

Piping in een heterogeen zandpakket – kijkproeven en simulaties

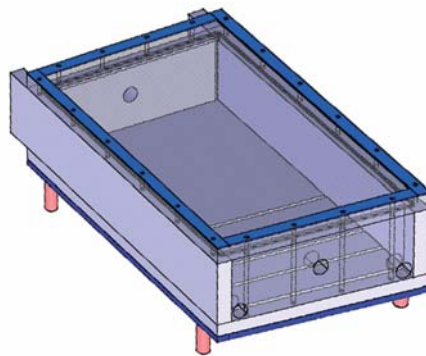
Piping, het ontstaan van holle ruimten in zandlagen onder dijken ten gevolge van waterstroming, is een faalmechanisme dat een risico vormt voor de veiligheid van de Nederlandse dijken. Om het optreden van dit fenomeen te voorspellen zijn een aantal modellen beschikbaar. De meest recent ontwikkelde methode is de regel van Sellmeijer. Deze regel veronderstelt, net als andere methoden, dat het zand waarin de pipe ontstaat homogeen is. In de praktijk is dit niet het geval, de zand eigenschappen variëren immers van millimeter tot decameterschaal.

Tot nu toe is de invloed van heterogeniteiten die voorkomen langs de lengte van de pipe niet onderzocht. Om een eerste beeld te vormen van de invloed van deze heterogeniteiten op

het pipingproces zijn experimenten uitgevoerd. Tevens zijn berekeningen in MSeep uitgevoerd, een grondwatermodel uitgebreid met een module voor piping.

Opzet onderzoek: experimenteel werk en MSeep berekeningen

Het experimentele werk bestaat uit een serie kijkproeven, die zijn uitgevoerd in een kleine pvc bak, welke kan worden afgedekt met een perspex deksel. Deze bak is gevuld met verschillende combinaties van fijn en grof zand, waarna een constant verval wordt aangebracht, welke op vaste tijdsintervallen verhoogd wordt. Bij doorgaand zandtransport wordt echter gewacht met verhogen van het verval totdat de situatie stabiel is.



Samenvatting

Piping, het ontstaan van holle ruimten in zandlagen onder dijken ten gevolge van terugschrijdende erosie vormt een risico voor de veiligheid van de Nederlandse dijken. De beschikbare rekenmodellen veronderstellen dat het zand waarin de pipe ontstaat homogeen is. In de praktijk is dit niet het geval; door de geologische geschiedenis variëren de zandeigenschappen op de schaal van millimeters tot decameters. Om een beeld te vormen van de invloed van deze heterogeniteit op het pipingproces zijn experimenten uitgevoerd. Tevens zijn berekeningen in MSeep uitgevoerd, een grondwatermodel uitgebreid met een module voor piping. De eerste indruk uit de proeven is dat combinatie van verschillende zanden tot een relatief 'sterk' pakket leidt.

Opstelling voor experimenten

De gebruikte zanden zijn Speelzand en Metselzand, afkomstig van een doe-het-zelf zaak. De eigenschappen van deze zanden zijn weergegeven in *tabel 1*.

Beide zanden zijn eerst afzonderlijk getest, waarna verschillende combinaties gemaakt zijn met deze zanden:

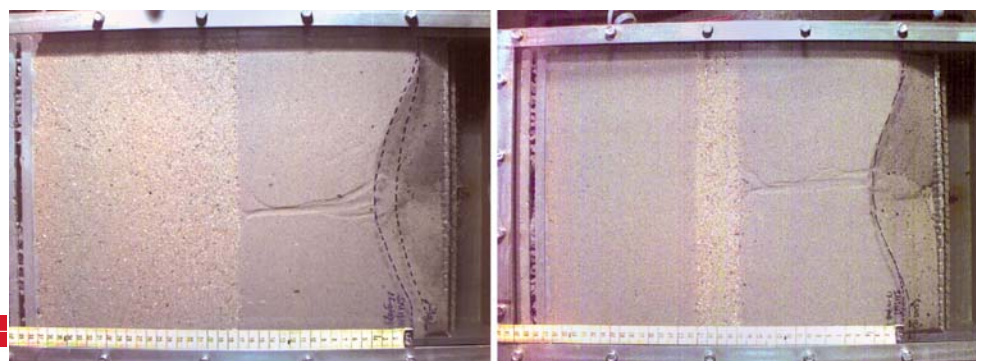
- Individuele testen.
- Grof zand bovenstreams, fijn zand benedenstreams (GF).
- Fijn zand met een band van grof zand in het midden (FGF).

