

مسألة على جدران القص البيتونية المسلحة الخاصة

المعطيات: جدار قص جزء من جملة مقاومة الأحمال الجانبية لبناء مؤلف من 10 طوابق. هذا البناء متوضع في منطقة ذات زلزالية عالية، حيث عوامل الاستجابة الزلزالية هي كالتالي:

$$S_1: \text{تسارع الاستجابة الطيفي للزلزال المعترف الأعظمي عند دور 1 ثانية، } S_1 = 0.85.$$

$$S_s: \text{تسارع الاستجابة الطيفي للزلزال المعترف الأعظمي عند الأدوار القصيرة، } S_s = 1.80.$$

صنف تربة الموقع (Stiff Soil)، S_D (كما تم تحديده عن طريق المهندس الجيوتكنيكي).

$$\text{صنف التصميم الزلزالي، } SDC = D.$$

$$\text{معامل الفائضية أو الوثوقية، } \rho = 1.0.$$

$$\text{عامل الأهمية الزلزالي، } I_e = 1.0.$$

$$\text{المقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون، } f'_c = 35 \text{ MPa.}$$

$$\text{إجهاد الخضوع لفولاذ التسليح، } f_y = 414 \text{ MPa.}$$

الانتقال الأفقي المرن عند مستوى السقف و الموافق للأحمال الزلزالية المحددة وفقاً للطريقة المطورة في الكود، $\delta_e = 5.46 \text{ cm}$.

يمثل الانتقال الأفقي δ_e ، الانزياح المرن الجانبي الناجم عن الأحمال الزلزالية التصميمية المحسوبة وفق الكود. سيستخدم هذا الانتقال مضروباً بالمعامل C_d بعد تقسيمه على I_e لتحديد متطلبات تفاصيل العناصر المحيطة.

$$\text{الارتفاع الكلي لجدار القص، } h_w = 9 \times 3.95 + 4.85 = 40.4 \text{ m.}$$

$$\text{المساحة الكلية للمقطع } A_g = 3.72 \text{ m}^2.$$

$$\text{معامل المقطع المرن } Z = \frac{t_p l_w^2}{6} = 5.77 \text{ m}^3.$$

القوى المؤثرة عند قاعدة الجدار، حيث يحوي الحمل الميت P_D الوزن الذاتي للجدار. P_L هو حمل حي غير مخفض.

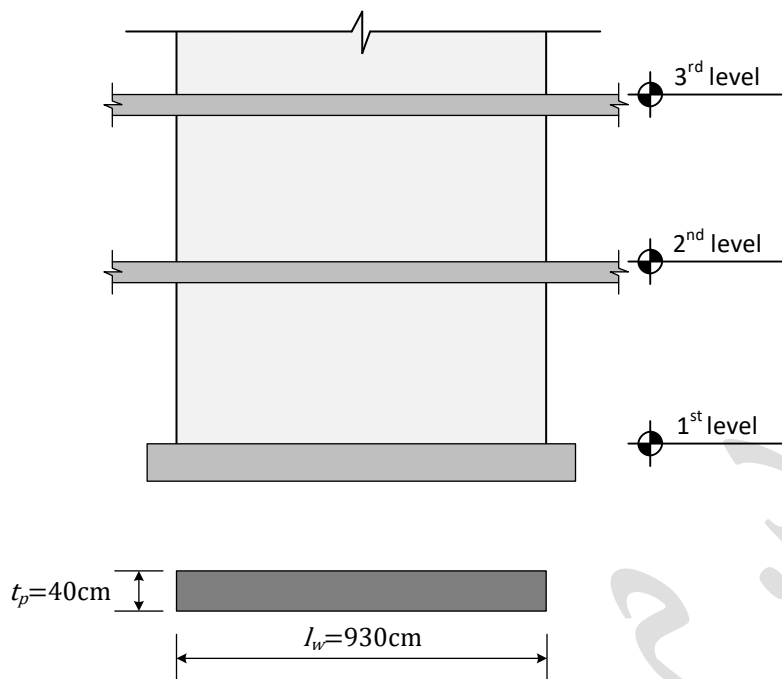
$$P_D = 7117 \text{ kN}$$

$$P_L = 1334 \text{ kN}$$

$$V_E = 6005 \text{ kN}$$

$$M_E = 80907 \text{ kN.m}$$

يظهر الشكل أدناه جزء من المسقط الرأسي و مقطع أفقي في الجدار.



تم تحليل الجدار باستخدام الفرضيات التالية:

- قاعدة الجدار موثوقة.

- خواص مقطع الجدار الفعالة محسوبة بناءً على مواصفات المقطع المتشقق التالية:

$$* \text{صلابة الانعطاف} = 0.5 E_c I_g$$

$$* \text{صلابة القص} = 0.4 E_c A_g$$

$$* \text{الصلابة الفعلية} = E_c A_g$$

يجب الانتباه إلى أن إجراء تحليل حاسوبي للمنشأة هو في أغلب الحالات ضروري لتحديد استجابة البناء. السبب في ذلك هو أن كودات البناء الحديثة تتطلب الأخذ بعين الاعتبار متغيرات كثيرة مثل خواص المقاطع البيتونية المتشققة و غير المتشققة أو تشوهات الأساسات أو خواص بعض أنواع التربة أسفل قاعدة البناء.

المطلوب:

- (1) - حساب العزوم و الأحمال التصميمية الأعظمية باستخدام تراكيب الأحمال التصميمية.
- (2) - تحديد الأبعاد الأولية للجدار باستخدام حسابات سريعة أولية.
- (3) - تصميم الجدار على التأثير المركب لعزم الانعطاف و الأحمال المحورية.
- (4) - تصميم الجدار على القص.
- (5) - التحقق من المقاومة على القص الانزلاقي (احتكاك القص).

(6) - تحديد الحاجة إلى العناصر الطرفية باستخدام مؤشر الإجهادات و كذلك طريقة الانتقالات.

(7) - تصميم تفاصيل تسليح العناصر الطرفية

(8) - رسم المخططات التي تظهر وضع التسليح.

التصميم يجب أن يكون متوافق مع الطرق المطورة المذكورة في الكود العربي السوري و المعتمدة في الكود الأمريكي ACI 318M-14.

الحل:

1 - حساب العزوم و الأحمال الأعظمية باستخدام تراكيب الأحمال التصميمية.

