

Dijkbekledingen van GeoCrete

Ontwerpmethodiek voor GeoCrete

OPDRACHTGEVER: Projectbureau Zeeweringen

14-01-2009

Dijkbekledingen van GeoCrete

Ontwerpmethodiek voor GeoCrete

OPDRACHTGEVER: Projectbureau Zeeweringen

PROJECTNUMMER: 07i128

VERSIE: definitief

14-1-2009



INFRAM B.V.

Postbus 16

8316 ZG MARKNESSE

Tel.: 0527 – 24 11 20

Fax: 0527 – 24 11 19

www.infram.nl

Projectgegevens

Titel:	Dijkbekledingen van GeoCrete
Versie:	Definitief
Opdrachtgever:	Projectbureau Zeeweringen
Projectnummer:	07i128
Partners:	
Omschrijving project:	Het projectbureau Zeeweringen tracht in voorkomende gevallen maatwerk te leveren waar het betreft alternatieve typen dijkbekledingen. In dit kader is ook een middels GeoCrete versterkte bekleding nader onderzocht. In het voorliggende rapport wordt de ontwerprelatie tussen laagdikte en toelaatbare golfhoogte voor dit type dijkbekleding afgeleid.
Uitgevoerd door:	Ir J. Wouters/ir R. Mom

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Kader	1
1.2	Aanleiding	1
1.3	Doel	1
1.4	Leeswijzer	2
2	GeoCrete	3
2.1	Wat is GeoCrete	3
2.2	Belangrijke kenmerken	3
3	Materiaalgedrag en sterkteparameters	4
4	Ontwerpformules	7
4.1	Faalmechanismen	7
4.2	Afleiding	8
4.3	Gevoeligheid van de ontwerpformule	10
5	Ontwerpmethodiek GeoCrete	12
	Referenties	13
	BIJLAGEN	14
A.	Samenvatting lab. resultaten [2]	15

1 Inleiding

1.1 Kader

In de TAW-Leidraad "Zee- en Meerdijken" staat de methode beschreven hoe voor dijken een optimale bekleding kan worden ontworpen, zie bijlage B6 van [1]. De daar gegeven typen bekledingen zijn echter noodzakelijkerwijs beperkt tot de meest gangbare. Het projectbureau Zeeweringen, dat in de provincie Zeeland werkt aan de verbetering van onvoldoende sterke dijkbekledingen, tracht in voorkomende gevallen maatwerk te leveren met alternatieve constructies ter vervanging van de aanwezige bekledingen. Zo ook in gevallen waar een loskorrelige bekleding (zand, grind of breuksteen) niet voldoende veiligheid tegen de maatgevende golfbelasting biedt.

Veelal wordt in deze situatie de toepassing van een asfaltbekleding overwogen. Een nadeel van een asfaltbekleding is dat deze niet natuurlijk oogt en daardoor afbreuk doet aan de natuurlijke inpassing van de dijk in zijn omgeving.

Dijken zijn tegenwoordig meer dan alleen een waterkering, waarvoor alleen maar rekening hoeft te worden gehouden met de waterkerende eigenschappen van de diverse onderdelen van de dijk. Ook dient rekening te worden gehouden met natuur- en milieueisen en met de belevingswaarde van de dijk. En met name op dit laatste punt (de belevingswaarde) zou GeoCrete een mogelijk alternatief voor een asfaltbekleding kunnen vormen.

1.2 Aanleiding

Als onderdeel van de versterkingswerken van de dijken van de Oosterschelde moest ook het havenplateau van het oude haventje van Kats (Noord-Beveland) worden versterkt. Met name de oude klinkerbestrating van dit plateau is beeldbepalend vandaar dat naar een alternatief voor asfaltbekleding werd gezocht waarbij de klinkerbestrating kon worden gehandhaafd. Dit alternatief is gevonden in een met GeoCrete gestabiliseerde ondergrond met daarboven een laag brekerzand en de klinkerbestrating.

Om inzicht te krijgen in de sterkte van het door middel van het GeoCrete gestabiliseerde ondergrond is een uitgebreid onderzoek naar de sterkteparameters van het GeoCrete uitgevoerd [2].

1.3 Doel

Het doel van de voorliggende studie is om op basis van de bij het proefvak opgedane kennis een ontwerpmethodiek op te stellen voor een bekleding bestaande uit loskorrelig materiaal dat met GeoCrete is gestabiliseerd.

