

Betoniek

Eigenschappen

Uitvoering

Cement in de grond

Cement kennen we als bindmiddel voor beton, maar minder bekend is de combinatie met grond voor civieltechnische toepassingen. Welke stabilisatietechnieken en toepassingen gaat het hier om, wat is de rol van cement, hoe verloopt het mengselontwerp? En wat zijn de eigenschappen van het verharde product, hoe voldoen we aan uitlooeisen? Vragen die bijna 'standaard' zijn voor Betoniek. In dit nummer gaan we nader in op deze niet-alledaagse toepassing van cement.

Toepassingen

Cement in de grond was tot voor kort in Nederland synoniem met wegfunderingen en ophogingen van zandcement (zie Betoniek 7/4). Inmiddels is er een scala aan technieken voor het stabiliseren met cement van dieper gelegen, slappe grondlagen.

Bij het stabiliseren van deze lagen bedoelen we de slappe gronden zoals silt, klei en veen, gelegen op 2 tot 50 meter onder het maaiveld. Het combineren van deze gronden met cement doen we om de volgende redenen:

- versterken en verstijven van grond voor bijv. ophogingen, keermuren en funderingen voor gebouwen en kunstwerken. Verder het beheersen van verkeerstrillingen, het stabiliseren van dijkllichamen en het kunnen boren van tunnels door (te) slappe grondlagen;
- beperken (in tijd en grootte) van grondzettingen, zoals bij wegen en bedrijfsterreinen;
- bijzondere toepassingen, van tijdelijke of permanente aard; zoals het vastleggen van

verontreinigingen (immobiliseren) en het waterremmend maken van bijv. bouwputten, toeritten van tunnels en lekkende bouwdelen.

Principes uitvoeringstechnieken



I Van boven naar beneden toenemende verstoring van de grondeigenschappen bij inzet van cement.

Vullen van openingen in grond (en rots) kan met o.a. schuimbeton en 'dämmer' (een vloeibaar mengsel van o.a. cement, bentoniet en vul- en hulpstoffen).

Wat is grond ?

We beperken ons hier tot Nederlandse grondsoorten, die meestal een horizontale gelaagdheid hebben. Grond bestaat uit minerale deeltjes, gevormd door verwerking van gesteenten, en organische deeltjes, bijv. veen of humus. Meestal zijn de gronddeeltjes kleiner dan 1,0 mm en vaak zijn ze korrelvormig (zand) of plaatvormig (klei), zie onderstaande tabel.

Elke grondsoort heeft specifieke kenmerken zoals:

- fysische, bijv. korrelstructuur, korrelverdeling, volumieke massa en watergehalte;
- chemische, zoals zuurgraad (pH), aanwezigheid van kleimineralen, calcium en metalen;
- biologische, zoals het bodemleven van flora en fauna.

Nederlandse grondsoorten zoals slappe silt-, klei- en veengronden hebben watergehalten van 20 m/m % tot meer dan 500 m/m % (bij veen): 500 % betekent dat in een volume veengrond, het water vijfmaal zo zwaar is als de vaste deeltjes. Verder bevatten deze gronden zo'n 0,5 tot 4 m/m % aan organisch materiaal op basis van drogestofgehalten.

Korrel diameter en waterdoorlatendheid (m/s) van enige Nederlandse gronden.

grondsoort	korrel diameter (10% zeefrest) [µm]	waterdoorlatendheid [m/s]
grind en grof zand	> 500	> 10 ⁻³
fijn en matig fijn zand (zand siltig, kleiig) en silt	> 63 en < 500 < 63	> 10 ⁻⁵ en < 10 ⁻³ < 10 ⁻⁵
klei	< 2	< 10 ⁻⁶

Vullen speelt een rol in de mijnbouw maar ook bij grondboringen zoals leidingaanleg en oliewinning. Bij injecteren met een mengsel van cement en water laten we de korrelstructuur intact. Uiteraard zijn er beperkingen, door de geringe waterdoorlatendheid is injectie in veen- en kleigrond niet mogelijk.

Tabel 1 – Enkele kenmerken van stabilisatietechnieken en hun toepassingen.

techniek	injecteren	mengen	jetgrouten
min. grondkorrel [µm]	100	2 - 20	2 - 5
permeabiliteit [m/s]	> 10 ⁻⁴ - 10 ⁻⁵	← niet te cohesief →	
max. diepte [m]	15 - 35	25 - 35	40 - 50
max. diameter [m]	1,0 - 2,0	0,5 - 1,0	4,0
cil. druksterkte [MPa]	2 - 10	0,3 - 1,5	5,0 (veen, klei) 10 - 15 (zand)

