

III-150 異方過圧密粘土の変形特性と弾塑性構成式

広島大学 工学部 正会員 ○森脇 武夫
 広島大学 工学部 正会員 網干 寿夫
 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弾性としているため、実際の挙動と定量的および定性的にも一致しないことが報告されている。^{1), 2)} そこで本研究では、異方的に過圧密された飽和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提案する。

2. 異方過圧密粘土の変形特性

図-1は異方過圧密粘土のStress Probe試験(以下SP試験)における体積ひずみ $v=(\varepsilon_1+2\varepsilon_3)$ とせん断ひずみ $\gamma=2/3*(\varepsilon_1-\varepsilon_3)$ の関係を示したものである。SP試験は、繰り返した広島粘土を所定の応力点Aまで応力比一定で漸増圧密を行った後、同じ経路で点Bまで除荷し、24時間静置した後、図のような6種類の応力経路を与えたものである。Cam-Clayモデルを始めとする弾塑性モデルでは、降伏曲面内では弾性を仮定している。即ち、平均有効応力 p が一定なら体積ひずみは生じなく、偏差応力 q が一定ならせん断ひずみは生じないことになる。しかし、図-1の経路②、⑤を見ると、 q 一定にもかかわらずせん断ひずみが生じている。また、経路①では、 p 一定にもかかわらず体積ひずみが減少している。このように、従来の弾塑性モデルでは異方的に過圧密された粘土の変形挙動を表現できない。

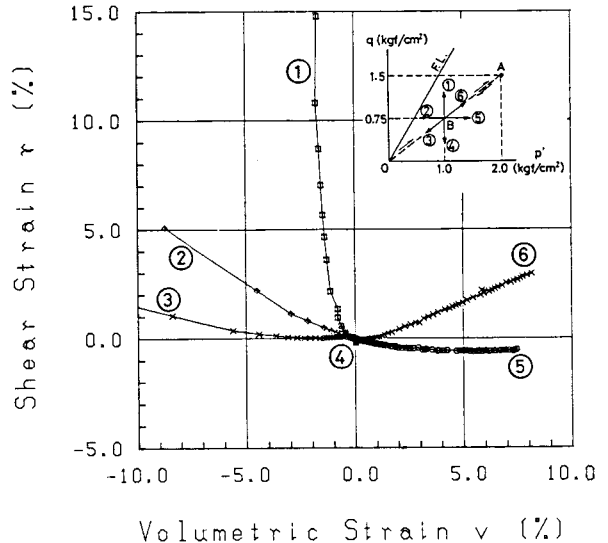


図-1 ひずみ経路図(実験値)

3. 異方過圧密粘土に対する構成式

Mroz³⁾、Prevost⁴⁾ 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⁵⁾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る。

3-1. ひずみ増分方向: 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。負荷曲面 f_i は、

$$f_i = (p - \alpha_{p_i})^2 + (q - \alpha_{q_i})^2 / M^2 - a_i^2 = 0 \quad (1)$$

と表されるものと仮定する。図-2に示すように、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、 $\alpha_{q1} = 0$ 、 $\alpha_{p1} = a_1 = p_c / 2$ とすれば、修正Cam-Clayモデルの負荷曲面(修正Cam-Clayモデルでは降伏曲面と負荷曲面が一致している)と一致する。そして、

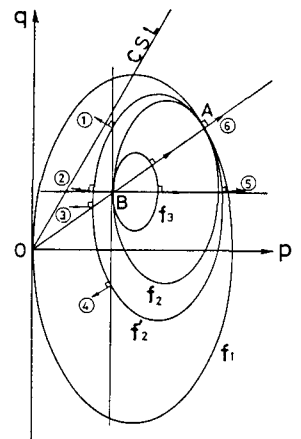


図-2 負荷曲面

この負荷曲面 f_1 に対して点Aで除荷となるような経路 ($\frac{\partial f_1}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} < 0$, $f_1 = 0$) が与えられると、負荷曲面 f_1 の内側に新たに除荷経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_2')。さらに、負荷曲面 f_2 に対して点Bで除荷となるような経路 ($\frac{\partial f_2}{\partial \sigma_{ij}} d\sigma_{ij} < 0$, $f_2 = 0$) 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_3 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経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を各々の応力点でベクトル表示したものが図-3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、異方過圧密粘土の変形特性をよく表現していると考えられる。

3-2. 硬化パラメータ：負荷曲面の大きさを表わす硬化パラメータ a_i と塑性ひずみが

$$da_i = \frac{(1+e_0) \cdot p \cdot d\sigma_{p1}}{2\lambda \cdot (\kappa/\lambda)^{i-2} \cdot (\kappa/\lambda + (1-\kappa/\lambda) \cdot (a_i/a_{i-1})^{1/\beta}) \cdot (p - \alpha_{p1})/a_i}$$

or

$$da_i = \frac{(1+e_0) \cdot p \cdot d\sigma_{p1}}{2\lambda \cdot (\kappa/\lambda)^{i-2} \cdot (\kappa/\lambda + (1-\kappa/\lambda) \cdot (a_i/a_{i-1})^{1/\beta}) \cdot (q - \alpha_{q1})/H^2/a_i}$$

