

Statische verweking talud

Handleiding Windows versie SLIQ2D

Trefwoorden

Gebruikershandleiding SLIQ2D

Samenvatting

SLIQ2D is een quasi-2D computerprogramma waarmee het optreden voorspeld kan worden van een verwekingsvloeiing ofwel een instabiliteit van een onderwatertalud ten gevolge van verweking, gegeven de taludhelling, relatieve dichtheid en materiaaleigenschappen van het zand.

Onderhavig rapport bevat:

- een gebruikershandleiding voor de Windows versie van het rekenmodel SLIQ2D, waarin het rekenhart van het oorspronkelijke model onveranderd is gebleven, maar met een verbeterde grafische presentatie van invoer (geometrie talud) en resultaten en enkele extra mogelijkheden wat betreft invoer van taludgeometrie.
- bepaling invoerparameters SLIQ2D, zowel voor het geval laboratoriumproeven zijn gedaan, als voor het geval weinig gegevens beschikbaar zijn.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	04-07-2009	Geeralt van den Ham		Maarten de Groot			

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Getting started	2
2.1	View input & output	2
2.2	Files	2
2.3	Geometrie	2
2.3.1	Constance/variabele taludhelling	2
2.3.2	Volledig onderwater talud	3
2.3.3	Gedeeltelijk onderwatertalud	3
2.4	Weergave metastabiele punten (output)	3
3	Bepaling grondparameters SLIQ2D	4
3.1	Overzicht	4
3.2	Beschrijving isotrope ontlasting	4
3.3	Beschrijving contractie en dilatantie	6
3.4	Bepaling SLIQ2D parameters uit laboratoriumproeven	7
3.4.1	Correctie voor membraanindringing	8
3.4.2	Parameter u afgeleid uit isotrope belastings-ontlastingsproef	8
3.4.3	Parameters K_{s01} en $\frac{\partial K_{s0}}{\partial I_D}$ afgeleid uit isotrope ontlastingsproeven:	9
3.4.4	Parameter s_2 afgeleid uit afschuifproeven	10
3.4.5	Parameters s_{m2-0} en $\frac{\partial s_{m2}}{\partial I_D}$ afgeleid uit afschuifproeven	10
3.4.6	Parameters I_{D1} , v en Ced afgeleid uit afschuifproeven	11
3.5	Parameters uit oude projecten	13
3.5.1	Parameters K_{s01} en $\partial K_{s0}/\partial I_D$	13
3.5.2	Parameters I_{D1} en Ced	13
3.5.3	Parameter s_2	13
3.5.4	Parameters m en r	14
3.5.5	Parameters s_{m2-0} en $\partial s_{m2}/\partial I_D$	14
3.5.6	Parameters u en v	14
4	Literatuur	16

1 Inleiding

SLIQ2D is een quasi-2D computerprogramma waarmee het optreden voorspeld kan worden van een verwekingsvloeijing ofwel een instabiliteit van een onderwatertalud ten gevolge van verweking, gegeven de taludhelling, relatieve dichtheid en materiaaleigenschappen van het zand. Dit programma is in 1994 door Grondmechanica Delft ontwikkeld deels in opdracht van Rijkswaterstaat. Ter begeleiding van het programma is het "Handboek Zettingsvloeiingen" geschreven [GeoDelft 1994]. Daarin is niet alleen een gebruikershandleiding opgenomen, maar vooral een uitgebreide toelichting op de achtergrond van het model: de beschrijving van het proces verweking en de mathematische formuleringen in SLIQ2D. Dit heeft als reden dat de bediening van het model eenvoudig is, maar dat de beoordeling van de SLIQ2D resultaten dat niet zijn.

De achtergronden van het model zijn ook gepubliceerd in de internationale literatuur. Zie [Stoutjesdijk e.a. 1998] en [de Groot & Stoutjesdijk 1997]. Meer recente inzichten zijn gepubliceerd in [de Groot e.a. 2007]. Volgens die inzichten is SLIQ2D nog steeds een nuttig instrument bij de beoordeling van de kans op een verwekingsvloeijing.

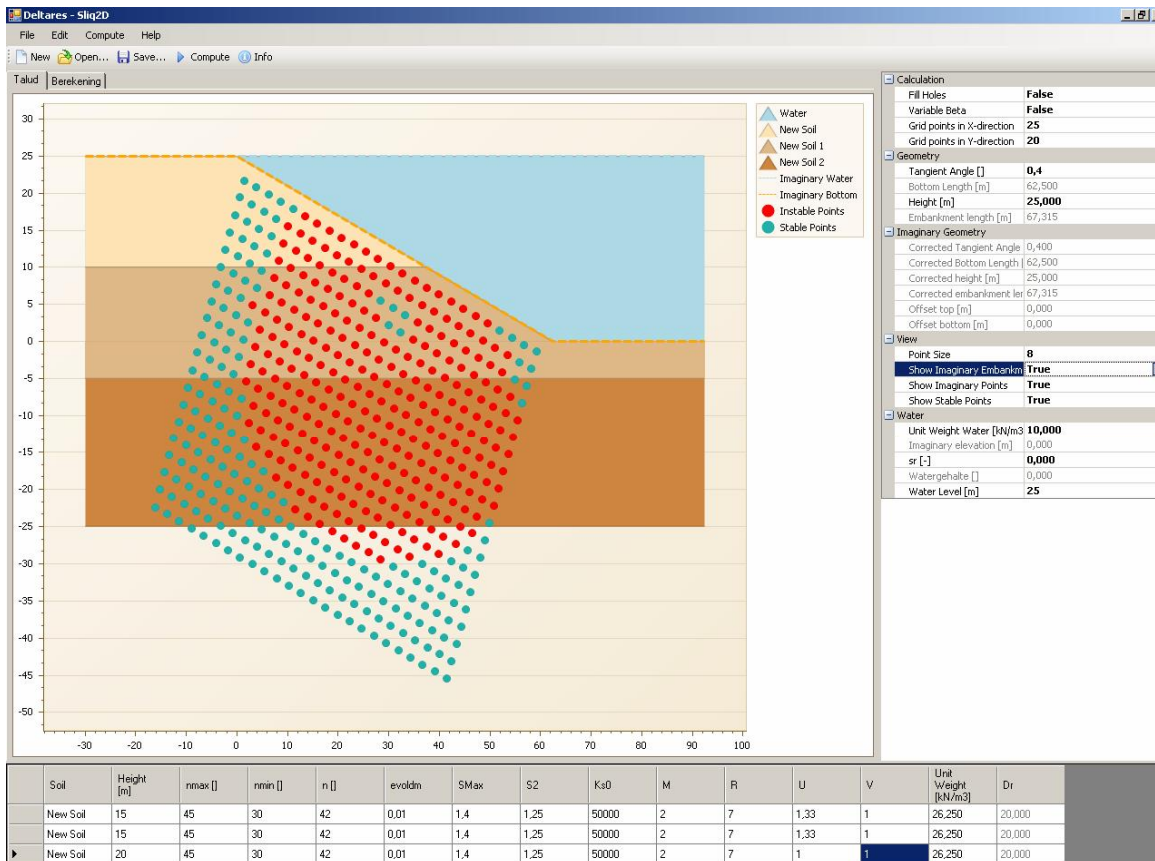
Het oorspronkelijke programma uit 1994 draait echter alleen op pc's met een MS-DOS besturingssysteem. Aangezien MS-DOS vrijwel niet meer gebruikt wordt is in het kader van DC WP 044311 een Windows versie van het programma ontwikkeld, met een verbeterde grafische weergave van invoer (geometrie talud) en resultaten. Deze nieuwe versie blijft SLIQ2D heten.