In het grondwaterstromingsmodel MSeep zijn alle experimenten numeriek gesimuleerd. Dit grondwatermodel is uitgebreid met een piping-module en daarom is het mogelijk een meer complexe bodemgesteldheid te configureren.

Figuur 1 Opstelling voor experimenten.

	D ₁₀	D ₆₀	D ₇₀	K [m/s]
Speelzand	0.156	0.243	0.270	2.65·10 ⁻⁴
Metselzand	0.215	0.538	0.680	4.64·10 ⁻⁴

Tabel 1 Eigenschappen Speel- en Metselzand.



Figuur 2 Foto's van de twee heterogene testen GF en FGF.

De piping module in dit programma is niet eerder getest voor bovengenoemde condities. Het originele concept van MSeep is echter wel getest voor verschillende ondergrondconfiguraties. In onderstaande figuur is een van de gebruikte configuraties in MSeep weergegeven.

Resultaten

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven voor de in de experimenten gevonden kritische vervallen van de individuele testen. Het kritisch verval is het verval waarbij de totale lengte van het kanaal ontwikkeld wordt en waarbij dus in zekere zin doorbraak van de waterkering plaatsvindt. Het wordt hierbij opgemerkt dat de waargenomen kritische verhangen door de kleine schaal niet overeenkomen met een praktijksituatie.

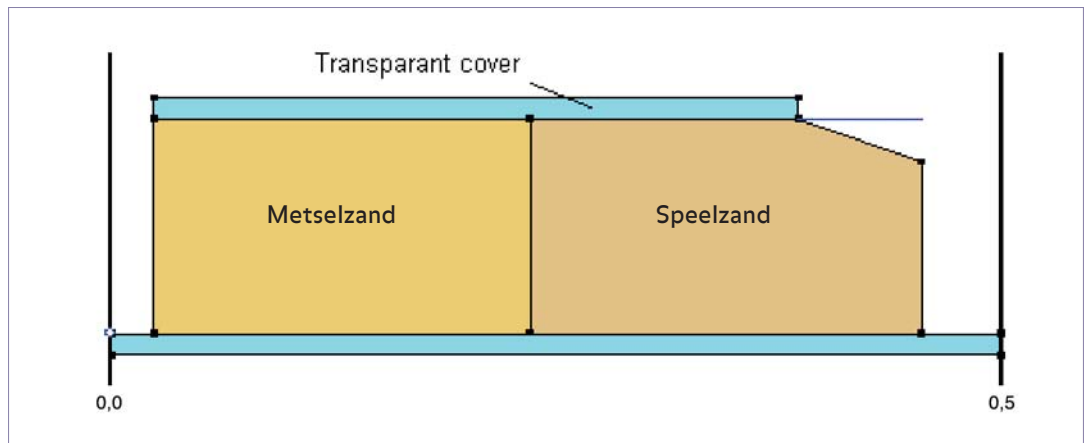
Kritisch verval experiment: [cm]	1	2
Grof metselzand	26	62
Fijn speelzand	24	-

