



MRC

Materials Research Center



Properties of Hardened Concrete

Dr. Ehab Fawzy

Structural Engineering Department
Faculty of Engineering – Ain shams University

2013/2014

مقدمة:

أهمية خواص الخرسانة المتصلدة

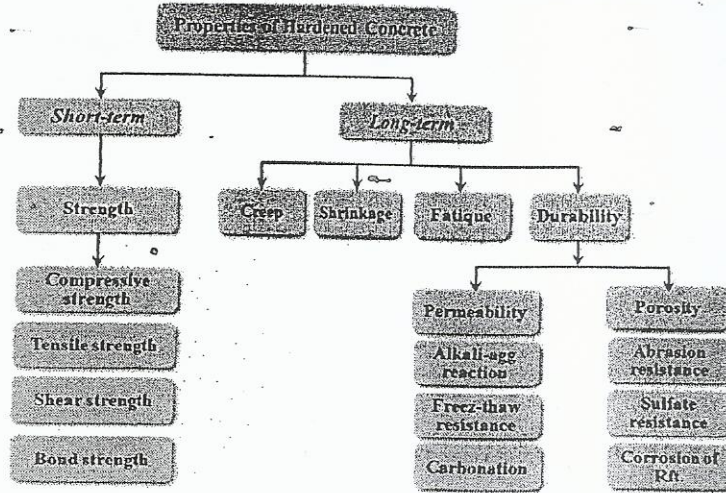
- خواص الخرسانة الطازجة تدوم لمدة ساعات أما الخرسانة المتصلدة فتدوم للعمر الافتراضي للمنشأ.
- الخرسانة المتصلدة والأكواد.

تصنيف خواص الخرسانة المتصلدة

- خواص قصيرة الأجل Short-term properties
- خواص طويلة الأجل Long-term properties

مقدمة

تصنيف خواص الخرسانة المتصلدة



Dr. Ehab Fawzy

٢

المقاومة Strength of Concrete

التعريف

- مقاومة المادة تعبر عن قدرة المادة علي تحمل الإجهادات بدون حدوث انهيار.

الأهمية

- إختبارات المقاومة نسبياً أسهل و تعطي صورة عامة عن جودة الخرسانة.
- كثير من خواص الخرسانة تعتمد علي المقاومة.
- مقاومة الخرسانة عنصر هام في التصميمات الإنشائية.

Dr. Ehab Fawzy

٣

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

الأهمية

- مقاومة الضغط عدة أضعاف المقاومات الأخرى.
- بالرغم أن الخرسانة تتعرض في الحياة العملية إلى أنواع مختلفة من الإجهادات إلا أن:
 - اختبار مقاومة الضغط هو الأسهل إجراؤه في العمل.
- مقاومة الضغط بعد ٢٨ يوم (المقاومة المميزة للخرسانة) تقبل عادة كمؤشر عام عن مقاومة الخرسانة.
- طبقاً للكود المصري للمنشآت الخرسانية: هي المقاومة التي لا يقل عنها أكثر من ٥٪ من نتائج الاختبار.

Dr. Ehab Fawzy

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

تصنيف الخرسانة

- طبقاً لمقاومة الضغط:
- خرسانة منخفضة المقاومة Low-strength concrete مقاومة أقل من ٢٠ ميجاباسكال.
- خرسانة متوسطة المقاومة Moderate-strength concrete مقاومة من ٢٠ إلى ٤٠ ميجاباسكال.
- خرسانة عالية المقاومة High-strength concrete مقاومة أعلى من ٤٠ ميجاباسكال.

Grade (f_c) (MPa)	Application
15-20	Plain concrete – small temporary jobs
20-25	Mass concrete – reinforced concrete (RC)
25-30	Pavement concrete (RC)
30-40	RC structures and water tanks
>40	Prestressed conc. – Precast conc. Units – Special RC structures – High performance concrete

Dr. Ehab Fawzy

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

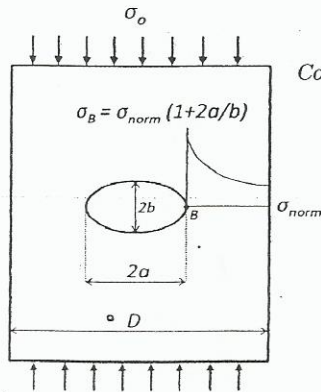
تصنيف الخرسانة

- طبقاً لوزن وحدة الحجم:
 - خرسانة عادية الوزن Normal-weight concrete (٢٤٠٠ كجم/م^٣).
 - خرسانة خفيفة للوزن Leight-weight concrete (أقل من ١٨٠٠ كجم/م^٣).
 - خرسانة ثقيلة الوزن Heavy-weight concrete (أكثر من ٣٢٠٠ كجم/م^٣).

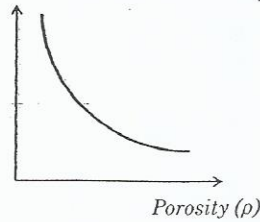
١- مقاومة الضغط Compressive Strength

مقاومة الضغط والمسامية (Porosity)

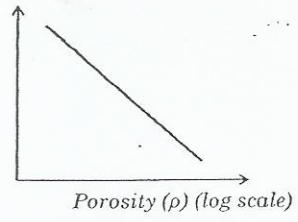
- هناك علاقة عكسية بين المسامية (نسبة الفراغات في الخرسانة) ومقاومة الضغط.



Compressive strength



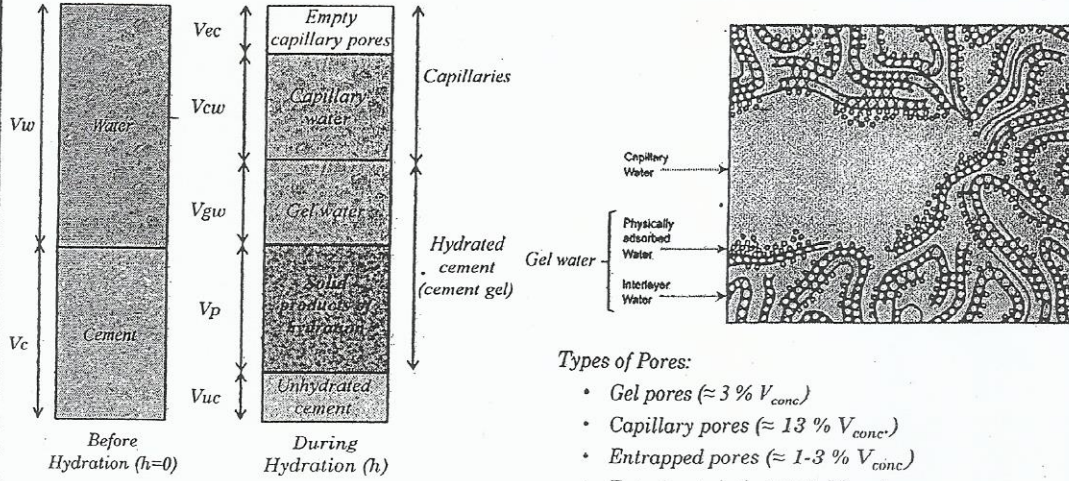
Compressive strength



$$f_c = m \cdot \log(p) + c$$

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

مقاومة الضغط والمسامية (Porosity) حساب المسامية



Dr. Ehab Fawzy

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

مقاومة الضغط والمسامية (Porosity)

