



Onderzoek naar versterkingen met ingeboorde korte ankers

Versterking breedplaatvloeren onderzocht

De ontdekking van de 'systeemfout' bij de vloeren in de parkeergarage van Eindhoven Airport heeft geleid tot vele uitdagingen. Hoe kan worden vastgesteld of vergelijkbare andere constructies nog veilig genoeg zijn? En, als blijkt dat constructies niet voldoen, hoe kunnen die dan worden versterkt? Onder leiding van BAM is in samenwerking met Hilti en een aantal andere partijen onderzoek gedaan naar de mogelijkheden van versterking door middel van in te boren ankers.

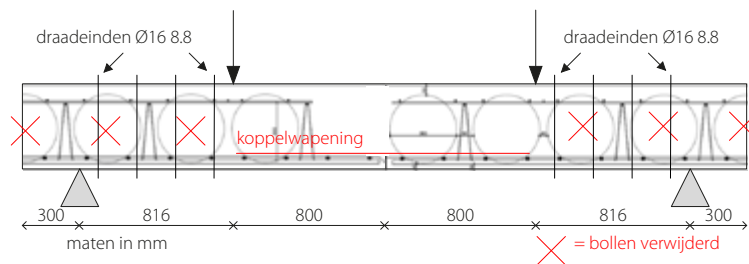
Uit de onderzoeken van TNO, Adviesbureau Hageman en de Onderzoeksraad voor Veiligheid [1], is naar voren gekomen dat de parkeergarage van Eindhoven Airport gedeeltelijk kon instorten door onvoldoende capaciteit voor een positief buigend moment ter plaatse van de plaatnaden. Een versterkingsmethode moet er dan ook op gericht zijn de buigendmomentcapaciteit van de vloer ter plaatse van de plaatnaden te verhogen.

Experimenteel onderzoek naar oorzaak instorting

Voor het onderzoek naar de oorzaak van de instorting zijn in 2017 in het Structures Laboratory van de TU Eindhoven proeven uitgevoerd (Bijlage XI bij [2]). Proefstukken met een lengte van 3,8 m, een breedte van 0,8 m en een dikte van 450 mm zijn gebruikt om een deel van de vloer, inclusief de

Taskforce

Aansluitend op het onderzoek naar de oorzaak van de gedeeltelijke instorting van de parkeergarage Eindhoven Airport [2], heeft BAM het initiatief genomen versterkingen te gaan onderzoeken. Daartoe is een Taskforce gestart, waarin naast BAM wordt deelgenomen door Hilti Nederland, Adviesbureau Hageman, Van Rossum en ABT.



2

prof.dr.ir. Dick Hordijk

Adviesbureau ir. J.G. Hageman / TU Delft, fac. CITG

ir. Vincent van der Wal RO

BAM Advies & Engineering

ir. Marjan Vos-Pols

Hilti Nederland

naad tussen de breedplaten met de koppelwapening, te representeren. Een schets van het proefstuk en de wijze van belasten is in figuur 2 weergegeven. Om te voorkomen dat, als gevolg van de gekozen wijze van beproeven, in de experimenten vroegtijdig bezwijken door dwarskracht optreedt, zijn aan de uiteinden bollen weggelaten en buiten het gebied van de verbinding versterkingen (draadeinden) aangebracht.

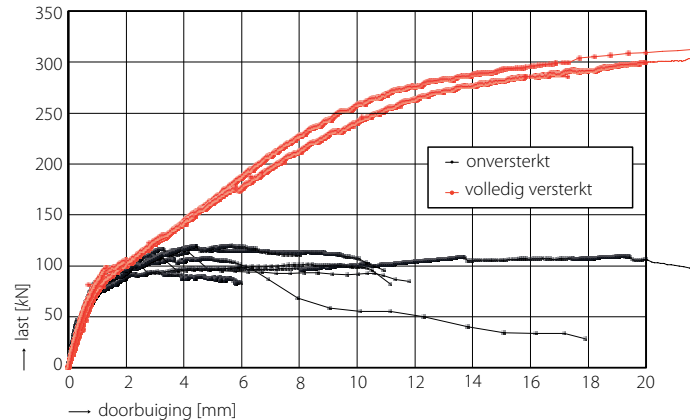
Onversterkte proeven

In totaal zijn tien proefstukken vervaardigd, waarvan er zeven onversterkt zijn beproefd. Hierbij is een aantal variaties meegenomen, zoals hoeveelheid en plaats koppelwapening, wel of geen bol bij de naad en wel of geen knik ter plaatse van de naad. De gevonden last-doorbuigingsrelaties verschilden onderling niet veel. In figuur 3 zijn die weergegeven als 'onversterkt', waarbij de last gelijk is aan één van de twee lasten in de vierpuntsbuigproef (fig. 2). Voor de proefstukken met als koppelwapening 4 Ø16 mm tussen de bollen bleek het experimenteel gevonden maximale buigend moment slechts een derde van het maximale buigend moment dat behoort bij vloeien van de koppelwapening.

In de experimenten is gevonden dat met toenemende last en doorbuiging, in eerste instantie de naad tussen de breedplaten geleidelijk in breedte toeneemt, terwijl er tegelijkertijd in het gedeelte tussen de tralieligger en de naad een opening ontstaat ter plaatse van het aansluitvlak tussen de druklaag en de breedplaat. Dit is gemeten met opnemers over respectievelijk de naad (horizontaal) en het aansluitvlak (verticaal). De maximaal op te nemen last (één van de twee puntlasten) varieerde tussen 94 kN en 120 kN en leek te zijn bepaald door de initiatie van het bij één van de twee breedplaten uittrekken van de op afschuiving en trek belaste tralieligger. Het uittrekken vond geleidelijk plaats, waarbij met min of meer gelijkblijvende last de doorbuiging nog aanzienlijk kon toenemen, alvorens door het volledig uittrekken van de tralieligger de capaciteit geheel wegviel. Er was dus sprake van een redelijk ductiel gedrag.

