


Ongedraineerd rekenen met de EEM

Ontwikkeling van een geavanceerd
SHANSEP model op basis van
NGI-ADP

POV

MACRO
STABILITEIT



Auteur: Dr.ir. R.B.J. Brinkgreve

Datum: 17 augustus 2016

Versie: 1.1

Inleiding

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

In dit onderzoeksplan wordt voorgesteld om de SHANSEP formule te integreren in het NGI-ADP model. Laatstgenoemde is een geavanceerd model gebaseerd op hardening plasticiteit waarin de ongedraineerde schuifsterkte onder drie verschillende spanningscondities kan worden ingevoerd. Het model geeft een veel betere beschrijving van het deformatie gedrag van klei-achtige grondsoorten dan het Mohr-Coulomb model. Door nu de SHANSEP formule te gebruiken voor het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte onder een van deze spanningscondities kan op efficiënte wijze een model worden verkregen dat zowel UGT als BGT situaties nauwkeurig kan modelleren. Het model zal worden ontwikkeld, geïmplementeerd en getest door Plaxis. De validatie van het model zal worden uitgevoerd in samenwerking met Witteveen & Bos, waarna het model in eerste instantie aan de in POV-M participerende ingenieurbureaus beschikbaar wordt gesteld.

Achtergrond

SHANSEP

Voor de volledigheid wordt hier nogmaals de achtergrond van het SHANSEP concept (Ladd & Foott, 1974) weergegeven. Dit is een internationaal bekende methode om de ongedraineerde schuifsterkte van slecht doorlatende grondsoorten te schatten. Deze benadering kan worden weergegeven middels de volgende formule:

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

Hierin is:

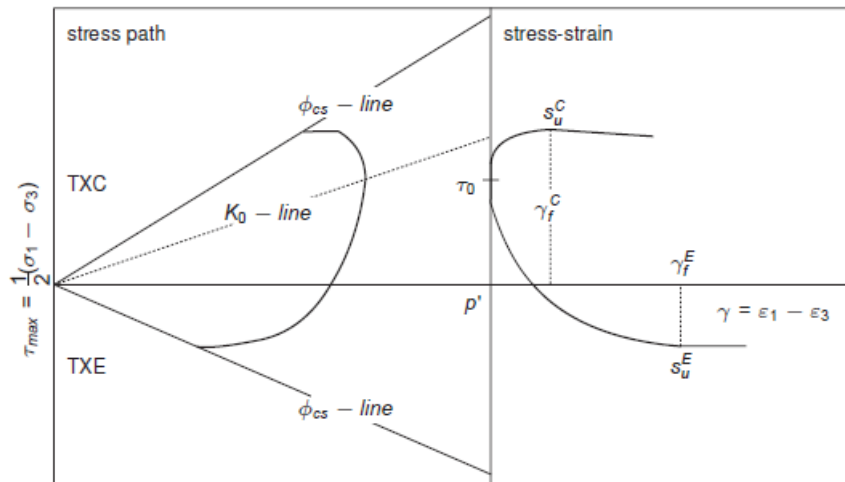
- s_u = Ongedraineerde schuifsterkte
- σ'_{v0} = Initiële verticale effectieve spanning
- σ'_{vc} = Geconsolideerde celdruk (in een DSS of triaxiaalproef)
- α = Proportionaliteitsfactor
- OCR = Overconsolidatiegraad

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 α en de heersende overconsolidatiegraad OCR tot de macht m . Typische waarden voor α 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. In navolging van het eerder ontwikkelde SHANSEP Mohr-Coulomb model zal de SHANSEP formule in het hier voorgestelde SHANSEP NGI-ADP model worden toegepast. Een verschil met de oorspronkelijk SHANSEP formule is dat in plaats van de verticale effectieve spanning σ'_v de grootste effectieve hoofdspanning σ'_1 zal worden gehanteerd.

NGI-ADP

Het NGI-ADP model (Andresen & Jostad, 1999) is een geavanceerd ongedraineerd schuifsterkte model waarin de schuifsterkte onder drie verschillende spanningscondities wordt opgegeven; in actieve spanningstoestand (A), onder direct simple shear condities (D) en in passieve spanningstoestand (P). Afhankelijk van de spanningspad ontwikkeling wordt namelijk in de praktijk een andere ongedraineerde schuifsterkte gemeten, en het is belangrijk om hier in de modellering rekening mee te houden. Naast deze anisotropie van de schuifsterkte is het stijfheidsgedrag niet-lineair; beschreven door middel van hardening plasticiteit, met als invoer parameter de ratio van de initiële elastische schuifstijfheid en de initiële actieve schuifsterkte (G_{ur} / s_u^A). Aangezien de schuifsterkte toeneemt met de diepte of het spanningsniveau, is daarmee ook de stijfheid automatisch afhankelijk van de diepte of het spanningsniveau. Als initiële elastische stijfheid kan eventueel de stijfheid bij kleine rekken (small-strain stiffness G_0 i.p.v. G_{ur}) gehanteerd worden. In combinatie met de invoer van de rekniveaus waarbij bezwijken optreedt kan de volledige spanning-rek relatie als ook de 'modulus reduction curve' van diverse grondsoorten nauwkeurig worden beschreven.



