

Voegdetail en versterkingsmethode geanalyseerd met niet-lineair FEM-model (3)

Versterken met bolankers



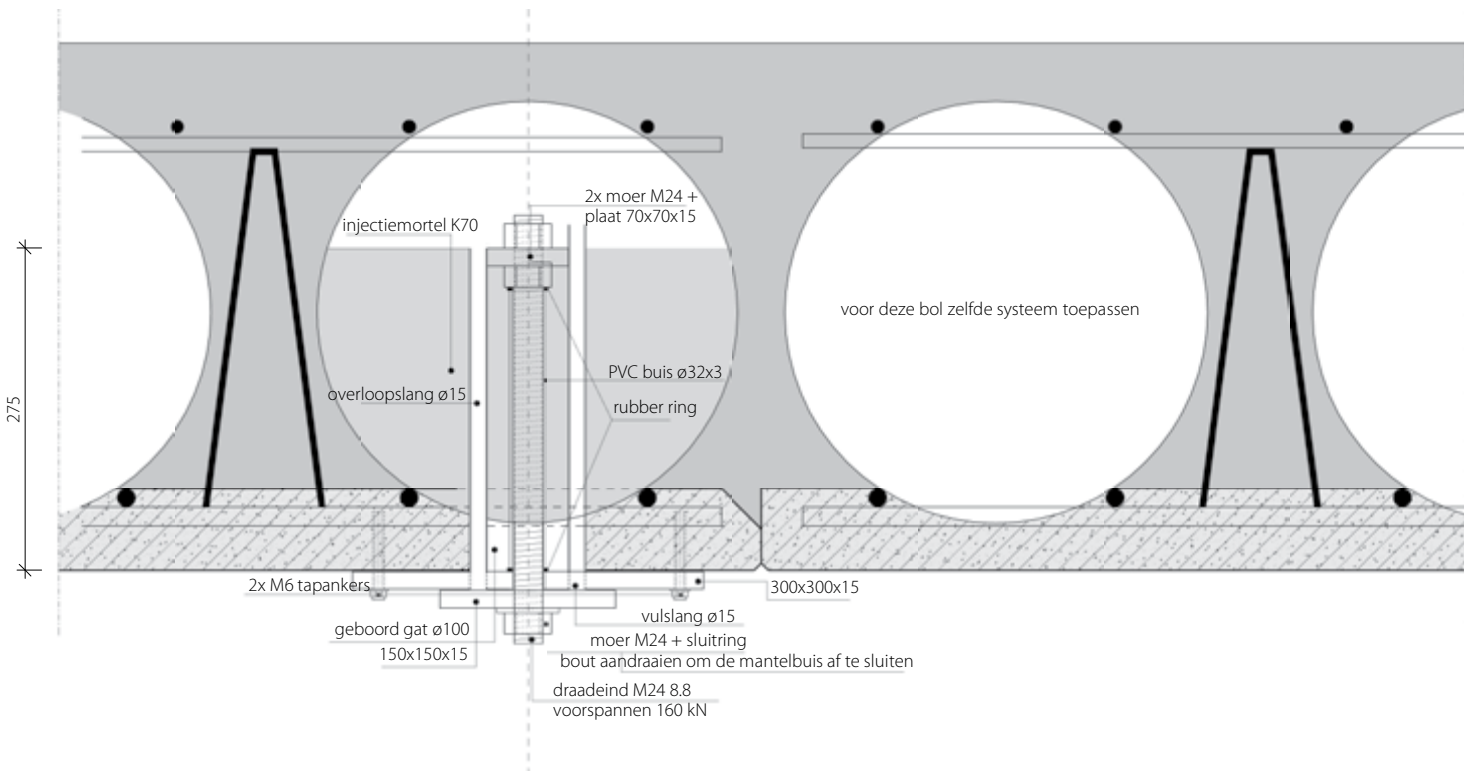
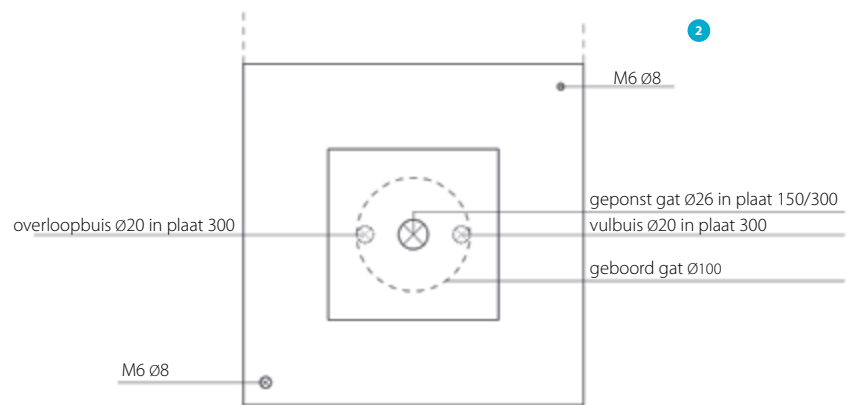
Een mogelijke versterkingsoplossing van breedplaatvloeren is het toepassen van voorgespannen ankers in de bollen. Deze zogenoemde bolankers worden van onderuit in de met mortel gevulde bollen bevestigd (foto 1, fig. 2). Hiermee wordt de prefab schil tegen de druklaag aangeduwd. Een niet-lineaire eindig-elementenberekening laat een grote toename in capaciteit zien ten opzichte van beproevingen aan niet-versterkte proefstukken.