Foto 4 toont een bezwiken proefstuk. Dit betreft een proefstuk, waarbij aan beide zijden van de naad in het gebied tot aan de tralieligger geen gewichtsbesparende bollen waren toegepast. Zoals is te zien in foto 4, loopt het breukvlak langs het aansluitvlak van de druklaag. Dat begint bij de naad en eindigt aan het uiteinde van de koppelwapening, waar het breukvlak verder gaat in een verticale scheur in de druklaag. De tralieligger is de enige wapening die dit breukvlak doorkruist. Het zijn in eerste

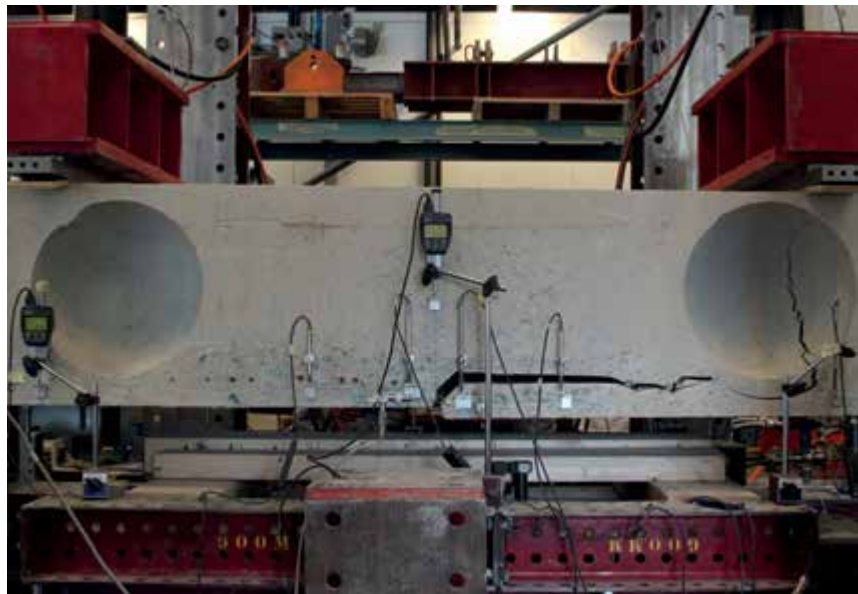
- 1 Versterking proefstuk VA34 met aan elke zijde 8 voorgespannen ankers nabij de naad (NB: de ankers tussen de last en de oplegging zijn de draadeinden)
- 2 Beproevingwijze voor buigendmomentcapaciteit, zoals toegepast in onderzoek naar de oorzaak van de instorting [2]
- 3 Last-doorbuigingsrelaties gevonden in het onderzoek naar de oorzaak van de instorting [2] en voor proefstukken die 'volledig' waren versterkt
- 4 Bezweken proefstuk [2]



3

instantie de treksterkte van het beton en afschuifsterkte van het aansluitvlak (voor zover gehecht), die de buigendmomentcapaciteit bepalen. Na het loskomen van de hechtlaag (bij uittrekken tralieligger), is het waarschijnlijk de trekkracht in de tralieligger en de daarmee evenwicht makende drukkracht in het aansluitvlak achter de tralieligger, die nog voor de samenhang zorgt. Met de schuifspanningen in het onder druk staande aansluitvlak en de afschuifkrachten in de benen van de tralieligger, zal de trekkracht uit de koppelwapening via het aansluitvlak naar de wapening in de breedplaat kunnen worden overgebracht (fig. 5).

4





6

5 Verondersteld mechanisme in de horizontale tak van het last-doorbuigingsdiagram

6 Versterking proefstuk VL34b met aan elke zijde 8 stuks 300 mm diep ingelijmde 8.8 draadeinden M20

7 Principe van versterking van breedplaten met korte ankers

'Volledige' versterking

De resterende drie proefstukken in het onderzoek zijn gebruikt voor verkennende proeven op versterkte proefstukken. Bij proefstuk VA34 zijn aan beide zijden van de naad vier ankers M16 en twee ankers M20 door en door aangebracht, waarbij in de ankers een voorspanning van circa 350 MPa is aangebracht (foto 1). Bij een tweede proefstuk, VL34b, zijn aan elke zijde van de naad 8 draadeinden 8.8 M20 over een lengte van

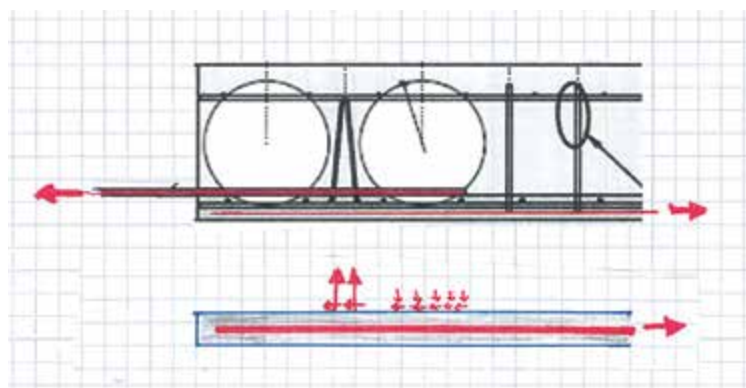
300 mm ingelijmd. Daarbij waren tevens twee achter elkaar gelegen ankers verbonden via een stalen strip (foto 6). In beide proeven was de verbinding zodanig versterkt dat vloeien van de wapening, in dit geval in de breedplaat, het bezwijkmechanisme was. De last-doorbuigingsrelaties zijn ook in figuur 2 weergegeven met de aanduiding 'volledig versterkt'.

