Witteveen + Bos

Onderzoek naar de praktische toepassing van transitional soils

Eindrapport - Resultaten

RWS WVL

11 maart 2024

Project	Onderzoek naar de praktische toepassing van transitional soils
Opdrachtgever	RWS WVL
Document	Eindrapport - Resultaten
Status	Definitief 02
Datum	11 maart 2024
Referentie	139614/24-003.527
Projectcode	139614

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Blaak 16
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
+31 (0)10 244 28 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 5

1.1 Aanleiding 5

1.2 Doel 5

1.3 Leeswijzer 5

2 DEEL 1: INVENTARISATIE WATERSCHAPPEN OMGANG MET TRANSITIONAL SOILS 6

2.1 Uitgevoerde inventarisatie 6

2.2 Opzet 6

2.2.1 Waterschappen 6

2.2.2 Gespreksleidraad 6

2.3 Uitkomsten interviews 6

2.3.1 Telefonisch benaderde waterschappen 7

2.4 Interviews 7

2.5 Data delen 8

2.6 Conclusie 8

3 DEEL 2: GEBRUIK SONDERINGEN VOOR CLASSIFICATIE TRANSITIONAL SOILS 9

3.1 Inleiding 9

3.2 Methode 9

3.3 CPT classificatie 10

3.4 Conclusies en aanbevelingen 11

3.5 Referenties 13

4 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR VERVOLG 14

4.2 Referenties 20

Laatste pagina 14

	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Gespreksleidraad interviews	2
II	Uitwerking interviews	4
III	Data ontvangen van waterschappen	-
IV	Literature study	15
V	Gebruikte data in analyse	5

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Er lijkt nu sprake te zijn van een grote variatie in aanpak tussen de waterschappen bij de omgang met transitional soils bij waterkeringen. De ene aanpak is meer correct dan de andere. Rijkswaterstaat WVL wil hier inzicht in krijgen en weten of er sprake is van een probleem.

In aansluiting op het voorgaande is het voor Rijkswaterstaat WVL wenselijk om een navolgbare en betrouwbare procedure te hebben om de keuzes voor gedraineerd of ongedraineerd materiaalgedrag en voor SHANSEP-materiaalgedrag of transitional soil-materiaalgedrag te kunnen maken.

RWS WVL heeft Witteveen+Bos gevraagd om een onderzoek naar de praktische toepassing van transitional soils uit te voeren, bestaande uit twee delen:
1 uitvoeren van een inventarisatie naar hoe verschillende waterschappen omgaan met transitional soils;
2 in kaart brengen methode om transitional soils af te leiden uit sondeergrafieken.

1.2 Doel

Het doel van dit onderzoek is tweeledig:
1 vastleggen wat de actuele stand van kennis is rond ‘transitional soils’;
2 komen tot een betere procedure voor de classificatie van transitional soils.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de aanpak, resultaten en conclusies van deel 1 van het onderzoek. In hoofdstuk 3 is dit voor deel 2 te vinden.

2

DEEL 1: INVENTARISATIE WATERSCHAPPEN OMGANG MET TRANSITIONAL SOILS

2.1 Uitgevoerde inventarisatie

Witteveen+Bos heeft interviews afgenomen bij vier verschillende waterschappen en heeft nog een aantal andere waterschappen telefonisch gesproken. In bijlage II is een totaaloverzicht gegeven van de resultaten.

2.2 Opzet

2.2.1 Waterschappen

Er is gekozen om medewerkers van vier waterschappen te interviewen die transitional soils hebben gebruikt, dit zijn:
- waterschap Rivierenland;
- waterschap Drentse en Overijsselse Delta;
- hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden;
- waterschap Rijn en IJssel.

Daarnaast zijn er nog een aantal medewerkers van waterschappen en projecten telefonisch benaderd:
- wetterskip Fryslân, met specifiek dijkversterking Koehool-Lauwersmeer;
- waterschap Aa en Maas;
- waterschap Scheldestromen;
- waterschap Noorderzijlvest;
- hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier.

Het is bekend dat waterschap Vallei en Veluwe ook werkt met transitional soils. Deze hebben we binnen het kader van dit project niet gesproken.

2.2.2 Gespreksleidraad

Aan de hand van een gespreksleidraad (zie bijlage I) zijn de interviews afgenomen.

2.3 Uitkomsten interviews

De uitkomsten van de interviews zijn onderverdeeld in de telefonisch benaderde waterschappen en de waterschappen waar een interview is afgenomen.

2.3.1 Telefonisch benaderde waterschappen

De waterschappen aan de kust, met uitzondering van wetterskip Fryslân, zijn niet (actief) bezig met transitional soils. De redenen hiervan verschillen en lijkt gerelateerd aan de dijkversterkingprojecten die lopen binnen een waterschap. Sommige waterschappen zijn nog niet op grote schaal begonnen met de versterkingen.

Waterschap Limburg is niet benaderd, maar van de gesprekken met waterschap Aa en Maas en Rijn en IJssel kan worden afgeleid dat de klei zandiger wordt richting het zuiden. Daardoor is de kans op het toepassen van transitional soils in het beheersgebied van waterschap Limburg moeilijker.

2.4 Interviews

In de interviews blijkt dat waterschap Rivierenland en waterschap Drentse en Overijsselse Delta meerdere dijkversterkingsprojecten en WBI-beoordelingen hebben waarbij transitional soils zijn gebruikt.
De SU-tabellen daarvan zijn opgenomen in bijlage III - Data ontvangen van waterschappen.

Bevindingen
Ieder waterschap heeft een ander proces doorgemaakt om te komen tot parameters voor de transitional soils. Deze methode wordt per project aangescherpt, met name bij HDSR, WSRL en WDOD waar meerdere dijkversterkingsprojecten lopen.

Voor een aantal onderwerpen zijn in onderstaande tabel de bevindingen samengevat. Voor de gedetailleerde toelichting van deze vragen en alle andere onderwerpen zijn in bijlage II - Uitwerking Interviews een uitwerking van het interview gegeven.

Tabel 2.1 Samenvatting bevindingen voor een aantal onderwerpen

Onderwerp	WSRL	HDSR	WRIJ	WDOD
locatie lagen met SU-tabel	initieel verzadigd en onverzadigde zone	initieel verzadigde als onverzadigde zone	alleen initieel onverzadigde zone	initieel verzadigd (soms) en onverzadigde zone
LBO1	niet gebruikt	niet gebruikt	niet gebruikt	in LBO1 al gebruikt bij meerdere trajecten
impactanalyse	ja, enorm verschil in stabiliteit	ja	ja	niet altijd, soms was transitional soil al de standaard
gebruikte proeven [minimaal, kan onvolledig zijn]	CRS, DSS, triaxiaal	samendrukkings-proeven, DSS, extensieproeven	triaxiaal, geen CRS	CRS, daarna, triaxiaal en DSS. WDOD vindt de CRS proef het duidelijkste instrument
m-waarde	m-waarde per project bepaald met proeven; gebruikt zodat deze bij hoogwater en dagelijks over dezelfde lijn gaat. Dus geen schaling in horizontale lijn	HDSR gebruikt een workaround zodat er geen schaling plaats vindt. Niet op basis van proeven	schalingsfactor is wel toegepast, maar conservatief afgeleid uit het spanningsafhankelijke gedrag van de proeven bij terreinspanning	op basis van de a en b waarde uit de CRS proef. Statistiek toegepast om karakteristieke waarde te bepalen

2.5 Data delen

De waterschappen die geïnterviewd zijn hebben hun SU-tabellen gedeeld. Daarnaast hebben veel waterschappen ook proefresultaten gedeeld, waarbij deze allen hebben aangegeven dat specifieke informatie altijd kan worden opgevraagd wanneer benodigd.

2.6 Conclusie

Er is veel verschil in aanpak tussen de waterschappen. Er wordt veel expert judgement gebruikt, keuzes worden conservatief gemaakt. De waterschappen hebben behoefte aan meer handvatten om van sterkteproeven tot een SU-tabel te komen.

3

DEEL 2: GEBRUIK SONDERINGEN VOOR CLASSIFICATIE TRANSITIONAL SOILS

3.1 Inleiding

Dit hoofdstuk beschrijft de resultaten van de tweede activiteit, het in kaart brengen van een methode om transitional soils af te leiden uit sonderingen. Hiervoor is gebruik gemaakt van het grondonderzoek dat is gedeeld met Witteveen+Bos. Het betreft grondonderzoek van de volgende projecten:

- Keileem Wieringen;
- Lemmer-Koehool;
- Pannerden-Westervoort;
- Sprok-Heteren;
- Streefkerk-Ameide-Fort Everdingen;
- Wolferen-Sprok.

Het doel is om te onderzoeken of het mogelijk is om transitional soils zoals geclassificeerd middels sonderingen te koppelen aan de beschrijving van de boring conform NEN5104[1]. In dat kader is tevens een literatuurstudie uitgevoerd en gerapporteerd in het Engels, zie bijlage IV. Onderstaand zijn de belangrijkste bevindingen opgenomen.

3.2 Literatuurstudie

Enkele studies (Ponzoni et al., 2014; Shipton et al., 2015) meldden niet-unieke CSLs (Critical State Lines) in transitional soils, waarbij de locatie van de CS-lijn afhankelijk is van de initiële relatieve dichtheid. Er zijn echter andere studies waarin wel unieke CSLs worden bereikt. Elkamhawy et al. (2021) rapporteerden dat onaangetaste transitional soils niet-unieke ICLs (Isotrope Compressie Lijn) vertonen, terwijl de gereconstitueerde monsters unieke ICLs laten zien. Ondanks de niet-eenmaligheid van ICLs, was er in de bestudeerde transitional Soils een unieke CSL (Critical State Lijn) aanwezig in de e-log(p') en q-p' ruimtes.

Een unieke CSL in transitional soils en klei-zand mengsels is ook waargenomen in sommige studies zoals Altuhafi et al. (2010) en Yang et al. (2010). Daarom zou de niet-unieke CSL in sommige transitional soils te wijten kunnen zijn aan de variabiliteit van de FC (Fine Content) in de natuurlijke monsters, de structuur en/of de gradering van de bodem, aangezien dit niet wordt waargenomen in alle studies.

3.3 Methode

Voor deze locaties zijn de 'co-located' boringen en sonderingen bepaald met een onderlinge afstand tot 10 m. Vervolgens is in de boorbeschrijving gezocht naar de juiste grondsoorten die in aanmerking komen voor 'transitional soil'. Een transitional soil is op basis van NEN5104 gedefinieerd als een klei met een hoog zand (en silt) aandeel, en weinig tot geen humeuze bijmenging. Ook leem en keileem valt onder transitional

[1] Hoewel deze norm inmiddels is vervallen, is voor dit onderzoek hierbij aangesloten aangezien er gebruik wordt gemaakt van boringen die in het verleden zijn uitgevoerd.

soil. Verder is de diepte beperkt vanaf onder de grondwaterstand, omdat dit geen onderzoek betreft naar onverzadigd gedrag is, tot NAP -15 m, omdat de focus voor dijken is op Holocene grondlagen.

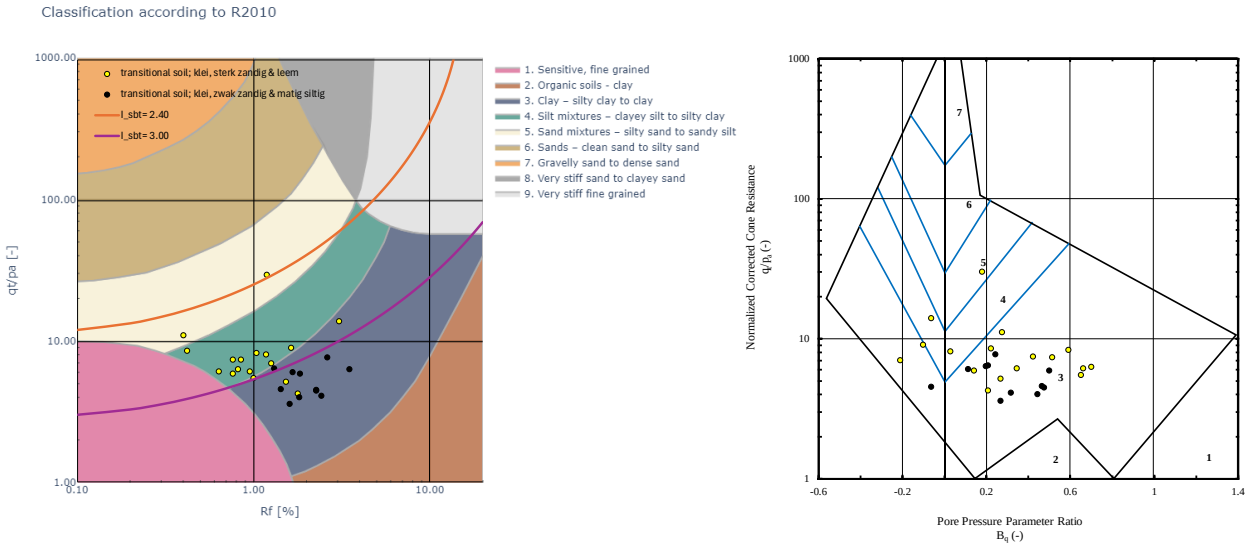
Voor de sonderingen is in eerste instantie gekeken naar de juiste overeenkomst met de boorbeschrijving op basis van 'expert judgement'. Hierbij is gebruik gemaakt van de classificatie volgens Robertson (2010) waarbij de grondsoort mag plotten in SBT=4, met overlap in SBT=3 en SBT=5. Er zijn alleen sonderingen gebruikt waarin ook de waterspanningen zijn gemeten omdat deze informatie benodigd kan zijn voor de juiste classificatie. Voor de geselecteerde pairs zijn de spanningen bepaald zodat ook de genormaliseerde cpt-parameters (Robertson, 2016) kunnen worden bepaald. In bijlage V is een overzicht gepresenteerd van de 28 geselecteerde pairs.

3.4 CPT classificatie

De boorbeschrijving kent vier grondsoorten, met verschillende bijmengingen. Op basis van de boorbeschrijving is de dataset is verdeeld in twee groepen:
- klei, sterk zandig & leem;
- klei, zwak zandig & klei, matig siltig.

De resultaten van alle pairs zijn geplot in afbeelding 3.1a en afbeelding 3.1b conform de classificatie van Robertson (2010). Deze groepen zijn duidelijk herkenbaar in de SBT plot van afbeelding 3.1a. De meeste pairs van de groep 'klei, sterk zandig & leem' vallen in SBT=4 (Silt mixtures). Er plotten twee pairs in SBT=5, 'sand mixtures', maar die pairs hebben tevens een relatief hoge u2-meting, wat wel degelijk duidt op ongedraineerd gedrag. Er plotten ook drie pairs in SBT=3 (Clay) en anderzijds plotten er geen pairs van de tweede groep 'klei, zwak zandig & klei, matig siltig' in SBT=4. De I_sbt grenzen op basis van deze database zijn tevens geplot in de grafiek, met als bovengrens I_sbt=3.0 en ondergrens I_sbt=2.4. Voor de zone 2.4<I_sbt<2.6 geldt dan wel dat Bq>0.1 moet zijn om zand uit te sluiten.

