

المحاضرة التاسعة والعشرين

الفصل الثامن

إجهادات التماسك وأطوال التثبيت

Bond Stresses and Development Length

1.8 مقدمة :-

في الفصول السابقة بحثنا تصميم المقاطع الخرسانية تحت تأثير اللي والانهاء والقص ولم نتطرق إلى المسافة التي يجب أن يمد بها الحديد الطولي باتجاه محور العتبة ، كذلك لم نتطرق إلى النقاط التي يمكن فيها قطع أو ثني حديد التسليح أو تداخل الحديد عندما لا يكفي الطول المتوفر . كل هذه النقاط سيتم بحثها في هذا الفصل .

في المقاطع الحرجة (السالبة والموجبة) للعتبة يتم حساب كميات الحديد على أساس أن الحديد يصل إلى إجهاد الخضوع (f_y) وبذلك تتولد على القضبان قوة سحب مقدارها يساوي حاصل ضرب مساحة المقطع في إجهاد الحديد . هذه القوة يتم مقاومتها بإجهادات تتوزع على المساحة السطحية للقضيب تسمى إجهادات التماسك لأنها ناتجة عن التماسك بين الخرسانة والحديد . وهنا يجب توفير طول مناسب للحديد بحيث تكون هذه الإجهادات أقل من الحد المسموح به (أي أقل من مقاومة التماسك) حتى لا يحصل فشل بسبب التماسك بين الخرسانة والحديد وهذا الطول يسمى طول التثبيت (Development length) .

2.8 إجهادات التماسك للقضبان الملساء Bond Stresses for Plain Bars

في العتبات المسلحة بقضبان ملساء فإن التماسك يكون بسبب التلاصق الكيماوي والاحتكاك وتكون مقاومة التماسك قليلة وبذلك يحصل الانزلاق بين القضبان والخرسانة تحت تأثير أحمال قليلة . لأجل معالجة ذلك يتم عمل عكفات (كلايب) لنهايات القضبان وبذلك يتم مقاومة الأحمال بالفعل المقوس للعتبة حيث تتحمل القضبان قوى الشد بينما تتحمل الخرسانة قوى الانضغاط بشكل مقوس . وهنا يكون الإجهاد للقضبان ثابت وقيمته تساوي

$$f_s = \frac{T}{\sum A_b} = \frac{M_{max}}{Z \sum A_b} \dots \dots \dots (1.8)$$

حيث $\sum A_b$ = مجموع مساحات القضبان . والشكل (1.8) يوضح الفعل المقوس للعتبة مسلحة بقضبان ملساء



Z = البعد بين مركز الحديد

ومركز الانضغاط

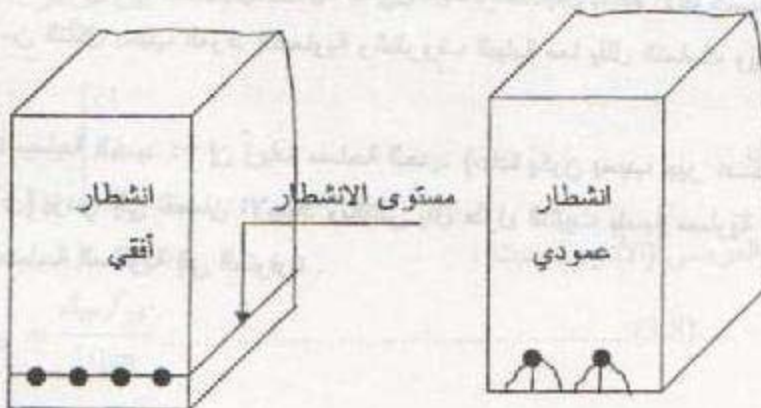
شكل (1.8)

الفاعل المقوس لعتبة مسلحة بقضبان ملساء

3.8 إجهادات التماسك وأطوال التثبيت للقضبان المشوهة (Deformed Bars)

تختلف طبيعة الفشل في حالة العتبات المسلحة بقضبان مشوهة عن حالة القضبان الملساء ففي حالة القضبان الملساء يتم الفشل بالانزلاق بين الخرسانة والحديد ، بينما يكون على الأغلب في حالة استخدام القضبان المشوهة بالانشطار العمودي أو الأفقي (splitting) والناتج عن فعل الاسفين (Wedging action) للحزوز الخاصة بالحديد .

فالحديد يؤثر على الخرسانة المحيطة به بقوة مانلة بسبب الحزوز تحلل إلى قوتين أفقية تحاول دفع الخرسانة وجعلها تفشل بالانزلاق وعمودية تحاول دفع الخرسانة وجعلها تفشل بالانشطار. ويكون الانشطار إما أفقياً أو عمودياً اعتماداً على المسافة بين القضبان وسمك الغطاء . ففي حالة القضبان المتقاربة والغطاء السميك يتم الانشطار بتكون مستوى أفقي وانفصال الخرسانة ، أما في حالة القضبان المتباعدة وسمك غطاء قليل فيتم الانشطار عمودياً .
نوعي الانشطار موضحان في الشكل (2.8)



شكل (2.8)

فشل الانشطار

4.8 طول التثبيت والعوامل المؤثرة عليه .