Principe van versterking met korte ankers

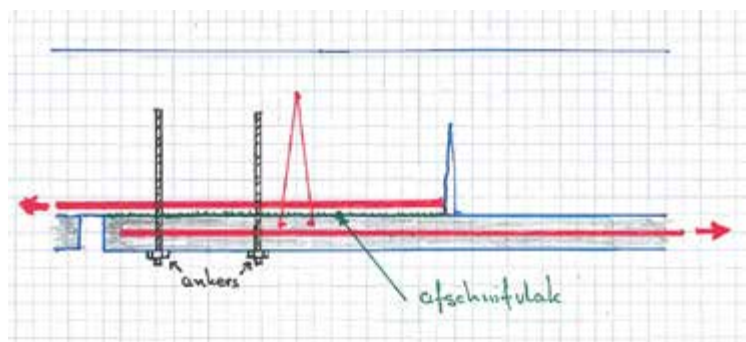
In 2018 is het onderzoek naar versterkingsmogelijkheden bij breedplaatvloeren voortgezet. Hierbij is uitgegaan van een versterkingsmethode met korte ankers met als bedoeling de capaciteit van het aansluitvlak, of eigenlijk de overlappingslas, te verbeteren. De ankers fungeren dan net als wapening loodrecht op de overlappingslas (fig. 7). Belangrijk is dat de ankers voldoende zijn verankerd voor het opnemen van trekkrachten. Ook geldt dat als de ankers te dicht bij de rand van de breedplaat worden geplaatst randbreuk kan optreden. Kortom, er moet aandacht worden besteed aan de positie van de ankers. In het geval van een vloer met gewichtsbesparende elementen wordt de positie van de ankers ook in belangrijke mate bepaald door aangebrachte bollen, waarin vanzelfsprekend niet kan worden verankerd, en de positie van de wapening in de breedplaat en van de koppelwapening.

Opzet onderzoek naar versterking met korte ankers

Voor het onderzoek in 2017 waren twee vloervelden met de afmetingen $5 \times 6 \text{ m}^2$ gemaakt, waarbij de breedplaten in de fabriek op dezelfde wijze waren vervaardigd als die voor de vloeren van de parkeergarage. Uit die vloervelden zijn daarna de proefstukken gezaagd. Omdat het niet mogelijk was de breedplaten opnieuw in dezelfde fabriek te maken, zijn die door BAM zelf vervaardigd. Nu zijn er geen proefstukken uit



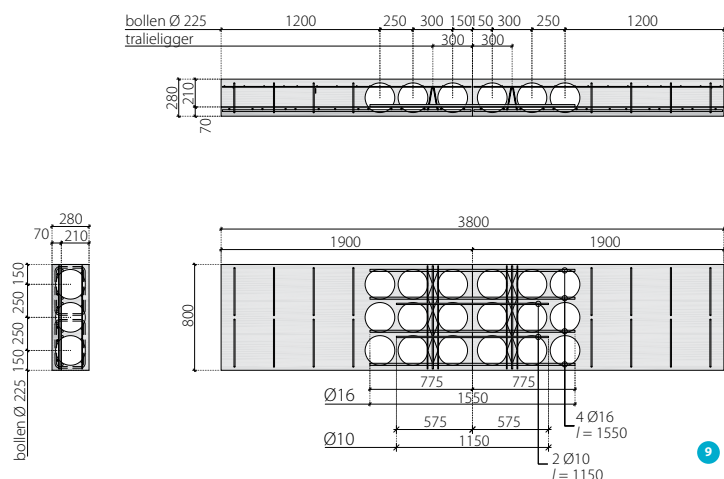
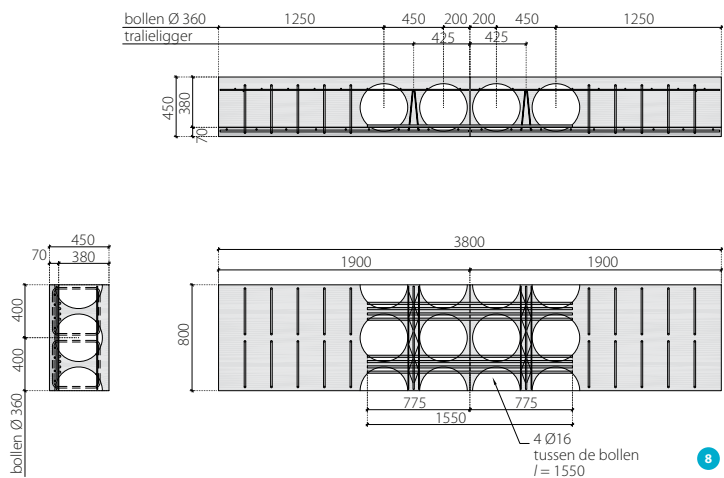
5



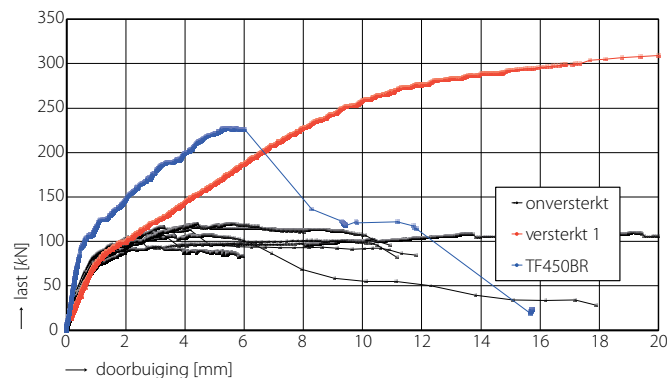
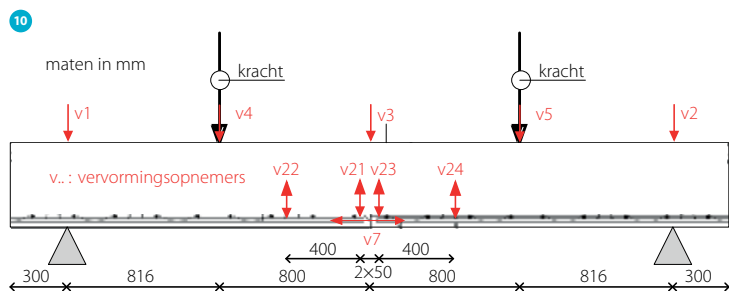
7

- 8 Tekening van 450 mm hoog proefstuk, waarbij de koppelwapening is aangegeven
 9 Tekening van 280 mm hoog proefstuk, waarbij de koppelwapening is aangegeven

- 10 Uitgevoerde metingen tijdens de experimenten
 11 Last-doorbuigingsrelatie voor proefstuk TF450BR (onversterkt en type B)



een groter geproduceerd vloerveld gezaagd, maar zijn de proefstukken direct in de gewenste afmetingen gemaakt. Voor de breedplaten is wel hetzelfde betonmengsel toegepast, maar de wijze van uitvoering was vanzelfsprekend significant anders dan in 2017.



