

## III-147 異方性を考慮した軽過圧密粘土の弾粘塑性構成式における過圧密境界面

岐阜大学 正員 岡二三生 岐阜大学 正員 八嶋厚  
 (株)大林組 正員 加藤直樹 ○ 岐阜大学 学生員 岩木宏  
 (元 岐阜大学大学院)

## 1.はじめに

自然堆積地盤は、堆積環境・地質的な応力履歴・温度履歴・年代効果・化学的生成物などによる諸々の作用が複雑に関わり力学的異方性を示す。すでに構造異方性を考慮した構成式を得るために、Boehler & Sawczuk [1]、Boehler[2] らによって提案されている横等方性材料に対する異方性理論を岡[3]、岡・足立・三村[4] による過圧密飽和粘土の弾粘塑性構成式に導入する事により一般化を行っている。(岡ら[5]) 本研究では異方性を考慮することにより過圧密境界面 $\hat{f}_b$ の形状がどのように変化するかを検討した。

## 2.異方性を考慮した弾粘塑性方程式への一般化

Boehler & Sawczuk[1]、Boehler[2] らにより横等方体に対する単純異方性理論(Simplified Theory)では、等方体に対する降伏関数  $f(\sigma_{ij})$  内の応力テンソル  $\sigma_{ij}$  を異方特性を含んだ変換応力テンソル  $\hat{\sigma}_{ij}$  で置き換えることにより等方体の関係を異方体の関係に拡張するものであり、次のような異方体への降伏関数を得ている。

$$f(\hat{\sigma}_{ij}) = 0 \quad (1)$$

$$\dot{T} = \{(\alpha + \gamma - 2\beta)tr.(\dot{M}T)\}\dot{M} + \gamma T + (\beta - \gamma)(\dot{M}T + T\dot{M}) = AT \quad (2)$$

$$T_{ij} = \sigma_{ij}, \quad \dot{T}_{ij} = \hat{\sigma}_{ij}, \quad A_{ijkl} = diag.(\gamma, \gamma, \alpha, \beta/2, \beta/2, \gamma/2) \quad (3)$$

$T$  : 2階の応力テンソル ( $T_{ij}$ ) ,  $\dot{T}$  : 2階の変換応力テンソル ( $\dot{T}_{ij}$ )

$A$  : 4階の塑性異方係数テンソル ( $A_{ijkl}$ ) ,  $\alpha, \beta, \gamma$  : 材料定数(塑性異方係数)

異方性を考慮した過圧密境界面  $\hat{f}_b$ 

前述した異方性の項を岡[3]、岡・足立・三村[4] による過圧密飽和粘土の弾粘塑性構成式に導入することにより過圧密境界面 $\hat{f}_b$ は次式のようになる。過圧密領域を次式で与えられる過圧密境界面の内側の領域( $\hat{f}_b < 0$ )とする。 $\hat{f}_b = 0$  は、塑性体積ひずみ  $v^{vp}$  に依存し、せん断過程において変化する。

$$\begin{aligned} \hat{f}_b &= \hat{\eta}^* + \dot{M}_m^* \ln(\hat{\sigma}'_m / \hat{\sigma}'_{mb}) = 0 \\ \hat{\sigma}'_{mb} &= \hat{\sigma}'_{me} \exp\left(\frac{1+e}{\lambda-\kappa} v^{vp}\right), \quad \hat{\sigma}'_m = \frac{1}{3} \hat{\sigma}_{kk}, \quad \hat{\eta}^* = \sqrt{2\hat{J}_2 / \hat{\sigma}'_m} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\hat{S}_{ij} = \hat{\sigma}'_{ij} - \hat{\sigma}'_m \delta_{ij}, \quad \sqrt{2\hat{J}_2} = \sqrt{\hat{S}_{ij} \cdot \hat{S}_{ij}}$$

$\dot{M}_m^*$	: 最大圧縮点における応力比( $\sqrt{2\hat{J}_2} / \sigma'_m$ )	$\hat{\sigma}'_m$	: 平均有効応力
$\hat{\sigma}'_{me}$	: 圧密降伏応力	$e$	: 間隙比
$\lambda$	: 圧縮指数( $e \sim \ln \sigma'_m$ の傾き)	$\kappa$	: 膨潤指数( $e \sim \ln \sigma'_m$ の傾き)
$v^{vp}$	: 粘塑性体積ひずみ	$\hat{S}_{ij}$	: 偏差応力テンソル
$\hat{J}_2$	: 偏差応力テンソルの第二不変量	$\hat{\sigma}'_{ij}$	: 応力テンソル
$\delta_{ij}$	: クロネッカーデルタ $i=j$ の時、 $\delta_{ij}=1$ $i \neq j$ の時、 $\delta_{ij}=0$		

また、異方性を考慮した降伏関数 $\hat{f}_y$  および塑性ボテンシャル関数 $\hat{f}_y$  については、すでに報告している。(岡ら[5])

