

Rafał ULINIARZ

Katedra Geotechniki
Politechnika Śląska

ULEPSZONY MODEL MODIFIED CAM-CLAY Z SILNĄ NIELINIOWOŚCIĄ W OBSZARZE PREKONSOLIDACJI WEDŁUG FAHEYA-CARTERA

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję oraz porównanie z danymi doświadczalnymi modelu stanu krytycznego opartego na modelu Modified Cam-Clay w obszarze normalnej konsolidacji i modelu Faheya-Cartera w obszarze prekonsolidacji. Analiza tak powstałego modelu została dokonana i przedstawiona w konfrontacji z trójosiowymi badaniami z drenażem kaolinu.

IMPROVED MODIFIED CAM-CLAY MODEL WITH FAHEY-CARTER'S STRONG NONLINEARITY IN PRECONSOLIDATION ZONE

Summary. An idea and comparison with experimental data of critical state model which is Modified Cam-Clay model in normal consolidation and Fahey-Carter's one in preconsolidation zone is presented. Analysis of this model and confrontation with drained triaxial tests of kaolin were carried out and presented.

1. Wstęp

Modele stanu krytycznego, zwłaszcza Modified Cam-Clay, zyskały w ostatnim czasie znaczną popularność w praktyce geotechnicznej (Duncan, 1994). Wynika to zapewne z dużej zgodności oferowanego przez nie teoretycznego opisu z rzeczywistym zachowaniem się gruntów na tle będących w powszechnym użyciu, porównywalnie złożonych, sprężysto-idealnie plastycznych modeli o powierzchniach granicznych Coulomba-Mohra lub Druckera-Pragera (Wood, 1990). Owa zgodność jest przy tym, w odniesieniu do różnych makroskopowych właściwości mechanicznych gruntów, systematycznie poprawiana w kolejnych propozycjach modelowych. Do najważniejszych wyzwań na drodze rozwojowej

należy ujęcie, w ramach mechaniki stanu krytycznego, uświadomionej i dogłębnie zbadanej w ostatnim dwudziestolecu bardzo silnej nieliniowości w zakresie małych deformacji gruntów prekonsolidowanych. Klasyczne podejścia sprowadzają opis w stanie prekonsolidacji (wewnątrz powierzchni ograniczającej) do prostej nieliniowej sprężystości, wyrażonej liniową zależnością modułów ścisłości K i ścinania G od średniego naprężenia efektywnego p' . Symulacje wspomnianej silnej nieliniowości można znaleźć dopiero w znacznie bardziej złożonych modelach o wzmocnieniu kinematycznym, w trójpowierzchniowych koncepcjach Stallebrassa lub w jednopowierzchniowym modelu NAHOS (Gryczmański, 2000).

W niniejszej pracy proponowana jest prostsza droga przybliżonego ujęcia nieliniowości w zakresie małych odkształceń gruntu w obszarze prekonsolidacji. Jest to kombinacja modelu Modified Cam-Clay z ulepszoną autorską wersją nieliniowo sprężystego modelu Faheya-Cartera, stworzonego w celu opisu wspomnianej nieliniowości.

2. Opis modelu

Prezentowany model, jako ulepszenie modelu Modified Cam-Clay, składa się z dwóch części. Część sprężysto-plastyczna tożsama z oryginalnym modelem Modified Cam-Clay, gdy punkt stanu naprężenia leży na powierzchni plastyczności:

$$F(p', q, p_c') = q^2 + M^2 p'(p' - p_c') = 0 \quad (1)$$

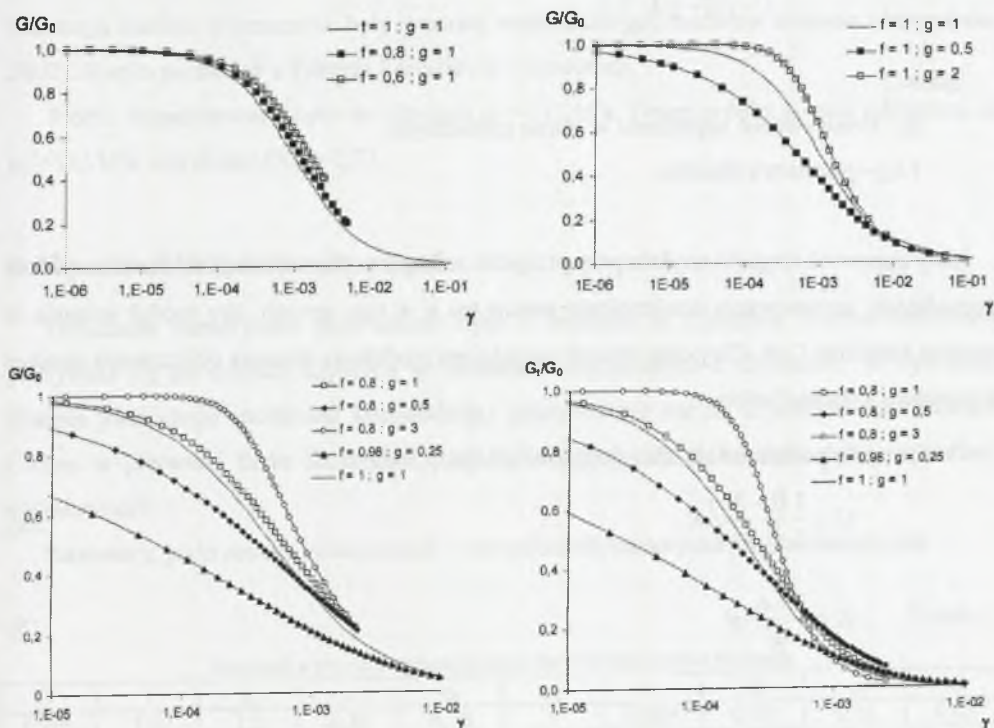
przy czym:

