
Duurzaam versterken met schuimbeton

Diverse onderzoeken naar mogelijkheden
aardbevingsbestendig bouwen met schuimbeton



Schuimbeton wordt in Nederland veelvuldig toegepast als opvulmateriaal of bodemaafsluiter. Ook constructieve toepassingen zijn mogelijk, bijvoorbeeld in funderingen in de woningbouw. Door recente ontwikkelingen is er nu een hoogwaardigere variant beschikbaar, onder meer met toevoeging van kunststof vezels. Een van de mogelijke toepassingen is het dempen van seismische of andere trillingen.

Schuimbeton is een materiaal dat bestaat uit cement, water en mogelijk toeslagmateriaal, waaraan lucht is toegevoegd. Het materiaal is daardoor aanzienlijk lichter dan normaal beton. De volumieke massa ligt tussen 300 en 2100 kg/m³, afhankelijk van de hoeveelheid lucht en toeslagmateriaal. Ter vergelijking: normaal beton weegt circa 2400 kg/m³.

Lucht in schuimbeton wordt ingebracht door toepassing van een schuimmiddel. Het schuim zorgt ervoor dat luchtbellen stabiel blijven in de specie tijdens het verwerken en de verharding. Zodra het schuimbeton is verhard, zijn de luchtbellen gefixeerd.

Een voordeel van schuimbeton is dat dankzij het lage gewicht de belastingen worden beperkt. Bovendien heeft schuimbeton door de aanwezigheid van lucht ook een isolerende werking. Daar tegenover staat dat de sterkte lager is dan van gewoon beton.

Mogelijke toepassingen van het materiaal lopen uiteen. Bekend zijn werkvloeren, bodemaafsluiters in kruipruimten, isolatie onder vloeren in woningen of bedrijfshallen, wegfunderingen en het opvullen van loze ruimtes zoals oude rioleringen en kelders. Hoewel de sterkte relatief laag is, kan schuimbeton ook als constructief materiaal

auteur



IR. JACQUES LINSSEN ¹⁾

Redactie Cement /
Aeneas Media

¹⁾ Dit artikel is tot stand gekomen in samenwerking met prof.dr.ir. Erik Schlangen (TU Delft, fac. CITG, Sectie Materialen en Milieu), dr. Ihsan Bal (Hanze University of Applied Sciences Groningen / University of Groningen, Faculty of Science and Engineering), Wim Meilink (Econstruct) en Jos Nederstigt (Urban Base).

en dus in een dragende functie worden ingezet, al dan niet gecombineerd met de isolerende werking. Daarmee is vloer- of funderingsherstel mogelijk bij renovaties of is het in te zetten als funderingsmateriaal in nieuwbouw.

Een relatief onbekende toepassing is het dempen van seismische of andere trillingen vanuit de ondergrond. Hier is ervaring mee opgedaan met een nieuw soort schuimbeton: het zogenoemde Trilling Absorberend Schuimbeton.

Trilling Absorberend Schuimbeton

Trilling Absorberend Schuimbeton, hierna te noemen TAS, is een ontwikkeling die is ontstaan naar aanleiding van de vraag naar oplossingen voor funderingen voor nieuwbouw en herstel in het aardbevingsgebied in Groningen. TAS heeft een speciale samenstelling. Als cement wordt CEM III/A (hoogovencement) of CEM II/B (portland-composiet cement) toegepast. Verder bevat het mengsel kunststof vezels en overige additieven. Staalvezels zijn niet toepasbaar in schuimbeton want die maken de luchtbellen in de specie kapot. De volumieke massa bedraagt 500 kg/m³.

Het produceren van het schuimbeton gebeurt op locatie. In een menginstallatie worden het cement, het water en de toe- →



voegingen (schuimmiddel, hulpstoffen en overige additieven) ter plaatse gemengd. Soort en type menginstallatie zijn mede bepalend voor het behalen van de juiste kwaliteit. Het produceren gebeurt met een zogenoemde droge menginstallatie. Hierdoor is een nauwkeurige controle op soort en hoeveelheid grondstoffen mogelijk. Dit in tegenstelling tot een natte menginstallatie, waarbij de basisspecie met betonmixers van de betonmortelcentrale wordt aangevoerd.

