



Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.

Weerstand van het kritische detail bij bestaande breedplaatvloeren

Toelichting bij rapport 9780-1-0



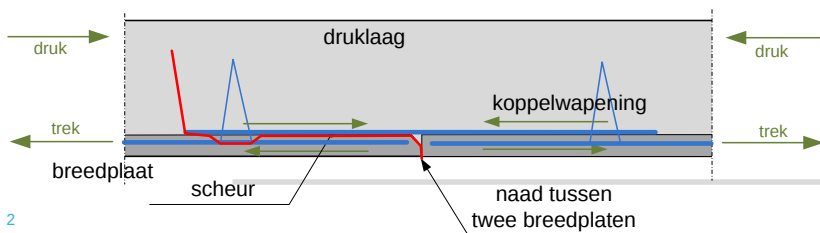
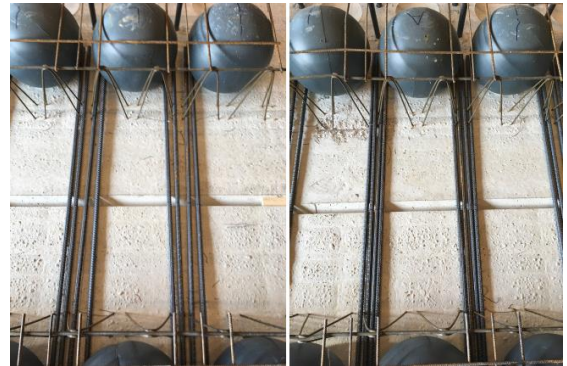
Simon Wijte

18 september 2019

Advisering op het gebied van constructies voor gebouwen en civiele werken

Aanleiding

- Gedeeltelijk bezwijken van de constructie van de parkeergarage bij Eindhoven Airport.
- Experimenteel onderzoek is daarbij opgestart om de invloed van direct op de breedplaat plaatsen van de koppelwapening te beschouwen.
- Het resultaat was een onverwacht lage momentweerstand van de proefstukken.



Opzet onderzoek

Onderzoek is uitgevoerd in opdracht van het ministerie van BZK in samenwerking met TNO.

Zowel literatuur- als experimenteel onderzoek is uitgevoerd.

Het experimentele onderzoek is uitgevoerd in het Structures Laboratory van de TU/e. Dit is gedaan voor verschillende opdrachtgevers zoals BAM en het Betonhuis. De resultaten van het onderzoek zijn aan Hageman en TNO ter beschikking gesteld voor nadere analyse.



3

Literatuuronderzoek

- Gevonden vanaf 2003
- Experimenteel onderzoek uitgevoerd met een 4-puntsbuigproef op proefstukken met een beperkte breedte
- De maximale hoeveelheid koppelwapening is in het algemeen minder dan in Nederland wordt toegepast
- Diverse bezwijkmechanismen treden op

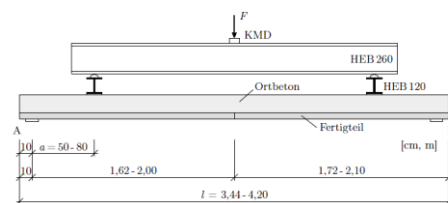


Abbildung 4.3: Übersicht des Versuchsaufbaus



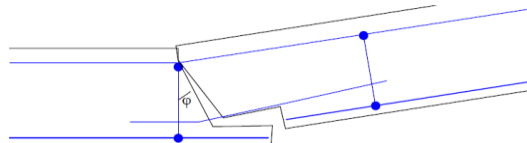
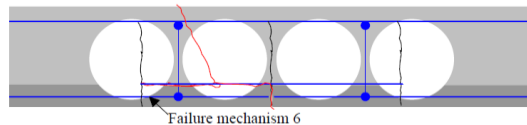
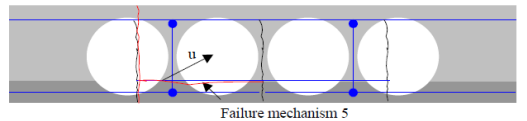
afbeeldingen: Weglarzy (2014)

4

Literatuuronderzoek

Gudmand-Høyer (2003)

- Theoretische benadering met plastische bezwijkanalyse
 - Mechanisme 5 betreft bezwijken aansluitvlak
bros en niet nader beschouwd
 - Mechanisme 6 betreft het bezwijken van de verankering van de koppelwapening achter de verbindingswapening
dit mechanisme blijkt maatgevend
- Analytische voorspelling van een praktische situatie

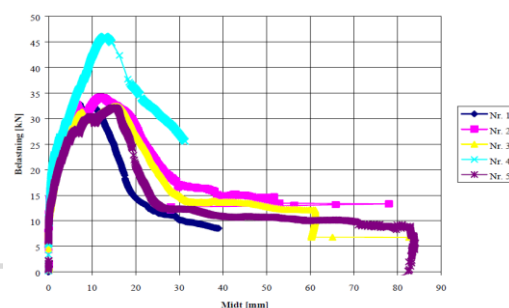
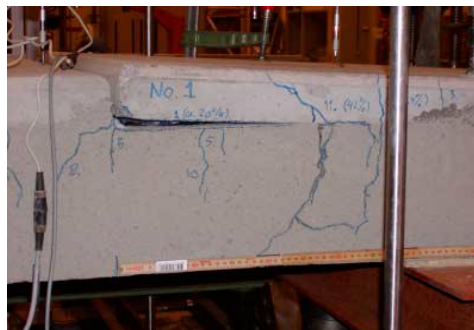


