

底泥のスランプ試験の流動シミュレーション

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 底泥の流動現象を考える上で重要であるレオロジー定数（降伏値および塑性粘度）はこれまで回転粘度計により測定されてきた。しかし回転粘度計は制御系が複雑であり試験装置も高価であるため一般的ではない。そこで本研究では、せん断強度簡易試験法の一つとして考えられるスランプ試験を中野ら¹⁾と同様、粘塑性有限要素法を用いてシミュレーションしたものである。

2. 解析手法 本研究では、試料を非排水粘土と考え2相体として扱い、そこで応力を間隙水圧と有効応力の二つに分けて考えた。

$$\sigma = u + \sigma' \quad (1)$$

ここに、 σ ：全応力、 σ' ：有効応力、 u ：間隙水圧である。また、土中水の形態として、土粒子には薄い水膜が吸着しており、固着層の水膜の厚さは5～10

程度で、強吸着水はその密度が約1.4g/cm³、粘性は自由水の約100倍であり、事実上土粒子の一部として取扱うこと、また拡散層の水膜の厚さは200～400程度で、弱吸着水はその密度が約0.97g/cm³、粘性は自由水よりもかなり高いが土粒子表面から遠ざかるに従って結合力が減少し衝撃振動など外部から加えた条件変化によって自由水化しやすいことなどが測定されている。したがって土粒子骨格に圧力を加えた場合、それを破壊するような鉛直圧力は土粒子が負担し弱吸着水が自由水化することにより歪が発生すると考えた。よって、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。

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

ここに、 m ：土粒子と吸着水層の面積比である。 σ_B 、 σ_s 、 u の応力-歪関係を表-1に示す。 K は間隙水の体積弾性率である。いうまでもなく

$$\sigma = D\varepsilon \quad (D = D_u + D_B + D_s) \quad (3)$$

である。

レオロジー式として、Bingham が提案した降伏関数を任意応力状態に対して拡張したHohenemser・Prager の次式を用いる。

$$\mu_B e_{ij} = \begin{cases} 0 & (F < 0) \\ F \sigma'_{bij} & (F \geq 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$F = 1 - \tau_v / \sqrt{J_2} \quad (5)$$

ここに、 F は降伏関数であり、 μ_B ：塑性粘度、 e_{ij} ：変形速度テンソル、 σ'_{bij} ($= \sigma_{bij} - \sigma_{B0}$ ： σ_{B0} ：平均応力)：偏差応力テンソル、 J_2 ：偏差応力テンソルの第2不変量である。図-2は流動前の底泥を三角形リング要素に分割したものである。図-3に計算のフローチャートを示す。まず、試料の材料定数、初期形状の条件を入力してから、式(3)に基づいた弾性計算により歪を求めた後、 $\sigma_B = D_B \varepsilon$ から変形に寄与する各要素の実質的応力 σ_B を求める。さらに、(4)で評価される各要素の歪速度 e_{ij} から Δt 時間内での歪 ε^* を求め、これに D_B を乗じ見かけの応力 σ^* を求める。次に、これを要素内で積分することにより各節点ごとの見かけの

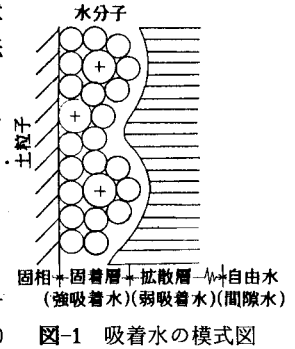


図-1 吸着水の模式図

表-1 応力と歪の関係

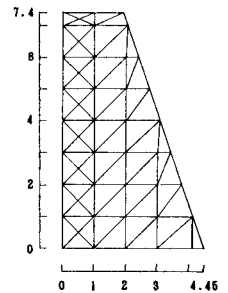


図-2 要素分割図

節点荷重を逆算し、これが作用する時の節点変位を求める。この一連の計算を各タイムステップで行い、スランプ試験のシミュレーションを行った。材料定数は、ポアソン比は土粒子骨格を $\nu=0.49$ 、土粒子を $\nu'=0.25$ 、ヤング率は計算結果には無関係となるので、土粒子骨格では適当に大きな値 $E=0.5E9(\text{gf/cm}^2)$ とし、土粒子では降伏値を逆解析した結果 $E'=1500E$ が最適であった。塑性粘度は鶴谷ら²⁾の結果を用いた。なお、シミュレーションの条件として与えた降伏値は、スランプ試験の最終形状から弾性有限要素法を用いて求めた図-4の値を用いている。

