

الفصل الخامس

التشققات اللدنية والحرارية

Plastic and thermal cracking

المقدمة 1.5 Introduction

الخرسانة المسلحة مادة مركبة حيث تتحمل الأحمال ، وخصائص التشوّه يتم تحديدها بواسطة التصرف أو السلوك بين العناصر (elements) ، الحديد والخرسانة بالإضافة إلى المكونات المنفردة لهذه العناصر ، خصوصاً تلك الخاصة بالخرسانة .

الخرسانة في كل الأعمار ، تملك مقاومة شد واطئة مقارنة بمقاومة الأنضغاط . تحت الحمل ، فإن أنفعال الشد (tensile strain) ينشأ في منطقة الشد . أنفعال الشد هذا يؤخذ من قبل حديد التسليح لكن يتعدّر أجيّابة بصورة منتظمة لكن يمكن السيطرة على حدوث التشققات . أن ذلك يأخذ في الحسبان كجزء من عملية التصميم الإنسائي ، حيث عرض الشقوق يكون محدد بواسطة مساحة مناسبة من التسليح مناسبة للتأثيرات الجوية التشغيلية .

أنفعال الشد وأمكانية التشقق والتي تشمل الأنحناء (flexural shear) ، القص (shear) ، الالتواء (torsion) ، فشل التثبيت (anchorage failure) ، إلى آخره ، لا تحدث فقط بسبب التحميل الإنساني لوحده . الشقوق الشعرية (micro-crack) سوف تتطور في الخرسانة عند السطح البيني بين الحديد من جهة وعجينة الأسمنت والخرسانة من جهة أخرى ، بالرغم من أنه لا يمكن مشاهتها إلا بالمجهر ، وأن ذلك يعود إلى حدوث الأنكماش وغيره . هذا النوع من التشقق لا تتم تغطيته في هذا الموضوع . الشقوق يمكن أن تتطور في السطوح غير المصقوله للخرسانة غير الناضجة وذلك يعود إلى النقصان السريع في الحجم في السطح (حدوث الأنكماش اللدن ، plastic shrinkage) . عندما تتضخم الخرسانة بصورة متعاقبة ، فإن الجزيئات الأكثف تتجه لتنتقل فوق المواد الممتدة مثل حديد التسليح ، مسببة تمزق المساحة القريبة (الهطول اللدن ، plastic settlement) . في هذه الحالات فإن حديد التسليح لا يأخذ بصورة عامة أي أنفعال شد ، بالرغم من أن ذلك يؤثر على شكل تطور الشقوق . الشقوق يمكن أن تكون مصاحبة لدورات الحرارة ، أما من أمثلة الخرسانة في الأعمار المبكرة أو من اكتساب حرارة الشمس (سبب حراري) ، حيث تقييد الحرارة يمنع التمدد أو التقلص لذلك يحدث أنفعال الشد هنا يقوم حديد التسليح بتكييف أو ملائمة قوى الشد ويؤثر على شكل الشقوق . أشكال أخرى من الشقوق تحدث أيضاً من التأثيرات الكيميائية (تفاعل الركام - القلوي ، ASR ، الأنجماد الذوبان ، صدأ حديد التسليح) .

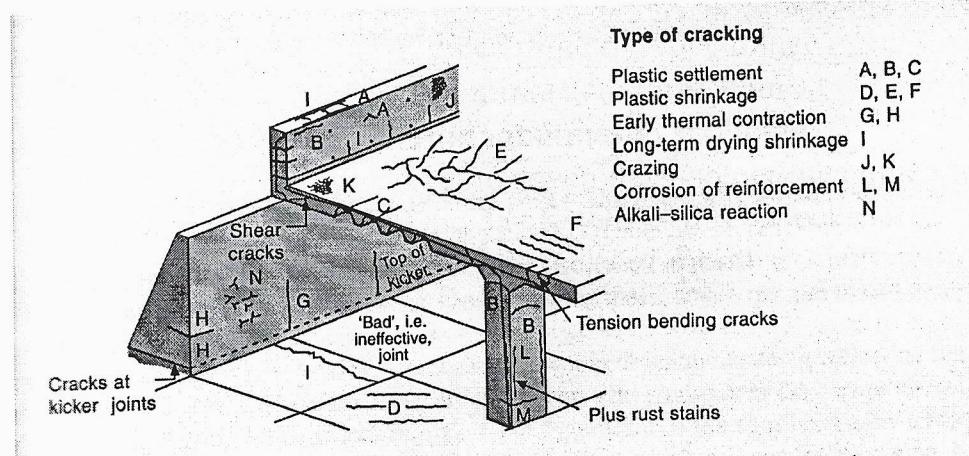
أن وجود الشقوق يمكن أن يؤثر على التصرف والديمومة للعنصر الخرساني . أن الشقوق يمكن أن تقلل قابلية المقطع للقص أو توفر ممر ، الذي بواسطته ، الرطوبة ، الأوكسجين ، ثاني أوكسيد الكاربون ، الكلوريدات إلى آخره ، يمكن أن تنفذ إلى داخل الخرسانة وتحيط حديد التسليح ومع الوقت ربما ينبع عنه تأكل حديد التسليح (reinforcement corrosion) . الشقوق وشكل الشقوق (crack patterns) لها ميزات مختلفة اعتماداً على السبب الداخلي .

أنواع مختلفة من الشقوق تحدث عند أوقات مختلفة في حياة العنصر الخرساني ، لاحظ الجدول (1.5) . بالإضافة إلى تمييز شكل الشق ، فإن معرفة الوقت الذي يحدث فيه الظهور الأول للشق يكون مفيداً في تشخيص السبب الداخلي .

جدول (1.5) الأوقات النموذجية لظهور الأعطال (الشقوق)

Type of defect	Typical time of Appearance
Plastic settlement cracks	Ten minutes to three hours
Plastic shrinkage cracks	Thirty minutes to six hours
Crazing	One to seven days-sometimes much longer
Early thermal contraction cracks	One day to two or three weeks
Long-term drying shrinkage cracks	Several weeks or months

الجمعية الأمريكية (Concrete Society, 1992) توفر معلومات حول أغلب الأشكال الشائعة للشقوق الأساسية في الخرسانة . الشكل (1.5) وهو مأخوذ من تقرير فني ، يوضح أغلب أنواع الشقوق التي من المحتمل أن تحدث في حياة المنشأ الخرساني .