- المسامية ρ (النسبة بين الحجم الكلي للفراغات إلى الحجم الكلي للخرسانة) يمكن حسابها كما يلي:

$$\rho = \frac{V_v}{V_{conc}} = \frac{V_{gw} + V_{cw} + V_{ec}}{V_c + V_w + V_{aggregate}}$$

$$V_v = \left(\frac{W}{C} - 0.17 \cdot h \right) \cdot C + a$$

$$V_{conc} = \frac{C}{3.15} + \frac{W_f}{\gamma_f} + \frac{W_c}{\gamma_c} + W + a$$

γ_f, γ_c = Specific gravity of fine and coarse aggregate, respectively.

$$\rho = \frac{\frac{W}{C} - 0.17 \cdot h + \frac{a}{C}}{0.317 + \frac{W_f}{\gamma_f \cdot C} + \frac{W_c}{\gamma_c \cdot C} + \frac{W}{C} + \frac{a}{C}}$$

where:

W/C = Water/cement ratio

C = Cement content in concrete

h = Degree of hydration

a = Entrapped + entrained air in concrete (If present)

W_f, W_c = Fine and coarse aggregate contents, respectively, in concrete.

Dr. Ehab Fawzy

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

مقاومة الضغط والمسامية (Porosity)

• مثال (١):

إذا كانت نسب الخلط في الخرسانة بالوزن هي أسمنت:ركام صغير:ركام كبير تساوي ٤:٢:١ وكانت نسبة الماء إلى الأسمنت ٠,٥٥. محتوى الهواء (a) تم قياسه وكان يساوي ٢,٣٪ من وزن الأسمنت. درجة الإمالة تساوي ٠,٨٥. الوزن النوعي للركام الصغير والكبير كان ٢,٦ و ٢,٦٥ علي التوالي. احسب المسامية الكلية في الخرسانة.

$$\rho = \frac{0.55 - 0.17 \times 0.85 + \frac{2.3}{100}}{0.317 + \frac{2}{2.6 \times 1} + \frac{4}{2.65 \times 1} + 0.55 + \frac{2.3}{100}} = 0.135$$

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

مقاومة الضغط والمسامية (Porosity)

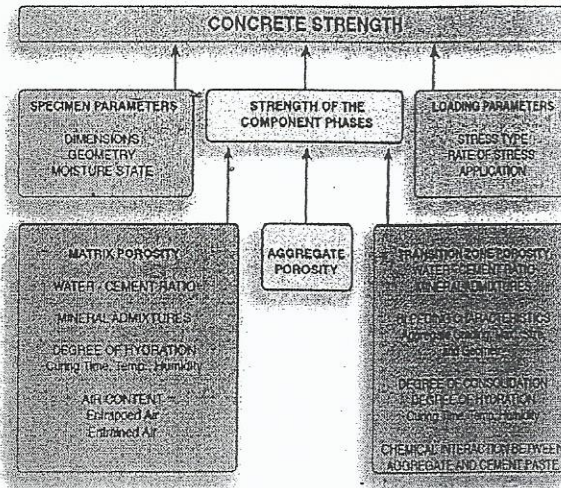
• مثال (٢):

إذا كانت نسب الخلط في الخرسانة بالوزن هي أسمنت:ركام صغير:ركام كبير تساوي ٤:٢:١ وكانت نسبة الماء إلى الأسمنت ٠,٥٥. محتوى الهواء (a) تم قياسه وكان يساوي ٢,٣٪ من حجم الخرسانة. الوزن النوعي للركام الصغير والكبير كان ٢,٦ و ٢,٦٥ علي التوالي. احسب محتوى الهواء بالنسبة لوزن الأسمنت (a/C).

$$\frac{a}{V_{conc.}} = \frac{\frac{a}{C}}{0.317 + \frac{2}{2.6 \times 1} + \frac{4}{2.65 \times 1} + 0.55 + \frac{a}{C}} = \frac{2.3}{100} \longrightarrow \frac{a}{C} = 0.074$$

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:



Dr. Ehab Fawzy

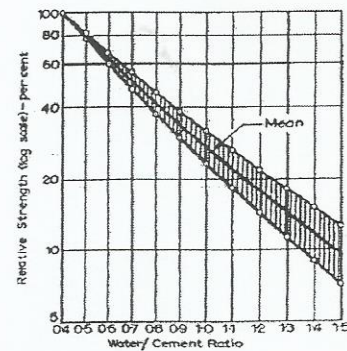
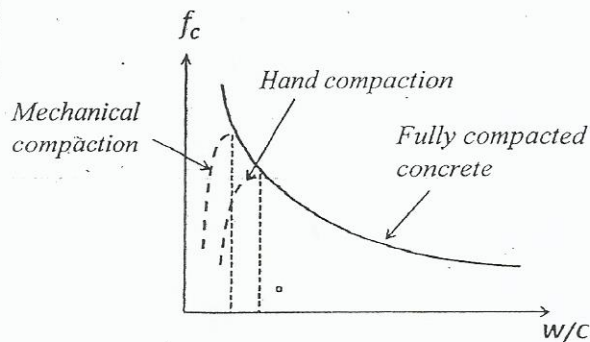
١٣

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

$$f_c = A \cdot \left(\frac{K_1}{K_2^{w/c}} \right) \quad \text{Abrams' Law}$$

(١) نسبة الماء للإسمنت (W/C)



$$\log(R.S) = m \cdot (W/C) + c$$

Dr. Ehab Fawzy

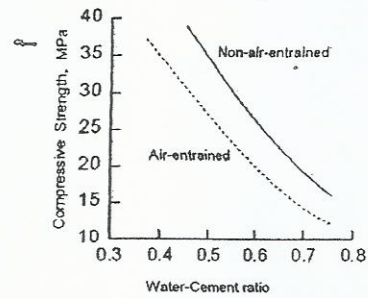
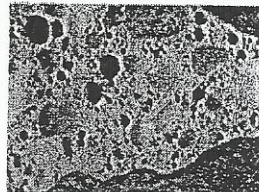
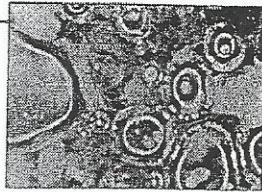
١٤

