

II-177 固液二相流の流動抵抗について

早稲田大学大学院 学生員 古川恵太
 川崎重工(株) 正員 川端淳一
 大成建設(株) 正員 金野正一
 早稲田大学理工学部 正員 吉川秀夫

1.はじめに 本研究は、土石流の流下状況を、粘度分を含み強い粘性を示す流体と、岩石等の固体の二相が混合し、特有の流動状態を示すものと仮定し、グリセリン水溶液及び、ガラスビーズによる両者のモデルを用いて、その流動抵抗則を明らかにしようとするものである。

2.実験方法 5 cm及び15 cmの中のアクリル製可変勾配開水路、二種の異なる粗度を持つホッパー付管水路を用いた。その諸元を表1に示す。開水路については、上流部ホッパーより常時給砂を行ない、流れが定常状態になった時、下流端より1 mの地点において、ビデオ撮影を行ない、流速分布・層厚を測定し、同時に下流端での試料採取により、総流量・粒子分流量・流体分流量の測定を行なった。管水路については、下流端に栓をしてホッパーに試料を満たした後、栓をはずして流動を起し、ホッパーにおける水位変動を追跡して、管内圧力勾配を求め、同時に下流端での試料採取を、開水路同様に行なった。

3.解析の指針 固液二相流の流動抵抗を、(1)式の様に、粒子分の抵抗 τ_p と流体分の抵抗 τ_f に、重み関数として濃度 C を用いた $f(C)$ 、 $g(C)$ を用いて表現することを目標とした。

$$\tau = f(C) \cdot \tau_p + g(C) \cdot \tau_f \quad (1)$$

τ_f については、粘性層流として、 $N.S$ 方程式より算定し、粒子のみの流動においては、 $\tau_p = 0$ とした。 τ_p については、低濃度の場合と高濃度の場合において、その性質が変化することが確かめられたので、前者については、衝突による運動量の伝達、後者については、流速とせん断力との関係に注目して、実験(1~3)より、 $f(C)$ も含めて算定する。これらのことより、実験(6・7)の結果を評価し、 $g(C)$ を決定することにより、(1)式の定式化を試みる。

4.結果及び考察 実験(1~5)における代表的流速分布図を、図1に示す。粒子の運動が抵抗に支配されているならば、その流速分布は、粒子に働いている抵抗の性質に対応していると思われる。図1の曲線a・b・cは、実験3より抽出した結果で、実験1・2の結果も、これに準ずる。三者の分布は、濃度が0.1及び0.5付近を境界として現われる。ただし、cの上層部は、跳躍した粒子が示す状況として、bの亜種と考えられるので、高濃度・低濃度の分類は、aとbの境界である $C = 0.5$ を標準とした。二相流における流速分布は、実験4より、几の曲線になったが、流体のみの流速分布がgの曲線で示されること、粒子濃度が高いことより、c及びgの重ね合わせにより生じた分布形状であることが予想され、(1)式を支持すると、とらえられる。

低濃度部における τ_p は、粒子間隙を表わすパラメータとして、 $\delta = D \cdot (\frac{1}{\sqrt{1-C}} - \frac{1}{\sqrt{1-C_c}})$ を用い、粒子間相対速度を、 $dU = dU(U, Fr)$ として、(2)式の様に定式化する。

$$\tau_p = \mu_p \cdot dU \cdot D \cdot C^{2/3} \cdot \cos \theta / \delta \quad (2)$$

(μ_p : 定数 D : 粒径 $Fr = \frac{U}{\sqrt{g \cdot D}}$ C_c : 最大充填濃度(0.74) U : 平均流速 θ : 水路勾配) 式中の μ_p 及び dU 、 $f(C)$ を評価するため、実験(1~3)の結果を図2に示す。高濃度部において τ_p は、流速及び粒径の関数として、図3の様に示され、(3)式を得る。

$$\tau_p = \mu'_p \cdot U \cdot D^{1.25} \quad (\mu'_p: 定数) \quad (3)$$

(2)・(3)式の結果より、これを二相流の粒子分の抵抗とみなして、実験(6・7)における流体分の抵抗を、低濃度部については、濃度を、高濃度部については、速度をパラメータとして示したのが、図4である。