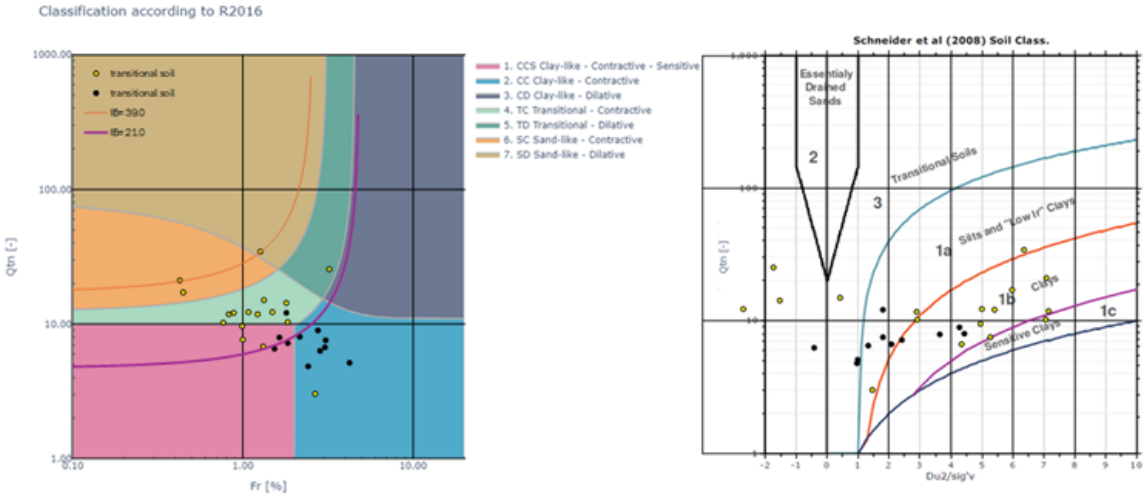
Afbeelding 3.1 (Links) 3.1a SBT classificatie conform Robertson 2010 op basis van consusweerstand en wrijvingsgetal. (Rechts) 3.1b SBT classificatie conform Robertson 2010 op basis van consusweerstand en waterspanning



In afbeelding 3.1b is dezelfde verticale as gebruikt en op de horizontale as de relatieve waterspanning, genormaliseerd door de consusweerstand. Relatief weinig pairs plotten in SBT=4, 'silt mixtures'. Het lijkt erop dat de indeling matig correspondeert met die van afbeelding 3.1a. Wat verder opvalt is er slechts vier pairs zijn met wateronderspanning, waarvan er drie op de grens van SBT=3 en 4 plotten en één in SBT=3. De wateronderspanning en het dilatant gedrag is kenmerkend voor het gedrag van transitional soils in een triaxiaalproef. Het zijn juist de zandige samples met hoge conusweerstand die wateroverspanning geven. Blijkbaar is het gedrag in een CPT anders dan in een triaxiaalproef.

De resultaten van alle pairs zijn tevens geplot in afbeelding 3.2a en afbeelding 3.2b conform de classificatie van Robertson (2016). Het merendeel van de pairs, op twee na, plotten onder de CD=70 lijn, wat duidt op contractant gedrag. Dit is opvallend aangezien juist het dilatant gedrag in een triaxiaalproef kenmerkend is voor transitional soils. Er plotten twee pairs in SC, 'sand, contractive', dat zijn dezelfde twee pairs als in Robertson (2010). Er valt 1 punt in SD, 'sand, dilative', dat punt heeft ook een grote wateroverspanning. Een aantal pairs valt nu onder CCS, 'clay-like, contractive, sensitive'. Het lijkt erop dat deze zone in 2016 wat aan de ruimer is gekozen dan in Robertson (2010). Er valt één punt van de groep in 'klei, sterk zandig & leem' in SBT=CC en andersom valt er één punt van de groep 'klei, zwak zandig & klei, matig siltig' in SBT=TC. De I_sbt grenzen op basis van deze database zijn tevens geplot in de grafiek, met als bovengrens IB=39 en ondergrens IB=21. Voor de zone 32<I_sbt<39 geldt dan wel dat Δu/σ'v>2 moet zijn om zand uit te sluiten.

Afbeelding 3.2 (Links) 3.2a SBT classificatie conform Robertson 2016 op basis van consusweerstand en wrijvingsgetal.
(Rechts) 3.2b SBT classificatie conform Robertson 2016 op basis van consusweerstand en waterspanning



In afbeelding 3.2b is dezelfde verticale as gebruikt en op de horizontale as de relatieve waterspanning, genormaliseerd door de effectieve spanning. Er is hier een afwijkende SBT-indeling gebruikt. Het lijkt erop dat de indeling matig correspondeert met die van afbeelding 3.2a. De pairs van groep 'klei, sterk zandig & leem' plotten verspreid over SBT=3, 'transitional soils' en SBT=1a, 'silts' en SBT=1b, 'clays'. De conclusie over relatief weinig pairs met wateronderspanning is hetzelfde als bij Robertson (2010).

3.5 Conclusies en aanbevelingen

Op basis van het beschikbare grondonderzoek is een eerste indruk verkregen van een classificatie van transitional soils op basis van sonderingen. Voor de groep 'klei, sterk zandig & leem' is er een goed match gevonden met de SBT classificaties in Robertson 2010 en 2016 en zijn de I_sbt en IB grenzen bepaald die net iets ruimer liggen dan de standaard grenzen voor 'Silt mixtures & Transitional soils'.

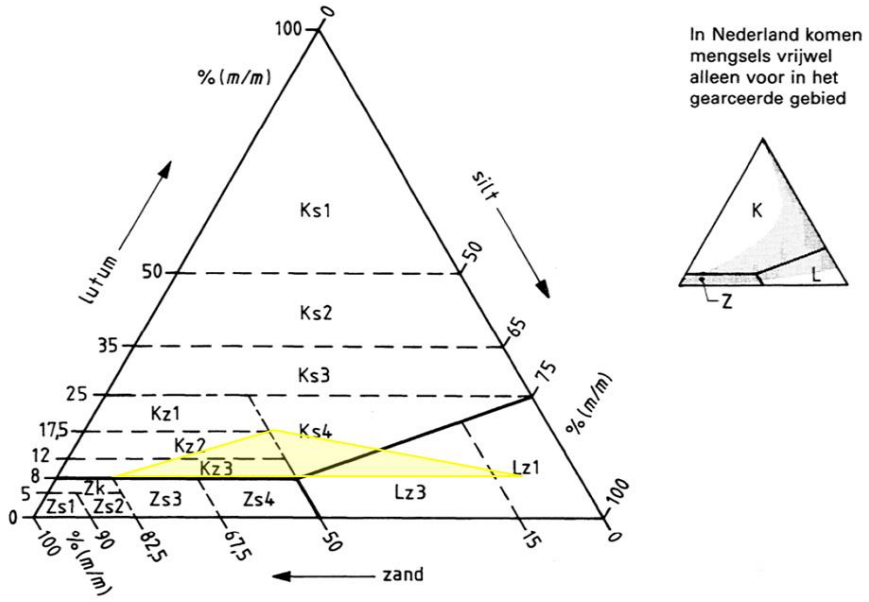
Er is een duidelijke waterspanningsrespons gemeten, die meestal positief is (wateroverspanning) en soms negatief. De consistentie in de SBT zonering op basis van de waterspanning is echter matig. Waterspanningen zijn nuttig de classificatie om zand van transitional soil te kunnen onderscheiden. De beschrijving van de groep die correspondeert met transitional soils volgt uit een selectie van 28 pairs. In onderstaand afbeelding 3.3 is een voorzet gegeven op basis van NEN5104 om deze groep beter te beschrijven. Aan de groep vallen de volgende grondsoorten:

- Kz2: klei, matig zandig*;
- Kz3: klei, sterk zandig;
- Ks4: klei, uiterst siltig*;

- Lz1: leem, zwak zandig*;
- Lz3: leem, sterk zandig.

De grondsoorten met * zijn toegevoegd op basis van de huidige analyse. Voor de meeste grondsoorten geldt dat ze niet organisch zijn of zwak organisch (zwak humeus).

Afbeelding 3.3 Grondsoorten indeling conform NEN5104



Figuur 4 – Indeling van de lutum-silt-zanddriehoek

De resultaten sluiten aan bij de inzichten uit de literatuurstudie, zie bijlage IV. Uit deze studie blijkt op basis van internationaal onderzoek dat 'transitional' gedrag te koppelen is aan de korrelverdeling. Het betreft samples met een relatief hoog 'sand content' en laag 'clay content'.

Het wordt aanbevolen om meer onderzoek uit te voeren om de grenzen beter te bepalen en de groep beter te beschrijven conform NEN5104 en hierbij ook de vertaling naar de nieuwe ISO 14688 norm te maken zodat de methodiek toekomstbestendig is. Hiervoor kan dezelfde exercitie, maar dan voor heel Nederland, worden uitgevoerd. Ook verdient het de aanbeveling om naast boorbeschrijvingen gebruik te maken van beschikbaar labonderzoek (volumegewicht en sterkte), aangezien deze data objectiever is en minder gevoelig voor interpretatie.

Verder zou het beter zijn de resultaten in een driedimensionale CPT classificatie te plotten waarin de derde as door de relatieve waterspanningen worden geplot, aangezien de 2D plots weinig opleveren. Verkennende analyses hebben aangetoond dat dit goed werkt voor bijvoorbeeld Potklei en Veen.

3.6 Referenties

- ISO14688-2. 2017. Geotechnical investigation and testing - Identification and classification of soil - Part 1 & 2: Principles for a classification. International Organization for Standardization.
- NEN5104. 1989. Classificatie van onverharde grondmonsters (In Dutch), Classification of unconsolidated soil samples. Nederlands Normalisatie-instituut.
- Robertson, P.K. 2010. Soil behaviour type from the CPT: an update. In 2nd international symposium on cone penetration testing, USA. pp. 9-11.
- Robertson, P.K. 2016. Cone penetration test (CPT)-based soil behaviour type (SBT) classification system — an update. Canadian Geotechnical Journal, 53(12): 1910-1927. doi:10.1139/cgj-2016-0044.

4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN VOOR VERVOLG

Op basis van de uitgevoerde onderzoeken, kunnen een aantal conclusies worden getrokken. Ten aanzien van de huidige toepassingspraktijk onder de waterschappen kunnen een aantal zaken worden geconcludeerd:

- er zijn maar een paar waterschappen actief bezig met transitional soils:
  - de nadruk ligt vooral op de initieel onverzadigde zone;
  - bij veel waterschappen is er geen noodzaak om onderzoek te doen naar transitional soils (of deze wordt in ieder geval niet gevoeld);
- sterkteparameters worden niet uniform bepaald:
  - er is behoefte aan een eenduidige manier van statistiek bedrijven om tot een su tabel te komen;
  - er is terughoudendheid bij het gebruik van de schalingsparameter m (vaak wordt deze modelmatig bepaald, zodat geen schaling optreedt).

Op basis van het beschikbare grondonderzoek is een eerste indruk verkregen van een classificatie van transitional soils op basis van sonderingen. Voor de groep 'klei, sterk zandig & leem' is er een goede match gevonden met de SBT classificaties in Robertson 2010 en 2016 en zijn de I_sbt en IB grenzen bepaald die net iets ruimer liggen dan de standaard grenzen voor 'Silt mixtures & Transitional soils'.

Uit de literatuurstudie is verder gebleken dat het bestaande beeld van een niet-unieke CSL voor transitional soils te eenzijdig is aangezien dit in andere studies wel het geval is. De niet-unieke CSL in sommige transitional soils te wijten kunnen zijn aan de variabiliteit van de FC (Fine Content) in de natuurlijke monsters, de structuur en/of de gradering van de bodem, aangezien dit niet wordt waargenomen in alle studies.

Aanbevelingen voor vervolgonderzoek zijn:

- uitbreiden onderzoek met een extra interview met WSHD en analyse op hun data;
- naast het gebruik van boringen, wordt aanbevolen om ook te kijken naar labresultaten (sterkte en volumieke gewichten), bijvoorbeeld vanuit de beschikbare datasets van WDOD, HDSR, WF en WSHD);
- uitbreiden onderzoek met een volledige landelijke dataset en op basis hiervan aanscherpen classificatiegrenzen;
- hierbij ook de vertaling naar de nieuwe ISO 14688 norm te maken zodat de methodiek toekomstbestendig is;
- uitwerken van een robuuste, uniforme en toegankelijke methodiek voor het bepalen van de sterkte van transitional soils (met voldoende keuzevrijheid voor de specialisten).

Bijlage(n)

I

BIJLAGE: GESPREKSLEIDRAAD INTERVIEWS

GESPREKSMEMO

Aan	Deelnemers gespreksronde
Onderwerp	Omgang met transitional soils
Betreft	Gespreksmemo voor voorbereiding gesprek
Opdrachtgever	Rijkswaterstaat WVL

U bent uitgenodigd voor een gesprek betreffende de omgang van transitional soils. Dit gespreksmemo beschrijft de aanleiding, het doel en de aanpak. Ook gaan wij in op wat u kunt verwachten van het gesprek en welke voorbereiding wij van u verwachten voorafgaand aan het gesprek.

1 INLEIDING EN DOEL

Zandige klei en siltige klei met hoge volumegewichten (verzadigd volumiek gewicht groter dan 17 kN/m3) blijkt ander en veelal dilatant gedrag bij ongedraineerd afschuiven te vertonen dan klei met lagere volumegewichten. Verder blijkt uit literatuur en uitgevoerd grondonderzoek dat de SHANSEP parameters en Critical State Lijn niet eenvoudig en eenduidig te bepalen zijn.

De indruk bestaat dat er grote variatie is in aanpak tussen de waterschappen bij de omgang met transitional soils bij waterkeringen. Rijkswaterstaat WVL wil hier inzicht in krijgen. Witteveen+Bos voert hiervoor een onderzoek uit aan de hand van interviews met de waterschappen waar dit speelt.

2 AANPAK

Witteveen+Bos inventariseert bij verschillende waterschappen hoe zij omgaan met de transitional soils door middel van interviews. Deze resultaten worden samengevoegd en gebundeld in een rapport. Dit rapport wordt met Rijkswaterstaat WVL gedeeld. Op basis van de resultaten zal Rijkswaterstaat WVL bepalen of er vervolgstappen nodig zijn.

3 GESPREKSONDERWERPEN EN VOORBEREIDING

Het doel van het gesprek is duiding geven aan:
1 Proces om tot het gebruik van transitional soil te komen.
2 Vaststellen of een grondlaag een transitional soil is.
3 Gehanteerde parameters

Voor elk onderdeel vragen wij van u een voorbereiding. Ook is in het gesprek ruimte om aandachtspunten over de aanpak of uitgangspunten van de analyse te bespreken.

Proces om tot het gebruik van transitional soil te komen.

