


Ongedraineerde stabiliteitsanalyses

Toepassing referentieprojecten

POV

MACRO
STABILITEIT



Auteur: C. Zwanenburg

Datum: 26 juni 2015

Versie: 1

Inleiding

Achtergrond

Het cluster rekentechnieken heeft betrekking op berekeningsmethoden voor het faalmechanisme macrostabiliteit in relatie tot het ontwerpen van dijkversterkingen. Het centrale doel van deze berekeningen is het aantonen dat het ontwerp, voor het faalmechanisme macrostabiliteit, voldoet aan de gestelde veiligheidsnorm. Momenteel zijn er vele handreikingen beschikbaar voor het ontwerpen van dijkversterkingen. Echter recente ontwikkelingen zoals verbeterde inzicht in grondgedrag, ontwikkelingen in numerieke analyses, ontwikkelingen van alternatieve dijkversterkingstechnieken en nieuwe inzichten in de op te leggen normering maakt dat de huidige rekentechnieken op bepaalde punten verbeterd kunnen worden. Het POVM cluster rekentechnieken heeft tot doel de nieuwe ontwikkelingen te faciliteren door, waar nodig, rekentechnieken te verbeteren.

Een van deze nieuwe ontwikkelingen betreft het gebruik van critical state soil mechanics, cssm, bij het ontwerpen van dijkversterkingen. Het onderzoeksprogramma Wettelijk Toets Instrumentarium, WTI en het onderzoeksproject Dijken op Veen, DOV, hebben op dit gebied al veel ontwikkelingen opgeleverd. Zo heeft het WTI programma een toetsmethode, gebaseerd op het cssm, opgeleverd. In het DOV project is een ontwerpmethodiek specifiek voor de Markermeerdijk ontwikkeld. Rondom de toepassing van de methode spelen nog enkele praktische vragen. Daarbij komt dat de beschrijving van de DOV werkwijze specifiek voor de Markermeerdijken is opgesteld waardoor deze niet algemeen toepasbaar is.

Opgemerkt wordt dat de voorgestelde methoden uit het WTI en DOV onderzoek gebaseerd zijn op de critical state theorie, echter in het dagelijks spraakgebruik wordt de werkwijze aangeduid met ongedraineerd rekenen. In dit plan van aanpak wordt de term critical state soil mechanics, cssm, aangehouden. Binnen het raamwerkwerk cssm kunnen zowel gedraineerde als ongedraineerde analyses worden uitgevoerd. Bij de analyse van de stabiliteit van dijken tijdens maatgevende omstandigheden wordt ervan uitgegaan dat bezwijken, indien dit optreedt, snel plaats vindt. Hierdoor is de consolidatie rondom het glijvlak beperkt en kan het bezwijken als ongedraineerd worden beschouwd. In de navolgende tekst wordt gesproken over het gebruik van cssm voor de bepaling van de stabiliteit van primaire waterkeringen bij gebruik van ongedraineerde sterkte eigenschappen. Dit wordt hierna aangeduid met cssm-rekenen.

Referentieprojecten

De POVM is uitgewerkt rondom referentieprojecten. Het onderdeel ongedraineerd rekenen is opgesteld om met name de referentieprojecten Gorkum – Waardenburg en Waardenburg - Tiel te assisteren. Daarnaast hebben de werkzaamheden die in deze offerte worden beschreven raakvlakken met de werkzaamheden uit het onderdeel werkelijke sterkte van het POVM cluster rekentechnieken. De werkzaamheden uit het onderdeel werkelijke sterkte concentreren zich op de referentieprojecten langs de Hollandsche IJssel.

Hoofdlijn

De werkzaamheden die in het kader van het cssm-rekenen in de POVM worden uitgewerkt vallen uiteen in drie onderwerpen:

- 1 Toepassen van cssm-rekenen in de referentieprojecten
- 2 Parameterbepaling
- 3 Ontwerpaspecten

De drie onderwerpen worden hieronder kort toegelicht:

1. Toepassen cssm-rekenen in de referentieprojecten
Zoals in de inleiding aangegeven zijn reeds verschillende documenten en richtlijnen rondom het cssm-rekenen ontwikkeld. Echter niet alle documenten zijn breed verspreid. Tevens is de toepassing van het cssm-rekenen voor Nederlandse dijken nog volop in ontwikkeling. Ten behoeve van het dijkversterkingsproject Markermeerdijken is een werkbeschrijving¹ opgesteld. In deze werkbeschrijving is stapsgewijs beschreven hoe het cssm-rekenen voor de Markermeerdijken toegepast kan worden.