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

$$V_v = \left(\frac{W}{C} - 0.17 \cdot h \right) \cdot C + a$$

(٢) محتوى الهواء Air Entrainment



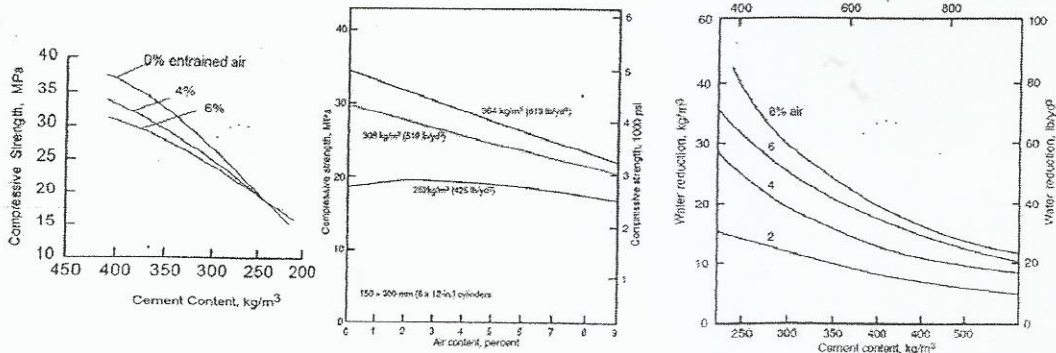
Dr. Ehab Fawzy

١٥

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(٢) محتوى الهواء Air Entrainment



• التأثير علي المقاومة يتوقف علي محتوى الأسمنت (جودة الخرسانة).

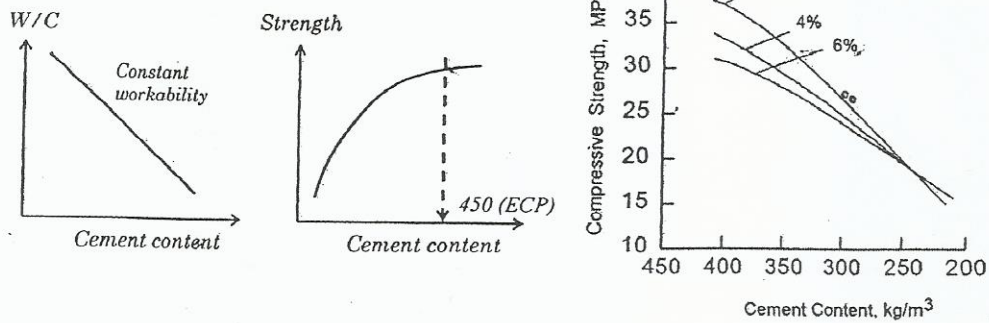
Dr. Ehab Fawzy

١٦

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(٢) الاسمنت (a) محتوى الاسمنت



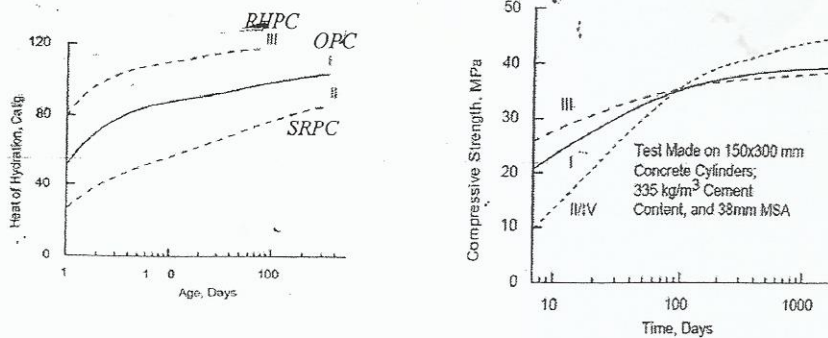
Dr. Ehab Fawzy

١٧

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(٢) الاسمنت (b) نوع الاسمنت



Dr. Ehab Fawzy

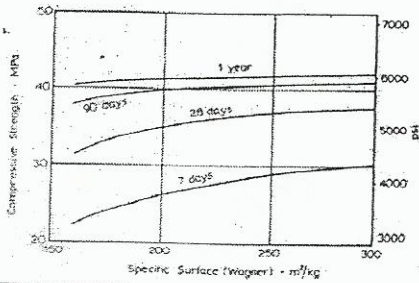
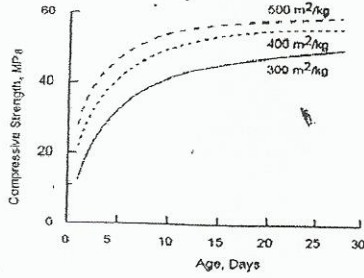
١٨

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(٢) نوعية الأسمنت

(٣) الإسمنت



Dr. Ehab Fawzy

١٩

• معدل الإمالة يتوقف على النوعية.

• المقاومة على المدى البعيد لا تتأثر بدرجة كبيرة.

• الزيادة في المساحة السطحية النوعية محددة (~ ٥٠٠٠ جم/سم²) بسبب المشاكل المصاحبة.

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

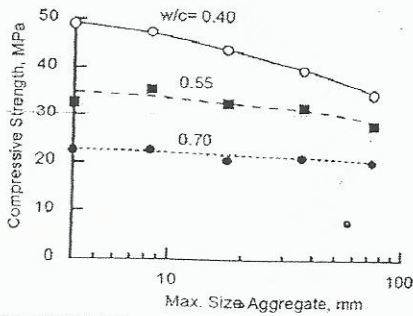
(a) مقاومة الركام

(٤) الركام

• مقاومة الركام ليس بعامل مؤثر في حالة الخرسانة ذات المقاومة المتوسطة.

(b) المقاس الاعتباري الأكبر

(٤) الركام



Dr. Ehab Fawzy

٢٠

• عند نفس محتوى الأسمنت و القوام، فإن حبيبات الركام الكبيرة تؤدي إلى:

• محتوى ماء أقل.

• منطقة انتقالية (TZ) أضعف.

• التأثير النهائي يعتمد على W/C

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(١) الركام (٢) حالة السطح

- الخرسانة التي تحتوي علي ركام خشن السطح أو كسر حجارة تظهر إلي حد ما مقاومة أعلى (خاصة مقاومة الشد).
- عند نفس محتوى الأسمنت، نحتاج إلي كمية أكبر من ماء الخلط للوصول إلي نفس التشغيلية باستخدام هذا الركام مقارنة بالركام ذو السطح الأملس أو غير الزاوي.

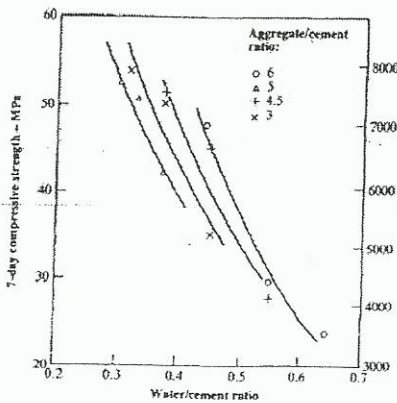
Dr. Ehab Fawzy

٢١

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(١) الركام (٢) النسبة بين الركام والأسمنت Aggregate/Cement Ratio



- عند نفس نسبة الماء للأسمنت، الخرسانة الفقيرة تؤدي إلي مقاومة أعلى:
- إمتصاص بعض الماء بواسطة الركام.
- يحتوي الركام الأكبر يؤدي إلي انكماش أقل و نزيف أقل.
- التغيرات الحرارية بسبب حرارة الإمالة أقل.
- الفراغات الأقل هو السبب الرئيسي.