で関係づけられるとする。ここで、 λ 、 κ/λ 、 β は材料定数であり、 $i=1$ のとき $da_1 = (1+e_0)/2\lambda \cdot p \cdot dv$ である。この硬化則とPragerの適合条件則を用いると、塑性ひずみ増分は次式によって与えられる。

$$d\sigma_{p1} = \frac{\frac{2\lambda}{1+e_0} \left(\frac{\kappa}{\lambda}\right)^{i-2} \cdot \left(\frac{\kappa}{\lambda} + (1-\frac{\kappa}{\lambda}) \cdot \left(\frac{a_i}{a_{i-1}}\right)^{1/\beta}\right) \cdot (p - \alpha_{p1}) \cdot dp + \frac{q - \alpha_{q1}}{H^2} dq \cdot (p - \alpha_{p1})}{\frac{a_i}{a_{i-1}} \cdot (a_i \cdot a_{i-1} - (p - \alpha_{p1}) \cdot (p_{1-1} - \alpha_{p1-1})) - \frac{(q - \alpha_{q1}) \cdot (q_{1-1} - \alpha_{q1-1})}{H^2}} \cdot p$$

$$d\sigma_{q1} = \frac{\frac{2\lambda}{1+e_0} \left(\frac{\kappa}{\lambda}\right)^{i-2} \cdot \left(\frac{\kappa}{\lambda} + (1-\frac{\kappa}{\lambda}) \cdot \left(\frac{a_i}{a_{i-1}}\right)^{1/\beta}\right) \cdot (p - \alpha_{p1}) \cdot dp + \frac{q - \alpha_{q1}}{H^2} dq \cdot (p - \alpha_{p1})}{\frac{a_i}{a_{i-1}} \cdot (a_i \cdot a_{i-1} - (p - \alpha_{p1}) \cdot (p_{1-1} - \alpha_{p1-1})) - \frac{(q - \alpha_{q1}) \cdot (q_{1-1} - \alpha_{q1-1})}{H^2}} \cdot q$$

このようにして得られた体積ひずみ v とせん断ひずみ γ の関係を示したものが図-4である。この図より、提案するモデルは、異方過圧密粘土の変形挙動をよく表現していると考えられる。

- 〈参考文献〉 1) 森脇・網干・中ノ堂・小西、第20回土質工学研究発表会概要集、pp.397-398, 1985
 2) 網干・森脇・木口、昭和61年度土木学会中国四国支部研究発表会概要集、Ⅲ-14, 1986 3) Mroz, Journal of the Mechanics and Physics of Solids, Vol.15, pp.163-175, 1967 4) Prevost, ASCE, Vol.104, EM5, pp.1177-1194, 1978 5) Mroz-Norris-Zienkiewicz, Geotechnique, Vol.29, No.2, pp.1-34, 1979

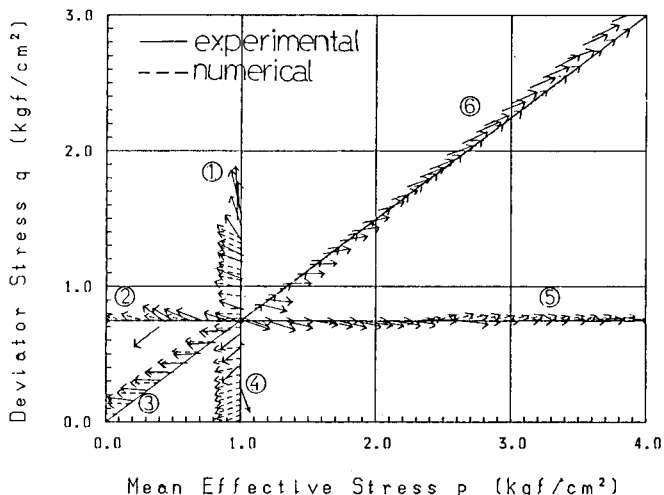


図-3 ひずみ増分方向

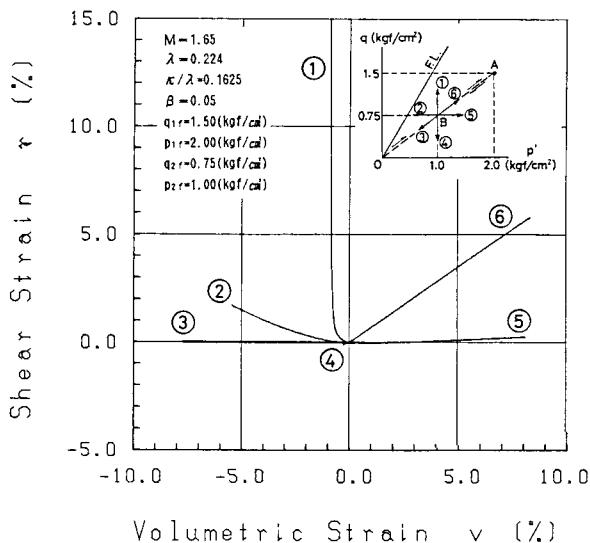


図-4 ひずみ経路図（計算値）