شكل (1.5) امثلة للشقوق الأساسية للمنشا المفترض

القرارات التالية لها علاقة رئيسية بالحركة في العمر المبكر لكن سوف نناقش أيضاً تأثيرات الأمد الأطول (longer-term) لأنكماش الجفاف .

2.5 التشقق اللدن Plastic cracking

التشققات اللدنة تحدث في الساعات الأولى القليلة لصب الخرسانة ، قبل أن تكتسب مقاومة شد كافية لتقاوم أجهادات الشد الداخلية . بسبب أن الشقوق اللدنة تتكون في خرسانة غير متصلبة لذلك فهي تختلف بصورة رئيسية عن الشقوق الحرارية أو الشقوق الأخرى .

شقوق ال�بوط اللدن تحدث نموذجياً في المقاطع الأعمق مثل الجدران ، الأعمدة والعتبات العميقه . شقوق الأنكماش اللدن تكون أكثر انتشاراً على البلاطات السطحية المكسوقة . أن المفتاح الرئيسي لفهم آلية كل من نوعي التشقق اللدن هو النضح (bleeding) .

النضح يمكن وصفه على أنه الحركة النسبية نحو الأعلى للماء ضمن الخرسانة الطرية مصحوباً بالحركة نحو الأسفل للجزيئات التي تكون معلقة في نسيج الخرسانة (concrete matrix) . أن ذلك مسبب بواسطة وجود المكونات الصلبة التي تمنع حركة الماء عندما تهبط تحت تأثير وزنها النوعي . النضح يعتبر نوع من أنواع الترسيب ، الذي يكبح أو يوقف عندما تبدأ الجزيئات بتكوين الجسور فتقطع آلية حركة إضافية نحو الأسفل ، وكذلك عندما عجينة الأسمنت تتميئ وتتصلب . أنها لذلك لا تعتمد فقط على مكونات الخليط وأبعاد المقطع لكن أيضاً على الظروف المحيطة . أن العامل الرئيسي في قدرة الخليط على النضح هو تدرج وقوام الخليط . الخلطات التي تتضخم بصورة متكررة تكون بصورة عامة خشنة وغير متماسكة ، أي تحتوي مواد ناعمة غير كافية . يجب ملاحظة أن أغلب أنواع الخرسانة تعاني بعض النضح لكن ذلك لا يكون مؤثراً على الرص غير التام .

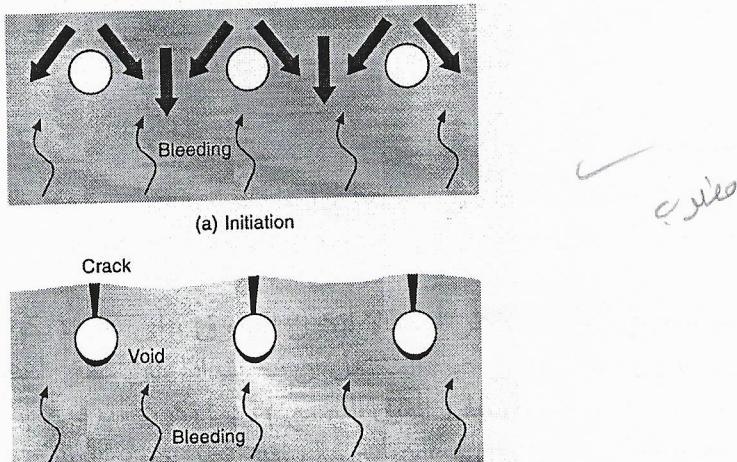
3.5 شقوق المطول اللدن Plastic settlement cracks

شقوق المطول اللدن تكون خلال (30) دقيقة الى (6) ساعات من صب الخرسانة وأن ذلك يعتمد على الظروف المحيطة ومميزات الخليط.

1.3.5 ميكانيكا المطول اللدن Mechanism of plastic settlement

إذا حدث المطول للمواد الصلبة في الخرسانة بصورة حرة بدون تقيد فسوف يقل العمق والحجم للخرسانة المصبوبة لكن بدون حدوث تشغق. على أية حال ، أي تقيد أو اعقة لهذه الحركة ، على سبيل المثال ، وجود حديد التسلیح ، يمكن أن ينبع عنه شقوق المطول . عند استمرار المواد الصلبة بالهطول مقارنة بتلك الممنوعة عن الحركة الإضافية نحو الأسفل ، فإن الخرسانة تتكسر نهاياتها ويظهر التمزق في السطح عندما يتم أجبارها على الشد . الشقوق ربما تتطور في فضاء منتظم وأن ذلك يعكس تصميم حديد التسلیح . هذه الشقوق تحدث غالباً متزامنة وفي نفس المكان مع الفجوات المتكونة تحت القصبان كما مبين على الشكل (2.5) . في هذا الشكل النقطة (a) تبين البداية والنقطة (b) تبين الحال بعد بضع ساعات . الفجوات التي على شكل هلال ربما تكون في البداية مملوءة بماء النضح . أن منطقة الربط بين القصبان والخرسانة سوف تقل .

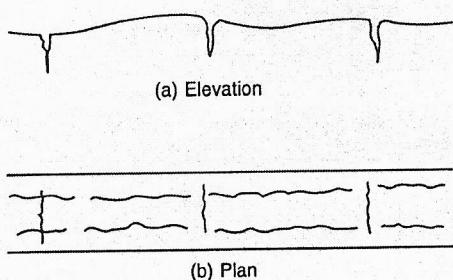
حدوث التقيد الأقرب للسطح ، يكون الأكثر احتمالاً لتكون الشقوق ، أي عندما يكون الغطاء (cover) أقل ، فإن هناك فرصه أكبر للتشغق . شقوق المطول من غير المحتمل أن تحدث إذا كان عمق الغطاء إلى حديد التسلیح أكبر بكثير من ثلث عمق المقطع . سرعة الرياح ونسبة الخلط (الميل للنضح) ربما تكون متوقعة أن تؤثر في خطورة التشغق . عدد الشقوق يتاثر بواسطة حدوث التقيد (restraint) . على أية حال ، فإن قطر حديد التسلیح وقابلية التشغيل للاستهلاك لها تأثير قليل



شكل (2.5) تكون سقوف المطول اللدن (البداية والحالة النهائية)

