



Afstudeeronderzoek naar de invloed van hybride beton
op de waterdichtheid van keldervloeren

Staalvezelbeton in keldervloeren

Om waterdichtheid van keldervloeren te garanderen, is het van belang dat de scheurwijdte van het beton beperkt blijft. De toepassing van traditioneel gewapend beton blijkt nog niet in alle gevallen zekerheid te geven voor die waterdichtheid. Een alternatief is hybride toepassing van traditionele wapening en staalvezels. De mogelijkheden zijn onderzocht in een afstudeerstudie aan de Hogeschool Utrecht.

Afhankelijk van de dikte van de constructie en de grondwaterstand ligt de maximale scheurwijdte waarbij waterdichtheid kan worden behaald volgens de grafiek van Lohmeyer (fig. 2) tussen 0,05 en 0,2 mm. In de huidige praktijk wordt de scheurwijdte veelal beheerst door het aanbrengen van wapeningsstaven. Indien er dan nog lekken optreden, wordt het beton geïnjecteerd. Aangezien er relatief veel wapening nodig is om de scheurwijdte te beheersen en het risico op lekken niet altijd wordt ingedamd, wordt er gekeken naar innoverende oplossingen zoals het toepassen van staalvezelbeton. Hierbij worden in plaats van traditionele wapening korte staalvezels aan het beton toegevoegd om zo de juiste constructieve eigenschappen te verkrijgen. Deze staalvezels kunnen trekkrachten in het beton opnemen en zorgen voor minder scheurvorming. Tegenwoordig worden staalvezels ook toegepast in combinatie met traditionele wapening. Dit wordt hybride beton genoemd. Voor betonnen keldervloeren blijkt deze toepassing in meer opzichten interessant.

In de afstudeerstudie is onderzoek gedaan naar de invloed van staalvezels op de scheurvorming van beton. Hierbij is het gedrag van staalvezelbeton onderzocht en zijn het optimale staalvezeltype en een logische dosering bepaald. Daarnaast zijn verschillende beschikbare rekenmodellen vergeleken en op geschiktheid beoordeeld. Vervolgens is aan de hand van een parameterstudie van een voorbeeldproject genaamd Schelphoek berekend wat de kostenbesparing zou zijn geweest indien staalvezelbeton was toegepast.

¹⁾ Maikel van Dooren is met het onderzoek 'Staalvezelbeton in keldervloeren' afgestudeerd aan de Hogeschool Utrecht, opleiding Bouwkunde, afstudeerrichting Bouwconstructies. Hij heeft dat onderzoek uitgevoerd bij en in opdracht van BAM Advies & Engineering. Hij werd begeleid door ir. M.M.J. Spanenburg van BAM en J. Wiersema MSeng en ir. O. Verschuren van de Hogeschool Utrecht. Een link naar het rapport staat op www.cementonline.nl. Momenteel is Maikel van Dooren bezig aan zijn Masteropleiding Structural Engineering aan de TU Delft.

ENCI Studieprijs 2014



Dit is het zesde en laatste artikel in een serie met bijdragen van prijswinnaars van de ENCI Studieprijs 2014. De studie die in dit artikel wordt beschreven, ontving een eervolle vermelding in de categorie Hogescholen. De jury over deze studie: "[...] De systematische aanpak van de problematiek met een kritische analyse van de verkregen resultaten en duidelijke verantwoording van de gekozen modellering, heeft geleid tot een studie van hoog niveau. Er is daarnaast een prima balans gevonden tussen hoofdrapport en bijlagen, met een goede ondersteuning door foto's, figuren en tabellen. De presentatie is zeer verzorgd en het werk is vlot leesbaar."

Meer informatie op www.cementonline.nl/encistudieprijs.

Eigenschappen staalvezelbeton

Als bij ongewapend beton door een trekkracht de treksterkte wordt overschreden, scheurt de constructie en kan de constructie geen kracht meer opnemen. De constructie bestaat dan uit twee 'losse' stukken beton. Door het toevoegen van staalvezels wordt het gedrag van het beton na het optreden van scheurvorming beïnvloed, het zogenoemde nascheurgedrag: nadat de constructie is gescheurd, zorgen de vezels ervoor dat er trekspanningen kunnen worden opgenomen. Vervolgens zullen de vezels gaan uitrekken en, afhankelijk van de verankering, uit het beton slippen (foto 3). De trekspanning die het staalvezelbeton na het scheuren kan opnemen, wordt de residuele treksterkte genoemd. Afhankelijk van diverse eigenschappen van het beton en de vezels (zie kader) is de residuele treksterkte hoger of lager dan de treksterkte op het moment dat een scheur ontstaat. In het geval dat de residuele treksterkte hoger is dan de treksterkte van het beton, wordt er gesproken van strainhardening. In het geval dat de residuele treksterkte lager is dan de treksterkte van het beton, wordt er gesproken van strainsoftening (fig. 4).