- p_c' - ciśnienie prekonsolidacji,
- p' - efektywne naprężenie średnie,
- q - intensywność naprężenia.

Zarówno funkcję wzmocnienia, jak i parametry λ , κ , G , e_0 i M zaadoptowano z modelu Modified Cam-Clay.

Celem powstania prezentowanego modelu było uwzględnienie nieliniowości w zakresie małych odkształceń przy pozostawieniu w niezmienionej postaci, dobrze symulującego zachowanie się gruntu przy większych odkształceniach, modelu Modified Cam-Clay.

Z założenia cel ten miał być spełniony w sposób zarówno prosty (przy wdrażaniu modelu do programu MES), jak i zapewniający dużą elastyczność modelowania charakterystyki $G-\varepsilon_s$. Wymagania te w całości spełniał nieliniowo sprężysty model Faheya-Cartera, będący rozwinięciem modelu Duncana-Changa.



Rys. 1. Wpływ parametrów f i g na charakterystyki $G/G_0-\gamma$ dla modelu Faheya-Cartera (Fahey&Carter, 1993)

Fig. 1. Influence of the f and g parameters on $G/G_0-\gamma$ characteristic for Fahey-Carter model (Fahey&Carter, 1993)

Początkowy moduł ścinania w modelu Faheya-Cartera dany jest wzorem:

$$G_0 = G^* p_a \left(\frac{p'}{p_a} \right)^n \quad (2)$$

gdzie:

p_a - ciśnienie atmosferyczne,

n i G^* - parametry modelu.

Styczny moduł ścinania wyraża się następująco:

$$G_t = G_0 \frac{\left[1 - f \left(\frac{q}{q_f} \right)^g \right]^2}{1 - f(1-g) \left(\frac{q}{q_f} \right)^g} \quad (3)$$

gdzie:

q_f - intensywność naprężenia w stanie granicznym,

f i g - parametry modelu.

Aby zapewnić ciągłość modelu przy przejściu ze stanu prekonsolidacji do stanu normalnej konsolidacji, zastosowano uzmiennienie parametru κ w taki sposób, aby moduł ścinania w modelu Modified Cam-Clay odpowiadał wartościom modułowi ścinania obliczonego zgodnie z modelem Faheya-Cartera.

W tym celu posłużono się następującymi zależnościami:

$$G = \frac{3(1-2\nu)}{2(1+\nu)} K \quad (4)$$

$$K = \frac{1+e_0}{\kappa} p' \quad (5)$$

z (2), (3), (4) i (5) wyznaczono κ :

$$\kappa = \frac{3(1-2\nu)(1+e_0)p' \left[1 - f(1-g) \left(\frac{q}{q_f} \right)^g \right]}{G^* p_a \left(\frac{p'}{p_a} \right)^n \left[1 - f \left(\frac{q}{q_f} \right)^g \right]^2} \quad (6)$$

Tak wyznaczony parametr κ jest zmienny w obszarze prekonsolidacji, natomiast przy przejściu w normalną konsolidację przyjmuje wartość stałą.

3. Wyniki badań laboratoryjnych

Do wstępnej oceny modelu posłużyły trójosiowe badania kaolinu z drenażem (Jastrzębska & Sternik, 2004). Badania te prowadzone były z wewnętrznym pomiarem odkształceń, co pozwalało na uzyskanie wartości modułu ścinania w szerokim zakresie deformacji. Dla badanego kaolinu wyznaczone były wartości maksymalnych modułów ścinania (Jastrzębska, 2002). Kaolin pochodził z Fabryki Porcelitu w Tułowicach.

Próbki konsolidowane były do ciśnienia $p_0'=312$ kPa. Druga próbka została odciążona do $p_0'=115$ kPa, uzyskując $OCR=2,71$.