2.3.5 الظهور المرئي Visual appearance

أن أغلب التقيد الشائع في البلاطات يأتي من التسلیح . الشقوق تحدث على السطح العلوي وعادة تتبع الخط الأعلى للقصبان ، معطياً سلسلة من الشقوق المتوازية ، ربما توجد أيضاً شقوق أقصر في الزوايا اليمنى فوق القصبان تنشأ بالاتجاه المضاد . الشقوق يكون عرضها الطبيعي (1 ملم) وعادة تمتد من السطح إلى القصبان ، لاحظ الشكل (3.5) والشكل (4.5) . المطول ربما ينتج عنه تمويج مرئي على سطح الخرسانة ، مع النقاط العالية على قصبان التسلیح العليا



الشكل (4.5)
قطع يبين التمويج

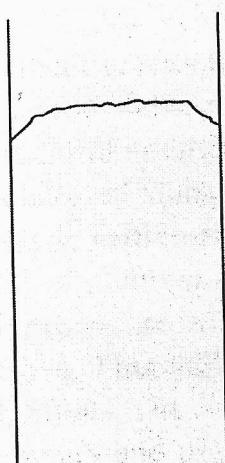
الشكل (3.5)
منظر المخطط العام للشقوق التي تتبع شكل القصبان

في بعض الحالات حيث القصبان في الطبقة العليا لحديد التسليح متقاربة ، فإن الطبقة السطحية الكلية للخرسانة ربما تعلق على حديد التسليح بينما الخرسانة في المنطقة السفلية تبدأ بالهطول . أن ذلك يمكن أن يؤدي إلى عدم استمراره أفقية تحت القصبان ، ينتج عنها فقدان للربط ومع الزمن سوف يتراقص غطاء الخرسانة الذي يحمي حديد التسليح من التآكل .

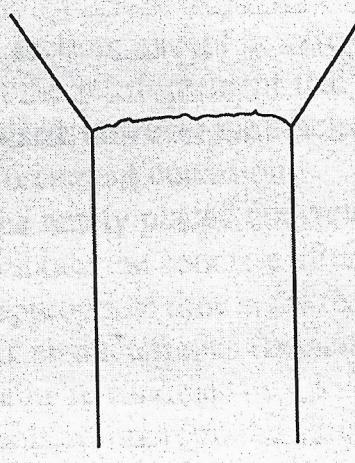
على خلاف الشقوق في الخرسانة الصلبة ، التي تحدث بسبب التحميل الزائد مثلا ، فإن هذه الشقوق تتكون في الأعمدة المبكرة جدا وتمر خلال عجينة الاسمنت ولا تمر خلال جزيئات الركام . أن الممر يكون لذلك متعرج أكثر . هذا النوع من الشقوق يمكن أن يكون ذو تأثير جدي عندما تمر طوليا مع حديد التسليح ويصل إلى الحديد ، حيث يبطل مفعول المقاومة للتآكل التي يتم توفيرها بواسطة الخرسانة .

الشقوق الدقيقة يمكن أن تحدث في المساحات الضيقة (النحيفه) التكوين مثل الأعمدة . الخرسانة بين الشقين ربما تتقوى . الهطول تحت الخرسانة المقيدة ينتج عنه شقوق ، تكون بصورة عامة متطابقة ومترادفة مع جهة الربط ، لاحظ الشكل (5.5) في بعض الأوقات يكون من الممكن أن شقوق الهبوط اللدن (plastic settlement cracks) تتكون على الوجه العمودي حيث يقوم حديد التسليح بتقييد الجريان الحر للخرسانة ضمن القالب . في مثل هكذا حالات يكون من الممكن أن الشقوق تتكون بين خطوط أمتدادات (حديد التسليح) .

الخرسانة يمكن أن تُسند بواسطة وجوه القوالب . أن ذلك يسبب تقييد للخرسانة بين الأعضاء المتصلة وأن ذلك واضح خصوصا عند تغير المقطع بسبب الهطول المتقاول ، فالخرسانة في المقطع الأعمق (deeper section) تترسب أكثر مما في المقطع الضحل (القليل العمق) وينتج عن ذلك بعض الشقوق . أن ذلك يمكن ملاحظته في المنطقة الفاصلة بين الأعمدة ذات الرأس القمعي (plain column) والعمود العادي (mushroom) ، وفي البلاطات الطويلة الضيقة حيث يحدث هطول أكثر في الجذع (web) مما هو في الجناح النحيف (thin flange) ، لاحظ الشكل (6.5) والشكل (7.5) . أن الشقوق ربما تمر خلال الجناح وتبدو مشابه لشقوق الأنكماس . أنها يمكن أن تحدث في موقع أخرى مثلا تحت فضاء القالب . الشقوق في الأعمدة ذات الرؤوس الفطرية (mushroom) تكون أفقية بصورة عامة . هذه الشقوق يكون عرضها الطبيعي (3 ملم) ويمكن أن تعبر المقطع بالكامل .



الشكل (5.5)

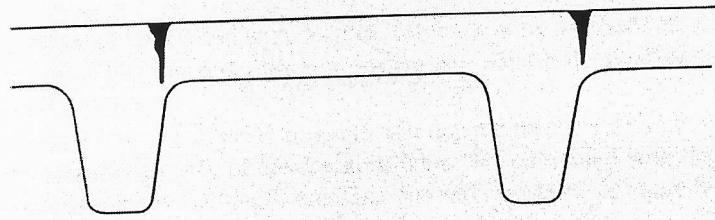


الشكل (6.5)

التقوس قرب قمة العامد، التشقق يتتطابق مع جهتي الربط

الشقوق عند تغير المقطع إلى عمود ورأس فطري

إذا كانت القاعدة أو (الأساس) أو أية مادة أخرى ، التي تصب عليها الخرسانة لها قابلية امتصاص عالية (تربة جافة مثلا) فإن الهطول يكون ضخما . ومرة ثانية فإن الشقوق تتبع ترتيب حديد التسليح .