Het opstellen van de ontwerpmethodiek voor GeoCrete is uitgevoerd door ir. J. Wouters met ondersteuning van ir. R. Mom, die zich met name bezig heeft

gehouden met het opstellen van een Excel programma voor het oplossen van de set formules uit hoofdstuk 4. Beiden zijn in dienst van Infram b.v.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt beschreven wat GeoCrete is en wordt ingegaan op enkele belangrijke kenmerken van een met GeoCrete gestabiliseerde toplaag. In hoofdstuk 3 wordt een samenvatting gegeven van de resultaten van het door KOAC-NPC uitgevoerde onderzoek naar de eigenschappen van GeoCrete [2]. In hoofdstuk 4 wordt de sterkteberekening uitgevoerd voor een uit GeoCrete bestaande taludverdediging onder golfbelasting. In hoofdstuk 5 wordt een op deze berekeningen gebaseerde ontwerpmethodiek voor GeoCrete gepresenteerd.

2 GeoCrete

2.1 Wat is GeoCrete

GeoCrete is een merknaam voor een methode om een uit loskorrelig materiaal bestaande laag (zand, grind of breuksteen) te stabiliseren. Het poeder bestaat uit zowel alkali en alkalische aarde-elementen. Het wordt gemengd met cement en vervolgens met het aanwezige bodemmateriaal. Het GeoCrete en het cement zorgen samen voor een omzetting van een loskorrelige constructielaag naar een cementraam.

2.2 Belangrijke kenmerken

Op het haventerrein nabij Kats is een proefvak met een GeoCrete bekleding aangelegd. Door KOAC-NPC is onderzoek uitgevoerd ten einde de kenmerkende materiaaleigenschappen van GeoCrete vast te stellen. In hoofdstuk 3 worden de resultaten van het onderzoek gepresenteerd. Samenvattend kunnen de volgende meest kenmerkende materiaaleigenschappen uit dit onderzoek worden geformuleerd:

- GeoCete is niet gevoelig voor vermoeiing. De constructie bezwijkt ten gevolge van een eenmalige overbelasting.
- De gemiddelde breuksterkte is ca. 1,5 MPa.
- Zowel de breuksterkte als de elasticiteitsmodulus zijn een functie van de dichtheid van GeoCrete.
- De breukrek van GeoCrete is in vergelijking met andere cementgebonden materialen hoog (700-1300 $\mu\text{m/m}$), het materiaal is relatief taai.

Voor het proefvak bij Kats is gebruik gemaakt van de zogenaamde "Mix in place" methode. Het loskorrelige materiaal wordt ter plaatse gemengd met het GeoCrete/cement mengsel. Deze methode heeft met name bij renovatie werkzaamheden grote praktische voordelen. Een alternatief is de "Mix in plant" methode waarbij het mengsel in de fabriek wordt gemengd. Bij deze laatst genoemde methode is de kwaliteit van het uiteindelijke product hoger.

3 Materiaalgedrag en sterkteparameters

Voordat GeoCrete werd toegepast voor het havenplateau voor de haven van Kats was er nauwelijks iets bekend over de sterkteparameters van GeoCrete. Een belangrijke vraag is deze was: Bezwijkt GeoCrete door vermoeiing of door breuk?

Voor het onderzoek zijn 8 kernen uit de laag GeoCrete geboord. De volgende parameters zijn voor deze 8 boorkernen bepaald:

- Laagdikte (m)
- Dichtheid van de proefstukken (kg/m^3)
- Breuksterkte (MPa)
- Elasticiteitsmodulus (MPa)
- Vermoeiingseigenschappen

In de volgende tabel wordt een samenvatting van de resultaten gegeven. Voor meer gedetailleerde informatie over de wijze waarop het onderzoek is uitgevoerd wordt naar het rapport van KOAC-NPC [2] verwezen.

