

CRC - en beskrivelse

Introduktion

CRC er en forkortelse for **Compact Reinforced Composite** - en fiberarmeret højstyrkebeton udviklet af Aalborg Portland A/S i 1986, der nu forhandles af **CRC Technology**. CRC har stor styrke og en særdeles god holdbarhed. Tilsætning af stålfibre i matricen giver en sejhed, der tillader udnyttelse af små dæklag og tætliggende armering, således at konstruktioner i CRC typisk er med slanke tværsnit. Sammensætningen af CRC kan varieres med fx. forskellige tilslag og forskellige fibre, men en typisk sammensætning - der er undersøgt i en lang række internationale udviklingsprojekter med henblik på fx. bøjning, forskydning, impact, korrosionsbestandighed, udmattelse, brandmodstand, svind og krybning - vil være en mørtel med kvartssand med 4-6 vol.% stålfibre og med et vand/(cement+silica) forhold på 0,16. Fibrene har sædvanligvis en længde på 12 mm og en diameter på 0,4 mm. Fiberindholdet varieres ud fra en vurdering af specielt behovet for sejhed på den enkelte opgave, men typisk har fiberindholdet ved altanopgaver været på 2-3%, ved trapper, søjler og bjælker på 3-4% og ved alle JointCast anvendelser har fiberindholdet været på 6%. CRC JointCast er en tørmørtel, der anvendes til reparationer eller in-situ støbte samlinger mellem elementer af almindelig beton. En generel beskrivelse af CRC kan bl.a. findes i [1] og [2].

Mekaniske egenskaber

CRC baseret på kvartstilslag og med 6 vol.% stålfibre har typisk en trykstyrke på ca. 140 MPa og en bøjetrækstyrke på ca. 25 MPa. Ved beregninger regnes med en karakteristisk trykstyrke på 115 MPa, og der benyttes normalt armering med karakteristisk flydespænding på 550 MPa. Det statiske E-modul er på ca. 45 GPa. Da stivheden i CRC kun er moderat bedre end for almindelig beton, vil det ofte med slanke konstruktioner i CRC være nødvendigt at tage specielt hensyn til nedbøjninger i design-fasen.

Udmattelsesforsøg viser at CRC opfører sig lidt bedre end konventionel beton, primært pga. en bedre evne til omfordeling af spændinger.

I nedenstående tabel er angivet forventede middelværdier for en række egenskaber som funktion af fiberindholdet i matricen. For andre fiberindhold kan der interpoleres mellem de angivne værdier. Den enaksede trækstyrke, der er angivet, svarer til den spænding, der kan overføres i et revnet tværsnit. Revner vil initieres ved en spænding, der varierer fra 6 MPa til 7 MPa afhængigt af fiberindhold [3].

Fiberindhold	2%	4%	6%
Trykstyrke [MPa]	125	135	140
Bøjstyrke [MPa]	16	20	25
Trækstyrke [MPa]	6	10	14
Spaltetrækstyrke [MPa]	10	15	20
Forskydningsstyrke [MPa]	6	9	12
E-modul [GPa]	42	44	46

Holdbarhed

Matricen i CRC er ekstremt tæt og har ikke nogen kapillarporøsitet - kun gelporer - og derfor er permeabiliteten meget lav. Imidlertid vil CRC ofte blive anvendt med en væsentligt højere brugslast end en tilsvarende betonkonstruktion, og det har derfor været væsentligt at undersøge om kloridindtrængning foregår hurtigere ved kraftigt belastede konstruktioner. Dette er undersøgt i en speciel opstilling, hvor små bjælker er udsat for kloridpåvirkning samtidig med, at de er belastede.

Undersøgelsesresultaterne er bl.a. tilgængelige i [4] og [5], og de viser, at selv med en formel bøjespænding på 70 MPa i bjælkerne er kloridindtrængningen ikke accelereret. Antallet af mikrorevner forøges ganske vist ved de høje belastninger, men mikrorevnerne er af en størrelse, der ikke har betydning for kloridtransport. Det vil selv ved kraftig eksponering være mere end 100 år før klorid vil trænge ind til armeringen - med et dæklag på 10 mm. Yderligere undersøgelser har vist, at selv om der iblandes store mængder klorid i blandevandet under støbning af bjælkerne, forekommer der alligevel ikke korrosion, idet der ikke foregår transport af vand og ilt i matricen pga. manglen på kapillarporøsitet. Eksempelvis er CRC anvendt til dæksler i tunnellerne på Storebælt med kun 10 mm dæklag til armeringen, selv om der er tale om kloridholdigt miljø og et levetidskrav på 100 år.

Brand

Med meget tætte betoner kan der under brand opstå en meget kraftig - af og til eksplosiv - afskalning. En af de medvirkende faktorer til dette er, at den damp der opstår under opvarmningen, har svært ved at trænge ud gennem den tætte matrice, og damptrykket bliver derved så højt at matricens trækstyrke overskrides, og der sker en afskalning. Denne afskalning kan ske som en delaminering, men specielt for materialer med en høj trækstyrke kan der opbygges så høje damptryk, at afskalningen bliver eksplosiv.

Dette problem kan også optræde for CRC, og en vurdering af opførsel under brandpåvirkning har derfor indgået i flere udviklingsprojekter for CRC, fx. et EUREKA-projekt med deltagelse af flere danske og engelske partnere og et Brite/EuRam projekt med deltagelse af partnere fra Danmark, Frankrig og Spanien. Forsøg udført på Dansk Brandteknisk Institut (DBI) og Aalborg Universitet har vist, at risikoen for afskalning kan elimineres hvis CRC emnet får en vis udtørring inden brandpåvirkningen. Dette kan dels være en accelereret udtørring ved 40-80 °C, dels kan det være opnåelse af en vis alder med deraf følgende naturlig udtørring. Nogle af resultaterne er fx. angivet i [6].