11

De proefstukken zijn wederom beproefd in het Structures Laboratory van de TU Eindhoven. Hierbij is gekozen dezelfde proefopzet te gebruiken als die voor de proeven in 2017 is gebruikt. In figuur 8 is een tekening van het proefstuk opgenomen. In de 800 mm brede breedplaat is 8 Ø14 mm en 4 Ø8 mm (totaal 1433 mm²) als langswapening opgenomen en de toegepaste koppelwapening is 8 Ø16 mm (totaal 1608 mm²). In de praktijk komen verschillende typen vloeren voor met verschillende dikten. Om die reden zijn naast proefstukken van 450 mm ook proeven uitgevoerd op proefstukken met een dikte van 280 mm (fig. 9). De hoeveelheid koppelwapening is hierbij 961 mm², terwijl in de breedplaat 1012 mm² is toegepast.

Omdat in de praktijk soms een strook naast de naad massief is gemaakt, door de eerste rij bollen weg te laten, is dat ook als variabele in het onderzoek meegenomen. Bij proefstukken aangeduid als 'type A' lopen de bollen door tot aan de naad, terwijl bij proefstukken 'type B' de rij bollen tussen de naad en de tralieligger is weggelaten.

Als referentie voor de proeven met een versterking is een aantal proefstukken onversterkt beproefd. In figuur 10 zijn de metingen weergegeven die tijdens de experimenten zijn uitgevoerd.

Resultaten onversterkte proefstukken

Bij de eerste proefstukken die zijn vervaardigd en die onversterkt zijn beproefd, bleek de aanhechting in het aansluitvlak beter te zijn dan bij de in 2017 beproefde proefstukken. De wijze van mengen, transporteren, storten en nabehandelen bleek van grote invloed te zijn op de aanhechting in het aansluitvlak. Dat kan worden afgeleid uit de last-doorbuigingsrelaties (fig. 11). In vergelijking met de in 2017 uitgevoerde proeven kon de last oplopen naar een waarde van circa 200 kN, waarbij de toename van de opening van de naad tussen de breedplaten zeer beperkt bleef en het aansluitvlak gehecht bleef. Vervolgens ontstond er een geringe scheur in het aansluitvlak bij een van de breedplaten. Toen de last verder was opgelopen tot 227 kN ontstond de scheur ook ter plaatse van de tralieligger en viel de last terug naar een niveau vergelijkbaar met het plateau dat voor de proeven in 2017 was gevonden.



12a



12b

Bij de diverse proeven bleek dat het last-doorbuigingsverloop bij benadering dat van een 'volledige versterking' volgt tot het moment dat bij één van beide breedplaten de gemeten verticale vervorming ter plaatse van de tralieligger toeneemt. Dit duidt op het openen van het aansluitvlak en een begin van uittrekken of vloeien van de tralieligger. Het verschil in stijfheid met de proeven uit 2017 kan worden verklaard met enerzijds een betere aanhechting en anderzijds een hogere druksterkte van de druklaag.

Bewuste onthechting proefstukken

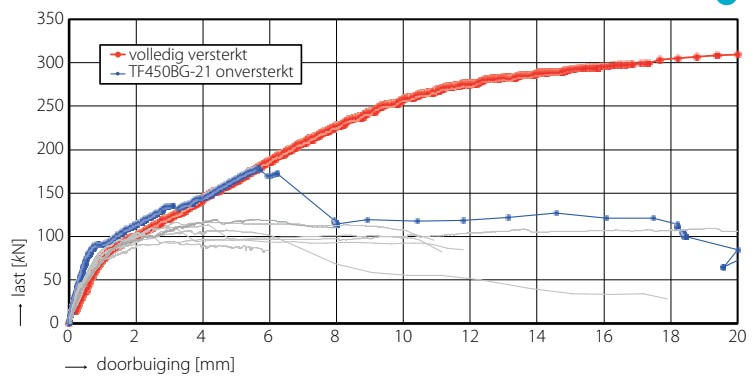
Na de bevindingen, zoals die voorgaand zijn gepresenteerd, is besloten om in nieuwe proefstukken het deel tussen de naad en de tralieligger bewust te onthechten. Daartoe is over dat gedeelte een dubbele laag folie (plastic zak voor PMD-afval) op de breedplaat aangebracht voor het aanbrengen van de druklaag (foto 12). Ondanks de aangebrachte folie bleek ook nu eerst nog een enigszins hogere kracht opgenomen te kunnen worden, alvorens het breedplaatdeel voor de tralieligger loskwam en bij de tralieligger de verticale vervorming toenam (begin van uittrekken). Zoals in figuur 13 is te zien, bleek bij het geleidelijk uittrekken van de tralieligger uit de breedplaat de opening bij de naad en in het aansluitvlak verder toe te nemen (resp. fig. 13b en 13c), terwijl de opneembare last bij tevens toenemende doorbuiging min of meer constant bleef

12 Folie aangebracht op breedplaat in gedeelte voor de tralieligger (a) type A en (b) type B) bij 450 mm hoog proefstuk voor het aanbrengen van de druklaag