3

Invloedsfactoren treksterke

De factoren die invloed hebben op de residuele treksterkte zijn:

- vezeldosering;
- l/d-ratio;
- vezellengte;
- verankering;
- vezelsterkte;
- betonsterkte;
- vezeloriëntatie.

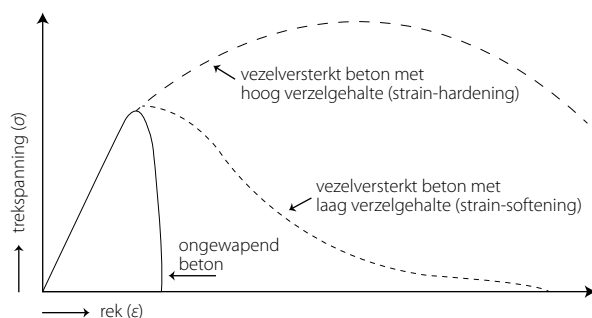
Scheurvorming bij staalvezelbeton

Staalvezelbeton heeft de eigenschap dat het goed toepasbaar is bij de beheersing van scheurvorming. In figuur 5 is het scheurvormingsproces van hybride beton schematisch weergegeven. In het navolgende wordt per fase toegelicht wat de invloed is van staalvezels.

Ongescheurde fase

Staalvezels hebben geen invloed op de ongescheurde fase van hybride beton.

4



Scheurvormingsfase

Bij het ontstaan van de eerste scheur zou traditioneel gewapend beton geen trekkrachten meer kunnen opnemen, maar moet de wapening alle krachten opnemen. Bij hybride beton kan het staalvezelbeton nog wel trekkrachten opnemen. Deze kracht moet na het scheuren worden verdeeld over de wapening en het staalvezelbeton. De spanning in de wapening zal dan dus lager zijn dan bij traditioneel gewapend beton.

Door rekverschillen tussen het beton en de wapeningsstaaf treden er aanhechtspanningen op aan weerszijden van de scheur (fig. 6). Het traject dat wordt afgelegd van het midden van de scheur tot de plaats waarop de rek van het beton en de wapening gelijk is, wordt de overdrachtslengte genoemd. Binnen de overdrachtslengte loopt de spanning in het beton vanaf het midden van de scheur op en neemt de spanning in het staal af. Op de plaats waar de spanning in het beton de scheurtreksterkte bereikt, zal een volgende scheur ontstaan. Doordat in het staalvezelbeton al een trekspanning heerst, is er minder spanning nodig om een nieuwe scheur te laten ontstaan en is de overdrachtslengte korter. De scheurwijdte is afhankelijk van de spanning in het staal en de overdrachtslengte. Aangezien beide factoren kleiner zijn, zal ook de scheurwijdte kleiner zijn.

Voltooid scheurvorming

Bij de voltooide scheurvorming overlappen alle overdrachtslengten elkaar en zijn er geen gebieden meer waar geen aanhechtingsspanningen zijn. De voltooide scheurvorming wordt bereikt op het moment dat de kracht ten gevolge van de rek in het staal en het staalvezelbeton gelijk is aan de kracht om het beton te laten scheuren. Aangezien het staal bij hybride beton een minder grote kracht hoeft op te nemen ten opzichte van traditioneel gewapend beton, zal de rek – om de voltooide scheurvorming te bereiken – kleiner zijn.

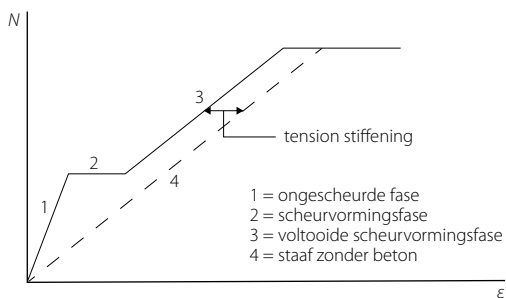
Omdat de overdrachtslengte bij staalvezelbeton kleiner is, zal er in het beton meer ruimte zijn om scheuren te laten ontstaan. Daarnaast is de spanning in het staal lager omdat de vezels een deel van de trekspanning kunnen opnemen. Dit samen zorgt ervoor dat er meer kleinere scheuren in het beton zullen ontstaan.

