

CHƯƠNG II

TÍNH TOÁN CẤU KIỆN CHỊU UỐN THEO CƯỜNG ĐỘ

I. ĐẶC ĐIỂM CẤU TẠO

Về mặt nội lực: Trong cấu kiện chịu uốn có mô men uốn (M) và lực cắt (Q)

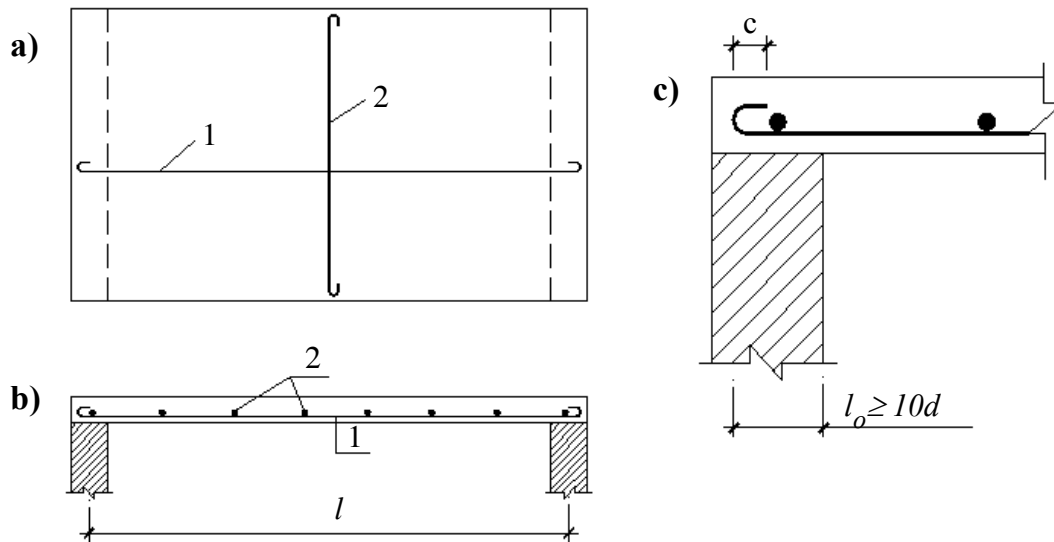
Về mặt hình dáng cấu kiện chịu uốn: có bản và dầm

1. Cấu tạo của bản.

- Về hình dáng: Bản là tấm phẳng có chiều dày rất nhỏ so với chiều dài và chiều rộng.

Nếu gọi nhịp của bản là l thì chiều dày của bản là $h \approx \left(\frac{1}{40} \div \frac{1}{35} \right) l$. Với nhà dân dụng thường có $h=60 \div 100\text{mm}$. Chiều dày h thường được xác định theo khả năng chịu lực và điều kiện sử dụng bình thường.

- Về cốt thép: trong bản chủ yếu có 2 loại: Cốt chịu lực và cốt phân bố (hình vẽ 2.1)



Hình
2.1: Sơ đồ
bố trí cốt
thép trong
bản
a) Mặt
bằng,
b) Mặt cắt,

c) Cấu tạo tại gối tựa.

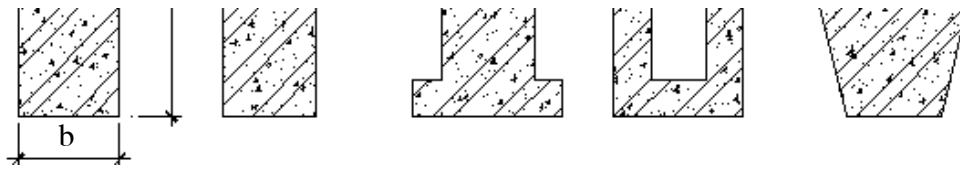
1. Cốt thép chịu lực, 2. Cốt thép phân bố.

+ Cốt thép chịu lực thường dùng loại C-I và A-I có đường kính từ $6 \div 12\text{mm}$, đặt trong miền chịu kéo của tiết diện, nằm dọc theo phương có ứng suất kéo. Số lượng thanh, đường kính thanh và khoảng cách giữa các thanh lấy theo kết quả tính toán. Khoảng cách giữa các thanh thép chịu lực lấy không quá 200mm khi chiều dày bản $h \leq 150\text{mm}$, không quá $1.5h$ khi $h > 150\text{mm}$; đồng thời lấy không nhỏ hơn 70mm để dễ thi công.

+ Cốt thép phân bố được đặt vuông góc với cốt thép chịu lực, buộc với cốt thép chịu lực thành lưới để các thanh thép không bị xô dịch khi thi công. Cốt thép phân bố phải chịu ứng suất do co ngót và do thay đổi nhiệt độ theo phương đặt thanh thép ấy, đồng thời còn có tác dụng phân ảnh hưởng của lực tập trung ra diện rộng hơn. Thép phân bố thường sử dụng đường kính từ $4 \div 8\text{mm}$, khoảng cách giữa các thanh thép lấy không quá 350mm .

2. Cấu tạo của dầm.

- Dầm là kết cấu chịu uốn có kích thước tiết diện ngang khá nhỏ so với chiều dài của nó. Tiết diện ngang của dầm có thể là hình chữ nhật, chữ T, chữ I, hình hộp, hình thang ...



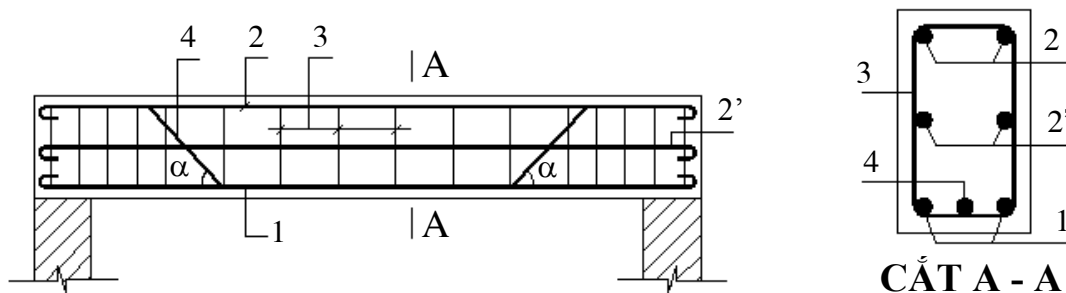
Hình 2.2: Các dạng tiết diện của dầm BTCT

- Gọi nhịp dầm là l , chiều cao tiết diện dầm là h , chiều rộng tiết diện dầm là b .

Thông thường $h = \left(\frac{1}{20} \div \frac{1}{8} \right) l$; $\frac{h}{b} = 2 \div 4$.

Khi chọn b và h cần xét đến yêu cầu kiến trúc và định hình hoá ván khuôn, kích thước của tường và cột.

- Cốt thép trong dầm gồm có: Cốt dọc chịu lực, cốt dọc cấu tạo, cốt đai và cốt xiên.



Hình 2.3: Các loại cốt thép trong dầm.

1. Cốt dọc chịu lực; 2. Cốt dọc cấu tạo để buộc cốt đai;

2'. Cốt dọc cấu tạo khi chiều cao dầm $h \geq 700$; 3. Cốt đai; 4. Đoạn cốt xiên

+ Cốt thép chịu lực đặt theo tính toán để chịu lực, thường dùng đường kính từ $10 \div 40$ mm. Nếu chiều rộng của tiết diện $b \geq 150$ mm thì phải có ít nhất hai thanh đặt ở hai góc của vùng bê tông chịu kéo. Nếu $b < 150$ thì có thể dùng một thanh thép dọc chịu lực. Nếu có nhiều thanh thì phải đặt thành nhiều hàng, nhiều lớp để đảm bảo khoảng cách hở giữa các thanh cốt thép.

+ Cốt thép dọc cấu tạo dùng làm giá đỡ cho cốt đai không bị xô dịch trong lúc thi công, mặt khác nó chịu các tác dụng do bê tông co ngót hoặc do sự thay đổi nhiệt độ. Khi chiều cao dầm $h < 700$ thì chỉ cần đặt thép cấu tạo ở góc tiết diện. Khi $h \geq 700$ thì phải đặt thêm cốt dọc phụ vào hai mặt bên của chiều cao tiết diện. Cốt dọc cấu tạo thường dùng đường kính từ $10 \div 12$ mm. Tổng diện tích mặt cắt ngang của cốt cấu tạo không được nhỏ hơn $0,1\%$ diện tích của sườn dầm.

+ Cốt đai thường là thép C-I và A-I có đường kính từ $6 \div 10$ mm được buộc với cốt dọc để giữ cho cốt dọc không bị xô dịch lúc thi công. Cốt đai còn dùng để chịu lực cắt.

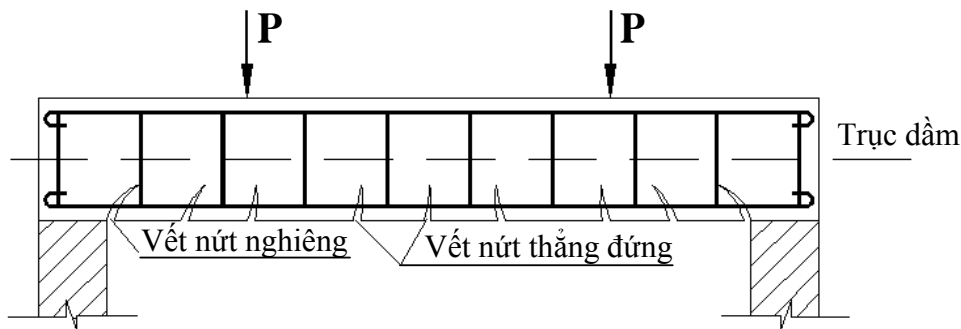
+ Cốt xiên là đoạn thép đặt xiên để chịu lực cắt, hoặc do thanh thép dọc chịu lực uốn xiên lên mà thành. Khi dầm có $h < 800$ thì lấy góc uốn cốt xiên $\alpha = 45^\circ$, khi $h \geq 800$ thì lấy $\alpha = 60^\circ$, đối với các dầm thấp và bản có thể uốn cốt xiên với góc $\alpha = 30^\circ$.

II. SỰ LÀM VIỆC CỦA DẦM BTCT

1. Thí nghiệm.

Quan sát một dầm BTCT (như hình 2.4) từ lúc mới đặt tải trọng nhỏ rồi tăng dần tải trọng đến khi dầm bị phá hoại, thấy sự làm việc của dầm như sau: Khi tải trọng còn nhỏ, dầm bền vững và nguyên vẹn. Tiếp tục tăng tải trọng thì vùng chịu kéo của dầm xuất hiện các vết nứt. Ở những chỗ có mômen lớn vết nứt có phương vuông góc trục dầm, gọi là vết nứt thẳng

góc, tiết diện dầm theo phương vết nứt này gọi là tiết diện thẳng góc. Ở những chỗ có lực cắt lớn vết nứt có phương nghiêng so với trục dầm, gọi là vết nứt nghiêng, tiết diện dầm theo phương vết nứt nghiêng gọi là tiết diện nghiêng.



