

BB 87.07



GRONDMECHANICA
DELFT



BB 07.07

RESULTATEN VAN BEPALING VAN
VOLUMEVERANDERING DOOR VERANDERING
VAN ZUIGSPANNING IN ONVERZADIGDE
KLEIGROND

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefax 015-610821
Telex 38234 soil nl
Telefoon 015-569223

Postgiro 234342
Bank Mees en Hope NV
Reknr. 25.92.35.911
K.v.K. S145040 Delft



**GRONDMECHANICA
DELFT**

**RESULTATEN VAN BEPALING VAN VOLUMEVERANDERING DOOR VERANDERING VAN
ZUIGSPANNING IN ONVERZADIGDE KLEIGROND**

CO- 275923/33
augustus 1987
Kru/kru/kru.not

Opgesteld in opdracht van:
Rijkswaterstaat Dienst Weg- en Waterbouwkunde
Delft

AFDELING GROND EN GRONDKERENDE CONSTRUCTIES
projectleider: Drs. G.A.M. Kruse
projectbegeleider: Ing. J. Dekker
afdelingshoofd: Ir. J.W. Sip

bladnummer : 2
ons kenmerk: CO-275923/33
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

Inhoud:

1.	INLEIDING	3
2.	METHODEN	4
3.	RESULTATEN	7
4.	CONCLUSIES	15
	Literatuur	16



1. INLEIDING

Het hier gerapporteerde onderzoek is uitgevoerd in het kader van het ontwikkelen van keuringseisen voor kleigrond voor bekleding van dijken door de Dienst Weg- en Waterbouwkunde van de Rijkswaterstaat. Het verband tussen het volume van een monster van onverzadigde grond uit een kleibekleding en de daarin aangebrachte zuigspanning is in dit onderzoek nagegaan, evenals het vochtgehalte bij de betreffende zuigspanningen. Deze bepalingen maken deel uit van een meeromvattend onderzoek dat afzonderlijk aan de Dienst Weg- en Waterbouwkunde is gerapporteerd (GD 1987).

De verandering van volume, krimpen en zwellen, van grond is van belang voor het vormen van structuur in kleibekledingen. Deze structuur lijkt in hoge mate het constructieve gedrag van een kleibekleding te bepalen (GD 1986, GD 1987). Genoemde onderzoeken geven aan dat er een verband tussen de droge volumieke massa en het watergehalte van de onderzochte kleigronden bestaat. De volumieke massa neemt toe met afnemend watergehalte. Beschikbare gegevens en algemene overwegingen leidden ertoe te veronderstellen dat de hogere volumieke massa een gevolg is van het krimpen van de grond samenhangend met het afnemen van het watergehalte. Er bestond echter nog de mogelijkheid dat gronden met een hogere volumieke massa in het algemeen een wat lager watergehalte hebben. Teneinde na te gaan:

- de eventuele rol van dit laatste gepostuleerde verschijnsel na te gaan;
- eenduidige gegevens over volumeverandering van grond onder invloed van watergehalteverandering te verkrijgen.

De resultaten van het onderzoek geven aan dat de volumes van de monsters op een regelmatige wijze veranderden door verandering van de aangelegde zuigspanning en het daarmee samenhangende vochtgehalte.

De experimenten zijn uitgevoerd in het najaar van 1986 en het voorjaar van 1987. De tijd die nodig was om het watergehalte van de monsters in evenwicht te laten geraken met de aangelegde negatieve waterspanning was veel langer dan aanvankelijk was geschat. Het is gebleken dat voor elke aangelegde zuigspanning een periode van enige weken nodig was. Het onderzoek kon daardoor niet in het rapport GD 1987 worden opgenomen.



2. METHODEN

De monsters voor de proeven zijn gesneden uit blokmonsters genomen uit kleibekledingen. De monsterlocaties enige gegevens over de grond aldaar zijn in tabel 1 weergegeven. Nadere gegevens over de onderzochte gronden zijn elders (GD 1987) voorhanden.

De zuigspanningen 2.0, 2.7, 3.0, tot $pF = 3.5$ zijn aangelegd in een pF -bak via een membraan waarop het monster lag. De hogere zuigspanningswaarden, 4.2 en 5.3 zijn aangelegd door de monsters in een afgesloten bak te brengen en in evenwicht te laten geraken met zoutoplossing met de gewenste osmotische waarden.

De volumes van de monsters zijn bepaald door middel van onderdompeling in kwik. De kubusvormige monsters met zijden van ongeveer 55 mm waren voldoende groot om de volumebepaling voldoende nauwkeurig uit te voeren voor een vergelijkend onderzoek met deze methode.

De watergehalten van de monsters zijn door middel van weging bepaald. Door kwiksporen op de monsters is het watergehalte waarschijnlijk steeds enigszins hoger aangegeven in de resultaten van de gravimetrische bepaling.