In de eerste beoordelingsronde is er voor het eerst met het CSSM-materiaalmodel gewerkt. We zijn geïnteresseerd in welke HWBP-projecten en bij welke dijktrajecten in de beoordeling er iets met transitional soils is gedaan. Als dit niet is gedaan dan zijn we daar juist ook in geïnteresseerd. Zijn er dan bijvoorbeeld gevoeligheidsanalyses of impactanalyses uitgevoerd met SU-tabelllen?

Vaststellen of een grondlaag een transitional soil is.

Van de ene laag is het simpeler om te bepalen of dit een transitional soil is dan de andere. Bij keileem is dit bijvoorbeeld algemeen bekend, maar van zandige kleien bij de Waddenzee kan dit complexer zijn. Vragen die we daarbij hebben:

- Zijn er specifiek voor transitional soils veldproeven en/of laboratoriumproeven uitgevoerd op de grondlagen?
- is er gekeken naar soortelijk gewicht?
- liggen de betreffende grondlagen onder of boven de grondwaterstand (verzadigd versus onverzadigd)?
- is er gedraineerd of ongedraineerd gedrag verondersteld?
- zijn er sonderingen gebruikt voor de classificatie? Zo ja, hoe? Ic of andere parameters uit sondering?
- zijn er classificatieproeven gebruikt? Zoals bijvoorbeeld het bepalen van Atterbergse grenzen.
- is er gekeken naar klei of fines content?
- zijn er zevingen of Particle-size distributions (PSD) gebruikt?
- met welke criteria is uiteindelijk vastgesteld of een laag transitional soil is?

Gehanteerde parameters

- Hoe is de (ongedraineerde) sterkte per type test bepaald (rekniveau bijvoorbeeld) en hoe zijn verschillende type testen gecombineerd;
- tot welke parameterset en modellen (bijvoorbeeld Su-tabel) heeft dit geleid?
- hoe is de karakteristieke lijn (waarde) bepaald?

Data delen

Zou de gebruikte de data voor de bepaling van de parameters met ons gedeeld kunnen worden? Een ander deel de opdracht van Witteveen+Bos is om op hoofdlijnen een betere procedure voor te stellen voor de classificatie van transitional soils. Werkelijke toegepaste data zou ons daarbij helpen.

- Het gaat om Basis data vanuit de proeven en de resulterende ontwerplijn (su tabel).
- zijn er ook CPT gegevens bekend?
- mogen we deze data gebruiken bij het (vervolg)onderzoek? Dit zou ook anoniem kunnen.

II

BIJLAGE: UITWERKING INTERVIEWS

Beheerder	WSRL	HDSR	WRIJ	WDOD
Telefoon contact				
Gebruikt in LBO1	Nee, op basis van inzichten van die tijd gedraineerd gedrag meestal aangehouden, ook wegens ontbreken goede modellen.	Nee	Nee	Ja, bij meerdere trajecten
Gebruikt in Projecten	ja	Sterkte Lekdijken, groot deel scope verdwenen. Er is veel durf om dingen toe te passen.	Pannerdense Waard - Westervoort	niet besproken
Gevoeligheidsanalyses / impactanalyse	ja	Ja, verschillende uitgevoerd	Ja	niet besproken
Reden waarom wel toegepast	-	Grote scope weggerekend	Groot deel scope macrostabiliteit weggerekend.	Beter manier om de juiste sterkte toe te kennen.
Reden waarom niet toegepast	-	n.v.t.	n.v.t.	nvt
Overige opmerking	Rest van antwoorden volgt in interview		-	-
Interview				
Datum interview	19-12-2023	29-11-2023	12-12-2023	13-12-2023
Proces				
Proces in algemene zin	Kennis wordt vaak ontwikkeld in de projectenorganisatie en gaat dan naar de beheersorganisatie Dijkversterkingsprojecten met transitional soils 1e was Neder betuwe; 2e SAFE; 3. SSH Bij Neder Betuwe en SAFE was het Handelingsperspectief schuifsterkte onverzadigde zone rapport nog niet beschikbaar. Bij ingangstoets van SSH richtwaarden gebruikt uit Handelingsperspectief schuifsterkte onverzadigde zone rapport. Daar kon WSRL niet zoveel mee, omdat de SU waarde van 40 kpa niet aantoonbaar was. Toen zelf verder gegaan met eigen onderzoek. Met NKT-methode (sterkte bepalen aan de hand van conusweerstand) aan de gang gegaan, werkte niet heel goed (hoge spreiding) voor dijksmateriaal en transitional soils. Opvallend was dat schuifsterkte niet/minimaal toeneemt over de diepte. SUkar trajectbreed van 30 kPa op basis van sonderingen. Proeven laten veel hogere sterkte zien. Uiteindelijk is door WSRL i.o.m. DIV en ADO een waarde vastgesteld die zeker aanwezig is op basis van zowel de proeven als de sterkte bepaling met sonderingen. Onderbouwd 15% rek toegepast vaak bij verschillende trajecten door rekening te houden met anisotropie van de ongedraineerde schuifsterkte., omdat de schuifsterkte alleen maar toenam na 15%. Oorsprong bij GoWa, gebaseerd op onderzoek waarvoor deltares triaxiaal extensieproeven uitgevoerd heeft, ook artikel in de Geotechniek. WSRL heeft de SU tabellen ook vergeleken met andere waterschappen, kwam redelijk overeen.	Bij dijkversterking Salmsteke – Schoonhoven (SAS) is innovatiespoor geweest waarbij STBI2 en STBI3 over transitional soils gaan. STBI 2: Is een SU tabel een beter middel, dan c phi of shansep, STBI 3: Sterkte initieel onverzadigde zone. Bij start project (voor alle deeltrajecten): Kern en afzettingen met vol gewicht >17,5kN/m3 onder dagelijkse GWS, eerst met shansep, er kwamen vragen doordat er monsters met dilatant gedrag, deze werden verwijderd uit de proevenverzameling. Initieel onverzadigde zone gedraineerd. Halverwege overgestapt vanaf NGI methode+POP uit sonderingen naar fit-methode met regionale waarde van de POP (soort van Su-tabel). Later (deeltraject SAS): Initieel verzadigde zone Shapsep naar veilige waarde SU-tabel: Bij omslagpunt van waterspanning tussen dilatant en contractant waarde gebruikt, (phase transition point) (1,5 of 2% rek). Dit kan worden gezien als een veilige waarde van SU tabel. Initeel onverzadigde zone (onderzoek genaamd STBI3) daar is vaste SU waarde gehanteerd van 15 kPa op basis van onderzoek Deltares. Uiteindelijk: Zowel initieel onverzadigd als verzadigd met SU tabel. Uiteindelijk neemt sterkte toe, hele scope STBI en STBU weggerekend. 2 van 12 km. Vooral toepassen in initieel onverzadigde zone.	In 2021 was er het handelingsperscpectief van Alexander van Duinen over initieel onverzadige zone, dit gaf een eerst handvat. Daarvoor, in de beoordeling en vvk, zijn su tabellen nog niet toegepast. Vanaf de verkenningsfase is er gerekend met su tabellen. De indicatie dat er extra sterkte is , komt voort uit verdichting die niet goed wordt meegenomen in de gedraineerde critical state benadering. Er is nog nagedacht over het gebruik van pieksterkte, maar dit werkte niet echt, omdat er veel spreiding is in de pieksterkte hetgeen resulteert in een erg lage karakterisitke sterkte. Om de su tabellen te bepalen in labonderzoek uitgevoerd op de initieel ondervzadigde grondlagen (klei). Eerst is er een lage karakteristieke waarde (5% ondergrens) aangehouden, maar dit gaf een relatief hoge schuifsterkte. Er is daarom conservatief een minimale ondergrens aangehouden. Er is onderscheid gemaakt tussen de lage en hoge spanningen. Proces vanaf verkenning 1. Is het allemaal klei? Hoe reageert het? 2. Overleg met verschillende gremia (o.a. ADO) 3. gevoeligheidsanalyses 4. SU tabel samengesteldop basis van proeven. 5. sonderingen minitieus bestudeerd op zandlensjes 6. Uitgangspunten bepaald. dikker dan 25 cm zand is laag, anders lens.	Vanaf begin beoordeling worstelt WDOD met traxiaalproeven die dilatant gedrag vertoonden en niet goed konden worden beschreven met Shansep. Vanaf maart 2021 (beoordeling Deventer 53-1) was het handelingsperspectief er kon WDOD er meer mee. Vanaf dat moment begon WDOD met Transitional Soils te werken. WDOD heeft CRS proeven gebruikt om te bepalen welke lagen als transional soil konden worden geclassicificeerdzag. Gedaan o.b.v. kromming van de CRS proef, Alexander raadde aan om de proef ver door te zetten, zodat mogelijk toch een recht lijn (normaal geconsolideerd) gevonden zou worden. Alle proeven zijn toen tot 1500 kpa doorgezet, (figuur 7 geotechnische parameters 53-1.pdf). Er bleek altijd een kromming te zijn bij bepaalde proeven. Overgeconsolideerde DSS proeven gedaan bij veldpanning. Hiervoor is gekozen omdat de spreiding op de resultaten hier veel beperkter was dan bij triaxiaal (Figuur 9). OBV de proefresultaten is een SU tabel afgeleid. Van de puntenwolk van figuur 9 is een pragmatische aanpak gekozen, om een ondergrens te hanteren van de puntenwolk (oranje lijn). Deze SU tabel is toegekend aan tot maximaal 3,3m-kruin, obv de uitgevoerde proeven (uitgezet tov kruin). Onder de 3,3 m was niet altijd de doorgaande kromming altijd te zien, dus daar waren we zeker van. Tot hier de beschouwding van Deventer. Bij vervolgtrajecten is dezelfde aanpak aangehouden, al is het bepalen van de karakteristieke SU tabel wel steeds even anders gegaan (karakteristieke ondergrens dmv lineaire regresse of dubbele kromming statistiek). Bij 11-1 bleek de traxiaal proeven toch anders te reageren. Arcadis adviseerde dat het met Shansep en SU tabel. Uiteindelijk gekozen voor SU tabel, zie pagina 4 van 11-1 Memo parameters STBI- STBU.
Beschrijving ondergrond	In het beheersgebied bestaan vrijwel alle kernen uit klei met daaronder holocene kleilagen. In enkele traject zijn zandscheggen aanwezig. In het oosten van het beheersgebied ligt de dagelijkse grondwaterstand 2 m onder maaiveld, richting het westen wordt dit minder. Alle projecten behalve SSH rekenen nog met gedraineerd gedrag boven de dagelijkse freatische lijn. SSH is ook het laatste project.	Kernmateriaal en 1e m achterland is als zelfde materiaal geschematiseerd, dit is alleen bij SAS, niet bij sterke lekdijk. Bij sterkte lekdijken hebben de 1e 2meter een vol gewicht van 18-20 kN/m3. Daaronder lichtere klei. 18-20 is een van de indicatoren uit de SH Macrostabiliteit.	Kleikern (19/20 kN/m3) initieel onverzadigd, holocene kleilaag initieel (18/19 kN/m3); GWS 2,5 onder maaiveld. Onder GWS ook nog klei, deze is goed met shansep te beschrijven en was in dit project minder relevant.	In proevenverzameling (zie ook geotechnische parameters 53-1.pdf, figuur 5) zie je veel hoge volumieke gewichten. Transitional soils bij verschillende trajecten toegepast. Binnen het beheersgebied verschilt de bodemopbouw. Er zijn meerdere trajecten met zware klein in de kern en in de eerste holocene kleilaag. Bij traject 225 en 11-2 is een sprong tussen grens wel of niet transitional soils in achterland en kruin op basis reageren proeven. (document 225 rapportage parameters v2). Op een bepaalde diepte werkt ongeconsolideerd triaxiaalproef wel, dan kon dit gewoon met Shansep. Daaronder vaak organische klei/veen en zand.
Ervaring met Transitional soils [ja/nee]	ja	Ja, veld en lab onderzoek	ja	ja
Gebruikt in LBO1	Nee	nee	In veiligheidsbeoordeling (2018) niet meegenomen.	Ja meerdere trajecten
Gebruikt in Projecten	Ja, bij Neder Betuwe, SAFE en SSH (Sprok Sterreschans Heteren). GOWA, TIWA, WOS, Stad Tiel zijn voor onderzoek al gestart, daarom geen SU tabel toegepast.	Alle VKA's nog met Shansep onder dagelijkse GWS en gedraineerd boven.	Ja, dit interview gaat over Pannerdense Waard - Westervoort	Zwolle - Olst in voorverkenning Shansep, bij planuitwerking is een harde waarde van 20 kPa gehanteerd, is proevenverzameling van Zwolle - Olst is dit te zien.
Gevoeligheidsanalyses / impactanalyse	Ja, enorm verschil in stabiliteit. Bij projecten rondom ingangstoets.	Impactanalyse kan je doen met bijv 20kpa. Maar wat is het handelingsperspectief daarna bij een groot traject?	ja	Niet altijd, is al vrij snel met transitional soils begonnen.
Reden waarom wel toegepast	Betere beschrijving van sterkte	veel effect	doelmatigheid van de versterking en milieuwinst	Betere bepaling parameters en betere omschrijving gedrag
Reden waarom niet toegepast	-	n.v.t.	n.v.t.	-

