

II-176 高濃度流れの流動機構

京都大学 防災研究所 正員 芦田 和男
 (財)石砂防地研(株)技術センター 正員 宮本 邦明
 建設省 正員 神田 昌幸

1. はじめに. 前報において微細砂を高濃度に含む流れのみかんの粘性係数, 粒子の沈降速度等が粒子流体間の電気化学的相互作用をモデル化することによって説明されることを明らかにしてきた¹⁾. 本報では, 南水路における流動特性について検討すべく, はじめに前報で用いたモデルをより詳細に検討しレオロジー特性を明らかにする. ついで, 得られた知見をもとに南水路での流動特性について実験的考察を加える.

2. レオロジー. 流れの中で粒子は図1に示すようにはほぼ等しい占有空間をもつて分散しているとともに局所的には接触分離をくり返している. このとき, 流れの応力が粒子の接触分離に伴う粒子間応力と粒子の間隙の流体の応力の和で表わされると仮定し, それぞれの応力を評価する. 始めに, 粒子間の応力 T_s を評価する. 粒子間の接触1個を切るのに要する平均的な結合エネルギーを Φ_i とすると,

$$T_s (du/dz) = (1/2) \cdot n \cdot N_c \cdot \Phi_i \quad (1)$$

がなりたつ. ここに, n は単位体積当りの粒子数, N_c は単位時間当りの粒子一個当りの接触回数, 右辺の $1/2$ は一回の接触に対して両側の粒子から数えていることによる. ここで, N_c は歪速度に比例するから, 式(1)は $N_c = N \cdot (du/dz)$ とおいて,

$$T_s = (1/2) n \cdot N \cdot \Phi_i \quad (2)$$

と書き改められ, T_s が歪速度に依存しない剪断降伏応力であることがわかる. ここで問題は N の取り扱いであるが, T_s が剪断降伏応力であることから, 静止状態での粒子の接触点数に相当するとして, 濃度が高いときは充てん状態での粒子の接触点数に接し, 濃度が0のときは $N=0$ となるような指数関数であり,

$$N = e^{Ac} - 1 \quad (3)$$

と仮定する. 従来の充てん状態での接触点数に関する研究²⁾ から係数 A を求めると図2より $A=3.71$ を得た.

ついで, 流体相の応力 T_f を求める. 前報と同様¹⁾,

$$T_f (du/dz_0) = \phi_s e^{-\kappa z_0} (du_0/dz_0) + \mu_0 (du_0/dz_0)^2 \quad (4)$$

がなりたつと仮定する. ここに, ϕ_s は電位に対応する単位体積当りの結合エネルギー, κ は Debye-Hückel のパラメーター, μ_0 は流体の真の粘性. また u_0, z_0 は図3に示すような仮定の粒子表面に固定した局所座標系を示す. 式(4)からすると,

$$T_f = \phi_s e^{-\kappa z_0} + \mu_0 (du_0/dz_0) \quad (5)$$

がなりたつ. $T_f < \phi_s e^{-\kappa z_0}$ の領域では歪速度が生じないことになる. 間隙に作用している応力 T_f の分布が一様であるときは, 式(5)を積分することによって z_0 の歪速度と応力の関係がわかる. また, そのとき, $T_f < T_f' \equiv \phi_s e^{-\kappa s/2} = \phi_s e^{-\kappa D/2\lambda} \dots (6)$ のとき, 流動が生じないことになるので, T_f' をたせし断降伏応力のよりの性質をもっていることがわかる. 全体の応力を τ とすると,

$$\tau = T_f + \mu (du/dz) \quad (7)$$

とおくと, μ はみかんの接触粘性係数を与えることになる. それぞれ,

$$T_f = T_s + T_f' = (3/D^3) C (e^{3.71C} - 1) \Phi_i + \phi_s e^{-\kappa D/2\lambda} \quad (8)$$

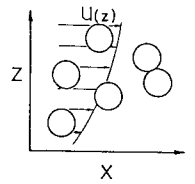


図 1

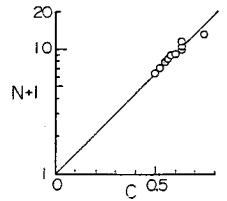


図 2

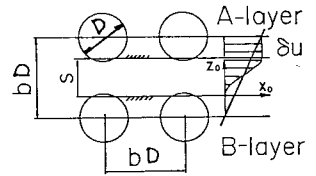


図 3

$$M = \begin{cases} \tau_y' < \tau_f < \phi_s \rightarrow \frac{1 - (\phi_s/\tau_f) e^{-(\kappa D/2\lambda)}}{1 - (2\lambda/\kappa D) \{1 + \log(\phi_s/\tau_f) - (\phi_s/\tau_f) e^{-(\kappa D/2\lambda)}\}} (1 + \lambda) M_0 \\ \phi_s < \tau_f \rightarrow \frac{1 - (\phi_s/\tau_f) e^{-(\kappa D/2\lambda)}}{1 + (2\lambda/\kappa D)(\phi_s/\tau_f) \{e^{-(\kappa D/2\lambda)} - 1\}} (1 + \lambda) M_0 \end{cases} \dots (9)$$

