پیچش تعادلی و سازگاری

ص ۷۷

۹-۸-۶-۱-۴ اگر $T_u \geq \phi T_{th}$ بوده و مقدار T_u برای تامین تعادل لازم باشد (پیچش تعادلی)، عضو باید برای مقاومت در مقابل پیچش T_u طراحی شود. در مقابل در سازه‌های نامعین استاتیکی که $T_u \geq \phi T_{th}$ است و کاهش مقدار T_u می‌تواند به باز توزیع نیروهای داخلی پس از وقوع ترک خوردگی‌های پیچشی منجر شود (پیچش همسازی)، اگر $T_u > \phi T_{cr}$ باشد، باید مقدار T_u تا حد ϕT_{cr} کاهش یابد؛ به طوری که T_{cr} پیچش ترک خوردگی است که بر اساس رابطه‌های (۹-۸-۲۹) تعیین می‌شود.

رابطه پیچش ترک خوردگی

ص ۷۷

$T_{cr} = \frac{T_{cr}}{2At}$

۹-۸-۶-۲-۲ پیچش ترک خوردگی، T_{cr}، برای مقاطع توپر و تو خالی بر اساس رابطه‌های (۹-۸-۲۹) محاسبه می‌شود. در این رابطه‌ها، مقدار N_u معرف نیروی محوری است که برای فشار، مثبت فرض شده، و برای کشش، منفی در نظر گرفته می‌شود.

– بدون حضور نیروی محوری:

$$T_{cr} = 0.33\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right) \qquad \text{(۹-۸-۲۹-الف)}$$

صرف نظر از پیچش

ص ۷۷

$T_u < \phi \frac{T_{cr}}{4}$ T_{th}

– بدون حضور نیروی محوری:

$$T_{th} = 0.083\lambda\sqrt{f'_c}\left(\frac{A_{cp}^2}{p_{cp}}\right) \qquad \text{(۹-۸-۲۸-الف)}$$

مقاومت پیچشی عضو

ص ۷۸

۹-۸-۶-۳-۱ مقاومت پیچشی اسمی عضو بتن آرمه، T_n، بر اساس عمل توام خاموت‌های بسته و فولادهای طولی پیچشی، تامین شده و برابر با کم‌ترین از دو مقدار زیر منظور می‌شود:

$$T_n = \frac{2A_0A_t f_{yt}}{s}\cot\theta \qquad \text{(۹-۸-۳۰-الف)}$$

$$T_n = \frac{2A_0A_t f_y}{p_h}\tan\theta \qquad \text{(۹-۸-۳۰-ب)}$$

در این رابطه‌ها، A_0 سطح مقطع ناخالصی است که با مسیر جریان برش پیچشی احاطه می‌شود؛ و با استفاده از تحلیل و با فرض مقطع جدار نازک تعیین می‌گردد. هم‌چنین می‌توان فرض نمود که $A_0 = 0.85A_{oh}$ باشد؛ که A_{oh} مساحت محصور به بیرونی‌ترین خاموت‌های بسته‌ی پیچشی است. از طرفی زاویه‌ی θ نباید کم‌تر از ۳۰ درجه و بزرگ‌تر از ۶۰ درجه تعیین شود؛ هم‌چنین می‌توان فرض نمود که $\theta = 45^\circ$ باشد. هم‌چنین متغیر A_t مقدار سطح مقطع یک ساق از خاموت بسته‌ای است که در مقابل پیچش مقاومت می‌کند؛ A_l سطح مقطع میلگردهای طولی پیچشی است؛ و p_h محیط خط میانی بیرونی‌ترین خاموت بسته است.

حداکثر تنش برشی در مقطع

ص ۷۸

۹-۸-۶-۳-۲ ابعاد سطح مقطع باید طوری تعیین شود که رابطه‌های زیر تامین گردد:

الف– برای مقاطع توپر:

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66\sqrt{f'_c}\right) \qquad \text{(۹-۸-۳۱-الف)}$$

ب– برای مقاطع تو خالی:

$$\left(\frac{V_u}{b_w d}\right) + \left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right) \leq \phi\left(\frac{V_c}{b_w d} + 0.66\sqrt{f'_c}\right) \qquad \text{(۹-۸-۳۱-ب)}$$

۹-۸-۶-۳-۳ برای مقاطع تو خالی که ضخامت جداره‌ی آن‌ها در پیرامون محیط تغییر می‌کند، رابطه‌ی (۹-۸-۳۱-ب) باید در موقعیتی که عبارت $\left(\frac{V_u}{b_w d}\right) + \left(\frac{T_u p_h}{1.7A_{oh}^2}\right)$ به مقدار حداکثر می‌رسد، ارزیابی گردد.

