

II-10 土石流に関する基礎的研究

京都大学防災研究所 正員 矢野勝正
京大工業教員養成所 正員。大同淳之

ここにのべるものは、土石流の諸特性のうち、とくにその粘度 μ および構造指数 n について考察せんとしたものである。さきに我々は土石流を擬塑性流体またはビンガム流体とみなして、その流動特性を調べるとともに、実験を行なって仮説の成立の有無を調べた。その結果、問題はたくさん残されているが、水を伴う土砂の流れは、さきの仮説が十分に成立し、しかも土砂濃度がそれほど大きくない場合から、非常に高濃度の流れまで、かなりの範囲の領域において適用が可能であることを見出した。ここにこれらの物質の応力と変形の関係は次式で表される。

$$\text{擬塑性流体} \quad \tau^n = \mu_p (du/dy) \dots (1) \quad \text{ビンガム流体} \quad \tau - \tau_y = \mu_b (du/dy) \dots (2)$$

ここに τ はせん断応力、 μ_p , μ_b はそれぞれ擬塑性粘度、 n は物質の構造指数、 τ_y はせん断降伏値である。以上の式から誘導される関係を用いて土石流の平均流速を求めるためには、与えられた物質の粘度 μ_p または μ_b 、あるいは構造指数 n または降伏値 τ_y を求めねばならぬ。しかし現在では与えられた粒度組成と含水量において μ_p , μ_b をきめられるような資料は皆無である。ましてせん断応力の変化に対して、粘度がどのように変るがきめることはできない。構造指数 n の値についても、見掛けの乱流とみなされる領域においても $\tau^n = \mu (du/dy)$ の関係が成立しているが、 n の値が見掛けの乱流、乱流を通じて一定であるかどうか不明である。したがって見掛けの乱流、乱流を通じて、これらの物質の特性値を調べる必要がある。そのためにはできるだけ均一な速度勾配がえられる装置が必要で、我々は同心円筒回転式粘度計を用いて測定を行うことにした。

我々の使用した粘度計はストーマー型と呼ばれるもので、二重の円筒間に試料をみだし、その間隙をできるだけ小さくして内筒を回転し、均一な速度勾配をうるものである。

擬塑性流体のとき、内筒の角速度を ω とすると、次の式が成立する。

$$\omega = \frac{1}{2\mu_p n} \left(\frac{T}{2\pi h} \right)^n \left(\frac{1}{R_o^{2n}} - \frac{1}{R_i^{2n}} \right) \dots \dots (3)$$

ここに h は試料の深さ、 T は内筒上部にかかるトルク、 R_o , R_i は外筒および内筒の半径である。したがって $\log \omega$ と $\log T$ の勾配より構造指数 n が、また(3)式より μ_p が求まる。

同様にビンガム流体のときは

$$\omega = \frac{T}{4\pi h \mu_b} \left(\frac{1}{R_o^2} - \frac{1}{R_i^2} \right) + \frac{\tau_y}{\mu_b} \ln \frac{R_o}{R_i} \dots \dots (4)$$

となり、 ω と $T/4\pi h$ の曲線を描き、流動曲線上の各点の切線が、その条件での塑性粘度 μ_b 、また流動曲線が T 軸と切る値から降伏値 τ_y が決定される。

さて以上の結果得られる μ_b の値は値は、流体の温度、粒子の濃度、形状などによって変化する。しかも速度勾配によって変化するので、流動曲線そのもので表すべきであるが、

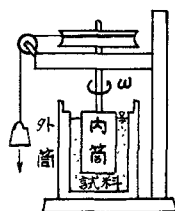


図-1 ストーマー型
粘度計

さきにあげた種々の影響を考察するため、見掛け粘度 μ_a で取扱うことにする。

温度による変化については、さきに我々の行った実験によると、 $\mu_a/\mu_0 = \mu_r$ の値は温度の変化にかかわらず一定値を示した。ここに μ_0 は水の粘性係数である。これは温度に対する粘性の変化は、媒質である水のそれによってきまることが示している。粒子の比重による変化は DeVaney はかの実験から影響は小さいと考えられる。