Når denne udtørring er opnået er opførslen af CRC faktisk bedre end for almindelig beton, idet der stort set ingen calciumhydroxid er til stede i matricen, som beskrevet i [7].

Varmeledningsevnen for CRC er ikke væsentligt forskellig fra almindelig beton, og der kan således anvendes de samme beregningsmetoder. Dette er observeret ved forsøg med kileformede bjælker på DBI, hvor bjælkerne var udstyrede med en serie termoelementer og det er senere bekræftet ved forsøg på VTT, Finland og CSTB, Frankrig. Disse sidste forsøg er del af et Brite/EuRam projekt, der specielt har undersøgt effekten af brand for højstyrkebeton. Dette projekt blev afsluttet i april 1999.

Forankring

Til anvendelse i fuger og samlinger er specielt forankringsegenskaberne interessante, og her har CRC en række fordele i forhold til traditionel beton, primært pga. det høje indhold af mikrosilica, der giver en meget stor kontaktflade i grænsen mellem beton og armering, og pga. stålfibrene, der armerer mod revnedannelse omkring armeringsjernene. Herved kan der opbygges en meget større spænding omkring armeringsjernet. En række af de forankringsforsøg, der er udført med CRC, er beskrevet i [8], [9] og [10].

Baseret på et kurvefit af de forskellige forsøgsresultater er en model blevet opstillet for forankringen af kamstål i CRC med 6 vol.% stålfibre. Den opstillede model er udviklet af Carl Bro og baseret på forsøg udført med direkte udtrækning og modellen kan benyttes til at give et estimat på udtræksstyrken. Samlinger i bjælker og plader vil sjældent være påvirkede af rent træk, og det må derfor forventes, at sådanne samlinger kan opbygge en højere forskydningsspænding, end den der bestemmes for direkte udtrækning.

Udover anvendelsen til dæksamlinger, er forankringsegenskaberne i CRC i andre projekter anvendt til samling af rammer, til bjælkesamlinger og i forbindelse med reparationer, hvor der skal indlægges ekstra armeringsjern i eksisterende konstruktioner.

$$\frac{\tau_u}{\sqrt{f_c}} = 0.5 + 0.7 \frac{c}{d} \sqrt{\frac{d}{L}} + 17 \phi_t$$

τ_u = maksimal forskydningsspænding (MPa)

f_c = trykstyrken af CRC (MPa)

c = dæklag til armering (mm)

d = armeringsdiameter (mm)

L = indstøbningslængde af armeringsjern (mm)

$\phi_t = nA_{st}/dL < 0.1$

A_{st} = tværsnitsareal af tværarmeringsjern (mm²)

n = antal tværarmeringsjern

Referencer

1. **Bache**, H.H., "Ny Beton - Ny Teknologi" Beton-Teknik 8/04/1992, Aalborg Portland.
2. **Aarup**, B., "High-Strength Fiber Reinforced Concrete Utilizing Closely Spaced Reinforcing Bars". ACI-publication SP-182 Structural Applications of Fiber Reinforced Concrete, 1999.
3. **Nielsen**, Claus Vestergaard, "Ultra High-Strength Steel Fibre Reinforced Concrete – Part 1: Basic Strength Properties of Composite Matrix", Ph.D. afhandling, DTU, 1995.
4. **Klinghoffer**, O. & **Aarup**, B., "Effect of Microcracks on Durability of Ultra High Strength Concrete". 4th International Symposium on Corrosion of Reinforcement in Concrete Construction, Robinson College, Cambridge, 1-4 July, 1996.
5. **Andrade**, C. & **Frías**, M. & **Aarup**, B., "Durability of Ultra High Strength Concrete: Compact Reinforced Composite (CRC)". BHP96 Fourth International Symposium on Utilisation of High-Strength/High-Performance Concrete, 29-31 May, 1996, Paris, France.
6. **Jensen**, B.C. & **Aarup**, B., "Fire Resistance of Fibre Reinforced Silica Fume Based Concrete". BHP96 Fourth International Symposium on Utilisation of High-Strength/High-Performance Concrete, 29-31 May, 1996, Paris, France.
7. "Forbedret brandmodstand i højstyrkebeton", CtO's arbejdsmark, Dansk Beton 2/96.
8. **Heshe**, G. , "Eksperimentelle undersøgelser vedrørende Compact Reinforced Composite (CRC)". CBL Report No. 45, Aalborg Portland, September 1988. 126 pp. ("Experimental research on Compact Reinforced Composite (CRC)" (in Danish).
9. **Nielsen**, C.V. & **Olesen**, J.F. & **Aarup**, B, "Effect of fibres on the bond strength of high strength concrete". BHP96 Fourth International Symposium on Utilization of High-Strength/High-Performance Concrete, 29-31 May, 1996, Paris, France.
10. **Aarup**, Bendt & **Jensen**, Bjarne Chr. "Bond Properties of High Strength Fiber Reinforced Concrete". The 1997 Spring Convention, American Concrete Institute, Seattle, Washington, USA, April 6-11, 1997, 13 pp.
11. **Aarup**, Bendt, "Fibre Reinforced High Performance Concrete for Precast Applications". 2nd International Symposium on Prefabrication, Helsinki, Finland, 17-19 May, 2000.