Bij de productie wordt een nieuw ontwikkeld type menger gebruikt, waardoor het mengen intensiever en gelijkmatiger gebeurt dan met een gebruikelijke menginstallatie. De gewenste samenstelling wordt in

een geautomatiseerd elektronisch systeem ingevoerd. Dit tezamen leidt tot een homogeen materiaal met contante prestaties en een hogere kwaliteit.

Onderzoeken eigenschappen TAS

In 2015 is aan de TU Delft onderzoek verricht naar de mechanische eigenschappen van het materiaal [1]. Daarbij zijn drukproeven, axiale trekproeven en cyclische drukproeven uitgevoerd. In het onderzoek zijn druksterkte, treksterkte, E-modulus, breukenergie en de vermoeiingseigenschappen onderzocht. Hierbij is TAS vergeleken met normaal schuimbeton.

Tabel 1 Resultaten drukproef

	Druksterkte [MPa] *)	E-modulus [MPa] *)
Referentie schuimbeton	1,60	898
TAS	2,25	1367

*) Gemiddelde van zes waarnemingen, met uitsluiting van hoogste en laagste waarneming

Tabel 2 Resultaten trekproef

	Treksterkte [MPa]	Breukenergie [N/mm]
Referentie schuimbeton	0,1070	0,0029
TAS	0,1651	0,0074

TAS bevat kunststof vezels en overige additieven

Drukproeven Om de druksterkte te onderzoeken zijn prisma's van $50 \times 50 \times 150 \text{ mm}^3$ beproefd (foto 2). Daarbij is ook de E-modulus bepaald. De druksterkte van normaal schuimbeton bedroeg gemiddeld 1,60 MPa en de E-modulus gemiddeld 898 MPa (tabel 1). Voor TAS was zowel de druksterkte als de E-modulus hoger, respectievelijk 40% en 50% (gemiddeld 2,25 MPa en 1367 MPa).

Trekproeven Om de axiale treksterkte te onderzoeken zijn cilinders met een diameter van 50 mm en een hoogte van 100 mm beproefd (foto 3). Halverwege de proefstukken werd een inkeping aangebracht, om te forceren dat scheurvorming daar zou plaatsvinden. Naast de treksterkte is ook de beukenergie gemeten. Dit is een maat voor het scheurgedrag en de mate waarin trillingen worden geabsorbeerd (tabel 2).

De treksterkte van normaal schuimbeton bedroeg gemiddeld 0,107 MPa en bij TAS lag die circa 60% hoger (gemiddeld 0,1651 MPa). De breukenergie van normaal schuimbeton was 0,0029 N/mm en van TAS gemiddeld meer dan 2x zo hoog (0,0074 N/mm).

Overigens was er bij het reguliere schuimbeton geen nascheurgedrag vast te stellen. Daarvoor was het materiaal te bros.

Cyclische drukproeven Om de vermoeiingseigenschappen te testen, zijn proeven uitgevoerd op prisma's van $50 \times 50 \times 100 \text{ mm}^3$. Eerst is een normale drukproef uitgevoerd,

