جامعة دمشق
المعهد العالي للبحوث والدراسات الزلزالية
ماجستير التأهيل والتخصص/قسم الهندسة الزلزالية
السنة الثانية

منشآت حجرية

Lec.03

التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة

Seismic Design of Reinforced Masonry Walls

According to Canadian Concrete Masonry Producers Association CCMPA

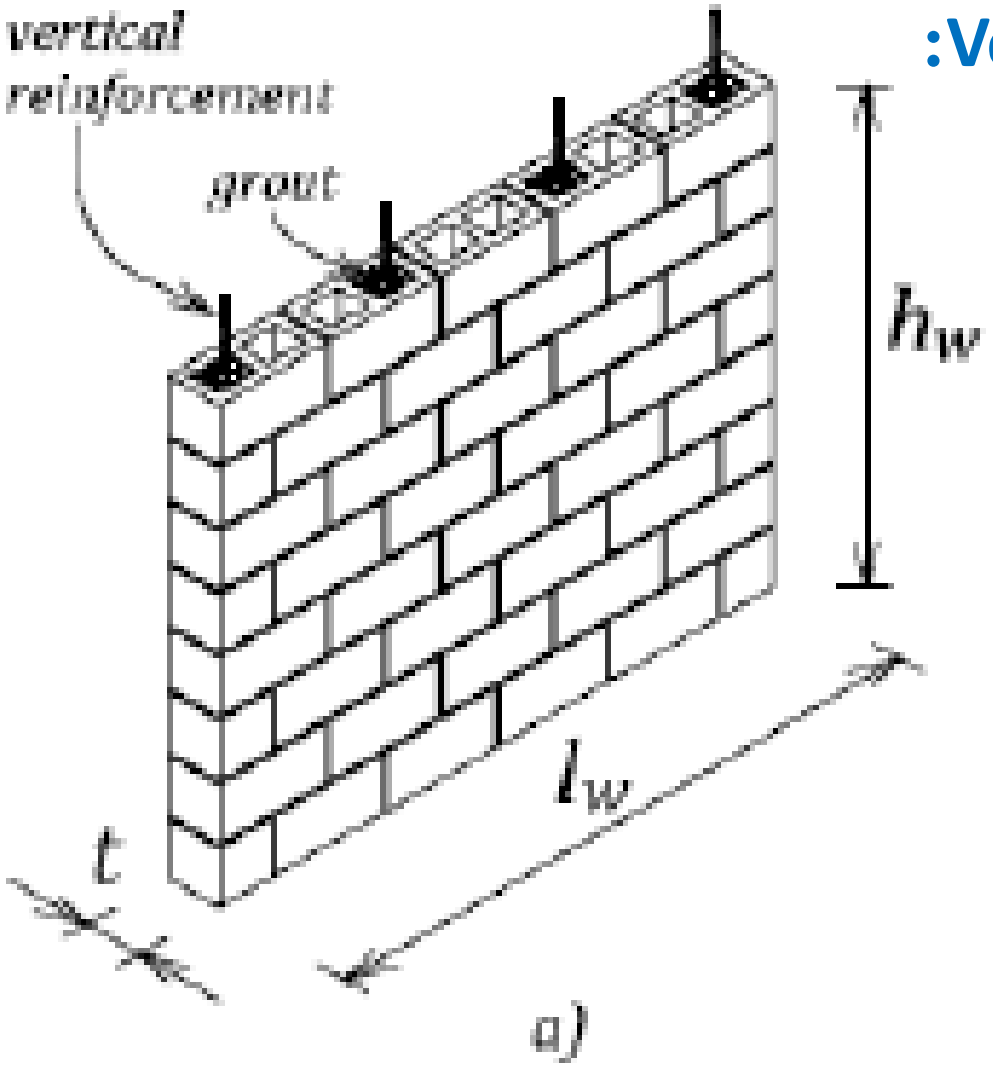
د.م. ريم الصحناوي

E-mail: reemsalman_seh@Hotmail.com

6-13/4/2020

الجدران الحجرية المسلحة

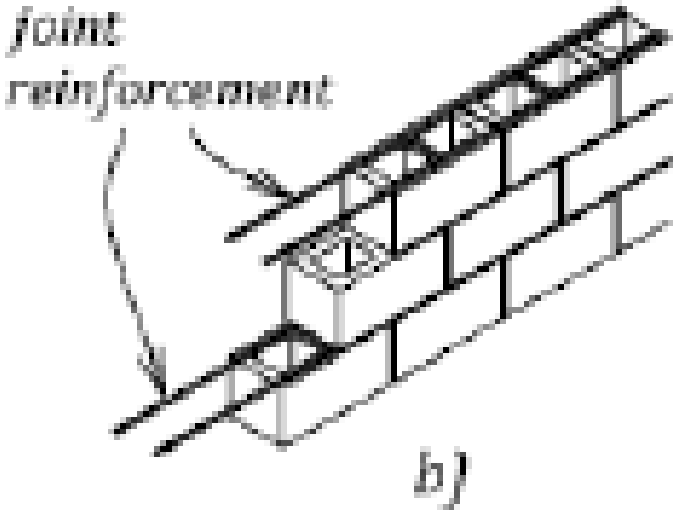
❖ التسليح الطولي (الشاقولي) Vertical Reinforcement:

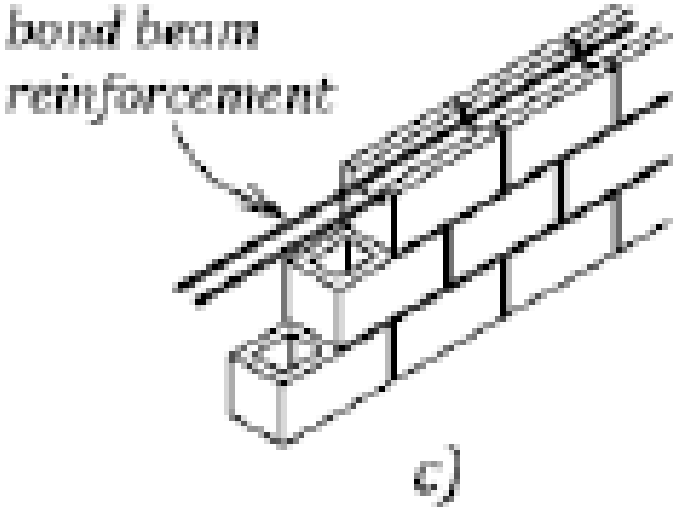


يوضع التسليح الطولي في فتحات وحدات البلوك ويتم توزيعها بشكل منتظم على طول الجدار.

يقاوم التسليح الطولي القوى الناتجة عن الأحمال الشاقولية والعزوم الناتجة عن لامركزية القوى الشاقولية، بالإضافة للقوى المطبقة خارج مستوي الجدار.

الجدران الحجرية المسلحة





❖ التسليح العرضي (الأفقي)Horizontal Reinforcement :

يوضع التسليح الأفقي في الجدار بشكلين:

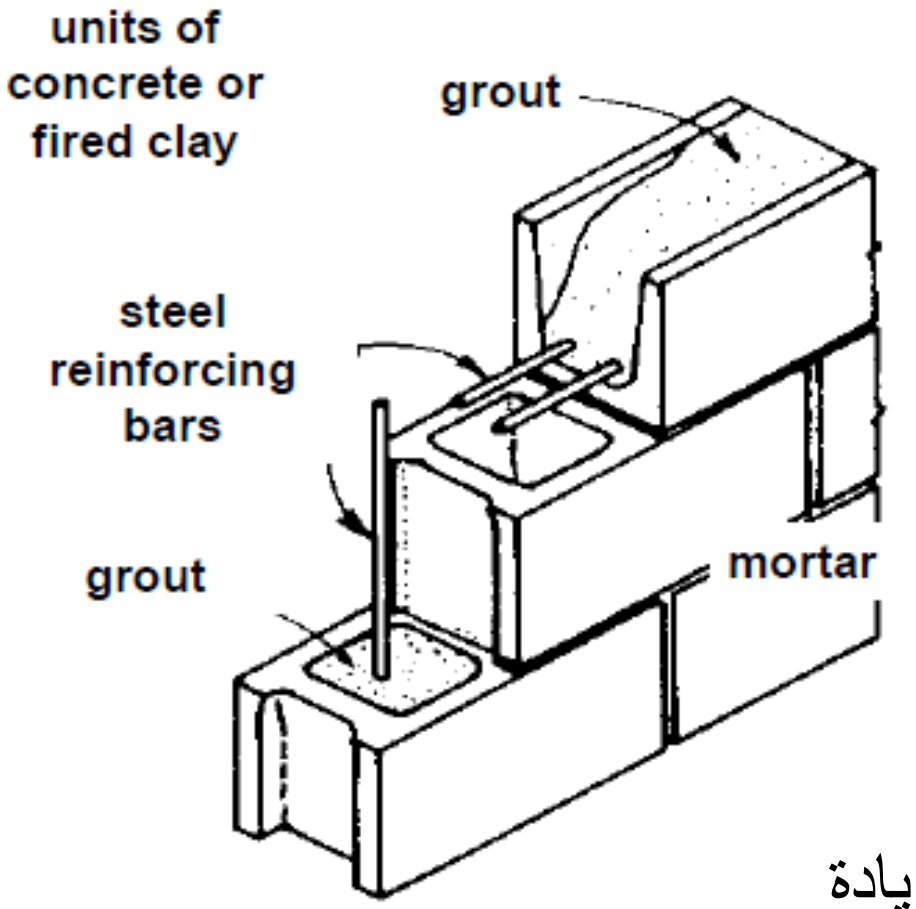
1- تسليح في المونة الإسمنتية الواصلة بين مداميك البلوك Joint Reinforcement ويكون على شكل أسلاك

2- قضبان تسليح فولاذية توضع في مونة الملئ لوحدات البلوك كجائز ربط Bond Beam في مواقع محددة على طول الجدار.

يقاوم التسليح الأفقي انتقال الجدار خارج المستوي الناتجة عن تغيرات في الحرارة والرطوبة. وقوى القص بالإضافة للقوى الناتجة عن العزوم الناتجة عن الحمولات المطبقة خارج مستوي الجدار.

الجدران الحجرية المسلحة

❖ مونة الملئ grout



تملئ ثقوب وحدات البلوك المحتوية على حديد التسليح الشاقولي والأفقي بمونة الملئ (grout)المشابهة بخواصها للبيتون ولكن هبوطها أكبر.

تزيد مونة الملئ من قدرة الجدار الحجري على مقاومة الأحمال بزيادة مساحة مقطع الجدار، بالإضافة تعمل على تماسك حديد التسليح مع وحدات الحجر ليعمل الحجر والتسليح معاً.

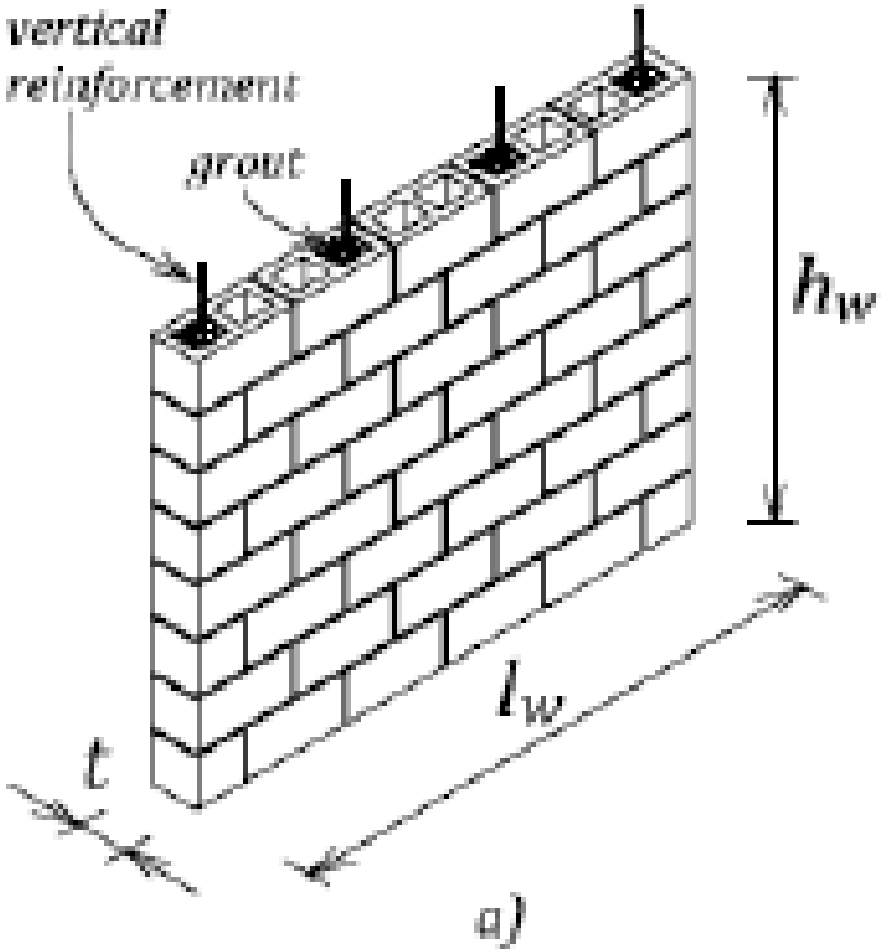
الجدران الحجرية المسلحة

❖ مونة الملئ grout

- ✓ يتم ملئ الجدار الحجري بالكامل في منطقة جائز الربط بين الطوابق في الجدار الحجري.
- ✓ يتم ترك طول إرساء لحديد التسليح الطولي.