التركيب الزلزالي المسيطر على الضغط: $1.1(1.2D + f_1 L + f_2 S \pm E)$

التركيب الزلزالي المسيطر على الشد: $1.1 (0.9D \pm E)$

من أجل التركيب المسيطر على الضغط نعتمد $\pm E = \pm \rho Q_E + 0.2 S_{DS} D$

من أجل التركيب المسيطر على الشد نعتمد $\pm E = \pm \rho Q_E - 0.2 S_{DS} D$

من معطيات المسألة $S_S = 1.80$

من الجدول (ج-4)

$$\left. \begin{array}{l} S_S = 1.80 \\ S_D \text{ صنف تربة الموقع} \end{array} \right\} \Rightarrow F_a = 1$$

تسارع الاستجابة التصميمي عند الأدوار القصيرة

$$S_{DS} = \frac{2}{3} S_S F_a = \frac{2}{3} \times 1.80 \times 1 = 1.2$$

▪ التركيب الزلزالي الأول (المسيطر على الضغط):

$$(1.32 + 0.22 S_{DS})D + 1.1f_1L + 1.1f_2S \pm 1.1\rho Q_E$$

$$S_{DS} = 1.2 \quad , \quad \rho = 1 \quad , \quad f_1 = 1 \quad , \quad S = 0$$

$$1.584 D + 1.1 L \pm 1.1 Q_E$$

و بالتالي فإن المجموعة الأولى من العزوم و القوى التصميمية هي:

$$P_u = 1.584 \times 7117 + 1.1 \times 1334 \pm 1.1 \times 0 = 12741 \text{ kN}$$

$$M_u = 1.584 \times 0 + 1.1 \times 0 \pm 1.1 \times 80907 = \pm 88997.7 \text{ kN.m}$$

$$V_u = 1.584 \times 0 + 1.1 \times 0 \pm 1.1 \times 6005 = \pm 6606 \text{ kN}$$

▪ التركيب الزلزالي الثاني (المسيطر على الشد):

$$(0.99 - 0.22 S_{DS})D \pm 1.1 \rho Q_E$$

$$0.726 D \pm 1.1 Q_E$$

و بالتالي فإن المجموعة الثانية من العزوم و القوى التصميمية هي:

$$P_u = 0.726 \times 7117 \pm 1.1 \times 0 = 5167 \text{ kN}$$

$$M_u = 0.726 \times 0 \pm 1.1 \times 80907 = \pm 88997.7 \text{ kN.m}$$

$$V_u = 0.726 \times 0 \pm 1.1 \times 6005 = \pm 6606 \text{ kN}$$

2- تحديد الأبعاد الأولية للجدار باستخدام حسابات سريعة أولية.

بما أن طول الجدار هو 9.30 m سيتم "ضبط" السماكة t بحيث لا تتجاوز قيمة إجهاد القص المتشكل في الجدار قيمة معينة.

تعرف الفقرة 18.10.4.4 § ACI318 قيمة إجهاد القص التصميمي الأعظمي (Maximum Design Shear Stress) مساويةً إلى $0.66\phi\sqrt{f'_c}$ ، ومن أجل كل رجل إفرادية للجدار تؤخذ هذه القيمة مساوية إلى $0.83\phi\sqrt{f'_c}$. ينصح باستهداف قيم إجهاد تصميمية أقل، ضمن المجال من $0.33\phi\sqrt{f'_c}$ إلى $0.50\phi\sqrt{f'_c}$.

من أجل تصميم الجدار على القص و كذلك من أجل تصميم الجدار على احتكاك القص (Shear-friction)، تسمح الفقرة 9.3 § ACI318 باعتماد $\phi = 0.75$ ، باستثناء استخدام $\phi = 0.6$ إذا كانت مقاومة القص الاسمية للجدار V_n (Nominal Strength) أقل من القص الموافق لتطور مقاومة الانعطاف الاسمية M_n (Nominal Flexural Strength).

في مثالنا سنستخدم إجهاد القص المستخدم لضبط السماكة:

$$v_d = 0.50\phi\sqrt{f'_c} = 0.50 \times 0.6 \times \sqrt{35} = 1.775 \text{ MPa}$$

و بالتالي فإن سماكة جدار القص اللازمة مساوية إلى:

$$t = \frac{V_u}{v_d l_w} = \frac{6606 \cdot 10^3}{1.775 \times 9300} = 400 \text{ mm}$$

سنعتمد سماكة جدار قص مساوية إلى 40 cm.

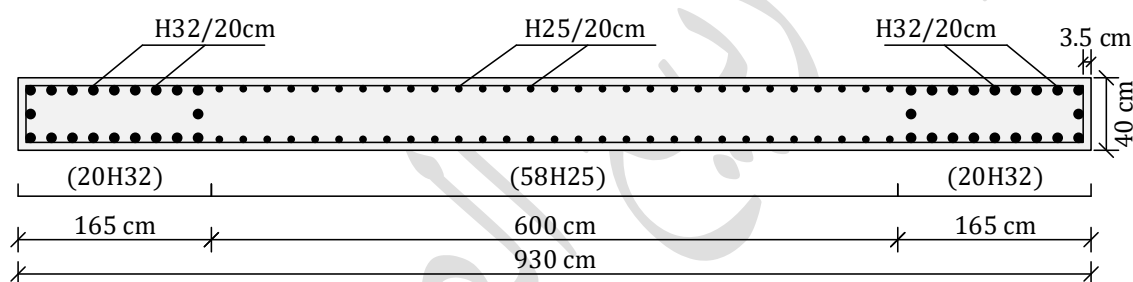
بعض الأفكار حول تحديد الأبعاد الأولية لجدار القص: يمكن أن يكون تقدير سماكة و طول جدار القص، المبني على تشكل إجهاد قص معقول باستخدام القص القاعدي فقط، غير كافي

لمقاومة العزوم التصميمية. يمكن أن تكون مساحة التسليح الرأسي للمناطق الطرفية عالية جداً، وهذا بدوره يؤدي إلى تفاصيل غير قابلة للتنفيذ. لذلك يجب توخي الحذر والتحقق من أن سماكة الجدار المحسوبة على أساس إجهاد القص هي كذلك سماكة كافية من أجل أن يكون هناك فراغ يسمح بتوضع فولاذ التسليح الطولي والعرضي.

3 - تصميم الجدار على عزوم الانعطاف و الأحمال المحورية، (حساب التسليح الطولي).

إن تصميم التسليح الرأسي لمقاومة مجموعة معطاة من الحمولات المحورية و عزوم الانعطاف هو عبارة عن إجراء تكراري (إجراء محاولة و من ثم تقييم الخطأ). بإعطاء مقطع الجدار و بفرض توضع معين للتسليح، يتم التحقق من المقطع من التراكيب الحاكمة لعزم الانعطاف و الحمل المحوري. على الرغم من إمكانية استخدام حسابات يدوية أو طرق الصفحات الجدولية باستخدام برنامج إكسل مثلاً، إلا أن استخدام برامج حاسوبية مثل spColumn يعتبر من أكثر الطرق رغبة و نفعاً لدى المهندسين.