Beheerder	WSRL	HDSR	WRIJ	WDOD
Algemene opmerking over proces	M-waarde is geprobeerd af te leiden o.b.v. proeven voor SAFE. Eerst is geconsolideerd naar een spanningsniveau om de monsters de gewenste dichtheid te geven. Vervolgens is het spanningsniveau verlaagd en is de waterdruk in de monsters opgevoerd, om de monsters te laten zwellen (stap 6). Als de monsters niet zijn bezweken bij heel lage spanningen tijdens het zwellen, is een ongedraineerde afschuiffase opgelegd. Met deze proefprocedure is een hoogwatersituatie nagebootst. De monsters bezweken al in gedraineerde deel. Toen is voor klei zandig bij SAFE gedraineerd gedrag aangehouden op locaties waar een lage effectieve spanning kan voorkomen (naast de dijk). Er is daar gekozen om naast de dijk voor gedraineerd gedrag boven ongedraineerd gedrag (dus de grondlaag naast de grondlaag met de SU tabel is gedraineerd aangehouden). Dit is bijvangst van de m-waarde onderzoek. m-waarde kon wel afgeleid worden, maar niet heel betrouwbaar door al de afschuivingen. Dit zit in de proevenverzameling (net zoals de andere shansep parameters). Voor SSH is de lagere sterkte voor klei zandig naast de dijk niet gehanteerd omdat deze situatie niet zodanig vooromt en is wel met SU tabel gerekend. WSRL heeft ook veel contact met WRIJ vanwege de overkant met SSH.	Bij SAS grote optimalisatie (hele scope weggerekend, 2km), maar geen handvatten om dit overal toepassen. Wanneer is er extra grondonderzoek nodig? En hoeveel grondonderzoek heb je dan nodig om het aan te tonen? Om de 25 m? Onderzoek moet uitgevoerd worden als het verzadigd is, anders krijg je zuigspanningen. m waarde blijft ook binnen HDSR een discussiepunt. Bij WAM en JAF is een m geschaald met een work-around (Arcadis-methode). SAS heeft 0,7 op advies van Deltares.	Steeds ook nog overleg met Alexander van Duinen.	Sterkte was soms wel 2x zo groot. In Deventer geen afkeur op stabiliteit, waarschijnlijk door gebruik SU tabel.
Vaststellen grondlaag transitional soil				
Zijn er specifiek voor transitional soils veldproeven en/of laboratoriumproeven uitgevoerd op de grondlagen?	CRS, DSS, TXC, TXE	Ja	40 triaxiaalproeven bij terreinspanning, anisotroop normaal geconsolideerd, 20 in dijk, 20 deklaag. CRS proeven niet. Geen veldproeven door waterschap, wel Deltares met proefveld bij Westervoort.	CRS, daarna traxiaal- en DSS proeven.
is er gekeken naar soortelijk gewicht?	Ja, Ook lichtere volumieke gewichten in de kern gedragen zich vaak als transitional soil bleek uit de proeven.	Ja	Ja, bij traxiaal proeven.	Ja
liggen de betreffende grondlagen onder of boven de grondwaterstand (verzadigd versus onverzadigd)?	Beiden.	Beide	In de initieel onverzadigde zone	Beide
is er gedraineerd of ongedraineerd gedrag verondersteld?	Beide, het werkt goed om een doorsnede te hebben met waar welk model wordt gehanteerd. Dit geeft ineens een goed beeld. Aan die dwarsdoorsnede zou veel van het interview gekoppeld kunnen worden.	Beide	Er is ongedraineerd gedragen veronderstelt indien kleilagen in de initieel onverzadigde zone dikker zijn dan 1 m. Van dunnere kleilagen kan dit niet met zekerheid worden gezegd en die zijn daarom met een critical state waarde voor de phi (33 graden ofzo) gemodelleerd.	Ongedraineerd
zijn er sonderingen gebruikt voor de classificatie? Zo ja, hoe? Ic of andere parameters uit sondering?	Sonderingen zijn niet gebruikt om te bepalen een laag een transitional soil is.	nee, sonderingen werken niet om zware klei te onderscheiden van de lichte klei. Ook Ic Bij dilatant en contractant was geen grens bij volumiek gewicht.	Ja, maar voornamelijk voor bepaling klei of zand. Veel expert judgement. Grondgedrag 'ingekleurd' op sondering met kleurpotloden. Alle klei boven de initiele grondwaterstand is als transitional soil geclassificeerd. Ic werkt niet goed boven grondwaterstand, dus niet toegepast.	Nee, daar was weinig nuttigs in te zien, de sonderingen waren ook vooral buiten de grondwaterstand.
zijn er classificatieproeven gebruikt? Zoals bijvoorbeeld het bepalen van Atterbergse grenzen.	Ja	nee, alleen watergehalte voor verzadigingsgraad om te kijken of de consweerstand vertaald kon worden naar schuifsterkte	Ja, in beperkte mate (Ip = ca. 21%).	Wel uitgevraagd, maar uiteindelijk niets mee gedaan bij de verschillende trajecten omdat er ook niet veel uit te halen viel (obv van de kennis van toen).
is er gekeken naar klei of fines content?	Ja	nee	Ja, in beperkte mate (Lutum = 29% en zand is 15 à 30%).	Nee
zijn er zevingen of Particle-size distributions (PSD) gebruikt?	Nee	nee	Nee	Nee
met welke criteria is uiteindelijk vastgesteld of een laag transitional soil is?	Contractant/dilatant op basis van triaxiaalproef. Volumieke gewichten >17,5 kN/m3, CRS proef doorgaande kromming. Shansep data fitten dan kan een m groter dan 1 komen. Als dat is, dan heb je een transitional soils.	volumiek gewicht , redelijk uniforme zware deklaag	Obv grondwaterstand (initieel onverzadigde grond). Zand of klei met sonderingen.	CRS proef
Overige opmerkingen vaststellen grondlaag	-		De gevonden SU waarden zijn hoog, soms heel erg hoog, dit kwam door grind in de grond. Uiteindelijk is een getrapte ondergrens toegepast.	De CRS proef is echt het duidelijkste instrument dat je hebt als je deze doorzet tot 1500 kpa.
Gehanteerde Parameters				
Hoe is de (ongedraineerde) sterkte per type test bepaald (rekniveau bijvoorbeeld) en hoe zijn verschillende type testen gecombineerd;	15% rek toegepast vaak bij verschillende trajecten, zie algemene opmerking. Gebruik van proevenverzamelingstool.	Verschillen tussen samendrukking, DSS en extensieproeven zijn beschouwd. Sterkte bepaald op basis van samendrukking en DSS of alleen samendrukking. Lagere sterkte in DSS. Het idee is om anisotropie te bepalen met DSS	Op basis van triaxiaalproeven bij terreinspanning, anisotroop normaal geconsolideerd. De sterkte bij eindrek is gekozen om een ondergens te bepalen.	Overgeconsolideerde DSS proeven op klei bij veldspannin. Sterkte is bij de eindrek bepaald.\
Tot welke parameterset en modellen (bijvoorbeeld Su-tabel) heeft dit geleid?	SU tabel en m-waarde per project	SU tabel	SU tabel en critical state phi waarde.	Verschillende, per traject een of twee (alleen 11-1, op basis van diepteligging)
Hoe is de karakteristieke lijn (waarde) bepaald?	Proevenverzamelingstool	op basis van 5% ondergrens. Alexander heeft hier geadviseerd om alle proeven te bekijken. Eerder alleen contractant gebruikt.	5% ondergrens	Verschillend: obv minimale schuifsterktes, lineaire regressie of mbv de dubbele kromming
Toelichting gebruik m-waarde	De m-waarde is afgeleid van proeven. Daarna gebruikt zodat deze bij hoogwater en dagelijks over dezelfde lijn gaat. Dus geen schaling in horizontale lijn.		Schalingsfactor is wel toegepast, maar conservatief afgeleid uit het spanningsafhankelijke gedrag van de proeven bij terreinspanning.	Obv de a en b waarde uit de CRS proef. Statistiek toegepast om karakteristieke waarde te bepalen.
Overige opmerkingen parameters	Sonderingen worden wel gebruikt voor grondopbouw, maar niet voor sterkte, dit heeft niet de voorkeur. Heel foutengevoelig, zijn er heel veel, je moet ze ook nog eens combineren. Steeksproefsgewijs wordt wel gekeken ter verficatie van het grondgedrag (gedraineerd/ongedraineerd). Proevenverzamelingstool is nog niet gecontroleerd voor SU tabel. WSRL is wel gecharmeerd van deze tool, er is vertrouwen in de omgang met variaties.	-	Bovenste meter van dijk gerekend met 5 kPa vanwege gescheurde kleilaag. Verzoeken. Advies voor vervolgonderzoek: Wanneer (bij welke dikte) is een laag wel of niet een onderscheide laag. Wat kan je nog schematiseren, wanneer is iets een laag? De geinterviewde denkt dat een dunne handreiking (met proces en veilige waarden à la tabel 2.b) waterschappen kan helpen, maar ze kunnen niet alle benodigde diepgeaande kennis zelf in huis houden. Mogelijk verkleint dit de kans dat er onnodig wordt afgekeurd. De geinterviewde ziet dat er maar een paar mensen veel theoretische kennis over transitional soils hebben, die werken voornamelijk bij Deltares. Het is super fijn dat we Alexander van Duinen hebben, mogelijk is dit ook een kwetsbaar punt van de kennisverankering. Over zijn ervaringen bij Limburg. In Limburg is de grond veel zandiger in initieel onverzadigde zone, dus minder winst van bij Pan-Wes (Misschien weet iemand van Fugro meer van Lob van Gennep)	Er is een wens vanuit WDOD om een eenduidige herleidbare statistiek toe te passen. Arcadis heeft een sheet waarmee het een dubbele kromming gemaakt kan worden, maar maakte de situatie niet goed herleidbaar.
Data delen				
Het gaat om Basis data vanuit de proeven en de resulterende ontwerplijn (su tabel).		ja in principe wel	Moet gevraagd worden.	Ontvangen
Zijn er ook CPT gegevens bekend?	Ja, om de 30 a 40 m vaak	Ja	Ja, zie rapport	Ja, kunnen opgevraagd worden wanneer nodig.
Mogen we deze data gebruiken bij het (vervolg)onderzoek? Dit zou ook anoniem kunnen.	SU tabellen wel, ander onderzoek waar nodig specifiek opvragen	In principe wel	Ja	Ja
Overige opmerkingen data delen	-	geen	geen	Er is heel veel data, graag gericht opvragen
Ruimte voor opmerkingen	Alle SU tabellen komen van proevenverzamelingen, niet van sonderingen. In SIOZ staat dat je met sonderingen goed kan werken. De sterkte van de proevenverzameling is echt anders dan bij de sonderingen. Als je SU tabellen op elkaar ligt, liggen de resultaten redelijk bij elkaar in de buurt. Bij sonderingen is dat niet zo. Dus eerder focus op proevenverzameling voor een consistent resultaat.	HDSR is zeer geinteresseerd hoe andere waterschappen omgaan met transitional soils en zou graag op de hoogte gehouden willen blijven.	-	

Beheerder	Wetterskip Koehool - Lauwersmeer	Wetterskip algemeen	HHNK	Noorderzijlvest	Aa en maas	Vallei en Veluwe	Waterschap Limburg	Hollandse Delta	Scheldestromen	Hunze en Aa's
Telefoon contact										
Gebruikt in LBO1	?	begin mee gemaakt in veld en lab onderzoek (Lemmer - Koehool)	onbekend		Consequentieanalyse, wel vaak zandinsluitingen. Gegevens die er zijn geven veel spreiding.		nee		nee	
Gebruikt in Projecten	ja, voor beoordeling KLM	ja voor beoordeling Lemmer - Koehool	Nee		Keuze voor project, je kan niet alles doen, kans van succes meenemen. Veel zand. Mogelijk gaat dit wel bij Doeveren (Waalwijk) spelen, daar lijkt het iets minder zandig.		mogelijk, niet grootschalig		nee	
Gevoeligheidsanalyses / impactanalyse	vastgelegd in beoordeling: door toepassen aangepaste sterkteparameters voor dijksmateriaal significante verhoging van stabiliteit gevonden (orde grootte van 1,1 naar 1,5)	nog niet veel gerekend; volgt vanaf nu	onbekend		ja		onbekend		nee	
Reden waarom wel toegepast	Voldoende zekerheid vanuit proeven (lab en veldvin), forse reductie opgaaf.	vanwege zandige kleilagen met hoge volumieke gewichten en hoge ongedraineerde schuifsterkte (wadafzettingen, keileem en dijksmateriaal)	-		n.v.t.		-		-	
Reden waarom niet toegepast		n.v.t.	Niet serieus toegepast. Duidelijk was een aantal jaar geleden dat Keileem in de keringen een transitional soil was. De siltige zandige lagen liggen bij HHNK vrij diep én resultaat onderzoek is onzeker, daarom niet verder onderzocht.		Combinatie van 2 redenen: 1 veel zand 2 veel spreiding		Vanwege veel zand in de kern.		Waterschap Scheldestromen is er niet aan toegekomen om zich aan deze kennis te verdiepen, omdat er voornamelijk zanddijken zijn en de klei volumieke gewichten rond de 15/16 kN/m3 liggen.	
Overige opmerking		--	-		-				In de toekomst willen ze willen ze dit wel nader gaan beschouwen.	
Interview			nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
Datum interview										
Proces										
Proces in algemene zin	Het is de vraag wanneer iets uberhaupt een 'transitional soil' is, we hadden hier zandige klei. We hadden eigenlijk ingezet op hogere sterkte doordat de oude waterkering in de onverzadigde zone zat, maar konden geen sterke correlaties met diepte en/of watergehalte vinden. Maar troffen wel consistent veel hogere sterktes aan dan met de eerdere modellering werd gevonden. Vandaar voor deze zware, zandige klei naar een sigma/tau tabel achtige benadering gegaan.									
Beschrijving ondergrond										
Ervaring met Transitional soils [ja/nee]		ja, in veld en lab onderzoek								
Gebruikt in LBO1		begin mee gemaakt in veld en lab onderzoek								
Gebruikt in Projecten		ja								
Gevoeligheidsanalyses / impactanalyse		nog niet veel gerekend; volgt vanaf nu								
Reden waarom wel toegepast		vanwege zandige kleilagen met hoge volumieke gewichten en hoge ongedraineerde schuifsterkte (wadafzettingen, keileem en dijksmateriaal)								
Reden waarom niet toegepast		n.v.t.								

Beheerder	Wetterskip Koehool - Lauwersmeer	Wetterskip algemeen	HHNK	Noorderzijlvest	Aa en maas	Vallei en Veluwe	Waterschap Limburg	Hollandse Delta	Scheldestromen	Hunze en Aa's
Algemene opmerking over proces		--								
Vaststellen grondlaag transitional soil										
Zijn er specifiek voor transitional soils veldproeven en/of laboratoriumproeven uitgevoerd op de grondlagen?	ja, classificatietesten, dissipatietesten, veldvintesten, direct simple shear testen, triaxiaal (geconsolideerd en ongeconsolideerd), sonderingen met bepaling vochtgehalte.	ja, classificatietesten, dissipatietesten, veldvintesten, direct simple shear testen								
is er gekeken naar soortelijk gewicht?	ja	nee								
liggen de betreffende grondlagen onder of boven de grondwaterstand (verzadigd versus onverzadigd)?	Met name boven	beide								
is er gedraineerd of ongedraineerd gedrag verondersteld?	vanwege hoge watergehaltes wordt er ongedraineerd gerekend	beide; grens bij Ic = 2,4								
zijn er sonderingen gebruikt voor de classificatie? Zo ja, hoe? Ic of andere parameters uit sondering?	sonderingen en boringen, bij sondering op basis van ic	ja, Ic								
zijn er classificatieproeven gebruikt? Zoals bijvoorbeeld het bepalen van Atterbergse grenzen.	nee	ja, atterbergse grenzen, korrelverdelingen								
is er gekeken naar klei of fines content?	nee	ja								
zijn er zevingen of Particle-size distributions (PSD) gebruikt?	nee	ja								
met welke criteria is uiteindelijk vastgesteld of een laag transitional soil is?	**bestekstekeningen en validatie onderzoek: dat lijkt een beetje opmerkelijk, maar het ging in dit geval om het materiaal van de oude waterkering, die liet zich goed terugvinden op basis van oude tekeningen**	**Ic**								
Overige opmerkingen vaststellen grondlaag		--								
Gehanteerde Parameters										
Hoe is de (ongedraineerde) sterkte per type test bepaald (rekniveau bijvoorbeeld) en hoe zijn verschillende type testen gecombineerd;	Overal pieksterktes toegepast. Verval na piek was laag (met uitzondering van verknede veldvinproeven, maar dat is te verwachten)	triaxiaal proeven uitgevoerd; su bepaald bij 25% rek; verificatie met dss proeven en veldvintesten								
Tot welke parameterset en modellen (bijvoorbeeld Su-tabel) heeft dit geleid?	SHANSEP relatie gefit op su-sigma datapunten uit triaxiaalproeven	SHANSEP relatie gefit op su-sigma datapunten uit triaxiaalproeven								
Hoe is de karakteristieke lijn (waarde) bepaald?	lineaire regressie en kleinste kwadraten methode op log(su)-sigma	lineaire regressie en kleinste kwadraten methode op log(su)-sigma								
Toelichting gebruik m-waarde										
Overige opmerkingen parameters		--								
Data delen										
Het gaat om Basis data vanuit de proeven en de resulterende ontwerplijn (su tabel).	check bij WF	zal ik nagaan bij het wetterskip								
Zijn er ook CPT gegevens bekend?	ja	ja								
Mogen we deze data gebruiken bij het (vervolg)onderzoek? Dit zou ook anoniem kunnen.	check bij WF	zal ik nagaan bij het wetterskip								
Overige opmerkingen data delen	ik gok dat overheidsinstanties dergelijke data op verzoek moeten afstaan voor onderzoek is het niet?	--								
Ruimte voor opmerkingen		--								

III

BIJLAGE: DATA ONTVANGEN VAN WATERSCHAPPEN

Dit is een digitale bijlage.

