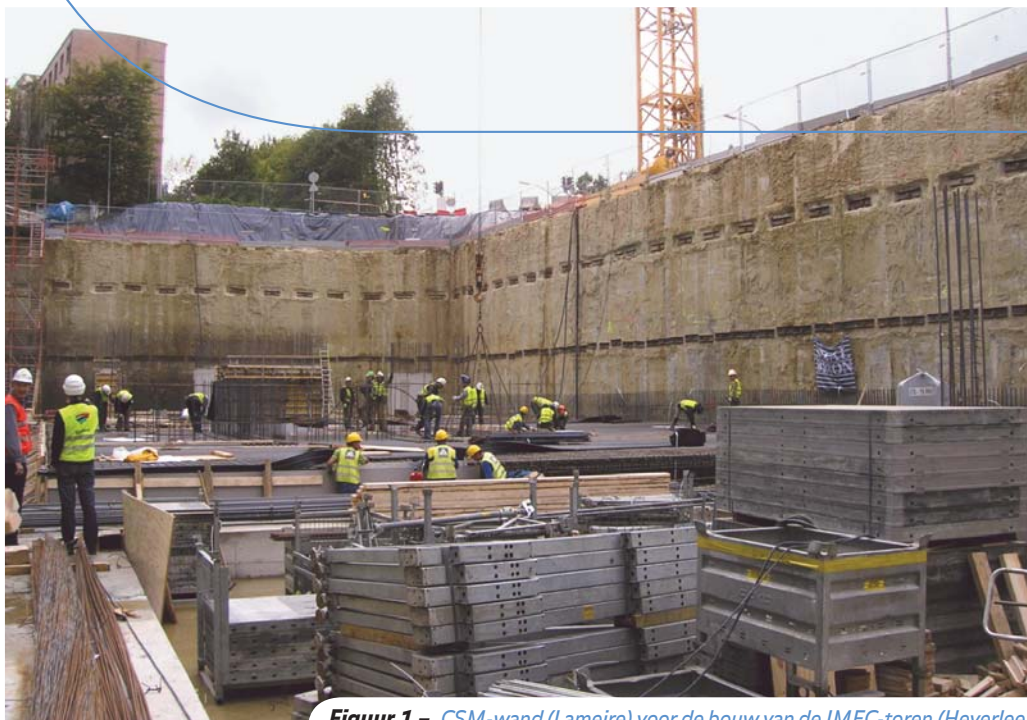


Discrete simulaties van breukgroei in 'Soil Mix'-materiaal met zwakke insluitels

Prof. dr. ir. A. Vervoort
Dep. Burg. Bouwkunde
KU Leuven



ir. G. Van Lysebetten
Dep. Burg. Bouwkunde
KU Leuven



Figuur 1 – CSM-wand (Lameire) voor de bouw van de IMEC-toren (Heverlee).

Inleiding

DE 'SOIL MIX'-TECHNIEK

Sinds enkele decennia wordt de 'Soil Mix'-techniek gebruikt als een grondverbeteringstechniek. In België wordt de techniek steeds meer gebruikt voor de constructie van grond- en waterkerende wanden (figuur 1), in plaats van klassieke technieken zoals secanspalenwanden, damwanden, diepwanden en Berlijnse wanden.

Het principe van de 'Soil Mix'-techniek is gebaseerd op een in situ mechanische vermenging van de grond met een geïnjecteerd bindmiddel (bijvoorbeeld cement). Een continue wand wordt verkregen door het mengen van overlappende rechthoekige panelen of cilindervormige kolommen. Om afschuif- en buigkrachten op te vangen worden meteen na het mengen stalen H- of I-profielen in het niet-verharde 'Soil Mix'-materiaal geplaatst. Dieptes tot meer dan 20 meter kunnen op deze manier bereikt worden.

In België zijn de meest gebruikte technieken de CVR (Twin/Triple) C-mix® techniek, de Tubular Soil Mix (TSM) techniek en de Cutter Soil Mix (CSM) techniek (figuur 2 a, b en c). Het zijn alle drie natte systemen waarbij een water-cementmeng-

sel al dan niet onder hoge druk wordt geïnjecteerd. Deze technieken werden in een eerder verschenen artikel uitvoerig besproken [4].

NOOD AAN ALTERNATIEVE ONTWERPREGELS

Omwille van de specifieke mengprocedure van de 'Soil Mix'-techniek en omdat een natuurlijk materiaal rechtstreeks als grondstof wordt gebruikt, is de aanwezigheid van grondinsluitels (ongemengde en dus zwakkere delen) onvermijdelijk. Hierdoor is het resulterende 'Soil Mix'-materiaal heterogeen van aard en kunnen de klassieke ontwerpregels niet noodzakelijk zo maar toegepast worden. Ze leiden immers vaak tot negatieve karakteristieke waarden, terwijl in de praktijk de 'Soil Mix'-techniek uitstekend aan de vereisten lijkt te voldoen. Gezien de vele voordelen van de 'Soil Mix'-techniek op zowel economisch vlak als op vlak van duurzame ontwikkeling, rees bij de Belgische funderingsaannemers de vraag naar alternatieve ontwerpregels die toelaten de techniek ook aan te wenden voor permanente en verticaal dragende constructies.

