

1 緒言

土質材料の応カーズみ関係について数多くの式が提案され、理論解析に用いられているが、かなり問題点も残されていると思われる。著者らの一人¹⁾は、弾塑性理論に基づく岩質材料の構成式を提案し、その有用性を明らかにした。そこにおける構成式を土質材料にも適用し、その妥当性を検討するため、まず降伏関数と硬化パラメータについて粘性土の実験を行ない、それらに含まれる材料定数を決定する。さらに降伏関数と硬化パラメータを用いて応カーズみ関係(構成式)を導き、土質材料への適用性について考察を行なう。

2 弾塑性理論に基づく構成式

連続体力学的手法により、先に提案した岩質材料の降伏関数の形を少し修正して次のような降伏関数と土質材料に対して提案する。

$$f = J_2 + \alpha J_2^{1/2} + \beta I_1^2 + \gamma I_1 = 0 \quad (1)$$

ここに f は降伏関数、 J_2 は偏差応力 T_{ij} の2次不変量、 I_1 は応力 T_{ij} の1次不変量、 α 、 β は材料定数、 γ は硬化パラメータである。さらに、硬化パラメータについては次式を提案する。

$$\dot{\gamma} = \phi_1 T_{ij}^n \dot{E}_{ij}^{(p)} / 3 + \phi_2 T_{ij}^m \dot{E}_{ij}^{(p)} \quad (2)$$

ここに $\dot{\gamma}$ は硬化パラメータの速度、 ϕ_1 と ϕ_2 は材料定数、 $\dot{E}_{ij}^{(p)}$ は塑性ひずみ速度である。Prager によれば、塑性域における応カーズみ関係は次のように与えられる。

$$\dot{E}_{ij}^{(p)} = \frac{1}{h} \frac{\partial f}{\partial T_{mn}} \dot{T}_{mn} \frac{\partial f}{\partial T_{ij}} \quad (3)$$

ここに

$$h = - \left(\frac{\partial f}{\partial E_{kl}^{(p)}} + \frac{\partial f}{\partial \gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial E_{kl}^{(p)}} \right) \frac{\partial f}{\partial T_{kl}} \quad (4)$$

ゆえに式(1)、(2)、(4)を式(3)に代入すると、土質材料の構成式は決定されたことになる。

3 材料定数の決定

塑性ポテンシャルと降伏関数が一致するかどうかを調べるために、図1に示される実験を行なった。

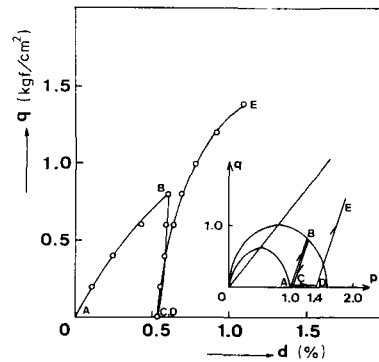


図1. 応力経路と応カーズみの関係

これより、両者は一致すると考えられるので、以下両者を同じものとして扱うことにする。式(1)と(2)に含まれる材料定数について考えよう。式(1)に含まれる材料定数 α をここでは0として残りのパラメータだけで土の力学挙動をどの程度まで表わせるかを考える。式(3)より次式をうる。

$$\alpha = \frac{1}{2} \left(\gamma - \frac{27\beta}{\gamma} \right) \quad (5)$$

ここに $\alpha = -\dot{\gamma}^{(p)} / \dot{d}^{(p)}$ 、 $\gamma = g/p$ であり、三軸試験においては、 $g = \sigma_1 - \sigma_3$ 、 $p = (\sigma_1 + 2\sigma_3)/3$ 、 $\dot{\gamma}^{(p)} = e_1^{(p)} + 2e_3^{(p)}$ 、 $\dot{d}^{(p)} = 2/3 (e_1 - e_3)$ である。

