دليل المهندس

في أعمال التشييد والبناء

٩ـ الشروخ فى المنشآت الخرسانية

عادل

المقاولون العرب

دليل المهندس
في أعمال التشييد والبناء

٩ـ الشروخ فى المنشآت الخرسانية

اعداد ومادة علمية :
مهندسة / سلوى عبد الكريم حلمى عبد الله
مراجعة :
مهندس / محمد عماره
اعتماد :
مركز تطوير الدراسات والبحوث الفنية ـ جامعة القاهرة

مدير معهد تدريب الهرم
مهندس / أحمد زكى أحمد خالد

الشروخ فى المنشآت الخرسانية

وتشمل الآتى :

أولا : أنواعها :

١ ـ شروخ غير انشائية

٢ ـ شروخ نتيجة التآكل

٣ ـ الشروخ الانشائية

ثانيا : أسباب حدوثها

ثالثا : صيانة وترميم المنشآت الخرسانية :

١ ـ مراقبة الشروخ

٢ ـ معالجة الشروخ وترميم المنشأ

٣ ـ علاج الشروخ باستخدام مونة خاصة

الشروخ فى المنشآت الخرسانية

تحدث الشروخ فى المنشآت الخرسانية لأسباب مختلفة وتكون هذه الشروخ على درجة من الخطورة وفيما يلى أنواع الشروخ وأسباب حدوثها ويتطابق ذلك على المنشآت التى تصب فى الموقع أو الأعضاء الخرسانية سابقة التجهيز .

أولا : أنواعها :

١ - شروخ غير انشائية :

(أ) الهبوط أثناء الصب وأثناء التصلد

(ب) شروخ الانكماش اللدن

(جـ) شروخ الانكماش الحرارى

(د) شروخ انكماش الجفاف Drying shrinkage cracking

(هـ) فروق الاجهاد الحرارية Deffrential thermal cracking

٢ - شروخ التآكل :

(أ) صدأ حديد التسليح

(ب) تآكل الخرسانة

٣ - الشروخ الانشائية

ثانيا : أسباب حدوثها

١ - الشروخ الغير انشائية : «الأسباب غير انشائية»

(أ) الهبوط أثناء الصب وأثناء التصلد :

وتحدث الشروخ فى هذه الحالة نتيجة اعاقة أسياخ الحديد ووصلات الشدات لحركة الخلطة الخرسانية الطازجة عندما تبدأ فى التصلد كما تعوقها أيضا أثناء الصب والدمك .

ويتسبب عن ذلك تولد شروخ يمكن أن تمتد لأسياخ التسليح مما يشكل خطورة ولكن تكون هذه الشروخ صغيرة وسطحية فى أغلب الأحوال .

(ب) شروخ الانكماش اللدن :

وتحدث هذه الشروخ نتيجة البخر السريع لماء الخلط عند سطح الخرسانة وهى لدنة وأثناء فترة تصلدها وتتوقف درجة هذا البخر السريع على درجة حرارة الجو وسرعة الرياح كما أن جفاف الرياح وأشعة الشمس المباشرة تجعل معدل البخر أعلى من معدل طفح الماء على سطح الخرسانة .

وأعماق هذه الشروخ تكون فى العادة قليلة وسطحية وتظهر فى اتجاهين عكس بعضهما فى آن واحد ولذلك فانه فى حالة عناصر المنشآت سابقة التجهيز التى تصنع فى أماكن مغلقة وتعالج جيدا فلا يخشى من خطورة تولد شروخ الانكماش اللدن لصغر مقاساتها .

(جـ) شروخ الانكماش الحرارى :

يتولد أثناء الشك والتصلد المبكر للأسمنت حرارة الاماهة ناتجة من التفاعل الكيميائى بين الماء والأسمنت وغالبا ما تعالج العناصر الخرسانية سابقة التجهيز بالبخار steam curing وهذه المعالجة الحرارية تولد درجة كبيرة من الحرارة خلال جسم الخرسانة وعندما تبرد الخرسانة وتنكمش تبدأ الاجهادات الحرارية فى التواجد والنمو خاصة اذا كان العنصر الخرسانى محكوما واذا كان التبريد غير منتظم خلال العنصر «مثال ذلك الكمرات سابقة الصب والفلنشات أو ذات التخانات المتغيرة» ويسبب اجهاد الشد الحرارى الناتج شروخا دقيقة ينتج عند أسطحا ضعيفة داخل الخرسانة كما أن انكماش الجفاف العادى يؤدى الى توسيع هذه الشروخ بعد ربط العناصر سابقة التجهيز .