濃度に対する影響は森・乙竹両氏の研究によると次式で表される。

$$\mu_r = 1 + \frac{1}{2} \bar{a} S_r \left(\frac{1}{x_0} - \frac{1}{x_{0c}} \right)^{-1} \quad \dots \dots (5)$$

ここに S_r は $S_0/(w_s/\rho_s)$ S_0 は系中に存在する粒子の總表面積、 w_s および ρ_s は粒子の單位体積重量および密度、 $\bar{a}$ は平均粒径、 x_0 は粒子の容積濃度、 x_{0c} は最高容積濃度である。 $\frac{1}{2} \bar{a} S_r$ は粒子の形状を球とみなすと、粒径にかかわらずとなり、 x_{0c} も粒子を球とみなし、正方形の配列を考えて 0.52 とされている。したがって (5) 式は $\mu_r = 1 + 3 \left(\frac{1}{x_0} - \frac{1}{0.52} \right)^{-1}$

となる。これを土砂粒子に応用するためには、粒子の形状、粒子のまわりの吸着層の吹着力あるいは結合によがう液体の抵抗によって、 x_{0c} の値が球状の場合と異なることが予想される。これは実際に試料を沈降させて、完全に沈降が完了したときの容積を測定すればよい。また x_0 と μ_r の測定値から

$$\frac{1}{\mu_{sp}} = \frac{2}{\bar{a} S_r} \left(\frac{1}{x_0} - \frac{1}{x_{0c}} \right), \quad \mu_{sp} = \mu_r - 1 \quad \dots \dots (6)$$

の関係と利用すると、 μ_{sp} と x_0 が直線関係にあることから、図-2 の測定値の1例が示すように、 $1/\mu_{sp} = 0$ における $1/x_0$ の値から x_{0c} が、直線の勾配から $\frac{1}{2} \bar{a} S_r$ の値とすることができ。したがって図-2 の試料では、 $\mu_r = 1 + 2.22 / \left(\frac{1}{x_0} - \frac{1}{0.488} \right)$ となって、図-3 に示すように良く測定値を説明している。

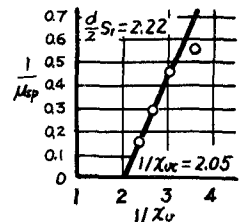


図-2 μ_{sp} と x_0 の関係

実際の土石流では、細粒土の中に石礫が混入していることが多いので、この影響を考慮する必要がある。(5)式の誘導の過程には、粒子に粒径の分布があっても成立する。ただ変化するものは x_{0c} である。1 様粒径の粒子の配列の空隙をちょうど満たすような粒度分布が存在するときは、 x_{0c} の値が 1 に近づいていくことが考えられる。したがって粒度分布の変化によって、 x_{0c} の値がどのようなになるが実験によって求めておけばよい。

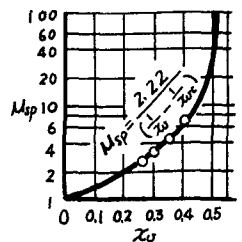


図-3 μ_{sp} と x_0 の関係

粘度においてもう一つの問題は、粘度の揺変性の問題である。実際の土石流はセメントのモルタル程度の稠さだと考えられる。粘土に水が混合したとき、水分が 30% 程度で揺変性を示すようになる。これより水分の大きいところでも存在するようである。この領域では粘度はせん断力の大きさおよびせん断力の働いた時間に密接に関係するようになる。粘度の濃度依存性を明らかにするためには、揺変性の補正が必要となり、補正の必要な水分の範囲をきめることが重要である。

- 参考文献 1) 矢野勝正・大同湾之 土石流に関する基礎的研究 京大防災研究所年報 (1962)
2) 森 芳郎・乙竹 直 化学工学 20, No. 9 488 (1956)
3) 中川, 神ノ レオロジー みみず書房 (8834)