

II-275

円柱に作用する土石流の流体力について

九州大学工学部 学生員 ○福富 章, 正 員 平野宗夫
九州大学工学部 正 員 橋本晴行, 正 員 鳥野 清
大成建設(株) 島田哲治

1. はじめに

最近建設される砂防ダムには鋼管を格子状に組んだものが多くなっている。これは従来の砂防ダムと比較して施工性・機能性の面で優れているためであるが、土石流が鋼管に与える力の評価が十分になされているとは言い難い。そこで、本研究では土石流を円柱に衝突させる実験をおこなってそれに作用する流体力を測定し、水流と比較しながらその特性について検討したものである。

2. 実験方法

実験に使用した水路は長さ12m, 幅12.5cmの可変勾配水路(図-1)で、水路上流側7.0mの部分移動床、下流側5.0mの部分ペニヤ板で滑面固定床とした。移動床部に粒径dの砂礫を敷き、水路を所定の勾配θに設定した後、上流端から $q_p \approx 100 \text{ cm}^2/\text{s}$ の水を急激に供給して土石流を発生させた。河床材料、水路勾配は種々変えて実験を行った。実験条件は表-1に示す通りである。下流端から1.05mの地点の水路中央部に直径 $d_L = 8 \text{ mm}$ のアルミ製円柱棒を河床に垂直に設置して、円柱に生じるひずみ量をひずみゲージを用いて測定した。測定データはサンプリング周波数500Hzで記録した。また、円柱に作用する土石流の流体力とひずみ量との関係を明らかにするために、土石流が衝突する部分に分銅を載荷してひずみ量を測定した。下流端ではその土石流を採取して砂礫と水を合わせた全流量 q_t 、砂礫濃度Cを計測した。なお、同水路を用いて土石流と同流量の水を流し、水流の流体力も別個に測定した。

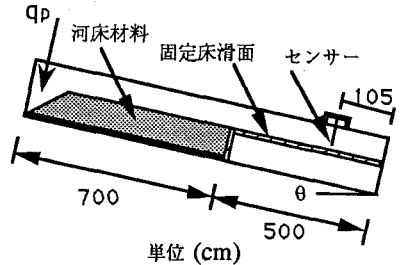


図-1 実験水路

表-1 実験条件

d (mm)	σ / ρ	θ
0.07	2.63	14
0.09	2.60	14
0.17	2.61	6~18
0.29	2.62	14
0.55	2.65	14
0.80	2.64	8~18
1.24	2.65	14
1.90	2.61	14

3. 実験結果と考察

[1] 円柱の抗力係数

円柱に作用する土石流の平均の流体力Dは次式で与えられる。

$$\frac{D}{L} = \frac{\rho'}{2} u^2 C_D d_L \quad (1)$$

ただし、 $\rho' = \rho(1-C) + \sigma C$

ここに、 C_D は土石流による抗力係数、 ρ, σ はそれぞれ水および砂礫の密度、 u は円柱に衝突する土石流の代表流速、 L は土石流が衝突する部分の長さである。また、 D を水流相の流体力と砂礫からなる固相の部分の衝突・接触に起因する衝突・接触力との線形和であると仮定すると、

$$\frac{D}{L} = \frac{\rho}{2} (1-C) u^2 C_{DW} d_L + \frac{\sigma}{2} C u^2 C_{DP} d_L \quad (2)$$

となる。ここに、 C_{DW}, C_{DP} はそれぞれ水流相の流体力及び固相の衝突・接触力による抗力係数である。

(1)式、(2)式において、 D, C, u にそれぞれ実験値を代入し、さらに水流の実験より C_{DW} を求めて抗力係数の比、すなわち $C_D/C_{DW}, C_{DP}/C_{DW}$ の値を計算した。図-2~4はその結果を示したもので、図-2, 3は粒径一定の場合の砂礫濃度Cとの関係を、図-4は勾配一定の場合の粒径dとの関係をそれぞれ表している。濃度Cや粒径dが大きくなるに伴い、 $C_D/C_{DW}, C_{DP}/C_{DW}$ の値も大きくなることからわかる。これは土石流の流体力における衝突・接触力の寄与が大きくなっていることを意味している。一方、粒径dが小さくなると抗力係数 C_{DP} は C_{DW} に近づいている。これは土石流の粒子性の特徴が失われ、単一流体のように挙動するためと考えられる。