كمحاولة أولى سيتم اعتماد التوضع التالي لقضبان التسليح الطولية



يظهر الشكل أدناه مخطط الترابط للجدار المزود بـ 20H32 متوضعة عند كل منطقة طرفية و 58H25 متوضعة عند جسد جدار القص، بين العناصر الطرفية، و بالتالي فإن مساحة التسليح الرأسي الكلية.

$$A_{vf} = 2 \times 20 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} + 58 \times \frac{\pi \times 25^2}{4} = 60640.59 \text{ mm}^2$$

لاحظ في الشكل أدناه أن النقطتان 1 و 2 اللتان تقعان ضمن منحنى الترابط تمثلان الأحمال الحاكمة:

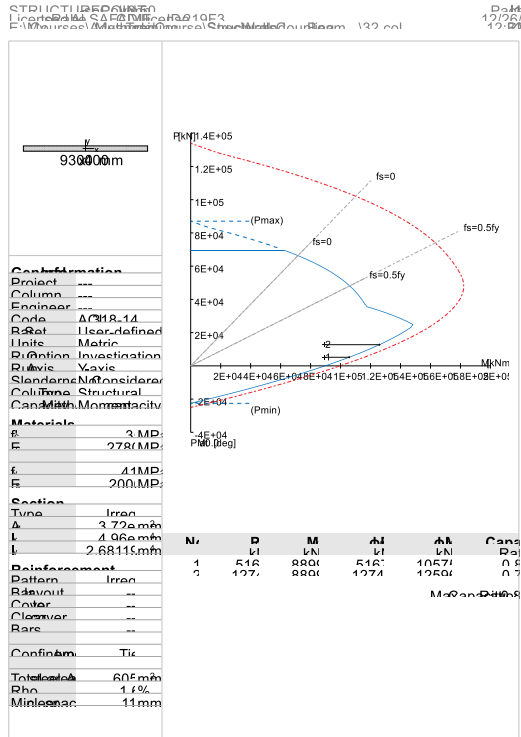
النقطة 1 تمثل التركيب المسيطر على الضغط، حيث:

$$P_u = 12741 \text{ kN}, \quad M_u = 88997.7 \text{ kN.m}$$

النقطة 2 تمثل التركيب المسيطر على الشد، حيث:

$$P_u = 5167 \text{ kN}, \quad M_u = 88997.7 \text{ kN.m}$$

بما أن النقطتان تقعان ضمن منحنى الترابط بالتالي يعتبر مقطع الجدار قيد الدراسة مع توزيع التسليح المفروض مقبول من أجل مقاومة العزوم و القوى المحورية القصوى الناتجة عن تراكبات الأحمال المختلفة.



4 - تصميم الجدار على القص

يعتبر تصميم القص باستخدام متطلبات الكود الزلزالية واضح و صريح. عادةً يُؤخذ الطلب على القص مباشرة من تحليل الأحمال الجانبية من دون الحاجة إلى تعريف تراكيب الأحمال نظراً لأن القص الأفقي الناجم عن أحمال الثقالة يكون عادةً مهملاً، إلا إذا كان بالطبع البناء غير منتظم بشكل كبير مع أخذ تأثيرات P-Delta.

من أجل جدار القص المدروس $V_u = 6606 \text{ kN}$ (كما تم الحصول عليه من التحليل الجانبي الذي تم إنجازه باستخدام الأحمال الزلزالية القصوى مضروباً بعامل التصعيد 1.1)

يحسب تسليح القص الأفقي اللازم للمقطع من معادلة مقاومة القص التصميمية:

$$\phi V_n = \phi A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

حيث

V_n : مقاومة القص الاسمية.

ϕ : عامل خفض المقاومة على القص، ويؤخذ هنا مساوياً إلى 0.6، نظراً لأنه تم حساب القص اللازم بناءً على تراكيب الأحمال الزلزالية و ليس القص الموافق لتشكيل مقاومة الانعطاف الاسمية للجدار.

A_{cv} : المساحة الصافية لجدار القص و تساوي طول الجدار مضروباً بسماكته.

α_c : معامل يعرف المساهمة النسبية لمقاومة البيتون بالنسبة لمقاومة الجدار.

$$\alpha_c = \begin{cases} 0.25 & \text{for } h_w/l_w \leq 1.5 \\ 0.17 & \text{for } h_w/l_w \geq 2 \\ \text{Linear Variation} & \text{for } 1.5 < h_w/l_w < 2 \end{cases}$$

النسبة المتحكممة بتصميم الركيعة الجدارية مبنية على الأكبر من الأبعاد الكلية للجدار أو لجزء منه، (من المسموح استخدام $\alpha_c = 0.17$ في جميع الحالات).

ρ_t : مساحة تسليح القص الأفقي بالنسبة لمساحة مقطع البيتون الكلي المتعامد معه.

f'_c : المقاومة الاسطوانية المميزة للبيتون.

f_y : الحد الأدنى لمقاومة الخضوع للتسليح.

λ : عامل تخفيض المقاومة للبيتون الخفيف.

من أجل الجدار قيد الدراسة:

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{40.4}{9.3} = 4.34 > 2 \Rightarrow \alpha_c = 0.17$$

سنصمم تسليح القص بحيث تكون مقاومة القص التصميمية للجدار مساوية إلى قوة القص المصعدة المطبقة عليه (أي قوة القص اللازمة).

$$V_u = \phi V_n$$

$$6606 \times 10^3 = 0.6 \times 9300 \times 400 (0.17 \times 1 \times \sqrt{35} + \rho_t \times 414)$$

$$\Rightarrow \rho_t = 0.0047 = 0.47 \% > \rho_{t,min} = 0.25 \%$$

$$\rho_t = \frac{A_v}{s t_p}, \quad A_v = 2 \times \frac{\pi d_b^2}{4} \Rightarrow \boxed{\rho_t = \frac{\pi d_b^2}{2 s t_p}}$$

سنعتمد الخطوة لتسليح القص الأفقي $s = 25 \text{ cm}$

و بالتالي سيكون

$$d_b = \sqrt{\frac{2 \rho_t s t_p}{\pi}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.0047 \times 250 \times 400}{\pi}} = 17.3 \text{ mm}$$

سنعتمد تسليح قص أفقي H18/25cm و عليه فإن نسبة تسليح القص الأفقي الفعلية:

$$\text{H18/25cm} \Rightarrow \rho_t = \frac{\pi \times 18^2}{2 \times 250 \times 400} = 0.509\%$$

التحقق من مقاومة القص الاسمية المسموحة الأعظمية:

يتطلب الكود أن تتحقق العلاقة التالية من أجل جدار القص الإفرادي:

$$\phi V_n \leq \phi 0.83 A_{cv} \sqrt{f'_c}$$

حيث لحساب ϕV_n نعتمد ρ_t الفعلية.

$$\phi V_n = \phi A_{cv} (\alpha_c \lambda \sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$$

$$\phi V_n = 0.6 \times 9300 \times 400 (0.17 \times 1 \times \sqrt{35} + 0.00509 \times 414) \times 10^{-3}$$