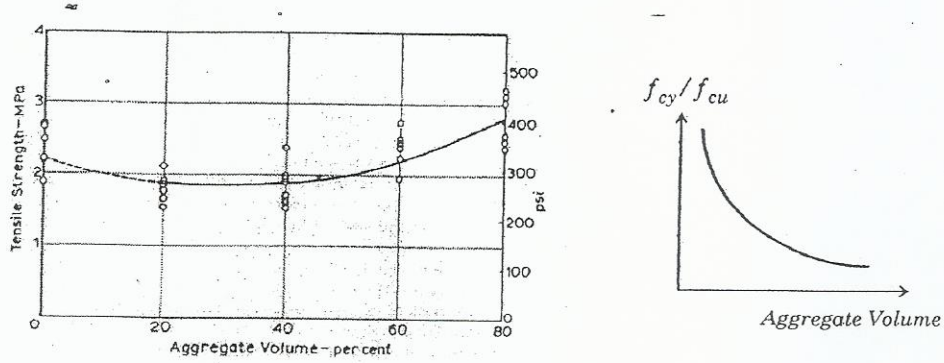
Dr. Ehab Fawzy

٢٢

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(د) النسبة بين الركام والاسمنت Aggregate/Cement Ratio (هـ) الركام



Dr. Ehab Fawzy

٢٣

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(هـ) الإضافات Admixtures

(a) إضافات الهواء المحبوس Air-Entraining Admixtures

- إضافات الهواء المحبوس تقلل مقاومة الضغط (كما سبق إيضاحه).

(b) الإضافات المخفضة للماء Water-Reducing Admixtures

- بسبب قدرتهم علي تقليل محتوى الماء (مع الحفاظ علي نفس القوام)، يؤدي هذا النوع من الإضافات زيادة المقاومة المبكرة والمتأخرة.

Dr. Ehab Fawzy

٢٤

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(د) الإضافات Admixtures

(c) الإضافات المعجلة أو المتأخرة للشك: Accelerating or Retarding Admixture

- الإضافات التي لها القدرة علي تعجيل أو تأخير معدل تفاعل الأسمنت مع الماء، لها تأثير كبير علي معدل اكتساب الخرسانة للمقاومة (ليس المقاومة النهائية).
- أثبتت كثير من الأبحاث أن هنال ميل للحصول علي مقاومة متأخرة أو نهائية أعلي في حالة إبطاء معدل الحصول علي المقاومة في الأعمار المبكرة.

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(هـ) الإضافات Admixtures

(d) الإضافات المعدنية Mineral Admixtures

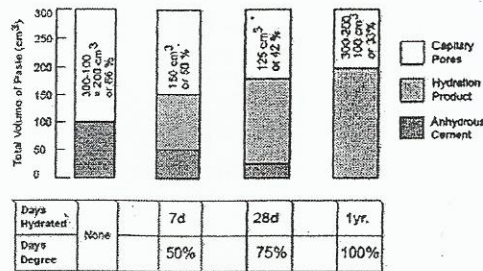
- تستخدم كبديل لجزء من الأسمنت ويكون لها غالباً تأثير مؤخر لمعدل اكتساب المقاومة (Retarding effect) في الأعمار المبكرة (مقاومة نهائية أعلي، مسامية أقل، نفاذية أقل للماء)

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(١) المعالجة Curing

- المقصود بالمعالجة هو مجموعة من الإجراءات التي تتبع بهدف الإسراع من معدل إمالة الأسمنت (أو علي الأقل الحفاظ علي استمرارها) وذلك بعد صب الخرسانة في القرم.



- عند نفس ال W/C ، فإن مسامية الخرسانة تتوقف علي درجة الإمالة.

Dr. Ehab Fawzy

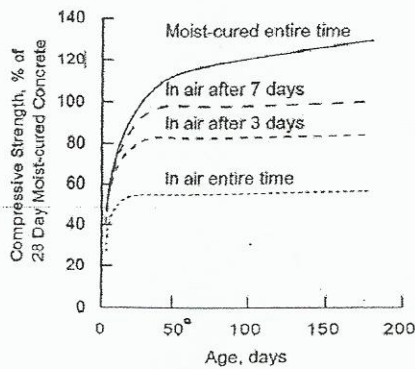
٢٧

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(a) زمن المعالجة Time

(١) المعالجة Curing



- عند نفس ال W/C كلما زادت فترة المعالجة كلما زادت المقاومة.
- يوصي بفترة معالجة رطبة لا تقل عن ٧ أيام في حالة الأسمنت البورتلاندي العادي.
- توصي ال (ACI Committee 209) بالعلاقة الآتية في حالة الأسمنت البورتلاندي العادي:

$$f_{cm}(t) = f_{c28} \left(\frac{t}{4 + 0.85 \cdot t} \right)$$

Dr. Ehab Fawzy

٢٨

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(a) زمن المعالجة Time

(٦) المعالجة Curing

- العلاقة بين مقاومة الضغط للخرسانة عند أعمار مختلفة طبقاً للكود المصري:

Age (days)	3	7	28	90	360
Cement type	OPC	1.33	1.00	0.85	0.75
	RHPC	1.80	1.20	1.00	0.90

$$f_{cu}(28) = 2.50 \cdot f_{cu}(3)$$

$$f_{cu}(28) = 1.33 \cdot f_{cu}(7)$$

$$f_{cu}(28) = 0.75 \cdot f_{cu}(360)$$

$$f_{cu}(3) = 0.40 \cdot f_{cu}(28)$$

$$f_{cu}(7) = 0.75 \cdot f_{cu}(28)$$

$$f_{cu}(360) = 1.33 \cdot f_{cu}(28)$$

Dr. Ehab Fawzy

٢٩

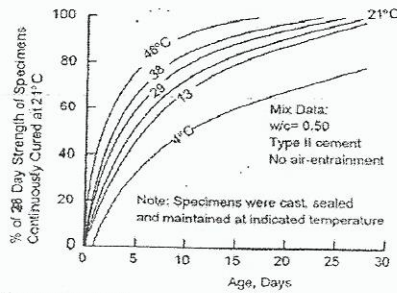
١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(b) حرارة المعالجة Temperature

(٦) المعالجة Curing

- درجة صب ومعالجة الخرسانة تتحكم في معدل إمالة الأسمنت وبالتالي لها تأثير كبير علي كل من معدل اكتساب المقاومة وقيمة المقاومة النهائية.



(a) المعالجة والصب في نفس درجة الحرارة

- كلما زادت درجة الحرارة. كلما زاد معدل الإمالة واكتسبت الخرسانة المقاومة بمعدل أسرع وذلك حتي عمر ٢٨ يوم.