Hình 2.4:

Các dạng khe nứt trong dầm đơn giản

Khi dầm đã có vết nứt mà cứ tiếp tục tăng tải trọng thì vết nứt ngày càng mở rộng ra và dầm bị phá hoại. Sự phá hoại có trường hợp xảy ra ở vết nứt thẳng góc, có trường hợp xảy ra ở vết nứt nghiêng. Do vậy khi thiết kế dầm phải tính toán trên cả hai loại tiết diện (tiết diện thẳng góc và tiết diện nghiêng) nhằm làm cho dầm không bị phá hoại theo bất cứ tiết diện nào.

2. Trạng thái ứng suất và biến dạng của tiết diện thẳng góc.

Quá trình phát triển ứng suất và biến dạng trên tiết diện thẳng góc xảy ra liên tục. Để nghiên cứu, người ta phân ra làm ba giai đoạn (xem hình vẽ 2.5).

2.1. Giai đoạn I: Khi mô men còn bé (tải trọng nhỏ) có thể xem như vật liệu làm việc đàn hồi, quan hệ ứng suất và biến dạng là đường thẳng, sơ đồ ứng suất pháp có dạng hình tam giác (hình 1a). Khi mô men tăng lên, biến dạng dẻo trong bê tông phát triển, sơ đồ ứng suất pháp có dạng đường cong. Lúc sắp sửa nứt, ứng suất kéo trong bê tông đạt tới giới hạn cường độ chịu kéo R_k . (hình 1b).

GIAI ĐOẠN I

Ia) $\sigma_b < R_n$ Ib) $\sigma_b < R_n$

M TTH **M** TTH

$\sigma_a < R_a$ $\sigma_a < R_a$
 $\sigma_k < R_k$ $\sigma_k \leq R_k$

GIAI ĐOẠN II

IIa) $\sigma_b < R_n$ IIb) $\sigma_b < R_n$

M **M**

$\sigma_a < R_a$ $\sigma_a = R_a$

GIAI ĐOẠN III

IIIa) **D** IIIb) **D**

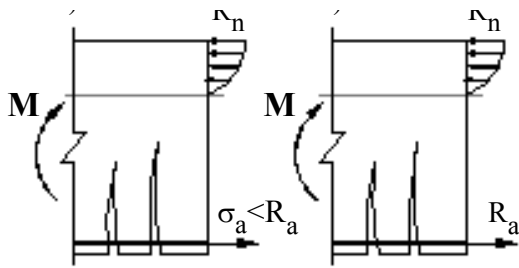
Muốn cho dầm không bị nứt thì ứng suất pháp trên tiết diện không được vượt quá giới hạn ở trạng thái Ib.

2.2. Giai đoạn II: Khi mô men tăng lên, miền bê tông chịu kéo sẽ nứt, khe nứt phát triển dần lên phía trên. Tại khe nứt hầu như vùng bê tông chịu kéo không làm việc, toàn bộ ứng lực kéo là do cốt thép chịu.

Nếu lượng cốt thép chịu kéo nhiều thì ứng suất trong cốt thép $\sigma_a < R_a$ (như hình IIa)

Nếu lượng cốt thép chịu kéo không nhiều lắm thì ứng suất trong cốt thép chịu kéo có thể đạt tới giới hạn chảy của thép $\sigma_a = R_a$ (như hình IIb)

2.3. Giai đoạn III (giai đoạn phá hoại): Tiếp tục tăng mô men uốn lên nữa thì dầm bị phá hoại.



Hình 2-5: Các trạng thái ứng suất và biến dạng trên tiết diện thẳng góc

năng chịu lực của cốt thép nên lãng phí. Khi thiết kế phải tránh không để đầm đạt đến trạng thái phá hoại này.

Trường hợp lượng cốt thép đặt không nhiều (*IIIb*), ứng suất trong cốt thép đã đạt đến cường độ chịu kéo R_a , nếu tăng mô men uốn thì cốt thép bị chảy dẻo, khe nứt tiếp tục phát triển lên phía trên làm cho vùng bê tông chịu nén bị thu hẹp lại, ứng suất trong bê tông tăng nhanh đến khi đạt đến cường độ chịu nén R_n của bê tông thì đầm bị phá hoại (*như hình IIIb*).

Trong trường hợp này: khi bị phá hoại cả bê tông vùng chịu nén và cốt thép vùng chịu kéo đều phát huy hết khả năng làm việc; thép bị chảy dẻo rồi mới bị phá hoại cho nên hiện tượng xảy ra từ từ, trước khi biến dạng đầm có biến dạng lớn nên dễ đề phòng. Đây là hiện tượng phá hoại dẻo. Khi thiết kế cần thiết phải cho đầm đạt đến trạng thái phá hoại này.

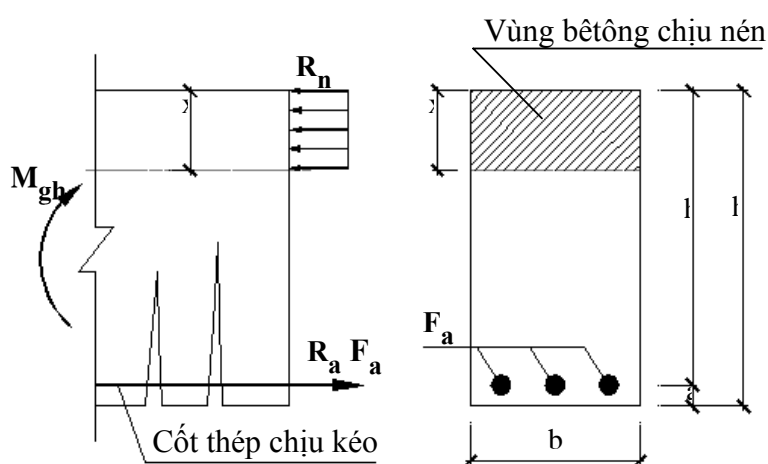
III. TÍNH TOÁN CẤU KIỆN CHỊU UỐN CÓ TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT THEO CƯỜNG ĐỘ TRÊN TIẾT DIỆN THẲNG GÓC.

Phân biệt hai trường hợp đặt cốt thép dọc chịu lực:

- **Trường hợp đặt cốt đơn:** Chỉ tính toán cốt thép đặt trong vùng chịu kéo, cốt thép trong vùng chịu nén chỉ đặt theo cấu tạo.

- **Trường hợp đặt cốt kép:** Tính toán cả cốt thép đặt trong vùng chịu kéo và trong vùng chịu nén.

1. Cấu kiện có tiết diện hình chữ nhật đặt cốt đơn.



Hình 2-6: Sơ đồ ứng suất của tiết diện hình chữ nhật đặt cốt đơn

a : khoảng cách từ trọng tâm của cốt thép chịu kéo F_a đến mép chịu kéo của tiết diện.

$h_0 = h - a$: chiều cao làm việc của tiết diện .

x : chiều cao vùng bê tông chịu nén.

Khi tính toán trên tiết diện thẳng góc, lấy sơ đồ ứng suất dựa vào trạng thái giới hạn của

Trường hợp nếu lượng cốt thép chịu kéo đặt rất nhiều (*IIa*), ứng suất trong cốt thép còn nhỏ $\sigma_a < R_a$ nhưng ứng suất trong bê tông vùng nén lớn, đến khi $\sigma_b = R_n$ thì bê tông ở vùng chịu nén bị ép vỡ làm cho đầm bị phá hoại (*như hình IIIa*). Đây là hiện tượng phá hoại giòn, hiện tượng xảy ra nhanh đột ngột nên rất nguy hiểm, lại không phát huy hết khả

1.1. Sơ đồ ứng suất:

b : chiều rộng tiết diện .

h : chiều cao tiết diện .

F_a : diện tích tiết diện ngang của cốt thép chịu kéo ở tiết diện.

trường hợp phá hoại dẻo. Để việc tính toán đơn giản mà vẫn đảm bảo chính xác cần thiết, ta có thể coi gần đúng như sau:

- Tại vùng bê tông chịu nén, ứng suất trong bê tông bằng nhau và đạt đến mức cường độ chịu nén R_n .

- Tại vùng chịu kéo, bê tông bị nứt, coi như bê tông không làm việc. Cốt thép trong vùng chịu kéo (F_a) phải chịu toàn bộ lực kéo. Ở trạng thái giới hạn, ứng suất trong cốt thép đạt đến cường độ chịu kéo của cốt thép là R_a .

1.2. Phương trình cân bằng:

Theo sơ đồ ứng suất cho thấy, đây là hệ lực song song cân bằng nên chỉ có 2 phương trình cân bằng có ý nghĩa độc lập với nhau.

Tổng hình chiếu của các lực lên phương trục dầm là:

$$R_a \cdot F_a = R_n \cdot b \cdot x \quad (2-1)$$

Tổng mômen của các lực đối với trục đi qua trọng tâm chung của các cốt thép chịu kéo ta

được:

$$M_{gh} = R_n \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (2-2)$$

Thay $R_a \cdot F_a = R_n \cdot b \cdot x$ vào phương trình (2-2) ta được:

$$M_{gh} = R_a \cdot F_a \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (2-3)$$

1.3. Công thức cơ bản:

Từ hệ phương trình (2-1) và (2-2) ta có thể tính toán để tìm ra công thức cơ bản. Muốn đơn giản cách giải phương trình, ta đưa nó về dạng các kí hiệu:

$$\text{Đặt } \alpha = \frac{x}{h_0} \Rightarrow x = \alpha \cdot h_0 ; A = \alpha(1 - 0,5\alpha) ; \gamma = 1 - 0,5\alpha$$

Người ta lập bảng quan hệ giữa α , A và γ để tra sẵn (bảng 6 – PL)

Thay $x = \alpha \cdot h_0$ vào phương trình (2-1) ta được:

$$R_a \cdot F_a = R_n \cdot b \cdot \alpha \cdot h_0 = \alpha R_n b h_0$$

Gọi giá trị mômen lớn nhất mà cấu kiện phải chịu là M . Điều kiện cường độ khi tính toán theo trạng thái giới hạn là $M \leq M_{gh}$; đồng thời thay $x = \alpha h_0$ vào phương trình (2-2) ta được: M

$$\leq R_n \cdot b \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) = R_n \cdot b \cdot \alpha \cdot h_0 (h_0 - 0,5\alpha \cdot h_0) = \alpha(1 - 0,5\alpha) \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 = A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2$$

Biến đổi phương trình (2-3) ta được:

$$M \leq R_a \cdot F_a \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) = R_a \cdot F_a \cdot (h_0 - 0,5\alpha \cdot h_0) = \gamma \cdot R_n \cdot b \cdot h_0$$

Tóm lại ta được công thức cơ bản sau:

$$\begin{cases} R_a \cdot F_a = \alpha \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 & (2-1)a \end{cases}$$

$$\begin{cases} M \leq A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 & (2-2)a \end{cases}$$

$$\begin{cases} M \leq \gamma \cdot R_a \cdot F_a \cdot h_0 & (2-3)a \end{cases}$$

1.4. Điều kiện hạn chế:

- Điều kiện hạn chế chiều cao vùng bê tông chịu nén: để đảm bảo cấu kiện đạt đến trạng thái giới hạn phá hoại dẻo, chiều cao vùng bê tông chịu nén phải nhỏ hơn trạng thái giới hạn: x

$\leq \alpha_0 h_0$ hay $\frac{x}{h_0} \leq \alpha_0$ tức là: $\alpha \leq \alpha_0$; khi đó: $A \leq A_0$.

