

球に作用する土石流の流体力

九州大学工学部 学生員○恩田 邦彦

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

九州大学大学院 学生員 村上 浩史

1. はじめに

土石流や泥流は高濃度の砂礫を運ぶことが知られている¹⁾。砂礫の流砂量を評価するためには、砂礫にはたらく流体力を知る必要がある。本研究では、流体力の算定のための抗力係数について検討を行ったもので、砂礫を球と仮定して、球に土石流を衝突させる実験を行って、球に作用する土石流の流体力について検討、考察したものである。

2. 実験方法

使用した水路は長さ12m、幅12.5mの可変勾配水路(図-1)で、その上流側7.0m部分を移動床、下流側5.0mの部分をアクリル板で滑面固定床とした。下流側から1.05m地点には直径 $d_L=12\text{mm}$ の球を下端につけた、直径4mm、長さ33.7cmの真鍮製円柱棒(図-2)を固定床面に垂直に設置しておく。その上端はアングルに固定し、下端は自由に振動できるように床面に対して $\delta=2\text{mm}$ のクリアランスを保つ。

実験方法は、まず平均粒径 d の河床材料を水路上流の移動床部に厚さ10cmで敷き詰め、水路を所定の勾配 θ_0 に設定する。次に、河床を浸透水で飽和状態にした後、水路の上流端から単位幅流量 q_{w0} の水を急激に供給して土石流を発生させる。実験条件を表-1に示す。発生した土石流は、流下して球に衝突する。その時のセンサーのひずみを円柱棒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。また同時に水路下流端では、流れを採取することにより、土砂と水を

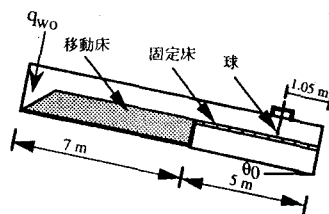


図-1 抗力測定のための水路

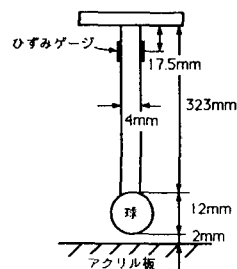


図-2 センサー

合わせた全流量 q_L や土砂粒子の輸送濃度 C_T を、水路側方からはビデオ撮影することにより、水深 h をそれぞれ測定する。ひずみから抗力を算定するには、センサーの球の部分に分銅を載荷して得た検定曲線を利用する。更に比較のため、同一流量の清水を流して水流による抗力も測定する。

3. 実験結果と考察

(1) 平均流体力

抗力係数 C_D を導入すると、球の単位長さ当りに働く抗力 D は

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

と表される。ここに $\rho_L = \sigma C + \rho (1-C)$ である。滑面固定床においては濃度と流速が比較的一様であるので、式(1)では $u \equiv \bar{u} = q_L/h$ 、 $C \equiv C_T$ とおくことができる。従って、 D 、 $\bar{u}$ 、 C_T の測定値を代入すると抗力係数 C_D の実験値を求めることができる。

図-3は、水路勾配を 14° に固定し、粒子輸送濃度をほぼ一定に保ったときの球の無次元径 d_L/d による抗力係数 C_D の変化を示したものである。ここに、土石流による抗力係数 C_D と清水流の抗力係数 C_{Dw} との比をとり抗力係数比 C_D/C_{Dw} を導入する。抗力係数比 C_D/C_{Dw} は d_L/d の小さな所では

表-1 抗力測定に関する実験条件

$d(\text{mm})$	σ/ρ	θ_0	$d_L(\text{mm})$	$q_{w0}(\text{cm}^2/\text{s})$	固定床材料
0.07	2.63	14°	12	180	アクリル板
0.17	2.61	$2^\circ \sim 14^\circ$	12	100~200	アクリル板
0.55	2.65	14°	12	180	アクリル板
0.80	2.64	$4^\circ \sim 18^\circ$	12	100~200	アクリル板
1.90	2.61	14°	12	100	アクリル板
4.40	2.59	14°	12	200	アクリル板
7.00	2.63	14°	12	200	アクリル板