5

Literatuuronderzoek

Gudmand-Høyer (2004)

- Experimenteel onderzoek naar gedrag van eerder beschreven praktische situatie
 - Experimenten met en zonder verbindingswapening
 - Experimenteel bepaalde bezwijkwaarde lager dan analytisch bepaalde waarde
 - Geen nadere analyse van resultaten

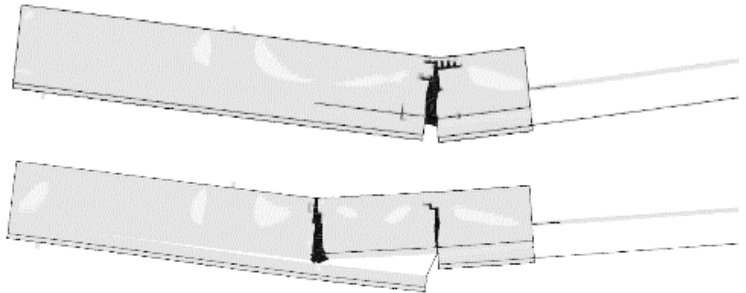
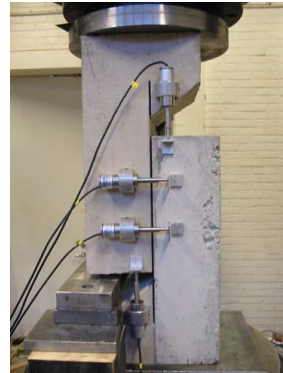


6

Literatuuronderzoek

Lundgren (2003)

- Diverse soorten onderzoek
 - Numeriek
 - Directe afschuifproef
 - 4-puntsbuigproef
- Experimenteel
 - Vloei van koppelwapening
- Numeriek
 - Vloei van koppelwapening
 - Bezwijken aansluitvlak



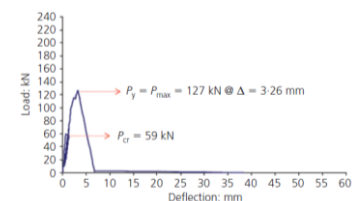
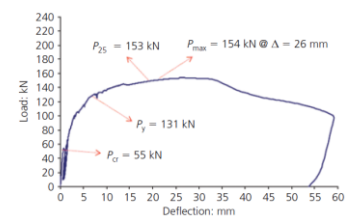
7

Literatuuronderzoek

Onderzoeksresultaten zijn ook beschikbaar uit Duitsland, Verenigd Koninkrijk, België en Brazilië.

Zowel vloeien van de koppelwapening als bezwijken van het aansluitvlak treedt op.

Bezwijken van het aansluitvlak leidt tot bros bezwijken.

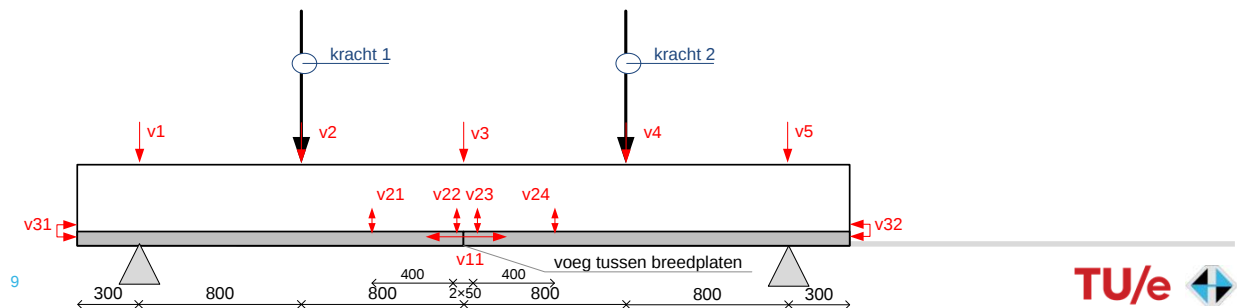


8

Experimenteel onderzoek

Er zijn 5 experimentele onderzoeksprogramma's beschouwd:

- Onderzoek Parkeergarage met BubbleDeck vloeren;
- Cobiax vloeren;
- Massieve breedplaatvloeren met breedplaten van traditioneel beton;
- Massieve breedplaatvloeren met breedplaten van zelfverdichtend beton;
- Versterkte breedplaatvloeren met gewichtsbesparende elementen.



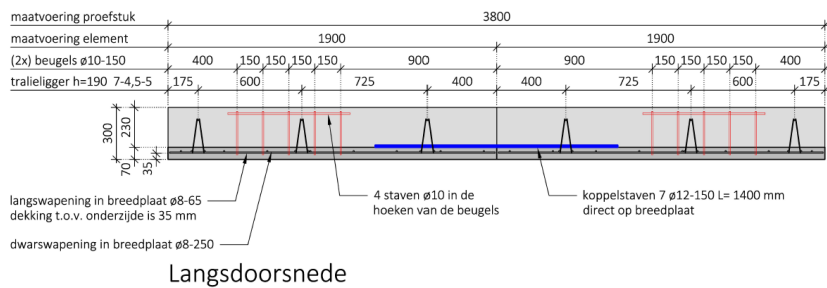
Experimenteel onderzoek

Bij het experimentele onderzoek zijn de volgende zaken gevarieerd:

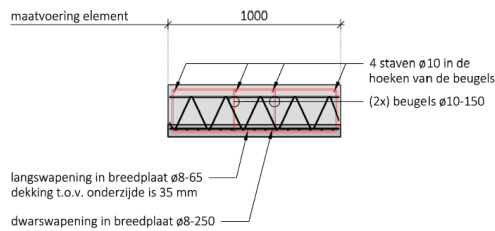
- wel of geen gewichtsbesparende elementen;
- de hoogte van de vloer en breedplaat;
- traditioneel of zelfverdichtend beton voor de breedplaten;
- afwerking bovenzijde breedplaat;
- hoeveelheid koppelwapening;
- positie en diepte van de tralieligger;
- druksterkte beton van de breedplaat en de druklaag.



