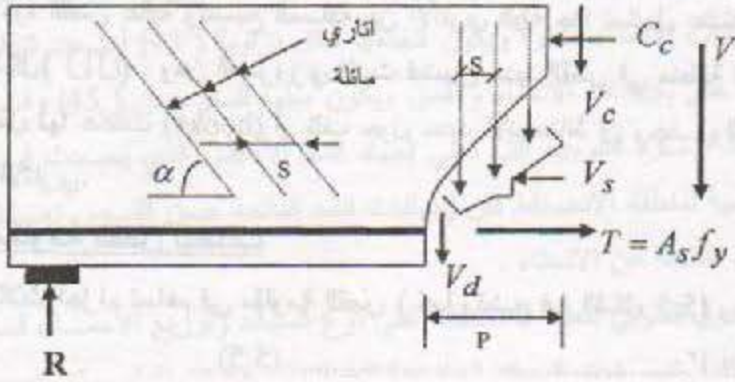


المحاضرة التاسعة عشر

مقاومة القص للخرسانة (Shear Strength of Concrete)

إن إجهادات القص للخرسانة عندما يكون العزم قليلاً والقص كبيراً أي عندما يكون التشقق بسبب الشد القطري الناتج عن القص فقط يمكن إيجادها عن المعادلة :-

$$v_{cr} = \frac{V_{cr}}{b_w d} = 0.3 \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (7.5)$$



شكل (5.5)
القوى عند التشقق
القطري للعتبات
المسلحة ضد القص

حيث V_{cr} = قوة القص المسببة للتشقق v_{cr} = إجهاد القص عند التشقق
 b_w = عرض جذع العتبة d = العمق الفعال

إن الشقوق الناتجة عن وصول إجهادات القص إلى القيمة أعلاه تسمى شقوق قص الجذع (Web-shear cracks) وهي نادرة الحدوث فهي تحدث فقط عند كون العتبة نحيفة وعند المساند. أما في الحالات الاعتيادية فإن التشقق يكون عمودياً بسبب الانحناء ثم يميل بسبب تولد الإجهادات القطرية الناتجة عن القص والانحناء وتعرف هذه الشقوق بشقوق الانحناء - القص (Flexure- shear crack) . كما أوضحنا في الفقرة السابقة .

وبسبب شقوق الانحناء فإن مساحة المقطع تقل ، عليه فإن إجهادات القص عند التشقق المحسوبة على أساس المقطع الكلي تكون أقل من الإجهادات المحسوبة على أساس المعادلة أعلاه ، وقد وجد من التجارب أن إجهادات التشقق في هذه الحالة :-

$$v_{cr} = \frac{V_{cr}}{b_w d} = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (8.5)$$

أي أن عزم الانحناء قد يقلل مقاومة القص إلى النصف تقريباً.

إن إجهادات القص عند التشقق تعتمد على النسبة بين عزم الانحناء إلى القص وتعتمد كذلك على نسبة حديد التسليح الطولي لأن زيادة نسبة الحديد الطولي تؤدي إلى قلة الشقوق الناتجة عن الانحناء وبالتالي زيادة مقاومة الخرسانة للشقوق القطرية أي زيادة مقاومتها للقص . وقد أمكن التوصل إلى المعادلة التالية لحساب إجهادات القص عند التشقق :-

$$v_{cr} = \frac{V_{cr}}{b_w d} = \frac{1}{7} \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho \frac{V_d}{M} \right) \leq 0.3 \sqrt{f'_c} \dots \dots \dots (9.5)$$

حيث :-

V = قوة القص للمقطع الذي يحدث عنده التشقق.

M = عزم الانحناء للمقطع الذي يحدث عنده التشقق.

ρ = نسبة الحديد الطولي إلى المقطع الفعال (bd) .

من هنا فإن مقاومة الخرسانة للقص حسب الكود (ACI - 11.3.2.1) يمكن إيجادها من المعادلة :-

$$V_c = \left(\sqrt{f'_c} + 120 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) \frac{b_w d}{7} \leq 0.3 \sqrt{f'_c} b_w d \dots \dots \dots (10.5)$$

$$\frac{V_u d}{M_u} \leq 1.0 \dots \dots \dots (11.5)$$

على أن تكون

حيث :-

V_c = مقاومة القص للخرسانة.

