


# SHANSEP NGI-ADP

Validatie cases

POV

MACRO  
STABILITEIT



Auteur: T. Naves / H.J. Lengkeek

Datum: 1-3-2017

Versie: 2.0

## Samenvatting

In een eerder POVM-onderzoek is een eerste stap gezet op het gebied van ongedraineerd rekenen aan dijken met de eindige-elementenmethode (PLAXIS) door de ontwikkeling van een ongedraineerd schuifsterkte model (SHANSEP MC model). Dit model is met name geschikt voor UGT berekeningen.

Om naast UGT situaties ook BGT situaties goed te kunnen modelleren is SHANSEP formule geïntegreerd in het NGI-ADP model. Het model geeft een veel betere beschrijving van het deformatie gedrag van klei-achtige grondsoorten dan het Mohr-Coulomb model. Door Witteveen+Bos is het SHANSEP NGI-ADP model gevalideerd middels de uitwerking van de volgende drie cases:

1. Dijkversterking middels een binnenwaartse dijkversterking of een tijdelijke voorbelasting.
2. Ophoging op slappe grond uitgevoerd met Soft Soil (Creep) model gecombineerd met SHANSEP NGI-ADP model.
3. Dijkversterking middels een verankerde damwand in het binnentalud. Gemodelleerd middels het Hardening Soil model gecombineerd met het SHANSEP NGI-ADP model.

Op basis van bovenstaande cases zijn de volgende conclusies, aanbevelingen en aandachtspunten vastgesteld. Conclusies betreffen aspecten die direct te maken hebben met de correcte werking van het huidige SHANSEP NGI-ADP model. Bij de aanbevelingen zijn de aspecten opgenomen die het huidige model kunnen verbeteren. Bij de aandachtspunten zijn zaken beschreven die niet direct te maken hebben met de werking van het model maar waar wel rekening mee moet worden gehouden bij het gebruik van PLAXIS en het SHANSEP NGI-ADP model. Hieronder is hiervan een overzicht gegeven. Tussen haakjes staat de verwijzing naar de pagina waar hier dieper op in wordt gegaan.

### Conclusies

- Updaten van de schuifsterkte op basis van de spanningsgeschiedenis werkt goed (pag. 13).
- De overconsolidatie wordt in het huidige model als minimum waarde ingevoerd. Dit kan bij een gefaseerde uitvoering een overschatting geven van de schuifsterkte. Dit moet worden aangepast naar een initiële overconsolidatie (pag. 9).
- Het huidige SHANSEP NGI-ADP model kan niet zondermeer gebruikt worden in combinatie met het Soft Soil Creep model. Als gevolg van de kruip neemt de OCR toe in de tijd waardoor de schuifsterkte sterk overschat kan worden (pag. 13).
- De Hint box geeft alleen  $\sigma_{1,max}$  als resultaat (pag. 6).

### Aanbeveling

- De  $\sigma_{1,max}$  bepalen op basis van de berekende  $\sigma_1$  in plaats van het omrekenen op basis van de OCR uit advanced models. Voordelen hiervan zijn dat het SSC model gebruikt kan worden in combinatie met het SHANSEP NGI-ADP model (pag 20). Daarnaast is er geen onzekerheid met betrekking tot het omreken van de OCR en  $\sigma_1$  naar  $\sigma_{1,max}$  (pag.27).
- Een toets van de input parameters uit het NGI-ADP model (pag. 6).
- KO automatic laten vervallen (pag. 6).
- Notatie  $G/S_u$  aanpassen naar  $G_{ur}/S_u$  (pag. 6).

### Aandachtspunt

- De shear strain waarbij de schuifsterkte wordt bepaald hoeft niet gelijk te zijn aan de shear strain at failure (pag 6).
- Gefaseerd aanbrengen van ophogingen noodzakelijk bij het SHANSEP NGI-ADP model (pag. 9).
- Instabiliteit 0-situatie (pag. 9).

## Inleiding

### Projectbeschrijving

Vanuit de Nederlandse ingenieursbureaus en de Waterschappen is er een toenemende belangstelling voor het rekenen aan dijken met de eindige-elementenmethode. Dit wordt door de kennisinstituten (met name Deltares) gestimuleerd. De nieuwe werkwijze gebaseerd op ongedraineerd rekenen volgens de Critical State theorie biedt kansen, maar vraagt ook om de ontwikkeling van de benodigde gereedschappen. In een eerder POVM-onderzoek is een eerste stap gezet op het gebied van ongedraineerd rekenen aan dijken met de eindige-elementenmethode (PLAXIS) door de ontwikkeling van een ongedraineerd schuifsterkte model. Het ontwikkelde model is een relatief eenvoudig Mohr-Coulomb model waarbij de ongedraineerde schuifsterkte wordt bepaald op basis van de SHANSEP formule (Panagoulas et al., 2016). Daarmee is het ontwikkelde model met name geschikt voor berekeningen gericht op de uiterste grenstoestand (UGT), maar nog niet voor bruikbaarheids grenstoestanden (BGT). Er is bewust gekozen voor deze beperking om eerst ervaring te kunnen opdoen met het SHANSEP concept. Dat is inmiddels gebeurd en succesvol gebleken. De tijd lijkt daarom rijp om een volgende stap te zetten en een meer geavanceerd model te ontwikkelen dat ook deformaties beter beschrijft. Het doel is om daarmee naast UGT situaties ook BGT situaties goed te kunnen modelleren in een alles omvattend model.

In dit onderzoek wordt de SHANSEP formule geïntegreerd in het NGI-ADP model. Laatstgenoemde is een geavanceerd model gebaseerd op hardening plasticiteit waarin de ongedraineerde schuifsterkte onder drie verschillende spanningscondities kan worden ingevoerd. Het model geeft een veel betere beschrijving van het deformatie gedrag van klei-achtige grondsoorten dan het Mohr-Coulomb model. Door nu de SHANSEP formule te gebruiken voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte kan op efficiënte wijze een model worden verkregen dat zowel UGT als BGT situaties nauwkeurig kan modelleren.

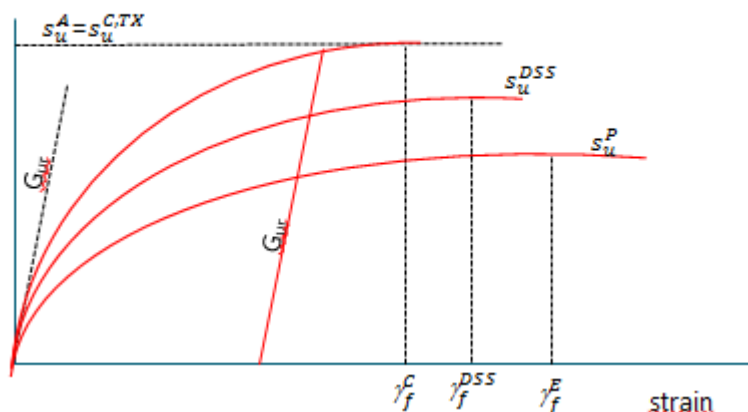
### Doel en Scope

Witteveen en Bos heeft opdracht gekregen voor het valideren van het SHANSEP NGI-ADP model middels de uitwerking van de volgende drie cases:

- 1 Modelleren van een dijk met verschillende mate van initiële overconsolidatie en een dijkversterking door voorbelasting/vacuüm consolidatie. Het doel van deze case is aan te tonen dat het effect op de ongedraineerde schuifsterkte correct wordt meegenomen in het SHANSEP NGI-ADP model.
- 2 Modelleren van een grondlichaam dat in de fasen voorafgaand aan de SHANSEP-berekening is voorbelast en kruip heeft ondergaan, uitgevoerd met het Soft Soil Creep (SSC) model. Het doel van deze case is aan te tonen dat het effect van voorbelasting en kruip op de ongedraineerde schuifsterkte correct wordt meegenomen in het SHANSEP NGI-ADP model.
- 3 Modelleren van een dijk met een langsconstructie. Het doel van deze case is aan te tonen dat ook bijzondere grond-constructie interacties en vervormingen op een realistische wijze worden meegenomen in het SHANSEP NGI-ADP model.

## SHANSEP NGI-ADP model

Schuifspanning



Figuur 1: Schematisatie NGI-ADP model

### Input parameters

In het SHANSEP NGI-ADP model bestaat uit een combinatie van zowel de NGI-ADP parameters als de SHANSEP parameters. Aanbevolen wordt om de NGI-ADP parameters eerst in te voeren in het NGI-ADP model om te valideren of deze parameters juist zijn. Vervolgens kunnen deze parameters ingevoerd worden in het SHANSEP NGI-ADP model.

Tabel 1: parameters SHANSEP NGI-ADP model

parameter	beschrijving	eenheid	range
$G_{ur} / S_u^A$	Ratio unloading/reloading shear modulus over (plane strain) active shear strength  Deze stijfheid is voor alle stress paden gelijk.	[-]	var.  Voor klei: $E_{ur} \approx 5E_{oed}$ $G_{ur} \approx \frac{E_{ur}}{2*(1+\nu)}$ $G_{ur} \approx 2 * E_{oed}$
$\gamma_f^C$	Shear strain at failure in triaxial compression Zie voor het aflezen van de shear strain de voorbeelden op pagina 5.	[%]	$\gamma_f^C = \frac{3}{2} * \epsilon_1^C$ )* $\gamma_f^C < \gamma_f^{DSS}$ [Ref. 1]
$\gamma_f^E$	Shear strain at failure in triaxial extension Zie voor het aflezen van de shear strain de voorbeelden op de pagina 5.	[%]	$\gamma_f^E = \frac{3}{2} * \epsilon_1^E$ )* $\gamma_f^E > \gamma_f^{DSS}$ [Ref. 1]
$\gamma_f^{DSS}$	Shear strain at failure in direct simple shear Zie voor het aflezen van de shear strain de voorbeelden op pagina 5.	[%]	$\gamma_f^C < \gamma_f^{DSS} < \gamma_f^E$ [Ref. 1]
$S_{u,ref}^A$	Reference (plane strain) active shear strength Deze parameter dient voor het invoeren van een initiële sterkte. (dus	[kN/m <sup>2</sup> ]	var.

parameter	beschrijving	eenheid	range
	voor activering van het SHANSEP model).		
$y_{ref}$	Reference depth Deze parameters dient voor het invoeren van een initiële sterkte. (dus voor activering van het SHANSEP model).	[-]	var.
$S_{u,inc}^A$	Increase of shear strength with depth Deze parameters dient voor het invoeren van een initiële sterkte. (dus voor activering van het SHANSEP model).	[kN/m <sup>2</sup> /m]	var.
$S_u^P / S_u^A$	Ratio passive shear strength over active shear strength Reductie van de $S_u$ voor de passieve tak (TX,E.) Als standaardwaarde hiervoor 0,5 aanhouden. Voor Nederlandse praktijk hiervoor 0,98 aanhouden. (er wordt geen anisotropie in rekening gebracht).	[-]	0,2-0,5 [Ref. 2] (NL: 0,98)
$\tau_0/S_u^A$	Initial mobilization	[-]	0.7 [Ref. 2]
$S_u^{DSS} / S_u^A$	Ratio of direct simple shear strength over active shear strength Reductie van de $S_u$ voor de passieve tak TX,E. Als standaardwaarde hiervoor 0,75 aanhouden. Voor Nederlandse praktijk hiervoor 0,99 aanhouden. (er wordt geen anisotropie in rekening gebracht).	[-]	03-0.8 [Ref. 2] (NL: 0,99)
$\nu'$	effective Poisson's ratio Bij ontlasten 0,2 Bij belasten voorbij de grensspanning 0,33. Bij combinatie tussengelegen waarde.	[-]	0,20-0,33
$\nu_u$	Poisson's ratio undrained	[-]	0,495 [Ref. 2]
$\alpha$	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	[-]	Klei: 0,16-0,28 Veen: 0,28-0,44 [Ref. 3]
$m$	Sterkte toename exponent	[-]	0,8 ± 0,1 [Ref. 3]
$S_{u_{min}}$	Minimum shear strength	[kPa]	var.
$Pop_{min}$ $OCR_{min}$	Overconsolidation pressure  Met deze parameters kan de gewenste overconsolidatie in de initiële fase worden ingevoerd.	[kPa]	var.