Zoals gezegd neemt het in evenwicht brengen van de onderzochte kleigronden met een aangelegde zuigspanning een tijd van enige weken in beslag. Deze tijd is afhankelijk van de grootte van het monster en van het aangelegde verschil in zuigspanning waardoor watergehalteverandering optreedt. De proeven zijn daarom in 2 fasen uitgevoerd.

In de eerste fase is van grotere kubus- vormige monsters, circa 0.25 kg, de volumeverandering en het watergehalte bepaald tijdens ontwateren bij een zeer hoge zuigspanning, $pF = 5.3$.

In de tweede fase is van veel kleinere deelmonsters het watergehalte bepaald na het in evenwicht brengen met de verschillende aangelegde zuigspanningen.

De resultaten betreffende de relatie tussen zuigspanning en volumeverandering zijn dus niet rechtstreekt bepaald. De relatie tussen watergehalte van het monster van ongeveer 0.25 kg en het volume ervan is wel direct bepaald.

De gemeten volumeveranderingen van de monsters bij een bepaald verschil in aangelegde zuigspanning zoals in de resultaten vermeld, zijn globale benaderingen. Immers de volumina zijn bepaald terwijl het monster in evenwicht gebracht werd met een zeer hoge zuigspanning. De monsters zullen daardoor aan de buitenzijde enigszins droger zijn geweest dan binnenin. De volumeverandering is aangegeven voor vochtgehalten die een gemiddelde zijn van het gehele monster. De

bladnummer : 5
ons kenmerk: CO-275923/33
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

buitenzijde van de monsters zal echter een hogere volumieke massa hebben bij een bepaalde zuigspanning dan de relatie zuigspanning-watergehalte aangeeft. De binnenkant van de monsters zal dan een relatief geringere volumieke massa vertonen.

Een aantal grafieken in de figuren 1 en 2 vertoont een enigszins afwijkend gedrag rond de pF- waarden 3 en of 3.5. Aangezien deze afwijking niet als zodanig in de pF- cuven is terug te vinden, lijkt het waarschijnlijk dat de afwijking is veroorzaakt door kwik in de monsters. Door dit kwik is het watergehalte te hoog aangegeven, en is de daaruit afgeleide zuigspanning te laag aangegeven.

bladnummer : 6
 ons kenmerk: CO-275923/33
 datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
 DELFT

No.	Locatie:	eigenschappen van andere monsters van die locatie:				
		lutum: gew.%	org.stof: gew.%	kalk: gew.%	vloeigrens: gew.%	water NaCl- gehalte(ppm)
72	Har2,o	29.6	1.2	18.3	37.4	116.3
73	Har2,d	idem Har2,o				
77	Har3,o	28.4	1.0	18.8	37.9	30.9
78	Har3,d	idem Har3,o				
81	Hol3,o	33.0	4.8	19.9	70.3	3981
82	Hol3,d	idem Hol3,o				
87	Waa2,o	27.6	4.1	27.0	65.2	404.9
88	Waa2,d	idem Waa2,o				
94	Waa3,o	26.1	4.7	25.2	64.8	144.9
95	Waa3,d	idem Waa3,o				
97	Bar2,o	31.0	3.6	20.1	55.4	46.8
99	Bar2,d	idem Bar2,o				
102	Bar3,o	27.6	1.5	18.5	44.4	23.6
104	Bar3,d	idem Bar3,o				

Tabel 1: Enige karakteristieken van de beproefde monsters (uit GD 1987, zie dat rapport voor nadere informatie).
 Verklaring locatie- aanduiding: Har= Harlingen; Bar=Barendrecht;
 Hol= Holwerd; Waa= Waarde; 2= locatie bij teen van dijk; 3=
 locatie bij kruin; o= ondiep (ca. 0.3m); d= dieper (ca. 0.7m).

No.	pF = 2.0		2.7		3.0		3.5		4.2		5.3	
	%w	ΔV	%w	ΔV	%w	ΔV	%w	ΔV	%w	ΔV	%w	ΔV
72	19.0	0.0	18.8	0.5	18.7	0.5	15.3	2.5	10.9	5.5	1.0	12.0
73	20.0	0.0	19.8	0.5	19.9	0.5	14.4	3.0	9.9	5.0	1.0	7.6
77	20.0	0.0	18.1	0.5	17.1	1.5	12.5	3.5	9.7	4.0	1.2	7.1
78	16.7	0.0	15.9	0.5	15.1	0.5	11.7	3.0	8.1	3.5	1.6	5.8
81	35.0	0.0	31.6	1.5	30.0	2.0	25.9	4.0	21.0	7.5	1.6	13.0
82	43.4	0.0	36.2	5.8	33.6	10.5	27.9	11.3	23.5	12.8	2.3	18.3
87	19.4	0.0	19.0	0.5	18.7	0.5	13.8	1.8	8.3	2.5	2.9	4.4
88	28.5	0.0	27.2	1.0	26.1	2.0	23.1	5.8	22.4	7.0	1.3	12.5
94	17.0	0.0	16.0	0.1	15.9	0.1	10.4	1.0	9.8	1.5	1.0	4.0
95	25.6	0.0	21.8	1.8	18.1	4.5	17.7	4.5	12.0	5.7	2.1	8.3
97	21.4	0.0	20.3	0.3	20.2	0.4	18.2	1.0	14.8	3.6	2.3	10.4
99	20.5	0.0	19.1	1.4	18.8	1.5	17.7	2.8	12.6	5.5	1.8	9.8
102	19.6	0.0	16.4	1.5	14.1	2.7	13.2	3.0	12.0	3.1	1.6	6.4
104	16.3	0.0	15.2	0.5	5.1	0.7	13.8	1.1	8.4	4.5	1.9	6.6

