

粒子破碎領域における粒状材の応力ひずみ関係と K_0 値予測について

山口大学 工学部 正員 村田秀一
山口大学 工学部 ○正員 安福規之
山口大学 大学院 学生員 岡藤博国

1. まえがき 筆者らは、これまで粒子破碎領域における粒状土の応力ひずみ特性をうまく表現しうる応力ひずみ関係式について検討してきた¹⁾。本報告では、Roscoeらが示した限界状態の概念が粒状土にも適用できるとの考えから、新たに消散エネルギー式を提案し、それに基づく降伏曲線式、応力ひずみ増分式および K_0 値予測式の実験結果との適合性について検討したものである。なお予測式の検証に用いたデータはすべて軸対称条件下で行なった実験結果である。

2. 応力ひずみ増分式 Roscoeらは消散エネルギー式を(1),(2)式のように仮定することにより降伏曲線式およびひずみ増分式を導いている²⁾。

$$\text{Cam-clay eq. } \delta W^p = M p \delta \epsilon^p \quad (1)$$

$$\text{Modified eq. } \delta W^p = p \sqrt{(\delta v^p)^2 + (M \delta \epsilon^p)^2} \quad (2)$$

ここに、 δv^p : 塑性体積ひずみ増分、 $\delta \epsilon^p$: 塑性せん断ひずみ増分、 p : 平均有効主応力 ($\sigma_1 + 2\sigma_3$)/3、 q : 軸差応力 ($\sigma_1 - \sigma_3$)、サフィクス p は塑性成分を示す。

(1),(2)式に示したエネルギー式に対し、筆者らは(3)式に示す消散エネルギー式を用いて検討を行なった。

$$\delta W^p = p \sqrt{(\delta v^p)^2 + (M^* \delta \epsilon^p)^2} - (\eta/M^*)^2 \delta v^p \delta \epsilon^p \quad (3)$$

ここに M^* は、中間主応力の影響を考慮した強度定数であり、圧縮試験の場合 $M^*=M_c$ 、伸張試験の場合 $M^*=M_e$ であるMole-Coulombの仮定に基づけば、 $M_e = -3M_c/(3+M_c)$ の関係が成り立つ。(3)式を変形すると、応力比と塑性ひずみ増分比の関係が(4)式のように得られる。

$$\frac{\delta \epsilon^p}{\delta v^p} = \frac{2\eta + (\eta/M^*)^2}{M^*^2 - \eta^2} = \frac{1}{\psi} \quad (4)$$

(4)式を用いれば応力比と塑性ひずみ増分比関係の圧縮伸張領域での違いを表現する事が可能である。さらに、降伏

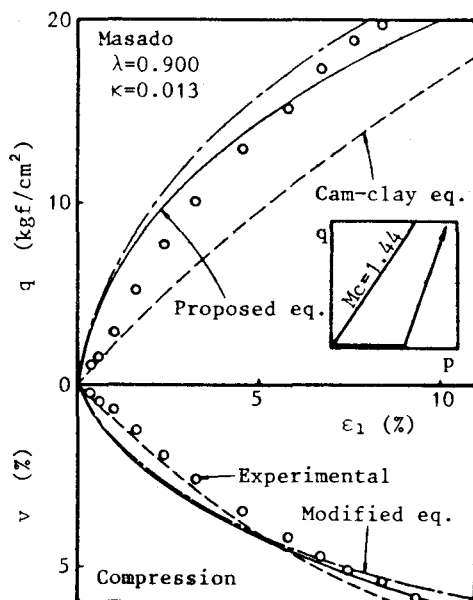


図1 応力ひずみ関係の予測 (σ_3 const. まさ土)

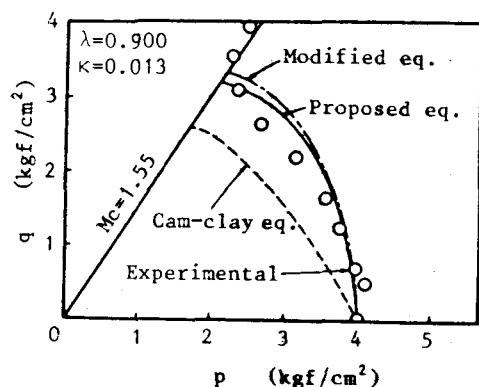


図2 有効応力経路の予測 (CU test, まさ土)

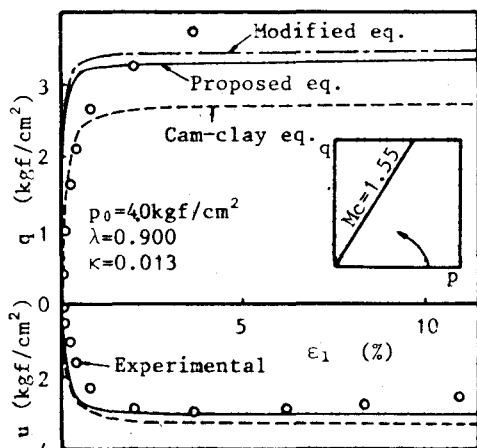


図3 応力ひずみ・間隙水圧の予測 (CU test, まさ土)