Onderhavig rapport bevat:

- een gebruikershandleiding voor de Windows versie van het rekenmodel SLIQ2D, waarin het rekenhart van het oorspronkelijke model onveranderd is gebleven, maar met een verbeterde grafische presentatie van invoer (geometrie talud) en resultaten en enkele extra mogelijkheden wat betreft invoer van taludgeometrie.
- bepaling invoerparameters SLIQ2D, zowel voor het geval laboratoriumproeven zijn gedaan, als voor het geval weinig gegevens beschikbaar zijn.

2 Getting started

2.1 View input & output



Figuur 1 Voorbeeld van een SLIQ2D berekening (input scherm is gelijk aan output scherm)

2.2 Files

*.slq is input file.

2.3 Geometrie

2.3.1 Constante/variabele taludhelling

Bij "Variable Beta" moet opgegeven worden of de helling constant is of niet. Als hij dat wel is, moet de taludhelling opgegeven worden bij "tangent angle". Als hij dat niet is, wordt voor de onder "height" opgegeven taludhoogte, de taludhelling gevarieerd en telkens het metastabiele gebied berekend.

Taludhelling	Variable Beta
Variabel	True
Opgegeven	False (default)

2.3.2 Volledig onderwater talud

Als het talud volledig onder water ligt moet "true" opgegeven worden bij "water level > height". Als dat niet zo is, moet "false" opgegeven worden en de verzadigingsgraad, zoals hieronder uiteengezet.

2.3.3 Gedeeltelijk onderwatertalud

Als water level < height: gedeeltelijk onderwatertalud

Voor het gedeelte boven freatische vlak, dat beschouwd wordt gelijk te zijn aan het water level, moet een verzadigingsgraad S_r ($0 < S_r < 1$) worden opgegeven. Op basis van op te geven unit weight soil, unit weight water en S_r wordt het bovenwatergedeelte omgerekend in een compleet fictief onderwatertalud. De karakteristieken daarvan verschijnen onder "Imaginary geometry".

2.4 Weergave metastabiele punten (output)

	Show imaginary embankment
Fictief onderwatertalud wordt weergegeven indien talud boven water aanwezig is	True
Fictief onderwatertalud wordt niet weergegeven indien talud boven water aanwezig is	False (default)

	Show imaginary points
Metastabiele punten die buiten werkelijke profiel of boven freatische lijn vallen indien talud boven water aanwezig is worden weergegeven	True
Metastabiele punten die buiten werkelijke profiel of boven freatische lijn vallen indien talud boven water aanwezig is worden niet weergegeven	False (default)

	Show stable points
Alle punten van het grid (metastabiele en niet-metastabiele) worden weergegeven	True
Alleen metastabiele punten van het grid worden weergegeven	False (default)

3 Bepaling grondparameters SLIQ2D

3.1 Overzicht

Een van de belangrijkste grondparameters betreft de relatieve dichtheid, in het programma weergegeven met het symbool $Dr = R_n$. Omdat ook de absolute dichtheid nodig is voor het programma worden de parameters n_{max} , n_{min} en n als invoer gevraagd. De grootte van de relatieve dichtheid zal veelal bepaald worden uit sonderingen met behulp van correlaties als die van Baldi. Hoe dat gedaan moet worden valt buiten het bestek van deze handleiding. Als men tevens een goede schatting heeft van de absolute dichtheid, dus van n , dan moet men de waarden van n_{max} en n_{min} zodanig kiezen dat de betreffende relatieve dichtheid daaruit volgt.

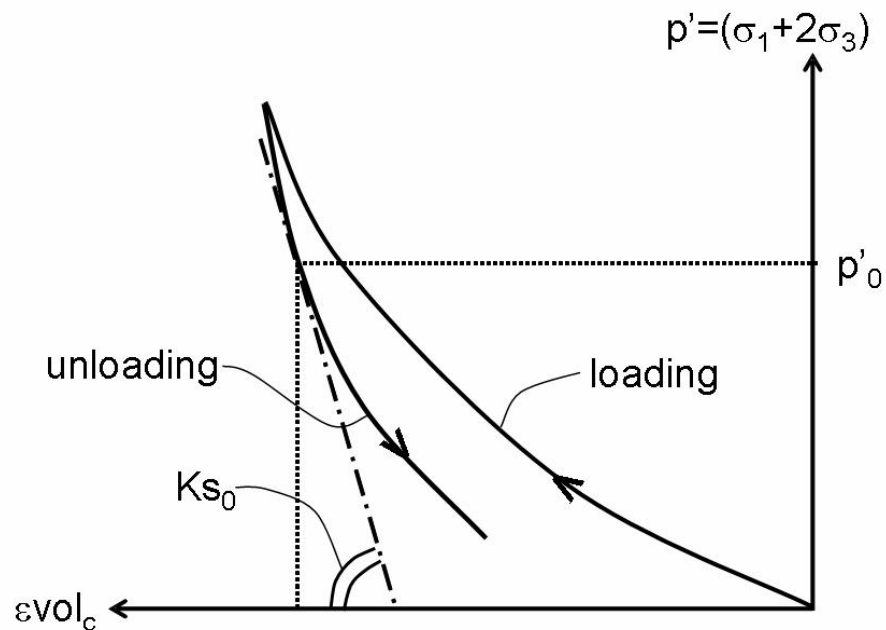
Daarnaast zijn er 11 laboratoriumparameters van belang. Daarvan zijn er 3 die de isotrope ontlasting beschrijven, terwijl de overige de contractie en dilatatie beschrijven. Van die 11 laboratoriumparameters kunnen er 5 direct in SLIQ2D ingevoerd worden, terwijl uit de 6 andere, in combinatie met de relatieve dichtheid, 3 invoerparameters berekend moeten worden met 3 eenvoudige formules. In die formules wordt voor de relatieve dichtheid steeds $I_D = R_e$ gebruikt. Die moet met de hand berekend worden uit de eerder gevonden waarde voor $Dr = R_n$.

In de volgende tabel een overzicht van de laboratoriumparameters, de formules en de invoerparameters.

Laboratoriumparameters	Formules	Invoerparameters
u		u
v		v
Ks_{01}	(2)	Ks_0
$\partial Ks_0 / \partial I_D$		
s_2		s_2
s_{m2-0}	(6)	s_{max}
$\partial s_{m2} / \partial I_D$		
m		m
r		r
I_{D1}	(4)	εvol_{dm0}
Ced		

3.2 Beschrijving isotrope ontlasting

Een typisch resultaat van een proef met isotrope belastings-ontlastingsproef is weergegeven in Figuur 1. Daarin is εvol_c de volumerek (verkleining positief) ten gevolge van compressie of decompressie.