Om een oplossing te bieden voor deze problematiek werd door het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB), de Belgische Vereniging Aannemers Funderingstech-

nicken (ABEF) en de KU Leuven in 2009 een onderzoeksproject (IWT 080736) aangevraagd bij het Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie van het Vlaamse Gewest (IWT). Doel van het project is de klassieke ontwerpregels te herformuleren aangepast aan het fundamenteel gedrag van 'Soil Mix'-materiaal rekening houdend met het heterogeen karakter, de grondinsluitels en tijds- en schaafeffecten zoals uithardingstijd en kruip [8]. Hierbij gaat vooral aandacht naar de druksterkte van 'Soil Mix'-materiaal, de hechting tussen 'Soil Mix' en stalen wapening en de duurzaamheid en permeabiliteit van het 'Soil Mix'-materiaal. In het kader van dit IWT-project wordt een groot aantal proeven uitgevoerd, maar ook numerieke simulaties waarbij het innovatieve gericht is op het simuleren van individuele breuken in het heterogeen materiaal tijdens belasting. Door het reële falingsproces van breukinitiatie en -groei zo realistisch mogelijk te benaderen, hoopt men de simulaties in de toekomst ook te kunnen gebruiken om nieuwe situaties te kunnen voorspellen, bijvoorbeeld meer of minder heterogeniteiten, grotere of kleinere heterogeniteiten, het schaafeffect, enz. In het kader van dit laatste worden naast het testen van kernen ook blokken met een horizontale sectie overeenkomend met een wanddikte (ongeveer 60 cm) en een hoogte van ongeveer tweemaal de wanddikte getest. Dit artikel legt de nadruk op de resultaten van de numerieke simulaties.

Numerieke simulaties aan KU Leuven

SIMULATIE BREUKVORMING

Het falen van gesteenten wordt vooral bepaald door de initiatie en groei van breuken in het gesteentemateriaal. Reeds bij relatief kleine belastingen ontstaan er micro-breuken, die later doorgroeien tot macro-breuken. Het globale gedrag kan meestal vrij goed benaderd worden met de klassieke elasto-plastische modellen. Wanneer men echter meer in detail deze breukinitiatie en -groei wenst te analyseren, zijn discrete simulaties noodzakelijk [2,7]. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer men een correct onderscheid wenst

Samenvatting

De 'Soil Mix'-techniek wordt steeds meer gebruikt voor de constructie van grond- en waterkerende wanden, waarbij een *in situ* mechanische vermeniging van de grond plaatsvindt met bijvoorbeeld cement. Gezien de specifieke mengprocedure en omdat een natuurlijk materiaal rechtstreeks als grondstof wordt gebruikt, is de aanwezigheid van zwakke grondinsluitels onvermijdelijk. Om de invloed van deze zwakke insluitels op de sterkte en

stijfheid te onderzoeken voerde KU Leuven numerieke discrete simulaties uit. Hierbij is het mogelijk om de individuele breukinitiatie en -groei te bestuderen. De simulaties tonen aan dat de afname van sterkte en stijfheid van een monster (veel) groter is dan het gewogen gemiddelde gebaseerd op de verhouding van gemengd en ongemengd materiaal. Ook blijkt dat andere parameters zoals vorm, aantal en relatieve positie van de insluitels een grote invloed hebben.

te maken tussen breuken ontstaan in trek en deze t.g.v. afschuiving, maar ook wanneer men het effect van heterogeniteiten in het materiaal wenst te kwantificeren.

CONCEPT

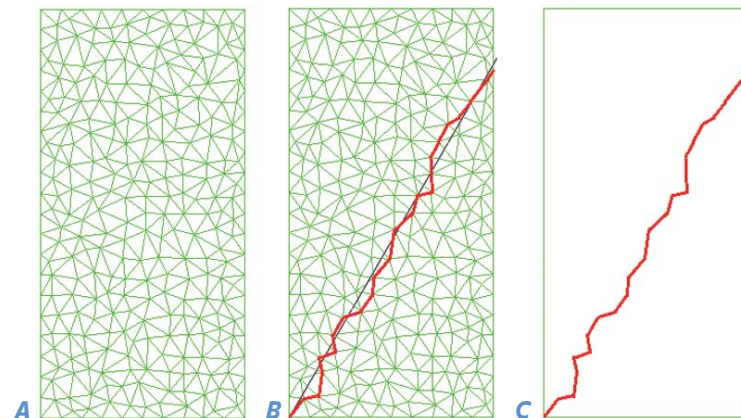
Voor de numerieke simulaties wordt een beroep gedaan op UDEC (Universal Distinct Element Code), een 2D discrete elementenprogramma [1]. Het bestudeerde medium wordt opgedeeld in discrete blokken die stevig met elkaar verbonden zijn door contacten (figuur 3a). De contacten bestaan uit 2 veren loodrecht en parallel met het contactoppervlak. Zowel de eigenschappen van de blokken als van de contacten beïnvloeden het gedrag van het geheel, dat initieel als intact wordt beschouwd. Door aan de contacten een bepaalde cohesie en treksterkte toe te kennen, kan het breukpatroon tijdens bijvoorbeeld een uniaxiale drukproef op een 'Soil Mix'-monster gesimuleerd worden. De contacten tussen aaneengrenzende blokken doen hierbij dienst als potentiële breukpaden. Pas als het breukcriterium van een contact wordt overschreden, wordt het geactiveerd en stelt het contact een reële breuk voor (figuur 3b en c). Mogelijke breukvorming beperkt zich dus tot de aanwezige contacten. Het netwerk moet bijgevolg voldoende fijn zijn en de oriëntatie van de contacten zo uniform mogelijk verdeeld, zodat breuken met gelijk welke oriëntatie benaderend kunnen gesimuleerd worden [7].