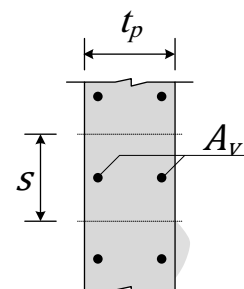
$$\phi V_n = 6948 \text{ kN}$$

من جهة أخرى لدينا:

$$\phi 0.83 A_{cv} \sqrt{f'_c} = 0.6 \times 0.83 \times 9300 \times 400 \times \sqrt{35} \times 10^{-3}$$

$$\phi 0.83 A_{cv} \sqrt{f'_c} = 10959.89 \text{ kN}$$

$$\phi V_n = 6948 \text{ kN} \leq \phi 0.83 A_{cv} \sqrt{f'_c} = 10959.89 \text{ kN} \quad \text{OK}$$



مقطع رأسي في جدار القص

التحقق من النسب الدنيا لتسليح الجسد:

يتطلب الكود توزيع منتظم لكل من تسليح القص الأفقي ρ_t و التسليح الرأسي ρ_l . و من أجل التحكم بعرض الشقوق المائلة و الناجمة عن القص، يفرض الكود كذلك نسبة تسليح صغرى من أجل كل من ρ_l و ρ_t كمايلي:

في حالة جدران القص العادية:

(1) في حال كانت قوة القص V_u محققة للعلاقة: $V_u/\phi > V_c/2$ \Leftarrow يجب أن تكون

- النسبة الدنيا لتسليح القص الأفقي ρ_t :

$$\rho_{t,min} = 0.0025$$

بتباعد S_t يحدد كمايلي:

$$S_t \leq \min\{l_w/5, 3t_p, 45 \text{ cm}\}$$

- النسب الدنيا لتسليح القص الرأسي ρ_l :

$$\rho_{l,min} = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{L_p} \right) (\rho_t - 0.0025) \geq 0.0025$$

$$\rho_{l,min} \leq \rho_t = \max \left\{ \frac{A_v}{S t_p}, \rho_{t,min} \right\}$$

بتباعد S_l يحدد كمايلي:

$$S_l \leq \min\{l_w/3, 3t_p, 45 \text{ cm}\}$$

(2) علاوة على ذلك، يسمح الكود بإجراء تخفيض في نسب التسليح الطولي و العرضي في حال

كانت قوة القص V_u محققة للعلاقة: $V_u/\phi \leq V_c/2$ \Leftarrow

- النسب الدنيا لتسليح القص الأفقي ρ_t :

- $\rho_{t,min} = 0.0020$ من أجل $d_b \leq 16 \text{ mm}$ مع $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

- $\rho_{t,min} = 0.0025$ من أجل القضبان الأخرى

- النسب الدنيا لتسليح القص الرأسي ρ_l :

- $\rho_{l,min} = 0.0012$ من أجل $d_b \leq 16 \text{ mm}$ مع $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

- $\rho_{l,min} = 0.0015$ من أجل القضبان الأخرى

في حالة جدران القص الخاصة:

بشكل مشابه لجدران القص العادية، تعطى متطلبات التسليح الأصغرى لجدران القص الخاصة كتابع لمقدار القص الخارجي المصعد المطبق على المقطع.

(3) في حال كانت قوة القص V_u محققة للعلاقة: $V_u > 0.083 \lambda A_{cv} \sqrt{f'_c}$ \Leftarrow

يجب أن لا تقل نسب التسليح الرأسية و الأفقية عن 0.0025:

$$\rho_{t,min} = 0.0025$$

$$\rho_{l,min} = 0.0025$$

(4) في حال كانت قوة القص V_u محققة للعلاقة: $V_u \leq 0.083 \lambda A_{cv} \sqrt{f'_c}$ \Leftarrow

يتم اعتماد نسب التسليح الدنيا تماماً كما هي الحال للجدران غير الزلزالية:

▪ النسب الدنيا لتسليح القص الأفقي ρ_t :

• $\rho_{t,min} = 0.0020$ من أجل $d_b \leq 16 \text{ mm}$ مع $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

• $\rho_{t,min} = 0.0025$ من أجل القضبان الأخرى

▪ النسب الدنيا لتسليح القص الرأسي ρ_l :

• $\rho_{l,min} = 0.0012$ من أجل $d_b \leq 16 \text{ mm}$ مع $f_y \geq 420 \text{ MPa}$

• $\rho_{l,min} = 0.0015$ من أجل القضبان الأخرى

يجب أن لا يزيد التباعد بين القضبان عن 45 cm

$$S_t \leq 45 \text{ cm}$$

$$S_l \leq 45 \text{ cm}$$

يكون عادةً التسليح الرأسي في الطوابق القليلة السفلية من جدار القص محكوم بشكل أساسي عند التصميم الزلزالي بمتطلبات الانعطاف. من المحتمل أن تسيطر اشتراطات نسب التسليح الدنيا ($\rho = 0.0025$) عند المستويات العليا من جدار القص من أجل الجدار قيد الدراسة.

$$0.083 \lambda A_{cv} \sqrt{f'_c} = 0.083 \times 1 \times 9300 \times 400 \times \sqrt{35} \times 10^{-3}$$

$$= 1827 \text{ kN} < V_u = 6606 \text{ kN}$$

التسليح الأفقي الأصغري

$$A_{t,min} = 0.0025 S_t t_p = 0.0025 \times 250 \times 400 = 250 \text{ mm}^2$$

باستخدام H18/25 كتسليح قص أفقي تكون مساحة التسليح

$$A_t = 2 \times \frac{\pi \times 18^2}{4} = 508.94 \text{ mm}^2 > A_{t,min} = 250 \text{ mm}^2$$

يلزم على الأقل ستارتين من التسليح (Two Curtains of Reinforcement) في حال تحقق أحد الشرطين التاليين $V_u > 0.17 \lambda A_{cv} \sqrt{f'_c}$ أو $h_w/l_w \geq 2$ علماً أن h_w و l_w ارتفاع و طول كامل الجدار على التوالي.

في حالتنا يلزم على الأقل ستارتين من التسليح نظراً لأن:

$$\frac{h_w}{l_w} = \frac{40.4}{9.3} = 4.34 \geq 2$$

بما أن $h_w/l_w \geq 2$ ، سنستخدم طبقتين من التسليح H18/25. الهدف من وضع طبقتين من التسليح هو وضع تسليح الجسد بشكل قريب من سطح الجدار ليمنع تكسر البيتون إلى أجزاء في حال حدوث تشقق شديد للبيتون أثناء الزلزال.

ملاحظة هامة: أي أنه في حال كانت النسبة $h_w/l_w < 2$ وكانت قوة القص المصعدة V_u تتجاوز $0.17 \lambda A_{cv} \sqrt{f'_c}$ عندئذٍ يلزم وضع طبقتين من التسليح (كما تم اعتماده في مقطع الجدار المدروس). من أجل الجدار قيد الدراسة:

$$0.17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c} = 0.17 \times 9300 \times 400 \times 1 \times \sqrt{35} \times 10^{-3} \\ = 3741 \text{ kN} < V_u = 6606 \text{ kN}$$

5 - التحقق من المقاومة على القص الانزلاقي (احتكاك القص).