Er zijn minder restricties als we de grond met cement mengen, jetgrouten of compenserend grouten. Bij al deze technieken plaatsen we eerst een holle buis op diepte, waardoor we een mengsel van cement en water in de grond kunnen voeren. Mengen gebeurt mechanisch met mengbladen (schroef, propeller) zonder kunstmatige drukverhoging. Bij jetgrouten spuiten we het mengsel onder zeer hoge druk in de grond: behalve de korrelstructuur gaat ook de laagopbouw verloren, waardoor een homogener materiaal ontstaat. Bij compenserend grouten (compaction grouting) injecteren we het groutmengsel vanuit één punt en voeren de druk zo op dat de omringende grond wordt opgespannen. Zo ontstaan gecontroleerde grondverplaatsingen. Dit is nuttig voor het herstellen van de draagkracht van funderingen of het compenseren van zettingen. Ook 'fracture grouten' is een vorm van compenserend grouten. Hierbij penetreert onder hoge druk een vloeibaar groutmengsel in de omringende grond, die als het ware opensplijt en daarbij grondverplaatsingen opwekt.

In deze **Betoniek** behandelen we drie technieken waarvan tabel 1 enkele kenmerken samenvat. Stabiliseren verloopt in het algemeen zonder trillingen of lawaai. Opvallend zijn de flexibiliteit en functionaliteit voor de ontwerper. De materiaaleigenschappen (druksterkte, permeabiliteit etc.) zijn 'instelbaar' en dat geldt ook voor de vorm van het gestabiliseerde grondlichaam. Dit grondlichaam kan een bol of kolom zijn met een diameter van maximaal 2 tot 2,5 m. We kunnen bollen of kolommen overlappend aanbrengen en realiseren zo een horizontale laag, wand of blok.

Injecteren met (ultrafijn) cement

Injectie van gronden is mogelijk met ultrafijn cement. Dit cement heeft een $d_{50\%}$ van ongeveer 2-3 μm , dit is bijna tienmaal kleiner dan bij gewoon cement, en heeft een steile, uniforme zeefkromme. Met een turbo-menger bij ca. 5.000 r.p.m. maken we van het cement en water een suspensie. Dit mengsel is zeer vloeibaar en stabiel. Nadat een holle buis in de grond op diepte is gebracht, kunnen we bij lage druk (ca. 10 bar) de suspensie injecteren via ventielen aan het buisuiteinde (zgn. manchettenbuis). Deze techniek is relatief eenvoudig. Het mengsel penetreert in de toegankelijke poriën en capillaire ruimtes van het korrelskelet. Zo is bij zandhoudende gronden een vullingsgraad gemeten van 65-85 %. Bolvormige injectielichamen kunnen we overlappend aanbrengeen zodat een waterremmende laag ontstaat, met een permeabiliteit die meer dan 100 maal lager is dan die van de oorspronkelijke grond.

Mengen van grond en bindmiddel

Een roterende holle as (avegaar) voorzien van ventielen brengen we tot de gewenste diepte in de grond. Deze as trekken we vervolgens geleidelijk omhoog, onder het continu toevoeren van bindmiddel. Hierdoor ontstaat een min of meer cilindrische kolom.

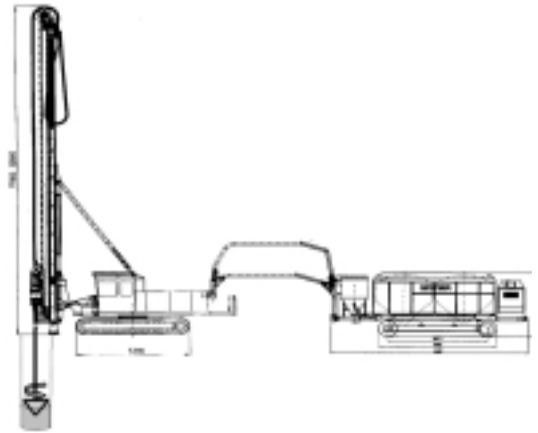
Mengen gebeurt volgens de natte of droge methode. Bij de natte methode wordt een slurry van bindmiddel en water in de grond gepompt. Om de verticale menging te verbeteren of stapsgewijs het bindmiddelgehalte te verhogen, moeten we deze procedure soms enkele malen herhalen. Een werksnelheid van 1000 m kolomlengte per machine per werkdag is niet ongebruikelijk.

Bij de droge methode wordt het bindmiddel onder luchtdruk in de natte grond gebracht.

Als de slappe grondlagen van veen of klei doorlopen tot of nabij het maaiveld, kunnen we een doosvormige stabilisatie vervaardigen met bindmiddel.

Deze zogenaamde wand- of blokstabilisatie maken we met een speciale kraan voorzien van een draaiende mixkop die zich in verticale en horizontale richting door de grond beweegt. Soms wordt een freesmenginjectie-machine ingezet.

Blokstabilisatie is beperkt tot 5 à 7 m diepte en 1 tot 2 m breedte per werkgang. De druksterkte van de gemengde grond is meestal niet meer dan 0,5 MPa.