حداقل آرماتور بسته پیچشی

ص ۱۱۳

۹-۱۱-۵-۲-۳ اگر آرماتورهای عرضی مورد نیاز باشد و بتوان از اثرات پیچشی صرف نظر نمود، حداقل آرماتور برشی در فاصله‌ی s، یعنی $A_{v,min}/s$ نباید از بزرگ‌ترین مقادیر زیر کم‌تر باشد:

$$0.062\sqrt{f'_c}\frac{b_w}{f_{yt}} \qquad \text{(۹-۱۱-۲-الف)}$$

$$0.35\frac{b_w}{f_{yt}} \qquad \text{(۹-۱۱-۲-ب)}$$

۹-۱۱-۵-۲-۳ اگر آرماتور پیچشی لازم باشد، حداقل سطح مقطع آرماتور عرضی به صورت خاموت برشی و پیچشی بسته، $(A_v + 2A_t)_{min}/s$، برابر با بیش‌ترین مقدار (الف) و (ب) که در بند ۹-۱۱-۵-۲-۳ برای برش ذکر شد، در نظر گرفته می‌شود.

$2\left(\frac{A_t}{s}\right)_{min} = \frac{0.35b_w}{f_y}$

حداقل آرماتور طولی پیچشی

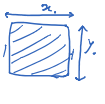
ص ۱۱۴

۹-۱۱-۵-۳-۳ اگر آرماتور پیچشی لازم باشد، حداقل آرماتور طولی پیچشی، $A_{l,min}$، کم‌ترین مقدار (الف) و (ب) در نظر گرفته می‌شود:

$$\min\begin{cases} 0.42\frac{\sqrt{f'_c}A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{A_t}{s}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y} & \text{(۹-۱۱-۳-الف)} \\ 0.42\frac{\sqrt{f'_c}A_{cp}}{f_{yt}} - \left(\frac{0.175b_w}{f_{yt}}\right)p_h\frac{f_{yt}}{f_y} & \text{(۹-۱۱-۳-ب)} \end{cases}$$

فاصله حداکثر آرماتور بسته پیچشی

ص ۱۱۷

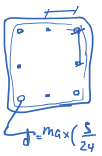


$S_{max} = \min\left(\frac{P_h}{8}, 300\right)$

۹-۱۱-۶-۵-۷ آرماتورهای پیچشی عرضی پس از مقطعی که بر اساس محاسبه به آرماتور پیچشی نیازی ندارد، باید حداقل به اندازه‌ی $b_t + d$ امتداد یابند.

۹-۱۱-۶-۵-۸ فاصله‌ی بین آرماتورهای پیچشی عرضی نباید بیش‌تر از دو مقدار $p_h/8$ و ۳۰۰ میلی متر اختیار شود.

جزئیات آرماتورگذاری طولی پیچشی



ص ۱۱۶

۹-۱۱-۶-۴-۱ اگر آرماتور پیچشی مورد نیاز باشد، آرماتورهای طولی پیچشی باید پیرامون مقطع در داخل محیط خاموت بسته و یا دورگیر به طور یکنواخت توزیع شوند. فاصله‌ی این آرماتورها از یک دیگر نباید بیش‌تر از ۳۰۰ میلی متر باشد. لازم است در هر گوشه‌ی خاموت بسته‌ی پیچشی حداقل یک آرماتور پیچشی طولی قرار داده شود. آرماتورهای پیچشی طولی باید قطری معادل ۰/۰۴۲ برابر فاصله‌ی خاموت‌ها، $0.042s$، ولی نه کم‌تر از ۱۰ میلی متر داشته باشند.

۹-۱۱-۶-۴-۲ آرماتورهای پیچشی طولی پس از مقطعی که بر اساس محاسبه به آرماتور پیچشی نیازی ندارد، باید حداقل به اندازه‌ی $b_t + d$ امتداد یابند. آرماتورهای پیچشی طولی باید در هر دو انتهای تیر مهار شوند.

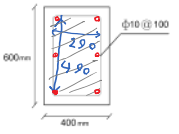
مقطع بحرانی برای پیچش

ص ۱۱۱

۹-۱۱-۲-۵ تمام مقاطعی را که در فاصله‌ی کم‌تر از d از وجه داخلی تکیه‌گاه قرار دارند، می‌توان برای لنگر پیچشی T_u در فاصله‌ی d از بر داخلی تکیه‌گاه طراحی نمود، به شرط آن که در این فاصله هیچ لنگر پیچشی متمرکزی موجود نباشد.