Proefstuk met karakteristiek bezwijkgedrag



Langsdoorsnede



Dwarsdoorsnede

Proefstuk 24 (T2)

breedplaat:
traditioneel beton

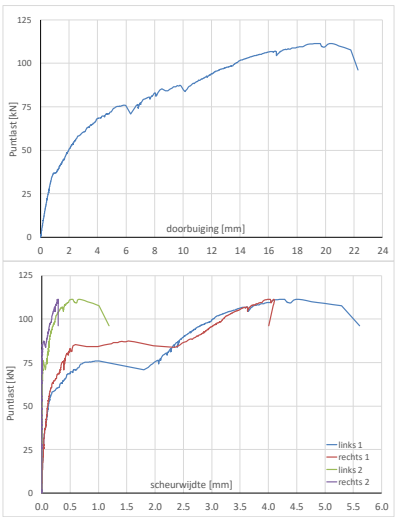
koppelwapening:
Ø12-150

tralieligger:
afstand 400 mm
diepte 27 mm



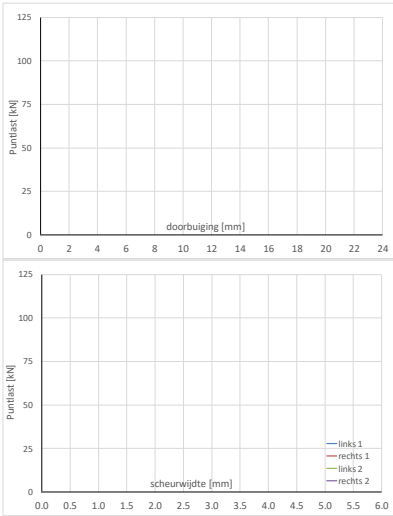
11

Proefstuk met karakteristiek bezwijkgedrag



12

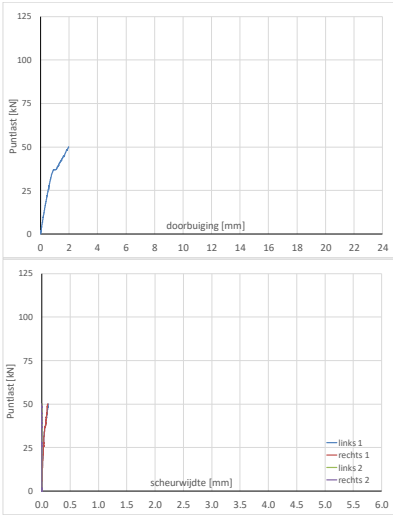
Proefstuk met karakteristiek bezwijkgedrag



13



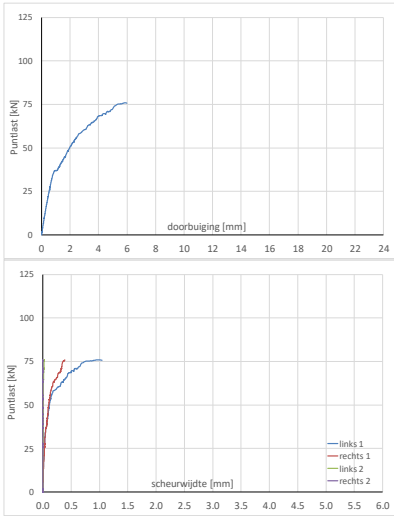
Proefstuk met karakteristiek bezwijkgedrag



14



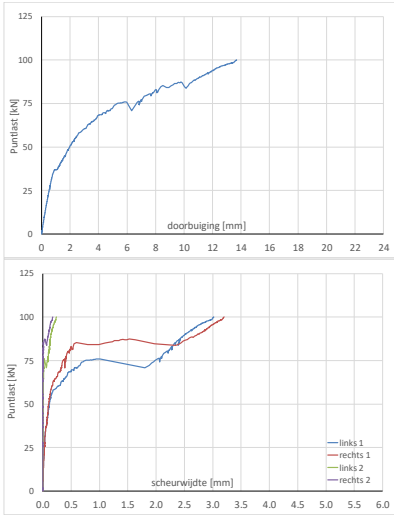
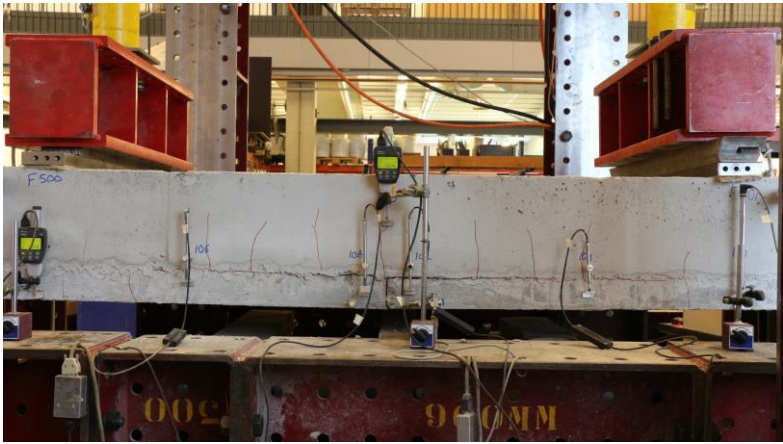
Proefstuk met karakteristiek bezwijkgedrag



