

Proefprojecten met twee systemen voor zelfherstellend beton

Zelfherstel bewezen in de praktijk

Scheuren in het beton van parkeergarages kunnen om verschillende redenen voor problemen zorgen. De laatste jaren is veel onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van het zelfherstellende vermogen van beton. TU Delft heeft in het kader van het onderzoeksprogramma 'Ontwikkeling van zelfherstellende materialen' twee betonreparatiesystemen ontwikkeld: een vloeibaar herstmiddel en een reparatiemortel, beide gebaseerd op de werking van actieve bacteriën. In samenwerking met BAM is de effectiviteit van beide producten beproefd voor het lekdicht maken van scheuren. De behaalde resultaten zijn dusdanig positief dat een grootschalige toepassing wordt voorzien.

Parkeergarages hebben vaak problemen met water- of vloeistofdichtheid. Enerzijds kan water door watervoerende scheuren van buitenaf de garage binnendringen. Anderzijds kan vloeistof door de aanwezige scheuren in tussenvloeren naar ondergelegen gedeelten lekken. Het gaat daarbij vaak om water dat door auto's wordt achtergelaten. Dit water kan vervuilingen en (in de winterperiode toegepaste) dooizouten meenemen die zich op de lak van auto's kunnen aftekenen. Hetzelfde geldt voor de aanwezige vrije kalk en cement die het water aan zich binden tijdens de reis door de betonvloer. Daarnaast bestaat het risico dat het water en de eventueel daarin aanwezige dooizouten ook nog eens de wapening van de betonconstructie kunnen aantasten.

Betonreparatiesystemen

Om deze schademechanismen te voorkomen, is het van belang dat de scheuren worden gedicht. Met de door de TU Delft ontwikkelde reparatiesystemen kan het zelfherstellende vermogen van bestaande betonconstructies worden versterkt. In zowel het vloeibare herstmiddel als de reparatiemortel zorgen actieve bacteriën voor vorming van kalksteen waardoor voorkomende poriën worden dichtgezet. Deze voor mens en milieu onschadelijke bacteriën zetten de aan beide systemen toegevoegde voedingsstoffen om in kalksteen.

Vloeibaar herstmiddel

Het vloeibare herstmiddel wordt toegepast als tweecomponentensysteem. Het wordt aangebracht als spray met handgedragen sproeisystemen. De sterk alkalische buffer, aanwezig in de eerste laagviskeuze vloeistof, reageert met calcium bevattende voedingsstoffen, opgelost in de tweede vloeistof. Hierdoor

Scheurwijdte

Veelal wordt de scheurwijdte-eis in betonvloeren in parkeergarages gekoppeld aan de milieuklasse van de vloer. Bij veel tussenvloeren geldt als milieuklasse XC3 en/of XD3. De maximale scheurwijdte die daarbij hoort, is 0,2 of 0,3 mm bij toepassing van normaal wapeningsstaal. Bij deze gestelde randvoorwaarde blijkt in de praktijk vaak dat de vloeren niet vloeistofdicht zijn. Het is daarom ook niet voor niets dat CUR-Aanbeveling 65 (Ontwerp, aanleg en herstel van vloeistofdichte voorzieningen van beton) de scheurwijdte-eis voor vloeistofdichte vloeren heeft aangescherpt naar maximaal 0,15 mm, waarbij de waterhoogte niet groter mag zijn dan de helft van de vloerdikte.

vormt zich onmiddellijk een hoogviskeuze gel. De gel en de daarin voorkomende voedingsstoffen wordt vervolgens in de loop van enkele weken door de in de vloeistof aanwezige bacteriën omgezet in kalksteen, wat voor een permanente afsluiting van scheuren en poriën zorgt.

Reparatiemortel

Bij de reparatiemortel worden, in tegenstelling tot het vloeibare herstmiddel, de bacteriën en voedingsstoffen in de vorm van een korrel aan de mortel toegevoegd. Deze specifieke korrels zijn in nauwe samenwerking met Corbion (voorheen Purac) ontwikkeld. De stevige, van een coating voorziene, korrel zorgt ervoor dat de bacteriën niet tijdens het inmengen actief worden maar pas op het moment van scheurvorming in de reeds aangebrachte, verharde mortel. Naast de korrel die zorgt voor zelfherstel van scheuren, bevat de reparatiemortel ook plastic vezels (polyvinylalcohol ofwel: PVA). Deze vezels zorgen ervoor dat de uitgeharde mortel flexibel blijft waardoor een goede hechting met de ondergrond plaatsvindt en bovendien dat gevormde krimp-scheuren zeer klein blijven (< 0,1 mm) [1].

