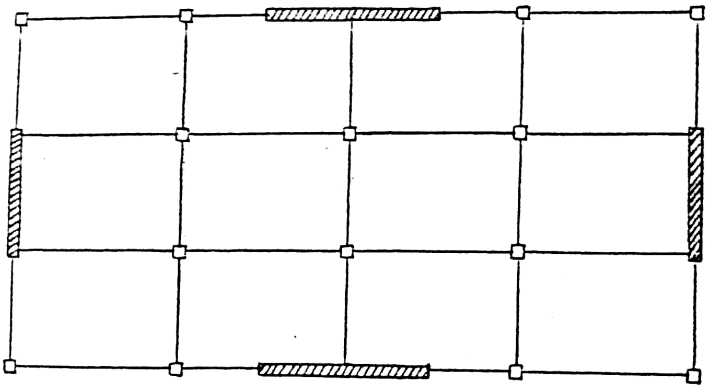
فصل یازدهم : ۱۱

دیوار برشی

- ☑ تعریف
- ☑ مزایای دیوار برشی
- ☑ موقعیت مناسب برای اسقرار دیوار برشی
- ☑ مدل کردن دیوار برشی بصورت ستون معادل
- ☑ طراحی دیوار برشی
  - ☑ طراحی دیوار برشی در مقابل برش
  - ☑ طراحی دیوار برشی در مقابل خمش

دیوار برشی

❖ دیوار برشی بهترین عنصر برای مقابله با نیروهای جانبی می باشد . دال طبقه همانند تیر عمیق سیار صلبی می باشد که نیروهای جانبی را به دیوار برشی انتقال می دهد .



(پلان طبقه)

❖ دیوار برشی بر خلاف نامش برای نسبت ارتفاع به عمق بزرگتر از ۲ به صورت یک تیر کنسول قائم است که ممان خمشی کنترل کننده است.

❖ دیوار برشی در ساختمانهای بلند و متوسط و حتی در ساختمانهای کوتاه ، مقاومت ساختمان را بطور قابل ملاحظه ای افزایش می دهد . از دیوار برشی می توان برای کاهش تغییر مکانهای بین طبقه ای که عامل موثر خرابی در سازه های چند طبقه در هنگام وقوع زلزه های شدید است استفاده نمود.

❖ استفاده از دیوار برشی تا ارتفاع ۲۰ طبقه الزامی نیست ولی برای ساختمانهای بیش از ۳۰ طبقه استفاده از دیوار برشی بطور جدی توصیه می شود.

❖ از نکات با اهمیت در دیوار برشی لاغری و یا کم بودن ضخامت آنها در مقایسه با ابعاد دیگر آن میباشد که احتمال کمانش حاصل از تیرهای فشاری را ممکن میسازد. اما با فرض اینکه دالهای کف در تمامی طبقات بصورت دیافراگم صلب هستند میتوانند نقش تکیه گاه جانبی برای دیوارهای برشی را داشته باشند. بنابراین طول بحرانی در رابطه با کمانش برابر با ارتفاع طبقه در نظر گرفته شود.