Parameter	Aantal waarnemingen	Dimensie	Gemiddeld resultaat	Standaard afwijking
Laagdikte	8	mm	292	61
Dichtheid	16	kg/m^3	1845	117
Breuksterkte	14	MPa	1,56	0,86
Breukrek	14	$\mu\text{m/m}$	958	207
Elasticiteitsmodulus	7	MPa	5478	2564

Tabel 3.1 Samenvattende resultaten van het materiaalonderzoek [2]

Opmerkingen:

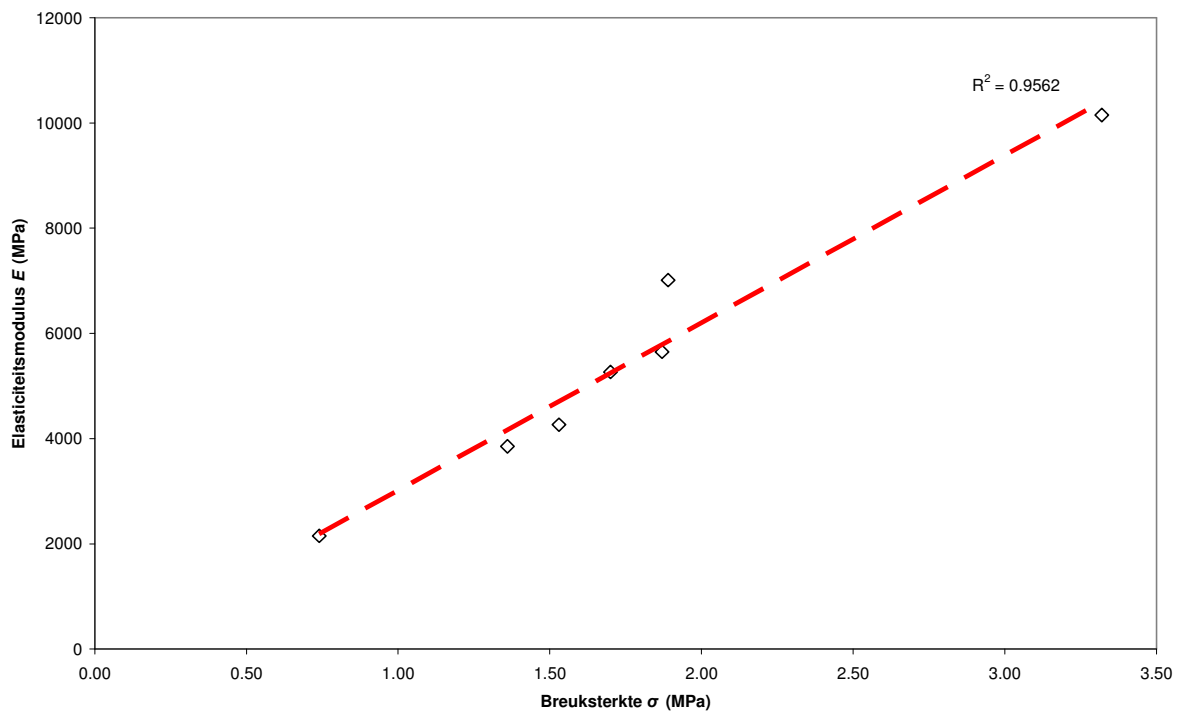
- 1 Meerdere boorkernen zijn bij het boren gebroken en daardoor is de werkelijk aanwezige laagdikte groter dan uit de hierboven gepresenteerde waarden zou blijken.
- 2 De spreiding in dichtheid wordt met name veroorzaakt door het verschil in holle ruimte in de boorkernen.
- 3 De afwijkende eigenschappen van GeoCrete, in vergelijking met andere cementgebonden materialen, komt met name tot uiting bij de breukrek. Voor GeoCrete ligt deze tussen de 700 en 1300 $\mu\text{m/m}$ terwijl dit voor zandcement tussen de 80 – 100 $\mu\text{m/m}$ ligt. GeoCrete is dus minder bros dan het vergelijkbare zandcement en heeft een hogere scheurtaaiheid.
- 4 In tegenstelling tot asfalt is de elasticiteitsmodulus van GeoCrete niet afhankelijk van tijd en temperatuur.

Analyse

Nadere analyse van de meetresultaten leert dat zowel de breuksterkte als de elasticiteitsmodulus afhankelijk zijn van de dichtheid (aanwezigheid van holle

ruimtes). Dit houdt in dat de breuksterkte en de elasticiteitsmodulus niet onafhankelijk van elkaar zijn.

Voor in totaal 7 boorkernen is zowel de breuksterkte als de bijbehorende elasticiteitsmodulus bepaald. In onderstaande figuur (Figuur 3.1) staat de gemeten elasticiteitsmodulus en de bijbehorende gemeten breuksterkte tegen elkaar uitgezet.