De hierboven genoemde werkbeschrijving kent enkele aspecten die specifiek van toepassing zijn op de Markermeerdijken. In het overleg van 18 juni 2015 is gesproken is over het toepassen van het cssm-rekenen voor de referentie projecten Gorkum – Waardenburg en Waardenburg – Tiel. Een van de uitkomsten van dit overleg is de wens een vergelijkbare werkbeschrijving voor de genoemde referentieprojecten beschikbaar te hebben. De werkbeschrijving zal veel overeenkomsten vertonen met de werkbeschrijving voor de Markermeerdijken, echter ook enkele specifieke aspecten kennen. De belangrijkste twee aspecten zijn:

- Opdrijven. Bij de Markermeerdijken speelt opdrijven nauwelijks tot geen rol, bij de referentieprojecten is dit wel het geval. Dit zal expliciet worden besproken in de werkbeschrijving.
- Gebruik van archiefgegevens. In de eerdere fasen van de referentieprojecten zijn reeds veel veld – en laboratoriumwerkzaamheden uitgevoerd. Tevens is specifiek voor het toepassen van cssm-rekenen nieuw laboratoriumonderzoek opgestart. Echter door de grote drukte in de Nederlandse laboratoria heeft dit onderzoek een flinke vertraging opgelopen. Dit heeft tot gevolg dat de benodigde parameters later beschikbaar komen. De werkbeschrijving voor de referentieprojecten zal aangeven hoe met de thans beschikbare informatie de benodigde parameters kunnen worden bepaald.

Naast de beschrijving van de werkwijze zullen, aan de hand van de werkbeschrijving, enkele berekeningen worden uitgevoerd. Het doel van deze berekeningen is tweeledig:

¹ Rapport: Dijken op Veen II, DoV werkwijze voor bepaling Macrostabieliteit Markermeerdijk, Deltares rapport nr 1208254-032-GEO-0001, December 2014

- Het geven van een voorbeeld. De berekeningen zullen stapsgewijs de werkbeschrijving volgen. Aan de hand van deze berekeningen wordt inzichtelijk gemaakt hoe de werkwijze wordt toegepast. Dit geeft de mogelijkheid verschillende ingenieursbureaus op eenduidige wijze berekeningen uit te laten voeren.
- Het inzichtelijk maken van de consequenties van de overstap van de vigerende leidraden naar de het cssm rekenen. Door de resultaten van de voorbeeldberekeningen te vergelijken met de eerder uitgevoerde berekeningen wordt inzichtelijk gemaakt wat de introductie van het cssm rekenen betekent voor het toetsresultaat van de bestaande dijk en de geplande dijkversterking.

2. Parameterbepaling

In de onderzoeksprojecten WTI en DOV is gebruik gemaakt van de analytische glijvlakmodellen, methode Bishop, LiftVan en Spencer van der Meij. In de POVM-rekentechnieken wordt het gebruik van numerieke modellen, EEM, gepromoot in aanvulling op de analytische glijvlakmodellen. Dit is van specifiek belang voor de referentieprojecten. In het referentieproject Gorkum – Waardenburg zijn veel constructies gepland. Deze constructies zullen grotendeels worden ontworpen met EEM berekeningen. In het referentieproject Hollandsche IJssel zal een combinatie van EEM berekeningen en bewezen sterkte technieken worden gebruikt voor een nadere analyse. Voor het referentieproject Hollandsche IJssel zal met hoogwaardige materiaalmodellen in een EEM omgeving de initiële conditie van de dijk en ondergrond beter worden benaderd dan bij glijvlakmodellen het geval is. Verwacht wordt dat een veiligheidsanalyse gebaseerd op deze betere benadering van de initiële condities leidt tot een minder conservatieve waarde voor de berekende evenwichtsfactor.

Het gebruik van hoogwaardige materiaalmodellen in een EEM omgeving vraagt andere parameters dan voor de glijvlakmodellen nodig zijn. In tegenstelling tot de parameters van glijvlakmodellen is nog weinig ervaring in de bepaling van parameters voor hoogwaardige numerieke modellen. In het onderdeel ongedraineerd rekenen van de POVM-rekentechnieken wordt een software tool ontwikkeld voor het bepalen van parameters ten behoeve van numerieke modellen.

