

II-495 スランプ試験による底泥の降伏値の評価手法

徳島大学大学院 学生員 ○ 小野 幹夫
徳島大学工学部 正会員 中野 晋

1. はじめに 底泥の流動特性値の簡便な測定法としてスランプ試験が行われるようになってきた。そこで、スランプ試験の結果から降伏値を正確に評価する方法について検討したので報告する。

2. 解析手法 スランプ試験では試験時間が短く、その間では非排水状態として扱うことができる。その際、底泥内の応力 σ を間隙水圧（せん断応力なし） u と有効応力 σ' の二つに分けて考えると $\sigma = u + \sigma'$ ……(1)

となる。高含水比底泥の内部を微視的に考えると、図-1に示すように固着層、拡散層で取り巻かれた固着層同士が自由水内で電氣的に釣り合っていると考えていることができる。固着層の水膜の厚さは5~10 Å程度で、その強吸着水はその密度が約1.4g/cm³、粘性は自由水の約100倍もあり、事実上土粒子の一部として取扱いうる。また拡散層の水膜の厚さは200

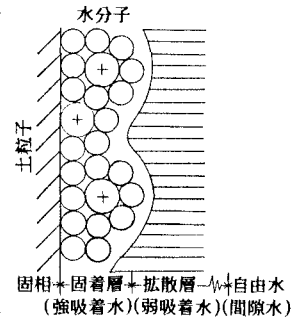


図-1 吸着水の模式図

表-1 Dマトリックス

$$D_B = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{vmatrix} 1 & \nu/(1-\nu) & \nu/(1-\nu) & 0 \\ \text{sym} & 1 & (1-2\nu)/2(1-\nu) & 0 \\ 1 & \nu'/(1-\nu') & \nu'/(1-\nu') & 0 \\ \text{sym} & 1 & (1-2\nu')/2(1-\nu') & 0 \end{vmatrix}$$

$$D_s = \frac{E'(1-\nu')}{(1+\nu')(1-2\nu')} \begin{vmatrix} 1 & \nu'/(1-\nu') & \nu'/(1-\nu') & 0 \\ \text{sym} & 1 & (1-2\nu')/2(1-\nu') & 0 \\ 1 & \nu'/(1-\nu') & \nu'/(1-\nu') & 0 \\ \text{sym} & 1 & (1-2\nu')/2(1-\nu') & 0 \end{vmatrix}$$

$$D_u = \begin{vmatrix} K & K & K & 0 \\ K & K & K & 0 \\ K & K & K & 0 \\ \text{sym} & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

K:水の体積弾性率

その残りが土粒子間の結合の破壊力として作用すると考えられる。そこで拡散層を破壊するような応力 σ_B と土粒子が負担する応力 σ_s を考え、式(1)を次のように変形する。

$$\sigma = u + m\sigma_B + (1-m)\sigma_s \dots\dots\dots(2)$$

ここにm:土粒子と拡散層の面積比である。 σ_B, σ_s, u の応力-歪関係は

$$\sigma_B = D_B \varepsilon \dots\dots(3) \quad \sigma_s = D_s \varepsilon \dots\dots(4) \quad u = D_u \varepsilon \dots\dots(5)$$

$$\sigma = u + m\sigma_B + (1-m)\sigma_s \dots\dots\dots(6)$$

で、各Dマトリックスは表-1に示す。ここで $\sigma = (\sigma_r, \sigma_z, \sigma_\theta, \tau_{rz})$ 、 $\varepsilon = (\varepsilon_r, \varepsilon_z, \varepsilon_\theta, \gamma_{rz})$ は応力および歪ベクトルである。降伏値の計算手順は図-2に示すフローチャートに従い、スランプ最終状態の σ_B の最大応力値を求め、これから降伏値を評価した。なお、スランプ後の形状は

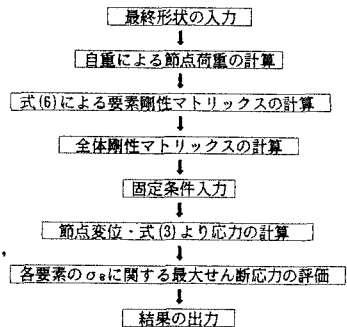


図-2 計算のフローチャート

軸対象であるので三角形リング要素を用いた。軸対象応力状態では円周方向の応力 σ_θ が発生するので、3つの主応力の最大値と最小値の1/2として評価した。材料定数は、ボアソン比は土粒子骨格について $\nu=0.49$ 、土粒子について $\nu'=0.25$ とし、面積比 $m=0.01$ 、土粒子骨格のヤング率は $E=0.5E_9$ (gf/cm²)とし、土粒子のヤング率 E' は土粒子骨格のヤング率 E の $10^3 \sim 10^4$ 倍程度³⁾と大きいので、その割合 β を500~5000の範囲で変化させた。

3. 解析結果と考察 測定に用いたコーンは内径、高さともに10cmの円筒型コーン(①)、細骨材フローコーン(高さ7.4cm, JIS A 1109, ②)、モルタルフローコーン(高さ6cm, JIS R 5201, ③)の3種類、試料はKaolinite(ASP600)、塩水混合Bentoniteの2種類、空中と水中とで測定した。図-3は $\beta=2000$ の時の各コーンを用いたスランプ試験についての計算結果で、図-4は β を一定(500, 2000, 5000)にした時の計算