Figuur 3.1: Gevonden relatie tussen de breuksterkte (σ) en de elasticiteitsmodulus (E) van de 7 beschouwde monsters [2]

De relatie tussen E en σ is te schrijven als:

$$E = 3185 \sigma - 168$$

In onderstaande tabel staan de gemiddelde breuksterktes van de onderzochte monsters vermeld. Van elke boorkern zijn twee proefstukken getest.

Monster	Gemiddelde breuksterkte
B1	1,30 MPa
B2	1,34 MPa
B3	1,26 MPa
B4	0,55 MPa
B6	1,73 MPa
B7	3,33 MPa
B8	1,43 MPa

Tabel 3.2: Gemiddelde breuksterkte per boorkern

Boorkern B5 is buiten beschouwing gelaten daar het monster al bezweken was voordat het in de proefopstelling kon worden gemonteerd. Er wordt van uitgegaan dat door een adequate proces- en productcontrole een dusdanige kwaliteit kan worden voorkomen.

Het gemiddelde van deze zeven proefresultaten is 1,56 MPa met een standaard afwijking van 0,86 MPa. Indien met deze waarden de karakteristieke waarde zou worden berekend (conform Bijlage 8 van TRAW [3]) dan is deze karakteristieke waarde een negatief getal.

Berekening van de karakteristieke waarde conform bladzijde 337 van het TRAW

$$X_{kar} = X_{gem} \pm t s (1/n + 1)^{1/2}$$

waarin:

t = factor afhankelijk van het aantal waarnemingen, zie tabel B8.1 uit het TRAW [3], bij 7 waarnemingen geldt t = 1,9432

s = standaard afwijking

n = aantal waarnemingen = 7

Vandaar dat hier (arbitrair) als karakteristieke waarde voor de breuksterkte van GeoCrete is gekozen voor de laagst gevonden waarde (0,55 MPa).

4 Ontwerpformules

Op basis van de gevonden materiaaleigenschappen van het GeoCrete zal in dit hoofdstuk een relatie worden gelegd tussen de golfhoogte (H_s) en de laagdikte (D) waarbij overschrijding van de maximale breuksterkte is te verwachten.

4.1 Faalmechanismen

Voor een met GeoCrete versterkte toplaag van een taludbekleding kunnen de volgende faalmechanismen worden beschouwd:

- 1 Erosie van de bekleding door golfwerking.
- 2 Opdrukken van de plaatbekleding door overdrukken onder de plaat.
- 3 Breken van de bekleding golfklappen.

De Leidraad Zee- en meerdijken (Plaatbekledingen blz. 117) [1] geeft alleen een formule voor een eerste benadering van de sterkte van een plaatbekleding:

$$\Delta_m D > \psi_u^{-1} \phi^{-1} (\cos \alpha)^{-1} H_s \xi_p^b$$

Hierin is:

Δ_m = relatieve dichtheid

D = plaatdikte

$\psi_u = 3,0$ is de relatieve stabiliteitsfactor (voor stortsteen is deze 1)

$\phi = 2,25$

$b = 1$

Dit is de algemene formule voor de stabiliteit van stortsteen met twee aangepaste coëfficiënten voor het feit dat het hier om een plaatbekleding gaat. Deze benaderingsformule is vooral voor gepenetreerd stortsteen bedoeld. Aangenomen mag worden dat deze formule zuiver empirisch is. Voor GeoCrete lijkt deze formule minder toepasselijk daar deze voor de stabiliteit uitgaat van het eigengewicht (ΔD) terwijl hier met name zaken als breuksterkte, vermoeiing en elasticiteit aan de orde zijn.

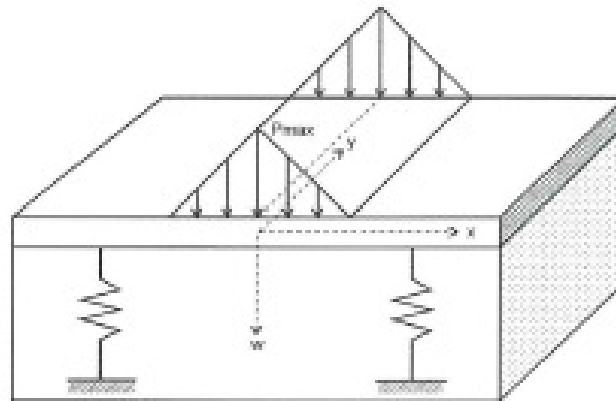
Het onderzoek dat naar aanleiding van het proefproject bij Kats is uitgevoerd geeft geen nadere informatie voor deze sterkte benadering en zal hier dan ook niet verder worden uitgewerkt.

