

Hydraulische aspecten van de Anome Ground Consolidator

H.J. Verhagen; TU Delft, sectie waterbouwkunde

Inleiding

De Anome Ground Consolidator (GC) is een gepatenteerd haakvormig stortelement met het kenmerk dat een ruimtelijke structuur gevormd wordt indien vele GC op elkaar uitgestort worden. De GC kan onder andere gebruikt worden als bodembescherming bij belasting van een onderwaterbodembodem van granulair of cohesief materiaal, belast door stroming (veroorzaakt door stromend water, schroefstralen of golven). Een andere vorm van toepassing is het gebruik van de GC bij taluds als bescherming van een constructie tegen golfaanval rond de waterlijn. In dit rapportje zal ingegaan worden op de hydraulische aspecten van de GC in beide genoemde toepassingen. Andere toepassingsvormen van de GC worden in dit rapportje niet behandeld.



Eerste waarnemingen: de hydraulische stabiliteit

Bij de stabiliteit moet onderscheid gemaakt worden tussen stabiliteit in stroming (met turbulentie) en de stabiliteit onder golfaanval (dus rond de waterlijn).



De stabiliteit van de GC onder golfaanval zal vrij groot zijn. Door het in elkaar haken van de elementen kan een vrij steil talud opgebouwd worden. Doordat de elementen een zeer grote doorlatendheid hebben, zijn de krachten op de elementen relatief gering. Bij een simpele proef in een golfgoot bleek dat bij (regelmatige) golven van 8cm de model GC's van 5 cm stabiel blijven. Het model had in dit geval een talud van 1:1. Kwantitatief kunnen er uit deze

proef geen conclusies getrokken worden, vanwege de uitermate simpele opzet, en het feit dat er geen enkele vorm van instrumentatie aangebracht was. Zoals gebruikelijk bij dit soort constructies is de stabiliteit van de teen uitermate belangrijk. Het blijkt geen probleem om met de GC een goede teenconstructie te maken. Onder de CG-laag is de waterbeweging nog steeds zeer turbulent. De steenlaag die onder de GC's ligt moet dus geometrisch volledig stabiel zijn.

De stabiliteit van de GC onder stroming blijkt bij een aantal simpele proeven heel groot te zijn. Doordat de elementen in elkaar haken, wordt de schuifkracht van het water vrij gelijkmatig overgebracht op de bodemelementen. Doordat deze aan elkaar haken, wekt het totale gewicht van alle GS's in de laag mee aan de stabiliteit. Zelf bij een vrij extreme situatie waarbij er een behoorlijk groot verval over de GC's gecreëerd wordt, blijven de elementen goed liggen. Bij het plaatsten blijkt dat de GC's wel enige tijd schuiven, maar zodra ze in elkaar haken, vormen zij een stabiele matrix. Duidelijk blijkt uit de proefjes dat het geen zin heeft om te kijken naar de stabiliteit van een enkele GC, maar dat er gekeken moet worden naar de stabiliteit van het



systeem als geheel. Bij het plaatsen van een laag GC's op fijn materiaal blijkt dit fijne materiaal goed te blijven liggen. De stroomsnelheden op de grenslaag tussen GC en bodem blijken dus behoorlijk laag te zijn. Het is dus te verwachten dat een GC goed kan functioneren als een geometrisch open filter. Bij belastingen waarbij de stroming loodrecht op de filterlaag staat (bijv. bij uittredend grondwater) zal de GC dus niet goed kunnen functioneren zonder aanvullende filterlagen (en

heeft de GC dus geen meerwaarde).

Hoeveelheden

Een goed overzicht van de hoeveelheid te gebruiken materiaal is niet beschikbaar, maar wel essentieel voor de beoordeling van de economische rentabiliteit van de GC. Bij de proeven in de goot is een oppervlakte van ongeveer $0,2 \text{ m}^2$ bestort met 200 units, die een laag van ongeveer 7,5 cm dik vormden ($1,5 d_n$). Dit betekent dus een verbruik van ongeveer 1000 units per m^2 op deze schaal. De model GC's hebben een staafdikte van (d_s) 5 mm en een elementhoogte van (d_n) 50mm. In hoeverre deze verhouding optimaal is, moet onderwerp van verdere studie zijn. De GC heeft 7 ribben met materiaal, dus is het gewicht is $7d_n \cdot \frac{1}{4}\pi d_s^2 \cdot \rho = 0,047 \text{ kg}$. Qua gewicht is dit dus identiek aan een steen met een d_n van 2.6 cm. Op modelschaal betekent het dus dat ongeveer 47 kg staal per m^2 is aangebracht. Eenheden van 10 cm met een staafdikte van 1 cm wegen 380 gram. Er zullen er dan ongeveer 250 in een m^2 gaan, wat resulteert in een laagdikte van ongeveer 15 cm.