\*  $\epsilon_1$ : Axial strain from triaxial testing.

## Interface / initial parameters

In aanvulling op de parameters zoals beschreven in de voorgaande paragraaf zijn er ook interface parameters en initial parameters. Hierbij wordt opgemerkt dat voor de interface parameters de gedraineerde parameters ( $c$ ,  $\phi$ ,  $\psi$ ,  $E_{oed}$ ) moeten worden ingevoerd. De achtergrond hiervan is niet duidelijk maar het lijkt voor de hand liggend te zijn om hier in plaats van de gedraineerde parameters alleen een  $R_{inter}$  te hanteren op basis hiervan de eigenschappen van de interface af te leiden.

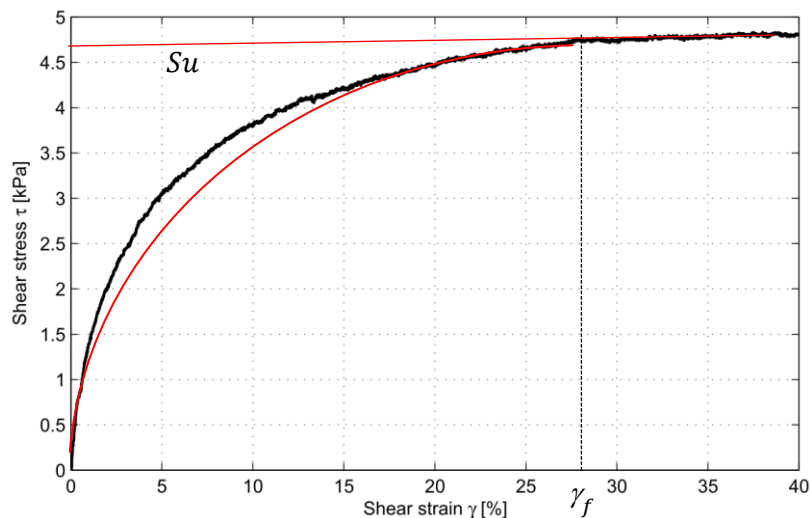
Het SHANSEP NGI-ADP biedt de mogelijkheid om de  $K_0$  automatisch te bepalen. Echter wordt dit gebaseerd op de  $\phi_{inter}$ . Het wordt aanbevolen om deze automatische optie te laten vervallen aangezien de  $\phi_{inter}$  in het algemeen gereduceerd zal worden langs de interface. De resulterende  $K_0$  is daardoor niet representatief voor de grond.

## Input parameters vs. proefresultaten

Het vervormingsgedrag wordt in het NGI-ADP model mede bepaald door de schuifsterkte en de shear strain at failure. Belangrijk om hierbij op te merken is dat de shear strain waarbij de schuifsterkte wordt bepaald niet gelijk hoeft te zijn aan de shear strain at failure. Zie onderstaande voorbeelden.

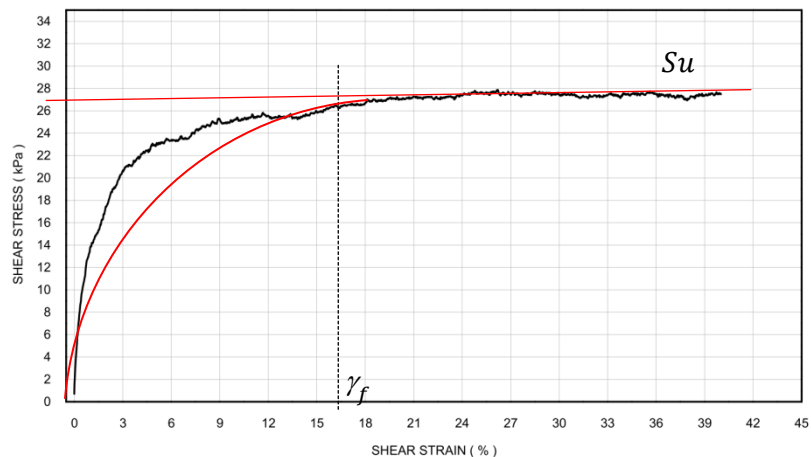
### DSS Veen

Rood = schematisatie in PLAXIS (indicatief).



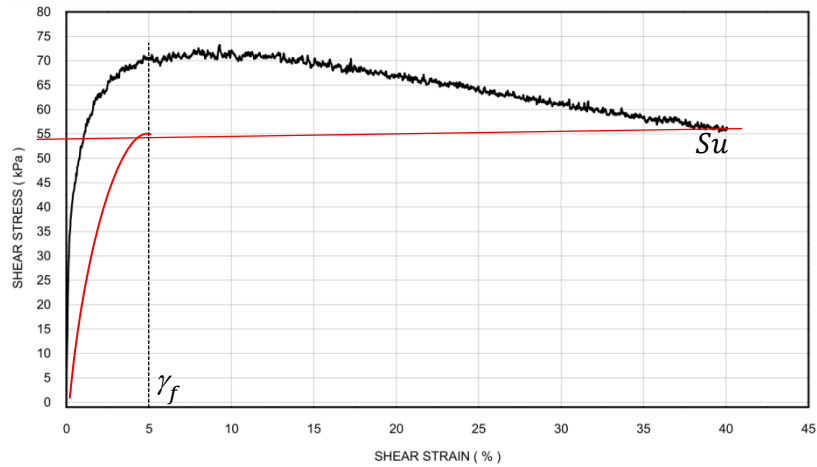
### DSS Veen

Rood = schematisatie in PLAXIS (indicatief).




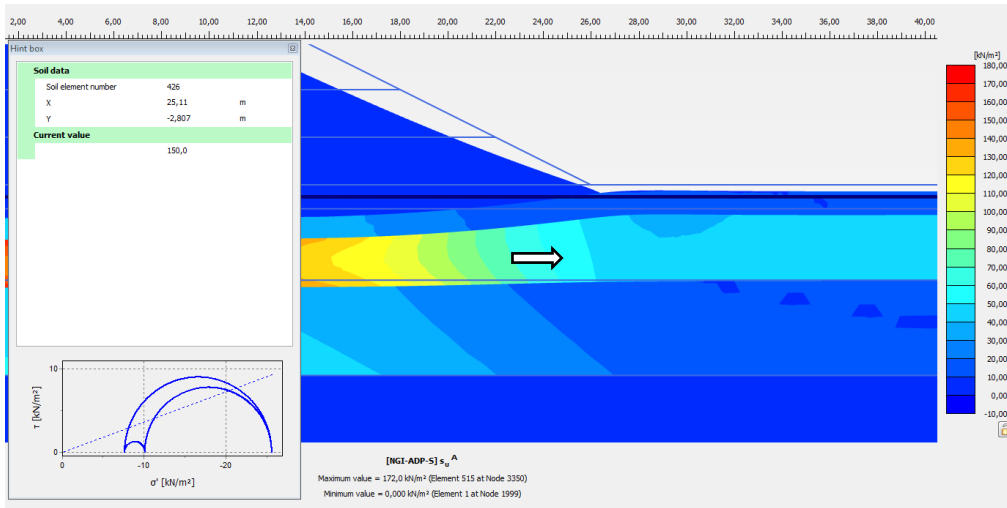
**DSS Klei duinkerke**

Rood = schematisatie in PLAXIS (indicatief).



**Aanbevelingen**

- Controle input NGI-ADP parameters:  
In het huidige SHANSEP NGI-ADP model zit nog geen validatie van de NGI-ADP parameters. Aanbevolen wordt om dit in het SHANSEP NGI-ADP model te integreren.
- Notatie Ratio unloading/reloading shear modulus:  
In de soil parameter tabblad wordt de notatie  $G/S_u$  gehanteerd. Aanbevolen wordt om dit te vervangen voor:  $G_{ur}/S_u$  om verwarring te voorkomen.
- K0 automatic laten vervallen omdat deze gebaseerd wordt op de  $\phi$ inter wat niet representatief is voor het materiaal.
- De hint box  geeft standaard de  $\sigma_1;max$  als resultaat. Zie onderstaand voorbeeld. Output geeft de  $s_u$ , ter plaatse van de pijl is de verwachte waarde ca. 50kPa. De output geeft echter ca. 150kPa.



Figuur 2: Output issue "Hint box"

**Aandachtspunten**

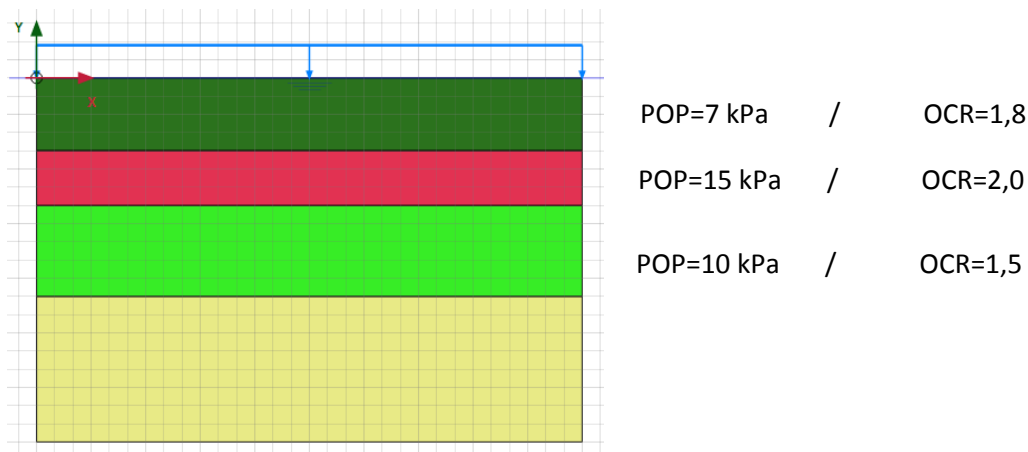
- Als aandachtspunt wordt aangemerkt dat de shear strain waarbij de schuifsterkte wordt bepaald niet gelijk hoeft te zijn aan de shear strain at failure.