3. Ontwerpaspecten

Het WTI project richt zich op het toetsen; de stabiliteit van de huidige situatie. Het DOV project richt zich op zowel op de huidige situatie als de eindsituatie, na de afronding van de dijkversterking, echter specifiek voor de Markermeerdijken. Rondom het ontwerpen en uitvoeren van dijkversterkingen spelen nog enkele aspecten een rol die nadere uitwerking behoeven. Hier worden drie aspecten nader benoemd:

Het eerste aspect is de uitvoeringsstabiliteit. Voor grote dijkversterkingen, zoals langs delen van de referentieprojecten zijn gepland, zal een gefaseerde ophoging nodig zijn. Bij het ontwerp van de fasering, gebaseerd op ongedraineerde rekentechnieken, is informatie nodig over de tijdsafhankelijke ontwikkeling van de ongedraineerde schuifsterkte. In dit onderdeel

zal een werkwijze worden ontwikkeld waarmee aan de hand van ongedraineerde sterkte analyse een gefaseerde ophoging kan worden ontworpen.

Het tweede aspect is uitvoeringsbegeleiding en kwaliteitstoets bij oplevering. Het gebruik van veldsonde metingen bij het bepalen van de actuele sterkte van ondergrond en dijklichaam geeft de mogelijkheid om tijdens de uitvoering de sterkte ontwikkeling van de ondergrond te volgen. Dit geeft de mogelijkheid om de ophoofasering te optimaliseren. Daarnaast kunnen aan het einde van de uitvoering de ontwerpuitgangspunten met betrekking tot de sterkte van ondergrond en dijklichaam worden gecontroleerd. Dit geeft de mogelijkheid een kwaliteitsoordeel van de opgeleverde dijkversterking te geven. In dit onderdeel wordt hiervoor een werkwijze uitgewerkt.

Het derde aspect is de sterkte van het ophoogmateriaal. In zowel de WTI als de DOV aanpak wordt gebruik gemaakt van veldsonde metingen voor het vaststellen van de actuele sterkte van de ondergrond en het bestaande dijklichaam. In de ontwerpfase moet een keuze gemaakt worden over de sterkte van het in de toekomst aan te brengen dijksmateriaal. In dit onderdeel worden richtlijnen hiervoor ontwikkeld.

De bovengenoemde aspecten zijn van essentieel belang bij het ontwerpen van een dijkversterking door middel van een grondoplossing, zoals bij de referentieprojecten Gorkum – Waardenburg en Waardenburg – Tiel. De uitvoeringsaspecten worden specifiek voor deze referentieprojecten uitgewerkt.

In dit plan van aanpak worden alleen acute vragen die in een periode van een half jaar kunnen worden beantwoord opgenomen. Dit heeft tot gevolg dat in deze offerte alleen een eerste stap van het onderzoek naar de sterkte van het ophoogmateriaal kan worden gemaakt.

Toepassen CSSM rekenen voor referentieprojecten

In de inleiding is toegelicht dat dit onderdeel bestaat uit het opstellen van een beschrijving van de werkwijze gericht op de referentieprojecten Gorkum – Waardenburg en Waardenburg – Tiel. In aansluiting op de beschrijving van de werkwijze zullen berekeningen conform de opgestelde beschrijving worden uitgevoerd. De berekeningen hebben een tweeledig doel. Het eerste doel is het geven van goed gedocumenteerde voorbeelden. Het tweede doel is het geven van inzicht in de consequenties van het invoeren van het cssm- rekenen voor zowel het toetsresultaat als voor het ontwerp van de versterking.