Bij de versterkingsmethode met bolankers wordt onder in de bol een gat geboord. Daarin wordt een anker opgehangen met aan de bovenzijde een kopplaat. Nadat het anker tijdelijk is gefixeerd (bijvoorbeeld door lijm of een lichte schroefverbinding), wordt de bol door middel van injectie gedeeltelijk gevuld met mortel. Na verharding van de mortel wordt het anker voorgespannen, waardoor de betonnen druklaag op de prefab schil wordt geklemd. Hierdoor neemt de opneembare afschuifkracht van het stortvlak toe en kan de originele koppelwapening alsnog worden geactiveerd.

Niet-lineair-model bollenplaatvloer

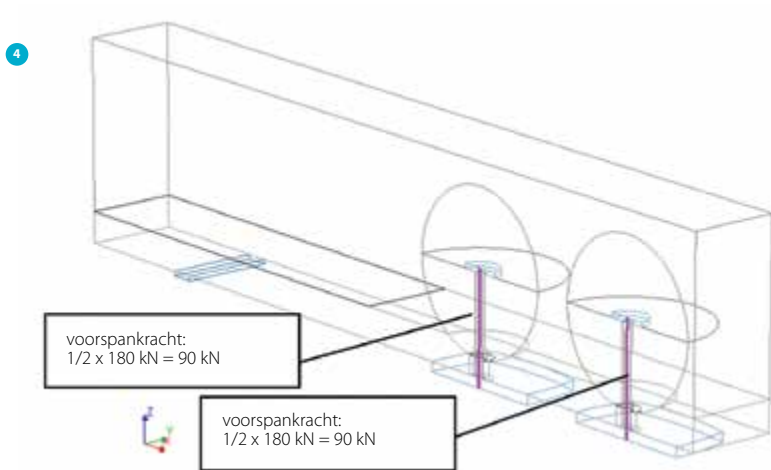
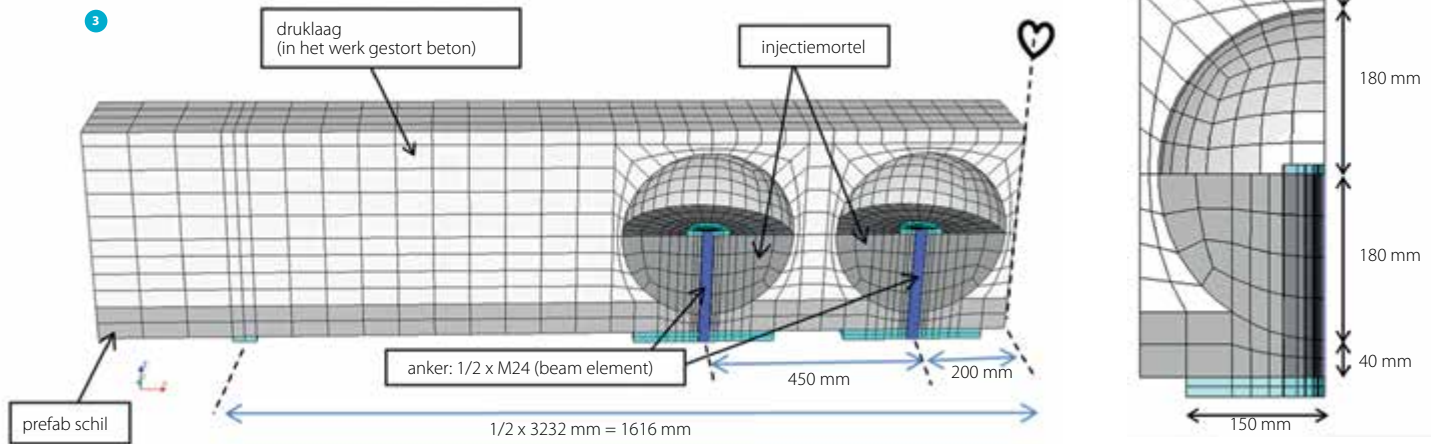
Voor de niet-lineaire analyse van de versterking met bolankers is een basismodel gebruikt dat is opgezet om een eerder uitgevoerd experimenteel onderzoek op de TU Eindhoven na te bootsen. Over dit basismodel is het artikel 'Niet-lineaire analyse breedplaatvloeren' verschenen.

