الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

ضریب طول مؤثر از نموگرام

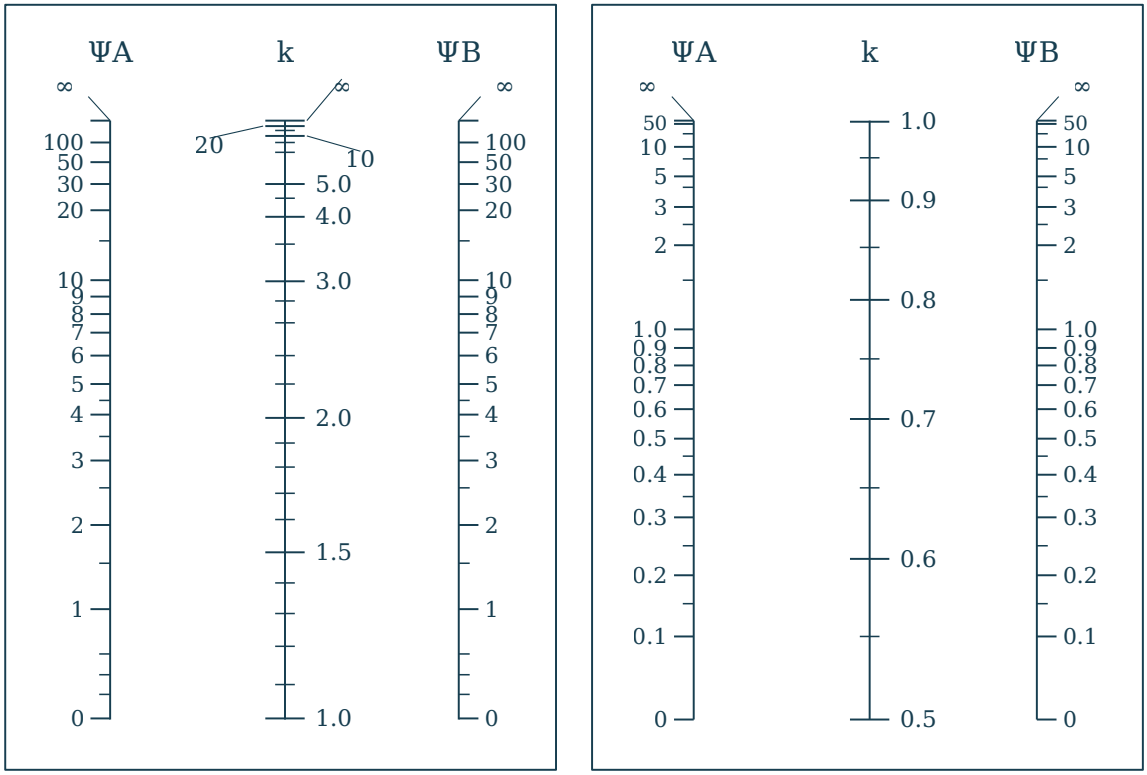
۱ | تشخیص قاب مهارشده یا مهارنشده ◄ ۲ | محاسبهٔ نسبت سختی دو انتها ◄ ۳ | خواندن k از محور میانی

۱ | نسبت سختی در هر گره

$$\Psi_A = \frac{\sum (EI/l_c)_{\text{columns},A}}{\sum (EI/l_c)_{\text{beams},A}} \qquad \Psi_B = \frac{\sum (EI/l_c)_{\text{columns},B}}{\sum (EI/l_c)_{\text{beams},B}}$$

سهم ستون‌ها در صورت و سهم تیرها در مخرج است. طول هر عضو از مرکز تا مرکز اتصال اندازه‌گیری می‌شود؛ I از مشخصات مناسب مقطع در تحلیل به دست می‌آید.

۲ | دو مقدار کناری را با خط مستقیم وصل کن



راست: مهارشده؛ چپ: مهارنشده. محل برخورد خط با محور میانی، k را می‌دهد.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: در تعریف اصلاح‌شدهٔ نموگرام EI به کار می‌رود؛ $(EI)_{\text{eff}}$ مربوط به بار بحرانی را مستقیم جای آن نگذار.

تذکر: مقیاس‌ها خطی نیستند؛ فاصلهٔ هندسی مساوی الزاماً اختلاف عددی مساوی ندارد.

تذکر: نسبت هر انتها از اعضای متصل به همان گره است؛ میانگین دو نسبت جای خواندن نمودار را نمی‌گیرد.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

سهم بتن در برش یک‌طرفه

۱ | تشخیص تأمین حداقل فولاد عرضی ◄ ۲ | انتخاب رابطهٔ V_c ◄ ۳ | اعمال تمام حدها

۱ | حداقل فولاد عرضی تأمین شده است؛ $A_{v,min} \le A_v$

رابطهٔ ساده‌تر

$$V_c = \left(0.17\lambda\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g}\right) b_w d$$

یا رابطهٔ وابسته به نسبت فولاد طولی

$$V_c = \left(0.66\lambda\rho_w^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g}\right) b_w d$$

۲ | حداقل فولاد عرضی تأمین نشده است؛ $A_{v,min} > A_v$

$$V_c = \left(0.66\lambda\lambda_s\rho_w^{1/3}\sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6A_g}\right) b_w d$$

$$\lambda_s = \min\left(\sqrt{\frac{2}{1+d/250}}, 1.0\right) \qquad \rho_w = \frac{A_s}{b_w d}$$

۳ | حدهای هم‌زمان

$$\frac{N_u}{6A_g} \le 0.05 f'_c \qquad 0 \le V_c \le 0.42\lambda\sqrt{f'_c}\, b_w d$$

نیروی محوری در فشار مثبت و در کشش منفی است. واحدها: طول mm، سطح mm²، مقاومت MPa و نیرو N.

حداقل فولاد برشی تیر؛ وقتی پیچش قابل صرف‌نظر است

$$\frac{A_{v,min}}{s} = \max\left(0.062\sqrt{f'_c}\frac{b_w}{f_{yt}},\ 0.35\frac{b_w}{f_{yt}}\right)$$

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: ریشهٔ مقاومت بتن در محاسبهٔ V_c به ۸٫۳ محدود است؛ استثنا، تیر و تیرچه‌ای است که حداقل فولاد برشی جان در آن تأمین شده باشد.

تذکر: مجاز بودن حذف حداقل خاموت در برخی اعضا، با فرض تأمین‌شدن آن در انتخاب رابطهٔ V_c برابر نیست.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

تیر؛ حداقل فولاد خمشی و برشی

۱ | حداقل فولاد کششی ◄ ۲ | تشخیص الزام خاموت ◄ ۳ | انتخاب مقدار حداقل

۱ | حداقل فولاد وجه کششی

$$A_{s,\min} = \max\left(\frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y}b_w d,\ \frac{1.4}{f_y}b_w d\right)$$

در این کنترل، f_y حداکثر ۵۵۰ MPa منظور شود. برای عضو معینِ بال‌دار با بال در کشش، به‌جای b_w کوچک‌ترِ b_f و $2b_w$ به کار رود. اگر فولاد کششیِ تأمین‌شده حداقل چهارسومِ مقدار لازم از محاسبه باشد، کنترل این حداقل خمشی لازم نیست.

۲ | چه زمانی حداقل خاموت لازم است؟

$$V_u > 0.083\phi\lambda\sqrt{f'_c}\,b_w d$$

قاعدهٔ عمومی، شرط بالاست. فقط برای حالت‌های جدول زیر، تأمین حداقل خاموت زمانی لازم می‌شود که V_u از φV_c بیشتر باشد.

۳ | استثناهای آستانهٔ تأمین خاموت

نوع عضو	شرط هم‌زمان
کم‌عمق	$h \le 250\ \text{mm}$
یکپارچه با دال	$h \le \max(2.5t_f, 0.5b_w),\quad h \le 600\ \text{mm}$
بتن معمولیِ مسلح به الیاف فولادی	$h \le 600\ \text{mm},\quad f'_c \le 40\ \text{MPa}$ $V_u \le 0.17\phi\sqrt{f'_c}\,b_w d$
تیرچهٔ یک‌طرفه	همهٔ محدودیت‌های مسیر تیرچه برقرار باشد.

۴ | مقدار حداقل، در صورت صرف‌نظر از پیچش

$$\frac{A_{v,\min}}{s} = \max\left(0.062\sqrt{f'_c}\frac{b_w}{f_{yt}},\ 0.35\frac{b_w}{f_{yt}}\right)$$

حذف خاموت با آزمایش فقط وقتی مجاز است که کفایت مقاومت خمشی و برشی، همراه آثار نشست نامساوی، خزش، جمع‌شدگی و دمای واقعیِ بهره‌برداری اثبات شود.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: استثنای چهارسوم فولاد، حداقل خمشی را هدف می‌گیرد؛ آن را مجوز حذف خاموت ندان.

تذکر: واحد روابط: طول mm، مقاومت MPa و نیرو N. A_v مجموع سطح ساق‌های مؤثر در برش، در فاصلهٔ s است.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

اتصال؛ احراز محصورشدگی با تیر عرضی

۱ | دو تیر عرضی واجد شرایط ◄ ۲ | فولاد طولی و خاموت ◄ ۳ | تأیید محصورشدگی در یک جهت

۱ | هر دو تیر عرضی باید واجد شرایط باشند

کنترل	شرط برای هر تیر عرضی
عرض در وجه اتصال	حداقل سه‌چهارم عرض ستون در همان وجه
امتداد پس از اتصال	حداقل یک عمق همان تیر
فولاد طولی	حداقل دو میلگرد پیوسته در بالا و دو میلگرد پیوسته در پایین؛ حداقل خمشی نیز کنترل شود.
خاموت	قطر حداقل ۱۰ mm؛ مقدار و فاصلهٔ برشی نیز کنترل شوند.