De beschrijving van de werkwijze zal specifiek ingaan op de situatie van de referentieprojecten. Voor een goede aansluiting tussen de werkbeschrijving en de ontwerppraktijk is regelmatig overleg tussen het ontwerpteam en de opstellers van de werkbeschrijving noodzakelijk. Gezien de korte doorlooptijd van enkele maanden voor dit onderdeel worden drie overleg momenten voorgesteld:

- Bij aanvang van de werkzaamheden. In dit overleg wordt de beschikbare informatie besproken en tevens de specifieke vragen die rondom de introductie van het cssm rekenen voor de referentieprojecten leven. Op basis van dit gesprek zal een eerste concept werkwijze worden opgesteld. In dit overleg wordt ook een keuze gemaakt omtrent de 8 profielen die als voorbeeld worden uitgewerkt en tevens dienen als consequentie analyse.
- Bij oplevering van de eerste conceptwerkwijze. In dit overleg zullen ook enkele concept berekeningen worden besproken. In dit overleg kan worden vastgesteld of de werkbeschrijving voldoet aan de wensen en eisen van het ontwerpteam.
- Bij oplevering van de definitieve versie van de werkbeschrijving, inclusief de voorbeeldberekeningen en een analyse van de consequenties van het invoeren van het cssm rekenen ten opzichte van de werkwijze uit de vigerende werkwijze. In dit overleg wordt de werkwijze en berekeningsresultaten toegelicht en wordt besproken hoe cssm- rekenen verder in het ontwerp van de versterking van de referentieprojecten kan worden ingezet.

Bij het opstellen van deze offerte is ervan uitgegaan dat beide referentieprojecten, Gorkum – Waardenburg en Waardenburg – Tiel, in één overleg kan worden besproken. De voorbeeldberekeningen, die ook voor de consequentieanalyse wordt gebruikt, zullen bestaan uit 8 profielen, vier per referentieproject. De profielen zullen worden gekozen in overleg met het ontwerpteam.

De werkbeschrijving zal op hoofdlijnen overeenkomen met de werkbeschrijving die voor de Markermeerdijken is opgesteld. Echter, zoals aangegeven zal de werkbeschrijving op enkele punten ingaan op de problematiek zoals die zich voordoet bij de referentieprojecten. Waar relevant zal de werkbeschrijving verwijzen naar achterliggende documenten nader zijn gespecificeerd. De werkbeschrijving zal zelfstandig leesbaar zijn.

Parameterbepaling

Up-date protocollen

In zowel het WTI als het DOV onderzoek is het belang van een betrouwbare en eenduidige parameterbepaling onderkent. Dit heeft geleid tot het opstellen van een aantal protocollen. In de loop van de tijd zijn de volgende protocollen opgesteld:

- Algemene parameter bepaling (2011). In samenwerking met de STOWA is aan de hand van het WTI onderzoek een protocol opgesteld voor het uitvoeren van laboratoriumonderzoek ten behoeve van parameterbepaling voor stabiliteitsanalyses van dijken. Het protocol behandelt samendrukkingsproeven, triaxiaalproeven, Direct Simple Shear, DSS, proeven, K_0 -CRS proeven en klassieke samendrukkingsproeven. Het protocol beschrijft niet alleen de uitvoeringswijze van de proeven, maar ook de keuzes van spanningen waarbij de proeven worden uitgevoerd.
- Protocol monsterverstoring onbelast veen (2014). In een combinatie met het DOV-onderzoek en vertegenwoordigers uit de branche van grondonderzoeksbedrijven, VOTB via de CURNET commissie “kwaliteit grondonderzoek” is een protocol omtrent monsterverstoring bij het steken van monsters onbelast veen opgesteld. Dit protocol beschrijft een best practice en dient bij voorkeur te worden uitgebreid naar andere grondsoorten.
- Protocol DSS proeven op onbelast veen (2014). In zowel de DOV als de WTI werkwijze wordt het gebruik van Direct Simple Shear proeven voorgeschreven bij het bepalen van de sterkte eigenschappen van veen. Voor het uitvoeren van proeven op onbelast veen geldt dat de proeven worden uitgevoerd bij zeer lage spanningen. Dit stelt hoge eisen aan de nauwkeurigheid waarmee de proeven worden uitgevoerd. Specifiek voor dit type proeven is een protocol geschreven in aanvulling op het eerst genoemde protocol dat in samenwerking met de STOWA is opgesteld.
- Protocol veenbeschrijving (2014). Het DOV-onderzoek concentreert zich op het veengedrag. Belangrijk hierbij is een goede classificatie van veen. In het kader van het DOV onderzoek is dan ook een protocol veenbeschrijving opgesteld. Belangrijk hierbij is het onderscheid tussen de veenlagen en andere organische lagen zoals Gyttja en Detritus.
- Protocol uitvoeren sonderingen (nog op te stellen). In zowel de DOV als de WTI werkwijze speelt het gebruik van correlaties met sondeerweerstand een centrale rol. Belangrijk hierbij is het beschikken over betrouwbare en reproduceerbare sondeerdata. Een protocol voor het uitvoeren van sonderingen ten behoeve van parameterbepaling voor het berekenen van de stabiliteit van dijken wordt in het kader van het WTI onderzoek in de loop van het jaar opgesteld.

