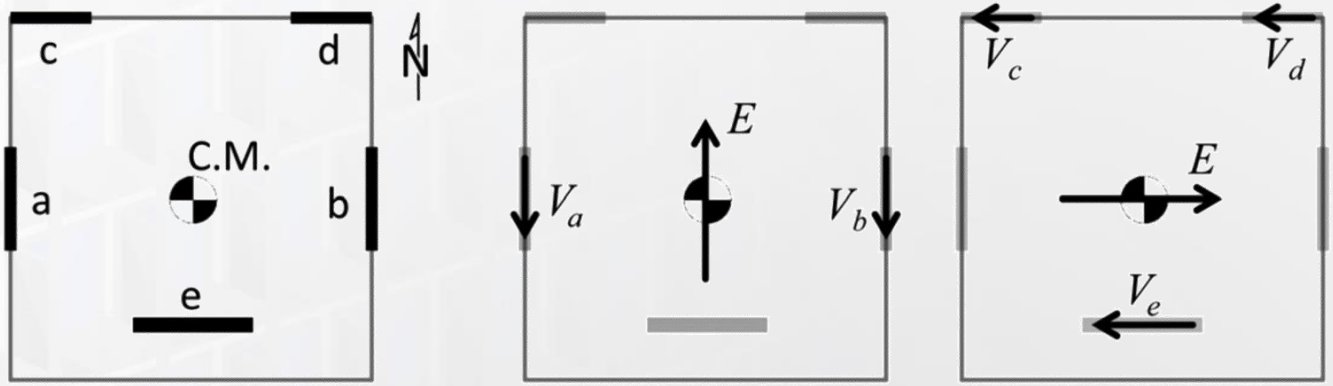
الطرق المطورة المعتمدة في الكود العربي السوري

التصميم الزلزالي لجدران القص الخاصة و الجوائز الرابطة البيتونية المسلحة

د. م. ربيع الصفدي

1.1 Wall Layout
1. 1. طريقة تخطيط و ترتيب جدران القص ضمن البناء

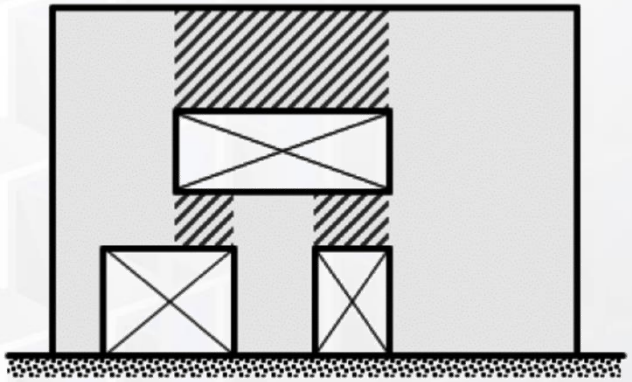
1. 1. 1. التوزيع ضمن المسقط الأفقي (Plan Layout)



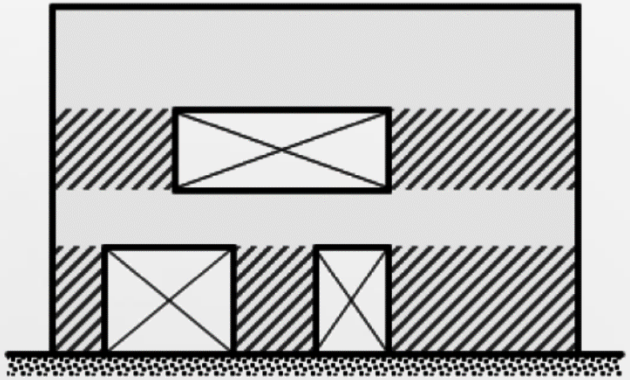
توزع الجدران ضمن المسقط الأفقي | القوى شمال-جنوب | القوى شرق-غرب

- يجب استخدام عدة جدران وفق كل اتجاه رئيسي لتأمين مقاومة كافية لقوى القص الطابقية. من المفضل تجنب الحصول على مجازات طويلة للأحجبة الإنشائية. يجب تحديد أماكن جدران القص بحيث يكون مركز القساوة للجدران أقرب ما يمكن إلى مركز الكتلة, و بالتالي يتم تجنب الفتل المتأصل. يفضل توضع الجدران بالقرب من محيط المبنى لتكبير مقاومة الفتل.
- إذا كان من المتوقع أن يستجيب المبنى بشكل غير مرن (inelastically), فالوضع المثالي عندئذٍ هو أن ينطبق مركز المقاومة على مركز الكتلة عن طريق توضع جدران قص متماثلة بشكل متناظر.

1.2 Wall Configurations
1. 2. تكوين و أشكال جدران القص



a) أقسام الجدار الأفقية (Horizontal wall segments)



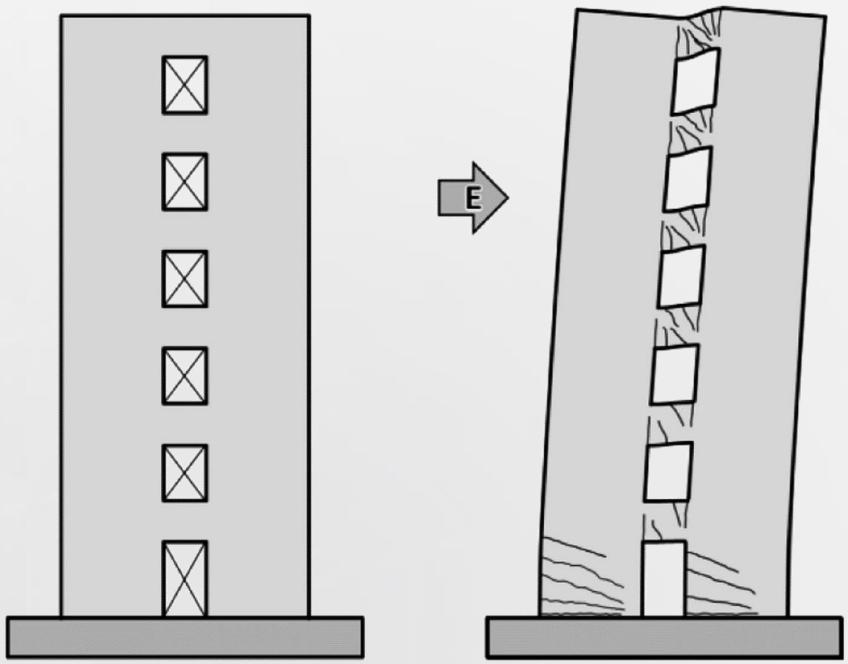
b) أقسام الجدار الرأسية (Vertical wall segments)

- تتألف جدران القص التي لديها فتحات من أقسام جدارية أفقية و أقسام جدارية رأسية. يحيط بالـقسم الجداري الرأسي أفقياً فتحتين أو فتحة و حافة. بشكل مشابه, يحيط بالـقسم الجداري الأفقي رأسياً فتحتين أو فتحة و حافة.

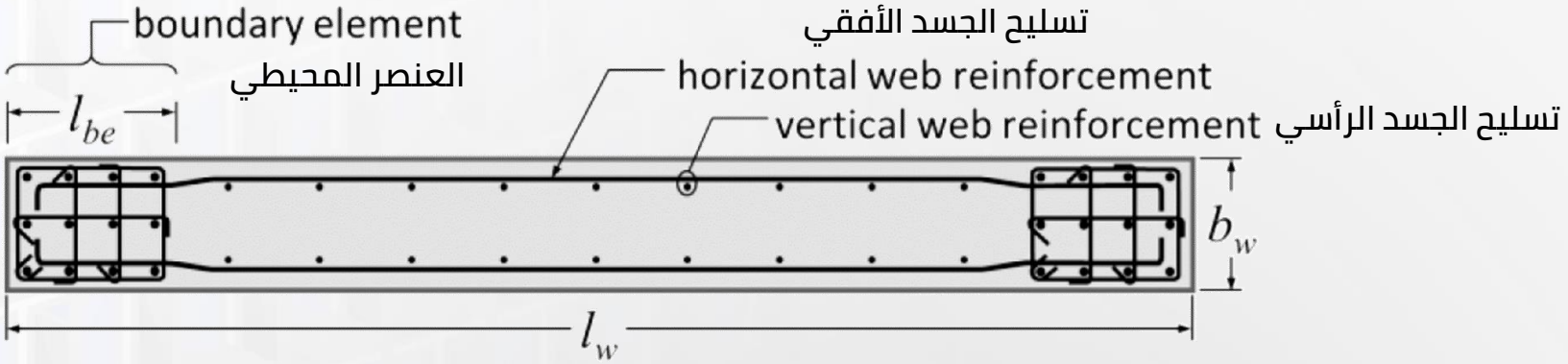
- لبعض جدران القص أقسام جدارية رأسية ضيقة و التي يمكن اعتمادها كأعمدة, إلا أن أبعاد هذه الأعمدة لا تحقق متطلبات أعمدة الإطارات العزمية الخاصة. يعرف الكود ACI 318 الركيزة الجدارية (Wall Pier) عن طريق أبعادها التي تحقق $l_w/b_w \le 6.0$ و $h_w/l_w \ge 2.0$. يمكن أن يكون قسم الجدار الرأسي الموجود في الزاوية السفلى اليسرى من الشكل b مؤهلاً لتوصيفه كركيزة جدارية. هناك اشتراطات خاصة تطبق على الركائز الجدارية.

1.2 Wall Configurations
1. 2. تكوين و أشكال جدران القص

- يشير مصطلح الجدران المربطة (Coupled Wall) إلى الجدران الظفرية المتصلة عن طريق جوائز رابطة مصطفة بشكل رأسي على كامل ارتفاع الجدار.
- الهدف التصميمي هو تطوير ميكانيزم خضوع مطاوعة في الجوائز الرابطة على كامل ارتفاع الجدار و من ثم الخضوع على الانعطاف عند قاعدة كل جدار ظفري.
- يمكن تفصيل الجوائز الرابطة اعتماداً على شكلها الهندسي و القوى التصميمية إما كجوائز مسلحة بشكل تقليدي أو كجوائز مسلحة بشكل قطري (Diagonally Reinforced)

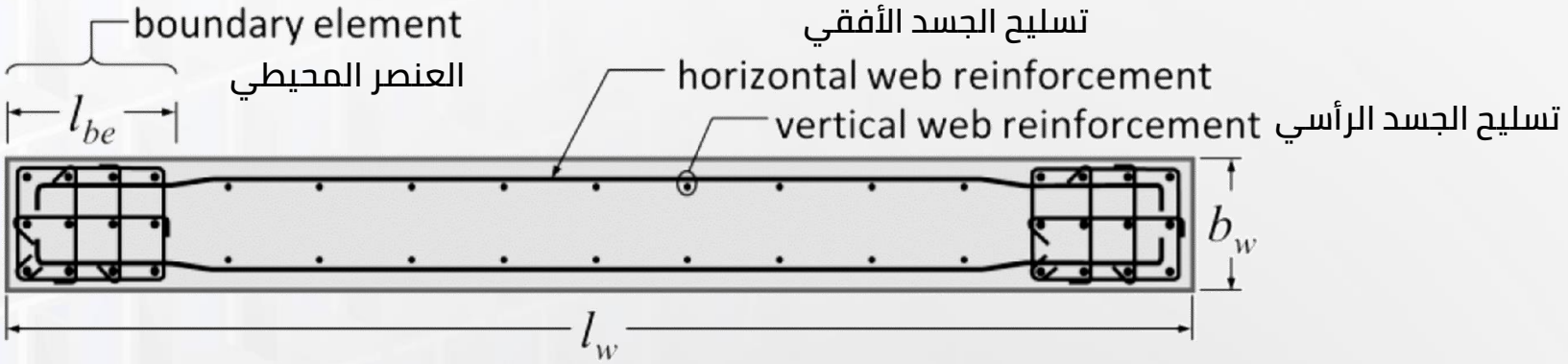


1.3 Wall Reinforcement
1. 3. تسليح جدران القص



- يجب أن يكون لجدران القص الخاصة, كحد أدنى, تسليح جسد موزع بالاتجاهين الأفقي و الرأسي.
- غالباً, لجدار القص الخاص تسليح رأسي مركز عند أطراف الجدار لتأمين مقاومة إضافية للعزم و القوة المحورية. يتم حصر التسليح الطولي عند أطراف الجدار بتسليح عرضي لـتطويق البيتون و تقييد القضبان الطولية ضد التحنيب.
- يلزم الكود ACI318 باستخدام عنصر طرفي خاص عندما ينتج عن الأثر المشترك لأحمال الثقالة و أحمال الزلازل طلبات ضغط عالية عند الحواف. لهذه العناصر تسليح عرضي بتباعدات متقاربة لإحاطة القضبان الطرفية الرأسية بهدف زيادة قدرة التشوه على الضغط لنواة البيتون ضمن المنطقة الطرفية و لتقييد القضبان الرأسية ضد التحنيب.

1.3 Wall Reinforcement
1. 3. تسليح جدران القص



- ✓ يجب أن لا تقل نسبة التسليح الرأسي الموزع على الجسد ρ_l و نسبة التسليح الأفقي الموزع على الجسد ρ_t عن 0.0025. يسمح بتخفيض نسب التسليح ρ_l و ρ_t في حال تحقق $V_u \le 0.083\, A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$.
- ✓ يجب أن لا يتجاوز تباعد التسليح في كل اتجاه عن 45 cm.
- ✓ يلزم على الأقل ستارتين من التسليح في حال تحقق أحد الشرطيين التاليين $V_u > 0.17\, A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$ أو $h_w/l_w \ge 2$، علماً أن h_w و l_w ارتفاع و طول كامل الجدار على التوالي.
- ✓ يجب كذلك تصميم التسليح الأفقي الموزع على الجسد ρ_t لمقاومة قوى القص في الجدار.
- ✓ في حال كانت النسبة $h_w/l_w \le 2$ فيجب أن لا تقل نسبة التسليح الرأسي للجسد $\boldsymbol{\rho_l}$ عن نسبة التسليح الأفقي للجسد $\boldsymbol{\rho_t}$

1.4 Wall Proportioning
1. 4. التوزيع النسبي لجدران القص

- يمكن أن توحي اعتبارات الكلفة بتصميم مقاطع عرضية ذات وزن أصغري، إلا أن هذه المقاطع قد تكون صعبة الإنشاء بالإضافة إلى إمكانية الحصول على أداء غير جيد لها. في حال اتخاذ القرار بإدراج جدران القص في الجملة الإنشائية للبناء، فستهيمن تفاصيل التسليح و القوالب (Formwork) على الكلفة. من المحتمل أن لا يكون لاختيار جدار قص ذو سماكة أكبر أي تأثير ملحوظ على كلفة الإنشاء و الوظيفة (Functionality). إلا أنها ستخفض من ازدحام التسليح (Reinforcement Congestion) و ستحسن من الأداء الزلزالي.
- على الرغم من عدم وجود أي توجيهات في الكود ACI 318 بخصوص السماكة الدنيا لجدران القص، إلا أن الحد الأدنى العملي لسماكة جدران القص الخاصة هو 20 cm.
- يتحسن عادةً أداء الجدران و يكون هناك سهولة نسبية في التنفيذ في حال كانت السماكة الدنيا 30 cm عند وجود عناصر طرفية خاصة (Special Boundary Elements) و 25 cm في الحالات الأخرى.
- تتطلب جدران القص التي تشمل جوائز رابطة بتسليح تقليدي سماكة دنيا 35 cm لتستوعب مسافة التغطية اللازمة و التباعد بين القضبان، مع العلم أن 40 cm هو حد أدنى عملي في حال استخدام جوائز رابطة بتسليح قطري.
- يساعد وجود الأجنحة و العناصر الطرفية المكبرة على استقرار أطراف الجدار و إرساء التسليح من العناصر المجاورة.

الجدران النحيفة (Slender Walls) و الجدران القصيرة (Squat Walls)

- يعتمد سلوك الجدران على نسبة الأبعاد للجدار (Wall Aspect Ratio).
- يشبه سلوك الجدران النحيفة (حيث $h_w/l_w \geq 2.0$) سلوك الأظفار العاملة على الانعطاف (Flexural Cantilevers). النمط المفضل للسلوك اللامرن للجدران النحيفة هو خضوع انعطاف مطاوع (Ductile Flexural Yielding) عند المقطع الحرج، من دون انهيار على القص (Shear Failure).
- تميل الجدران ذات نسبة الأبعاد المنخفضة جداً ($h_w/l_w \leq 0.5$) إلى مقاومة الأحمال الجانبية عن طريق ميكانيزم عنصر الضغط القطري (Diagonal Strut) حيث تتم مقاومة القص عن طريق البيتون و التسليح الموزع الأفقي و الرأسي.
- من أجل نسب الأبعاد المتوسطة ($2.0 > h_w/l_w > 0.5$) يتراوح سلوك الجدار بين الحالتين المشروحتين أعلاه.
- يعتبر عادةً الخضوع على القص (Shear Yielding) للجدران النحيفة أمراً غير مقبول نظراً لأنه يخفض من قدرة التشوه اللامرن (Inelastic Deformation Capacity) إلى ما دون الحدود المتوقعة.
- يعتبر خضوع القص للجدران القصيرة جداً أمراً مقبولاً نظراً لأن هذه الجدران تملك مقاومة متأصلة عالية (High Inherent Strength) و طلبات مطاوعة منخفضة (Low Ductility Demands).

2.1 Slender Walls
2. 1. جدران القص الطويلة

2. 1. 1. الوصول إلى خضوع انعطاف مطاوع (Achieve Ductile Flexural Yielding)

- يحافظ التصميم الجيد للجدار على قيم القوة المحورية أقل بشكل مناسب من النقطة التوازنية بحيث يتلدن تسليح الشد بسبب الانعطاف قبل وصول مناطق الضغط في البيتون إلى قدرة التشوه على الضغط.
- باعتماد المصطلحات الفنية للكود, يجب تجنب الجدران ذات الضغط المتحكم (Compression-controlled Walls), أي المقاطع التي يصل فيها تشوه البيتون إلى القيمة 0.003 قبل خضوع تسليح الشد.
- من الجدير بالملاحظة أن UBC97 حدد القوة المحورية للجدار P_u بحيث $P_u \le 0.35P_o$, و التي توافق تقريباً القوة المحورية التوازنية للجدار المتناظر. لا يوجد حدود للقوة المحورية للجدار في الكود ACI 318.
  - على الرغم من سماح الكود ACI318 بوصول قيم القص المصعد على أرجل الجدار المنفصلة حتى $V_u=0.83A_{cv}\phi\sqrt{f'_c}$, إلا أن هذا سيؤدي إلى انخفاض قدرة المطاوعة على الانعطاف لهذه الجدران.
  - من المستحسن أن لا تتجاوز قوة القص المصعدة و المحسوبة عن طريق الأخذ بعين الاعتبار المقاومة الزائدة للانعطاف (Flexural Overstrength) القيمة $0.33\ A_{cv}\phi\sqrt{f'_c}$ و حتى القيمة $0.50\ A_{cv}\phi\sqrt{f'_c}$ و بالتالي لا تنخفض قدرة المطاوعة على الانعطاف.

3.1 Stiffness Recommendations
3. 1. التوصيات المتعلقة بالقساوة

- من المهم جداً عند تحليل جدار القص نمذجة قساوة المقطع المتشقق بشكل مناسب. تلعب هذه القساوة دوراً هاماً في تحديد الأدوار الطبيعية للبناء, و القص القاعدي, و الانزياحات الطابقية, و توزع القوى الداخلية.
- و فقاً للفقرة 6.6.3 § ACI318, يمكن تعريف قساوة الجدار كمايلي:

a) 50 % من قساوة المقطع الكلي (Gross-section Stiffness).

b) $I_e=0.70I_g$ إذا كان المقطع غير متشقق (uncracked) أو $0.35I_g$ في حال كان المقطع متشقق (cracked) مع أخذ $A_e=1.0A_g$.

c) يمكن إجراء تحليل أكثر تفصيلاً آخذاً بعين الاعتبار القساوة المخفضة تحت شروط التحميل.

- تعتمد القساوة الفعلية لجدران القص على نسبة التسليح, و دوران الأساسات, و القوة المحورية, و انزلاق التسليح من الأساسات (Slip of Reinforcement from Foundations), و برامترات أخرى.
- تعتبر قيم القساوة المحورية و قساوة الانعطاف الموصوفة في الكود ACI 318 معقولة لحالات عديدة, إلا أن قساوة القص (Shear Stiffness) هي عادةً منخفضة و تؤخذ من $0.05G_cA_e$ إلى $0.10G_cA_e$.

3.1 Stiffness Recommendations
3. 1. التوصيات المتعلقة بالقساوة

- يزود الكود ACI318 بقيم القساوة الفعالة لجوائز الإطارات, لكن هذه القيم غير مناسبة للجوائز الرابطة النوعية.
- من المتوقع أن تتعرض الجوائز الرابطة إلى ضرر قبل حصول خضوع (تلدن) هام في الجدران, و هذا بدوره يؤدي إلى تخفيض أسرع في القساوة. تخفض القساوة الفعالة للجوائز الرابطة بشكل أكبر بسبب الدوران المركز للنهايات و المترافق مع انزلاق التسليح من منطقة الإرساء (Anchorage Zones) ضمن المنطقة الطرفية للجدار.
- ينصح الكود ATC72 (ATC 2010) بأخذ $E_c I_e = 0.15 E_c I_g$ مع حساب تشوهات القص بناءً على:
  - $G_c = 0.4 E_c$ من أجل $l_n / h \geq 2$
  - $G_c = 0.1 E_c$ من أجل $l_n / h \leq 1.4$
  - مع استخدام استكمال داخلي خطي (Linear Interpolation) لنسب الأبعاد المتوسطة.

$$G = \frac{E_c}{2(1+\nu)} = \frac{E_c}{2(1+0.2)} = 0.42\ E_c$$

4.1 Load and Resistance Factors
4. 1. عوامل المقاومة و تصعيد الأحمال

التأثير الزلزالي الأفقي: $E_h = \rho Q_E$

التأثير الزلزالي الرأسي: $E_v = 0.2 S_{DS} D$, يمكن أن يزيد أو ينقص من تأثير الحمل الميت.

تراكيب الأحمال الأساسية للتصميم على المقاومة (Strength Design) هي:

$$Q1 = \left(1.2D + 0.2S_{DS}\right) D \pm \rho Q_E + \left(0.5 \text{ or } 1.0\right) L + 0.2S$$

$$Q2 = \left(0.9 - 0.2S_{DS}\right) D \pm \rho Q_E + 1.6H$$

يسمح بأخذ عامل الضرب المطبق على الحمل الحي L مساوياً إلى 0.5 من أجل جميع الإشغالات التي تكون فيها الأحمال الحية التصميمية الغير مخفضة L مساوية أو أقل من 5 kN/m^2, باستثناء أحمال المرائب و المساحات المستخدمة كأماكن تجمع عامة. بالنسبة للحالات الأخرى يؤخذ هذا العامل مساوياً إلى 1.0.

لتعريف عامل الفائضية ρ:

ما هو صنف التصميم الزلزالي؟

A أو B أو C

D أو E أو F

الجملة المقاومة للأحمال الزلزالية عبارة عن جدران قص و بنفس الوقت تحقق أحد الشرطيين التاليين:

1) المنشأة منتظمة وفقاً للمسقط الأفقي عند جميع المستويات الطابقية بشرط أن تكون الجملة المقاومة للأحمال الزلزالية مؤلفة من جدران قص محيطية بمجازين على الأقل مقاومة للأحمال الزلزالية عند كل طرف من أطراف البناء ومن أجل كل اتجاه من الاتجاهين المتعامدين. يمكن حساب عدد المجازات لجدار القص كما يلي: طول جدار القص مقسوماً على الارتفاع الطابقي h_{sx}.

