


EEM

rekentechnieken

Ontwikkeling eenvoudig
ongedraineerd schuifsterkte
model op basis van de
SHANSEP benadering

POV



MACRO
STABILITEIT

Auteur: Ronald Brinkgreve

Datum: 14 december 2015

Versie: 1.0

Inleiding

Volgens de nieuwe toetsingsnormen moet bij het ontwerp van dijken en waterkeringen 'ongedraineerd' worden gerekend. Dat betekent dat gedurende een maatgevende (kritische) belasting het in de grond aanwezige grondwater opgesloten zit in de poriën van de grond en niet vrijelijk kan bewegen. Dit heeft verder als consequentie dat de (ongedraineerde) schuifsterkte van de grond wordt bepaald door de initiële effectieve spanningstoestand, dat wil zeggen de spanningstoestand vanuit de langetermijn evenwichtssituatie voordat de maatgevende belasting plaatsvindt. Bij dijken en waterkeringen gaat het in het algemeen over 'slappe', slecht doorlatende grondsoorten als klei en veen. De invoering van de het ongedraineerd rekenen zal leiden tot een nauwkeuriger en eenduidiger bepaling van de grondsterkte dan de tot nu toe gehanteerde methode van effectieve sterkte eigenschappen. Het ontwerp van dijken en waterkeringen zal hierbij gebaat zijn.

Naast het gebruik van conventionele ontwerpmethoden, zoals stabiliteitsberekeningen met de methode Bishop en de methode (Lift)Van, is er een toenemend gebruik van de eindige-elementenmethode (EEM). Zeker wanneer het gaat om constructieve elementen in een dijk is het gebruik van de EEM vrijwel onvermijdelijk, maar ook bij 'groene dijken' levert de EEM meer inzicht in het werkelijke gedrag. PLAXIS is in Nederland (en daarbuiten) het meest gebruikte eindige-elementenprogramma in de geotechniek. Om het ongedraineerd rekenen via de EEM mogelijk te maken is het noodzakelijk om een constitutief model te ontwikkelen dat de ongedraineerde schuifsterkte bepaalt aan de hand van de actuele effectieve spanningstoestand in de stabiele evenwichtstoestand, dus na het aanbrengen van de (dijk)constructie en voor het aanbrengen van een (kritieke) belasting of veiligheidsberekening. De ontwikkeling van zo'n model is het onderwerp van dit project.

Achtergrond

Een internationaal bekende methode om de ongedraineerde schuifsterkte van slecht doorlatende grondsoorten te schatten is de SHANSEP benadering (Ladd & Foott, 1974). Deze benadering kan worden weergegeven middels de volgende formule:

$$\frac{s_u}{\sigma'_{v0}} = \frac{s_u}{\sigma'_{vc}} = S \cdot OCR^m \quad (1)$$

Hierin is:

- s_u = Ongedraineerde schuifsterkte
- σ'_{v0} = Initiële verticale effectieve spanning
- σ'_{vc} = Geconsolideerde celdruk (in een DSS of triaxiaalproef)

S = Proportionaliteitsfactor

OCR = Overconsolidatiegraad

m = Machtsfactor

In bovenstaande formule wordt de ongedraineerde schuifsterkte in een willekeurig punt in de grond, genormaliseerd door de initiële verticale effectieve spanning in dat punt (ofwel de geconsolideerde celdruk in het geval van een ongedraineerde DSS of triaxiaalproef), uitgedrukt in een proportionaliteitsfactor S en de heersende overconsolidatiegraad OCR tot de macht m. Typische waarden voor S en m liggen in de range [0.2-0.3] respectievelijk [0.7-0.8].

Internationaal is er veel gepubliceerd over de SHANSEP benadering. Ook in Nederland lijkt deze methode zeer geschikt voor ongedraineerd rekenen. Het nieuw te ontwikkelen model is dan ook op deze methode gebaseerd.

Aangezien het bij het ontwerp van dijken en waterkeringen vooral gaat om een Uiterste Grenstoestand (UGT), zijn met name de sterkte eigenschappen van de grond van belang, en in mindere mate de stijfheidseigenschappen. Hoewel de relatieve stijfheid tussen de grond en de daarin aanwezige constructieve elementen van invloed kan zijn op de onderlinge verdeling van krachten en spanningen, wordt voor het stijfheidsgedrag toch voor een eenvoudige benadering gekozen (Wet van Hooke met constante stijfheid gebaseerd op de initiële effectieve spanningstoestand). Daarmee is het model voor de beoogde doelgroep zeer toegankelijk.