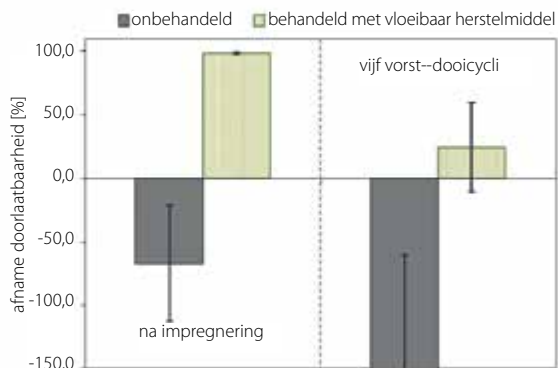
Proeven

Vloeibaar herstmiddel

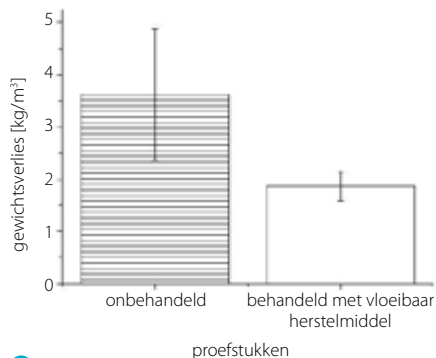
Laboratoriumproeven met het vloeibare herstmiddel tonen aan dat scheuren met een wijdte tot 0,2 mm na een behandeling en scheuren met een wijdte tot 0,4 mm na twee behandelingen waterdicht zijn (fig. 2). Proefstukken met 0,2 tot 0,4 mm wijde scheuren, wel- ('bacteria') en niet- ('control') behandeld met het vloeibare herstmiddel laten zien dat behandeling leidt tot volledige waterdichtheid van behandelde, maar niet van onbehandelde proefstukken (linker deel figuur 2). Na vijf vorst-dooicycli blijkt

- 2 Laboratoriumproeven tonen de effectiviteit van het vloeibare herstel­middel aan [2]
- 3 Gewichtsverlies van geboorde, poreuze betonkernen na bloot­stelling aan zeven vorst-dooicycli [3]
- 4 Aanbrengen vloeibaar herstel­middel met schrob­machines
- 5 Aanbrengen vloeibaar herstel­middel met hogedruk­spuiten

- 6 Elektronen­microscopische opname van kalk­steen­vorming door bacteriën in scheuren van beton behandeld met het vloeibare herstel­middel; de af­drukken van de staaf­vormige bacteriën zijn duidelijk zichtbaar in het gevormde kalk­steen
bron: Arjan Thijssen, Microlab, TU Delft



2



3

de waterdichtheid van beide afgenomen, maar significant minder van behandelde dan van onbehandelde proef­stukken (rechter deel van figuur 2).

Vorst-dooiproeven uitgevoerd aan geboorde kernen uit een met het vloeibare herstel­middel behandelde vloer uit een parkeergarage in Vlissingen tonen aan dat vorstschade tot de helft afneemt in vergelijking met onbehandelde delen (fig. 3). Onbehandelde kernen verliezen tot twee keer zo veel gewicht als met het vloeibare herstel­middel behandelde kernen

Reparatiemortel

Laboratoriumproeven met de ontwikkelde reparatiemortel laten zien dat de hechtingssterkte aan het onderliggende beton hoog is, namelijk 2,89 MPa na 35 dagen uitharden. Deze gemiddelde hechtingssterkte voldoet ruimschoots aan de geldende norm R3 (> 1,5 MPa) voor constructieve reparatie­mortels volgens de standaard NEN 1504-3 [1].

Pilot vloeibaar herstel­middel

Na een eerste succesvolle kleine pilotstudie, uitgevoerd in een parkeergarage in Vlissingen, is de eerste grootschalige toepassing



4



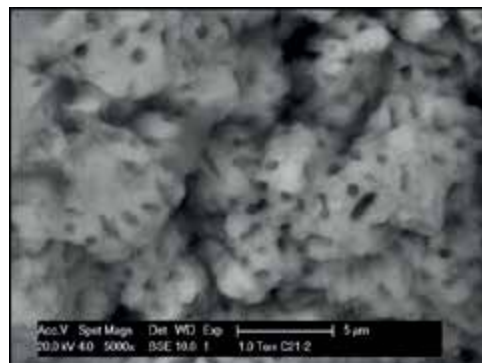
5

met het vloeibare herstelmiddel uitgevoerd in twee fasen (oktober 2014 en maart 2015) op tussenvloeren van een parkeergarage in Apeldoorn. In twee fasen werd hier in totaal 12 000 m² vloeroppervlak behandeld (2 × 6000 m²). De vloeren in deze parkeergarage zijn voorzien van een polymeercoating toplaag die tijdens het herstel is blijven zitten.