Tabel 2: Watergehalte, volumeverandering van grond en de negatieve waterspanning in onverzadigde grond:
 No.= monsternummer
 %w = watergehalte in gewichtsprocenten
 ΔV = volumeverandering in volumeprocenten
 zuigspanning in pF- waarden (pF= log (waterkolom in cm))



3. RESULTATEN

De tabel 1 vermeldt de monsterlocaties en enige karakteristieken van de dijkbekleding waaruit de monsters zijn genomen. In de tabel 2 zijn de watergehalten en de volumeveranderingen ten opzichte van $pF=2.0$ weergegeven voor de verschillende zuigspanningen. In de figuur 1 is het watergehalte tegen de zuigspanning (pF -curve) en de volumeverandering uitgezet. In de figuur 2 is de volumeverandering tegen de zuigspanning uitgezet. De figuren 3, 4, 5 en 6 geven overzichten van de waarden van watergehalte, watergehalteverandering, volumeverandering, en zuigspanning voor alle monsters. De figuur 7 geeft de verhouding tussen watergehalteverandering en volumeverandering weer voor verschillende pF -waarden.

De volumeverandering uitgezet tegen het watergehalte, zie figuur 1, resulteert in veelal lineaire tot zwak convexe krommen. De volumeverandering uitgezet tegen de zuigspanning, zie figuur 2, heeft veelal enigszins concave krommen als resultaat indien afwijken de volumeverandering naar $pF=3$ of 3.5 voor sommige grafieken buiten beschouwing worden gelaten.

De verhouding tussen volumeverandering en zuigspanningsverandering zoals in de figuur 2 kan worden afgeleid is voor het traject beneden $pF=3$ tot 3.5 veelal lager dan boven deze grens. Boven $pF=3$ tot 3.5 varieert de volumeverandering per pF -eenheid van 2% tot meer dan 6%.

Uit de grafiek figuur 5 kan worden afgeleid dat er een aanzienlijke spreiding bestaat in de volumeverandering bij een bepaalde verandering in watergehalte. Er is echter een globale lineaire trend herkenbaar met een verhouding tussen volume- en watergehalteverandering van 0.3 tot 0.7.

In de figuur 6 is de volumeverandering uitgezet tegen de watergehalteverandering voor opeenvolgende pF -waarden. De waarnemingen vertonen evenals in figuur 5 een enigszins lineaire trend. De spreiding is echter zeer hoog.

In figuur 7 is de verhouding tussen volume- en watergehalteverandering voor opeenvolgende pF -waarden uitgezet tegen de laagste waarde van het betreffende zuigspanningstraject (in pF -eenheden). Deze verhouding blijkt behalve voor het traject van $pF=4.2 - 5.3$ niet beïnvloed te worden door de zuigspanning indien de resultaten van alle monsters worden uitgezet. De verhouding heeft in het hoge zuigspanningstraject minder spreiding en is gemiddeld enigszins lager (ongeveer 0.3).

Bovenstaande waarnemingen leiden ertoe er voorshands van uit te gaan dat vooral de toe- dan wel afgevoerde hoeveelheid water de grootte van de volumeverandering van onverzadigde kleigrond bepaald bij verandering van zuigspanning. De hoogte van de zuigspanning en de grootte van de verandering daarin lijkt van minder invloed dan wel