الشكل (7.5) الشقوق عند تغيير المقطع الى بلاطات طويلة وضيقة

3.3.5 منع حدوث تشغقات الهطول اللدن Prevention of plastic settlement cracking

أن التقيدات التي تسبب تشغقات الهطول اللدن متصلة في المنشآت وبصورة عامة لا يمكن تلافيها . التغيرات المفاجئة في عمق المقطع يمكن تلافيها في مرحلة تصميم التفاصيل لكن تقليل الخطر الرئيسي يكون ممكنا من خلال تصميم الخلطة والتماسك المناسب لتقليل النضج . في الحالات البسيطة فإن ذلك يمكن الوصول إليه عن طريق زيادة محتوى الرمل . على أية حال ، يوجد تحديد لهذه الحالة التي فيها النضج سوف يزداد . الرمل النظيف يسهل حركة الماء ، ولذلك فإن مزجة مع الرمل غير النظيف وذو النعومة العالية (أقل من 150 مايكرون) يمكن أن يكون مفيدة .

اتجاه ميل الخرسانة للنضج الواسع يعتمد على خواص الأسمنت . النعومة تكون عامل مسيطر ، من المحتمل بسبب أن الجزيئات الأنعم تتمي بسرعة أكبر بحيث تقلل سرعة الترسيب . الخلطات الغنية تكون أقل ميلا للنضج من الخلطات القفيرة . إضافة المواد البوزولانية ربما تساعد أيضا في تقليل محتوى الماء وكذلك تضاف إلى المواد الناعمة . محتوى الحبيبات المترسبة لخبث الأفران الفاخة العالية (ggbs) يجب تقديره لأنه يبطئ وقت التجمد وبذلك يسمح للنضج أن يستمر فترة أطول . مسافات الهواء المدخل يمكن استعمالها ، فالهواء المدخل يوازن أو يثبت النسيج (matix) ويقلل حركة الماء . نفس التأثير يكون مطلوب لألياف البولي بروبلين (polypropylene) ضمن الخرسانة .

4.3.5 الإجراءات العلاجية Remedial measures

شقوق الهطول اللدن من النادر أن تمر خلال المقطع كله ، ما عدا في بعض الحالات المشابهة للبلاطات الطويلة الضيقة ، وأن السبب الرئيسي لذلك هو أنها تتوقف عند حديد التسلیح الذي يسبب التقید . التكامل الأنثائي لا يكون لذلك في خطر ، على أية حال ، الشقوق يجب تغطيتها وختمتها (sealed) خصوصا على البلاطات لتقليل خطر صدأ حديد التسلیح .

عند ظهور شقوق الهطول اللدن في الخرسانة المصبوبة حديثا ، فإن الطريقة الأكثر فعالية للتخلص من حدوثها هي إعادة هز الخرسانة بعد تكون الشقوق لكن قبل حدوث التجمد الابتدائي . أن تخمين الوقت المناسب يكون من مسؤولية المهندس المشرف . أن ذلك سوف يتغير اعتمادا على خواص الخلطة (نوع الأسمنت) والظروف المحيطة . الخرسانة يجب أن تكون قادرة على أستعادة السيولة بواسطة استخدام المهزاز . بصورة عامة فإن الوقت المناسب والأهتزاز المناسب يمكن استخدامه فقط لتحسين الوظيفة ، حيث لا تتم الأعاده الكلية للربط تحت القصبان . عملية الدك ربما تساعد في رص السطح لكن من غير المحتمل أن تزيل الفجوات تحت القصبان .

معالجة الشقوق في الخرسانة القديمة المتصلبة سوف تعتمد على الظروف الخدمية ، أي درجة التعرض وقساوة الشقوق . التشغقات يمكن معالجتها عن طريق الحقن بالراتنج (resin) (وهي مادة صمغية) ، بالرغم من أنه في بعض المراحل فإن تهيئة العمق الكلي وأرجاعه إلى وضعه السابق ربما تكون ضرورية .

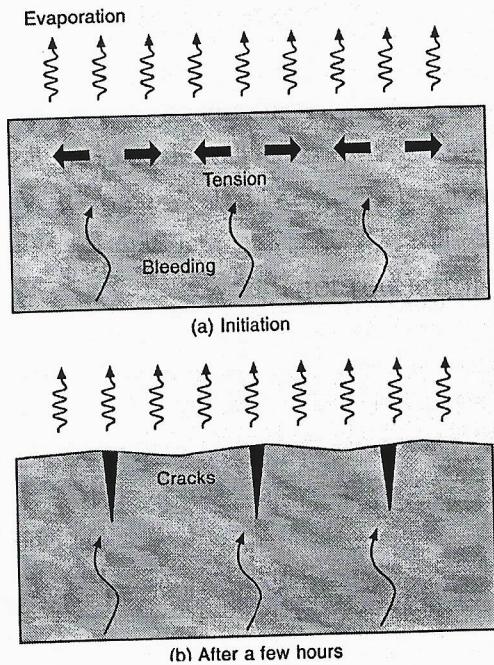
4.5 شقوق الأنكماش اللدن Plastic shrinkage cracks

شقوق الأنكماش اللدن يجب أن لا تخلط مع شقوق الأنكماش الجاف (drying shrinkage cracking) التي ربما تحدث في مراحل متأخرة كثيرا ، لاحظ الجدول (1.5) . هذه الشقوق تكون بصورة عامة بين ساعة وست ساعات بعد الصب بالرغم من أنه بصورة عامة لا يمكن مشاهدتها إلا في اليوم التالي . على عكس شقوق الهطول ، فإن شقوق الأنكماش اللدن لا تتأثر مباشرة بواسطة قرب حديد التسلیح من سطح الخرسانة أو غطائها .

1.4.5 آلية (ميكانزم) الانكمash اللدن Mechanism of plastic shrinkage

الخرسانة الطرية مباشرة بعد صبها تكون لها مقاومة قليلة . الماء يمكن أن يتحرك بصورة حرفة نسبيا حيث ما يزال محلول عالق (fluid suspension) . الماء ، الذي يعتبر المركب الأقل كثافة في الخليط ، يميل للحركة نحو الأعلى باتجاه السطح بينما المواد الأثقل تتحرك إلى الأسفل خلال عملية الرص . أن حركة الماء نحو الأعلى تسمى بالنضح (bleeding) .