結果を最小自乗法で近似した結果を示す。これより、鶴谷ら⁴⁾の結果と比較し、 $E = 2000 E$ 程度であることがわかる。図-5に最大せん断応力分布の一例を示す。試料の応力を式(2)のように3つの応力に分けて考え、図-4のように土粒子骨格の

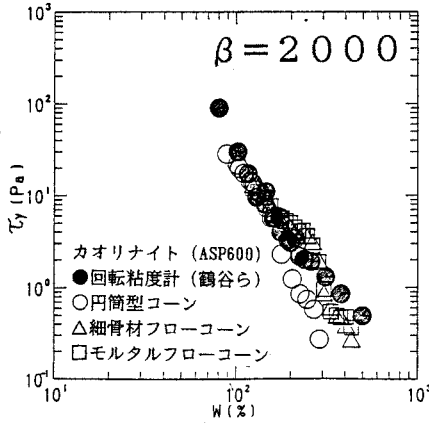


図-3 含水比と降伏値の関係

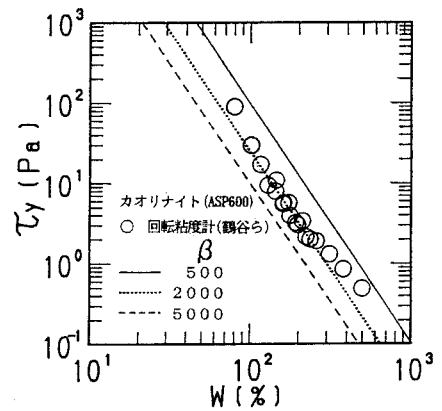


図-4 含水比と降伏値の関係

ヤング率に対する土粒子のヤング率の割合を考えれば、弾性有限要素法により求めた降伏値は回転粘度計による結果とほぼ一致することがわかる。図-5からもわかるように、降伏値は最終形状の底面中央部の最大せん断応力と関係が深い。底面での内部応力 σ_b は最終高さ h 、試料の密度 ρ_s 、外部流体の密度 ρ_f とすると

$$\sigma_b = \alpha (\rho_s - \rho_f) g h \quad \dots \dots \dots (7)$$

となることが予想される。ここで、 α はコーンの形状や応力の種類によって決まる定数である。底泥の降伏値 τ_y が σ_b に比例するならば

$$\frac{\tau_y}{(\rho_s - \rho_f) g h} = \frac{\tau_y}{\rho_f g h} = \alpha' \quad \dots \dots \dots (8)$$

の関係が得られるはずである。図-6は $\tau_y / \rho_f g h$ と h/H (H :コーンの高さ)の関係である。カオリナイトに対する空中スランプ試験の一部を除いて、これより h/H が大きいほど $\tau_y / \rho_f g h$ は大きくなり、コーンの種類や試料によらずほぼ次の関係で表されることがわかる。

$$\tau_y / \rho_f g h = 0.015 + 0.0075 (h/H) \quad \dots \dots \dots (9)$$

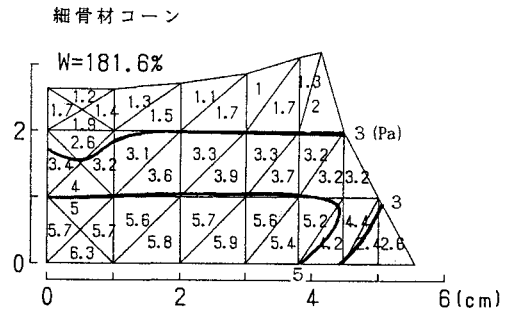


図-5 最大せん断応力度分布

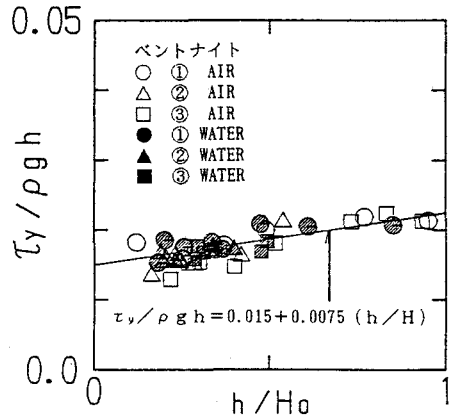
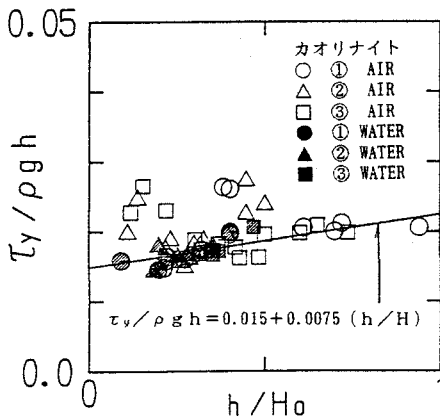


図-6 無次元降伏値と相対スランプ高さ

参考文献 1) 嘉門ら(1988): 新体系土木工学 16 土の力学(I), 技報堂出版. 2) 石原研而(1976): 土質動力学の基礎, 鹿島出版会. 3) 鶴谷ら(1986): 港湾技研資料, No. 566, pp. 1~29.