15



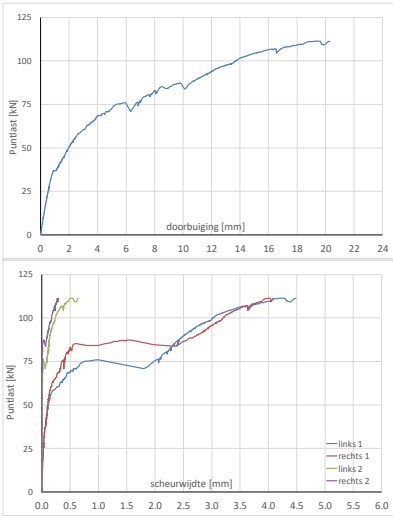
Proefstuk met karakteristiek bezwijkgedrag



16



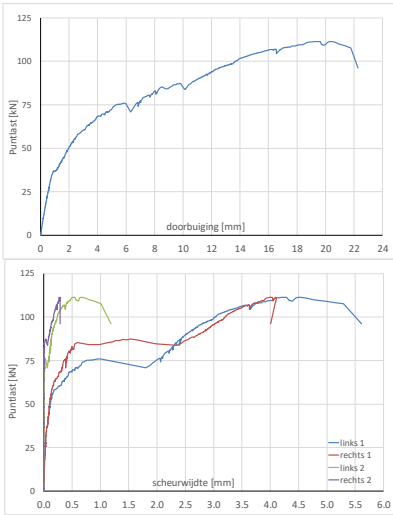
Proefstuk met karakteristiek bezwijkgedrag



17



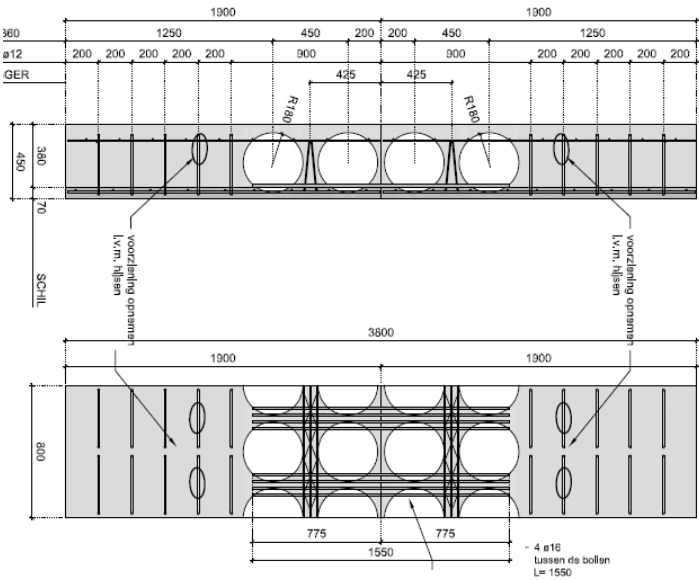
Proefstuk met karakteristiek bezwijkgedrag



18



Proefstuk met bezwijkgedrag van 2 mechanismen



Proefstuk 50 (TF450BR)

Onversterkt proefstuk
Taskforce Versterken

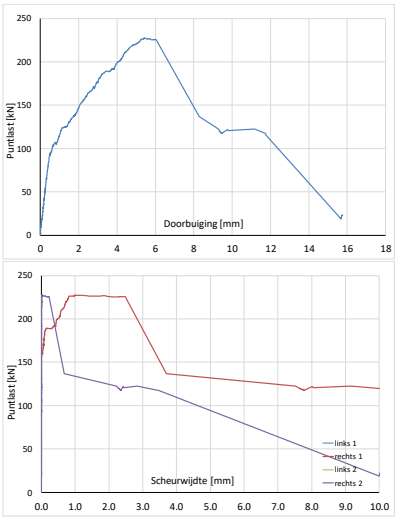
Gelijk aan proefstukken
Eindhoven Airport
onderzoek

tralieligger:
afstand 425 mm
diepte 21 mm



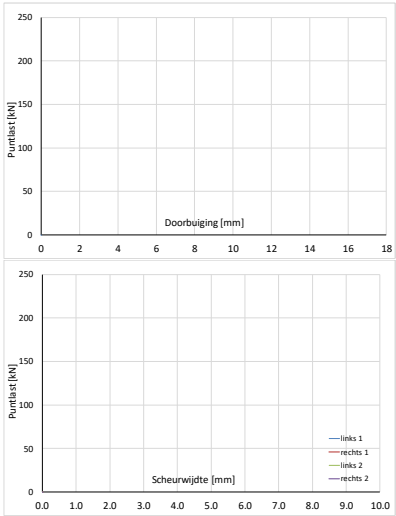
19

Proefstuk met bezwijkgedrag van 2 mechanismen



20

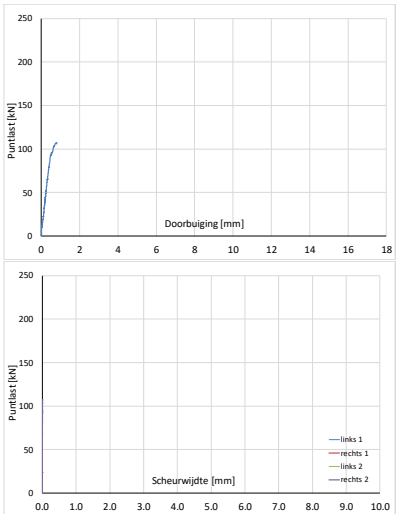
Proefstuk met bezwijkgedrag van 2 mechanismen