يهدف تصميم تسليح القص الذي تم انجازه في الفقرة السابقة لمنع انهيار الشد القطري أكثر من منع الانهيارات الناتجة عن النقل المباشر للقص. يحدث الانهيار الناجم عن نقل القص المباشر، (كذلك يشار إليه بانهيار القص الانزلاقي)، نتيجة انزلاق جزأين رأسيين للجدار عند المقاطع الضعيفة مثل الوصلات الباردة.

يتم التحقق من مقاومة القص الانزلاقي باستخدام المعادلة:

$$V_n = \mu A_{vf} f_y$$

A_{vf} : مساحة التسليح المقاوم لاحتكاك القص و الذي يتقاطع مع مستوي الانزلاق المحتمل، (A_{vf} تساوي المساحة الكلية للتسليح الرأسي).

μ : معامل الاحتكاك و تؤخذ قيمته من الجدول التالي:

معامل الاحتكاك	وضع سطح الاتصال المدروس
1.4λ	البيتون مصبوب بشكل مستمر
1.0λ	البيتون مصبوب على سطح بيتون متصلب لكنه نظيف و خالي من الغطاء و مخشن لسعة كاملة بحدود 6 mm.
0.6λ	البيتون مصبوب على سطح بيتون متصلب لكنه نظيف و خالي من الغطاء و غير مخشن.

بالإضافة إلى ذلك يسمح الكود بإضافة مقاومة الاحتكاك الناجمة عن الضغط الصافي الدائم على طول مستوي القص للمقاومة المؤمنة عن طريق التسليح المقاوم لاحتكاك القص.

$$V_n = (A_{vf} f_y + P_{D,min})\mu$$

من أجل الجدار قيد الدراسة لدينا:

$$A_{vf} = 60640.59 \text{ mm}^2, \quad P_{D,min} = P_{u,min} = 5167 \text{ kN}$$

سنفترض في دراستنا أن البيتون مصبوب على سطح بيتون متصلب لكنه نظيف و خالي من الغطاء وغير مخشن، وبالتالي فإن معامل الاحتكاك: $\mu = 0.6 \lambda$.

تعطى المقاومة الاسمية للقص الإنزلاقي:

$$V_n = (60640.59 \times 414 \times 10^{-3} + 5167) \times 0.6 \times 1 = 18163.32 \text{ kN}$$

يجب أن لا تتجاوز قيمة مقاومة القص الاسمية V_n (Nominal Shear Strength) المحسوبة لمستوي القص المفروض، الحدود المبينة في الجدول أدناه:

القيمة العظمى للمقاومة الاسمية		الحالة
(a)	$0.2 f'_c A_c$	بيتون ذو وزن عادي مصبوب بشكل مستمر أو مصبوب على سطح بيتون متصلب و مخشن لسعة كاملة بحدود 6 mm.
(b)	$(3.3 + 0.08 f'_c) A_c$	
(c)	$11 A_c$	
(d)	$0.2 f'_c A_c$	باقي الحالات الأخرى
(e)	$5.5 A_c$	

و بالتالي في حالتنا يجب أن لا تتجاوز قيمة V_n القيمة الأصغر بين $0.2 f'_c A_c$ و $5.5 A_c$ حيث A_c هي مساحة المقطع البيتوني المقاوم لنقل القص.

$$V_n \leq \min \begin{cases} 0.2 f'_c A_c = 0.2 \times 35 \times 9300 \times 400 \times 10^{-3} = 26040 \text{ kN} \\ 5.5 A_c = 5.5 \times 9300 \times 400 \times 10^{-3} = 20460 \text{ kN} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \phi V_n = 0.6 \times 18163.32 = 10897.99 \text{ kN} > V_u = 6606 \text{ kN}$$

6 - تحديد الحاجة إلى العناصر الطرفية.

(1) إجراء مؤشر الإجهادات:

تعتبر هذه الطريقة واضحة و صريحة بشكل مباشر. يستخدم مؤشر إجهاد ذو قيمة $0.2f'_c$ كقيمة حدية لإجهاد الضغط الأعظمي في الليف الأقصى الناجم عن القوى المصعدة التي تحوي تأثيرات الهزة الأرضية و الثقالة. في حال كانت قيمة إجهاد الضغط المحسوب أقل من قيمة المؤشر، عندئذٍ تعتبر العناصر الطرفية الخاصة غير مطلوبة. إذا تحقق العكس، يجب تفصيل العناصر الطرفية الخاصة بما يتوافق مع متطلبات الكود.

تحسب قيمة إجهاد الضغط من أجل عزوم الانعطاف و القوى المحورية المصعدة باستخدام نموذج مرن خطي لسلوك المقطع و مواصفات المقطع الكلية.

من أجل الجدار قيد الدراسة:

$$A_g = l_w t_p = 9300 \times 400 = 3.72 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$I_g = \frac{t_p l_w^3}{12} = \frac{400 \times 9300^3}{12} = 2.68 \times 10^{13} \text{ mm}^4$$

$$Z = \frac{t_p l_w^2}{6} = \frac{400 \times 9300^2}{6} = 5.77 \times 10^9 \text{ mm}^3$$

بالتالي:

$$\sigma = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u}{Z} = \frac{12741 \times 10^3}{3.72 \times 10^6} + \frac{88997.7 \times 10^6}{5.77 \times 10^9} = 18.85 \text{ MPa}$$

$$\sigma = 18.85 \text{ MPa} > \sigma_{cr} = 0.2f'_c = 0.2 \times 35 = 7 \text{ MPa}$$

لذلك العناصر الطرفية مطلوبة وفقاً لإجراء مؤشر الإجهاد.

(2) الإجراء المبني على الانتقالات:

في هذا الإجراء نستخدم عمق المحور المحايد C ، كمؤشر لتحديد فيما إذا كانت المناطق الطرفية مطلوبة. هذا المؤشر مرتبط بشكل مباشر مع التشوهات عند ليف الضغط الأقصى.

يعتبر تفصيل المنطقة الطرفية مطلوب إذا تحقق:

$$C \geq C_{cr} = \frac{l_w}{600 \left(1.5 \frac{\delta_u}{h_w} \right)}, \quad \frac{\delta_u}{h_w} \geq 0.005$$

حيث

C : عمق المنطقة المضغوطة، أي المسافة من ليف الضغط الأقصى إلى المحور المحايد.

l_w : طول الجدار الكامل أو الركيزة الجدارية.

δ_u : الانتقال الجانبي التصميمي عند أعلى الجدار أو الركيزة الجدارية و يساوي الانتقال المرين δ_e الناجم عن القوى الزلزالية المحسوبة وفقاً للكود مضروباً بالعامل C_d (عامل تضخيم الانتقال) بعد تقسيمه على I_e (عامل الأهمية الزلزالي).

h_w : ارتفاع كامل الجدار أو الركيزة الجدارية.