Figuur 2 Volumerek als functie van gemiddelde effectieve spanning tijdens isotrope belasting/ontlasting

De elastische samendrukkingsmodulus tijdens ontlasting, K_s , is in sterke mate een functie van de gemiddelde korrelspanning p' en een functie van relatieve dichtheid I_D , zoals weergegeven in de volgende twee vergelijkingen:

$$K_s = K_{s_0} \cdot \left(\frac{p'}{p'_0} \right)^u \quad (1)$$

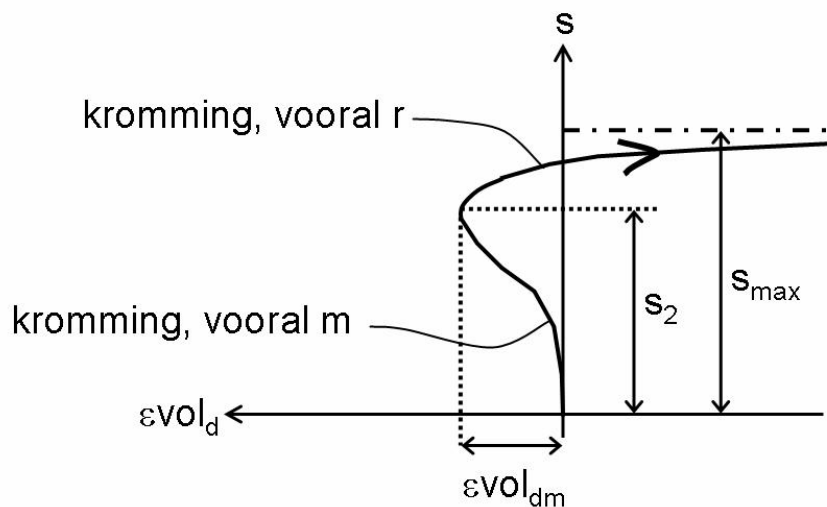
$$K_{s_0} = K_{s_{01}} + \frac{\partial K_{s_0}}{\partial I_D} \cdot I_D \quad (2)$$

waar p'_0 een referentiespanning is. Deze is gekozen als $p'_0 = 50$ kPa.

en u , $K_{s_{01}}$ en $\frac{\partial K_{s_0}}{\partial I_D}$ zijn parameters die verkregen worden uit proeven met verschillende waarden van I_D door middel van curve fitting (zie volgende hoofdstuk). Bij de invoer van SLIQ2D moet K_{s_0} uit I_D , $K_{s_{01}}$ en $\frac{\partial K_{s_0}}{\partial I_D}$ worden berekend volgens formule (2).

3.3 Beschrijving contractie en dilatantie

Het contractie/dilatantie gedrag van zand kan worden bepaald aan de hand van droge of gedraineerde triaxiaalproeven, uitgevoerd met een constante gemiddelde korrelspanning p' en een toenemende deviatorspanning $q = \sigma_1 - \sigma_3$. Traditioneel wordt isotroop geconsolideerd, zodat $q=0$ op het moment waarop de beoogde waarde van $p' = p'_{CON}$ bereikt wordt. Een typisch resultaat van een op deze manier verkregen contractie/dilatantie curve voor één waarde van I_D en één waarde van de consolidatie spanning p'_{CON} is weergegeven in Figuur 3. Daarin is εvol_d de dilatante volumerek (verkleining, dus contractie, positief) en $s = 2q/p'_{CON}$ de relatieve deviatorspanning. Deze curve kan worden beschreven met de volgende vijf parameters: εvol_{dm} , s_{max} , s_2 , m en r



Figuur 3 Volumerek als functie van de relatieve deviator spanning s in een droge of gedraineerde triaxiaal proef met constante effectieve consolidatiespanning p'_{CON}

De parameters s_2 en s_{max} volgen direct uit elke proef na correctie voor membraanpenetratie (zie paragraaf 3.4.1). Voor isotroop geconsolideerde monsters (afschuiven begint bij $s=0$) kan εvol_{dm} direct uit de proef bepaald worden, anders is het een functie van de model parameters (bepaling zie volgend hoofdstuk). De parameter m , verantwoordelijk voor de kromming van het contractante deel van de curve in Figuur 3, lijkt afhankelijk te zijn van relatieve dichtheid I_D en varieert doorgaans tussen 1,5 en 3. Voor parameter r , vooral verantwoordelijk voor de kromming van het dilatante deel van de curve in Figuur 3, kan meestal met één vaste waarde worden gerekend: $r=7$.

De maximale contractie εvol_{dm} is in sterke mate een functie van I_D en p'_{CON} , zoals uitgedrukt in de volgende twee vergelijkingen::

$$\varepsilon vol_{dm} = \varepsilon vol_{dm0} \cdot \left(\frac{p'_{CON}}{p'_0} \right)^v \tag{3}$$

$$\varepsilon vol_{dm0} = 0.001 \cdot \exp\left(\frac{I_{D1} - I_D}{Ced} \right) \tag{4}$$

waar p'_0 wederom de referentiespanning is (gekozen als $p'_0 = 50$ kPa) en v , I_{D1} en Ced parameters die verkregen worden uit proeven met verschillende waarden voor p'_{CON} en I_D . Bij de invoer van SLIQ2D moet εvol_{dm0} uit I_D , I_{D1} en Ced worden berekend volgens formule (4).

De waarde van s_2 komt overeen met de helling van de zogenaamde phase-transformation line in het p' - q vlak ofwel het $\sigma'_{vol} - q$ vlak. Die kan als een constante beschouwd worden voor elke zandsoort, omdat hij nauwelijks een functie is van I_D en p'_{CON} .

De waarde van s_{max} komt overeen met de hoek van interne wrijving, ϕ , via de volgende vergelijking:

$$s_{max} = \frac{6 \sin \phi}{3 - \sin \phi} \quad (5)$$

s_{m2} is altijd groter dan s_2 en is een functie van I_D , uitgedrukt door de volgende vergelijking:

$$s_{m2} \equiv s_{max} - s_2 = s_{m2-0} + \frac{\partial s_{m2}}{\partial I_D} \cdot I_D \quad (6)$$

Waarbij de parameters s_{m2-0} en $\partial s_{m2} / \partial I_D$ verkregen kunnen worden uit proeven met verschillende waarden voor I_D . Bij de invoer van SLIQ2D moet s_{max} uit I_D , s_2 , s_{m2-0} en $\partial s_{m2} / \partial I_D$ worden berekend volgens formule (6).

De parameters m en r zijn machten in de vergelijking:

$$f(s) = A s^m - \frac{B s^r}{s_{max} - s} \quad (7)$$

waarin:

$$f = \varepsilon vol_d / \varepsilon vol_{dm},$$

$$A = \frac{1}{s_2^m} + \frac{m}{s_2^m \cdot \left(r - m + \frac{s_2}{s_{max} - s_2} \right)} \quad (8a)$$

$$B = \frac{m \cdot (s_{max} - s_2)}{s_2^r \cdot \left(r - m + \frac{s_2}{s_{max} - s_2} \right)} \quad (8b)$$

Opmerkingen:

- In paragraaf 3.18 van het Handboek staat een iets afwijkende formule voor A . Vermoedelijk is die onjuist.
- Het is ook mogelijk **an**-isotroop te consolideren. Dan heeft q , en dus ook s , al een bepaalde waarde op het moment dat $p' = p'_{CON}$ bereikt wordt. Dan wordt slechts een deel van de curve geschetst in figuur 2 doorlopen. Zie verder figuur 6.