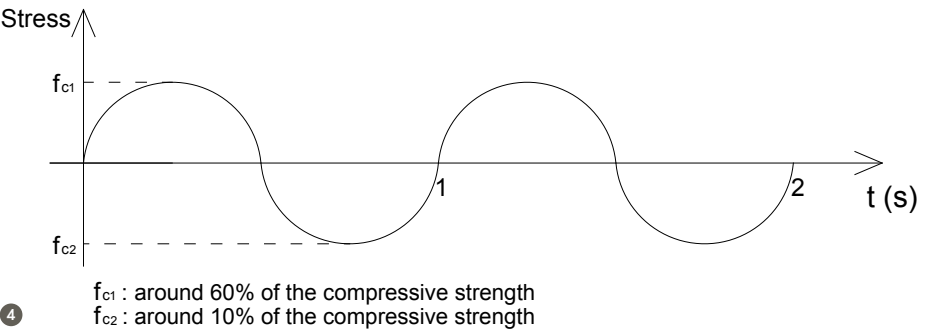
waarbij de drukkracht is opgevoerd tot ongeveer 60% van de druksterkte. Hierbij is de E-modulus gemeten. Vervolgens is een cyclische drukproef uitgevoerd. Hierbij varieerde de drukkracht van 10% tot 60% van de druksterkte (fig. 4). Tot slot is, na de cyclische belasting, nogmaals een normale drukproef uitgevoerd, waarbij ook weer de E-modulus is gemeten.

De resultaten staan in tabel 3. De E-modulus bij normaal schuimbeton nam na de cyclische belasting af met gemiddeld 4%, van 866,73 tot 831,98 MPa. Bij TAS schuimbeton was die E-modulus aanvankelijk 40% hoger (gemiddeld 1210,17 MPa) maar nam deze na de cyclische belasting sterker af (9,93%).

Aanvullend onderzoek

In 2021 is hernieuwd onderzoek verricht aan de TU Delft [6]. Hierbij is wederom het TAS vergeleken met normaal schuimbeton. Er zijn drukproeven, trekproeven en cyclische trekproeven uitgevoerd. Als resultaat zijn druksterkte, treksterkte, E-modulus, breukenergie en de vermoeiingseigenschappen bepaald.

Het was overigens niet eenvoudig om van het referentiemateriaal, het schuimbeton zonder vezels, goede proefstukken te vervaardigen. Het materiaal was moeilijk handelbaar en veel proefstukken hiervan bezweken al tijdens de productie. Daardoor konden slechts enkele proefstukken van →



Tabel 3 Resultaten vermoeiingsproef

	E-modulus voor [MPa]	E-modulus na [MPa]	Afname
Referentie schuimbeton	866,73	831,98	4,03%
TAS	1210,17	1087,56	9,93%

Tabel 4 Resultaten drukproef [6]

	Druksterkte [MPa]	E-modulus [MPa]
No Fibre	0,4836	2490
TAS5 VVI	1,5516	3501

Tabel 5 Resultaten trekproef [6]

	Treksterkte [MPa]	Breukenergie [N/mm]
No Fibre	0,048	$1,49 \cdot 10^{-4}$
TAS	0,1818	$26,8 \cdot 10^{-4}$

het referentiemateriaal na het zagen daadwerkelijk worden getest.

Drukproeven Voor de nieuwe serie drukproeven zijn prisma's van $50 \times 50 \times 150 \text{ mm}^3$ beproefd. Daarbij zijn de druksterkte en de E-modulus bepaald. De druksterkte van TAS was 3x zo hoog als die van normaal schuimbeton (van 1,5516 MPa om 0,4836 MPa) en de E-modulus gemiddeld was zo'n 40% hoger (3501 MPa versus 2490 MPa) (tabel 4).

Trekproeven Er zijn voor het TAS en de referentie ook axiale trekproeven uitgevoerd. Prisma's van $50 \times 50 \times 150 \text{ mm}^3$ zijn beproefd, waarbij in het midden van de prima een inkeping is aangebracht. Hierbij zijn treksterkte en breukenergie bepaald bij verschillende vervormingen.

De resultaten staan in tabel 5. De treksterkte was voor TAS 4x zo hoog, de breukenergie tot wel 18x zo hoog. Hierbij moet worden opgemerkt dat in de trekproeven op het materiaal zonder vezels het nascheurgedrag niet te meten was en er bros bezwijken optrad. TAS vertoont na het bereiken van de treksterkte een vloeiende dalende tak die stabiel te meten is.