۲ | حداقل خمشیِ تیر عرضی

$$A_{s,\min} = \max\left(\frac{0.25\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d,\ \frac{1.4}{f_y} b_w d\right)$$

در این رابطه، f_y حداکثر ۵۵۰ MPa است. در عضو معینِ بال‌دار با بالِ کششی، کوچک‌ترِ b_f و دو برابر b_w جایگزین b_w شود. با فولاد کششیِ حداقل چهارسومِ مقدار لازمِ محاسباتی، کنترل این حداقل خمشی لازم نیست؛ الزام دو میلگرد پیوسته حذف نمی‌شود.

۳ | حداقل برشی؛ در صورت صرف‌نظر از پیچش

$$\frac{A_{v,\min}}{s} = \max\left(0.062\sqrt{f'_c}\frac{b_w}{f_{yt}},\ 0.35\frac{b_w}{f_{yt}}\right)$$

A_v مجموع سطح ساق‌های مؤثر در فاصلهٔ s است. در تشخیص محصورشدگی، وجود خاموتِ حداقل قطر ۱۰ mm شرط مستقل است؛ استثنای حذف خاموتِ تیر را جایگزین آن نکن.

۴ | بیشترین فاصلهٔ خاموت قائم

مقاومت برشی مورد نیاز فولاد	در طول تیر	ساق‌ها در عرض مقطع
$V_s \le 0.33\sqrt{f'_c} b_w d$	$\min(d/2, 600)$	$\min(d, 600)$
$V_s > 0.33\sqrt{f'_c} b_w d$	$\min(d/4, 300)$	$\min(d/2, 300)$

فاصله‌ها و ابعاد بر حسب mm و مقاومت‌ها بر حسب MPa هستند. با وجود پیچش یا الزام لرزه‌ای، مقدار فولاد و فاصلهٔ محدودکننده‌تر نیز رعایت شود.

تذکرهای تعیین‌کننده

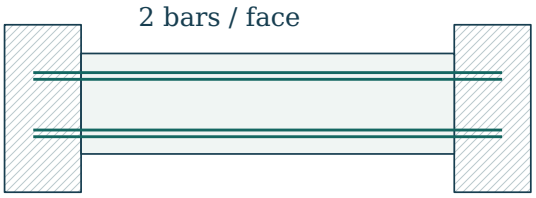
تذکر: محصورشدگی برای هر جهت برش جدا تشخیص داده می‌شود؛ وجود یک تیر عرضی یا عرض ناکافیِ یکی از دو تیر، شرط «دو تیر واجد شرایط» را تأمین نمی‌کند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

قاب معمولی؛ تیر، ستون کوتاه و اتصال

۱ | حداقل فولاد سراسری تیر ◄ ۲ | تشخیص ستون کوتاه ◄ ۳ | برش ستون و اتصال

۱ | تیر؛ پیوستگی دو وجه



دو میلگرد سراسری در هر وجه، حداقل آرایش است؛ مقدار فولاد و مهار انتها جدا کنترل شوند.

در هر وجه بالا و پایین، حداقل دو میلگرد سراسری باشد. سطح میلگرد سراسریِ پایین در هیچ مقطع کمتر از یک‌چهارم بیشترین سطح فولاد پایین در طول دهانه نباشد. مهار در تکیه‌گاه با فرض تأمین تنش تسلیم انجام شود.

۲ | ستون کوتاهِ قاب معمولی

$$l_u \le 5c_1$$

اگر شرط بالا برقرار است، مقاومت طراحی برشی ستون از کوچک‌ترِ دو تقاضای زیر کمتر نباشد. l_u طول آزاد و c_1 بعد مقطع در جهت مورد بررسی است.

مسیر تقاضا	مبنای محاسبه
ظرفیت خمشی دو انتها	برش متناظر با مقاومت خمشی اسمی در دو انتهای مقید؛ با بار محوری ضریب‌دار و جهت نیروی جانبیِ ایجادکنندهٔ بیشترین مقاومت خمشی
ترکیب تشدیدشده	بیشترین برش ترکیب‌هایی که در آن‌ها مؤلفهٔ زلزله با $E\Omega_0$ جایگزین E شده است

۳ | اتصال تیر به ستون و دیوار معمولی

برش اتصال در صفحهٔ افقیِ وسط ارتفاع اتصال محاسبه شود. نیروهای کششی و فشاری ناشی از لنگر اسمی تیر در تقاضای اتصال منظور شوند. ضوابط عمومی پیوستگی، سطح مؤثر و ظرفیت اتصال نیز برقرارند.

برای دیوار با شکل‌پذیری کم، ضابطهٔ اضافی نسبت به مسیر عمومی دیوار بیان نشده است؛ تمام الزامات همان مسیر عمومی و حدود مجاز کاربرد سیستم باقی‌اند.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: کنترل برش ستون کوتاه با نیروی صرفاً حاصل از تحلیل الاستیک جایگزین نمی‌شود.

تذکر: شرط طول آزاد ستون برای هر جهت با بعد متناظر همان جهت بررسی شود.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

تیر متوسط؛ هندسه و فولاد طولی

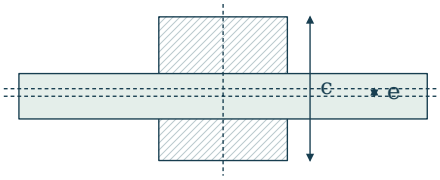
۱ | ابعاد و خروج از محور ◄ ۲ | فولاد سراسری ◄ ۳ | پوش مقاومت خمشی

۱ | ابعاد عضو

$$d \le \frac{l_n}{4} \qquad b_w \ge 0.3h \qquad b_w \ge 250\ \text{mm}$$

عرض تیر از هر دو حد زیر بیشتر نباشد: عرض تکیه‌گاه در صفحهٔ عمود بر محور تیر به‌اضافهٔ سه‌چهارم ارتفاع تیر در هر طرف؛ و عرض تکیه‌گاه به‌اضافهٔ یک‌چهارم بعد دیگر مقطع تکیه‌گاه در هر طرف.

۲ | خروج محور تیر از محور ستون



پلان شماتیک؛ e فاصلهٔ محورهای هندسی است و c عرض ستون در همان راستای خروج از محور است.

$$e \le \frac{c}{4}$$

۳ | فولاد سراسری و پوش مقاومت

در هر وجه بالا و پایین، حداقل دو میلگرد سراسری لازم است. سطح فولاد سراسری پایین در هیچ مقطع از یک‌چهارم بیشترین سطح فولاد پایین در طول دهانه کمتر نباشد. مهار انتها برای تنش تسلیم کششی تأمین شود.

$$M_{n,+}^{\text{face}} \ge \frac{1}{3} M_{n,-}^{\text{same face}}$$

$$M_{n,+}(x),\ M_{n,-}(x) \ge \frac{1}{5} M_{n,\max}^{\text{support}}$$

کنترل نخست در هر وجه تکیه‌گاه جداست. کنترل دوم برای مقاومت مثبت و منفی در هر مقطع طول تیر، نسبت به بیشترین مقاومت خمشیِ مقطع برِ تکیه‌گاه در دو انتها انجام شود.

تذکرهای تعیین‌کننده

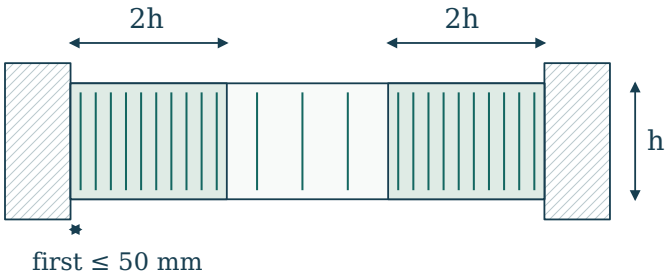
تذکر: نسبت‌های یک‌سوم و یک‌پنجم، نسبت مقاومت خمشی‌اند؛ خودکار به نسبت سطح میلگرد تبدیل نشوند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

تیر متوسط؛ نقشهٔ دورگیرگذاری

۱ | دو انتهای دهانهٔ آزاد ◄ ۲ | فاصله و قطر دورگیر ◄ ۳ | کنترل طول باقی‌مانده

۱ | ناحیهٔ بحرانی دو انتها



فاصلهٔ 2h از بر تکیه‌گاه در هر انتها؛ h ارتفاع کل و d ارتفاع مؤثر تیر است. اندازه‌گیری از محور ستون نیست.

$$l_{\text{end}} = 2h \qquad d_{\text{hoop}} \geq 8\ \text{mm}$$

۲ | دورگیر داخل دو ناحیهٔ انتهایی

$$s \leq \min\left(\frac{d}{4},\ 8d_{b,\min},\ 24d_{\text{hoop}},\ 300\ \text{mm}\right)$$

$$x_{\text{first}} \leq 50\ \text{mm}$$

$d_{b,\min}$ قطر کوچک‌ترین میلگرد طولی است. نخستین دورگیر از بر تکیه‌گاه حداکثر ۵۰ mm فاصله داشته باشد. اگر طراحی برش یا پیچش فولاد بیشتری لازم دارد، مقدار حاکم اجرا شود.

۳ | سراسر تیر و شاخهٔ فشار محوری

$$s_{\text{transverse}} \leq \frac{d}{2}$$

حداکثر فاصلهٔ آرماتور عرضی در سراسر طول تیر نصف ارتفاع مؤثر است؛ این حد، کنترل سخت‌گیرانه‌ترِ دو انتهای تیر را حذف نمی‌کند.

$$P_u > 0.10A_g f_c'$$

با عبور نیروی محوری فشاری ضریب‌دار از این حد، مقدار فولاد عرضی از مسیر محصورشدگیِ مخصوص تعیین شود؛ اگر دورپیچ به کار می‌رود، الزامات اختصاصی آن نیز لازم است. این شاخه تا تکمیل ضوابط محصورشدگی باز می‌ماند.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: h و d را در طول ناحیهٔ بحرانی و فاصلهٔ خاموت جابه‌جا نکن.