3.4 Bepaling SLIQ2D parameters uit laboratoriumproeven

Navolgend wordt stapsgewijs aangegeven hoe uit laboratoriumproeven de hiervoor beschreven parameters bepaald kunnen worden. Eerst volgen de isotrope ontlastingsproeven daarna de afschuifproeven. Elke proef op het betreffende monster is geïndiceerd met [i]. Een aantal parameters kunnen direct uit de proeven afgelezen worden, anderen moeten bepaald worden door curve fitting. Voor de parameters Ks_0 , s_2 , εvol_{dm} , s_{max} en u is aangegeven hoe, indien meerdere proeven zijn uitgevoerd, de verwachtingswaarde en standaardafwijking bepaald kunnen worden, noodzakelijk indien een stochastische analyse gemaakt moet worden. Voor een deterministische analyse volstaat de bepaling van de verwachtingswaarden.

Opmerking:

Hieronder wordt op verschillende plaatsen aanbevolen om “curve fitting” toe te passen of “beste fit”. Een en ander leidt soms tot onwaarschijnlijk hoge of onwaarschijnlijk lage waarden van sommige parameters. Dat kan veroorzaakt worden door het geringe aantal punten of doordat de “curve” feitelijk een bijna willekeurige lijn door een puntenwolk is, of door toevallig extreme meetresultaten die het gevolg zijn van de beperkte meetnauwkeurigheid. Het is aan te bevelen meetpunten en curves zoveel mogelijk grafisch uit te zetten en de afbeeldingen op het oog te beoordelen. Waar twee parameters onderling sterk gecorreleerd zijn, kan het nuttig zijn eerst de ene vast te stellen, bijvoorbeeld als gemiddelde van alle waarnemingen van die ene parameter en vervolgens de andere parameter door “curve fitting”.

Controle op de betrouwbaarheid van een gevonden combinatie van parameters, kan men krijgen door de berekening van de contractiespanning p^* als functie van de relatieve dichtheid (handboek paragraaf 5.1) en na te gaan of die functie valt binnen het ervaringsgebied. Verder kan men het ongedraineerde spanningspad berekenen en dat vergelijken met de resultaten van ongedraineerde proeven.

3.4.1 Correctie voor membraanindringing

SLIQ2D parameters worden afgeleid uit gedraineerde of droge triaxiaalproeven. De volumeverkleining van het monster wordt dan meestal afgeleid uit de hoeveelheid celwater dat de cel instroomt en de volumevergroting uit de hoeveelheid die de cel uitstroomt. De resultaten van de proeven moeten dan echter eerst gecorrigeerd worden voor indringing van het rubber membraan tussen het monster en het water in de cel.

In paragraaf 3.16 van het Handboek wordt een formule gepresenteerd. Waarschijnlijk is die formule onjuist overgenomen uit eerdere rapporten. Daarom zijn publicaties en de in het verleden bij Deltares uitgevoerde metingen opnieuw bestudeerd in het kader van het GATE onderzoek [Greeuw 2007]. Daaruit is afgeleid dat het beste de volgende formule kan worden gebruikt bij een membraandikte van 300 mm, een membraanelasticiteitsmodulus van $E=1.4\text{MPa}$ en een monsterdiameter van 66 mm:

$$\varepsilon_{\text{cor}} = 32.4 \cdot D_{50} \cdot \left[(\sigma'_{h2} - 10)^{0.64} - (\sigma'_{h1} - 10)^{0.64} \right] \quad (9)$$

waarin:

$\varepsilon_{\text{cor}} = \varepsilon\text{VOL}_{\text{gemeten}} - \varepsilon\text{VOL}_{\text{gecorrigeerd}}$ = volume correctie voor membraanindringing uitgedrukt in %

σ'_h = horizontale korrelspanning (celdruk) uitgedrukt in kPa

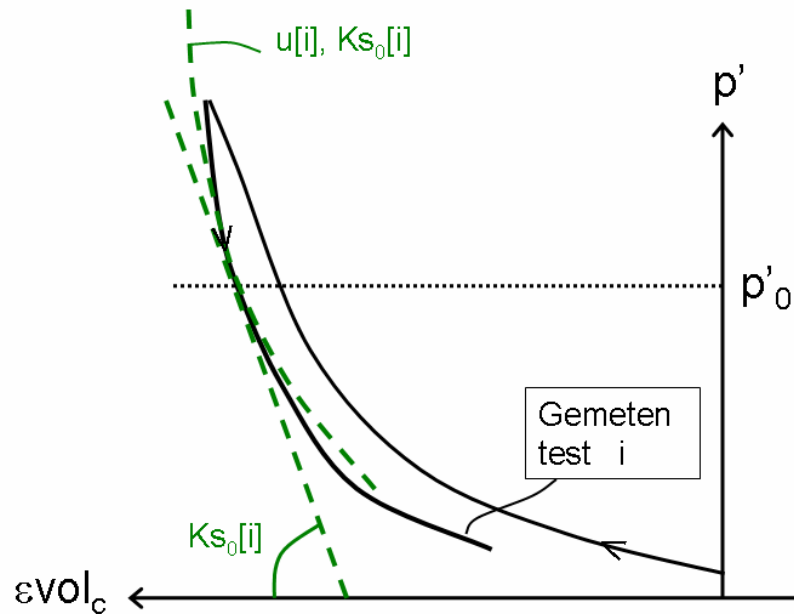
σ'_{h1} = σ'_h aan het begin van de meting

σ'_{h2} = σ'_h aan het eind van de meting

D_{50} = karakteristieke korreldiameter uitgedrukt in m

3.4.2 Parameter u afgeleid uit isotrope belastings-ontlastingsproef

- Bepaal voor elke test [i] de waarde van $Ks_0[i]$ en $u[i]$ door middel van curve fitting volgens vergelijking (1). Zie Figuur 4.
- Bepaal $E(u)$ = gemiddelde waarde van gefitte waarden van $u[i]$
- Neem $\sigma(u)$ = standaard afwijking van gefitte waarden van $u[i]$