الجدران الحجرية المسلحة

مواصفات المواد وأبعاد الجدار Material Properties and wall dimensions:



عوامل خفض مقاومة المواد للحجر وحديد التسليح كما يلي:

$\Phi = 0.6$ عامل خفض المقاومة للحجر.

$\Phi = 0.85$ عامل خفض المقاومة لفولاذ التسليح

أبعاد الجدار الحجري:

- l_w: طول الجدار
- h_w: ارتفاع الجدار
- t: سماكة الجدار

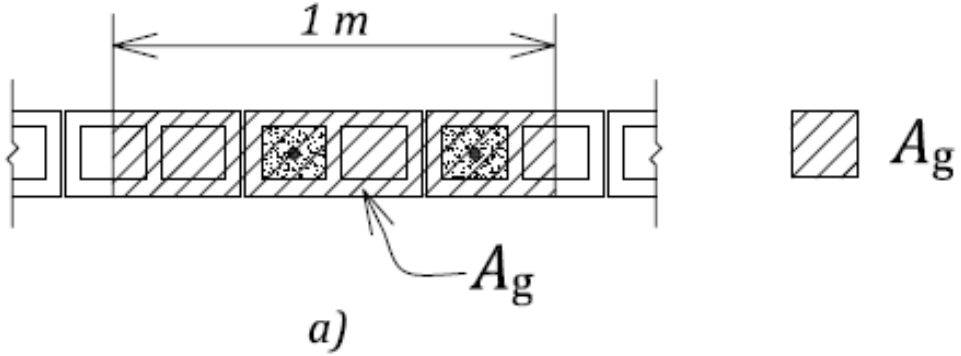
الجدران الحجرية المسلحة

مساحة المقطع العرضي Cross-section Area:

المساحة الإسمية Gross cross-sectional Area:

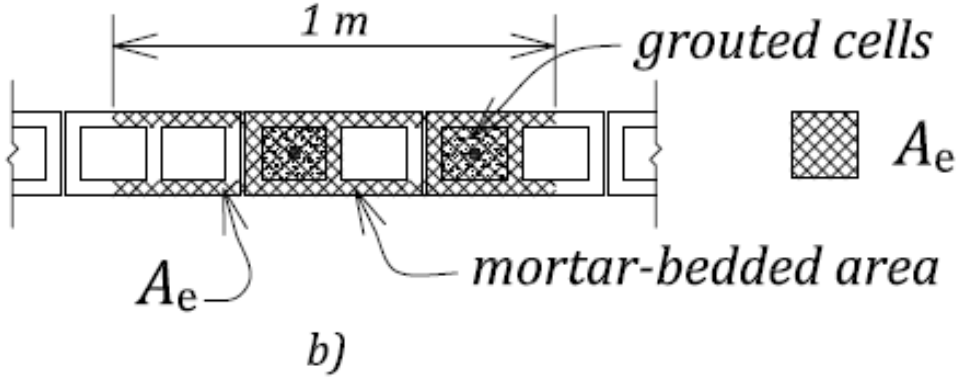
هي المساحة الكلية لمتر طولي من الجدار، بغض النظر إن كان الجدار ممتلئ جزئياً أو كلياً

$$A_g = t \times 1m$$



المساحة الفعلية Effective cross-sectional Area:

هي المساحة لمتر طولي من الجدار يتضمن فقط الجزء المملوء من ثقوب البلوك بالاضافة لسماكة البلوك، في الجدران الممتلئة جزئياً أو غير ممتلئة.

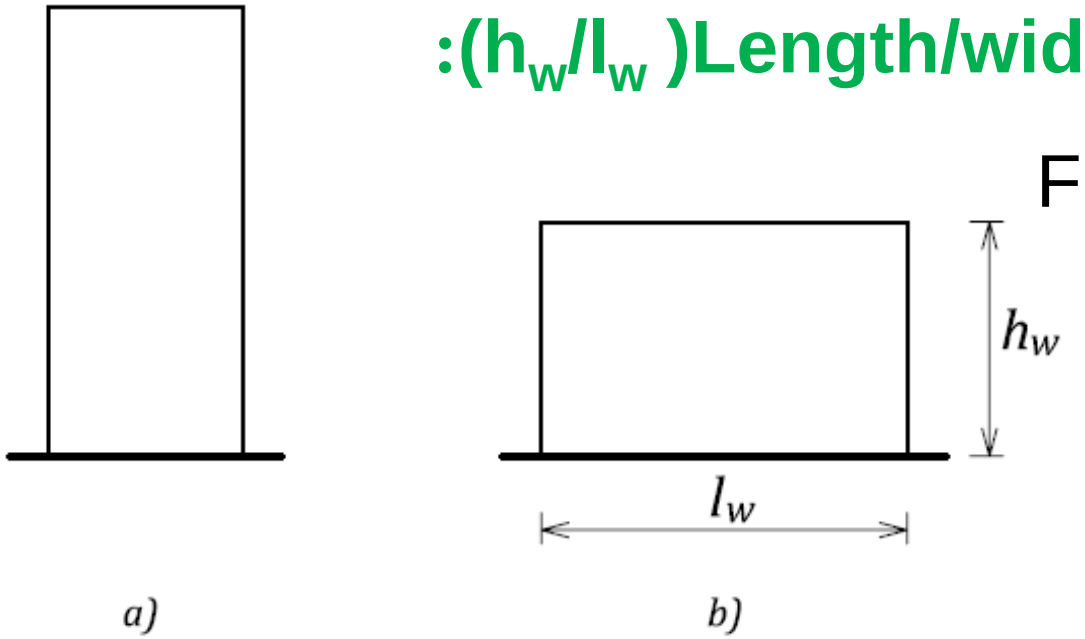


تصنيف الجدران الحجرية المسلحة:

- **نسبة طول الجدار إلى عرضه Length/width aspect ratio (h_w/l_w):**

1- جدران قص على الانعطافFlexural shear walls

2- جدران قص قصيرة Squat shear walls

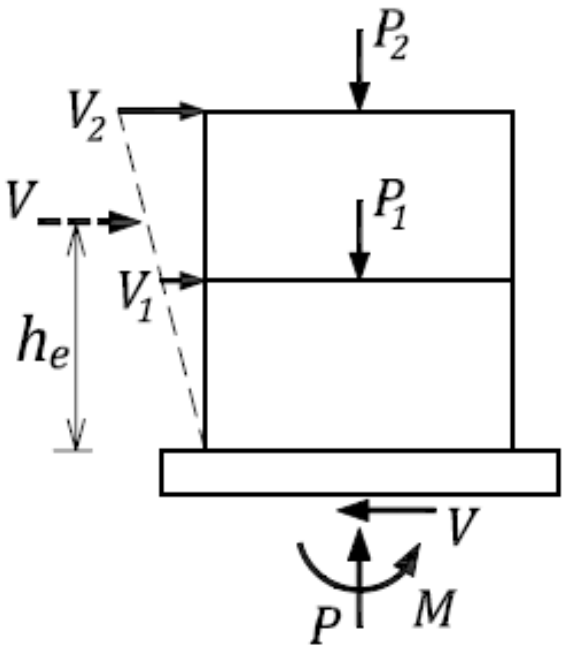


- **الأحمال:**

1- جدار حامل للأحمال Loadbearing walls : يقاوم الأحمال الشاقولية بالإضافة لوزنه الذاتي والقوى الجانبية (جدران القص)

2- جدار غير حامل Nonloadbearing walls : يقاوم فقط حمولة وزنه الذاتي.

توزع القوى في الجدران الحجرية المسلحة:Forces Distribution



- ✓ تخصع الجدران الحجرية لقوى أفقية في مستوي البلاطة.
- ✓ تتوزع القوى الأفقية في جدار القص بشكل مشابه لجائز ظفري شاقولي موثوق في الأسفل.

$$P = \sum P_i$$
$$V = \sum V_i$$
$$M = V \cdot h_e$$

- ✓ ردود الأفعال الداخلية في قاعدة الجدار :
  - قوة القص V مساوية لمجموع القوى الأفقية المؤثرة على الجدار.
  - عزم الإنعطاف M ناتج عن القوى الأفقية المطبقة على الارتفاع الفعال h_e.
  - القوى المحورية P تساوي مجموع القوى المحورية المطبقة على الجدار.

جدران القص الحجرية المسلحة والخاضعة لقوى زلزالية في مستويها

Reinforced Masonry Shear Walls Under In-Plane Seismic Loading

جدران القص الحجرية المسلحة والخاضعة لقوى زلزالية في مستويها:

يتم تحقيق جدران القص الحجرية المسلحة على:

1. مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance)
2. مقاومة القص المنزلق (Sliding Shear Resistance)
3. مقاومة الانعطاف في المستوي تحت التأثير المشترك للقوة المحورية مع عزم الانعطاف (In-Plane Flexural Resistance Due to Combined Axial Load and Bending)

1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

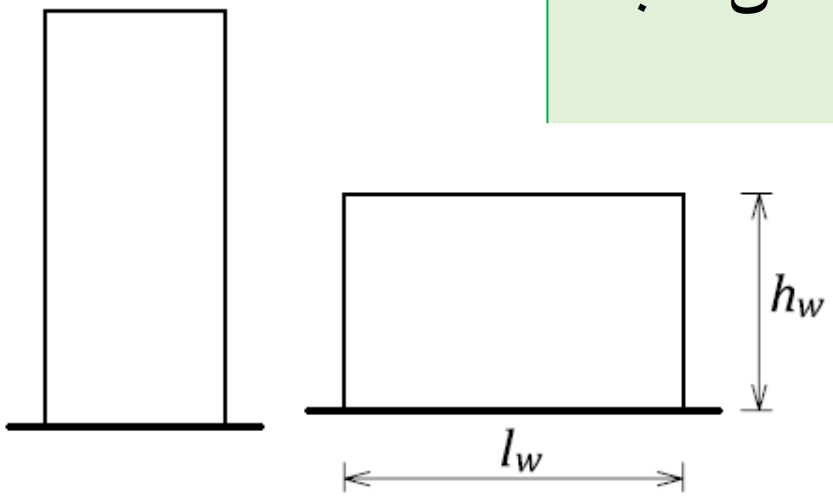
تعتمد مقاومة الشد لجدران القص الحجرية المسلحة الخاضعة للانعطاف أو جدران القص القصيرة على عدة عوامل:

- مقاومة الضغط للحجرmasonry compressive strength
- نموذج حقن مونة الملئ أو الحقنgrouting pattern
- كمية وتوزع فولاذ التسليح الأفقيamount and distribution of horizontal reinforcement
- قيمة الإجهادات المحوريةmagnitude of axial stress
- نسبة طول الجدار/ عرضهheight/length aspect ratio

1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

1-1 جدران القص على الانعطاف (Flexural shear wall):

تصنف جدران القص الحجرية المسلحة كجدران قص منعطفة في حال كان نسبة ارتفاع الجدار إلى عرضه أكبر من1 (h_w/l_w>1).

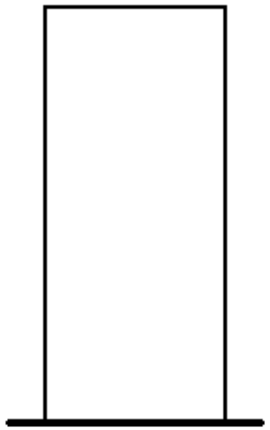


❖ يخضع جدار القص لقوى القص المصعدة V_f و عزم الانعطاف المصعد M_f.