Werkzaamheden

De volgende werkzaamheden zullen worden uitgevoerd:

- a) Ontwikkeling en implementatie van ongedraineerde schuifsterkte model, te gebruiken als user-defined soil model in PLAXIS; zowel in eenvoudige labproefsimulaties als volledige eindige-elementenberekeningen.
- b) Testen van het model in labtestsimulaties en in (eenvoudige) voorbeeldsituaties met een dijk.
- c) Documentatie van het model, inclusief parameterbeschrijving

De volgende modelleringsaspecten vormen het uitgangspunt voor de ontwikkeling van het beoogde model:

- Elastisch gedrag volgens de Wet van Hooke.
- Bezwijkgedrag volgens het Tresca model (= Mohr-Coulomb met alleen een (ongedraineerde) cohesie en een wrijvingshoek van 0)

- Ongedraineerd gedrag door het toevoegen van een compressiestijfheid van het grondwater aan de materiaalstijfheidsmatrix ('undrained B')
- Elastische stijfheid gebaseerd op de initiële effectieve spanningstoestand
- Ongedraineerde schuifsterkte volgens de SHANSEP benadering, gebaseerd op de initiële effectieve spanningstoestand; om e.e.a. algemeen te houden wordt hierbij in plaats van de verticale effectieve spanning, de grootste effectieve hoofdspanning gehanteerd.
- Modelparameters:
 - G / s_u : Proportionaliteitsratio tussen glijdingsmodulus en ongedraineerde schuifsterkte
 - ν : Dwarscontractiecoëfficiënt
 - S : Proportionaliteitsfactor in de SHANSEP formule
 - m : Machtsfactor in de SHANSEP formule
 - $s_{u,min}$: Minimum ongedraineerde schuifsterkte; tenminste 1 kPa.
 - OCR: Initiële (minimum) overconsolidatiegraad
 - POP: Initiële 'pre-overburden pressure' (als alternatief voor OCR)
- Statusparameters:
 - σ_p : Voorconsolidatiespanning (in de grootste hoofdspanningsrichting). Deze wordt initieel bepaald uit de initiële effectieve spanning en OCR of POP.
 - s_u : Ongedraineerde schuifsterkte volgens de SHANSEP methode, waarbij OCR wordt bepaald uit σ_p en de grootste effectieve hoofdspanning.

Er wordt van uitgegaan dat een praktijksituatie in PLAXIS wordt opgebouwd volgens de methode Staged Construction. Daarbij wordt in eerste instantie met een ander constitutief model dan het hier beschreven model gerekend, of wanneer het SHANSEP model al wel is toegekend maar nog niet is geïnitieerd wordt met Mohr-Coulomb gerekend. Wanneer vervolgens een (kritische) belasting wordt aangebracht of een veiligheidsberekening wordt uitgevoerd, dient eerst het nieuwe model aan de betreffende grondlagen te worden toegekend (als dat nog niet is gedaan). Op dat moment dient ook de ongedraineerde schuifsterkte volgens de SHANSEP formule te worden geïnitieerd via de betreffende rekenoptie. Indien in een latere fase (bijvoorbeeld na consolidatie) de schuifsterkte opnieuw dient te worden bepaald, kan gebruik worden gemaakt van dezelfde rekenoptie om de schuifsterkte te 'resetten'.

Op te leveren producten

Aan het eind van het project zullen de volgende producten worden opgeleverd:

- a) Dynamic Link Library (DLL) van het ontwikkelde ongedraineerde schuifsterkte model volgens bovenstaande specificaties, te gebruiken als user-defined soil model in combinatie met PLAXIS 2D 2016.
- b) Documentatie van het model, inclusief parameterbeschrijving en gebruik.

Referentie

- [1] Ladd, C.C., Foott, R. (1974). New Design Procedure for Stability of Soft Clay. ASCE J. Geotech. Eng. Div., Vol. 100, No. GT7, July 1974, 763-786.
-