2a *Equipment voor vervaardiging van grond-cementkolommen*



2b *Close-up van een mengkop*

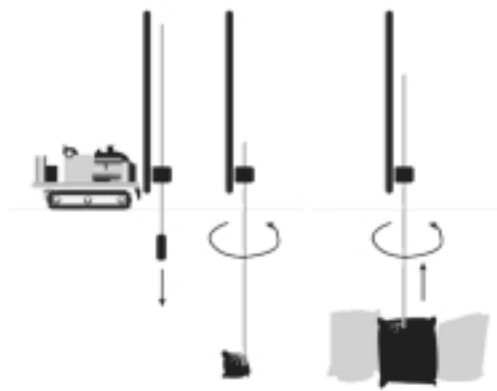


2c *Freesmenginjectie-machine voor vervaardiging van blokstabilisaties*

Jetgrouten

Met bijv. een turbomenger, ca. 3.000 r.p.m., maken we de grout, een slurry van cement, water en eventuele hulp-, vul- en toeslagstoffen. Nadat een injectiebuis op diepte is gebracht zorgt een roterende injectiekop met ventielen ervoor, dat de grond wordt versneden door de druk van de groutstraal. Een druk van 300-600 bar is niet ongebruikelijk. Soms voegen we lucht en/of water toe aan de jetstraal. Versnijden en grouten gebeuren gelijktijdig of na elkaar.

De oorspronkelijke grond wordt gemengd met en gedeeltelijk vervangen door een mengsel van grout en gronddeeltjes. Omdat de kop al roterend omhoog wordt getrokken, mengen we de grond ook in verticale zin. Zo ontstaan kolomvormige lichamen van grout en grond. Het surplus aan grout en gronddeeltjes komt langs de boorbuis omhoog en vormt de retourspoeling. Deze retourspoeling (de 'spoil') moeten we vanaf het maaiveld afvoeren. Bij hergebruik hiervan gelden de regels van het Bouwstoffenbesluit. Er is meer 'spoil' naarmate de grond meer fijnere deeltjes bevat. Het maken van jetgrout-kolommen vergt aanzienlijke investeringen in materieel, maar kent een hoge werksnelheid. De (cilinder)druksterktes zijn zo'n vijf- tot tienmaal hoger dan bij grond-cementkolommen. Een E-modulus van 500-3.000 MPa is haalbaar.



3 Schematische weergave van jetgrouten

Bindmiddel en interactie met grond

Als we grond stabiliseren voegen we een hydraulisch bindmiddel toe. Afhankelijk van de eigenschappen van de grond en het grondwater hebben bepaalde cementsoorten de voorkeur. Ook kan het nodig zijn om bepaalde vulstoffen te doseren, bijv. kalk of anhydriet. Hulpstoffen zorgen voor een betere verwerkbaarheid tijdens de uitvoering of kunnen ingezet worden bij te verwachten bindings- of verhardingsproblemen.

Cement

Als basis voor het stabiliseren gebruiken we, net als bij het beton, portlandcement, portlandvliegascement of hoogovencement. Deze cementen moeten wel aan NEN-EN 197-1 voldoen. Na reactie met water ontstaat een CSH-gel (CSH = Calcium-Silicaat-Hydraat) en kalk Ca(OH)_2 . De cementlijm bindt de grondkorrels aaneen en vormt na verharding een dichte structuur, die niet oplosbaar is in water. Gunstig voor de cementbinding is de aanwezigheid in de grond van:

- calciumcarbonaat: de grond is dan niet zuur en ev. aanwezige organische deeltjes zijn al met calcium gebonden;
- bepaalde kleimineralen en ijzer- en aluminium-oxiden, die met calcium kunnen reageren tot cementsteenachtige verbindingen.

Bij grond moeten we rekening houden met een inhomogene samenstelling en verontreinigingen. Daarbij kunnen zich bindings- en verhardingsproblemen voordoen. Enkele voorbeelden hiervan en mogelijke oplossingen hiervoor zijn:

- *Expansie*. Sulfaat kan van nature in de grond aanwezig zijn, ca. 3.000 mg / kg grond is geen uitzondering. Soms ontstaat er ook sulfaat door oxidatie van in grond of grondwater aanwezige sulfiden. Bij de reactie van sulfaat met de klinkermineralen (C_3A) uit het cement ontstaat ettringiet, met kans op expansie. In tegenstelling tot beton is er weinig risico op schade, omdat voor expansie voldoende ruimte in de gestabiliseerde grond aanwezig is;
- *Vertraagde of verstoorde binding*. Sommige zouten en metalen (zink, lood) kunnen de cement-

binding vertragen of versnellen. Daarbij slaan onoplosbare calciumzouten (bijv. Ca-fosfaat) neer op de cementdeeltjes of ontstaat een dunne coating van een organische component (bijv. suikers). In humusrijke gronden kunnen calciumzouten van humuszuren een dunne coating op het cementdeeltje vormen.