Giá trị giới hạn α_0 phụ thuộc vào mác bê tông và nhóm cốt thép (tra α_0 ở bảng 5-PL).

- Về hàm lượng cốt thép:

Gọi hàm lượng của cốt thép dọc chịu lực là: $\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0}$

Khi tính toán phải bảo đảm: $\mu_{\min} \leq \mu \leq \mu_{\max}$

Hàm lượng thép tối đa: $\mu_{\max} = \alpha_0 \frac{R_n}{R_a}$

Hàm lượng thép tối thiểu là μ_{\min} ; với cấu kiện dầm lấy $\mu_{\min} = 0,05\%$

1.5. Bài toán thường gặp:

a) Bài toán 1: Bài toán tính cốt thép.

Cho biết trị số mô men M, kích thước tiết diện ($b \times h$), mác bê tông, nhóm cốt thép. Yêu cầu thiết kế cốt thép F_a .

- Tìm các số liệu cần thiết: Căn cứ vào mác bê tông và nhóm cốt thép, tra bảng ra R_n, R_a, α_0, A_0 .

- Giả thiết a để tính $h_0 = h - a$

Thông thường với bản giả thiết $a = 1,5 \div 2 \text{ cm}$, với dầm $a \approx 0,1h$.

- Tính $A = \frac{M}{R_n b h_0^2}$; so sánh A với A_0 .

Nếu $A > A_0$ thì không thỏa mãn điều kiện tính cốt đơn.

Nếu $A \leq A_0$ thì từ A tính hoặc tra bảng (bảng 6-PL) được α hoặc γ .

- Tính $F_a = \alpha \frac{R_n}{R_a} b h_0$ hoặc $F_a = \frac{M}{\gamma \cdot R_a \cdot h_0}$

- Kiểm tra hàm lượng thép: tính $\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0} \cdot 100\%$.

Nếu $\mu \geq \mu_{\min}$ thì lấy F_a là kết quả vừa tính;

Nếu $\mu < \mu_{\min}$ thì lấy $F_a = F_{a(\min)} = \mu_{\min} \cdot b \cdot h_0$. (2-4)

- Chọn thép thực tế theo bảng tra diện tích thép (bảng 8-PL) sao cho vừa thỏa mãn điều kiện cường độ vừa đảm bảo tiết kiệm.

- Bố trí thép trên tiết diện phải đảm bảo yêu cầu cấu tạo về khoảng hở giữa các thanh thép và về lớp bê tông bảo vệ cốt thép.

b) Bài toán 2: Bài toán kiểm tra khả năng chịu uốn M_{gh} .

Cho biết diện tích cốt thép chịu kéo F_a và cách bố trí, kích thước tiết diện ($b \times h$), mác bê tông, nhóm cốt thép. Yêu cầu tính khả năng chịu uốn M_{gh} .

- Tìm các số liệu cần thiết: Căn cứ vào mác bê tông và nhóm cốt thép, tra bảng ra R_n, R_a, α_0, A_0 .

- Tính $\alpha = \frac{R_a \cdot F_a}{R_n \cdot b \cdot h_0}$, so sánh với α_0

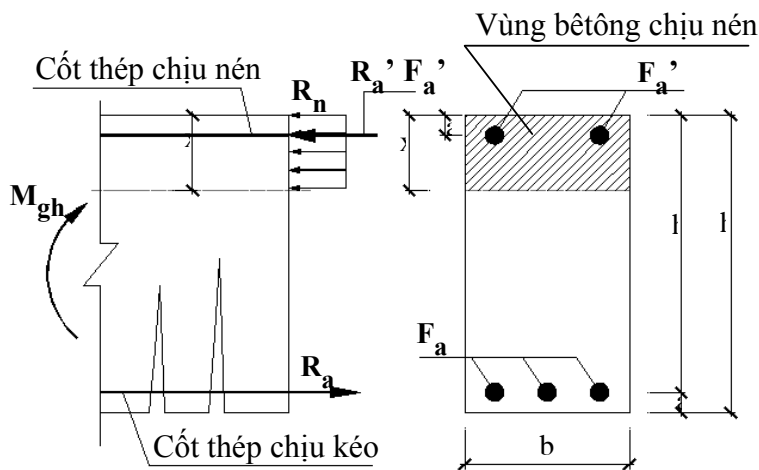
Nếu $\alpha \leq \alpha_0$ thì từ α tra bảng hoặc tính được A hoặc γ rồi tính

$$M_{gh} = A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 \text{ hoặc } M_{gh} = \gamma \cdot R_a \cdot F_a \cdot h_0$$

Nếu $\alpha > \alpha_0$ thì lấy $\alpha = \alpha_0$. Khi đó $A = A_0$. Nên $M_{gh} = A_0 \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2$

2. Cấu kiện có tiết diện hình chữ nhật đặt cốt kép.

Điều kiện để đặt cốt kép là $A_0 < A = \frac{M}{R_n b h_0^2} \leq 0,5$



Hình 2-6: Sơ đồ ứng suất của tiết diện hình chữ nhật đặt cốt đơn

2.1. Sơ đồ ứng suất:

b : chiều rộng tiết diện

h : chiều cao tiết diện.

F_a : diện tích tiết diện ngang của cốt thép chịu kéo ở tiết diện.

F_a' : diện tích tiết diện ngang của cốt thép chịu nén ở tiết diện.

a : khoảng cách từ trọng tâm của cốt thép chịu kéo F_a đến mép chịu kéo của tiết diện.

a' : khoảng cách từ trọng tâm của cốt thép chịu nén F_a' đến mép chịu nén của tiết diện.

$h_0 = h - a$: chiều cao làm việc của tiết diện.

x : chiều cao vùng bê tông chịu nén.

Khi tính toán trên tiết diện thẳng góc, lấy sơ đồ ứng suất dựa vào trạng thái giới hạn của trường hợp phá hoại dẻo. Để việc tính toán đơn giản mà vẫn đảm bảo chính xác cần thiết, ta có thể coi gần đúng như sau:

- Tại vùng bê tông chịu nén, ứng suất trong bê tông bằng nhau và đạt đến mức cường độ chịu nén R_n . Ứng suất trong cốt thép chịu nén đạt đến cường độ chịu nén của thép R_a' .

- Tại vùng chịu kéo, bê tông bị nứt, coi như bê tông không làm việc. Cốt thép trong vùng chịu kéo (F_a) phải chịu toàn bộ lực kéo. Ở trạng thái giới hạn, ứng suất trong cốt thép đạt đến cường độ chịu kéo của cốt thép là R_a .

2.2. Phương trình cân bằng:

Theo sơ đồ ứng suất cho thấy, đây là hệ lực song song cân bằng nên chỉ có 2 phương trình cân bằng có ý nghĩa độc lập với nhau.

Tổng hình chiếu của các lực lên phương trục dầm là:

$$R_a \cdot F_a = R_n \cdot b \cdot x + R_a' \cdot F_a' \quad (2-5)$$

Tổng mômen của các lực đối với trục đi qua trọng tâm chung của các cốt thép chịu kéo ta được:

$$M_{gh} = R_n \cdot b \cdot x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_a' F_a' (h_0 - a') \quad (2-6)$$

2.3. Công thức cơ bản:

Từ hệ phương trình (2-5) và (2-6) ta có thể tính toán để tìm ra công thức cơ bản. Muốn đơn giản cách giải phương trình, ta đưa nó về dạng có kí hiệu:

Đặt $\alpha = \frac{x}{h_0} \Rightarrow x = \alpha \cdot h_0$; $A = \alpha(1 - 0,5\alpha)$.

Gọi giá trị mômen lớn nhất mà cấu kiện phải chịu là M. Điều kiện cường độ khi tính toán theo trạng thái giới hạn là $M \leq M_{gh}$; đồng thời thay $x = \alpha h_0$ vào phương trình (2-5) và (2-6) ta được hệ công thức cơ bản:

$$\begin{cases} R_a F_a = \alpha \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 + R_a' F_a' \\ M \leq A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 + R_a' F_a' (h_0 - a') \end{cases} \quad (2-5)a$$

$$M \leq A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 + R_a' F_a' (h_0 - a') \quad (2-6)a$$

2.4. Điều kiện hạn chế:

- Điều kiện hạn chế chiều cao vùng bê tông chịu nén: để đảm bảo cấu kiện đến trạng thái giới hạn phá hoại dẻo, chiều cao vùng bê tông chịu nén phải nhỏ hơn trạng thái giới hạn: $x \leq \alpha_0 h_0$ hay $\frac{x}{h_0} \leq \alpha_0$ tức là: $\alpha \leq \alpha_0$; khi đó: $A \leq A_0$.

- Để ứng suất trong cốt thép chịu nén đạt đến giới hạn R_a' thì phải thỏa mãn điều kiện: $x \geq 2a'$ hay $\alpha \geq \frac{2a'}{h_0}$.

2.5. Bài toán thường gặp.

a) Bài toán 3: Bài toán tính cốt thép F_a và F_a' .

Cho biết trị số mô men M, kích thước tiết diện ($b \times h$), mác bê tông, nhóm cốt thép. Yêu cầu thiết kế cốt thép F_a và F_a' .

- Tìm các số liệu cần thiết: Căn cứ vào mác bê tông và nhóm cốt thép, tra bảng ra R_n , R_a , R_a' , α_0 , A_0 .

- Chỉ thực hiện bài toán tính cốt kép khi $A_0 < A = \frac{M}{R_n b h_0^2} \leq 0,5$

- Hai công thức (2-5)a và (2-6)a chứa 3 ẩn số là α , F_a , F_a' nên không thể giải trực tiếp mà phải bổ sung thêm điều kiện: bê tông phát huy hết khả năng chịu nén khi $\alpha = \alpha_0$, khi đó $A = A_0$. Nên tính được:

$$+ \text{Thép chịu nén} \quad F_a' \geq \frac{M - A_0 R_n b h_0^2}{R_a' (h_0 - a')}$$

$$+ \text{Thép chịu kéo} \quad F_a \geq \alpha_0 \frac{R_n}{R_a} b h_0 + \frac{R_a'}{R_a} F_a'$$

- Kiểm tra hàm lượng, chọn và bố trí thép: như bài toán 1

b) Bài toán 4: Bài toán biết trước cốt thép F_a' . Tính cốt thép F_a .

Cho biết trị số mô men M, kích thước tiết diện ($b \times h$), mác bê tông, nhóm cốt thép, biết F_a' và cách bố trí. Yêu cầu thiết kế cốt thép F_a .

- Các bước ban đầu làm như bài toán 1

- Tính $A = \frac{M - R'_a F'_a (h_0 - a')}{R_n b h_0^2}$ rồi so sánh với A_0 .