In het rapport "Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken en oevers CUR rapport 156 [5]" wordt niet het bezwijken door golfklappen beschreven maar bezwijken door overdrukken onder de betonnen plaat. De beschreven methodiek gaat meer over de belasting dan over de sterkte. De belasting is sterk afhankelijk van het type golf (golfsteilheid) in relatie tot de taludhelling, het type filter onder de bekleding en de doorlatendheid van de bekleding. Het enige dat afwijkt voor GeoCrete is dat de maximale buigtrekspanning anders is en dat GeoCrete ondoorlatend is. Voor dit faalmechanisme kan de ontwerpmethodiek zoals in [5] wordt beschreven worden gebruikt. Aanbevolen wordt om voor de maximale breuksterkte 0,55 MPa aan te houden.

In het voorliggende rapport wordt een ontwerpmethodiek voor falen als gevolg van golfklapbelasting nader uitgewerkt.

4.2 Afleiding

Het Technisch Rapport Asphalt voor Waterkeren [3] geeft in Bijlage 6 de volgende vier formules om de optredende breuksterkte te berekenen als functie van de optredende golfconditie en laagdikte.



Figuur 4.1 Schematisatie van het systeem [3]

$$\sigma = (p_{\max} / 4\beta^2\beta z)[1 - e^{-\beta z}(\cos(\beta z) + \sin(\beta z))]6/d^2$$

$$\beta = (3c(1-u^2)/Ed^3)^{1/4}$$

$$p_{\max} = \rho_w g q H_s$$

$$q = 4 \tan(\alpha) \cdot q_r$$

waarin:

σ	= optredende breuksterkte	(MPa)
p_{\max}	= maximale drukstoot	(MPa)
d	= laagdikte	(m)
z	= halve breedte driehoeksbelasting	(m)
H	= maatgevende golfhoogte uit het golfspectrum	(m)
c	= beddingsconstante van de ondergrond	(MPa/m)
E	= elasticiteitsmodulus	(MPa)
u	= constante van Poisson voor GeoCrete	(-)
ρ_w	= soortelijke massa van water = 1025 kg/m ³	(kg/m ³)
g	= versnelling als gevolg van de zwaartekracht	(m/s ²)
q	= stootfactor afhankelijk van de taludhelling	(-)
q_r	= stootfactor bij een taludhelling 1 : 4 maximum= 6	(-)
α	= de taludhelling	(°)

Via de relatie $q = 4 \tan(\alpha) \cdot q_r$ kan de stootfactor voor andere taludhellingen worden berekend, voor een talud 1 : 3 is de maximum stootfactor 8. NB Het uitgangspunt van $q_r = 6$ voor een taludhelling is 1 : 4 komt uit modelonderzoek. Bij dit onderzoek werd als gemiddelde stootfactor 3,6 gevonden, de keuze om 6 te gebruiken is derhalve een conservatieve aanname.