Bindingsproblemen kunnen we opheffen door het portlandcement te activeren met bijv. waterglas. Ook het toevoegen van aluminiumcement kan soms een oplossing zijn. Organische bestanddelen kunnen we onschadelijk maken door ze te binden aan een fijne vulstof. Als fijne vulstof gebruiken we bijv. poederkoolvliegias, kalksteenmeel of geactiveerde klei;

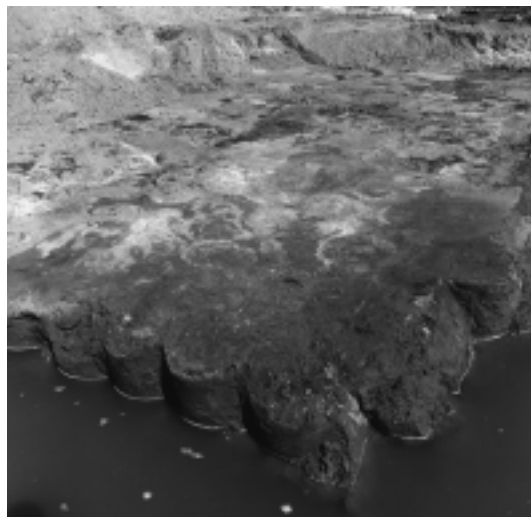
- **Ammoniakvorming.** Dit hangt samen met de aanwezigheid van stikstofverbindingen in sommige humusrijke gronden. Door cement ontstaat een alkalisch milieu waarbij deze stoffen worden omgezet in ammoniak (NH_3). Bij het ontgraven van of boren in gestabiliseerde grond kan lokaal de concentratie ammoniak boven de MAC-waarde uitkomen. Bij werkzaamheden in de directe nabijheid zijn daarom beschermingsmaatregelen en ventilatie vereist.

Ongebluste kalk

Bij grondstabilisatie passen we ongebluste kalk (CaO) toe om de volgende redenen:

1. **water binden.** Kalk en water in de grond gaan een exotherme reactie aan waarbij gebluste kalk $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ontstaat en een deel van het water wordt gebonden. De omringende grond kan in temperatuur ca. tien °C stijgen (veel meer dan bij de reactie van cement en water). Hierdoor verloopt de cementhydratatie sneller;
2. **neutraliseren van zure gronden.** Bijv. in grond met organische bestanddelen kan kalk fungeren als pH-buffer. Dit kan van belang zijn voor de (extra) duurzaamheid;
3. **verbeteren van de bodemstructuur van klei- en leemhoudende gronden.** De grond krijgt vrijwel direct na menging een kruimelige structuur en is dan minder cohesief. Hiermee wordt bovendien de doorlatendheid van klei verbeterd en de verwerkbaarheid van de klei verhoogd, zodat met cement een homogener mengsel ontstaat.

4. **puzzolane reactie.** Op de langere termijn (na enkele maanden) reageren kalk en kleimineralen (o.a. SiO_2 en Al_2O_3) tot cementsteenachtige producten. Deze zorgen voor binding van de materialen en daarna ook voor de verharding.



Het eindresultaat

Anhydriet of gips

De combinatie van anhydriet en hoogovencement geeft goede resultaten voor veenhoudende, Nederlandse gronden. Door toevoegen van anhydriet of gips aan het hoogovencement en water ontstaat ettringiet. Bij deze reactie dragen Ca-sulfaat en het klinkermineraal C_3A bij aan de binding van veel

watermolekulen. Ook de Ca-aluminaten van de hoogovenslak kunnen met het gips ettringiet vormen. De ettringietkristallen zijn naaldvormig en groeien kriskras door elkaar. De poriën ertussen zijn gevuld met water en veen. Deze kristallen vormen als het ware een bindmiddelmatrix. Andere hydratatieproducten slaan neer op de kristallen. Alhoewel ettringiet niet stabiel is bij lage pH, zorgt het cement voor een voldoende alkalisch milieu.

Bindmiddeldosering en invloed van de grondsoort

Essentieel is dat de combinatie van grond, bindmiddel en water uiteindelijk een voldoende sterke, dichte en duurzame matrix oplevert. De grondsoort is van grote invloed bij de keuze van het bindmiddel:

- *grotendeels anorganische gronden, zoals klei en silt met pH 6-8.* Voor de binding moet de grond voldoende puzzolane kleimineralen bevatten. Voor stabilisatie gebruiken we cement of een mengsel van cement en kalk. Vervanging door kalk leidt tot een tragere sterkteontwikkeling en biedt - gelet op de prijsniveaus van cement en kalk - in Nederland geen kostenvoordelen;
- *grotendeels organische gronden, zoals veen en klei met (veel) organisch materiaal en pH 4-6.* Er is een voorkeur voor cement met anhydriet of gips. Omdat organische gronden meestal veel water bevatten kan het aantrekkelijk zijn om bijv.

zand of korrelvormige reststoffen toe te voegen. Hierdoor stijgt het drogestofgehalte en is minder bindmiddel nodig om dezelfde druksterkte te bereiken.