1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

1-1 جدران القص على الانعطاف (Flexural shear wall):

❖ مقاومة القص المصعدة في مستوي الجدار V_r Factored in-plane shear resistance:



$$V_r = V_m + V_s$$

❖ مقاومة القص للحجر V_m Masonry shear resistance:

$$V_m = \phi_m (v_m b_w d_v + 0.25 P_d) r_g$$

❖ مقاومة القص لفولاذ التسليح V_s Reinforcement shear resistance :

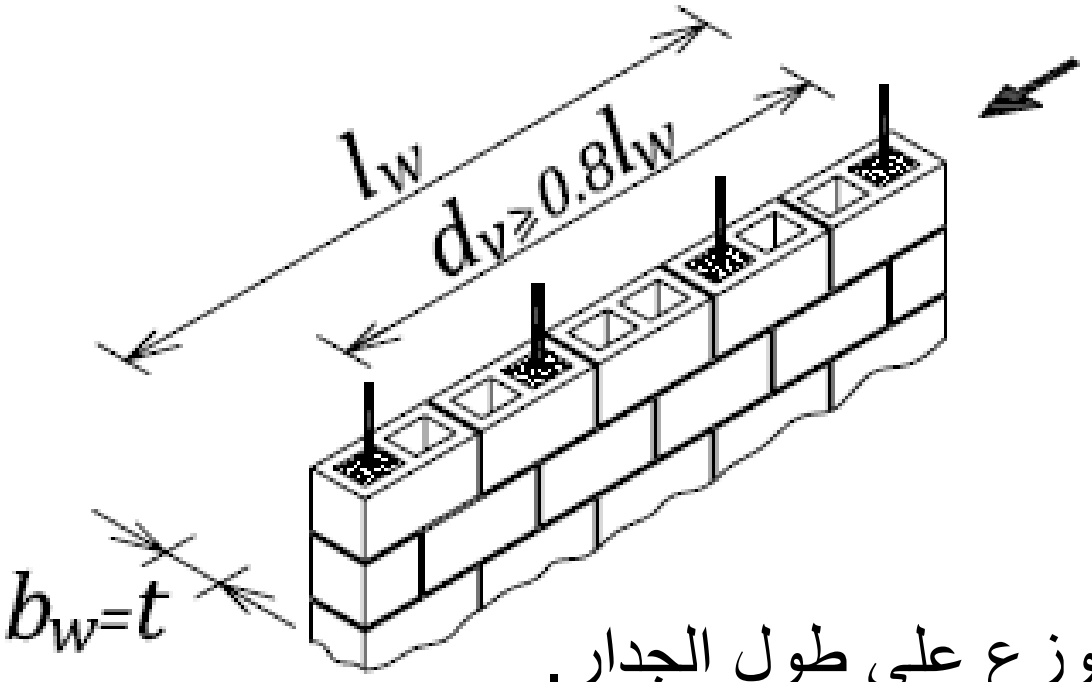
$$V_s = 0.6 \phi_s A_v f_y \frac{d_v}{s}$$

1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

❖ مقاومة القص للحجر V_m Masonry shear resistance:

$$V_m = \phi_m (v_m b_w d_v + 0.25 P_d) \gamma_g$$

❖ **أبعاد جدران المقطع العرضي المستخدمة لتصميم القص في المستوي**



✓ b_w, d_v: أبعاد الجدار.

✓ $b_w = t$ سماكة الجدار الكلية (mm).

✓ d_v: عرض الجدار الفعال (mm)

✓ $d_v \geq 0.8 l_w$ من أجل الجدران مع تسليح انعطاف موزع على طول الجدار.

1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

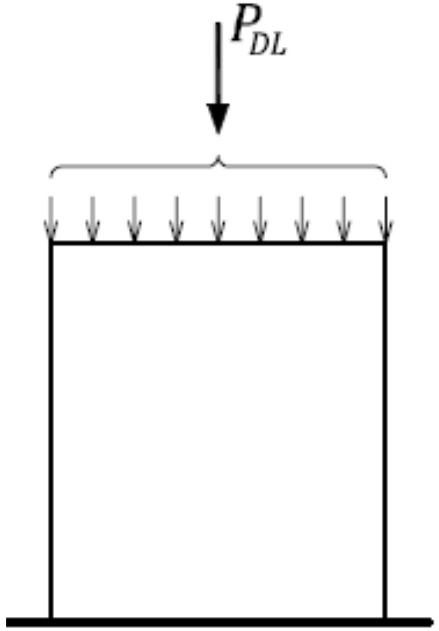
❖ مقاومة القص للحجر V_m Masonry shear resistance:

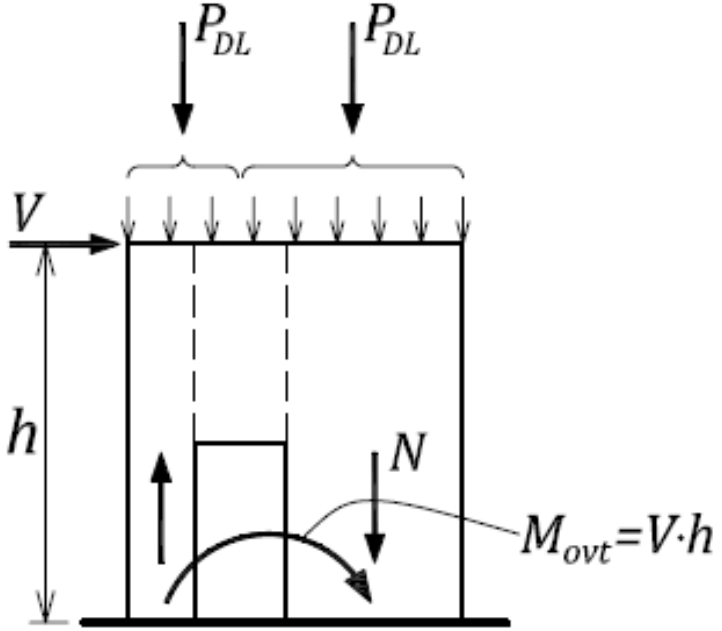
$$V_m = \phi_m (v_m b_w d_v + 0.25 P_d) \gamma_g$$

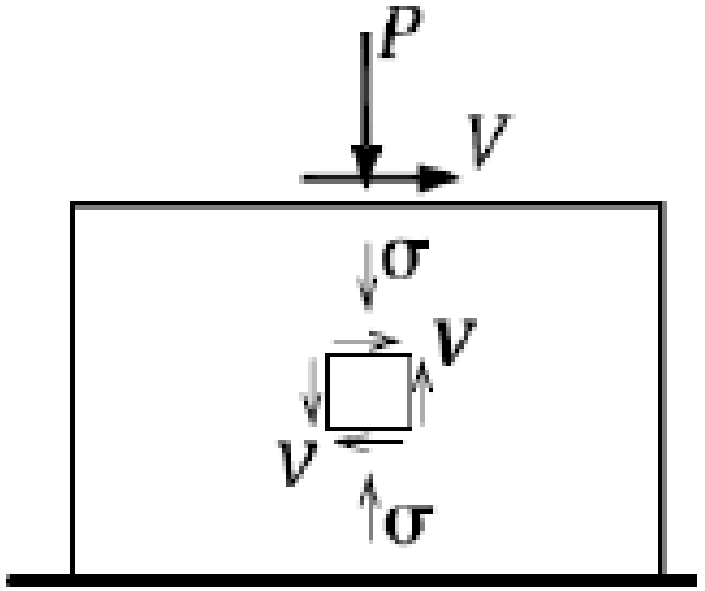
❖ تأثير القوى المحورية **P_d Effect of axial load:**

$P_d = 0.9 P_{DL}$ for solid walls

$P_d = 0.9 P_{DL} \pm N$ for perforated/coupled walls







1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

❖ مقاومة القص للحجر Masonry shear resistance V_m:

$$V_m = \phi_m (v_m b_w d_v + 0.25 P_d) \gamma_g$$

❖ **تأثير مونة الحقن γ_g Effect of grouting:**

- γ_g: معامل لجدار مملوء بمونة الحقن.
- γ_g=1.0 لجدار مملوء كلياً بمونة الحقن Fully grouted masonry .
- $\gamma_g = \frac{A_e}{A_g}$ لجدار مملوء جزئياً بمونة الحقن Partially grouted wall . بحيث

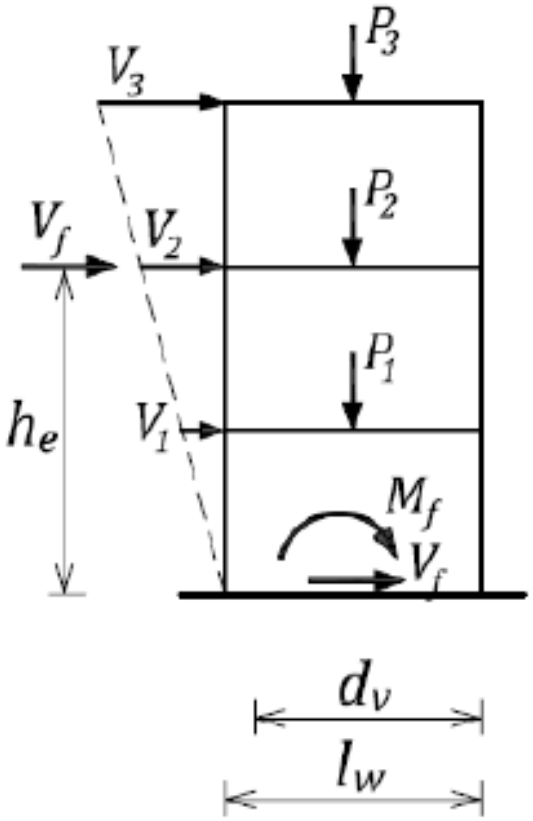
$$\gamma_g \leq 0.5$$

1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

❖ مقاومة القص للحجر V_m Masonry shear resistance:

$$V_m = \phi_m (v_m b_w d_v + 0.25 P_d) \gamma_g$$

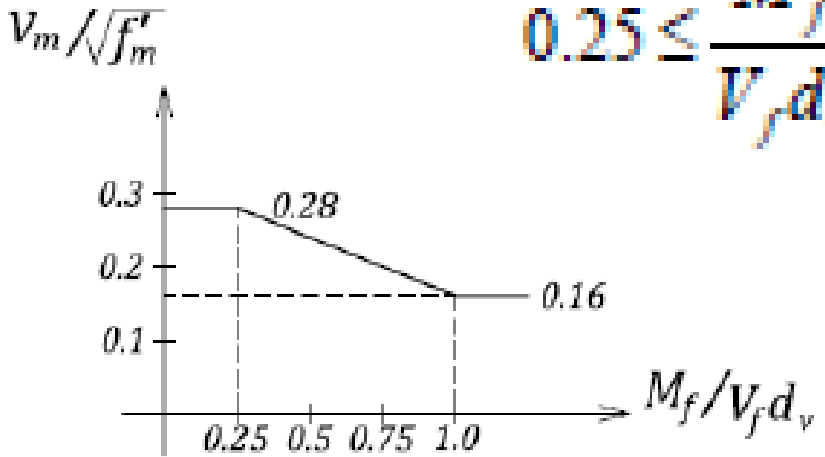
❖ مقاومة القص للحجر (v_m) : shear strength



$$v_m = 0.16\left(2 - \frac{M_f}{V_f d_v}\right)\sqrt{f'_m} \qquad \text{MPa units}$$

$$0.25 \le \frac{M_f}{V_f d_v} \le 1.0$$

Shear span ratio ($\frac{M_f}{V_f d_v}$):

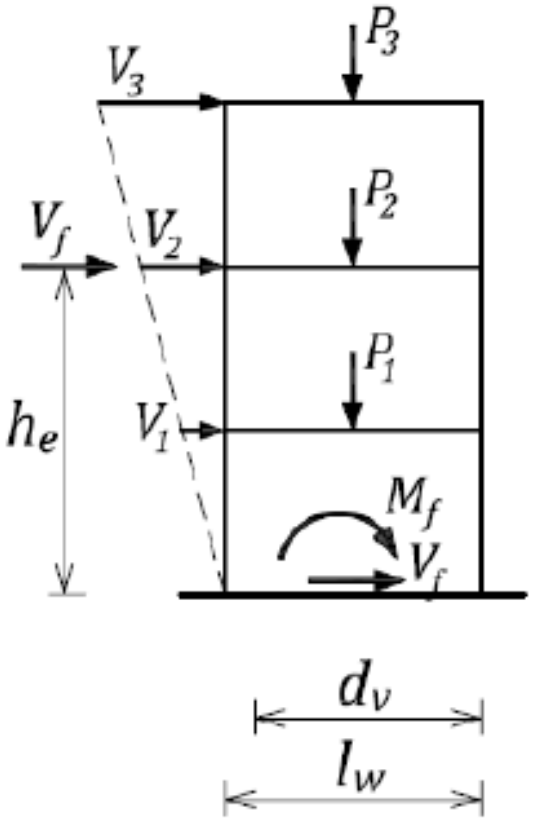


1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

❖ مقاومة القص للحجر V_m Masonry shear resistance:

$$V_m = \phi_m (v_m b_w d_v + 0.25 P_d) r_g$$

❖ مقاومة القص للحجر (v_m) : shear strength



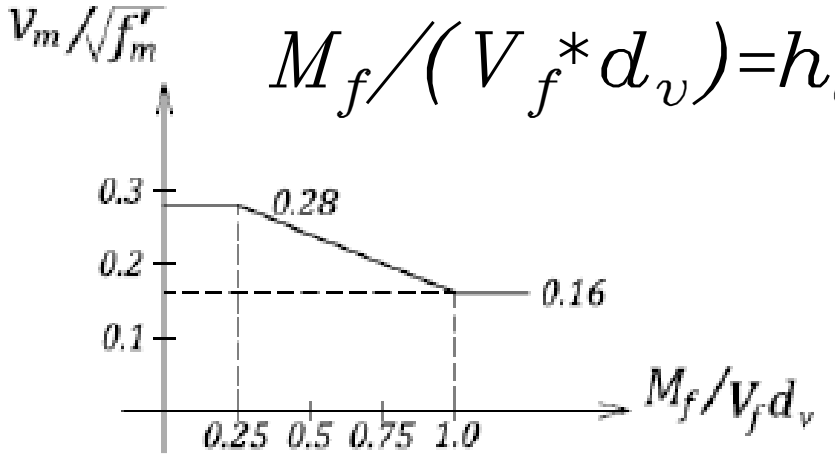
عزم القلب $M_f = V_f \times h_e$

$$M_f/(V_f * d_v) = h_e/d_v$$

Shear span ratio $\frac{h_e}{d_v}$.

