

II-223

円柱に作用する粒子流の流体力の特性

九州大学大学院 学生員○村上 浩史 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 日本道路公団 正 員 山下 広秋

1. はじめに

土石流を考慮した構造設計を行う場合、構造物に作用する土石流の流体力を把握する必要があるが、土石流の流体力の評価が十分になされていないのが現状である。著者らは、これまで¹⁾円柱に土石流を衝突させる実験を行い、土石流の平均流体力とその変動特性について検討してきたが、本研究では粒子流の平均流体力とその変動特性について検討・考察したものである。

2. 実験方法

使用した水路は長さ5m、幅15cmの可変勾配水路（図-1）で、側面、河床ともアクリル板である。その上流端にはホッパーが設けてあり、開き角度を調節することにより供給砂量を調節できるようになっている。下流端から0.5mの位置の水路中央部には直径 $d_L = 8\text{mm}$ 、長さ $L_0 = 38.5\text{cm}$ のアルミ製円柱棒を河床に対して垂直に設置した。そして円柱の上端を固定し、下端は自由に振動できるように河床から $\delta = 1.5\text{mm}$, 3.7mm のクリアランスを保つ。実験方法は、まずホッパーの中に粒径 d の砂を入れて水路を所定の勾配 θ_0 に設定し、ホッパーの底板を開いて乾燥状態の粒子を発生させる。粒子が流下して円柱に衝突したときのひずみを、円柱の上端に貼ったひずみゲージにより、サンプリング周波数1kHzで検出する。下流端では、流れが定常になってからバケツで流れを採取し、単位幅流量 q_s を求める。また、下流端から0.55mの位置でビデオ撮影することにより、層厚 h および表面流速 u_s を測定し、濃度 C_T を求める。実験条件を表-1に示す。

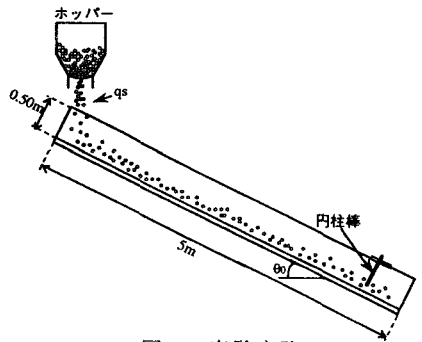


図-1 実験水路

表-1 実験条件

$d(\text{mm})$	σ/p	$\delta(\text{mm})$	$q_s(\text{cm}^2/\text{s})$	θ_0
0.17	2.61	3.7	100	30°
		1.5	190	35° 40°
			340	40°
0.55	2.65	3.7	230	35°
0.8	2.64	3.7	230	35°
1.9	2.61	3.7	200	30° 35°
4.4	2.59	1.5	180	30°
			380	28° 30°
7	2.63	1.5	150	30°
			350	30°

3. 実験結果

3.1 平均流体力

抗力係数 C_{DP} を導入すると、円柱の単位長さ当りに働く抗力 D は次式で表される。

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

ここに、 σ は粒子の密度、 C は粒子濃度、 u は流速である。滑面固定床においては濃度・速度分布が比較的一様であるので式（1）では $u \equiv u_s \equiv u$ 、 $C \equiv C_T$ とおくことができる。従って、 D 、 u_s 、 C_T を測定することにより、抗力係数 C_{DP} の実験値を求めることができる。

図-2は、抗力係数 C_{DP} と無次元径 d_L/d との関係をプロットしたものである。無次元径 d_L/d が小さくなるほど抗力係数 C_{DP} は大きくなる傾向がある。これは、 d_L/d が小さな領域すなわち粒径 d が大きな領域では粒子の衝突・接触作用が重要となり、 d_L/d が大きな領域すなわち粒径 d が小さな領域では乱流の効果が重要になると考えられる。図-3は抗力係数 C_{DP} と粒子濃度 C との関係をプロットしたものである。濃度 C が大きくなるほど抗力係数 C_{DP} は大きくなる傾向がある。また、増加の割合は、粒径 d が小さくなるほど大きくなっている。図-4は、土石流の粒子のみによる抗力係数と粒子流の抗力係数を比較したものである。ほぼ同じような値を示すことがわかる。