Dr. Ehab Fawzy

٣٠

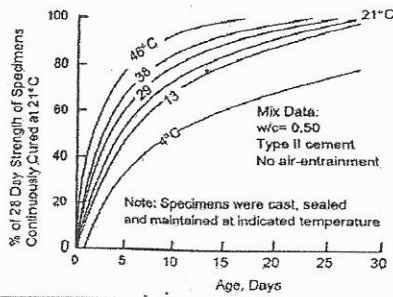
١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(b) حرارة المعالجة Temperature

(٦) المعالجة Curing

(ا) المعالجة والصب في نفس درجة الحرارة



• في الأعمار المتأخرة، عندما يختفي الفرق في معدل الإمالة، يختفي أيضاً الفرق في مقاومة الضغط.

• علي الجانب الآخر، قد تلاحظ أنه كلما زادت درجة حرارة الصب والمعالجة، أدى ذلك إلي نقصان في المقاومة النهائية.

Dr. Ehab Fawzy

٢١

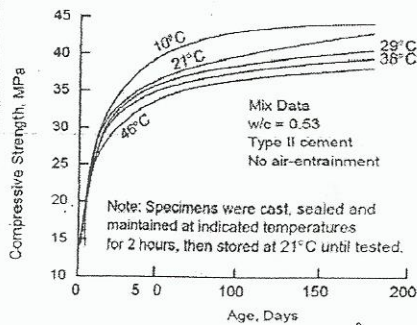
١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(b) حرارة المعالجة Temperature

(٦) المعالجة Curing

(ب) الصب في درجات حرارة مختلفة و المعالجة في درجة الحرارة العادية



• المقاومة المتأخرة (١٨٠ يوم) للخرسانة المصبوبة عند درجات حرارة أقل أعلي منها إذا تم الصب في درجات حرارة أعلي (ال microstructure للعجينة الأسمنتية أكثر انتظاماً).

Dr. Ehab Fawzy

٢٢

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

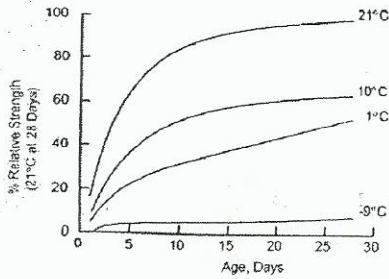
العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(b) حرارة المعالجة Temperature

(٦) المعالجة Curing

(ج) الصب في درجة الحرارة العادية و المعالجة في درجات حرارة مختلفة

Note: Specimens were cast at 21°C and maintained at 21°C for 6 hours, then stored in molds at indicated temperature. w/c = 0.53



Dr. Ehab Fawzy

٢٢

- بصفة عامة، كلما قلت درجة حرارة المعالجة كلما قلت المقاومة عند ٢٨ يوم.
- هذه التحليلات والملاحظات تؤكد علي أن درجة حرارة المعالجة أهم بكثير من درجة حرارة الصب.

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة علي مقاومة الضغط:

(b) حرارة المعالجة Temperature

(٦) المعالجة Curing

(ج) الصب في درجة الحرارة العادية و المعالجة في درجات حرارة مختلفة

$$f_{c-\text{early age (cured in summer)}} > f_{c-\text{early age (cured in winter)}}$$

$$f_{c-\text{ultimate (cured in summer)}} < f_{c-\text{ultimate (cured in winter)}}$$

Dr. Ehab Fawzy

٢٣

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(٢) النضج Maturity (C)

(٦) المعالجة Curing

- بما أن مقاومة الضغط تتوقف على كل من العمر و الحرارة، يمكن القول أن مقاومة الخرسانة دالة في $\Sigma(\text{time interval} \times \text{temperature})$

$$M(t) = \sum (T_a - T_o) \cdot \Delta t \quad [\text{C-hours or C-days}]$$

where:

Δt = Time interval

T_a = Average concrete temperature during the time interval Δt

T_o = The datum temperature and traditionally taken equal to -10°C

Dr. Ehab Fawzy

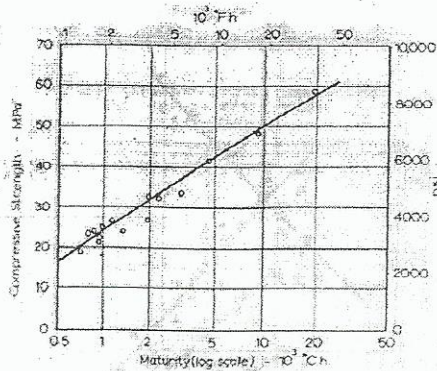
٣٥

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(٢) النضج Maturity (C)

(٦) المعالجة Curing



$$f_c = A + B \cdot \log(M)$$

The same concrete (W/C)

$$\left\{ \begin{array}{l} f_c = f_{c1} \text{ \& } M = M_1 = (3\text{hr} \cdot 35^\circ\text{C}) \\ f_{c1} = A + B \cdot \log(M_1) \\ M = M_2 = (4\text{hr} \cdot 40^\circ\text{C}) \text{ calculate } f_{c2} \\ f_{c2} = A + B \cdot \log(M_2) \end{array} \right.$$

$$f_{c2} = f_{c1} + B \cdot (\log M_2 - \log M_1)$$

Dr. Ehab Fawzy

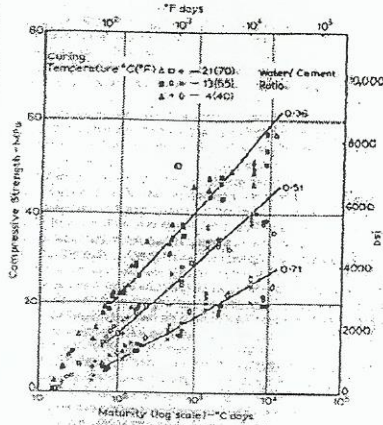
٣٦

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(c) النضج Maturity

(٦) المعالجة Curing



Dr. Ehab Fawzy

- الدفعات المختلفة من نفس الخرسانة ولكن قيمة ال Maturity ثابتة، لها نفس المقاومة بغض النظر عن قيمة الحرارة والعمر كل على حدة.
- معادلة ال Maturity تسمح بحساب ما يسمى بعمر المعالجة المكافئ (equivalent age of curing) عند درجة حرارة معينة:

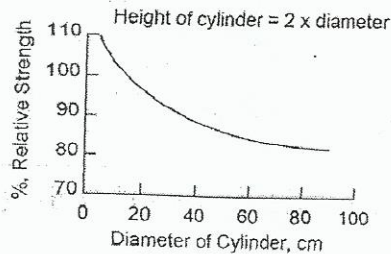
$$t_e = \frac{\sum (T_a - T_o) \cdot \Delta t}{(T_r - T_o)}$$

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(a) حجم العينة Specimen Size

(٧) ظروف الاختبار



$$f_{cu} = 1.25 \cdot f_{cy}$$

Dr. Ehab Fawzy

القيمة الإشرافية لمعامل التصحيح للحصول على مقاومة الضغط للمكعب القياسي المكافئ في حالة اختلاف الشكل أو الأبعاد للعينات الخرسانية المختبرة.