الماء يمكن أن يفقد عند سطح الخرسانة اللدن بواسطة التبخر الذي ينتج عنه تقلص يعرف بالأنكمash اللدن . الأنكمash اللدن هو بصورة رئيسية فعل أو تأثير فيزيائي وسببه قوى الشد السطحي (surface tension forces) . عند جفاف السطح ، فإن أشكال هلالية تتكون بين الجزيئات الصلبة ولذلك يبدأ فعل قوى الشد الشعري (capillary tension forces) . قيمة الأنكمash تتأثر بكمية الماء المفقودة من السطح التي يتم السيطرة عليها بواسطة الحرارة ، الرطوبة النسبية للمحيط وسرعة الرياح . سرعة فقدان الماء لا تكون ضرورية لتخمين حدوث الأنكمash اللدن ، بالأحرى تستعمل لتقدير استقرارية الخليط . الشيء الأساسي هو ، إذا كانت كمية الماء المفقودة بالتبخر أكبر من سرعة النضح سيكون هناك تقلص صافي (net reduction) للحجم . الطبقة السطحية للخرسانة تحاول الأنكمash لكنها تكون مقيدة بواسطة الطبقات التحتية (underlying layers) التي لم تخضع لنفس التقلص في الحجم . التقييد يمكن أن يكون متوفرا جزئيا بواسطة حديد التسلیح والاحتکاك عند سطح القالب أو الأساس . أن نتيجة التقييد هو تطور أجهادات الشد (tensile stresses) في الطبقة السطحية . عندما تكون الخرسانة مازالت في الحالة اللدن وتملك مقاومة قليلة جدا ، تتطور الشقوق عند السطح . أن هذه الظاهرة مشابهة لأنكمash الجفاف في الطين . هذه الظاهرة مبينة على الشكل (8.5) ، حيث الجزء العلوي يبين البداية والجزء السفلي يبين الظروف بعد بضع ساعات .



الشكل (8.5) عملية تشغقات الانكمash اللدن (البداية والحالة النهائية)

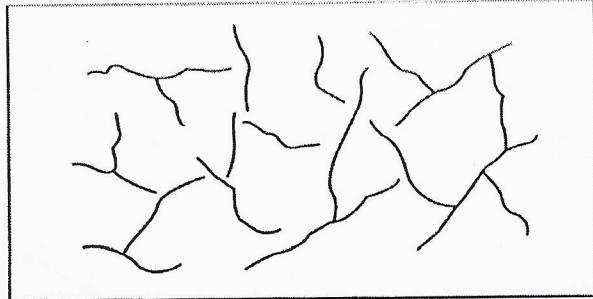
المضائق تغير بصورة كبيرة تأثير القوى الكيميائية بين المواد الأسمنتية والجزيئات الناعمة ضمن الخرسانة . السلوك الريولوجي (rheological behavior) بالإضافة إلى زمن التجمد يمكن أن يتغيران بصورة مميزة . لذلك يكون من المهم تقييم تصميم الخلطة بالنسبة لقدرتها على النضح ووقت التجمد طبقاً لتصميمها . الخلطات التي يستعمل فيها المواد المقللة للماء مثل ربما تتصفح أقل ولذلك تكون ميالة لأنكمash اللدن .

Visual appearance of cracks

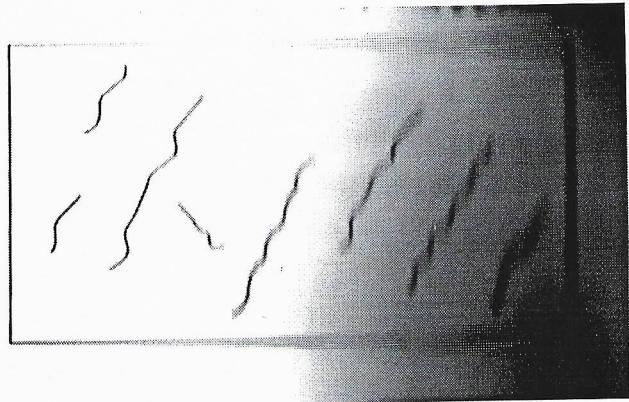
2.4.5 الظهور المرئي للشقوق

شقوق الانكمash اللدن تميل لأن يكون عرضها لحد (3 ملم) وتتغير في الطول من (50 ملم) لحد (3 م) . بصورة عامة فإن عمقها يكون في حدود (20 إلى 50 ملم) تتمد بصورة مستدقّة (شريطيا) نحو الأسفل في الخرسانة . في بعض الحالات فإنها ربما تمتد خلال العمق الكلي للجزء الإنساني . شكل الشقوق يظهر بصورة عامة بزاوية مقدارها تقريريا

(45) باتجاهه الصب وتسير بصورة متوازية أحدها مع الآخر ، لاحظ الشكل (9.5) . المسافة بين الشقوق تكون متغيرة لكن ربما تكون بين متر واحد ومترين . الشقوق تكون عشوائية على شكل خارطة كبيرة ، الشكل (10.5) . هذه الأشكال المختلفة ربما تكون متأثرة بواسطه الأتجاه الذي فيه تم تنفيذ عمليات الإنماء أو عن طريق الحالات الفيزيائية مثل حالات الرص العميق . من الملاحظات المميزة لشقوق الانكمash اللدن هي أنها لا تمتد إلى حافة البلاطة حيث أن لها القدرة على الارتداد بدون أي أعاقة . هذه الشقوق يمكن أن تكون في كل من الخرسانة المسلحة وغير المسلحة .



الشكل (10.5)
مخطط الشقوق التي على شكل خريطة



الشكل (9.5)
مخطط الشقوق القطرية

3.4.5 منع حدوث الانكمash اللدن Prevention of plastic shrinkage

أن السيطرة على سرعة التبخر يعتبر المفتاح لمنع هذا النوع من التشققات . أن هذا هو دالة لجفاف (الرطوبة النسبية) الهواء وسرعة الرياح . الرطوبة النسبية تتأثر بالحرارة لذلك وبصورة عامة سوف يكون هناك سرعة تبخر أعلى في اليوم الحار منه في اليوم البارد . أن زيادة سرعة الرياح ، على سبيل المثال ، (8 km/h) سوف يكافئ تأثير الجفاف عندما تزداد الحرارة إلى (10°C) . لمنع الانكمash اللدن يجب أن تكون هناك إجراءات معالجة فعالة لتقليل التبخر . أن ذلك سوف يكون فعالاً كلما كان أسرع ، مثلاً خلال الساعة الأولى للصب . أن استعمال ألياف (polypropylene) ، مع الخرسانة يكون مطلوباً لتحسين النسيج (matrix) لتقليل خطر تمزق السطح . على أية حال ، يجب عدم نسيان المعالجة المبكرة المناسبة .