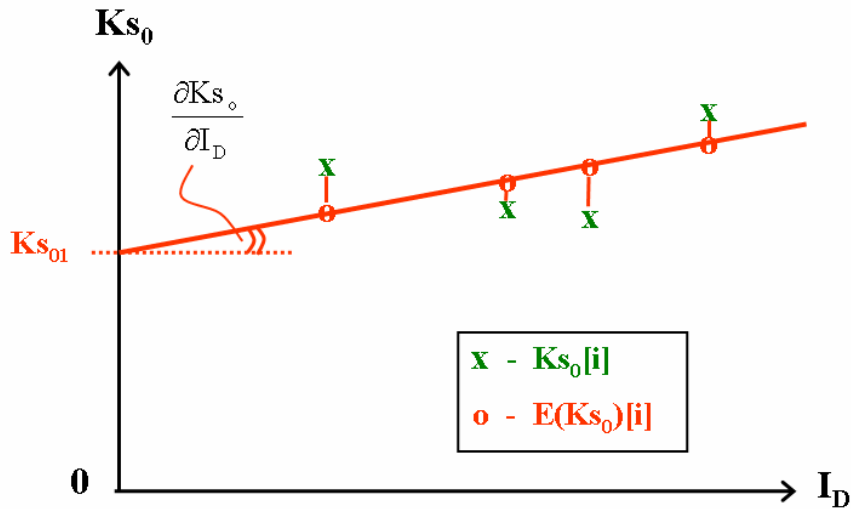


Figuur 4 1^{st} fase analyse ontlastingsproeven

3.4.3 Parameters K_{s01} en $\frac{\partial K_{s_0}}{\partial I_D}$ afgeleid uit isotrope ontlastingsproeven:

- Bepaal uit de waarden van $K_{s0}[i]$ als functie van I_D de beste fit waarden voor K_{s01} en $\frac{\partial K_{s_0}}{\partial I_D}$ volgens vergelijking (2). Zie Figuur 5. Neem deze waarden voor respectievelijk $E(K_{s01})$ en voor de deterministische waarde $\frac{\partial K_{s_0}}{\partial I_D}$
- Bereken voor elke proef $[i]$ de waarde van $E(K_{s0})$ volgens de vergelijking (2) uit de waarden $E(K_{s01})$ en de deterministische waarde voor $\frac{\partial K_{s_0}}{\partial I_D}$; Neem $\sigma(K_{s01}) =$ kwadratisch

gemiddelde van het verschil tussen $Ks_0[i]$ en $E(Ks_0)$.



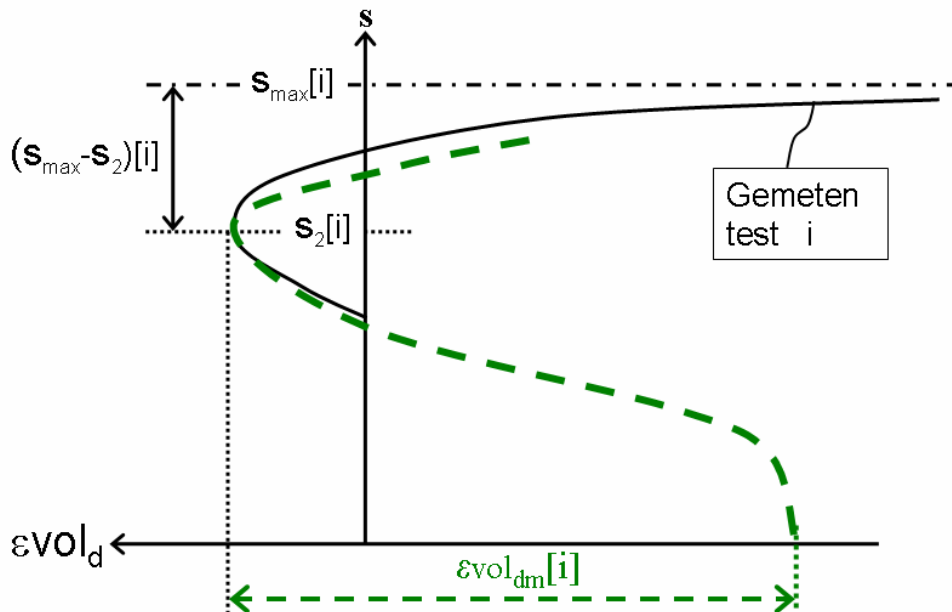
Figuur 5 2nd fase analyse ontlastingsproeven

3.4.4 Parameter s_2 afgeleid uit afschuifproeven

- Lees voor elke $[i]$ de waarde van $s_2[i]$ af
- Neem $E(s_2)$ = gemiddelde waarde van $s_2[i]$
- Neem $\sigma(s_2)$ = standaard afwijking van $s_2[i]$

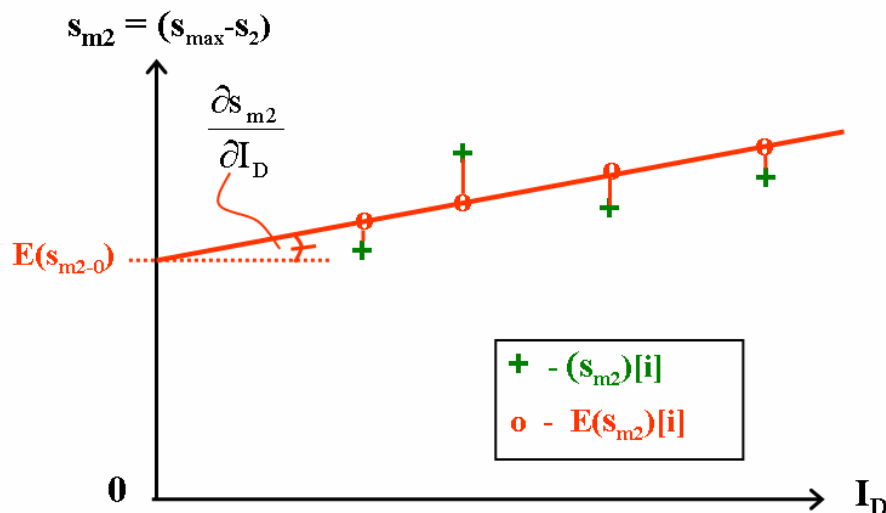
3.4.5 Parameters s_{m2-0} en $\frac{\partial s_{m2}}{\partial I_D}$ afgeleid uit afschuifproeven

- Lees voor elke proef $[i]$ de waarde $s_{max}[i]$ af (eventueel bepaald uit ϕ met vergelijking (5)) en bereken $s_{m2}[i] = s_{max}[i] - s_2[i]$. Zie Figuur 5.



Figuur 6 1st fase analyse afschuifproeven

- Bepaal uit $s_{m2}[i]$ als functie van $I_D[i]$ de beste fit voor s_{m2-0} en $\frac{\partial s_{m2}}{\partial I_D}$ volgens de vergelijking (6). Zie figuur 6. Neem deze waarden voor respectievelijk $E(s_{m2-0})$ en de deterministische waarde van $\frac{\partial s_{m2}}{\partial I_D}$.
- Bepaal voor elke proef $[i]$ de waarde van $E(s_{m2})[i]$ volgens vergelijking (6), dit keer met $E(s_{m2-0})$ en de deterministische waarde van $\frac{\partial s_{m2}}{\partial I_D}$; Neem $\sigma(s_{m2})$ = kwadratisch gemiddelde van het verschil tussen de 'gemeten' waarden (s_{m2}) $[i]$ en $E(s_{m2})[i]$.