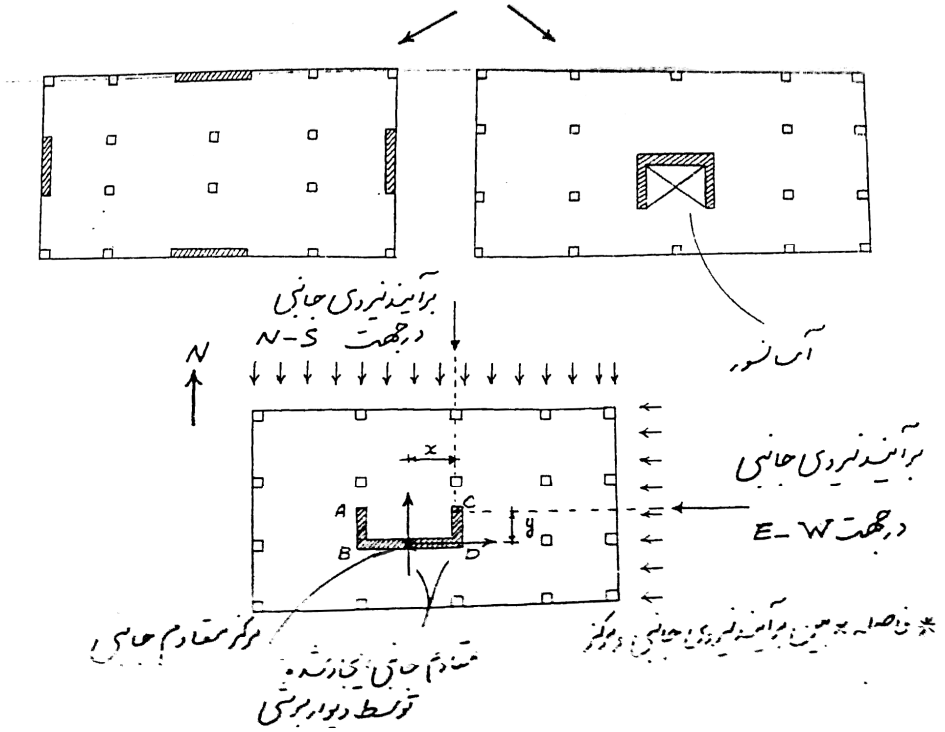
مزایای دیوار برشی

۱- افزایش چشمگیر سختی ساختمان که این خود موجب افزایش درجه ایمنی در مقابل شکست یا فرو ریختن ساختمان می شود.

۲- کاهش قابل ملاحظه ای در وارد آمدن خسارت به عناصر غیر سازه ای که در اکثر موارد هزینه آنها کمتر از هزینه اعضای سازه ای نیست.

۳- اثر قابل توجه به ایجاد آرامش خیال و تامین امنیت روانی ساکنین ساختمانهای بلند مرتبه در هنگام وقوع زلزله .

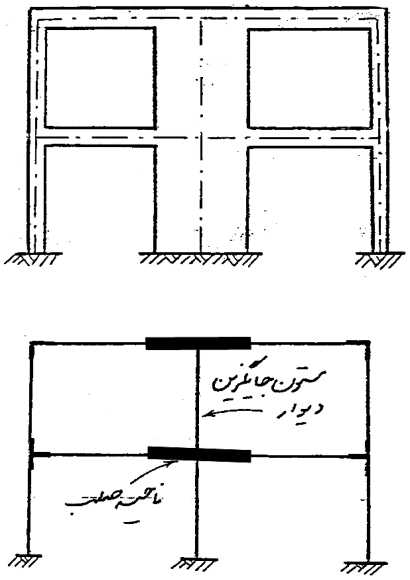
موقعیت مناسب برای استقرار دیوار برشی



* فاصله X بین برآیند نیروی جانبی و مرکز دیوار برشی ، ممان پیچشی در سازه بوجود می آورد .

* پیچش می تواند تغییر شکل دورانی قابل توجهی در ساختمان ایجاد کند و در نتیجه تغییر شکل زیادی در ستونهای دور از مرکز دیوار برشی بوجود آورد.

مدل کردن دیوار برشی بصورت ستون معادل



طراحی دیوار برشی

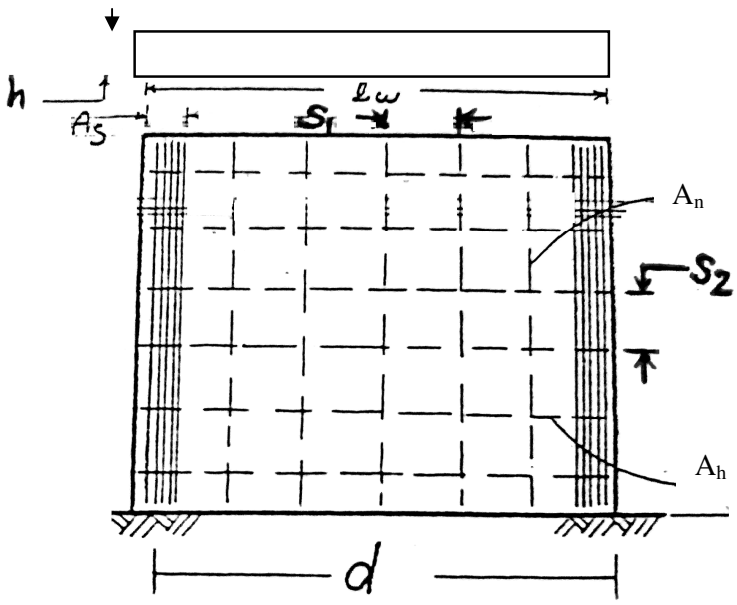
* دیوار برشی تحت تاثیر نیرو برشی و ممان خمشی متغیر قرار می گیرد که در پای دیوار مقدار آنها حداکثر می باشد.