(د) شروخ انكماش الجفاف : Drying shrinkage cracking

يحدث نتيجة تقابل العناصر القصيرة ذات التسليح القليل حواجز تعوقها «كما فى حالة اتصال كورنيشة ذات تخانة صغيرة ببلاطة شرفة ذات تخانة كبيرة» وفى الكمرات سابقة الصب فان خوسانة الأطراف المفصلية تصب فى مجارى من وصلات متصلدة سابقة الصب (كقالب) ونظرا لصغر مقاسات هذه المجارى نسبيا فانها تحتاج الى كمية ماء عالية نسبيا لتسهيل صب الخرسانة وغالبا مايحدث فى الفواصل الرأسية شروخا دقيقة نتيجة الانكماش .

(هـ) فروق الإجهاد الحرارية :

ان اسلوب الانشاء فى المنشآت سابقة التجهيز يساعد على التأثير باختلاف درجة الحرارة لاختلاف الطقس الطبيعى أو نتيجة التسخين .

لذلك تظهر الشروخ فى البحور المحصورة Sandwich panels عندما يكون اتصال وجهيها بالمنشأ متينا .

كذلك يولد الارتفاع المفاجىء فى درجة الحرارة سلسلة من الشروخ فاذا كانت الطبقة الخارجية للبحر المحصور قليل السمك «٣ سم مثلا» فان حدوث هذا التهشيم يكون أكثر احتمالا .

وتحدث الشروخ نتيجة الاختلاف الكبير فى درجات الحرارة بين وجهى الكمرة الخرسانية أو البلاطة .

ويحدث هذا فى حالات معينة مثل حوائط الخزانات الخرسانية عندما يكون السائل المخزون داخل الخزان ساخنا أو باردا جدا .

كما تتولد إجهادات بالمنشأ نتيجة إختلاف درجات الحرارة بين أجزائه المختلفة مثل حالة تعرض أطراف الواجهة لأشعة الشمس أكثر من باقى أجزاء المنشأ الداخلية مما يتسبب عنه حدوث شروخ قطرية تبدأ من ناحية الزوايا فى أرضيات المنشآت الطويلة .

وقد تتولد شروخ نتيجة تعرض المنشأ للضوضاء والاهتزازات مع ملاحظة أن هذه الشروخ الناتجة من الانكماش وفرق درجات الحرارة تقلل من متانة المنشأ .

٢ ـ شروخ التآكل :

هناك نوعان رئيسيان من العيوب تساعد على تزايد تأثير عوامل التعرية على المنشأ الخرسانى .

(أ) صدأ حديد التسليح

- يحدث نتيجة صدأ حديد التسليح ومع زيادة هذا الصدأ حول أسياخ التسليح ظهور شروخ طولية مما يؤدى الى سقوط الغطاء الخرسانى الذى يسبب تعريه أسياخ التسليح .
- عند اضافة كلوريد الكالسيوم للخلطة الخرسانية (لجعلها تسرع فى الشك والتصلد) مما يتسبب عنه صدأ فى حديد التسليح لتعرضه للكلوريد وبالتالى تنشأ عيوب الشروخ الطولية .

وهذا النوع من الشروخ خطير جدا على كل من عمر وتحمل المنشأ حيث أنها تقلل من مساحة مقطع أسياخ حديد التسليح فى القطاع الخرسانى وتكون هذه الظاهرة أكثر خطورة فى حالة الخرسانة سابقة الاجهاد حيث أنه ينتج عن حدوثها نشأة نتؤات التآكل الصغيرة فى انهيار الأعصاب والأوتار سابقة الاجهاد .