bladnummer : 8
ons kenmerk: CO-275923/33
datum : augustus 1987



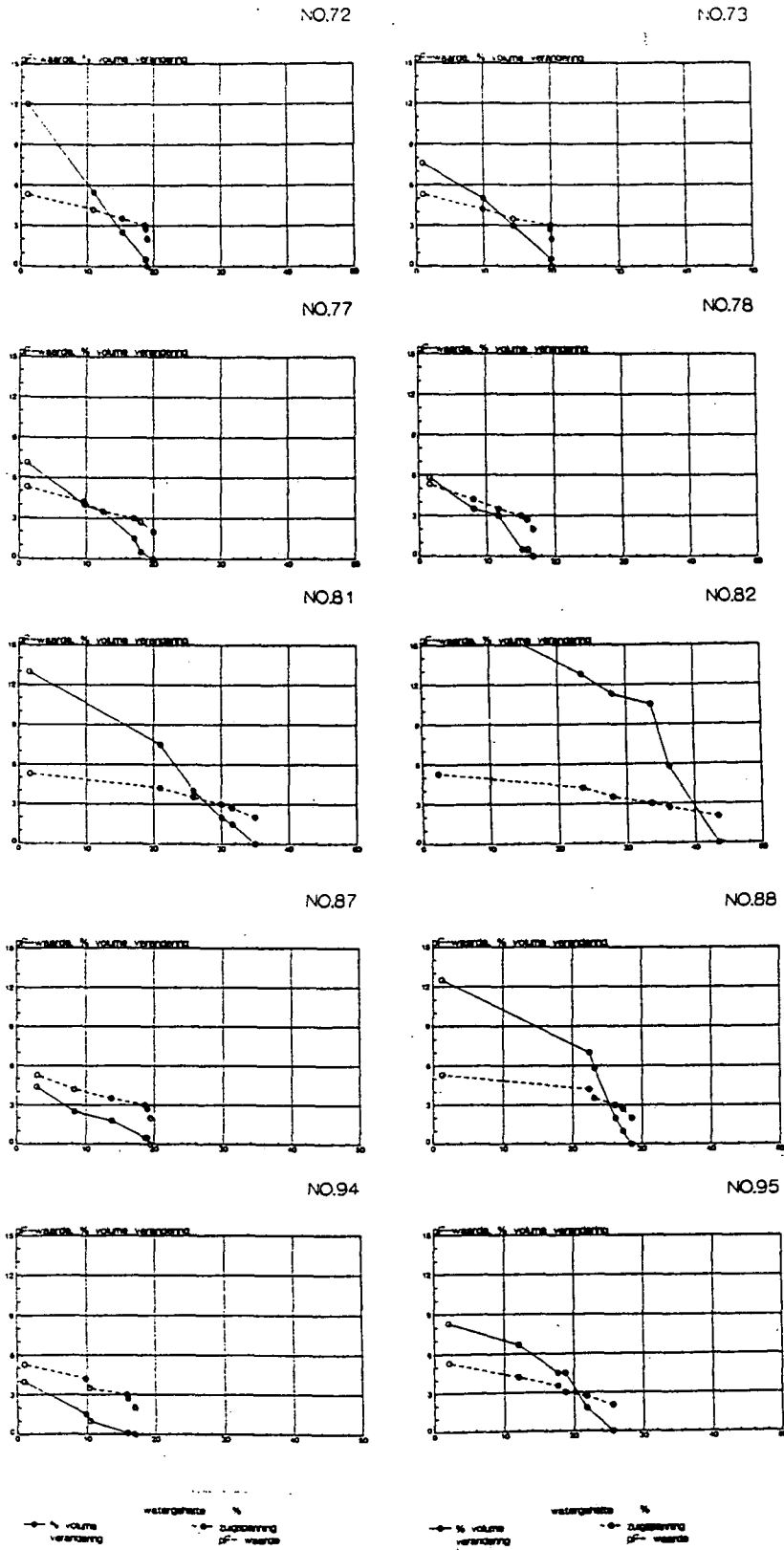
GRONDMECHANICA
DELFT

indirecte invloed op de volumeverandering te zijn. De capillaire krachten zijn derhalve van indirect belang voor het volume dat het skelet van vaste- stofdeeltjes inneemt. Een in de mechanische zin elastisch vervormbaar skelet waarin capillaire krachten het skelet samentrekken bij indrogen van de grond lijkt dus niet van toepassing te zijn.

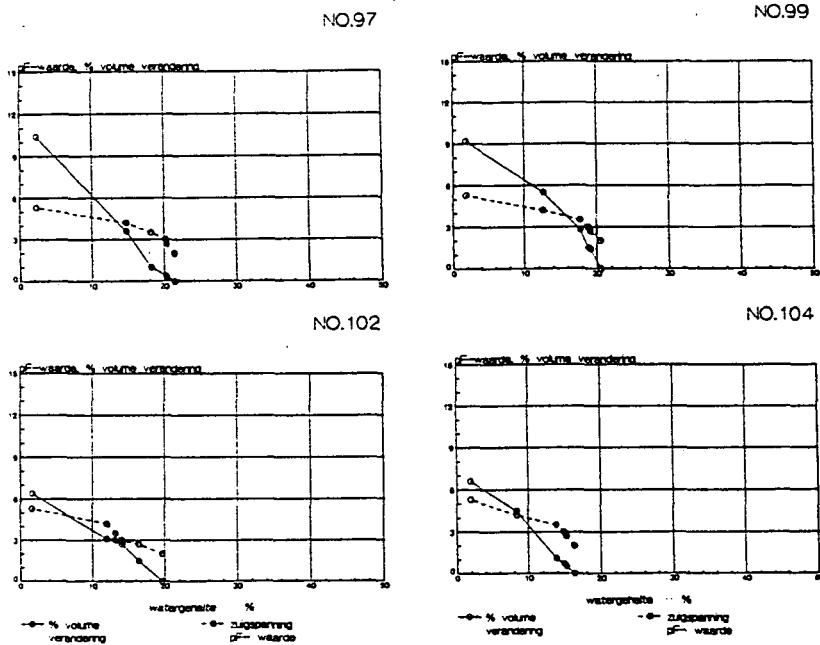
Nadere analyse van de effecten van capillaire spanningen, osmotische potentialen en van de eventuele geometrische consequenties van watergehalteverandering is nodig voor een meer onderbouwd constitutief model van het krimpen en zwellen van grond.

