400 \times 750} = 0,0067 = 0,67\%$$

Thí dụ 3. Cho tiết diện như hình vẽ.

Chiều dài tính toán $l_o = 5,3\text{m}$. Bê tông có $R_b = 13 \text{ MPa}$ cốt thép có $R_s = R_{sc} = 340 \text{ MPa}$. Cặp nội lực $N = 1600 \text{ kN}$, $M = 519,2 \text{ kNm}$. Mômen lấy đối với trục qua trọng tâm G và làm cho cánh bị nén. Bỏ qua độ lệch tâm ngẫu nhiên. Yêu cầu tính toán cốt thép đối xứng.



Số liệu: $b = 300$; $h = 600$; $B = 700$; $c = 120\text{mm}$.

$$R_b = 13; E_b = 29000; R_s = R_{sc} = 340\text{MPa}; \xi_R = 0,58$$

$$\text{Kiểm tra kích thước cánh: } v = \frac{700 - 300}{2} = 200\text{mm}.$$

$$c = 120 > 0,15h = 0,15 \times 600 = 90; v \leq 4c = 480. \text{ Đạt yêu cầu.}$$

$$\text{Diện tích: } A_T = 300 \times 600 + (700 - 300) 120 = 228000 \text{ mm}^2$$

$$y_c = \frac{0,5 \times 300 \times 600^2 + 0,5 \times 400 \times 120^2}{228000} = 249,5\text{mm}$$

$$y_w = 600 - 249,5 = 350,5\text{mm}.$$

$$J = \frac{300}{3} (249,5^3 + 350,5^3) + \frac{400 \times 12^3}{12} + 400 \times 120 (249,5 - 60)^2$$

$$= 7813 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\text{Bán kính quán tính } i = \sqrt{\frac{7813 \times 10^6}{228000}} = 185 \text{ mm}$$

$$\lambda = \frac{l_o}{i} = \frac{5300}{185} = 28,6 > 28. \text{ Cần kể đến uốn dọc}$$

$$N_{th} = \frac{2,5 E_b J}{l_o^2} = \frac{2,5 \times 29000 \times 7813 \times 10^6}{5300^2} = 20,16 \times 10^6 \text{ Niu}$$

$$N_{th} = 20160 \text{ kN}.$$

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{N}{N_{th}}} = \frac{1}{1 - \frac{1600}{20160}} = 1,086$$

Giả thiết $a_w = a_c = 40\text{mm}$; $h_o = 560$; $Z_a = 520\text{mm}$.

$$e_l = \frac{M}{N} = \frac{519,2}{1600} = 0,3245\text{m} = 324,5\text{mm}$$

$$e_a = 0; e_o = e_l + e_a = 324,5\text{mm}.$$

$$e = \eta e_o + y_w - a_w = 1,086 \times 324,5 + 350,5 - 40 = 661,6\text{mm}$$

$$x_l = \frac{N - R_b(B - b)c}{R_b b} = \frac{1600000 - 9(700 - 300)120}{9 \times 300} = 250\text{mm}$$

$$\xi_R h_o = 0,58 \times 560 = 308\text{mm}; x_l = 250 < \xi_R h_o$$

Đồng thời: $x_l > c = 120$; $x_l > 2a' = 80$. Lấy $x = x_l = 250$.

Tính A_c theo công thức (3-20):

$$A_c = \frac{Ne - R_b bx(h_o - 0,5x) - R_b(B - b)c(h_o - 0,5c)}{R_{sc} Z_a}$$

$$A_c = \frac{1600000 \times 661,6 - 13 \times 300 \times 250(560 - 125) - 13 \times 400 \times 120(560 - 60)}{340 \times 520} = 1824$$

Cốt thép đối xứng, lấy $A_w = A_c = 1824\text{mm}^2$:

$$\mu_s = \frac{2 \times 1824}{300 \times 560} = 0,0217 = 2,17\%.$$