2) عند كل طابق مقاوم لأكثر من 35% من القص القاعدي: لن ينتج عن إزالة جدار قص أو ركيزة جدارية (بنسبة ارتفاع إلى طول أكبر من 1) من أي طابق, أو إزالة وصلات عناصر الربط المتصلة معها, خسارة في المقاومة الطابقية بأكثر من 33% ولن تصبح كذلك الجملة الناتجة جملة ذات عدم انتظام فتلي أقصى.

Yes

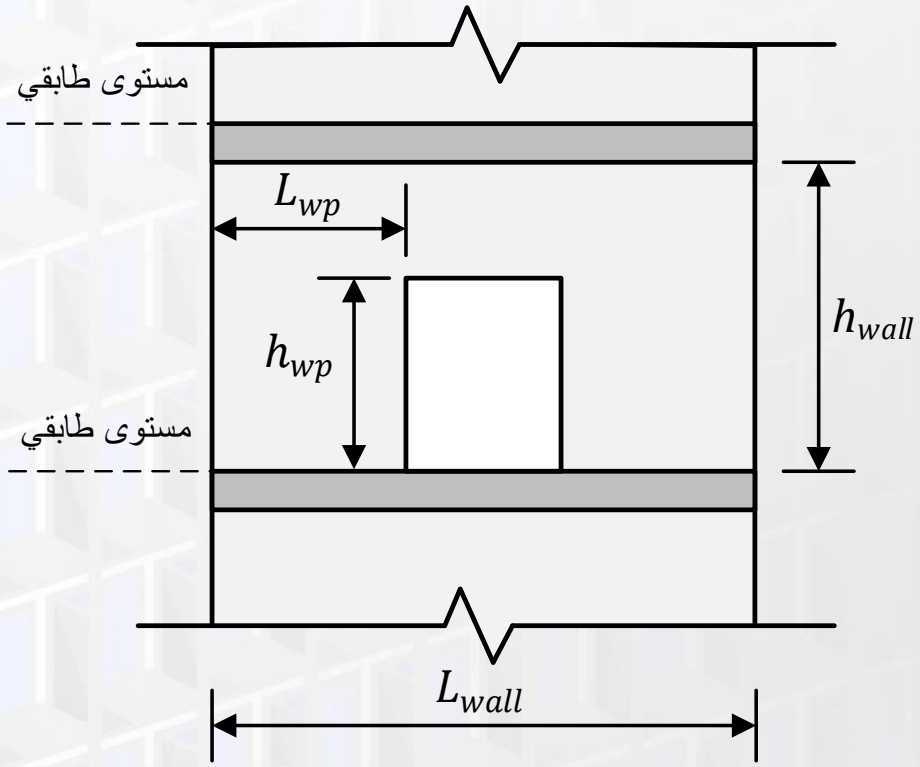
No

$\rho = 1.3$

$\rho = 1$

4.1 Load and Resistance Factors
4. 1. عوامل المقاومة و تصعيد الأحمال

تحديد نسبة الارتفاع إلى الطول من أجل جدار القص و الركيزة الجدارية



h_{wall}/L_{wall}: نسبة ارتفاع جدار القص إلى طوله

h_{wp}/L_{wp}: نسبة ارتفاع الركيزة الجدارية إلى طولها

حيث

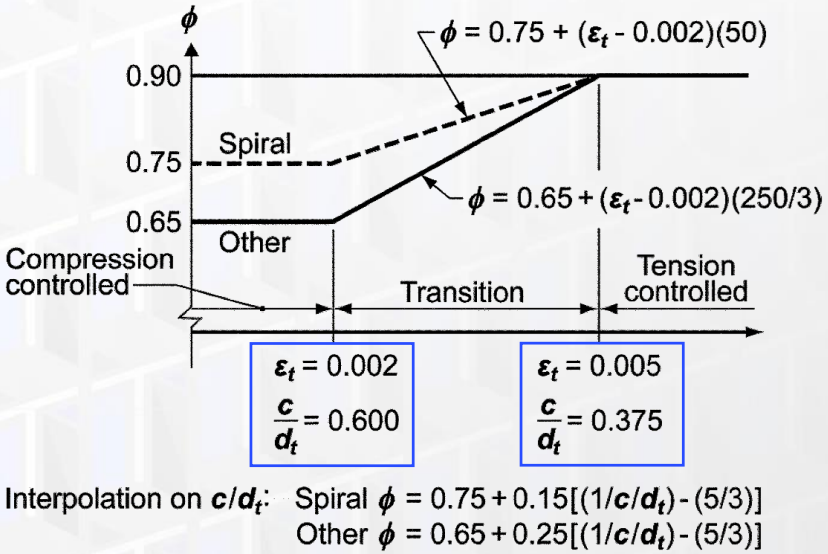
h_{wall}: ارتفاع جدار القص

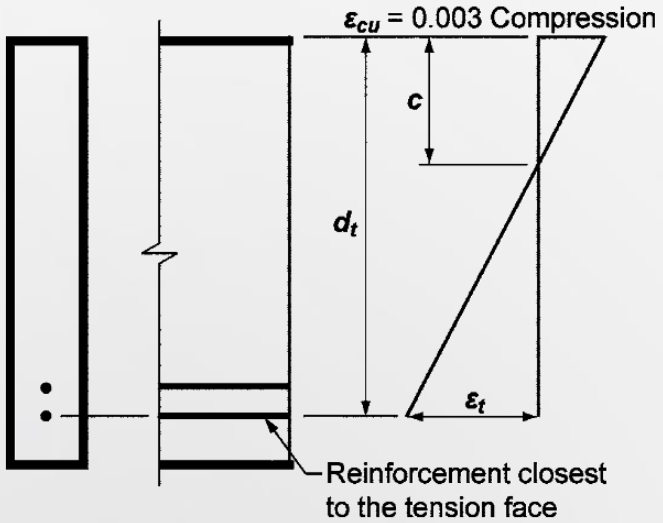
h_{wp}: ارتفاع الركيزة الجدارية

L_{wall}: طول جدار القص

L_{wp}: طول الركيزة الجدارية

4.1 Load and Resistance Factors
4. 1. عوامل المقاومة و تصعيد الأحمال





من أجل جدران القص المعرضة لانعطاف مع قوة محورية, نقوم أولاً بحساب ε_t, تشوه الشد الصافي في أقصى قضيب فولاذ مشدود عندما يصل المقطع للمقاومة الاسمية, أي عندما يصل تشوه الضغط في أقصى ليف بيتوني إلى ε_{cu}=0.003.

في حال كان $\varepsilon_t \geq 0.005$, عندئذٍ $\phi = 0.9$. و في حال كان $\varepsilon_t \leq \varepsilon_y$, عندئذٍ $\phi = 0.65$ من أجل العناصر الطرفية بـأساور عادية أو 0.75 من أجل العناصر الطرفية بـتسليح عرضي حلزوني, تستكمل قيمة ϕ خطياً من أجل القيم المتوسطة للتشوه ε_t. تؤخذ ε_y=0.002 من أجل فولاذ Grade 420MPa.

4.1 Load and Resistance Factors
4. 1. عوامل المقاومة و تصعيد الأحمال

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 أقل من القص الموافق لتطور مقاومة الانعطاف الاسمية M_n.

ينصح بتصميم الجدران النحيفة بحيث تكون مقاومة القص التصميمية ϕV_n (Design Shear Strength) مساوية على الأقل للقص الموافق لتطور مقاومة الانعطاف للجدار (Wall Flexural Strength). يعد هذا الأمر غير قابل للتطبيق في حالة الجدران القصيرة؛ و لا يعد استخدام $\phi = 0.6$ إجراء جزائي ذو أهمية تذكر من أجل الجدران القصيرة بسبب مقاومتها المتأصلة.

يؤخذ $\phi = 0.85$ للجوائز الرابطة المسلحة بتسليح قطري عند التصميم على القص.

يؤخذ $\phi = 0.9$ للجوائز الرابطة المسلحة تقليدياً عند التصميم على الانعطاف، و $\phi = 0.75$ عند التصميم على القص.

4.2 Overall Proportioning
4. 2. تحديد الأبعاد الأولية النسبية

يعتمد عادةً التحديد الأولي لعدد و أبعاد جدران القص على القص القاعدي الزلزالي V للبناء مقابل مقاومة القص التصميمية ϕV_n. يجب الأخذ بعين الاعتبار عدة عوامل تكبير عند تقدير طلبات القص البدائية لجدران القص الإفرادية:

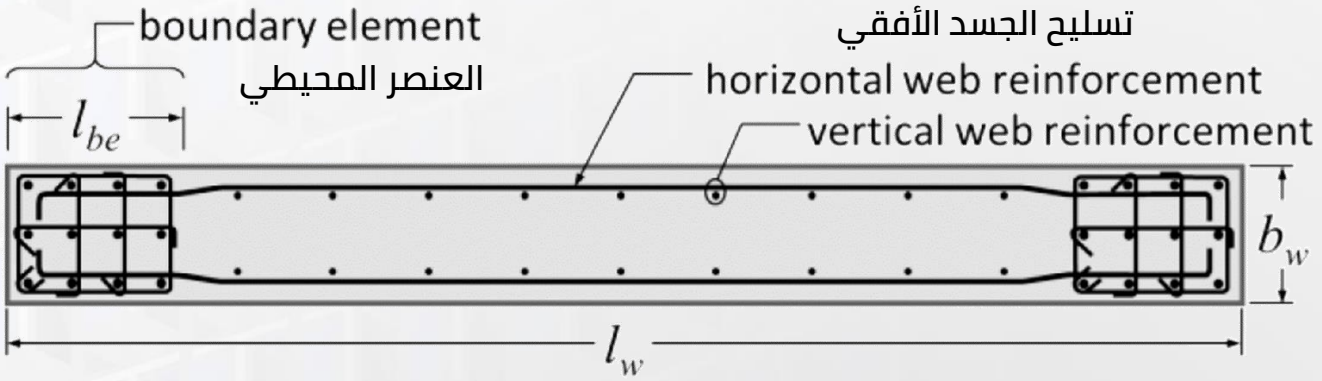
1. يمكن لـعامل الوثوقية ρ (Redundancy Factor) أن يكبر القص.
2. يزيد الفتل بنوعيه الطارئ (Accidental) و المتأصل (Inherent) من قيمة القص في الجدار. تؤخذ عادةً عوامل التكبير النموذجية بالنسبة للقص الأساسي من دون فتل ضمن المجال 1.2 – 1.5.
3. عندما تتم مقاومة القص عن طريق عدة أقسام جدارية رأسية ذات أطوال مختلفة و التي تحوي فتحات و أجنحة, ستتوزع قوة القص الكلية بشكل غير منتظم بين جميع الأقسام. يمكن أن يتغير عامل التكبير بشكل كبير من أجل الأقسام الإفرادية.
4. ينتج عن تصميم الجدار على تراكيب أحمال متعددة مقاومة انعطاف زائدة (Flexural Overstrength). يجب تضخيم قوى القص في الجدران النحيفة, عندما نرغب بالحصول على نمط خضوع على الانعطاف بشكل متناسب مع مقاومة الانعطاف الزائدة المتوقعة. أي عندما نرغب بتصميم القص على القدرة, يؤخذ عادةً عامل تكبير 1.4.
5. يمكن للـتأثيرات الديناميكة في الأبنية متعددة الطوابق أن تضخم قوى القص في الجدار. يمكن تطبيق عامل تضخيم ديناميكي ω لتكبير قوى القص عندما نرغب بالحصول على نمط خضوع على الانعطاف في الجدران النحيفة.

4.2 Overall Proportioning
4. 2. تحديد الأبعاد الأولية النسبية

تطبق العوامل الثلاثة الأولى على جميع الأبنية, بينما يطبق العاملان الأخيران على الجدران النحيفة في الأبنية متعددة الطوابق عندما يكون هدف المهندس تأمين الميكانيزم اللاخطية المتحكمة عن طريق خضوع الجدار على الانعطاف.

- تعرف الفقرة ACI318 § 18.10.4.4 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 $0.50\phi\sqrt{f'_c}$.
- تؤخذ $\phi = 0.75$ إذا تم تطبيق عامل التضخيم المذكور في البند الرابع, و في حال عدم تطبيقه تؤخذ $\phi = 0.6$.
- يتم حساب مساحة الجدار الكلية اللازمة بشكل تقريبي أولي في كل اتجاه عن طريق تقسيم طلب القص المكبر (Amplified Shear Demand) على إجهاد القص التصميمي (Design Shear Stress).
- يتضمن التصميم على الانعطاف المركب مع القوة المحورية تحديد الأبعاد النسبية البدائية للجدار, و توضع التسليح الطولي ضمن الجسد, و توضع التسليح العرضي و الطولي ضمن المناطق الطرفية, و من ثم حساب مقاومة الانعطاف المركب مع القوة المحورية (*P-M* Strength). يتم التصميم بشكل تكراري للوصول إلى التوضع الأمثلي مع الأخذ بعين الاعتبار تنسيق التسليح الرأسي و الأفقي و مقاومة المقطع.

4. 3. 1. تحديد الأبعاد النسبية الأولية (Preliminary Proportioning)

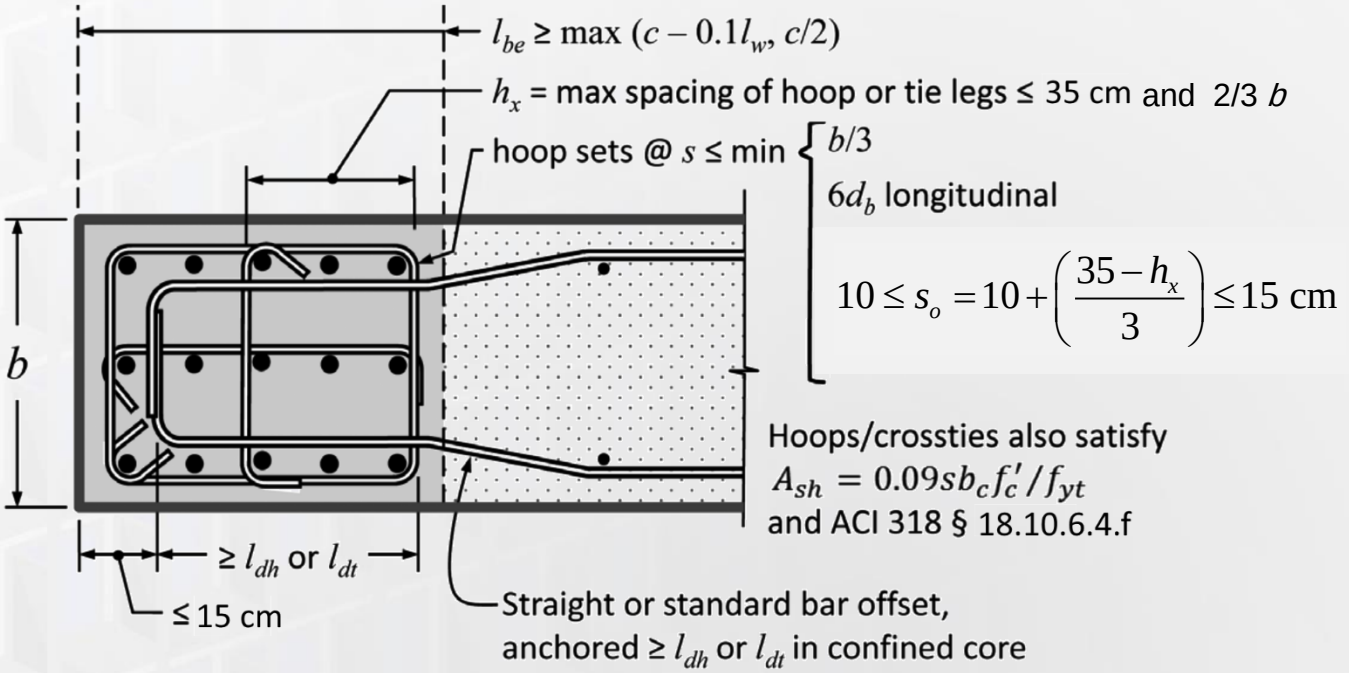


- من المزاولة الجيدة لعملية التصميم تأمين أساور مغلقة (Hoops) لحصر الأجزاء الأكثر تشوهاً في مناطق الضغط الناتجة عن الانعطاف, و تأمين سند جانبي للقضبان الرأسية فيها.
- يجب أن تمتد العناصر الطرفية أفقياً بدءاً من أقصى ليف مضغوط مسافة تساوي على الأقل إلى القيمة الأكبر بين $c - 0.1l_w$ و $c/2$ حيث c أكبر عمق للمحور المحايد و المحسوب تحت تأثير تراكب $P_{u,CS}$ و $M_{n,CS}$ (أي عند المقطع الحرج). بشكل عام, تكون $P_{u,CS}$ المستخدمة لهذه الحسابات مبنية على تركيب الأحمال المتحكم بالضغط.
- لحل مشكلة ازدحام التسليح في المنطقة الطرفية يمكن زيادة أبعاد الجدار أو مد المنطقة المطوقة بعمق أكثر.

4. 3. 2. حساب مقاومة الانعطاف المركب مع القوة المحورية (P-M Strength Calculations)

- تتطابق حسابات المقاومة لجدران القص المقاومة للانعطاف المركب مع القوة المحورية تماماً مع الحسابات الخاصة بالأعمدة البيتونية. حيث تفترض الحسابات توزعاً خطياً للتشوهات (Linear Strain Distribution)، و علاقات مثالية للتشوه مع الإجهاد (Idealized Stress-strain Relations) لتمثيل سلوك البيتون و التسليح.
- تؤخذ ضمن الحسابات جميع قضبان التسليح الطولي المزودة بأطوال تماسك (Developed Vertical Reinforcement) و المتوضعة ضمن العرض الفعال للجناح، و العناصر الطرفية، و جسد الجدار.
- يمكن الاستعانة بـبرامج حاسوبية لرسم مخططات الترابط (*P-M* Interaction) لتسهيل عملية التصميم.
- تكون عادةً المقاومة المميزة للبيتون و الشكل الهندسي للجدار (Wall Geometry) معرفة قبل إجراء التحليل التفصيلي، و بالتالي فإن حساب مقاومة الانعطاف المركب مع قوة محورية (*P-M* Resistance) تتم عن طريق عملية تكرارية (Trial and Error Process) باستخدام أقطار التسليح الطولي و أماكن توضعه كمتغيرات.
- يؤمن التسليح العرضي للعناصر الطرفية سند جانبي للتسليح الطولي، و بالتالي يجب، في المناطق الطرفية، تصميم و تفصيل التسليح الطولي و العرضي بالتوازي .

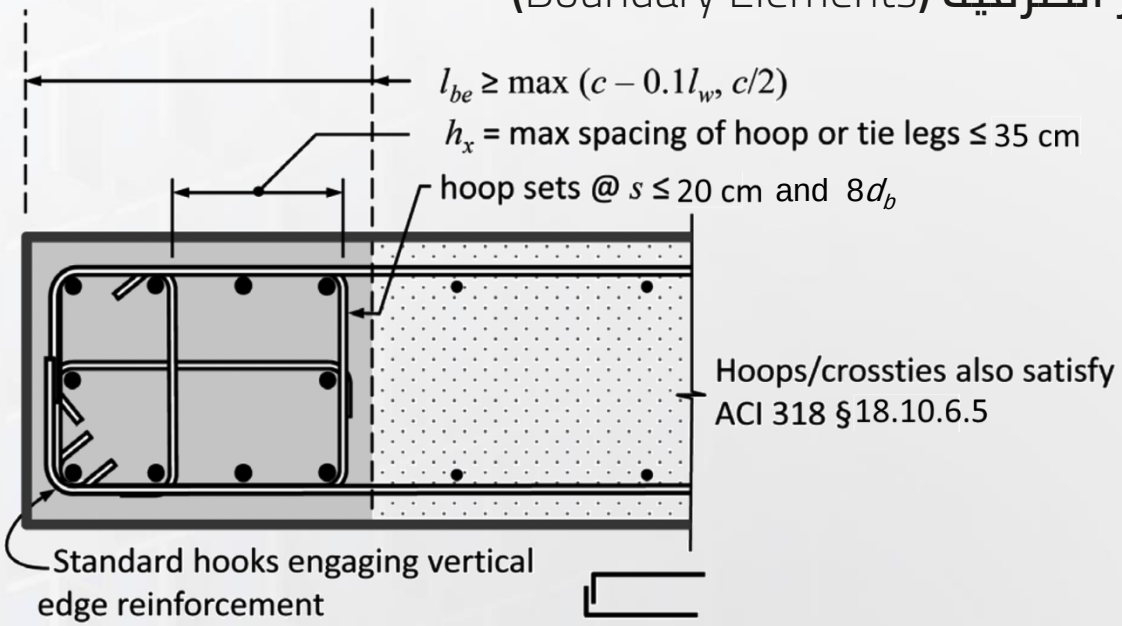
4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)



عنصر طرفي خاص (Special Boundary Element)

يجب تفصيل عنصر طرفي خاص عندما ينتج عن التأثير المركب لأحمال الثقالة و الزلازل طلبات ضغط عالية عند حواف الجدار.

4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)

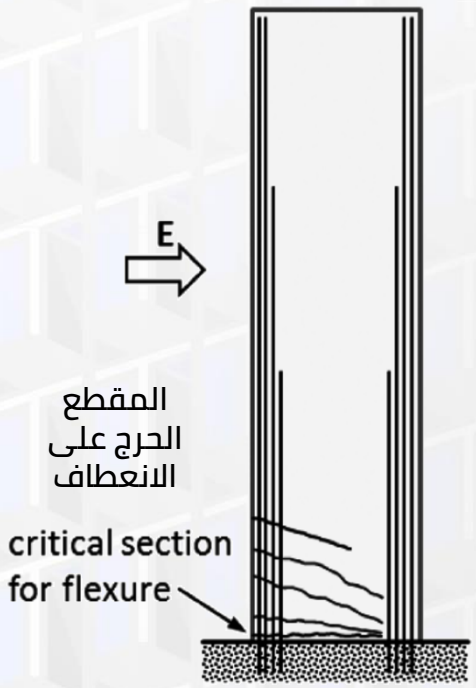


عنصر طرفي عادي حيث $\rho_{be} > 2.8/f_y$ (Ordinary Boundary Element)

لا يلزم استخدام عناصر طرفية خاصة عندما تنخفض طلبات الضغط عند أطراف البناء, لكن يبقى التسليح العرضي للعناصر الطرفية لازماً في حال كانت نسبة التسليح الطولي عند المناطق الطرفية للجدار $\rho_{be}=A_{s,be}/A_{g,be}$ أكبر من $2.8/f_y$.

4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements):

الطرق المستخدمة لتحديد الحاجة إلى وجود عناصر طرفية



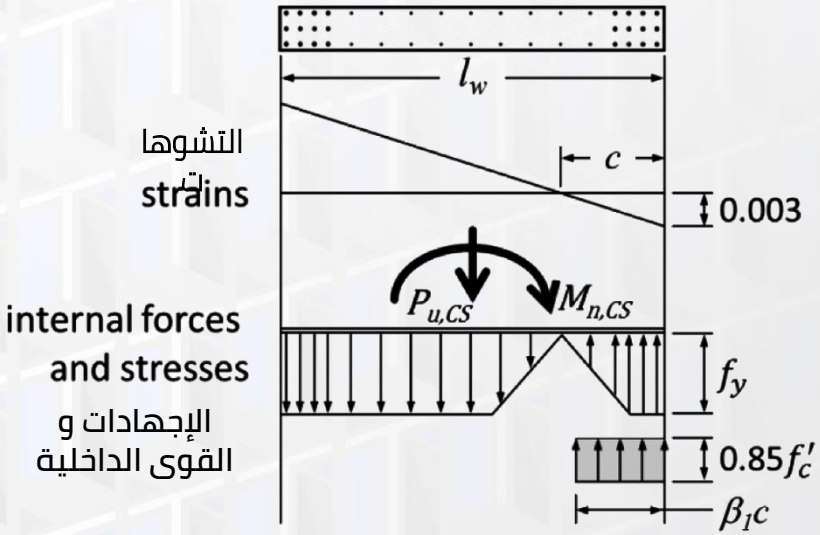
الطريقة الأولى (ACI 318 § 18.10.6.2):

تطبق هذه الطريقة على الجدران و أجزاء الجدران بحيث $h_w/l_w \geq 2.0$ و التي تكون بشكل أساسي مستمرة من قاعدة المنشأة و حتى أعلى الجدار أو جزء الجدار و المصممة للحصول على مقطع حرج وحيد (Single Critical Section) على الانعطاف و القوة المحورية. يجب كذلك استيفاء و تحقيق المتطلبات المذكورة في الفقرات 18.10.6.4 و 18.10.6.5.