In het rapport referentie GD 1987 wordt ingegaan op invloeden op de relatie tussen zuigspanning en watergehalte van de onderzochte gronden. Het NaCl- gehalte en de samenstelling van het adsorptie-complex lijken daarop van invloed. De mate van volumeveranderingen zoals die uit vergelijking van droge volumieke massa's van de onderzochte gronden uit dat onderzoek naar voren komt lijkt eveneens met de kationensamenstelling samen te hangen.

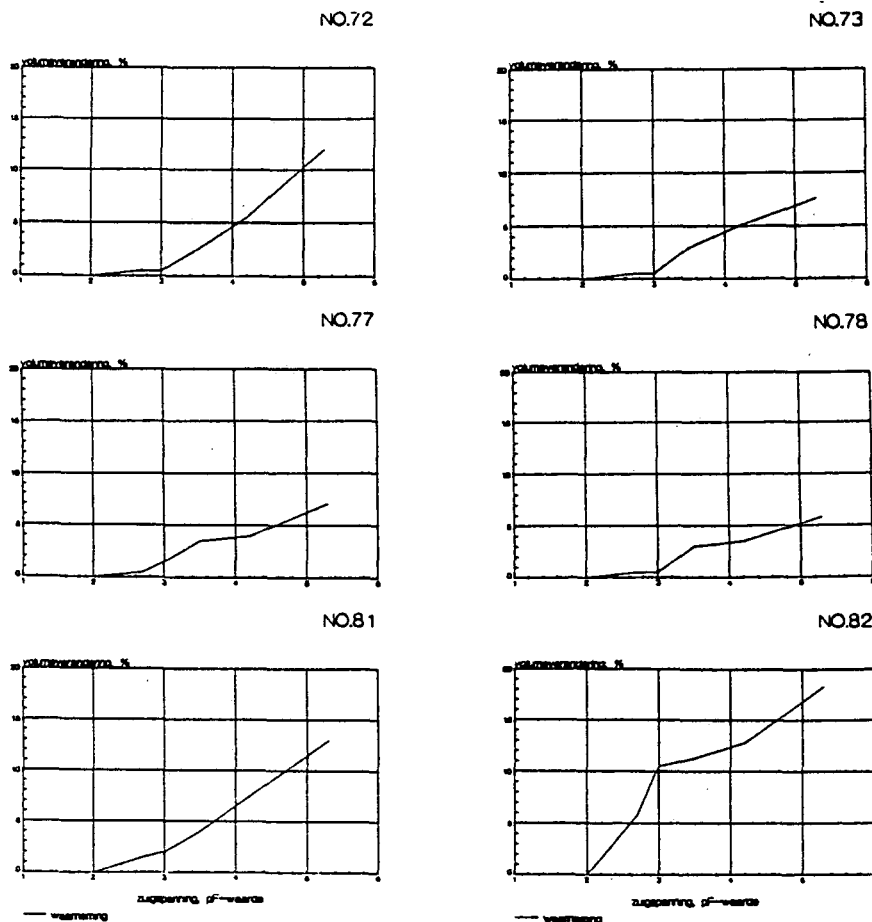
Uit de resultaten van het hier gerapporteerde onderzoek blijkt dat de gronden met relatief hogere zoutconcentraties (NaCl- gehalten) grotere volumeveranderingen ondergaan in het onderzochte zuigspanningstraject. Deze monsters zijn afkomstig van een pas aangebrachte klei op een dijk bij Holwerd (no.'s 81 en 82) en van de ondergrond op een diepte van circa 0.7 m nabij de teen van een dijk langs een kwelder nabij Waarde. De monsters van de bekleding nabij de teen van een dijk bij Barendrecht vertonen eveneens een relatief grote volumeverandering. Deze verandering lijkt meer met de nogal afwijkende kationenbezetting te maken te hebben (zie GD 1987).