Het blijkt uit de proeven dat een GC van 5 cm in een dek van ongeveer $1,5 d_n$ dik in staat is om een stroomsnelheid van ongeveer 1 m/s goed te weerstaan. Het lijkt er op dat voor de stabiliteit dus geen dikke laag nodig is. Wel is het belangrijk dat de laag voldoende dit is om de stroomsnelheid bij de bodem terug te brengen tot een voldoende laag niveau. Hoe dik deze laag moet zijn, is vrijwel niet in te schatten zonder nader onderzoek. Hierbij komt dan nog dat ook de plaatsingsnauwkeurigheid onderzocht moet worden. Het zal waarschijnlijk niet mogelijk zijn om een laag GC's op enige meters waterdiepte af te storten met een nauwkeurigheid van minder dan 2 dm. Om bijv. een laagdikte van 20 cm te garanderen zal dus een gemiddelde laag van ca 40 cm gestort moeten worden. Bij 5cm eenheden geeft dat dan een laag van ongeveer 250 kg/m^2 . Bij eenheden van 10 cm en 1 cm staafdikte zullen ongeveer $800 \text{ units per m}^2$ gestort moeten worden. Dat is dus ca. 300 kg/m^2 .

Overigens is het goed om te weten dat voor bescherming tegen stroomsnelheden van ongeveer 3 m/s en een waterdiepte van 5 m (en nogal wat turbulentie) een steengrootte van ca 20 cm nodig is; dat vereist een steenklasse LMA5-40 (5-40 kg). Zo'n laag moet minimaal 25 cm dik zijn, en vereist 500 kg steen per m^2 . In de praktijk zal meestal een wat dikkere laag gestort worden.

De materiaalkeuze

De GC ontleent haar sterkte als stabiliserend element aan het feit dat de elementen na storten uit zichzelf in elkaar haken, en zodoende een matrix vormen. Essentieel daarbij is dat de dikte van het materiaal zelf klein is ten opzichte van de maat van de GC zelf. Krachten uitgeoefend op een enkel element worden door het feit dat de elementen in elkaar haken, overgedragen op de matrix. Het totaal van de matrix heeft een groot gewicht en is daardoor stabiel. Vanwege de eis dat de dikte van het materiaal klein is t.o.v. de maat van het element, en dat het element zelf goed krachten (en vooral ook moment) moet kunnen overbrengen, is het noodzakelijk dat het materiaal een behoorlijke treksterkte heeft, en bovendien behoorlijk stijf is. Verder is een groot eigen gewicht nodig. Stalen GC's voldoen aan deze eis. Bij andere materialen is e.e.a. vermoedelijk heel slecht te realiseren. Ongewapend betonnen elementen zullen moeilijk de momenten in de hoeken kunnen opnemen, bij gewapend betonnen elementen kan dat wel, maar vermoedelijk wordt dan de materiaaldikte te groot ten opzichte van de elementgrootte. Kunststof elementen hebben voldoende treksterkte, maar zijn vrij licht, en vervormen zeer sterk, met name bij het opnemen van moment. Op grond van bovenstaande overwegingen lijkt het zinvol om het onderzoek voorlopig te beperken tot stalen GC's. De stalen GC kan natuurlijk wel corroderen, maar bij toepassing op grotere waterdiepten (moeilijk toegankelijk voor zuurstof) zal dit wel meevallen. Op grond van bovenstaande overwegingen lijkt toepassing van de GC rond de waterlijn (dus als bescherming van een constructie tegen golfaanval) dus wat minder in de rede te liggen.