* اگر دیوار برشی کم باشد ، نیروی برشی حاکم بر طراحی می باشد.

* اگر دیوار برشی زیاد باشد ، ممان خمشی حاکم بر طراحی می باشد.

* به هر حال باید هر دو کنترل شود*

ضخامت دیوار بر طبق آیین نامه ACI نبایداز مقادیر زیر کمتر باشد: 1/25 ارتفاع آزاد ویا 1/25 طول آزاد ، هر کدام که بزرگتر باشد و 150 میلیمتر



طراحی دیوار برشی در مقابل برش

$V_U \leqslant V_r$

$Vr = V_C + V_S$

$V_{r\,max} = 5\ V_C$

$V_C = 0.2\ \phi_C\ \sqrt{fc}\ hd \quad , \quad d = 0.8L_W$

$V_{r\,max} = \phi_c\ \sqrt{fc}\ hd$

نیروی مقاوم V_C برای یک دیوار برشی که تحت اثر نیروی محور N_U قرار گرفته باشد .

$$V_C = 1.65 v_C\, hd + \frac{N_U\, d}{5 l_W} \qquad (a) \qquad v_C = 0.2 \varphi_C \sqrt{F_C}$$

$$V_C = \left[0.3 v_C + \frac{l_W\,(0.6 v_C + 0.15 \frac{N_U}{l_W\, h})}{(\frac{M_U}{V_U} - \frac{l_W}{2})} \right] h\, d \qquad (b)$$

* N_U برای فشار مثبت و برای کشش منفی

اگر $(\frac{M_U}{V_U} - \frac{l_W}{2})$ منفی باشد از رابطه a استفاده می شود .

* در صورتیکه از روابط a و b نخواهیم برای تعیین v_c استفاده کنیم می توانیم از دو رابطه ساده زیر و در جهت اطمینان v_c را محاسبه کنیم .

وقتی N_U فشاری باشد(یا صفر باشد) $V_C = 0.2\ \phi_C\ \sqrt{fc}\ \ hd$

وقتی N_U کششی باشد . $V_C = 0.2\ \phi_C\ \sqrt{fc}\ \ (1 + \frac{N_U}{3A_g})\ \ hd$

در رابطه فوق N_U مثبت و A_g سطح مقطع کل دیوار برشی بر حسب میلیمتر مربع می باشد.

$V_S = V_U - V_C$

تعیین میلگرد برشی افقی (A_h)

$$A_h = \frac{V_S\ S_2}{\varphi_S\ f_Y\ d}$$

A_h سطح مقطع یک یا دو میلگرد افقی بر حسب اینکه یک شبکه یا دو شبکه باشد .

$S_Z \leqslant L_W / 5$ یا $3h$ یا $350\ mm$ هر کدام که کوچکتر باشد .

$\rho_h \geqslant 0.0025 \qquad \rho_h = A_h / h\, s_2$

** اگر نیروی برشی نهایی (v_u) از $A_{C_v}\ \nu_c$ بیشتر باشد بکار گیری دو شبکه آرماتور الزامی است .

$V_U > A_{C_\nu}\ \nu_C$

$A_{C_\nu} = L_w h$

$\nu_C = 0.2\ \phi_C \sqrt{fc}$

$Ac\nu$ = مساحت خالص مقطع بتن محدوده ضخامت جان و طول مقطع در امتدادی که نیروی برشی منظور می شود ، بر حسب میلی متر مربع

p_n: نسبت میلگرد برشی قائم بر حسب اینکه یک دو لایه باشد .

A_N: سطح مقطع یک یا دو میلگرد قائم بر حسب اینکه یک یا دو لایه باشد .

$$\rho_n = \frac{A_n}{S_1\ h}$$

$$\rho_n = 0.0025 + 0.5(2.5 - \frac{h_W}{l_W})(\rho_h - 0.0025)$$

❖ نسبت بالا نباید کمتر از 0.0025 باشد ولی لازم نیست از مقدار میلگرد برشی افقی بیشتر در نظر گرفته شود (لازم نیست $p_n > p_h$ باشد ← اگر باشد، از محاسبات صرفنظر می کنیم.)

