

砂と粘土の混合土の圧縮モデル

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

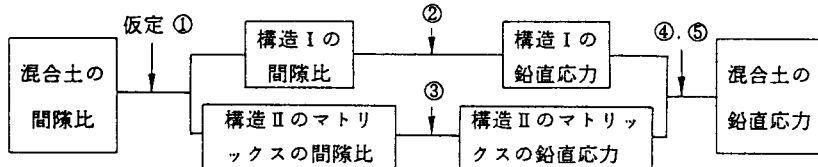
著者は、これまで細粒分の卓越する混合土について、細粒子と水で構成されるマトリックスに着目し、その圧縮特性およびせん断特性を考察してきた^{1)・2)}。しかしながら、幅広い粒度を持つ混合土の力学特性を明らかにするためには、それだけでは十分とは言えず、粗粒子同士の接触の影響についても考慮する必要がある。そこで、本報告では、混合土を粗粒子同士の接触がある場合とない場合の二つの基本構造から成ると考え、混合土の圧縮特性を粗粒子のみおよびマトリックスのみの圧縮特性から評価する手法を検討した。

2. 混合土の応力-ひずみ関係を誘導するに際しての仮定

粗粒子のみおよびマトリックスのみの構成関係から混合土の応力-ひずみ関係を誘導するに当たり、次の仮定を設ける；①混合土は、粗粒子同士が互いに接触している場合(構造Ⅰ)と粗粒子同士が接触していない場合(構造Ⅱ)の二つの基本構造がある割合で混在している。②構造Ⅰの粗粒子骨格の応力-ひずみ関係は、粗粒子のみの場合のそれと等しい。③構造Ⅱのマトリックスの応力-ひずみ関係は、マトリックスのみの場合のそれと等しい。④構造Ⅰの粗粒子骨格および構造Ⅱのマトリックスの単位体積当りのエネルギーは、等しい。⑤混合土の応力およびひずみは、それぞれ混合土全体の体積についての平均とする。

3. 混合土の圧縮モデル

2.の仮定に基づき混合土の一次元圧縮について考察を行う。まず、混合土の間隙比と鉛直応力の関係を求めるための考え方を以下に示す。なお、応力については、すべて有効応力とする。



a) 混合土の基本構造と間隙量の定義：基本構造の構成模式図を、図-1に示す。仮定①の状態を表すために、いくつかの間隙量を導入する必要がある。まず、構造Ⅰにおいて細粒子も水と考えたときの間隙比 e_s および構造Ⅱにおけるマトリックスの間隙比 e_c は、それぞれ次のように表される。

$$e_s = (\hat{V}_v + \hat{V}_{sc}) / \hat{V}_{ss} \quad (1)$$

$$e_c = \hat{V}_v / \hat{V}_{sc} \quad (2)$$

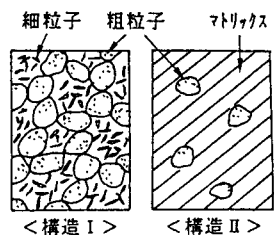
また、構造Ⅰにおける細粒子と粗粒子の体積の比 r および構造Ⅰと混合土全体の体積の比 R は、それぞれ次のように定義される。

$$r = \hat{V}_{sc} / \hat{V}_{ss} \quad (3)$$

$$R = \hat{V} / V = (\hat{V}_v + \hat{V}_{sc} + \hat{V}_{ss}) / V \quad (4)$$

このとき、混合土の間隙比 $e (=V_v / (V_{ss} + V_{sc}))$ は、細粒分含有率 $F (=V_{sc} / (V_{ss} + V_{sc}))$ と式(1)~(4)を用いて、次のように表される。

$$e = \frac{e_c F / 100 + 1}{1 + R (r (1 + e_c) - e_s) / (1 + e_s)} - 1 \quad (5)$$



	<構造Ⅰ>	<構造Ⅱ>
水	$\hat{V}_v$	$\hat{V}_v + \hat{V}_{sc}$
細粒子	$\hat{V}_{sc}$	$\hat{V}_{sc} + \hat{V}_{ss}$
粗粒子	$\hat{V}_{ss}$	$\hat{V}_{ss} + \hat{V}_{ss}$
構造Ⅰ: $\hat{V} = \hat{V}_{ss} + \hat{V}_{sc} + \hat{V}_v$		
構造Ⅱ: $\hat{V} = \hat{V}_{ss} + \hat{V}_{sc} + \hat{V}_v$		

図-1 基本構造の構成模式図

b) 構造Ⅰの粗粒子骨格および構造Ⅱのマトリックスの応力-ひずみ関係：仮定②より、構造Ⅰの間隙比 e_s と鉛直応力 σ_{sv} の関係は、粗粒子のみ ($F=0\%$) の場合の間隙比と鉛直応力の関係で表される。また、仮定③よ

