

細粒分の卓越する混合土の応力・変形特性

九州大学 工学部 学○大嶺 聖 正 落合 英俊
正 林 重徳 正 梅崎 健夫

1. まえがき

著者らは、これまで混合土のせん断特性を明らかにするために、混合土中の細粒子と水からなる部分で構成されるマトリックスの概念を導入してきた¹⁾。本報告では、このマトリックスに対して新たに応力とひずみを定義し、混合土の応力・変形特性について若干の理論的考察を加えた。また、混合土の三軸圧縮試験の結果との比較を行い、マトリックスの概念の妥当性を検討した。

2. 試料および実験方法

試料は、全乾燥質量に対する細粒分含有率($<10\mu\text{m}$) F_p が、83, 50, 33%となるように、有明粘土($Ip=79.7$)と珪砂を混合したものである。粒径区分は、著者らが提案している土粒子を細粒子と粗粒子の二つに区分する方法²⁾を用いた。実施した試験は、 $\overline{CU}$ -試験である。なお、実験方法の詳細は、前報²⁾を参照されたい。

3. 応力とひずみのパラメータ

混合土は、微視的にみると内部で応力とひずみに分布が生じていると考える。このとき、粗粒子に作用する応力 σ_{si} を、パラメータ α_{si} を用いて、次のように表す。

$$\sigma_{s1} = \alpha_{s1}\sigma_1, \quad \sigma_{s2} = \alpha_{s2}\sigma_2, \quad \sigma_{s3} = \alpha_{s3}\sigma_3 \quad (1)$$

マトリックスの応力とひずみについては、それぞれ次のようなマトリックス内部の応力 σ_i^* およびひずみ ε_i^* の体積平均を考える。

$$\overline{\sigma_i^*} = \int_V \sigma_i^* dV^*/V^* \quad (i=1, 2, 3) \quad (2)$$

$$\overline{\varepsilon_i^*} = \int_V \varepsilon_i^* dV^*/V^* \quad (i=1, 2, 3) \quad (3)$$

ここで、 V^* : マトリックスの体積

式(2)のマトリックスの平均応力については、式(1)を用いて算定すること

ができる。つまり、式(1)の $\overline{\sigma_i^*}$ は、図-1において、 z 軸に直交する断面の力のつり合いを考慮して、次のように表される。

$$\overline{\sigma_1^*} = \{(1-\alpha_{s1})V/V^* + \alpha_{s1}\} \sigma_1 = \alpha_1^* \sigma_1 \quad (4)$$

ここで、 $\alpha_1^* = (1-\alpha_{s1})V/V^* + \alpha_{s1}$ 、 V : 混合土の体積

また、上式中の混合土とマトリックスの体積比 $V/V^* = \beta$ は、混合土の間隙比 $e (=V_v/(V_c+V_s))$ と体積で定義した細粒分含有率 $F_p^* (=V_c/(V_c+V_s))$ を用いて、次のように求めることができる。ここで、 V_v は混合土中の間隙の体積、 V_c は細粒子の体積、 V_s は粗粒子の体積である。

$$\beta = V/V^* = (e+1)/(e+F_p^*) \quad (5)$$

一方、粗粒子を非圧縮性に見なすと、混合土の z 方向の変位 Δl_1 はすべてマトリックス部分の変位に等しいので、式(2)の $\overline{\varepsilon_1^*}$ は、混合土のひずみ $\varepsilon_1 (= \Delta l_1/l_1)$ を用いて、次のように表される。

$$\overline{\varepsilon_1^*} = V/V^* \varepsilon_1 = \beta \varepsilon_1 \quad (6)$$

なお、 x および y 方向の応力とひずみについても同様に表される。

4. 実験結果と考察

1) 間隙比と圧密圧力の関係 式(4)で $\overline{\sigma_1^*}$ を算定するためには、 α_s を決定しなければならない。 α_s は、次のようにして求められる。まず、マトリックスに着目した間隙比 $e_c (=V_v/V_c)$ と圧密圧力の関係について考える。マトリックスのみの場合($F_p=100\%$)の間隙比 e_c と圧密圧力 $p_c^* (= (\sigma_1^* + \sigma_2^* + \sigma_3^*)/3)$ の関係については、次式を用いる。

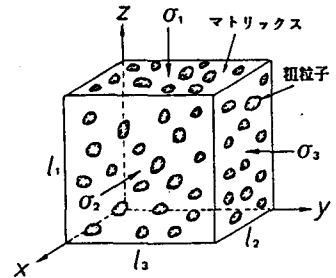


図-1 混合土の要素に働く応力

$$e_0 = N - Cc \log p_0' \quad (7)$$

ここで、 N : $p_0' = 1 \text{ kgf/cm}^2$ のときの間隙比、 Cc : 圧縮指数
混合土においても、マトリックスに着目すると、式(7)の関係が成り立つものと仮定する。等方圧密圧力においては、 $\alpha_1^* = \alpha_2^* = \alpha_3^* (= \alpha^*)$ である。したがって、圧密圧力 p_0' を受ける混合土において、マトリックスの圧密圧力は、 $\overline{p_0'} = \alpha^* p_0'$ である。この $\overline{p_0'}$ を式(7)に代入し、さらに、 $e = e_0 / F_p$ という関係を用いて、式(4)中の α^* を消去すると α_s を求めることができる。

$$\alpha_s = [\beta \cdot \exp \{ 2.3(N - Cc \log p_0' - e / F_p) / Cc \}] / (\beta - 1) \quad (8)$$