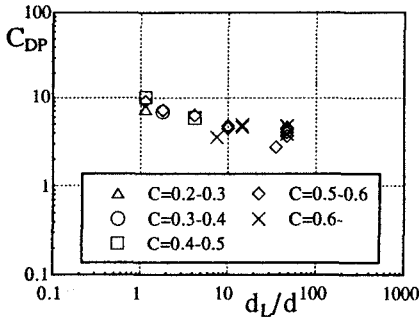


図-2 円柱の抗力係数と無次元径との関係

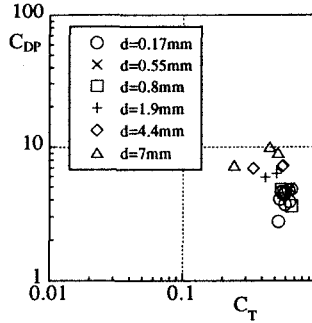


図-3 円柱の抗力係数と粒子輸送濃度との関係

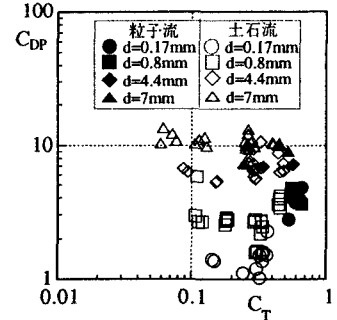


図-4 円柱の抗力係数と粒子輸送濃度との関係

3.2 流体力の変動特性

円柱を一つのシステムと考えると、この系の入力は土石流、粒子流、水流の流体力で、出力はひずみ量である。そこで流体力のスペクトルを $F(f)$ 、ひずみ量のスペクトルを $E(f)$ とすると次の関係が成り立つ。

$$E(f) = |H(f)|^2 \cdot F(f) \quad (2)$$

ここに $H(f)$ は、周波数応答関数である。土石流、粒子流、水流に対応する物理量をそれぞれ添字 D 、 G 、 W で表すと

$$E_D(f) = |H(f)|^2 \cdot F_D(f), \quad E_G(f) = |H(f)|^2 \cdot F_G(f), \quad E_W(f) = |H(f)|^2 \cdot F_W(f) \quad (3)$$

であるから、辺々比をとると

$$\frac{E_D(f)}{E_G(f)} = \frac{F_D(f)}{F_G(f)}, \quad \frac{E_G(f)}{E_W(f)} = \frac{F_G(f)}{F_W(f)} \quad (4)$$

となる。従って、出力ひずみのスペクトルの比を取ることで円柱の影響が除去され、流体力のスペクトルの比を推定することができる。図-5、図-6は、ほぼ同一条件の土石流と粒子流および粒子流と水流における出力ひずみのスペクトル比であり、図中の実線は平均値の2乗比である。図-5においては全周波数領域においてほぼ一様な比を示しており、土石流と粒子流が同じような挙動をしていると考えられる。図-6においては、高周波の領域ほど粒子流の流体力が水流に比較して大きくなっている。これは粒子の衝突効果によるものと考えられる。

4. おわりに

粒子流の抗力係数 C_{DP} は、粒径と粒子濃度が大きくなるほど、大きな値を示す傾向にある。さらに、粒子流の流体力は土石流とほぼ同一の変動をしており、水流に比べて高周波領域において大きいことがわかった。

参考文献 1) 村上・平野・橋本・田熊・鳥野：円柱に作用する土石流の流体力の変動特性、土木学会第47回年次学術講演会、1992

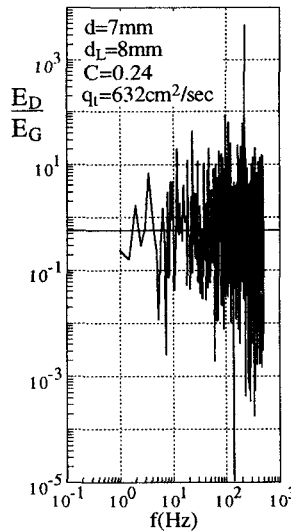


図-5 出力ひずみのスペクトル比

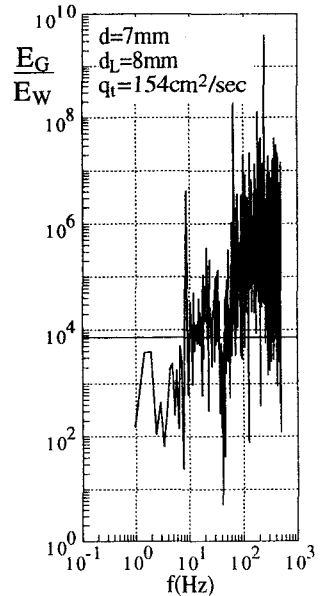


図-6 出力ひずみのスペクトル比