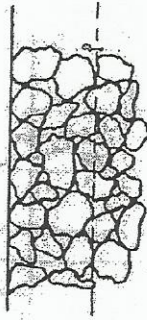
معامل التصحيح	الأبعاد لقالب الاختبار (مم)	شكل القالب
0.97	100x100x100	مكعب
1.00	150x150x150	
1.05	200x200x200	
1.12	300x300x300	
1.20	200x100	أسطوانة
1.25	300x150	
1.30	500x250	

٣٨

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(٧) ظروف الاختبار (ب) العلاقة بين حجم العينة وحجم التركام



- يجب ألا يقل قطر الاسطوانة أو أقل بعد في العينة عن ثلاثة أضعاف المقاس الاعتباري الأكبر للتركام.

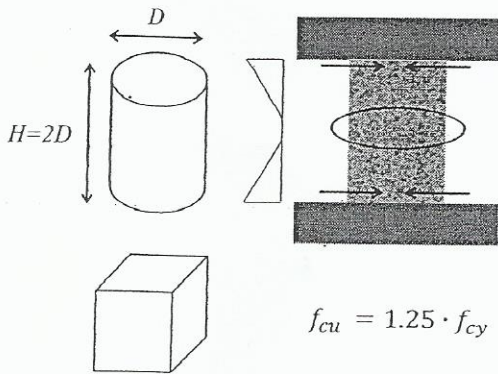
Dr. Ehab Fawzy

٣٩

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(٧) ظروف الاختبار (ج) شكل العينة



- مميزات الاسطوانة مقارنة بالمكعب:

- النتائج أكثر انتظاماً (أقل تأثراً بالاحتكاك بين المكينة وسطحي العينة).
- توزيع الإجهادات على المستويات الأفقية أكثر انتظاماً.
- الاسطوانات يتم صبها و اختبارها في نفس الاتجاه.

Dr. Ehab Fawzy

٤٠

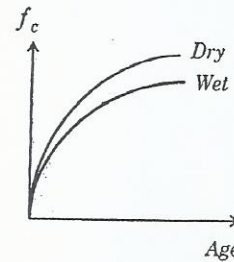
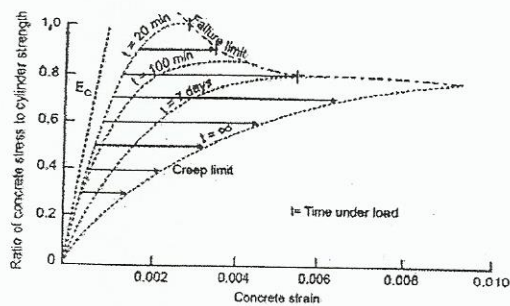
١- مقاومة الضغط Compressive Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة الضغط:

(٧) ظروف الاختبار

(d) محتوى الرطوبة في العينة

(e) معدل التحميل



$$f_{dry} = (1.2 - 1.25) \cdot f_{wet}$$

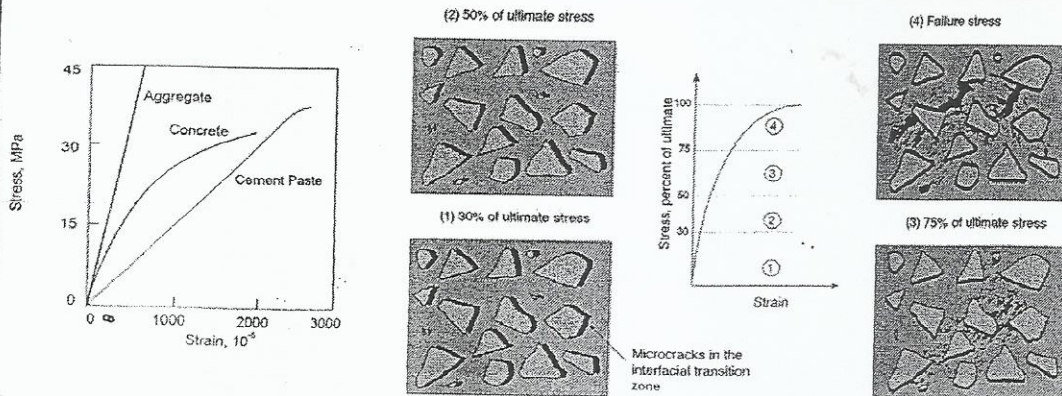
Dr. Ehab Fawzy

٤١

١- مقاومة الضغط Compressive Strength

سلوك الخرسانة تحت تأثير إجهاد الضغط:

(a) متحني الإجهاد والانفعال Stress-Strain Behavior



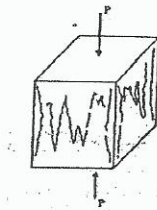
Dr. Ehab Fawzy

٤٢

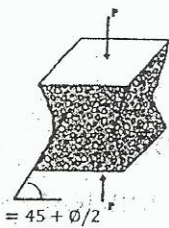
١- مقاومة الضغط Compressive Strength

سلوك الخرسانة تحت تأثير إجهاد الضغط:

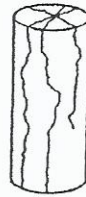
(b) أشكال الفشل Modes of Failure



Splitting
(Weak concrete)



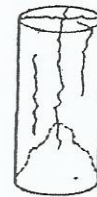
Shearing
(Strong concrete)



Splitting



Shearing
(Cone Failure)



Shearing
(Cone and Split)

Dr. Ehab Fawzy

٤٣

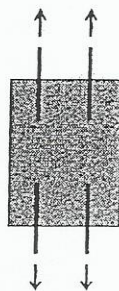
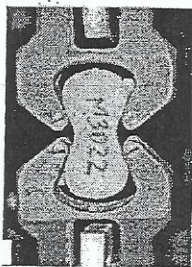
٢- مقاومة الشد Tensile Strength

الأهمية

- تحديد الحمل الذي يسبب حدوث الشروخ (المنشآت المائية).
- أرضيات المطارات وبعض أرضيات الطرق يتم تصميمها على أساس مقاومة الانحناء.

طرق اختبار مقاومة الشد

(a) اختبار الشد المباشر Direct Tension Test



- من الصعب تفادي الإجهادات الثانوية بسبب الكلابات.
- صعوبة التأثير بقوي الشد مع الحفاظ على محورية التحميل.

