

III-108 ひずみ履歴を考慮した砂の繰返し応力～ひずみ関係

名古屋大学工学部 正会員 杉 村 昌 広

名古屋大学工学部 正会員 松 澤 宏

1. まえがき：土が動的载荷あるいは繰返し载荷を受けるときの力学・変形特性は、土が過去に受けた変形履歴に大きく依存すると考えられている。本研究は、Endochronic 理論¹⁾に基づき、土の動的構成関係を定式化することを目的としており、単調载荷過程²⁾および繰返し载荷過程³⁾における乾燥砂の応力～ひずみ関係の定式化およびその軸対称状態への適用例については既に報告している。今回は、式中の材料パラメータを実験値から決定する方法を検討し、これらをすべて静的圧縮試験から決定することを試みたので、ここに報告する。

2. 材料パラメータ：軸対称状態での繰返し応力～ひずみ関係の一般式は、次のようになる^{2), 3)}。

$$\text{せん断応力} : \tau = \sqrt{3/2} \cdot \int_0^z \mu(z-z') \cdot f(z') \cdot dz' \quad (1)$$

$$\text{ひずみ履歴増分} : dz = \sqrt{de^p}_{ij} \cdot de^p_{ij} / f(z) \quad (2)$$

e^p_{ij} : 塑性偏差ひずみテンソル

$$\text{硬化関数} : f(z) = \beta + (1-\beta) \cdot \exp(-\kappa z) \quad (3)$$

$$\text{せん断弾性係数} : \mu(z) = G_0(e) \cdot p^m \{ \rho_0 + \sum_r \rho_r \exp(-B_r z) \} \quad (4)$$

$$G_0(e) = (2.17-e)^2 / (1+e)$$

式(2)～(4)を式(1)に代入した展開式については、文献3)を参照されたい。ここで、 $\rho_0, \rho_r, B_r, \beta, \kappa$ は材料パラメータであり、それぞれ次のような意味を持っている。すなわち、 ρ_0, ρ_r, B_r は応力～ひずみ関係の各ひずみレベルにおける接線係数を表すパラメータであり(図-1)、 β は、最終降伏面の大きさを、 κ は材料のひずみに対する硬化速度を表すパラメータである(図-2)。

3. 実験値による材料パラメータ ρ_0, ρ_r, B_r の決定および β, κ の決定：接線係数を表す材料パラメータ ρ_0, ρ_r, B_r の実験値に基づく決定方法について説明する。図-3は、横軸に z 、縦軸に $\mu(z)/G_0(e) \cdot p^m$ の対数を取って、三軸

圧縮試験の結果を整理したものである。図中○印で表される実測値は、側圧および初期間隙比の違いによらず、かなりまとまった傾向を示している。材料パラメータ ρ_0, ρ_r, B_r は、この傾向を表現するパラメータである。今回は、実測値の傾向より、式(4)の指数項の数を2つとし、 $\mu(z)$ を次式のように定義した。

$$\mu(z) = G_0(e) \cdot p^m \{ \rho_0 + \rho_1 \exp(-B_1 z) + \rho_2 \exp(-B_2 z) \} \quad (5)$$

ここで、 ρ_0 は初期降伏との関連で定数となる²⁾。また、 $\rho_1 \exp(-B_1 z)$ および $\rho_2 \exp(-B_2 z)$ の項はそれぞれ、

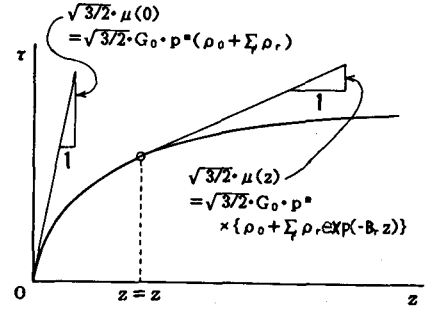


図-1

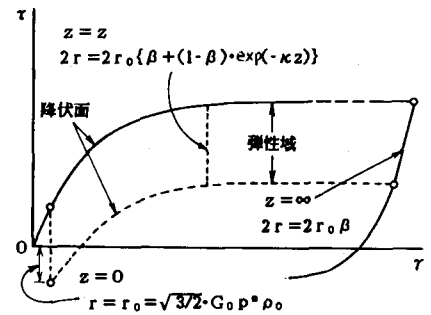


図-2

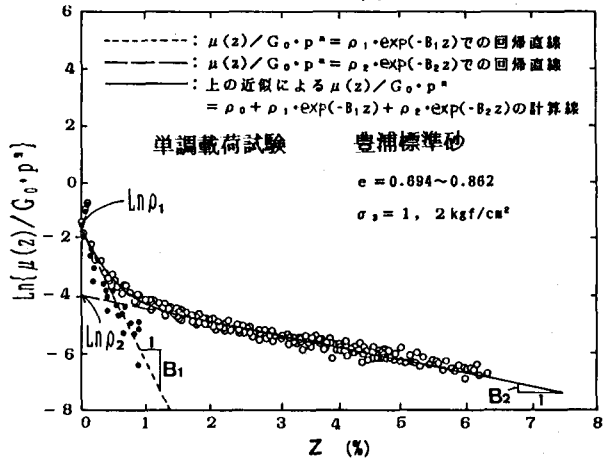


図-3

図-3において、 z が小さく縦軸の値が急減する部分およびその後の直線的に減少する部分に対応するものとした。したがって、 ρ_2 および B_2 は図-3の破線の切片および勾配で与えられ、 ρ_1 および B_1 については、 $\ln(\mu(z)/G_0(e) \cdot p^m - \rho_0 - \rho_2 \exp(-B_2 z))$ の値（図中の●）を直線近似して決定できる。