تم تأسيس المفهوم المبني على الانتقال على فرضية أن الاستجابة اللامرنة للجدار تنجم عن خضوع الانعطاف عند المقطع حرج، عادةً قاعدة الجدار. بعد معرفة هذا الشرط، تكون خطوات هذه الطريقة لتحديد الحاجة إلى العناصر الطرفية الخاصة على الشكل التالي:

(a) احسب الانتقال التصميمي δ_u لأعلى جدار القص:

$$\delta_u = \frac{C_d \delta_e}{I_e}$$

(b) احسب التشوه المترافق مع الانتقال الأفقي δ_u في أقصى ليف مضغوط من الجدار. بما أن التشوه مترافق مع عمق المحور المحايد C ، فيمكن استخدام الأخير بشكل غير مباشر لتقييم التشوه. يتم حساب عمق المحور المحايد C باستخدام توزيع تشوهات خطي، أو بافتراض خضوع كامل التسليح الطولي في منطقتي الضغط و الشد. يحسب العمق C من أجل الحمل المحوري المصعد $P_{u,CS}$ و مقاومة العزم الاسمية $M_{n,CS}$ المترافقة مع الانتقال δ_u في أعلى جدار القص و الناتج عن عمق المحور المحايد الأكبر.

(c) يحسب الحد الحرج لعمق المنطقة المضغوطة C_{cr} . يمكن اعتبار القيمة الحرجة لعمق المنطقة المضغوطة كمؤشر لعمق المحور المحايد من أجل مقارنته مع

العمق الفعلي المحسوب C لأكبر حمل محوري أقصى $P_{u,CS}$ و مقاومة العزم الاسمية المرافقة $M_{n,CS}$.

d إذا كانت قيمة C المحسوبة أكبر من قيمة المؤشر C_{cr} ، عندئذٍ يجب تفصيل عناصر طرفية خاصة بشكل مشابه إلى حد ما لتفاصيل الأعمدة المطاوعة.

من أجل الجدار قيد الدراسة، يعتبر التركيب الزلزالي المسيطر على الضغط هو تركيب الحمل الأخطر من أجل حساب C (حيث القيمة الأكبر للقوة P_u):

$$P_u = 12741 \text{ kN}, \quad M_u = 88997.7 \text{ kN.m}$$

نحصل على عمق المحور المحايد $C=2517 \text{ mm}$ باستخدام برنامج تصميم الأعمدة .spColumn

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacity Ratios

NOTE: Calculations are based on "Moment Capacity" Method.

No.	Demand		Capacity		Parameters at Capacity		
	P_u kN	M_{uy} kNm	ϕP_n kN	ϕM_{ny} kNm	NA Depth mm	ϵ_t	ϕ
1	5167.00	88997.70	5167.00	105752.80	1915	0.01149	0.900
2	12741.00	88997.70	12741.00	125960.77	2517	0.00802	0.900

الانتقال التصميمي δ_u هو الانتقال المعرف كإنتقال جانبي متوقع نتيجة الزلزال التصميمي. هذا الانتقال هو أكبر من δ_e (الانتقال المرن المحسوب من أجل القوى الزلزالية الموصوفة في الكود و المطبقة على نموذج مرن خطي). على الرغم من أنه عند إجراء التحليل تم أخذ كلاً من تأثيرات المقاطع المتشققة و الفتل و قوى P-Delta و مرونة الاساسات بعين الاعتبار، إلا أن هذا التحليل لا يعطي الانتقال اللامر المتوقع δ_u . لذلك يتم حساب δ_u بضرب δ_e بمعامل تضخيم الانتقال C_d المعطى في الكود بعد تقسيمه على عامل الأهمية I_e . من أجل المسألة قيد الدراسة و التي هي عبارة عن جملة بناء مؤلفة من جدران قص خاصة بيتونية مسلحة يؤخذ $C_d = 5$.

الانتقال المرن لجدار القص عند مستوى السقف $\delta_e = 5.46 \text{ cm}$ ، كما تم الحصول عليه من التحليل المرن الخطي للبناء تحت تأثير القوى الزلزالية الموصوفة في الكود، بالتالي:

$$\delta_u = \frac{C_d \delta_e}{I_e} = \frac{5 \times 5.46}{1} = 27.3 \text{ cm}$$

$$\frac{\delta_u}{h_w} = \frac{273}{40.4 \times 10^3} = 0.0068 \geq 0.005 \text{ (الحد الأدنى)}$$

$$C_{cr} = \frac{l_w}{600 \left(1.5 \frac{\delta_u}{h_w} \right)} = \frac{9300}{600 \times 1.5 \times 0.0068} = 1519.61 \text{ mm}$$

$$C = 2517 \text{ mm} > C_{cr} = 1519.61 \text{ mm}$$

بالتالي العناصر الطرفية الخاصة مطلوبة.

من المثير للاهتمام ملاحظة أنه من أجل الجدار المدروس، أفضت كلاً من طرق مؤشر الإجهادات و مؤشر التشوهات إلى نفس الاستنتاج: العناصر الطرفية الخاصة مطلوبة. من الممكن عدم مصادفة هذه الحالة في جميع التصاميم. السيناريو الأكثر احتمالاً هو أن تظهر طريقة مؤشر الإجهادات الحاجة إلى العناصر الطرفية الخاصة بينما طريقة التشوهات لا تؤدي إلى هذه النتيجة. على الرغم من أن الكود لا يتطلب إرضاء كلاً من المعيارين، إلا أن العديد من المهندسين يختار تفصيل المناطق الطرفية الخاصة حسب ما هو ملزم بطريقة مؤشر الإجهادات.

يجب الانتباه دائماً إلى أنه في التصميم الزلزالي، كثرة تفاصيل التسليح تؤدي إلى نتائج عكسية.

7 - تصميم تفاصيل تسليح العناصر الطرفية

بغض النظر عن الطريقة المستخدمة في تحديد الحاجة إلى عناصر طرفية خاصة، يتم إنجاز تفصيل هذه العناصر حسب الفقرة ز-9-6 من الكود. فيما يلي ملخص لهذه الفقرة:

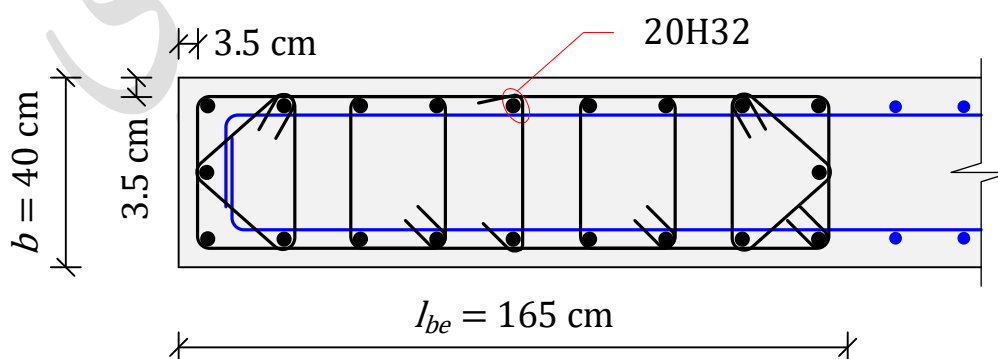
$$(1) \text{ يعطى العرض المطلوب للعنصر الطرفي بالأكبر بين } C/2 \text{ و } C - 0.1l_w$$