4. Wyniki obliczeń numerycznych

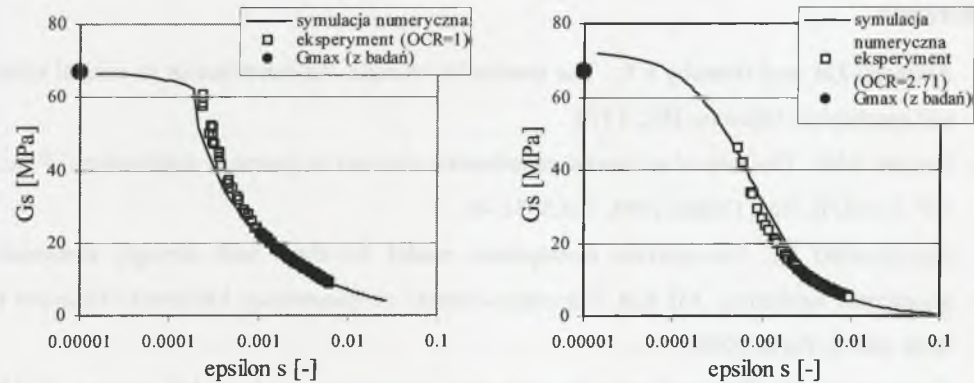
Obliczenia numeryczne prowadzone były w Mathlab'ie. Założona ścieżka obciążenia pokrywała się ze ścieżką uzyskaną w badaniach trójosiowych z drenażem. W symulacji badania pierwszego (normalna konsolidacja) zdecydowano się na użycie modelu Faheya-Cartera w pierwszej fazie obciążenia, przy tzw. małych odkształceniach, celem symulacji nieliniowości.

Parametry, jakie zostały zastosowane w obliczeniach numerycznych, są następujące.

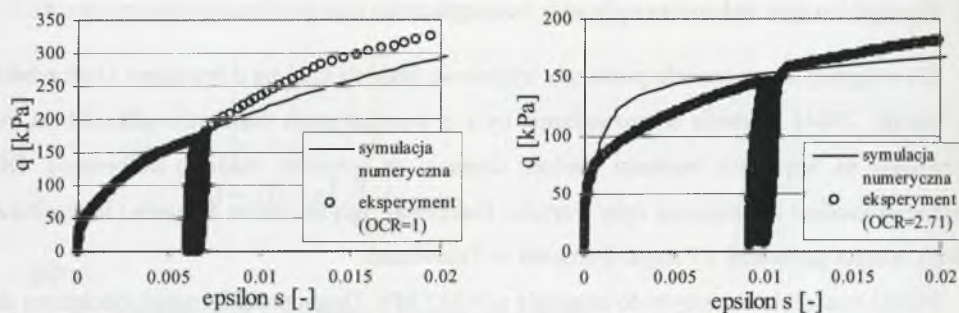
Tabela 1

Parametry modelu wykorzystane do obliczeń numerycznych

G^*	f	g	n	e_0	p_{cr}	v	M	λ	κ
8500	1,6	1,2	0,36	0,70	1	0,085	0,99	0,13	0,02



Rys. 2. Sieczny moduł ścinania G_s w badaniu 1 i 2– porównanie wyników
Fig. 2. Secant shear modulus G_s of test 1 and 2– results comparison



Rys. 3. Charakterystyka ścinania q - ϵ_s w badaniu 1 i 2– porównanie wyników

Fig. 3. Characteristic q - ϵ_s of test 1 and 2– results comparison

5. Podsumowanie

Otrzymane z obliczeń numerycznych krzywe wykazują zadowalającą zgodność z danymi doświadczalnymi. Charakterystyki G_s - ϵ_s , których zgodność była celem podstawowym, spełniły oczekiwania. Można więc potwierdzić tezę, iż kombinacja modeli Modified Cam-Clay oraz Faheya-Cartera jest w stanie poprawnie symulować odpowiedź gruntu na ścieżkę obciążenia badania trójosiowego z drenażem.

Kolejnym krokiem będzie sprawdzenie modelu w prostym zadaniu MES (symulacja badania presiometrycznego), a w końcu zastosowanie w pełnym dwu- lub trójwymiarowym zadaniu brzegowym MES.

Literatura

1. Atkinson J.H. and Bransby P.L.: The mechanics of soils. An introduction to critical state soil mechanics. McGraw-Hill, 1978.
2. Duncan J.M.: The role of advanced constitutive relations in practical applications. Proc. 13th ICSMFE, New Delphi 1994, Vol.5, 31-48.
3. Gryczmański M.: One-surface elastoplastic model for clays with strongly nonlinear anisotropic hardening. XII Kol. Francusko-Polskie ze Stosowanej Mechaniki Gruntów i Skał, tom II, Paryż 2000.
4. Gryczmański M.: Wprowadzenie do opisu sprężysto-plastycznych modeli gruntów. PAN, Studia z Zakresu Inżynierii, nr 40, Warszawa 1995.

5. Jastrzębska M., Sternik K.: Application of elasto-plastic model with anisotropic hardening to analysis of cyclic loading of cohesive soil. International Conference on „Cyclic Behaviour of Soils and Liquefaction Phenomena”, Bochum-Germany 2004.
6. Jastrzębska M.: Kalibrowanie i weryfikacja jednopowierzchniowego sprężysto-plastycznego modelu gruntu o silnie nieliniowym wzmocnieniu anizotropowym. Rozprawa doktorska. Politechnika Śląska. Gliwice 2002.
7. Wood D.M.: Soil behaviour and critical state soil mechanics. Cambridge Univ. Press, New York 1990.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Zbigniew Sikora