يمكن القبول بوجود بعض الانقطاعات و اللااستمرارية (Discontinuity) على طول ارتفاع الجدار بشرط أن يتم اختيار أبعاد الجدار بحيث يتم الحصول على المقطع الحرج في المكان المزمع حسب التصميم.

4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements):

الطرق المستخدمة لتحديد الحاجة إلى وجود عناصر طرفية



الطريقة الأولى (ACI 318 § 18.10.6.2):

1) يحدد الانتقال التصميمي عند أعلى مستوى الجدار:

$$\delta_u = C_d \delta_e / I$$

و القوة الأعظمية في الجدار $P_{u,CS}$ الموافقة للانتقال δ_u.

2) يحسب عمق المنطقة المضغوطة c الناجمة عن الانعطاف المركب مع القوة المحورية. قيمة c موافقة لمقاومة العزم الاسمية $M_{n,CS}$ تحت تأثير الحمل المحوري $P_{u,CS}$.

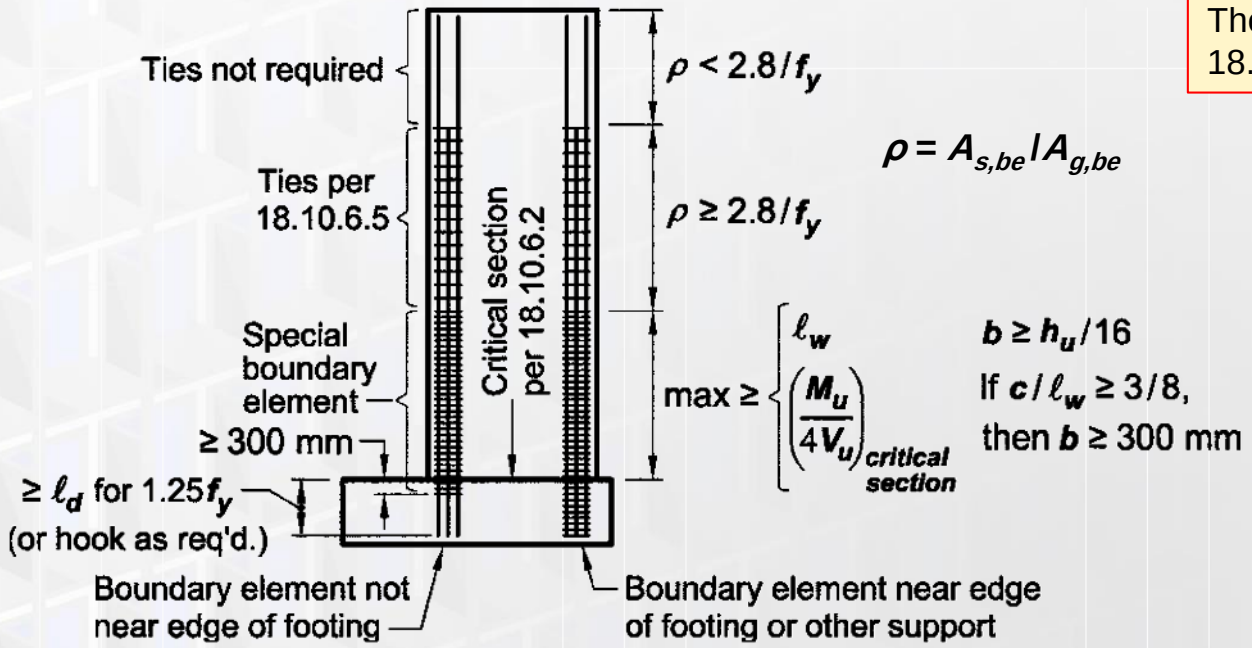
3) في حال تحققت العلاقة:

$$c \geq \frac{l_w}{600\left(1.5\delta_u / h_w\right)}$$

عندئذٍ العناصر الطرفية الخاصة لازمة.

حيث h_w الارتفاع الكلي للجدار من المقطع الحرج و حتى أعلى الجدار،
يجب أن لا تؤخذ قيمة النسبة δ_u / h_w أقل من 0.005.

4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements): الطريقة الأولى (ACI 318 § 18.10.6.2)



$$\rho = A_{s,be}/A_{g,be}$$

The requirements of 18.10.6.4 and 18.10.6.5 shall also be satisfied.

h_u: laterally unsupported height at extreme compression fiber of wall.

b : width of compression face of member.

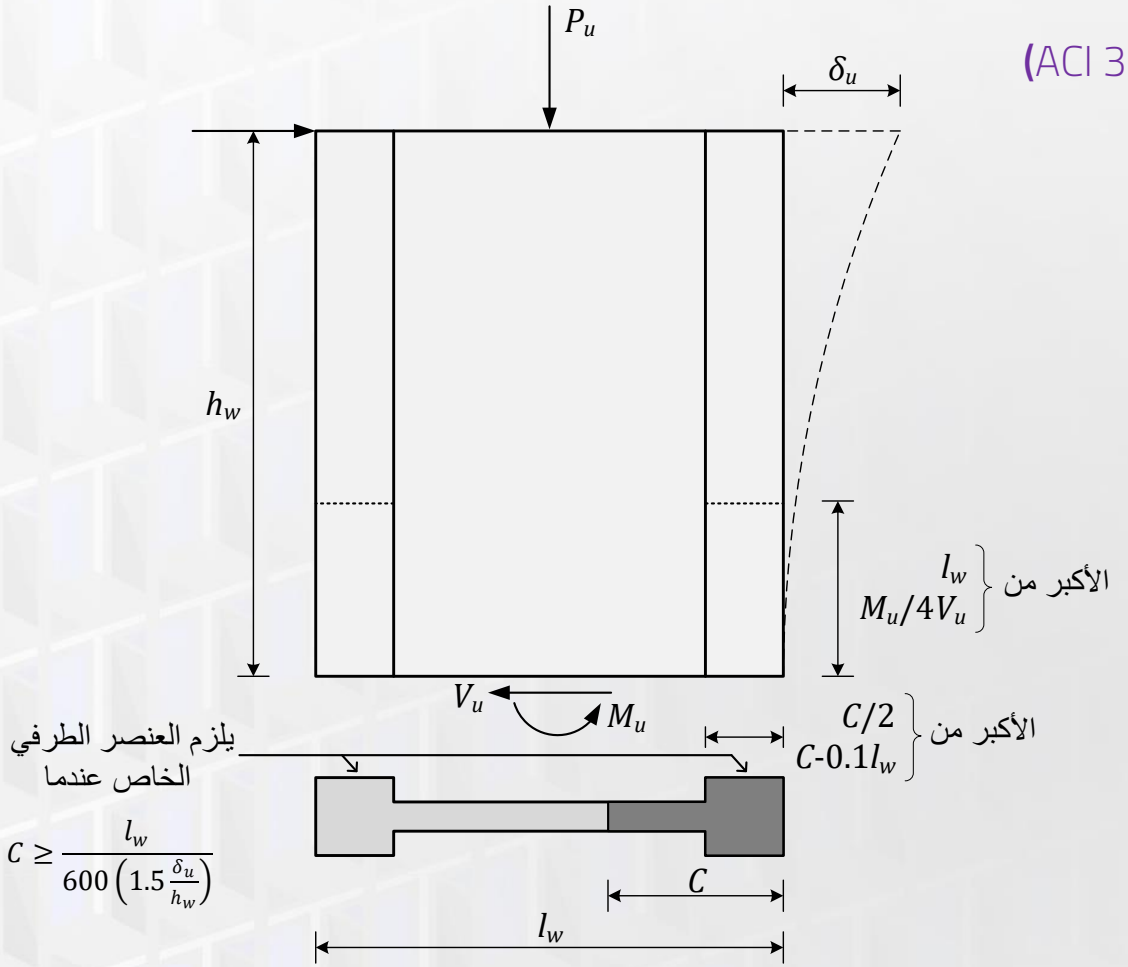
يجب أن تمتد العناصر الطرفية الخاصة رأسياً أعلى و أسفل المقطع الحرج مسافة لا تقل عن الأكبر بين ℓ_w و $M_{u,CS}/4V_{u,CS}$.

تم اختيار الحد ℓ_w بناءً على التوقعات بأن انتشار تشظي التغطية في المقطع المطوق بشكل جيد يستمر طولياً على ارتفاع مقارب لعمق المقطع. يعرف الحد $M_{u,CS}/4V_{u,CS}$ الارتفاع فوق المقطع الحرج و الذي يتناقص العزم عنده إلى القيمة $0.75M_{u,CS}$, بفرض توزع خطي لمخطط العزم, حيث من المحتمل أن تكون هذه القيمة أقل من قيمة عزم الانعطاف المسبب لتشظي التغطية.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 3. العناصر الطرفية:

الطريقة الأولى (ACI 318 § 18.10.6.2)



4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements): الطريقة الثانية (ACI 318 § 18.10.6.3)

الطريقة الثانية مبنية على إجهاد الضغط الاسمي (Nominal Compressive Stress)

1) يجب أولاً اختيار أبعاد الجملة المقاومة للأحمال الزلزالية و تحليلها لتحديد القوى المحورية و العزوم الناتجة عن مختلف تراكيب الأحمال التصميمية.

2) يحسب الإجهاد الاسمي عند حافة الجدار باستخدام كامل المقطع العرضي و على فرض أن السلوك خطي:

$$\sigma = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_{ux}}{S_{gx}} + \frac{M_{uy}}{S_{gy}}$$

3) تكون العناصر الطرفية الخاصة لازمة عند حافة الجدار إذا تجاوز الإجهاد الاسمي المحسوب القيمة $0.2f'_c$.

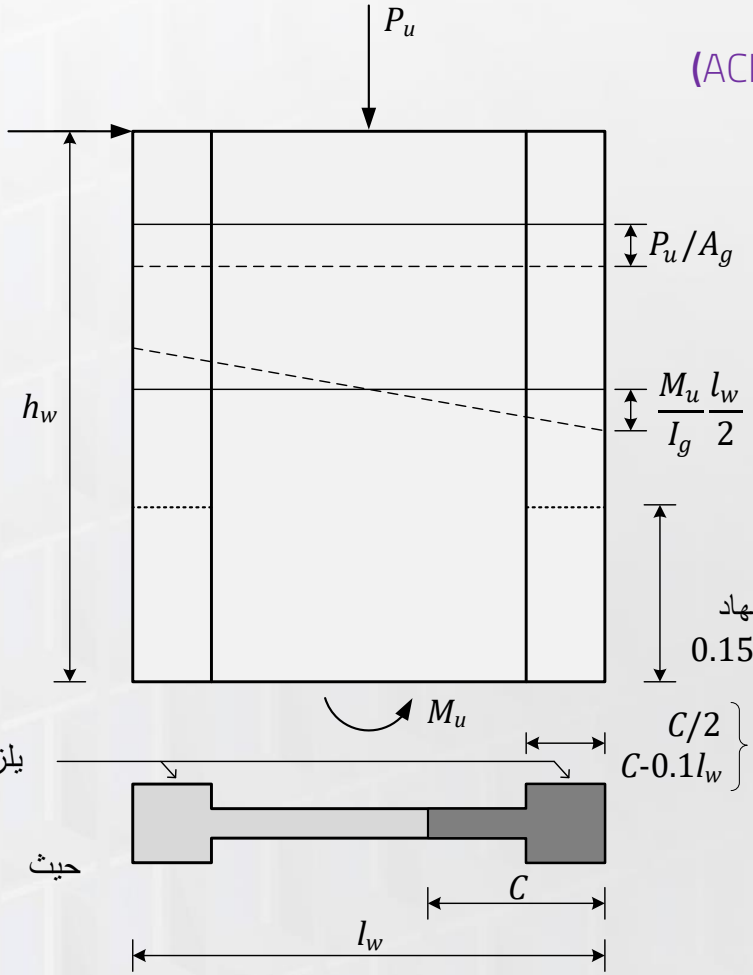
4) إذا كانت العناصر الطرفية لازمة فيجب أن تمتد رأسياً على ارتفاع جدار القص باتجاه الأعلى و الأسفل بدءاً من المقطع الحرج حتى يصبح إجهاد الضغط عند حافة الجدار أقل من $0.15f'_c$.

على الرغم من إمكانية استخدام الطريقة الثانية من أجل أي جدار، إلا أن الاستخدام المفضل لها هو لجدران القص الغير مستمرة أو الغير منتظمة و التي لا تحقق شروط تطبيق الطريقة الأولى.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 3. العناصر الطرفية:

الطريقة الثانية (ACI 318 § 18.10.6.3)



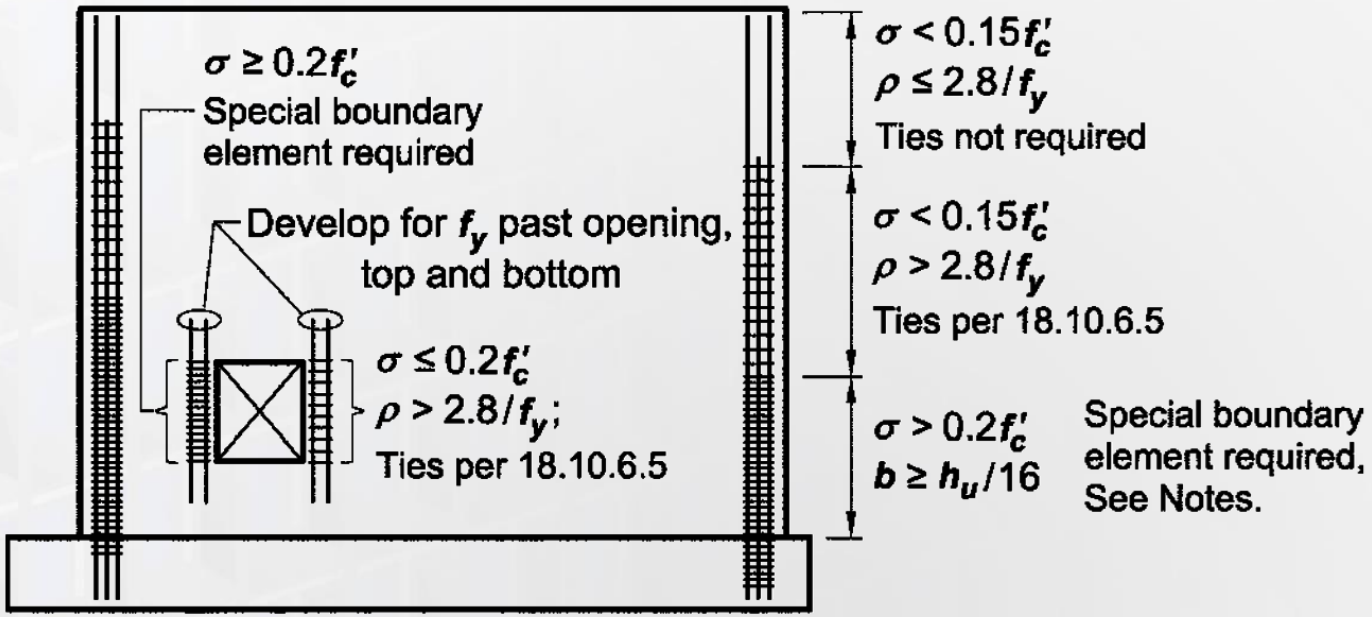
يلزم العنصر الطرفي الخاص عندما $\sigma \geq \sigma_{cr}$

$$\sigma = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u}{I_g}\frac{l_w}{2}$$

حيث $\sigma_{cr} = 0.2\, f_c'$

4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements): الطريقة الثانية (ACI 318 § 18.10.6.3)

Wall and wall pier design using ACI 318 18.10.6.3, 18.10.6.4 and 18.10.6.5

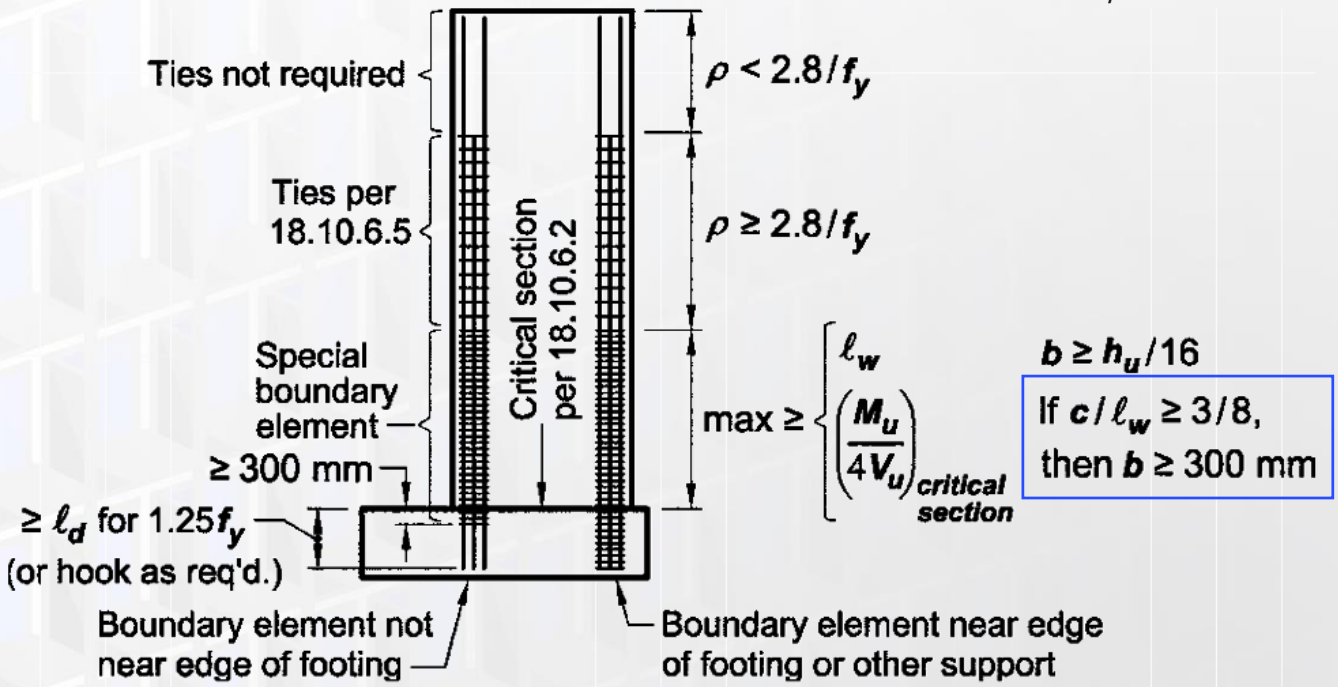


يجب تطبيق الإجراءات المتعلقة بالعناصر الطرفية الخاصة في حال كان إجهاد الضغط الأعظمي في الليف الأقصى $\sigma \geq 0.2f'_c$. وفي حال كانت العناصر الطرفية الخاصة لازمة يجب الاستمرار بها رأسياً حتى $\sigma < 0.15f'_c$.

في حال كان $h_w/l_w \leq 2$ فيجب عدم تطبيق الفقرة 18.10.6.4(c).

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

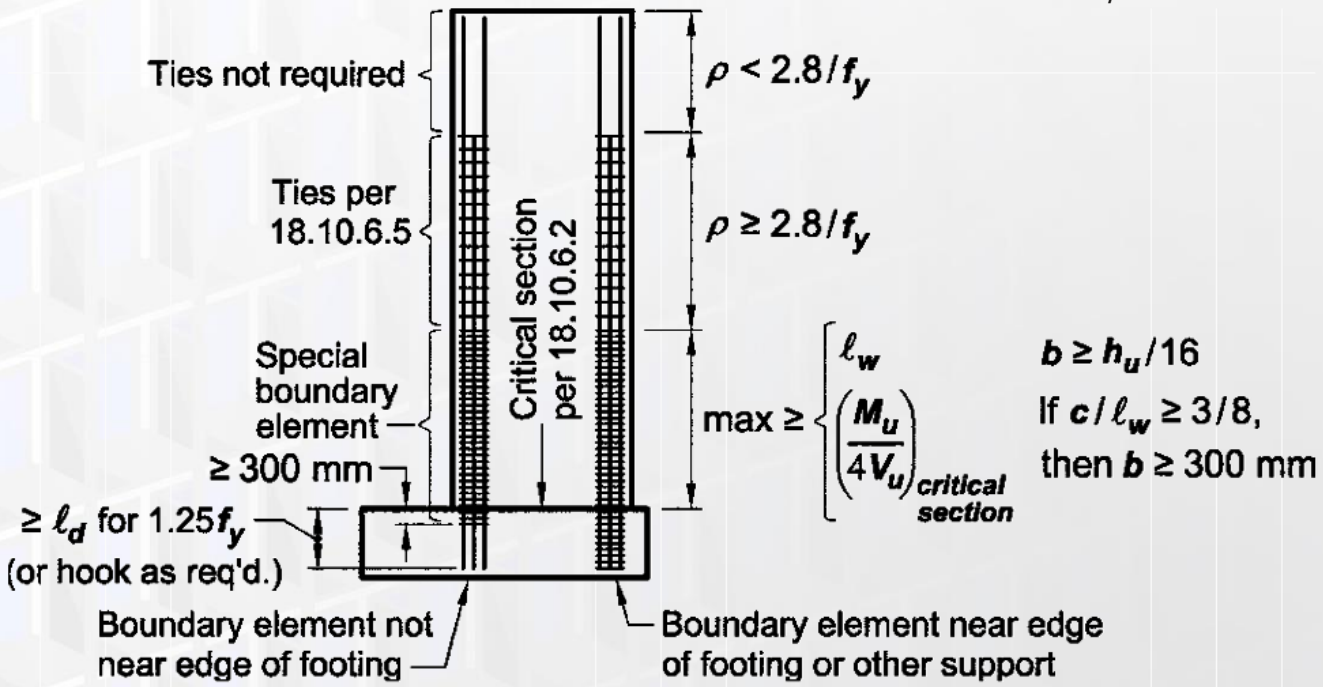
4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)



الفقرة (ACI 318 §18.10.6.4 c):

في حال تحققت العلاقة $c/\ell_w \geq 3/8$ فيجب أخذ سماكة منطقة الضغط الناجمة عن الانعطاف $b \geq 30$ cm على كامل المنطقة الطرفية المحسوبة من أجل الجدران و الركائز الجدارية التي لديها $h_w/\ell_w \geq 2$, و التي هي مستمرة من قاعدة المنشأة إلى أعلى الجدار، و المصممة للحصول على مقطع حرج وحيد على الانعطاف و الأحمال المحورية.