Bepalen materiaaleigenschappen

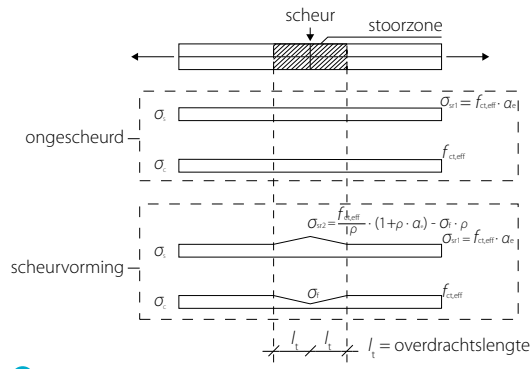
In Nederland wordt gebruikgemaakt van twee methoden om de materiaaleigenschappen van staalvezelbeton te bepalen. De richtlijnen voor deze methoden worden gegeven in CUR-Aanbeveling 35 (CUR35) [1] en NEN-EN 14651 [2]. Vermeld moet worden dat CUR35 alleen van toepassing is voor elastisch ondersteunde verhardingen. Deze aanbeveling kan dus alleen worden aangehouden als belasting op de vloeren direct aan de grond worden afgedragen en niet als sprake is van constructieve of vrijdragende vloeren.

Voor alle overige constructieonderdelen geldt NEN-EN 14561.

- 5 Trekkraft-rekdiagram hybride beton met toelichting op scheurvormingsproces
- 6 Spanningen in hybride beton bij scheurvorming
- 7 Resultaat van driepuntsbuigproef
- 8 Spanning-rekdiagram volgens CUR-Aanbeveling 111
- 9 Driepuntsbuigproef volgens NEN-EN 14561

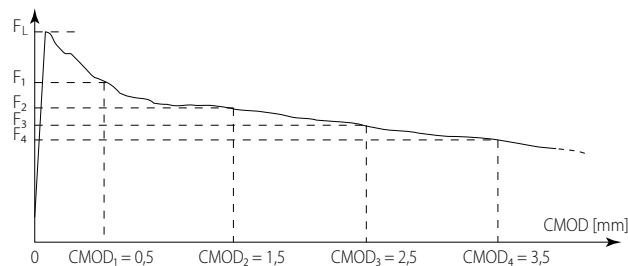


5



6

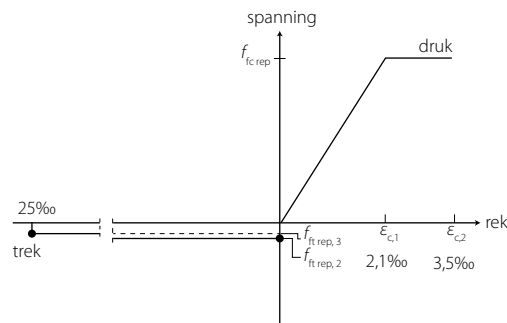
Deze laatste is dan ook aangehouden in dit onderzoek. Bij deze methode wordt de residuele treksterkte van het staalvezelbeton bepaald aan de hand van een driepuntsbuigproef met zaagsnede (foto 9). Het resultaat van de proef is weergegeven in figuur 7. De afkorting CMOD staat voor Crack Mouth Opening Displacement, oftewel de vergroting van de scheurwijdte op de plek van de zaagsnede. Uit de grafiek kan de kracht worden afgelezen die de constructie per CMOD kan opnemen. Vanuit hier kan de residuele treksterkte per CMOD worden afgeleid.