تذکر: شکل، نقشهٔ محل اجرای ضابطه است؛ تعداد خط‌های خاموت، تعداد اجراییِ محاسبه‌شده برای یک تیر مشخص نیست.

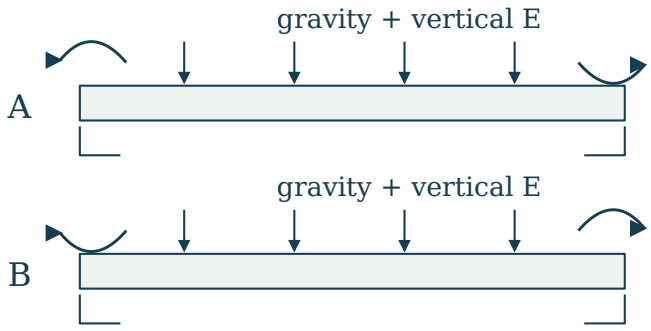
الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

تیر متوسط؛ برش بر پایهٔ ظرفیت

۱ | دو جهت چرخش انتها ◄ ۲ | بار قائم ضریب‌دار ◄ ۳ | انتخاب تقاضای کوچک‌تر

۱ | مقاومت لازم

مقاومت طراحی برشی تیر از کوچک‌ترِ دو مقدار مسیر الف و ب کمتر نباشد. هر جهت ایجاد انحنای خمشی در تکیه‌گاه‌ها جدا بررسی شود.



دو حالت جهت لنگر انتهایی؛ برش ناشی از ظرفیت انتها با برش بار قائم همان ترکیب جمع جبری می‌شود. مقدار عددی یا علامت ثابت به همهٔ حالات تعمیم داده نشود.

۲ | مسیر الف؛ برش حاصل از ظرفیت

نیروی برشی ناشی از بارهای قائم ضریب‌دار، شامل مؤلفهٔ قائم زلزله، با برش متناظرِ ظرفیت خمشی اسمیِ دو انتهای مقید جمع شود. جهت‌های چرخش انتهایی برای تولید انحنای خمشی در دو جهتِ تکیه‌گاهی کنترل شوند.

۳ | مسیر ب؛ ترکیب با زلزلهٔ دوبرابر

بیشترین برش از ترکیب‌هایی تعیین شود که در آن‌ها به‌جای مؤلفهٔ برشی ناشی از زلزله، ۲E قرار گرفته است. این ضریب با Ω_0 مسیر ستون کوتاهِ قاب معمولی یکسان نیست.

۴ | بازگشت به طراحی آرماتور عرضی

پس از تعیین تقاضای حاکم، ظرفیت بتن و فولاد، محدودیت مقاومت، حداقل آرماتور و فاصله‌های دورگیرگذاری هم‌زمان بررسی شوند. کافی‌بودن مقاومت مقطع به‌تنهایی، مجوز افزایش فاصلهٔ دورگیر انتهایی نیست.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: این مسیر ویژهٔ تیر قاب متوسط است؛ قواعد قاب ویژه بدون تطبیق دامنه به آن منتقل نشوند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

ستون متوسط؛ ابعاد، فولاد و وصله

۱ | کنترل مقطع و طول آزاد ◄ ۲ | نسبت فولاد طولی ◄ ۳ | جانمایی وصله

۱ | محدودیت‌های هندسی

$$b \geq 0.3h \qquad b \geq 250\ \text{mm} \qquad \frac{b}{l_u} \geq \frac{1}{25}$$

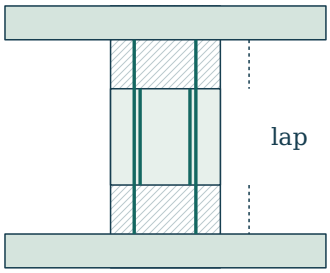
عرض، بعد دیگر مقطع و طول آزاد ستون با جهت کنترل سازگار باشند. هر دو جهت مقطع بررسی شوند.

۲ | فولاد طولی

$$0.01 \leq \frac{A_{st}}{A_g} \leq 0.08$$

حداکثر نسبت فولاد در محل وصله نیز برقرار باشد؛ تعداد میلگرد و سطح مضاعف در ناحیهٔ وصله در کنترل تراکم و نسبت فولاد منظور شوند.

۳ | محل وصله



شماتیک ستون؛ ناحیهٔ اتصال در بالا و پایین با ناحیهٔ آزاد ستون فرق دارد. وصلهٔ ستون متوسط بیرون ناحیهٔ اتصال قرار گیرد.

وصلهٔ میلگردهای طولی ستون بیرون ناحیهٔ اتصال تیر به ستون باشد. این ضابطه به‌تنهایی تعیین‌کنندهٔ نوع، طول، درصد مجاز وصله یا محصورشدگی آن نیست.

۴ | انتخاب نوع آرماتور عرضی

دورپیچ، الزامات عمومی دورپیچ را تأمین کند. در آرایش دورگیر، ضوابط ناحیهٔ انتهایی و طول باقی‌مانده جدا بررسی شوند؛ نیاز بیشترِ برش یا پیچش حاکم است.

تذکرهای تعیین‌کننده

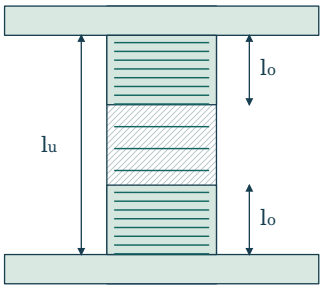
تذکر: قاعدهٔ وصله در نیمهٔ میانی ستون ویژه، بدون بررسی دامنه جای ضابطهٔ ستون متوسط نمی‌نشیند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

ستون متوسط؛ نقشهٔ محصورشدگی

۱ | طول ناحیهٔ انتهایی ◄ ۲ | قطر و فاصلهٔ دورگیر ◄ ۳ | ادامه داخل شالوده

۱ | طول از برِ اتصال



ناحیهٔ انتهایی از برِ اتصالِ عضو جانبی اندازه‌گیری می‌شود. طول داخل شالوده کنترل دیگری دارد.

$$l_o \geq \max\left(\frac{l_u}{6},\ h_{\max}\ \text{or}\ D,\ 450\ \text{mm}\right)$$

۲ | دورگیر داخل ناحیهٔ انتهایی

$$d_{\text{hoop}} \geq 10\ \text{mm}$$

مقاومت تسلیم فولاد طولی	حداکثر s_0
۴۲۰ MPa و کمتر	$\min(8d_{b,\min},\ 200\ \text{mm},\ b_{\min}/2)$
۵۲۰ MPa	$\min(6d_{b,\min},\ 150\ \text{mm},\ b_{\min}/2)$

$$x_{\text{first}} \leq s_0/2$$

فاصلهٔ نخستین دورگیر از برِ اتصال سنجیده شود؛ در دورپیچ، فاصله مطابق ضوابط اختصاصی آن کنترل گردد.

۳ | طول باقی‌مانده و شالوده

خارج از طول انتهایی، ضوابط آرماتور عرضیِ وصلهٔ پوششیِ کششی رعایت شود. در اتصال به شالوده، میلگردهای طولیِ واردشده به شالوده حداقل در طول ۳۰۰ mm با آرماتور عرضیِ همین ناحیه محصور شوند.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: s_0 فاصله است و l_o طول ناحیه؛ نصف‌کردن s_0 برای نخستین دورگیر، طول ناحیه را تغییر نمی‌دهد.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

ستون متوسط؛ ناپیوستگی و برش

۱ | عضو ناپیوسته روی ستون؟ ◄ ۲ | ادامهٔ محصورشدگی ◄ ۳ | تقاضای برش

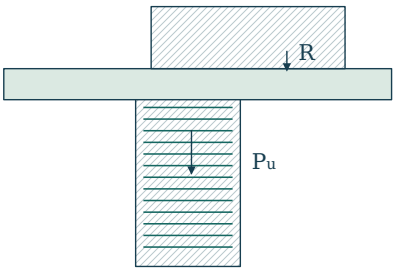
۱ | ستون زیر عضو سخت ناپیوسته

در ستونی که عکس‌العمل عضو سخت ناپیوسته، مانند دیوار، را تحمل می‌کند، اگر فشار محوری ضریب‌دار ناشی از زلزله از حد زیر بیشتر شود، در تمام ارتفاع و تمام طبقاتِ زیر تراز ناپیوستگی، آرماتور عرضی با فاصلهٔ s_0 لازم است.

$$P_u > 0.10 A_g f'_c$$

اگر نیروهای طراحی با لحاظ اضافه‌مقاومت اجزای سیستم مقاوم زلزله تشدید شده‌اند، حد محرک از ۰٫۱۰ به $0.25 A_g f'_c$ افزایش می‌یابد.

۲ | ادامه به عضو تکیه‌گاهی



شماتیک انتقال نیرو از دیوار ناپیوسته به ستون؛ طول ادامهٔ فولاد عرضی در عضو تکیه‌گاهی کنترل شود.

محصورشدگی به طول گیراییِ میلگرد طولیِ دارای بیشترین قطر، داخل عضو تکیه‌گاهی ادامه یابد. در انتهای ستون روی دیوار، همین طول داخل دیوار ادامه داده شود.