In totaal zijn er vier protocollen beschikbaar en wordt er nog één op korte termijn opgesteld. Met de meeste protocollen is reeds enige ervaring opgedaan. Het WTI onderzoek voorziet in een verdere uitwerking en up-date van de protocollen. Uitzondering hierop vormt het protocol monsterverstoring bij het steken van onbelast veen. Dit protocol is nog niet afgerond. Vanuit ENW is aangegeven dat het protocol voor veen alleen voor de Markermeerdijken mag worden toegepast, maar verdere uitwerking behoeft voor een algemene toepasbaarheid.

In dit onderdeel wordt deze nadere uitwerking gemaakt. Het protocol monsterverstoring is onder leiding van CURNET opgesteld in samenwerking met de VOTB. Momenteel is een

onderzoeksrapport beschikbaar. Uit de resultaten van het onderzoeksrapport wordt in dit onderdeel een handreiking opgesteld.

Parameterbepaling voor EEM berekeningen

In de referentieprojecten Gorkum - Waardenburg en Waardenburg – Tiel zijn in het ontwerp op een aantal locaties constructies gepland. Deze constructies zullen deels met behulp van Eindige Elementen Methodes, EEM, worden ontworpen. Goede parameterbepaling is hierbij belangrijk. Momenteel worden bij de standaard uitwerking van laboratoriumproeven slechts in beperkte mate parameters afgeleid die bruikbaar zijn in een EEM omgeving. Dit geldt met name bij het gebruik van hoogwaardige materiaalmodellen, zoals het Soft Soil en Soft Soil Creep model.

Er zijn verschillende materiaalmodellen voor EEM berekeningen beschikbaar. Niet alle modellen zullen in de eerste versie van de software tool beschikbaar komen. Er wordt een keuze gemaakt in de modellen waarvoor de parameters worden bepaald, op basis van complexiteit van het model en huidig gebruik. Om die reden is bewust gekozen voor materiaalmodellen die in het eindige elementen programma PLAXIS beschikbaar zijn. Het betreft de volgende modellen:

- Mohr-Coulomb model.
- Modified Cam Clay model.
- Soft Soil Creep model.

Het Mohr-Coulomb model is gekozen vanwege zijn huidige populariteit. Daarnaast zijn het Mohr-Coulomb model en het Modified Cam Clay model relatief eenvoudige modellen die vaak als referentie model worden gebruikt. Het Soft Soil Creep model is aan deze lijst toegevoegd omdat dit een van de weinige modellen is waarmee het effect van kruip kan worden berekend. Dit is van belang bij het modelleren van het gedrag van met name organische grondsoorten.

Naast de verschillende materiaalmodellen zijn er verschillende laboratoriumproeven die kunnen worden gebruikt bij parameterbepaling. Tevens kunnen de proeven op verschillende wijze worden uitgevoerd. De te ontwikkelen software tool zal zich richten op triaxiaal proeven. Dit zijn de proeven die gebruikelijk voor dijkversterkingen worden uitgevoerd. Daarnaast zal ook de K_0 -Constant Rate of Strain, K_0 -CRS proef in beschouwing worden genomen. De K_0 -CRS proef is een samendrukkingsproef waarbij een constante deformatie wordt opgelegd. Tijdens de proef wordt de horizontale spanning gemeten. Dit geeft de mogelijkheid de proefdata in een 3D-spanningsruimte te analyseren en de bijbehorende stijfheidsparameters te bepalen. Hierdoor is de K_0 -CRS proef uitermate geschikt voor het bepalen van de 3-D stijfheidseigenschappen.