Figuur 7

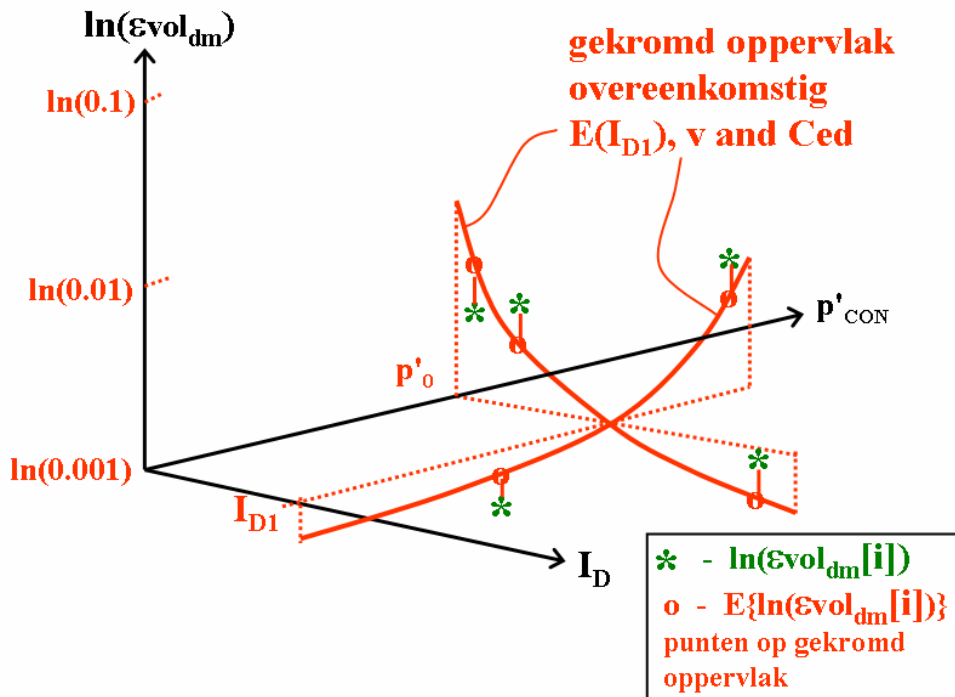
2st fase analyse afschuifproeven

3.4.6 Parameters I_{D1} , v en Ced afgeleid uit afschuifproeven

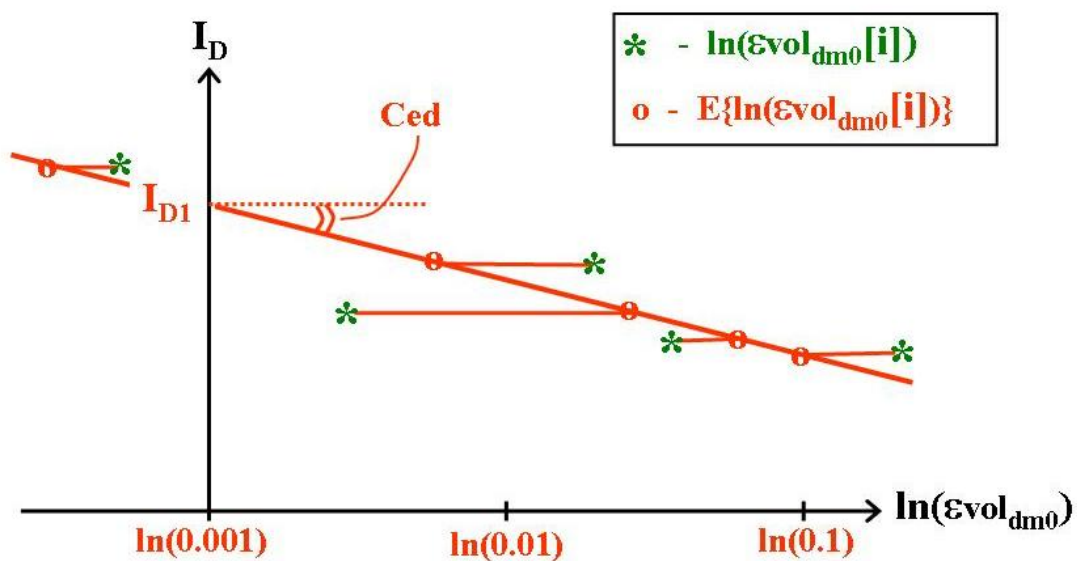
- Bepaal voor elke proef $[i]$ de waarde van $\varepsilon vol_{dm}[i]$. Bij een traditionele proef met isotrope consolidatie, kan deze direct uit de proefresultaten worden afgelezen. Bij an-isotrope consolidatie kan deze bepaald worden door middel van curve fitting op basis van $s_2[i]$ en $s_{max}[i]$ met m (meestal 1,5 a 3) en r (vaste waarde 7) als deterministische constanten. Zie Figuur 5. Een andere waarde van m leidt tot een andere waarde van $\varepsilon vol_{dm}[i]$.
- Bepaal uit de waarden van $\ln(\varepsilon vol_{dm}[i]/0.001)$ als functie van p'_{CON} en I_D de best fit waarden van I_{D1} , v en Ced met de vergelijkingen (3) en (4). Neem deze waarden voor respectievelijk $E(I_{D1})$ en de deterministische waarde van v en de deterministische waarde van Ced . Zie figuur 8.
- Bepaal voor elke proef $[i]$ de waarde $E\{\ln(\varepsilon vol_{dm}/0.001)[i]\}$ volgens vergelijking (3) en (4), dit keer met $E(I_{D1})$ en de deterministische waarden van v en Ced ; Neem $\sigma\{\ln(\varepsilon vol_{dm}/0.001)\}$ = kwadratisch gemiddelde van het verschil tussen de 'gemeten' waarden ($\ln(\varepsilon vol_{dm}[i]/0.001)$ en $E\{\ln(\varepsilon vol_{dm}/0.001)[i]\}$.
- Een eenvoudige wijze om de laatste twee stappen uit te voeren is om eerst een waarde te selecteren voor $v[j]$, daarna de corresponderende 'gemeten' waarde te berekenen van $\ln(\varepsilon vol_{dm0}/0.001)[i,j]$ en vervolgens, door I_{D1} en Ced te variëren, de 'best fit' waarden te vinden van $E\{\ln(\varepsilon vol_{dm0}/0.001)[i,j]\}$ die zich op een rechte lijn bevinden in Figuur 9. Nadat de definitieve waarde gevonden is van v , neem $\sigma\{\ln(\varepsilon vol_{dm}/0.001)\}$ = kwadratisch gemiddelde van het verschil tussen de 'gemeten' waarden $\ln(\varepsilon vol_{dm0}[i]/0.001)$ en

$E\{\ln(\varepsilon_{vol_{dm0}}/0.001)[i]\}$, hetgeen gelijk is aan kwadratisch gemiddelde van het verschil tussen de 'gemeten' waarden ($\ln(\varepsilon_{vol_{dm}}[i]/0.001)$) en $E\{\ln(\varepsilon_{vol_{dm}}/0.001)[i]\}$.