21



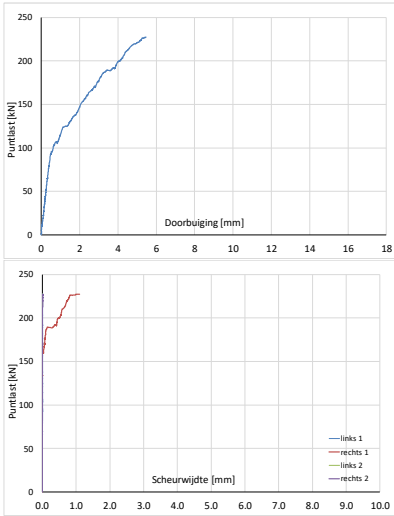
Proefstuk met bezwijkgedrag van 2 mechanismen



22



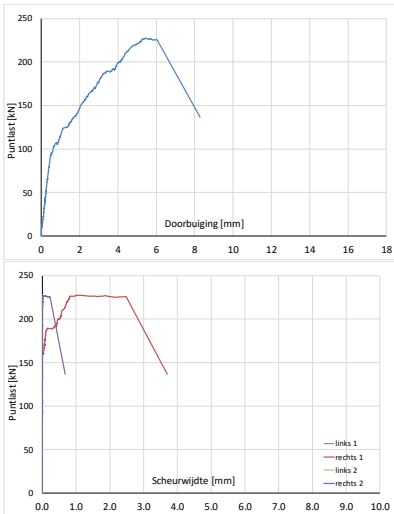
Proefstuk met bezwijkgedrag van 2 mechanismen



23



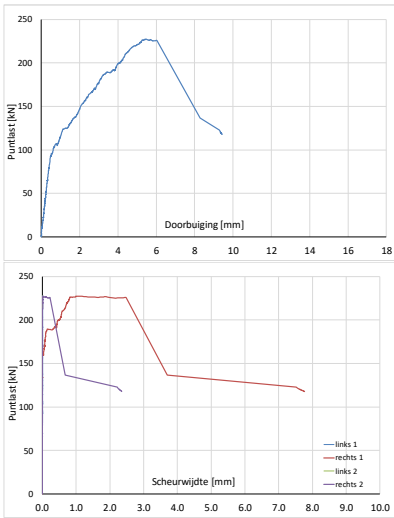
Proefstuk met bezwijkgedrag van 2 mechanismen