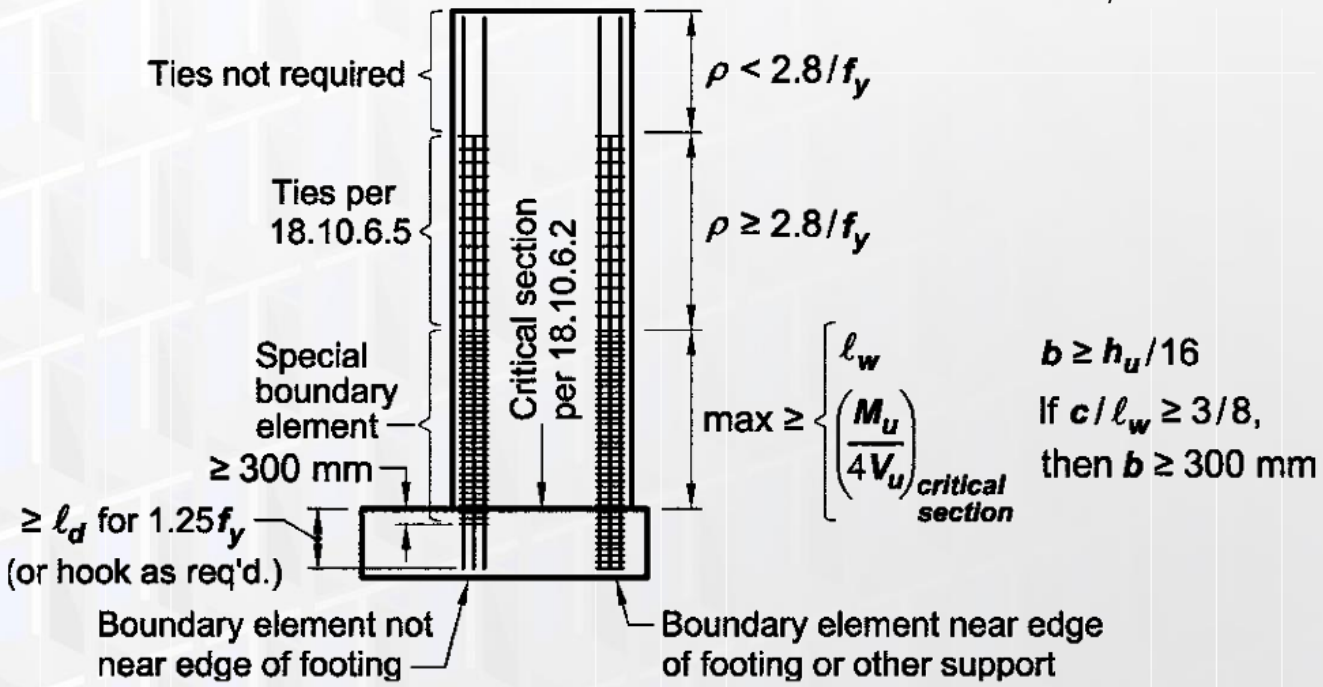
4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)



يجب مد التسليح الطولي لجدار القص بطول تماسك كامل على الشد عند سطح اتصاله مع الأساسات. عندما يكون خضوع التسليح الطولي ناجم عن الانزياحات الجانبية, تحسب أطوال التماسك من أجل $1.25f_y$؛ و من أجل غير هذه الحالات, فإنها تحسب من أجل f_y.

عندما يمنع عمق عنصر الأساسات تأمين طول تماسك كامل للقضبان المستقيمة, فيمكن القبول باستخدام عكفات نظامية بطول l_{dh} محسوبة من أجل $1.25f_y$ أو f_y, حسب ما هو مناسب. يجب أن تمتد العكفة النظامية بكامل العمق في معظم الحالات.

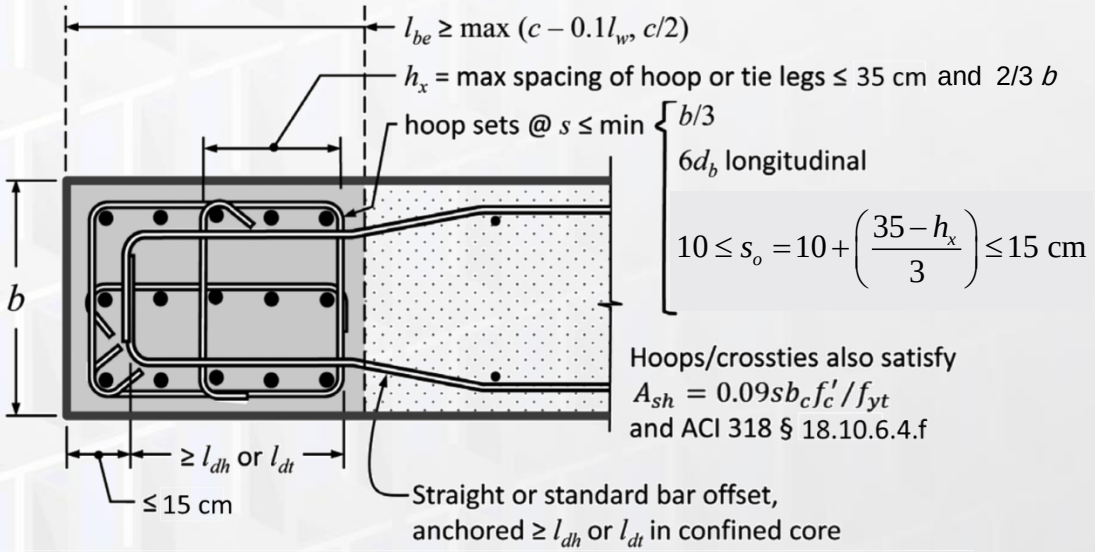
4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)

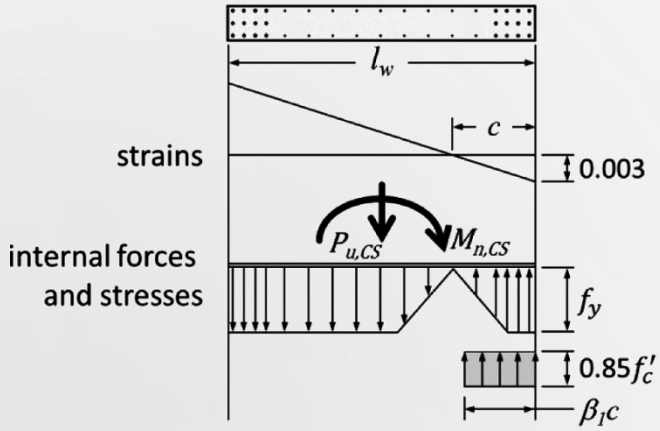


عندما ينتهي العنصر الطرفي الخاص عند الأساس, أو الحصيرة, أو قبعة الوتد, فيجب أن يمتد التسليح العرضي للعنصر الطرفي الخاص مسافة 30 cm على الأقل لداخل عنصر الأساسات.

عندما تكون حافة العنصر الطرفي بعيدة عن حافة الأساس أو الحصيرة أو قبعة الوتد بمسافة لا تزيد على نصف عمق الأساس فيجب أن يمتد التسليح العرضي إلى داخل عنصر الأساسات على الأقل مسافة تماسك l_d محسوبة من أجل f_y على الشد, من أجل اكبر تسليح طولي.

4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)





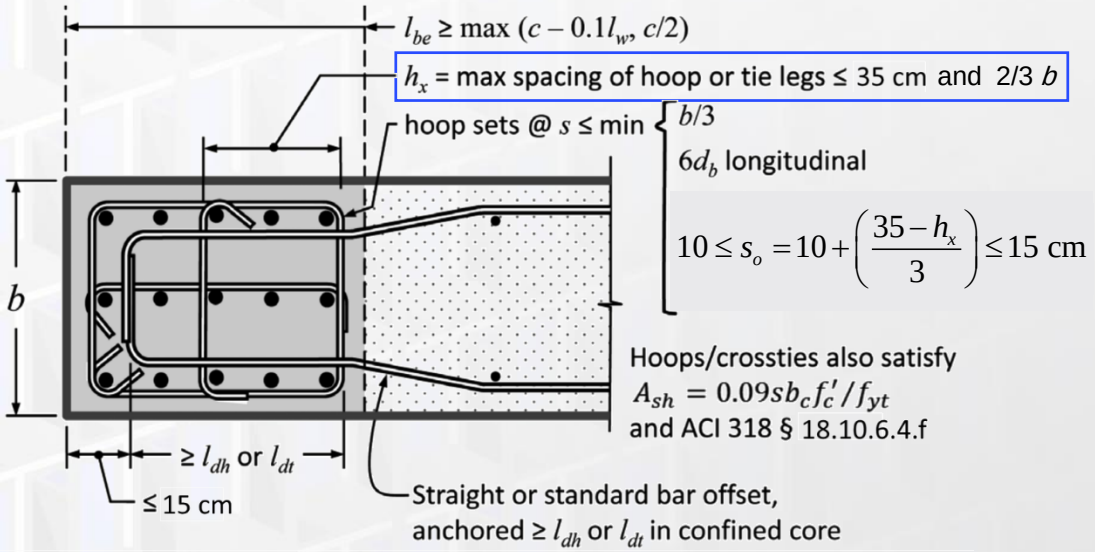
يجب مد العنصر الطرفي الخاص أفقياً بدءاً من حافة الجدار مسافة لا تقل عن الأكبر بين $c - 0.1l_w$ و $c/2$.

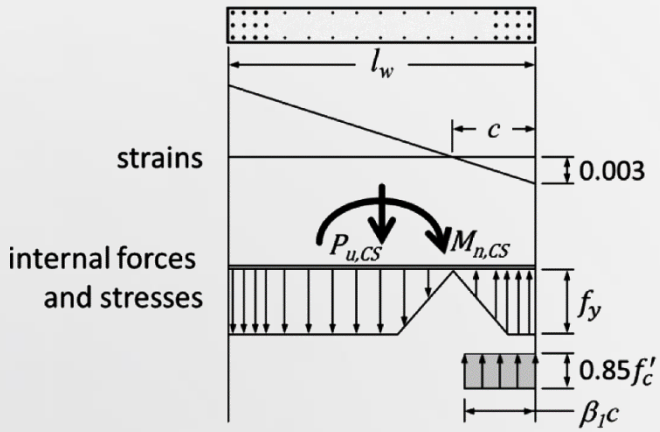
يحسب عمق منطقة الضغط c عند مقاومة العزم الأسمية $M_{n,CS}$ المترافقة مع الحمل المحوري الأعظمي $P_{u,CS}$.

في المقاطع المشفهة (Flanged Sections) يجب أن يتضمن العنصر الطرفي الخاص في حال لزومه، عرض الجناح الفعال على الضغط و يجب أن يمتد على الأقل 30 cm ضمن الجسد.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

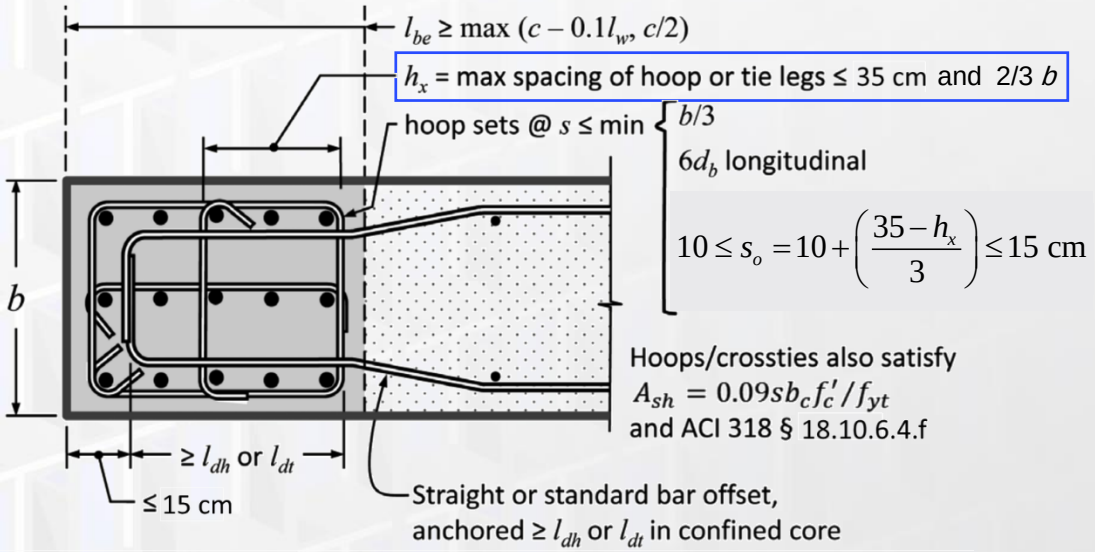
4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)

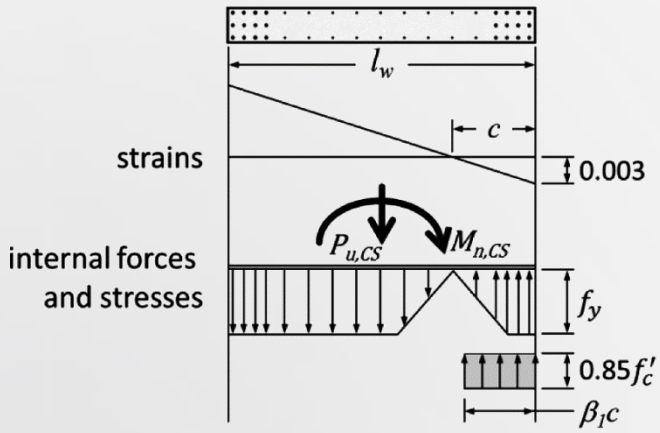




يجب أن يتوافق التسليح العرضي للعنصر الطرفي مع الفقرات ACI318 § 18.7.5.2(a)-(e) و كذلك مع الفقرة ACI318 § 18.7.5.3, الاستثناء الوحيد في قيمة h_x, حيث يجب أن لاتتجاوز قيمة h_x القيمة الأقل بين 35cm و ثلثي سماكة العنصر الطرفي.

4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)





حسب ACI318 § 18.7.5.3، يجب أن لا يتجاوز تباعد التسليح العرضي في العنصر الطرفي القيمة الأصغر بين:

a) ثلث أقل بعد عرضي للعنصر الطرفي.

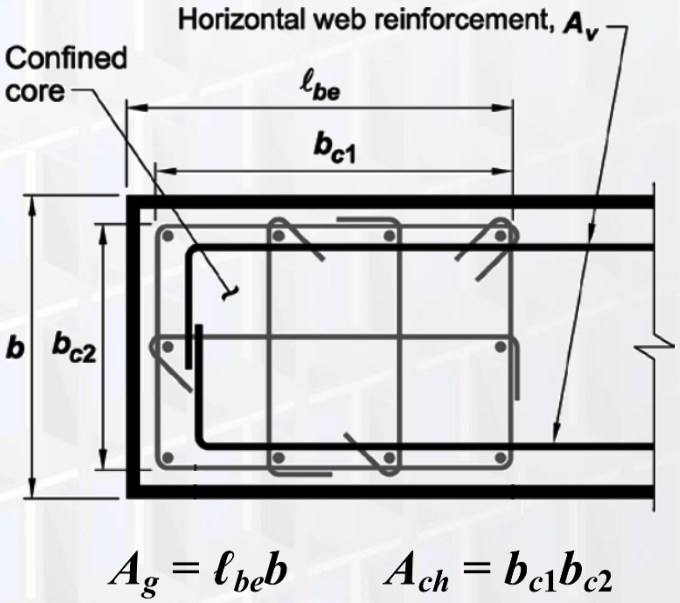
b) ستة أضعاف أصغر قطر تسليح طولي مستخدم في المنطقة الطرفية.

c) القيمة s_o و المحسوبة من العلاقة:

$$10\text{ cm} \leq s_o = 10 + \left(\frac{35 - h_x}{3}\right) \leq 15\text{ cm}$$

4. 3. 3. العناصر الطرفية (Boundary Elements)

يجب أن يحقق تسليح التطويق العرضي للعناصر الطرفية الخاصة مايلي:



$$A_g = \ell_{be} b \qquad A_{ch} = b_{c1} b_{c2}$$

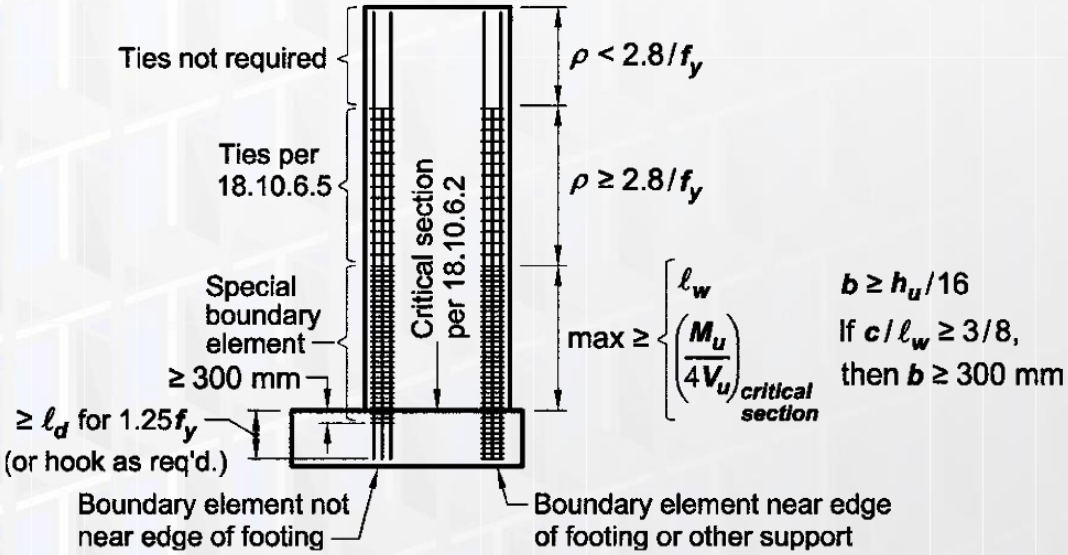
Transverse reinforcement	Applicable expressions		
A_{sh}/sb_c for rectilinear hoop	Greater of	$0.3\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}}$	(a)
		$0.09\frac{f'_c}{f_{yt}}$	(b)
ρ_s for spiral or circular hoop	Greater of	$0.45\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}}$	(c)
		$0.12\frac{f'_c}{f_{yt}}$	(d)

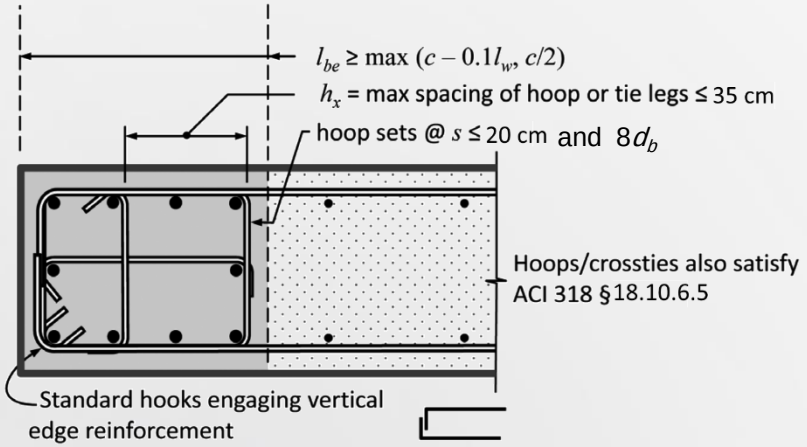
$A_g=l_{be}b$ المساحة الكلية للمقطع البيتوني للمنطقة الطرفية، mm^2.

$A_{ch}=b_{c1}b_{c2}$ مساحة المقطع العرضي للعنصر الإنشائي المقاسة حتى الحواف الخارجية للتسليح العرضي، mm^2.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 4. العناصر الطرفية العادية (Ordinary Boundary Elements)



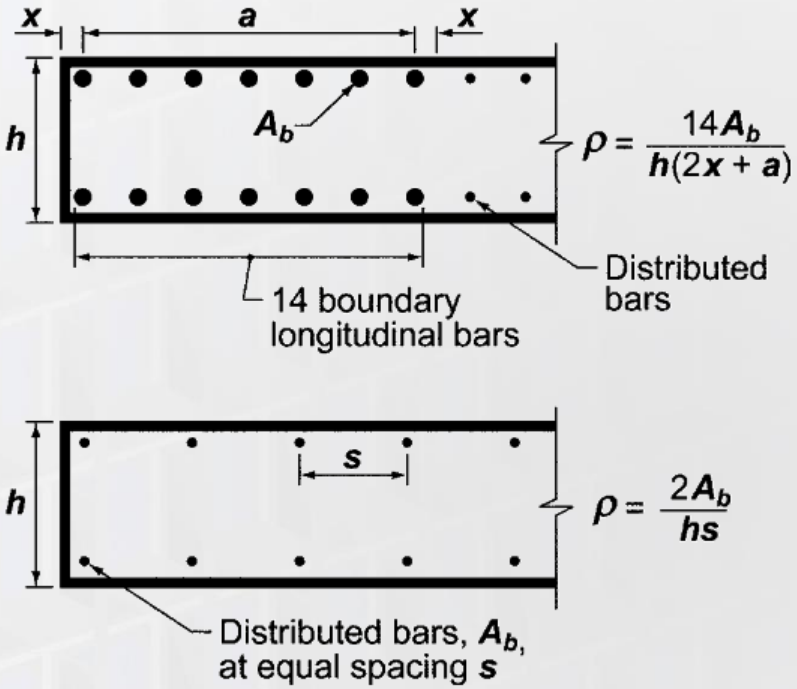


في حال كانت العناصر الطرفية الخاصة غير لازمة, فيجب تزويد أطراف الجدار بـعناصر طرفية عادية عندما تكون نسبة التسليح الطولي للعناصر الطرفية $\rho_{be} > 2.8/f_y$، حيث ρ_{be} النسبة المحلية للتسليح عند طرف الجدار فقط. الهدف الأساسي من هذه العناصر منع تحنيب التسليح الطولي في المناطق الطرفية و الناجم عن إنعكاس الأحمال الدورية.

تحدد الفقرة ACI 318 § 11.7.4 شروط استخدام اساور محيطة بالتسليح الرأسي للجدار في حال كان $\rho_{be} \leq 2.8/f_y$.

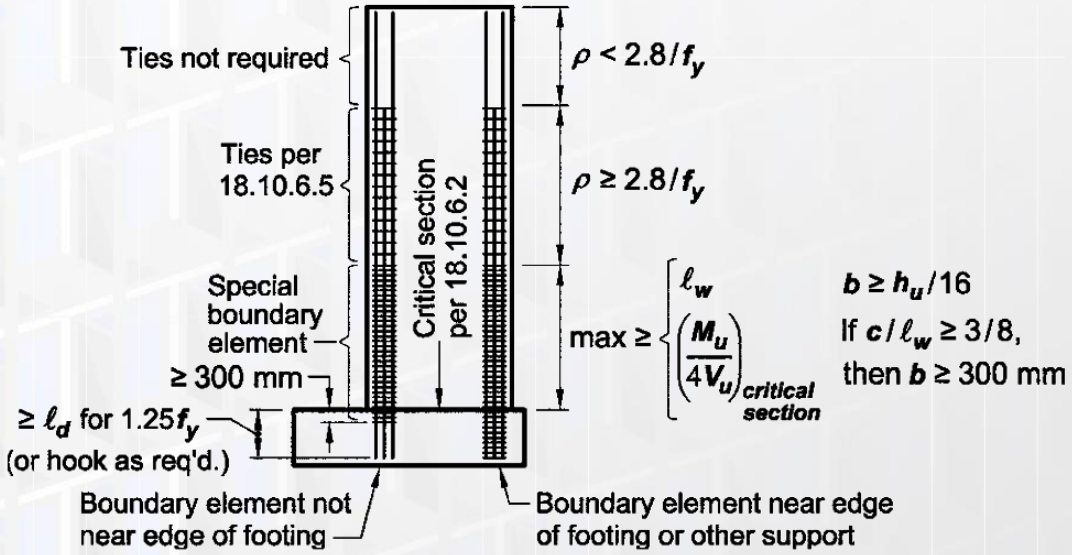
4. 3. 4. العناصر الطرفية العادية (Ordinary Boundary Elements)

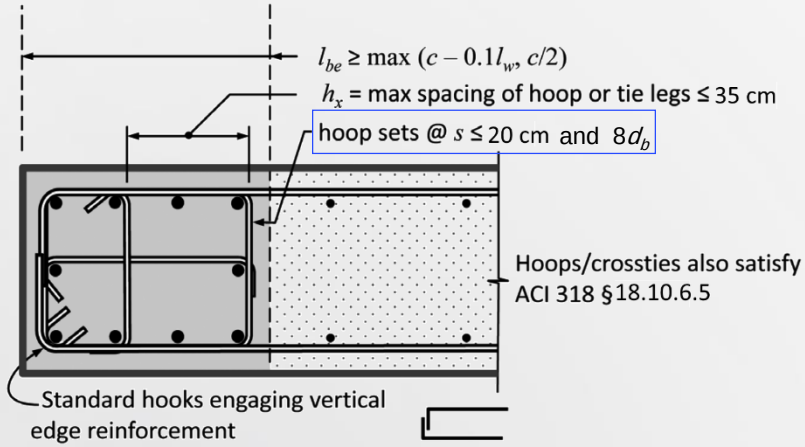
كيفية حساب النسبة المحلية للتسليح عند طرف الجدار فقط ($\rho_{be}=A_{s,be}/A_{g,be}$).