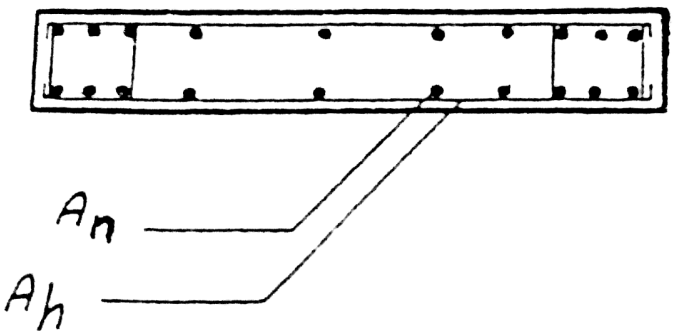
$S_1 \leqslant L_W / 3$ یا $3h$ یا 350 هرکدام که کوچکتر باشد .

❖ در صورتیکه $v_u < v_c$ باشد ، مقادیر حداقل p_h و p_n اختیار شود .

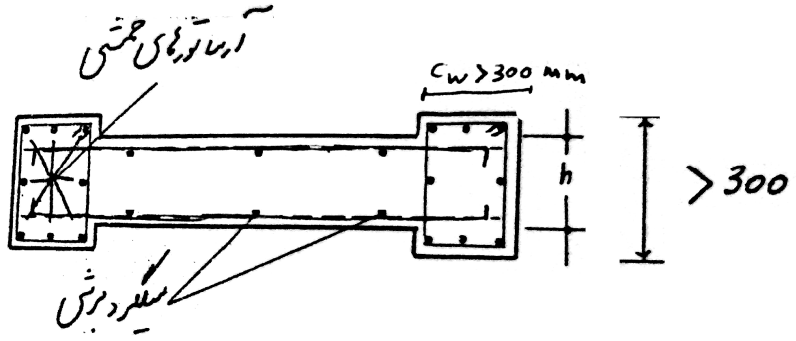
طراحی دیوار برشی در مقابل خمش

دیوار می بایستی در مقابل ممان خمشی وارده نیز مقاومت کند . دیوار همچنین تحت اثر بار محوری ناشی از بار ثقلی نیز قرار می گیرد . برای لحاظ نمودن تاثیر ممان خمشی و بار محوری از دیاگرام اندر کنش می بایستی استفاده نمود . در سازه های کوتاه و متوسط ، بار محوری فشاری عموماً کوچک می باشند ، بنا براین در جهت اطمینان ممان را صرفاً می توان در نظر گرفت . مسئله حتی می تواند بیشتر نیز ساده تر شود بدین معنی که با اغماض توزیع میلگردها در طول دیوار و با فراهم نمودن میلگرد در انتهای دیوار عمل نمود .

❖ به دلیل عوض شدن جهت ممان ناشی از نیروهای زلزله یا باد میلگرد گذاری بصورت متقارن در دو لبه دیوار انجام می شود . (از نظر محاسبات فقط برای یک انتها طراحی خمشی صورت می گیرد.)



❖ در صورتیکه تنش فشاری در لبه دیوار برشی در نتیجه تاثیر بار ضریبدار با لحاظ نمودن اثر زلزله (1.25D+ 1.5 L + 1.5 E) 0.8 از 0.2 fc بیشتر باشد ، لبه های دیوار توسط اعضای مرزی باید تقویت شوند مگر اینکه در تمام دیوار ازتنگ استفاده شود .



$$\sigma = \frac{P_U}{A_g} + \frac{M_U}{S_g}$$

M_U و P_u = نیروی محوری و ممان خمشی ضریبدار در اثر ترکیب بارهای مرده و زنده و زلزله

A_g : سطح مقطع افقی دیوار ؛ $L_W\, h$

S_g : مدول مقطع ترک نخورده ؛ $\frac{h l_W^2}{6}$

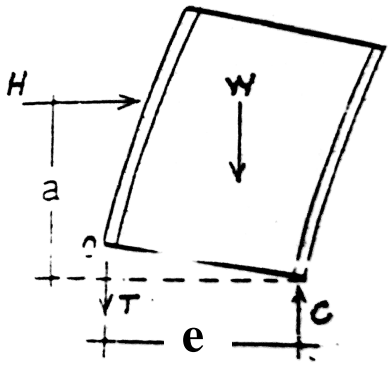
❖ اعضای مرزی باید مجهز به تنگ باشد طبق ضوابط ستونها