24

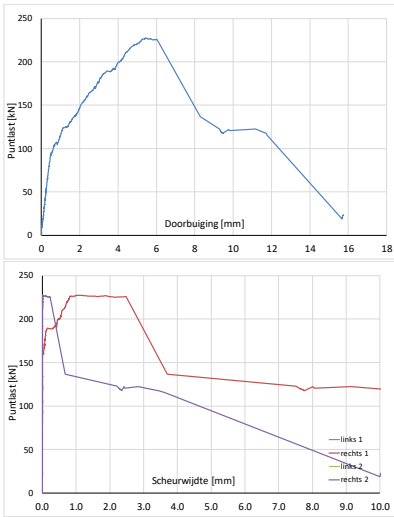


Proefstuk met bezwijkgedrag van 2 mechanismen



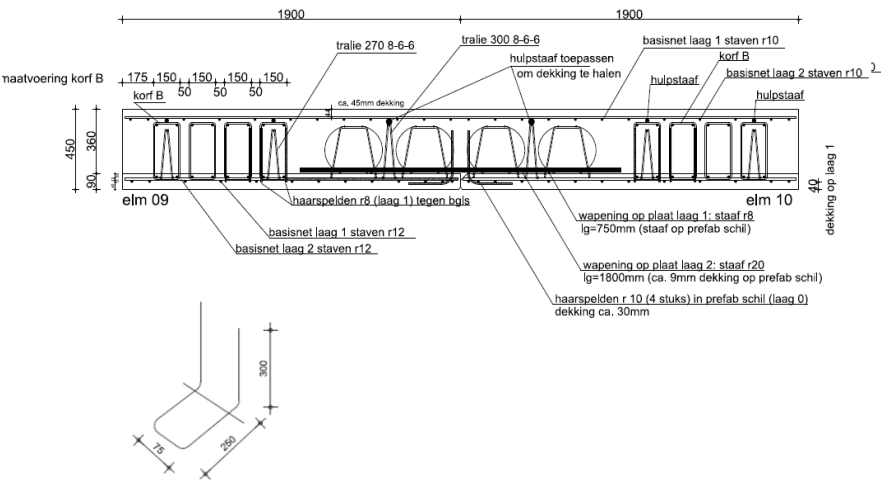
25

Proefstuk met bezwijkgedrag van 2 mechanismen



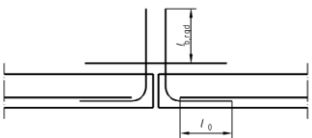
26

Proefstuk waarbij koppelwapening vloeit



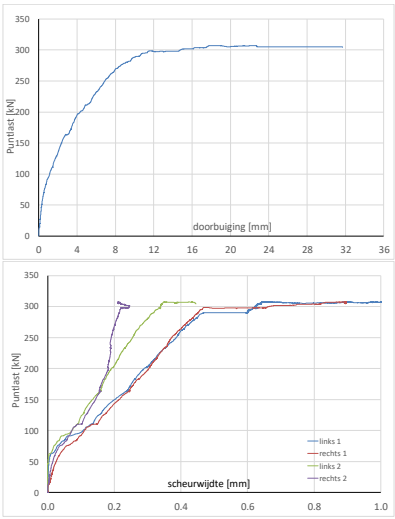
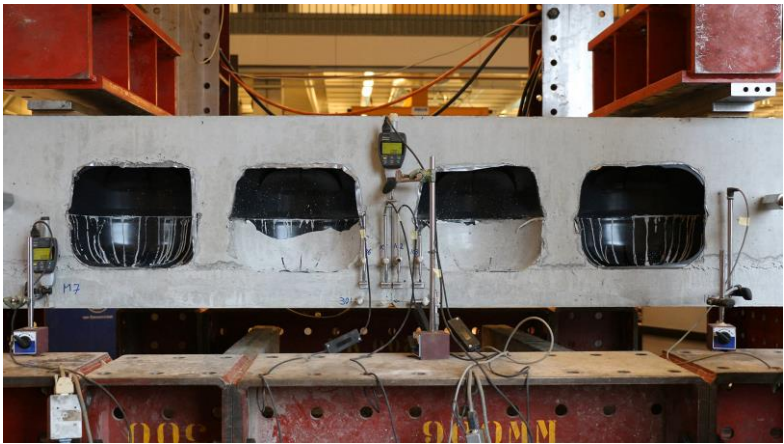
Proefstuk 20 (BC 5-1)

Wapening steekt uit vanuit breedplaat in druklaag conform detail NEN-EN 13747



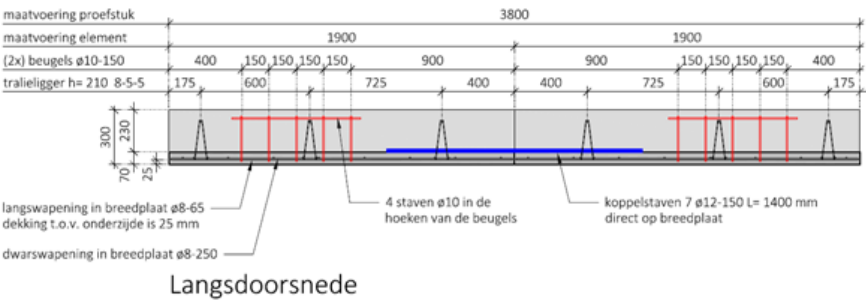
27

Proefstuk waarbij koppelwapening vloeit



28

Proefstuk waarbij koppelwapening vloeit



Proefstuk 46 (ZG3)

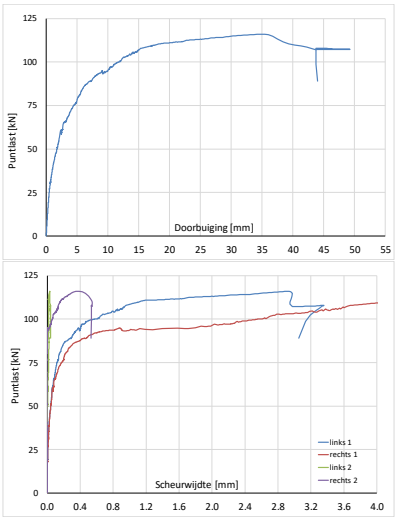
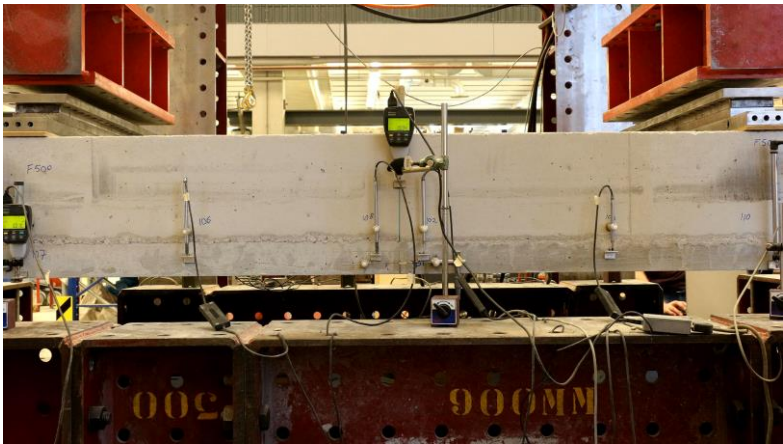
breedplaat:
zelfverdichtend beton
glad afgewerkt