شقوق
عاجز باران بيكليو به طعام يفتحهم انكمash

4.4.5 الأجراءات العلاجية Remedial measures

شقوق الانكمash اللدن نادراً ما تمر خلال المقطع كله ، ما عدا في بعض البلاطات الضيقة أو العناصر المشابهة لذلك . عندما تتكون الشقوق في الخرسانة حيث لا تزال العجينة في الحالة اللدنة ، فإنها تمر خلال العجينة وحول حبيبات الركام وبصورة عامة فإن عرضها لا يتجاوز (0.5 mm) . وجهي الشق يبين متشابكين حول الركام ، مقيدان الحركة العمودية ، على خلاف تلك التي تمر خلال الركام . التكامل الأنثاثي الأعتيادي ليس عرضة للخطر ، ما عدا في حالة كون الشقوق قريبة لقوى القص الموضعية ، مثل رأس العمود . أن ذلك يمكن تعويضه بـاستعمال الحقن ذو الزوجة الواطئة (low-viscosity resin injection) . بصورة عامة فإن الشقوق يجب معالجتها أي ختمها (sealed) ، خصوصاً على → البلاطات لتقليل خطر تأكل حديد التسليح . الطريقة الأفضل للمعالجة هي رش الشقوق بالأسمنت الجاف أو الحقن الرطب قبل أن تبدأ الأتربة بسد الفتحات . أن ذلك يجب أن ينفذ بأسرع ما يمكن لأعطاء فرصة أكبر للمعالجة الذاتية (autogenous healing) . في بلاطات الطرق (pavement slabs) ، حيث فتحات الشقوق تتجاوز (0.5 mm) فيجب استعمال الحقن الواطئي الزوجي قبل السماح بـاستعمال الطرق من قبل المركبات ، وخلاف ذلك (خصوصاً في البلاطات غير المسلحة) فيجب إجراء تصليح للعمق كله أو التبديل الكلي للبلاطة وذلك اعتماداً على على خطورة الشق .

الشقوق التي تقوم بتمزيق أو تخريب الخرسانة القديمة المتصلبة فإنها تعتمد على الظروف الخدمية مثل درجة التعرض وخطورة التشقق . هذه الشقوق يمكن معالجتها بالرغم من أنه في بعض الحالات يحدث تحطيم للعمق الكلي وأن أعادته إلى وضعه الأصلي يكون ضروري .

5.5 الشقوق الأخرى في الخرسانة اللدنة Other cracks in plastic concrete

الشقوق يمكن أن تتكون في الخرسانة اللدنة بأي مؤثرات خارجية ، أغلب هذه المؤثرات الخارجية الشائعة هي الحركة العرضية للقالب . عند تحرك القالب حالما تجمد الخرسانة ولكن قبل أن تكتسب أي مقاومة شد مميزة لمقاومة هذه المؤثرات ، فإن العجينة ربما تتمزق وذلك بالتصاق بعض الخرسانة بال قالب . إذا تم أدارك ذلك بصورة مبكرة كافية فأن الخرسانة يمكن إعادة هزها (revibrated) لغلق الشقوق . اعتمادا على قساوة او خطورة منطقة التشقق فربما يتطلب ذلك أزالتها وأعادة صبها .

الشققات اللدنة نادراً ما تقود إلى ترميم كل المنشآت . إذا تم أصلاحها في اليوم التالي أو تم حقنها ، قبل أن تدخل الأتربة وتغلق الفتحات ، فإن ذلك يساعد على المعالجة الطبيعية .

6.5 تشققات التقلص الحراري المبكرة Early thermal contraction cracks

1.6.5 آلية (ميكانزم) التقلص الحراري

تفاعلات الأماهة بين الأسمنت والماء تحدث في الخرسانة ناتجاً عنها حرارة . كمية الحرارة المتولدة والسرعة التي تولدت بها تعتمد على نوع الأسمنت ونوعه . حرارة الذروه (peak temperature) تعتمد على نوع الأسمنت ومحتواه ، الحرارة الأبدائية ، الظروف المحيطة ، الشكل الهندسي للعنصر الأنثاشي وشكل القالب . درجة المحيط العالية تُسرع التفاعل ناتجاً عنه اكتساب سريع للحرارة . البلاطات تملك مساحة تعرض سطحية واسعة التي من خلالها يمكن أن تفقد الخرسانة الحرارة . الأعضاء الأنثاشية التي تملك مساحة مقطع عرضي واسعة يمكن أن تطور حرارة داخلية أعلى من تلك التي تملك مقطعاً أصغر ، حيث فقدان الحرارة من الجهة العليا والسطح الجانبية يكون له تأثير أعظم في هذه الحالة . القالب الخشبي يوفر عزل أكثر من القالب الحديدي ولذلك يمكن الوصول إلى حرارة الذروة الأعلى بأسعمال القالب الخشبي .

عندما تسخن الخرسانة فإنها تتمدد عند وجود أي تقييد لها التمدد ، على سبيل المثال من الصب القديم ، فإن أجهادات المقاومة سوف تولد في الخرسانة الحديثة . هذه الأجهادات تكون واطنة ، لأن معامل المرونة للخرسانة الحديثة يكون واطناً ، وبصورة هذه الأجهادات يتم تخفييفها عن طريق الزحف . حالما يتم الوصول إلى حرارة الذروة (peak temperature) ، على سبيل المثال (8 إلى 12 ساعة) بعد الصب (بالرغم من أنها تكون أكثر للمقااطع السميكة جداً) ، فإن الخرسانة تبدأ بالبرودة ويقل حجمها . أن التقييد للتقلصات الحرارية هذه سوف ينتج عنه تطور أجهادات الشد . عند هذه المرحلة فإن الخرسانة تكون أكثر نضوجاً وتملك قابلية أقل لتخفييف الأنفعال بواسطة الزحف . معامل يونك (Young's modulus) يكون أعظم ولذلك الأجهادات المتولدة تكون أعلى . الخرسانة ما تزال نسبياً ضعيفة في الشد والأجهادات المُسببة بواسطة التقييد الحراري والتي لها علاقة بالتقلص يمكن أن تسبب التشقق .