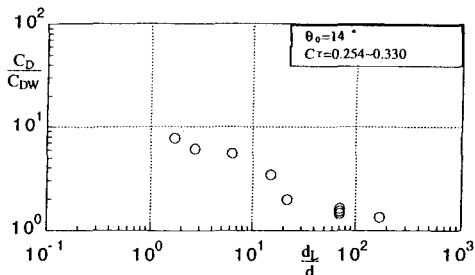


図-3 球の抗力係数と
無次元径との関係

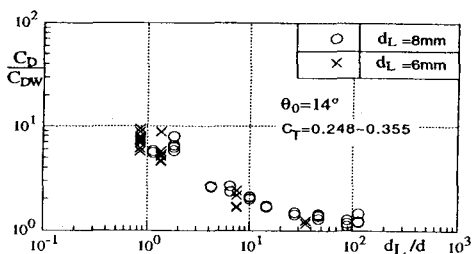


図-5 円柱の抗力係数と
無次元径との関係

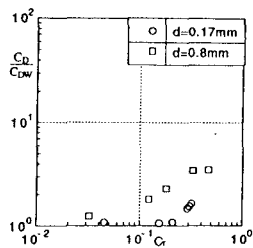


図-4 球の抗力係数と
粒子輸送濃度との関係

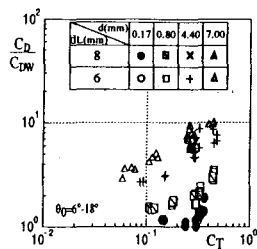


図-6 円柱の抗力係数と
粒子輸送濃度との関係

d_L/d に対して急減するが、 d_L/d が増大するにつれて、1 の値に漸近する傾向を示す。このことから d_L/d の大きな領域、すなわち粒径 d が小さい場合には土石流は清水流のような単一流体として挙動していることがわかる。

図-4 は、 $d = 0.17, 0.80 \text{ mm}$ の場合の抗力係数比 C_D/C_{Dw} と輸送濃度 C_T との関係を示している。抗力係数比 C_D/C_{Dw} は輸送濃度 C_T とともに増加することがわかる。また、その増加の割合は、 d_L/d が大きいほど、すなわち粒径が小さくなるほど減少している。当然、 C_T が減少すると抗力係数比 C_D/C_{Dw} は 1 に近づいていく。

(2) 円柱に働く流体力との比較

以前に行われた、円柱の流体力に関する実験の結果と比較する。この時の抗力係数比 C_D/C_{Dw} を円柱の無次元径 d_L/d と粒子輸送濃度 C_T に対してプロットしたものが図-5、図-6 である²⁾。図-3 と図-5 を比較すると球と円柱の場合では、抗力係数比 C_D/C_{Dw} と無次元径 d_L/d の関係は、ほぼ同じ傾向であることがわかる。また、図-4 と図-6 を比較すると $d = 0.17, 0.80 \text{ mm}$ の時では、抗力係数比と粒子輸送濃度との関係は両者ともよく一致していることがわかる。

4. おわりに

球に作用する土石流の抗力係数 C_D は、土石流の砂粒径と粒子輸送濃度が大きくなるほど、大きな値を示す傾向にある。また、円柱における実験結果と比較するとほぼ同様の傾向であるといえる。しかし、抗力係数比と粒子輸送濃度との関係では $d = 0.17, 0.80 \text{ mm}$ の場合しか実験結果が得られておらず充分とは言えないので、さらに実験を重ねて行くことが今後の課題である。

<参考文献>

- 1) 平野・橋本・峯・福富・バルー：高濃度の泥水によって発生する土石流の特性、水工学論文集、第35巻、1991。
- 2) 田熊・村上・平野・橋本・福富：円柱に作用する土石流の流体力の特性、土木学会西部支部研究発表会、1992。