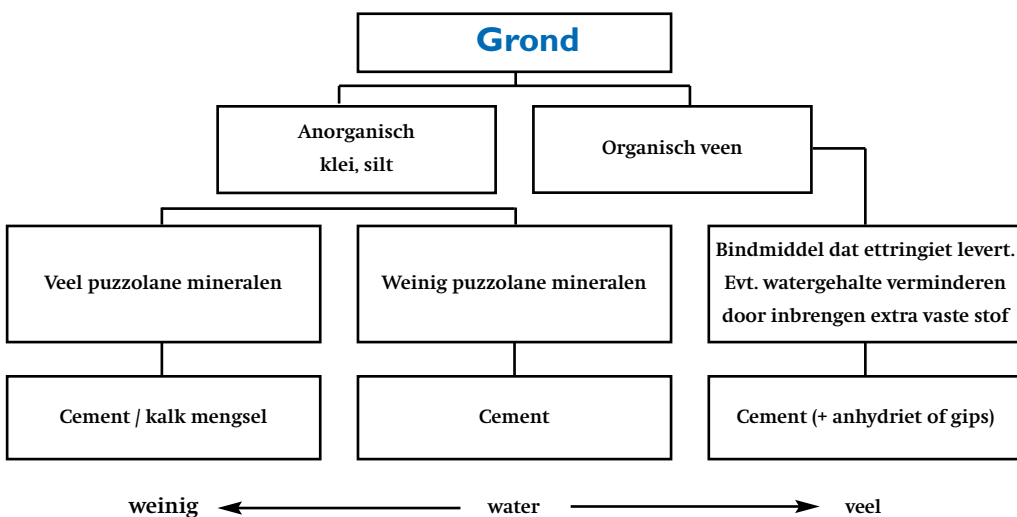
Mengselsamenstelling

We werken, voor het injecteren van grond met ultrafijn cement, met vrij hoge verhoudingen van water-bindmiddel (w/b). Bij w/b = 2,0 en 4,0 is de cementdosering resp. 430 en 225 kg per m³ suspensie. Door aan de suspensie een hulpstof toe te voegen, bereiken we een nog hogere vloeibaarheid.

Bij grond-cementkolommen ligt het bindmiddelgehalte tussen 70 en 250 kg / m³ grond, afhankelijk van de grondsoort en de gewenste eigenschappen van het gestabiliseerde materiaal.

De water-bindmiddelfactor ligt vaak tussen 0,5 en 1,3. Bij blokstabilisaties is het bindmiddelgehalte max. 15-20 m/m % van de gestabiliseerde grond.

Bij jetgrouten is de water-cementfactor veelal 0,7-1,2 met een cementgehalte van 600 - 1.100 kg / m³ slurry. Met hoogovencement zijn in Nederland reeds diverse projecten succesvol uitgevoerd. Soms wordt bentoniet toegevoegd met het oog op een betere verwerkbaarheid en lagere permeabiliteit.



4 Schematische weergave van de bindmiddelkeuze bij enkele grondsoorten.

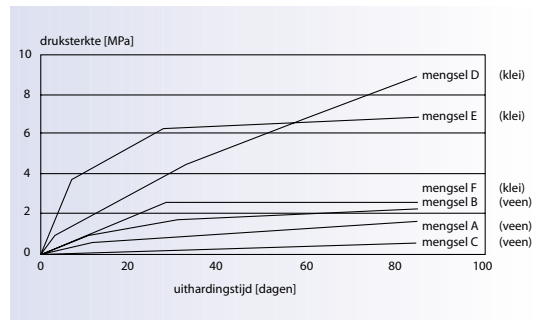
Vooronderzoek (lab en veld) en mengselbereiding

Gelet op de interactie grond-bindmiddel is een vooronderzoek altijd nodig. Het vooronderzoek moet aandacht schenken aan de eigenschappen van het cement-watermengsel in onverharde toestand. Uiteraard hangt dit samen met de bereidingswijze op de bouwplaats of in de betonmortelcentrale én met de uitvoeringswijze van de aannemer. Van belang zijn o.a. de korrelopbouw, Marsh-viscositeit (uitstroomtijd vanuit een trechter), mate van ontmenging, verwerkbaarheidsduur en volumieke massa. Het verharde materiaal moet vaak voldoen aan eisen ten aanzien van:

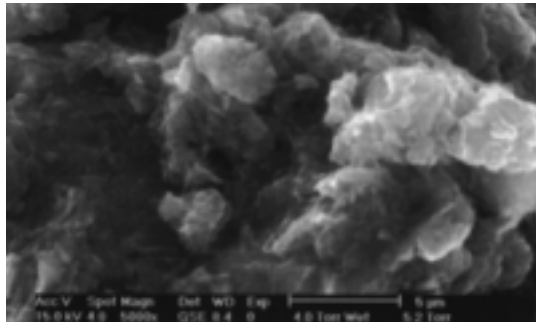
- druksterkte,
- E-modulus,
- (water)doorlatendheid,
- duurzaamheid,
- uitloging.