De eigenschappen van de contacten zijn uiteraard geen fysisch meetbare materiaaleigenschappen. Ze worden verkregen op basis van kalibratie van een homogeen model waarvan naast de druksterkte en de stijfheid ook het breukpatroon onder een uniaxiale belasting gekend is. Het geïcalibreerde, homogene model (d.i. een perfect gemengd monster zonder insluitels) heeft een druksterkte van 11.7 MPa en een Young's modulus van 10.5 GPa.

Een belangrijke veronderstelling is verder dat 'Soil Mix'-materiaal een heterogeen materiaal is bestaande uit 2 componenten, namelijk het goed gemengde gedeelte en de zwakke insluitels. Het volumepercentage aan zwakke insluitels (=ongemengd materiaal) kan hierbij variëren van 0 tot



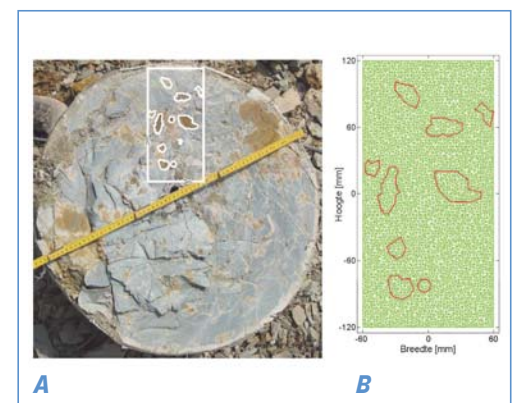
Figuur 2 – A. CVR Triple C-mix@ - B. Smet-F&CTSM - C. CSM techniek (Soetaert nv).



Figuur 3 – A. Vereenvoudigd voorbeeld van aaneengrenzende driehoekige blokken, waarbij een contact (groene lijnen) pas een breuk voorstelt als het geactiveerd is. B. Breukpad (rode lijn) volgens geactiveerde contacten met een globale helling van 60° (zwarte rechte). C. Het breukpatroon in het voor de rest intact monster.

3.5% in zandgrond tot meer dan 35% in stijve kleien [3].

Voor de simulaties wordt uitgegaan van een reële doorsnede van een 'Soil Mix'-kolom (figuur 4a). Dit 2D-monster telt 11 insluitels die in totaal goed zijn voor 11% van de oppervlakte van het monster. Het basismodel bestaat uit 9 van de 11 insluitels overeenkomend met 10 vol% (figuur 4b). Ook al gaat het hier om een 2D-model, toch wordt de term vol% gehanteerd. Zo wordt eenvoudiger de link gelegd met metingen op reëel



Figuur 4 – A. 2D-monster (120x240mm) gebaseerd op een reële doorsnede van een 'Soil Mix'-kolom. B. Netwerk van het basismodel.

'Soil Mix'-materiaal. Gezien het model in feite een eenheidsdikte heeft, is deze term gerechtvaardigd.

RESULTATEN

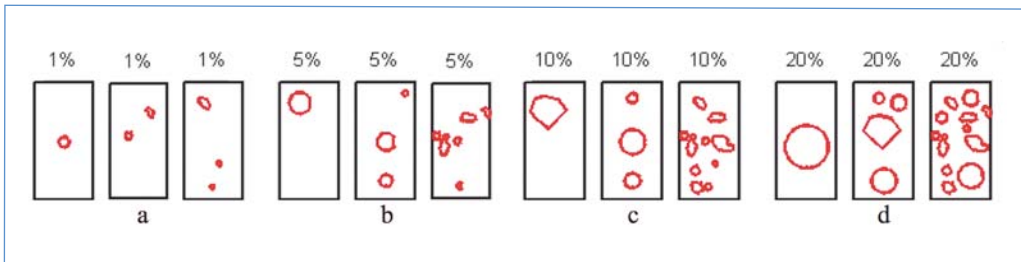
Volgende paragrafen onderzoeken de invloed van het volumepercentage, de vorm, het aantal en de relatieve positie van de insluitsels op de sterkte, de stijfheid en het breukpatroon. Dit gebeurt aan

de hand van een reeks modellen met dimensies 120x240mm. In UDEC worden op deze modellen verplaatsingsgestuurde uniaxiale drukproeven gesimuleerd.

INVLOED VOLUMEPERCENTAGE, VORM EN AANTAL INSLUITSELS

Op basis van de reële doorsnede (figuur 4a) worden naast het basismodel nog 68 andere modellen

