

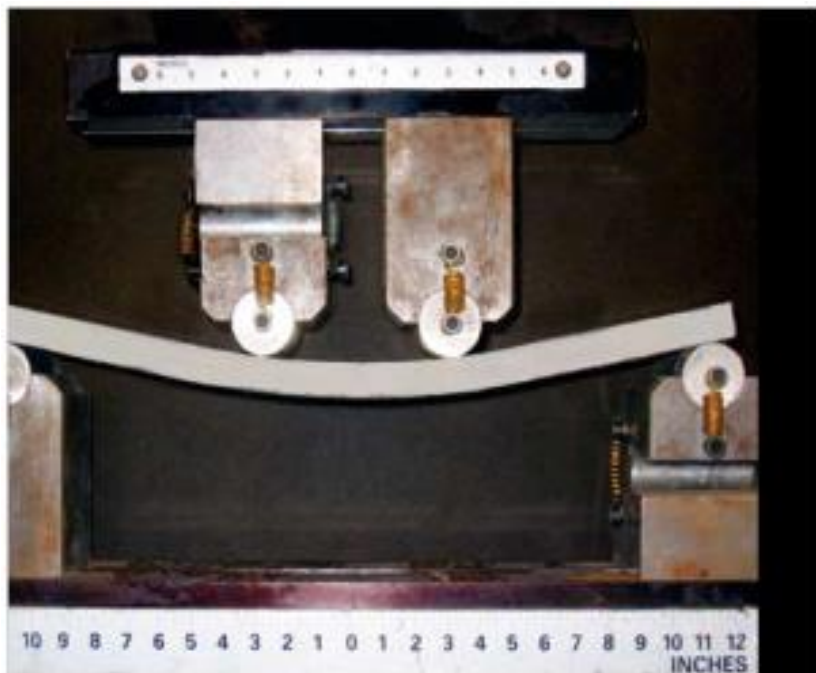
TU Delft

**Levensduurverlenging van
vermoeiingsgevoelige orthotrope
stalen brugdekken met Engineered
Cementitious Composite (ECC)**