Nếu $A > A_0$ thì cốt thép F_a đã biết là quá nhỏ, chưa đủ chịu lực nên phải xem như chưa biết F_a . Khi đó tính thép như bài toán 3:

$$F_a' \geq \frac{M - A_0 R_n b h_0^2}{R'_a (h_0 - a')} \quad \text{và} \quad F_a \geq \alpha_0 \frac{R_n}{R'_a} b h_0 + \frac{R'_a}{R'_a} F_a'.$$

Nếu $A \leq A_0$ thì từ A tính hoặc tra bảng (bảng 6-PL) được α và tính thép F_a tùy theo giá trị α so với $\frac{2a'}{h_0}$

$$+ \text{ Khi } \alpha \geq \frac{2a'}{h_0} \text{ thì } F_a \geq \alpha \frac{R_n}{R'_a} b h_0 + \frac{R'_a}{R'_a} F_a'.$$

+ Khi $\alpha < \frac{2a'}{h_0}$ thì lấy $x = 2a'$ rồi viết phương trình cân bằng mô men với trọng tâm vùng bê tông chịu nén được: $M_{gh} = R_a F_a (h_0 - a')$ (2-7)

$$\text{Cho } M \leq M_{gh} \text{ rút ra được: } F_a \geq \frac{M}{R_a (h_0 - a')}$$

c) Bài toán 5: Bài toán kiểm tra khả năng chịu uốn M_{gh} .

Cho biết diện tích cốt thép F_a , F_a' và cách bố trí, kích thước tiết diện ($b \times h$), mác bê tông, nhóm cốt thép. Yêu cầu tính khả năng chịu uốn M_{gh} .

- Tìm các số liệu cần thiết: Căn cứ vào mác bê tông và nhóm cốt thép, tra bảng ra R_n , R_a , R'_a , α_0 , A_0 .

$$\text{- Tính } \alpha = \frac{R_a F_a - R'_a F'_a}{R_n b h_0}, \text{ so sánh với } \alpha_0 \text{ và giá trị } \frac{2a'}{h_0}$$

Nếu $\frac{2a'}{h_0} \leq \alpha \leq \alpha_0$ thì từ α tra bảng hoặc tính được A rồi tính

$$M_{gh} = A R_n b h_0^2 + R'_a F'_a (h_0 - a')$$

Nếu $\alpha \leq \alpha_0$ và $\alpha < \frac{2a'}{h_0}$ thì coi $\alpha = \frac{2a'}{h_0}$, lúc này có $M_{gh} = R_a F_a (h_0 - a')$ (theo 2-7)

Nếu $\alpha > \alpha_0$ thì lấy $\alpha = \alpha_0$. Khi đó $A = A_0$. Nên

$$M_{gh} = A_0 R_n b h_0^2 + R'_a F'_a (h_0 - a')$$

3. Bài tập ví dụ.

3.1. Ví dụ 2-1: Thiết kế cốt thép dọc chịu lực cho dầm BTCT có tiết diện chữ nhật $b \times h = 200 \times 400$, dùng bê tông mác M250, cốt thép nhóm C-II, chịu mô men uốn căng thớ dưới $M = 103 \text{ KNm}$.

Giải:

Số liệu tính: Với bê tông mác M250 có $R_n = 1,1 \text{ KN/cm}^2$;

Với thép C-II có $R_a = R_a' = 26 \text{ KN/cm}^2$;

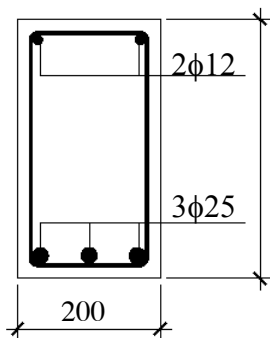
Khi dùng bê tông M250 thép C-II thì $\alpha_0 = 0,58$; $A_0 = 0,412$

Giả thiết $a = 4 \text{ cm} \Rightarrow h_0 = h - a = 36 \text{ cm}$

Tính $A = \frac{M}{R_n b h_0^2} = \frac{10300}{1,1 \cdot 20 \cdot 36^2} = 0,361 < A_0 = 0,412$ nên chỉ dùng cốt đơn.

Từ $A = 0,361$ tính được $\alpha = 0,473$

Tính $F_a = \alpha \frac{R_n}{R_a} b h_0 = 0,473 \cdot \frac{1,1}{26} \cdot 20 \cdot 36 = 14,42 \text{ cm}^2$



Hàm lượng $\mu = \frac{F_a}{b h_0} \cdot 100\% = \frac{14,42}{20 \cdot 36} \cdot 100\% = 2\% > \mu_{\min} = 0,05\%$

Chọn 3φ25 làm cốt chịu kéo có $F_a = 14,73 \text{ cm}^2$;

Độ sai lệch $\Delta = \frac{14,73 - 14,42}{14,42} \cdot 100\% = 2,15\% < 5\%$.

Chọn 2φ12 làm cốt cấu tạo ở vùng nén.

Bố trí thép như hình vẽ 2-8.

Hình 2-8: Bố trí cốt thép chịu lực của ví dụ 2-1

Lấy lớp bê tông bảo vệ theo cấu tạo $C_b = 25 \text{ mm}$.

Khoảng hở giữa các thanh cốt thép:

$$e = (200 - 2 \times 25 - 3 \times 25) / 2 = 37,5 \text{ mm} > e_{\text{ct}}$$

Khoảng cách $a = 25 + 25/2 = 37,5 \text{ mm} = 3,75 \text{ cm} < a_{\text{gt}} = 4 \text{ cm}$.

3.2. Ví dụ 2-2: Tính khả năng chịu mô men uốn cho tiết diện dầm BTCT dạng chữ nhật $b \times h = 200 \times 300$, dùng bê tông mác M200, cốt thép nhóm A-II. Ở vùng chịu kéo đặt 3φ18 chịu lực như hình vẽ 2-9. Lớp bê tông bảo vệ lấy theo cấu tạo.

Giải:

Số liệu tính:

Với bê tông mác M200 có $R_n = 0,9 \text{ KN/cm}^2$;

Với thép A-II có $R_a = R_a' = 28 \text{ KN/cm}^2$;

Khi dùng bê tông M200 thép A-II thì $\alpha_0 = 0,62$; $A_0 = 0,428$

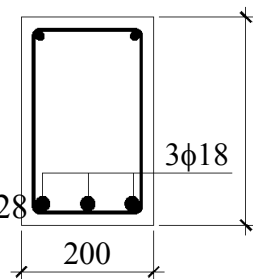
Thép chịu kéo 3φ18 có $F_a = 7,63 \text{ cm}^2$

$a = C_b + d/2 = 20 + 18/2 = 29 \text{ mm} = 2,9 \text{ cm}$

$\Rightarrow h_0 = 30 - 2,9 = 27,1 \text{ cm}$

Tính $\alpha = \frac{R_a \cdot F_a}{R_n \cdot b \cdot h_0} = \frac{28 \cdot 7,63}{0,9 \cdot 20 \cdot 27,1} = 0,438 < \alpha_0$

Từ α tính được $A = 0,342$



Hình 2-9: Tiết diện bố trí cốt thép của ví dụ 2-2

$$M_{gh} = A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 = 0,342 \cdot 0,9 \cdot 20 \cdot (27,1)^2 = 4521 \text{ KN.cm} = 45,2 \text{ KN.m}$$

3.3. Ví dụ 2-3: Thiết kế cốt thép dọc chịu lực cho dầm BTCT tiết diện dạng chữ nhật $b \times h = 250 \times 600$, dùng bê tông mác M250[#], cốt thép nhóm C-III, chịu mô men uốn tính toán $M = 400 \text{ KN.m}$.

Giải:

Số liệu tính: Với bê tông mác M250 có $R_n = 1,1 \text{ KN/cm}^2$;

Với thép C-III có $R_a = R_a' = 34 \text{ KN/cm}^2$;

Khi dùng bê tông M250 thép C-III thì $\alpha_0 = 0,55$; $A_0 = 0,399$

Giả thiết $a = 6 \text{ cm} \Rightarrow h_0 = h - a = 50 - 6 = 54 \text{ cm}$

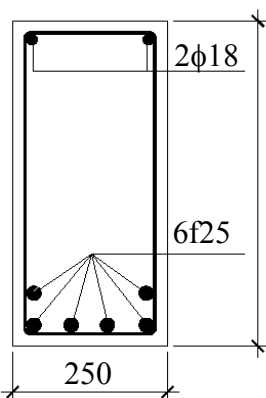
Tính $A = \frac{M}{R_n b h_0^2} = \frac{40000}{1,1 \cdot 25 \cdot 54^2} = 0,499 > A_0 = 0,412$ và $A < 0,5$ nên phải đặt cốt kép.

Giả thiết $a' = 4 \text{ cm}$.

Lấy $\alpha = \alpha_0$ và $A = A_0$, ta được:

$$+ \text{ Thép chịu nén } F_a' \geq \frac{M - A_0 R_n b h_0^2}{R_a' (h_0 - a')} \geq \frac{40000 - 0,399 \cdot 1,1 \cdot 25 \cdot 54^2}{34(54 - 4)} = 4,71 \text{ cm}^2.$$

$$+ \text{ Thép chịu kéo } F_a \geq a_0 \frac{R_n}{R_a} b h_0 + \frac{R_a'}{R_a} F_a' \geq 0,55 \frac{1,1}{34} \cdot 25 \cdot 54 + 4,71 = 28,73 \text{ cm}^2.$$



Hình 2-10: Bố trí cốt thép chịu lực của ví dụ 2-3

Hàm lượng thép chịu kéo:

$$\mu = \frac{F_a}{b h_0} \cdot 100\% = \frac{28,73}{25 \cdot 54} \cdot 100\% = 2,13\% > \mu_{\min} = 0,05\%$$

Chọn 6φ25 làm cốt chịu kéo có $F_a = 29,45 \text{ cm}^2$;

$$\text{Độ sai lệch } \Delta = \frac{29,45 - 28,73}{28,73} \cdot 100\% = 2,51\% < 5\%.$$

Chọn 2φ18 làm cốt chịu nén có $F_a' = 5,09 \text{ cm}^2$;

Bố trí thép như hình vẽ 2-10.

Lấy lớp bê tông bảo vệ theo cấu tạo $C_b = 25 \text{ mm}$.

Khoảng hở giữa các thanh cốt thép:

$$e = (250 - 2 \times 25 - 4 \times 25) / 3 = 33,3 \text{ mm} > e_{ct}$$

Khoảng cách $a = 25 + 25 + 4,2 = 54,2 \text{ mm} = 5,42 \text{ cm} < a_{gt} = 6 \text{ cm}$.

3.4. Ví dụ 2-4: Thiết kế cốt thép dọc chịu kéo cho dầm BTCT tiết diện dạng chữ nhật $b \times h = 200 \times 500$, ở vùng chịu nén có đặt 2 thanh cốt chịu nén φ16, dùng bê tông mác M200[#], cốt thép nhóm A-II, chịu mô men uốn tính toán $M = 182 \text{ KN.m}$.