Figuur 1. Typische spanningspaden en spanning-rek diagrammen voor triaxiaal compressie en extensie, leidend tot een spanningspad-afhankelijke schuifsterkte (Bron: Plaxis handleiding)

Beoogde werkzaamheden

De volgende werkzaamheden zullen worden uitgevoerd:

1. Ontwikkeling en implementatie van het ongedraineerde schuifsterkte model op basis van NGI-ADP, analoog aan het eerder ontwikkelde SHANSEP Mohr-Coulomb model, te gebruiken als user-defined soil model in PLAXIS; zowel in eenvoudige labproefsimulaties als volledige eindige-elementenberekeningen.
2. Testen van het model in labtestsimulaties en in (eenvoudige) voorbeeldsituaties met een dijk.
3. Validatie van het model in een praktijksituatie
4. Documentatie van het model, inclusief parameterbeschrijving
5. Beschikbaarstellen van het model binnen POV-M

Het beoogde model zal de volgende parameters hebben:

- Bestaande NGI-ADP modelparameters:
 - G_{ur} / s_u^A : Proportionaliteitsratio tussen glijdingsmodulus en ongedraineerde schuifsterkte
 - ν : Dwarscontractiecoëfficiënt
 - γ_f^C : Bezwijkrek in triaxiaal compressie
 - γ_f^E : Bezwijkrek in triaxiaal extensie
 - γ_f^{DSS} : Bezwijkrek in direct simple shear
 - $s_{u\ ref}^A$: Ongedraineerde actieve schuifsterkte op referentieniveau
 - y_{ref} : Referentieniveau
 - s_u^P / s_u^A : Verhouding passieve / actieve schuifsterkte

- s_u^{DSS}/s_u^A : Verhouding schuifsterkte in DSS / actieve schuifsterkte
- τ_0/s_u^A : Initiële schuifsterkte mobilisatie
- Nieuwe modelparameters voor SHANSEP:
 - α : Proportionaliteitsfactor in de SHANSEP formule
 - m : Machtsfactor in de SHANSEP formule
 - $s_{u\ min}^A$: Minimum actieve schuifsterkte; tenminste 1 kPa.
 - OCR: Minimum overconsolidatiegraad
- Statusparameters (per spanningspunt):
 - σ_p : Voorconsolidatiespanning (in de grootste hoofdspanningsrichting).
 - s_u^A : Ongedraineerde actieve 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 kan in principe vanaf het begin met het SHANSEP NGI-ADP model worden gerekend, maar het gebruik van andere modellen (vooral geavanceerde modellen waarin de voorconsolidatiespanning wordt bijgehouden) in eerdere rekenfasen is ook mogelijk. Voordat de schuifsterkte volgens SHANSEP wordt geïnitieerd wordt met het ingevoerde schuifsterkte profiel gerekend (conform het 'standaard' NGI-ADP model). Daarbij wordt al wel bijgehouden hoe de voorconsolidatiespanning zich ontwikkelt. Aan het begin van een willekeurige rekenfase (niet-zijnde de initiële fase) kan de ongedraineerde schuifsterkte volgens de SHANSEP formule worden geïnitieerd via een speciale rekenoptie (zoals eerder toegepast in het SHANSEP MC model). Indien eerst met een ander model is gerekend, wordt de betreffende OCR uit dat model gehanteerd. 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 're-initialiseren'.

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.

Plan van aanpak en planning

Bovengenoemde werkzaamheden zullen worden uitgevoerd door Plaxis bv in samenwerking met Witteveen & Bos (als onderaannemer), waarbij laatstgenoemde met name de validatie voor haar rekening neemt. De doorlooptijd van de werkzaamheden

bedraagt maximaal vijf maanden, gerekend vanaf de datum van opdrachtverlening. Aan het eind van deze periode zal het SHANSEP NGI-ADP model aan de bij POV-M betrokken ingenieursbureaus beschikbaar worden gesteld in de vorm van een PLAXIS user-defined soil model (DLL), inclusief de benodigde documentatie (PDF).

Referenties

- [1] Andresen L, Jostad HP (1999). Application of an anisotropic hardening model for undrained response of saturated clay. Proc. NUMOG VII, 581-585.
- [2] Ladd CC, Foott R (1974). New Design Procedure for Stability of Soft Clay. ASCE J. Geotech. Eng. Div., Vol. 100, No. GT7, July 1974, 763-786.
- [3] Panagoulas S, Palmieri F, Brinkgreve RBJ (2016), The SHANSEP MC model. Plaxis bv, Delft.
- [4] PLAXIS Material Models Manual (2016). Plaxis bv, Delft.