۳ | مقاومت برشی موردنیاز

مقاومت طراحی برشی ستون کمتر از کوچک‌ترِ دو تقاضای زیر نباشد:

مسیر	تقاضا
ظرفیت خمشی	برش بار ثقلی ضریب‌دار به‌اضافهٔ برش متناظر با لنگر اسمی دو انتها؛ کنترل دو جهت انحنا و انتخاب بار محوریِ متناظر با بیشترین لنگر اسمی
ترکیب تشدیدشده	بیشترین برشِ ترکیب‌هایی با جایگزینی $E\Omega_0$ به‌جای E

تذکرهای تعیین‌کننده

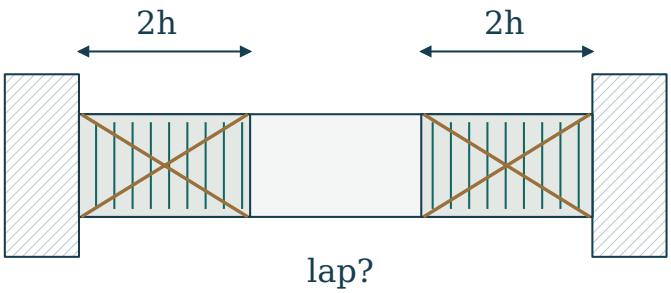
تذکر: محصورشدگیِ ستون زیر عضو ناپیوسته با دو ناحیهٔ کوتاه انتهای ستون محدود نمی‌شود.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

تیر ویژه؛ محل مجاز وصله

۱ | نوع اتصال میلگرد	◄	۲ | ناحیهٔ ممنوع وصله	◄	۳ | محصورشدگی محل وصله

۱ | وصلهٔ پوششی



شماتیک محل‌های ممنوع پوشش: داخل گره و فاصلهٔ $2h$ از برِ تکیه‌گاه. نواحی تسلیمِ محتملِ دیگر نیز جدا شناسایی شوند.

وصلهٔ پوششی در اتصال تیر به ستون، در طول دو برابر ارتفاع تیر از برِ تکیه‌گاه، و در دو سوی مقطع بحرانیِ مستعد تسلیم به طول $2h$ مجاز نیست.

۲ | فاصلهٔ فولاد عرضی روی پوشش

$$s_{\text{lap}} \le \min(d/4, 100\ \text{mm})$$

در تمام طول پوشش، دورگیر یا دورپیچ لازم است. قرارگیری وصله خارج از محل ممنوع، به‌تنهایی مجوز حذف این محصورشدگی نیست.

۳ | وصلهٔ مکانیکی

گروه یک، ضوابط عمومی وصلهٔ مکانیکی را تأمین می‌کند. گروه دو علاوه بر آن، توان تحمل مقاومت کششی اسمیِ میلگرد وصله‌شده را دارد.
گروه یک در فاصلهٔ کمتر از $2h$ از برِ عضو تیر یا ستون، یا در مقطع بحرانیِ مستعد تسلیم، مجاز نیست.

گروه دو برای میلگردهای S۴۰۰ و S۴۲۰ در هر نقطه مجاز است؛ برای سایر رده‌ها، محدودیت‌های گروه یک برقرار می‌ماند.

۴ | وصلهٔ جوشی

در میلگردهای مقاوم نیروهای زلزله، وصلهٔ جوشی در فاصلهٔ کمتر از $2h$ از برِ اتصال یا مقطع مستعد تسلیم مجاز نیست. جوش‌دادن خاموت، تنگ، قطعهٔ جای‌گذاری‌شده و مشابه آن به میلگرد طولیِ دارای کاربرد محاسباتی مجاز نیست.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: گروه دو بودنِ وصله، مجوز عمومی برای وصلهٔ هر ردهٔ فولاد در هر محل نیست.

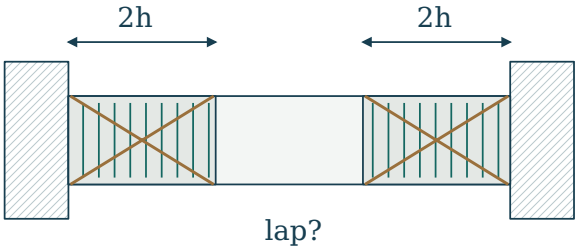
الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

تیر ویژه؛ ناحیهٔ بحرانی و دورگیر

۱ | ناحیه‌های مفصل محتمل ◄ ۲ | دورگیر و تکیه‌گاه جانبی ◄ ۳ | فشار محوری زیاد

۱ | طول ناحیهٔ بحرانی

از برِ هر تکیه‌گاه تا فاصلهٔ $2h$ به سمت دهانه، و در دو سوی هر مقطع دیگری که تحت جابه‌جایی غیرالاستیک احتمال تشکیل مفصل دارد تا فاصلهٔ $2h$، دورگیر لازم است.



نواحی انتهایی نشان‌داده‌شده، محل نیاز به دورگیر و محل ممنوع پوشش‌اند؛ مفصلِ محتملِ داخل دهانه نیز باید علامت‌گذاری شود.

۲ | حداکثر فاصلهٔ دورگیر

$$s \le \min(d/4,\ k_d d_{b,\min},\ 150\ \text{mm})$$

تسلیم فولاد طولی	k_d
۴۲۰ MPa و کمتر	۶
۵۲۰ MPa؛ به‌جز جانبی	۵

$$x_{\text{first}} \le 50\ \text{mm}$$

قطر دورگیر، حداقل عمومی قطر فولاد عرضی را نیز تأمین کند.

۳ | تکیه‌گاه جانبی و طول غیر بحرانی

میلگردهای اصلی کششی و فشاری در مجاورت دو وجه بالا و پایین، تکیه‌گاه عرضی داشته باشند. فاصلهٔ مرکز تا مرکز میلگردهای طولیِ دارای تکیه‌گاه جانبی بیش از ۳۵۰ mm نباشد؛ برای فولاد جانبی، این تکیه‌گاه لازم نیست.

خارج ناحیهٔ دورگیر، خاموت با قلاب لرزه‌ای در دو انتها و فاصلهٔ حداکثر $d/2$ اجرا و برای برش طراحی شود.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: ناحیهٔ دورگیر فقط دو سر هندسی تیر نیست؛ مفصل محتمل در داخل دهانه هم آن را ایجاد می‌کند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

ستون ویژه؛ مقطع، فولاد و وصله

۱ | ابعاد مقطع ◄ ۲ | نسبت و تعداد میلگرد ◄ ۳ | گیرایی و وصله

۱ | هندسه

$$b_{\min} \geq 300 \text{ mm} \qquad \frac{b_{\min}}{b_{\perp}} \geq 0.4$$

کوچک‌ترین بعد بر هر خط گذرنده از مرکز هندسی کنترل شود.

۲ | فولاد طولی

$$0.01 \leq A_{st}/A_g \leq 0.06$$

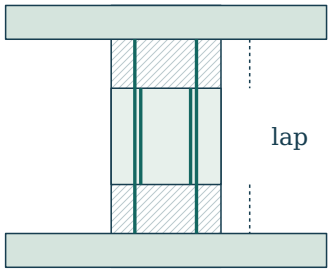
حداکثر نسبت در محل وصله نیز برقرار باشد. با دورگیر دایروی، حداقل شش میلگرد طولی لازم است.

۳ | انتخاب قطر با کنترل گیرایی

$$1.25 l_d \leq l_u/2$$

l_d طول گیراییِ میلگرد طولی و l_u طول آزاد ستون است. انتخاب قطر فقط از نیاز مقاومتی انجام نشود؛ امکان توسعهٔ طول مهاری نیز کنترل گردد.

۴ | پوشش در نیمهٔ میانی



در ستون ویژه، فقط نیمهٔ میانی طول ستون محل مجاز پوشش است؛ وصله برای کشش طراحی و در تمام طول محصور شود.

در طول پوشش، فولاد عرضیِ ویژه و حداکثر فاصلهٔ ناحیهٔ بحرانی برقرار باشد. وصلهٔ مکانیکی و جوشی همان محدودیت‌های گروه، ردهٔ فولاد و فاصله از ناحیهٔ تسلیم را رعایت کنند.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: محل مجاز پوشش، معافیت از محاسبهٔ طول کششیِ وصله یا حداکثر درصد فولاد نیست.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

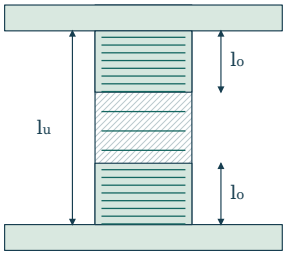
ستون ویژه؛ طول و آرایش محصورشدگی

۱ | طول ناحیهٔ بحرانی ◄ ۲ | گیر جانبی میلگردها ◄ ۳ | حد h_x و شاخهٔ پرتنش

۱ | طول ناحیه از برِ اتصال

$$l_o \geq \max(l_u/6,\ h_{\max} \text{ or } D,\ 450\ \text{mm})$$

در دو انتهای ستون و دو سوی هر مقطع محتملِ مفصل پلاستیک، فولاد عرضیِ ویژه لازم است؛ مقدار بیشترِ لازم برای برش یا پیچش حاکم است.



طول بحرانیِ ستون از برِ اتصال سنجیده می‌شود؛ ناحیهٔ دیگرِ مستعد مفصل نیز جدا به نقشه افزوده شود.

۲ | آرایش دورگیر و دوخت

دورگیر دایروی یا دورپیچِ هم‌پوشان، یا دورگیر مستقیمِ تک یا چندقطعه با هم‌پوشانی و دوخت مجاز است. خم دورگیر مستقیم و دوخت، میلگرد طولی را دربرگیرد. اگر سایر شروط قطر رعایت‌اند، قطر دوخت می‌تواند از قطر دورگیر کمتر باشد.