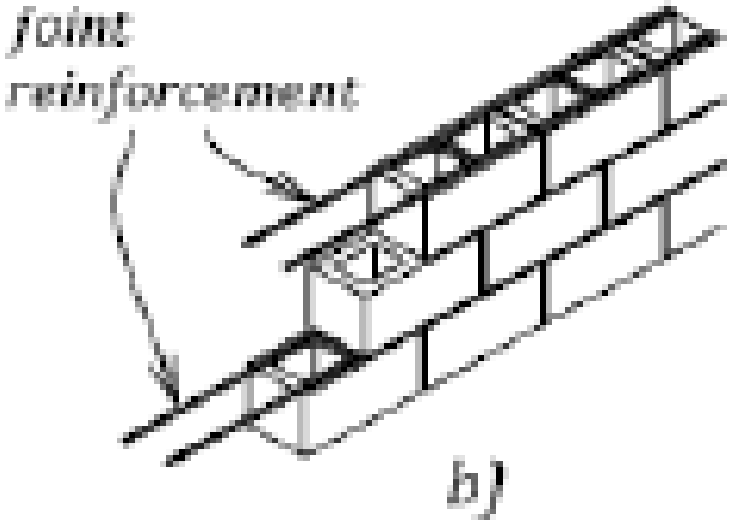
$$M_f/(V_f * d_v) = h_e/d_v > 1$$

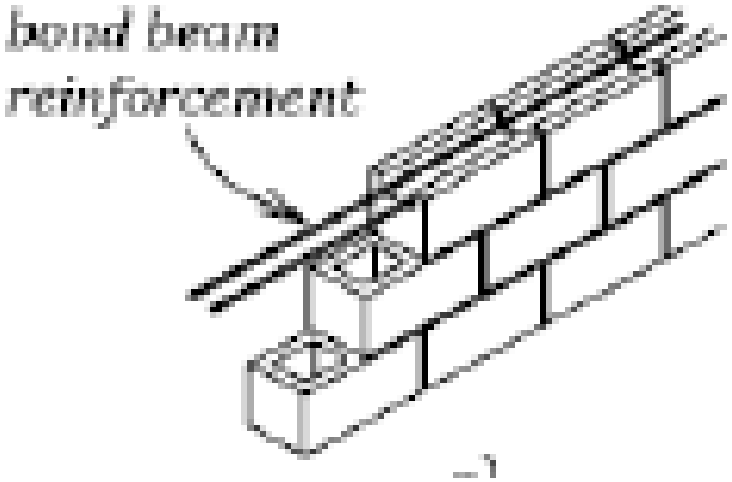
يسلك الجدار كجدار قص قصير squat shear wall



1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

❖ مقاومة القص لفولاذ التسليح V_s Reinforcement shear resistance:





- التسليح المقاوم للقص يتوضع بشكل أفقي إما:

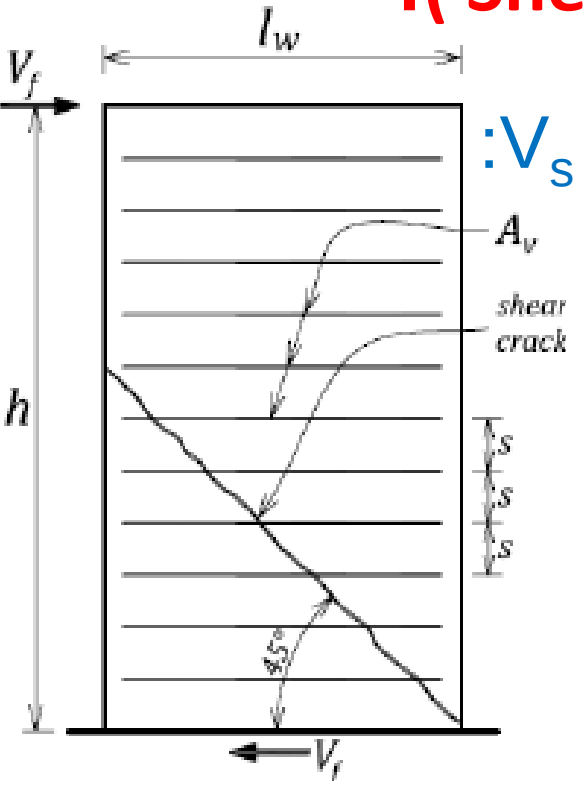
1- في منطقة المونة الإسمنتية (منطقة وصل مداميك البلوك)

.Joint reinforcement

2- في وحدات البلوك المملوءة بمونة الحقن في الجدار

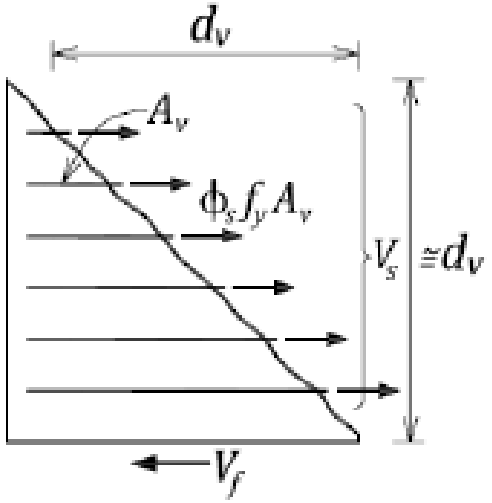
.Bond beam reinforcement

1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

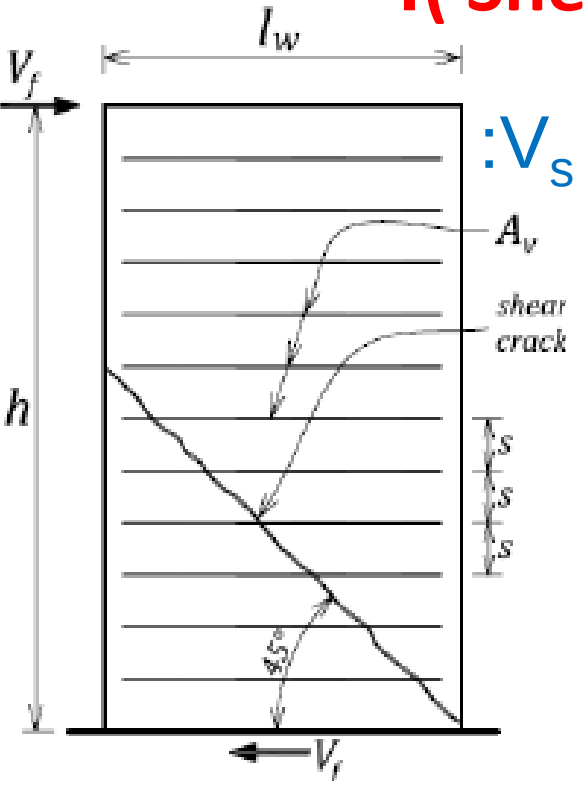


❖ مقاومة القص لفولاذ التسليح Reinforcement shear resistance: V_s

- ✓ يقاوم الجدار الحجري كامل إجهادات القص قبل حدوث التشققات.
- ✓ عند حدوث التشققات القطرية، يقاوم فولاذ التسليح الشد الناتج في منطقة التشققات.
- ✓ يتم تصميم تسليح القص على مجموع قوى الشد الحاصلة في فولاذ التسليح الموجود في منطقة التشققات.
- ✓ يمكن أن يؤخذ عدد قضبان فولاذ التسليح الموجودة في منطقة التشققات كقيمة تقريبية مساوية إلى d_v/S



1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):



❖ مقاومة القص لفولاذ التسليح V_s Reinforcement shear resistance:

$$V_s = 0.6\phi_s A_v f_y \frac{d_v}{s}$$

- A_v: مساحة التسليح الأفقي للجدار (mm^2)
- Φ= 0.85 عامل خفض المقاومة لفولاذ التسليح
- S: التباعد الشاقولي للتسليح الأفقي (mm)

مقاومة القص الكلية V_r:

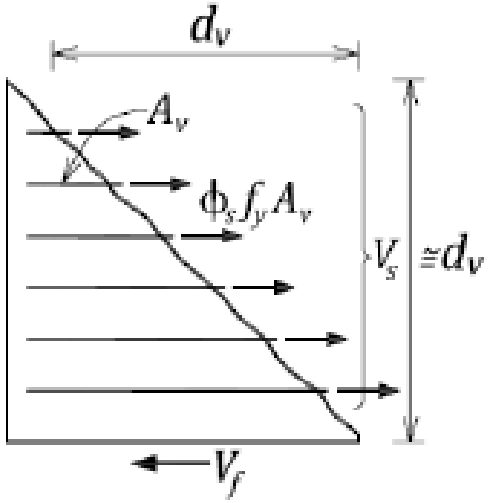
$$V_r = V_m + V_s$$

where

$$V_m = \phi_m (v_m b_w d_v + 0.25 P_d) \gamma_g$$

and

$$V_s = 0.6\phi_s A_v f_y \frac{d_v}{s}$$



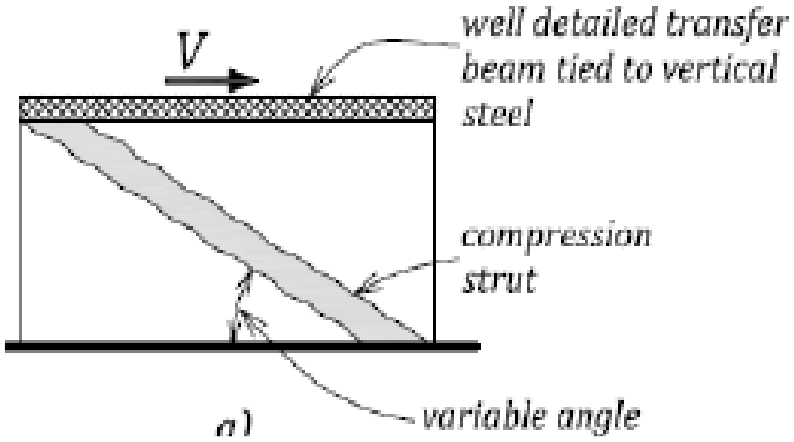
مقاومة القص الكلية العظمى max V_r:

$$V_r \le \max V_r = 0.4\phi_m \sqrt{f'_m} b_w d_v \gamma_g$$

1- مقاومة القص والشد المحوري(Shear/Diagonal Tension Resistance):

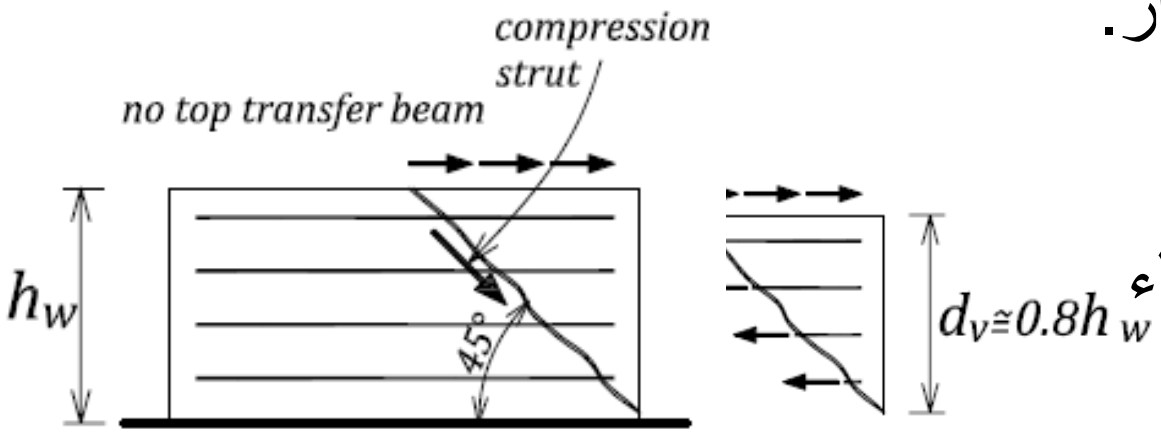
1-2 جدران القص القصيرة Squat shear wall):

تصنف جدران القص الحجرية المسلحة كجدران قص قصيرة في حال كان نسبة ارتفاع الجدار إلى عرضه أقل من1 (h_w/l_w<1).



$$V_r \le \max V_r = 0.4\phi_m \sqrt{f'_m} b_w d_v \gamma_g \left(2 - \frac{h_w}{l_w}\right) \qquad \frac{h_w}{l_w} \le 1.0$$

تستخدم مقاومة القص الأعظمية فقط في حال قوة القص المطبقة على الجدار تكون موزعة على كامل الطول، بالإضافة إلى أن ذلك الجزء من الجدار غير قابل للانهيار.



