

異方圧密粘土の変形特性

広島大学 工学部 正会員 網 干 寿 夫

広島大学 工学部 正会員 森 脇 武 夫

広島大学 大学院 学生員 ○木 口 基

1. まえがき

現在提案されている構成式の多くは、等方圧密された正規圧密粘土に対するものであり、これらのモデルを異方圧密粘土に適用するには様々な問題がある。特に過圧密領域での変形特性をこれらのモデルでは、定量的および定性的にも表現できない。¹⁾そこで本研究では、異方圧密粘土の変形特性を明らかにするとともに、これらの特性を表現できるモデルを検討する。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は、練り返した広島粘土である。

予圧密は一次元的に、約 0.5kgf/cm^2 (49kPa) の鉛直圧密圧力を約2週間加えて行なった。表1に広島粘土の物理的性質を示す。

表 1 広島粘土の物理的性質

液性限界 L.L (%)	塑性限界 P.L (%)	塑性指数 P.I (%)	比重 G _s	三角座標による分類
66.3	35.0	31.3	2.68	シルト質粘土

この試料を、直径 3.5cm 高さ 8.0cm の円柱供試体に成形し、特殊な載荷装置を有する三軸試験機でStress Probe試験（以下 S.P試験）を行なった。 載荷は速度を任意に変えることのできる漸増（減）載荷装置を用いて、排水状態で間隙水圧が発生しないようなゆっくりした載荷速度（ $0.5\text{kgf/cm}^2/\text{day}$ ）で行なった。S.P試験は、図に示すように、所定の応力点A（ $P=2.0\text{kgf/cm}^2$, $q=1.5\text{kgf/cm}^2$ ）まで応力比一定で漸増載荷圧縮圧密した後、同じ径路で点B（ $p=1.0\text{kgf/cm}^2$, $q=0.75\text{kgf/cm}^2$ ）まで除荷し、24時間静置した後、以下の6種類の応力経路を与えて行なった。

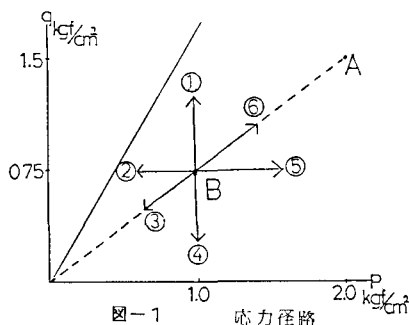


図-1 応力経路

径路① p 一定, q 増加, 径路② p 減少, q 一定, 径路③ p 減少, q 減少,

径路④ p 一定, q 減少, 径路⑤ p 増加, q 一定, 径路⑥ p 増加, q 増加,

また、径路①②については破壊するまで、径路③④については $q=0$ まで、径路⑤⑥については $p=4.0\text{kgf/cm}^2$ まで試験をおこなった。

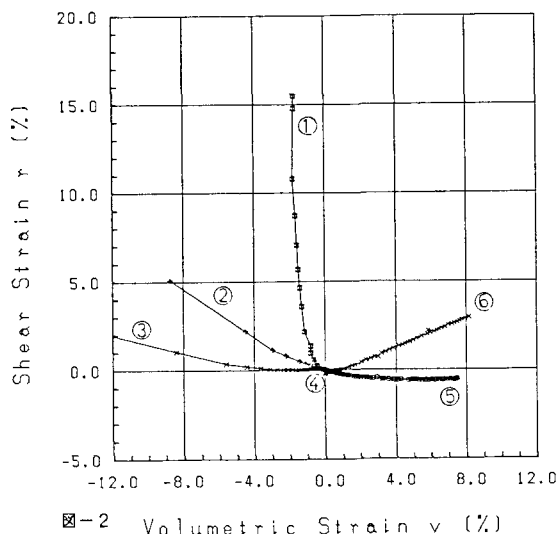
3. 実験結果と考察

図2にS.P開始時（B点）からの体積ひずみ ν （ $\varepsilon_1+2\varepsilon_2$ ）とせん断ひずみ $\gamma=2/3(\varepsilon_1-\varepsilon_3)$ の関係を示す。Cam-Clayモデルでは、降伏曲面内では弾性的挙動を示すとしている。つまりHooke則より、体積ひずみ増分 $\delta\nu$ とせん断ひずみ増分 $\delta\gamma$ は、

$$\delta\nu = 3(1-2\nu)/E \cdot \delta p \quad (1)$$

$$\delta\gamma = 2/3(1+\nu)/E \cdot \delta q \quad (2)$$

と表され、平均有効応力 p 一定なら体積ひずみは生じなく、偏差応力 q 一定ならせん断ひずみは生じないことになる。しかし、図2の径路②, ⑤を見ると、 q 一定にもかかわらず、径路②ではせん断ひずみが増加しており、径路⑤ではせん断ひずみが減少している。また、径路①では、 p 一定にもかかわらず

図-2 Volumetric Strain ν (%)