قلابی‌های دوخت متوالی برای یک میلگرد طولی، یک‌درمیان در راستای طول ستون و در دو سمت مقطع قرار گیرند؛ تکیه‌گاه جانبی کافی برای میلگردهای طولی تأمین شود.

۳ | فاصلهٔ میلگردهای متکی

$$h_x \leq 350\ \text{mm}$$

h_x فاصلهٔ میلگردهای طولیِ متکی به قلاب دوخت یا گوشهٔ دورگیر در پیرامون ستون است.

۴ | شاخهٔ فشار یا بتن پرمقاومت

$$P_u > 0.3A_g f'_c \quad \text{or} \quad f'_c \geq 70\ \text{MPa}$$

در دورگیر مستقیم و با تحقق شاخهٔ بالا، تک‌تک میلگردهای طولی یا گروه‌های پیرامونی به گوشهٔ دورگیر یا قلاب لرزه‌ای دوخت متکی باشند و h_x از ۲۰۰ mm بیشتر نشود. P_u بزرگ‌ترین فشارِ ترکیب‌ها، شامل زلزله است.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: حد ۲۰۰ mm این آرایش با شرط بتن «بزرگ‌تر یا مساوی ۷۰» بیان شده؛ شاخهٔ مقدار فولاد در صفحهٔ بعد، مرز دیگری دارد.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

ستون ویژه؛ فاصلهٔ فولاد عرضی

۱ | حد ناحیهٔ بحرانی ◄ ۲ | محاسبهٔ s_0 از h_x ◄ ۳ | فاصلهٔ طول باقی‌مانده

۱ | فاصله در ناحیهٔ بحرانی

$$s \le \min(b_{\min}/4,\ k_d d_{b,\min},\ s_0)$$

تسلیم میلگرد طولی	k_d
۴۲۰ MPa و کمتر	۶
۵۲۰ MPa	۵

$$s_0 = 100 + \frac{350 - h_x}{3} \quad (\text{mm})$$

$$100\ \text{mm} \le s_0 \le 150\ \text{mm}$$

حد بالای ۱۵۰ mm برقرار است و لازم نیست مقدار s_0 کمتر از ۱۰۰ mm منظور شود. این محدودیتِ s_0 جای دو حد دیگرِ s را نمی‌گیرد.

۲ | طول خارج از ناحیهٔ ویژه

فولاد طولی	حداکثر فاصلهٔ عرضی
تسلیم ۴۲۰ MPa و کمتر	$\min(6d_{b,\min}, 150\ \text{mm})$
تسلیم ۵۲۰ MPa	$\min(5d_{b,\min}, 150\ \text{mm})$

دورگیر، دورپیچ یا سنجاقیِ واجد شروط جانبی و فولاد برشی لازم اجرا شود.

۳ | ستون مشمول استثنای مقاومت خمشی

ستونی که از تأمین رابطهٔ ستون قوی معاف شده و کمک آن به سختی و مقاومت زلزله کنار گذاشته شده است، به محصورشدگی ویژه در تمام طول نیاز دارد؛ معافیتِ خمشی، معافیتِ جزئیات نیست.

تذکرهای تعیین‌کننده

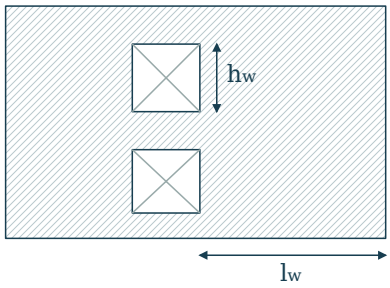
تذکر: فاصلهٔ نهایی، کوچک‌ترینِ حدود فاصله و مقدار لازمِ مقاومت است.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

دیوار ویژه؛ تشخیص قطعهٔ قائم

۱ | هندسهٔ بازشو و قطعه ◄ ۲ | رفتار دیوار یا ستون ◄ ۳ | ضخامت و عرض مؤثر

۱ | ابعاد قطعه را درست بخوان



نمای دیوار بازشودار؛ h_w ارتفاع آزاد و l_w طول افقی قطعهٔ قائم است. b_w عرض جان یا ضخامت پایهٔ مستطیلی است.

در دیوار بال‌دار، عرض جان با عرض کل مقطع شامل بال یکی نیست. ابعاد قطعهٔ قائم و افقی کنار هر بازشو جدا تعیین شوند.

۲ | انتخاب مسیر قطعهٔ قائم

هندسهٔ قطعه	مسیر طراحی
$h_w/l_w < 2 \quad \text{or} \quad l_w/b_w > 6$	مشابه دیوار؛ همراه الزامات خاص دیوارپایه و برش
$h_w/l_w \geq 2,\ l_w/b_w \leq 2.5$	مشابه ستون ویژه
$h_w/l_w \geq 2,\ 2.5 < l_w/b_w \leq 6$	مسیر دیوارپایه مجاز است؛ مسیر ستون نیز قابل انتخاب است

۳ | محدودیت هندسه

$$b_w \geq 150 \text{ mm}$$

در صورت نیاز به جزء مرزی ویژه، عرض آن حداقلِ مقرر برای ناحیهٔ فشاری را تأمین کند. از بازشوهای بزرگ اجتناب شود؛ بازشوی لازم طوری جانمایی شود که دیوار به‌صورت هم‌بسته عمل کند، وگرنه اثر بازشو با تحلیل دقیق یا آزمایش معتبر بررسی شود.

۴ | عرض مؤثر بال

برای مقطع U،T،L و مشابه، عرض مؤثر در هر طرف از کوچک‌ترِ نصف فاصلهٔ جان تا جان دیوار مجاور و یک‌چهارم ارتفاع کل دیوار از بالای مقطع مورد بررسی بیشتر منظور نشود؛ مقدار دیگر فقط با تحلیل دقیق.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: h_w ارتفاع آزاد قطعه است؛ h_{wcs} در کنترل دیوارِ سراسری، ارتفاع کل مربوط به دیوار است.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

دیوار ویژه؛ دو شبکه و فولاد توزیعی

۱ | حداقل نسبت دو جهت ◄ ۲ | فاصلهٔ میلگردها ◄ ۳ | کنترل دو شبکه

۱ | حداقل فولاد قائم و افقی

$$\rho_l \geq 0.0025 \qquad \rho_t \geq 0.0025$$

اگر برش طراحی از حد زیر تجاوز نکند، حداقل فولاد افقی را می‌توان از مسیر عمومی دیوار تعیین کرد؛ حداقل قائم از این معافیت نتیجه نمی‌شود.

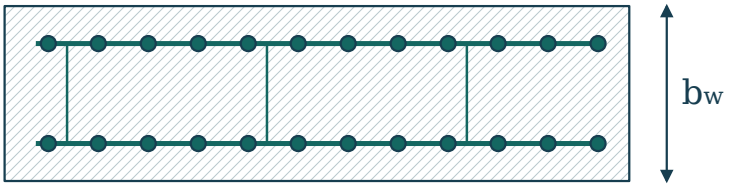
$$V_u \leq 0.083 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$$

۲ | فاصله و امتداد

$$s_l \leq 350 \text{ mm} \qquad s_t \leq 350 \text{ mm}$$

فولاد مشارکت‌کننده در V_n پیوسته باشد و در عرض صفحهٔ برش توزیع یکنواخت داشته باشد.

۳ | دو شبکه چه وقت الزامی است؟



مقطع شماتیک جان دیوار؛ دو شبکه در دو وجه نشان داده شده‌اند. خط دوخت صرفاً اتصال دو شبکه را نشان می‌دهد و تعیین مقدار محصورشدگی نیست.

$$V_u > 0.17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} \quad \text{or} \quad h_w/l_w \geq 2$$

با تحقق هر یک از دو شرط، دو شبکهٔ میلگرد لازم است.

۴ | دو جهت برش

میلگردهای برشی در دو جهت عمود بر هم صفحهٔ دیوار توزیع شوند. برای h_w/l_w کمتر از ۲، نسبت فولاد قائم از نسبت فولاد افقی کمتر نباشد.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: شرط دو شبکه «یا» است؛ لازم نیست هم برش بزرگ و هم نسبت ارتفاع زیاد باشند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

دیوار ویژه؛ مهار و وصلهٔ ناحیهٔ تسلیم

۱ | مهار برای تسلیم ◄ ۲ | احتمال جاری‌شدن ◄ ۳ | جانمایی وصله

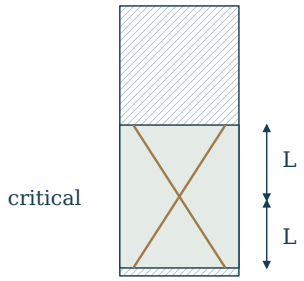
۱ | امتداد و مهار عمومی

میلگرد قائم و افقی برای دستیابی به تنش تسلیم کششی مهار یا وصله شود. میلگرد طولیِ دیوار، جز بخش بالایی، حداقل ۳۷۰۰ mm بعد از مقطع بی‌نیاز از نظر خمش ادامه یابد؛ ولی ادامه بیش از یک طبقه بالاتر از کف فوقانی الزامی نیست.

۲ | طول مهاریِ ناحیهٔ مستعد تسلیم

در هر محل مستعد تسلیم تحت جابه‌جایی جانبی غیرالاستیک، طول مهاری ۱٫۲۵ برابر طولِ محاسبه‌شده برای تسلیم کششی باشد. برای تیر هم‌بند، مسیر مقطع خمشی و مسیر فولاد قطری نیز افزایش مخصوص خود را دارند.