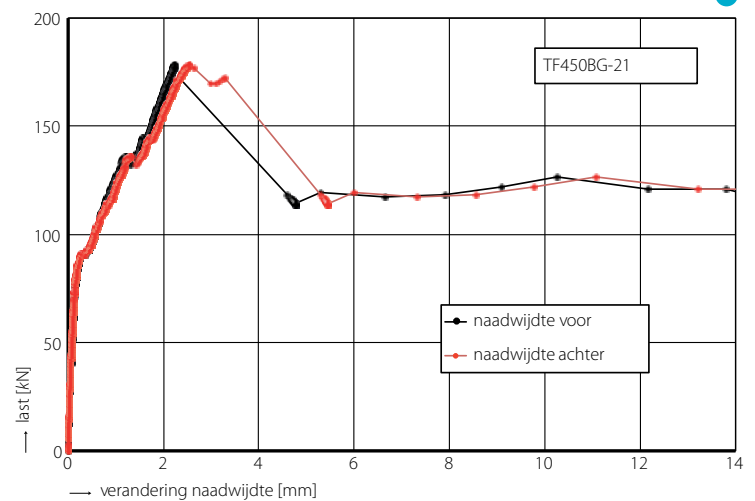
13 Resultaten voor onversterkt 450 mm proefstuk met folie voor de tralieligger: (a) last-doorbuiging, (b) toename wijdte van de naad, (c) opening aansluitvlak

(fig. 13a). Dit gedrag komt overeen met wat in 2017 is waargenomen, waarbij het niveau van de last in het plastische gebied ook bij benadering gelijk is.

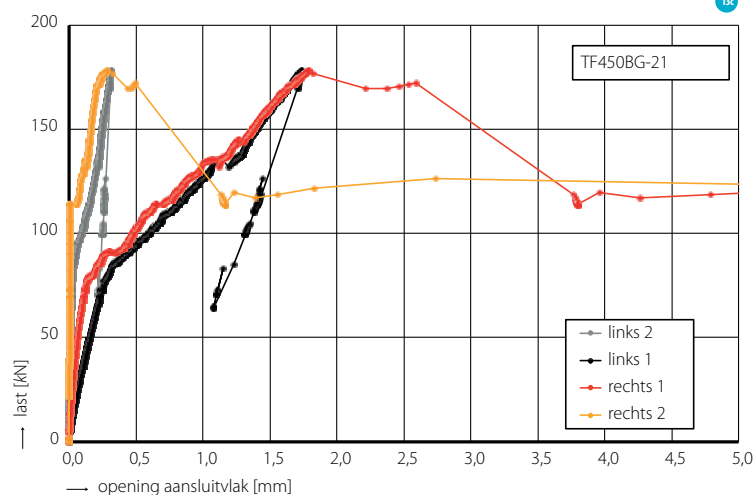
Bij alle navolgend besproken proeven is in het gebied voor de tralieligger op de breedplaat een folie toegepast. Op deze manier ontstaat een worstcasescenario, namelijk van een al bij de naad gedeeltelijk onthechte vloer, vergelijkbaar met wat op verschillende projecten is aangetroffen.