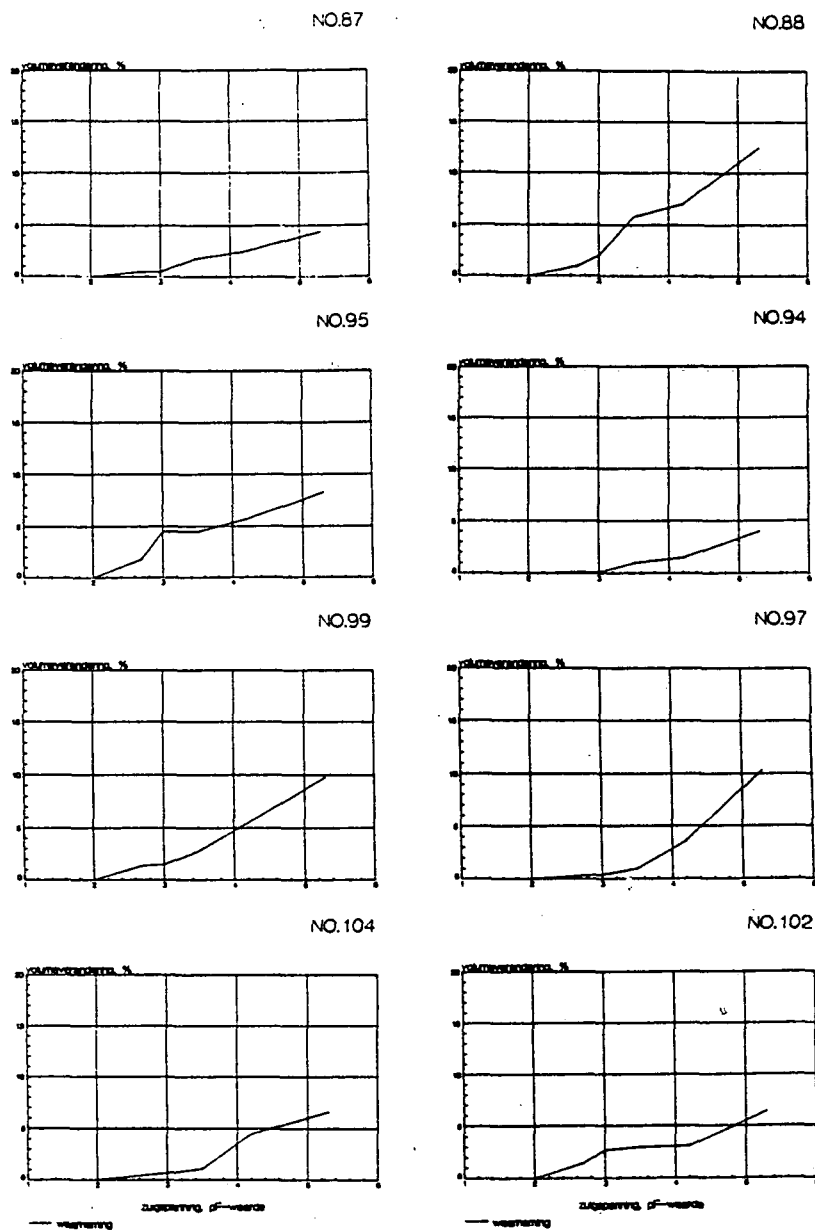
Figuur 1, zie ook volgende blad.



Figuur 1: Het watergehalte van de deelmonsters bij de aangegeven zuigspanningswaarde in pF- eenheden ($pF = \log(\text{waterkolom in cm})$) en het % volumeverandering van de monsters van het watergehalte bij $pF = 2$ tot het aangegeven watergehalte.



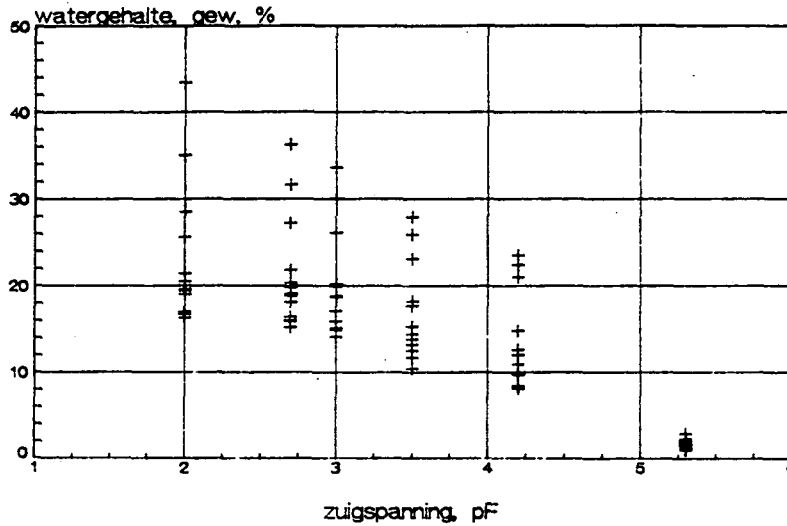
Figuur 2, zie ook volgende blad.



Figuur 2: De volumeverandering van de monsters bij verandering van zuigspanning. Aangegeven is de volumeverandering in % bij verhoging van de zuigspanning van $pF=2$ tot de aangegeven waarde.