۳ | پوشش در جزء مرزی



نمای شماتیک؛ ناحیهٔ بالا و پایین مقطع بحرانی از محل وصلهٔ پوششی جدا شود. طول کنترل از مقطع بحرانی اندازه‌گیری می‌شود.

$$L_{\text{no lap}} = \max(l_w,\ h_{sx},\ 600\ \text{mm})$$

در ناحیهٔ مرزیِ مقطع بحرانیِ مستعد جاری‌شدن، پوشش در فاصلهٔ بالا یا پایینِ فوق مجاز نیست؛ نیاز نیست h_{sx} بیش از ۶۰۰۰ mm منظور شود.

۴ | محدودهٔ ناحیهٔ مرزی و سایر وصله‌ها

این ممنوعیت در مقطع، ناحیهٔ مرزی با طول افقیِ بزرگ‌ترِ $l_w c - 0.1$ و $c/2$ را شامل می‌شود. وصلهٔ مکانیکی و جوشی، محدودیت‌های گروه، ردهٔ فولاد و فاصله از ناحیهٔ تسلیمِ قاب ویژه را نیز رعایت کنند.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: بیرون‌بردن پوشش از ناحیهٔ ممنوع، جای محاسبهٔ طول وصله و کنترل محصورشدگی آن نیست.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

دیوار لاغر؛ فولاد انتهایی و امتداد

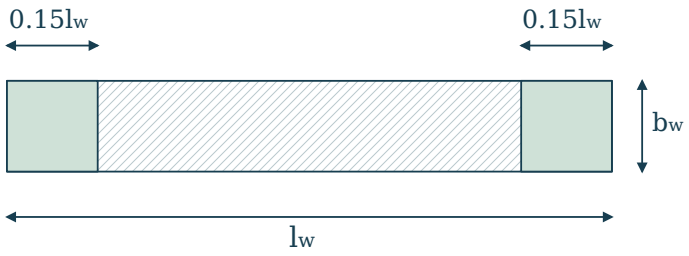
۱ | دیوار سراسری با مقطع بحرانی ◄ ۲ | حداقل فولاد دو انتها ◄ ۳ | ادامه و قطع میلگرد

۱ | دامنهٔ این کنترل

$$h_w/l_w \geq 2$$

این مسیر برای دیوار یا دیوارپایه‌ای است که از پایین تا بالای دیوار پیوسته ادامه دارد و یک مقطع بحرانی برای خمش و بار محوری دارد.

۲ | حداقل فولاد طولیِ دو انتها



پلان شماتیک جان؛ نوارهای دو انتها برای کنترل فولاد طولی مشخص شده‌اند. وجود نوار انتهایی، به‌تنهایی به معنی نیاز یا بی‌نیازی از جزء مرزی ویژه نیست.

$$\rho_{\text{end}} \geq \frac{0.50\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

$$l_{\text{end}} = 0.15 l_w \qquad A_{\text{strip}} = 0.15 l_w b_w$$

۳ | طول ادامه از مقطع بحرانی

$$L_{\text{continue}} \geq \max(l_w,\ M_u/(3V_u))$$

فولاد لازمِ حداقل دو انتها، به طول فوق در بالا و پایین مقطع بحرانی ادامه یابد.

۴ | محدودیت قطع

بیش از ۵۰٪ فولاد لازمِ حداقل دو انتها، در یک مقطع قطع نشود. مهار، گیرایی و امتداد عمومیِ موردنیاز نیز مستقل کنترل شوند.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: طول $M_u/(3V_u)$ در این کنترل با $M_u/(4V_u)$ در طول محصورشدگیِ جزء مرزی فرق دارد.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

جزء مرزی؛ عرض، ضخامت و بال

۱ | عرض مؤثر ناحیهٔ فشاری ◄ ۲ | دیوار لاغر و نازک ◄ ۳ | امتداد در مقطع بال‌دار

۱ | عرض ناحیهٔ فشاری

$$b \geq h_u/16$$

b عرض ناحیهٔ فشاری ناشی از خمش، شامل بال مؤثر در صورت وجود است. h_u با ارتفاع جانبیِ مهارنشدهٔ مربوط سازگار باشد.

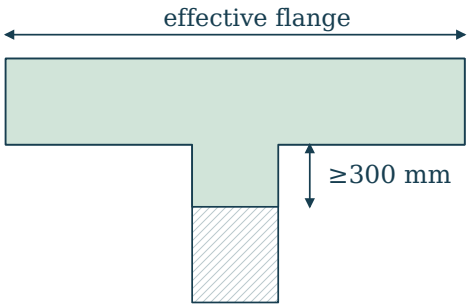
۲ | حد ویژهٔ دیوار لاغر

$$h_{wcs}/l_w \geq 2 \quad \text{and} \quad c/l_w \geq 3/8$$

$$b \geq 300 \text{ mm}$$

دیوار باید از شالوده تا بالا پیوسته و دارای یک مقطع بحرانی خمش و بار محوری باشد؛ حد ۳۰۰ mm برای عرض همان ناحیهٔ فشاری است.

۳ | دیوار U،T،L



پلان شماتیک مقطع T؛ اگر بال در فشار است، تمام عرض مؤثرِ بالِ فشاری داخل جزء مرزی قرار گیرد و جزء مرزی حداقل ۳۰۰ mm داخل جان ادامه یابد.

حداقل طول افقی از c نیز کنترل شود؛ ۳۰۰ mm داخل جان، جایگزین آن کنترل نیست.

۴ | فولاد عرضی جان

در محدودهٔ قائمِ لازم برای جزء مرزی، میلگردهای قائمِ جان در بالا و پایین مقطع بحرانی با گوشهٔ دورگیر یا سنجاقیِ دارای قلاب لرزه‌ای در دو انتها تکیه‌گاه جانبی داشته باشند. فاصلهٔ قائم فولاد عرضی بیش از ۳۰۰ mm نباشد؛ قطر از حد عمومی تأمین شود.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: عرض جانِ مقطع بال‌دار با عرض مؤثرِ بالِ فشاری و با b ناحیهٔ فشاری یکسان فرض نشوند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

جزء مرزی؛ فاصلهٔ دورگیر و مهار در پی

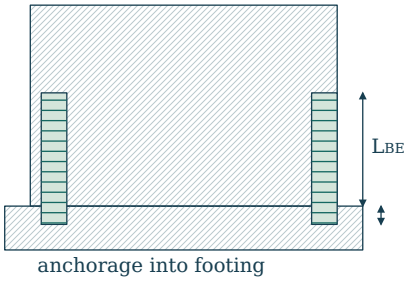
۱ | فاصله در مقطع بحرانی ◄ ۲ | فاصله در سایر نقاط ◄ ۳ | گیرایی افقی و ادامه در پی

۱ | جدول فاصلهٔ قائم

تسلیم فولاد اصلی	بالا و پایین مقطع بحرانی به طول بزرگ‌ترِ l_w و $M_u/(4V_u)$	سایر نقاط
۴۲۰ MPa	$\min(6d_b, 150\ \text{mm})$	$\min(8d_b, 200\ \text{mm})$
۵۲۰ MPa	$\min(5d_b, 150\ \text{mm})$	$\min(6d_b, 150\ \text{mm})$

d_b قطر کوچک‌ترین میلگرد اصلی خمشی است. فاصلهٔ نهایی از حد یک‌سوم بعد مؤثر و مقدار لازمِ مقاومت نیز بیشتر نباشد.

۲ | ادامه در تکیه‌گاه



نمای شماتیک جزء مرزی؛ طول قائم از مقطع بحرانی و طول ادامه داخل پی دو کنترل مستقل‌اند. شکل بدون مقیاس است.

اگر مقطع بحرانی در تراز زیرین دیوار است، فولاد عرضیِ جزء مرزی داخل تکیه‌گاه به طول مهاریِ میلگرد طولیِ با بیشترین قطر ادامه یابد. در ختم بر پی، شالودهٔ سراسری یا سرشمع، ادامه حداقل ۳۰۰ mm و مطابق طولِ مقررِ اتصال به شالوده باشد؛ برای پی می‌توان l_{dh} را با فرض f_y۱٫۲۵ به کار برد.

۳ | مهار فولاد افقی جان

فولاد افقی تا ۱۵۰ mm انتهای دیوار ادامه یابد و برای f_y با قلاب استاندارد یا سر در هستهٔ جزء مرزی مهار شود. مهار بدون قلاب یا سر فقط با طول کافیِ جزء مرزی برای گیرایی و با تأمین شرط مقایسهٔ ظرفیت واحد طول فولاد افقی جان و فولاد عرضیِ موازی آن در جزء مرزی مجاز است.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: مرز $\rho_l=2.8/f_y$ و حدود تنشِ شکل منبع با غلط‌نامه کنترل شده‌اند؛ علامت‌های ≥ و > دلخواه جابه‌جا نشوند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

تیر هم‌بند؛ انتخاب مسیر و مقاومت

۱ | نسبت دهانه به ارتفاع ◄ ۲ | شدت برش ◄ ۳ | آرایش خمشی یا قطری

۱ | تیر بلند

$$l_n/h \geq 4$$

ضوابط تیر قاب ویژه اجرا شود. اگر پایداری جانبیِ کافی اثبات شود، اعمال محدودیت هندسیِ عرض تیرِ مربوط به تکیه‌گاه لازم نیست.

۲ | تیر کوتاه با برش زیاد

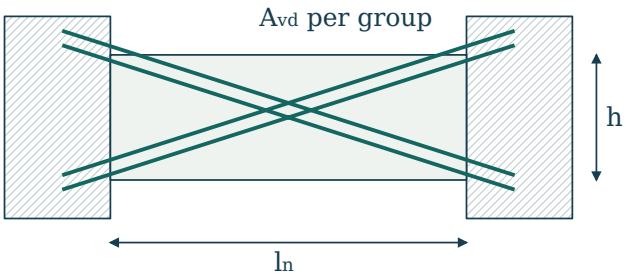
$$l_n/h < 2 \quad \text{and} \quad V_u \geq 0.33\lambda\sqrt{f'_c}A_{cw}$$

دو گروه فولاد قطریِ متقارن نسبت به مرکز لازم‌اند. این الزام حتی با حذف مقاومت و پایداری جانبی تیر نیز برای تأمین باربری قائمِ لازمِ خروج اضطراری و محافظت اجزای غیرسازه‌ای باقی است.