13a



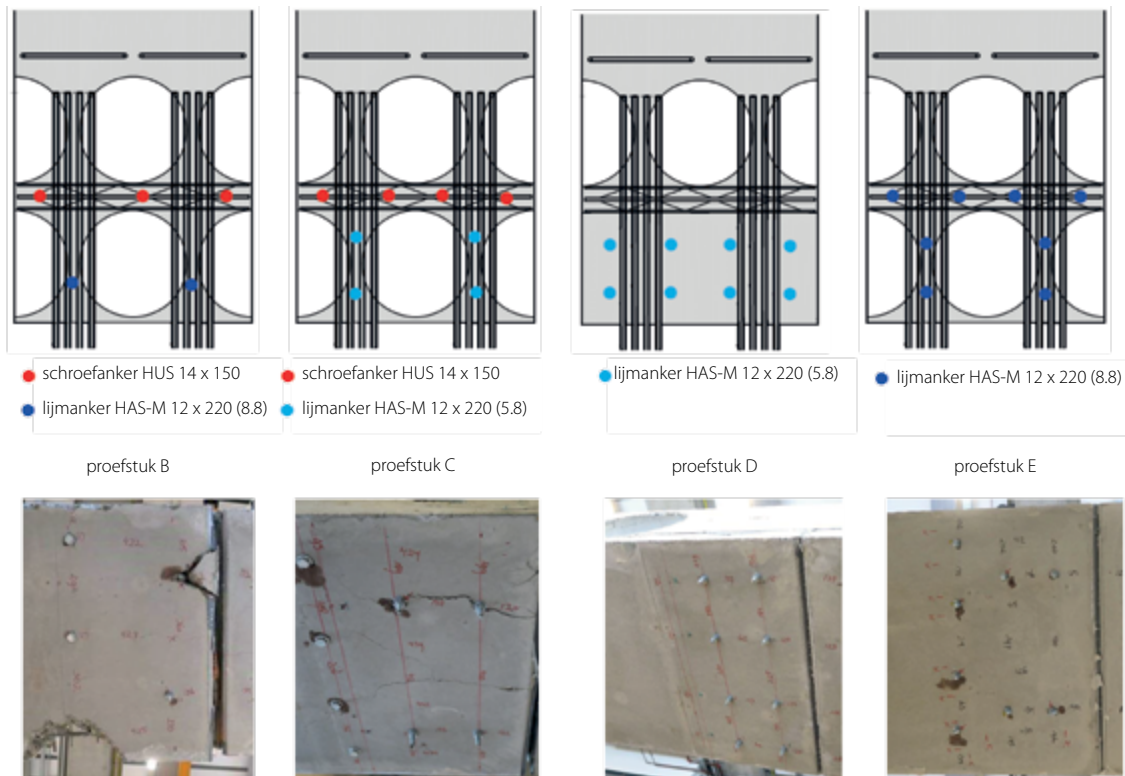
13b



13c



14



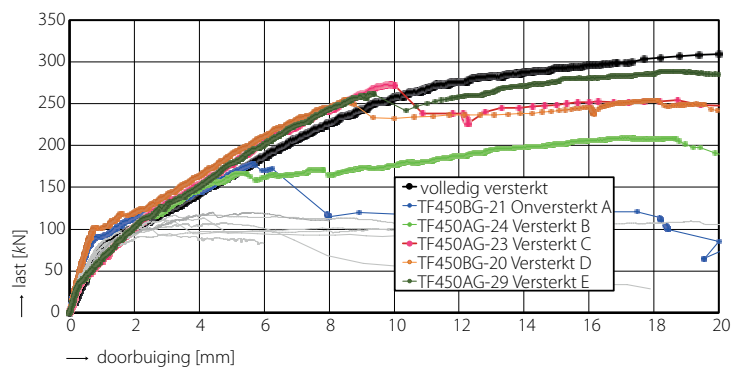
- 14 Bezwegen proefstuk, behorend bij resultaten van figuur 13
- 15 Een aantal onderzochte ankerconfiguraties voor de proefstukken met een hoogte van 450 mm
- 16 Last-doorbuigingsrelaties voor 450 mm hoge proefstukken en ankerconfiguraties van figuur 15

15

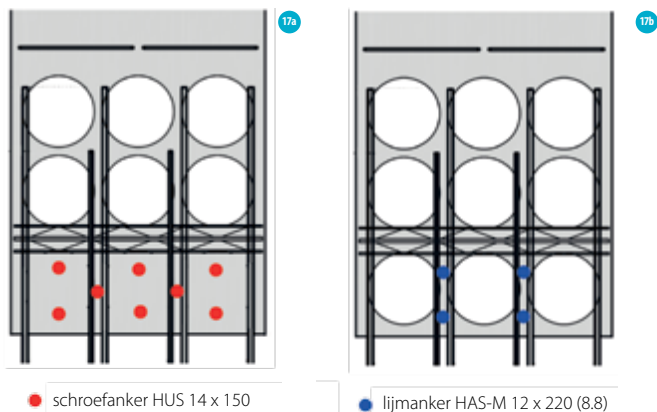
Versterkingen bij 450 mm hoge proefstukken

Met een serie proefstukken, waarbij zoals gezegd in het deel voor de tralieligger een folie tussen de breedplaat en de druklaag is toegepast, zijn versterkingen met korte ankers onderzocht. Diverse typen ankers van Hilti zijn toegepast. Dit betreft schroefankers HUS-14 en lijmankers HAS-M12. Hierbij zijn voor de draadeinden bij de lijmankers kwaliteit 5.8 en 8.8 toegepast. De lengte van de gebruikte schroefankers was 150 mm en voor de lijmankers is een inboordiepte van 220 mm toegepast.

Bij proefstukken type A, waarbij direct naast de naad bollen aanwezig zijn, was het plaatsen van de ankers niet eenvoudig.



16



● schroefanker HUS 14 x 150

● lijmancker HAS-M 12 x 220 (8,8)



Vanzelfsprekend kan met de toegepaste ankers niet worden verankerd ter plaatse van bollen. Dan blijft feitelijk alleen de baan waar de koppelwapening ligt en de baan van de tralieligger over. Bij plaatsen van de ankers in de baan van de koppelwapening is er een redelijke kans dat op de wapening wordt geboord. Gebruik is gemaakt van hamerboren en bij vastlopen op een wapeningsstaaf is vervolgens het anker er direct naast aangebracht. Het bleek over het algemeen goed te doen de ankers op deze wijze aan te brengen. Het aantal malen dat opnieuw moest worden geboord, was relatief beperkt. Hilti heeft al ervaring opgedaan en daarmee een werkmethode ontwikkeld waarbij het raken van de wapening zo veel mogelijk wordt voorkomen. Ook is in het testlaboratorium van Hilti in Liechtenstein op proefstukken met bollen onderzocht of het aanbrengen van de ankers extra delaminatie veroorzaakt. Dat is niet het geval.

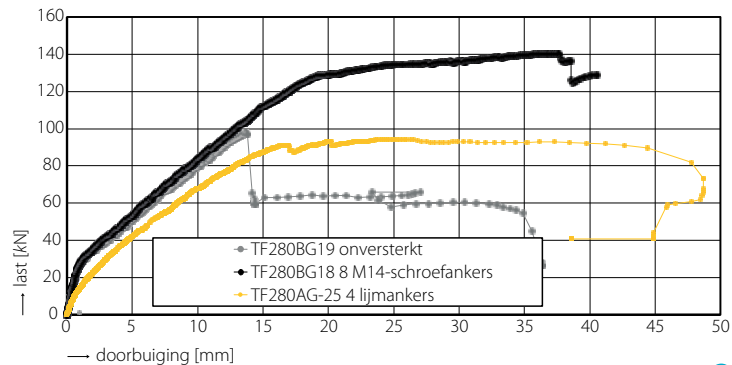
Voor de 450 mm hoge proefstukken zijn de ankerconfiguraties in figuur 15 weergegeven en de last-doorbuigingsrelaties in figuur 16.

Versterkingen bij 280 mm hoge proefstukken

Voor de 280 mm hoge proefstukken zijn de ankerconfiguraties in figuur 17 weergegeven en de last-doorbuigingsrelaties in figuur 18.