IV

BIJLAGE: LITERATURE STUDY

A literature review is conducted to investigate the mechanical behaviour of transitional soils (additional details can be found in the companion PowerPoint file). According to the report of Deltares, clays characterized by low permeability and high content of sand and silt (γ > 17 kN/m3) are classified as 'transitional soils'. In addition, it is mentioned that the behaviour of 'transitional soils' cannot be explained according to the Critical State Soil Mechanics (CSSM). The SHANSEP technique faces limitations due to unclear relationship between the undrained shear strength (Su) and OCR in transitional soils. It was also indicated by Deltares that the e-log p is continuously curved in one-dimensional compression tests, making it challenging to determine the pre-consolidation pressure (pc).

Various researchers have explored mixtures of sand and clay, leading to the observation that in mixtures with low Fine Content (FC), fine materials do not significantly influence mechanical behaviour, resembling the behaviour of the base coarse material. Conversely, high FC mixtures exhibit behaviour akin to fine materials, with coarse particles floating and contributing less to the behaviour of the mixture (Simpson and Evans, 2016). Depending on FC, a mixture may display sand-like behaviour (low FC, FC < 30 %), clay-like behaviour (high FC, FC > 50 %), or transitional behaviour (30 % < FC < 50 %). It should be noted that the aforementioned percentages are not fixed numbers, as the mechanical behaviour of the mixtures are affected by both the amount and plasticity of fines and the soil fabric. Therefore, these numbers will be different for the mixtures with non-plastic fines (silts) and natural soils (structured soils) with inter-particle bonds.

It has been observed by many researchers that the one-dimensional compression line is curved in e-lnp space for mixtures, in a similar way observed for sandy soils. This curvature is not attributed to particle breakage (grain crushing) as the stresses in the experiments are well below the threshold of grain crushing. It should be noted that the critical state soil mechanics is still applicable to the soil mixtures. However, as the amount of fine content changes the critical state line (CSL), the mixtures with different fine contents do not have the same critical state line. The CSL moves downward as the percentage of fines increases. This is observed by many researches and reported in the literature for several different mixed soils. Similarly, the effect of fines is a decrease in the peak strength at a given void ratio.

Thevanayagam et al. (2002) proposed the concept of equivalent void ratio (e^{eq}) to obtain a similar critical state line for mixtures with different fine contents. Although the concept of the equivalent void ratio (e^{eq}) results in a similar (unique) compression line in e-lnp space, but this concept does not result in a similar behaviour in triaxial tests, if the mixtures are packed at a similar equivalent void ratio. Therefore, there is not a reliable method to relate the mechanical behaviour of mixtures to the state-dependent behaviour of the base sand (FC=0), (Yang et al. 2015).

Some studies (Ponzoni et al, 2014; Shipton et al, 2015) reported non-unique CSLs in transitional soils and the location of CS line depends on the initial relative density. However, there are some other studies, in which unique CSLs are achieved. Elkamhawy et al. (2021) reported that the intact transitional soils show non-unique ICLs, while the reconstituted samples show a unique ICLs. Although the non-uniqueness of ICLs, a unique CLS was present in the e-log(p') and q-p' spaces for the studied transitional soil. The uniqnueness of CSLs in transitional soils and mixtures are observed in some studies such as Altuhafi et al. (2010) and Yang et al. (2010). Therefore, the non-uniqueness of CSL in some transitional soils might be due to the variability of FC in the natural samples, the fabric and/or the grading of the soil, as this is not observed of latter studies.

SHANSEP (Stress History And Normalized Soil Engineering Properties) model proposed by Ladd and Foote (1974) for fine-grained contractive soils. According to this model, the undrained shear strength (Su) is related to OCR, obtained from one-dimensional compression tests. For the mixtures with a high content of clay (clay-like mixtures), the SHANSEP model is still applicable. In mixtures with a high content of sand/silt, the SHANSEP model cannot be used as pre-consolidation stress (pc) cannot be determined and also the undrained shear strength is not related to OCR. Dareeju et al (2021) proposed a modified SHANSEP model for residual soils, for which OCR cannot be determined. Their method is similar to the one proposed by Van Duinen (2021) in which the undrained shear strength (Su) is related to the vertical effective stress. Dareeju et al (2021) successfully applied the modified SHANSEP model to the stability analysis of a slope and, in addition, they proposed a methodology to estimate material parameters of the model.

From the literature review, it was not understood why some transitional soils have dilative behaviour. This might be related to the inter-particle structure of natural soils (fabric, bonds and cementation) and in addition more investigations are needed to determine the undrained shear strength of dilative soils.

Referenties literature study

Fatin Altuhafi, Beatrice A. Baudet, Peter Sammonds (2010). The mechanics of subglacial sediment: an example of new 'transitional' behaviour, Can. Geotech. J. 47:755-790.

Elsayed Elkamhawy, Huabin Wang, Tarek N. Salem, František Vranay and Martina Zelenakova (2021). Soil Fabric and Transitional Behavior in Completely Decomposed Granite: An Example of Well-Graded Soil. Journal of Marine Science and Engineering. Vol 9, 1046, https://doi.org/10.3390/jmse9101046.

Ferreira, P. M. V. & Bica, A. V. D. (2006). Problems in identifying the effects of structure and critical state in a soil with a transitional behaviour. Geotechnique 56, No. 7, 445–454.

Jefferies, M. & Been, K. (2000). Implications for critical state theory from isotropic compression of sand. Geotechnique 50, No. 4, 419-429.

D. Muir Wood and G. V. Kumar (2000). Experimental observations of behaviour of heterogeneous soils. Mech. Cohes.-Frict. Mater. 2000; 5:373-398.

Murthy, T. G., Loukidis, D., Carraro, J. A. H., Prezzi, M. & Salgado, R. (2007). Undrained monotonic response of clean and silty sands. Geotechnique 57, No. 3, 273–288.

Ponzoni, E. et al. (2014). Identification and quantification of transitional modes of behaviour in sediments of Venice lagoon. Geotechnique 64, No. 9, 694–708 [http://dx.doi.org/10.1680/geot.13.P.166].

Barbara Shipton (2010). The Mechanics of Transitional Soils. PhD Thesis. Imperial College London.

Simpson D.C., and T.M. Evans. (2015). Behavioral thersholds in mixtures of sand kaolinite clay. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. DOI: 10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001391.

Thevanayagam, S. & Mohan, S. (2000). Intergranular state variables and stress-strain behaviour of silty sands. Geotechnique 50, No. 1, 1-23.

Thevanayagam, S.; T. Shenthan; S. Mohan; and J. Liang (2002). Undrained Fragility of Clean Sands, Silty Sands, and Sandy Silts. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 128, No. 10.

Thevanayagam, S. (2007) Intergrain contact density indices for granular mixes - I: Framework. Earthquake Engineering and Engineering vibration, Vol 6, No. 2.

Yang, J,, L.M.Wei, B.B.Dai (2015). State variables for silty sands: Global void ratio or skeleton void ratio? Soils and Foundations;55(1):99–111.

Yin, K.; Fauchille, A.-L.; Di Filippo, E.; Kotronis, P.; Sciarra, G. A Review of Sand–Clay Mixture and Soil–Structure Interface Direct Shear Test. Geotechnics 2021, 1, 260–306. https://doi.org/10.3390/geotechnics1020014.

Witteveen + Bos

Content

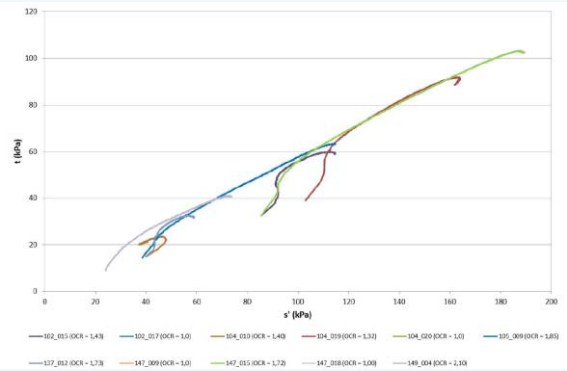
- Transitional soils in slope stability (report of Deltares)
- Literature review on the mechanical behaviour of transitional soils (mixtures)
  - Mechanical Behaviour of clean sand
  - Mechanical behaviour of clays
  - Mechanical behaviour of mixtures (transitional soils)
- SHANSEP model
- Modified SHANSEP model
- Conclusion and open questions

2

Witteveen + Bos

Deltares reports on “transitional” soils

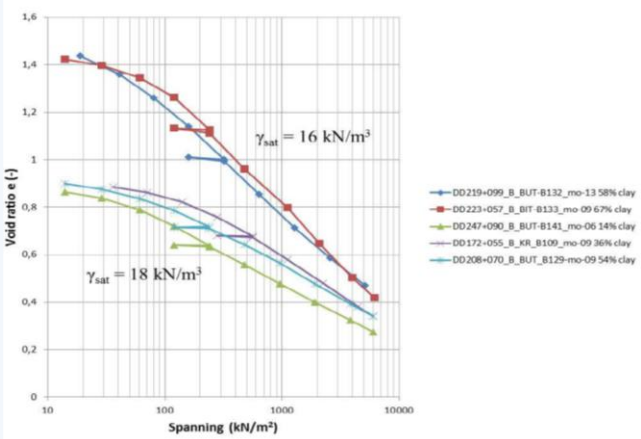
- Clays with low permeability and high content of sand and silt (γ > 17 kN/m^3) defined as “transitional soils”
- Behaviour of “transitional soils” cannot be explained using Critical State Soil Mechanics (CSSM):
  - High dilative behaviour, even in normally consolidated soils
  - Each sample has its own CS line, depending on its initial density (initial FC).
  - Defining several CS lines in a soil layer is not practical for stability analyses.



3

Deltares reports on “transitional” soils

- The SHANSEP technique cannot be used.
  - Less clear relationship between undrained shear strength and OCR.
  - One-dimensional curve is continuously curved in e-log p and pre-consolidation pressure (p_c) cannot be determined, especially for higher γ



Behaviour of clean sand

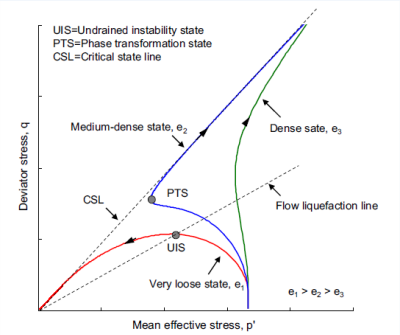
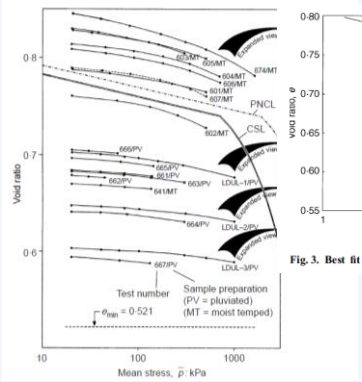


Fig. 1. Schematic illustration of typical undrained shear responses of sand at different void ratios.



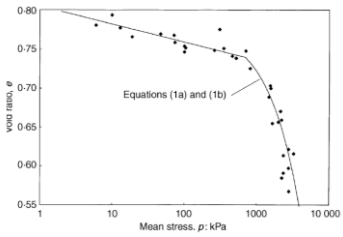
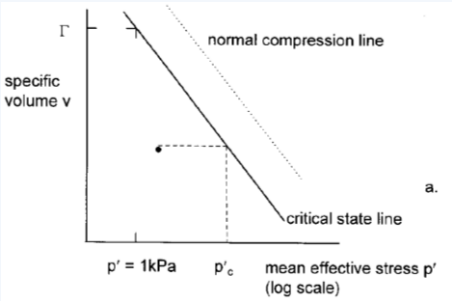
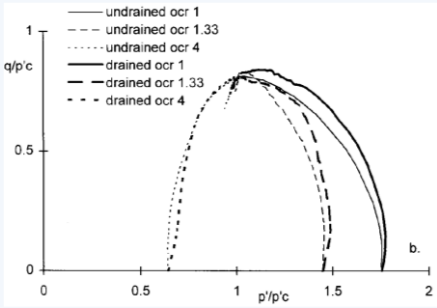


Fig. 3. Best fit idealization of CSL for Erksak sand

Sands show infinite number of NCLs but CSL is unique.

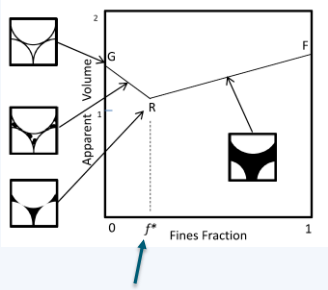
Behaviour of clay





NCL and CSL are unique

Behaviour of mixtures



Critical fine content

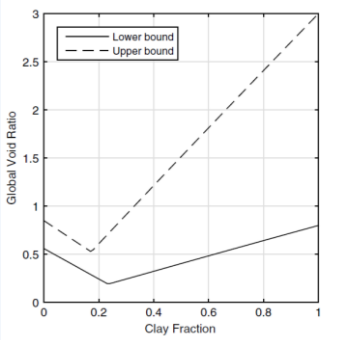


Fig. 5. Void ratio bound and the critical fines content

Simpson & Evans (2016)

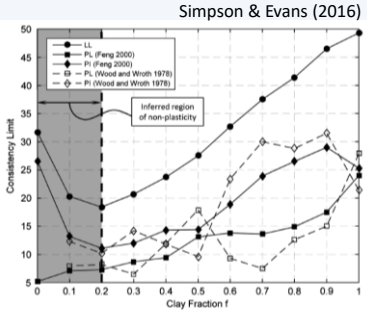


Fig. 10. Measured liquid and plastic limits; nonplastic mixtures are identified as mixtures with less than approximately 20% fines

In mixtures with low FC, the fine materials do not contribute to mechanical behaviour of mixture. The behaviour is similar to the base coarse material.