MSc afstudeeronderzoek

Samenvatting | 30 augustus 2013

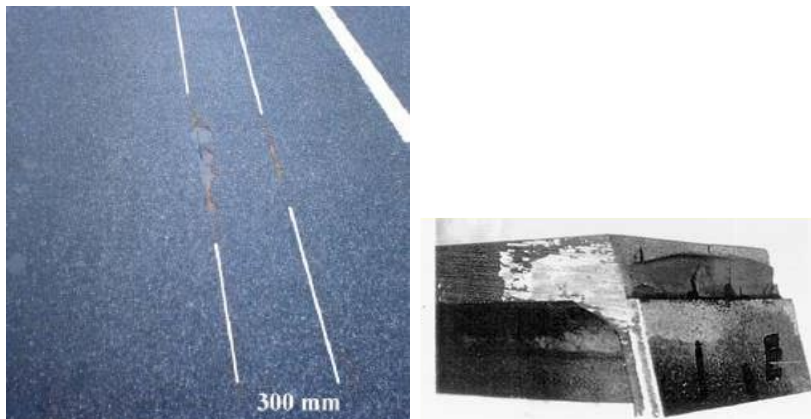
Gökhan Dilsiz



Buigbaar beton (ECC), Victor Li

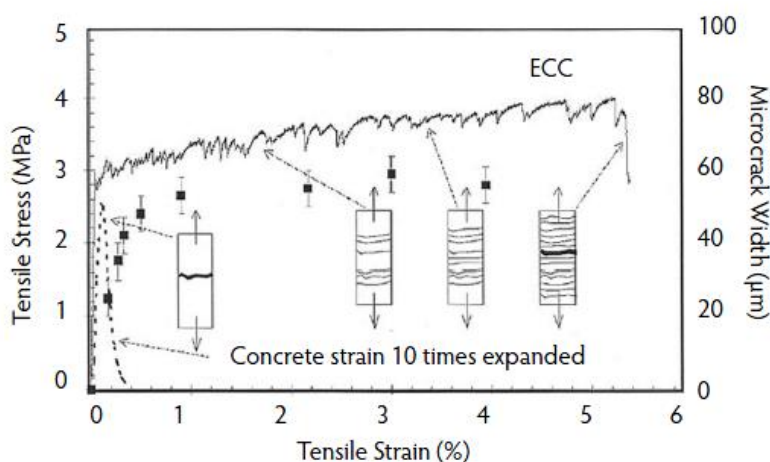
Samenvatting

Sinds 1997 is er in Nederland meer aandacht voor vermoeiingsscheuren in orthotrope stalen brugdekken. Aanleiding hiervoor waren de dekplaatscheuren die in 1997 werden ontdekt in het pas vernieuwde stalen brugdek van de Van Brienoordbrug (zie Figuur 1). Het blijkt dat vooral dekplaatscheuren voorkomen moeten worden, daar ze lastig inspecteerbaar zijn en gevaar kunnen opleveren voor het wegverkeer. Inmiddels worden deze vermoeiingsgevoelige stalen brugdekken versterkt met een spanningsreducerende overlaging van in-situ gestort, gewapend HSB (Hoge Sterkte Beton). In de praktijk is echter gebleken dat deze methode uitvoeringsgevoelig is. De wapening blijkt hier de oorzaak van te zijn (zie Figuur 3c).

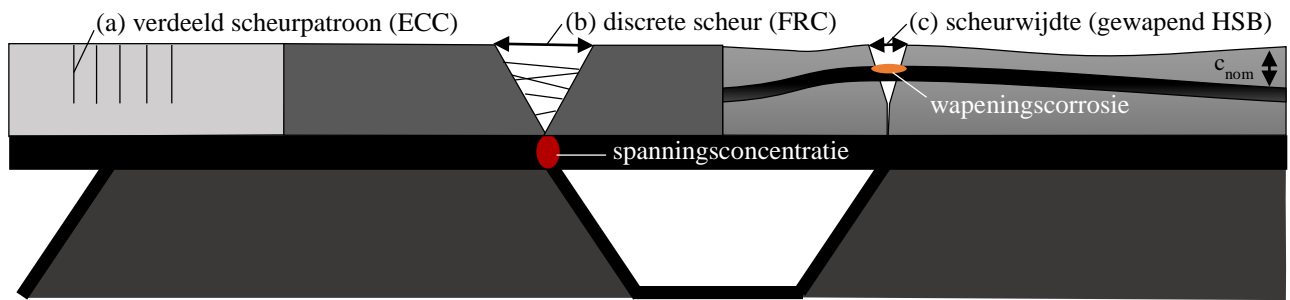


Figuur 1 Dekplaatscheur t.p.v. dwarsligger

Een mogelijk alternatief is het toepassen van een ongewapende ECC (Engineered Cementitious Composite) overlaging. ECC is een vezelversterkte betonsoort die ten opzichte van traditioneel vezelbeton gunstiger eigenschappen heeft in het nascheurgedrag. Dit is het zogenaamde pseudo strain hardening gedrag met meerdere fijne scheuren waardoor het materiaal een zeer grote vervorming (rek) kan ondergaan zonder dat een discrete scheur ontstaat (zie Figuur 2 en Figuur 3). In het afstudeeronderzoek is gekeken of een ECC overlaging kansen biedt t.a.v. het oplossen/voorkomen van het vermoeiingsprobleem bij/van orthotrope stalen brugdekken. Er is daarbij hoofdzakelijk gekeken naar het lokale gedrag van de dekplaat-trog-dwarsligger vermoeiingsdetail (DPS01) met een vereenvoudigd mechanicamodel. Het uitgangspunt in het afstudeeronderzoek is dat ECC zal scheuren als gevolg van verkeersbelastingen.



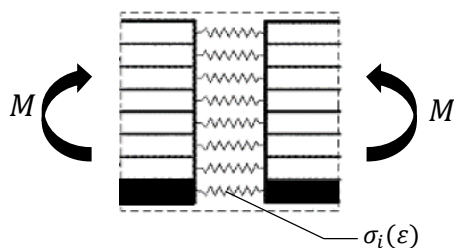
Figuur 2 Typisch trekspanning-rek diagram van ECC en ongewapend beton met scheurwijdten van ECC



Figuur 3 a) Verdeeld scheurpatroon bij ECC, b) spanningsconcentratie bij traditioneel vezelbeton door discrete scheurvorming en c) (uitvoerings- en duurzaamheids)problemen bij de HSB overlaging