ここで、抵抗が負の状態を示すことについては、粒子が高濃度になった時、壁面と粒子の間に存在する流体の、潤滑作用によると考えるならば、粒子による抵抗の過大評価より生じた結果と言え、二相流中の流体は、それ自体では抵抗を発生し、粒子に対しては、潤滑作用により、その抵抗を減ずるといふ二つの役割を持つことが、予想される。

5. あわりに 本研究は、二相流の流動抵抗を、粒子・流体の抵抗の重ね合わせとして、算定する方法を研究したものであり、粒子分の抵抗を 度差による抵抗発現のモデル化、流体については、粘性抵抗と、粒子に与える潤滑作用を考慮することによって、重ね合わせが説明できることを、明らかにした。ただし、高濃度部及び流体の潤滑作用に対しては、定性的な議論しかできないこと、モデルとして、単一粒径のビーズのみを用いたこと等、問題点を多く含んでいるので、定量化・モデルの再構成が、今後の課題である。

開水路	ホッパー	L	B(D)	粗度	試料	No.
				16mm		
		240 cm	5 cm	5mmビーズ	5mmビーズ	1
				2mmビーズ		2
		240	15 cm	2mmビーズ	2mmビーズ	3
				2mmビーズ	2mmビーズ	4
管路	ホッパー	159.7 cm	2.57 cm	なし(ガラス)	2mmビーズ + グリセリン	6
				158.5 cm		2.74 cm

表1 水路諸元

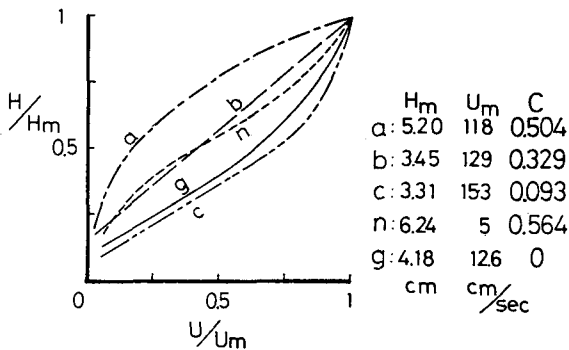


図1 代表流速分布

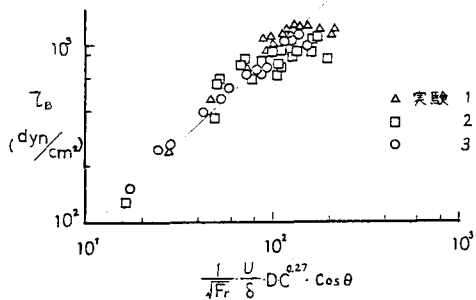


図2 低濃度部粒子抵抗

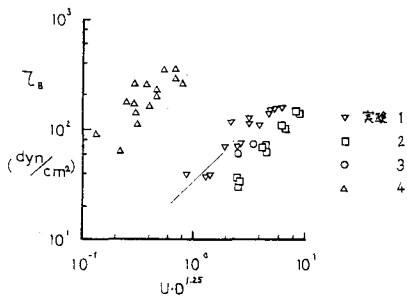


図3 高濃度部粒子抵抗

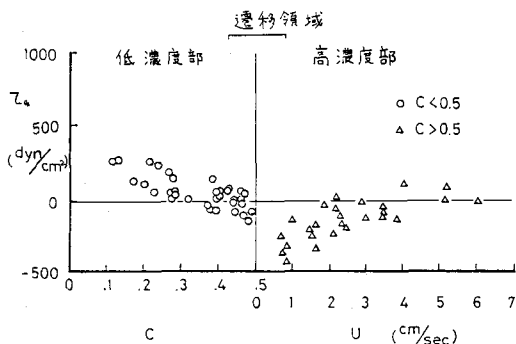


図4 流体分抵抗

	低濃度	高濃度
$f(C) \tau(B)$	$C^m \mu_b \frac{1}{\sqrt{Fr}} \frac{U}{8} DC^{\frac{3}{8}} \cos \theta$ $C^m \mu_b = 9 C^{-0.4} \dots$ 開水路 $= 6 C^{-1.2} \dots$ 管路	$f(C) \cdot U \cdot D^{1.25}$
$g(C) \tau(B)$	$(1-C)^2 \frac{3 \mu_b}{D} U$ --- 管路	--- 開水路

表2 評価式