4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 4. العناصر الطرفية العادية (Ordinary Boundary Elements)

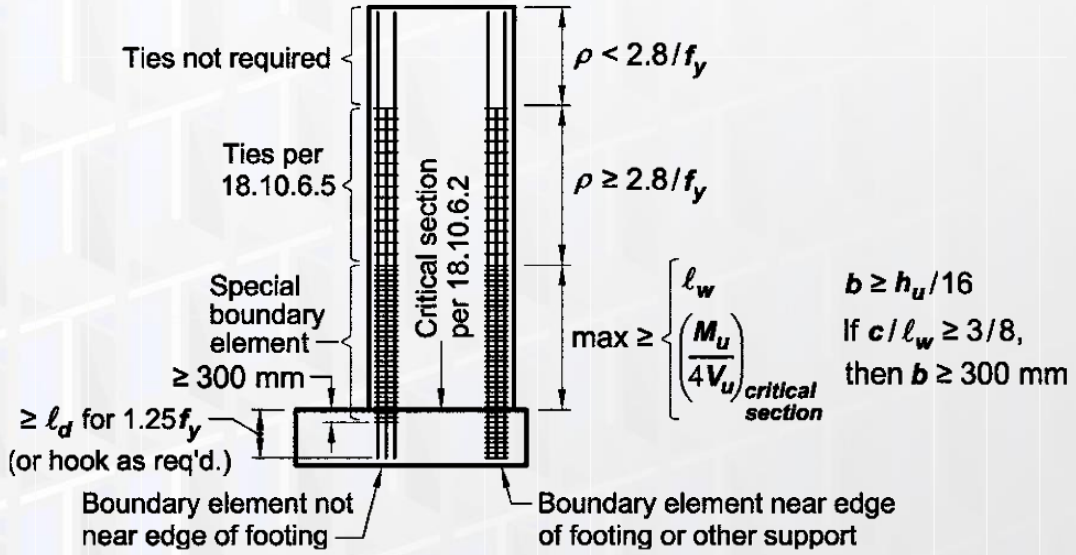


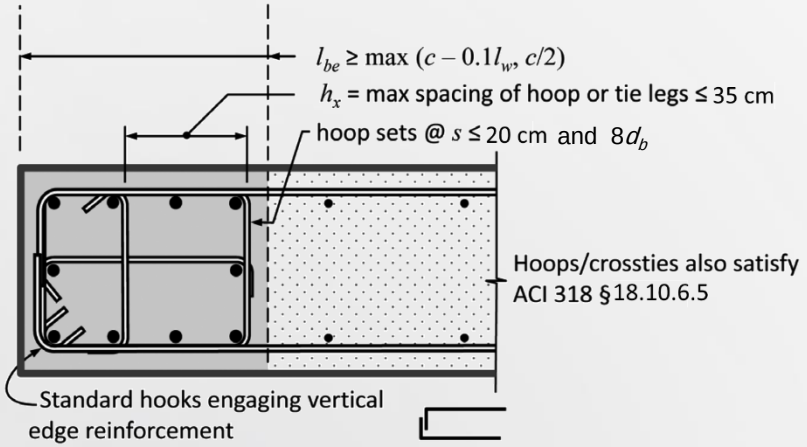


في حال كانت العناصر الطرفية الخاصة غير لازمة عند أطراف الجدار (لازمة فقط عند المقطع الحرج)، و كانت نسبة التسليح الطولي للعناصر الطرفية $\rho_{be} > 2.8/f_y$، حيث ρ_{be} النسبة المحلية للتسليح عند طرف الجدار فقط، فـيجب أن لا يتجاوز التباعد الطولي بين قضبان التسليح العرضي في المنطقة الطرفية العادية المسافة الأصغر بين 20cm و $8d_b$ حيث d_b أصغر قطر لقضبان الانعطاف الرئيسية.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 4. العناصر الطرفية العادية (Ordinary Boundary Elements)

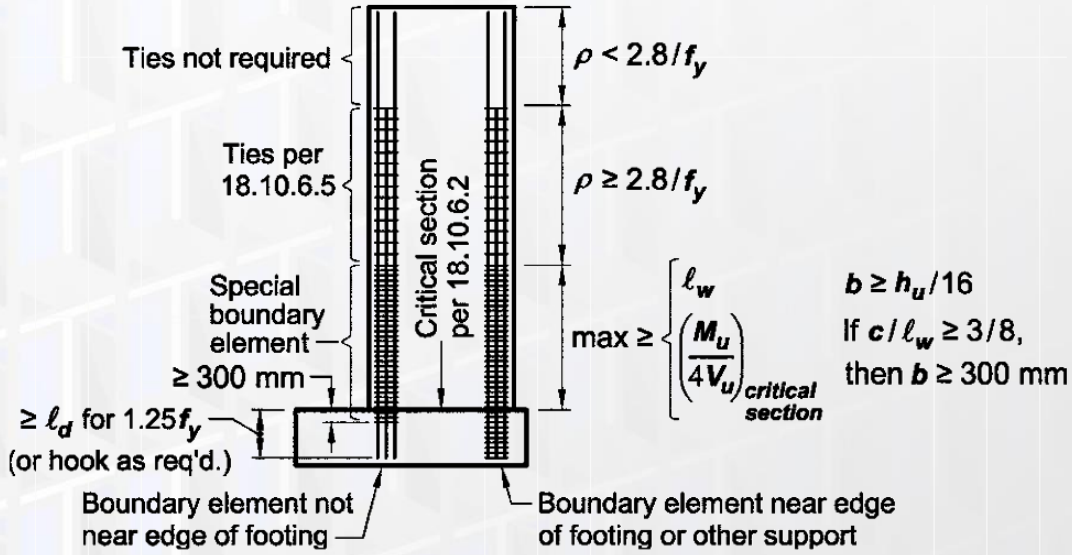


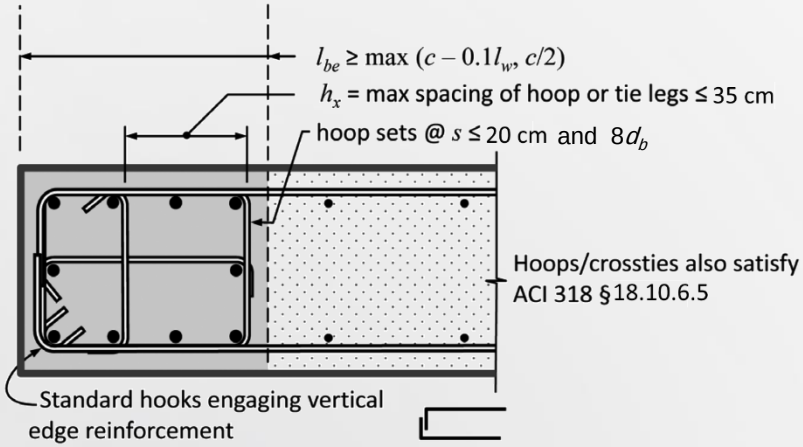


في حال عدم الحاجة لعناصر طرفية خاصة على الإطلاق على كامل ارتفاع الجدار, يلزم تفصيل عناصر طرفية عادية إذا تحققت العلاقة $\rho_{be} > 2.8/f_y$. يجب أن لا يتجاوز تباعد التسليح العرضي في المنطقة الطرفية العادية المسافة الأصغر بين 15cm و $6d_b$ حيث d_b أصغر قطر لقضبان الانعطاف الرئيسية. يجب كذلك أن تمتد العناصر الطرفية رأسياً مسافة لا تقل عن الأكبر بين l_w و $M_{u,CS}/4V_{u,CS}$ أعلى و أسفل المقطع الحرج, حيث من المحتمل أن يحدث خضوع التسليح الطولي نتيجة الانتقالات الجانبية اللامرنة. يجب أن يمتد التسليح العرضي ضمن المسند فقط عندما يكون قريب من حافة المسند.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

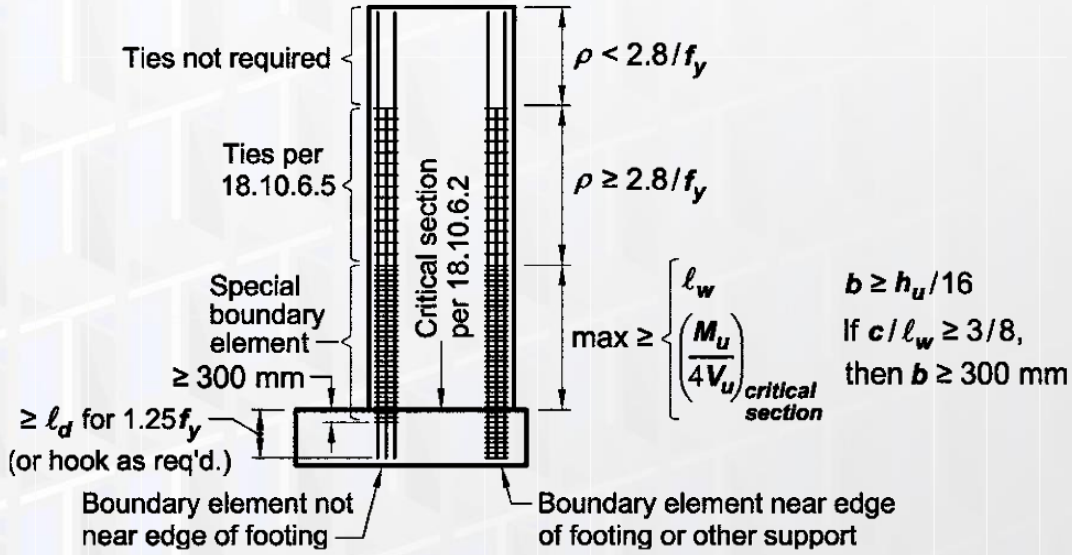
4. 3. 4. العناصر الطرفية العادية (Ordinary Boundary Elements)

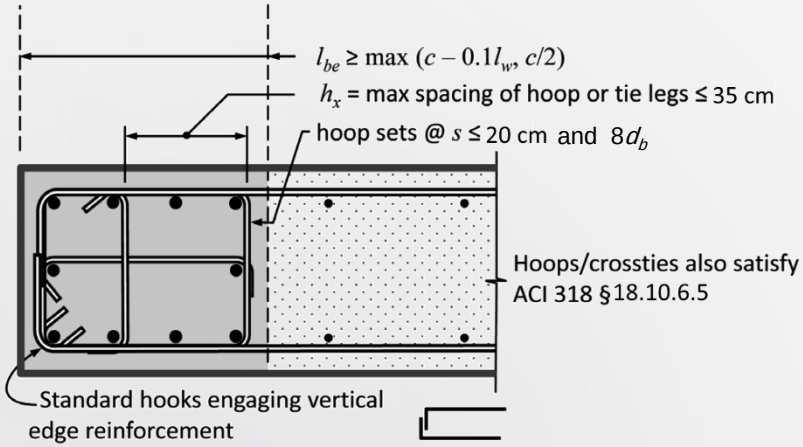




في بعض الجدران، و بالأخص جدران القص القصيرة، يمكن أن تكون حتى العناصر الطرفية العادية غير لازمة. إلا أنه ينصح بتزويد المقطع على الأقل بعناصر طرفية عادية عند أطراف الجدار بالقرب من المقطع الحرج على الانعطاف.

4. 3. 4. العناصر الطرفية العادية (Ordinary Boundary Elements)

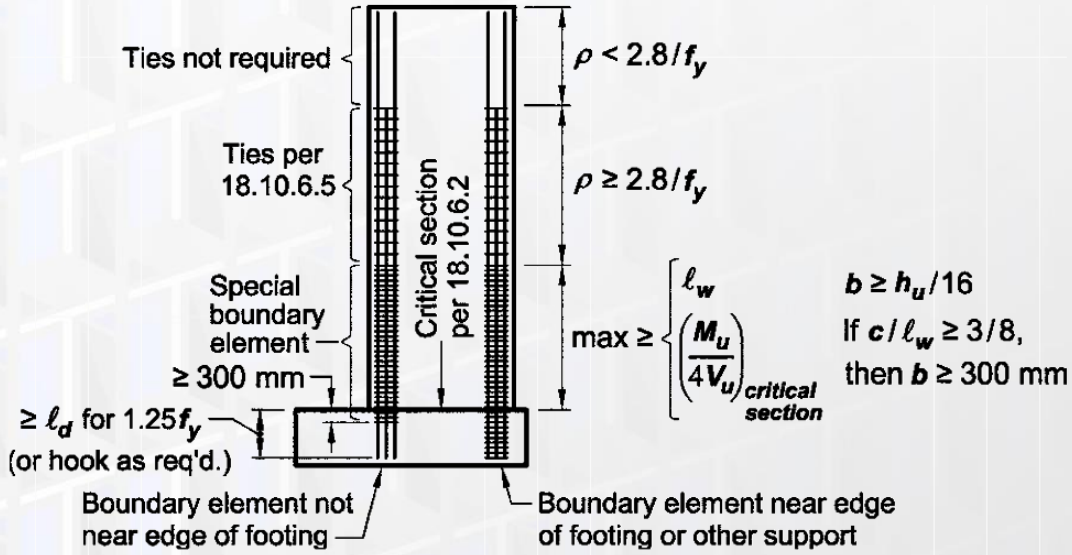


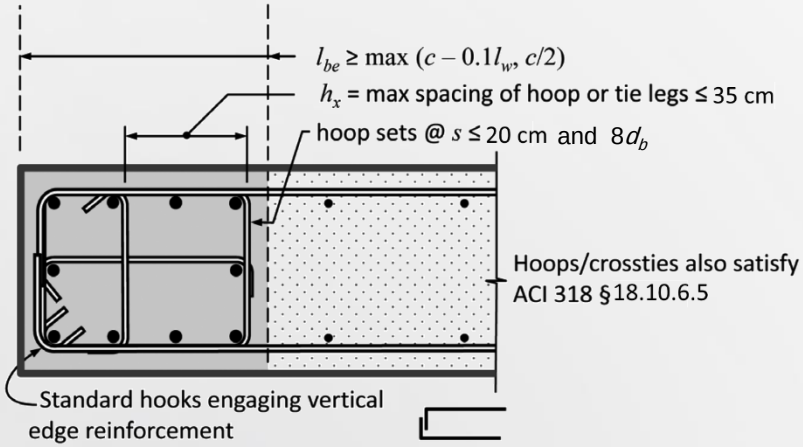


في حال عدم الحاجة لمناطق طرفية عادية و في حال كان القص في مستوي الجدار أكبر من $0.083\ A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$, فيجب وضع عكفة نظامية لقضبان التسليح الأفقي المنتهي عند حافة الجدار بحيث تقيِّد هذه العكفة قضبان التسليح الطولية المتوضعة عند زوايا الجدار, أو يجب وضع أساور بشكل حرف U لتقييد التسليح الطولي عند حافة الجدار. توضع هذه الأساور بنفس قطر و تباعدات التسليح الأفقي و تتراكب معه كذلك.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 4. العناصر الطرفية العادية (Ordinary Boundary Elements)



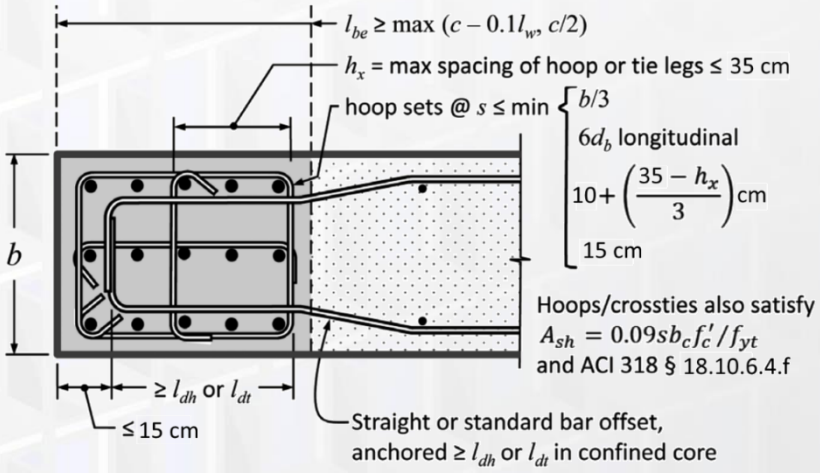


تؤمن إضافة العكفات النظامية أو الأساور بشكل حرف U عند نهايات تسليح الجدار الأفقي إرساء للتسليح الأفقي، و بالتالي سيصبح هذا التسليح أكثر فعالية في مقاومة قوى القص. ستمنع كذلك هذه العكفات أو الأساور تحنيب التسليح الطولي الموجود عند حافة الجدار.

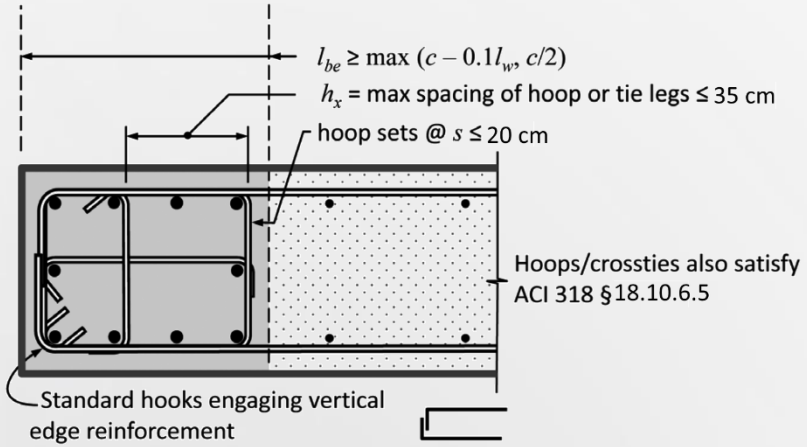
لا داعي لإرساء التسليح الأفقي في الجدران التي لديها قيم منخفضة للقص ضمن المستوي.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 5. اشتراطات إضافية خاصة بالتسليح العرضي للعناصر الطرفية الخاصة و العادية



(a) Special boundary element



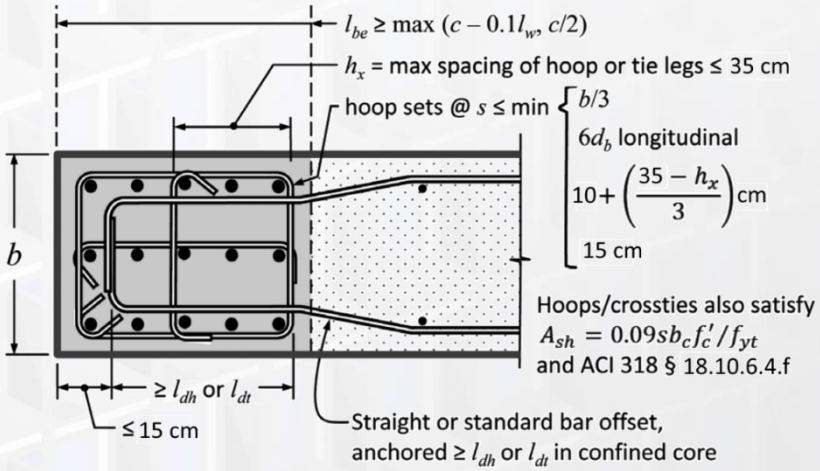
(b) Ordinary boundary element where $\rho_{be} > 2.8/f_y$

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

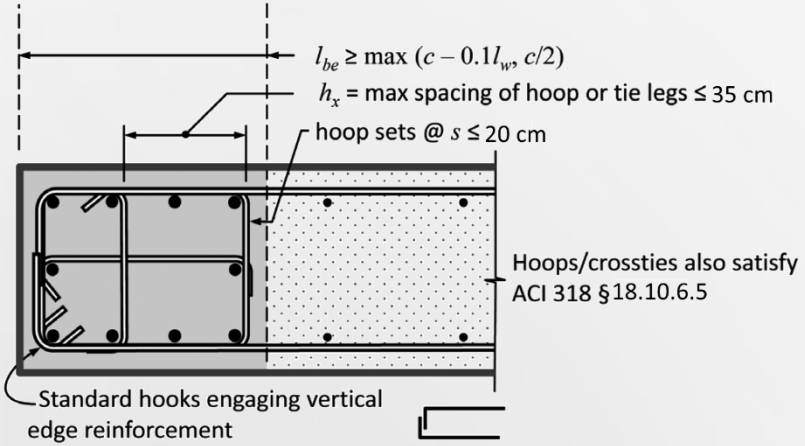
1. يسمح باستخدام أقطار للشناكل أقل من الأقطار المستخدمة للإساور.
2. يجب أن يكون قطر قضيب الإسوارة أو الشنكل مساوياً على الأقل إلى:
   a) قطر 10 في حال كان الـتسليح الطولي بقطر 32 أو أقل.
   b) قطر 12 في حال كان الـتسليح الطولي بقطر 36 أو أكثر.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 5. اشتراطات إضافية خاصة بالتسليح العرضي للعناصر الطرفية الخاصة و العادية



(a) Special boundary element



(b) Ordinary boundary element where $\rho_{be} > 2.8/f_y$

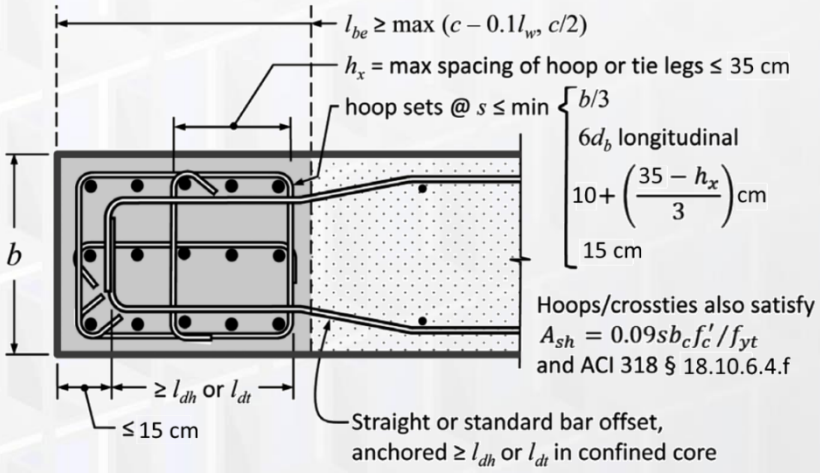
يجب تأمين سند جانبي لكل قضيب طولي موجود في الزاوية و بالتناوب مع القضبان الطولية المتوضعة عند الحواف عن طريق زاوية إسوارة أو عكفة شنكل بزاوية ليّ ليست أكبر من 135°.