koppelwapening:
 $\phi 12-150$

tralieligger:
afstand 400 mm
diepte 37 mm



Proefstuk waarbij koppelwapening vloeit

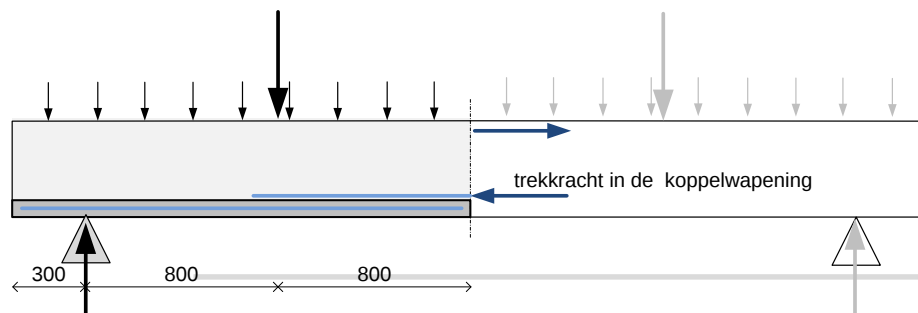


Analyse proefresultaten

In totaal 51 proeven:

- vloeit van de wapening: bij 20 proeven
- afschuiven / uittrekken: bij 31 proeven

Uit proeflast en eigen gewicht wordt de trekkracht in de koppelwapening bepaald



31

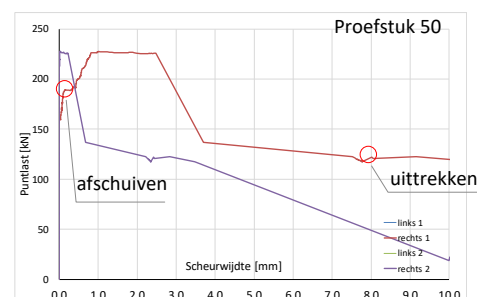
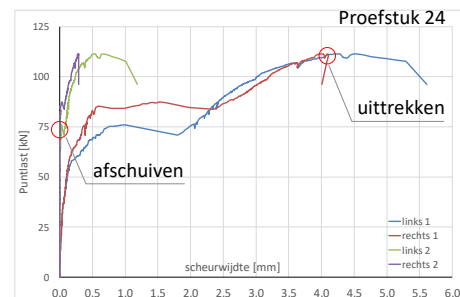
TU/e

Analyse proefresultaten

Uit het gedrag van de proefstukken blijkt dat voor afschuiven / uittrekken twee bezwijkmechanismen beschouwd kunnen worden:

- afschuiven van het aansluitvlak
ontstaan van een significante scheurwijdte in het aansluitvlak.
- uittrekken van de tralieligger

Beide bezwijkmechanismen moeten optreden voordat bezwijken van het kritische detail een feit is.



32

TU/e

Afschuiven van het aansluitvlak

Bezwijkniveau is bepaald uit het gedrag van het aansluitvlak

Uitgangspunt van het bepalen van het niveau zijn rekenregels voor schuifsterkte aansluitvlakken volgens een concept van de in ontwikkeling zijnde versie van Eurocode 2:

- voldoende verankerde verbindingswapening:

$$\text{verg 8.55} \quad v_{Rdi} = c_{v1} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} + \mu_v \sigma_n + \rho f_{yd} (\mu_v \sin \alpha + \cos \alpha) \leq v f_{cd}$$

- onvoldoende verankerde verbindingswapening (deuvelwerking):

$$\text{verg 8.56} \quad v_{Rdi} = c_{v2} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} + \mu_v \sigma_n + k_t \rho f_{yd} + k_f \rho \sqrt{f_{yd} f_{cd}}$$

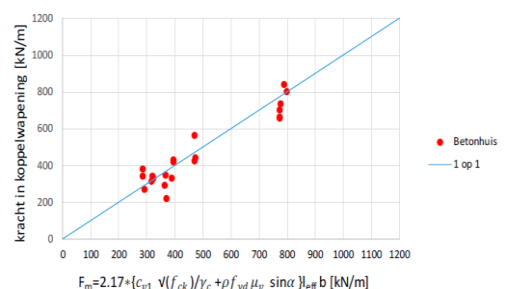
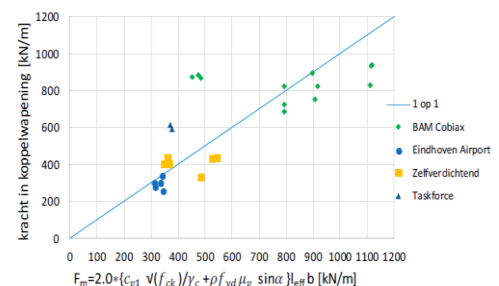
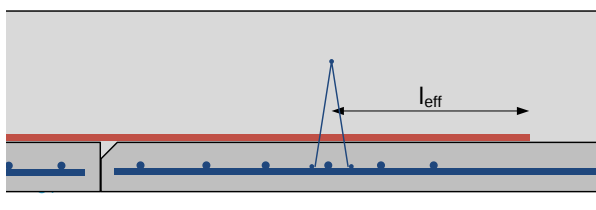
33

TU/e

Afschuiven van het aansluitvlak

Vergelijking tussen experimenten en analytisch bepaalde resultaten:

- kracht in koppelwapening $\leq v_{Rd} b l_{eff}$
- vergelijking 8.55 (volledig verankerde verbindingswapening) geeft de beste resultaten
- beperkt verschil tussen traditioneel beton en zelfverdichtend beton



TU/e

Afschuiven van het aansluitvlak



Gebaseerd op de gevonden waarden, de spreiding in resultaten is op basis van bijlage D van EN 1990 een rekenregel afgeleid voor de rekenwaarde van de afschuifsterkte.