(ب) تآكل الخرسانة :

يحدث تآكل الكتلة الخرسانية نتيجة لتعرضها لتفاعلات كيميائية تؤدى الى تفتت أجزاء الخرسانة ومكوناتها وذلك كنتيجة مباشرة لتعرضها للأملاح الناتجة من اتحاد الكبريت مع الومنيات الأسمنت فى وجود الماء ويكون حجم الأملاح الناتجة أكبر من حجوم العناصر المكونة له وينتج عن هذه الزيادة أو التمدد تشرخ الخرسانة والذى يؤدى بدوره الى سقوط أجزاء الخرسانة المتفتتة (السائبة) .

وغالبا مايحدث تآكل الخرسانة نتيجة اختيار نوعيات سيئة من الرمل والزلط بها نسب أملاح عالية تسرع فى حدوث التفاعل الكيميائى داخل الخرسانة .

ويمكن التعرف على حدوث تآكل بالخرسانة عند ظهور تشوهات الحفر والنحر وتآكل السطح الخرسانى .

٣ ـ الشروخ الانشائية :

- تحدث الشروخ الانشائية نتيجة تعرض الخرسانة المسلحة لاجهادات الشد عند تحميل المنشأ وهى تحدث عادة فى الكمرات الخرسانية فى الجزء المعرض لاجهادات الشد . ويمكن التغاضى عن هذه الشروخ عندما يكون

اتساعها يساوى ٠,٢ مم و (١مم فى حالة المنشآت المتاخمة لساحل البحر) . مع العلم بأنه يحدث اسراع فى تآكل الخرسانة وصدأ حديد التسليح عندما يكون اتساع الشرخ أكبر من ٤ مم

- تتولد بعض الشروخ نتيجة تعرض العضو الخرسانى لاجهادات القص وهى نادرة الحدوث كما يمكن حدوث شروخ قطرية مائلة فى اتجاه تكسيح أسياخ الحديد .

- تنشأ نتيجة لعيوب فى وصل أسياخ الحديد من المقاسات الكبيرة والشروخ الناتجة فى هذه الحالة تشكل خطورة كبيرة على سلامة المنشأ ومن بين هذه الشروخ الأنواع التالية :

(أ) شروخ عزوم الانحناء أو القص التى يزداد اتساعها بمرور الوقت .

(ب) شروخ تحدث فى أجزاء الخرسانة المعرضة للضغط .

(جـ) تفتت الخرسانة فى منطقة الضغط «الأعمدة أو الكمرات أو البلاطات فى الجانب المعرض للضغط»

ويجب عند الاستشعار ببدء تولد هذه الشروخ العمل على تدعيم وتقوية المنشأ مع مراعاة ازالة الأحمال فورا .

كما يجب دراسة أسباب ومصادر الخلل والبدء فى تقوية المنشأ ثم دراسة كيفية معالجة وترميم الشروخ الناتجة .

وقد يكون السبب فى حدوث هذه الشروخ زيادة الأحمال على المنشأ أو التسليح غير كافى أو نوعية الخرسانة رديئة أو هبوط فى التربة .

ثالثا : صيانة وترميم المنشآت :

١ - مراقبة الشروخ :

وذلك بملاحظة ومراقبة الشروخ عندما تظهر على أسطح خرسانة المنشأ الخرسانى مع ضرورة قياس السمك والطول والعمق والاتساع بمرور الوقت .

والطرق المستخدمة هى :

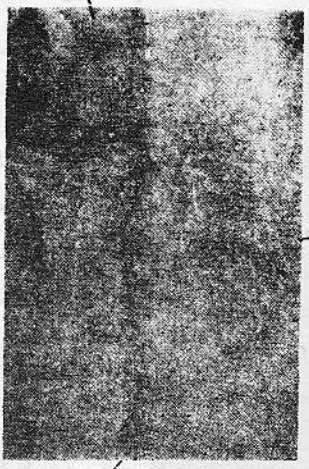
(أ) استخدام بؤج الجبس فوق الشروخ ثم متابعة ظهور الشروخ فى بؤج الجبس .

(ب) استخدام جهاز يقيس المسافة بين كرتين من الحديد يتم تثبيتهما على جانبى الشرخ .