Bij stabiliseren van zandachtig materiaal is het gunstig dat aanmaakwater deels draineert, waardoor de water-cementfactor afneemt en de eindsterkte verhoogt.

In CUR rapport 199 is een lab-procedure voor grondstabilisatie beschreven, waarbij de grondmonsters eerst worden gehomogeniseerd en het water plus bindmiddel in de juiste dosering en volgorde worden bijgemengd. Van dit mengsel maken we vervolgens proefstukken (prisma's of proctorcilinders). Het mengsel verhardt onder geconditioneerde omstandigheden (20 °C en 99% RV). Na verharding wordt het beproefd. De temperatuur in de ondergrond is ongeveer 10 °C lager. Wat opvalt is dat gemeten eigenschappen, zoals druksterkte en permeabiliteit, soms 2 tot 3 maal gunstiger zijn dan



5a Sterkteverloop van gestabiliseerde grondmonsters



5b Microstructuur van met cement gestabiliseerde klei (D)

onder praktijkomstandigheden. Hiermee moet de geotechnisch ontwerper dan ook rekening houden.

Een voorbeeld van een vooronderzoek voor het maken van grond-cementkolommen: Voor een optimale receptuur worden veelal diverse mengselsamenstellingen beproefd. CUR-rapport 199 beschrijft laboratorium-proeven aan monsters veengrond (uit Abcoude) en humeuze kleigrond (uit 's-Gravendeel), zie tabel 2. De mengselcodes C en E in fig. 5a betreffen resp. veengrond (cement met kalk) en kleigrond (cement met anhydriet). Verharde proefstukken zijn onderzocht ten aanzien van morfologie (gevormde bindingen), chemie (poriewater) en de

Tabel 2 - Enkele resultaten voor een vooronderzoek volgens CUR rapport 199, bij een totale dosering van 250 kg bindmiddel per ton grond.

grondsoort	veen (Abcoude)		humeuze klei ('s-Gravendeel)	
	A	B	D	F
mengselcode	A	B	D	F
hoogovencement [kg]	250	200	250	200
additief [kg]	-	50 anhydriet	-	50 kalk
10 d. - druksterkte [MPa]	0,5	1,0	2,0	1,2
28 d. - druksterkte [MPa]	0,7	1,7	4,2	2,6

druksterkteontwikkeling. Enkele conclusies zijn:

- met anhydriet aangemaakte proefstukken geven een relatief snelle druksterkteontwikkeling. De kristallen vertoonden onder de electronen-microscop een relatief korte en dikke naald-structuur. Dit kan wijzen op ettringietvorming;
- alleen met cement gemaakte proefstukken vertonen een relatief hoge druksterkte;
- de eindsterktes lijken vooral af te hangen van het cementgehalte. Een structuur van kleine, fijne kristallen wijst vaak op een geringe beginsterkte en een relatief hoge eindsterkte.

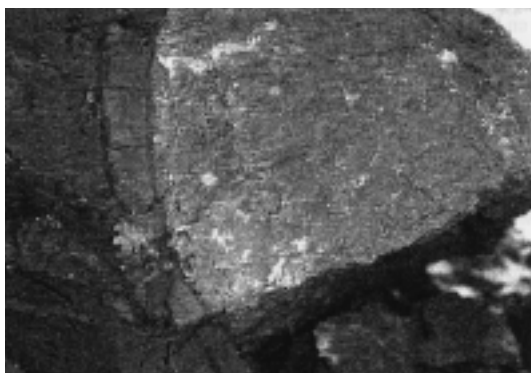
Milieuregelgeving voor grondstabilisatie

Voor bouwstoffen gelden in Nederland bouwtechnische en milieuhygiënische eisen. Gestabiliseerde grond valt onder de werkingssfeer van het Bouwstoffenbesluit Bodem- en Oppervlaktewaterenbescherming (Bsb) (zie **Betoniek** 10/19 'Beton en het Bouwstoffenbesluit'). Een belangrijke Bsb-eis bij het bewerken van grond is de *terugneembaarheid*. Dit houdt in dat we de bouwstof in principe moeten verwijderen als 'een werk' zijn functionaliteit heeft verloren. Het onderscheid tussen de bodem en de bouwstof zal in de praktijk meestal duidelijk waarneembaar zijn (fig. 6). De terugneembaarheids-eis zal meestal niet worden uitgevoerd, omdat het verwijderen relatief milieubelastender is voor de bodem dan het laten zitten.