Samen met het artikel 'Versterken met CFRP-lamellen', elders in dit nummer, vormen deze artikelen een drieluik.



¹⁾ Han Schijffelen heeft het artikel gereviewd namens VNconstructeurs.

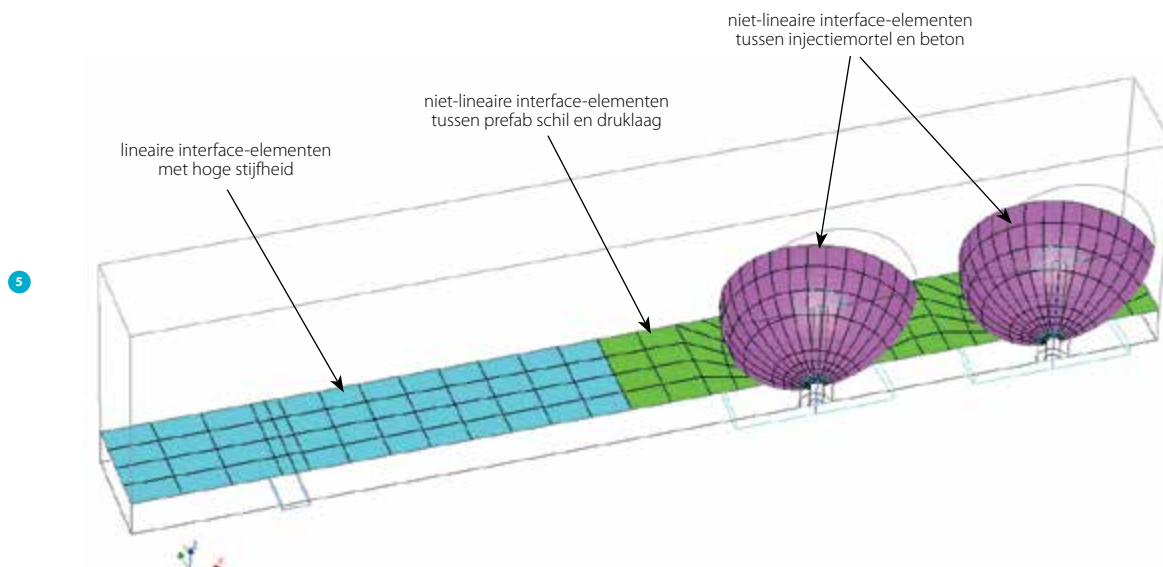
- 3 Opzet FEM-model bolankers
- 4 Voorspanning ankers
- 5 Modellerings interface-elementen



Er is voor het plaatsen van reguliere ankers in een bollenplaatvloer erg weinig ruimte beschikbaar. De koppelwapening is in de ruimte tussen de bollen geplaatst en mag niet worden doorboord. Hierdoor is het boren van ankerputten lastig uitvoerbaar. Met de bolankeroplossing worden de gaten ter plaatse van de bollen geboord. Op deze locatie is de prefab schil het dunst en is met relatief weinig inspanning de inwendige holle ruimte bereikbaar.

FEM-model

Voor het testen van de versterkingsmaatregel met bolankers is een eerder opgezet FEM-model toegepast. Dat basismodel is opgezet om een oorspronkelijke proefopstelling aan de



- 6a Zakking bij 300 kN
- 6b Opening interface tussen prefab schil en druklaag bij 300 kN
- 6c Staalspanningen bij 300 kN
- 6d Scheurvorming bij 300 kN
- 6e Voorspankracht ankers bij 300 kN

TU Eindhoven na te bootsen (zie kader 'Niet-lineair-model bollenplaatvloer'). In dit model zijn de twee bollen naast de naad voor de helft gevuld met mortel en zijn ankers M24 met stalen kopplaten aangebracht (fig. 3). Tevens is er in verband met een kortere rekentijd een extra symmetrieas toegepast zodat slechts een halve overspanning wordt gemodelleerd. Daarbij moet worden opgemerkt dat er in het werkelijke proefstuk een asymmetrie zit door het feit dat er zich in het werkelijke proefstuk links van de naad twee bollen achter elkaar bevinden, en rechts van de naad slechts één. Deze asymmetrie bleek echter weinig invloed te hebben op het gedrag en bezwijkmechanisme.