図2に寿山試料土について行なった排水試験の結果を示す。

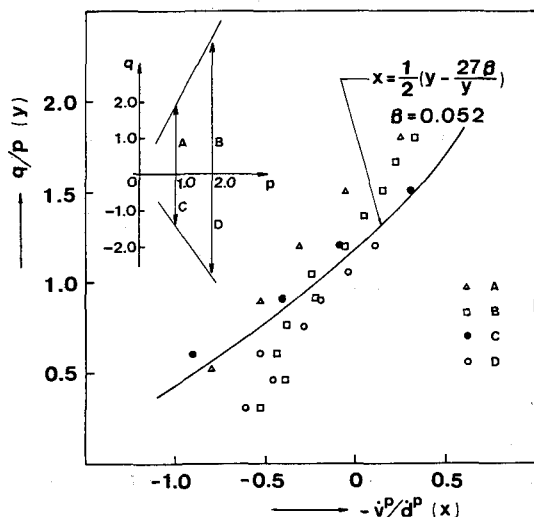


図2. 応力比 q/p と塑性ひずみ増分比 $-v_p/d_p$ の関係

式(5)を図2の実験結果に適用してみると次のようになる。

$$B = 0.052 \quad (6)$$

図中の実線は式(5)と(6)によるものを表わしている。

次に硬化パラメータ ϕ の式(2)について考えよう。式(3)は $P = \text{一定}$ の試験において次のようにかける。

$$\frac{d\phi}{\phi} = \frac{4}{9} \frac{\phi^2}{P\{27B\phi P^2 + (2\phi_2 - \phi)\phi^2\}} \quad (7)$$

$$\frac{v^{(p)}}{\phi} = \frac{28(3BP - \phi^2/9P)}{P\{27B\phi P^2 + (2\phi_2 - \phi)\phi^2\}} \quad (8)$$

式(7)と(8)を図3に示される実験結果に適用すると、三軸圧縮試験において次式をうる。

$$\phi_1 = 25.06 \quad \phi_2 = 8.38 \quad (9)$$

また、応力 q と体積ひずみ v および偏差ひずみ d の関係を図4に示す。

図中の曲線は式(7)と(8)による理論値を示している。これから提案された構成式はかなり良く実験結果を表わしうることがわかる。

参考文献

- 1), 平井, 佐武: 軟岩の降伏関数の提案と塑性挙動の記述 (英文)
土木学会論文報告集 No. 320, 1982

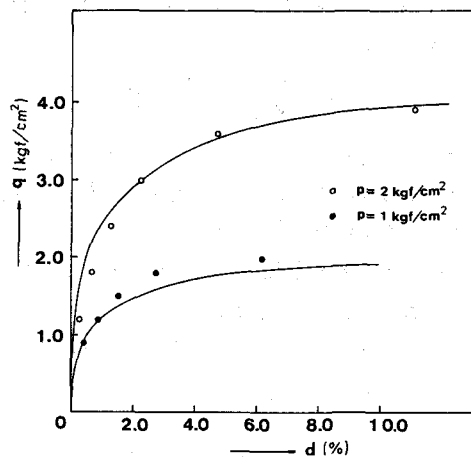


図3 応力と偏差ひずみの関係

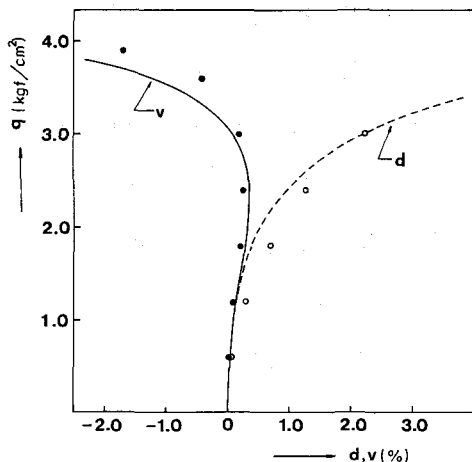


図4 応力と偏差ひずみおよび体積ひずみの関係 ($P = 2 \text{ kgf/cm}^2$ の場合)