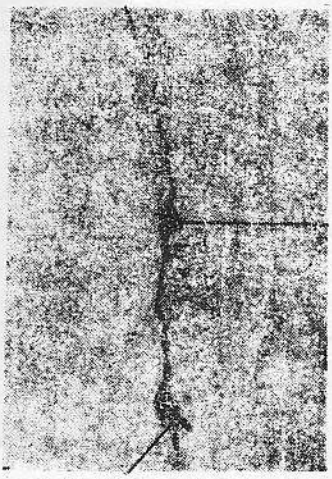
(جـ) قياس ترخيم عناصر المنشأ باستخدام نقط المناسيب المعروفة .

(د) معرفة الهبوط النهائى للأساسات .

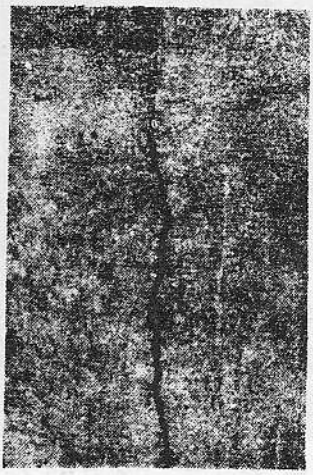
وعلى ذلك فانه يمكن التعرف على المصادر المسببة لحدوث الشروخ عن طريق الملاحظة الدقيقة وتسجيل قراءات التشكل لتطور نمو الشروخ ومن ثم يمكن تحديد أنسب طريقة لعلاج هذه الشروخ بالترميم أو التقوية أو بالحقن .



توضع أنابيب الحقن فى نهاية الشرخ وفى
ثقوب التهوية على مسافات من ٣٠ ـ ٦٠ سم



الشرخ فى الخرسانة قبل العلاج



يتم التحبيش حول أنابيب الحقن
بمونة ايبوكسية سريعة الشك

٢ ـ معالجة الشروخ وترميم المنشأ :

(أ) الشروخ الشعرية الغير انشائية «الناتجة عن أسباب غير انشائية»

فى هذه الحالة تكون الخرسانة ذات جودة جيدة وتكون الشروخ صغيرة ودقيقة ولا تمثل خطورة على استمرارية تحمل المنشأ .

- فاذا كانت الشروخ ناتجة عن سلوك طبيعى للمبنى مثل الوصلات بين الوحدات سابقة الصب لذلك يجب أخذها فى الاعتبار عند التصميم .
وخاصة الوصلات الأفقية والرأسية فيجب معالجتها لتجنب حدوث الأضرار الناتجة عن هذه الشروخ مثل تسرب الماء خلال هذه الشروخ .

- يجب عمل اختبارات معملية على وصلات مشروخة لنحصل على القوة الحقيقية للوصلات فى حالة الاستخدام الفعلى لها «كما فى كسوات الحوائط الداخلية» .

- عند تصميم البلاطات والوصلات المحصورة Sandwich panels يجب أن يعلق أحد أطرافها حرا لتجنب الاجهادات الناتجة من الاختلافات الحرارية .

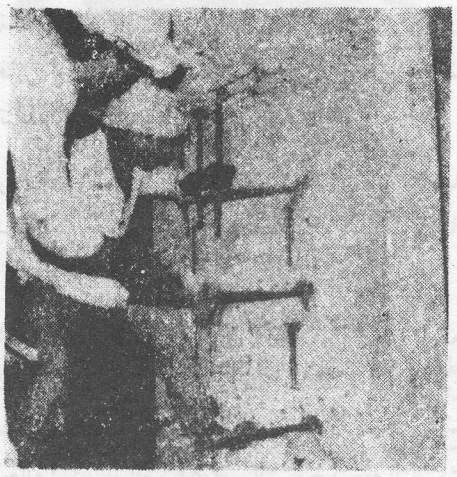
- يحسب حديد التسليح بطريقة تجعل اتساع الشروخ فى الحدود المسموح بها . ويمكن معالجة الشروخ الشعرية الغير انشائية «مثل شروخ الانكماش اللدن» وذلك بتنظيف السطح بالفرش السلك ثم تدهن الشروخ بروبة حقن أسمنتية لاصقة واذا كانت الخرسانة ظاهرة فتستخدم طبقات عازلة زخرفية .