Giải:

Số liệu tính: Với bê tông mác M200 có $R_n = 0,9 \text{ KN/cm}^2$;

Với thép A-II có $R_a = R_a' = 28 \text{ KN/cm}^2$;

Khi dùng bê tông M200, thép A-II thì $\alpha_0 = 0,62$; $A_0 = 0,428$.

Thép chịu nén $2\phi 16$ có $F_a' = 4,02 \text{ cm}^2$.

Giả thiết $a = 5,5 \text{ cm} \Rightarrow h_0 = h - a = 50 - 5,5 = 44,5 \text{ cm}$

$$\text{Tính } A = \frac{M - R_a F_a' (h_0 - a')}{R_n b h_0^2} = \frac{18200 - 28,4 \cdot 0,02 \cdot (44,5 - 4)}{0,9 \cdot 20 \cdot (44,5)^2} = 0,383 < A_0 = 0,428.$$

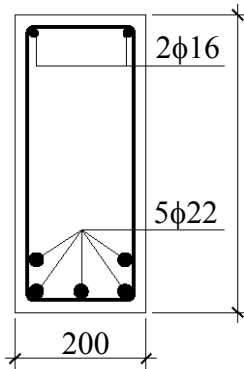
$$\text{Từ } A \text{ tính được } \alpha = 0,516 > \frac{2a'}{h_0} = \frac{2,4}{44,5} = 0,180.$$

$$F_a \geq \alpha \frac{R_n}{R_a} b h_0 + \frac{R_a'}{R_a} F_a' \geq 0,516 \frac{0,9}{28} \cdot 20 \cdot 44,5 + 4,02 = 18,77 \text{ cm}^2.$$

Hàm lượng thép chịu kéo:

$$\mu = \frac{F_a}{b h_0} \cdot 100\% = \frac{18,77}{20 \cdot 44,5} \cdot 100\% = 2,11\% > \mu_{\min} = 0,05\%$$

Chọn $5\phi 22$ làm cốt chịu kéo có $F_a = 19,00 \text{ cm}^2$;



Hình 2-11: Bố trí cốt thép chịu lực của ví dụ 2-4

$$\text{Độ sai lệch } \Delta = \frac{19,00 - 18,77}{18,77} \cdot 100\% = 1,23\% < 5\%.$$

Bố trí thép như hình vẽ 2-11.

Lấy lớp bê tông bảo vệ theo cấu tạo $C_b = 22 \text{ mm}$.

Khoảng hở giữa các thanh cốt thép:

$$e = (200 - 2 \times 22 - 3 \times 22) / 2 = 45 \text{ mm} > e_{\text{ct}}$$

$$\begin{aligned} \text{Khoảng cách } a &= 22 + 22 + 7,8 = 51,8 \text{ mm} \\ &= 5,18 \text{ cm} < a_{\text{gt}} = 5,5 \text{ cm}. \end{aligned}$$

3.5. Ví dụ 2-5: Tính khả năng chịu mô men uốn cho tiết

diện dầm BTCT dạng chữ nhật $b \times h = 200 \times 400$, dùng bê tông mác M200[#], cốt thép nhóm A-II. Ở vùng chịu kéo đặt $3\phi 22$ với khoảng cách $a = 3,5 \text{ cm}$; ở vùng chịu nén đặt $2\phi 14$ với khoảng cách $a' = 3 \text{ cm}$.

Giải:

Số liệu tính:

Với bê tông mác M200 có $R_n = 0,9 \text{ KN/cm}^2$; với thép A-II có $R_a = R_a' = 28 \text{ KN/cm}^2$;

Khi dùng bê tông M200 thép A-II thì $\alpha_0 = 0,62$; $A_0 = 0,428$

Thép chịu kéo $3\phi 22$ có $F_a = 11,40 \text{ cm}^2$, thép chịu nén $2\phi 14$ có $F_a' = 3,08 \text{ cm}^2$;

Với $a = 3,5 \text{ cm}$ có $h_0 = h - a = 40 - 3,5 = 36,5 \text{ cm}$.

$$\text{Tính } \alpha = \frac{R_a F_a - R_a' F_a'}{R_n b h_0} = \frac{28(11,4 - 3,08)}{0,9 \cdot 20 \cdot 36,5} = 0,488 < \alpha_0$$

$$\text{và } \alpha > \frac{2a'}{h_0} = 2 \cdot 3 / 36,5 = 0,164$$

Nên từ α tính được $A = 0,369$. Tính:

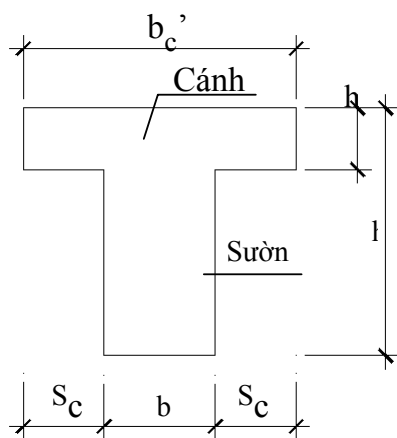
$$M_{gh} = A.R_n.b.h_0^2 + R_a'F_a'(h_0-a') = 0,369.0,9.20.(36,5)^2 + 28.3,08(36,5-3) = 11738\text{KN.cm} = 117,4\text{KN.m}$$

IV. TÍNH TOÁN CẦU KIẾN CHỊU UỐN CÓ TIẾT DIỆN CHỮ T THEO CƯỜNG ĐỘ TRÊN TIẾT DIỆN THẲNG GÓC.

1. Đặc điểm cấu tạo.

- Tiết diện chữ T gồm có 2 phần: cánh và sườn. Nếu cánh nằm ở vùng chịu nén của tiết diện thì nó làm tăng diện tích vùng bê tông chịu nén, do đó sự chịu lực sẽ hợp lý.

- Trường hợp do yêu cầu cấu tạo hay lý do nào khác mà cánh của tiết diện nằm ở vùng chịu kéo thì phần cánh không tham gia chịu lực. Khi tính toán tiết diện chữ T có cánh nằm trong vùng chịu kéo xem như tính với tiết diện hình chữ nhật chỉ có phần sườn $b \times h$. Khi tính toán tiết diện chữ I thì chỉ tính như tiết diện chữ T có cánh nằm trong vùng chịu nén.



Hình 2-12: Hình dạng tiết diện chữ T

- Trường hợp cánh nằm trong vùng chịu nén, nếu cánh vươn ra rất dài thì để đảm bảo cánh cùng với sườn chịu lực, khi tính toán chỉ lấy mở rộng cánh không được vượt quá giới hạn sau:

+ Đối với sàn và bản sàn đúc bê tông toàn khối với nhau sẽ lấy không lớn hơn nửa khoảng cách giữa hai mép trong của sườn dọc. Gọi l là nhịp dầm, h_c' là chiều dày của bản cánh thì lấy: $S_c \leq l/6$; $S_c \leq 9 h_c'$ khi $h_c' \geq 0,1h$; $S_c \leq 6 h_c'$ khi $h_c' < 0,1h$.

+ Đối với dầm đứng độc lập lấy: $S_c \leq l/6$; $S_c \leq 6 h_c'$ khi $h_c' \geq 0,1h$; $S_c \leq 3 h_c'$ khi $0,05h < h_c' < 0,1h$; $S_c = 0$ khi $h_c' < 0,05h$; tức là không kể phần nhô ra của cánh khi tính toán.

2. Tính toán cấu kiện có tiết diện chữ T khi cánh nằm trong vùng chịu nén.

Với tiết diện chữ T thường chỉ đặt cốt đơn.

Khi tính toán, dễ nhận thấy khi trục trung hoà đi qua đúng mép giữa cánh và sườn, mô men giới hạn sẽ cân bằng mô men do phần cánh chịu:

$$M_{gh} = M_c = R_n.b_c'.h_c'(h_0 - 0,5h_c') \quad (2-8)$$

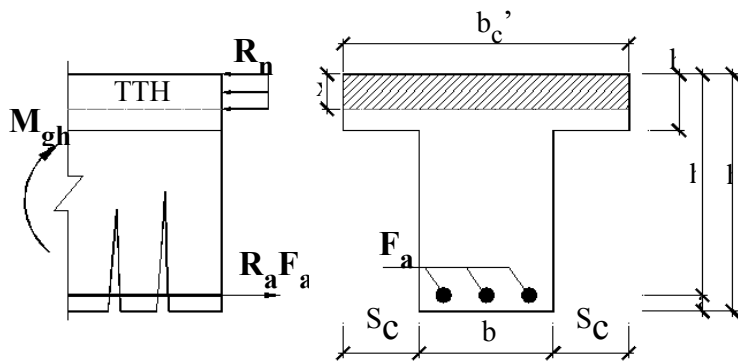
Gọi mô men uốn do tải trọng gây ra là M thì:

+ Khi $M \leq M_c$: trục trung hoà đi qua cánh.

+ Khi $M > M_c$: trục trung hoà đi qua sườn.

2.1. Trường hợp trục trung hoà (TTH) đi qua cánh ($x \leq h_c'$ hoặc $M \leq M_c$)

Trường hợp này, việc tính toán giống như tính với tiết diện hình chữ nhật $b_c' \times h$



a) Sơ đồ ứng suất: Dựa vào trạng thái phá hoại dẻo và lấy:

Hình 2-13: Sơ đồ ứng suất khi TTH qua cánh

+ Tại vùng chịu nén ứng suất trong bê tông bằng nhau và đạt tới R_n .

+ Tại vùng chịu kéo, chỉ có cốt thép F_a làm việc, ứng suất trong cốt thép đạt tới R_a .

b) Phương trình cân bằng: theo sơ đồ ứng suất:

$$\begin{cases} R_a \cdot F_a = R_n \cdot b_c' \cdot x \\ M_{gh} = R_n \cdot b_c' \cdot x \cdot \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) \end{cases} \quad (2-9)$$

(2-10)

c) Công thức cơ bản:

Đặt $\alpha = x/h_0$; $A = \alpha(1-0,5\alpha)$; $\gamma = 1-0,5\alpha$ và cho $M \leq M_{gh}$ được:

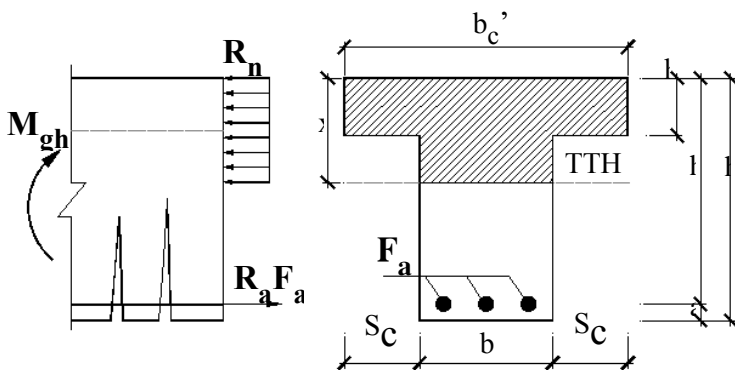
$$\begin{cases} R_a \cdot F_a = \alpha \cdot R_n \cdot b_c' \cdot h_0 \end{cases} \quad (2-9)a$$

$$M \leq A \cdot R_n \cdot b_c' \cdot h_0^2 \quad (2-10)a$$

d) Điều kiện hạn chế:

Công thức chỉ đúng khi $\alpha \leq \alpha_0$ hoặc $A \leq A_0$.