يتم ذلك عن طريق جائز رابط يوضع في أعلى الجدار، في منطقة اتصال الجدار مع السقف. بالاضافة إلى إرساء تسليح الجدار الشاقولي في الجائز.

2- مقاومة القص المنزلق (Sliding Shear Resistance):

- من الممكن حدوث الانهيار على القص المنزلق قبل انهيار الجدار على الانعطاف، وخصوصاً في جدران القص القصيرة. حيث ينهار الجدار على القص المنزلق قبل وصول الجدار إلى مقاومته الكلية على الانعطاف. وهو شائع بشكل كبير في الجدران القصيرة ذات مقاومة قص عالية V_r.
- يتم التحقق من القص المنزلق في منطقة اتصال أسفل الجدار مع الأساسات، بالاضافة للتحقق من القص المنزلق في مقاطع أخرى من الجدار وخصوصاً في الجزء العلوي من الجدار المتعدد الطوابق والخاضع للانعطاف.
- يتم حساب القص المنزلق من جداء معامل الاحتكاك مع قوة الضغط الأعظمية في مستوي الانزلاق. ويتم حسابه من خلال العلاقة:

$$V_r = \Phi_m \mu P_2$$

2- مقاومة القص المنزلق (Sliding Shear Resistance):

$$V_r = \Phi_m \mu P_2$$

- μ: معامل الاحتكاك

  $\mu = 1$ اتصال حجر- حجر أو حجر لبيتون مخشن.

  $\mu = 0.7$ اتصال حجر- لبيتون أملس أو قضبان تسليح.

- P_2: قوة الضغط في الحجر وتؤثر بشكل متعامد مع سطح الانزلاق تؤخذ مساوية إلى:

$$P_2 = P_d + T_y$$

- T_y: قوة الشد المصعدة في فولاذ التسليح الشاقولي المتلدن ذو المساحة A_s:

$$T_y = \Phi_s A_s f_y$$

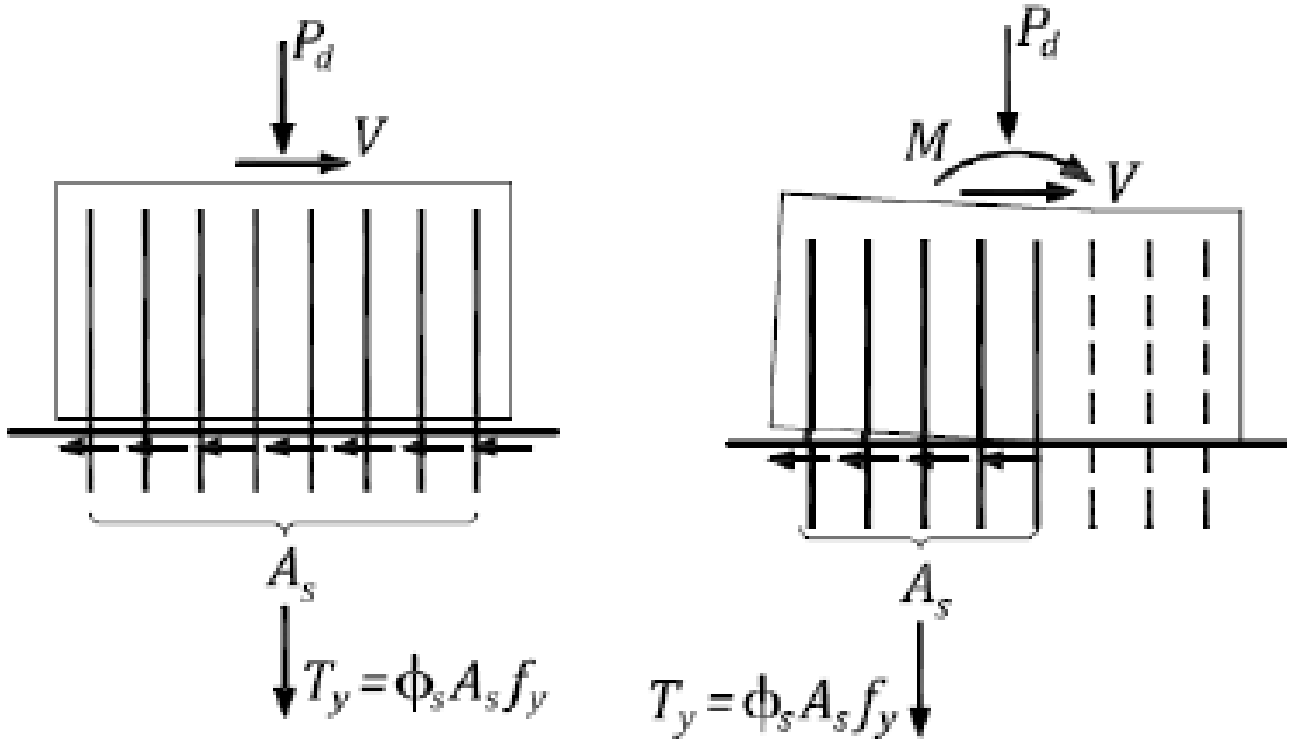
- P_d: قوة الضغط المحورية في المقطع. تؤخذ:

$$P_d = 0.9 P_{DL} \pm N$$

2- مقاومة القص المنزلق (Sliding Shear Resistance):

A_s: المساحة الكلية لفولاذ التسليح الطولي المتقاطعة مع سطح الانزلاق في حالة الجدران ذات الانعطاف المحدود أو جدران القص القصيرة ذو الانعطاف المتوسط.

أما بالنسبة للجدران ذو الانعطاف المتوسط، تؤخذ A_s كمساحة التسليح في منطقة الشد فقط.



Conventional construction and limited ductility walls

moderately ductile walls

3- مقاومة الإنعطاف في المستوي تحت التأثير المشترك للقوة المحورية مع عزم الانعطاف (In-Plane Flexural Resistance Due to Combined Axial Load and Bending):

تسبب قوة القص الزلزالية المؤثرة في مستوي السطح لحدوث عزم انقلاب في جدار القص، والذي يكون في قيمته الأعظمية في أسفل الجدار.

طريقة التصميم لجدران القص الحجرية المسلحة تحت تأثير قوة محورية مع عزم انعطاف هي نفس الطريقة المتبعة في الجدران من البيتون المسلح.

1. مقاومة العزم لمقطع مستطيل ذو تسليح مركز وموزع:
2. مقاومة العزم لمقطع مستطيل ذو تسليح موزع فقط:

3- مقاومة الإنعطاف في المستوي تحت التأثير المشترك للقوة المحورية مع عزم الانعطاف (In-Plane Flexural Resistance Due to Combined Axial Load and Bending):

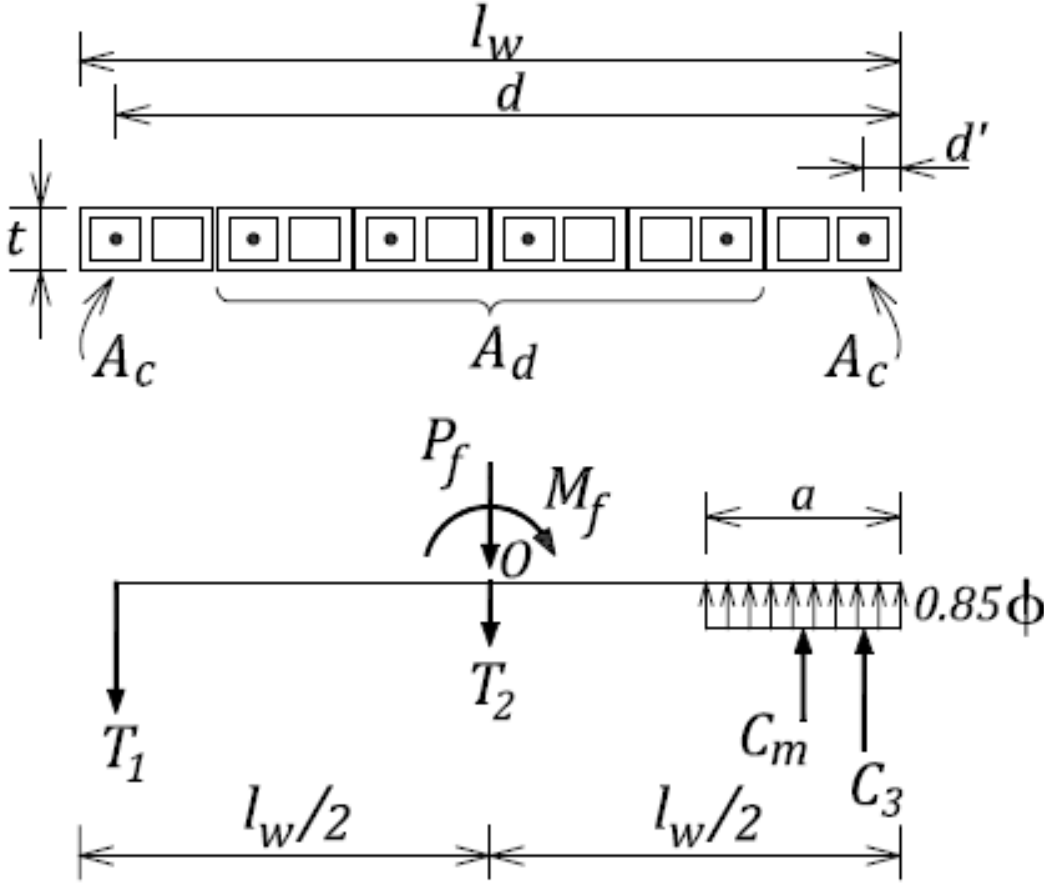
1. مقاومة العزم لمقطع مستطيل ذو تسليح مركز وموزع:

يقسم التسليح إلى تسليح مركز بالنهايات A_c.