I) 1/2 ضلع کوچک مقطع ستون II) 8 برابر کوچکترین قطر میلگرد طولی

III) 24 برابر قطر تنگ IV) 250 میلی متر

❖ دیوارهای برشی معمولا در بین ستونهای قاب ثقلی قرار می گیرند و بنابراین می توان از این ستونها به عنوان اعضای مرزی دیوار استفاده نمود .

$$C = W + T$$



$$\Sigma M_0 = 0 \qquad -W(\frac{e}{2}) + Ce - Ha = 0$$

$$Ce = we/2 + Ha$$

$$C = \frac{W}{2} + \frac{H a}{e}$$

$$T = -\frac{W}{2} + \frac{H a}{e}$$

** اعضای مرزی در حالت حد نهایی برای مجموع بارهای قائم وارد بر دیوار شامل وزن دیوار و بارهای ثقلی وارده بر دیوار و نیروی محوری ناشی از ممان واژگونی و بصورت یک ستون کوتاه طراحی می شود.

** آرماتور های افقی دیوار می بایست در قسمت محدود شده عضو مرزی مهار می شوند .

- ❖ در نهایت لازم است کفایت مقطع دیوار برشی در تراز پای دیوار برای ترکیب بار محوری و ممان خمشی با استفاده از جداول اندرکنش بار محوری و ممان خمشی کنترل گردد .
- ❖ در ساختمانهای کوتاه ، توزیع یکنواخت میلگردهای قائم احتمالا" جوابگوی خمش می باشد تعیین مقاومت خمشی مقطع دیوار به ازا ء توزیع یکنواخت آرماتورهای قائم .

$$M_r = 0.5 A_{St} (\varphi_S \ f_Y) \ l_W \ (1 + \frac{N_U}{A_{St} \ \varphi_S \ f_Y}) (1 - \frac{C}{l_W}) \qquad , \qquad M_r \geq M_U$$

A_{st} : سطح مقطع کل آرماتور های قائم

N_U : نیروی محوری موجود در مقطع دیوار

M_r : مقاومت خمشی نهایی دیوار

$$\frac{C}{l_W} = \frac{\omega + \alpha}{2\omega + 0.85\beta_1}$$

$$f_C \leq 30 \ {}^{N}\!/_{mm^2} \ \rightarrow \ \beta_1 = 0.85$$

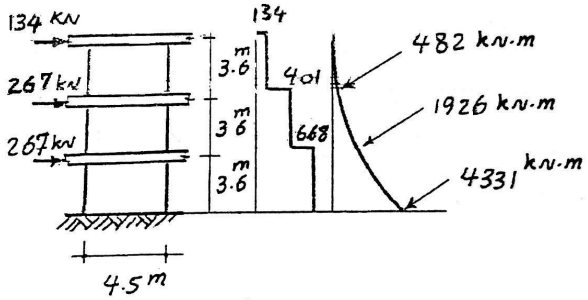
$$\omega = \frac{A_{St}}{l_W \ h} \frac{\varphi_S \ f_Y}{\varphi_C \ f_C}$$

$$\alpha = \frac{N_U}{l_W \ h (\varphi_C \ f_C)}$$

مثال : دیوار برشی ساختمان سه طبقه مطابق شکل تخت اثر بارهای باد قرار گرفته است . مطلوبست طراحی میلگرد های لازم برای دیوار در طبقه همکف .