Hàm lượng thép phần sườn $\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0} \cdot 100\%$ cần đảm bảo $\mu \geq \mu_{\min}$.



Hình 2-14: Sơ đồ ứng suất khi TTH qua sườn.

2.2. Trường hợp trục trung hoà (TTH) đi qua sườn ($x > h_c'$ hoặc $M > M_{gh}$)

a) Sơ đồ ứng suất: Dựa vào trạng thái phá hoại dẻo và lấy:

+ Tại vùng chịu nén ứng suất trong bê tông bằng nhau và đạt tới R_n .

+ Tại vùng chịu kéo, chỉ có cốt thép F_a làm việc, ứng suất trong cốt thép đạt tới R_a .

b) Phương trình cân bằng: theo sơ đồ ứng suất:

$$\begin{cases} R_a \cdot F_a = R_n \cdot b \cdot x + R_n (b_c' - b) \cdot h_c' \\ \end{cases} \quad (2-11)$$

$$M_{gh} = R_n \cdot b \cdot x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_n (b_c' - b) \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c') \quad (2-12)$$

c) Công thức cơ bản: đặt $\alpha = x/h_0$; $A = \alpha(1 - 0,5\alpha)$; $\gamma = 1 - 0,5\alpha$ và cho $M \leq M_{gh}$ được:

$$R_a \cdot F_a = \alpha \cdot R_n \cdot b \cdot h_0 + R_n (b_c' - b) \cdot h_c' \quad (2-11)a$$

$$M \leq A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 + R_n (b_c' - b) \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c') \quad (2-12)a$$

d) Điều kiện hạn chế:

Công thức chỉ đúng khi $\alpha \leq \alpha_0$ hoặc $A \leq A_0$.

Hàm lượng thép phần sườn $\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0} \cdot 100\%$ cần đảm bảo $\mu \geq \mu_{\min}$.

2.3. Bài toán thường gặp:

a) Bài toán 6: Bài toán tính cốt thép F_a .

Cho biết trị số mô men M , kích thước tiết diện (b , h , b_c' , h_c'), mác bê tông, nhóm cốt thép. Yêu cầu thiết kế cốt thép F_a .

- Tìm các số liệu cần thiết: Căn cứ vào mác bê tông và nhóm cốt thép, tra bảng ra R_n , R_a , α_0 , A_0 . Giả thiết a để tính $h_0 = h - a$.

- Tính $M_c = R_n \cdot b_c' \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c')$ và so sánh M với M_c để xác định vị trí TTH, sẽ xảy ra một trong hai trường hợp sau:

***Trường hợp 1:** Nếu $M \leq M_c$ thì TTH qua cánh, khi đó việc tính toán tiến hành như đối

với tiết diện hình chữ nhật ($b_c' \times h$). Tính $A = \frac{M}{R_n b_c' h_0^2}$; nếu $A \leq A_0$ thì từ A tính hoặc tra bảng được α . Tính $F_a = \alpha \frac{R_n}{R_a} b_c' \cdot h_0$.

Lưu ý: Kiểm tra hàm lượng thép, chỉ tính với phần sườn: $\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0} \cdot 100\%$.

***Trường hợp 2:** Nếu $M > M_c$ thì TTH qua sườn, khi đó việc tính toán tiến hành như đối với tiết diện hình chữ T.

$$\text{- Tính } A = \frac{M - R_n (b_c' - b) h_c' (h_0 - 0,5 h_c')}{R_n b h_0^2};$$

Nếu $A > A_0$ thì tăng tiết diện phần sườn rồi tính lại.

Nếu $A \leq A_0$ thì từ A tính hoặc tra bảng được α .

$$\text{Tính } F_a = \alpha \frac{R_n}{R_a} b \cdot h_0 + \frac{R_n}{R_a} (b_c' - b) \cdot h_c'$$

- Tính hàm lượng thép: $\mu = \frac{F_a}{b \cdot h_0} \cdot 100\%$, nếu $\mu < \mu_{\min}$ thì lấy $F_{\min} \geq \mu_{\min} \cdot b \cdot h_0$.

- Chọn đường kính và bố trí cốt thép như bài toán 1.

b) Bài toán 7: Tính khả năng chịu uốn M_{gh} của tiết diện.

Cho biết diện tích cốt thép F_a và cách bố trí, kích thước tiết diện (b, h, b_c', h_c'), mác bê tông, nhóm cốt thép. Yêu cầu tính khả năng chịu uốn M_{gh} .

- Tìm các số liệu cần thiết: Căn cứ vào mác bê tông và nhóm cốt thép, tra bảng ra R_n, R_a, α_0, A_0 . Từ cách bố trí cốt thép tính được a và tính $h_0 = h - a$.

- Xác định TTH dựa vào trường hợp khi TTH đi qua đúng mép giữa cánh và sườn. Phương trình hình chiếu các lực lên phương trục dầm là:

$$R_a F_a = R_n b_c' h_c' \quad (2-13)$$

Khi tính toán sẽ xảy ra một trong hai trường hợp sau:

***Trường hợp 1:** Nếu $R_a F_a \leq R_n b_c' h_c'$ thì TTH qua cánh, khi đó việc tính toán tiến hành như đối với tiết diện hình chữ nhật ($b_c' \times h$).

$$\text{Khi đó tính } \alpha = \frac{R_a F_a}{R_n b_c' h_0}.$$

+ Nếu $\alpha \leq \alpha_0$ thì từ α tính hoặc tra bảng được A rồi tính $M_{gh} = A \cdot R_n \cdot b_c' \cdot h_0^2$

+ Nếu $\alpha > \alpha_0$ thì lấy $\alpha = \alpha_0$ rồi tính $M_{gh} = A_0 \cdot R_n \cdot b_c' \cdot h_0^2$

***Trường hợp 2:** Nếu $R_a F_a > R_n b_c' h_c'$ thì TTH qua sườn, khi đó việc tính toán tiến hành như đối với tiết diện hình chữ T.

$$\text{Khi đó tính } \alpha = \frac{R_a F_a - R_n (b_c' - b) h_c'}{R_n b h_0}.$$

+ Nếu $\alpha \leq \alpha_0$ thì từ α tính hoặc tra bảng được A rồi tính

$$M_{gh} = A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 + R_n (b_c' - b) \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c')$$

+ Nếu $\alpha > \alpha_0$ thì lấy $\alpha = \alpha_0$ rồi tính

$$M_{gh} = A_0 \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 + R_n (b_c' - b) \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c')$$

3. Bài tập ví dụ.

3.1. Ví dụ 2-6: Thiết kế cốt thép dọc chịu kéo cho dầm BTCT tiết diện dạng chữ T có $b=200, h=400, b_c'=460, h_c'=80$, cánh nằm trong vùng chịu nén. Dùng bê tông mác M200[#], cốt thép nhóm A-II, chịu mô men uốn tính toán $M=126\text{KNm}$.

Giải: Số liệu tính:

Với bê tông mác M200 có $R_n = 0,9 \text{ KN/cm}^2$; với thép A-II có $R_a = R_a' = 28 \text{ KN/cm}^2$;

Khi dùng bê tông M200, thép A-II thì $\alpha_0 = 0,62; A_0 = 0,428$.

Giả thiết $a=4\text{cm} \Rightarrow h_0 = h - a = 40 - 4 = 36 \text{ cm}$.

Tính $M_c = R_n \cdot b_c' \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c') = 0,9 \cdot 46 \cdot 8 \cdot (36 - 0,5 \cdot 8) = 10598 \text{ KNcm}$.

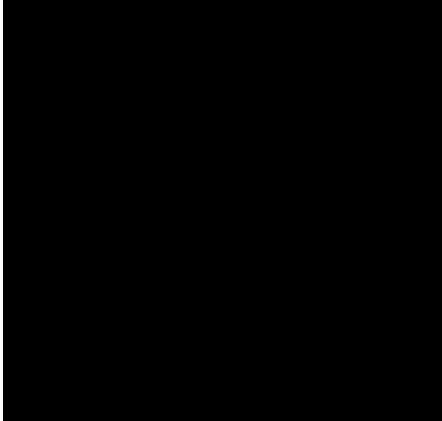
Có $M > M_c$ nên TTH đi qua sườn.

$$\text{Tính } A = \frac{M - R_n (b_c' - b) \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c')}{R_n b h_0^2} = \frac{12600 - 0,9 \cdot (46 - 20) \cdot 8 \cdot (36 - 0,5 \cdot 8)}{0,9 \cdot 20 \cdot (36)^2} = 0,283$$

Từ $A < A_0 = 0,428$, tính được $\alpha = 0,342$ rồi tính được:

$$F_a \geq \alpha \frac{R_n}{R_a} b h_0 + \frac{R_n}{R_a} (b_c' - b) \cdot h_c'$$

$$= 0,342 \frac{0,9}{28} \cdot 20 \cdot 36 + \frac{0,9}{28} (46 - 20) \cdot 8 = 14,59 \text{ cm}^2.$$



Hình 2-15: *Bố trí cốt thép chịu lực của dầm 2-*

Hàm lượng thép chịu kéo:

$$= \frac{F_a}{b \cdot h} \cdot 100\% = \frac{14,73}{20 \cdot 46} \cdot 100\%$$

$$= 2,03\% > m_{\min} = 0,05\%$$

Chọn 3 ϕ 25 làm cốt chịu kéo có $F_a = 14,73 \text{ cm}^2$;

$$\text{Độ sai lệch } \Delta = \frac{F_a - F_{a_{\text{thực}}}}{F_a} \cdot 100\%$$

$$= 0,96\% < 5\%.$$

Bố trí thép như hình vẽ 2-15.

Lấy lớp bê tông bảo vệ theo cấu tạo $C_b = 25 \text{ mm}$.

Khoảng hở giữa các thanh cốt thép:

$$e = (200 - 2 \times 25 - 3 \times 25) / 2 = 37,5 \text{ mm} > e_{\text{ct}}$$

Khoảng cách $a = 25 + 12,5 = 37,5 \text{ mm} = 3,75 \text{ cm} < a_{\text{gt}} = 4 \text{ cm}$.

3.2. Ví dụ 2-7: Thiết kế cốt thép dọc chịu kéo cho dầm BTCT tiết diện dạng chữ T $b = 200$, $h = 450$, $b_c' = 500$, $h_c' = 100$, cánh nằm trong vùng chịu nén. Dùng bê tông mác M200[#], cốt thép nhóm C-II, chịu mô men uốn tính toán $M = 140 \text{ kNm}$.