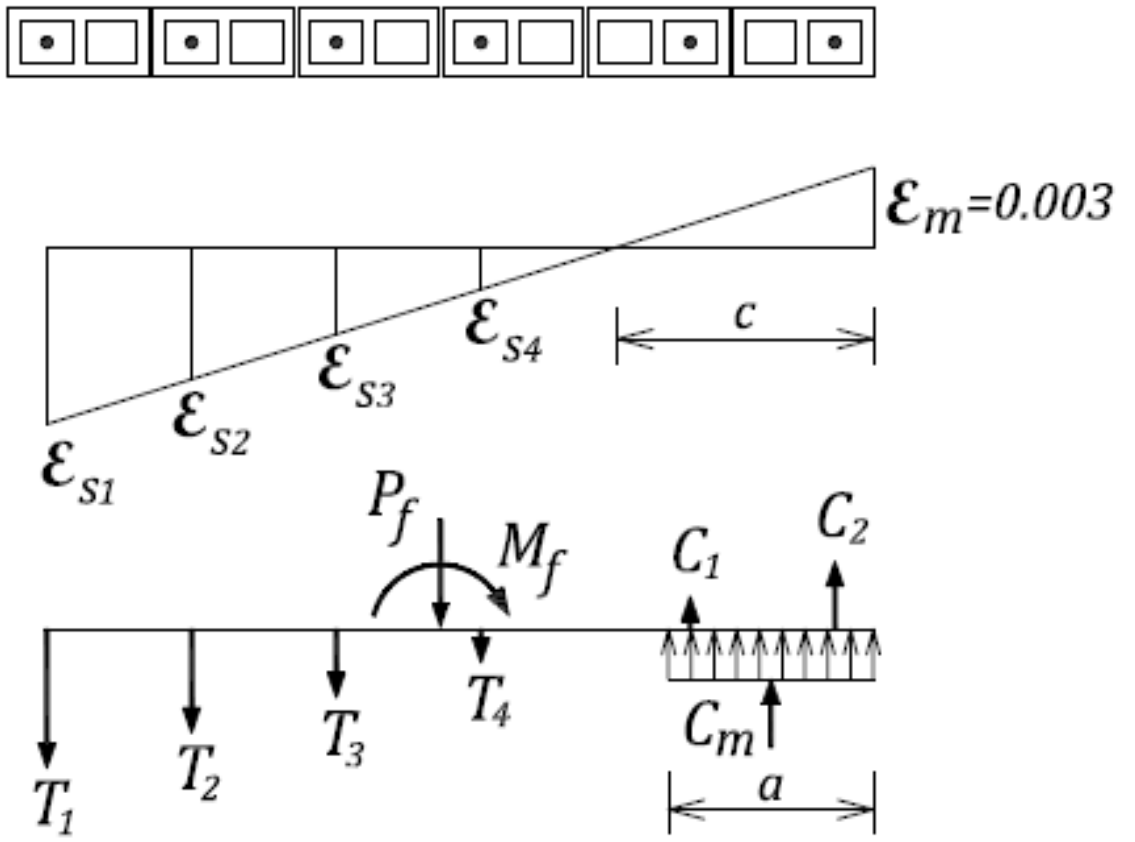
وتسليح موزع على طول الجدار A_d.

يتم فرض أن:

- تسليح النهايات A_c يصل لاجهادات الخضوع على الشد وعلى الضغط في نهايات الجدار.
- التسليح الموزع في الجدار A_d يصل لإجهادات الخضوع على الشد فقط.



3- مقاومة الإنعطاف في المستوي تحت التأثير المشترك للقوة المحورية مع عزم الانعطاف (In-Plane Flexural Resistance Due to Combined Axial Load and Bending):



reinforced masonry shear wall under the combined effects of axial load and flexure: a) plan view cross section; b) strain distribution; c) internal force distribution.

تشوهات الضغط الأعظمية للحجر ε_m=0.003

P_f :القوة المحورية المطبقة.

M_f: عزم الانعطاف.

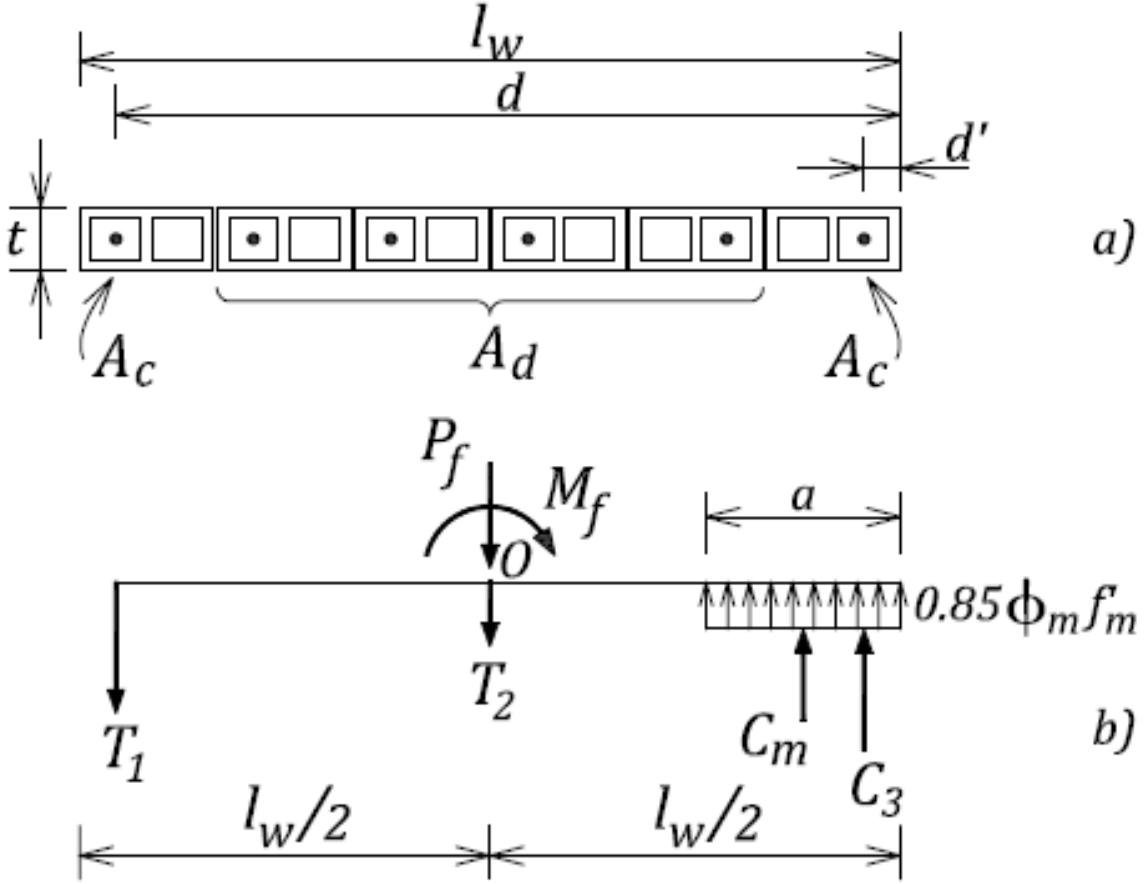
a: عمق المقطع المستطيل المكافئ للاجهادات.

0.85 ϕ_m f`m:قيمة إجهادات الضغط الأعظمية.

3- مقاومة الإنعطاف في المستوي تحت التأثير المشترك للقوة المحورية مع عزم الانعطاف (In-Plane Flexural Resistance Due to Combined Axial Load and Bending):

1. مقاومة العزم لمقطع مستطيل ذو تسليح مركز وموزع:

لإيجاد العزم المقاوم للمقطع M_r بوجود التسليح الشاقولي:



$$P_f + T_1 + T_2 - C_3 - C_m = 0$$

where

$$T_1 = C_3 = \phi_s f_y A_c$$

$$T_2 = \phi_s f_y A_d$$

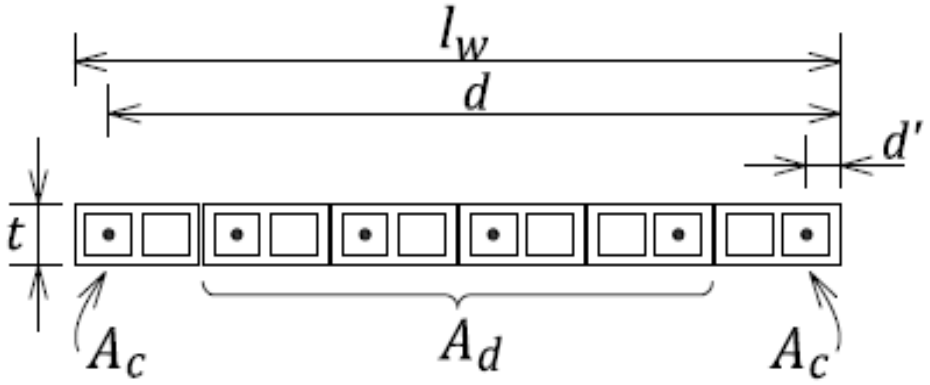
$$C_m = (0.85\phi_m f'_m)(t - a)$$

بالتعويض بالعلاقة الأولى يمكن إيجاد ارتفاع منطقة الضغط a

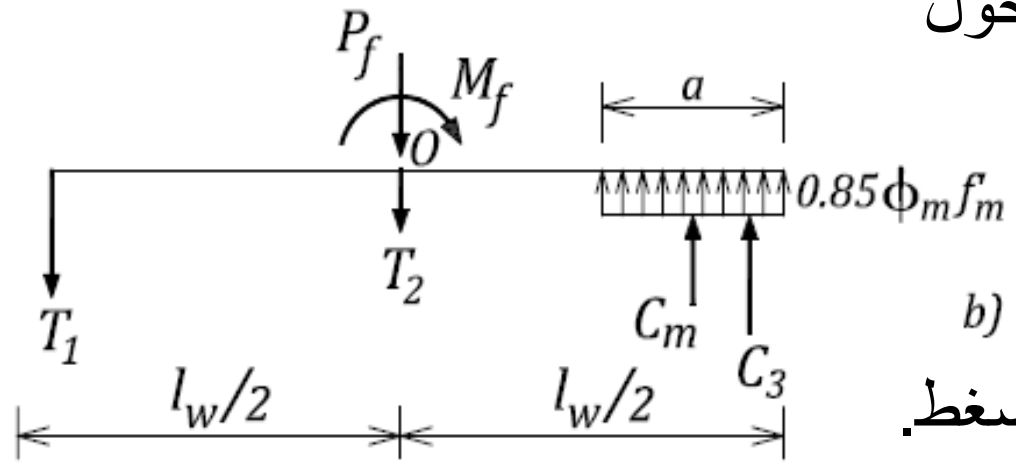
$$a = \frac{P_f + \phi_s f_y A_d}{0.85\phi_m f'_m t}$$

3- مقاومة الإنعطاف في المستوي تحت التأثير المشترك للقوة المحورية مع عزم الانعطاف (In-Plane Flexural Resistance Due to Combined Axial Load and Bending):

1. مقاومة العزم لمقطع مستطيل ذو تسليح مركز وموزع:



a)



b)

وبالتالي عمق المحور المحايد c (المسافة من أقصى ليف مضغوط لنقطة انعدام الاجهادات):

$$c = a/\beta_1$$

$$\beta_1 = 0.8 \text{ when } f'_m < 20 \text{ MPa}$$

يتم تحديد العزم المقاوم المصعد M_r باخذ مجموع العزوم حول مركز مقطع الجدار.

$$M_r = C_m (l_w - a)/2 + 2\left[\phi_s f_y A_c (l_w/2 - d')\right]$$

d`: المسافة من أقصى ليف مضغوط حتى مركز تسليح الضغط.

3- مقاومة الإنعطاف في المستوي تحت التأثير المشترك للقوة المحورية مع عزم الانعطاف (In-Plane Flexural Resistance Due to Combined Axial Load and Bending):

1. مقاومة العزم لمقطع مستطيل ذو تسليح مركز وموزع:

❖ في حالة الجدران القصيرة squat shear walls

$$d = 0.67 l_w \le 0.7h$$

$$M_r = C_m (l_w - a)/2 + \left[\phi_s f_y A_c (l_w/2 - d')\right] + \left[\phi_s f_y A_c (d - l_w/2)\right]$$

3- مقاومة الإنعطاف في المستوي تحت التأثير المشترك للقوة المحورية مع عزم الانعطاف
(In-Plane Flexural Resistance Due to Combined Axial Load and Bending):

2. مقاومة العزم لمقطع مستطيل ذو تسليح موزع:

$$M_r = 0.5\phi_s f_y A_w l_w \left(1+\frac{P_f}{\phi_s f_y A_w}\right)\left(1-\frac{c}{l_w}\right)$$

A_w - the total area of distributed vertical reinforcement

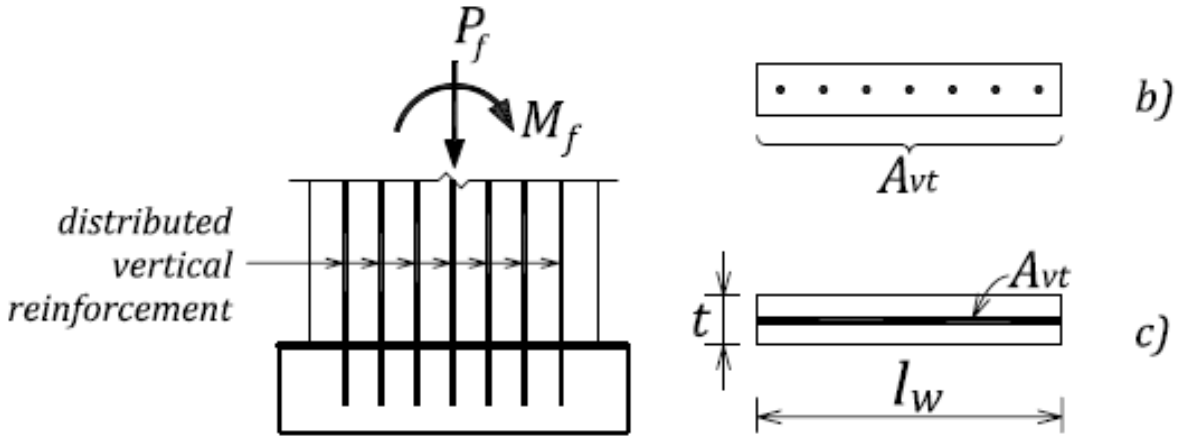
c - neutral axis depth

$$\frac{c}{l_w} = \frac{\omega+\alpha}{2\omega+\alpha_1\beta_1}$$

$$\alpha_1 = 0.85 \quad \text{and} \quad \beta_1 = 0.8$$

$$\omega = \frac{\phi_s f_y A_w}{\phi_m f'_m l_w t}$$

$$\alpha = \frac{P_f}{\phi_m f'_m l_w t}$$



تم إيجاد العلاقة من فرض أن التسليح الموزع على كامل طول الجدار يمكن أن يعتبر كصفيحة رقيقة بطول l_w وسماكة مكافئة لمساحة التسليح الكلية A_v الموزعة على كامل الجدار.

