المحاضرة التاسعة عشر

مقاومة الخرسانة ، مقدمة

مقاومة الخرسانة : Strength of Concrete

تعرف مقاومة بصورة عامة على انها قابلية المادة على تحمل الاحمال الخارجية مهما كان نوعها بدون حدوث الفشل.

الخرسانة كما تم ذكره سابقا مادة مركبة تتالف من ثلاث اطوار ومقاومتها بشكل عام هي مجموع ماتبديه هذه الاطوار من قدرة على تحمل الحمل الخارجي لذلك فان مقاومة الخرسانة تنتج بشكل رئيسي عن:

- مقاومة عجينة او ملاط الاسمنت (ماء + اسمنت) وفي بعض الاحيان تحتوي على مادة مالئة (Filler) ويكون على نوعين اما مادة مالئة غير فعالة كمسحوق اللايمسنون مثلا ($Limestone:CaCO_3$) او مادة مالئة فعالة كمسحوق السليكا فيوم (Silica fume).
- قوة التلاصق بين عجينة الاسمنت والركام (المنطقة البينية :Interfacial Transition Zone ITZ).
- مقاومة الركام.

- أي الاطوار الثلاث هي اضعف ولماذا؟ وما هي مقترحاتك لزيادة مقاومتها.

- عند تعرض الخرسانة الى الخارجية تتولد اجهادات داخلها تسبب الفشل ومن اهمها: - اجهادات الانضغاط Compression stresses واجهادات الشد Tensile stressesواجهادات القص Shear stresses
- الخرسانة تعتبر مادة قصيفة (Brittle Material) أي ان مقاومتها للشد ظعيفة جدا فمجرد تعرضها الى حمل شد ستتشقق بسرعة بدون اعطاء مرونة عالية فمجرد حدوث انفعال مقداره (0.001-0.005) سيحدث الفشل (ماهو الانفعال؟).

مقاومة الانضغاط Compressive strength

- معظم المنشئات الخرسانية تصمم على انها تتحمل قوى الانضغاط بشكل كبير.
- توجد علاقات مباشرة او غير مباشرة مع بقية انواع المقاومة للخرسانة كمقاومة الشد او القص او الصدم او غيرها لذلك فان مقاومة الانضغاط هي المعيار الرئيس في تحديد نوعية الخرسانة (لماذا) وتعتمد المقاومة بعمر 28 يوم في التصميم الانشائي.
- تستخدم نماذج خرسانية مختلفة لقياس مقاومة الانضغاط منها المكعبات حسب المواصفات البريطانية والاسطوانات حسب المواصفات الامريكية وبقياسات مختلفة حسب المواصفة المعتمدة .
- بشكل اساسي تفحص هذه النماذج بجهاز او ماكنة الفحص بتسليط حمل انضغاط منتظم لحين حدوث الفشل بنسبة تحميل ثابتة (0.2 to 0.4 MPa/sec) وكما مبين في الاشكال التالية :

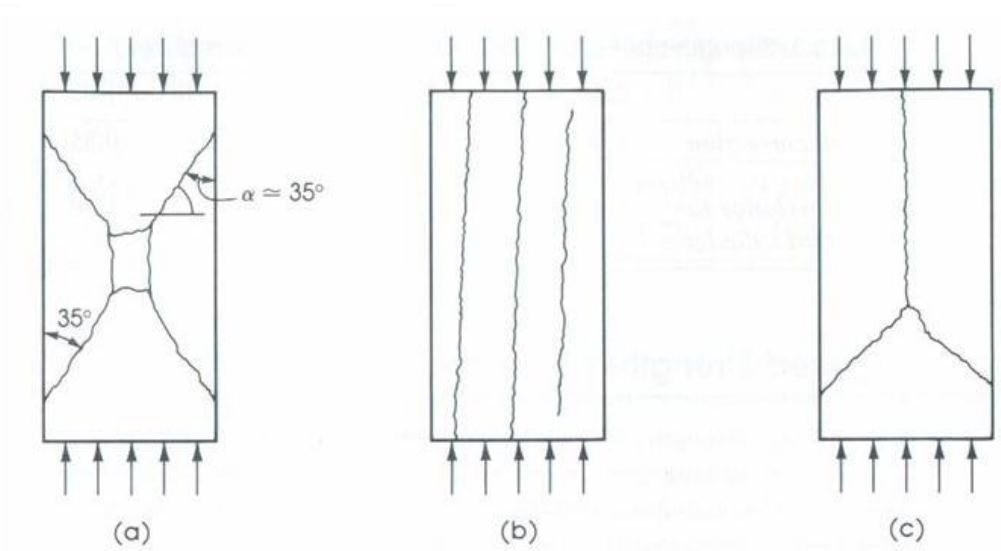
شكل يوضح فحص مقاومة الانضغاط لمكعب و اسطوانة

- ماهو تاثير معدل التحمبل ولماذا يحدد في فحص مقاومة الانضغاط.