$f_C = 30\ N/mm^2$

$f_Y = 400\ N/mm^2$



ضخامت دیوار :

$h \geq 3600 / 25 = 144$ mm

$h \geq 4500 / 25 = 180$ mm

ACI ⟹ use h= 200 mm

$h \geq 150$ mm آبا :

کنترل کفایت ضخامت دیوار :

$V_u = 668$ kN

$V_{r\,max} = \phi_c \sqrt{fc}\ hd = ?$

$d = 0.8\ L_W = 0.8\ (4.5) = 3.6$ m

$V_{r\,max} = 0.6 \sqrt{30}\ (20)\ (3.6 \times 1000) \times 10^{-3}$

$V_{r\,max} = 2366$ kN > 668 kN ✓

تعیین مقاوت برشی

$V_C = 0.2\ \phi_C\ \sqrt{FC}\ hd$

$V_c = 0.2\ (0.6) \sqrt{30}\ (200)\ (3600) \times 10^{-3} = 473$ kN

$V_s = V_u - V_c = 668 - 473 = 195$ kN

تعیین میلگرد برشی افقی

$$A_h = \frac{V_S\ S_2}{\varphi_S\ f_Y\ d}$$

$S_2 \leq L_W / 5 = 450 / 5 = 90$ cm یا $3h = 60$cm یا 35 cm

USE $S_2 = 300$ mm

$$A_h = \frac{(195 \times 10^3) \times (3000)}{0.85 \times 400 \times 3600} = 47.5 \quad mm^2$$

$$\rho_h = \frac{47.8}{200(300)} = 0.0008 < 0.0025 \quad \rightarrow \quad \text{USE} \quad \rho_h = 0.0025$$

$A_h = p_h\, h\, S_2 = 0.0025\ (200)\ (300) = 150$

$A_{cv}\ v_C = ?$

$A_{cv} = L_W\, h = 4500\ (200) = 9 \times 10^5\ mm^2$

$v_c = 0.2\ \phi_c \sqrt{fc} = 0.2\ (0.6) \times \sqrt{30} = 0.66$

$A_{cv}\ .\ v_C = 9 \times 10^5 \times (0.66) \times 10^{-3} = 594$

$V_U = 668\ kN > A_{cv}\ v_c = 594$

در نتیجه نیاز به دو لایه میلگرد برشی می باشد. از دو ردیف میلگرد شماره 10 استفاده می شود .(در امتداد دیوار ، معمولاً نزدیک به گوشه های دیوار).

$A = 2\ (\pi \times 10^2 / 4) = 157\ mm^2$

تعیین میلگرد قائم

$\rho_n = 0.0025$

$S_1 \leqslant L_W / 3 = 150$ یا $3h = 60\ cm$ یا $35\ cm$

USE $S_1 = 300\ mm$

$A_N = \rho_n\ S_1 h = 0.0025\ (300)\ (200) = 150$

USE $2\ \Phi\ 10$

طراحی میلگرد خمشی

$$M_r = 0.5 A_{St}\ (\varphi_S\ f_Y)\ l_W\ (1 - \frac{C}{l_W})$$

$A_{St} = 157 \times 4500 / 300 = 2355\ mm^2$

$$\frac{C}{l_w} = \frac{\omega + \alpha}{2\omega + 0.85\beta_1} = \frac{0.049 + 0}{2(0.049) + (0.85)} = 0.06$$

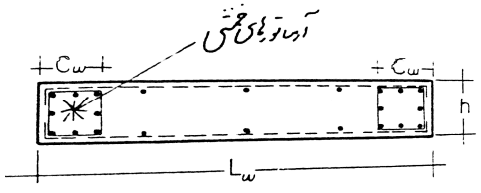
$$\omega = \frac{A_{St}}{l_W\ h}\ \frac{\varphi_S\ f_Y}{\varphi_C\ f_C} = \frac{2355}{4500\,(200)}\ \frac{(0.85)(400)}{0.6(30)} = 0.049$$