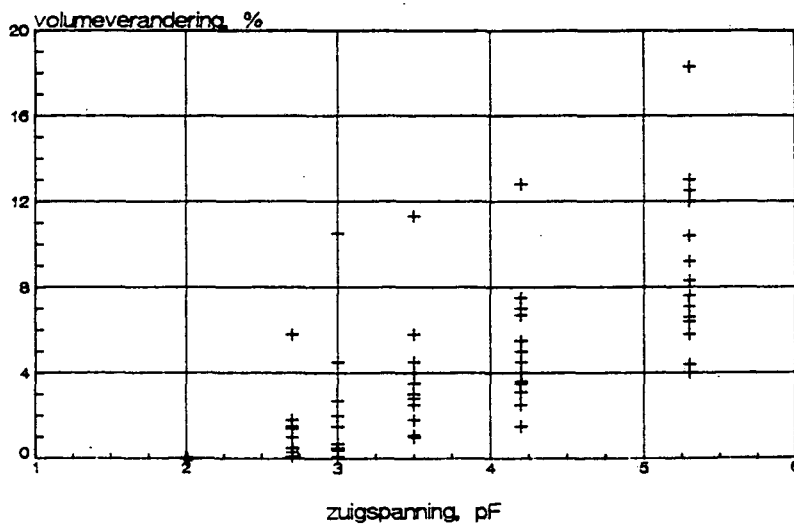


ZUIGSPANNING EN WATERGEHALTE
 alle monsters



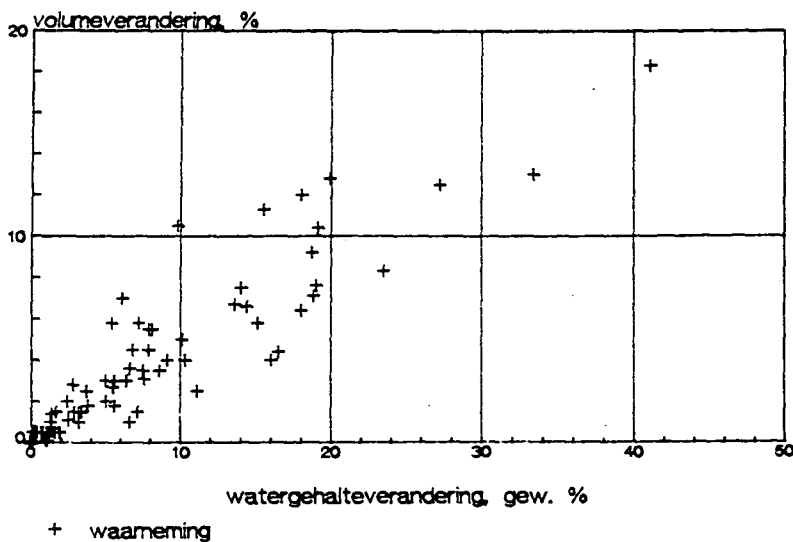
Figuur 3: Het watergehalte van de deelmonsters (gew. %) bij bepaalde zuigspanning (in pF- eenheden). In de figuur 1 zijn de watergehalten voor de individuele deelmonsters weergegeven. Het watergehalte bij hoge zuigspanningen (pF= 5.3) varieert weinig en bedraagt 0.5 tot 1.5 %. Bij lage zuigspanning (pF= 2.0) varieert het watergehalte van 15% tot meer dan 40%. De monsters met hogere NaCl- gehalten hebben veelal hogere watergehalten.

ZUIGSPANNING EN VOLUMEVERANDERING
 alle monsters (geextrapoleerd)



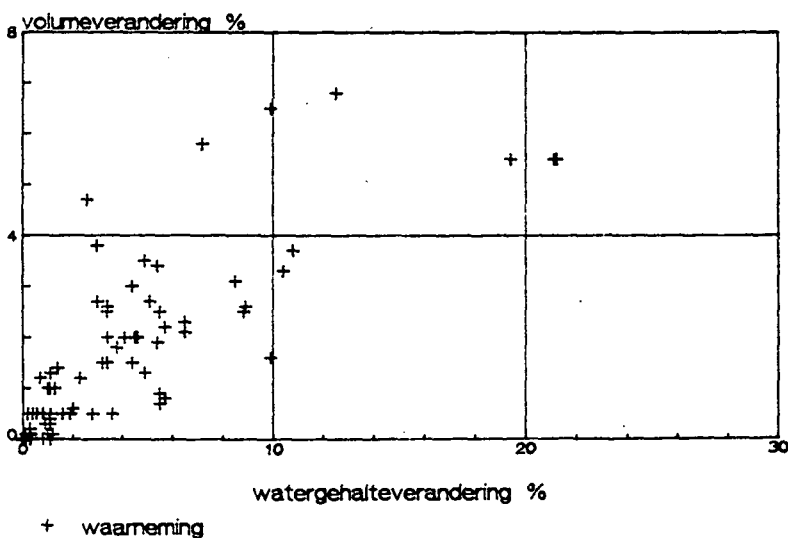
Figuur 4: De volumeverandering van de monsters bij verhogen van de zuigspanning van pF= 2 tot de aangegeven waarde. De hoogste waarden voor de volumeverandering treden op bij een grond met een hoog zoutgehalte. Voor de overige gronden vertoont de mate van volumeverandering een relatie met onder andere zoutgehalte en kationenbezetting (zie ook GD 1987).