۳ | حالت‌های میانی

اگر هیچ‌یک از دو شاخهٔ بالا برقرار نیست، آرایش دو گروه قطری با محصورشدگی مقرر، یا فولاد معمولِ واجد ضوابط تیر ویژه، یا طراحی به‌صورت عضو تکیه‌گاهیِ ستون‌مانند مجاز است.

۴ | مقاومت اسمی آرایش قطری



نمای شماتیک دو گروه قطریِ متقارن؛ A_{vd} سطح فولاد یک گروه و α زاویهٔ آن با محور طولی تیر است. محصورشدگی و مهار جدا کنترل شوند.

$$V_n = 2A_{vd}f_y \sin\alpha \leq 0.83\sqrt{f'_c}A_{cw}$$

گیرایی فولاد طولی یا قطریِ هم‌بند برای ۱٫۲۵ برابر طول لازمِ تسلیم کششی تأمین شود.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: حد $h=l_n/2$ در شاخهٔ «کمتر از ۲» نیست؛ حد برشِ آن شاخه «بزرگ‌تر یا مساوی» است.

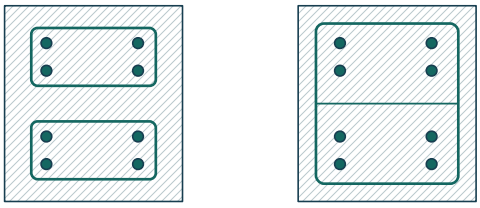
الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

تیر هم‌بند قطری؛ محصورشدگی گروه‌ها

۱ | حداقل فولاد هر گروه ◄ ۲ | ابعاد هستهٔ قطری ◄ ۳ | فاصله، جوش و تقاطع

۱ | آرایش هر گروه

هر گروه قطری دست‌کم چهار میلگرد در دو یا چند لایه داشته باشد. عمق خارجی هستهٔ محصور در راستای موازی جان، حداقل $b_w/2$ و بعد دیگر آن حداقل $b_w/5$ باشد.



دو شیوهٔ محصورشدگی: A هر گروه قطری با هستهٔ جدا؛ B تمام مقطع با دورگیر مشترک. مقاطع صرفاً شماتیک‌اند و تعداد خط‌ها مقدار فولاد طراحی نیست.

۲ | مقدار فولاد عرضیِ هر گروه

$$A_{sh} \geq 0.09 s b_c \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} \geq 0.3 s b_c \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) \frac{f'_c}{f_{yt}}$$

A_g با فرض پوشش مقرر در چهار طرف هر گروه تعیین شود؛ بزرگ‌ترین مقدار دو رابطه حاکم است.

۳ | فاصله، تقاطع و فولاد تکمیلی جان

$$s \leq 6 d_{b,\text{diag}} \qquad h_x \leq 350 \text{ mm}$$

فاصلهٔ سنجاقی‌ها یا ساق‌های تنگ از حد h_x بیشتر نشود. فولاد عرضی در تقاطع گروه‌ها قطع نشود؛ جابه‌جاییِ ساق‌ها و تنگ‌ها با فاصلهٔ دست‌کم یک قطر به‌جای حذف مجاز است.

$$A_{s,\text{extra}} \geq 0.002 b_w s \qquad s_{\text{extra}} \leq 300 \text{ mm}$$

فولاد اضافیِ طولی و عرضیِ اطراف جان در هر دو امتداد اجرا شود.

تذکرهای تعیین‌کننده

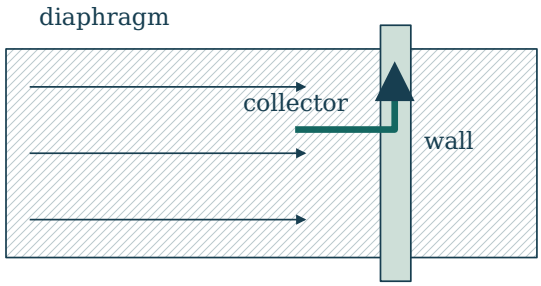
تذکر: در شکل اصلاح‌شدهٔ منبع، برای آرماتور قطری، گیرایی بر مبنای f_y به‌تنهایی کافی دانسته نشده است؛ افزایش ۱٫۲۵ طولِ گیرایی حفظ شود.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

دیافراگم لرزه‌ای؛ مسیر نیرو و نوع سقف

۱ | بار و اتصال ◄ ۲ | نوع عملکرد رویه ◄ ۳ | حداقل ضخامت

۱ | مسیر نیرو را پیوسته کن



نمای پلان؛ نیروی سقف از دیافراگم و جمع‌کننده به عضو قائم منتقل می‌شود. شکل فقط مسیر نیرو را نشان می‌دهد.

در سیستم با شکل‌پذیری متوسط یا زیاد، دیافراگم، خرپا، جمع‌کننده و اتصال‌ها علاوه بر ضوابط عمومی، الزامات لرزه‌ای را تأمین کنند. تلاش و ترکیب بار از ضوابط بارگذاری زلزله تعیین شود؛ اتصال باید نیرو را تا عضو قائمِ سیستم مقاوم منتقل کند.

۲ | رویه مرکب است یا مستقل؟

حالت سقف پیش‌ساخته با رویهٔ درجا	شرط استفاده
مرکب	قطعات مسلح؛ سطح تماس تمیز، بدون شیرهٔ بتن و مضرس باشد.
غیرمرکب	سطح تماس پیوسته باشد؛ خودِ رویه برای تمام نیروهای زلزله طراحی و جزئیات‌گذاری شود.

۳ | حداقل ضخامت

$$t_{\text{monolithic}} \geq 50 \text{ mm}$$

$$t_{\text{noncomposite topping}} \geq 65 \text{ mm}$$

حد ۶۵ mm برای رویهٔ درجا روی پیش‌ساخته‌ای است که با آن عملکرد مرکب ندارد؛ این حد با حد سقف یکپارچه جابه‌جا نشود.

تذکرهای تعیین‌کننده

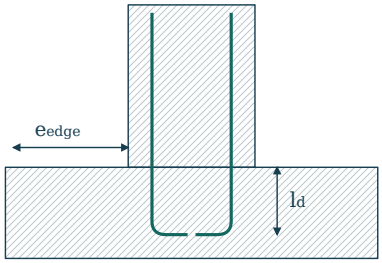
تذکر: عضوِ عمدتاً محوری کنار بازشو یا ناپیوستگی، وقتی انتقال برش یا لنگر خمشی نیز دارد، الزامات جمع‌کننده را هم تأمین کند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

شالودهٔ لرزه‌ای؛ مهار ستون و دیوار

۱ | فصل مشترک ◄ ۲ | ستون گیردار و لبهٔ نزدیک ◄ ۳ | کشش در سر شالوده

۱ | فولاد طولیِ انتقال زلزله



نمای شماتیک؛ قلاب خمشیِ ستون گیردار به سوی مرکز ستون و نزدیک کف پی قرار می‌گیرد. طول مهار از محاسبه تعیین شود.

در شکل‌پذیری متوسط و زیاد، فولاد طولی ستون و دیوارِ مقاوم در برابر زلزله در پی تکی، نواری، گسترده یا سرشمع چنان مهار شود که در فصل مشترک به تسلیم کششی برسد. در ستونِ گیردار، قلاب لازم برای تحمل خمش ۹۰ درجه، رو به مرکز ستون و نزدیک قسمت تحتانی پی باشد.

۲ | عضو نزدیک لبه

$$e_{\text{edge}} < t_{\text{footing}}/2$$

در ستون یا جزء لبه‌ای دیوار ویژه با تحقق این شرط، فولاد عرضی زیر قسمت فوقانی شالوده به طول گیرایی کششی فولاد طولیِ محاسبه‌شده برای f_y ادامه یابد. این طول از روی شالوده سنجیده می‌شود؛ غلط‌نامه محل آغاز را «قسمت فوقانی شالوده» اصلاح کرده است.

۳ | کشش در بالا

وقتی زلزله در ستون یا جزء لبه‌ای دیوار ویژه کشش ایجاد می‌کند، فولاد خمشی لازم در قسمت فوقانی پی یا سرشمع برای ترکیب‌های ضریب‌دار قرار گیرد؛ مقدار آن از حداقل عمومیِ مربوط نیز کمتر نباشد.

۴ | نوع شالوده و شمع مایل

پی متوسط و زیاد از بتن‌آرمه باشد. در شکل‌پذیری کم، بتن غیرمسلح فقط با طراحی مطابق ضوابط معتبرِ مربوط مجاز است. در سرشمعِ شمع مایل، تمام فشارِ شمعِ مشابه ستون کوتاه و لاغری قسمت فاقد مهار جانبی در خاک یا آب و هوا منظور شود.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: در عضو نزدیک لبه، ضخامت شالوده و فاصله تا لبه با طول گیرایی اشتباه نشوند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

شمع لرزه‌ای؛ گستره و نواحی محصورشدگی

۱ | نوع شمع ◄ ۲ | کشش و طول نامقید ◄ ۳ | مرز لایهٔ خاک

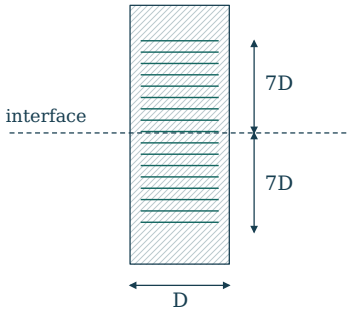
۱ | دامنهٔ شمع عمیق

نوع	مسیر اختصاصی
درجا بدون غلاف	جدول حداقل فولاد طولی و عرضی
درجا با غلاف نازک فولادی	همان حداقل‌ها و کنترل غلاف
درجا در لولهٔ فولادی	فولادِ بخش بتنی و طول توسعه
پیش‌ساختهٔ بتنی	تفکیک مسلحِ عادی و پیش‌تنیده

۲ | فولاد در طول شمع

شمع، پایه و پی صندوقه‌ایِ تحت کشش، در تمام طول فولاد طولی پیوسته برای نیروی کششی طراحی داشته باشد. در طولِ فاقد تکیه‌گاه جانبی در خاک، آب یا هوا، حداقل فولاد طولی و عرضیِ لازم ادامه یابد. همهٔ دورگیرها، دورپیچ‌ها و سنجاقی‌ها در انتها قلاب لرزه‌ای داشته باشند.