$M_r = 0.5\ (2355)\ (0.85)\ (400)\ (4500)\ (1\text{-}0.06) \times 10^{-6}$

$M_r = 1693\ \text{kn-m} < 4331$ → جوابگو نیست

با تقریب خوب مقدار سطح مقطع فولاد لازم در دو انتهای دیوار برابر است با

$$A_S = \frac{M_U}{\varphi_S\ f_Y\ (l_W - C_W)}$$



$$A_S = \frac{4331 \times 10^6}{0.85 \times (400)\ (4500 - 300)} = 3033\ mm^2$$

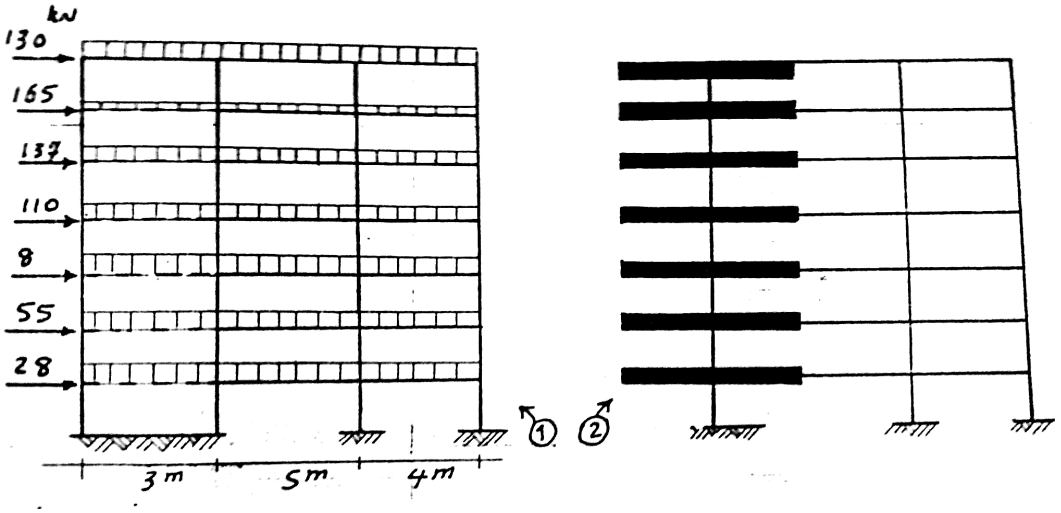
USE $12\ \Phi\ 18$ در هر انتهای دیوار

مثال : سازه نشان داده شده مرکب از دیوار برشی و قاب خمشی می باشد که تحت اثر بارهای ثقلی شامل بارهای مرده و زنده و بار زلزله میباشد . تیرهای قاب به عرض 300 mm و به ارتفاع 400 mm و ستونها به ابعاد 400× 400 mm می باشند . مطلوبست طراحی کامل دیوار برشی

$F_c = 28\ N / mm^2$ $F_Y = 420\ N /mm^2$

بارهای ثقلی در طبقات $W_D = 24$ kN/m , $W_L = 8$ kN/m

بام $W_L = 16$ kN /m , $W_L = 8$ kN /m



با تحلیل سازه زیر اثر بارهای ارائه شده و وزن اعضاء ، نیروی محوری ، ممان خمشی و برش در پای دیوار در ترکیب $0.8\ (1.25\ D + 1.5\ L + 1.5\ E)$ برابر است با :

بر اساس سازه ۱ :	براساس سازه ۲ :
$P_U = 1120$ kN	$P_U = 1192$ kN
$V_U = 783$ kN	$V_U = 773$ kN
$M_U = 8091$ kN.m	$M_U = 8057$ kN.m

ماکزیمم تعداد طبقات توصیه شده برای سیستم مرکب قاب + دیوار برشی 50 طبقه می باشد .

طبق آیین نامه 2800 در سیستم مرکب فوق الذکر ، برای ساختمانهای تا ۸ طبقه و یا کوتاهتر از 30 m می توان به جای توزیع بار به نسبت صلبیت عناصر بار بر جانبی ، ۱۰۰٪ نیروی جانبی زلزله را به دیوارهای برشی اعمال نمود ، مشروط بر آنکه قابها ظرفیت تحمل حداقل 30% نیروی جانبی را داشته باشد .

حال ادامه حل مسئله

ضخامت دیوار

$h \geqslant hw / 25 = 3000 / 25 = 120$ mm

ACI

$h \geqslant L_W / 25 = 3000 / 25 = 120$

$h \geqslant 150$ mm ← آبا

کنترل نیاز به اعضای مرزی

$$\sigma = \frac{P_U}{A_g} + \frac{M_U}{S_g} \leq 0.2 f_C$$

$0.2\ fc = 0.2\ (28) = 5.6$ N/mm^2

$$S_g = \frac{h l_W^2}{6} = \frac{200\,(3000)^2}{6} = 3\times10^8 \text{ mm}^3$$

$$\Rightarrow \sigma = \frac{1120\times10^3}{200\times3000} + \frac{8057\times10^6}{3\times10^8} = 28.7 >> 5.6$$

پس نیاز به عضو مرزی می باشد .