- Neem $\sigma(I_{D1}) = Ced \cdot \sigma\{\ln(\varepsilon_{vol_{dm}}/0.001)\}$ (vergelijk met vergelijking (4))



Figuur 8 3^e fase analyse afschuifproeven



Figuur 9 3^e fase analyse afschuifproeven: eenvoudige presentatie

3.5 Parameters uit oude projecten

Rekenen met SLIQ2D vereist de invoer van veel parameters. Indien geen of weinig proeven beschikbaar zijn is de keuze vaak lastig. In de loop der jaren is bij Deltares echter een grote hoeveelheid proeven uitgevoerd op zanden die betiteld kunnen worden als 'gewoon Nederlands zand' is, dat wil zeggen tamelijk uniform (siltgehalte maximaal 20%) en semi-afgerond/semi-hoekig. Daarop zijn de volgende indicatiewaarden gebaseerd. Zie [GeoDelft 1992] en later bij Deltares verricht laboratoriumonderzoek (bijvoorbeeld rapportnummers: CO-351350/49 en /78; CO-367850/49 en /133; 425460-0048 en -0069; 369841.0298). Er is ter vereenvoudiging gekozen om de variatie van de minst relevante parameters te reduceren.

De aangegeven grenzen kunnen beschouwd worden als verwachtingswaarde ± 2 maal de standaardafwijking.

Bij die proeven is geen significante correlatie gevonden tussen de waarden van de parameters en de herkomst van die zanden: rivier, zee, estuarium of wad. Wel is enige invloed van het siltgehalte (of uniformiteit) gevonden: een hoger siltgehalte leidt tot meer contractie, maar die wordt grotendeels gecompenseerd door een geringere isotrope stijfheid, waardoor de verwekingsgevoeligheid bij zand met hoog siltgehalte in geringe mate groter lijkt dan zand met een laag siltgehalte.

3.5.1 Parameters $K_{s_{01}}$ en $\partial K_{s_0}/\partial I_D$

$$15 \text{ MPa} < K_{s_{01}} \approx \partial K_{s_0}/\partial I_D < 70 \text{ MPa}$$

Hoe groter K_{s_0} hoe meer kans op verweking.

De groottes van $K_{s_{01}}$ en $\partial K_{s_0}/\partial I_D$ zijn onderling sterk gecorreleerd. De beide waarden zijn nauwelijks gecorreleerd aan de waarde van u (paragraaf 3.5.6).

3.5.2 Parameters I_{D1} en C_{ed}

De belangrijkste parameter is $\varepsilon_{vol_{dm0}}$. Daarom moeten I_{D1} en C_{ed} goed bepaald worden. Hoe groter I_{D1} en hoe kleiner C_{ed} , des te groter is $\varepsilon_{vol_{dm0}}$ en hoe meer kans op verweking, bij een gegeven I_D .

Daarbij mag aangenomen worden:

$$0,2 < I_{D1} < 0,8$$

$$0,08 < C_{ed} < 0,3$$

De beide parameters zijn vrij sterk gecorreleerd: hoe groter I_{D1} des te groter C_{ed} . Daarom moet deze combinatie zo gekozen worden dat, voor $0,1 < I_D < 0,7$ steeds geldt:

$$0,0003 < \varepsilon_{vol_{dm0}} < 0,03$$

Er is ook een vrij sterke correlatie van I_{D1} en C_{ed} met v (paragraaf 3.5.6).

3.5.3 Parameter s_2

Voor s_2 geldt dat deze correspondeert met de 'phase transformation line' of de 'characteristic line' in het vlak waarin (ongedraineerde) spanningspaden worden weergegeven. Uit de literatuur is bekend dat de daarbij gemobiliseerde hoek, $\phi_{mob, phase transformation}$, weinig varieert (28° à 32°) en nauwelijks afhankelijk is van de relatieve dichtheid. De metingen bij GeoDelft laten zien dat de hoek vaak iets groter is. We mogen overeenkomstig stellen:

$$28^\circ < \phi_{mob, phase transformation} < 35^\circ$$

Ofwel: $1,1 < s_2 < 1,4$

3.5.4 Parameters m en r

De parameter **m**, verantwoordelijk voor de kromming van het dilatante deel van de curve, lijkt wel tamelijk afhankelijk te zijn van de relatieve dichtheid. Maar voor eventuele verweking zijn alleen die curves van belang die betrekking hebben op losse pakking en dus grote $\varepsilon_{vol_{dm0}}$. Daarom wordt hier een waarde van m gekozen die alleen geldt voor $\varepsilon_{vol_{dm0}} \geq 0,001$.

Aangenomen mag worden:

$$1,5 < \mathbf{m} < 3$$

Uit curve fitting met de resultaten van proeven op één zandsoort blijkt nogal eens dat de "best fit waarden" van r heel sterk kunnen variëren. Uit formule (7) volgt dat de eerste term met m overheerst in het contractante deel van de kromme en dat de tweede term met r pas mee gaat tellen bij grote waarden van s. Niettemin is de tweede term verantwoordelijk voor de terugbuiging naar rechts van de kromme bij toenemende s, zodat $\partial \varepsilon_{vol_d} / \partial s$ ($s = s_2$) = 0. Kiest men een grote waarde van r, dan wordt, volgens (8b) B klein bij gegeven s_2 en s_{max} en zal de tweede term in (7) pas bij waarden van s dicht bij s_2 een significante rol spelen. Dan wordt de voor verweking belangrijke maximale waarde van $\partial \varepsilon_{vol_d} / \partial s$ behalve door $\varepsilon_{vol_{dm}}$ praktisch alleen door m bepaald en niet door r. Wel kan het dan zijn dat de curve voor het dilatante deel dan sterk afwijkt van wat metingen aangeven. Niettemin wordt voorgesteld om met één vaste waarde te werken en wel:

$$\mathbf{r} = 7$$

3.5.5 Parameters s_{m2-0} en $\partial s_{m2} / \partial l_D$

Voor de parameter s_{max} werden aanvankelijk (vóór 1992) twee waarden gebruikt, één voor de dilatatiecurve ($s_{max_{ev}}$) en één voor de schuifcurve ($s_{max_{ga}}$), om de beide krommes beter te kunnen fitten. Theoretisch is dat onzin: het gaat voor beide gevallen om de maximale s-waarde die volgt bij één en dezelfde afschuifproef. Daarom zijn later andere parameters gebruikt om de curve te fitten. Die waarde correspondeert met de hoek van interne wrijving ϕ :

$$s_{max} = \frac{6 \sin \phi}{3 - \sin \phi}$$

Overeenkomstig de spreiding van ϕ waarden kan gesteld worden:

$$1,2 < s_{max} < 1,85 \quad \text{overeenkomstig} \quad 30^\circ < \phi < 45^\circ$$

$$\text{MITS} \quad s_{max} \geq s_2 + 0,5$$

Maar ook geldt dat ϕ sterk afhankelijk is van de relatieve dichtheid, zodat een redelijk relatie lijkt (vergelijk ook bijlage 20 van CO-332210/10 = ZV-92-08):

$$\mathbf{s}_{max} = 1,2 + Dr \cdot 0,65 \quad \text{overeenkomstig} \quad \phi = 30^\circ + Dr \cdot 15^\circ$$

$$\text{OF} \quad \mathbf{s}_{max} = 1,3 \pm 0,1 + Dr \cdot 0,45 \quad \text{overeenkomstig} \quad \phi = 32,5^\circ \pm 2,5^\circ + Dr \cdot 10^\circ$$