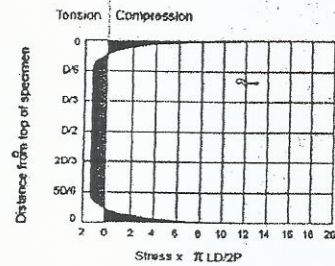
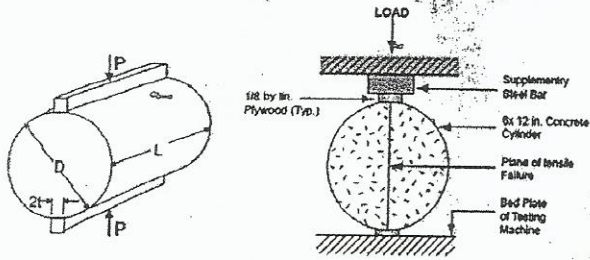
Dr. Ehab Fawzy

٤٤

٢- مقاومة الشد Tensile Strength

طرق اختبار مقاومة الشد

(b) اختبار الإنشلاق Splitting Tension Test



$$f_t = \frac{2P}{\pi \cdot D \cdot L}$$

where:

f_t = Tensile strength
 P = Compressive failure load
 l = Length of the cylinder
 D = Diameter

$$f_t(\text{split.}) = (1.10 - 1.15) \cdot f_t(\text{direct})$$

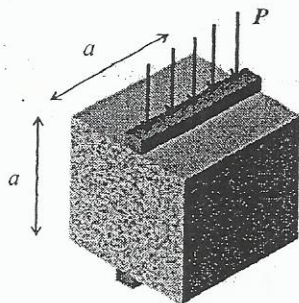
Dr. Ehab Fawzy

٤٥

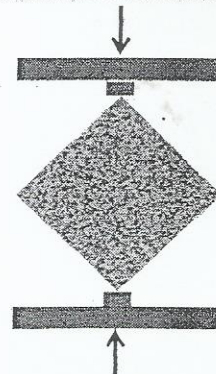
٢- مقاومة الشد Tensile Strength

طرق اختبار مقاومة الشد

(b) اختبار الإنشلاق Splitting Tension Test



$$f_t = \frac{2P}{\pi \cdot a^2}$$



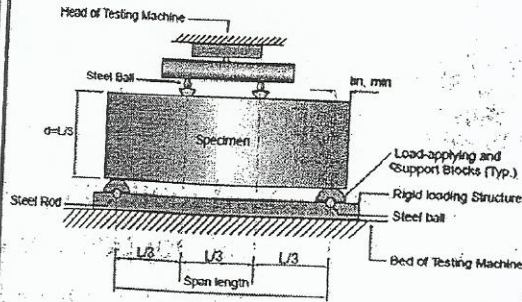
Dr. Ehab Fawzy

٤٦

٢- مقاومة الشد Tensile Strength

طرق اختبار مقاومة الشد

(١) اختبار الانحناء Flexural Strength Test



where:

$$f_b = \frac{M}{I} \cdot Y$$

f_b = Flexural strength (modulus of rupture)
 M = Failure bending moment
 I = Second moment of inertia
 Y = half of the beam thickness ($d/2$)

$$f_b = \frac{P \cdot L}{b \cdot d^2}$$

Two point loading

$$f_b = \frac{3P \cdot L}{2b \cdot d^2}$$

One point loading

- معايير الكسر يعطي مقاومة شد للخرسانة أكثر من القيمة الفعلية بحوالي ٥٠ إلى ١٠٠٪.

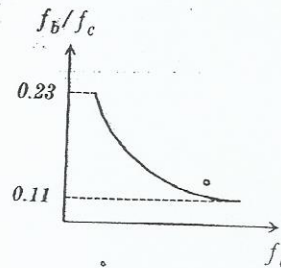
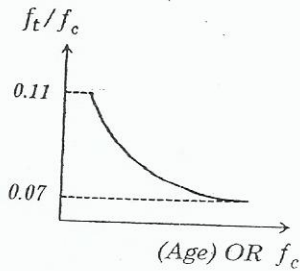
Dr. Ehab Fawzy

٤٧

٢- مقاومة الشد Tensile Strength

العلاقة بين مقاومة الشد ومقاومة الضغط

- Direct tension < Splitting tension < Flexural tension
- According to the Egyptian code of practice (ECP 203-2007), the uniaxial tensile strength of concrete is taken equal to:
 - 0.85 of the tensile strength from splitting test.
 - 0.60 modulus of rupture from flexural test.

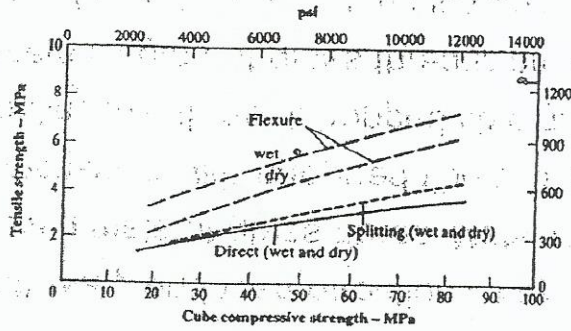


Dr. Ehab Fawzy

٤٨

٢- مقاومة الشد Tensile Strength

العلاقة بين مقاومة الشد ومقاومة الضغط



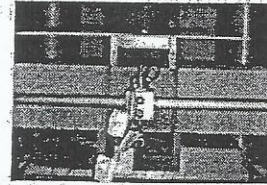
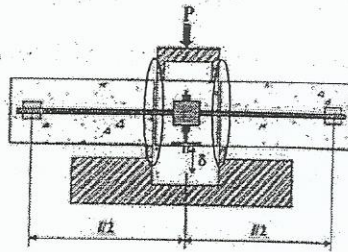
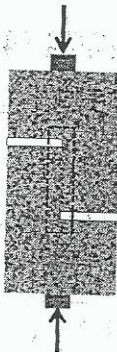
- محتوى الرطوبة في الخرسانة يؤثر على العلاقة بين مقاومة الانحناء والضغط.

Dr. Ehab Fawzy

٤٩

٣- مقاومة القص Shear Strength

- نادراً ما توجد حالة القص الخالص في المنشآت الخرسانية عملياً.



$$q_{cu} = \frac{P_{max}}{2 \cdot d_{eff} \cdot b_{eff}}$$

- قد وجد أن مقاومة القص حوالي ٢٠٪ من مقاومة الضغط.

• According to ECP:

$$q_{cu} = 0.24 \sqrt{\frac{f_{cu}}{\gamma_c}} \quad N/mm^2$$

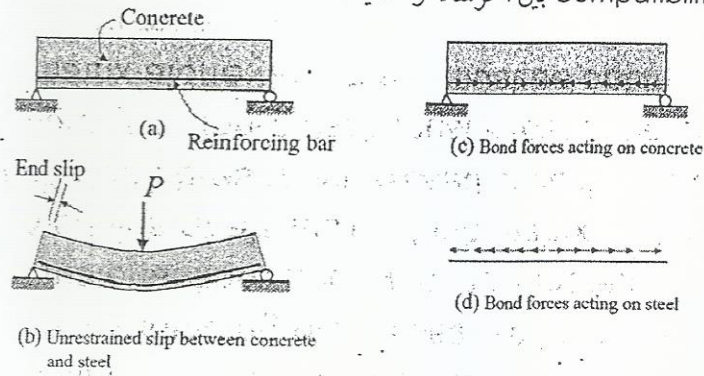
Dr. Ehab Fawzy

٥٠

٤- مقاومة التماسك Bond Strength

مقدمة

- يقوم تصميم المنشآت الخرسانية المسلحة علي مبدئين أساسيين :
- التماسك الكامل بين الخرسانة والحديد ولا وجود للانزلاق.
- التوافق Compatibility بين الخرسانة والحديد.