Uit de gevonden kritisch vervallen van de individuele testen blijkt dat de proeven op metselzand slecht reproduceerbaar zijn. Dit wordt toegeschreven aan de grote spreiding van korrelgrootte in dit zand, waardoor het lastig is een homogeen zandpakket te creëren. Het fijnere metselzand is slechts eenmaal individueel getest. Deelresultaten van de heterogene testen geven echter aanleiding om aan te nemen dat dit zand wel reproduceerbare resultaten oplevert. De GF testen, waarbij grof zand bovenstrooms is geplaatst en fijn zand benedenstrooms, laten twee stappen van kanaalvorming zien. Bij relatief laag verval vindt kanaalvorming in het speelzand plaats, terwijl het verval fors verhoogd moest worden om kanaalvorming in het grove zand plaats te laten vinden. In onderstaande tabel zijn de deelvallen weergegeven.

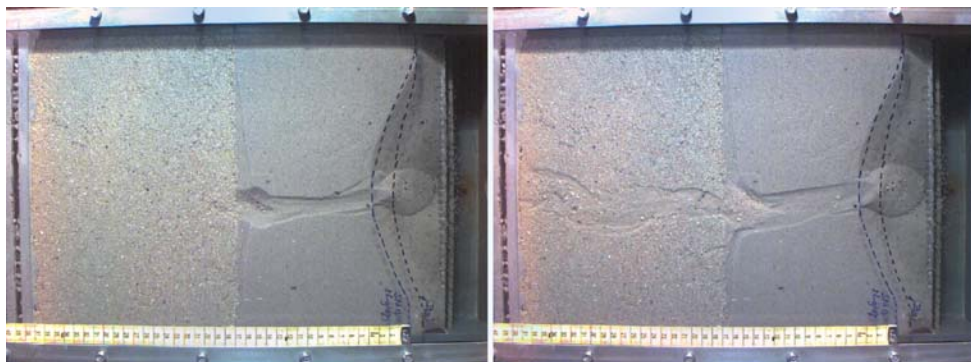
	Kritisch verval [cm] voor:	
	Speelzand (F)	Totale doorbraak
GF1	12	51
GF2	12	40

Op soortgelijke wijze vindt kanaalvorming in de FGF testen in drie stappen plaats. Opvallend is dat het kritisch verval ook na doorbreken van de band van grover metselzand nog verhoogd moet worden om doorbraak in het bovenstroomse fijnere zand te bewerkstelligen.

	Kritisch verval [cm] voor:		
	Speelzand (F)	Metselzand (G)	Totale doorbraak
FGF1	22	70	82
FGF2	22	66	76



Figuur 3 MSeep configuratie voor GF-test.



Figuur 4

Wanneer deze waarden vergeleken worden met de resultaten van de berekeningen van MSeep valt op dat de kritische vervallen van de individuele testen redelijk overeenkomen met de kritische vervallen zoals gevonden met MSeep. Dit geldt echter niet voor de heterogene testen waar grote verschillen worden gevonden tussen beide kritische vervallen. Het kritische verval van MSeep berekeningen is in alle heterogene situaties significant lager.

Overzicht kritische vervallen in de Experimenten en MSeep berekeningen [m]

	Experiment		MSeep simulatie
	1	2	
Grof metselzand	26	62	32
Fijn speelzand	24	-	17
GF	51	14	50
FGF	82	76	18

Discussie en conclusies

De eerste indruk uit deze serie proeven is dat de combinatie van verschillende zanden tot een sterk pakket leidt, mogelijk door de combinatie van grote korrels en een relatief lage bulk doorlatendheid.

Opvallend is echter het verschil tussen de resultaten van MSeep en de experimenten. Dit verschil kan een aantal oorzaken hebben. Er is onder andere gekeken naar de invloed van het kanaal op de totale doorlatendheid. In MSeep neemt de doorlatendheid sterk toe met toenemende lengte van het kanaal. In de experimenten is dit echter niet waargenomen. Mogelijk wordt dit verschil veroorzaakt door het verschil in 2D-berekeningen (oneindig brede spleet) en 3D experimenten. Een andere oorzaak kan zijn dat de proefopstelling teveel afwijkt van een praktijksituatie. De stroming langs de perspex plaat is immers groter dan bij stroming onder een goed aansluitend kleidek. Hierdoor zou de toename in doorlatendheid ten gevolge van kanaalvorming gering kunnen zijn.