、体積ひずみが減少している。このように、Cam-Clayモデルでは過圧密領域での変形挙動を表現できない。

そこで、Prevostら²⁾によって提案されている塑性硬化係数場モデルおよびMrozら³⁾によって提案されている境界曲面モデルを参考にして、複数の負荷曲面を持つ多曲面モデルを考えてみる。このモデルでは、塑性変形を生じせしめる応力空間を規定する負荷曲面と、塑性ひずみ増分方向を規定する塑性ポテンシャル関数が一致するとする関連流れ則を採用し、弾性域を規定する降伏曲面は無限小の大きさに縮小しており、弾性成分は事実上無いものとする。

任意な負荷曲面 f_i は、

$$f_i = (p - \alpha_{0i})^2 + (q - \alpha_{0i})^2 / M^2 - \alpha_i^2 = 0 \quad (3)$$

と表される。まず、最初の正規圧密状態では、第一の負荷曲面 f_1 が塑性変形によって拡大する。この場合、 $\alpha_{01} = 0$ 、

$p_1 = \alpha_1 = p_0 / 2$ 、とすれば、修正Cam-Clayモデルの負荷曲面（このモデルでは降伏曲面と一致）と一致する。そして、

この負荷曲面 f_1 に対して点Aで除荷となる

ような径路 ($\frac{\partial f_1}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} < 0$, $f_1 = 0$) が

与えられると、負荷曲面 f_1 の内側に新たに

除荷径路に対する負荷曲面 f_2 が形成され、

点Aで負荷曲面 f_1 に接しながら拡大していく(f_3)。さらに、負荷曲面 f_2 に対して点

Bで除荷となるような径路 ($\frac{\partial f_2}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} < 0$, $f_2 = 0$) が与えられると、今度は負荷曲面

f_2 の内側にまた新たに負荷曲面 f_4 が形成

され、点Bで f_2 に接しながら拡大すると考

える。

このように、このモデルでは、これまで弾

性域とされて来た負荷曲面の内側にも除荷径

路に対する負荷曲面を考え、塑性ひずみを考

慮しようというものである。塑性ひずみ増分の方

向は関連流れ則を採用することによって、それぞ

れの負荷曲面の法線方向として与えられる。このよ

うにして得られた塑性ひずみ増分方向各々の応

力点でベクトル表示したものが図4である。た

だし、ここでは、ベクトルの大きさは考慮せず、

方向だけを表示している。この図より、提案す

るモデルは細部では若干のはずれはあるものの、

全体的には実際の挙動と概略一致しており、過

圧密粘土の変形特性をよく表現していると考えら

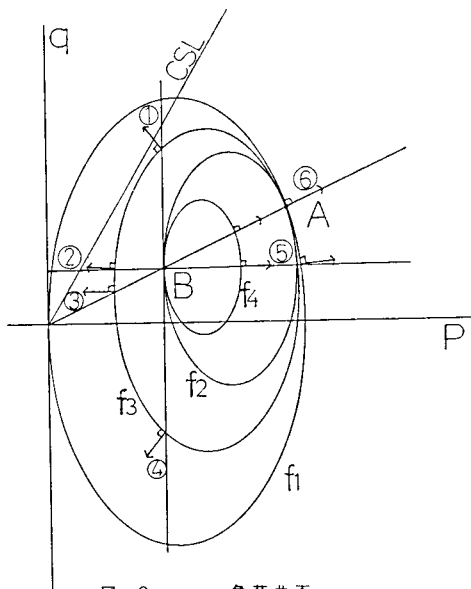


図-3 負荷曲面

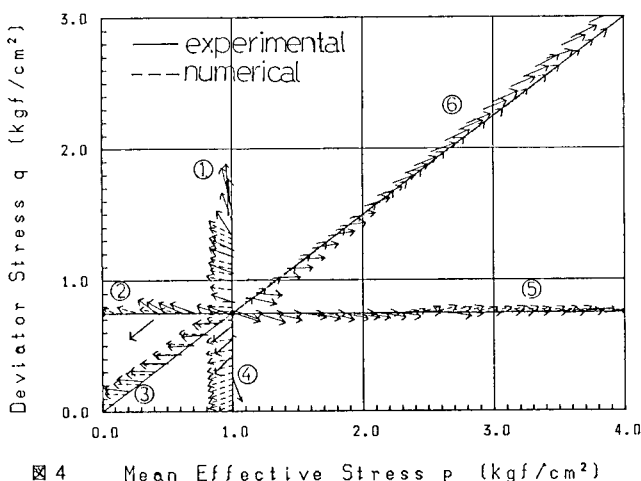


図4 Mean Effective Stress p (kgf/cm²)

今後は、適切な硬化則を定めて、ベクトルの大きさを決める必要がある。

参考文献

- 1) 森脇, 綱干, 中ノ堂, 小西, 異方圧密粘土のStress Probe試験, 第20回土質工学研究発表会概要集, pp397-398, 1985
- 2) Prevost, Plasticity theory for Soil Stress-Strain Behavior, ASCE, Vol. 104, EM5, pp. 1177~1194, 1978
- 3) Mroz, Norris, Zienkiewicz, Application of an Anisotropic Hardening Model in the Analysis of Elasto-Plastic Deformation of Soils, Geotechnique Vol. 29, No. 2, pp 1~34 1979