$$V_{Rd,i} = k_1 \left[c_{v1} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} + \rho f_{yd} \mu_v \sin \alpha \right]$$

waarin:

k_1 = 1,1 voor zelfverdichtend beton
= 1,2 voor traditioneel beton

ρ = $A_s / (b l_{eff})$

A_s is het oppervlak van de verbindingswapening

α is de kleinste hoek tussen de verbindingswapening en het oppervlak van de breedplaat

Oppervlakte ruwheid	c_{v1}	μ_v
ruw (bewerkt)	0,15	0,7
glad (niet bewerkt)	0,075	0,6

35

Uittrekken tralieligger

Uittrekken tralieligger is typisch voor het aansluitvlak van breedplaatvloeren bij het kritische detail. De tralieligger wordt belast door een combinatie van trek en afschuiving;

Uit analyse van de resultaten blijkt dat de volgende variabelen een correlatie hebben met de gevonden bezwijkwaarden:

- de diepte van de tralieligger in de breedplaat;
- de treksterkte van het beton van de breedplaat;
- de lengte van de koppelwapening achter de eerste tralieligger (l_{eff});
- de diameter van de koppelwapening.



36

Uittrekken tralieligger

Gemiddeld gedrag is beschreven na 'curve fitten' op de experimentele resultaten:

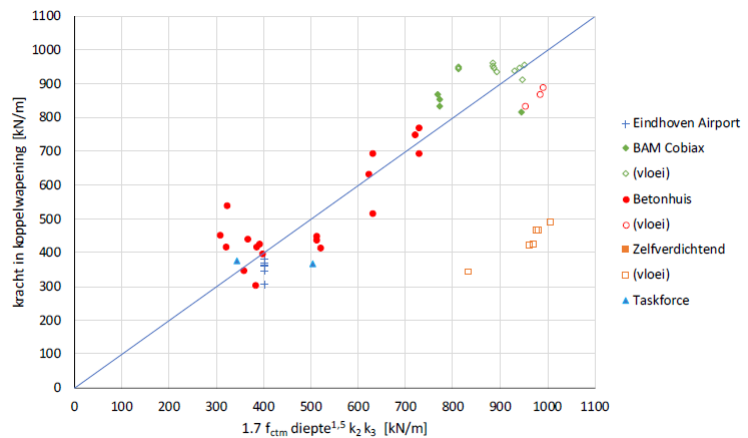
$$F_{\text{uittrek}} = 1,7 f_{\text{ctm}} \text{diepte}^{1,5} k_2 k_3$$

waarin:

$$k_2 = l_{\text{eff}}/600 \leq 1,0$$

$$k_3 = (56 - \emptyset)/40 \geq 0,9$$

$$\leq 1,0$$



37

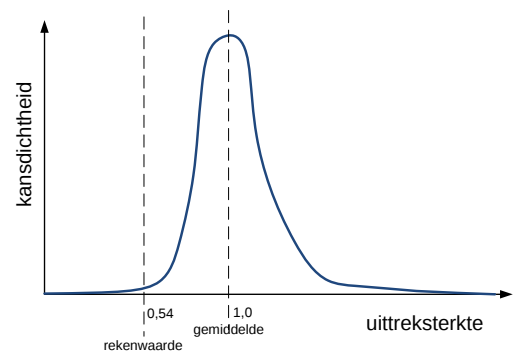
Uittrekken tralieligger

Op basis van variatiecoëfficiënt van 0,17 en het aantal beschikbare resultaten is met bijlage D van NEN-EN 1990 een rekenwaarde voor de sterkte bepaald:

Uittrekken tralieligger:

$$F_{\text{Rd}} = 2 f_{\text{ctd}} \text{diepte}^{1,5} k_2 k_3 \quad [\text{kN/m}]$$

Om voldoende betrouwbaarheid te bereiken is de rekenwaarde circa 54% van de gemiddelde waarde



38

Conclusie



De momentweerstand van het kritische detail kan worden bepaald, door de trekkracht in koppelwapening niet groter te nemen dan de grootste waarde van:

Afschuiven aansluitvlak:

$$F_{Rd} = v_{Rd} A_{eff}$$

waarin:

$$v_{Rd} = k_1 \left[c_{v1} \frac{\sqrt{f_{ck}}}{\gamma_c} + \rho f_{yd} \mu_v \sin \alpha \right]$$

$$A_{eff} = b l_{eff}$$

k_1 is afhankelijk van betonsoort

ρ is de relatieve hoeveelheid
verbindingswapening

Uittrekken tralieligger:

$$F_{Rd} = 2 f_{ctd} \text{ diepte}^{1,5} k_2 k_3 \quad [\text{kN/m}]$$

waarin:

$$k_2 = l_{eff}/600 \leq 1,0$$

$$k_3 = (56 - \emptyset)/40 \geq 0,9 \\ \leq 1,0$$

39

Conclusie



Voor het bepalen van de weerstand van de vloeren is het noodzakelijk dat gedetailleerde informatie beschikbaar is:

- positie en diepte tralieligger
- afwerking breedplaat
- treksterkte beton breedplaat
- hoeveelheid koppelwapening

Het beschikbaar krijgen van deze informatie is alleen mogelijk als alle betrokken partijen bereid zijn hun informatie te delen en hun archieven beschikbaar te stellen!

40

Dank voor uw aandacht!