3. 解析結果と考察 図-5は3種類のコーンについてスランプ形状の時間変化を0.2秒ごとに6秒まで示したものである。また、破線で示した曲線はスランプ試験の最終形状を側面からビデオ撮影し、それをトレースしたものである。円筒型コーン、モルタルフローコーンについては、細部の形状は若干異なるものの、シミュレーションで得られるスランプ値とその実測値は図からわかるようにほぼ一致していることがわかる。細骨材フローコーンについては試料上部の自重が小さく初期の低下速度が小さいため低下量が小さくなっているものと思われる。また、スランプ試験時においてコーンの上昇中試料はコーンの内側に沿って滑り落ち、試料上部はコーンの下径の大きさでコーンから離脱する。しかし、本研究ではコーンを瞬間的に取り去りコーンからの離脱を考慮していないため、上・下径の差の大きいコーンほどその影響が大きくでているものと思われる。さらに、コーンからの離脱を考慮することにより3種類のコーンともに最終形状の上径がかなり再現できるものと思われる。

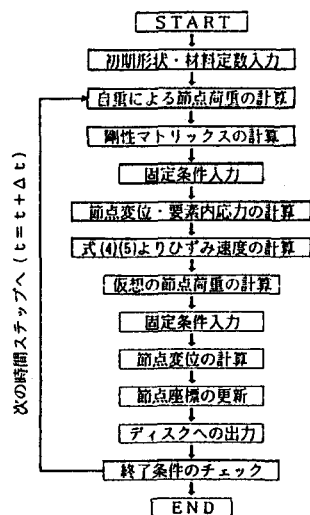


図-3 計算のフローチャート

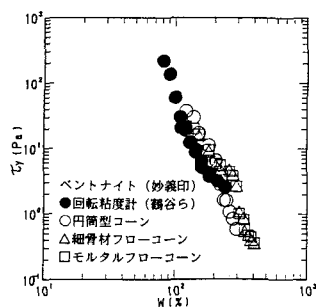


図-4 含水比と降伏値の関係

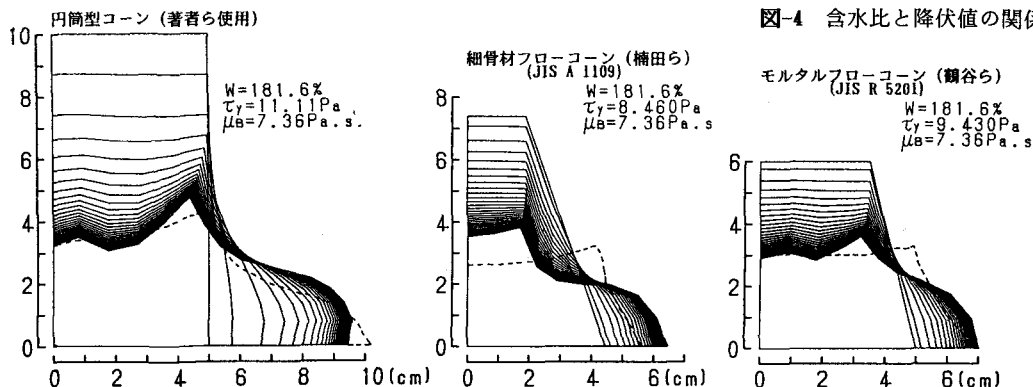


図-5 スランプ形状の時間変化

4. おわりに スランプ試験の流動シミュレーションにより、概ねその流動を再現することができた。今後は、コーンからの離脱を考慮することにより、より再現性を高めていこうと思う。

参考文献 1) 中野ら(1989): 第44回年次学術講演会, pp. 372~37. 2) 鶴谷ほか(1986): 港湾技研資料, No. 566, pp. 1~29.