## PLAXIS 1D berekening

Om de werking van het SHANSEP NGI-ADP model te controleren is er gestart met een 1D berekening waarbij de schuifsterktes zijn vergeleken met analytisch berekende schuifsterktes. Hierbij is een 3-tal 1D berekeningen vergeleken:

- Invoer overconsolidatie middels de Pre Overburden Pressure ( $POP_{min}$ ).
- Invoer overconsolidatie middels de Overconsolidation Ratio ( $OCR_{min}$ ).
- Invoer overconsolidatie middels de Pre Overburden Pressure ( $POP_{min}$ ) gevolgd door een fase met bovenbelasting (belasten voorbij de grensspanning).

Voor de 1D berekening is een simpele grondopbouw aangehouden: 4m klei duinkerke, 3m veen, 5m klei calais. De grondparameters zijn overgenomen van Case 1 (Tabel 2)

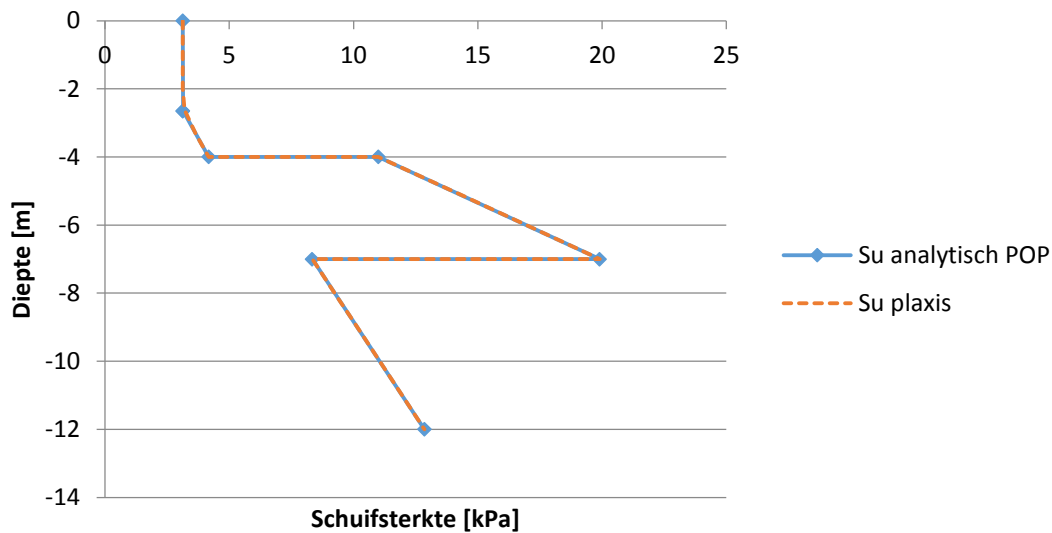


Figuur 3: PLAXIS 1D model



### SHANSEP NGI-ADP: POP<sub>min</sub>

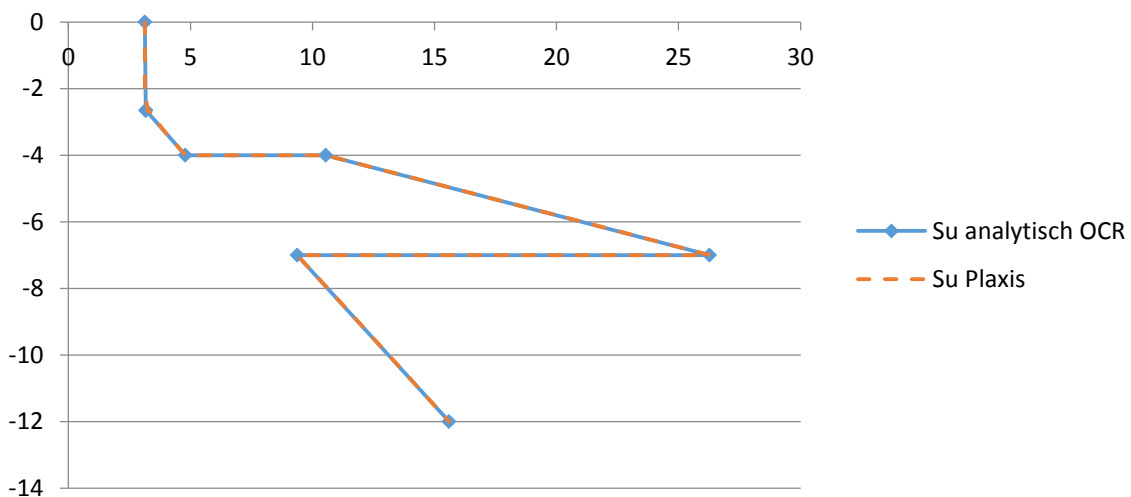
In onderstaande grafiek is de resulterende schuifsterkte weergegeven. Hierin is te zien dat de berekende schuifsterkte in PLAXIS exact overeenkomt met de analytisch berekende schuifsterkte.



Figuur 4: Berekende schuifsterkte op basis van POP, Analytisch vs PLAXIS

### SHANSEP NGI-ADP: OCR<sub>min</sub>

In onderstaande grafiek is de resulterende schuifsterkte weergegeven. Hierin is te zien dat de berekende schuifsterkte in PLAXIS exact overeenkomt met de analytisch berekende schuifsterkte.

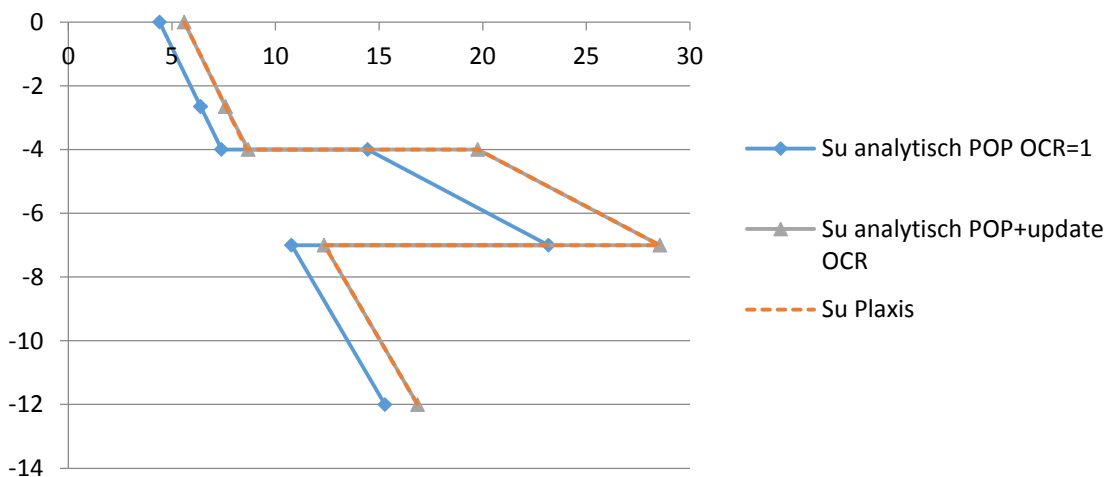


Figuur 5: Berekende schuifsterkte op basis van OCR, Analytisch vs PLAXIS

## SHANSEP NGI-ADP: POP<sub>min</sub>+ bovenbelasting

In onderstaand figuur is de resulterende schuifsterkte weergegeven. Uitgangspunt voor deze berekening is dat het SHANSEP model geactiveerd wordt zonder bovenbelasting. Vervolgens is een fase toegevoegd waarbij er een bovenbelasting op het maaiveld wordt aangebracht. Deze bovenbelasting (20kPa) is groter dan de overconsolidatie van de grond, de OCR moet daarom gelijk zijn aan 1.

In onderstaande grafiek is te zien dat PLAXIS een grotere schuifsterkte berekent dan de analytische methode met een OCR van 1. In aanvulling op de analytische berekening met een OCR van 1 is er een berekening toegevoegd waarbij de OCR is berekend op basis van de POP<sub>min</sub>. In de grafiek is te zien dat dit perfect met elkaar overeen komt.



Figuur 6: Berekende schuifsterkte op basis van POP<sub>min</sub> + belasting, Analytisch vs PLAXIS

## Conclusie

Bij het modelleren van een fasering middels het SHANSEP NGI-ADP model in combinatie met een POP<sub>min</sub> (of OCR<sub>min</sub>) wordt deze overconsolidatie als ondergrens aangehouden. Als er in een vervolg fase een belasting wordt toegevoegd die groter is dan de gresspanning wordt de minimale overconsolidatie aangehouden. Hierdoor wordt de schuifsterkte dus overschat.

## Aanbeveling

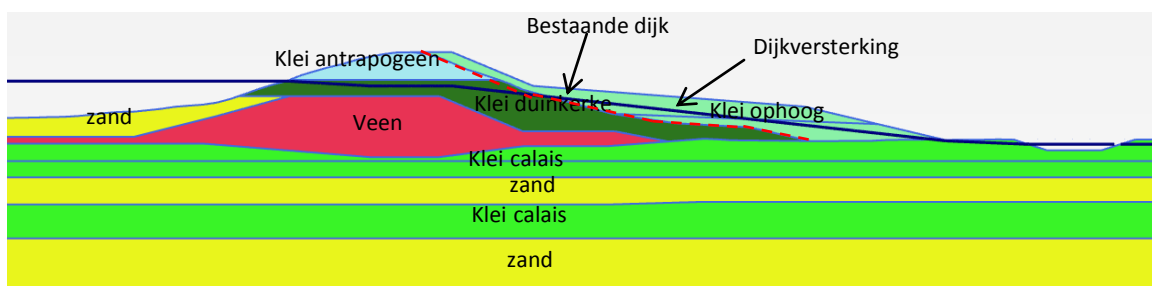
Om dit te verbeteren in het SHANSEP NGI-ADP model wordt aanbevolen om de POP<sub>min</sub> en de OCR<sub>min</sub> alleen te gebruiken bij de eerste keer dat het SHANSEP NGI-ADP model in de fasering wordt geactiveerd. In de vervolg fases kan de overconsolidatie dan bepaald worden op basis van de berekende  $\sigma'_{1,max}$  en  $\sigma'_1$

## Case 1: Dijk + versterking door aanvulling en voorbelasten

### Geometrie

In onderstaand figuur is de geometrie voor Case 1 weergegeven. Voor deze case worden de volgende situaties voor een dijkversterking beschouwd:

- 0 situatie: Bestaande dijk bij MHW.
- Dijkversterking door een grondaanvulling.
- Dijkversterking door voorbelasten.







Figuur 7: Geometrie Case 1

## Grondeigenschappen

In onderstaande tabel is een overzicht van de grondeigenschappen weergegeven. Voor de ophoogklei is het MC-model gebruikt ( $\gamma=16,5 \text{ kN/m}^3$ ,  $S_u=15\text{kN/m}^2$ ). Voor zand is het HS-model gebruikt ( $\gamma_{\text{sat}}=20\text{kN/m}^3$ ,  $\phi=30^\circ$ ).