有明粘土のみの場合でも、 F_p は 83% なので、 $F_p = 100\%$ の場合のパラメータ N と Cc については混合土の間隙比 e と F_p の関係から外挿して求めた。式(8)を用いて実験結果から α_s を求めると、約 2.40 であった。この α_s から α^* を求め、間隙比 e_0 を計算した結果と実験結果を比較したものが図-2 である。計算値は、実験値とはほぼ一致している。

2) 応力とひずみの関係 圧密時のマトリックスには、混合土の圧密圧力の α^* 倍の応力が作用するが、 α_s がせん断中一定と仮定すると、せん断時の混合土の応力は、マトリックスの応力の $1/\alpha^*$ 倍となる。そのため、圧密圧力で無次元化したマトリックスの応力-ひずみ関係が、 $F_p = 100\%$ のときのそれらの関係と同一なら、混合土の応力は、同一のひずみで F_p によらず一定となる。ここでは、このような関係がどの程度成り立つのか検討する。

図-3は、混合土の実験結果による軸差応力 $q (= \sigma_1 - \sigma_3)$ とマトリックスのひずみ $\overline{\epsilon_1^*}$ の関係を示したものである。いずれの F_p においても、ひずみが 5% 程度までは、ほぼ同一の曲線で示されるが、ひずみが大きくなるのに伴い、次第に軸差応力の値に差が生じる。一方、図-4は、混合土の応力比 $\eta (= q/p')$ とひずみ $\overline{\epsilon_1^*}$ の関係を示したものである。応力比-ひずみ関係は、ほぼユニークな曲線で示される。破壊付近では、せん断に伴う粗粒子どうしの接触などが考えられ、混合土の種類によっては、破壊時の応力比に差が見られるものもある¹⁾。しかし、その場合でも、せん断初期においては、上述と同様の関係が示される。したがって、破壊時を除くと、混合土の応力-ひずみ関係は、マトリックスの概念を導入することによって、より統一的に表される。

5. まとめ

混合土中の応力分布を考慮し、パラメータ α_s を導入することにより、 F_p の増加に伴う圧密時の間隙比の変化を捉える

ことができた。また、せん断初期の応力-ひずみ曲線は、マトリックスのひずみに対して、ユニークな関係が認められた。破壊時の特性については、ダイレイタンス特性に及ぼす粗粒子の混入の影響を考慮しなければならず、このことについては、今後の課題としたい。

参考文献 1) Omine, et al (1989): "Shear Properties of Clay-Sand Composite Soils", Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu Univ., vol. 49, No. 4, pp213-228. 2) 大嶺他 (1989): "混合土のせん断特性に及ぼす細粒分の影響", 第24回土質工学会研究発表会

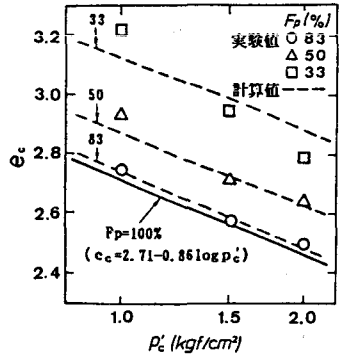


図-2 マトリックスの間隙比 e_0 と圧密圧力の関係

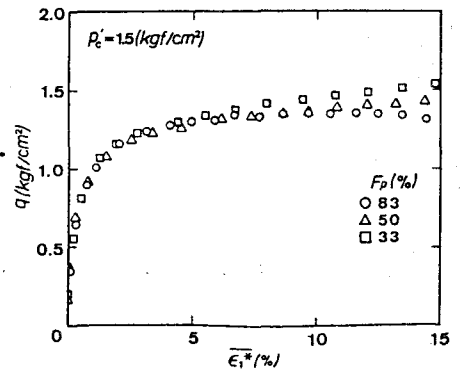


図-3 混合土の軸差応力とひずみ $\overline{\epsilon_1^*}$ の関係

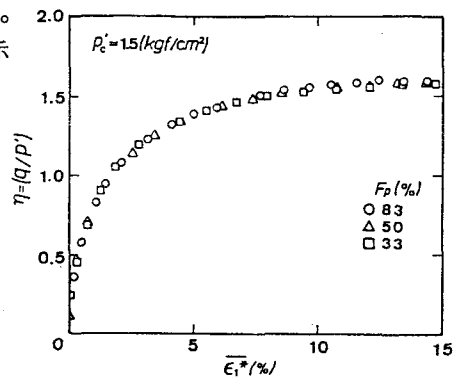


図-4 混合土の応力比とひずみ $\overline{\epsilon_1^*}$ の関係