## 3.実験結果との比較

異方性を考慮した弾粘塑性構成式を軽過圧密下の自然粘土との比較検討を行った。図. 1 に自然粘土の実験結果の過圧密境界面を示す。図. 2・図. 3・図. 4 に解析結果を示す。ここで  $\beta_y$  は最大主応力面と堆積面のなす角と定義する。異方性を考慮した過圧密境界面は、考慮しない過圧密境界面と比較すると  $\sigma'_m$  軸を対称とする曲面であったものが、異方性を考慮することにより原点を中心に行き回りに回転移動している。このような傾向は実験結果より得られた過圧密境界面を定性的に表現できており、関口・太田[6] の理論の傾向にも一致しており興味深い。Leroueil[7] らによつてまとめられた種々の粘土の Limit Surface の形状とも対しても同様な傾向を示している。また  $\beta_y$  が大きくなるにつれて、曲面が原点を中心に時計回りに回転移動している。

#### 4. 参考文献

- [1] Boehler,J.P.,Sawczuk,A.,Alliot,D.(1977),Int.J.Rock Mech.Min.Soc.& Geomesh.Abstr.Vol.14,pp.77-83.[2] Boehler,J.P.,Betten,J.,Spencer,A.J.M.(1987),CISM Courses and Lectures No.292,Int. Centre for Mechanical Sciences,SPRING-ER VERLAG.[3] Oka,F.(1982),Int. Symp. on Num. Models in Geomech.,Zurich,pp.13-17.[4] Oka,F.,Adachi,T.,Mimura,M.(1988),Proc. of the Int. Conf. on Rheology and Soil Mechanics, Edited by M.J.,Keedwell,pp.12-28. [5] 岡ら,"異方性を考慮した軽過圧密粘土の弾粘塑性構成式",平成3年度第26回土質工学研究会. [6] Sekiguchi,H. & Ohata,H.(1977), Proc. 9th ICSMFE,Sep.session9,pp229-239. [7] Leroueil,S.,Magnan,J.P.,Tavenas,F.(1985),REMBLAIS ARGILES MOLLES,LCPC et Documentation (Lavoisier)

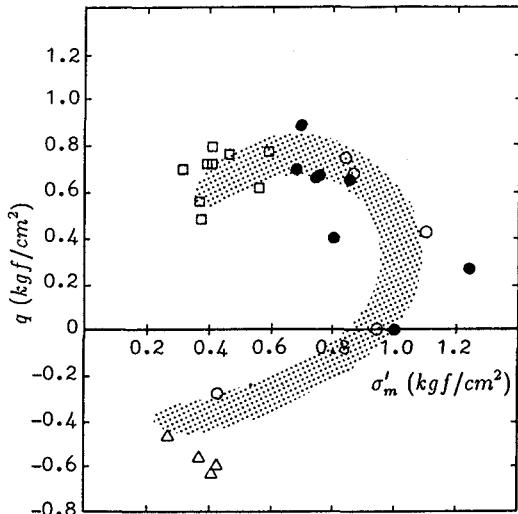


図. 1 東大阪粘土の過圧密境界面

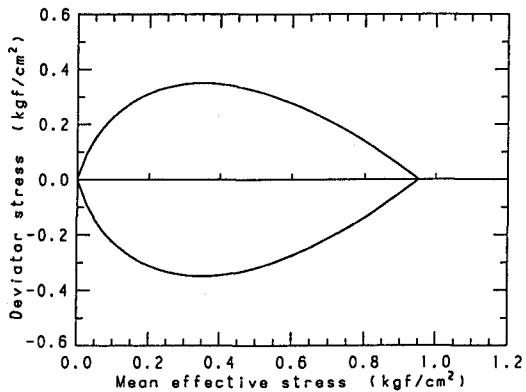


図. 2 異方性を考慮しない過圧密境界面 ( $\beta_y = 0^\circ$ )

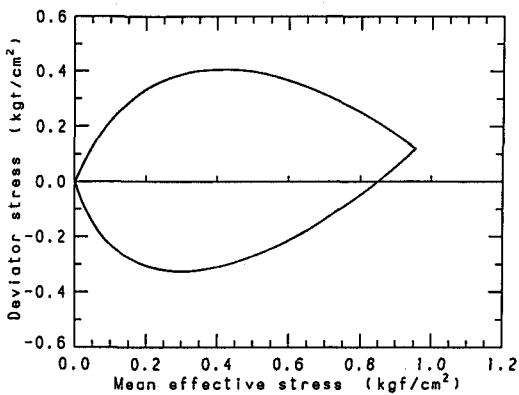


図. 3 異方性を考慮した過圧密境界面 ( $\beta_y = 0^\circ$ )

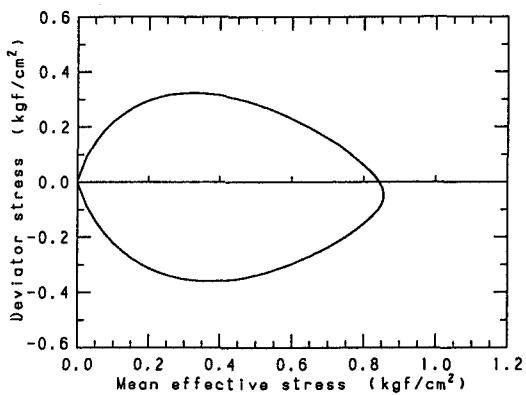


図. 4 異方性を考慮した過圧密境界面 ( $\beta_y = 90^\circ$ )