Analyse van de resultaten

Bij alle voorgaand besproken proeven is gevonden dat het last-doorbuigingsverloop in het eerste gedeelte niet veel onderling

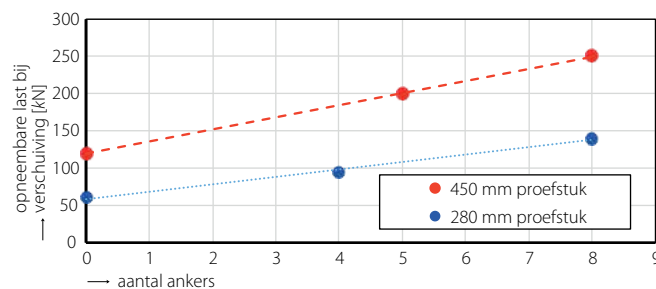


verschilt en niet veel afwijkt van wat in 2017 is gevonden voor een volledig versterkt element. De verschillen in doorbuiging (stijfheid) lijken met name samen te hangen met de mate waarin de naad tussen de breedplaten open kan gaan staan, c.q. in hoeverre in het gedeelte voor de tralieligger onderlinge verschuiving tussen de breedplaat en de druklaag optreedt aan één of beide zijden van de naad.

Bij een bepaalde last komt bij één van de twee breedplaten het aansluitvlak min of meer los. Dit blijkt onder andere uit een gemeten toename van de verticale vervorming met de sensor in de buurt van de tralieligger. Bij geen of weinig ankers valt op dit punt de last terug naar een bepaald niveau. Waarschijnlijk is in eerste instantie adhesie tussen de druklaag en de breedplaat hoofdzakelijk verantwoordelijk voor de krachtsoverdracht, waarna het na dit punt hoofdzakelijk de wrijving en de op afschuiving en trek belaste tralieligger en ankers zijn, die voor de krachtsoverdracht zorgen. Het blijkt dat een grote doorbuiging kan optreden bij nagenoeg gelijkblijvende last. Er is duidelijk sprake van ductiel gedrag.

Er wordt nog gewerkt aan de verdere uitwerking en analyse van de resultaten. Op basis van een eerste grove analyse, waarbij alleen gekeken is naar het aantal ankers en nog geen onderscheid is gemaakt tussen de lijmanckers HAS-M12 en de schroefankers HUS14, kan tot de volgende beschouwing worden gekomen (fig. 19):

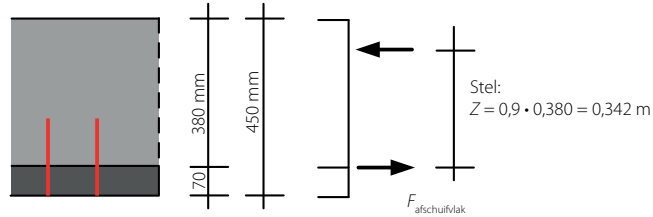
- Het bezwijkmechanisme is bij de onversterkte en met korte ankers versterkte proefstukken gelijk. De naad gaat open en



- 17 Ankerconfiguratie bij 280 mm hoge proefstukken met folie: (a) 8 HUS14-schroefankers en (b) 4 HAS-M12 lijmankers
- 18 Last-doorbuigingsrelaties voor 280 mm hoge proefstukken en ankerconfiguraties van figuur 17

- 19 Relatie tussen capaciteit en aantal ankers in het gebied waar afschuiving tussen druklaag en breedplaat optreedt
- 20 Relatie tussen last F_{last} en afschuifkracht in het aansluitvlak $F_{afschuifvlak}$

- 21 Afschuifkracht-afschuifvervormingsrelaties voor boutankers (waarschijnlijk M12) [3]



450 mm hoge proefstukken: $F_{afschuifvlak} = (0,816/0,342) F_{last} = 2,4 F_{last}$

280 mm hoge proefstukken: $F_{afschuifvlak} = (0,816/0,189) F_{last} = 4,3 F_{last}$

20

achter de koppelwapening ontstaat een verticale scheur in het ongewapende beton van de druklaag. In het gedeelte tussen de naad en de scheur in de druklaag schuift de druklaag over de breedplaat. De op afschuiving en trek belaste benen van de tralieligger en de ankers, en wrijving in het aansluitvlak zorgen voor de krachtsoverdracht.

- Zonder ankers is de capaciteit, geleverd door de tralieligger en met name het gebied achter de tralieligger zodanig dat een verticale last van circa 120 kN en circa 60 kN op het proefstuk opgenomen kan worden door respectievelijk de 450 mm en 280 mm hoge proefstukken.
- De last die opgenomen kan worden bij verschuiving, is bij benadering lineair afhankelijk van het aantal ankers (fig. 19). Bij de 450 mm hoge proefstukken is de opneembare last per anker circa 16 kN en bij de 280 mm hoge proefstukken circa 10 kN.

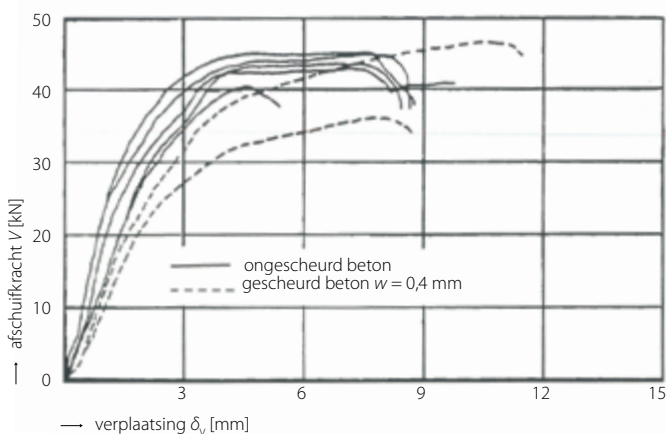
Relatie tussen last en afschuifkracht in aansluitvlak

Uitgaande van een hefboomsarm z gelijk aan 0,9 maal de hoogte van de druklaag, kan voor de relatie tussen de verticale last op het proefstuk en een afschuifkracht in het aansluitvlak worden berekend (fig. 20):

$$F_{afschuifvlak} = 2,4 \cdot F_{last} \text{ voor de 450 mm hoge elementen;}$$

$$F_{afschuifvlak} = 4,3 \cdot F_{last} \text{ voor de 280 mm hoge elementen.}$$

21



Oftewel, bij een gelijke $F_{afschuifvlak}$ is de bijdrage aan de opneembare last bij het 450 mm hoge proefstuk 1,8 maal zo hoog als bij het 280 mm hoge proefstuk. Dit sluit goed aan bij de bevindingen, zoals weergegeven in figuur 19.