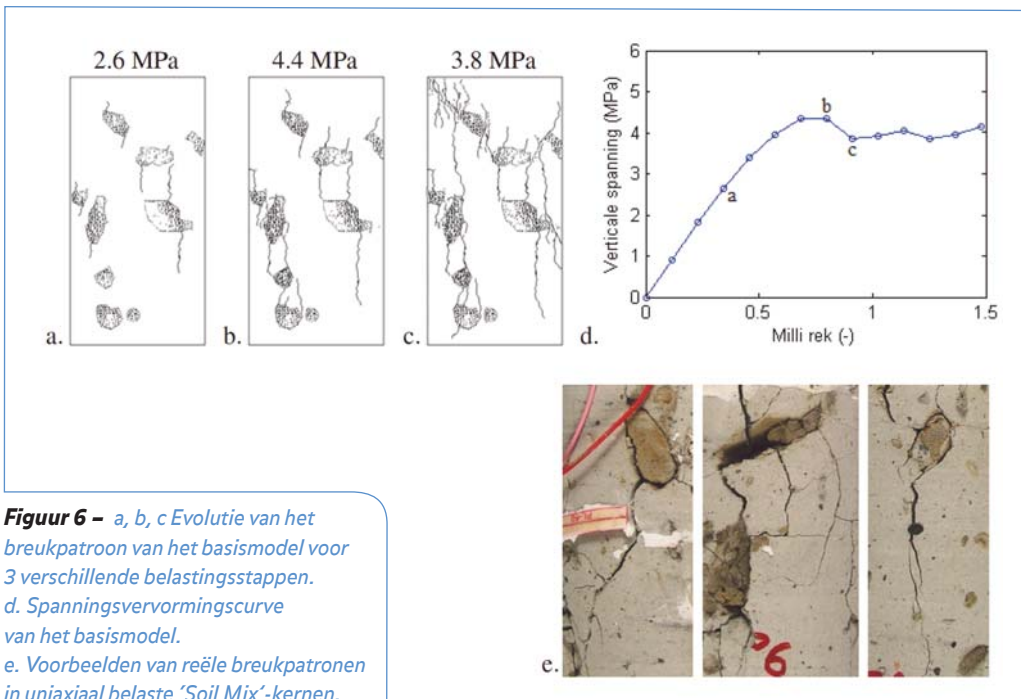
gegenereerd met een oppervlaktepercentage aan insluitsels van 1, 5, 10 en 20%. Hierbij wordt gevarieerd met de relatieve positie van de insluitsels, maar verder ook met de vorm (bijvoorbeeld uitgesproken ronde of hoekige vorm) en het aantal insluitsels (bijvoorbeeld 1 groot insluitsel tegenover 3 kleinere). Het aantal modellen met een bepaald volumepercentage insluitsels is weergegeven in tabel 1. Een aantal voorbeelden van de verschillende vormen en het aantal insluitsels zijn gegeven in figuur 5a tot d. Aan de hand van deze simulaties wordt in de eerste plaats de invloed van het volumepercentage insluitsels op de sterkte en de stijfheid van het 'Soil Mix'-materiaal onderzocht. Daarnaast laten de 30 modellen met 10% insluitsels toe om een eerste idee te krijgen van het effect van de vorm en het aantal insluitsels.



Figuur 5 – a-d Algemeen overzicht van een aantal modellen met 1, 5, 10 en 20% insluitsels. Naast het verschillend aantal insluitsels en de vorm, varieert verder ook de relatieve positie van de insluitsels.

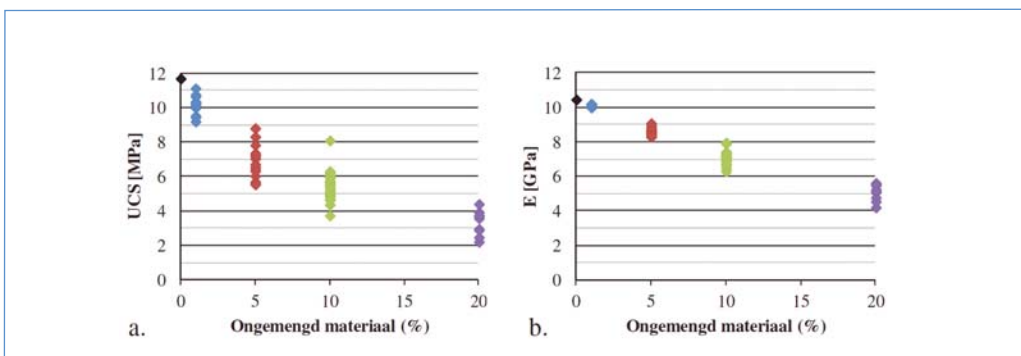
Tabel 1 Overzicht van het aantal modellen voor de studie van het effect van het volumepercentage, vorm en aantal insluitsels

vol%	# modellen	# insluitsels
1	11	1, 2, 3
5	18	1, 3, 4 of 6
10	30	1, 3, 9 of 10
20	10	1, 4, 12, 15 of 24



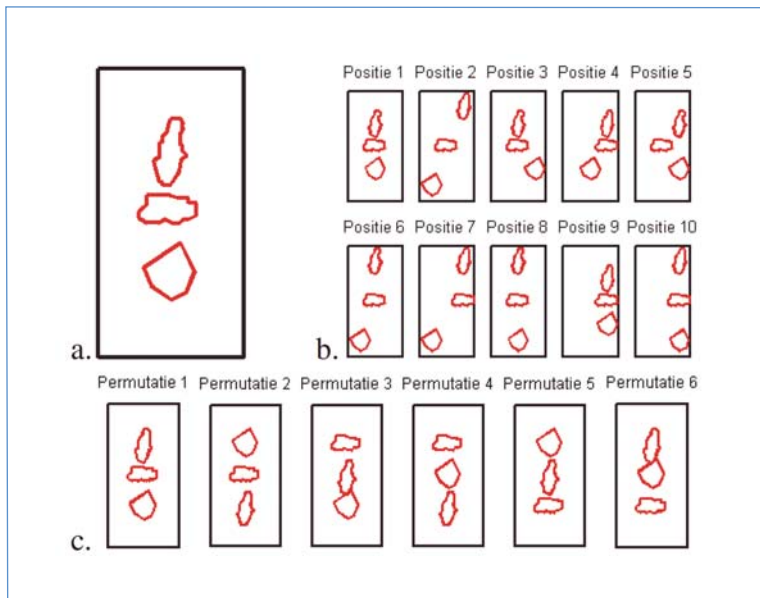
Figuur 6 – a, b, c Evolutie van het breukpatroon van het basismodel voor 3 verschillende belastingsstappen. d. Spanningsvervormingscurve van het basismodel. e. Voorbeelden van reële breukpatronen in uniaxiaal belaste 'Soil Mix'-kernen.