Tabel 2: Grondeigenschappen Case 1

Material set					
Identification number		2	5	6	7
Identification		Klei antropogeen	Veen	Klei Duinkerke	Klei Calais
Material model		User-defined	User-defined	User-defined	User-defined
Drainage type		Drained	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		 RGB 161, 226, 232	 RGB 226, 50, 82	 RGB 43, 114, 29	 RGB 55, 237, 38
Comments					
General properties					
$\gamma_{\text{unsat}}$	kN/m <sup>3</sup>		14,60	10,10	13,40
$\gamma_{\text{sat}}$	kN/m <sup>3</sup>		14,60	10,10	14,50
User-defined model					
DLL file		ngiadps.dll	ngiadps.dll	ngiadps.dll	ngiadps.dll
Model in DLL		NGI-ADP-S	NGI-ADP-S	NGI-ADP-S	NGI-ADP-S
Parameters					
$G/s_u^A$		200,0	60,00	180,0	180,0
$\gamma_f^C$	%	2,000	10,00	2,000	2,000
$\gamma_f^E$	%	6,000	20,00	6,000	6,000
$\gamma_f^{DSS}$	%	4,000	15,00	4,000	4,000
$s_{u, \text{ref}}^A$	kN/m <sup>2</sup>	15,00	2,500	3,000	1,000
$\text{vert}_{\text{ref}}$	m	0,000	0,000	0,000	0,000
$s_{u, \text{inc}}^A$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	1,000	1,000	2,000
$s_{u, P/s_u}^A$		0,9800	0,9800	0,9800	0,9800
$\tau_0/s_u^A$		0,7000	0,7000	0,7000	0,7000
$s_{u, DSS/s_u}^A$		0,9900	0,9900	0,9900	0,9900
$v$		0,3000	0,2500	0,3000	0,3000
$v_u$		0,4950	0,4950	0,4950	0,4950
alpha		0,2100	0,4300	0,2200	0,2000
power		0,8000	0,8500	0,8000	0,8000
$s_{u, \text{min}}$		4,110	3,000	3,130	2,040
$\text{OCR}_{\text{min}}$		1,000	1,000	1,000	1,000
$\text{POP}_{\text{min}}$	kN/m <sup>2</sup>	20,00	7,000	14,00	10,00

## Rekenfasering

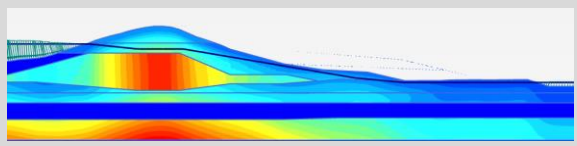
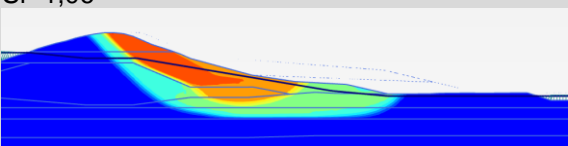
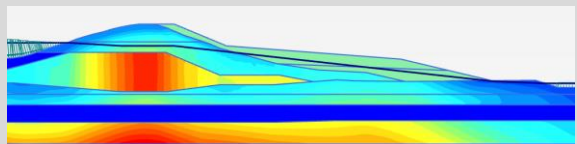
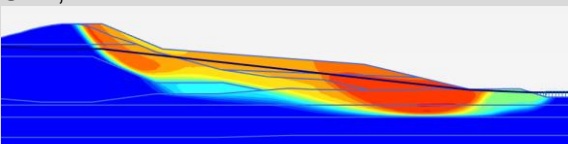
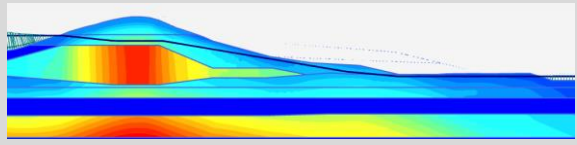
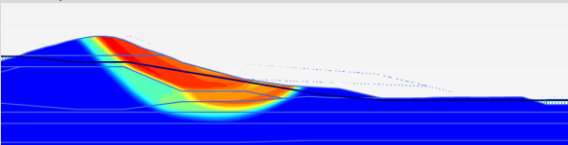
Tabel 3: Rekenfasering Case 1

stap	Vorige stap	naam	omschrijving
1	-	Intitial phase (K0 loading)	Dagelijkse situatie Voor deze fase is K0 loading aangehouden om boogwerking in de initiële fase te voorkomen.
1.1	1	SHANSEP dagelijkse situatie	Berekenen van de schuifsterkte onder dagelijkse omstandigheden.
2	1	MWH situatie	berekening spanningen bij hoogwatersituatie
2.1	2	SHANSEP MHW	Berekenen van de schuifsterkte bij MHW
2.2	2.1	Phi-c red. MHW	Phi-c reductie. MHW bestaande situatie
3	1.1	Ophoogslag 1	Tijdens de berekeningen is gebleken dat het in 1x aanbrengen van de ophoging niet mogelijk was. Daarom is ervoor gekozen om de ophoging te verdelen in 2 slagen waarbij tussendoor het SHANSEP model wordt geactiveerd. Als gevolg van de eerste ophoogslag zijn de spanningen toegenomen en daarmee de schuifsterkte.
3.1	3	SHANSEP Slag 1	
4	3.1	Ophoogslag 2	
4.1	4	SHANSEP Slag 2	Deze methode geeft een indicatie voor de uitvoeringsstabiliteit (welke ophoging kan worden aangebracht bij volledige consolidatie). Deze methode kan worden uitgebreid naar een fasering waarbij er geen volledige consolidatie in rekening wordt gebracht.
5	4.1	MHW situatie dijkversterking	Berekening spanningen bij hoogwatersituatie voor de versterkte dijk
5.1	5	SHANSEP dijkversterking	Update schuifsterkte parameters
5.2	5.1	Phi-c red. dijkversterking	Phi-c reductie. Binnenwaarts versterkte dijk
6	4.1	Verwijderen voorbelasting	De aangebrachte grond wordt verwijderd
7	6	MHW situatie Voorbelasting	Berekening spanningen bij hoogwatersituatie voor de voorbelaste dijk
7.1	7	SHANSEP voorbelasting	Update schuifsterkte parameters
7.2	7.1	Phi-c red. voorbelasting	Phi-c reductie. Dijkversterking middels voorbelasten

## Resultaten

In onderstaande figuren zijn de resultaten vergeleken voor de 3 situaties zoals beschouwd voor Case 1.

Tabel 4: Resultaten Case 1

Schuifsterkte	Bezwijkmechanisme
MHW 0-situatie	
	Sf=1,06 
MHW Dijkversterking middels grondaanvulling	
	Sf=1,21 
MHW Dijkversterking middels voorbelasten	
	Sf=1,09 

## Conclusie

Op basis van de resultaten van de berekeningen van Case 1 kan worden vastgesteld dat het SHANSEP NGI-ADP model goed werkt. De spanningsgeschiedenis en het updaten van de schuifsterkte wordt correct meegenomen.

## Aandachtspunt

Tijdens het uitwerken van de Case is een aantal praktische punten naar voren gekomen wat aandachtspunten zijn. Deze punten hebben niet direct betrekking op de werking van het SHANSEP NGI-ADP model maar zijn logisch gevolg van hoe PLAXIS werkt.

- **Uitvoeringsstabiliteit:**  
In het SHANSEP NGI-ADP model wordt een verhoging van de schuifsterkte niet automatisch meegenomen. Bij het aanbrengen van een ophoging kan daardoor instabiliteit ontstaan. Om dit op te lossen kan de ophoging gefaseerd worden aangebracht. Deze fasering geeft ook al een indicatie voor de uitvoeringsstabiliteit.
- **Instabiliteit 0-situatie:**  
Mogelijk is de 0-situatie niet stabiel bij een hoogwater situatie. Per definitie betekent dit dat het dijklichaam niet voldoet, echter kan er niet worden vastgesteld in hoeverre de waterkering niet voldoet (is de stabiliteitsfactor 0,99 of 0,5?).  
Hierbij wordt opgemerkt dat dit geen belemmering is voor het ontwerp voor de

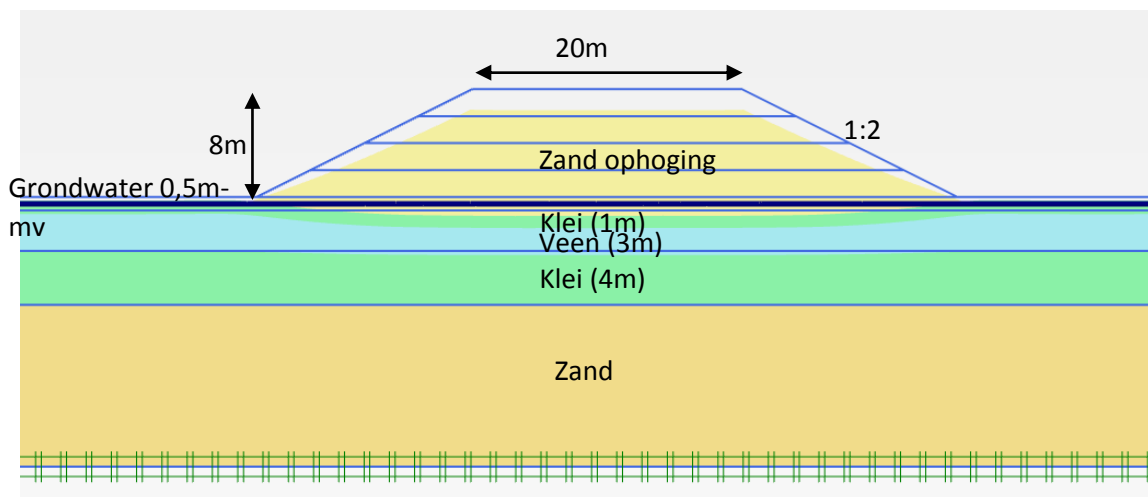
dijkversterking. Het maatgevend hoogwater in de 0-situatie is niet nodig om de spanningsgeschiedenis correct te modelleren.

## Case 2: Voorbelasting en kruip (SSC) bij ophoging

Het doel van deze case is aan te tonen wat het effect van zettingen en kruip op de ongedraineerde schuifsterkte in het SHANSEP NGI-ADP model is.

### Geometrie

De geometrie bestaat uit een vlak maaiveld, waarop een terp van 8,0 meter hoogte in 4 slagen van 2m wordt aangebracht. De taluds van de terp hebben een helling 1:2 en de top van de terp is 20 meter breed, zie Figuur 9.