Giải:

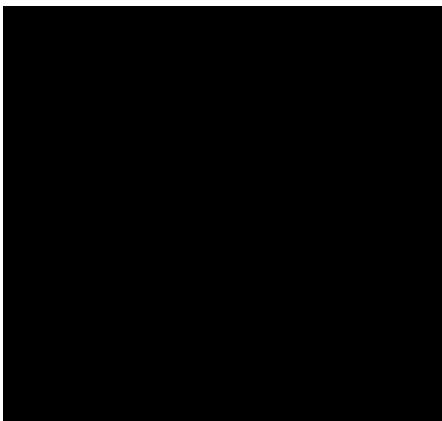
Số liệu tính: Với bê tông mác M200 có $R_n = 0,9 \text{ KN/cm}^2$;

Với thép C-II có $R_a = R_a' = 26 \text{ KN/cm}^2$;

Khi dùng bê tông M200 thép C-II thì $\alpha_0 = 0,62$; $A_0 = 0,428$

Giả thiết $a = 4 \text{ cm} \Rightarrow h_0 = h - a = 41 \text{ cm}$

Tính $M_c = R_n \cdot b_c' \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c') = 0,9 \cdot 50 \cdot 10 (41 - 0,5 \cdot 10) = 16200 \text{ kNcm}$.



Hình 2-16: *Bố trí cốt thép chịu lực của dầm 2-7*

Có $M < M_c$ nên TTH đi qua cánh, việc tính toán như tính với tiết diện chữ nhật $b_c' \times h$.

$$\text{Tính } A = \boxed{\times} = \boxed{\times} = 0,185 < A_0 = 0,428 \text{ nên từ } A \text{ tính được } a = 0,206$$

$$\begin{aligned} \text{Tính } F_a &= \alpha \boxed{\times} b_c' h_0 \\ &= 0,206 \cdot \boxed{\times} \cdot 50 \cdot 41 = 14,64 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Hàm lượng } \mu = \boxed{\times} \cdot 100\% = \boxed{\times} \cdot 100\% = 1,79\% > \mu_{\min} = 0,05\%$$

Chọn 3 ϕ 25 làm cốt chịu kéo có $F_a = 14,73 \text{ cm}^2$;

$$\text{Độ sai lệch } \Delta = \boxed{\times} \cdot 100\% = 0,61\% < 5\%.$$

Bố trí thép như hình vẽ 2-16. Lấy lớp bê tông bảo vệ theo cấu tạo $C_b = 25\text{mm}$.

Khoảng hở giữa các thanh cốt thép: $e = (200 - 2 \times 25 - 3 \times 25) / 2 = 37,5\text{mm} > e_{ct}$

$$\begin{aligned} \text{Khoảng cách } a &= 25 + 12,5 = 37,5\text{mm} \\ &= 3,75\text{cm} < a_{gt} = 4\text{cm}. \end{aligned}$$

3.3. Ví dụ 2-8: Tính khả năng chịu mô men uốn cho tiết diện dầm BTCT dạng chữ T kích thước $b=200$, $h=350$, $b_c'=360$, $h_c'=80$, dùng bê tông mác M200[#], cốt thép nhóm A-II. Ở vùng chịu kéo đặt 3 ϕ 22 với khoảng cách $a=3,5\text{cm}$.

Giải:

Số liệu tính:

Với bê tông mác M200 có $R_n = 0,9 \text{ KN/cm}^2$; với thép A-II có $R_a = R_a' = 28 \text{ KN/cm}^2$;

Khi dùng bê tông M200 thép A-II thì $\alpha_0 = 0,62$; $A_0 = 0,428$.

Thép chịu kéo 3 ϕ 22 có $F_a = 11,4\text{cm}^2$;

Với $a=3,5\text{cm}$ có $h_0 = h - a = 35 - 3,5 = 31,5\text{cm}$.

Tính $R_a F_a = 28 \cdot 11,4 = 319,2\text{KN}$; $R_n b_c' h_c' = 0,9 \cdot 36 \cdot 8 = 259,2\text{KN}$.

Có $R_a F_a > R_n b_c' h_c'$ nên TTH qua sườn, khi đó

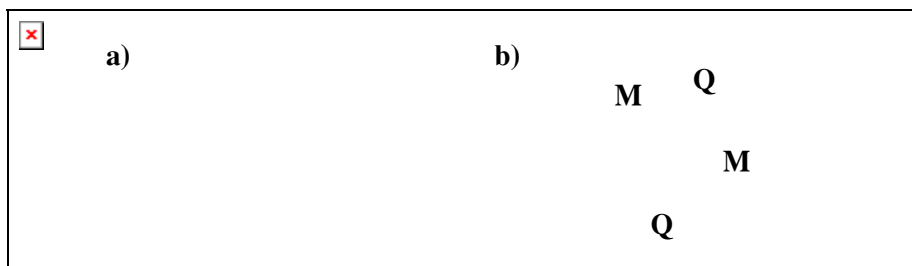
$$\text{Tính } \alpha = \boxed{\times} = \boxed{\times} = 0,360 \leq \alpha_0 = 0,62.$$

Từ α tính được $A = 0,295$;

$$\begin{aligned} M_{gh} &= A \cdot R_n \cdot b \cdot h_0^2 + R_n (b_c' - b) \cdot h_c' (h_0 - 0,5 h_c') \\ &= 0,295 \cdot 0,9 \cdot 20 \cdot (31,5)^2 + 0,9 \cdot (36 - 20) \cdot 8 \cdot (31,5 - 0,5 \cdot 8) \\ M_{gh} &= 8438 \text{ KNcm} = 84,4 \text{ KNm}. \end{aligned}$$

V. TÍNH TOÁN THEO CƯỜNG ĐỘ TRÊN TIẾT DIỆN NGHIÊNG (TÍNH CHỐNG CẮT).

1. Sự phá hoại trên tiết diện nghiêng.



Hình 2-17: Sự phá hoại trên tiết diện nghiêng

Ở những đoạn dầm có ứng suất lớn, ứng suất pháp do mô men và ứng suất tiếp do lực cắt sẽ gây ra những ứng suất kéo chính nghiêng với trục dầm một góc α và làm xuất hiện những vết nứt nghiêng (hình 2-17a).

Ta hiểu sự phá hoại này như sau: Trên tiết diện nghiêng có tác dụng của mô men uốn và lực cắt, mô men uốn có xu hướng làm quay hai phần dầm xung quanh vùng chịu nén, còn lực cắt có xu hướng kéo tách hai phần dầm theo phương vuông góc với trục dầm (hình 2-17b).

Về cốt thép: cốt dọc và cốt xiên có tác dụng chống lại sự quay của dầm (do mô men), còn cốt đai và cốt xiên có tác dụng chống lại sự tách hai phần dầm (do lực cắt). Cốt dọc cũng có tác dụng chịu lực cắt nhưng trong tính toán, để đơn giản người ta thường không kể đến tác dụng này.

2. Các điều kiện tính chống cắt: Gọi Q là lực cắt mà dầm phải chịu.

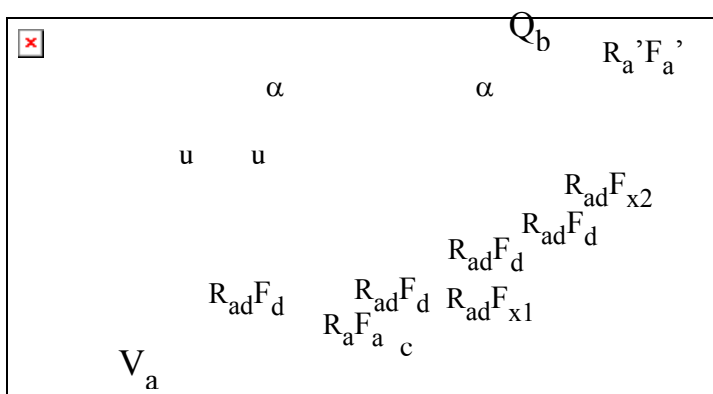
- Khi $Q \leq k_1 R_k b h_0$ thì chỉ riêng bê tông đã đủ chịu lực cắt, không phải tính chống cắt. Nếu có đặt cốt đai hay cốt xiên thì cũng chỉ là theo yêu cầu cấu tạo. Hệ số k_1 lấy như sau: Đối với dầm lấy $k_1 = 0,6$, đối với bản lấy $k_1 = 0,8$.

- Khi $Q > k_0 R_n b h_0$ thì sẽ xuất hiện nhiều khe nứt nghiêng, vết nứt sẽ phát triển rộng, dễ xảy ra nguy hiểm. Trường hợp này nên tăng kích thước tiết diện. Hệ số k_0 lấy như sau: Bê tông mác $\leq M400$ trở xuống lấy $k_0 = 0,35$, bê tông mác $\leq M500$ lấy $k_0 = 0,3$, bê tông mác $\leq M600$ lấy $k_0 = 0,25$.

- Vậy chỉ tính toán chống cắt khi: $k_1 R_k b h_0 < Q \leq k_0 R_n b h_0$ (2-14)

3. Khả năng chịu lực cắt trên tiết diện nghiêng

3.1. Sơ đồ ứng suất trên tiết diện nghiêng



Hình 2-18: Sơ đồ ứng suất trên tiết diện nghiêng

Sơ đồ ứng suất lấy như trên hình 2-18. Ngoài các kí hiệu đã biết còn có thêm các kí hiệu:

c: hình chiếu của tiết diện nghiêng lên phương trục dầm.

u: khoảng cách giữa các cốt đai.

α : góc uốn nghiêng của cốt xiên.

R_{ad} : cường độ tính toán của thép khi làm cốt đai và cốt xiên.

$F_{x1}, F_{x2} \dots$: diện tích tiết diện ngang lớp cốt xiên thứ 1, thứ 2 ...

F_d : diện tích tiết diện ngang của một lớp cốt đai: $F_d = n \cdot f_d$, với n là số nhánh cốt đai trên một lớp, f_d là diện tích tiết diện ngang của một nhánh cốt đai.

Khi tính toán lấy: ứng suất trong bê tông vùng chịu nén đạt R_n , ứng suất trong thép chịu kéo đạt R_a , ứng suất trong thép chịu nén đạt R_a' , ứng suất trong cốt đai và cốt xiên đạt R_{ad} .