من أجل الجدار قيد الدراسة، عرض العناصر الطرفية هو الأكبر بين:

$$C/2 = 2517/2 = 1258.5 \text{ mm}$$

$$C - 0.1l_w = 2517 - 0.1 \times 9300 = 1587 \text{ mm}$$

و بالتالي نعلم عرض المنطقة الطرفية 165cm (كما تم اعتماده عند بيان توضع قضبان التسليح الطولي)



(2) يجب أن لا تقل مساحة التسليح الطولي ضمن المنطقة الطرفية عن القيمة التالية:

$$A_s > A_{s,min} = 0.0025 l_{be} b$$

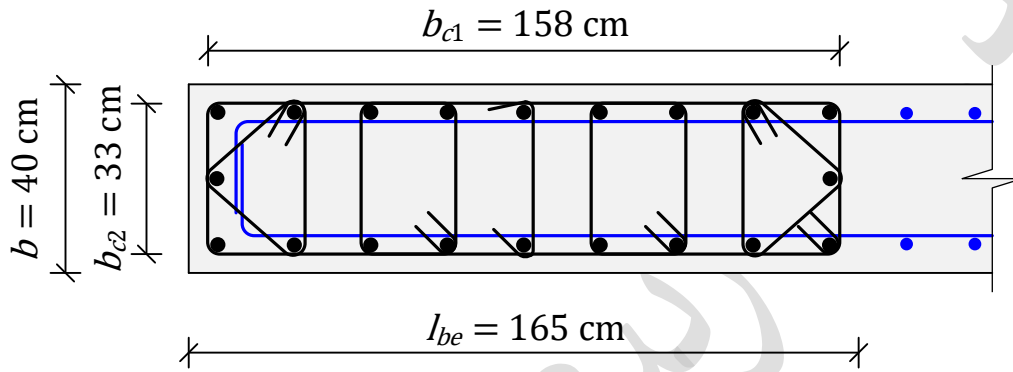
$$A_s = 20 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 16084.95 \text{ mm}^2$$

$$A_{s,min} = 0.0025 l_{be} b = 0.0025 \times 1650 \times 400 = 1650 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 16084.95 \text{ mm}^2 > A_{s,min} = 1650 \text{ mm}^2$$

(3) التباعد بين الأساور ضمن المناطق الطرفية:

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



$$A_{sh} = 0.3 \left(\frac{40 \times 165}{33 \times 158} - 1 \right) \frac{35}{414} s b_c = 6.742 \times 10^{-3} s b_c$$

يجب كذلك أن لا تقل مساحة مقاطع أفرع الأساور ضمن المنطقة الطرفية في كل اتجاه رئيسي عن المساحة الأصغر المحددة بالعلاقة التالية:

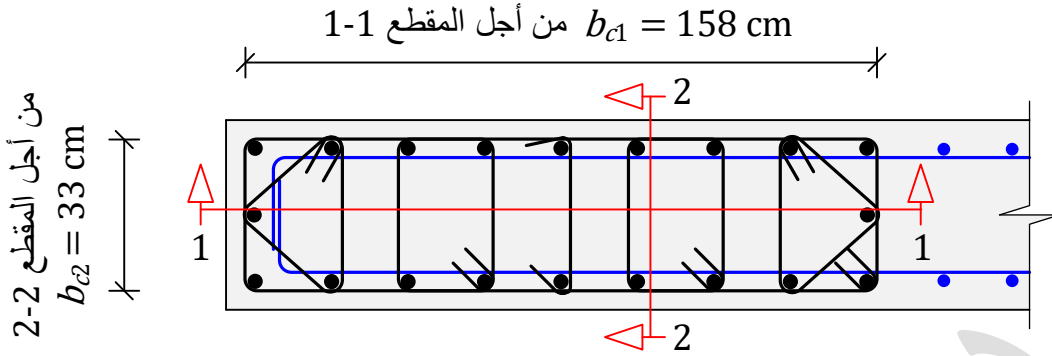
$$A_{sh} = 0.09 \frac{f'_c}{f_y} s b_c = 0.09 \frac{35}{414} s b_c = 7.609 \times 10^{-3} s b_c$$

العلاقة الحاكمة هي العلاقة الثانية، و بالتالي:

$$A_{sh} \geq 7.609 \times 10^{-3} s b_c \Rightarrow s \leq \frac{A_{sh}}{7.609 \times 10^{-3} b_c}$$

يتم التحقق من العلاقة السابقة عن طريق الجدول التالي:

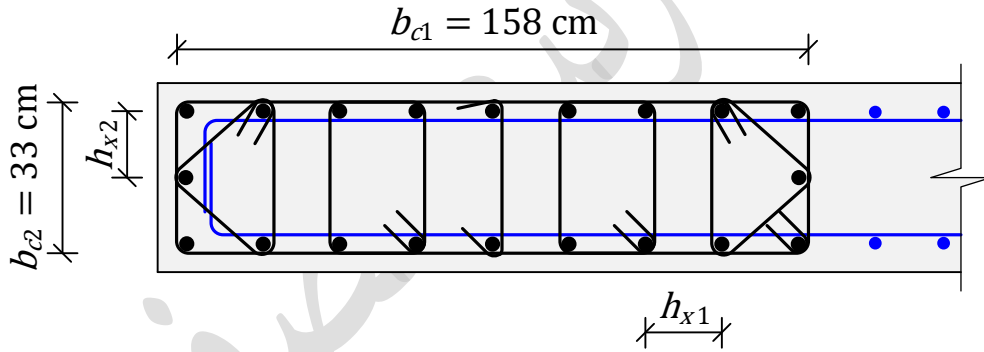
المقطع	b_c [cm]	عدد أفرع الأساور	d_b [mm]	A_{sh} [cm ²]	s [cm]
1-1	158	9	H14	13.854	11.52
2-2	33	2	H14	3.079	12.26



الاشتراطات الأخرى الخاصة بتباعدات الأساور في المنطقة الطرفية الخاصة.

$$10 \text{ cm} \leq s_0 = 10 + \frac{35 - h_x}{3} \leq 15 \text{ cm}$$

h_x : أكبر تباعد بين فرعي اسواره متتاليين.



$$h_{x1} = \frac{165 - 2 \times 3.5 - 2 \times 1.4 - 3.2}{8} = 19 \text{ cm}$$

$$h_{x2} = \frac{40 - 2 \times 3.5 - 2 \times 1.4 - 3.2}{2} = 13.5 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow h_x = 19 \text{ cm} \leq \min \left\{ 35 \text{ cm}, \quad \frac{2}{3} b = \frac{2}{3} \times 40 = 26.67 \text{ cm} \right\} \text{ OK}$$