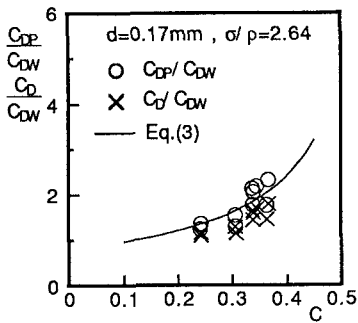


図-2

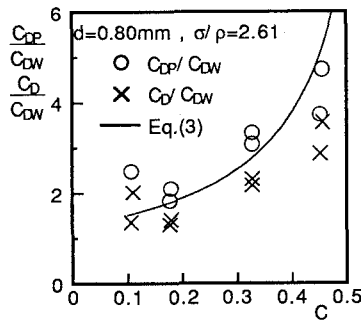


図-3

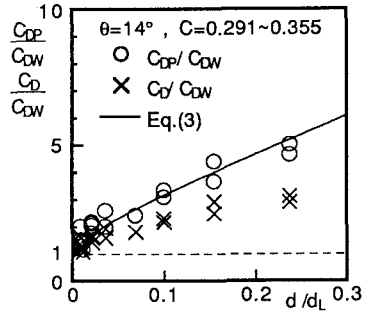


図-4

砂礫濃度と抗力係数の関係

砂礫粒径と抗力係数の関係

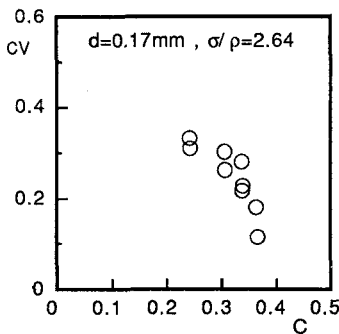


図-5

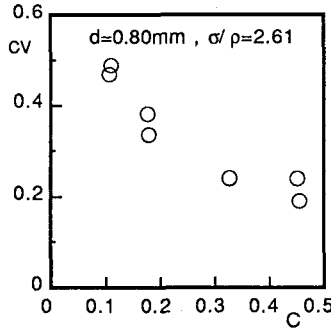


図-6

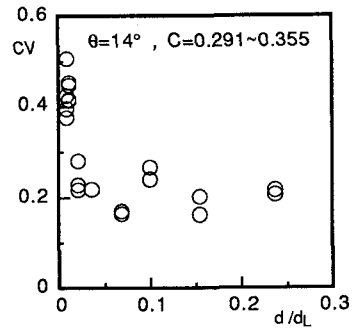


図-7

砂礫濃度と変動係数の関係

砂礫粒径と変動係数の関係

従来¹⁾の粒子衝突モデルを円柱に適用して求められた衝突力の抗力係数は、

$$C_{DP} = \frac{4}{3} \left(1 + \frac{\rho}{2\sigma} \right) \frac{d+d_L}{d_L} X \quad (3)$$

となる。ここに、 X は多体衝突効果を考慮した補正係数である。図-2~4より補正係数 X は粒径 d と濃度 C の関数であると考えられる。そこで X を濃度 C の関数と粒径 d の関数との積であると仮定し、濃度の関数形については前報¹⁾を参考にして求め、粒径の関数形については図-3の実験結果を満足するように決定する。その結果、

$$X = \frac{1}{1 - C/C_*} \sqrt{a \left(\frac{d}{d_L} \right) + b} \quad (4)$$

となる。ここに、 C_* は最密充填濃度で $C_*=0.6$ とする。また a 、 b は実験係数で、 $a=4.22$ 、 $b=0.0841$ となる。図-2~4中の実線はその計算結果を示している。

[2] 流体力の変動特性

図-5~7は土石流の流体力の変動係数 CV を示したもので、図-5、6は粒径一定の場合の砂礫濃度 C を、図-7は勾配一定の場合の d/d_L をそれぞれ横軸としている。濃度 C や粒径 d が大きくなるほど変動係数が小さくなっていることがわかる。また、図-7と同一条件で、土石流の全流量に等しい水を流したとき、水流の変動係数は0.35~0.5となる。したがって、粒径 d が小さくなると土石流の変動係数は水流のそれに近づくことがわかる。

4. おわりに

以上、土石流を構成する砂礫の粒径や濃度が大きくなると抗力係数の比 C_D/C_{DW} 、 C_{DP}/C_{DW} が大きくなり、流体力の変動係数は小さくなる。また、粒径が小さくなると土石流の変動係数は、水流に近づくことが明かとなった。

<参考文献> 1) 椿・橋本・末次: 土石流における粒子間力と流動特性、土木学会論文報告集, No. 317 1982.