۳ | مجاورت لایهٔ نرم یا روان‌گرا



نمای شمع در مرز دو لایه؛ ناحیهٔ فولاد عرضی ویژه در هر دو سوی مرز حداقل ۷D است. D بعد مقطع شمع است.

برای شمعِ متوسط و زیاد، یا شمعِ حفاری‌شده در زمین نوع IV، فولاد عرضی ویژه در بالا و پایین مقطعِ هم‌ترازِ خاک سفتِ مجاور لایهٔ نرم یا روان‌گرا، به طول ۷ برابر قطر یا بعد مقطع اجرا شود.

۴ | استثنای سازهٔ سبک

در پی عمیقِ سازهٔ سبک یک یا دو طبقه، مانند LSF، رعایت همین حداقل‌های ویژهٔ شمع لازم نیست؛ دامنهٔ استثنا به همان سازهٔ سبک محدود است.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: طول نامقید و مجاورت لایهٔ روان‌گرا، کنترل مستقل‌اند و ممکن است ناحیهٔ بحرانی دیگری بسازند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

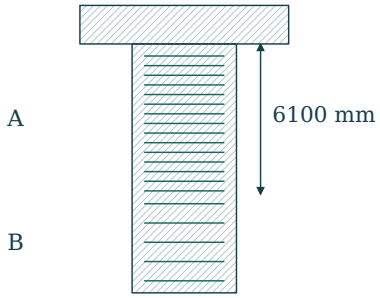
شمع پیش‌تنیده؛ شکل‌پذیری کم

۱ | ۶۱۰۰ میلی‌متر بالایی ◄ ۲ | نسبت حجمی ◄ ۳ | نیمهٔ مقدار در پایین

۱ | دامنهٔ صحیح

این مسیر برای شمع بتنی پیش‌ساخته و پیش‌تنیدهٔ سازه با شکل‌پذیری کم است؛ غلطنامه همین تفکیک را تصریح کرده است.

۲ | قسمت فوقانی از زیر سرشمع



تقسیم طول شماتیک است؛ ناحیهٔ بالایی ۶۱۰۰ mm از زیر سرشمع سنجیده می‌شود و مقیاس ترسیم واقعی نیست.

$$L_{\text{upper}} = 6100 \text{ mm}$$

$$\rho_{s,\text{upper}} \geq 0.15\frac{f'_c}{f_{yt}}$$

در محاسبهٔ دقیق‌تر، استفاده از رابطهٔ زیر به‌جای حد ساده مجاز است. f_{yt} بیش از ۷۰۰ MPa منظور نشود.

$$\rho_{s,\text{upper}} \geq 0.04\frac{f'_c}{f_{yt}}\left(2.8 + \frac{2.3P_u}{f'_c A_g}\right)$$

۳ | پایین‌تر از ۶۱۰۰ mm

$$\rho_{s,\text{lower}} \geq 0.5\rho_{s,\text{required upper}}$$

حد نصف بر مبنای مقدار لازمِ همان مسیر انتخاب‌شده در بالا است؛ نه نصفِ یک مقدار دلخواه اجراشده. فولاد عرضی از نوع دورپیچ یا دورگیر دایروی است.

تذکرهای تعیین‌کننده

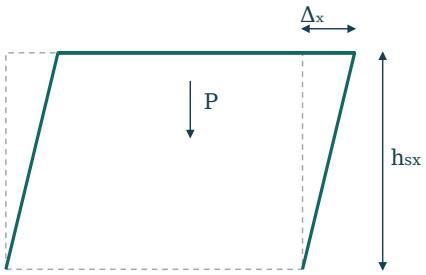
تذکر: طول فوقانی ۶۱۰۰ mm است؛ با ۶۱۰ یا ۶۰۰ mm جابه‌جا نشود.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

عضو ثقلی؛ سازگاری با جابه‌جایی زلزله

۱ | عضو خارج از سیستم جانبی ◄ ۲ | تحلیل تغییرمکان ◄ ۳ | شاخهٔ تقاضا و ظرفیت

۱ | حذف نقش جانبی چه معنایی دارد؟



gravity frame + imposed drift

عضو ثقلی با جابه‌جایی طبقه تغییرشکل می‌دهد؛ کنارگذاشتن سختی جانبی از مدل، این تغییرشکل را حذف نمی‌کند.

در شکل‌پذیری متوسط و زیاد، برخی تیرها، ستون‌ها، دال‌ها و دیوارپایه‌ها می‌توانند خارج از سیستم جانبی منظور شوند. در این صورت سختی و مقاومت آن‌ها در مقاومت جانبی منظور نشود، اما خود عضو و اتصال، بار قائم شامل مؤلفهٔ قائم زلزله را همراه بحرانی‌ترین تغییرمکان جانبی تحمل کنند. اثر ثانویهٔ $P-\Delta$ نیز منظور شود.

۲ | تقاضای سازگاری

لنگر و برش ایجادشده تحت تغییرمکان طرح δ_u، همراه ترکیب‌های بار قائم محاسبه شوند. از نتیجهٔ تحلیل، شاخهٔ تقاضا نسبت به مقاومت طراحی انتخاب شود.

۳ | دو شاخه

نتیجهٔ کنترل	مسیر جزئیات
لنگر و برش از مقاومت طراحی بیشتر نیستند	جزئیات حداقلِ عضو غیرمشارکت‌کننده، همراه شاخهٔ فشار ستون
لنگر یا برش بیشتر است؛ یا آثار δ_u محاسبه نشده	جزئیات لرزه‌ای قوی‌ترِ عضو و اتصال، متناسب با سطح شکل‌پذیری

۴ | خطای رایج مدل

صفرکردن سهمِ عضو در مقاومت جانبی، به معنی صفرشدن نیروی ناشی از سازگاری نیست. شرایط اتصال و تکیه‌گاه باید با مدل محاسباتی یکسان باشد.

تذکرهای تعیین‌کننده

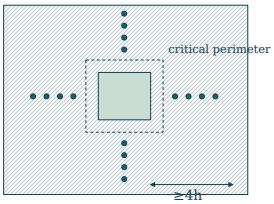
تذکر: محاسبه‌نکردن آثار δ_u، مسیر معافیت نیست و مستقیماً شاخهٔ قوی‌تر را فعال می‌کند.

الگوریتم حل • مبحث نهم، ویرایش پنجم

دال ثقلی؛ اتصال به ستون زیر تغییرمکان

۱ | نسبت جابه‌جایی طبقه ◄ ۲ | تقاضای پانچ ◄ ۳ | فولاد برشی و امتداد

۱ | ورودی و شرط نیاز به فولاد برشی



پلان شماتیک اتصال دال و ستون؛ فولاد برشی در پیرامون مقطع بحرانی شروع می‌شود. امتدادِ حاکم از بر تکیه‌گاه کنترل شود.

در دال دوطرفهٔ بدون تیر، v_{uv} از ترکیب‌های شامل E تعیین شود. نسبت Δ_x/h_{sx} از بزرگ‌ترین مقدارِ طبقهٔ فوقانی و تحتانیِ مجاور اتصال انتخاب شود. v_c از مسیر مقاومت پانچ دال به دست آید.

$$\frac{\Delta_x}{h_{sx}} \geq 0.035 - \frac{1}{20}\left(\frac{v_{uv}}{\varphi v_c}\right)$$

در تمام مقاطع بحرانیِ اتصالِ مشمول، فولاد برشی لازم اجرا شود. جزئیات می‌تواند مسیر آرماتور برشی یا یکی از دو مسیر مجاز گل‌میخ باشد؛ معافیت و محدودیت‌های هر نوع جدا بررسی شود.

۲ | معافیتِ محاسبهٔ این الزام

$$\Delta_x/h_{sx} \leq 0.005$$

با تحقق حد فوق، محاسبهٔ فولاد برشی از الزامِ سازگاریِ همین صفحه لازم نیست. این شرط، کنترل عمومی مقاومت پانچ را حذف نمی‌کند.

۳ | مقدار و امتداد

$$v_s \geq 0.29\sqrt{f'_c}$$

$$L_{\text{shear reinforcement}} \geq 4h$$

مقاومت فولاد برشی در مقطع بحرانی تأمین و فولاد تا دست‌کم چهار برابر ضخامت دال از بر تکیه‌گاه در مجاورت مقطع بحرانی ادامه یابد. برای حلقهٔ اول، فاصلهٔ شعاعی و محیطی و مهارِ سرِ فولاد، مسیر اختصاصی نوع فولاد حاکم است.

تذکرهای تعیین‌کننده

تذکر: ضابطهٔ آغاز نیاز و ضابطهٔ معافیت هر دو بررسی شوند؛ نبود نیاز از این مسیر، اثبات کفایت پانچ نیست.