り、構造Ⅱにおけるマトリックスの間隙比 e_c と鉛直応力 σ'_v の関係は、マトリックスのみ($F=100\%$)の場合の間隙比と鉛直応力の関係で表される。ここでは、いずれも $e-\log \sigma'_v$ の直線関係を用いる。

c) 混合土内の応力分担：一次元圧縮状態において単位体積当りのエネルギーは、次のように与えられる。

$$dW = \sigma_1 d\varepsilon_1 + \sigma_2 d\varepsilon_2 + \sigma_3 d\varepsilon_3 = \sigma'_v d\varepsilon_v \quad (6)$$

つまり、構造Ⅰの粗粒子骨格のエネルギーは、 $dW_s = \sigma'_s d\varepsilon_s$ 、また、構造Ⅱのマトリックスのエネルギーは、 $dW^* = \sigma'^* d\varepsilon^*$ と表される。仮定④より、 $dW_s = dW^*$ とおき、さらに、粗粒子のみの体積圧縮係数 m_{vs} ($= \varepsilon_{sv} / \Delta \sigma_{sv}$) およびマトリックスのみの体積圧縮係数 m_v^* ($= \varepsilon^* / \Delta \sigma^*$)を用いて、ひずみを消去し、積分を実行すれば、次式が得られる。

$$\sigma'_s = (m_v^* / m_{vs})^{1/2} \sigma'^* \quad (7)$$

上式は、 m_v^* と m_{vs} の比が大きくなるほど、粗粒子骨格に作用する応力の分担割合が大きくなることを意味する。また、混合土の鉛直応力 σ'_v は、仮定⑤より σ'_s と σ'^* を混合土全体の体積で平均することにより、次のように表すことができる。

$$\sigma'_v = R \sigma'_s + (1-R) \sigma'^* \quad (8)$$

以上のことから、混合土の鉛直応力 σ'_v と間隙比 e の関係は、 r および R をパラメータとして、粗粒子のみおよびマトリックスのみの場合の圧縮特性から求められる。

一方、構造Ⅰのみ($R=1$)の場合、 $\sigma'_v = \sigma'_s$ なので、このときの e_s は、 $F=0\%$ のときの間隙比 e_{s0} に等しくなる。また、 r は F の関数で与えられる。したがって、この場合の e は、式(5)より次のように表される。

$$e = e_{s0} - (1 + e_{s0}) F / 100 \quad (R=1) \quad (9)$$

4. パラメータ r および R の検討

カオリンと豊浦砂の混合土の標準圧密試験を行った結果を基に、パラメータ r および R について検討を行う。なお、粗粒子のみ($F=0\%$)の場合については、ゆる詰め状態から試験を行った。

F が小さくなると、構造Ⅰのみで混合土が構成される場合が存在する。このときの限界の F を F_r とする。式(9)における間隙比の値と実験結果を比較した結果、 F_r はほぼ18%であった。したがって、 $F < F_r$ の場合の e は、式(9)より算定できる。一方、構造ⅠとⅡが混在する $F \geq F_r$ において、構造Ⅰの細粒子の体積比 r は、 F によらず一定であると考えられる。この場合の r は、 $F = F_r$ の場合から次のように求めることができる。

$$r = 1 / (100 / F_r - 1) \quad (F \geq F_r) \quad (10)$$

一方、 R は、 $F \geq F_r$ において、0から1まで変化する。実験結果より得られた混合土の間隙比から逆算して求めた R は、圧密圧力によらずほぼ次のような指数関数で近似させることができる。

$$R = \{ (100 - F) / (100 - F_r) \}^a \quad (F \geq F_r) \quad (11)$$

ここで、 a は係数である。

5. 計算結果と実験結果の比較

図-2は、圧縮モデルにおける $e-F$ 関係と実験結果を示したものである。 F の減少に伴う間隙比 e の減少割合は、各圧密圧力に対して異なる。提案モデルに基づく、このような混合土の間隙比の変化をうまく表すことができる。 R については、直接測定することが困難であるため、今後、混合土の種類によってどのような値を取り得るのか把握する必要がある。

【参考文献】1)大嶺他(1988):“砂と粘土の混合土の圧縮特性に関する一考察”, 九大工学集報, 第61巻, 第6号, PP747-753.

2)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.

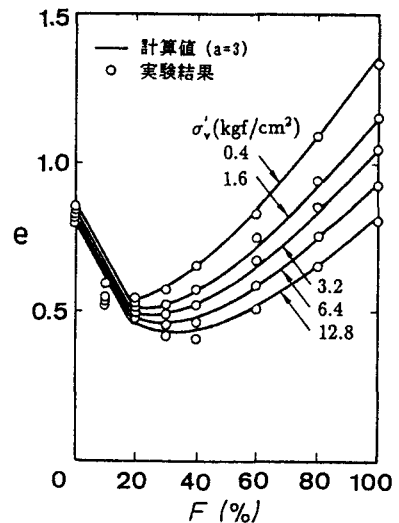


図-2 混合土の間隙比と細粒分含有率の関係