مثال:

مقطع شکل زیر تحت پیچش خالص طراحی شده است. مقاومت پیچشی عضو را محاسبه نموده و کفایت ابعاد مقطع را کنترل نمایید. در انتها مقدار آرماتور طولی مقطع را تعیین نمایید.



$$T_n = 1.7 A_{oh} \frac{A_t}{s} f_{yt}$$

$$A_{oh} = x_o \cdot y_o = 290 \times 490 = 142.1 \times 10^3 \, mm^2$$

$$p_h = 2(x_o + y_o) = 2(290+490) = 1560 \, mm$$

$$T_n = 1.7 \times 142.1 \times 10^3 \times \frac{78.5}{100} \times 400 = 75.9 \times 10^6 \, N.mm = 75.9 \, kN.m$$

$$\phi T_n = 0.75 \times 75.9 = 56.9 \, kN.m \qquad \phi T_n \geq T_u$$

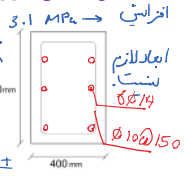
$$\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2} = \frac{56.9 \times 10^6 \times 1560}{1.7 \times 142.1^2 \times 10^6} = 2.58 \, MPa \leq \frac{5}{6}\phi\sqrt{f'_c} = 3.125 \, MPa \quad \checkmark$$

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h = \frac{78.5}{100} \times 1560 = 1225 \, mm^2 > A_{l,min} \rightarrow \text{USE } 6\phi16$$

$$A_{l,min} = \frac{5}{12}\sqrt{f'_c}\frac{A_{cp}}{f_{yt}} - \frac{A_t}{s} p_h = \frac{5}{12}\sqrt{25} \times \frac{400 \times 600}{400} - \frac{78.5}{100} \times 1560 = 25.4 \, mm^2$$

مثال:

مقطع مستطیلی شکل زیر تحت اثر پیچش سازگاری قرار دارد. تیر را برای پیچش خالص طراحی کنید.



$$T_u = \phi T_{cr} \qquad \frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2} = \frac{0.75 \times 48 \times 10^6 \times}{1.7 \times 142.1^2 \times 10^6 \times 1560} = 1.63 \leq$$

$$T_{cr} = \frac{1}{3}\sqrt{f'_c}\frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} = \frac{1}{3}\sqrt{25} \times \frac{(400 \times 600)^2}{2(400+600)} = 48 \, kN.m$$

$$\frac{T_u}{\phi} = T_{cr}$$

$$T_n = 1.7 A_{oh} f_{yt} \frac{A_t}{s} \rightarrow 48 \times 10^6 = 1.7 \times 142.1 \times 10^3 \times 400 \times \frac{A_t}{s}$$

$$\frac{A_t}{s} = 0.49 \, mm \rightarrow \left(\frac{A_v}{s} + 2\frac{A_t}{s}\right) \geq 0.35\frac{b_w}{f_y} \rightarrow 2 \times 0.49 \geq 0.35 \quad \checkmark$$

$$s_{max} = \min\left(\frac{p_h}{8}, 300\right) = 195 \, mm$$

$$\text{try } \phi10: \frac{78.5}{s} = 0.49 \rightarrow s = 160 \, mm < s_{max} = 195 \quad \checkmark \rightarrow \text{USE } \phi10@150$$

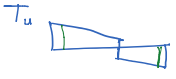
$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h = 0.49 \times 1560 = 764 \, mm^2 > A_{l,min} \quad \checkmark \rightarrow \text{USE } 6\phi14$$

طراحی گام به گام برای پیچش خالص

گام اول: تشخیص نوع پیچش (سازگاری یا تعادلی)

$$T_u = \phi T_{cr}$$

گام دوم: رسم دیاگرام پوش پیچش T_u و تعیین پیچش در مقطع بحرانی



گام سوم: بررسی نیاز به طراحی برای پیچش

گام چهارم: بررسی نیاز به افزایش ابعاد مقطع

$$\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2} \leq \frac{5}{6}\phi\sqrt{f'_c}$$

گام پنجم: تعیین آرماتور عرضی با در نظر گرفتن ضابطه حداقل آرماتور و حداکثر فاصله

$$\frac{T_u}{\phi} \rightarrow T_n = 1.7 A_{oh} \frac{A_t}{s} f_y$$

$$\left(\frac{A_t}{s}\right)_{min} \qquad s_{max}$$

گام ششم: تعیین آرماتور طولی با در نظر گرفتن ضابطه حداقل آرماتور و جزئیات آرماتورگذاری

$$A_l = \frac{A_t}{s} p_h$$

$$d_b \geq \max\left(\frac{s}{24}, 10\right)$$

گام هفتم: کم کردن آرماتورهای طولی و عرضی در طول تیر