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

التصميم على الإستطاعة (Capacity Design Approach)

- يجب تصميم جدار القص الحجري المسلح المطاوع لمقاومة قوى القص أكبر من القص الناتج عند تشكل ميكانيزم المفصل اللدن.

- يجب التصميم على الاستطاعة في المنشآت البيتونية المصممة لمقاومة الزلازل لتجنب حدوث الانهيار الهش.

- يعتمد معيار التصميم على الاستطاعة ليبقى قوي بشكل كافي لمقاومة القص ومرن بشكل كافي لعدم حدوث الانهيار على القوى الشاقولية.

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

❖ التصميم على الإستطاعة (Capacity Design Approach)

هنالك ثلاث مستويات للمقاومة تستخدم في التصميم الزلزالي لجدران القص المسلحة:

- معاملات مقاومة المواد لحساب العزم المصعد M_r والقص المصعد V_r:

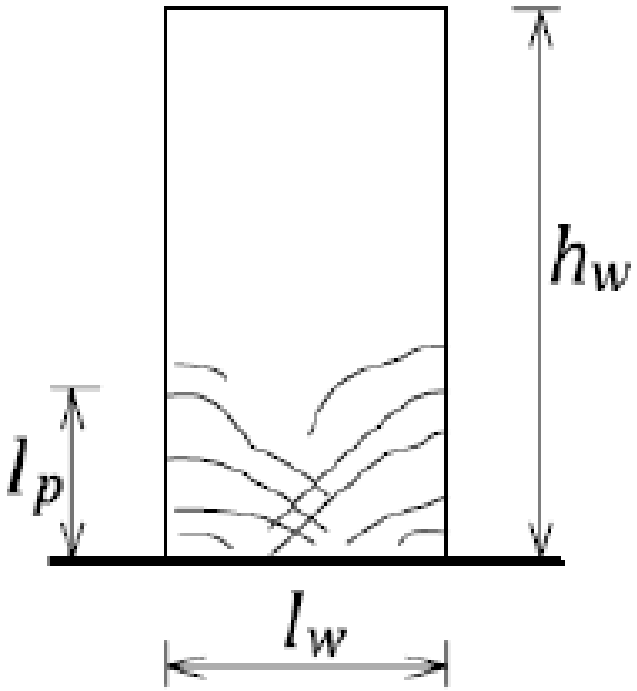
$$\phi_{-} = 0.6 \text{ and } \phi_{.} = 0.85$$

- المقاومات الإسمية M_n, V_n تحدد بدون استخدام معاملات تخفيض مقاومة المواد.
- المقاومات المحتملة M_p, V_p تحدد بدون استخدام معاملات تخفيض المقاومة ويؤخذ إجهاد الشد مساوياً ل $1.25f_y$ وإجهاد مقاومة الضغط للحجر مساوية ل $f`_m$.

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

❖ منطقة المفصل اللدن:

يمتد المفصل اللدن فوق قاعدة جدار القص بالاتجاه الشاقولي (ويتم تعريفه بطول المفصل اللدن l_p)



1. جدار القص محدود المطاوعة: l_p= max of $l_w/2$ or $h_w/6$
2. جدار القص متوسط المطاوعة: l_p= max of l_w or $h_w/6$

يجب أن تكون منطقة المفصل اللدن مملوءة بمونة الحقن (fully grouted).

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

❖ تحقيق المطاوعة:

1. عمق المحور المحايد/ طول الجدار c/l_w، يجب أن تكون ضمن الحدود التالية:

- من أجل جدران القص ذو مطاوعة محدودة: $h_w/l_w<6$ when $c/l_w<0.2$
- من أجل جدران القص متوسطة المطاوعة:

$$h_w/l_w<4 \quad \text{when} \quad c/l_w<0.2$$

$$4\leq h_w/l_w<8 \quad \text{when} \quad c/l_w<0.15$$

2. في حال عدم تحقق هذه المتطلبات، يجب تحقيق أن أعظم تشوه ضغط في الحجر في منطقة المفصل اللدن لا يتجاوز 0.0025.

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

❖ نسبة ارتفاع الجدار الحجري إلى السماكة (h/t):

من أجل الجدران الحجرية المطاوعة تكون نسبة الارتفاع إلى السماكة محدودة في منطقة الضغط في مناطق المفصل اللدن وتعطى وفق القيم التالية:

h: ارتفاع الجدار، t: سماكة الجدار.

Limited ductility shear wall:

$$h\,(t+10) < 18$$

Moderately ductile shear walls:

$$h\,(t+10) < 14$$

Moderately ductile squat shear walls:

$$h\,(t+10) < 20$$

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

Provision *(guide reference section shown in the brackets)*	Shear walls with conventional construction	Limited ductility shear walls	Moderately ductile shear walls	Moderately ductile squat shear walls ($h_w/l_w < 1$)
Shear/diagonal tension resistance (2.5.4.5)	***Cl.10.10.1*** $V_r = V_m + V_s$ Same as non-seismic design	***Cl.10.16.4.2.1*** $V_r = V_m + V_s$ Same as non-seismic design	***Cl.10.16.5.3.1*** $V_r = 0.5V_m + V_s$ 50% reduction in the masonry shear resistance	***Cl.10.16.6.4*** Same as limited ductility walls ***Cl.10.16.6.2*** Shear force applied uniformly along the wall length
Sliding shear resistance (2.5.4.6)	***Cl.10.10.4*** $V_r = \phi_m \mu P_2$ Same as non-seismic design	***Cl.10.16.4.2.2*** $V_r = \phi_m \mu P_2$ Same as non-seismic design	***Cl.10.16.5.3.2*** $V_r = \phi_m \mu P_2$ Only reinforcement in the tension zone to be taken into account for P_2 calculation.	***Cl.10.16.6.5*** Same as limited ductility walls

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

تصنيف جدران القص الحجرية المسلحة:

هنالك 5 تصميمات للجدران الحجرية بالاعتماد على سلوكها الزلزالي المتوقع وتم تقييمها حسب المطاوعة-

معامل تغيير القوة (R_d) ductility-related force modification factor

1. جدران حجرية غير مسلحة $R_d=1$.
2. جدران قص في الأبنية التقليدية $R_d=1.5$.
3. جدران قص محدودة المطاوعة $R_d=1.5$.
4. جدران قص متوسطة المطاوعة $R_d=2.0$.
5. جدران قص قصيرة متوسطة المطاوعة $R_d=2.0$.

The same value of overstrength factor, $R_o=1.5$

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

Provision *(guide reference section shown in the brackets)*	Shear walls with conventional construction	Limited ductility shear walls	Moderately ductile shear walls	Moderately ductile squat shear walls ($h_w/l_w < 1$)
Ductility factor	R_d=1.5	R_d=1.5	R_d=2.0	R_d=2.0
Plastic hinge region (2.5.4.2)	Not applicable	***Cl.10.16.4.1.1*** l_p = greater of $l_w/2$ or $h_w/6$ ***Cl.10.16.4.1.3*** Masonry within the plastic hinge region shall be fully grouted.	***Cl.10.16.5.2.1*** l_p = greater of l_w or $h_w/6$ Same as limited ductility walls	No special provisions
Ductility check (2.5.4.3)	Not applicable	***Cl.10.16.4.1.4*** 1. $\varepsilon_m = 0.0025$ 2. $c/l_w < 0.2$ when $h_w/l_w < 6$	***Cl.10.16.5.2.3*** 1. Maximum compression strain: $\varepsilon_m = 0.0025$ 2. Ductility limits: $c/l_w < 0.2$ when $h_w/l_w < 4$ and $c/l_w < 0.15$ when $4 < h_w/l_w < 8$	

متطلبات التصميم الزلزالي للجدران الحجرية المسلحة:

معاملات تخفيض القوة (R_0 , R_d (Force Reduction Factors)

The table lists height limits for the different systems depending on the level of seismic hazard and importance factor, I_E .

Type of SFRS	R_d	R_o	Height Restrictions (m) [2]				
			Cases where $I_E F_a S_a(0.2)$				Cases where $I_E F_v S_a(1.0)$ >0.3
			<0.2	≥0.2 to <0.35	≥0.35 to ≤0.75	>0.75	
Masonry Structures Designed and Detailed According to CSA S304.1							
Moderately ductile shear walls	2.0	1.5	NL	NL	60	40	40
Limited ductility shear walls	1.5	1.5	NL	NL	40	30	30
Conventional construction - shear walls	1.5	1.5	NL	60	30	15	15
Conventional construction - moment resisting frames	1.5	1.5	NL	30	NP	NP	NP
Unreinforced masonry	1.0	1.0	30	15	NP	NP	NP
Other masonry SFRS(s) not listed above	1.0	1.0	15	NP	NP	NP	NP

متطلبات التسليح للجدران الحاملة وجدران القص:

يتم التصميم على الزلازل عندما S(0.2) > 0.12، كما يمكن استخدام جدران حجرية غير مسلحة في المناطق التي تحقق العلاقة: $I_E F_a S_a(0.2) < 0.35$

متطلبات تسليح جدران القص الحجري ملخصة في الجدول التالي:

متطلبات التسليح للجدران الحاملة وجدران القص:

	Non-seismic design requirements	Additional seismic requirements for $I_E F_a S_a(0.2) \geq 0.35$
مساحة التسليح الدنيا للتسليح الشاقولي والأفقي **Minimum area: vertical & horizontal reinforcement**	*Clause 10.15.1.1*	*Clause 10.15.2.2*
	Minimum vertical reinforcement for loadbearing walls subjected to *axial load plus bending* shall be $A_{v\min} = 0.0013 A_g$ for $s \leq 4t$ $A_{v\min} = 0.0013(4t^2)$ for $s > 4t$ S304.1 does not contain provisions regarding the minimum horizontal reinforcement area.	Loadbearing walls (including shear walls) shall be reinforced horizontally and vertically with steel having a minimum total area of $A_{stotal} = 0.002 A_g$ distributed with a minimum area in one direction of at least $A_{v\min} = 0.00067 A_g$ (approximately one-third of the total area) Reinforcement equivalent to at least one 15M bar shall be provided around each masonry panel and around each opening exceeding 1000 mm in width or height. Such reinforcement shall be detailed to develop the yield strength of the bars at corners and splices.