- تستخرج مقاومة الانضغاط بقسمة حمل الفشل بالنيوتن على المساحة المعرضة للانضغاط بالمليمتر المربع.

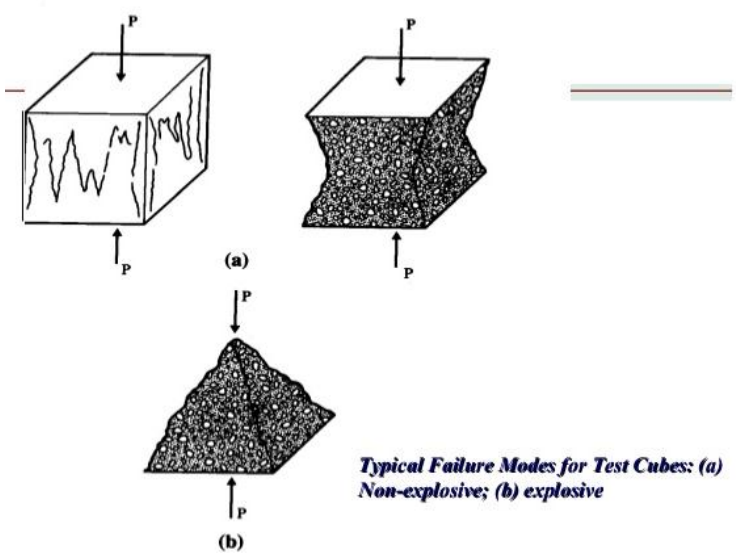
σ (Compressive Strength MPa) = **P** (Failure/Maximum load N)/(cross section area **A** mm^2)

- التشقق تحت حمل الانضغاط عادة يكون موازي لحمل الفشل اما شكل الفشل فيعتمد على مدى تولد قوى القص بين لوحات جهاز الفحص وسطح النموذج ويكون على ثلاثة اشكال : فشل قص (a) ، فشل انشطار (b) او فشل قص وانشطار معا (c) وكما في الشكل :



شكل التشقق تحت احمال الانضغاط

- الشكل التالي يوضح اشكال الفشل تحت حمل الانضغاط لمكعبات غير محطمة (a) ومكعب محطم (b)



Typical Failure Modes for Test Cubes: (a) Non-explosive; (b) explosive

اشكال الفشل المقبولة تحت حمل الانضغاط

- تعطي المكعبات عادة مقاومة انضغاط اعلى من الاسطوانات (حيث تكون النسبة بينهما تقريبا 87 %) .... لماذا (مالاسباب برايك؟)
- تعطي النماذج الجافة مقاومة اعلى من النماذج الرطبة ... لماذا (مالسبب برايك؟)

ملاحظة : تفاصيل تجربة قياس مقاومة الانضغاط للخرسانة واجراءها عمليا (تفاصيل صب وانضاج النماذج وفحصها) تعطى في مختبر تكنولوجيا الخرسانة

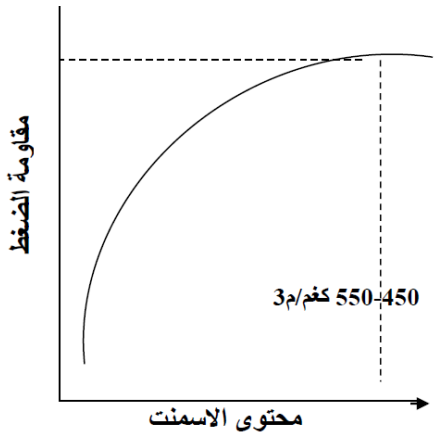
العوامل المؤثرة على مقاومة الانضغاط الخرسانة Factors affecting concrete compressive strength

بما ان مقاومة الانضغاط هي المعيار الرئيس لتحديد نوعية الخرسانة سيتم التطرق الى اهم العوامل المؤثرة عليها وهذه العوامل توثر بصورة او باخرى على بقية انواع المقاومة وايضا ويمكن تلخيصها كالتالي:

1- خواص المواد المكونة (الاسمنت ، الركام ، الماء ، المضافات ان استخدمت).
2- نسب الخلط وكمياتها (كمية الماء بصورة رئيسة).
3- المعالجة والعمر و درجة الحرارة.

الأسمنت هو المكون الرئيسي الفعال الذي تتوقف عليه مقاومة الخرسانة وأهم العوامل المؤثرة في الأسمنت هي محتواه ، نوعيته ، نعومته وتركيبه الكيميائي.