وفى حالة وجود شروخ شعرية عميقة وعمودية على اتجاه قوى الضغط فى المنشأ فيجب حقن الشروخ بعناية باستخدام الراتنجات (أبو كسيات) التى تتصلب حراريا Thermohardening - Resin بشرط جعل الأبوكس منخفض اللزوجة «مادة أيبوكسية قليلة اللزوجة مثل كيمابوكس ١٠٣» ويتم الحقن فى اتجاه من أسفل الشرخ لأعلى الشرخ وذلك باستخدام مضخة خاصة تعمل بالهواء المضغوط .

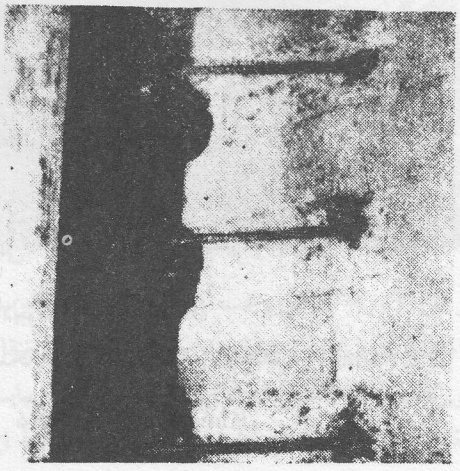
(ب) الشروخ المتسعة «الغير شعرية» :

فى هذه الحالة يكون عرض الشروخ كبير وعميق داخل الخرسانة بحيث يصل الى أسياخ التسليح مما يوجب معالجتها سريعا لتجنب حدوث صدأ للحديد (بفعل تسرب الرطوبة H_2O والاكسجين O وثانى أكسيد الكربون . CO_2) من خلال فجوات الشروخ .

أما فى حالة حدوث صدأ للحديد فانه يجب ازالة الغطاء الخرسانى المغلف للحديد ثم صنفرة وتنظيف أسياخ الحديد بفرشاة سلك لازالة الصدأ ثم يستبدل الغطاء الخرسانى بغطاء آخر يراعى فى تجهيزه استخدام **الراتنجات الغروية اللاصقة وشبك الحديد الممدد ثم الترميم بخرسانة عالية المقاومة ومقذوفة (shotcreting) عن طريق دفعها بالهواء باستخدام مضخة حقن الأسمنت . Cementgun**



طريقة التخريم لتثبيت الأشاير بالخرسانة
القديمة بمادة الايبوكسى



منظر الأشاير بعد تثبيتها بربطها بالحديد
لصب خرسانة جديدة بجوار القديمة

وفى حالة الشروخ الناتجة عن تمدد الخرسانة نتيجة احتوائها على نسبة عالية من الكبريتات فانه يجب ازالة الخرسانة المعيبة واستبدالها بأخرى .

وفى حالة الشروخ الناتجة عن عيوب فى سلوكيات انشائية مثل زيادة الأحمال أو نقص فى حديد التسليح أو عندما تكون الخلطة الخرسانية فقيرة أو بسبب هبوط التربة فانه يجب التأكد من ايقاف هذه الأسباب قبل البدء فى ترميم المبنى وبخاصة فى حالة اتساع واستمرار هذه الشروخ فى الزيادة .

لذلك فانه من الضرورى ازالة أجزاء الخرسانة المعيبة ثم اضافة طبقة جديدة من الخرسانة لربط الخرسانة القديمة بالجديدة وذلك باستخدام طبقة دهان خاصة من مادة غروية مطاطة أو باستخدام ايبوكس لاصق «مثل كيما بوكس ١٠٤» .