Cyclische trekproef Om de vermoeiingseigenschappen te testen, is een cyclische trekproef uitgevoerd. Prisma's van

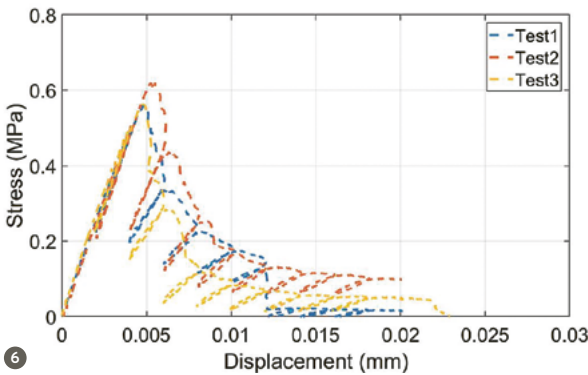
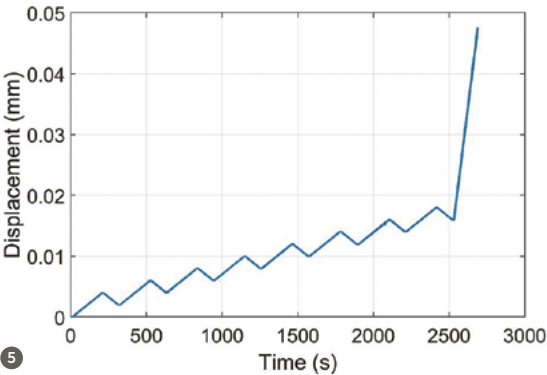
$50 \times 50 \times 150 \text{ mm}^3$ zijn beproefd, waarbij in het midden van de prima ook weer een inkeping is aangebracht. Voor elk proefstuk zijn acht cycli uitgevoerd. Elke cyclus bestond uit een vervorming van $+4 \mu\text{m}$ en vervolgens een ontlasting met $2 \mu\text{m}$ (fig. 5). De resultaten staan in figuur 6.

Omdat er geen proeven zijn uitgevoerd met normaal schuimbeton is er geen vergelijkingsmateriaal. Wel kan een conclusie worden getrokken ten aanzien van een hogere taatheid. Het schuimbeton zonder vezels vertoont bros bezwijken. Na de piek is het meten van een dalende tak niet mogelijk. Dit materiaal heeft dan ook een lage taatheid. Bij TAS is het meten van de dalende tak wel mogelijk en zijn er cycli zowel voor het bereiken van de treksterkte alsook in de dalende tak uitgevoerd (zoals te zien in figuur 6).

Deze data kunnen worden gebruikt als invoer voor numerieke modellen waarmee gerekend wordt aan het gedrag van schuimbeton in een toepassing met wisselende belasting.

Toepassingen

TAS kan worden toegepast om de gevolgen van aardbevingen te beperken, in een zogenoemde Trilling Bestendige Fundering, in bestaande bouw bij herstel of versterking (foto 7). Bij versterkingen wordt de bestaan-



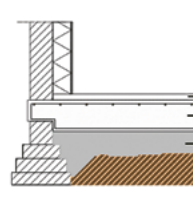
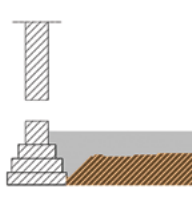
Uit onderzoek blijkt dat de druksterkte, de treksterkte, de E-modulus en de breukenenergie aanzienlijk hoger zijn

de houten vloer verwijderd en wordt tussen funderingen en opgaande muren schuimbeton aangebracht met daarop een betonvloer (fig. 8). De fundering is opgebouwd uit een of meerdere lagen TAS en een constructieve betonvloer die met nokken aan de bestaande gevels en muren wordt gekoppeld. Direct op betonvloer komt een afwerklaag, veelal voorzien van vloerverwarming.