المحتوى: بشكل عام ومن ناحية المحتوى فأن مقاومة الخرسانة تزيد بزيادة محتوى الأسمنت وذلك لحد محتوى معين يقل عنده معدل الزيادة في المقاومة وربما تقل بسبب زيادة احتمال التعرض التشققات المرافقة للانكماش الذي يحصل في عجينة الاسمنت .وهذا المحتوى يختلف باختلاف نسب مكونات الخلطة وكذلك يتوقف على وجود أو عدم وجود إضافات كيميائية أو معدنية .وعموما فقد وجد أن المحتوى الأقصى للأسمنت الذي يعطى أعلى مقاومة ضغط للخرسانة يقع بين 450 و 550 كغم/م ٣ كما موضحة في الشكل:



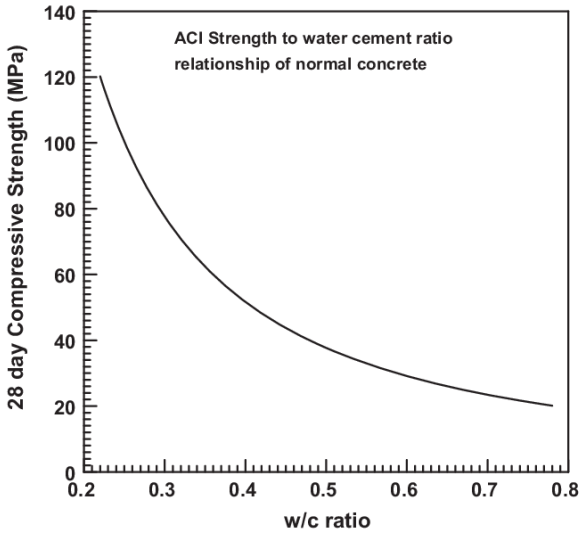
تاثير محتوى الاسمنت على مقاومة الانضغاط

النوعية ، النعومة والتركيب الكيميائي : لقد تم توضيح تاثير نوعيات الاسمنت، نعومته وتركيبه الكيميائي على المقاومة المطلوبة في محاضرات سابقة.

الركام : يشكل الركام الحجم الاكبر في الكتلة الخرسانية لذلك فان له تاثير مباشر على مقاومة الخرسانة. فنوعية الركام و خزواصه تلعب دورا كبيرا في تحديد مقاومة الخرسانة كالنوع والشكل والملمس السطحي . تحدد مقاومة الركام مقاومة الخرسانة وخاصة في الاعمار المتاخرة اذ لايمكن انتاج خرسانة مقاومتها اعلى من مقاومة انضغاط الركام المكون لها.

الماء او w/c ratio : ان زيادة نسبة الماء الى الاسمنت في الخرسانة تؤدي الى نقصان مقاومة انضغاطها اي ان العلاقة بين نسبة الماء الى الاسمنت والمقاومة هي علاقة عكسية. وذلك لان الزيادة في كمية الماء داخل الخلطة الخرسانية هي المسؤل الرئيس عن توليد الفراغات بعد تبخر الماء عن تصلبها. بشكل عام تزداد مقاومة الانضغاط بتخفيض كمية الماء ولكن الى حد معين يكون التاثير بعده عكسيا اذ انه اذا تم تخفيض الماء بنسبة كبيرة قد يودي ذلك الى عدم توفر الماء لحصول الاماهة الكلية للاسمنت وكذلك عدم توفر الماء الكافي لتجانس الخليط الخرساني . الشكل

التالي يوضح تاثير نسبة الماء الى الاسمنت على مقاومة انضغاط الخرسانة الاعتيادية حسب ACI. الا ان هذا التاثير يختلف حسب اختلاف نوعية الخرسانة.