يجب أن لا تبتعد القضبان الغير مقيدة عن القضبان المقيدة جانبياً على طول الإسوارة بمسافة صافية أكثر من 15cm.

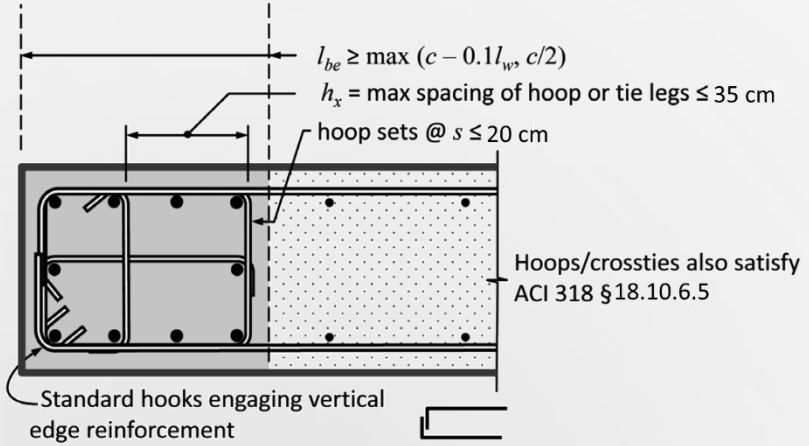
يجب ترتيب التسليح الطولي بحيث لا تتجاوز مسافة التباعد h_x بين قضبان التسليح الطولي المقيدة جانبياً عن طريق زاوية شنكل أو زاوية إسوارة عن 35cm حول محيط العمود.

4.3 Flexure and Axial Force
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 5. اشتراطات إضافية خاصة بالتسليح العرضي للعناصر الطرفية الخاصة و العادية



(a) Special boundary element



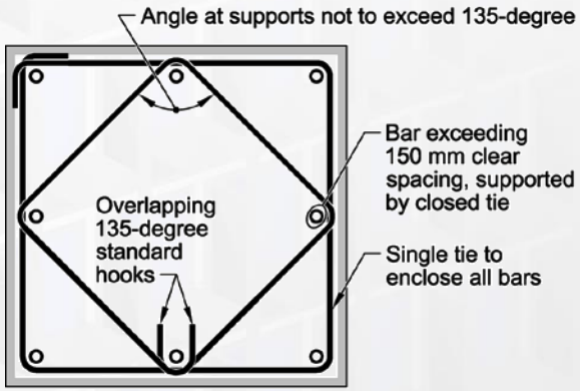
(b) Ordinary boundary element where $\rho_{be} > 2.8/fy$

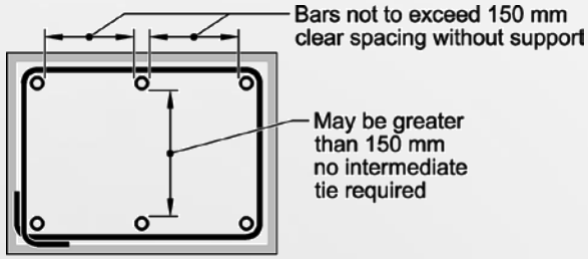
يجب أن تكون العكفات ذات 90° للشناكل الزلزالية المتتالية و المقيدة لنفس قضبان التسليح الطولي بجهات متعاكسة على امتداد العنصر الطرفي و حول محيط المقطع العرضي للعنصر الطرفي.

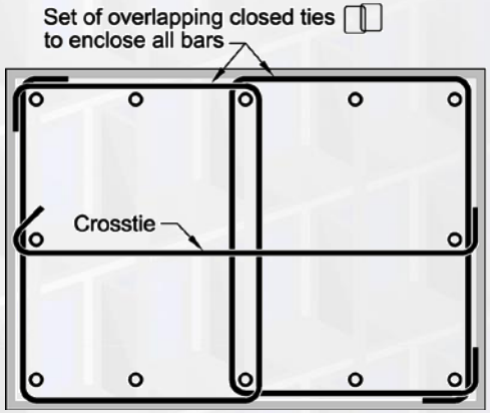
4.3 Flexure and Axial Force

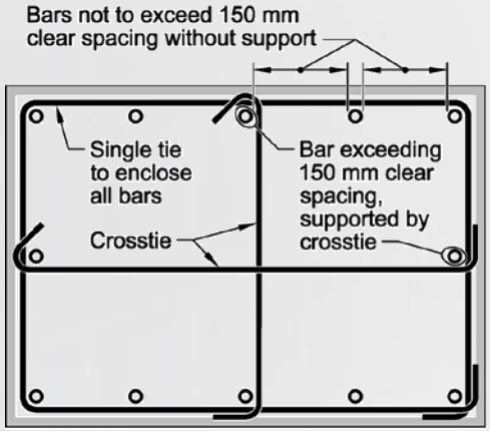
4. 3. القوة المحورية و الانعطاف

4. 3. 5. اشتراطات إضافية خاصة بالتسليح العرضي للعناصر الطرفية الخاصة و العادية









4. 3. 6. توضع التسليح الرأسي (Vertical Reinforcement Layout)

تعتبر عملية تحديد توضع التسليح الرأسي للجدار عملية تكرارية. تتألف أحد الطرائق الممكنة من الخطوات التالية:

1. حدد نوع العنصر الطرفي اللازم، عادي أو خاص. في حال عدم الحاجة لعناصر طرفية، انتقل إلى الخطوة 4.
2. حدد طول العنصر الطرفي اللازم l_{be} مع تقدير قيمة c من تحليل مخطط الترابط (*P-M* Analysis).
3. اختر قطر تجريبي للتسليح العرضي للمناطق الطرفية (قطر 10 أو 12 أو 14 أو 16) و اختر كذلك التباعد الرأسي s. حدد قيمة A_{sh} من أجل العناصر الطرفية الخاصة و من ثم حدد منها عدد أفرع الأساور و الشناكل في كل اتجاه. تحقق من جميع الاشتراطات الخاصة بالتباعدات الأفقية والرأسية كما هو واجب التطبيق وفقاً للكود.
4. اختر قطر و تباعد تجريبي للتسليح الرأسي من أجل كامل مقطع جدار القص. إذا كان هناك حاجة للعناصر الطرفية فإن التباعد بين القضبان الرأسية ضمن المنطقة الطرفية محكوم بترتيب الشناكل والأساور المحدد في الخطوة 3. تؤمن القضبان الرأسية الموجودة خارج المناطق الطرفية تسليح القص الرأسي للجسد ρ_l مع تباعد $s \le 45$ cm.
5. حدد مقاومة الانعطاف المركب مع القوة المحورية للجدار. إذا كانت المقاومة المؤمنة غير كافية أو محافظة جداً، انتقي أقطار قضبان أخرى و أعد الخطوة 3 أو 4. أما إذا كانت المقاومة المؤمنة مقبولة فانتقل إلى الخطوة التالية.
6. استخدم تحليل الانعطاف المركب مع القوة المحورية للتحقق من طول العنصر الطرفي المفروض في الخطوة 2. إذا كان طول العنصر الطرفي غير كافي أو محافظ بشكل كبير، ارجع إلى الخطوة 3 مع قيمة جديدة لعمق المنطقة المضغوطة c. أما إذا كان طول العنصر الطرفي مقبول، فعندئذٍ يعتبر توضع التسليح نهائي.

4. 3. 7. إيقاف التسليح الطولي على طول الجدار(Termination of Vertical Reinforcement)

تعتمد المزاولة المستخدمة لإيقاف القضبان في العديد من مكاتب التصميم على مد القضبان مسافة d/ أعلى الطابق الذي لم تعد عنده القضبان الطولية لازمة. لا تتوافق هذه الممارسة بشكل صارم مع اشتراطات كود البناء ACI318M-14, إلا أنها تخدم القصد من مد القضبان بشكل كافي بدءاً من النقطة التي لم تعد عندها هذه القضبان لازمة للانعطاف. يبدو هذا المنهج معقول للتصميم.

4.4 Shear
4. 4. القص

على العكس من تصميم جدران القص البيتونية المسلحة العادية, لا يأخذ تصميم جدران القص الخاصة بعين الاعتبار التأثير المتبادل بين القص و القوة المحورية. تعرف الفقرة ACI 318 § 10.8.4.1 مقاومة القص الاسمية كمايلي:

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

حيث: $A_{cv} = l_w\,b_w$

$\alpha_c = 0.25$ من أجل $h_w/l_w \le 1.5$ و $\alpha_c = 0.17$ من أجل $h_w/l_w \ge 2.0$, و يتغير بشكل خطي.

λ=1.0 من أجل البيتون ذو الوزن العادي

عند تصميم كامل الجدار, تدل النسبة h_w/l_w على الأبعاد الكلية من القاعدة و حتى أعلى الجدار.

عند تصميم جزء جدار رأسي (Vertical Wall Segment) ضمن الجدار, تؤخذ النسبة h_w/l_w القيمة الأكبر بين النسبة المحسوبة بناءً على الأبعاد الكلية للجدار و النسبة المحسوبة وفقاً لأبعاد جزء الجدار الرأسي.

الهدف من هذه الاشتراطات هو عدم تخصيص مقاومة واحدية (Unit Strength) لجزء الجدار الرأسي أكبر من تلك المخصصة لكامل الجدار, إلا أنه يمكن تخصيص مقاومة واحدية أخفض لجزء الجدار الرأسي في حال كانت النسبة h_w/l_w الخاصة به أكبر من تلك الخاصة بالجدار ككل.

4.4 Shear
4. 4. القص

- متطلب التصميم الأساسي على القص هو:

$$\phi V_n \geq V_u$$

- تسمح الفقرة ACI 318 § 9.3 باعتماد عامل خفض المقاومة على القص $\phi = 0.75$, باستثناء الحالة التي تكون فيها المقاومة الاسمية للقص V_n أقل من القص الموافق لتطور مقاومة الانعطاف الاسمية للجدار M_n, في هذه الحالة يؤخذ عامل خفض المقاومة على القص $\phi = 0.6$.

- يتم حل التعبير $\phi V_n \geq V_u$ من أجل نسبة التسليح الأفقي اللازم ρ_t.

- يجب أن يوضع التسليح الأفقي ρ_t على ستارتين (Two Curtains) في حال $h_w/l_w \geq 2$ أو $V_u > 0.17\, A_{cv}\lambda\sqrt{f'_c}$, والتي هي على الأغلب الحالة الحاكمة.

- يجب أن يؤمن التسليح الخاص بالجسد نسبة تسليح للجسد (Web Reinforcement Ratio) لا تقل عن 0.0025 مع تباعد رأسي أعظمي مساوي إلى 45 cm.

4.4 Shear
4. 4. القص

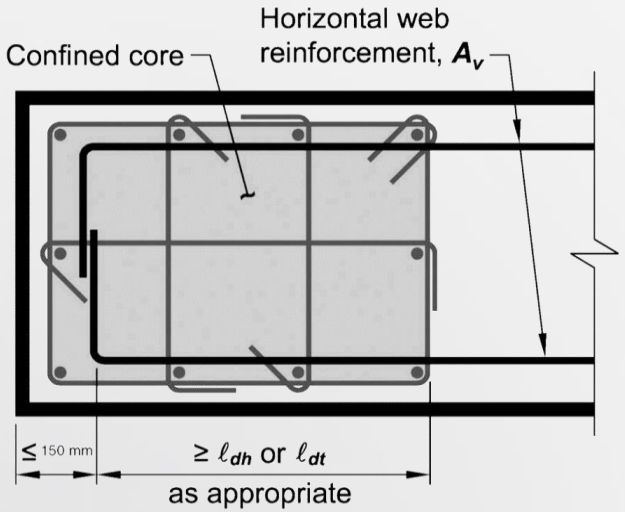
تعرف الفقرة 18.10.4.4 § ACI 318 الحدود العليا لمقاومة القص لجدران القص الخاصة.

- من أجل جميع أجزاء الجدار الرأسية المقاومة لقوة جانبية مشتركة, يجب أن لا تزيد المقاومة الاسمية المشتركة V_n عن $0.66A_{cv}\sqrt{f'_c}$. إذا تم مقاومة قوة القص المصعدة عند مستوى معطى في المنشأة عن طريق عدة جدران أو عن طريق عدة أجزاء جدران رأسية من جدار قص بفتحات, عندئذٍ A_{cv} هي المساحة المركبة الكلية لجميع أجزاء جدار القص الرأسية.

- من أجل كل جزء من أجزاء جدار القص الرأسية و بشكل إفرادي, يجب أن لا تزيد قيمة V_n عن $0.83A_{cv}\sqrt{f'_c}$, حيث A_{cv} هي مساحة المقطع العرضي البيتوني لجزء الجدار الرأسي المدروس.

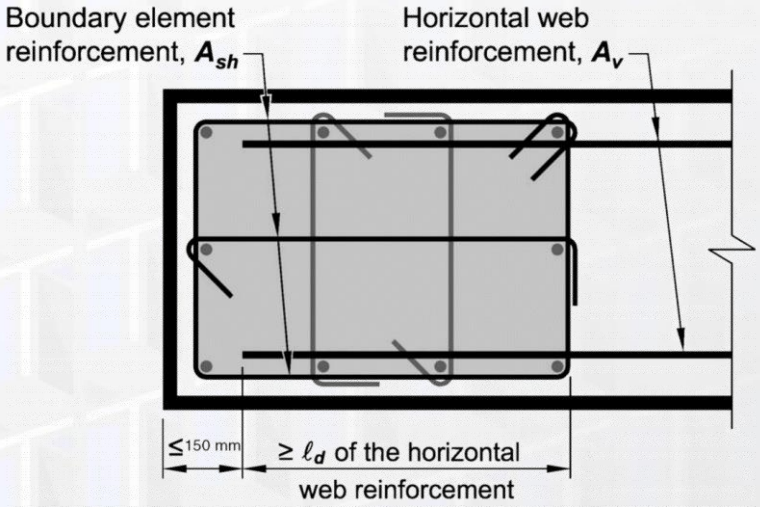
4.4 Shear
4. 4. القص

أطوال الإرساء للتسليح الأفقي لجدار القص داخل المنطقة الطرفية المطوقة



الخيار I: عكفات نظامية أو تسليح برأس

Option I: with standard hooks or headed reinforcement



الخيار II: قضبان بأطوال إرساء مستقيمة

Option II: with straight developed reinforcement

التسليح الأفقي للعنصر الطرفي الموازي لتسليح الجسد $\frac{A_{sh}f_{yt}}{s} \geq \frac{A_v f_y}{s}$ التسليح الأفقي للجسد

4.4 Shear
4. 4. القص

إذا كان العنصر الطرفي الخاص لازم, فإن الفقرة ACI 318 § 18.10.6.4h تتطلب أن يمد تسليح القص الأفقي إلى مسافة لا تزيد عن 15 cm من حافة الجدار و أن يتم إرساء تسليح القص الأفقي ليطور f_y على الشد ضمن المنطقة المطوقة من العنصر الطرفي باستخدام عكفات نظامية أو تسليح برأس (Standard Hooks Or Heads).

- أحد الخيارات هو مد تسليح الجسد الأفقي بشكل مستمر حتى يصبح قريباً من حافة الجدار بمسافة لا تزيد عن 15cm باستخدام عكفات نظامية أو تسليح برأس.
- الخيار الثاني هو بـتراكب التسليح الأفقي للجسد مع التسليح الأفقي للعنصر الطرفي بحيث يخدم التسليح العرضي للعنصر الطرفي الموازي لجسد الجدار كتسليح قص للجدارضمن العنصر الطرفي. يسمح بهذا الخيار فقط في حال كان هناك طول تراكب (Lap Length) كافي و إذا أمن التسليح الأفقي للعنصر الطرفي مقاومة $A_{sh}f_{yt}/s$ موازية لتسليح الجسد مساوية على الأقل لمقاومة التسليح الأفقي للجسد $A_v f_y/s$. يسمح في هذه الحالة بإنهاء التسليح الأفقي للجسد من دون عكفات نظامية أو رؤوس. وفقاً لهذا الحل البديل فإن التسليح العرضي A_{sh} اللازم للمنطقة الطرفية و الموازي للجسد هو الأكبر بين التسليح اللازم لتطويق المنطقة الطرفية (ACI 318 Table 18.10.6.4f) أو التسليح اللازم لمقاومة القص في جسد جدار القص (ACI 318 Eq. 18.10.4.1). ليس من الضروري جمع المتطلبين السابقيين.

4.5 Shear-Friction
4. 5. احتكاك القص

- تطبق التدابير الخاصة باحتكاك القص (Shear-friction Provisions) في الأمكنة التي يتم فيها نقل القص عبر سطوح حجمين بيتونيين تم صبهما بأوقات مختلفة.
- تهدف هذه التدابير إلى منع انهيار القص الانزلاقي (Sliding Shear Failure) عند هذه السطوح.
- يطبق هذا الشرط بشكل واسع عند الوصلات بين جدران القص و الأساسات.
- من أجل جدران القص في الأبنية متعددة الطوابق و المصبوبة كل طابق على حدى، تطبق هذه الاشتراطات كذلك عند الوصلات الباردة (Cold Joint) الأفقية عند كل طابق.

A **cold joint** is a plane of weakness in **concrete** caused by an interruption or delay in the concreting operations. It occurs when the first batch of **concrete** has begun to set before the next batch is added, so that the two batches do not intermix.

4.5 Shear-Friction
4. 5. احتكاك القص

تحسب مقاومة القص الاسمية عندما يكون التسليح متعامد مع مستوي الانزلاق كمايلي:

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

تشير A_{vf} إلى مساحة التسليح الرأسي الموزع على كامل جسد الجدار. من أجل جدار بعناصر طرفية يمكن حساب A_{vf} بشكل متحفظ كمساحة التسليح الرأسي الموزع في الجسد على فرض استمراره بشكل غير منقطع ضمن العناصر الطرفية.

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

4.5 Shear-Friction
4. 5. احتكاك القص

يجب أن لا تتجاوز قيمة مقاومة القص الاسمية V_n، المحسوبة لمستوي القص المفروض، الحدود المبينة في الجدول أدناه:

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

4.5 Shear-Friction
4. 5. احتكاك القص

متطلب التصميم الأساسي هو:

$$\phi V_n \geq V_u$$

- من أجل القص في الجدار الذي يتضمن احتكاك قص، تسمح الفقرة 9.3 § ACI 318 باعتماد $\phi = 0.75$. إذا كانت المقاومة الاسمية V_n أقل من القص الموافق لتطور مقاومة الانعطاف الاسمية M_n، فعندئذٍ ϕ = 0.6.

- يمكن لتسليح الجسد الرأسي، الذي تم اختيار أقطاره و أماكن توضعه حسب دراسة المقاومة وفق مخطط الترابط، أن يخدم وظيفة مضاعفة كتسليح لمقاومة احتكاك القص (Shear-friction Reinforcement).

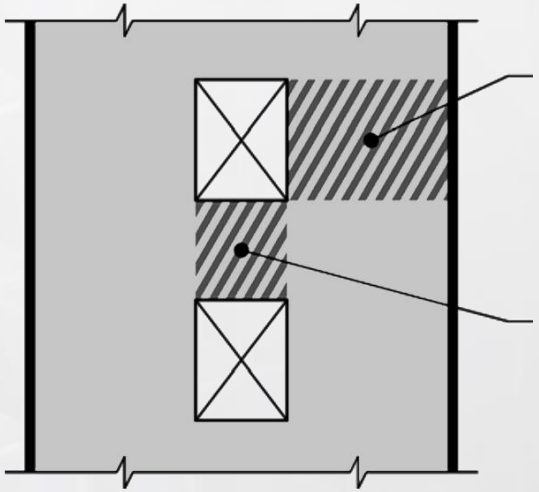
- إذا تبين أن تسليح الجسد الرأسي غير كافي لمقاومة القص المتشكل عند سطح الاحتكاك، يمكن وضع قضبان رأسية (Vertical Dowels) إضافية موزعة على طول الخط المركزي لمقطع الجدار (Wall Centerline) و بطول تماسك من أجل f_y أعلى و أسفل سطح الاحتكاك.

4.6 Squat Walls
4. 6. جدران القص القصيرة

- تجنح جدران القص القصيرة إلى امتلاك مقاومة انعطاف متأصلة عالية. و تميل جدران القص القصيرة لمقاومة القوى الجانبية عن طريق ميكانيزم عنصر ضاغط قطري. لهذه الأسباب, تبدأ عادة طريقة تصميم جدران القص القصيرة بالتصميم على القص, و من ثم التحقق من احتكاك القص و بعد ذلك دراسة الانعطاف المركب مع القوة المحورية.
- من أجل جدران القص القصيرة بنسبة أبعاد $h_w / l_w \le 2$, تلزم الفقرة 18.10.4.3 § ACI 318 باعتماد نسبة تسليح ρ_l من أجل القضبان الرأسية الموزعة بحيث لا تقل عن نسبة التسليح ρ_t من أجل القضبان الأفقية الموزعة.
- الخطوة التالية هي التحقق من مقاومة احتكاك القص عند أي وصلة من وصلات الإنشاء حيث تم صب البيتون على بيتون متصلب. إذا كان هناك حاجة لتسليح إضافي فيمكن زيادة نسبة التسليح ρ_l أو إضافة قضبان قص قصيرة (Dowels) عند الوصلة بطول تماسك من أجل f_y أعلى و أسفل سطح الاحتكاك.
- بعد ذلك يتم التحقق من التأثير المركب للانعطاف مع القوة المحورية. إذا كان هناك حاجة لتسليح رأسي بالإضافة إلى التسليح الموزع ρ_l المزود لمقاومة القص, فيمكن إضافة إما تسليح إضافي موزع للجسد أو إضافة تسليح رأسي عند المناطق الطرفية. يعتبر كلاً من هذين المنهجين (التسليح الموزع أو تسليح المناطق الطرفية المركز) ذو فعالية متساوية في مقاومة العزم, إلا أن التسليح الموزع على الجسد أكثر فعالية في مقاومة الانزلاق عند وصلات الإنشاء.
- يتم التحقق من الاشتراطات الخاصة بـالعناصر الطرفية باستخدام الطريقة II (طريقة الاجهادات).

4.7 Wall Piers
4. 7. الركائز الجدرانية

تدابير التصميم الحاكمة للأجزاء الجدارية الرأسية (Vertical Wall Segments)



- الركيزة الجدارية (Wall Pier) هي عبارة عن جزء جداري رأسي ضيق و الذي يمكن اعتباره من حيث المبدأ كعمود, لكن أبعاده لا تحقق متطلبات أعمدة الإطارات العزمية الخاصة.
- يعتبر الجزء الجداري الرأسي ركيزة جدارية في حال كان $l_w / b_w \le 6.0$ و $h_w / l_w \ge 2.0$, حيث تشير b_w و l_w و h_w إلى أبعاد الجزء الجداري الرأسي. يتبع تصميم الركائز الجدارية المتطلبات المعتادة لتصميم أجزاء الجدار الرأسية, لكن يجب تطبيق بعض المتطلبات الإضافية.

4.7 Wall Piers
4. 7. الركائز الجدرانية

تدابير التصميم الحاكمة للأجزاء الجدارية الرأسية (Vertical Wall Segments)

h_w/l_w: الارتفاع الصافي للجزء الجداري الرأسي / طول الجزء الجداري الرأسي	l_w/b_w: طول الجزء الجداري الرأسي / سماكة الجدار		
	$l_w/b_w \le 2.5$	$2.5 < l_w/b_w \le 6$	$l_w/b_w > 6$
$h_w/l_w < 2$	جدار	جدار	جدار
$h_w/l_w \ge 2$	يجب على الركيزة الجدارية أن تحقق متطلبات تصميم الأعمدة الخاصة (ارجع إلى الفقرة 18.10.18.1)	يجب على الركيزة الجدارية أن تحقق متطلبات تصميم الأعمدة الخاصة أو المتطلبات البديلة (ارجع إلى الفقرة 18.10.18.1)	جدار

h_w: الارتفاع الصافي للجزء الجداري. l_w: الطول الأفقي للمقطع العرضي. b_w: سماكة جسد الجزء الجداري.

