

金沢大学工学部 正会員 関口秀雄

金沢大学工学部 正会員 西田義親

日本鋼管

金井文男

1. はじめに

土質工学上重要な問題の中で、軟弱地盤上の道路盛土や河川堤防の変形と安定の問題は通常、平面ひずみ問題に属すると考えてよい。したがって、予測精度が高いうえに適用しやすい平面ひずみ構成式が確立されると、その実用価値は極めて大きいと考えられる。そこで本研究では、筆者らの提案する三次元粘塑性モデル^(1,2)の数学的構造を保持しながら、 K_0 値の予測精度がより高く、かつMohr-Coulombの破壊規準に従うような平面ひずみ粘塑性モデルの作成を試みてみたい。

2. 平面ひずみ粘塑性モデルの特徴

表-1は、ここに提案する平面ひずみ粘塑性モデルの理論的構造を、三次元粘塑性モデルのそれと対比させながら示したものである。

表-1 三次元粘塑性モデル^(1,2)と平面ひずみ粘塑性モデルの対比

比較項目	三次元粘塑性モデル	平面ひずみ粘塑性モデル
1) 粘塑性流動則	$\dot{\varepsilon}_{ij}^p = \Lambda \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \quad (i, j = 1, 2, 3)$	左に同じ。 $(i, j = 1, 2)$
2) 粘塑性ポテンシャル	$F \equiv \alpha \cdot \ln \left[1 + \frac{2\sqrt{3}}{\alpha} \exp \left(\frac{f}{\alpha} \right) \right] = \psi^p$	左に同じ
3) 粘塑性流動の継続条件式	$\dot{F} \equiv \frac{\partial F}{\partial \sigma_{ij}} \cdot \dot{\sigma}_{ij}' + \frac{\partial F}{\partial t} = \dot{\psi}^p$	左に同じ
4) 静的降伏関数 f の表現	$f = \frac{\lambda - K}{1 + e_0} \ln \left(\frac{p}{p_0} \right) + D \cdot \left(\frac{q}{p} - \frac{q_0}{p_0} \right)$ ここに、 $p = \frac{1}{3} \sigma_{ii}'$ $q = \sqrt{\frac{3}{2} s_{ij} s_{ij}}$	$f = \frac{\lambda - K}{1 + e_0} \ln \left(\frac{r}{r_0} \right) + g \left(\frac{s}{r} \right)$ ここに、 $r = \frac{1}{2} \sigma_{ii}' = \frac{1}{2} (\sigma_1' + \sigma_3')$ $s = \sqrt{\frac{1}{2} s_{ij} s_{ij}} = \frac{1}{2} (\sigma_1' - \sigma_3')$
5) ひずみ速度比と有効応力比の関係	$\frac{\dot{\varepsilon}^p}{\dot{\psi}^p} = \frac{\partial F / \partial q}{\partial F / \partial p} = \frac{\partial f / \partial q}{\partial f / \partial p} = \frac{1}{1 - q/p}$ ここに、 $\dot{\varepsilon}^p = \frac{2}{3} (\dot{\varepsilon}_1^p - \dot{\varepsilon}_3^p)$ $\dot{\psi}^p = \dot{\varepsilon}_1^p + \dot{\varepsilon}_2^p + \dot{\varepsilon}_3^p$	$\frac{\dot{\gamma}^p}{\dot{\psi}^p} = \frac{\partial F / \partial s}{\partial F / \partial r} = \frac{\partial f / \partial s}{\partial f / \partial r} = \frac{s/r}{\sin \phi' - s/r}$ ここに、 $\dot{\gamma}^p = \dot{\varepsilon}_1^p - \dot{\varepsilon}_3^p$ $\dot{\psi}^p = \dot{\varepsilon}_1^p + \dot{\varepsilon}_3^p$

平面ひずみ粘塑性モデルにおいては、平面ひずみ条件のもとで独立な有効応力成分が σ_{xx}' , σ_{yy}' , 及び σ_{zz}' の3つであることに注目し、これらの不変量とによって静的降伏関数 f を規定しているのが大きな特徴である。そして、この関数の定義式の右辺第2項のダイレイタンシー関数 $g(r)$ については、随伴流動則と、仮定したひずみ速度比-有効応力比関係を用いることにより、つぎのように具体形を求めている。

$$g(\xi) = \frac{\lambda - K}{2(1 + e_0)} \ln \left(\frac{\xi^2 - \xi + M^*}{\xi_0^2 - \xi_0 + M^*} \right) + \frac{\lambda - K}{2(1 + e_0) \sqrt{M^* - \frac{1}{4}}} \left[\arctan \left(\frac{\xi - \frac{1}{2}}{\sqrt{M^* - \frac{1}{4}}} \right) - \arctan \left(\frac{\xi_0 - \frac{1}{2}}{\sqrt{M^* - \frac{1}{4}}} \right) \right]$$

ここに、 $\xi \equiv \lambda/r$ 及び $M^* \equiv \sin^2 \phi$ とおくと同時に、 $g(\xi_0) = 0$ なる初期条件を用いた。