In mixtures with high FC, the coarse particles are floated in the fine material. The behaviour is similar to the fine material.

Behaviour of mixtures

f: fine content (1 means 100%)

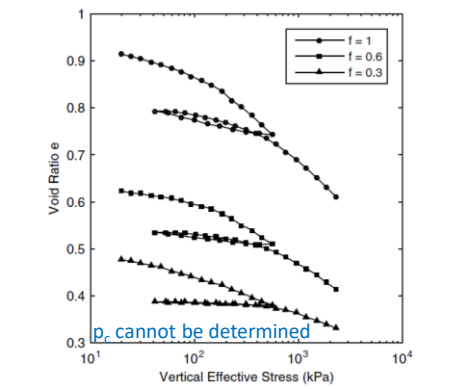


Fig. 7. Typical oedometric stress–strain response for select mixtures: 100, 60, and 30% fines

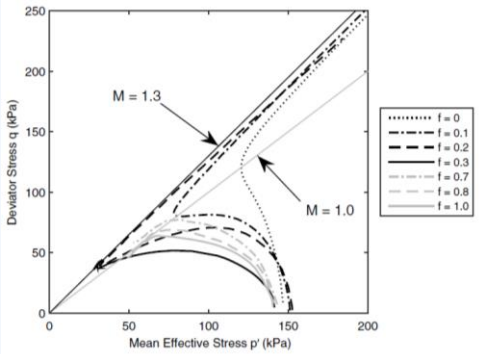


Fig. 8. Triaxial stress paths with inferred steady-state stress ratio envelope shown, where $M = q_f/p'_f$, the slope of the critical-state line

Simpson & Evans (2016)

Behaviour of mixtures

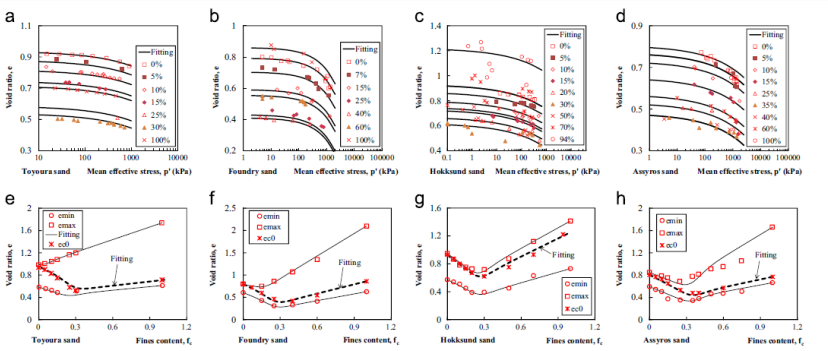


Fig. 4. (a, c, e, g) Critical state lines in e-logp′ plan and (b, d, f, h) Initial critical state void ratio versus fines content for various sand–silt mixtures.

One-dimensional compression line is curved in e-lnp space

Behaviour of mixtures

Equivalent skeleton void ratio:

$$e_{se} = \frac{e+(1-b)FC}{1-(1-b)FC}$$

FC (Fine Content) should be less than the threshold (30-40%)

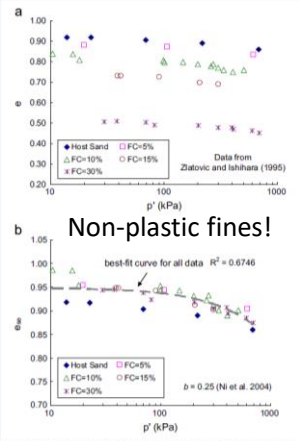


Fig. 2. Critical state data for a clean sand and its mixtures with fines in (a) the e–p' plane and (b) the e_{se}–p' plane.

Behaviour of mixtures

Increase in FC leads to more contractive behaviour (less dilative)-> also observed in other studies.

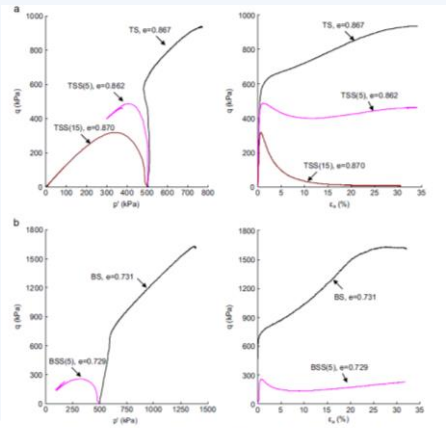
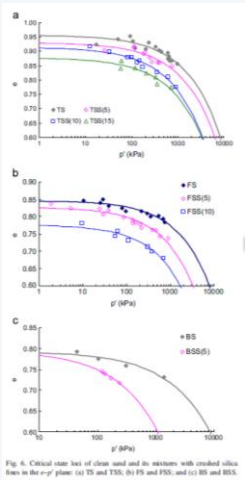
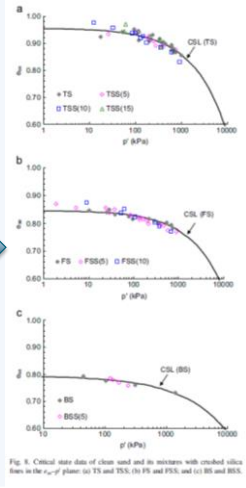


Fig. 4. Undrained shear responses of clean sand and its mixtures with crushed silica fines at a similar void ratio: (a) TS and TSS and (b) BS and BSS.

Behaviour of mixtures



Equivalent skeleton void ratio (e_{se})



- The critical state line is not straight.
- It is curved in e-log(p') space, in a similar way, observed in sands.

Behaviour of mixtures

The equivalent skeleton void ratio does not result in the same behaviour as the base sand!

Currently, there is not a reliable method to relate the mechanical behaviour of mixture to the state-dependent behaviour of the base sand.

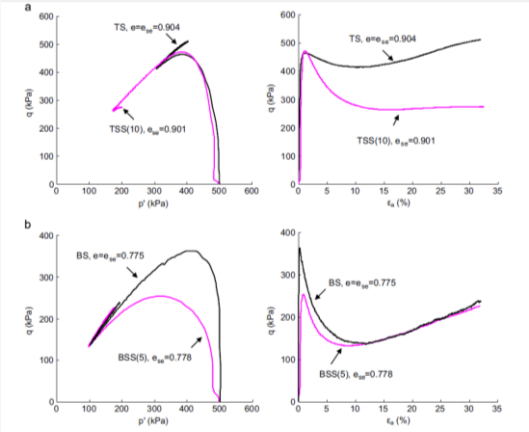
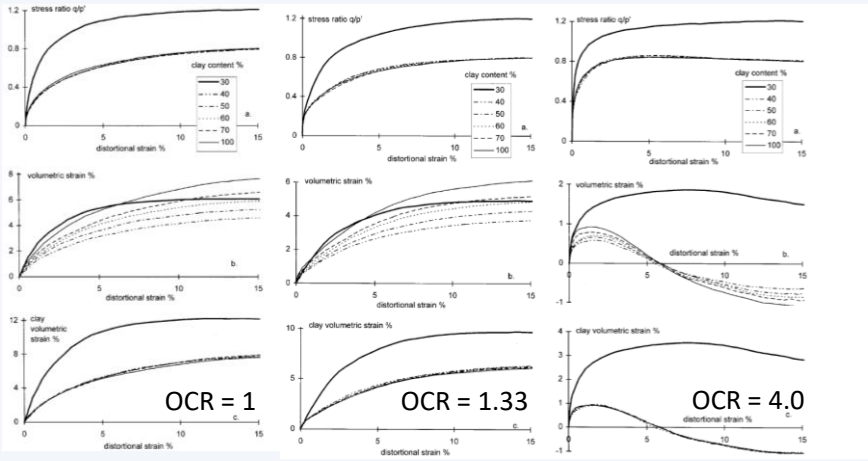


Fig. 9. Undrained shear responses of clean sand and its mixtures with crushed silica fines at a similar equivalent skeleton void ratio: (a) TS and TSS and (b) BS and BSS.

Behaviour of mixtures

At high FC, the behaviour of the mixture is clay-dominant.



Hydraulic conductivity

Sand-like behaviour

Transitional behaviour

Clay-like behaviour

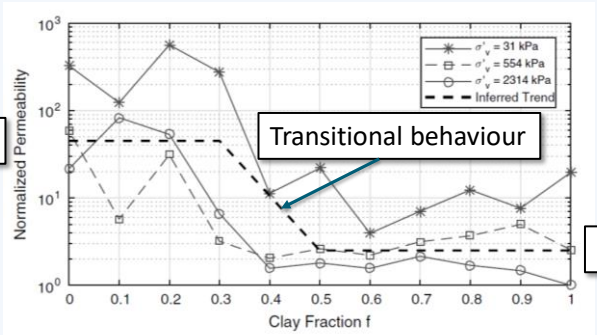


Fig. 16. Hydraulic conductivity for three select load increments; dashed line indicates inferred behavioral trend; permeability normalized to calculated value at $\sigma'_v = 2{,}314$ kPa and $f = 1.0$

Simpson & Evans (2016)

Critical State friction angle

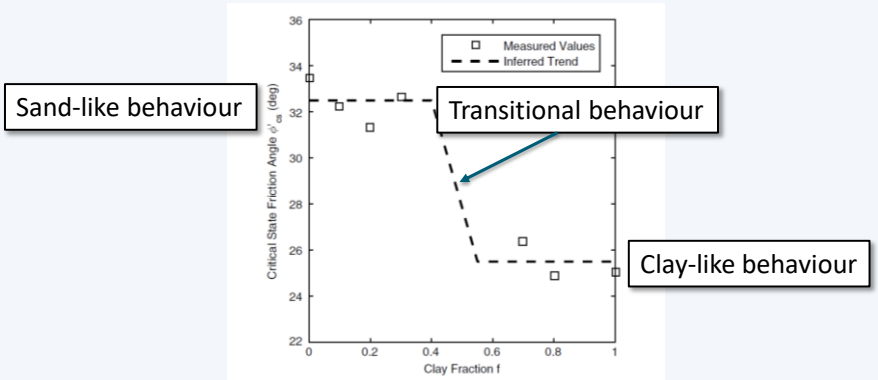
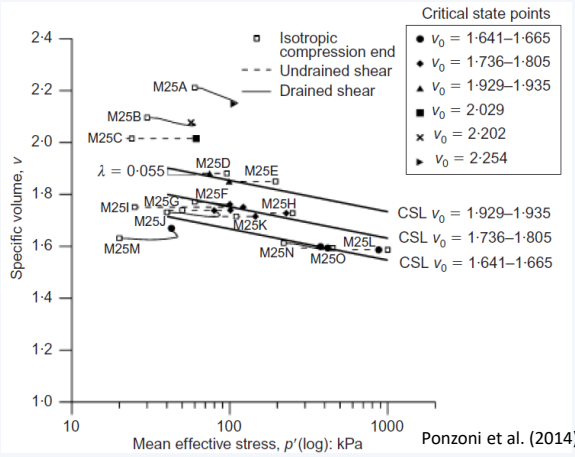


Fig. 18. Critical-state friction angle; inferred behavioral trend indicated by dashed line

Simpson & Evans (2016)

Critical state lines in natural mixtures

- Some studies (Ponzoni et al, 2014; Shipton et al, 2015) reported non-unique CSLs in transitional soils and the location of CS line depends on the initial relative density.



Ponzoni et al. (2014)

Critical state lines in mixtures

- The intact transitional soils show non-unique ICLs, while the reconstituted samples show a unique ICLs (e.g. Elkamhawy et al 2021).
- Although the non-uniqueness of ICLs, a unique CLS was present in the e-logp and q-p spaces for the studied transitional soil.

Elkamhawy et al. (2021)

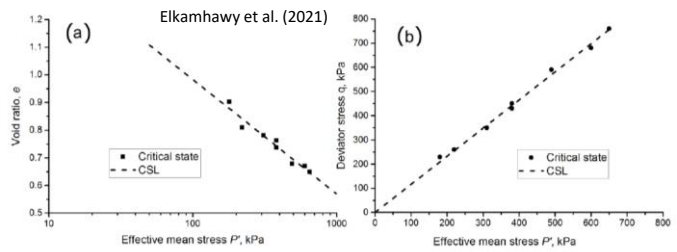


Figure 8. Critical states of the intact soil (a) the e-log p′ space, (b) the deviator and mean effective stresses q-p′ space

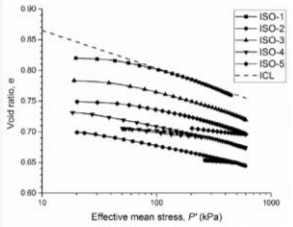


Figure 4. Isotropic compression response of the intact soil.

Elkamhawy et al. (2021)

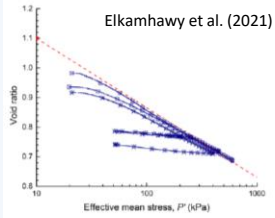


Figure 5. Isotropic compression response of the disturbed soil [30].

Critical state lines in mixtures

- There are some studies (e.g. Altuhafi et al, 2010; Yang et al, 2010) reported unique CSLs in transitional soils and mixtures.
    - Therefore, the non-uniqueness of CSL in some transitional soils might be due to the variability of FC in the natural samples, the fabric and the grading of the soil, as this is not observed of other studies.

Fig. 10. Stress paths of tests under high confining pressure, in the deviator stress – mean effective stress plane, showing the CSL.

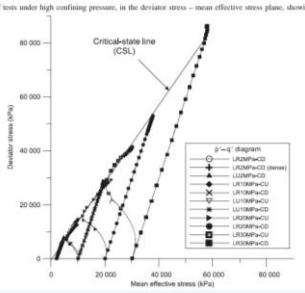
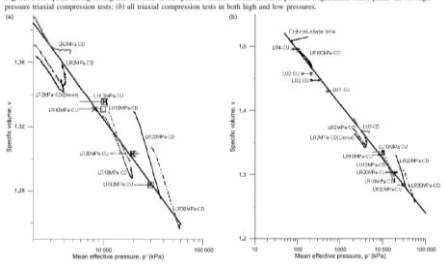


Fig. 12. Stress paths during testing and the CSL in the specific volume – mean effective pressure (logarithmic scale) plane: (a) for high-pressure triaxial compression tests; (b) all triaxial compression tests in both high and low pressures.



Altuhafi et al. (2010)

bg

SHANSEP model

SHANSEP (Stress History And Normalized Soil Engineering Properties) model proposed by Ladd and Foote (1974) for fine-grained contractive soils:

$$S_u/\sigma_v' = S * (OCR)^m$$

Where:

$S = S_u/\sigma_v'$ of the normally consolidated soils,

OCR = over – consolidation ratio,

m = constant (typically ranges between 0.75 and 1).