وبالتالي

$$s_0 = 10 + \frac{35 - h_x}{3} = 10 + \frac{35 - 19}{3} = 15.33 \text{ cm}$$

نعمد $s_0 = 15 \text{ cm}$

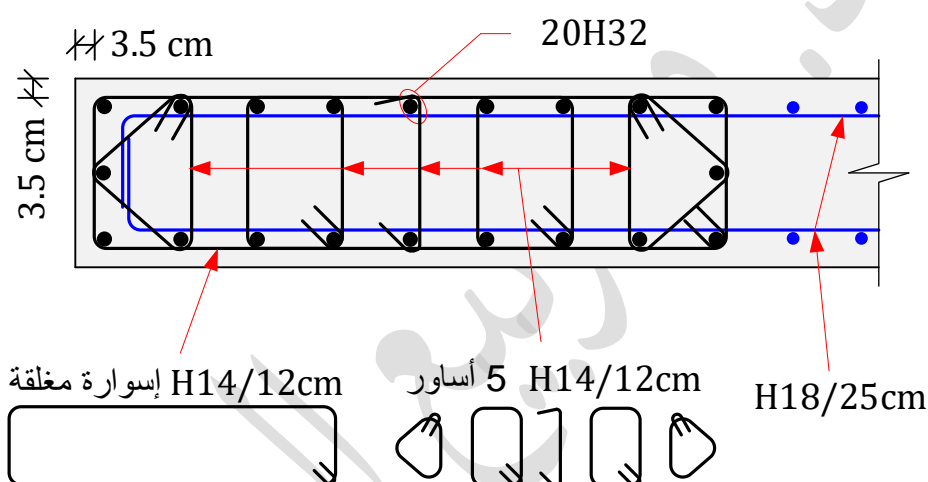
لا يقل التباعد الرأسي لأساور المنطقة الطرفية الخاصة عن القيمة الأصغر ممايلي:

$$s \leq \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b}{3} = \frac{40}{3} = 13 \text{ cm} \\ s_0 = 15 \text{ cm} \\ 6d_b \text{ of Vertical Bars} = 6 \times 3.2 = 19.2 \text{ cm} \end{array} \right\} \Rightarrow s \leq 13 \text{ cm}$$

و بالتالي $s = 11.52 \text{ cm}$

سنعتمد $s = 12 \text{ cm}$

المقطع النهائي للمنطقة الطرفية الخاصة



4) عندما تكون العناصر الطرفية مطلوبة، يجب أن تمتد هذه العناصر على ارتفاع الجدار بدءاً من المقطع الحرج مسافة لا تقل عن الأكبر بين l_w و $M_u/4V_u$. بالتالي، يجب أن لا يقل الامتداد الرأسي للعناصر الطرفية عن القيمة الأكبر من كلٍ مما يلي:

$$l_w = 930 \text{ cm}$$

$$\frac{M_u}{4V_u} = \frac{88997.7 \times 10^2}{4 \times 6606} = 336.81 \text{ cm}$$

و بالتالي يجب ألا يقل الامتداد الرأسي للعناصر الطرفية بدءاً من وجه الاستناد مع الأساسات عن 930cm.

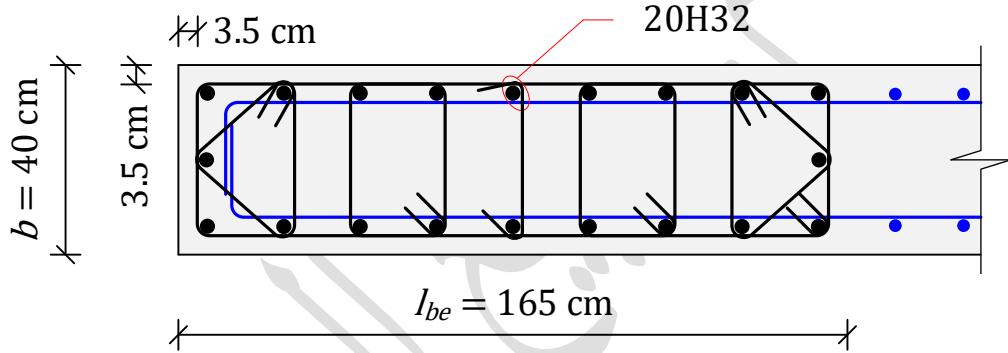
في معظم التصاميم، يمكن أن تكون العناصر الطرفية الخاصة غير مطلوبة بالحسابات على كامل ارتفاع الجدار. إلا أنه من أجل منع تحنيب العناصر الطولية الطرفية، حتى في الحالات التي تكون فيها هذه العناصر غير ملزمة بالتصميم سواء بطريقة الانتقالات أو بطريقة الإجهادات، يتطلب الكود تحقيق كلاً مما يلي:

في حال كانت نسبة التسليح الطولي عند أطراف الجدار أكبر من $2.8/f_y$ ، عندئذٍ يجب أن يحقق التسليح العرضي شروط العناصر الطرفية من حيث التسليح و الأبعاد. فيجب أن لا يتجاوز التباعد الطولي بين قضبان التسليح العرضي في المنطقة الطرفية العادية المسافة الأصغر بين 20cm و $8d_b$ حيث d_b أصغر قطر لقضبان الانعطاف الرئيسية.

في المثال قيد الدراسة، إجهاد الخضوع لفلواذ التسليح $f_y = 414\text{ MPa}$ و بالتالي تكون النسبة الحدية

$$\frac{2.8}{f_y} = \frac{2.8}{414} = 0.0068$$

إذا كانت نسبة التسليح الرأسي عند أطراف الجدار أكبر من هذه القيمة، عندئذٍ يجب الرجوع إلى البند الفقرة أعلاه.



$$A_s = 20 \times \frac{\pi \times 3.2^2}{4} = 160.85\text{ cm}^2$$

$$\rho_{be} = \frac{A_s}{l_{be}b} = \frac{160.85}{165 \times 40} = 0.0244$$

$$\rho_{be} = 0.0244 > \frac{2.8}{f_y} = 0.0068$$

تباعد الأساور في المنطقة الطرفية العادية:

$$s \leq \min \left\{ \begin{array}{l} 20\text{ cm} \\ 8d_b \text{ of Vertical Bars} = 8 \times 3.2 = 25.6\text{ cm} \end{array} \right\} \Rightarrow s \leq 20\text{ cm}$$

يجب أن تؤمن الأساور و الشناكل في المناطق الطرفية العادية سند جانبي للتسليح الطولي بما يتوافق مع:

1. يسمح باستخدام أقطار للشناكل أقل من الأقطار المستخدمة للأساور.
2. يجب أن يكون قطر قضيب الإسورة أو الشنكل مساوياً على الأقل إلى:
 - (a) قطر 10 في حال كان التسليح الطولي بقطر 32 أو أقل.
 - (b) قطر 12 في حال كان التسليح الطولي بقطر 36 أو أكثر.

و بالتالي سنعمد أساور في المنطقة الطرفية العادية H10/20cm.