2.6.5 تحديدات الحرارة Limiting temperature

إذا تم تقييد التقلصات الحرارية ، فإن التشققات سوف تحدث ، عندما يتجاوز الأنفعال المقيد (أو الأجهاد المطبق) سعة الخرسانة ، أي إذا :

$$T_1 \alpha kR > \epsilon_{ult}$$

حيث

T_1 = drop between peak temperature after casting and ambient temperature ($^{\circ}\text{C}$)

α = coefficients of thermal expansion (per $^{\circ}\text{C}$)

k = modification factor

R = restraint factor

ϵ = ultimate tensile strain capacity of concrete

المواصفة البريطانية (BS 8110) تأخذ قيمة (0.8) لـ (k) ونوصي بالقيمة لـ (R) للسلسلة المختلفة من الأنشاءات كما في الجدول (2.5). قيم التقيد (حسب المواصفة BS 8110)

جدول (2.5) قيم التقيد الحراري

Pour configuration	Restraint factor R
Thin wall cast onto massive concrete base	0.6 to 0.8 at base 0.1 to 0.2 at top
Massive pour cast onto blinding	0.1 to 0.2
Massive pour cast onto existing mass concrete	0.3 to 0.4 at base 0.1 to 0.2 at top
Suspended slab	0.2 to 0.4
Infill bays, i.e. rigid restraint	0.8 to 1.0

توجد أمكنتين لمنع حدوث التقلصات الحرارية المبكرة وهي :

1. عن طريق تحديد التغير في درجات الحرارة
2. إذا لم يتم السيطرة على الشقوق عن طريق تحديد التغير في درجات الحرارة ، فيجب توفير حديد تسليح كافي للسيطرة على التشققات .

بلغة تلafi الشقوق ، فإن المواصفة البريطانية (BS 8110) تقول ، أن الخبراء بينوا أنه بتحديد التفاوت في درجات الحرارة عند (20°C) في خرسانة ركام الحصى ، فإنه يمكن تلafi التشقق ، وتعطي التحديدات في التفاوت في درجات الحرارة كما مبين في الجدول (3.5) .

جدول (3.5) التغيرات المقترحة لتحديد درجات الحرارة لتفادي التشققات حسب (BS 8110)

Aggregate type	Limiting differential temperature (°C)
Gravel	20.0
Granite	27.7
Limestone	39.0
Sintered pfa (lightweight aggregate)	54.6

في الحالات الشديدة مثل المقاطع الواسعة جداً أو مع درجات المحيط العالية ، ربما يكون من الضروري تبريد الخرسانة الطرية .

3.6.5 السيطرة على التشققات control of cracking أن المبدأ الرئيسي للسيطرة على التشقق هو توفير حد أدنى لحدid التسليح بحيث قابلته للشد تتجاوز تلك التي للخرسانة عندما تتشقق ، عليه حيث

$$\rho_{crit} = f_{ct} / f_y$$

ρ_{crit} = ratio of area of steel reinforcement to area of concrete
 f_{ct} = tensile strength of the immature concrete
 f_y = characteristic strength of the reinforcement

للسيطرة على عرض الشق الأقصى فإن نسبة الحديد المطلوبة تكون

$$\rho = (kRT_1\alpha \theta) / (3 W_{max})$$

حيث

θ = bar diameter

W_{max} = maximum crack width

التفاوت في درجات الحرارة في الأعضاء السميكة ربما يسبب التشققات أيضاً. عندما تبرد الطبقة السطحية وتتقلص فأن الجزء الوسطي أي اللب (core) لا تزال درجة حرارته عالية. أن ذلك يسبب التقيد ولذلك ربما تتكون التشققات في السطح. عندما تصبح درجة الحرارة منتظمة خلال العضو الأنثائي، فإن التشققات السطحية تغلق عادة. في الأعضاء الأنثائية الواسعة، سوف يكون هناك ميل لسلسلة من التشققات تقطع الأتجاه القصير في السطح المستوي والواجهة ومن الممكن أن سلسلة متتممه تحدث في الأتجاه الطويل. التشققات تمثل لتكون أعرض عند الزوايا لأن الحرارة تفقد من الوجهين في هذا المكان.

4.6.5 الظهور المرئي Visual appearance

7.5 الامتصاص Curling

الأمتصاص (curling) يحدث نتيجة للتفاوت في انكمash الجفاف بين الوجه العلوي والسفلي للعضو الأنثائي. للبلاطات المستندة على الأرض (ground-supported slabs)، فإن فقدان الرطوبة الرئيسية يكون بأتجاه واحد وهو السطح العلوي. أن ذلك ينتج عنه تدرج في الرطوبة خلال البلاطة التي تسبب الأمتصاص (curl) للبلاطة. الأجهاد المطبق على السطح (f_{cur}) يمكن التعبير عنه العلاقة التالية

$$F_{cur} = 0.5 E [\Delta\varepsilon / (1-\nu)]$$

حيث

E = modulus of elasticity

ν = poisson's ratio

$\Delta\varepsilon$ = differential strain between the top and bottom of the slab

ان قيمة ($\Delta\varepsilon$) النموذجية تكون $[1.5-2.0 \times 10^{-6} \text{ per mm}]$ من سمك البلاط

8.5 التجزع (التصدع) Crazing

1.8.5 آلية التجزع Mechanism of crazing

التجزع (التصدع الخفي) يمكن أن يحدث في كل من السطوح التي تكون باتصال مع قالب وذلك عند وجود تغير في الخواص القريبة من السطح أو عند وجود تدرج عالي في محتوى الرطوبة. أن نوع قالب يكون مهم، حيث أنه يؤثر على نفاذية سطح الخرسانة المتكونة. سطوح قالب الحديدي أو البلاستيكى الناعمة التي تكون ذات نفاذية واطئة يبدو أنها تزيد من حدوث التجزع.

التجزع يمكن أن يظهر خلال بضعة أيام من الصب لكن يمكن أن يحدث في أي وقت تحت الظروف الجوية المناسبة، مثلاً الفترة التي فيها الرطوبة منخفضة تؤدي إلى الانكمash. التجزع يمكن أن يحدث في الأيام المبكرة لعمر المنشأ لكن التشققات لا يمكن رؤيتها إلا بعد أن يتشكل عليها الغبار. بسبب أن شقوق التجزع تكون ضيقة وغير عميقه فإنها لا تكون مؤذية للديمومة.

2.8.5 الظهور المرئي Visual appearance

شقوق التجزع تكون ضيقة (0.1 ملم) وتتصل فيما بينها لتكون حلقات مغلقة . مساحة المضلعل تكون عادة ($75-10$ ملم) وعمق الشقوق يكون عادة بضع ملليمترات .