طول التثبيت يعرف بأنه طول القضيب الأدنى اللازم لتوليد إجهادات تماسك تكفي لمقاومة القوة في قضيب التسليح بحيث لا يحدث فشل الانزلاق أو الانشطار ويرمز له (ℓ_d) عند المقاطع الحرجة وهي وجه المسند للحديد السالب وعند أو قرب منتصف الفضاء للحديد الموجب فإن الحديد يصمم على أساس وصوله إلى الإجهاد الأقصى (f_y) . عليه فإن القوة المطلقة على القضيب هي $(A_b f_y)$. هذه القوة يجب أن تنتقل إلى الخرسانة على امتداد المسافة من المقطع الحرج إلى النهاية الحرة للقضيب . ويتم الانتقال على شكل إجهادات تماسك تتوزع على المساحة السطحية للقضيب ، فإذا كان الطول المتوفر من المقطع الحرج إلى النهاية الحرة أكبر أو يساوي (ℓ_d) فلن يحدث القشل بالتماسك . وبالعكس إذا كان الطول المتوفر أقل من (ℓ_d) فالقشل يكون بالتماسك .

إن العوامل المؤثرة على طول التثبيت هي :

أ - مقاومة الخرسانة للشد :- حيث إن القشل بالتماسك يحدث على الأكثر بالانشطار عليه فإن مقاومة الخرسانة للشد تكون ذات تأثير على طول التثبيت ولذلك نجد العامل $\sqrt{f'_c}$ واضحاً في تعبير طول التثبيت حسب المعادلات الموضحة في الفقرة اللاحقة إذ إن مقاومة الشد تتناسب مع $\sqrt{f'_c}$. عليه كلما زادت مقاومة الشد كلما قل طول التثبيت.

ب - سمك الغطاء الخرساني :- عند زيادة سمك الغطاء مترداد المقاومة لفعول الاسفين وبالتالي نقصان طول التثبيت .

ج - التسليح العرضي :- إن وجود الأتاري يحسن من مقاومة الخرسانة للانشرطار الأفقي والعمودي وبالتالي يقلل من طول التثبيت .

د - موقع القضبان :- عند كون القضبان أعلى العتبة قد تتكون تجاويف تقلل التماسك وبالتالي تزيد من طول التثبيت .

هـ - أكساء القضبان :- يتم في بعض الأحيان أكساء القضبان بمادة الايبوكسي (Epoxy) لمنعها من التآكل بسبب المواد الكيماوية والظروف البيئية مما يقلل التماسك ويزيد من طول التثبيت .

و - زيادة مساحة الحديد :- إن زيادة مساحة الحديد (عادة يكون بسبب جبر عندد القضبان الكسرى) يؤدي إلى نقصان الإجهاد وبالتالي يقل طول التثبيت بنسبة مساوية إلى النسبة بين المساحة المطلوبة إلى المتوفرة .

ز - وجد إن استخدام قضبان ذات أقطار صغيرة يؤدي إلى نقصان طول التثبيت الذي يتم إيجاده باستخدام المعادلات الخاصة بالقضبان ذات الأقطار الكبيرة .
جميع العوامل أعلاه أخذت بنظر الاعتبار من قبل الكود عند اشتقاق معادلة طول التثبيت الموضحة في الفقرة أدناه .

5.8 طول التثبيت لقضبان الشد

Development Length for Tension Reinforcement

أ- المعادلة الأساسية (ACI 12.2.3)

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9}{10} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha \beta \lambda \gamma}{\left(\frac{c+k_{tr}}{d_b}\right)} \quad (2.8)$$

حيث :

α = معامل موقع التثبيت = 1.3 للحديد العلوي (الذي يكون تحته أكثر من 300 mm

خرسانة) = 1.0 لباقي الحالات

β = معامل الإكساء = 1.5 للقضبان التي تغطي بالايوكسي بغطاء خرساني اقل من $3d_b$

والمسافة الصافية بين القضبان اقل من $6d_b$

= 1.2 لباقي حالات الإكساء بالايوكسي .

= 1.0 للقضبان غير المكساء .

على أن يتحقق الشرط التالي بالنسبة لحاصل ضرب المعاملين أعلاه $\alpha\beta \leq 1.7$

γ = معامل حجم التثبيت = 0.8 للقضبان بقطر (20mm) فأقل .

= 1.0 للقضبان بقطر (22mm) فأكثر .