Voor losgepakte zanden kan men ook wel één waarde nemen:

$$\mathbf{s}_{max} = 1,4 \quad \text{overeenkomstig} \quad \phi = 35^\circ$$

3.5.6 Parameters u en v

Daarvoor geldt:

$$0,5 < u < 1,5$$

$$0,5 < v < 1,5$$

$$1,5 < u+v < 2,5$$

Goede standaardwaarden zijn:

$$u = 1$$

$$v = 1$$

Wil men de invloed van variatie bestuderen dan is het aan te raden de beide grootheden simultaan te variëren en bijvoorbeeld de volgende drie combinaties te hanteren:

$$u = 0,5 \text{ en } v = 1,0$$

$$u = 0,5 \text{ en } v = 1,5$$

$$u = 1,5 \text{ en } v = 0,5.$$

4 Literatuur

[GeoDelft 1992]

Kiezen definitieve parameters voor het model SLIQ2D
GeoDelft (Deltares) rapport CO-332210/10

[GeoDelft 1994]

Handboek Zettingsvloeiingen (1994), GeoDelft (Deltares) rapport CO-353260/10

[de Groot & Stoutjesdijk 1997]

Groot, M.B. de & Stoutjesdijk, T.P. (1997)
Undrained stress path of loose sand predicted from dry tests
Can. Geotechn. J. 34, pp 131-138

[de Groot e.a. 2007]

Groot, M.B. de, Stoutjesdijk, T.P., Meijers, P. & Schweckendiek, T. (2007).
Verwekingsvloeiing in zand. *Geotechniek*, pp 54 – 59

[Greeuw 2007]

Greeuw, G. (2007)
Voorstel aanpassing Membraancorrectie proeven op zand.
GeoDelft (Deltares), rapport 425460-0068

[Stoutjesdijk e.a. 1998]

Stoutjesdijk, T.P., Groot, M.B. de & Lindenberg, J. (1998).
Flow slide prediction method: influence of slope geometry.
Can. Geotechn. J. 35, pp 34 –54.

Lijst van symbolen

Toelichting op enige symbolen:

- > In het Handboek wordt voor de gemiddelde spanning het symbool σ_{vol} gebruikt; in [de Groot e.a. 2007] het symbool p .
- > Hier en in het Handboek wordt voor de relatieve dichtheid, gebaseerd op de waarden van het poriëngehalte n , het symbool D_r gebruikt en voor de relatieve dichtheid, gebaseerd op de waarden van het poriegetal e , het internationaal aanvaarde symbool I_D . In Nederland worden daarvoor tegenwoordig de symbolen R_n (= D_r) en R_e (= I_D) gebruikt.
- > Hier, anders dan in [de Groot e.a. 2007] wordt ε_{vol} steeds als positief beschouwd bij volumeverkleining. In de schetsen wordt die waarde meestal naar links getekend.

A	=	parameter gedefiniëerd in formule (7) [-]
B	=	parameter gedefiniëerd in formule (7) [-]
Ced	=	parameter gedefiniëerd in formule (4) [-]
D ₅₀	=	mediane korrel diameter [m]

- $D_r = R_n = (n_{\max} - n)/(n_{\max} - n_{\min}) =$ relatieve dichtheid op basis van n [-]
 $E =$ Verwachtingswaarde
 $e = n/(1-n)$ poriegetal [-]
 $e_{\max} =$ maximum waarde van e [-]
 $e_{\min} =$ minimum waarde van e [-]
 $f(s) = \varepsilon_{vol_d}/\varepsilon_{vol_{dm}}(s) =$ vorm van de dilatatiekromme als functie van s [-]
 $I_D = R_e = (e_{\max} - e)/(e_{\max} - e_{\min}) =$ relatieve dichtheid op basis van e [-]
 $I_{D1} =$ parameter gedefiniëerd in formule (4) [-]
 $K_s =$ stijfheidsmodulus voor isotrope ontlasting [kPa]
 $K_{s0} =$ waarde van K_s bij gemiddelde korrelspanning p'_0 kPa
 $K_{s01} =$ parameter gedefiniëerd in formule (2) en figuur 4 [kPa]
 $m =$ parameter voor beschrijving $f(s)$ gedefiniëerd in formule (7) [-]
 $n = e/(1+e)$ poriëngehalte [-]
 $n_{\max} =$ maximum waarde van n [-]
 $n_{\min} =$ minimum waarde van n [-]
 $p' = (\sigma'_1 + \sigma'_2 + \sigma'_3)/3 =$ gemiddelde korrelspanning; in Handboek aangegeven met σ'_{vol} [kPa]
 $p'_{CON} =$ gemiddelde korrelspanning na consolidatie [kPa]
 $p'_0 =$ referentiewaarde voor p' [kPa]
 $q = (\sigma_1 - \sigma_3) =$ deviatorspanning; in Handboek: $q = (\sigma_1 - \sigma_3)/2$ [kPa]
 $R_e = I_D = (e - e_{\min})/(e_{\max} - e_{\min}) =$ relatieve dichtheid op basis van poriegetal [-]
 $r =$ parameter voor beschrijving $f(s)$ gedefiniëerd in formule (7) [-]
 $S_r =$ verzadigingsgraad grondwater [-]
 $s = q/p' =$ relatieve schuifspanning [-]
 $s_2 =$ waarde van s bij maximale contractie (figuur 2) [-]
 $S_{\max} =$ maximale waarde van s (figuur 2) [-]
 $S_{m2} = S_{\max} - s_2$ [-]
 $S_{m2-0} =$ parameter gedefiniëerd in formule (6); zie ook figuur 6 [-]
 $u =$ parameter voor beschrijving invloed p' op K_s gedefiniëerd in formule (1) [-]
 $v =$ parameter voor beschrijving invloed p'_{CON} op $\varepsilon_{vol_{dm}}$ gedefiniëerd in formule (3) [-]

 $\varepsilon_{cor} =$ correctie op gemeten volumerek i.v.m. membraan, gedefiniëerd bij formule (9) [-]
 $\varepsilon_{vol} =$ volumerek (verkleining positief) [-]
 $\varepsilon_{vol_c} =$ volumerek door isotrope ontlasting [-]
 $\varepsilon_{vol_d} =$ dilatante volumerek ofwel volumerek door contractie (positief) en dilatantie (negatief) [-]
 $\varepsilon_{vol_{dm}} =$ maximale volumerek door contractie [-]
 $\varepsilon_{vol_{dm0}} =$ waarde van $\varepsilon_{vol_{dm}}$ bij gemiddelde korrelspanning p'_0 [-]
 $\sigma =$ standaardafwijking
 $\sigma' =$ korrelnormaalspanning [kPa]
 $\sigma'_1, \sigma'_2, \sigma'_3 =$ hoofd(korrel)spanningen [kPa]
 $\sigma'_h =$ horizontale korrelspanning [kPa]
 $\varphi =$ wrijvingshoek [-]
 $\varphi_{mob} =$ gemobiliseerde wrijvingshoek [-]