Figuur 8: Geometrie Case 2



## Grond eigenschappen

Tabel 5: Grondeigenschappen Case 2



### Hardening Soil

Material set			
Identification number		1	2
Identification		Zand Ophoging	Zand
Material model		Hardening soil	Hardening soil
Drainage type		Drained	Drained
Colour		 RGB 236, 232, 156	 RGB 234, 214, 134
Comments			
General properties			
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	18,00
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	19,00	20,00
Stiffness			
$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	30,00E3	45,00E3
$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	30,00E3	45,00E3
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	90,00E3	135,00E3
power (m)		0,5000	0,5000
Alternatives			
Use alternatives		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_c$		0,01150	7,667E-3
$C_s$		3,450E-3	2,300E-3
$e_{init}$		0,5000	0,5000
Strength			
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1,000	1,000
$\phi$ (phi)	°	32,50	35,00
$\psi$ (psi)	°	0,000	0,000

### SHANSEP NGI-ADP

Material set			
Identification number		5	6
Identification		Klei SHANSEP	Veen SHANSEP
Material model		User-defined	User-defined
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		 RGB 78, 208, 115	 RGB 138, 208, 214
Comments			
General properties			
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	15,00	10,30
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	15,00	10,30
Parameters			
$G/s_u^A$		150,0	80,00
$\gamma_f^C$	%	10,00	10,00
$\gamma_f^E$	%	20,00	20,00
$\gamma_f^{DSS}$	%	15,00	15,00
$s_u^A / s_u^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	10,00	10,00
$vert_{ref}$	m	0,000	0,000
$s_u^A / inc$	kN/m <sup>2</sup> /m	0,000	0,000
$s_u^D / s_u^A$		0,9800	0,9800
$t_0 / s_u^A$		0,7000	0,7000
$s_u^{DSS} / s_u^A$		0,9900	0,9900
$v$		0,3000	0,3000
$v_u$		0,4950	0,4950
alpha		0,2400	0,4300
power		0,8000	0,9000
$s_{u,min}$		10,00	10,00
OCR <sub>min</sub>		1,000	1,000
POP <sub>min</sub>	kN/m <sup>2</sup>	10,00	10,00

### Soft Soil (Creep)

Material set			
Identification number		3	4
Identification		Klei	Veen
Material model		Soft soil creep	Soft soil creep
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		 RGB 134, 234, 162	 RGB 161, 226, 232
Comments			
General properties			
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	15,00	10,30
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	15,00	10,30
Stiffness			
$\lambda^*$ (lambda*)		0,05000	0,2200
$\kappa^*$ (kappa*)		0,01000	0,08000
$\mu^*$		3,000E-3	0,02900
Alternatives			
Use alternatives		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_c$		0,2300	6,831
$C_s$		0,02300	1,242
$C_a$		0,01380	0,9005
$e_{init}$		1,000	12,50
Strength			
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	10,00	10,00
$\phi$ (phi)	°	20,00	20,00
$\psi$ (psi)	°	0,000	0,000
Flow parameters			
Set to default values		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$k_x$	m/day	0,04752	0,08001
$k_y$	m/day	0,04752	0,08001
$-v_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3
$e_{init}$		1,000	12,50
$S_s$	1/m	0,000	0,000
Change of permeability			
$c_k$		0,2000	1,500
K0 settings			
$K_0$ determination		Automatic	Automatic
Overconsolidation			
OCR		1,000	1,000
POP	kN/m <sup>2</sup>	7,000	10,00



## Rekenfasering

De gehanteerde rekenfasering is te vinden in onderstaande tabel. Voor alle fasen is gerekend met Updated Mesh.

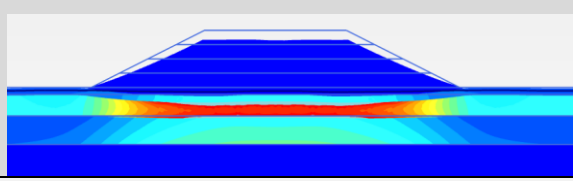
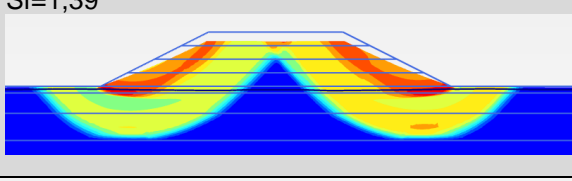
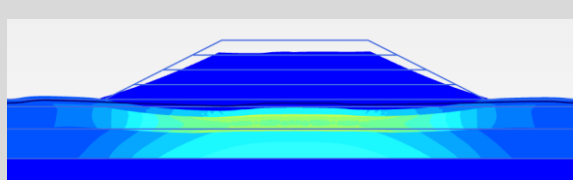
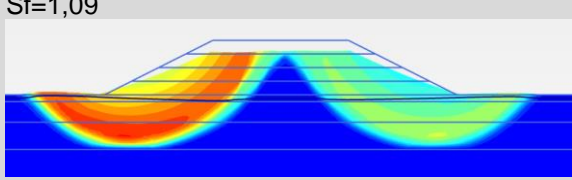
Tabel 6: Rekenfasering

stap	Vorige stap	naam	omschrijving
0	-	Intitial phase (K0)	Dagelijkse situatie Overconsolidatie wordt ingevoerd in het SSC model.
1	0	Ophoging tot 2m	Aanbrengen 2m ophoging middels SSC model over een periode van 1 dag
2	1	Consolidatie 2m	Consolidatie periode van 13 dagen (t=14 dgn)
3	2	Ophoging tot 4m	Aanbrengen 2m ophoging middels SSC model over een periode van 1 dag
4	3	Consolidatie 4m	Consolidatie periode van 13 dagen (t=28 dgn)
5	4	Ophoging tot 6m	Aanbrengen 2m ophoging middels SSC model over een periode van 1 dag
6	5	Consolidatie 6m	Consolidatie periode van 13 dagen (t=42 dgn)
7A.1	6	SHANSEP	Activeren SHANSEP model
7A.2	7	Ophoging tot 8m	Aanbrengen laatste ophoogslag tot 8m
7A.3	8	Phi-c reductie	Controleren "uitvoeringsstabiliteit" laatste ophoogslag met oorspronkelijke $s_u$ .
7B	6	Ophoging tot 8m	Aanbrengen 2m ophoging middels SSC model over een periode van 1 dag
8	7B	consolidatie 8m	Consolidatie periode van 157 dagen (t=200 dgn)
9B.1	8	SHANSEP	Activeren SHANSEP model
9B.2	9B.1	Phi-c reductie einde consolidatie	Controleren "eind stabiliteit"

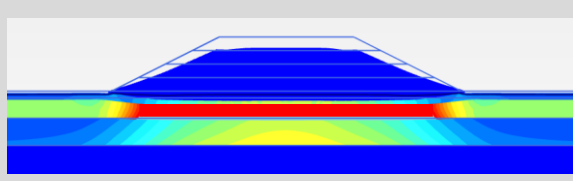
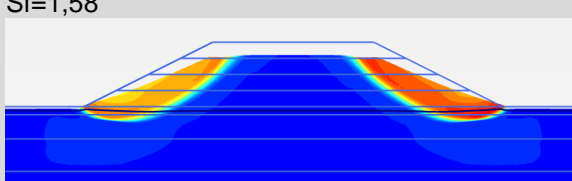
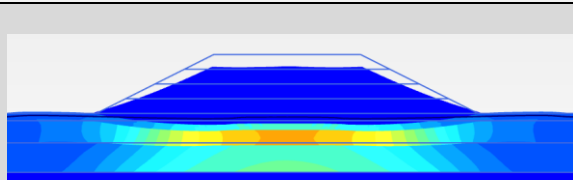
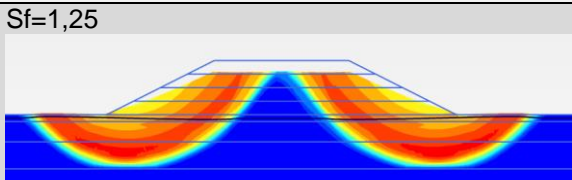
## Resultaten

In onderstaande figuren zijn de resultaten gegeven voor de analyses van Case 2. Voor de getoonde schuifsterkte is in alle figuren dezelfde schaal aangehouden.

Tabel 7: Resultaten Case 3 (stap 7A.3 laatste ophoogslag)

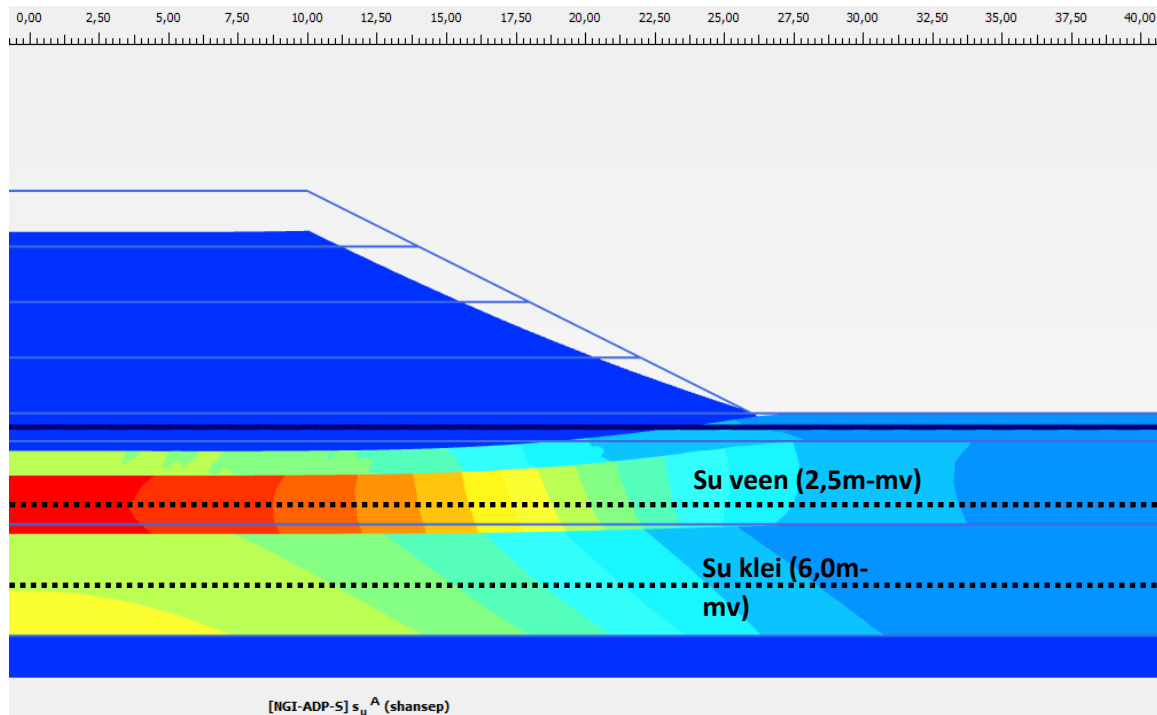
Schuifsterkte	Bezwijkmechanisme
Soft Soil Creep	
	Sf=1,39 
Soft Soil	
	Sf=1,09 

Tabel 8: Resultaten Case 3 (stap 9B.2 Eind stabiliteit)

Schuifsterkte	Bezwijkmechanisme
Soft Soil Creep	
	Sf=1,58 
Soft Soil	
	Sf=1,25 

De hiervoor gepresenteerde resultaten laten zien dat als gevolg van de consolidatie bij beide modellen de schuifsterkte en stabiliteitsfactor toenemen. Echter is er een groot verschil tussen de resultaten van het Soft Soil model en het Soft Soil Creep model terwijl de verwacht is dat dit voor beide modellen vergelijkbaar zou moeten zijn. Om dit te verklaren zijn de resulterende schuifspanningen uitgelezen in de veenlaag en kleilaag (zie onderstaand figuur) voor de volgende analyses:

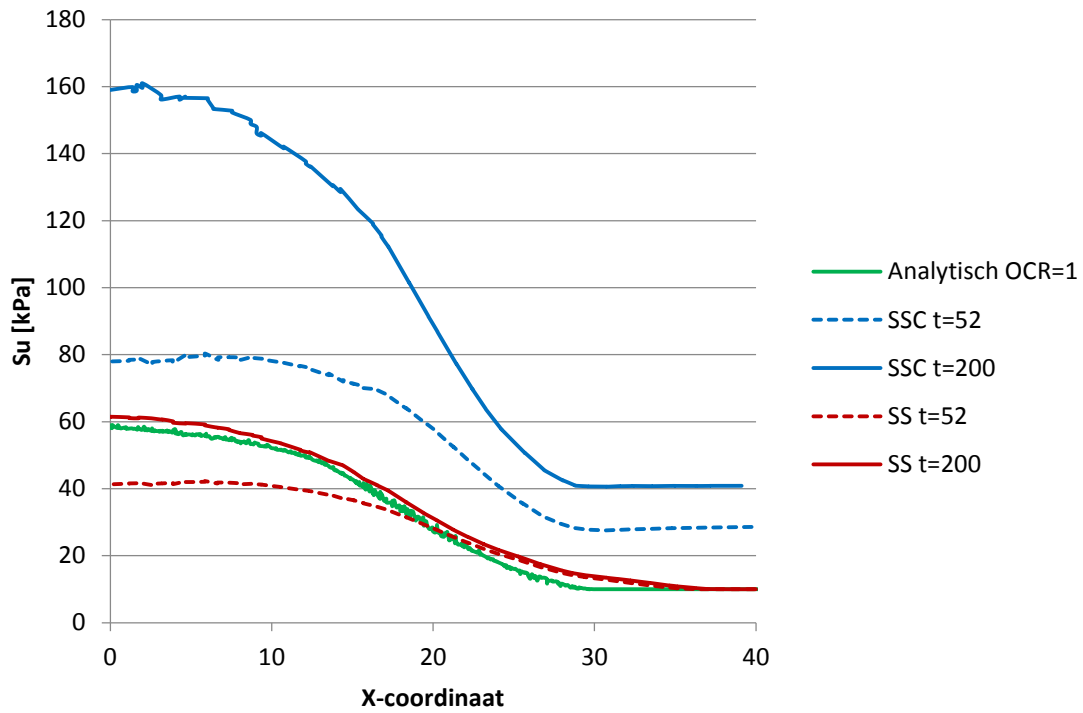
- Soft soil model,  $t=52$  dgn (fase 7A.1).
- Soft soil model,  $t=200$  dgn (fase 9B.1).
- Soft soil creep model,  $t=52$  dgn (fase 7A.1).
- Soft soil creep model,  $t=200$  dgn (fase 9B.1).



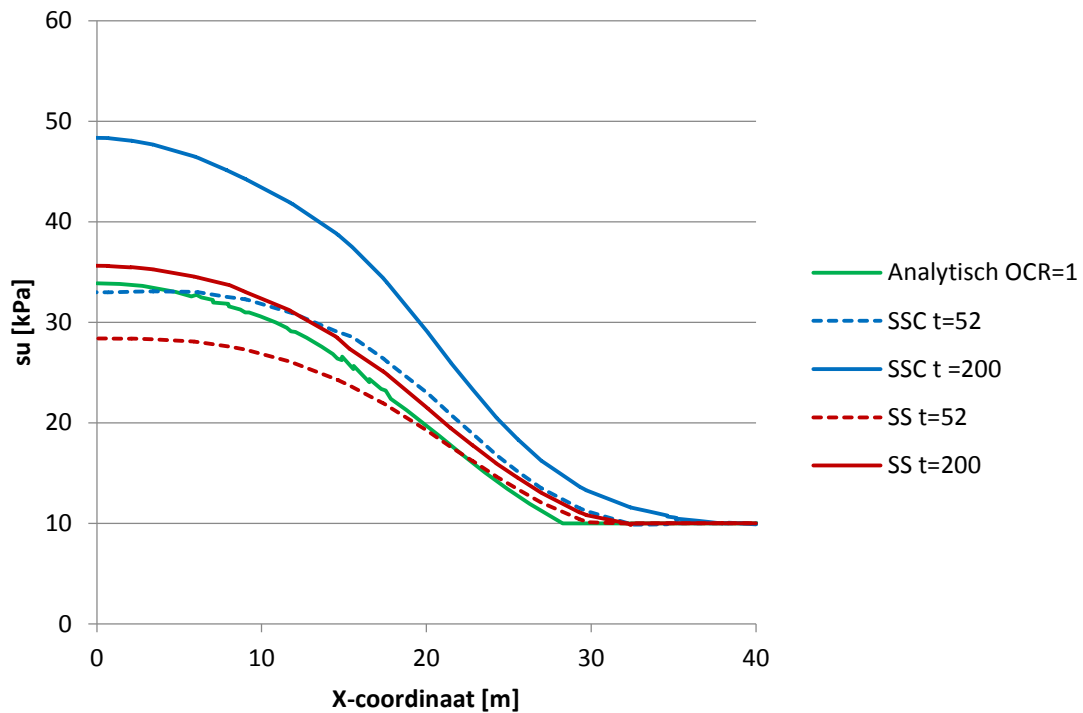
Figuur 9: Schuifsterkte cohesieve lagen

In onderstaande grafieken zijn de resulterende schuifsterktes weergegeven. De switch van het Soft Soil (Creep) model werkt goed en de overconsolidatie uit de modellen wordt goed meegenomen. Een belangrijk aandachtspunt hierbij is dat als het gevolg van kruip (alleen SSC model) een erg hoge OCR wordt meegenomen in het SHANSEP model.

In de grafieken is tevens de analytische oplossing weergegeven uitgaande van de berekende  $\sigma_1$  uit PLAXIS en een OCR van 1. De verwachting is dat aan het eind van de consolidatie periode de analytische berekende schuifsterkte overeen zal komen met de berekende schuifsterkte in PLAXIS bij 200 dagen.



Figuur 10: Grafiek Schuifsterke Veenlaag (2m-mv)



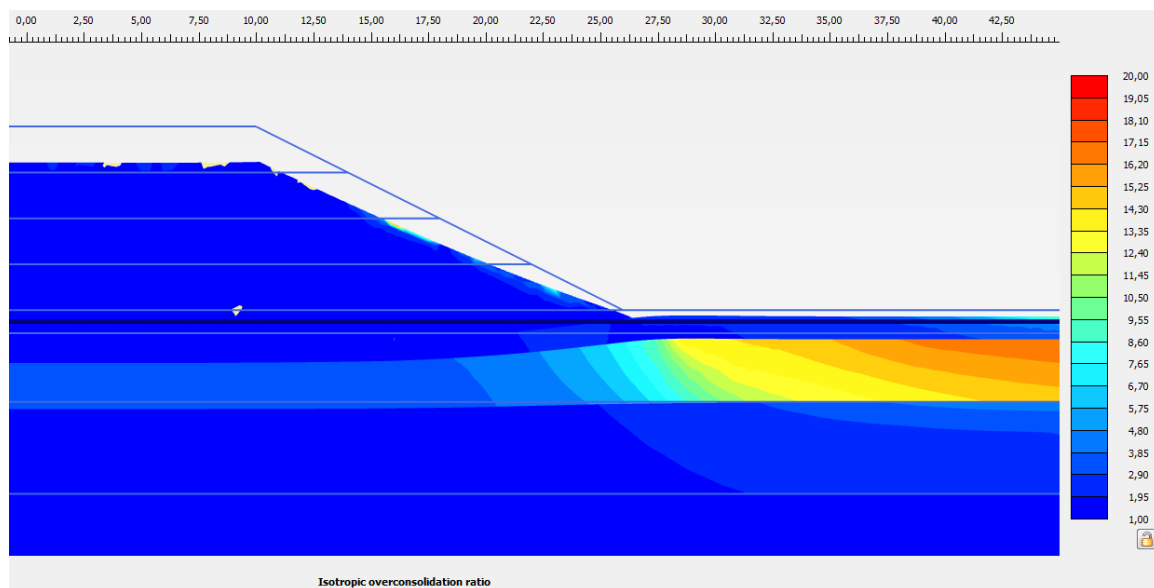
Figuur 11: Grafiek Schuifsterke Klei laag (6m-mv)

## Conclusie

Op basis van de resultaten van de berekeningen is geconcludeerd dat het SHANSEP NGI-ADP model goed werkt in combinatie met het Soft Soil.

Echter laten de resultaten van de berekeningen met het Soft Soil Creep model zien dat de kruip een grote invloed heeft op de berekende schuifsterkte. De berekende schuifspanningen op basis van het Soft Soil Creep model zijn significant hoger dan in het Soft Soil model. Met name voor de veenlaag is dit duidelijk terug te zien (veel kruip). Zelfs ter plaatse van de grondlagen waar geen spanningsverhoging is als gevolg van de ophoging (bv x=35m) wordt een toename van de schuifsterkte berekend. Dit is een gevolg van een erg hoge OCR in het Soft Soil Creep model als gevolg van een hoge isotropic consolidation stress door het kruipgedrag. In onderstaand figuur is de OCR in het SSC model weergegeven voor t=200dgn. Ter plaatse van grond waar geen ophoging is wordt een hoge OCR gevonden.

Op basis hiervan kan worden vastgesteld dat het huidige SHANSEP model niet geschikt is in combinatie met het Soft Soil Creep model.



Figuur 12: Berekende Overconsolidatie Ratio (OCR) in het SSC model

## Aanbeveling

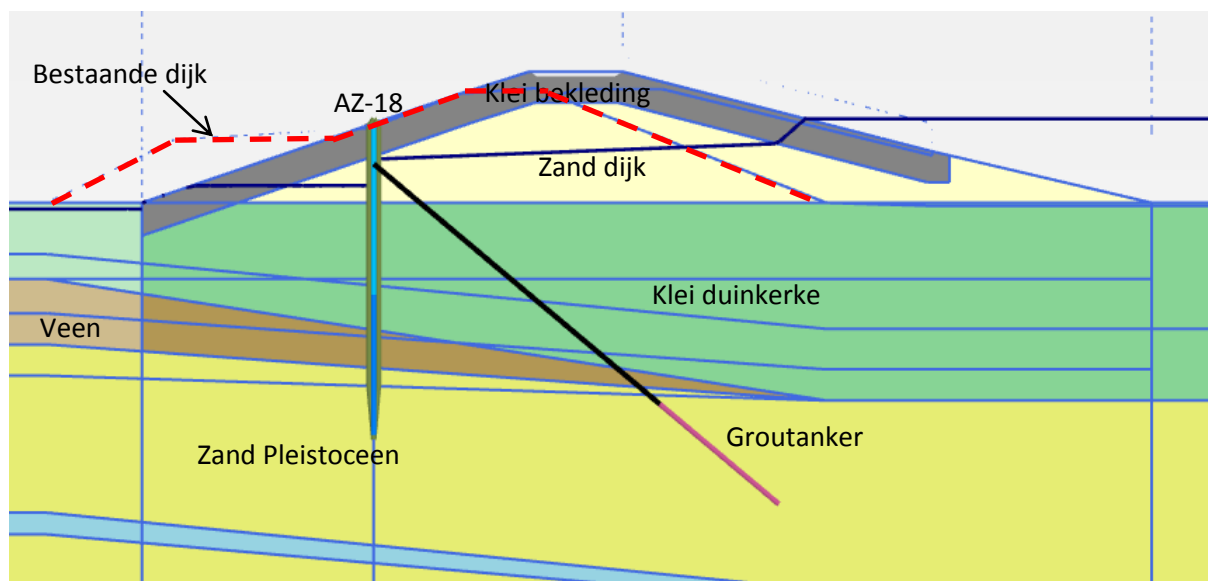
Om de overschatting van de schuifsterkte als gevolg van een hoge OCR te voorkomen is het voorstel om al in het Soft Soil Creep model de  $\sigma_{1,max}$  bij te houden op basis van de werkelijke berekende  $\sigma_1$ . Middels deze methode komt de  $\sigma_{1,max}$  overeen met de  $\sigma_1$  die werkelijk is opgetreden en is het niet nodig om de  $\sigma_{1,max}$  te bepalen op basis van de OCR uit het Soft Soil Creep model.