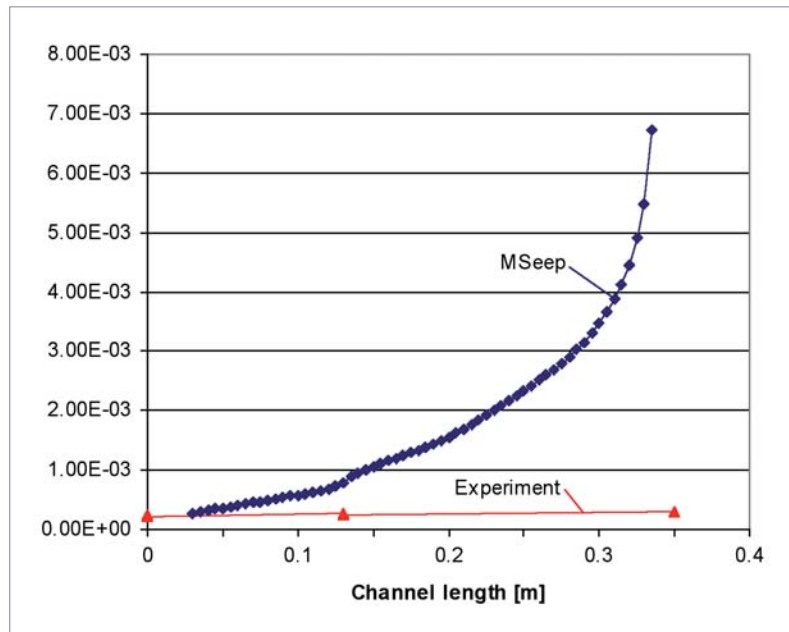
De eerste stap in de experimenten, het vormen van een kanaal in het benedenstroomse speelzand, kan zeer goed voorspeld worden met gebruik van een aangepaste regel van Sellmeijer. Het kritisch verval van het speelzand wordt bepaald via de regel van Sellmeijer en dit gevonden kritisch verval wordt gecorrigeerd voor de verhangafname veroorzaakt door de

rest van het zandpakket.

Voor de praktijk is dit echter van geringe waarde. Het totale kritisch verval is namelijk de belangrijkste parameter om te voorspellen of

pipng een risico vormt. Deze waarde kan echter nog niet goed voorspeld worden met de huidige methoden. Meer onderzoek op dit gebied wordt aanbevolen. Op dit moment

wordt binnen het onderzoeksprogramma SBW pipng onderzoek gedaan naar de invloed van verschillende zandsoorten en schaal. ■



Figuur 5 Bulk doorlatendheid bij toenemende kanaallengte.

Vera van Beek heeft op 4 en 5 september 2008 de Europese conferentie voor Young Geotechnical Engineers (YGEC) in Gyor Hongarije bijgewoond. Zij is geselecteerd door en financieel ondersteund vanuit Kivi-Niria Geotechniek.

Meer informatie over deze conferentie: www.ygec2008.sze.hu

De YGEC-Conferenties zijn bedoeld om beginnend geotechnici (onder 35 jaar) kennis te laten maken met internationale congressen, het vakgebied en netwerk.

De volgende YGEC wordt van 2-4 oktober 2009 gehouden direct voorafgaand aan het internationale congres van de ISSMGE in Alexandrie, Egypte. Kandidaten voor deelname kunnen worden aangemeld bij het bestuur van Kivi-niria Geotechniek.

Al gedacht aan de omgeving van uw bouwput? Wij wel!

Monitoring van vervormingen en geotechnische expertise

Kijk voor een uitdagende job of voor onze services op

www.fugro-nederland.nl