- يلزم الكود ACI 318 بتصميم الركائز الجدارية بحيث تحقق متطلبات أعمدة الإطارات العزمية الخاصة المتضمنة في الفقرات 18.7.4 § ACI 318 و 18.7.5 و 18.7.6 و التي تتناول أنواع وصلات التراكب (Splice Type) و موضعها، و تسليح التطويق، و متطلبات مقاومة القص السارية المفعول على أعمدة الإطارات العزمية الخاصة.

4.7 Wall Piers
4. 7. الركائز الجدرانية

المتطلبات البديلة لتصميم الركائز الجدارية التي تحقق نسبة الأبعاد $l_w/b_w > 2.5$ كمايلي:

a) تحدد قوة القص التصميمية V_u (Design Shear Force) إما كقوة القص المرافقة لتطور M_{pr} (مقاومة العزم المحتملة) عند كلتا نهايتي الركيزة الجدارية أو قوة القص المحددة عن طريق تحليل المنشأة تحت تأثير تراكيب الأحمال الزلزالية الخاصة (التراكيب التصميمية متضمنة تأثيرات الزلازل مضروبةً بعامل المقاومة الزائدة Ω_0).

b) تحسب المقاومة التصميمية ϕV_n وفقاً للتدابير المعتادة بالنسبة للجدران.على الرغم من عدم إلزام الكود ACI 318 بذلك، إلا أنه من الاحتياط و التعقل تخفيض مقاومة القص إذا كان المقطع معرض لشد صافي، بطريقة مشابهة للمتطلبات الخاصة بالأعمدة.

c) يلزم التسليح العرضي بشكل أساور (Hoops) إلا عندما يتم تزويد الركيزة بستارة وحيدة فقط من تسليح القص الموزع (هذه الحالة المسموحة فقط عند تحقق $V_u \le 0.17 A_{cv} \lambda \sqrt{f'_c}$ ، و عندئذٍ يسمح باستخدام تسليح قص ذو رجل وحيدة مع عكفات 180° عند كل نهاية بحيث تطوق التسليح الرأسي الطرفي).

d) يؤخذ التباعد الأعظمي للتسليح العرضي 15 cm.

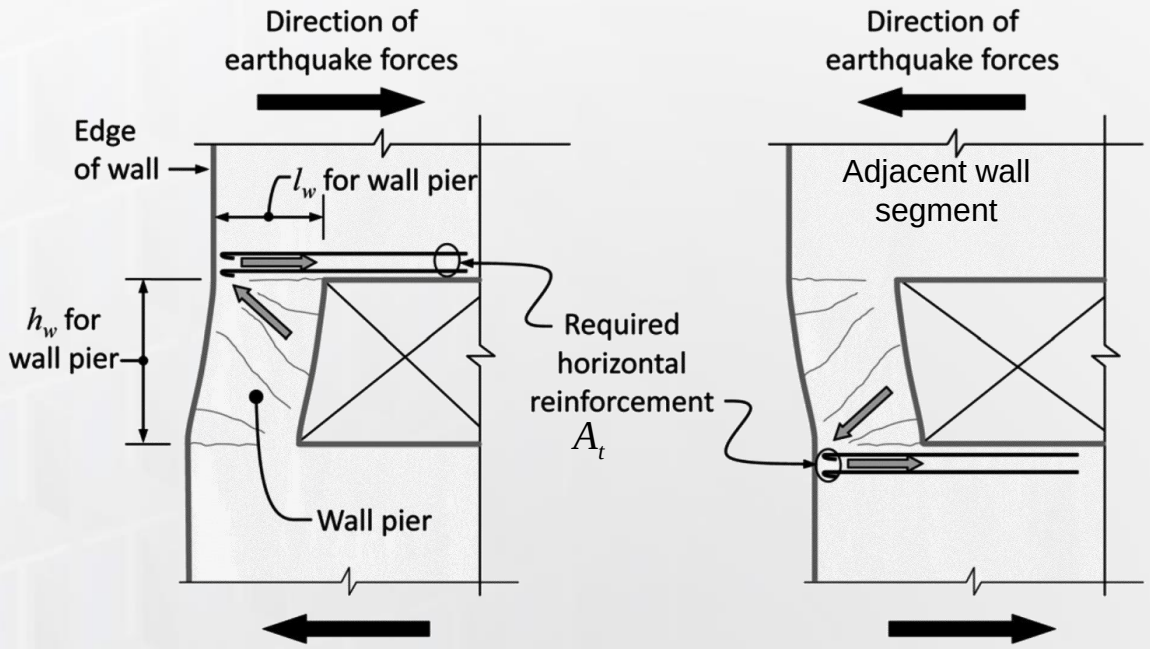
e) يجب أن يمتد التسليح العرضي على الأقل 30 cm أعلى و أسفل الطول الصافي للركيزة الجدارية.

f) يجب تزويد الركيزة بعناصر طرفية خاصة حسب ما هو لازم بالطريقة II (الطريقة المبنية على الإجهادات).

4.7 Wall Piers
4. 7. الركائز الجدرانية

$$v_n = b_w \alpha_c \lambda \sqrt{f_c'} + \frac{A_t f_y}{l_w}$$

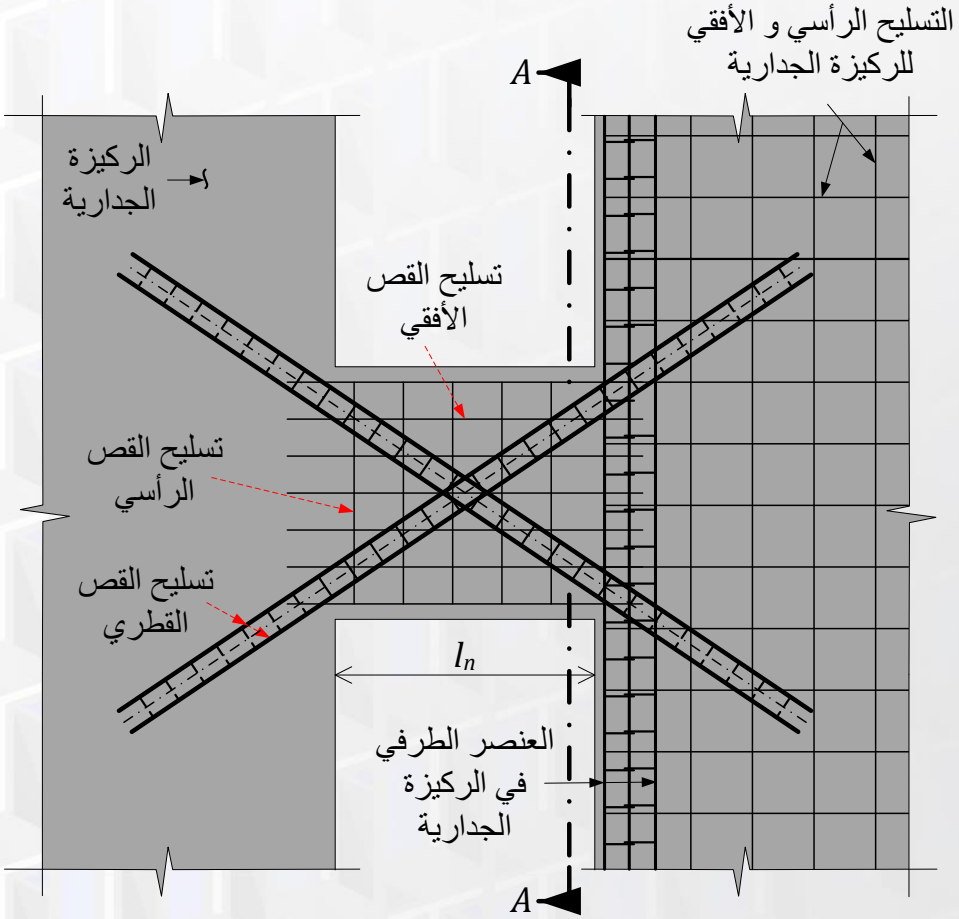
l_w of the adjacent wall segment

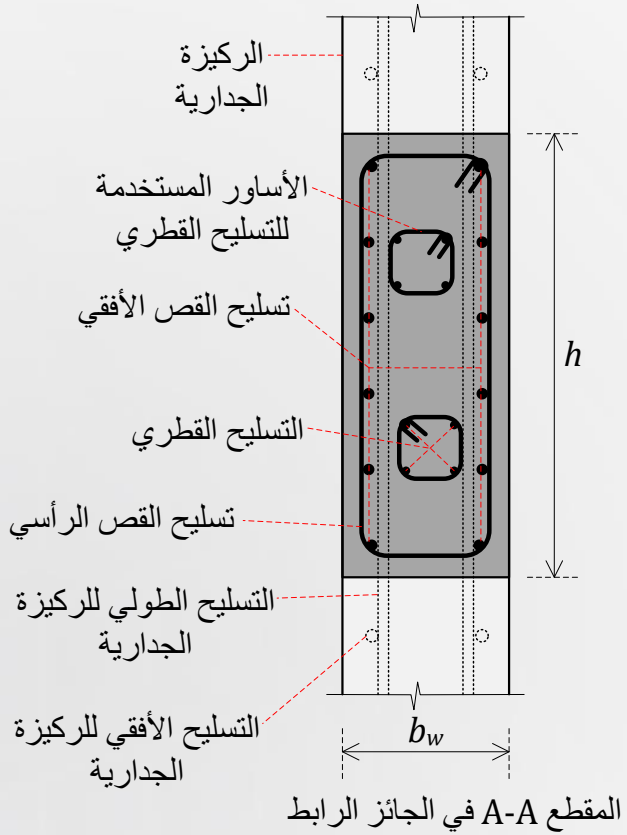


من أجل الركائز الجدارية المتوضعة عند حافة الجدار، يجب تأمين تسليح أفقي عند أجزاء الجدار المجاورة لأعلى و أسفل الركيزة الجدارية. تحدد كميته بحيث تؤمن نقل قوة القص التصميمية من الركيزة الجدارية إلى أجزاء الجدار المجاورة.

يتم أولاً تحديد قوة القص التصميمية V_u في الركيزة الجدارية. ثم تحدد مقاومة القص الاسمية الواحدية v_n (القوة على واحدة الطول) لجزء الجدار المجاور. عندئذٍ يحسب الطول الكلي للتسليح الأفقي اللازم من العلاقة $V_u/\phi v_n$.

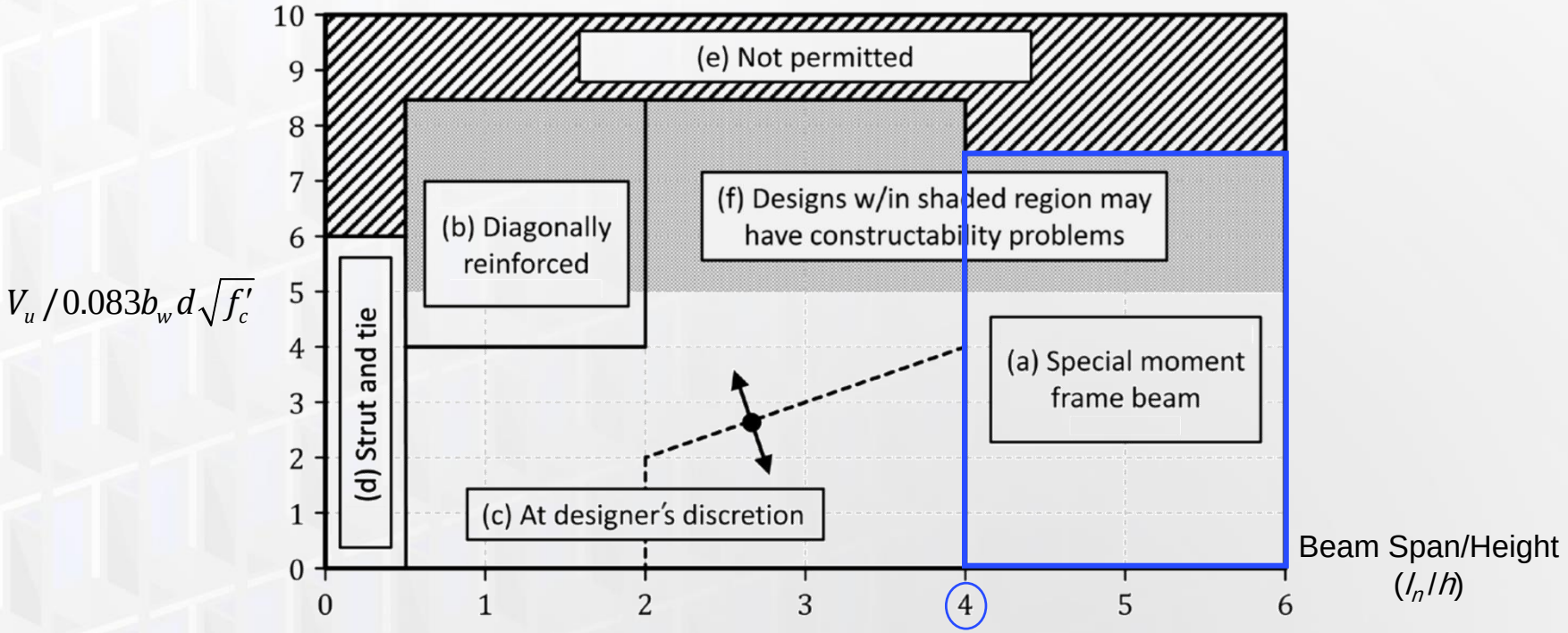
4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة





المقطع A-A في الجائز الرابط

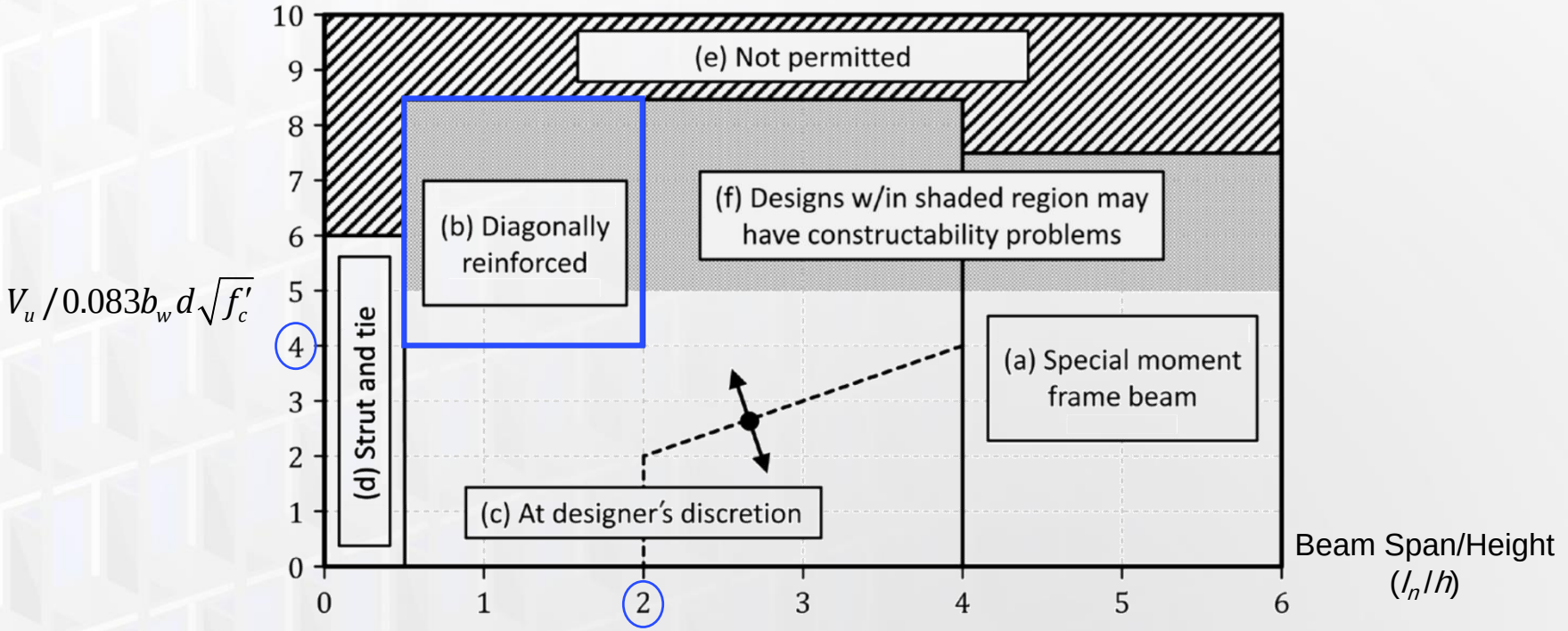
4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة



الجوائز الرابطة ذات نسبة الأبعاد $l_n/h \geq 4$:

- يجب أن تحقق هذه الجوائز اشتراطات الأبعاد و متطلبات جوائز الإطارات العزمية الخاصة, إلا أن هذه الجوائز معفاة من قيود بعدية محددة.
- تعتبر هذه الجوائز ذات عمق غير كافي للاستخدام الفعال للتسليح المتوضع قطرياً

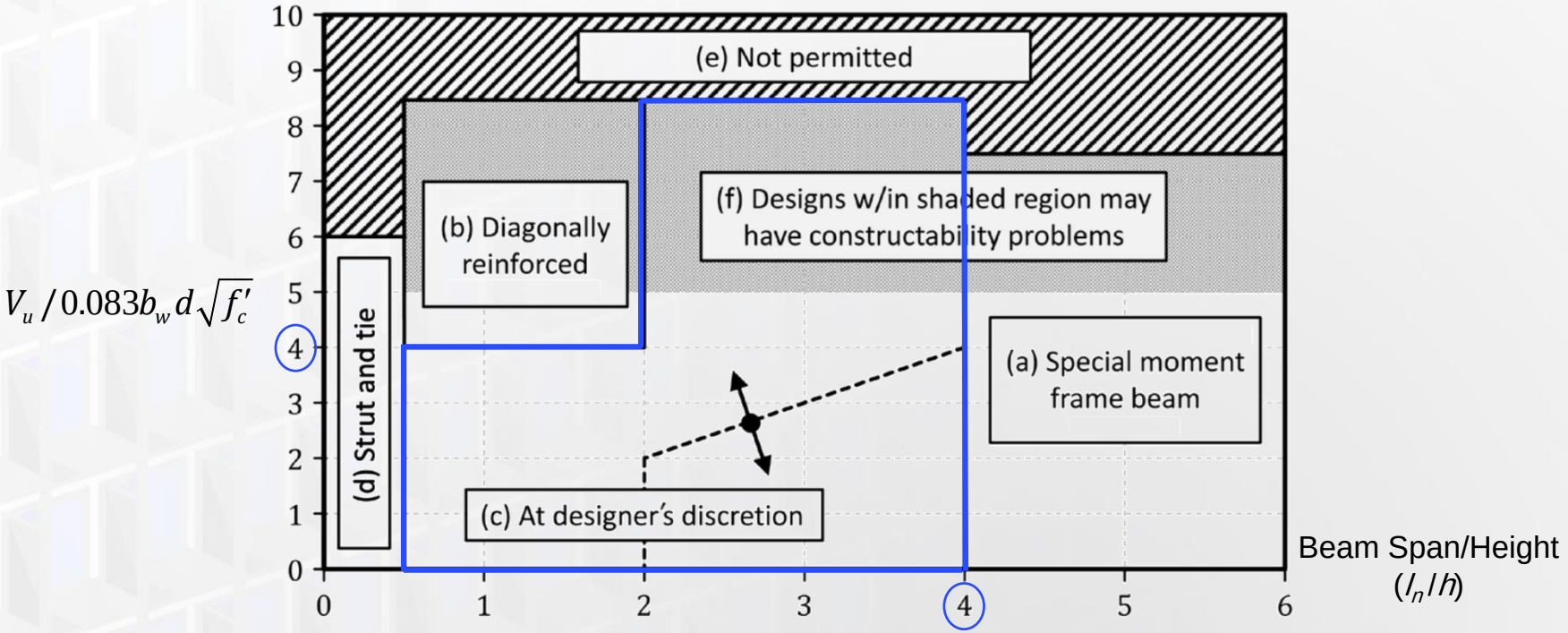
4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة



الجوائز الرابطة ذات نسبة الأبعاد $l_n/h < 2$ و قوة القص التصميمية $V_u \geq 0.332 \lambda A_{cw} \sqrt{f'_c}$:

يجب تسليح هذه الجوائز بمجموعتين متقاطعتين من القضبان المتوضعة قطرياً، إلا إذا أمكن إظهار أن خسارة قساوة و مقاومة الجوائز الرابطة لن يفسد قدرة المنشأة على تحمل القوى الرأسية، و لن يعطل الخروج من المنشأة بعد انتهاء الهزة الأرضية، و لن يؤثر على تحقيق الجملة المقاومة للأحمال الزلزالية لمتطلبات المقاومة و لحدود الانزياح الجانبي.

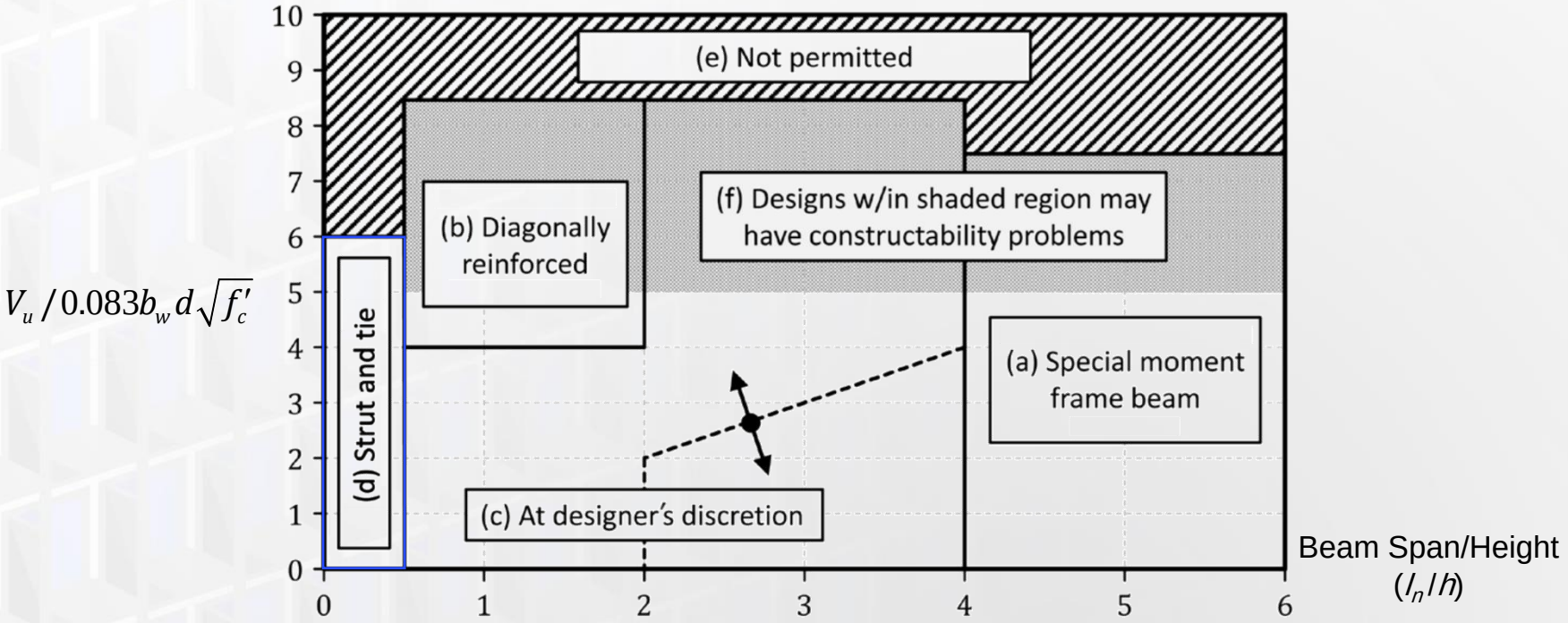
4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة



الجوائز الرابطة الأخرى التي لا تقع ضمن نطاق الحالتين المذكورتين سابقاً:

- يسمح بتسليح هذه الجوائز إما تقليدياً كجوائز إطارات عزمية خاصة أو كجوائز رابطة مسلحة قطرياً.
- في الشكل أعلاه, يمكن تصميم الجوائز التي تقع إلى اليمين من الخط المقطع بفعالية كجوائز إطارات عزمية خاصة, بينما من المحتمل أن يكون تصميم الجوائز التي تقع إلى اليسار من الخط المقطع أفضل في حال كان تسليحها قطرياً.