De pilot was erop gericht lekkage in tussenvloeren en daarmee schade aan auto's en de wapening te voorkomen. De keuze voor het vloeibare herstelmiddel, in plaats van traditioneel injecteren, werd gemaakt omwille van twee aspecten. Doordat het herstelmiddel met lage druk uitwendig op de vloer wordt aangebracht, zal in tegenstelling tot traditionele injecties géén schade ontstaan aan de aanwezige topcoating. Daarnaast is het grote voordeel dat het totale vloerveld slechts in een dagdeel is te behandelen, waardoor de overlast voor de gebruikers van deze garage zeer beperkt is.

Gezien de grootte van het totaal te behandelen oppervlak is bij deze pilot gekozen voor twee verschillende manieren van uitvoering. Bij de eerste 6000 m² werd het vloeibare herstelsysteem aangebracht door gebruik te maken van schrobmachines (foto 4). Bij de tweede 6000 m² is dit gebeurd met behulp van handgedragen hogedrukspuiten (foto 5).

Het laagviskeuze zeer waterige herstelmiddel dringt effectief door de kleine poriën en fijne haarscheurtjes. Bij aanwezigheid van een topcoating bestaat de kans op grotere (bredere) scheurvorming in de betonvloer, waardoor het waterige herstelmiddel te snel door de onderliggende grotere scheuren kan lopen, zonder voldoende tijd te hebben tot gelvorming. In geval van



6

aanwezigheid van een topcoating kunnen meerdere behandelingen hierdoor noodzakelijk zijn.

Na het aanbrengen van het herstelmiddel is een periode nodig van circa zes weken voor het substantieel vormen van kalksteen. De vorming van kalksteen kan vooral zichtbaar worden gemaakt door het analyseren van geboorde kernen omdat het grootste gedeelte van de kalksteen dieper in de scheur ontstaat (foto 6). Met het blote oog is daarom aan het oppervlak nauwelijks iets waarneembaar. Na anderhalve maand bleek de effectiviteit van het herstelmiddel wel waarneembaar in de vorm van sterk afgenomen waterdoorvoer. Na enkele maanden tot een halfjaar na behandeling zijn tijdens regenachtige perioden dan ook geen natte plekken aan plafond en onderliggende vloer meer zichtbaar.

Tijdens de uitgevoerde pilot werd de functionele effectiviteit van het herstelmiddel met regelmatige tussenpozen beoordeeld op de mate van waterdoorvoer ter plaatse van een scheur. Dit gebeurde door het plaatsen van houten raamwerken op specifieke locaties op de vloer. Na het vullen van de raamwerken met 10 liter water werd volgens een vastgesteld protocol de waterdoorvoersnelheid bepaald door het registreren van het aantal doorlopende druppels per minuut. Een kenmerkend resultaat werd vastgesteld van afname van rond de 45 druppels



- 7 Mortel met zelfherstellende korrel aangebracht
- 8 Beton hersteld met reparatiemortel
- 9 Aanbrengen reparatiemortel bij het Groninger Forum

per minuut per scheur (0,2 tot 0,3 mm wijd) vóór behandeling, tot een enkele druppel per minuut circa vier maanden na behandeling.

De opdrachtgever was dusdanig onder de indruk van de resultaten dat hij begin februari 2015 heeft besloten ook de tweede 6000 m² te behandelen met het vloeibare herstelmiddel.

Pilot toepassingen met zelfherstellende reparatiemortel

Lekkage van kelderwanden door scheurvorming in het beton is een bekend probleem. Een specifieke watervoerende scheur in een betonnen kelderwand van een gebouw in Assen bleek na twee reparaties met klassieke injectietechniek, nog steeds watervoerend. In overleg met TU Delft werd besloten hier een eerste kleinschalige pilot uit te voeren met herstel met de nieuw ontwikkelde met PVA-vezels versterkte, krimparme mortel, voorzien van zelfherstellende korrels.

Deze eerste proef werd uitgevoerd in juni 2014. Na het eerst uithakken en opruwen van de scheur, ten behoeve van een goed hechtoppervlak, werd in eerste instantie een snel verhardend cement op het watervoerende deel van de scheur aangebracht. Dit cement had als functie de eerste watertoevoer te stelpen en bovendien een goede aanhechting te vormen voor het herstelmiddel.