Om het materiaalgedrag van ECC na scheurvorming in kaart te brengen, zijn vervorming gestuurde centrische trekproeven met cyclische belastinghistorie uitgevoerd. Daarnaast zijn drukproeven uitgevoerd om de ongescheurde stijfheid van het materiaal te bepalen. Uit de resultaten is gebleken dat het cyclisch nascheurgedrag een actief deel heeft met een gescheurde stijfheid E_d . Deze stijfheid blijkt omgekeerd evenredig te zijn met de rekhistorie. De experimentele resultaten zijn samen met het uit de literatuur gevonden trek-druk gedrag (niet-actief deel) gecombineerd in een constitutief model dat gebaseerd is op rekhistories. Het constitutief gedrag is geïmplementeerd in het wiskundig rekenprogramma Matlab.

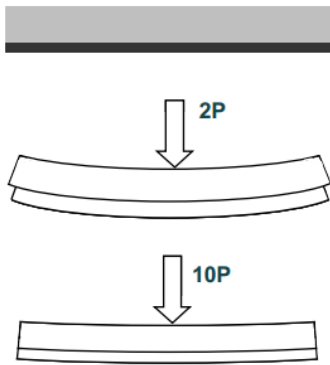
Het cyclisch buiggedrag van ECC en staal is bepaald met een semi-analytisch laagjesmodel (zie Figuur 4). Hierbij is het eerder genoemde materiaalmodel gebruikt dat gebaseerd is op de rekhistorie. Met het meerlagenmodel zijn moment-kromming relaties bepaald die afhankelijk zijn van de belastinghistorie. Tevens zijn de staalspanningen in de dekplaat bepaald bij gescheurd ECC als gevolg van buigmomenten (cyclische staalspanning-moment relatie). Uit de resultaten van het laagjesmodel is gebleken dat de spanningsreductie in de dekplaat afneemt als gevolg van scheurvorming die is veroorzaakt door een grote belastinghistorie. Echter, is het door het aanwezig zijn van een actief cyclisch nascheurgedrag mogelijk om een overlagingdikte af te stemmen op de belastinghistorie en de benodigde spanningsreductie in de dekplaat.



Figuur 4 Meerlagenmodel

De verhinderde spanningen als gevolg van krimpvervorming zijn ook meegenomen in het laagjesmodel. Hierbij is op het globale niveau van het brugdek gekeken welke spanningstoestand er ontstaat. Dit is vervolgens als opgelegde rek geïmplementeerd in de laagjes van het meerlagenmodel. Het is gebleken dat de opgelegde rek ervoor zorgt dat het ECC wordt geactiveerd waardoor het gunstige deel van de spanning-rek relatie wordt gefaciliteerd.

De hechting tussen de overlaging en de dekplaat is een belangrijke parameter (zie Figuur 5). Om deze reden is voor een drietal faalmechanismen gekeken wat de risico's zijn bij het toepassen van (gescheurd) ECC. In het afstudeeronderzoek is er uitgegaan van een epoxy-bauxiet hechtlaag die ook bij de HSB overlaging is toegepast. Het is gebleken dat scheurvorming zorgt voor een hogere schuifspanning dan in lineair-elastische staat. Om deze reden dient dit faalmechanisme nog geverifieerd te worden.



Figuur 5 Effectiviteit overlaging bij samenwerking

Om inzichtelijk te krijgen in hoeverre scheurvorming zorgt voor herverdeling van momenten is een niet-lineair liggermodel ontwikkeld. Hiermee is het moment op de kritieke locatie van het vermoeiingsdetail als functie van de belasting bepaald. Het is gebleken dat de reductie als gevolg van herverdeling zeer beperkt is voor het beschouwde vermoeiingsdetail.

Met een vereenvoudigd toetskader voor vermoeiing is de effectiviteit van een ECC overlaging bepaald. Hierbij zijn referentiewaarden van de HSB overlaging gebruikt als uitgangspunt. De ECC overlaging is getoetst aan de prestaties van deze referentie. Hieruit is gebleken dat met een vergelijkbare overlagingdikte dezelfde spanningsreductie gerealiseerd kan worden als de HSB overlaging.

Met de kanttekening dat er nog wel enkele discussiepunten zijn en vervolgonderzoek nodig is alvorens het materiaal daadwerkelijk toegepast kan worden, kan met het afstudeeronderzoek geconcludeerd worden dat ECC een veelbelovend materiaal is dat kansen biedt om het vermoeiingsprobleem op te lossen.