Het Bsb beschouwt het gestabiliseerde materiaal als een vormgegeven bouwstof (categorie-1), met eisen t.a.v. *uitloging* van anorganische componenten en *gehalten* aan organische componenten. We kunnen nu twee wegen bewandelen om aan te tonen dat de vormgegeven bouwstof voldoet aan de milieu-eisen:

1. We voeren voor elk bouwproject een historisch bodemonderzoek en een verkennend bodemonderzoek uit. Mocht de bodem niet schoon zijn (dus niet 'onverdacht'), dan kan het Bevoegd Gezag zgn. diffusieproeven conform NEN 7345 'Uitlookarakteristieken van grond en afvalstoffen' nodig achten, wat enkele maanden vergt. Daarbij gaan we ervan uit dat het cement onder certificaat wordt geproduceerd en geleverd.

2. We beproeven eenmalig een reeks monsters gestabiliseerde grond, die qua grondsoort en bindmiddel representatief zijn voor Nederlandse omstandigheden. De lab-procedure kan dan worden vastgelegd in een Nationale BRL en de resultaten van diffusieproeven toetsen we aan het Bsb. De gegevens van zo'n onderzoek zijn dan de basis voor een certificaat-met-attest en daarmee een afdoende bewijsmiddel voor het Bevoegd Gezag. Deze aanpak vergt weliswaar slechts eenmalige actie, maar is wel kostbaar en tijdrovend. Zo'n onderzoek zou via een samenwerkingsverband tussen bedrijven sneller tot stand kunnen komen.



6 Overgangszone rondom een grond-kalkcementkolom

Om hiervoor enig gevoel te krijgen, zijn diffusieproeven uitgevoerd op monsters van gestabiliseerd zand (uit: CUR/COB rapport 520-01). Dit zand was geïnjecteerd met ultrafijn cement ($w/b = 3,0$ met 70 % v/v middelfijn zand). Enkel de uitloging van sulfaat vertoonde een kleine overschrijding van de Bsb-immissiewaarde voor vormgegeven bouwstof. Door aanpassing van het mengsel kunnen we voldoen aan alle uitlooeisen.

Duurzaamheid van gestabiliseerde grond

De duurzaamheid van gestabiliseerde grond is de weerstand tegen drie vormen van erosie:

- *Interne erosie*, het uitspoelen van fijne deeltjes, ten gevolge van inhomogene menging, wat samenhangt met de waterdoorlatendheid van het materiaal en de duur van de doorstroming.

- *Contacterosie*, het onthechten van (kristal)deeltjes, waarbij van invloed zijn de stroomsnelheid van grondwater (langs of door het gestabiliseerde materiaal) en de korrelverdeling van de omringende grond.
- *Chemische erosie*, het aantasten van de bindmiddelmatrix wat afhangt van de duur en snelheid van doorstroming, de chemische eigenschappen van het grondwater en de permeabiliteit van het materiaal en de omringende grond.

Een voldoende bestandheid tegen interne erosie en contacterosie heeft het materiaal bij een druksterkte van ten minste 0,3-0,4 MPa. De druksterkte en de duurzaamheid van een cementgebonden materiaal staan in direct verband met de porositeit. Deze relaties zijn bekend voor beton en gelden in principe ook voor met cement gestabiliseerde grond, ook al heeft die een lagere druksterkte dan beton.

De porositeit is afhankelijk van de water-cementfactor (zie figuur 5 in *Betoniek* 11/24). Daarnaast is een dichte korrelopbouw van belang.

Een geschiktheidsonderzoek naar de kans op chemische erosie is alleen nodig in bijzondere omstandigheden, zoals bij agressief grondwater en een groot verschil in waterdruk over het gestabiliseerde gronddeel. In Japan en de Scandinavische landen is meer dan 20 jaar ervaring met diepe grondstabilisatie. Hierbij doen zich geen duurzaamheidsproblemen voor.

Inspectie en controle

Inherent aan de meeste grondtechnieken is dat inspectie ter plaatse niet mogelijk is. Bekend is ook dat de kans op maatafwijkingen toeneemt naarmate we op grotere diepte werken. Om die redenen is het registreren van het uitvoeringsproces van belang, zoals het monitoren van de hoeveelheid bindmiddel en van materieelgegevens (snelheid en diepte van de mengkop, werkdruk etc.). CUR rapport 2001-10 beschrijft hiervoor een zgn. Reference Procedure. Maar daarmee weten we niet genoeg. We moeten ook de eigenschappen weten van in situ genomen monsters, zowel in onverharde als in verharde toestand.

Veel toegepast is het nemen van monsters direct na vervaardiging van het grondlichaam. We betrekken de verse monsters dan van een bepaalde diepte, en maken er proefstukken (prisma's, cilinders) van. Vervolgens meten we na verharding de druksterkte, E-modulus, volumieke massa en porositeit. Tevens voeren we in de praktijk metingen uit aan het verharde materiaal: hiervoor bestaan diverse niet-destructieve en destructieve technieken.

