

III-346

粗粒土の粒子物性、締め具合と内部摩擦角

日本大学短期大学部 正会員 下辺 悟

戸工業大学工学部 正会員 諸戸 靖史

1. はじめに 筆者の一人である諸戸は、最上の強度式を用いて、定数 k を次式によって求め、

$$k = (1 + e_0) \sin \phi \quad e_0: \text{初期間隙比}, \phi: \text{内部摩擦角} (\phi = \phi_d) \quad (1)$$

同一材料に対しては、初期間隙比が変わっても k の値の一定性が良いことを確かめている。

そして k と最小間隙比 $e_{\min}$ の間に

$$k = a e_{\min} + b \quad a, b: \text{粒子物性によって定まる定数} \quad (2)$$

という関係があることを見出した。¹⁾ つまり通常の拘束圧の下では、式(1)、(2)より

$$\sin \phi = a C_r + \alpha \rho_d^* \quad (3)$$

となり、内部摩擦角 ϕ は締め固め度 C_r と密度 ρ_d^* の両方に依存することが知られる。²⁾ ここで、

$$C_r = \frac{1 + e_{\min}}{1 + e_0}, \quad \alpha = (b - a), \quad \rho_d^* = \frac{1}{1 + e_0}$$

本研究は種々の粗粒土の $k - e_{\min}$ 関係を用いた考察により、式(3)の妥当性について検討したものである。

2. $\bar{k} - e_{\min}$ 関係の特性 式(3)の妥当性を検証する前に、式(2)の $k - e_{\min}$ 関係における定数 a と b が粒子形状（ラウンドネス R ）および粒度（均等係数 U_c ）にどのように依存するかを調べておく必要がある。図-1は定数 k の平均値を $\bar{k}$ とした砂の $\bar{k} - e_{\min}$ 関係を粒子形状が異なる均等粒径試料について示したものである。図-1のデータ（ $N=23$ ）の直線回帰分析の結果、 $a_1=1.290$, $b_1=0.314$, $\alpha_1=-0.976$ の値が得られた。

ここで a_1, b_1, α_1 は上記粒子特性の場合の定数である。

$$\bar{k} = 1.290 e_{\min} + 0.314 \quad (\text{相関係数 } r = 0.953) \quad (4)$$

$$\sin \phi = 1.290 C_r - 0.976 \rho_d^* \quad (5)$$

なお図中には式(4)も併記しているが、追加補足データからわかるようにその適用性はかなり高い。したがって、式(4)は細粒土の塑性図におけるA線と同様な性質を有するものである。図-2および3に各種粗粒材料の $\bar{k} - e_{\min}$ 関係を示す。その結果、粗粒土において上に述べた特性線の存在の妥当性が確かめられた。また、粒子形状一定で粒度が異なる場合の $\bar{k} - e_{\min}$ 関係は、材料の種類によらずA線から左側下方へ（ガラスビーズは異なる）分岐して次のような直線で表されるようである。

$$\bar{k} = 0.260 e_{\min} + b_2 \quad (6)$$

ここで、 b_2 は粒子形状に依存する定数であり、 $a_1 > a_2 (=0.260)$ となる。ただし、式(6)は福本(1969)の加古川砂(D-1~6)の直線回帰分析結果（ $r=0.987$ ）を基本とした。

3. 内部摩擦角と締め具合 式(3)は C_r が ρ_d^* に

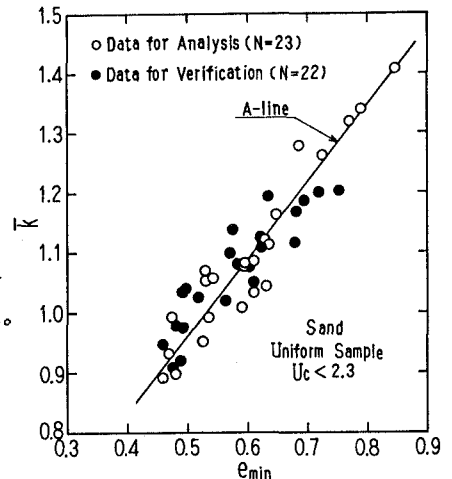


図-1 砂の $\bar{k} - e_{\min}$ 関係（均等粒度）

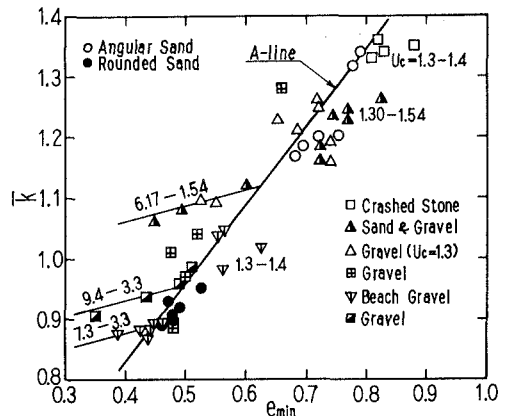


図-2 砂および礫の $\bar{k} - e_{\min}$ 関係

従属しているので (または逆), 次式のように書き換えられる。

$$\sin \phi = \left\{ a + \frac{\alpha}{1 + e_{\min}} \right\} C_f \quad (7)$$

また, $\sin \phi = \sin \phi_M \cdot C_f$ より

$$\sin \phi_M = \frac{k}{1 + e_{\min}} = a + \frac{\alpha}{1 + e_{\min}} \quad (8)$$