9.5 شقوق أنكماش الحفاف طويل الأمد Long-term drying shrinkage cracks

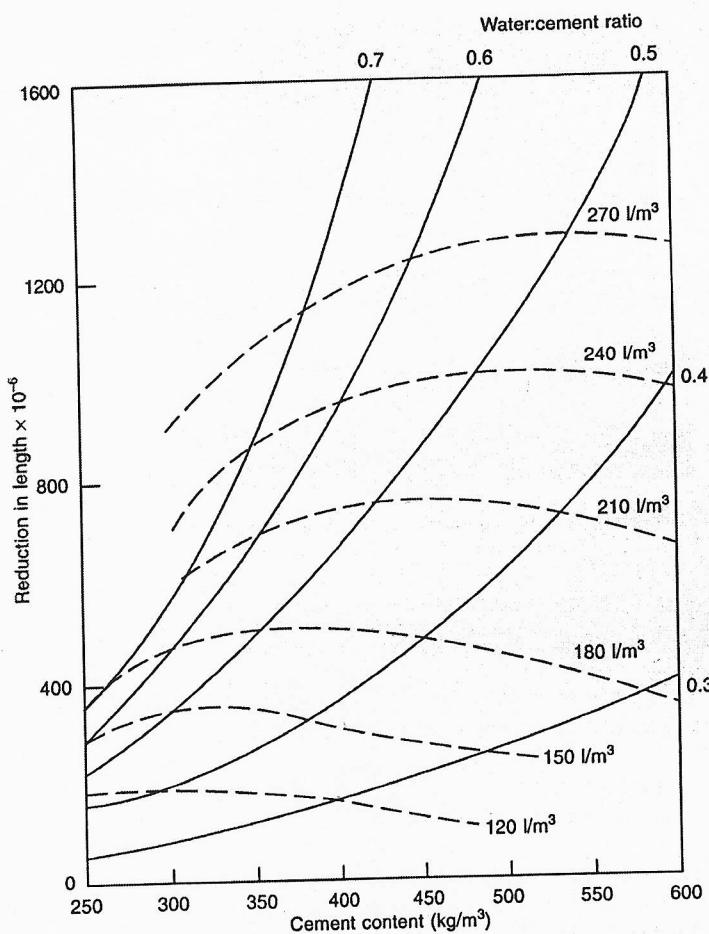
٩.٥.١ آلية أنكماش الحفاف طويل الأمد Mechanism of long-term drying shrinkage

المساعد على قابلية التشغيل والرص ، فإن كمية الماء في خلطة الخرسانة تكون أكبر بكثير مما هو مطلوب لأكمال تفاعل الأماهة للأسمنت . الماء غير المتهد يكون محمول في المسامات الشعرية التي تتكون ضمن عجينة الأسمنت . عند تعرض الخرسانة الموجودة في الموقع لظروف ذات رطوبة نسبية واطئه ، فإن الرطوبة تفقد من السطح .

أن فقدان الرطوبة ينتج عنه تقلص في الحجم ، يعرف بأنكماش الجفاف . عندما يتم معاكسة حركة الأنكماش ببعض التقييدات الخارجية أو الداخلية ، فسوف تتطور الأجهادات في الخرسانة . عندما تتجاوز أجهادات التقييد هذه مقاومة الشد للخرسانة ، فسوف تتطور الشقوق . الأعضاء النحيفه مع مساحة سطحية واسعة مثل البلاطات تكون بصورة خاصة قابلة للعطب . الوقت الذي تحدث عنده شقوق الأنكماش سوف يعتمد على سرعة الجفاف الذي تسببه البيئة المحيطة ، لكن المعدل الأقصى للتطور يستغرق من عدة شهور إلى ثلاثة أو أربع سنين بعد الصب . الجفاف إلى الخارج الذي يؤدي إلى الأنكماش يحدث من السطح ولذلك تتأثر الطبقة السطحية أولاً . سطوح المقاطع الأنسانية ذات المقطع العرضي الواسع يمكن أن تتشقق عندما تكون مقيدة بالخرسانة الداخلية (inner concrete) التي لا تزال غير جافة بعد . الخرسانة قرب الزوايا تكون ميالة للتشقق عندما يحدث فقدان للرطوبة من الوجهين المجاورين .

$1/m^2$

كمية الأنكماش النموذجية للخرسانة مع محتوى ماء (190 l/m^3) يمكن تخمينها من الشكل (11.5) . بالرغم من أن كثير من حالات أنكماش الجفاف تُعزى إلى التغيرات في حجم عجينة الأسمنت ، فإن بعض الركام يكون قابل للتأثر بالرطوبة . هكذا ركام يجب أن يستعمل بحذر ، وربما يتطلب اعتبارات خاصة للتلافي الأنكماش أو التمدد الغير مرغوب فيه . أن استعمال هذا النوع من الركام ينتج عنه انحراف كبير للعضو الأنسائي .



الشكل (11.5) تخمين انكماش الجفاق

2.9.5 الظهور المرئي Visual appearance

لا يوجد شكل نموذجي لتشققات الانكمash عندما تكون في أي موقع فيه تقييد لحركة الانكمash . على أية حال ، فإن الشقوق تكون تقريبا بزاويه قائمه لاتجاه التقييد . عرض الشقوق سوف يعتمد على مساحة الخرسانة المعرضه للجفاف وطول العضو الانشائي أو المسافه بين موقع التقييد . بسبب أن الشقوق تتكون بعد أن تكتسب الخرسانة المقاومة التامة ، فإن الشقوق يمكن أن تمر خلال الركام الضعيف .

الموقع النموذجيه التي من الممكن أن تحدث فيها شقوق الانكمash هي :-

- البلاطات الأرضيه (ground slabs) ، حيث أحد الأبعاد الأفقية يكون أكبر بكثير من الآخر . الشقوق تتكون في وسط البلاطه ، موازيه للجانب الأقصر . في بعض الأحيان تتكون الشقوق بصورة قطرية عبر الزوايا .
- البلاطات المت Dellieh المستنده على حافة العتبات الصلبه . موقع التشقق يمكن أن يتاثر بالفتحات في البلاطه مثل تلك التي تترك للخدمة أو بيت السلم .
- عند التغيرات الكبيره جدا في المقاطع العرضيه .