وظیفه انتقال نیروی محوری و ممان خمشی وارد بر دیوار به عهده اعضای مرزی می باشد .

سطح مقطع میلگردهای کششی مورد نیاز در یک جزء لبه برابر است با :

$$T = \frac{H\,a}{e} - \frac{W}{2} \approx \frac{H\,a}{e} = \frac{M_U}{l_W - C_W}$$

$$A_S \varphi_S f_Y = \frac{M_U}{(l_W - C_W)} \quad \Rightarrow \quad A_S = \frac{M_U}{\varphi_S\ f_Y\ (l_W - C_W)}$$

ابعاد عضو مرزی 350 ×350 mm اختیار می شود .

$$A_S = \frac{8057\times10^6}{0.85\,(420)(300-350)} = 8516 \text{ mm}^2$$

Use 16Φ26

از سوی دیگر یک جزء لبه باید بعنوان یک ستون کوتاه زیر اثر نیروی فشاری طرح شود .

$$C = \frac{W}{2} + \frac{H\,a}{e} \Rightarrow C = \frac{P_U}{2} + \frac{M_U}{l_W - C_W}$$

$$C = \frac{1120}{2} + \frac{8057}{(3-0.35)} = 3600 \ kN$$

$P_u = 0.8\ [\ 0.85\ \phi_c fc\ (Ag - A_{St}) + \phi_S fy\ A_{St}\ ]$

$A_{St} = 8500\ \text{mm}^2$ ← 16 Φ 26

$P_u = \{\ 0.8\ [\ 0.85\times 0.6 \times 28\ (\ 350^2 - 8500) + 0.85 \times 420 \times 8500]\ \times 10^{-3}\ \}$

$P_u = 3730 > 3600$ ✓

طراحی برش

$V_u = 783$ kN

کنترل نیاز به دو سفره میلگرد برشی

$A_{cv} . \gamma_C = L_W h (0.2 \phi_c \sqrt{fc})$

$= 3000 \times 200 (0.2 \times 0.6 \sqrt{28}) \times 10^{-3} = 381$

$783 > 381 \longrightarrow$ نیاز به دو میلگرد برشی می باشد .

$V_{r\,max} = \phi_c \sqrt{fc}\, hd$

$d = 0.8 L_W = 2400$

$V_{r\,max} = 0.6 \sqrt{28} (200)(2400) \times 10^{-3} = 1524$ kN

$V_U = 783 < V_{r\,max}$ ✓

$V_C = 0.2 \phi_c \sqrt{fc}\, hd = 0.2 (0.6) \sqrt{28} (200) (2400) \times 10^{-3} \rightarrow V_C = 305$ kN

$V_S = V_U - V_C = 783 - 305 = 478$ kN

میلگردهای برشی افقی

$$A_h = \frac{V_S \; S_2}{\varphi_S \; f_Y \; d}$$

$S_2 = \{ \frac{Lw}{5} = \frac{3000}{5} = 600 \; , \; 3h = 600 \; , \; 350 \; \} \rightarrow$ Use $S_2 = 250$ mm

$$A_h = \frac{478 \times 10^3 \; (250)}{0.85 \, (420) \, (2400)} = 139 \quad mm^2$$

Use $2\Phi 10$ $\rightarrow$ $A_h = 157$

$$\rho_h = \frac{A_h}{h \; S_2} = \frac{157}{200 (250)} = 0.0031 > 0.0025 \quad ✓$$

میلگردهای برشی قائم

$\rho_n = 0.0025 + 0.5 (2.5 - (h_w / L_W)) (p_h - 0.0025)$

$\rho_n = 0.0025 + 0.5 (2.5 - (3000/3000)) (0.0031 - 0.0025) = 0.003$ لذا مشابه میلگردهای

اختیار می شود . 25 mm به فاصله $\Phi 10$ برشی افقی بصورت دو ردیف

طراحی تنگ برای اعضای مرزی

با اختیار نمودن میلگرد نمره 10 :

فاصله میلگردها 1/2 کوچکترین بعد عضو مرزی $\Leftarrow$ $1/2 \times 350 = 175$ mm

یا 8 برابر قطر میلگرد طولی $\Leftarrow$ $8 \times (26) = 208$ mm

یا 24 برابر قطر تنگ $\Leftarrow$ $24 \times (10) = 240$ mm

و یا 250 mm

Use 150 mm