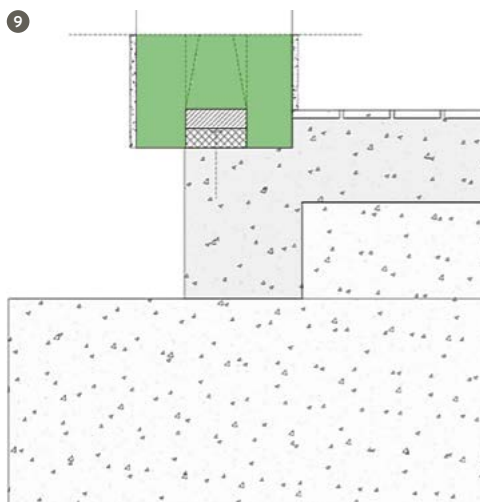
De Trilling Bestendige Fundering kan

ook in nieuwbouw worden toegepast, waarbij de constructieve vloer wordt voorzien van een randbalk rondom (fig. 9).

TAS kan ook worden toegepast bij het dragend vullen van aangetaste steenachtige begane grondvloeren als Kwaaitaal- en NeHoBo-vloeren. Deze vloeren kunnen niet worden verwijderd, dit zal de stabiliteit van het gebouw aantasten. Met een speciale vultechniek worden de ruimten onder de →



afwerklaag
constructieve betonvloer met nokken
schuimbeton



vloeren volledig gevuld, zodanig dat het schuimbeton de vloer volledig draagt.

Dempende werking TAS

Met TAS wordt bij herstel en/of versterken van een strokenfundering een plaatfundering gemaakt. Daarmee ontstaat een flink groter dragend oppervlak (tot 6x groter), waardoor de belasting per oppervlak lager is en er dus minder zetting op zal treden. Door de koppelingen aan de wanden ontstaat een stabiele plaat, waardoor gehele constructie beter bestand is tegen aardbevingstrillingen.

Het TAS-schuimbeton creëert een discontinuïteitszone onder de constructie. Deze

zone heeft een lagere elasticiteitsmodulus dan de traditionele materialen die in de bovenbouw worden gebruikt. Deze zone vermindert de trillingen vanuit de grond naar de bovenliggende constructie.

Daarbij behoudt het schuimbeton zijn constructieve integriteit tot zeer hoge versnellingen ($PGA = 0,6\text{ g}$). Dit is gebleken uit schudtafeltests bij BuildingG (met het door SiA gefinancierde project SafeGO), waar het materiaal is belast met metselwerk wanden en belastingen uit vloerplaten (foto 10). Het biedt een isolatielaag voor bepaalde trillingsfrequenties. Dit geldt in ieder geval voor het bereik van magnitudes waargenomen in Groningen.

PRODUCTSPECIFICATIE

Volgens CROW-CUR Aanbeveling 59:2023 gelden voor het Trilling Absorberend Schuimbeton (TAS) de volgende specificaties (waar nodig aantoonbaar met een verklaring van de producent)
Productaanduiding: TAS5 VVI
Gebruiksklasse: D (dragend)
Volumieke massa: 500 kg/m^3
Sterkteklasse: SB 2,0 ($f_{ck} = 2,0\text{ N/mm}^2$)
Buigtreksterkte: $f_u = 0,4\text{ N/mm}^2$
Elasticiteitsmodulus: $E \geq 1200\text{ N/mm}^2$

De wateropname onder externe druk, capillaire wateropname, vermoeiing en de trillingsabsorptie van het materiaal en de demping van de constructie waarin het materiaal is toegepast (indien van toepassing) zijn aantoonbaar met een onderzoeksrapport en/of berekening.



TAS-schuimbeton kan dus bijdragen om schades door aardbevingen, ook in de toekomst, te voorkomen. Dit geldt vooral voor zwakke huizen met een metselwerk strokenfundering, die sowieso erg kwetsbaar zijn voor bodemzetting en gecombineerde seismische effecten. Op dit moment is het moeilijk om de exacte isolatiebijdrage van TAS in een technisch project te berekenen. Het moet dan ook worden beschouwd als een extra en niet-kwantitatieve maatregel.