他の2つのパラメータ β および κ の決定には、次の2つの条件式を用いる。すなわち、

$$\begin{aligned} \text{・初期状態: } (d\tau/dz)_{z=0} &= \sqrt{3/2} \cdot G_0 p^m \{ \rho_0 \kappa (\beta - 1) + \rho_1 + \rho_2 \} \\ &= \sqrt{3/2} \cdot \mu(0) = \sqrt{3/2} \cdot G_0 p^m (\rho_0 + \rho_1 + \rho_2) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{・破壊状態: } \tau = \sqrt{3/2} \cdot G_0 p^m \beta (\rho_0 + \rho_1/B_1 + \rho_2/B_2) = \tau_f \quad (7)$$

以上のように、材料パラメータはすべて通常の軸対称三軸圧縮試験結果のみで決定される。

4. 単調載荷状態および繰返し載荷状態への適用例：3.の方法で決定したパラメータを用いて、提案式の軸対称三軸状態への適用例を示す。図-5は、単調載荷過程への適用例であるが、側圧の違いによる応力～ひずみ～体積変化関係をかなり良く表現できる。体積変化の計算式については文献2)を参照されたい。また図-6は、繰返し載荷を受けつつ静的圧縮される場合の計算例であるが、実験値の傾向をあまり良く表現できない。

5. あとがき：提案式における材料パラメータ $\rho_0, \rho_1, B_1, \beta, \kappa$ は、すべて通常の軸対称三軸圧縮試験を行うことによって決定できる。しかしながら、これらを繰返し載荷過程に適用するためには、パラメータの決定方法をさらに検討する必要がある。

<参考文献> 1) Valanis, K.C.: A Theory of Visco-plasticity without a Yield Surface, Achieves of Mechanics, Vol.23, 1971, pp.517-551 2) 松澤, 杉村：ひずみ履歴を考慮したゆるい砂の応力～ひずみ関係, 第21回土質工学研究発表会, 1986 3) 杉村, 松澤：ひずみ履歴を考慮した乾燥砂の繰返し応力～ひずみ関係, 第41回土木学会学術講演会, 1986

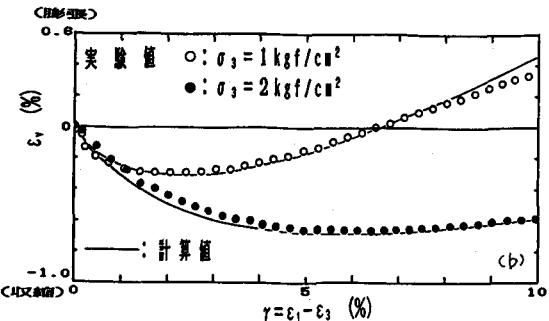
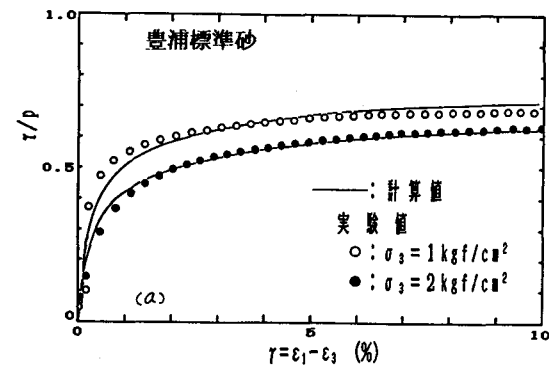


図-4

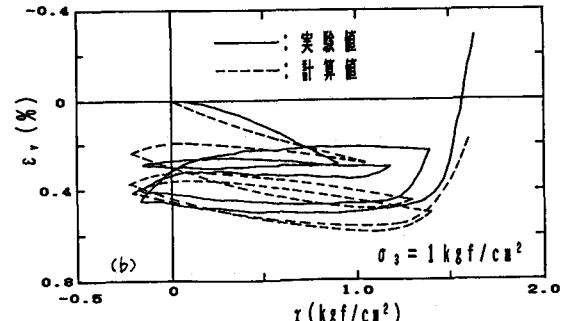
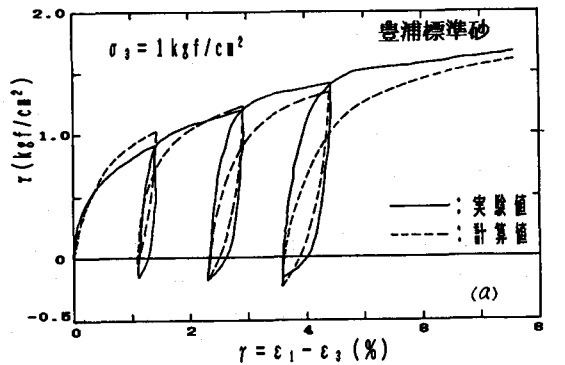


図-5