De materiaaleigenschappen van het beton zijn gelijk aan die van het basismodel. Toegevoegd is nu de injectiemortel, waarbij ook hier niet-lineaire materiaaleigenschappen zijn toegekend. Uitgegaan is van een K70-mortel met $f_{cm} = 78 \text{ N/mm}^2$. Voor het staal van de kopplaten is uitgegaan van lineair-elastische eigenschappen.

Met betrekking tot de belastingen wordt uitgegaan van eigen gewicht en puntlasten, conform het basismodel. Toegevoegd is een voorspankracht op de ankers van 180 kN. In het model vertaalt zich dit naar $0,5 \cdot 180 \text{ kN} = 90 \text{ kN}$, aangezien de ankers zich op het symmetrievlak bevinden en er slechts een half anker is gemodelleerd (fig. 4).

Afgezien van de interface-elementen tussen prefab beton en druklaag worden er in dit model ook interface-elementen toegepast tussen injectiemortel en het beton om de kunststoflaag van de bol te modelleren (fig. 5). Hierbij wordt net als in het basismodel gekozen voor Coulomb-fictie-eigenschappen:

- aangehouden cohesie: $c = 0,1 \text{ N/mm}^2$
(laag aangenomen)
- wrijvingscoëfficiënt: $\mu = 0,1 \Rightarrow$ wrijvingshoek:
 $\varphi = 5,7^\circ$ (laag aangenomen)
- maximale normaaltrekspanning: $f_t = 0,01 \text{ N/mm}^2$
(no-tension)
- $k_{\text{normaal}} = 60.000 \text{ N/mm}^3$
- $k_{\text{schuif}} = 6000 \text{ N/mm}^3$

Opgemerkt moet worden dat in verband met gebrek aan specifiekere gegevens over de wrijvingscoëfficiënt (en daarmee de wrijvingshoek) voor beton-kunststof,

v2a
load-step 153, load-factor 150.00, LC2_load
displacements TD+Z
min: -12.2 mm max: 2.8 mm



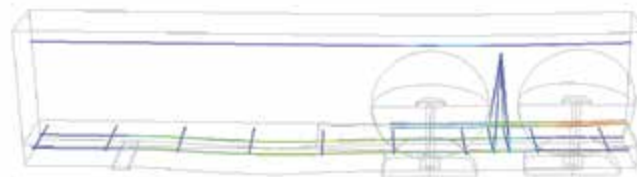
6a

v2a
load-step 153, load-factor 150.00, LC2_load
interface relative displacement DUNz
min: -0.00 mm max: 1.67 mm



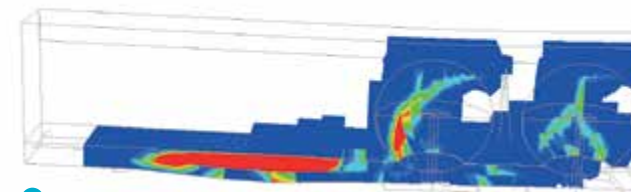
6b

v2a
load-step 153, load-factor 150.00, LC2_load
reinforcement cauchy total stresses Sxx maximum of 8 layers
min: -23N/mm² max: 549N/mm²



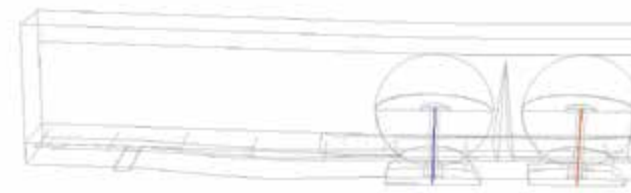
6c

v2a
load-step 153, load-factor 150.00, LC2_load
crack-widths Ecw 1
min: -0.00 mm max: 13.01 mm



