

九州大学工学部 正員 橋 東 一 郎

九州大学工学部 正員 中山比佐雄

九州大学工学部 学生員 橋本 晴行

1. はしがき

土石流のような高濃度粒子流については、Bagnold⁽¹⁾やDement'ev⁽²⁾が砂粒子間の衝突時の運動量輸送に着目して流動特性を示しているが、今なおその流動式に伴う係数が不明確である。本研究はその係数を実験的に明らかにしようとしたものである。

2. 実験方法

表1のI~IVの実験は上流端から急激に水を給水して段波を発生させ、その先端部の水理量(Fと印す)を測定し、そして先端の流下後、定常状態となったところで同様な水理量(Sと印す)を測定した。しかしIVの実験は先端については測定しなかった。Vの実験については橋本⁽³⁾の論文を参照されたい。全流量 q_t 、流砂量 q_s は下流端で採取することにより、表面流速 u_s は八咫ステロールの流下速度を上から、水深 h は側方からビデオカメラで撮影することにより測定した。

3. 実験結果と考察

(1) 全流量は給水量 q_w との間に

$$\frac{q_t}{q_w} = \frac{1}{1 - C/C_*} \quad (1)$$

の関係があり、図1に示すように実験値と一致する。初期に乾燥状態にあったメサライトの河床も段波通過後は湿潤状態となるためか初期湿潤状態のメサライトのデータより q_t/q_w は若干小さい値を示す程度で、①式を満している。

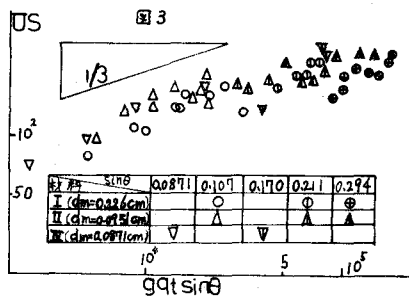
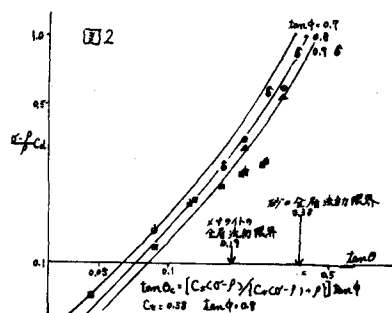
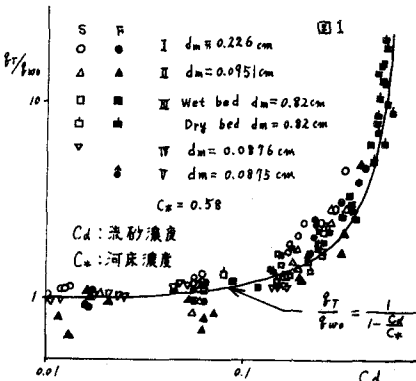
(2) 流動層の流れ方向の質量力と河床における有効垂直応力に起因した摩擦抵抗とが釣り合っていると考えると土石流の濃度を求めるに

$$\frac{\sigma - p}{p} C_d = \frac{\tan \theta}{\tan \phi - \tan \theta} \quad (2)$$

となる。ここに $\tan \phi$ は摩擦係数である。図2に示されるように $\tan \phi = 0.7 \sim 0.9$ のとき②式が実験値と一致する。図2には浸食によって河床勾配が変化するので先端部のデータのみが使用される。 $\tan \phi = 0.8$ とすれば全層流動限界勾配 θ_c は表1のようになり、これ以上の勾配では②式からはすれ図2のようになる。

(3) 流水が等流ならば、平均流速 $u_m = (q^2 g \sin \theta)^{1/3}$ とす

	材料	L	B	d	σ	状態	全流量 q_t	流砂量 q_s	C_d	勾配 θ	配 θ_c		
I	砂	4	10	2.26	2.56	0.42	Wet	20.8	1.44	2.61	6.14	12.1	17.0
II	砂	4	10	0.951	2.58	0.39	Wet	21.4	1.44	2.61	6.14	12.1	17.0
III	メサライト	4	10	8.2	1.55	0.41	Wet	31.0	2.62	5.00	7.37	12.2	14.7
IV	メサライト	4	10	8.2	1.55	0.41	Dry	31.0	5.00	7.37	12.2	14.7	
V	砂	4	10	0.976	2.63	0.44		20.8	1.44	2.61	5.00	9.78	
降雨	砂	7	15	0.976	2.63	0.42		21.2	10.0	15.0	2.0	25.4	