ここで, ϕ_M は $e_{\min}$ の状態において示す内部摩擦角である。

したがって, 均等粒度で粒子形状や表面性状が異なる粗粒土の内部摩擦角 ϕ と締固め度 C_f の関係は, 式(5), (7)より

$$\phi = \sin^{-1} \left\{ \left(1.290 - \frac{0.976}{1 + e_{\min}} \right) C_f \right\} \quad (\text{度}) \quad (9)$$

となる。一方, 同じ粒子形状を持った材料で粒度を変化させた場合は, 式(6), (7)より,

$$\phi = \sin^{-1} \left\{ \left(0.260 + \frac{b_2 - 0.260}{1 + e_{\min}} \right) C_f \right\} \quad (\text{度}) \quad (10)$$

を得る。ただし, 今のところ定数 b_2 と粒子形状を表すラウンドネスなどのパラメーターとの関係はまだ確立していない。図-4 (a)~(d) は式(9), (10)の関係式の妥当性を, 砂およびガラスビーズの三軸圧縮試験結果に基づいて検証したものである。

なお, 図中の実線は式(9), 破線および一点鎖線は式(10)による予測曲線である。図-4より, 両関係式の予測曲線は実測値の傾向を良く説明している。

参考文献

- 1) Moroto (1982): An application of Mogami's strength formula to the classification of granular soils, Soils and Foundation, Vol.22, No.1, PP.82-90.
- 2) 諸戸 (1989): 粗粒土のせん断変形と強度についての2,3の知見, 土木学会第44回年次学術講演会, 第三部門, PSIII-3, PP.6-7.

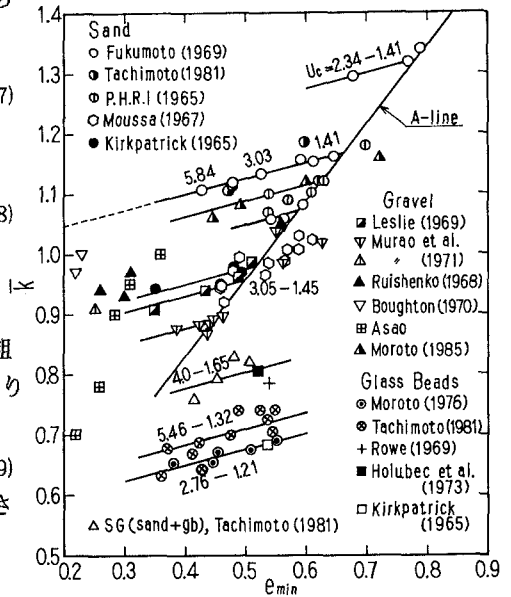


図-3 粗粒材料の $k - e_{\min}$ 関係

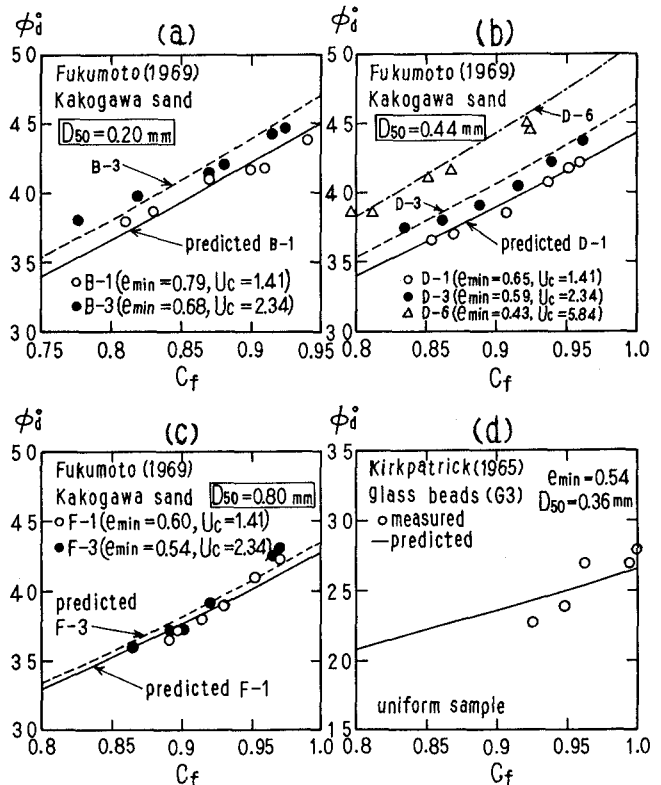


図-4 (a)~(d) 砂およびガラスビーズにおける $\phi - C_f$ 関係の検証