متطلبات التسليح للجدران الحاملة وجدران القص:

مساحة التسليح الأعظمية للتسليح الشاقولي والأفقي

Maximum area: vertical & horizontal reinforcement

Clause 10.15.3

Maximum horizontal or vertical reinforcement area

$$A_{s\max} = 0.02A_g \text{ for } s \le 4t$$

$$A_{s\max} = 0.02\left(4t^2\right) \text{for } s > 4t$$

Maximum vertical reinforcement for flexural walls under low axial load (Cl.10.7.4.6.5)

$$\frac{c}{d} \le \frac{600}{600 + f_y} \quad \text{or} \quad \rho \le \rho_b$$

متطلبات التسليح للجدران الحاملة وجدران القص:

	Non-seismic design requirements	Additional seismic requirements for $I_E F_a S_a(0.2) \geq 0.35$
التباعد بين قضبان التسليح الشاقولي **Spacing: vertical reinforcement**	*Clause 10.15.1.2*	*Clause 10.16.4.3.2*
	Where vertical reinforcement is required to resist flexural tensile stresses, it shall be a) continuous between lateral supports; b) spaced at not more than 2400 mm along the wall; c) provided at each side of openings over 1200 mm long; d) provided at each side of movement joints, and e) provided at corners, intersections and ends of walls.	Vertical seismic reinforcement shall be uniformly distributed over the length of the wall. Its spacing shall not exceed the lesser of a) $6(t+10)$ mm b) 1200 mm c) $l_w/4$ (for limited ductility or moderately ductile walls only) but it need not be less than 600 mm

متطلبات التسليح للجدران الحاملة وجدران القص:

التباعد بين قضبان التسليح الأفقي

Spacing: horizontal reinforcement

Clause 10.15.1.3

Where horizontal reinforcement is required to resist effects of shear forces, it shall be:

a) continuous between lateral supports;
b) spaced not more than 2400 mm o/c for bond beam reinforcement;
c) spaced at not more than 600 mm for joint reinforcement for 50% running bond and 400 mm for other patterns;
d) provided above and below each opening over 1200 mm high; and
e) provided at the top of the wall and where the wall is connected to roof and floor assemblies.

Outside plastic hinge regions (Cl.10.15.2.6):

Horizontal seismic reinforcement shall be continuous between lateral supports. Its spacing shall not exceed

a) 400 mm where only joint reinforcement is used;
b) 1200 mm where only bond beams are used; or
c) 2400 mm for bond beams and 400 mm for joint reinforcement where both are used.

Plastic hinge regions (Cl. 10.16.4.3.3):

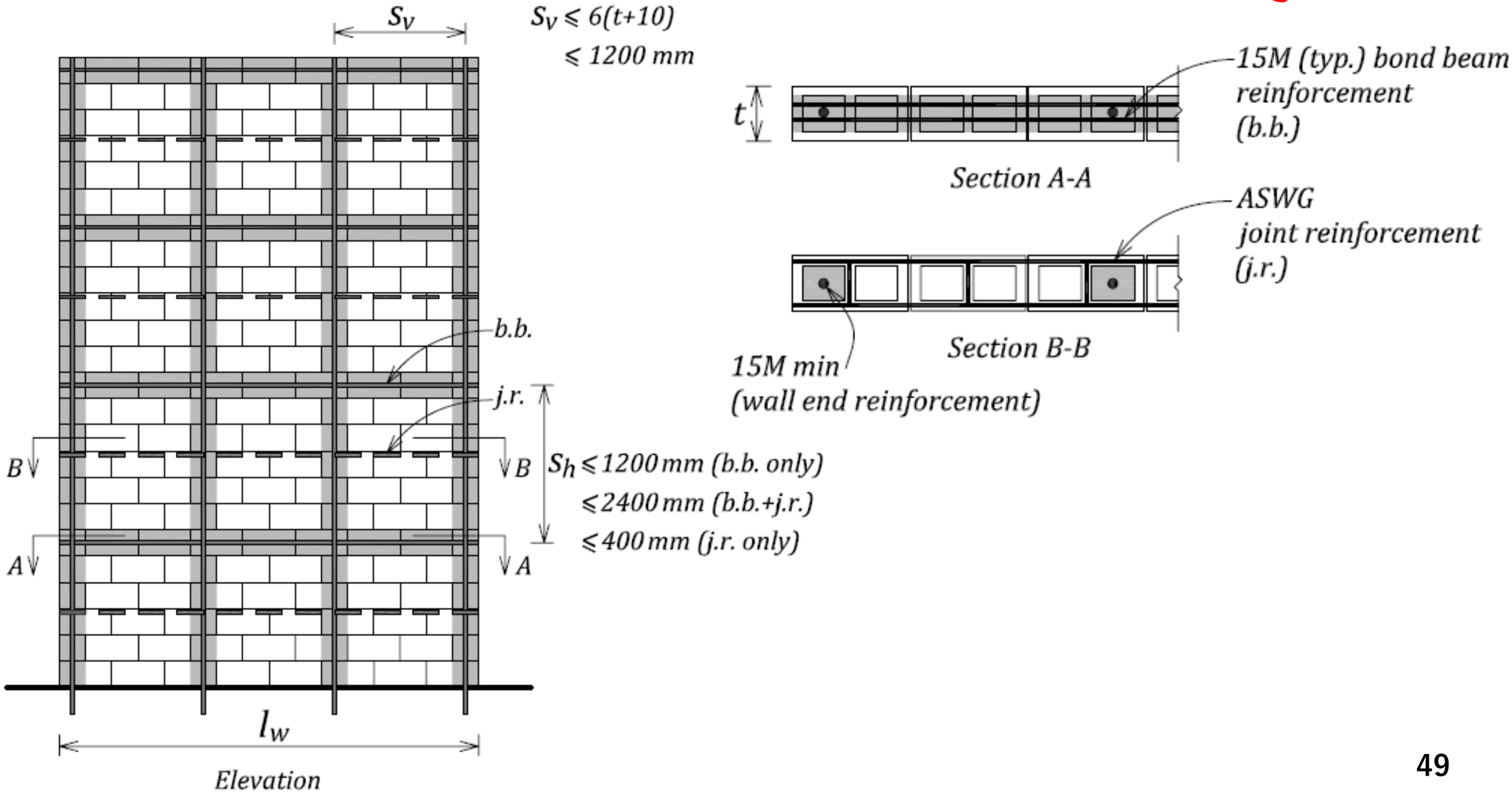
Reinforcing bars are to be used in the *plastic hinge region*, at a spacing not more than

a) 1200 mm or
b) $l_w/2$

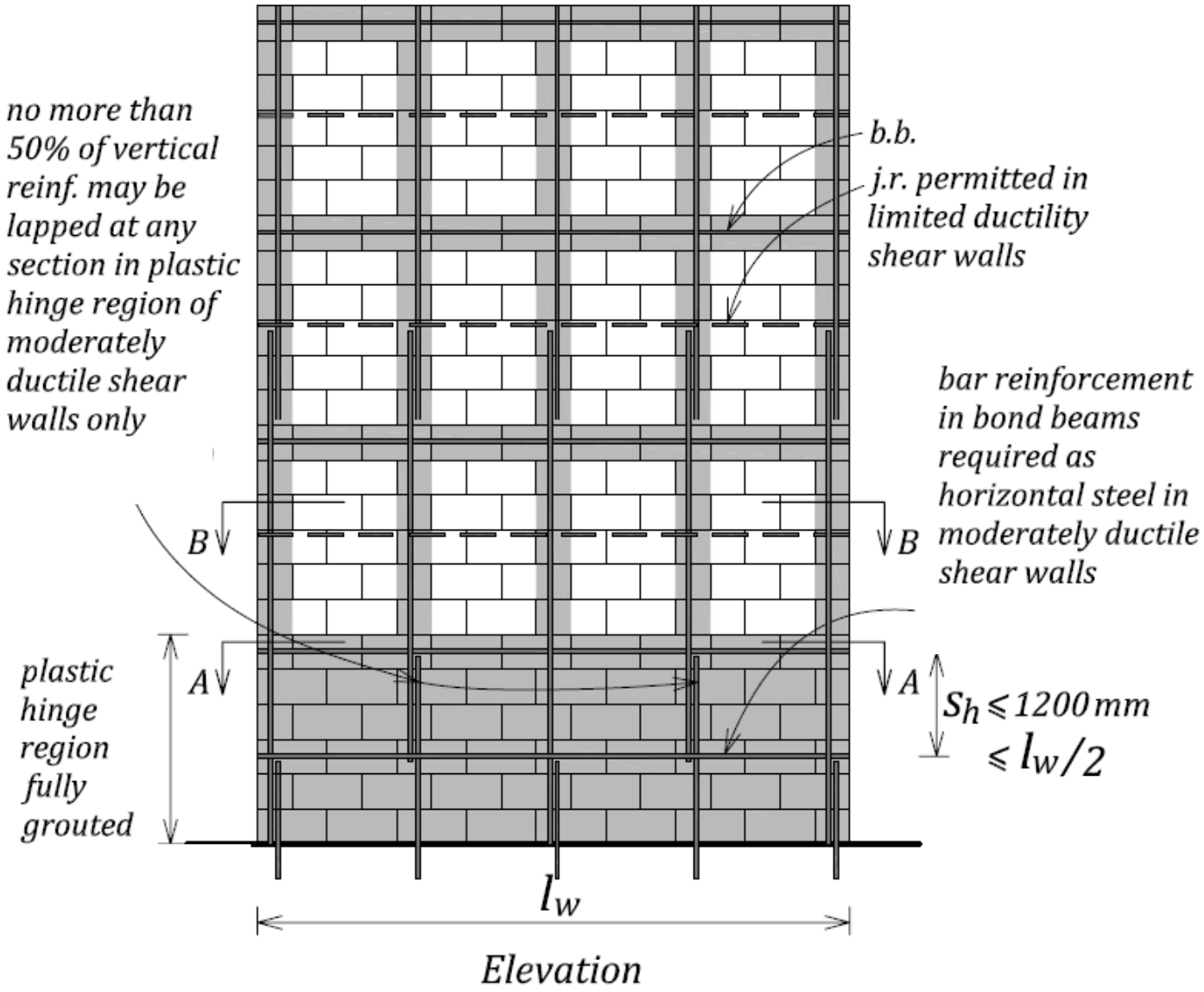
متطلبات إرساء التسليح لجدران القص ذات مطاوعة محدودة ومطاوعة متوسطة:

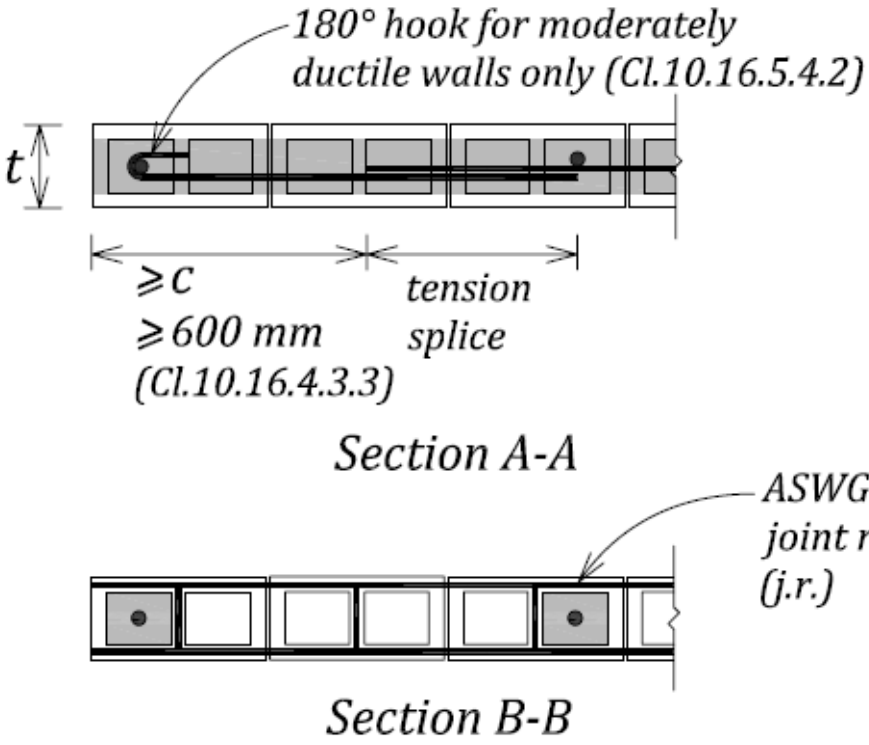
	Limited Ductility Shear Walls جدران القص ذات مطاوعة محدودة	Moderately Ductile Shear Walls جدران القص ذات مطاوعة متوسطة
التسليح الشاقولي **Vertical reinforcement**	No special detailing requirements	*Clause 10.16.5.4.1.* At any section within the *plastic hinge region*, no more than half of the area of vertical reinforcement may be lapped.
التسليح الأفقي **Horizontal reinforcement**	*Clause 10.16.4.3.3* Horizontal reinforcement shall not be lapped within a) 600 mm or b) c (the neutral axis depth) whichever is greater, from the end of the wall.	*Clause 10.16.5.4.2* Horizontal reinforcement shall be: a) provided by reinforcing bars only (no joint reinforcement!); b) continuous over the length of the wall (can be lapped in the centre), and c) have 180° hooks around the vertical reinforcing bars at the ends of the wall.

متطلبات التسليح الدنيا لجدران القص الحجرية المسلحة:



متطلبات إرساء التسليح لجدران القص المطاوعة :





متطلبات إرساء التسليح لجدران القص المطاوعة :