Dergelijke aselechte proefnemingen geven een indruk van de (lokale) materiaaleigenschappen. Of die voldoende representatief zijn voor het totale project - de intentie immers van kwaliteitscontrole - hangt samen met vooral de volgende factoren:

- de grondeigenschappen en de lokale variaties ervan,
- de aard en constantheid van de uitvoeringsmethode. Deze worden bepaald door vooral het beschikbare materieel, de procesvoering en de werkervaring van het personeel.

En de betontechnoloog ..?

De ontwikkeling van innovatieve grondtechnieken schept nieuwe toepassingen voor cement. Een zorgvuldige afstemming tussen grond en cement is van groot belang. In het vooronderzoek moeten we rekening houden met de soms lokaal variërende grondeigenschappen. Dus niet alleen met vereiste druksterkte en E-modulus, maar ook met specifieke randvoorwaarden, zoals de materiaalduurzaamheid en de uitloging vanuit de bouwstof naar de bodem. Maar ook afstemming van het mengsel op de uitvoeringswijze van de aannemer is cruciaal. Voor de betontechnoloog lijkt dit een andere wereld. Toch bezit juist hij de materialenkennis en is bekend met de 'in-en-outs' van mengselontwerp en vooronderzoek. Zo vormt de betontechnoloog een welhaast onmisbare schakel voor de verantwoorde productie en levering van mengsels voor bijv. jetgrouten en grondmengensels.

In onze volgende uitgave

Glijden

Deze titel heeft niets te maken met ijs- of sneeuwpret of met de prestaties van onze schaatsers tijdens de Olympische Winterspelen in Salt Lake City. Nee, maar wel met alles wat te maken heeft met glijbekisting. Een specifieke bouwmethode die nog regelmatig in ons land wordt toegepast voor betonconstructies. Hierbij moeten we denken aan schoorstenen, zendmasten of 'stijve kernen' van

gebouwen. Wat is hierbij van belang voor de betontechnoloog? In deze Betoniek-aflevering komen onder andere aan de orde: de uitvoering, invloedsfactoren opstijving, invloed van de verblijfsduur in de mixer, verwerkingsgedrag, aanbrengen van de betonspecie, controle tijdens de uitvoering, logistiek, enz. Kortom een aflevering om naar uit te zien.

Referenties

- CUR rapport 99-7 'Grondinjectie met ultrafijn cement' (1999)
- CUR/COB rapport 520-01 'Grondverbeteringstechnieken door middel van injectie' (2000)
- CUR rapport 199 'Handreiking toepassing No-Recess technieken' (2001)
- CUR rapport 2001-10 'Diepe grondstabilisatie in Nederland' (2001)
- Stoel, A.E.C. - Grouting for pile foundation improvement', proefschrift TU Delft (sept. 2001)
- ENCI-productblad 'Microcem voor bodeminjectie' (1999)
- Design Guide for Soil Stabilisation, uitgave CUR (2001)
- Handboek Ondergrond Bouwen, deel 1 (1997) en deel 2 (2000), uitgaven COB, Gouda.
- prEN 12715 'Grouts' en prEN 12716 'Jetgrouting'.

Dank aan HBG Civiel, VWS Geotechniek en CUR voor informatie en beschikbaar stellen van illustraties.

Colofon

Betoniek is een praktijkgericht voorlichtingsblad op het gebied van de betontechnologie en verschijnt 10 keer per jaar.

In de redactie zijn vertegenwoordigd:

de Nederlandse cementindustrie, MEBIN, CUR, HBG Civiel en de Bouwdienst Rijkswaterstaat.

Uitgave: ENCI Media

postbus 3532, 5203 DM 's-Hertogenbosch

Redactie: 073 - 640 12 23

Abonnementen: 073 - 640 12 31

Adreswijzigingen per fax: 073 - 640 12 99

E-mail: encimedia@enci.nl

Website: www.enci.nl

Abonnementen/adreswijzigingen:

Abonnementen en adreswijzigingen voor Betoniek worden verzorgd door:

Betapress Abonnementen Services

Postbus 97, 5126 ZH Gilze

tel: 0161 - 45 95 86

fax: 0161 - 45 29 13

email: betoniek@Betapress.Audax.nl

Abonnementsprijzen 2002:

Nederland € 17,15

België € 17,75

Overige landen € 24,30

Aanmeldingen/opzeggingen:

Abonnementen kunnen op ieder gewenst moment ingaan.

Aan het eind van het kalenderjaar wordt het abonnement automatisch verlengd, tenzij vóór 1 december schriftelijk wordt opgezegd.

Overname van artikelen en illustraties is toegestaan, onder voorwaarde van bronvermelding.

ISSN 0166-137x

Beton
Daar maak je 't mee.