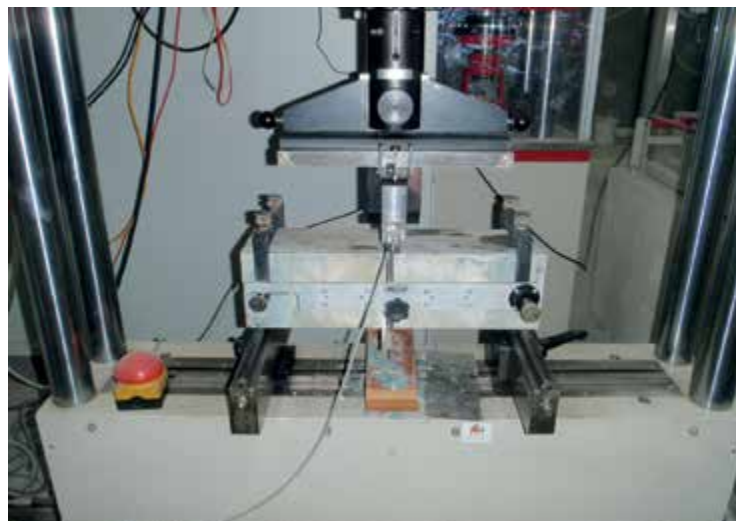
7

Berekening moment- en ponscapaciteit en scheurwijdte

Naast de invloed van de staalvezels op de beheersing van de scheurwijdte, zorgen de staalvezels er ook voor dat de moment- en ponscapaciteit worden verhoogd. Ten behoeve van het ontwerp en de berekening van staalvezelbetonconstructies zijn er verschillende methoden beschikbaar. In dit onderzoek zijn de voorschriften van CUR-Aanbeveling 111 (CUR111) [3] en de Model Code 2010 [4] met elkaar vergeleken voor de moment- en ponscapaciteit. Voor de berekening van de scheurwijdte is tevens gekeken naar de methode die omschreven staat in [5]. Uit de vergelijking is geconcludeerd dat beide methoden voor het bepalen van de moment- en ponscapaciteit goed toepasbaar zijn. Het verschil tussen de methoden ligt vooral in het verschil in materiaalfactoren die worden toegepast. Aangezien CUR111 wordt aangestuurd door NEN wordt geadviseerd voor het bepalen van de moment- en ponscapaciteit te rekenen met deze aanbeveling. Hierin wordt gerekend met het spanning-rekdiagram van staalvezelbeton zoals weergegeven in figuur 8. Hierbij dienen karakteristieke waarden van de residuele treksterkten worden bepaald door middel van NEN-EN 14561 en materiaalfactoren van $\gamma_{ft} = \gamma_{fc} = 1,5$ worden toegepast. Voor de berekening van de scheurwijdte wordt de methode uit [5] aanbevolen. Dit aangezien deze methode de minste uitschieters bevat en deze methode in de huidige praktijk in Nederland met goede ervaringen al veelvuldig wordt toegepast.



8



9



10

Praktijkcase: Schelphoek

Om de invloed van de toepassing van staalvezels in traditioneel gewapend beton te onderzoeken, is een praktijkcase uitgevoerd. In Alkmaar is in 2010 een parkeergarage gebouwd genaamd Schelphoek. Dit project bestaat uit een drielaagse ondergrondse parkeergarage met hierboven meerdere lagen appartementen. Ten behoeve van de scheurwijdtebeheersing is in de onderste keldervloer destijds veel wapening aangebracht (foto 10). Aan de hand van een parameterstudie is een technisch en economisch optimum gezocht voor dit project indien er hybride beton zou zijn toegepast, waarbij is gerekend met de eerdergenoemde methoden.

In deze berekening is voor verschillende vezeltypen en -doseringen per optredend moment berekend welke wapening moest worden toegepast om het moment te kunnen opnemen en de scheurwijdten te beheersen. Hieruit bleek dat de toevoeging van staalvezels voor een grote reducering van de benodigde wapening zorgt. De basiswapening die moest worden toegepast, bestaat alleen uit de minimale wapening die nodig is om te voorkomen dat de constructie direct na het scheuren bezwijkt.

De besparing op de wapening geeft niet alleen een verlaging op de aanschafkosten van de wapening, maar zorgt tevens voor minder arbeid op de bouwplaats. Er hoeft minder wapening te worden aangebracht en gevlochten en er is minder opslagcapaciteit benodigd voor de wapening. Echter, de kosten van het betonmengsel zijn bij staalvezelbeton hoger. Voor het project Schelphoek is berekend wat de besparing is op de kosten door het toepassen van staalvezelbeton. Hieruit is geconcludeerd dat de toepassing van 30 kg/m^3 van zowel de Dramix 4D-vezel als de Dramix 5D-vezel van de producent Bekaert voor het project Schelphoek een besparing van tussen de 22% en 34% geeft, afhankelijk van de grootte van het af te wapenen moment.

Conclusies en aanbevelingen

De toepassing van hybride beton is een voordelige manier voor de besparing van traditionele wapening in keldervloeren. Door staalvezels te combineren met traditioneel gewapend beton wordt de moment- en ponscapaciteit van het beton verhoogd en worden de scheurwijdten beperkt.

De optimale verhouding tussen de wapening en staalvezels bij hybride beton is per project verschillend. In de praktijkcase van Schelphoek is een vezeldosering toegepast van 20 tot 30 kg/m^3 . Hierbij was te zien dat bij een hogere vezeldosering het resultaat beter is. De verwachting is dat het resultaat bij een nog hogere vezeldosering (als 35 kg/m^3) nog beter zal zijn. De berekening hiervan viel echter buiten het onderzoek. ☒

● LITERATUUR

- 1 CUR-Aanbeveling 35, Bepaling van de buigsterkte, de buigtaaiheid en de equivalente buigtreksterkte van staalvezelbeton, SBRCURnet, 1994.
- 2 NEN-EN 14651:2005+A1:2007, Beproevingmethode voor staalvezelbeton – Meten van de buig-treksterkte.
- 3 CUR-Aanbeveling 111, Staalvezelbeton bedrijfsvloeren op palen – Dimensionering en uitvoering, SBRCURnet, 2007.
- 4 International Federation for Structural Concrete, Model Code 2010 – first complete draft vol 1 & 2, DCC Document Competence Center Siefmar Kästl e.K., Duitsland, 2010.
- 5 Breugel, K., van, Veen, C., van der, Walraven, J.C., Braam, C.R., Betonconstructies onder Temperatuur- en Krimpvervormingen: theorie en praktijk. Stichting BetonPrisma, 1996.