と求まりみかけの粘性係数が応力の関数となる。また、みかけの粘性係数として接線粘性係数 M' を求めると、

$$M' = \begin{cases} \tau_y' < \tau_f < \phi_s \rightarrow \{1 - (2\lambda/\kappa D) \log(\phi_s/\tau_f)\}^{-1} (1 + \lambda) M_0 \\ \phi_s < \tau_f \rightarrow (1 + \lambda) M_0 \end{cases} \dots (10)$$

と表わされる。微細粒子として、 $D \div 0.002 \text{ cm}$ のパルクレイについて回転粘度計を用いて行なった実験の結果と理論の比較を、せん断降伏応力について図4に、接線粘性係数について図5に示すが、理論は実験をよく説明することがわかる。

3. 雨水路における流動機構。微細粒子としてパルクレイを用いて雨水路実験(長さ10m, 巾20cm)を行なった。流速分布を応用ピット管法で測定した一例を図6に示す。得られた流速分布から式(7)~(9)で応力を分配すると図7を得る。流れの応力を式(7)にレイリス応力を加えて、

$$\tau = \tau_y + M(du/dz) + \rho(Kz)^2(du/dz)^2 \quad (11)$$

と表わし、 $K=0.4$ として式(7)の部分を分離すると図7中の曲線を得る。粘性応力の部分の理論と実験の比較から、路床近傍で式(11)で表わされるより大きな粘性応力を生じており、いわゆるバッファ層に相当する部分が厚くなる、という事がわかる。図8の混合距離の形で評価してもその傾向が確かめられる。この原因については、(1)粘性底層厚 δ_L と粒径の比 $\delta_L/D = 10^2 \sim 10^3$ のオーダーであり局所的な現象が無視できず、平均化のためのより大きな空間を必要としていること、(2)粘性底層内での粒子の沈降速度が無視できる濃度分布に対応する粘性応力が生じていること、等が考えられる。また、これらの流動機構は、プラグを除く部分に対して抵抗係数の形で流れを評価した場合、式(11)を積分して得られる抵抗則にくらべ抵抗係数が小さくなることを意味する。図9にその比較を示すが、ややばらつきが大きいものの、先に述べた傾向が見られることがわかる。

4. および。微細砂を高濃度に含む流れのレオロジー特性は、 ϕ_s/D^3 , ϕ_s , κD を定めることによりよく再現できること、流動機構は清水と比較すると粘性底層が厚くなり、抵抗係数が小さくなる事が明らかとなった。

参考文献

- 1) 芦田, 小野, 神田; 土木学会40回年報, 1985, pp.447~448
 - 2) 久保, 水渡, 中川, 早川
- 編: 粉谷, 丸善.

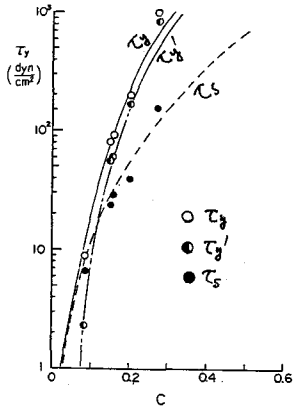


図 4

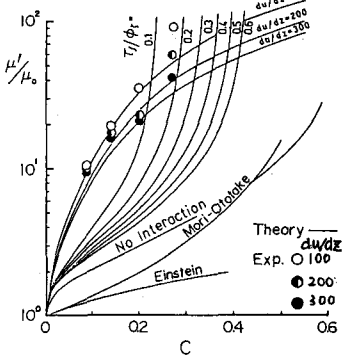


図 5

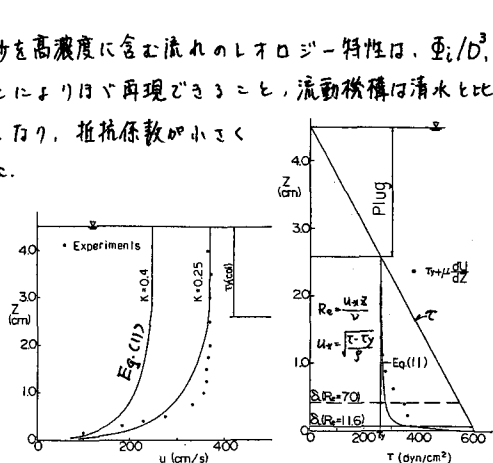


図 6

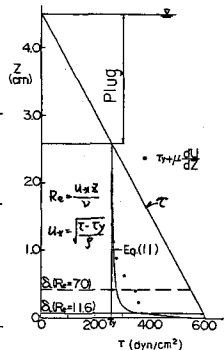


図 7

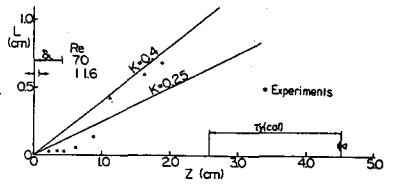


図 8

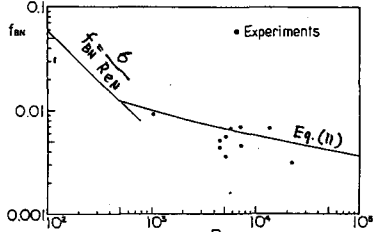


図 9