曲線式、ひずみ増分式は若干の計算を行なうと以下のようになる。

$$\frac{p}{p_0} = \exp \left[- \int_0^{\eta} \frac{\psi}{\psi + \eta} \delta \eta \right] \quad (6)$$

$$\delta v = \frac{\lambda}{1+e} \left[\frac{\delta p}{p} + (1 - \frac{\kappa}{\lambda}) \frac{1}{\psi + \eta} \delta \eta \right] \quad (7)$$

$$\delta e = \frac{\lambda - \kappa}{1+e} \left[\frac{\delta p}{p} + \frac{\delta \eta}{\psi + \eta} \right] \frac{1}{\psi} \quad (8)$$

ここに、 p_0 は $\eta=0$ の時の p の値であり、 e は間隙比、 λ 、 κ はそれぞれ $e \sim \ln p$ 正規圧密曲線および膨張曲線の勾配である。

次に Roscoe らの言う Critical state energy theory に基づく K_0 値の予測式は、今回提案した(3)式を用いると次のようになる。

$$K_0 = \frac{3 - \eta}{2\eta + 3} \quad (9)$$

$$(2 + \Lambda/M^2) \eta^2 + 6\Lambda\eta - 2M^2 = 0$$

$$\sin \phi_{cv} = 3M / (6 + M)$$

ここに、 $\Lambda = 1 - \kappa / \lambda$ である。また、軽部は粘性土において M と κ / λ の間には経験的に次式が成り立つとしている³⁾。

$$M = 1.75 (1 - \kappa / \lambda) \quad (10)$$

3. 実測値と予測値の比較 図1は、比較的粗粒なまき土試料に対する三軸圧縮排水試験結果と(6),(7)式から求まる予測結果とを比較したものである。 $q \sim e_1$ 関係において、提案式は Cam-clay 式、修正式の間の値を予測することが分る。図2は、図1と同じまき土を用いて等方圧密した後非排水条件で圧縮試験を行なった時の有効応力径路とその予測結果を比較したものである。この図より提案式は、Critical state line に到達するまでの有効応力径路を比較的うまく予測していることが分る。また図3には図2で示した試験結果を $q \sim e_1 \sim u$ 関係で整理したものが示されている。 $q \sim e_1$ 関係、 $u \sim e_1$ 関係ともに提案式は、定性的に実験結果をうまく予測している。

図4は Walker による正規圧密カオリンの排水三軸圧縮試験結果²⁾とそれぞれの予測曲線とを比較したものである。この図から粘性土においても、提案式の実験結果への適用が可能であることが分る。図5(a)は(9)式を用いて予測した K_0 値と M の関係を κ / λ の値をパラメータにして表したものである。また、(10)式を(9)式に代入することによって K_0 値を求めると、ある M 値に対して K_0 値は一義的に決定できる。図5(b)はその結果を示したものである。図中には比較のために種々の予測式の結果も示している。(10)式を仮定した場合、提案式は Jaky の式や落合の式⁴⁾に比べて大きな K_0 値を予測することが分る。

謝辞 本研究に対し、日頃より暖かい御指導を賜っている佐賀大学三浦哲彦教授に感謝いたします。

参考文献 1) N. Miura, H. Murata & N. Yasufuku : S & F, Vol.1, No.1 (1984) 2) Roscoe & Burland : Engineering plasticity (1968) 3) 軽部: 第20回土質工学シンポジウム (1975) 4) 落合: 土質工学論文報告集 Vol.16, No.2, (1976)

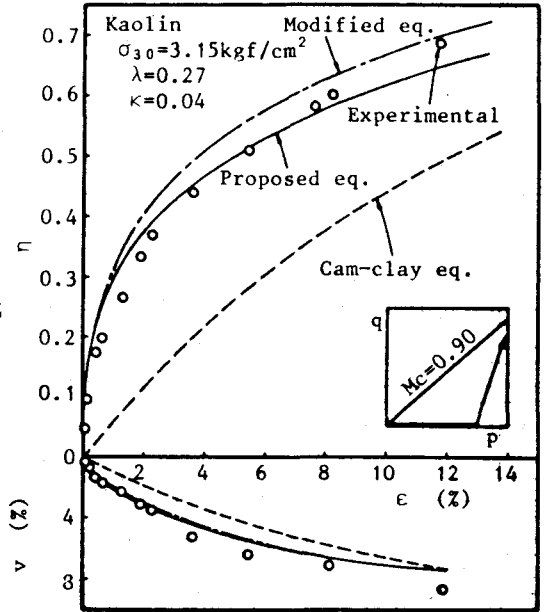


図1 応力ひずみ関係の予測 (σ_3 const., 1975)

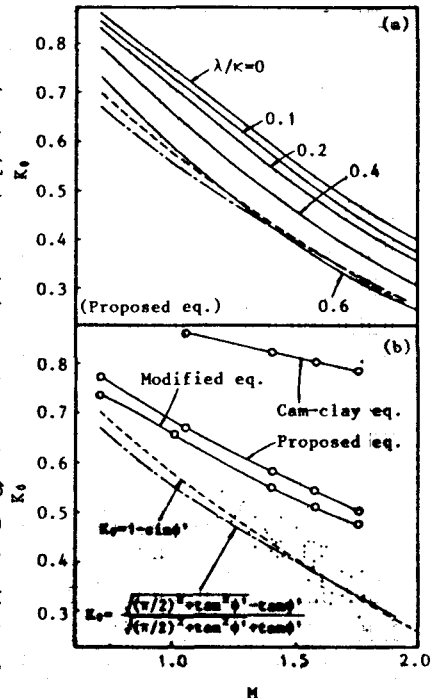


図5 提案式に基づく K_0 値の予測