De evolutie van het breukpatroon voor het basismodel uit figuur 4b is weergegeven in figuur 6a tot c voor 3 verschillende belastingsstappen zoals aangegeven in de bijhorende spanningsvervormingscurve van figuur 6d. De UCS-waarde van dit model bedraagt 4.4 MPa, tegenover een UCS-waarde van 11.7 MPa voor een model zonder insluitsels. Dit is een afname van de sterkte met meer dan 60% door de aanwezigheid van 10% ongemengd materiaal (zie ook verder). Bij een relatief kleine belasting bezwijkt een deel van het materiaal in de insluitsels, wat logisch is aangezien de lage sterkte-eigenschappen. Deze falings is echter duidelijk beperkt tot bepaalde delen van de insluitsels. Bij bijvoorbeeld 2.6 MPa uniaxiale belasting zijn reeds enkele verticale trekbreuken geïnduceerd in het matrixmateriaal aan de boven- en onderkant van gegroepeerde insluitsels (figuur 6a). Dit zijn typische splijtingsbreuken die ook geobserveerd worden tijdens drukproeven (figuur 6e). Bij hogere belastingen en zeker nadat de UCS-waarde is bereikt (figuur 6b en c), ontstaan ook afschuifbreuken. Dit leidt uiteindelijk tot een afschuifzone die zich uitstrekt van de linkerbovenhoek van het monster naar rechtsonder.

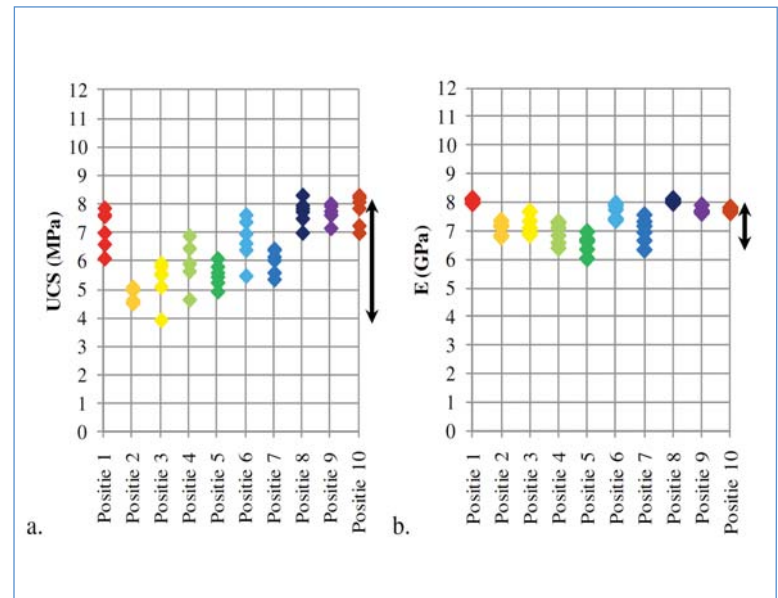


Figuur 7 – Variatie van (a) druksterkte (UCS) en (b) stijfheid (Young's modulus, E) in functie van het (volume)percentage aan ongemengd materiaal (resultaten gebaseerd op [5]).

In figuur 6e zijn 3 voorbeelden weergegeven van details van kernen uit een reële 'Soil Mix'-wand met relatief veel insluitsels na het uitvoeren van een drukproef. De insluitsels zijn duidelijk zichtbaar en ook de geïnduceerde breuken er rond.



Figuur 8 – a. 3 insluitels met elk een uitgesproken vorm.
b. 10 modellen met elk een bepaalde positie van de insluitels.
c. De 6 permutaties voor positie 1.



Figuur 9 – Resultaten van de simulaties voor de studie van het effect van de relatieve positie van de insluitels. Variatie van (a) de druksterkte (UCS) en (b) de stijfheid (E).

Bovendien worden analoge breukpatronen geobserveerd als in de simulaties. In de linker foto zijn bijvoorbeeld twee breuken geïnduceerd aan beide uiteinden van de onderkant van het insluitel, wat ook geobserveerd wordt rond verschillende insluitels in de simulaties. De middelste en rechtse foto's tonen breuken in de buurt van het midden van het insluitel of rond de uiterste boven- of onderkant van het insluitel. Dergelijke breuken worden eveneens waargenomen in de simulaties.