In een latere fase kunnen andere proeftypen en / of andere materiaalmodellen worden toegevoegd. De uitwerking van dit onderdeel zal vooral bestaan uit validatie van de software. De validatie zal worden uitgevoerd op basis van reeds beschikbare proefdata. Het uitvoeren

van nieuwe, aanvullende, proeven is in deze offerte niet voorzien. Door gebruik te maken van de proefdata die binnen de referentieprojecten aanwezig zijn zullen voor de referentieprojecten de parameters, die voor EEM berekeningen nodig zijn, worden vastgesteld. Dit is met name van belang voor het ontwerp van de constructies die in de referentieprojecten zijn gepland.

Ontwerpaspecten

Uitvoeringsstabiliteit en eindstabiliteit

De referentieprojecten verkeren momenteel in de ontwerpfase. De uitvoering is nog niet gestart. De onderwerpen uitvoeringsstabiliteit en eindstabiliteit hebben in deze fase, in vergelijking met andere genoemde onderwerpen een lagere prioriteit. De offerte heeft alleen betrekking op de werkzaamheden voor 2015. Voor 2015 worden geen werkzaamheden voor de onderwerpen uitvoeringsstabiliteit en eindstabiliteit gepland.

Sterkte ophoogmateriaal

Bij grote dijkverzwaringen, zoals asverschuivingen levert de sterkte van het toekomstige dijksmateriaal een belangrijke bijdrage aan de stabiliteit van de ontworpen versterking. Omdat het dijksmateriaal op het moment van ontwerpen nog niet aanwezig is, dient de, toekomstige, sterkte te worden geschat. Bij het schatten van de toekomstige sterkte gaat het niet alleen om het type klei dat toegepast gaat worden, maar ook om de uitvoeringswijze. Dit maakt een realistische schatting van de toekomstige sterkte lastig.

Voorgesteld wordt het onderzoek naar de sterkte eigenschappen van het te gebruiken dijksmateriaal van grof naar fijn uit te werken. Dit leidt tot een gefaseerde aanpak waarbij naar verwachting de eerste fase en een plan van aanpak voor de daarop volgende fasen in 2015 kan worden gerealiseerd.

De eerste fase bestaat uit een literatuur onderzoek. In dit literatuuronderzoek wordt nagegaan welke sterkte eigenschappen in het verleden zijn toegepast bij het ontwerp van dijkversterkingen. Tevens zal worden gezocht naar resultaten van sterkte proeven op monsters op relatief recent aangebracht dijksmateriaal. De literatuurstudie levert een eerste indruk van de bandbreedte van de sterkte van het dijksmateriaal op. Aan de hand van deze bandbreedte kan in de referentieprojecten de versterking worden ontworpen.

In de tweede fase zal in overleg met experts van het hoogheemraadschap Rivierenland monsters klei worden verzameld. Deze klei monsters worden verzameld op een locatie waar mogelijk de klei voor de versterking van de referentieprojecten zal worden gewonnen. Deze monsters zullen in het laboratorium worden verdicht conform de in de uitvoering voorgeschreven verdichting. Daarna zullen van deze monsters de sterkte eigenschappen worden bepaald. De resultaten uit de tweede fase laten zien in hoeverre de aangenomen sterkte in het ontwerp realiseerbaar is en in hoeverre er nog mogelijkheden zijn voor optimalisatie van de ontworpen versterking.

De derde fase wordt uitgevoerd direct na het gereed komen van de delen van de referentieprojecten. Uit de aangebrachte en verdichte klei worden monsters gestoken en in het laboratorium beproefd. Tevens worden door de aangebrachte kleilaag sonderingen uitgevoerd. De laboratoriumproeven geven inzicht in de gerealiseerde sterkte en laten zien in

hoeverre de sterkte eigenschappen die in het definitief ontwerp zijn aangehouden ook zijn gerealiseerd. De kleilaag zal echter in lagen zijn aangebracht en per laag zijn verdicht. De sonderingen laten zien in hoeverre de gewenste sterkte in elke laag is gerealiseerd. Door de sonderingen en de locaties van monsternamen op korte afstand van elkaar te kiezen, kan een correlatie tussen laboratoriumproefresultaten en sonderingen worden opgesteld. Met behulp van deze correlatie kan in de resterende delen van de referentieprojecten een controle op de uitvoering worden gerealiseerd.

De werkzaamheden voor 2015 voor dit onderdeel betreffen alleen de eerste fase, literatuurstudie en het opstellen van een plan van aanpak voor het vervolg.