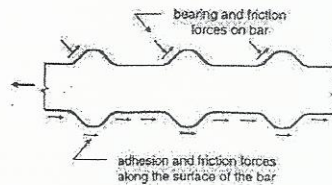
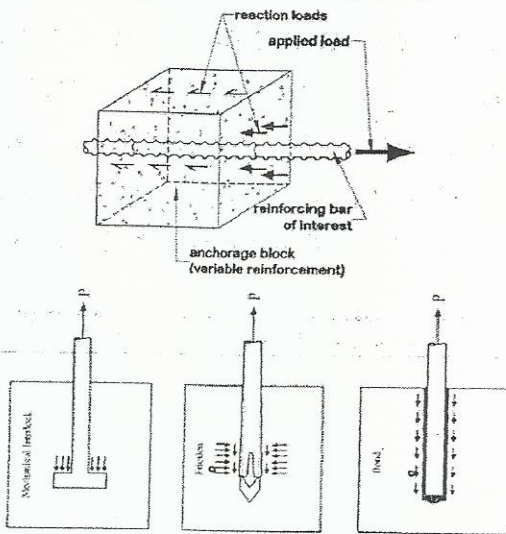
Dr. Ehab Fawzy

٥١

٤- مقاومة التماسك Bond Strength

مقدمة

- ينشأ التماسك بين الحديد والخرسانة من :
- التماسك Adhesion
- الاحتكاك Friction
- الارتكاز Mechanical Interlocking
- إنكماش الخرسانة (ثانوي).

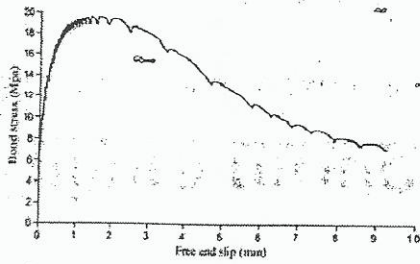


Dr. Ehab Fawzy

٥٢

٤- مقاومة التماسك Bond Strength

مراحل التماسك



- يمكن تقسيم المراحل التي يمر بها التماسك حتي الانهيار إلى:
- عند الإجهادات المنخفضة، لا يحدث أي انزلاق بسبب الاحتكاك.
- مع بداية السخ في الحركة، ينهار التماسك ويتبقى الاحتكاك والارتكاز.
- في النهاية تنهار الخرسانة إما باقتلاع السخ Pull-out أو بانفلاق الخرسانة Splitting.

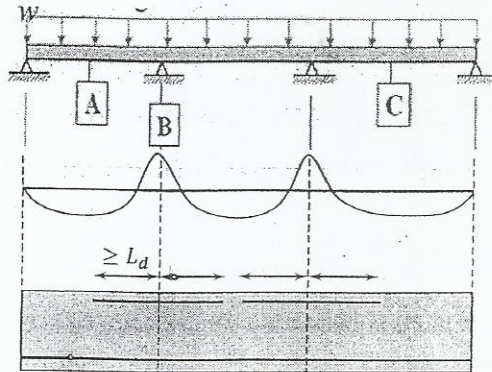
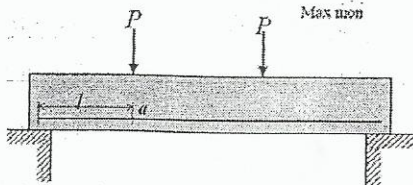
Dr. Ehab Fawzy

٥٣

٤- مقاومة التماسك Bond Strength

طول التماسك (l_d) Development Length

- لنقل القوة بكفاءة بين الحديد و الخرسانة، لابد أن يمتد الحديد داخل الخرسانة طول مناسب (طول التماسك) الذي بواسطته تنتقل القوة من الخرسانة إلى الحديد.



Dr. Ehab Fawzy

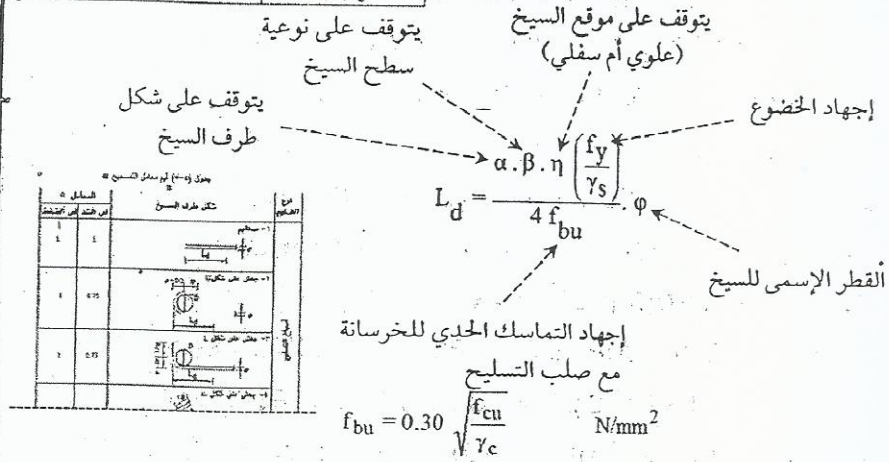
٥٤

٤- مقاومة التماسك Bond Strength

جدول (٤-٤) قيم معامل التصحيح β

نسبة التماسك	في الشد	في الشد
0.70	1.00	0.75
0.45		

Development Length (l_d) طول التماسك



Dr. Ehab Fawzy

٥٥

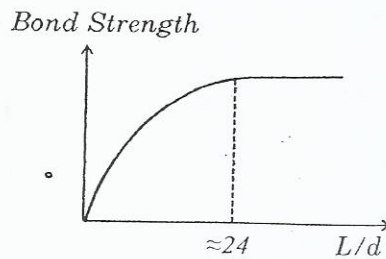
٤- مقاومة التماسك Bond Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة التماسك

(a) التحزيم Confinement

- وجود تسليح عرضي عمودي على التسليح الرئيسي يزيد من مقاومة التماسك.

(b) الطول المدفون Embedment Length



Dr. Ehab Fawzy

٥٦

٤- مقاومة التماسك Bond Strength

العوامل المؤثرة على مقاومة التماسك

- بالإضافة إلى كل العوامل السابقة :
- كلما زاد الغطاء الخرساني زادت مقاومة التماسك.
- وجود بعض الصدد الخفيف يزيد من مقاومة التماسك.
- دهان التسليح ببعض الدهانات أو الإيبوكسيات يؤثر سلباً على التماسك.
- ارتفاع درجة حرارة الخرسانة تقلل التماسك (٢٠٠ إلى ٣٠٠ درجة تقلل التماسك إلى النصف تقريباً).