كما أنه يمكن وضع أسياخ حديد تسليح اضافى فى الأعضاء الخرسانية المعيبة باستخدام مونة ايبوكسية لاصقة «تتكون من عنصرين يتم خلطهما جيدا قبل الاستعمال وبشرط خلوها من المذيبات»

كما أنه يمكن اتمام الالتصاق باستخدام الايبوكس الغروى مع وضع ألواح الحديد على الوجه السفلى أو الجانبى للعضو الخرسانى أما فى حالة استمرار اتساع عرض الشروخ نتيجة التأثيرت الحرارية فانه يجب التأكد أولا من عدم ظهور أى تأثير لاجهادات الشد أو نشأة شروخ جديدة بعد ملء الشروخ لأن الشروخ تقلل من الصلابة وبالتالى تتأثر الاجهادات الناتجة من التغيرات البعدية بالحرارة .

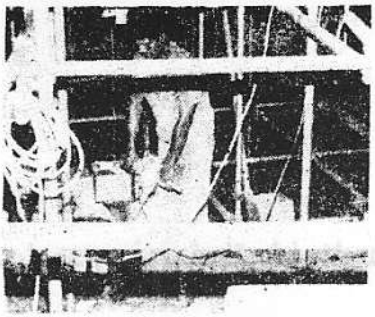
فاذا تم ملء الشروخ بمادة صلبة فان ذلك يؤدى الى ظهور الشروخ مرة اخرى فى مرحلة التصلد الأولية لذلك يجب ملء الشروخ بالمواد الراتنجية المرنة أو عمل فواصل تمدد .

٣ - علاج الشروخ باستخدام مونة خاصة :

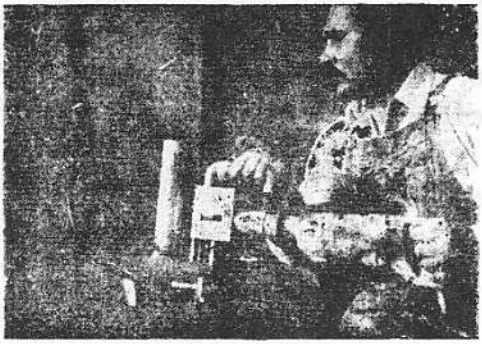
يتم العلاج فى حالة الشروخ المتسعة بتفتيح الشرخ على شكل V ثم يتم تنظيف الشرخ وازالة المواد المفككة باستخدام الهواء المضغوط ثم يملء الشرخ بأحد أنواع المون الآتية :

- المونة البولمرية الأسمنتية «الأديبوند - Addibond»
- المونة البولمرية الأسمنتية المسلحة بالألياف «الألياف الزجاجية - Fibreglass»
- المونة الايبوكسية «كيمابوكس ١٦٥ - Kimapoxy 165»

وفى حالة استخدام المونة البولمرية الأسمنتية أو المونة البولمرية الأسمنتية المسلحة بألياف الزجاج فانه يجب طرطشة أسطح الشرخ الداخلية بروية أديبوند قبل ملئه بالمونة أما فى حالة المونة الايبوكسية فانه يتم دهان أسطح الشرخ بمادة الكيمابوكس ١٠٤ قبل ملء الشرخ بالمونة .



طريقة خلط مركبات الايبوكسى جيدا بماكينة الخلط



تبدأ الحقن من الأنبوبة السفلى ويجب أن يظهر الحقن فى ثقوب (أنابيب التهوية) المتتالية التى يجب سدها بعد ملأها ويجب الا تنقل ماكينة الحقن حتى تظهر مادة الحقن فى الأنبوبة العلوية وفى نهاية الشرخ ويمكن الانتقال الى الأنبوبة الوسطى اذا لزم الأمر وخاصة فى حالات الشروخ الممتدة

«طرق الحقن باستخدام الراتنجات الايبوكسية»

ما تم اصداره فى سلسلة دليل المهندس

١ ـ الأسمنت	نوفمبر عام ١٩٨٧م
٢ ـ الركام	ديسمبر عام ١٩٨٧م
٣ ـ حديد التسليح	مارس عام ١٩٨٨م
٤ ـ ماء الخلط	سبتمبر عام ١٩٨٨م
٥ ـ تصميم الخلطة الخرسانية	مارس عام ١٩٨٩م
٦ ـ الخرسانة الطازجة	أكتوبر عام ١٩٨٩م
٧ ـ اضافات الخرسانة	ابريل عام ١٩٩٠م
٨ ـ الخرسانة الخاصة	نوفمبر عام ١٩٩٠م