ρ_w = نسبة حديد التسليح الطولي إلى مساحة الجذع الفعالة = $\frac{A_s}{b_w d}$ وبالنسبة للمقاطع

$$\frac{A_s}{bd} = \text{المستطيلة}$$

V_u = قوة القص التصميمية عند المقطع.

M_u = عزم الانحناء التصميمي عند المقطع.

إن المعادلة أعلاه تكون ملائمة للحل المبرمج وللبحوث ذلك لأن (ρ_w, M_u, V_u)

تتغير جميعاً على طول الفضاء مؤدية إلى حسابات مطولة ، لهذا السبب فإن الكود

(ACI-11.3.1.1) يسمح باستخدام المعادلة المبسطة التالية لحساب مقاومة القص للخرسانة

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d \dots \dots \dots (12.5)$$

وفي حالة وجود قوة انضغاط محورية على العتبة فإن مقاومة الخرسانة للقص تزيد ويمكن

إيجادها حسب الكود من المعادلة (فقرة ACI 11.3.1.2) :-

$$V_c = \left(1 + \frac{N_u}{14A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w d \dots \dots \dots (13.5)$$

حيث N_u = قوة الانضغاط التصميمية (بوحدة نيوتن)

A_g = مساحة المقطع الكلية (بوحدة mm^2).

أما في حالة وجود قوة شد محورية فإن مقاومة الخرسانة للقص تقل ويمكن إيجادها حسب

الكود من المعادلة (ACI 11.3.2.3) :-

$$V_c = \left(1 - \frac{0.3N_u}{A_g}\right) \left(\frac{\sqrt{f'_c}}{6}\right) b_w d \dots \dots \dots (14.5)$$

N_u = قوة الشد التصميمية وتؤخذ إشارتها سالبة (بوحدة نيوتن) ، إن (V_c) يجب أن لا

تكون أقل من صفر لهذه الحالة .

مقاومة حديد التسليح للقص Shear Strength of Web Reinforcement

إن قوة القص التي يقاومها الحديد (لاحظ الشكل 5.5) تساوي عدد الأتاري التي يقطعها الشق

مضروبة في مقاومة الأتارية ، أي أن :-

$$V_s = nA_v f_y \dots \dots \dots (15.5)$$

V_s = مقاومة القص للحديد ، n = عدد الأتاري التي يقطعها الشق .
 A_v = مساحة الحديد ضمن المسافة البينية (s) = ضعف مساحة القضيب للأتاري على شكل (□) وأربع مرات بقدر مساحة القضيب للأتاري على شكل (□□).
 إن عدد الأتاري التي يقطعها الشق تساوي حاصل قسمة المسقط الأفقي للشق على المسافة بين الأتاري أي ($\frac{P}{s}$) ، وعند اعتبار الشق بزاوية (45°) فإن ($p \approx d$) عليه فعدد الأتاري التي يقطعها الشق ($n = \frac{d}{s}$) وبذلك تكون مقاومة حديد القص مساوية إلى (ACI 11.5.6.2)

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \dots \dots \dots (16.5)$$

وعندما يكون حديد التسليح مائل بزاوية (α) مع المحور الطولي فإن مقاومة تسليح القص تساوي (ACI- 11.5.6.3):

$$V_s = \frac{A_v f_y (\sin \alpha + \cos \alpha)}{s} \dots \dots \dots (17.5)$$

أن المعادلة (16.5) هي حالة خاصة من المعادلة (17.5) حيث $\alpha = 90^\circ$.
 من هنا فإن مقاومة القص الاسمية للعتبات الخرسانية المسلحة ضد القص تساوي :-

$$V_n = V_c + V_s = V_c + \frac{A_v f_y d}{s} \dots \dots \dots (18.5)$$

كما أن قوة القص التصميمية يجب أن لا تزيد عن مقاومة القص التصميمية (ϕV_n) أي أن :-
 $V_u \leq \phi V_n \dots \dots \dots (19.5)$
 أن معامل خفض المقاومة (ϕ) لحالة القص يساوي (0.75).

وفي حال عدم وجود قوة مركزة بين وجه المسند وعلى بعد (d) منه ويكون رد الفعل يسلط قوة انضغاط على العتبة فإن المقطع الحرج لحساب قوة القص العظمى يؤخذ على بعد (d) من وجه المسند وتكون المسافة بين الأتاري من وجه المسند حتى (d) مساوية إلى المسافة المحسوبة على بعد (d) من وجه المسند. أما في حال عدم تحقق الشرطين أعلاه فإن المقطع الحرج يؤخذ عند وجه المسند .