Onderzoek dempende werking TU Delft

Door de TU Delft is in 2015 in samenwerking met TNO de dempende werking van TAS onderzocht met een veldproef [2 en 3]. Hierbij zijn de versnellingen aan de gevels gemeten van twee vrijwel identieke huizen; een woonhuis met de originele kruipruimte en een huis waarbij de kruipruimte is volgestort met TAS.

Uit de resultaten bleek dat TAS een positief effect heeft op het dynamisch gedrag van de woningen, ten opzichte van toepassing zonder schuimbeton. Het effect ten opzichte van een woning met regulier schuimbeton is niet onderzocht, dus er zijn nog

geen conclusies trekken ten aanzien van de winst van TAS ten opzichte van regulier schuimbeton.

Laboratoriumonderzoek Building

Ook bij het instituut Building in Groningen is onderzoek verricht naar de dempende werking van TAS. Er is zowel onderzoek in het laboratorium (2019-2020) [4] als veldonderzoek (2018) verricht (foto 11) [5].

De conclusie uit het laboratoriumonderzoek is dat TAS trillingen kan dempen zolang die ver buiten de eigen frequentie liggen. De demping kan oplopen tot circa 60%. Als de trillingen dicht in de buurt van de eigen frequentie van het systeem liggen, vindt geen demping plaats. Ook de verhouding tussen hoogte en breedte van het dempende materiaal is van belang.

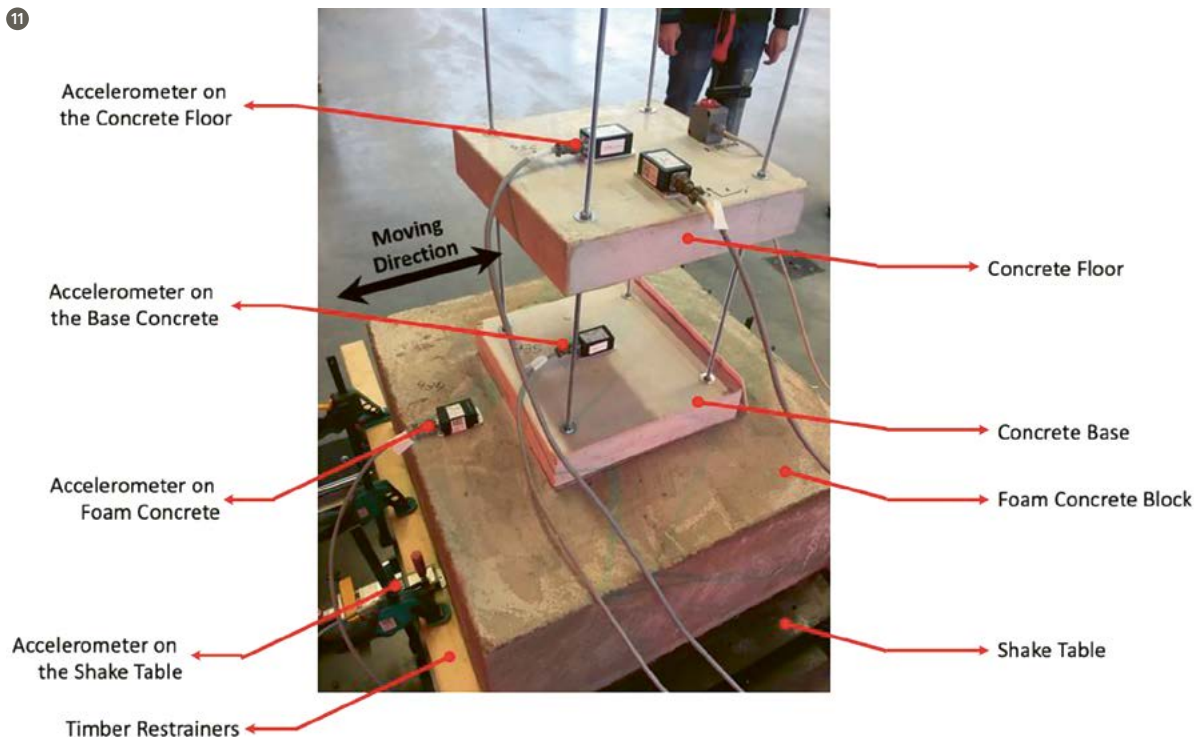
Ook hier geldt dat geen vergelijking is gemaakt ten opzichte van regulier schuimbeton.