Uit figuur 7 blijkt de grote invloed van het volumepercentage aan ongemengd materiaal op de sterkte en stijfheid van het materiaal. Zo komt de afname in sterkte en stijfheid duidelijk niet overeen met het percentage insluitels. Voor slechts 1% ongemengd materiaal worden de sterkte en stijfheid gereduceerd met gemiddeld 13 en 3%, respectievelijk. Voor 10% insluitels loopt dit zelfs op tot een gemiddelde afname van de sterkte met meer dan de helft en van de stijfheid met 32%. Bovendien is er een overlappende zone tussen de resulterende druksterktes van 5 en 10% en van 10 en 20%. Bij de stijfheid is er net geen overlapping. Dit wijst erop dat de sterkte en stijfheid van een monster niet alleen bepaald worden door het volumepercentage insluitels, maar ook door andere karakteristieken zoals de vorm, het aantal en de relatieve positie van de insluitels.

Dit wordt bevestigd door de meer uitgebreide reeks aan modellen met 10% insluitels. Deze simulaties tonen hoe scherphoekige insluitels de sterkte en stijfheid meer doen afnemen dan ronde

insluitels [5]. Ook verlaagt de sterkte van een monster drastisch wanneer minder insluitels (maar met dezelfde vorm en hetzelfde totale percentage aan ongemengd materiaal) aanwezig zijn.

INVLOED RELATIEVE POSITIE INSLUITSELS

Dat er een zekere spreiding bestaat van de sterkte en stijfheid voor eenzelfde volumepercentage insluitels is geen verrassing. Om de precieze reden van deze brede waaier aan druksterktes en stijfheden per volumepercentage insluitels verder te onderzoeken wordt een tweede reeks simulaties uitgevoerd. Met deze nieuwe simulaties wordt vooral de invloed van de relatieve positie van de insluitels bestudeerd. Elk model bevat 3 insluitels (figuur 8a): 1 met een meer ronde vorm (4 vol%), 1 met een horizontaal langwerpige vorm en 1 met een verticaal langwerpige vorm (beiden 3 vol%). Voor 10 verschillende posities (figuur 8b) worden telkens 6 modellen (of permutaties) gegenereerd. Dit wil zeggen dat de posities van de zwaartepunten van de insluitels dezelfde blijven, terwijl de 3 insluitels onderling van plaats verwisselen (dit zijn dus 6 permutaties per positie (8c)). Omwille van de extreme plaatsing van de insluitels (zo ver mogelijk uiteen, verticaal onder elkaar of volgens de diagonaal, ...) is het te verwachten dat de spreiding van sterkte en stijfheid nog zal toenemen.

Behalve een paar monsters liggen alle druksterktes (van 3.9 tot 8.3 MPa, figuur 9a) in dezelfde range als die van de monsters voor de studie van de invloed van het volumepercentage met even-

eens 10% insluitels (3.8 tot 8.1 MPa, zwarte pijl in figuur 9a). Bovendien wordt de ruimte tussen de hoogste druksterkte (8.1 MPa) en de tweede hoogste druksterkte van de modellen met 10% insluitels (6.3 MPa) duidelijk aangevuld door de nieuwe druksterktes. Ook de stijfheid van deze simulaties (van 6.0 tot 8.1 GPa) valt in ongeveer dezelfde range (6.3 tot 8.0 GPa). De besluiten uit de vorige paragraaf blijven dus geldig.

Als de simulaties voor de studie van de relatieve positie meer in detail worden bestudeerd (figuur 9a en b), ziet men in de eerste plaats dat de druksterktes en stijfheden voor elke positie met minstens 3 andere posities overlappen. De range voor eenzelfde relatieve positie is bovendien vrij groot. Voor de druksterkte varieert deze range tussen 0.6-0.8 MPa (posities 2 en 9) en 2.1-2.2 MPa (posities 4 en 6). Voor de stijfheid is de range minimaal voor posities 1, 8, 9 en 10 (0.2-0.3 GPa) en maximaal voor posities 3, 4, 5 en 7 (resp. 0.8-0.9 en 1.2 GPa). Het is dus duidelijk dat de invloed van de vorm van de insluitels niet kan verwaarloosd worden, zeker niet wat de druksterkte betreft. Het is echter moeilijk om per permutatie een bepaalde trend te zien. Wel is het duidelijk dat de invloed van de vorm op de stijfheid het kleinste is als de insluitels verticaal onder elkaar liggen. Voor de druksterkte kan dit niet bevestigd worden.

Wat de invloed van de relatieve positie van de insluitels betreft, nemen de druksterkte en stijfheid duidelijk af als de insluitels volgens de

diagonaal van het monster liggen en niet verticaal onder elkaar. Zo leiden posities 1, 8, 9 en 10, allen met verticaal gealigneerde insluitels, systematisch tot hogere druksterktes en stijfheden. Doordat de insluitels onder elkaar liggen, zijn de verticale (d.i. in de belastingsrichting) stroken waarin geen insluitels gelegen zijn breder. Het is waarschijnlijk de breedte van deze zones die hoofdzakelijk de sterkte en stijfheid van het monster bepaalt. Verder is er ook een invloed van de verticale afstand tussen de insluitels en de afstand van de insluitels tot de zijkant van het monster. De waargenomen trend is dat de druksterkte en stijfheid afnemen als de verticale afstand afneemt. Insluitels komen immers dicht bij elkaar te liggen, waardoor ze zich meer als 1 groot insluitel gedragen. De stijfheid neemt ook af als de insluitels dicht tegen de zijkant van het monster gelegen zijn. Voor de druksterkte kan dit met de voorgestelde modellen niet eenduidig bevestigd worden. Ten slotte is er waarschijnlijk ook nog het effect van de afstand van de insluitels tot de boven- en onderkant van het monster. Gezien het beperkt aantal modellen is het niet mogelijk dit effect diepgaand te onderzoeken.