Direct daarna werd de reparatiemortel aangebracht (foto 7). Na drie weken werd een eerste controle op de werkzaamheid van deze mortel uitgevoerd. De waterdoorvoer door de herstelde scheur was in deze periode meer dan gehalveerd (foto 1 en 8). Na een periode van circa drie maanden bleek de watervoering door de scheur geheel gestopt. Deze resultaten zijn aanleiding geweest een grotere pilot uit te voeren bij het Groninger Forum.

Pilot Groninger Forum

Het Groninger Forum is gerealiseerd met een bouwput van diepwanden. De diepwanden blijven bij deze parkeergarage in het zicht van gebruikers. De parkeergarage omvat vijf bouwlagen ondergronds, waardoor met name bij de onderste verdieping door de daar voorkomende hoge grondwaterdruk op diverse locaties zweetplekken en kleinere lekkages door microscheurvorming zichtbaar zijn. Ten gevolge hiervan is in overleg met het uitvoeringsteam ter plaatse besloten deze lekkages te stoppen door toepassing van de nieuw ontwikkelde zelfherstellende reparatiemortel (foto 9). Deze pilot is eind augustus 2015 uitgevoerd.

Ook hier is de scheur eerst uitgehakt om voldoende hechtoppervlakte te realiseren. Hierbij werd tot op het goede beton een sleuf gemaakt van minimaal 50 mm diep. Vervolgens werd ook hier eerst een snelverhardend cement aangebracht om de



9

watertoestroom in de opengehakte scheuren te stelpen. Direct na het opdrogen van het cement werd de zelfherstellende mortel aangebracht. Door de krimparme eigenschappen van deze mortel werd een goede aanhechting met het onderliggende beton gerealiseerd. Door de toevoeging van de vezels aan de mortel werd de optredende trekspanning – ten gevolge van de waterdruk na verharding – gelijkmatiger verdeeld, resulterend in beperkte microscheurvorming. De aanwezige kalksteen-vormende bacteriën in de mortel konden de – na verharding in geringe mate ontstane – microscheuren effectief afdichten. De op foto 8 zichtbare witte strepen bestaan uit kalkdeeltjes die gedurende het herstelproces uit de verdichtende scheuren vloeien. Tien weken na het aanbrengen van de zelfherstellende reparatiemortel in deze pilot bleken de voorheen aanwezige scheuren waterdicht.

Conclusies en aanbevelingen

Het vloeibare herstmiddel, speciaal ontwikkeld voor het permanent waterdicht maken van 0,2 tot 0,4 mm wijde scheuren, is een snel toepasbaar en arbeidsvriendelijk middel dat door een gespecialiseerd team goed en gemakkelijk is aan te brengen. Het aanbrengen dient te gebeuren op bezemschoon en droog beton om een diepe indringing in scheuren en poriën te garanderen. Voor de opdrachtgever en gebruiker van een behandelde parkeergarage is de overlast door herstelwerkzaamheden slechts zeer beperkt. Bij een aanwezige coating op de betonvloer is het

herstmiddel goed aan te brengen, maar is het niet altijd duidelijk hoe groot de scheurwijdte in de onderliggende betonvloer is. Daardoor kan een herhaling van de behandeling nodig zijn.

De vezelversterkte krimparme herstmortel is eveneens een goed product om bij actieve watervoerende scheuren toe te passen. Ondanks de tot op heden nog beperkte ervaringen zijn de resultaten zeer hoopgevend en zijn nog vele mooie toepassingen van dit product te verwachten. ☒

● LITERATUUR

1. Sierra-Beltran, M.G., Jonkers, H.M., Schlangen E., Characterization of sustainable bio-based mortar for concrete repair. *Construction and Building Materials* 67, 2014, pp. 344-352.
2. Wiktor, V., Jonkers, H.M., Protection of aged concrete structures: application of bio-based impregnation system. AMS '14 Proceedings of the Int. Conference on Ageing of Materials & Structures, Delft, 26-28 May 2014, The Netherlands, 2014, pp. 295-301.
3. Wiktor, V., Jonkers, H.M., Field performance of bacteria-based repair system: pilot study in a parking garage. *Case Studies in Construction Materials*, Volume 2, Elsevier, June 2015, pp. 11-17.
4. Wiktor, V., Thijssen, k A., Jonkers, H.M., Development of a liquid bio-based repair system for aged concrete structures Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting III – Alexander et al. (eds), Taylor & Francis Group, London, 2012, pp. 955-960.