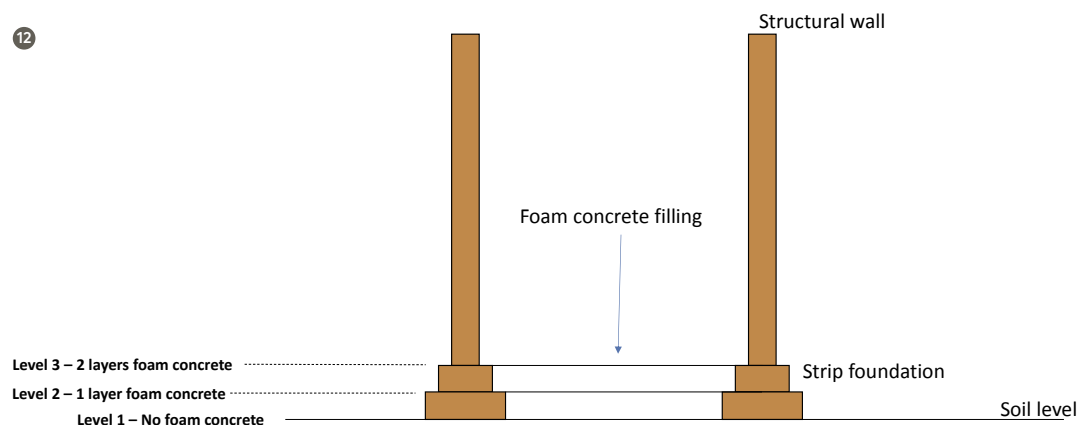
Veldonderzoek Building

In 2018 is door Building ook veldonderzoek uitgevoerd (fig. 12) [5]. Hierbij zijn versnellingen gemeten in een schoolgebouw in →

Met TAS wordt een plaatfundering gemaakt waarmee een flink groter dragend oppervlak ontstaat

11





Bedum als gevolg van een passerende vrachtwagen. Om de trillingen te versterken reed de vrachtauto over een drempel. Uit dit onderzoek kan worden geconcludeerd dat, wat de geteste constructie betreft, het schuimbeton trillingen in lage frequenties, veroorzaakt door verkeer, dempt. Het schuimbeton vermijdt bovendien de amplificatie van trillingen in een bepaald bereik van de trillingstijd.

Ook hier geldt weer dat er geen vergelijking is gemaakt ten opzichte van regulier schuimbeton.

Specificaties

Het schuimbeton in een Trilling Bestendige Fundering wordt beoordeeld volgens CROW-CUR Aanbeveling 59 (CUR59) [7] (zie kader ‘CROW CUR-Aanbeveling 59:2023’). Op basis hiervan moeten onder meer gewicht en druksterkte worden gespecificeerd. Bij toepassing van schuimbeton is het normaalgesproken een wens om het juiste evenwicht te zoeken tussen laag gewicht en hoge druksterkte. Op dit gebied onderscheidt TAS zich van normaal schuimbeton: ook bij relatief lage massa is een hoge druksterkte te realiseren en bovendien is de kwaliteit constant. De specificaties volgens CROW-CUR Aanbeveling 59 staan in het kader ‘Productspecificatie’.