OCR is obtained from 1D compression tests

SHANSEP model

- It follows from the experimental data that mixtures with high clay content can be modelled using SHANSEP model (Clay-like mixtures).
- Mixtures with high sand/silt content should be treated differently, as pre-consolidation ratio (p_c) cannot be determined.
- In addition, determination of pre-consolidation ratio (p_c), using 1D compression lines (oedometer tests), is difficult in some cases, particularly in stiff to hard clays.

SHANSEP model

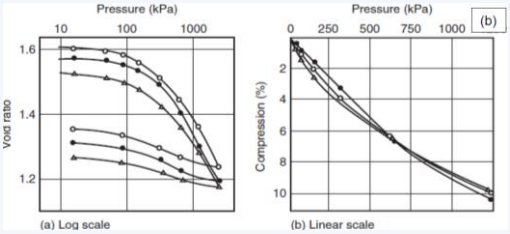
Dareeju et al (2021) proposed a modified SHANSEP model for residual soils, for which OCR cannot be determined:

$$S_u / \sigma_v' = A * (\sigma_v')^B$$

$$Where: A \,\&\, B = Material\ specific\ constants$$

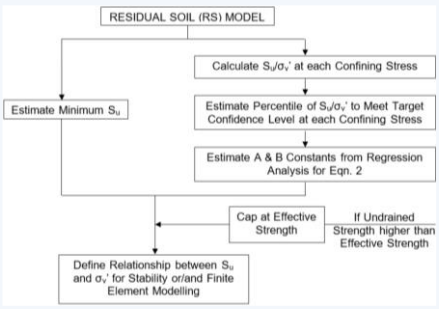
The above equation is similar to the relationship proposed by Van Duinen (2021) for clays with high sand/silt content:

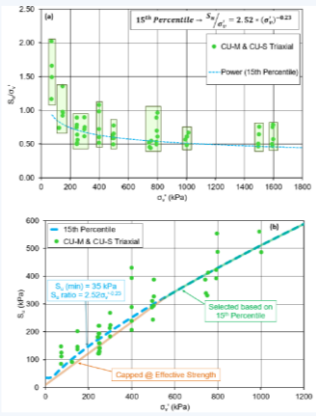
$$Su_{hoogwater} = Su_{dagelijks} \left(\frac{\sigma_{v,hoogwater}}{\sigma_{v,dagelijks}} \right)^{1-m}$$



Modifed SHANSEP model

- Dareeju et al (2021) proposed the following methodology to estimate material parameters of the modified SHANSEP model:





Modifed SHANSEP model Dareeju et al (2021)

Test Type	Residual Soil Greywacke	Extremely Weathered Siltstone	Extremely Weathered Monzonite
Clay Percentage (%)	14.6	28.2	52.0
Silt Percentage (%)	35.1	41.8	33.9
Sand Percentage (%)	48.9	30.0	13.1
Liquid Limit, LL (%)	36.0	50.0	62.4
Plastic Index, PI (%)	17.0	21.0	40.3
Soil Classification	Low Plasticity Clay (CL)	Intermediate Plasticity Clay (CL-CH)	High Plasticity Clay (CH)
Linear Shrinkage, LS (%)	3.0	7.0	16.6
Specific Gravity, G_s	2.65	2.69	2.58
In-situ Void Ratio, e_0	0.70	0.63	0.68
In-situ Dry Unit Weight, γ_d (kN/m³)	15.3	16.2	15.2
In-situ Moisture Content (%)	24.7	24.3	24.2
SPT Range	4.0 – 26.0	6.0 – 80.0	13.0 – 66.0
15th Percentile of SPT	7.0	12.0	18.0

TABLE 1 – Soil Index and In-situ Testing Results

High content of sand and slit

Modifed SHANSEP model Dareeju et al (2021)

Modfied SHANSEP model for three different residual soils:

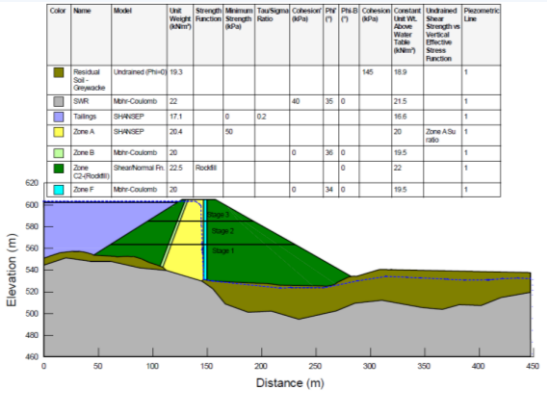


FIG 5 – TSF Embankment Adopted for Stability Assessment

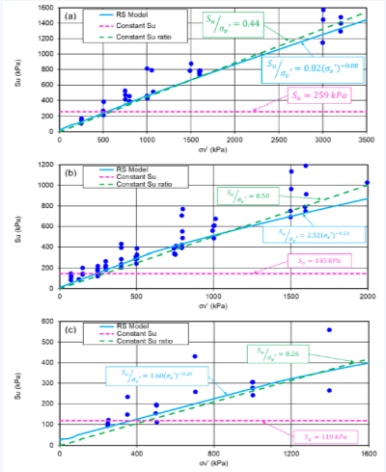


FIG 4 – Constant S_u/σ_v', Constant S_u and RS Model (a) Siltstone (b) Greywacke (c) Monzonite

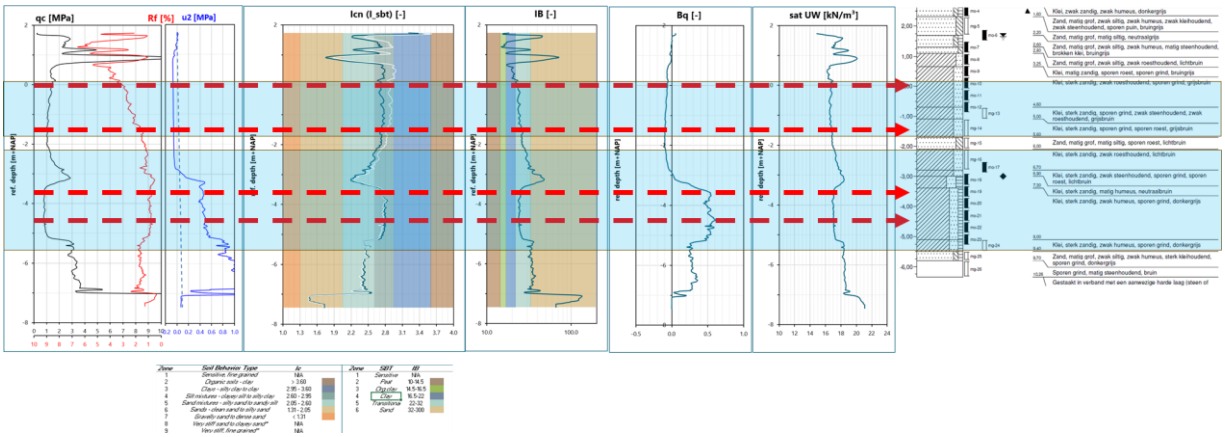
Conclusions

- Transitional soils might have clay-like or sand-like behaviour for high and low FCs.
- For the intermediate values of FC, the mixture shows a behaviour between sand and clay, called “transitional behaviour”.
- The “transitional soils” have CSL for each FC and they can be explained using Critical State Soil Mechanics (CSSM). However, the behaviour depends on the initial density of soil. Each sample has its own CSL, depending on its initial density.
- The 1D compression tests show curved lines for mixtures with high sand/silt contents, leading to difficulties in determining the pre-consolidation pressure (p_c).
- The standard SHANSEP model is not applicable to mixtures with high sand/silt contents, because
  - the undrained shear strength is not related to OCR.
  - the pre-consolidation pressure (p_c) cannot be determined from 1D compression tests.
- A modified SHANSEP model should be used for mixtures with high sand/silt contents, which have low permeability but with mechanical behaviour closer to sands than clays.