RELATIE MET BREUKVORMING

Het breukgedrag verloopt in de meeste monsters vrij gelijkaardig (figuur 10a tot d). Bij relatief lage spanningsniveaus (lager dan 50% van de uiteindelijke druksterkte) initiëren er uitsluitend verticale extensiebreuken aan de boven- en onderkant van de insluitels (zie figuur 10a tot d). Pas bij spanningsniveaus in de buurt van de maximale druk-

sterkte van het monster verschijnen er ook afschuifbreuken aan de zijkanten van de insluitels waarna afschuiving van het monster plaatsvindt ten gevolge van een combinatie van afschuif- en trekbreuken. Dit wordt overigens ook waargenomen bij het breukpatroon van het basismodel (figuur 6a tot c). Het optredende breukpatroon is bovendien weer erg gelijkaardig aan wat in realiteit wordt waargenomen (figuur 6e).

Veel van de effecten die hiervoor beschreven werden, kunnen bovendien gerelateerd en verklaard worden aan de hand van de geobserveerde breukpatronen. Zo is het duidelijk dat de spanningspieken in de buurt van scherphoekige insluitels groter zijn dan bij afgeronde insluitels. Hierdoor treedt er bij lagere spanningsniveaus breukinitiatie op en is de resulterende sterkte en stijfheid van het monster lager (vergelijk figuur 10a en c).

Ook bij 1 groot insluitel i.p.v. 3 kleinere treedt al bij lagere spanningsniveaus breukinitiatie op, tenminste als deze 3 insluitels verticaal onder elkaar gelegen zijn (vergelijk figuur 10a, b en d). Dit komt opnieuw omdat de spanningspieken rond het grote insluitel hoger oplopen dan deze rond de 3 kleine insluitels (een grotere horizontale afstand met zwakker materiaal moet overbrugd worden). Het feit dat deze 3 kleinere insluitels verticaal boven elkaar liggen speelt echter ook een grote rol. Om dit te illustreren toont figuur 10d een model met dezelfde 3 kleinere insluitels. Toch heeft het monster ongeveer dezelfde druksterkte als het model met één groot insluitel. De grote af-

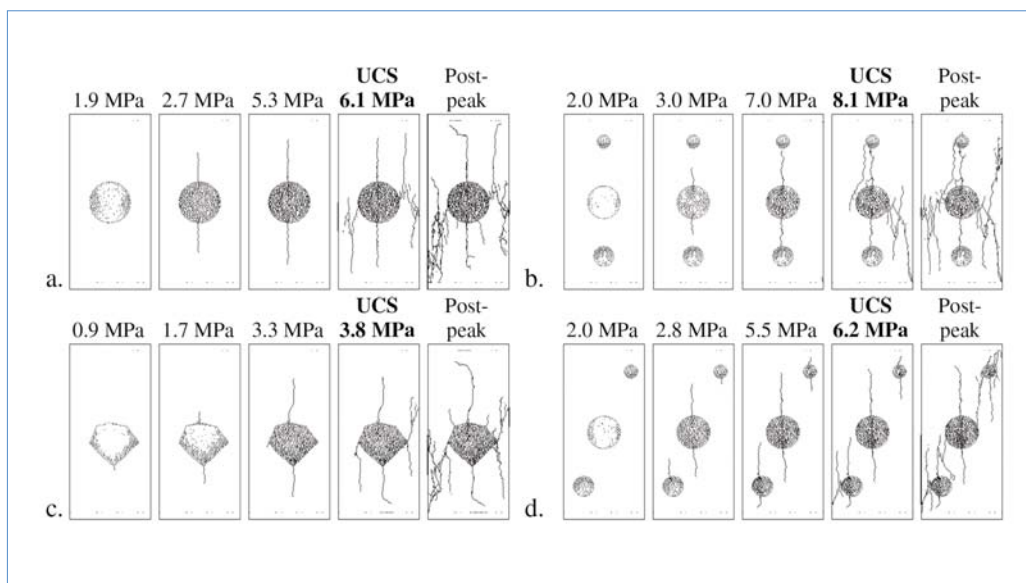
name in sterkte ten opzichte van het model met 3 verticaal onder elkaar gelegen insluitels wordt veroorzaakt doordat de insluitels diagonaal gelegen zijn. De breedte van de verticale stroken zonder insluitels is dus smaller. Bovendien interfereren de spanningspieken aan de zijkanten van de insluitels met elkaar door de diagonale ligging van de insluitels, waardoor ze elkaar waarschijnlijk versterken.

Ook als de verticale afstand tussen de insluitels van figuur 10b verkleint, zullen zones met verhoogde spanningen meer met elkaar gaan overlappen en zal het onderling versterkend effect groter zijn. Bovendien ontstaat de neiging tot de vorming van 1 groot insluitel. Daardoor treedt er sneller breukinitiatie op (bij een lagere belasting), maar ook zullen de verticale extensiebreuken die rond het middelste insluitel ontstaan sneller de boven- en onderliggende insluitels bereiken. De breuken leggen dus een minder lange afstand af doorheen het sterkere matrixmateriaal, vooraleer ze een zwak insluitel bereiken. Omdat dit insluitel weinig weerstand biedt, wordt meteen een veel groter deel van het monster aangetast, wat opnieuw tot een lagere sterkte en stijfheid leidt.