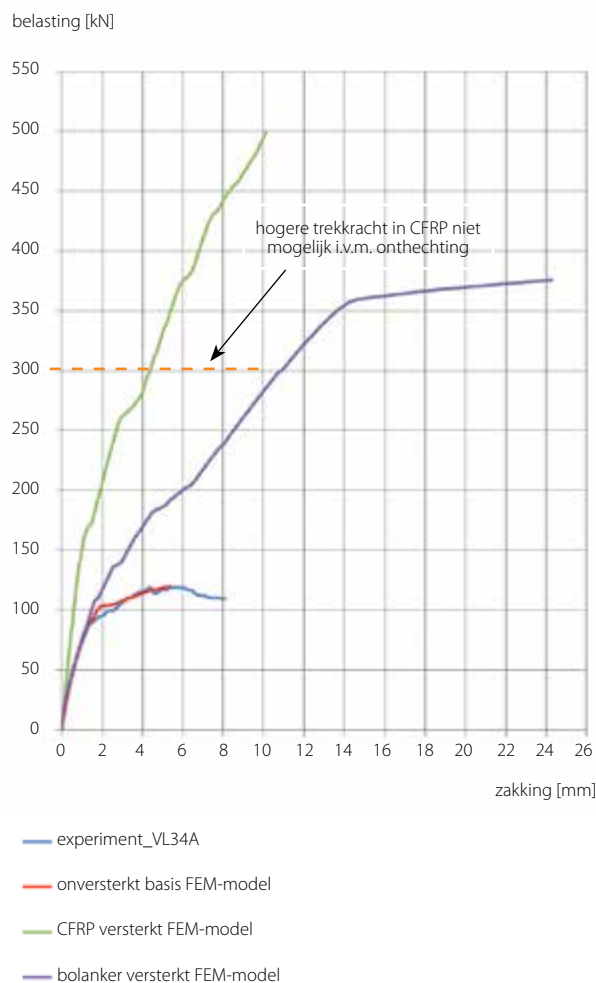
6d

v2a
load-step 153, load-factor 150.00, LC2_load
cross-section forces Nx
min: 91.0 kN max: 94.0 kN



6e

7 Last-zakkingsdiagram proefstuk, onversterkt FEM-model, met CFRP versterkt model en met bolankers versterkt model



7

de waarden hiervoor zijn geschat. Er zijn hierbij lage waarden aangehouden. Hieruit blijkt dat een geringe wrijving tussen kunststof en bolanker genoeg is om het verdraaien van het bolanker te voorkomen.

Resultaten

De resultaten van de analyse ten aanzien van zakking, opening interface, staalspanning, scheurvorming en voorspankracht zijn weergegeven in figuur 6a t/m 6e.

Uit het last-zakkingsdiagram (fig. 7) is te zien dat het model met versterking tot een belasting van ongeveer 85 kN vrijwel gelijkloopt met de grafiek van de eerder uitgevoerde proef. Er is dan in een vroeg stadium wel al onthechting opgetreden bij de naad. Er vindt dan tevens een kleine rotatie plaats van de eerste halve bol injectiemortel ten opzichte van de druklaag.

De grafiek van het model met versterking blijft langer met dezelfde stijfheid doorlopen tot een belasting van ongeveer 110 kN. Dan treedt er tevens onthechting op achter de koppelwapening waarbij ook sprake is van verticale scheurvorming. Dit gaat gepaard met een reductie in stijfheid.

Bij een belasting van circa 180 kN treden er in de prefab schil diagonale scheuren op bij de overgang van niet-lineaire interface naar lineaire interface. Gesteld kan worden dat aangezien de onthechting in het model zich niet verder kan ontwikkelen in de stijve lineaire interface, de onthechting zich als het ware verder voortzet in de prefab schil. Dit laatste fenomeen wordt zodoende gezien als een gevolg van de wijze van modellering. Bij toepassing van doorgaande ankers die prefab schil en druklaag tegen elkaar drukken, zoals in de oorspronkelijke proefopstelling het geval was, zal het gedrag naar verwachting gunstiger zijn.

De tralieligger wordt in dit model veel minder aangesproken en worden juist de koppelstaven meer geactiveerd. De belasting kan nu worden opgevoerd tot circa 360 kN, waarbij de koppelstaven vloeien en bezwijken snel volgt.

Conclusie

Het toepassen van de versterkingsmaatregel met bolankers levert net als bij de CFRP-lamellen een grote toename in capaciteit. In plaats van dat de tralieligger vroegtijdig bezwijkt, zijn het nu de koppelstaven die worden geactiveerd. De belasting kan nu zodanig worden opgevoerd dat vloeien optreedt in de koppelstaven.

De versterkingsoplossing is al bij een project toegepast. Voor specifieke projecten moeten altijd projectspecifieke modellen worden gebruikt, gebaseerd op de werkelijke afmetingen en voorgestelde detaillering van de versterking. Daarbij kan er ook voor worden gekozen de berekening gefaseerd uit te voeren, zodat de versterking pas wordt aangebracht in het model nadat eerst de permanente belasting is aangebracht in de onversterkte situatie.

Hoewel de FEM-studie veel inzicht heeft gegeven in de werking van de versterkingsoplossingen, zijn wij van mening dat de effectiviteit van deze oplossingen alsnog moet worden geverifieerd met proeven. ☒