VERANDERING VAN WATERGEHALTE t.o.v. $pF=2$ EN VOLUMEVERANDERING



Figuur 5: De volumeverandering van de monsters uitgezet tegen watergehalteverandering ten opzichte van het watergehalte bij $pF=2$. Er is een globale lineaire trend herkenbaar in de spreiding van de waarnemingen.

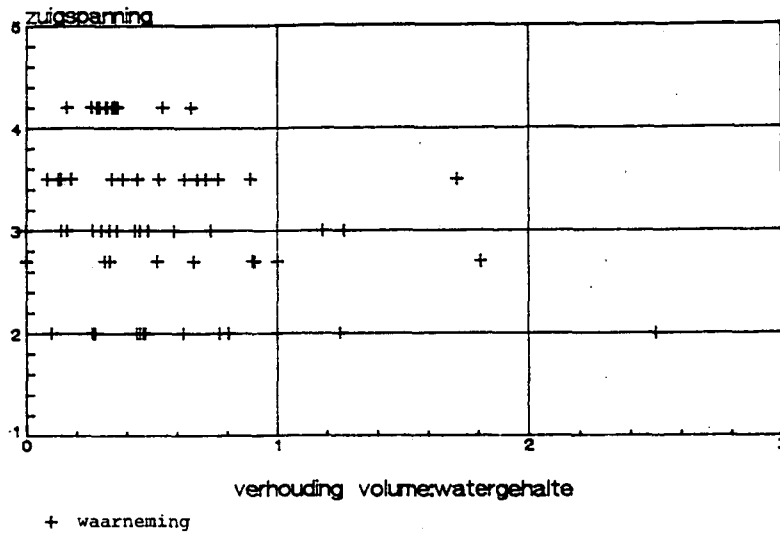
VOLUMEVERANDERING EN WATERGEHALTEVERANDERING



Figuur 6: De volumeverandering van de monsters uitgezet tegen de watergehalteverandering tussen opeenvolgende pF -waarden.



VERHOUDING VOLUMEVERANDERING: WATERGEHALTEVERANDERING



Figuur 7: De verhouding tussen volumeverandering en watergehalteverandering tussen opeenvolgende pF- waarden uitgezet tegen de pF- waarden aan de ondergrens van de pF- trajecten. Voor de meeste monsters varieert de verhouding tussen ongeveer 0.2 en 0.8 en is voor het pF- traject tussen 4.2 en 5.3 relatief laag.



4. CONCLUSIES

Van 14 monsters zijn de verandering van watergehalte en de volumeverandering bepaald die samenhangen met verandering van zuigspanning. De bepalingen zijn uitgevoerd in het kader van het onderzoek naar de ontwikkeling van constructieve eigenschappen van kleibekledingen. De monsters zijn afkomstig van dijkbekledingen van dijken met een grasvegetatie.

Zoals verwacht, nam het volume van de onderzochte kleigrond af met het toenemen van de zuigspanning en het afnemen van het watergehalte in de proeven. De verhouding tussen verandering van watergehalte en verandering van volume vertoont een grote spreiding. Een gemiddelde verhouding

$$\text{watergehalteverandering} / \text{volumeverandering} = 0.3 \text{ tot } 0.6$$

geeft het bereik in het onderzochte zuigspanningstraject weer. De volumeverandering kan van ongeveer 2% tot meer dan 6 % bedragen per pF eenheid in het zuigspanningstraject boven circa pF=3.0.

De monsters uit dijkbekledingen met hogere zoutgehaltes (als gevolg van omgevingsomstandigheden zowel als gevolg van een hoog zoutgehalte bij aanbrengen) vertonen een relatief grote volumeverandering bij verandering van zuigspanning.

De volumeveranderingen lijken eerder samen te hangen met de hoeveelheid aan- dan wel afgevoerd water dan met eventuele mechanisch elastische volumeverandering van het vaste stofskelet die door capillaire krachten veroorzaakt zou worden.

bladnummer : 16
ons kenmerk: CO-275923/33
datum : augustus 1987



GRONDMECHANICA
DELFT

Literatuur:

GD 1986: Onderzoek van kleibekledingen van dijken langs IJssel en Pannerdens Kanaal voor het ontwikkelen van keuringseisen voor klei. Rapport CO-275921/47 opgesteld voor RWS DWW, 101 pp.

GD 1987: Onderzoek van kleibekledingen van dijken aan zout en brak water in Friesland, Zuid Holland en Zeeland voor het ontwikkelen van keuringseisen voor klei. Rapport CO-275923/29 opgesteld voor RWS DWW, 101 pp.

Stieltjesweg 2
Postbus 69, 2600 AB Delft
Telefoon 015-569223
Telex 38234 soij nl
Telefax 015-610821