λ = معامل الزكام الخفيف = 1.3 للخرسانة ذات الزكام الخفيف .

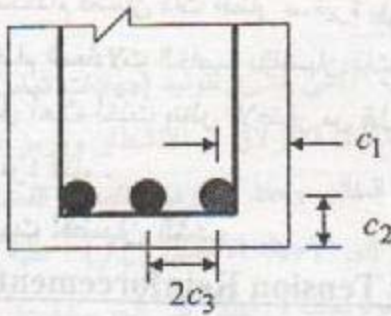
= 1.0 للخرسانة الاعتيادية .

c = المسافة من مركز التثبيت إلى اقرب سطح خرساني أو منتصف المسافة بين مراكز القضبان أيها اقل .

ومن الشكل (3.8) فإن $c \leq \begin{cases} c1 \\ c2 \\ c3 \end{cases}$

k_{tr} = معامل الحديد العرضي (الأثاري) حيث :

$$k_{tr} = \frac{A_{tr} f_{yt}}{10sn} \quad (3.8)$$



شكل 3.8

تعريف المعامل c

والرموز تعني $2A_b = A_{tr}$ للأتاري على شكل L

$4A_b =$ للأتاري على شكل L

f_{yr} = إجهاد الخضوع للأتاري

s = أقصى مسافة بين الأتاري على امتداد l_d .

n = عدد القضبان لحديد تسليح الانحناء .

على أن يتحقق الشرط التالي :

$$\frac{c + k_{tr}}{d_b} \leq 2.5 \dots \dots \dots (4.8)$$

من المعادلة أعلاه : إذا كانت $c/d_b \geq 2.5$ فإن $k_{tr} = 0$

ويسمح الكود بأخذ ($k_{tr} = 0$) لتبسيط الحسابات حتى إذا استخدمت الأتاري .

يجب إن لا يقل طول التثبيت المحسوب بموجب المعادلة (2.8) عن (300mm) أي

إن ($l_d \geq 300mm$) .

ب- المعادلات المبسطة لحساب طول التثبيت (ACI 12.2.2)

يمكن تلخيصها كما يلي :-

الحالة الأولى :- إذا تحقق أحد الشرطين :-

1- إذا كانت المسافة الصافية بين القضبان أكبر أو تساوي قطر التثبيت والغطاء الخرساني

الصافي أكبر أو يساوي قطر التثبيت وتم استخدام الحد الأدنى من حديد القص .

2- إذا كانت المسافة الصافية بين القضبان أكبر أو تساوي ضعف قطر التثبيت والغطاء

الصافي أكبر أو يساوي قطر التثبيت .

فان :-

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{3 f_y \alpha \beta \lambda \gamma}{5 \sqrt{f'_c}} \quad (5.8)$$

الحالة الثانية :- إذا لم يتحقق كلا الشرطين أعلاه فان المعادلة أعلاه تضرب في (1.5) أي أن

$$\frac{\ell_d}{d_b} = \frac{9 f_y \alpha \beta \lambda \gamma}{10 \sqrt{f'_c}} \quad (6.8)$$

وفي كل الأحوال يجب إن لا يقل (ℓ_d) عن (300mm) .

ج:- التعديل بسبب زيادة مساحة الحديد

عند استخدام تسليح أكثر من المطلوب يتم تعديل طول التثبيت بضرب قيمته في النسبة بين

الحديد المطلوب إلى المتوفر ($A_s \text{ required} / A_s \text{ provided}$) .

ملاحظة :- قد تبدو المعادلات أعلاه معقدة إلا إنها في معظم الحالات يمكن تبسيطها كما

يلي :-

للخرسانة الاعتيادية $\lambda = 1$ للحديد الأسفل $\alpha = 1$ للحديد غير المغطى $\beta = 1$

عليه تكون المعادلات كما يلي :

أ- للحالة الأولى عندما يكون $d_b \geq 22mm$ فان :-

$$\frac{\ell_d}{d_b} = 0.6 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

وعندما يكون $d_b \leq 20mm$ تضرب القيمة أعلاه في (0.8)

ب- للحالة الثانية عندما يكون $d_b \geq 22mm$ فان :

$$\frac{\ell_d}{d_b} = 0.9 \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}}$$

وعندما يكون $d_b \leq 20mm$ فان القيمة أعلاه تضرب في (0.8)

فمثلاً عندما تكون $f'_c = 30Mpa$ ، $f_y = 400Mpa$ فان :-

$$\frac{\ell_d}{d_b} = 44$$

أ- الحالة الأولى :- للحديد $d_b \geq 22mm$

$$\frac{\ell_d}{d_b} = 35$$

للحديد $d_b \leq 20mm$

ب - للحالة الثانية تضرب القيم أعلاه في (1.5) .