Tot slot

Uit onderzoek naar de materiaaleigenschappen blijkt dat de druksterkte van het materiaal circa 3× zo hoog is als regulier schuimbeton en de treksterkte zelfs 4× zo hoog. Ook de E-modulus en de breukenergie zijn aan-

zienlijk hoger en de vermoeiingseigenschappen zijn beter. Ook de resultaten van onderzoek naar de toepassing van TAS op het gebied van trillingsdemping zijn veelbelovend, hoewel over de prestaties ten opzichte van regulier schuimbeton geen concrete conclusies zijn te trekken. De verwachting is evenwel dat het materiaal beter presteert, gezien de betere mechanische eigenschappen.

Met het concept is de afgelopen jaren bij verschillende funderingen ervaring opgedaan. De toepassing is opgenomen in de Groninger Maatregelen Catalogus (CMG), met een TRL Technology Readiness Level 7.

Hoewel er veel over het materiaal bekend is, is het nog altijd een product in ontwikkeling. Voor een aantal facetten, met name met betrekking tot spoorweg-trillingen, aanvullend onderzoek gewenst (zie kader ‘Trillingen rondom het spoor’). ●



CROW CUR-AANBEVELING 59:2023

Recent is CROW CUR-Aanbeveling 59 – 'Vervaardiging en beproeving van schuimbeton' herzien en aangepast aan de nieuwste normen, inzichten en ontwikkelingen van deze tijd [7]. In deze nieuwe versie wordt onder meer onderscheid gemaakt tussen dragende en niet-dragende toepassingen. Ook de mogelijkheden tot trillingsabsorptie worden genoemd. Dankzij deze Aanbeveling is het niet meer nodig om voor de toepassing van constructief schuimbeton een conformiteitsverklaring op te stellen. Een partijkeuring en conform de Aanbeveling volstaat. Deze Aanbeveling is beschikbaar op www.cur-aanbevelingen.nl.

VERKEERS- EN SPOORWEGTRILLINGEN

TAS is ook toepasbaar om trillingshinder door verkeer en bij het spoor te beperken. Onderzoeken hebben aangetoond dat in deze toepassing het materiaal zelfs nog beter presteert dan bij het dempen van aardbevingstrillingen. Onderzoek naar de werking van TAS is onderdeel van het programma 'Innovatieagenda Bronaanpak Spoortrillingen' van ProRail. Bij verkeerstrillingen worden met het toepassen van TAS reducties van de trillingsintensiteit op de constructie tot 75% behaald. Een trillingenscherm tussen bron en ontvanger, opgebouwd uit zogenoemde *trilling barriers*, biedt hierbij een goede oplossing. Trilling barriers zijn prefab elementen van TAS-schuimbeton.



LITERATUUR

- 1 Schlangen, E., Xu, M., Nagtegaal, G., Leeuwen M. van, Foam concrete Final report for compression test, tensile test and cyclic compression test. TU Delft, 11 september 2015.
- 2 Haalbaarheidsonderzoek naar de trillingsdempende werking van schuimbeton – Toepassing in de kruipruimte van woonhuizen – Eindrapport. TU Delft, 19 november 2015.
- 3 TNO 2015 R11223 - Trillingsmetingen Schuimbeton huizen. TNO, 17 september 2015.
- 4 Bal, I. E., Smyrou, E., Dais, D., Arslan, O., Jaho, G., Shake-Table Tests on Vibration Isolation Foam Concrete, BuildinG report prepared for NederBoom, Report No: BG2019-103_v2, 2019.
- 5 Bal, I. E., Smyrou, E., Dais, D., and Arslan O., School Restoration in Bedum, Foam Concrete Vibration Isolation Field Tests, BuildinG report prepared for NederBoom, Report No: BG2019-104_v2, 2019.
- 6 Schlangen, E., Xu, Y., Behaviour of foam concrete. TU Delft ML-2021-Needs-1, 1 november 2021.
- 7 CROW-CUR Aanbeveling 59:2023 – Vervaardigen, verwerken en beproeven van schuimbeton.