(60) 土石流の土砂流出過程に関する実験的研究(Ⅱ)

京都大学大学院　塩野裕司
京都大学農学部　武居有恒

従来の水理学や水力学で取扱って来た流体は，セン断応力とずり速度が，一次の関係にあるNewton流体の場合に限られていたが，土石流のような土砂を多量に含んだ流体においては，そのような清水と異なった性質を持つものと考えられ，昨年度は，降雨実験により発生させた，土石流の流下過程における，一般的諸性質について検討をおこない，その中で，土石流体として認められるのは，土砂容積濃度で４０～５０％の範囲であって，その中においても，土砂濃度４３％付近を境として，その性質が大きく変化していることが認められたことを報告したが，今回は，その結果をふまえて，レオロジー的にさらに詳しく検討をおこなった。

この問題を定量的に捕えるためには，まずレオロジー方程式中に含まれる降伏値や粘性係数などの物理定数を実験で決定する必要がある。そこで，本研究では改良型の回転粘土計，および矩形開水路を用いて実験をおこなった。

○回転粘土計

土砂濃度４０～５０％と言う低密度な固液混合物の場合，静的な状態では，土砂の沈降により，均一に混ざり合った状態を保ったままで，粘度の測定ができないために，化学工学で用いられている流動化法の技術を応用し，図－１のような実験装置を作った。この装置は，ストーマー型の粘土計をモデルとしたもので，下部より注入する水の流速を変えることによって種々の濃度の均一な混相体を作り，それらの粘度が測定できるものである。

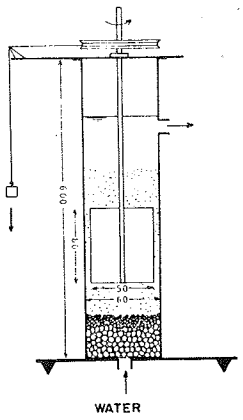
標準砂を試料として求めた，セン断応力とずり速度との関係を示す流動図は，図－２のとおりであって，土砂濃度４３％付近を境として，その性質が大きく変化していることが認められた。すなわち，土石流体は，C＝４３％以上については，ずり速度の大きい部分に少々問題はあるが，ほぼ，塑性流体でセン断応力とずり速度が一次の関係にあるBingham流体，以下については,ずり速度の小さい部分で，少しNewton流体的な性質を持つが，ほぼ，粘性流体でセン断応力がずり速度の二乗に比例するDilatant流体と見なせるものと思われる。また，それらの粘度（poise）は，Bingham流体の場合10^{1}，Dilatant流体の場合10^{-1}～10^{0}オーダーの値であった。

○矩形開水路

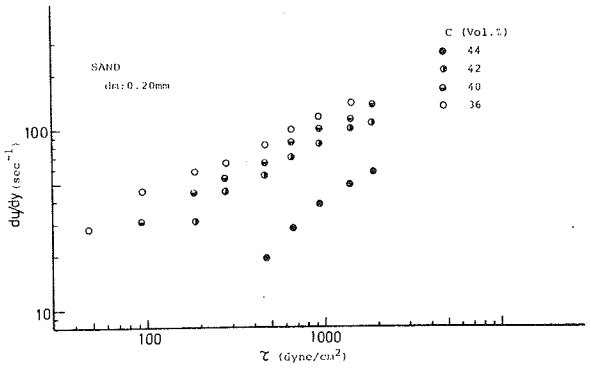
矩形開水路を用いて，土石流の流動中における速度分布を求めることにより，上記の定数について考察をおこなった。

実験は，コンクリートミキサーで所定の土砂濃度に攪拌した標準砂を開水路に流下させ，挿入したインデックスの動きを，モータードライブカメラで撮影をおこなった。

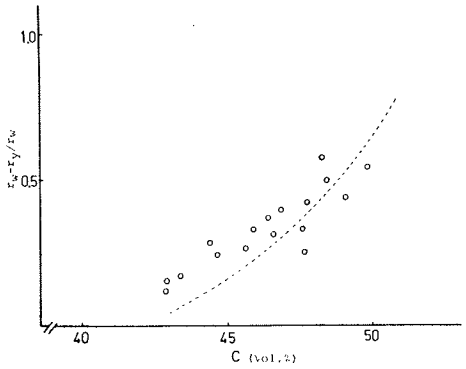
インデックスの差の読み取り，速度分布を求めた結果，回転粘土計の場合と同様に，土砂濃度４３％付近を境として，その性質は大きく変化しており，図－３に示すように，この付近を境として塑性流体となることが認められた。そして，求めた速度分布は，図－４のとおりであって，土砂濃度の低い場合は，Dilatant流体，高い場合は，Bingham流体の理論曲線によく適合することが認められた。次にこれらの結果から粘度を求めるために，一般式より導いた速度分布式に，構造粘性指数nとして,BinghamおよびDilatantの場合を代入して，計算をおこなったところ，回転粘度計の場合と同様の結果が得られた。



図－1　粘度計



図－2　$\tau - \frac{du}{dy}$ (Flow Curve)



図－3　相対 Plug 深－土砂濃度

一般式

$$(\tau - \tau_y)^n = \mu\left(\frac{du}{dy}\right)$$

速度分布（任意の点 r における流速）

$$U_r = \frac{\tau_y^n r_w}{\mu}\left\{\frac{a^{n+1} - (a-x)^{n+1}}{(1-a)^n (n+1)}\right\}$$

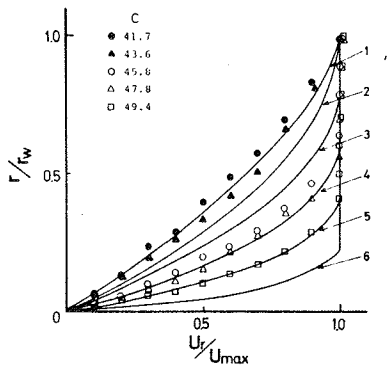
$$a = r_y / r_w \qquad x = r / r_w$$

r_y：水路床から降伏値までの深さ

r_w：水路床から表面までの深さ

n：構造粘性指数

μ：粘性係数



図－4　速度分布

No.	名称		流動特性
1 :	Dilatant		$\tau = \mu_a\left(\frac{du}{dy}\right)^2$
2 :	Newtonian		$\tau = \mu_w\left(\frac{du}{dy}\right)$
3 :	Bingham	a=0.8	$\tau - \tau_y = \mu_b\left(\frac{du}{dy}\right)$
4 :	〃	a=0.6	
5 :	〃	a=0.4	
6 :	〃	a=0.2	