Afschuifkracht per anker

Met de waargenomen extra last per anker en de relatie tussen de last en de afschuifkracht wordt gevonden dat bij zowel de 450 mm als de 280 mm hoge proefstukken door de ankers gemiddeld een afschuifkracht is geleverd van circa 40 kN per anker. Ter vergelijking zijn in figuur 21 afschuifkracht-afschuifvervormingsrelaties weergegeven voor M12-boutankers. Het gedrag voor M12-lijmankers zal waarschijnlijk vergelijkbaar zijn. De resultaten sluiten goed aan bij de afschuifkracht die door de ankers in de experimenten is geleverd. Het ductiele gedrag past ook bij het in de experimenten gevonden last-doorbuigingsverloop.

Slotbeschouwingen

Op basis van de bevindingen in het onderzoek naar versterkingen met korte ankers is de voorlopige conclusie dat – als wordt beoogd dat de versterkte verbinding een ductiel gedrag vertoont, vergelijkbaar met dat bij vloeien van de wapening – de toename van de capaciteit van de verbinding kan worden berekend op basis van de afschuifcapaciteit van de ankers. Hierbij geldt wel de voorwaarde dat de ankers voldoende moeten zijn verankerd aan zowel de zijde van de breedplaat als die van de druklaag en dat aandacht moet worden besteed aan de plaats van de ankers. Hoewel niet uitvoerig experimenteel onderzocht, mag worden verwacht dat het plaatsen van alle ankers in het gebied tussen de tralieligger en het einde van de koppelwapening niet tot eenzelfde verhoging van de capaciteit zal leiden zoals nu is gevonden (fig. 19). Anderzijds zal bij plaatsing van ankers te dicht bij de naad randbreuk in de breedplaat kunnen optreden, zoals ook in een van de proeven is waargenomen (fig. 21).

Omdat in de getoonde proeven gebruik is gemaakt van een folie in het deel tussen de naad en de tralieligger, kan het



22

gevonden resultaat nog enigszins conservatief zijn. Alhoewel, voor de afschuifcapaciteit (staal bezwijken) van een draadeind M12 kan een waarde van $0,6 \cdot 84,3 \cdot 800 / 1000 = 40,5$ kN worden berekend (deuvelwerking), zodat zonder folie de capaciteit waarschijnlijk niet veel hoger zal zijn.

In de proeven is geen significant verschil gevonden tussen proefstukken type A (bollen tot de naad) en type B (geen bollen voor de tralieligger) proefstukken. Hoewel niet getoond, zijn ook proeven uitgevoerd waarbij het aansluitvlak voor de tralieligger eerst in een buigproef is onthecht, waarna de ankers zijn geplaatst en vervolgens opnieuw een buigproef is uitgevoerd. Dat had geen significant effect op de resultaten, zodat het al dan niet al onthecht zijn in de praktijk geen rol speelt bij een dergelijke versterking.

In de uitgevoerde experimenten leverde de tralieligger samen met waarschijnlijk hoofdzakelijk het deel van de koppelwapening achter de tralieligger een bepaalde capaciteit. Om te weten hoeveel ankers, c.q. hoeveel versterking, moeten worden aangebracht, is het belangrijk die capaciteit te kennen. In de onderzochte situaties was de geleverde afschuifcapaciteit voor de 280 mm en 450 mm hoge proefstukken ongeveer gelijk ($F_{\text{afschuifvlak}} \approx 260$ kN). In beide gevallen verschilde de situatie niet veel. Bij de 450 mm hoge proefstukken was dat 1433 mm² koppelwapening, waarbij die 350 mm achter de tralieligger doorstak. Bij de 280 mm hoge proefstukken was dat respectievelijk 961 mm² en 275 mm. De vraag is nu wat de capaciteit is voor andere koppelwapening-tralieliggerconfiguraties.

Dit artikel is alleen ingegaan op de wijze waarop de capaciteit van de verbinding met korte ankers kan worden verhoogd. In de praktijk zal eerst moeten worden beoordeeld hoeveel de capaciteit moet worden verhoogd. Bij de berekening van de benodigde versterking zal naar de mening van de auteurs gebruikgemaakt kunnen worden van het ductiele gedrag dat met de versterking is bereikt. Bij een over de naad sterk verlopend buigend moment, zou met een gemiddelde waarde over een zekere lengte kunnen worden gerekend.

Tot slot wordt opgemerkt dat het waarschijnlijk mogelijk is om – in situaties waarbij er in het gebied tussen de naad en de tralieligger sprake is van de in de praktijk aanwezige aanhechting – met een beperkt aantal korte ankers in dat gebied de afschuifcapaciteit zodanig te verhogen, dat een sterkte wordt behaald die bijna gelijk is aan de sterkte die behoort bij het vloeien van de (koppel)wapening. Hierbij is er na het bereiken van die sterkte een terugval en treedt er geen ductiel gedrag op of is er sprake van een ductiel gedrag op een veel lager belastingniveau. Dat zou ook de basis kunnen zijn voor een strategie voor versterking met korte ankers, maar dat is in dit onderzoek niet onderzocht. ☒

● LITERATUUR

- 1 Linssen, J., Oorzaken instorting parkeergarage Eindhoven. *Cement* 2019/1.
- 2 Rapport 9663-1-0, Bezwijken parkeergarage Eindhoven Airport – Analyse naar de oorzaak. Rijswijk: Adviesbureau ir. J.G. Hageman, 25 september 2017.
- 3 Eligehausen, R., R. Mallée & Silva, J.F. (2006). *Anchorage in Concrete Construction*. Ernst & Sohn Verlag.

22 Randbreuk in experiment met drie ankers nabij de naad (280 mm hoog proefstuk type B)