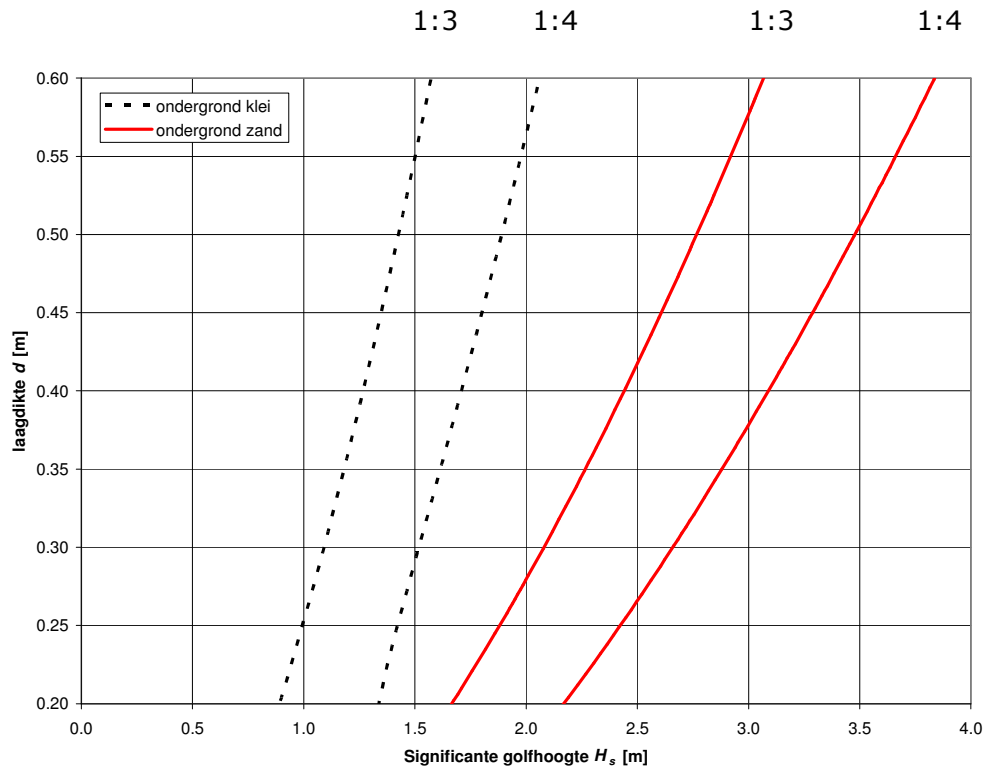
Infram heeft een Excel programma geschreven waarmee deze set formules kan worden opgelost.

Uitgaande van de volgende uitgangspunten:

c	beddingconstante voor de ondergrond	: 30 (klei) en 100 (zand)
u	constante van Poisson van het GeoCrete	: 0,35
α	taludhelling	: 1 : 3 en 1 : 4
σ	maximaal toelaatbare breuksterkte	: 0,55 MPa
E	Elasticiteitsmodulus	: 1584 Mpa
z	maatgevende belastingbreedte	: $z = H_s$ (klei) en $z = 0,13 H_s$ (zand)

De optredende spanning in de bekleding wordt mede bepaald door de breedte van de golfbelasting. Nagegaan moest worden bij welke waarde van z de meest ongunstigste uitkomst voor de breuksterkte wordt verkregen. Bij klei als ondergrond bleek dit bij $z = H_s$ te zijn terwijl bij zand als ondergrond dit $z = 0,13 H_s$ te zijn.

In de onderstaande grafiek (Figuur 4.2) zijn de gevonden ontwerpgrafieken voor GeoCrete weergegeven.



Figuur 4.2: Relatie tussen laagdikte en toelaatbare ontwerpgolfhoogte (uitgaande van $\sigma = 0,55$ Mpa)

De aldus berekende laagdikte is de minimale laagdikte die gerealiseerd moet worden. Door de wijze van aanbrengen van het materiaal "Mixed in place" zal de laagdikte sterk kunnen variëren. De lengte van de boorkernen bij Kats varieerde tussen 21 en 34 cm. (gemiddelde dikte 29 cm met een standaard deviatie van 6 cm).

De afwijking van de gemiddelde dikte zal vrijwel geheel een functie zijn van de wijze van aanbrengen en nauwelijks van de gewenste dikte. Vandaar dat de berekende laagdikte, de minimaal vereiste dikte, moet worden vermeerderd met 6 cm om de gemiddeld aan te brengen laagdikte te krijgen.

4.3 Gevoeligheid van de ontwerpformule

Uitgangspunt voor de ontwerpformule is vaste relatie tussen breuksterkte en de elasticiteitsmodulus. Bij een lage karakteristieke breuksterkte hoort een lage elasticiteitsmodulus. Uit vergelijkende berekeningen blijkt dat de meest ongunstige relatie tussen laagdikte en elasticiteitsmodulus wordt gevonden bij een lage breuksterkte in combinatie met een lage elasticiteitsmodulus ($\sigma = 0,55$ MPa en $E = 1584$ MPa). Indien de gemiddelde waarden uit de onderzochte monsters worden gebruikt ($\sigma = 1,56$ MPa en $E = 4804$) dan zijn de berekende toelaatbare golfhoogtes bij een bepaalde laagdikte minimaal 1,5 keer hoger. De invloed van de breuksterkte is groter dan die van de elasticiteitsmodulus.