Een alternatief kan zijn om de m-factor (sterkte toename exponent) aan te passen op basis van de gevonden OCR. Echter is hierbij het nadeel dat deze m-factor dan tijdsafhankelijk is. Mogelijk zou dit ook wiskundig opgelost kunnen worden in het SHANSEP NGI-ADP model.

## Case 3: Dijk met langsconstructie

Case 3 betreft een buitenwaartse dijkversterking. Hierbij wordt de bestaande dijk verhoogd en buitendijks uitgebreid terwijl de bestaande binnenberm wordt verwijderd en vervangen voor een verankerde damwand.

### Geometrie






Figuur 13: Geometrie Case 3





## Geotechnische Parameters

In onderstaande tabellen is een overzicht gegeven van de grondparameters. De Case is gebaseerd op een echte Case waarbij onderstaande Hardening Soil parameters zijn gehanteerd. De SHANSEP NGI-ADP zijn bepaald op basis van onderstaande parameters rekening houdend met de te verwachten overconsolidatie bij een hoogwater situatie. Deze parameters zijn zo goed als mogelijk bepaald maar aangezien het verschillende modellen zijn zullen de resultaten niet 1:1 overeenkomen.

Tabel 9: Hardening soil parameters Case 3

Material set										
Identification number	1	2	4	3	7	5	6	8		
Identification	M1 Klei Calais	M1 Klei Duinkerke K+B	M1 Klei Duinkerke A	M1 Veen Holland K+B	M1 Veen Holland A	M1 Zand Fleistoecen	M1 Zand Dijk	M1 Klei Beldering		
Material model	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil	Hardening soil		
Drainage type	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Drained	Drained	Undrained (A)		
Colour	 RGB 146, 205, 220	 RGB 132, 206, 146	 RGB 182, 226, 190	 RGB 174, 148, 82	 RGB 200, 182, 137	 RGB 224, 230, 112	 RGB 255, 255, 192	 RGB 128, 128, 128		
Comments										
General properties										
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	16,00	16,00	11,50	11,50	18,00	17,00	16,50	
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>	17,00	16,00	16,00	11,50	11,50	20,00	19,00	16,50	
Advanced										
Void ratio										
Dilatancy cut-off <input type="checkbox"/>										
$e_{int}$		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
$e_{min}$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$e_{max}$		999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0	999,0
Damping										
Rayleigh $\alpha$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Rayleigh $\beta$		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Stiffness										
$E_{50}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	10,39E3	3900	3900	1500	1500	45,00E3	15,00E3	5190	
$E_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	5710	2140	2140	2608	2863	45,00E3	15,00E3	2860	
$E_{ur}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	41,58E3	15,58E3	15,58E3	6000	6000	180,0E3	60,00E3	20,78E3	
power (m)		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,5000	0,5000	1,000	
Alternatives										
Use alternatives <input type="checkbox"/>										
$C_c$		0,06042	0,1612	0,1612	0,1323	0,1205	7,667E-3	0,02300	0,1206	
$C_s$		7,471E-3	0,01993	0,01993	0,05175	0,05175	1,725E-3	5,175E-3	0,01494	
$e_{int}$		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	
Strength										
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>	1,500	4,000	1,000	1,900	0,000	0,000	0,000	5,000	
$\phi$ (phi)	°	25,50	24,80	21,10	14,10	12,60	35,00	32,50	25,50	
$\psi$ (psi)	°	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	5,000	2,500	0,000	
Strength										
Strength	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	
$R_{inter}$		0,5000	0,5000	0,5000	0,1000	0,1000	0,6600	0,6600	0,5000	
Consider gap closure	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
K0 settings										
$K_0$ determination	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	
$K_{0,z} = K_{0,z}$	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
$K_{0,z}$		0,6014	0,6136	0,6790	0,8070	0,8350	0,4441	0,4840	0,6014	
$K_{0,z}$		0,6014	0,6136	0,6790	0,8070	0,8350	0,4441	0,4840	0,6014	
Overconsolidation										
OCR		1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	
POP	kN/m <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	

Tabel 10: SHANSEP NGI-ADP parameters Case 3

Material set					
Identification number		9	10	11	12
Identification		M1 Veen Holland A Shansep	M1 Veen holland K+B Shansep	M1 Klei Duinkerke A Shansep	M1 Klei Duinkerke K+B Shansep
Material model		User-defined	User-defined	User-defined	User-defined
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)
Colour		 RGB 198, 168, 93	 RGB 167, 134, 53	 RGB 111, 220, 131	 RGB 70, 200, 94
Comments					
General properties					
$\gamma_{unsat}$	kN/m <sup>3</sup>		11,50	11,50	16,00
$\gamma_{sat}$	kN/m <sup>3</sup>		11,50	11,50	16,00
Parameters					
$G/s_u^A$			215,0	115,0	200,0
$\gamma_f^C$	%		10,00	10,00	2,000
$\gamma_f^E$	%		20,00	20,00	6,000
$\gamma_f^{DSS}$	%		15,00	15,00	4,000
$s_{u,ref}^A$	kN/m <sup>2</sup>		20,00	20,00	20,00
$vert_{ref}$	m		0,000	0,000	0,000
$s_{u,inc}^A$	kN/m <sup>2</sup> /m		0,000	0,000	0,000
$s_u^P/s_u^A$			0,9800	0,9800	0,9800
$\tau_0/s_u^A$			0,7000	0,7000	0,7000
$s_u^{DSS}/s_u^A$			0,9900	0,9900	0,9900
$v$			0,2000	0,2000	0,2000
$v_u$			0,4950	0,4950	0,4950
$\alpha$			0,2000	0,2500	0,2700
$power$			0,7500	0,7500	0,8000
$s_{u,min}$			1,000	1,000	1,000
$OCR_{min}$			1,000	1,000	1,000
$POP_{min}$	kN/m <sup>2</sup>		0,000	0,000	0,000
Interface material properties					
$E_{oed}^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>		1430	1304	1070
$c_{ref}$	kN/m <sup>2</sup>		0,5000	0,1900	0,3000
$\phi$ (phi)	°		1,280	1,440	10,90
$\psi$ (psi)	°		0,000	0,000	0,000
UD-Power			0,000	0,000	0,000
$UD-p^{ref}$	kN/m <sup>2</sup>		100,0	100,0	100,0
K0 settings					
$K_0$ determination		Manual	Manual	Manual	Manual
$K_{0,x} = K_{0,z}$		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
$K_{0,x}$			0,8350	0,8070	0,6709
$K_{0,z}$			0,8350	0,8070	0,6709



## Rekenfasering

In onderstaande tabel is de rekenfasering opgenomen. Er is een drietal faseringen voor de hoogwatersituatie beschouwd:

- Hardening Soil model (stap 6-6.2).
- SHANSEP NGI-ADP vanaf MHW HS (stap 7-7.2).
- SHANSEP NGI-ADP vanaf dagelijkse situatie HS (8-9.3).

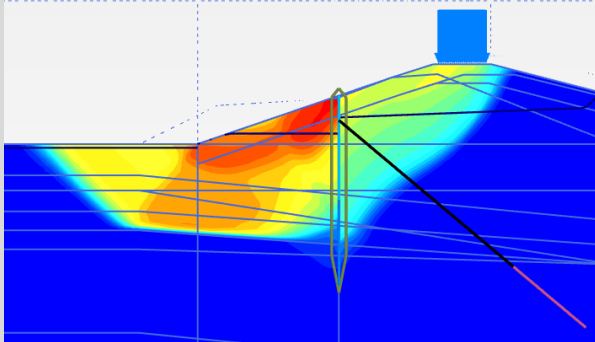
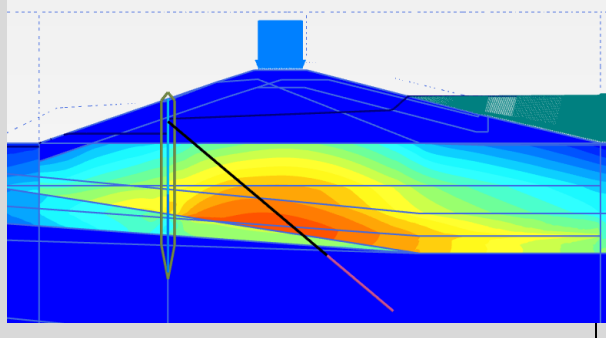
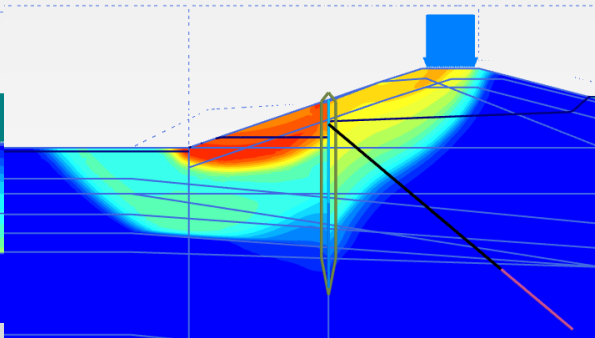
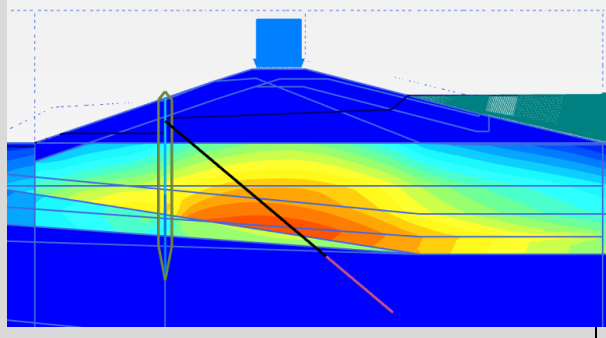
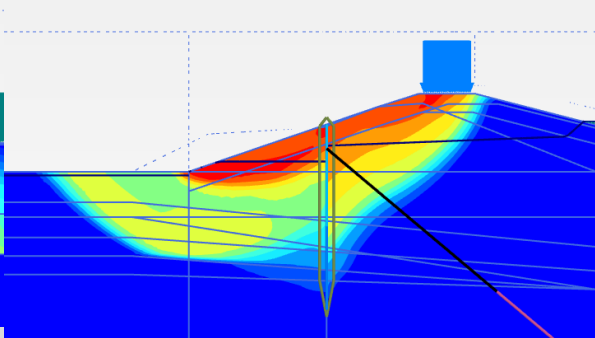
Tabel 11: Rekenfasering Case 3