3.2. Phương trình cân bằng:

Tổng hình chiếu tất cả các lực lên phương vuông góc trục cấu kiện, ta được:

$$Q \leq Q_b + \Sigma R_{ad} F_d + \Sigma R_{ad} F_x \sin \alpha \quad (2-15)$$

Trong đó:

- Khả năng chịu cắt của riêng bê tông là Q_b được xác định theo công thức thực nghiệm:

$$Q_b = \boxed{\phantom{0.6 R_{bt} F_{td}}} \quad (2-16)$$

- Khả năng chịu lực cắt của riêng cốt đai là $Q_d = \Sigma R_{ad} F_d + \boxed{\phantom{0.8 R_{ad} F_d}}$ c. Gọi khả năng chịu cắt của cốt đai phân bố đều theo chiều dài dầm là q_d thì

$$q_d = \boxed{\phantom{0.8 R_{ad} F_d}} \quad (2-17)$$

$$\text{Nên} \quad Q_d = \Sigma R_{ad} F_d = \boxed{\phantom{0.8 R_{ad} F_d}} c = q_d \cdot c \quad (2-18)$$

- Khả năng chịu lực cắt của cốt xiên là $Q_x = \Sigma R_{ad} F_x \sin \alpha \quad (2-19)$

- Thay các giá trị Q_b, Q_d vào (8-15) ta được công thức tính khả năng chịu lực cắt trên tiết diện nghiêng:

$$Q \leq \boxed{\phantom{0.6 R_{bt} F_{td}}} + q_d \cdot c + Q_x \quad (2-20)$$

4. Tính toán cốt đai khi không có cốt xiên.

4.1. Tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất:

Khi không có cốt xiên ($F_x=0$), chỉ có bê tông và cốt đai chịu lực cắt. Khả năng chịu lực cắt của bê tông và cốt đai gộp lại là Q_{db} :

$$Q_{db} = \boxed{\phantom{0.6 R_{bt} F_{td}}} + q_d \cdot c \quad (2-21)$$

Thấy rằng Q_{db} phụ thuộc vào c. Bằng khảo sát hàm số Q_{db} ta thấy khi giá trị $c=c_0$ thì hàm số Q_{db} đạt cực tiểu, tức là tại tiết diện đó thì khả năng chịu lực cắt là bé nhất. Tiết diện tại $c=c_0$ gọi là tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất với giá trị cực trị:

$$c_0 = \boxed{\phantom{0.6 R_{bt} F_{td}}} \quad (2-22)$$

Thay giá trị c_0 vào công thức tính ta được khả năng chịu lực cắt tại tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất:

$$Q_{db} = \boxed{} \quad (2-23)$$

4.2. Tính khoảng cách giữa các cốt đai:

Cốt đai trong dầm được xác định bởi 3 đại lượng: đường kính cốt đai d , số nhánh cốt đai n và khoảng cách giữa hai cốt đai gần nhau là u . Khi tính toán chống cắt mà không dùng cốt xiên, người ta thường căn cứ vào độ lớn của dầm để chọn trước đường kính và số nhánh cốt đai, sau đó chọn khoảng cách giữa các cốt đai theo 3 yếu tố sau:

a) Khoảng cách cốt đai theo khả năng chịu lực cắt trên tiết diện nghiêng nguy hiểm nhất (u_{tt}).

Từ $Q \leq Q_{db} = \boxed{}$ rút ra $q_d \geq \boxed{}$ (2-24)

Mà $q_d = \boxed{}$ cho nên $u = \boxed{}$

Rút ra $u \leq u_{tt} = R_{ad} \cdot F_d \cdot \boxed{}$ (2-25)

b) Khoảng cách lớn nhất giữa hai cốt đai (u_{max}).

Để tránh xảy ra sự phá hoại trên tiết diện nghiêng nằm giữa hai cốt đai ($c < u$), tiết diện này chỉ có bê tông chịu cắt nên điều kiện cường độ là $Q \leq Q_b = \boxed{}$ rút ra $u \leq \boxed{}$. Để tăng mức độ an toàn, tiêu chuẩn thiết kế cho phép lấy $u \leq \boxed{}$.

Gọi khoảng cách lớn nhất giữa hai cốt đai gần nhất là u_{max} , lấy:

$$u_{max} = \boxed{}. \quad (2-26)$$

Khi thiết kế phải lấy $u \leq u_{max}$

c) Khoảng cách cốt đai theo yêu cầu cấu tạo (u_{ct}).

Trong đoạn dầm phải tính chống cắt và đoạn dầm gần gối tựa, khoảng cách giữa các cốt đai không được lớn quá qui định:

+ Với dầm có chiều cao $h > 450\text{mm}$ thì lấy $u_{ct} \leq \boxed{}$ và $u_{ct} \leq 300\text{mm}$;

+ Với dầm có chiều cao $h \leq 450\text{mm}$ thì lấy $u_{ct} \leq \boxed{}$ và $u_{ct} \leq 150\text{mm}$;

Trong đoạn dầm bên trong (khoảng giữa dầm), qui định như sau:

+ Với dầm có chiều cao $h > 300\text{mm}$ thì lấy $u_{ct} = \boxed{}h$ và $u_{ct} \leq 500\text{mm}$;

+ Với dầm có chiều cao $h \leq 300\text{mm}$ mà $Q \leq k_1 R_k b h_0$ thì có thể không đặt cốt đai.

***Kết luận:** Khi thiết kế chọn khoảng cách giữa các cốt đai: $u \leq u_{tt}$, $u \leq u_{max}$ và $u \leq u_{ct}$; đồng thời chọn u là số chẵn theo cm để dễ thi công.

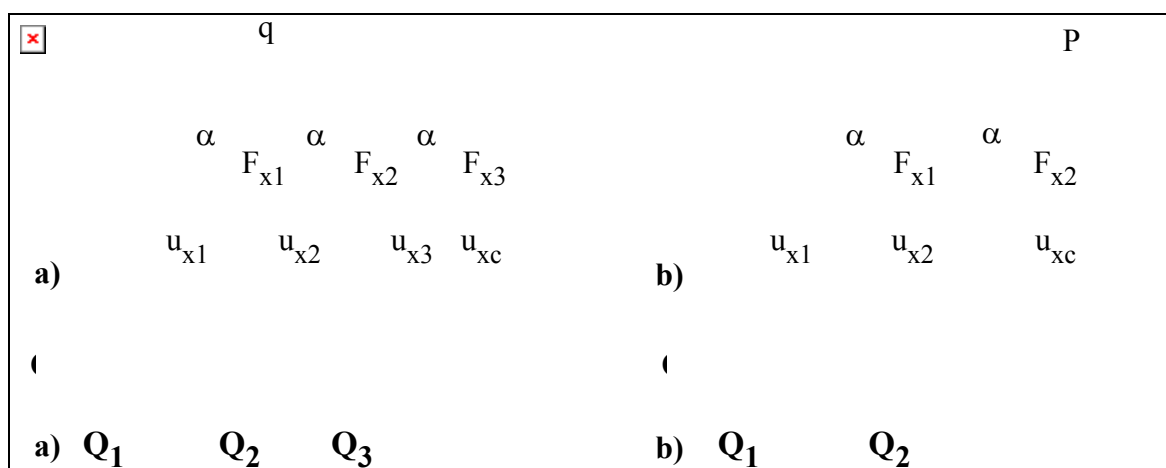
5. Tính toán cốt xiên.

Khi đầm chịu lực cắt lớn, người ta phải dùng cả cốt đai và cốt xiên. Thông thường người ta chọn và bố trí cốt đai trước (d, n, u) qua đó tính được Q_{db} để so sánh với lực cắt Q mà đầm phải chịu. Chỉ phải tính toán và bố trí cốt xiên cho đoạn đầm nào có $Q > Q_{db}$.

5.1. Bố trí lớp cốt xiên:

Khi bố trí cốt xiên, vị trí các lớp cốt xiên phải thỏa mãn các yêu cầu theo tính toán (xem hình vẽ 2-19).

Gọi khoảng cách từ đầu mép gối tựa đến đầu lớp cốt xiên thứ nhất là u_{x1} ; khoảng cách từ điểm cuối lớp cốt xiên thứ nhất đến điểm đầu lớp cốt xiên thứ 2 là u_{x2} ; khoảng cách từ điểm cuối lớp cốt xiên cuối cùng đến tiết diện có $Q < Q_{db}$ là u_{xc} . Yêu cầu $u_{x1}, u_{x2}, \dots, u_{xc}$ đều phải nhỏ hơn u_{max} .



Hình 2-19: Xác định vị trí các lớp cốt xiên.

a) Trường hợp tải trọng phân bố đều. b) Trường hợp tải trọng tập trung

Đường kính cốt xiên thường dùng từ $10 \div 25\text{mm}$

5.2. Tính toán diện tích các lớp cốt xiên:

Theo lý thuyết, một tiết diện nghiêng nguy hiểm có thể cắt qua nhiều lớp cốt xiên, khi đó việc tính toán phức tạp. Để tính toán đơn giản và an toàn, có thể cho rằng mỗi tiết diện nghiêng nguy hiểm chỉ cắt qua một lớp cốt xiên. Khi đó tính được:

$$Q_1 \leq Q_{db} + \Sigma R_{ad} F_{x1} \sin \alpha \quad \text{rút ra} \quad F_{x1} \geq \boxed{\text{[]}} \quad (2-27)$$

$$Q_2 \leq Q_{db} + \Sigma R_{ad} F_{x2} \sin \alpha \quad \text{rút ra} \quad F_{x2} \geq \boxed{\text{[]}} \quad (2-28)$$

$$Q_3 \leq Q_{db} + \Sigma R_{ad} F_{x3} \sin \alpha \quad \text{rút ra} \quad F_{x3} \geq \boxed{\text{[]}} \quad (2-29)$$

Các giá trị Q_1, Q_2, Q_3 lấy như trên hình 2-19.

6. Bài tập ví dụ.

6.1. Ví dụ 2-9: Tính toán chống cắt cho đầm đơn giản có nhịp 4,8m; kích thước tiết diện ngang $20 \times 45\text{cm}$; $h_0 = 41\text{cm}$, chịu tải trọng phân bố đều $q = 40\text{KN/m}$. Dùng bê tông mác M200[#], cốt thép nhóm A-I.

Giải:

Số liệu tính:

Với bê tông mác M200 có $R_n = 0,9 \text{ KN/cm}^2$, $R_k = 0,075 \text{ KN/cm}^2$;

Với thép A-I có $R_{ad} = 18 \text{ KN/cm}^2$;

Giá trị lực cắt lớn nhất $Q = \boxed{\times} = 96 \text{ KN}$

Có $k_1 R_k b h_0 = 0,6 \cdot 0,075 \cdot 20 \cdot 41 = 36,9 \text{ KN}$

$k_0 R_n b h_0 = 0,35 \cdot 0,9 \cdot 20 \cdot 41 = 258,3 \text{ KN}$

Vì $36,9 \text{ KN} < Q = 96 \text{ KN} < 258,3 \text{ KN}$ nên phải tính toán chống cắt.

Chọn đai $\phi 6$ ($f_d = 0,283 \text{ cm}^2$), đai 2 nhánh ($n=2$). $F_d = n \cdot f_d = 2 \cdot 0,283 = 0,566 \text{ cm}^2$.

Khoảng cách tính toán giữa hai cốt đai:

$$u_{tt} = R_{ad} \cdot F_d \boxed{\times} = 23 \cdot 0,566 \cdot \boxed{\times} = 28,49 \text{ cm.}$$

Khoảng cách lớn nhất giữa hai cốt đai:

$$u_{\max} = \boxed{\times} = \boxed{\times} = 39,4 \text{ cm.}$$

Khoảng cách cấu tạo giữa hai cốt đai: $u_{ct} = 150 \text{ mm}$

Vậy: Khoảng cách thiết kế giữa hai cốt đai: $u = 15 \text{ cm}$.

Với khoảng cách bố trí này, có: $q_d = \boxed{\times} = \boxed{\times} = 0,868 \text{ KN/cm.}$

$$Q_{db} = \boxed{\times} = \boxed{\times} = 132,3 \text{ KN.}$$

Có $Q < Q_{db}$ nên chỉ riêng bê tông và cốt đai đã đủ chịu lực cắt, không phải tính toán đặt cốt xiên.