Arbitrair is de laagst gevonden breuksterkte als karakteristieke breuksterkte voor GeoCrete toegepast. De aldus geïntroduceerde (beperkte) veiligheid in de berekening wordt als voldoende beschouwd, zeker als wordt meegenomen dat scheurvorming in de plaat aan de onderkant van de plaat plaats vindt en niet direct tot verdere schade dan wel falen zal leiden.

Als de ontwerprelatie voor GeoCrete wordt vergeleken met die van vergelijkbare materialen zoals waterbouwasfaltbeton, open steenasfalt en met asfalt gepenetreerde breuksteen dan komen de resultaten van GeoCrete het dichtst bij die van open steenasfalt (zie de bladzijden 317 en 318 van het VTV [4]). Zij het dat de toelaatbare golfhoogte bij een bepaalde laagdikte voor GeoCrete minder dan 50% van die voor open steenasfalt is.

5 Ontwerpmethodiek GeoCrete

Een door GeoCrete versterkte laag loskorrelig materiaal (grind, breuksteen e.d.) valt onder de categorie plaatbekleding. Voor een plaatbekleding moeten de volgende bezwijkmechanisme worden beschouwd, zie Figuur B6.1.3 uit de leidraad Zee- en Meerdijken [1]:

- Oplichten
- Breuk
- Afschuiven
- Overgangen
- Veroudering

Voor de bezwijkmechanismen "Oplichten" en "Afschuiven" is ontwerpmethodiek voor een toplaag met GeoCrete niet anders dan die voor andere plaatbekledingen. De gemiddelde soortelijke massa van het GeoCrete toplaag zoals deze bij Kats is aangebracht is 1845 kg/m^3 , de bijbehorende standaard afwijking is 117 kg/m^3 . Uit het onderzoek blijkt dat er een relatief grote variatie in de soortelijke massa van de verschillende boorkernen zit, dit is met name veroorzaakt door de toegepaste "mixed in place" methode voor het aanbrengen. De soortelijke massa is sterk afhankelijk van de soortelijke massa en de porositeit van het toelagmateriaal. Om praktische redenen beperkt de toepasbaarheid van GeoCrete zich tot een laagdikte tussen de 0,2 m en 0,5 m.

Wat betreft veroudering zijn er geen gegevens bekend.

Voor "Breuk" door golfklappen op het talud kan gebruik worden gemaakt van Figuur 4.2 uit dit rapport. Met hierbij de aantekening dat de benodigde laagdikte met minimaal 6 cm moet worden vermeerderd om te compenseren voor de maakonnauwkeurigheid, die aan de "Mixed in place" methode verbonden is.

De sterkte van met een GeoCrete versterkte toplaag kan erg variëren. De kwaliteit van het gemaakte werk is eenvoudig te controleren. Bij het opstellen van de ontwerpgrafiek is er van uitgegaan dat het gemaakte werk dusdanig wordt gecontroleerd dat echt slechte stukken (slecht gemengd) niet voorkomen.

Referenties

- [1] Leidraad "Zee- en Meerdijken" (basisrapport); TAW, december 1999
- [2] Vaststellen ontwerpparameters van GeoCrete; KOAC-NPC, augustus 2007
- [3] Technisch Rapport "Asfalt voor Waterkeren"; TAW, november 2002
- [4] Voorschrift Toetsen op Veiligheid (VTV) ; Ministerie van Verkeer en Waterstaat, september 2007
- [5] Cementbetonnen plaatbekledingen op dijken en oevers
CUR 156 dd maart 1992

BIJLAGEN

A. Samenvatting lab. resultaten [2]

In de onderstaande tabel zijn de belangrijkste resultaten van het materiaalonderzoek samengevat [2]

monster	soortelijke massa	breuksterkte	Elasticiteitsmodulus
	kg/m ³	MPa	MPa
B1-1	1781	1,24	
B1-2	1775	1,36	3852
B2-1	1801	1,15	
B2-2	1780	1,53	4263
B3-1	1825	0,82	
B3-2	1807	1,70	5267
B4-1	1821	0,36	
B4-2	1810	0,74	2151
B6-1	1913	1,56	
B6-2	1899	1,89	7013
B7-1	2024	3,34	
B7-2	2011	3,32	10149
B8-1	1969	0,98	
B8-2	2006	1,87	5651