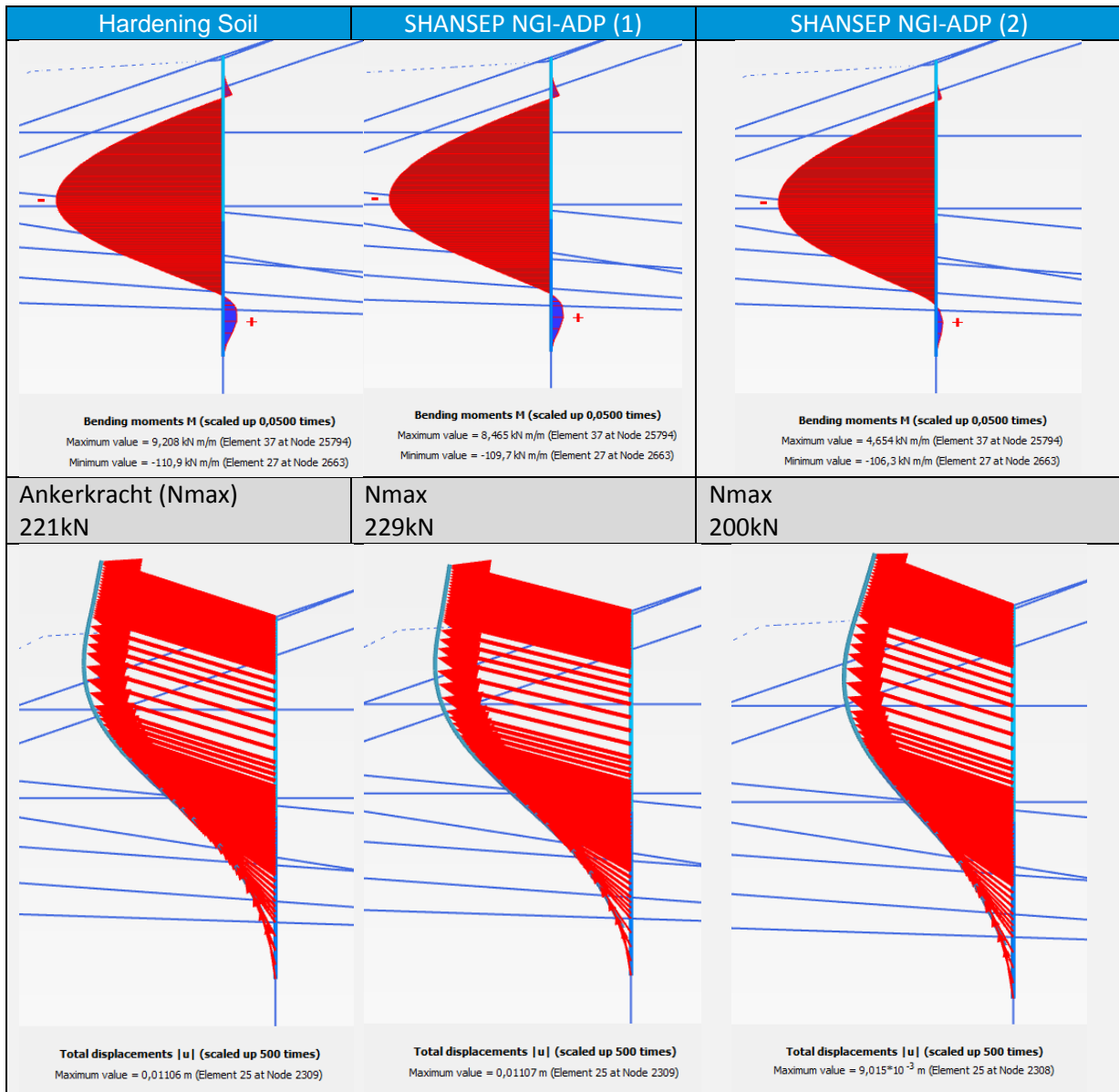
stap	Vorige stap	naam	omschrijving
1	-	Initial phase (K0 loading)	HS-model
2	1	Bestaande dijk	Aanleg bestaande dijk, HS-model
3	2	Installeren damwand + groutanker	HS-model
4	3	Grondwerk	Aanleggen dijkversterking + verwijderen binnenberm. HS-model
5	4	Corrosie damwand	In deze fase worden de damwand eigenschappen vervangen voor de gecorrodeerde damwand eigenschappen. HS-model
6	5	MHW	Hoogwater situatie, HS-model
6.1	6	Verkeersbelasting	Verkeersbelasting op de kruin
6.2	6.1	Phi-c reductie	Beschouwing Stabiliteit binnenwaarts middels Phi-c reductie (HS-model)
7	6	SHANSEP (1)	Activeren SHANSEP model uitgaande van de spanningscondities uit het HS model bij hoogwater.
7.1	7	Verkeersbelasting (1)	Verkeersbelasting op de kruin
7.2	7.1	Phi-C reductie (1)	Beschouwing Stabiliteit binnenwaarts middels Phi-c reductie (SHANSEP-model)
8	5	SHANSEP (2)	Activeren SHANSEP model uitgaande van de spanningscondities uit het HS model bij normale waterstand.
9	8	MHW (2)	Hoogwater situatie
9.1	9	SHANSEP (2)	Update schuifsterkte parameters als gevolg van hoogwater situatie.
9.2	9.1	Verkeersbelasting (2)	Verkeersbelasting op de kruin
9.3	9.2	Phi-C reductie (2)	Beschouwing Stabiliteit binnenwaarts middels Phi-c reductie (SHANSEP-model)

## Resultaten

In onderstaande figuren zijn de resultaten vergeleken voor de verschillende hoog water berekeningen.

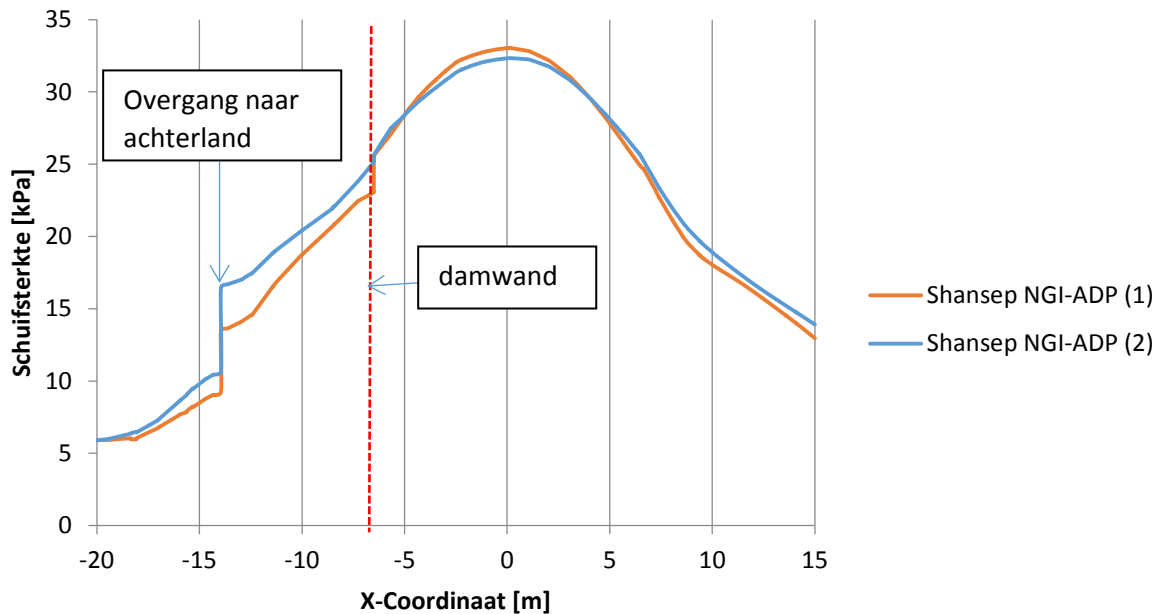
Tabel 12: Resultaten Case 3

Schuifsterkte	Bezwijkmechanisme
-	<p style="text-align: center;">Hardening Soil</p> <p style="text-align: center;">Sf=1,94</p> 
SHANSEP (1), op basis van HS model bij MHW	
	<p style="text-align: center;">Sf=2,09</p> 
SHANSEP (2), op basis van HS model bij dagelijkse situatie	
	<p style="text-align: center;">Sf=2,14</p> 



Het Hardening-Soil model geeft de laagste veiligheidsfactor ten opzichte van het SHANSEP NGI-ADP model. Dit is met name een gevolg van het verwijderen van de binnenberm. Als gevolg van het verwijderen van de binnenberm is er lokaal een overconsolidatie die gunstig werkt voor het lokaal bezwijken van het ondertalud in SHANSEP NGI-ADP model .

Verder laten de uitkomsten zien dat de resultaten van het SHANSEP NGI-ADP model afhankelijk zijn van wanneer het model wordt geactiveerd. In onderstaand figuur zijn de resulterende schuifsterktes voor beide faseringen weergegeven. Met name in de passieve zone achter de damwand geeft de fasering waar er voor MHW wordt geschakeld naar het SHANSEP NGI-ADP model hogere schuifsterktes. Dit is een gevolg van een afwijkende  $\sigma_{1,max}$ . Bij fasering (1) wordt de  $\sigma_{1,max}$  gebaseerd op de OCR van het HS model terwijl bij fasering (2) de werkelijke optredende  $\sigma_{1,max}$  wordt aangehouden. Het is niet te zeggen welke methode goed is maar het geeft wel aan dat hierdoor de resultaten beïnvloed worden.



Figuur 14: Resulterende schuifsterkte (klei duinkerke NAP-1,0m)

## Conclusie

Op basis van de resultaten voor Case 3 kan worden geconcludeerd worden dat de resultaten voor het HS model en het SHANSEP NGI-ADP goed overeenkomen en dat met het SHANSEP NGI-ADP model grond constructie interactie goed gemodelleerd kan worden.

Wat tevens kan worden geconcludeerd is dat het bepalen van de  $\sigma_{1,max}$  op basis van de OCR uit andere advanced models kan afwijken van de werkelijk optredende  $\sigma_{1,max}$ .

## Aanbeveling

Om een mogelijke onzekerheid bij het bepalen van de  $\sigma_{1,max}$  op basis van de OCR weg te nemen wordt het aanbevolen om gedurende alle rekenfases de werkelijke  $\sigma_{1,max}$  bij te houden in plaats van het omrekenen op basis van de OCR. Deze aanbeveling is hetzelfde als bij de aanbeveling voor het SSC model (Case 2).



## Referenties

[Ref. 1] SHANSEP NGI-ADP: Model description and verification examples, POVM, versie 1.0, 28-02-2017.

[Ref. 2] Materials models manual, PLAXIS, 2016.

[Ref. 3] Handreiking voor het bepalen van schuifsterkte parameters, WTI 2017, Toetsregel Stabiliteit, Deltares, 2014.