4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة

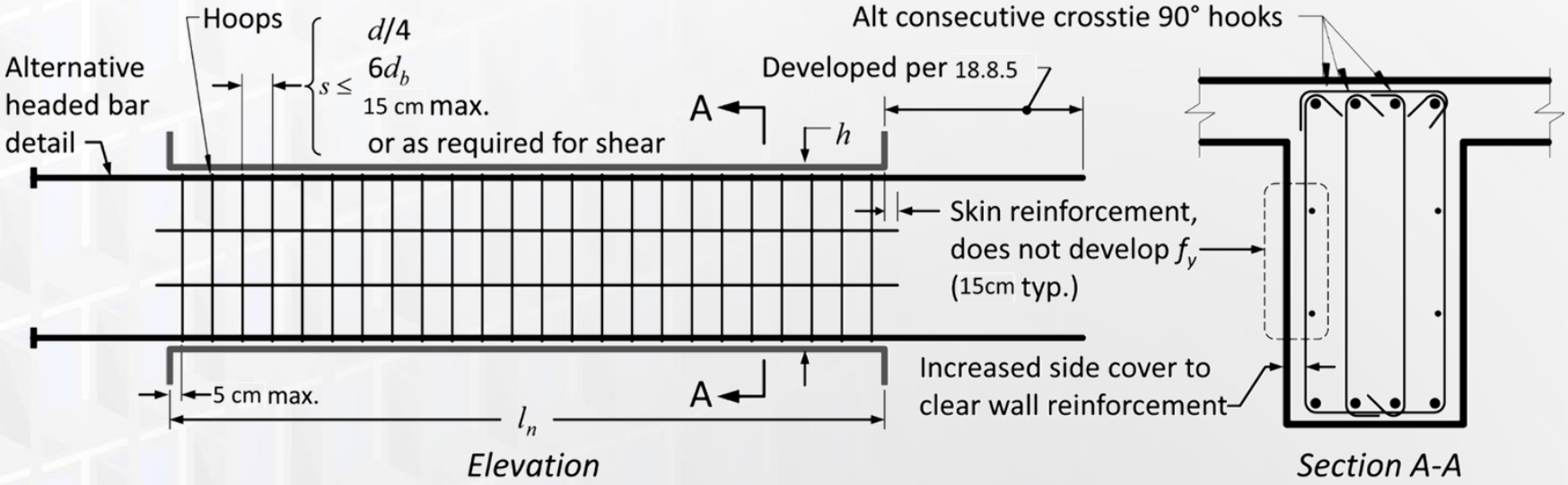


يفضل تصميم الجوائز ذات نسبة الأبعاد المنخفضة جداً باستخدام نموذج ضاغط و شداد (Strut-and-tie Model).

تعرف المنطقة المظللة بخطوط مائلة الحد الأعلى المفروض على إجهادات القص التصميمية للجوائز.

تدل المنطقة المظللة باللون الرمادي إلى التصاميم المسموحة حسب الكود ACI318، لكن يمكن أن ينتج عنها مشاكل أثناء الإنشاء (Constructability Problems) تتعلق بكثافة و اكتظاظ التسليح.

4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة



تفاصيل الجوائز الرابطة المسلحة تقليدياً

يجب أن يوضع تسليح الانعطاف للجوائز المصممة كجوائز إطارات عزمية خاصة بشكل أفقي عند أعلى و أسفل الجائز و تسليح عرضي (أساور مغلقة) بحيث تطوق مناطق النهايات. بما أن النسبة l_n/h هي نوعاً ما صغيرة, فلا يمكن تراكب التسليح الطولي و ربما يكون من الأسهل استخدام أساور مغلقة على كامل مجال الجائز بدلاً من $2h$ فقط عند كل نهاية. إذا كان هناك حاجة للتسليح الجلدي حسب الفقرة §9.7.2.3 ACI 318 فعادة يوقف هذا التسليح بعد مده بطول قصير ضمن الجدار (حوالي 15 cm)؛ يمكن بشكل بديل تأمين طول تماسك لهذا التسليح ضمن الجدار بحيث تحسب مساهمته في مقاومة الانعطاف للجائز.

4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة

متطلب التصميم على الانعطاف هو:

$$\phi M_n \geq M_u$$

يحدد M_u من تراكيب الأحمال التصميمية , $\phi = 0.9$.

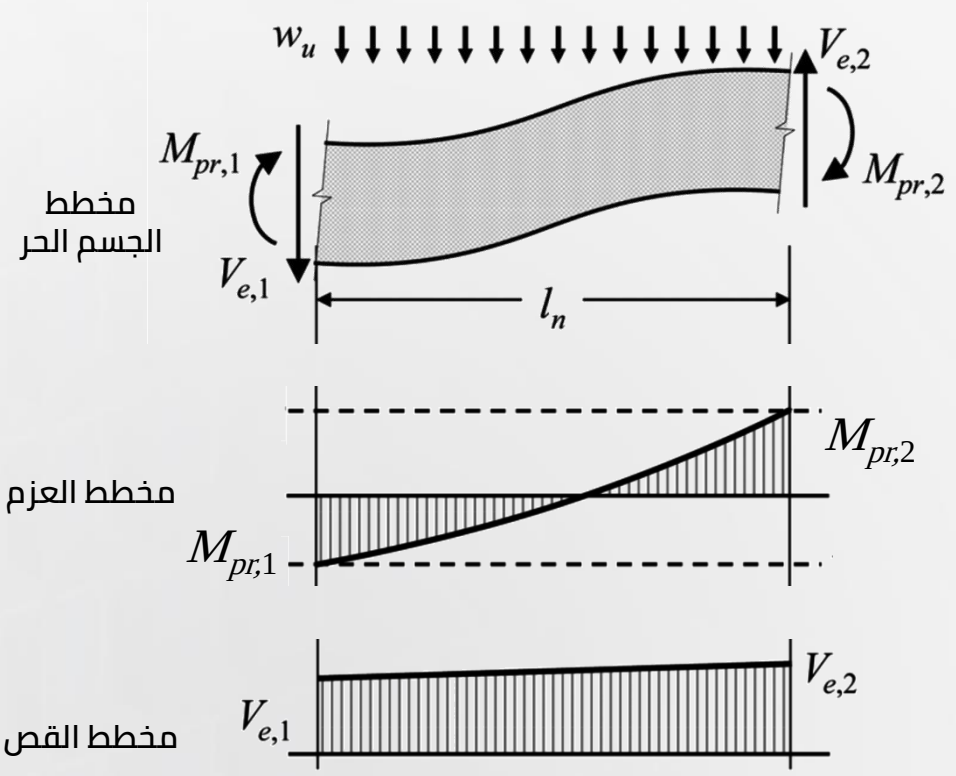
متطلب التصميم على القص هو:

$$\phi V_n \geq V_e$$

يحدد V_e من توازن الجائز بفرض تطوير M_{pr} عند نهايتي الجائز مع حمل موزع w_u مطبق على طول المجاز. M_{pr} هو مقاومة العزم المحتملة, و المحسوبة باستخدام حد خضوع للتسليح الطولي $1.25f_y$.

تحسب مقاومة القص ضمن مسافة $2h$ بدءً من نهايات العنصر بناءً على $V_c = 0$، أي أن $V_n = V_s = A_v f_{yt} d/s$, مع أخذ الحد الأعلى $V_n = 0.83 A_{cw} \sqrt{f'_c}$.

يؤخذ $\phi = 0.75$ من أجل التصميم على القص.



القص التصميمي للجوائز الرابطة المسلحة بشكل تقليدي.

يجب كذلك الأخذ بعين الاعتبار حالة التحميل المعاكسة

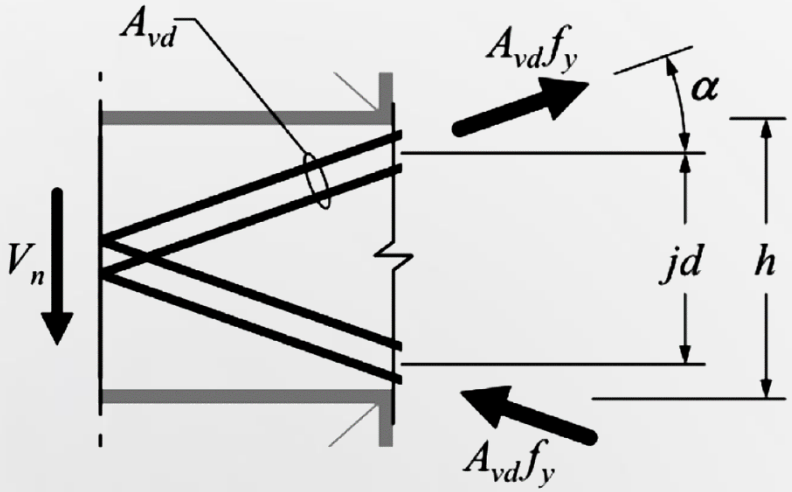
4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة

يمكن تمثيل الجائز الرابط المسلح قطرياً كجائز شبكي بعناصر قطرية معرضة للشد و الضغط.

يتم حساب مقاومة القص V_n عن طريق كتابة معادلة التوازن:

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

يلزم على الأقل طبقتين من التسليح في كل حزمة قطرية, و بالتالي لحساب الذراع jd يمكن في البداية اعتماد العمق بين مراكز ثقل الحزم القطرية $jd = h - 20\text{cm}$, و من ثم تحدد α.



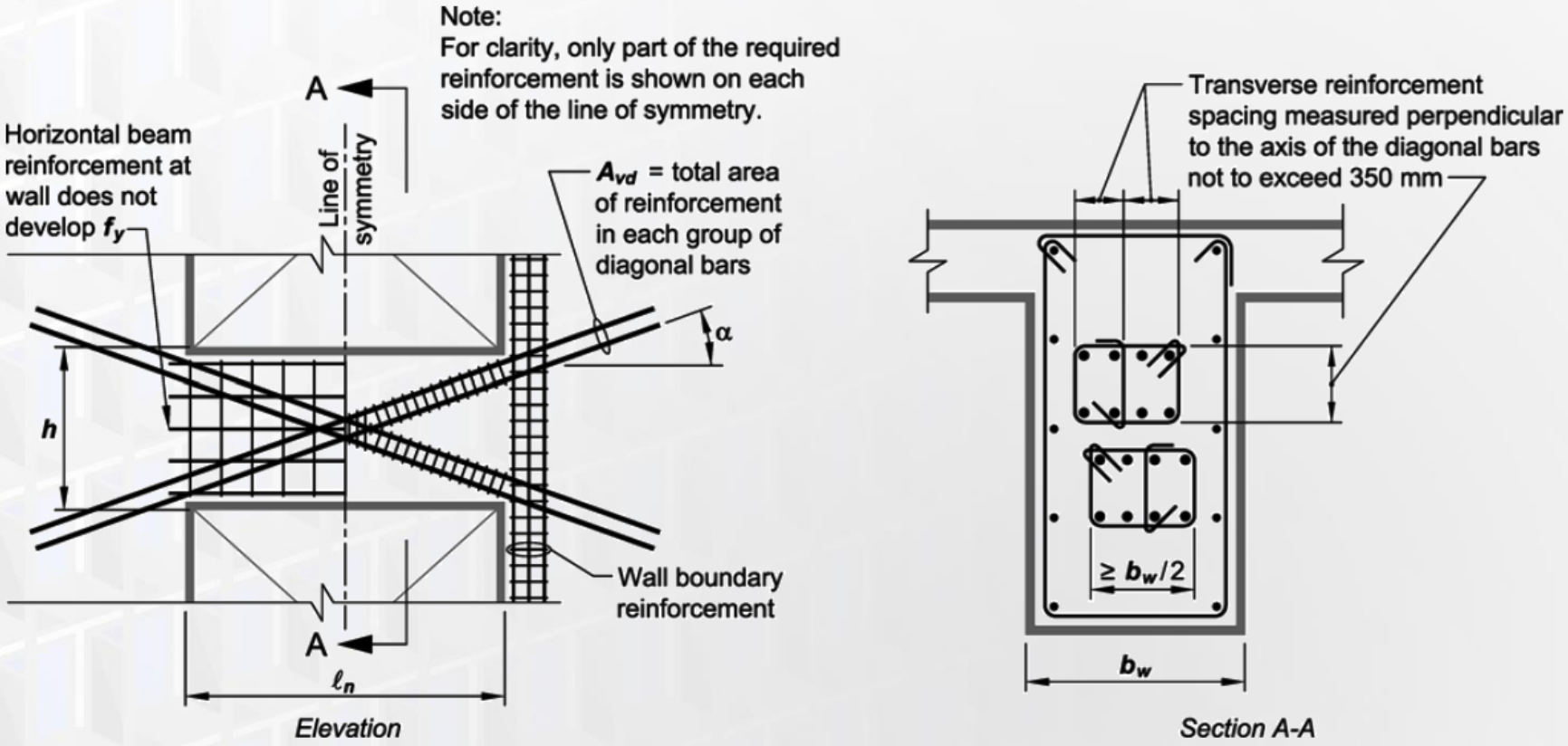
مخطط الجسم الحر لنصف مجاز الجائز الرابط المسلح قطرياً. (أحمال الثقالة غير ظاهرة على الشكل)

يؤخذ بعين الاعتبار فقط مقاومة القص كمتطلب أساسي للتصميم على المقاومة للجائز الرابط المسلح قطرياً؛ تؤمن مقاومة العزم بشكل أوتوماتيكي عن طريق الجائز الشبكي المثالي. متطلب التصميم هو: $\phi V_n \ge V_u$, حيث تحدد V_u من تحليل البناء تحت تأثير تراكيب الأحمال التصميمية, و يؤخذ $\phi = 0.85$.

4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة

- تظهر الأشكال التالية تفاصيل نموذجية لجائز رابط مسلح بمجموعتين متقاطعتين من القضبان المتوضعة قطرياً و بشكل متناظر حول منتصف المجاز.
- تتألف كل مجموعة من القضبان القطرية على الأقل من أربعة قضبان باستخدام طبقتين أو أكثر.
- يجب مد القضبان القطرية ضمن الجدار مسافة لا تقل عن 1.25 مسافة التماسك المحسوبة من أجل f_y على الشد.
- يكمن التحدي عند تنفيذ الجوائز الرابطة المسلحة قطرياً في تجنب التداخل (Interference) بين القضبان القطرية و التسليح الطولي و العرضي للمناطق الطرفية.
- إذا تطلب لَّي القضبان القطرية الممتدة ضمن الجدار نتيجة وجود فتحة ضمن الجدار أو عند حافة الجدار (على سبيل المثال أعلى الجدار)، فيلزم وضع تسليح إضافي لمقاومة القوة الغير متوازنة الناتجة عن التغير في اتجاه التسليح، بشكل مشابه للمتطلبات الخاصة بتغير اتجاه القضبان الطولية (Offset Bars) في الأعمدة (ACI 318 § 10.7.6.4). يجب تجنب هذا النوع من تفصيل التسليح قدر المستطاع.
- سماكة الجدار الدنيا اللازمة لملائمة تسليح كلاً من الجائز الرابط و الجدار هي حوالي 35 cm، إلا أن اعتماد سماكة 40 cm إلى 45 cm هو أكثر مناسبةً من الناحية العملية.

4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة



(a) تطويق العناصر القطرية المنفردة

(a) Confinement of individual diagonals.

4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة

(a) تطويق العناصر القطرية المنفردة

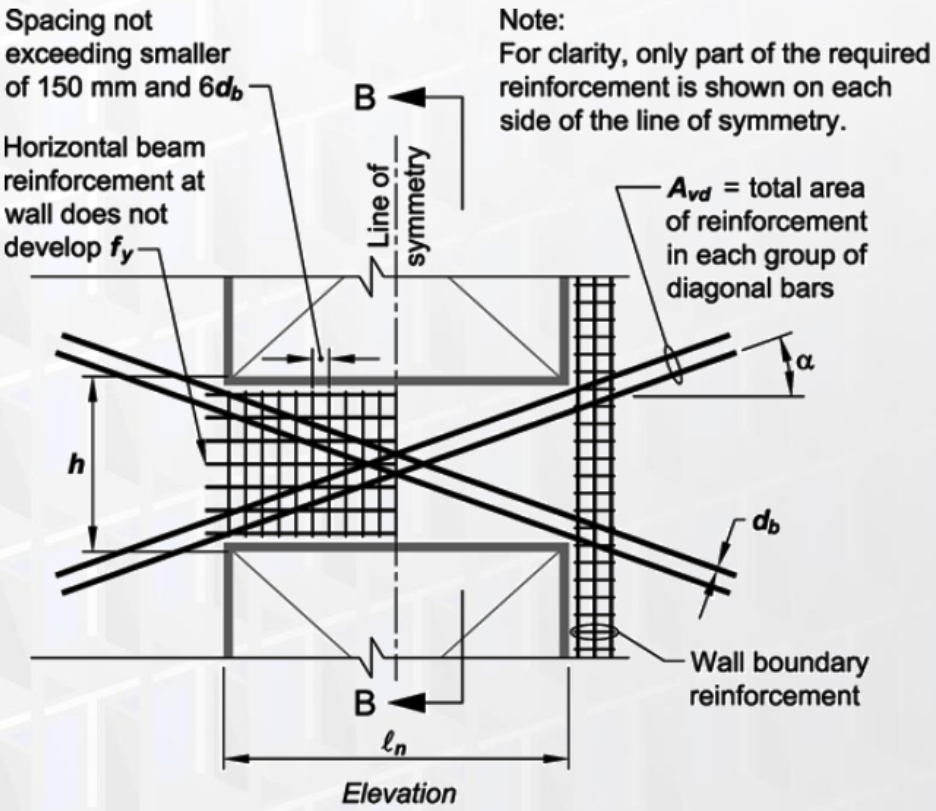
- يجب تطويق كل مجموعة من القضبان القطرية بتسليح عرضي بحيث لا يقل البعد الخارجي للإسوارة عن $b_w/2$ في الاتجاه الموازي لسماكة جسد الجائز الرابط b_w و $b_w/5$ على طول الجانب الآخر.
- يجب أن يحقق التسليح العرضي للعنصر القطري الفقرات من 18.7.5.2 9(a) و حتى (e)، و لا يقل A_{sh} عن الأكبر من:

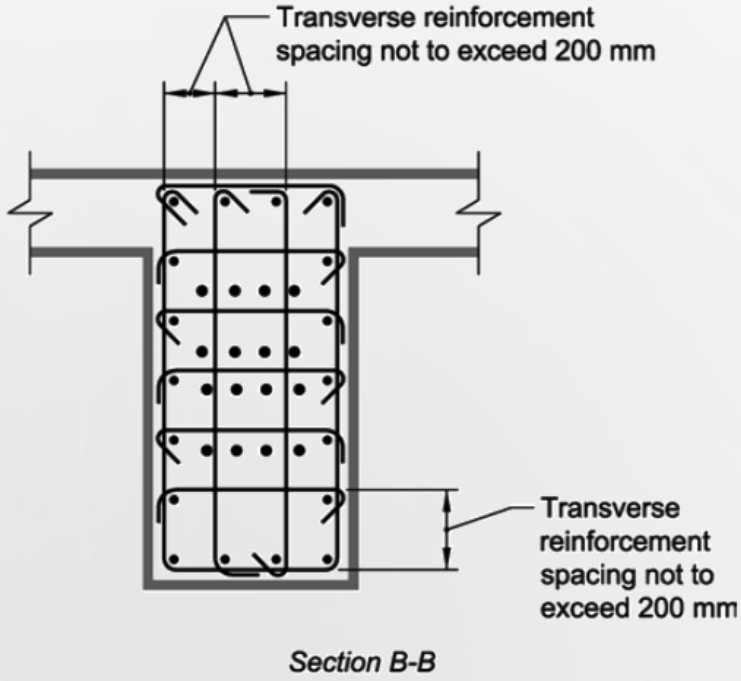
$$0.09sb_c\frac{f'_c}{f_{yt}} \qquad 0.3sb_c\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}}$$

بهدف حساب A_g افترض أن كل عنصر قطري كعمود منفصل مع مسافة تغطية أصغرية حول حديد التسليح.

- التباعد الأعظمي بين الأساور على طول العنصر القطري هو الأصغر بين s_o و $6d_b$ للقضبان القطرية، حيث s_o=10+ (35 – h_x)/3 [cm]، و يجب أن لا يتجاوز التباعد بين الشناكل أو أرجل الأساور مقاساً بشكل متعامد مع القضبان القطرية 35 cm. يجب أن يستمر التسليح العرضي خلال تقاطع القضبان القطرية.
- يجب تزويد الجائز الرابط بتسليح طولي و عرضي إضافي موزع حول محيط الجائز و بمساحة كلية في كل اتجاه لا تقل عن $0.002b_w s$ و بتباعد أعظمي 300 mm.

4.8 Coupling Beams
4. 8. الجوائز الرابطة





(b) تطويق كامل المقطع العرضي للجائز الرابط المسلح بشكل قطري
(b) Full confinement of diagonally reinforced concrete beam section.

(b) تطويق كامل المقطع العرضي للجائز الرابط المسلح بشكل قطري

- القصد من الخيار الثاني هو تسهيل صعوبات الإنشاء التي نصادفها عادةً باعتماد الخيار الأول.
- يتم باعتماد هذا الخيار تطويق كامل المقطع العرضي للجائز باستخدام أساور مغلقة و شناكل. يجب أن يحقق التسليح العرضي الاشتراطات المذكورة في البنود 18.7.5.2 9(a) حتى (e)، مع أخذ قيمة A_{sh} بحيث لا تقل عن الأكبر:

$$0.09sb_c\frac{f'_c}{f_{yt}} \qquad 0.3sb_c\left(\frac{A_g}{A_{ch}}-1\right)\frac{f'_c}{f_{yt}}$$

- يجب أن لا يتجاوز تباعد التسليح العرضي على طول الجائز الرابط القيمة الأصغر بين 15 cm و $6d_b$ لقضبان التسليح القطري. يجب كذلك أن لا يتجاوز التباعد بين الشناكل أو أرجل الأساور المغلقة بكل اتجاه للمقطع العرضي للجائز القيمة 20 cm.
- يجب أن تشرَّك كل رجل إسوارة و كل شنكل على محيط المقطع مع قضيب تسليح طولي ذو قطر مساوي أو أكبر من قطر التسليح العرضي. من المسموح تشكيل الأساور كما هو محدد في الفقرة 18.6.4.3.
- على الرغم من أن الكمية الكلية لتسليح التطويق يمكن أن تكون أكبر باستخدام الخيار الثاني، إلا أن التخفيضات في تكلفة اليد العاملة باعتماد هذا الخيار غالباً ما تعوض و تزيد عن الزيادة في تكلفة حديد التسليح المستخدم.