

円柱に働く土石流の流体力

九州大学大学院 学生員 ○福富 章
九州大学工学部 正 員 平野宗夫
九州大学工学部 正 員 橋本晴行
九州大学工学部 学生員 島田哲治

1. はじめに

格子状の鋼管製砂防ダムは従来の砂防ダムと比較して機能面や施工性で優れていると言われている。しかしながら、土石流が鋼管に与える力の評価が十分になされていないため、その設計基準も確立し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行ってそこに働く流体力を測定し、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の部分を移動床、下流側5.0mの部分にベ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 $q_p=100\text{cm}^2/\text{s}$ 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、土石流により生じるひずみ量をひずみゲージを用いて測定した。測定DATAはサンプリング周波数500Hzで記録した。また、円柱に働く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、円柱の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。さらに、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、流砂濃度を計測した。

なお、同じ水路において土石流と同流量の純水を流し、水流の流体力も別個に測定した。

3. 実験結果と考察

円柱の単位長さ当りに働く土石流の流体力 D は、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、

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

となる。ここに、 ρ, σ はそれぞれ水および砂礫の密度、 C は土石流の砂礫濃度、 u は円柱に衝突する土石流の代表流速、 C_{DW}, C_{DP} はそれぞれ水流相の流体力及び固相の衝突・接触力の抗力係数である。密度 $\rho' = \rho (1 - C) + \sigma C$ の土石流の抗力係数 C_D は、

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

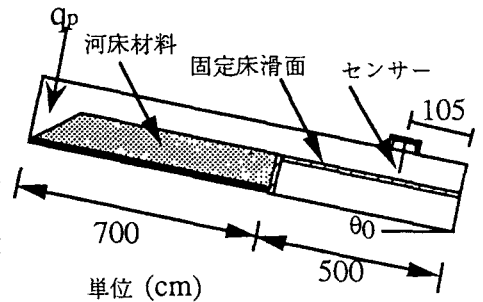


図-1 実験水路

表-1 実験条件

粒径 $d(\text{mm})$	比重 σ / ρ	勾配 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

と定義されるので、(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 C_D/C_{DW} 、 C_{DP}/C_{DW} の値を計算した。

図-2 は、粒径 $d=0.8\text{mm}$ における砂礫濃度 C と C_D/C_{DW} 、 C_{DP}/C_{DW} 、図-3 は勾配 $\theta_g=14^\circ$ における粒径 d と C_D/C_{DW} 、 C_{DP}/C_{DW} の関係をそれぞれ表したものである。濃度 C や粒径 d が大きくなるにしたがい、 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。したがって、このような土石流は単一の高密度流体として取り扱うことが可能であると類推できる。

従来¹⁾の粒子衝突モデルを円柱に適用して求められた土石流による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。 $X=1$ とおいて計算した結果を図-2、3 に一点鎖線で示した。この場合の式(3)は、濃度 C には依存せず、また、粒径 d にもあまり依存しないことがわかる。したがって、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、次式

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

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、 $\theta_g=14^\circ$ においては $a=141.55$ 、 $b=19.52$ となる。図-2、3 中の実線は、その計算結果を実験値 C_{DW} の平均値で除して示したものである。

4. 結論

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} の値も大きくなることから明らかになった。

なお、ひずみゲージを用いた流体力の算定においては、九州大学工学部鳥野清助教授に多大の教示を受けた。ここに感謝する次第である。

<参考文献>

- 1) 椿 東一郎・橋本晴行・末次忠司：土石流における粒子間応力と流動特性、土木学会論文報告集、No.317 1982。

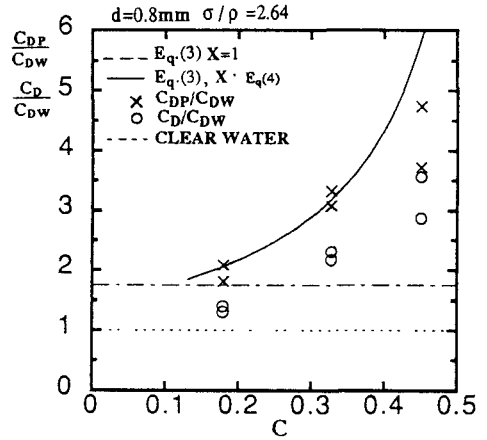


図-2 砂礫濃度と抗力係数の関係

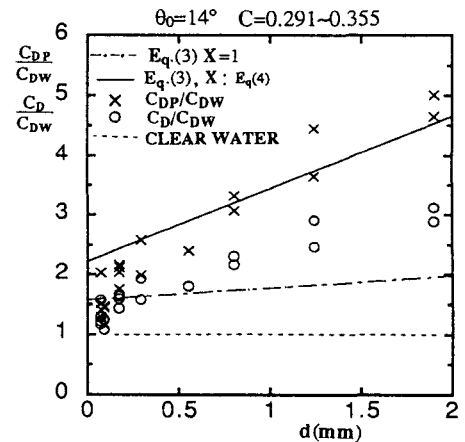


図-3 砂礫粒径と抗力係数の関係