تاثير نسبة الماء الى الاسمنت على مقاومة الانضغاط بعمر 28 يوم

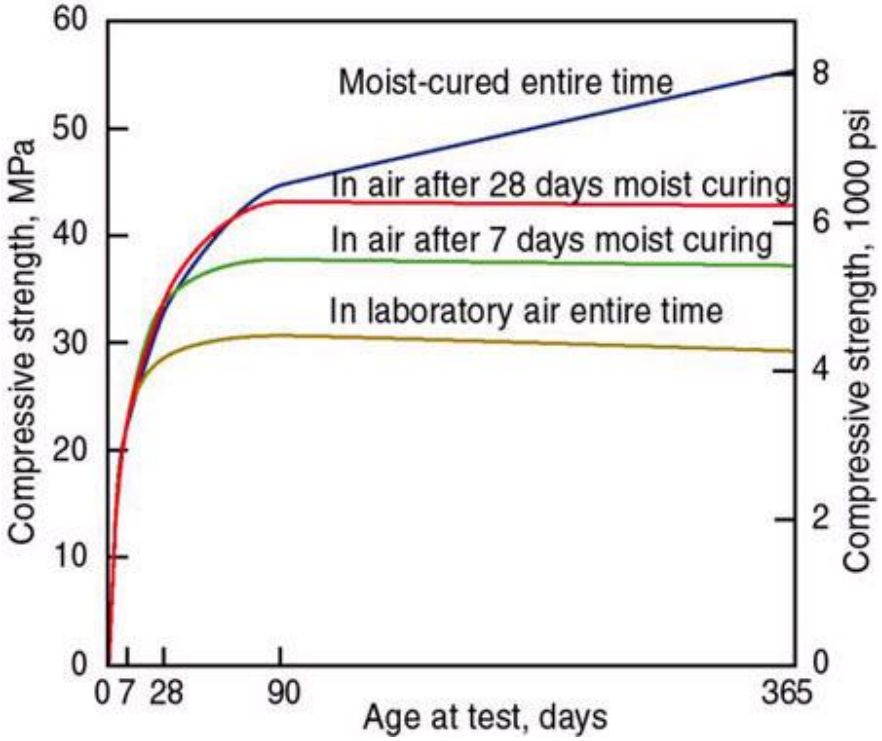
المضافات: تتاثر مقاومة الخرسانة بشكل كبير باستخدام او عدم استخدام المضافات الخرسانية وقد تم توضيح تاثير الانواع المختلفة للمضافات على المقاومة المبكرة والنهائية للخرسانة في محاضرات سابقة (المضافات الخرسانية). اغلب المضافات الخرسانية تؤدي الى زيادة مقاومة انضغاط الخرسانة عدا عن المبطئات التي تقلل من المقاومة المبكرة فقط.

المعالجة:

إن زيادة مقاومة الخرسانة مع الزمن (Strength gain) يتوقف بدرجة كبيرة على الظروف المحيطة بها وكذلك على ظروف المعالجة من حيث مدتها ودرجتي الرطوبة والحرارة .فكلما زادت فترة معالجة الخرسانة في الرطوبة كلما زادت مقاومتها .كما أن الخرسانة المعالجة في الهواء تظهر مقاومة أقل كثير اً من الخرسانة المعالجة بالماء سواء كان ذلك بالغمر او الرش او الترطيب. الهدف الرئيس من المعالجة هو توفير الماء لغرض اكتمال عمليات الاماهة .

العمر (الوقت): تزداد مقاومة الخرسانة بزيادة عمرها خاصة اذا عولجت بصورة صحيحة والسبب في ذلك يعود الى تطور عمليه الاماهة مع الوقت. الا ان تطور مقاومة انضغاط الخرسانة في الاعمار المبكرة يكون كبيرا مقارنة بالاعمار المتاخرة. للخرسانة الاعتيادية ، حوالي 65% من مقاومتها تتطور بعمر 7 ايام و حوالي مابين 90-85 % خلال 28 يوم (Fc). لذلك فان المقاومة في هذا العمر عادة ما تعتمد كمقاومة للخرسانة لغرض التصميم

الانشائي وحساب كميات حديد التسليح المطلوبة. الشكل التالي يوضح تاثير العمر وطريقة المعالجة على مقاومة انضغاط الخرسانة :



تاثير العمر وطريقة المعالجة على مقاومة انضغاط الخرسانة

هناك علاقات تجريبية كثيرة تربط بين تطور مقاومة الانضغاط والعمر الا ان هذه العلاقات تعتمد بصورة رئيسة على نوعية الخرسانة المنتجة وبشكل عام وللخرسانة الاعتيادية يمكن تخمين مقاومة الخرسانة لاي عمر من الاعمار باستخدام العلاقة التجريبية وفقا لـ ACI Committee 209 :

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

$f_{cm}(t)$: mean compressive strength at t time

f_{c28} = mean compressive strength at 28 day time

درجة الحرارة : تزداد مقاومة الخرسانة بازدياد درجة الحرارة وذلك بسبب زيادة سرعة تفاعلات الاماهة ومن الممكن انتاج خرسانة ذات مقاومة مبكرة عالية باستخدام المعالجة بالبخار Steam curing. مع ملاحظة ان زيادة درجة حرارة المعالجة اهم من زيادة درجة حرارة الخليط الخرساني في تطور مقاومة الانضغاط. اذ ان زيادة درجة حرارة الخليط وخاصة في الاجواء الحارة قد تؤدي الى تاثيرات عكسية (ا ذ قد تسبب في زيادة خطور الانكماش

اللدن وبالتالي تشقق الخرسانة في مرحلتها الطرية). لذا يجب الحفاظ على درجة حرارة مناسبة للخليط الخرساني عند الصب في الاجواء الحارة.

- ماهي الاجراءات الواجب اتخاذها عند صب الخرسانة في الاجواء الحارة في الموقع؟ ماهي مقترحاتك بهذا الصدد؟