Haalbaarheid

In eerste instantie zal het kostenaspect bekeken moeten worden. Het loont alleen de moeite om nader onderzoek te doen als de GC concurrerend is ten opzichte van een klassieke breuksteenconstructie. Uit de globale inventarisatie hierboven blijkt dat voor een bodembescherming met GC's een zelfde orde aan gewicht nodig is als bij het gebruik van breuksteen. Gezien de veel hogere kostprijs van staal is dit een punt van zorg.

Een speciale nichemarkt voor de GC als bodembescherming is het gebruik van de GC als tijdelijke constructie. Het is zeer eenvoudig om een bodembescherming met een GC weer te verwijderen. De elementen haken in elkaar, en de mat kan daardoor eenvoudig opgevist worden. Losliggende elementen kunnen vervolgens eenvoudig met een magneet weggehaald worden. De GC heeft een aanzienlijke restwaarde, omdat het schroot gerecycled kan worden.

Opschaalbaarheid

Er is geen enkel zicht op schaalregels met betrekking tot de GC. Bij modelonderzoek moet er daarom vooral naar de fysische processen gekeken worden en niet zozeer geprobeerd worden proeven precies op schaal uit te voeren.

Nader onderzoek

De verwachting is dat de GC's gebruikt kunnen worden als geometrisch open filterconstructie, en dus direct op een zandbodem geplaatst kunnen worden. Als dit niet kan, is een aanvullend filter, in de vorm van een kunststofdoek of grindbestorting nodig. Als een dergelijke laag echt nodig blijkt te zijn, is de GC waarschijnlijk niet meer concurrerend ten opzichte van een klassieke steenbestorting.

Als uit een kostenafweging blijkt dat de GC toch economisch aantrekkelijk is, dan zijn de belangrijkste onderzoekspunten:

- Nagaan bij welke stroomsnelheden de GC op zand geplaatst kan worden, zodat het zand blijft liggen.
- Nagaan hoe dik de laag GC's moet zijn om dit te realiseren.
- Onderzoek doen met GC's met een d_n van 5, 10 en 15 cm op een zandbodem.
- Bij de GC met een d_n van 15 cm nagaan wat het effect is van een d_s van 5 mm, en 10 mm.

Daarnaast zal onder onderzoek gedaan moeten worden naar de plaatsing van de GC. Er bestaat op dit moment een stortgoot voor het regelmatig afstorten van de GC. Onderzocht zal moeten worden welke laagdikte op deze manier gerealiseerd kan worden, en hoe de laagdikte veranderd na de eerste keer belasten door een aanzienlijke stroomsnelheid.

Aangezien het aanbevolen wordt om schaalproeven zo veel mogelijk te voorkomen, zullen de proeven vrij grootschalig uitgevoerd moeten worden. Ze moeten dus uitgevoerd worden in een goot waarin een laag GC's van ca 50 cm mogelijk is, en waarin stroomsnelheden in de orde van zo'n 4 m/s mogelijk zijn. Stroommetingen in de laag met GC's is uitvoerbaar met laser-doppler apparatuur, maar wordt in eerste instantie niet aanbevolen. Aanbevolen wordt om het stroombeeld boven de laag GC's te meten met eenvoudige mechanische apparatuur (het gebruik van een elektromagnetische stroommeter is niet mogelijk). Uit deze metingen kan de ruwheid van een GC-laag bepaald worden; voor het ontwerp is het nodig om een goede Manning of Chézy waarde voor de de GC te weten.

Gezien het feit dat staal onder water altijd corrodeert, is het noodzakelijk om een eenvoudige (bureau)studie uit te voeren naar het corrosiegedrag. Toekomstige gebruikers zullen zeker een uitspraak willen over de levensduur van de GC in dit soort situaties.

Filename: Hydraulische aspecten.doc
Directory: D:\archief\Projecten\Anome
Template: H:\Application Data\Microsoft\Templates\Normal.dot
Title: Hydraulische aspecten van de Anome Ground Consolidator
Subject:
Author: H.J.Verhagen
Keywords:
Comments:
Creation Date: 5/29/2005 8:25:00 PM
Change Number: 7
Last Saved On: 5/30/2005 8:12:00 AM
Last Saved By: H.J. Verhagen
Total Editing Time: 142 Minutes
Last Printed On: 8/17/2009 3:19:00 PM
As of Last Complete Printing
Number of Pages: 4
Number of Words: 1.586 (approx.)
Number of Characters: 9.045 (approx.)