表 1 L=水路長, B=水路巾, d=粒径, $\sigma = \rho/\rho_w$ 

1), φ = 一定ならば $U_s \propto (g \varphi \sin \theta)^{0.5}$ となる。しかし図3に示すように U_s と $g \varphi \sin \theta$ とは勾配をパラメーターにした他の関係があることが分る。そこで θ をパラメーターにり、 U_s と $g \varphi \sin^2 \theta$ との関係をもとめれば、図4のように $U_s \propto g \varphi \sin^2 \theta$ となっていることが分る。しかし $\sin \theta = 0.0253$ の低勾配ではこの関係は成立しない。

ところで Bagnold 及び Dementjev によれば高濃度粒子流中に発生するせん断応力は次式で与えられる。

$$\tau = f(\eta) \cdot C \cdot d \left(\frac{du}{dy} \right)^2 \quad (3)$$

$$f(\eta) = \begin{cases} K_B / \left\{ \left(1 - \frac{C}{C_m} \right)^3 - 1 \right\}^2 & : \text{Bagnold の式} \\ K_D \{ 0.892 / (C_m - C)^{0.25} \}^2 & : \text{Dementjev の式} \end{cases}$$

K_B, K_D は係数であり、Bagnold の示した値によれば、 $K_B = 0.013$ 、Dementjev によれば $K_D = 0.13$ である。

$$\textcircled{3} \text{式を質量力とのつり合いで解けば} \quad U_m = \frac{2}{3} U_s \quad (4)$$

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{2}{5} \left\{ 1 + \frac{1 - \frac{C}{C_m}}{\frac{C}{C_m}} \frac{P}{f(\eta)} \right\}^{1/2} \frac{h}{d} \quad (5)$$

となる。ここに $U_* = \sqrt{g h \sin \theta}$ である。水深 h は精度に疑問があるので消した形で示せば

$$U_s = \frac{U_s d^{0.4}}{\left\{ g \sin \theta \left(1 + \frac{1 - \frac{C}{C_m}}{\frac{C}{C_m}} \frac{P}{f(\eta)} \right) \right\}^{0.2} \frac{C}{C_m}} = \frac{5}{3} \left(\frac{2}{5} \right)^{0.4} \frac{f(\eta)}{C} \quad (6)$$

となる。従って図4の結果は⑥式を満たしていることが考えられ、図5の実験値によれば $K_B = 0.05$ 、 $K_D = 0.5$ となる。これらは Bagnold や Dementjev が求めた値よりも 3.8 倍大きくなっている。

波高(水深)については次式で与えられるので上で求めた係数を使って理論値を求め、実験値と比較したのが図6である。

$$H = \frac{h \left\{ g \sin \theta \left(1 + \frac{1 - \frac{C}{C_m}}{\frac{C}{C_m}} \frac{P}{f(\eta)} \right) \right\}^{0.2}}{(d \varphi)^{0.4}} = \left(\frac{5}{2} \right)^{0.2} \frac{f(\eta)}{C} \quad (7)$$

次に①式を⑥、⑦式に代入して給水量との関係を求めると、それぞれ

$$Q_s^0 = \frac{U_s d^{0.4}}{\left\{ g \sin \theta \left(1 + \frac{1 - \frac{C}{C_m}}{\frac{C}{C_m}} \frac{P}{f(\eta)} \right) \right\}^{0.2} \frac{C}{C_m}} = \frac{5}{3} \left(\frac{2}{5} \right)^{0.4} \frac{f(\eta)}{C} \left(1 - \frac{C}{C_m} \right)^{0.6}$$

$$H^0 = \frac{h \left\{ g \sin \theta \left(1 + \frac{1 - \frac{C}{C_m}}{\frac{C}{C_m}} \frac{P}{f(\eta)} \right) \right\}^{0.2}}{(d \varphi)^{0.4}} = \left(\frac{5}{2} \right)^{0.2} \frac{f(\eta)}{C} \left(1 - \frac{C}{C_m} \right)^{0.4}$$

となる。上式の理論値と実験値は図7、図8に示される。

4. 謝辞 この研究に当り、藤田和夫技官、下田隆久氏、戸田和彦氏、野瀬卓也氏には多大の助力をうけた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) Bagnold, Proc. Inst. Civil. Eng., vol. 4, Part 3, No 174, 1955
- (2) Dementjev, Fluid Mech.-Soviet Res., vol 4, No 1, 1975
- (3) 橋本、西部元郎研究室発表講演集, S 52, 2