Besluit

Hoewel het kalibreren van het model vrij tijdrovend is, zijn numerieke simulaties erg interessant om op een relatief eenvoudige wijze gevoeligheidsanalyses uit te voeren. De simulaties die in dit artikel werden besproken, tonen duidelijk de invloed aan van zachte insluitels op de sterkte en stijfheid van 'Soil Mix'-materiaal. Een klein volumepercentage insluitels heeft al een grote impact op de resulterende sterkte en stijfheid. Toch is niet alleen het volumepercentage bepalend, maar ook de relatieve positie van de insluitels, hun vorm en aantal. De resultaten van de simulaties worden bovendien bevestigd door laboratoriumproeven (bijvoorbeeld breukpatronen). Let wel dat nog lang niet alle effecten even goed gekend zijn en dat bijkomende simulaties noodzakelijk zijn.

Ook verder onderzoek van het schaafeffect is zeer belangrijk om een antwoord te geven op de vraag in welke mate laboratoriumproeven op monsters (cm-schaal) representatief zijn voor de sterkte van een werkelijke 'Soil Mix'-constructie (m-schaal). In het laboratorium werden verschillende blokken (0.6 x 1.2 m) getest en vergeleken met de druksterktes van de monsters [6], maar ook numerieke simulaties zouden hierbij zeer interessant zijn om bijvoorbeeld grote blokken te simuleren of andere testconfiguraties zoals buigproeven. Met behulp van deze resultaten kan dan overgegaan worden tot het opstellen van alternatieve ontwerpregels, die op een gepaste manier omgaan met de resul-



Figuur 10 – Illustratie van het breukpatroon van 4 monsters met 10% insluitels maar met een verschillende vorm en aantal voor opeenvolgende belastingsstappen (uit de simulaties voor de studie van het effect van het volumepercentage en vorm van de insluitels [5]).

taten van proeven op een set van 'Soil Mix'-monsters en vooral met de verdeling en spreiding van deze resultaten.

Dankwoord

Dit onderzoeksproject wordt financieel ondersteund door het Agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie van het Vlaamse Gewest (IWT; WTCB 2009-2013) en wordt uitgevoerd in een samenwerking tussen het Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf (WTCB), de Belgische Vereniging Aannemers Funderingstechnieken (ABEF) en KU Leuven. Speciale dank gaat uit naar Flor De Cock, Nicolas Denies, Noël Huybrechts, Bart Lameire en Jan Maertens.

Deze bijdrage werd gepresenteerd op het 16de Innovatieforum Geotechniek, waar de 'prijs Hubert Raedschelders 2011' werd uitgereikt. Het artikel is een meer uitgebreide versie van de bijdrage die werd genomineerd in de categorie 'Innovatief idee, techniek of product' (zie ook rubriek 'Actueel' uit het oktobernummer van Geotechniek). Dank gaat dan ook uit naar ie-net vzw,

dat verantwoordelijk is voor de organisatie van het Innovatieforum Geotechniek.

Referenties

1. Cundall P.A., 1971. *A computer model for simulating progressive large scale movements in block rock systems*. In: Proc. of ISRM Symp., 1971, paper II-8.
2. Debecker B., Vervoort A., Napier J.A.L., 2006. *Fracturing in and around a natural discontinuity in rock: a comparison between boundary and discrete element models*. In: Proc. of 5th Int. Conf. on Engineering Computational Technology, Las Palmas de Gran Canaria (Spanje), 2006, paper 168.
3. Ganne P., Denies N., Huybrechts N., Vervoort A., Tavallali A., Maertens J., Lameire B., De Cock F., 2011. *Soil Mix: influence of soil inclusions on the structural behaviour*, In: Proc. of 15th ECSMGE, Athene (Griekenland), 12-15 september 2011, blz. 977-982.
4. Ganne P., Huybrechts N., De Cock F., Lameire B., Maertens J., 2010. *'Soil Mix'-wanden als kerende constructies – kritische analyse van de ontwerpparameters van het materiaal*. Geotechniek, juli 2010, 14de jaargang, nummer 3, blz. 34-39.

5. Van Lysebetten G., 2011. *Soil Mix for Construction purposes: Quality control*. M.Sc. thesis (Geotechnical and Mining Engineering) KU Leuven, 2011.
6. Vervoort A., Tavallali A., Van Lysebetten G., Maertens J., Denies N., Huybrechts N., De Cock F., Lameire B., 2012a. *Mechanical characterization of large scale soil mix samples and the analysis of the influence of soil inclusions*. In: Proc. of the ISSMGE - TC 211 International Symposium on Ground Improvement IS-GI, Brussel (België), Vol. 3, blz. 127-136.
7. Vervoort A., Van Lysebetten G., Tavallali A., 2012b. *Numerical modeling of fracturing around soft inclusions*. In: Proc. of SHIRMS2012, Southern Hemisphere International Rock Mechanics Symposium, 14-17 May 2012, Sun City (Zuid-Afrika), blz. 33-46.
8. WTCB, 2009. *SOIL MIX in constructieve en permanente toepassingen – Karakterisatie van het materiaal en ontwikkeling van nieuwe mechanische wetmatigheden IWT 080736*. ●



Met beide voeten op de grond