なお、本研究の平面ひずみモデルにおいては常に $\dot{\varepsilon}_2^p = 0$ となるため、 $\dot{\varepsilon}_2 = 0$ の平面ひずみ条件を満足させるためには $\dot{\varepsilon}_2^e = 0$ 、すなわち $\dot{\sigma}_2 = \nu' \cdot (\dot{\sigma}_1 + \dot{\sigma}_3)$ なる関係式が成立すればよい。ここに ν' は有効応力表示のポアソン比である。他方、平面ひずみ条件に関する実験事実³⁾によれば、 $\sigma_2' = m \cdot (\sigma_1' + \sigma_3')$ とおくことができる。ここに m は実験定数である。そして、正規圧密粘土の ν' と m の値は、とどろ $0.3 \sim 0.4$ の範囲に入ることが多い。したがって、平面ひずみ条件の場合には非常に良い近似の $\nu' = \frac{1}{2}$ とおくことができることを補足しておこう。

3. Hambly³⁾の実験結果との比較

本研究の平面ひずみ粘塑性モデルの予測能力をチェックするために、 K_0 条件下で正規圧密されたカオリン粘土に対する平面ひずみ試験³⁾の再現を試みよう。

図-1は、本研究においてあらかじめ指定した有効応力経路(試験番号10, 12, 13, 14, 16, 20)と、解析の結果として求まった有効応力経路(試験番号11, 25, 22, E_1 , E_2 , 21, 26)をまとめて示したものである。試験12, 13, 14は圧縮側の応力制御式排水試験であり、試験10, 16, 20は伸張側の応力制御式排水試験である。試験21と26は、それぞれ圧縮側及び伸張側の非排水せん断試験である。試験 E_1 と E_2 は、 K_0 値の予測能力をチェックするために本研究で特に加えた仮想の試験である。試験22は、 $d\varepsilon_1 = d\varepsilon_3$ を強制的に加えていく二次元圧密試験である。そして試験25は、 $d\varepsilon_1 = 0$ のとどで $d\varepsilon_3$ を加えていく側方一次元圧密試験である。

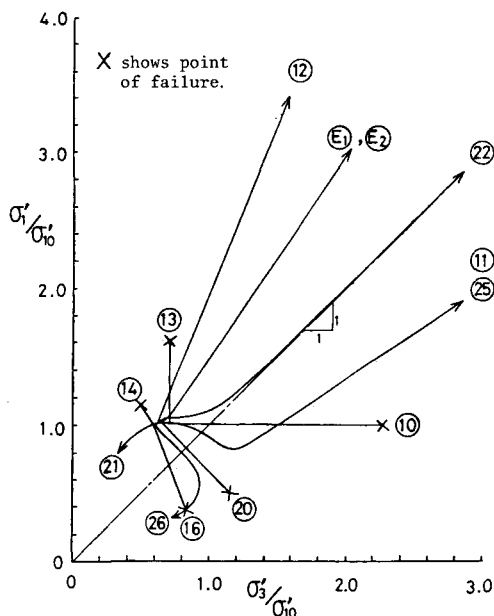


図-1 指定ないし解析で求めた有効応力経路

図-2は、上記の各試験における縦ひずみ ε_1 と横ひずみ ε_3 の関係を示したものである。

解析結果と Hambly³⁾の実験結果との比較の一例として K_0 値を取り挙げてみよう。仮想試験 E_1 , E_2 から求めた計算 K_0 値は $0.62 \sim 0.68$ の範囲にあり、実験 K_0 値(平均値 $= 0.64$, 標準偏差 $= 0.04$)とよく一致していることが確かめられた。

その他、解析挙動と実験挙動はおおむね対応し、本研究の平面ひずみ粘塑性モデルはかなり有望であるとの感触が得られたが、モデル定数の決定法をはじめ、それらの詳細については講演時に譲りたい。

参考文献

- 1) 関口(1977), Proc. 9th Int. Conf. on SIF, Vol.1.
- 2) 関口・西田・金井(1981), Soils and Found., Vol. 21, No. 3, pp.53-66.
- 3) Hambly(1972), Géotechnique, Vol. 22, No. 2, pp.301-317.

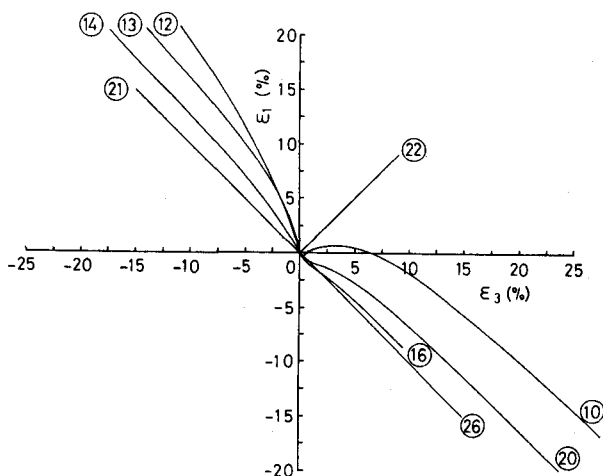


図-2 指定ないし解析で求めたひずみ経路