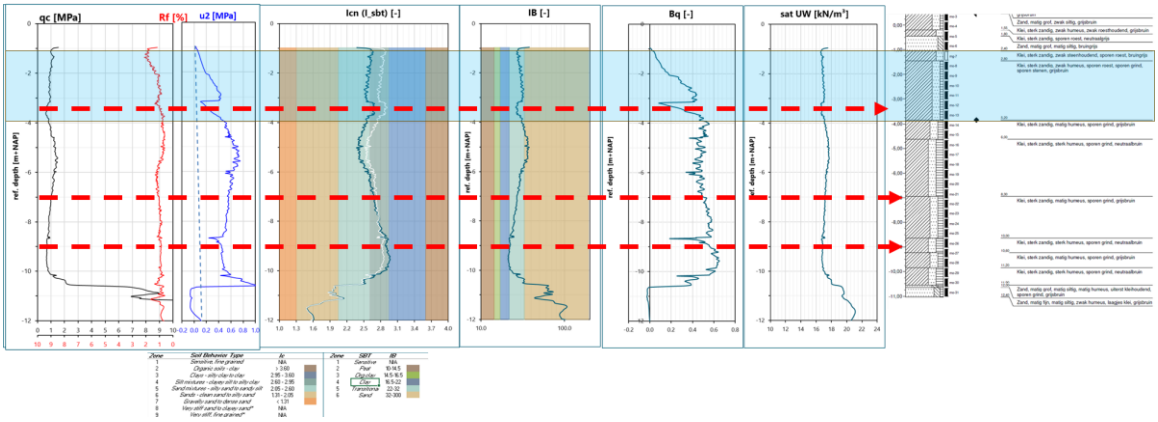
V

BIJLAGE: GEBRUIKTE DATA IN ANALYSE

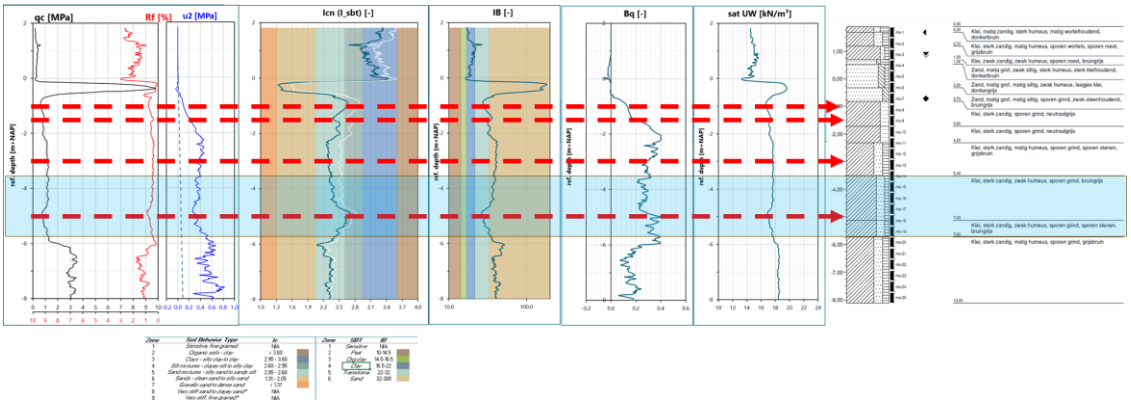
Kleileem Wieringen - DKMP2C



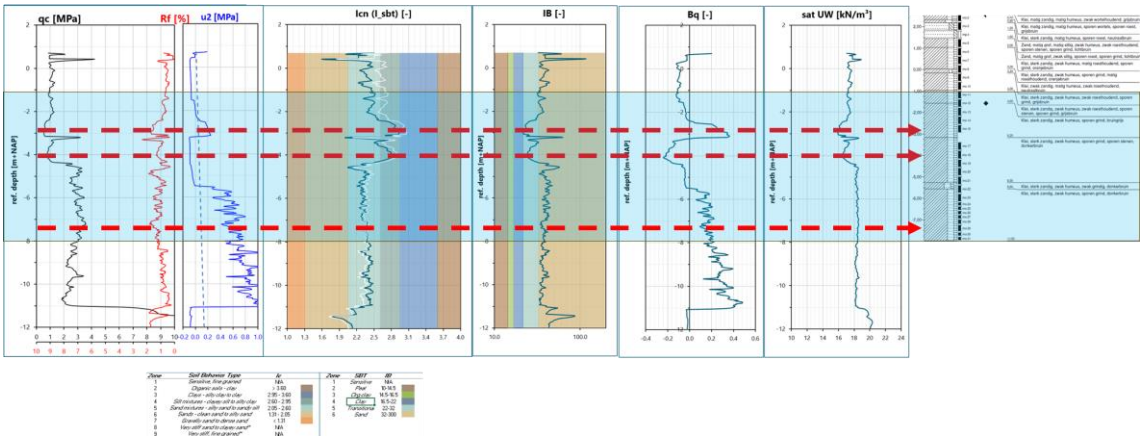
Kleileem Wieringen - DkMP5B



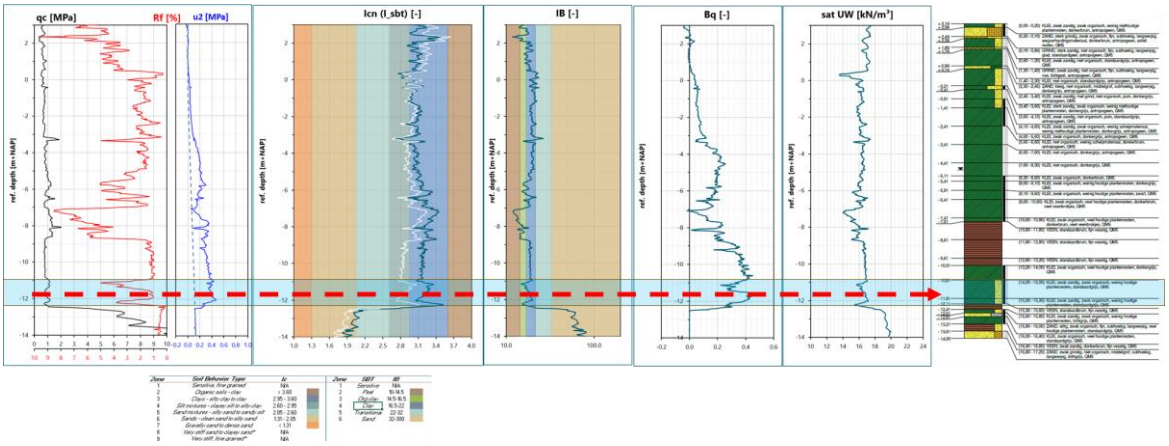
Keileem Wieringen - DKMP8B



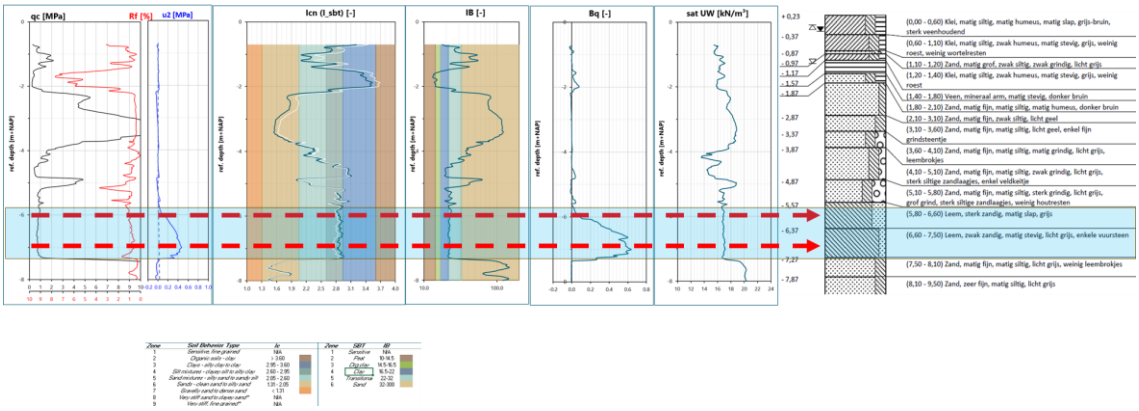
Keileem Wieringen - DKMP14B



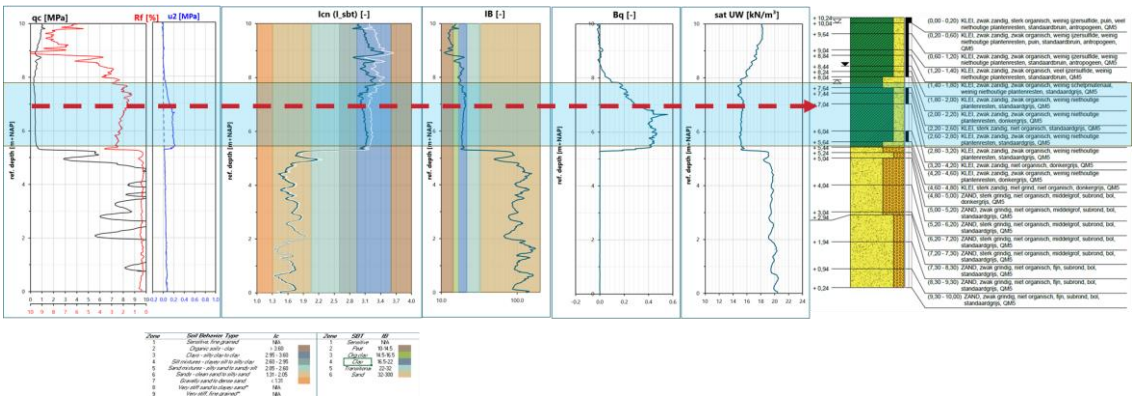
Streefkerk - Ameide - AW206.+093_DKMP_BIK



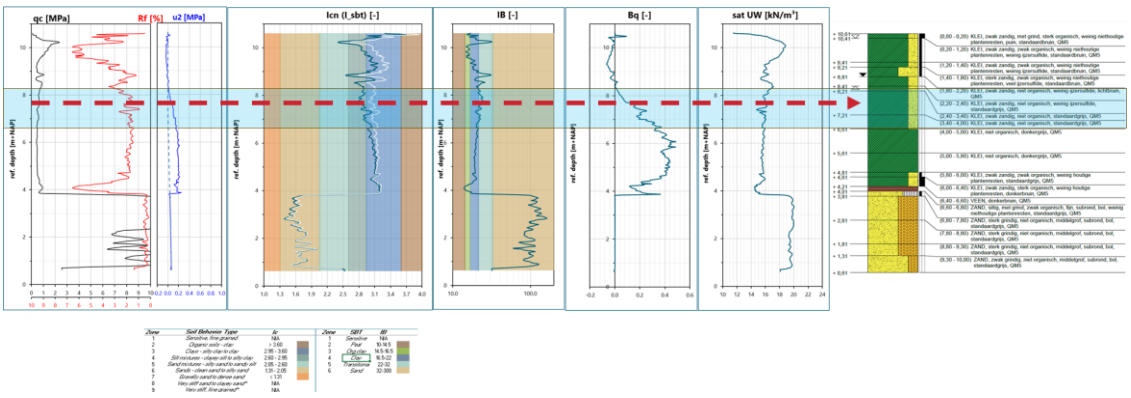
Lemmer - Koehool - DKMP_4686_BIT



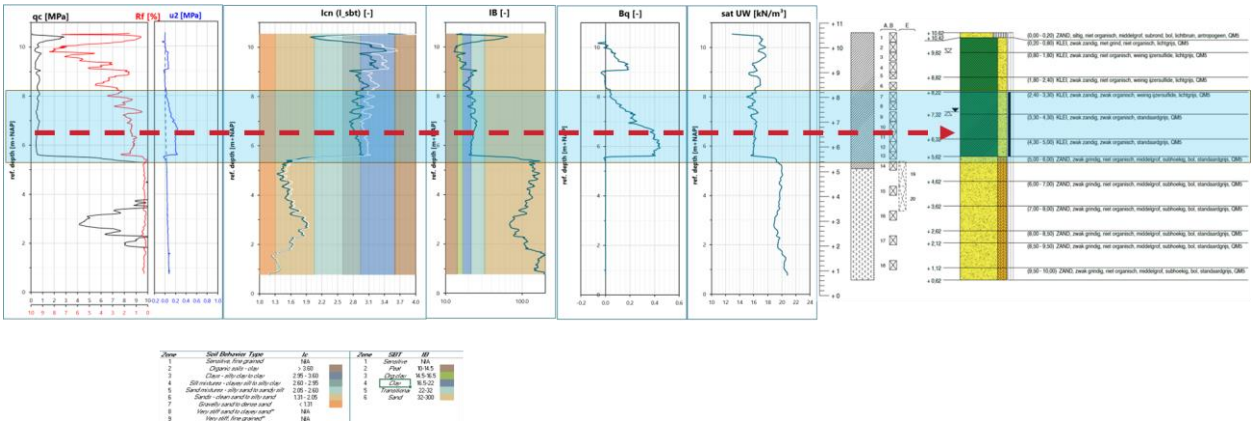
Pannerden - Westervoort - S_48_259+020_B



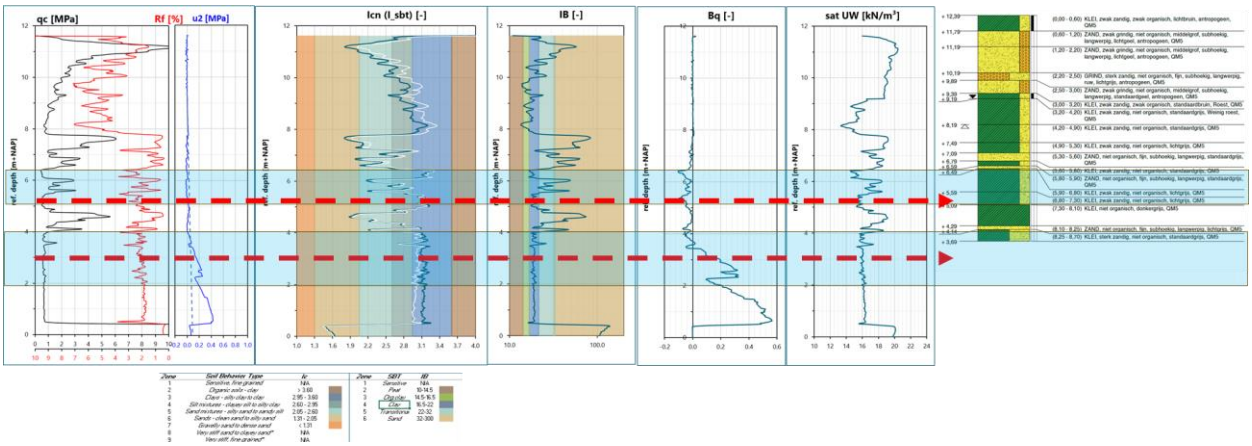
Pannerden - Westervoort - S_48_259+020_D



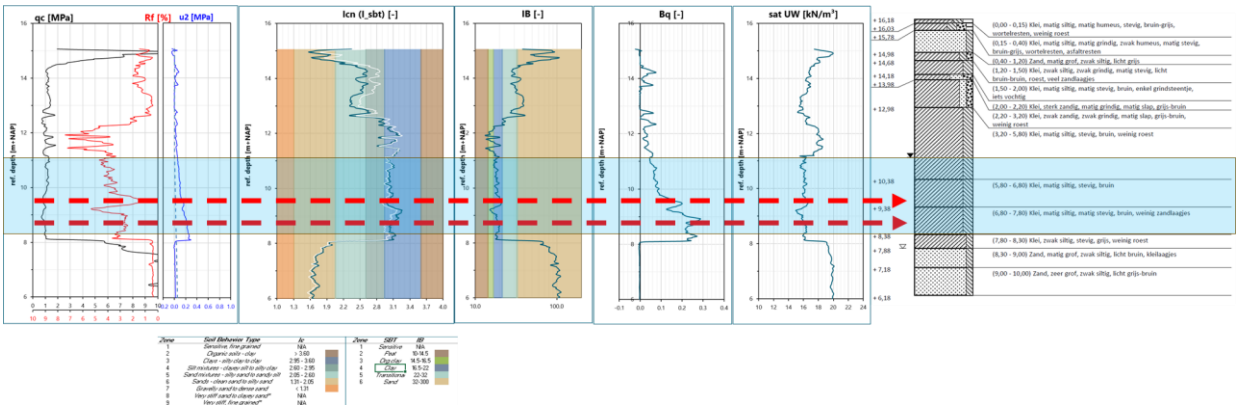
Pannerden - Westervoort - S_48_260+010_D



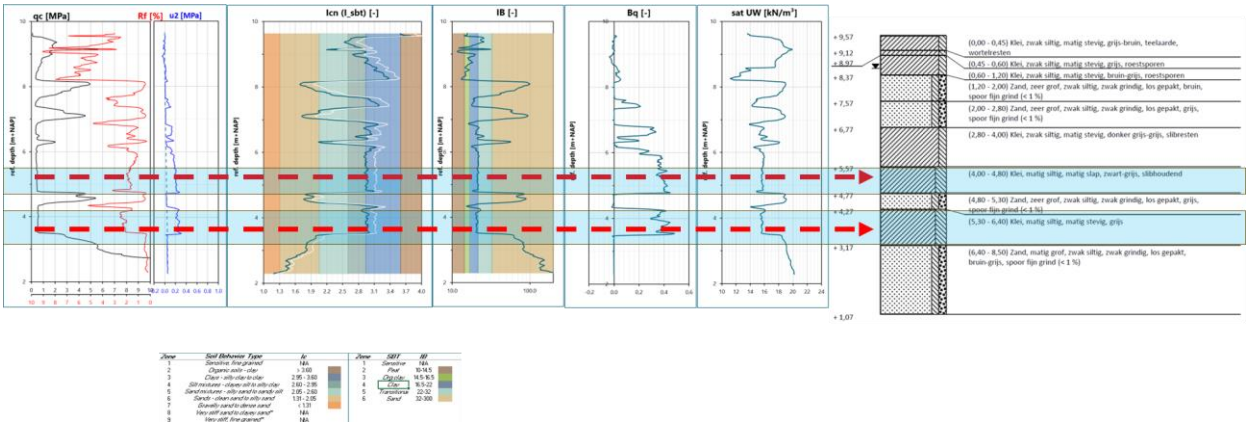
Sprok - Heteren - DD075.+074_DKMP2_BIT



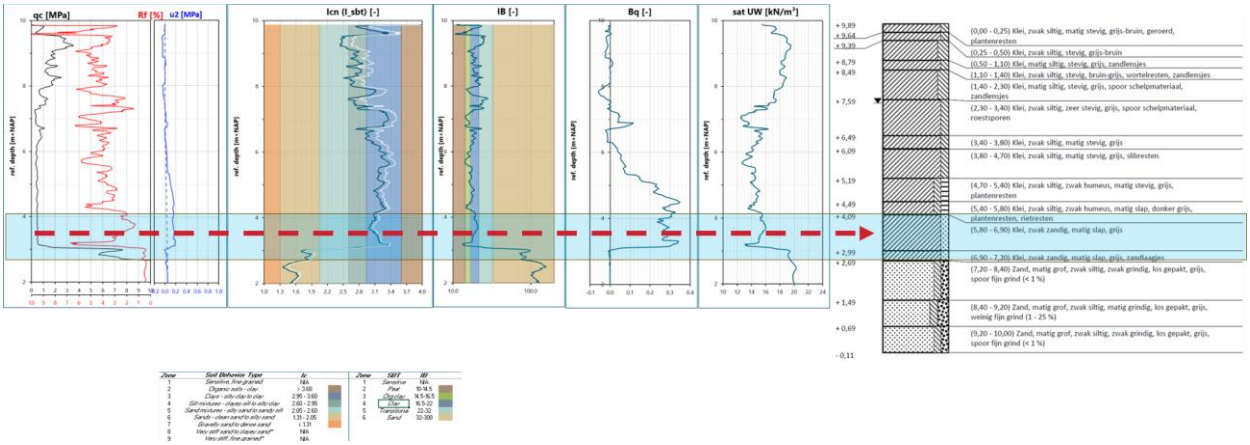
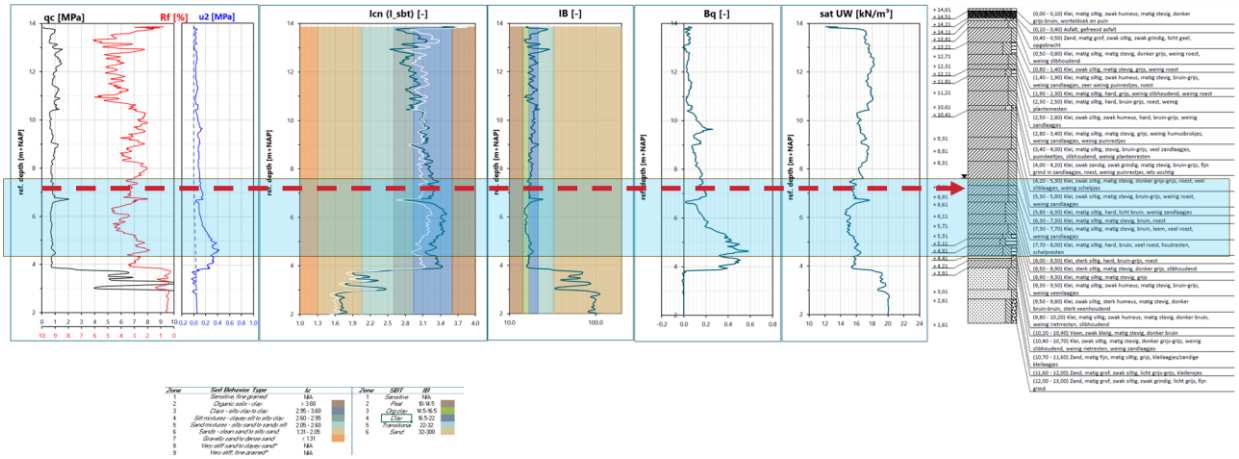
Wolferen - Sprok - DD136.+070_DKMP_KR



Wolferen - Sprok - DD225.+099_DKMP_BUT



Wolferen - Sprok - DD225.+094_DKMP_BIT



Wolferen - Sprok - DD260.+024_DKMP_KR