

土石流の流体力の変動特性について

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

1. はじめに

1993年7月から9月にかけてはいくつもの台風や前線が九州地方を直撃した。その結果、鹿児島県を中心に崩壊、土石流、河川の氾濫などが各所で発生し、鉄道、道路、橋梁などの社会基盤施設はもちろんのこと多くの人命が損なわれた。特に、崩壊や土石流による家屋などの破壊・埋没は著しいものがあった。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、サンプリング周波数1kHzで土石流の流体力の変動特性を検討してきたが、本研究ではサンプリング周波数を50kHzとしてその変動特性について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12.5cmの可変勾配水路で、その上流側7.0mの部分移動床、下流側5.0mの部分アクリル板で滑面固定床とした。下流端から1.05m地点には直径 $d_L=6\text{mm}$ 、長さ $L=32.5\text{cm}$ のアルミ製円柱を固定床面に垂直に設置した。円柱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clearanceを保つ。

上流の移動床部において発生した土石流は、流下して円柱に衝突する。その時の円柱のひずみを上端に貼ったひずみゲージにより測定した。サンプリングは周波数50kHzで、定常状態の部分65536×5個のデータを用いて統計処理を行った。さらに比較のため、同一流量の清水を流して水流による流体力も測定した。

3. 実験結果と考察

図-1(a),(b),(c)は、ひずみ変動の周波数スペクトルの1例である。ここで、1つの実験で5つのスペクトルを算出し、その平均をとることによりスペクトルの平滑化を行っている。土石流中の粒子が細粒な場

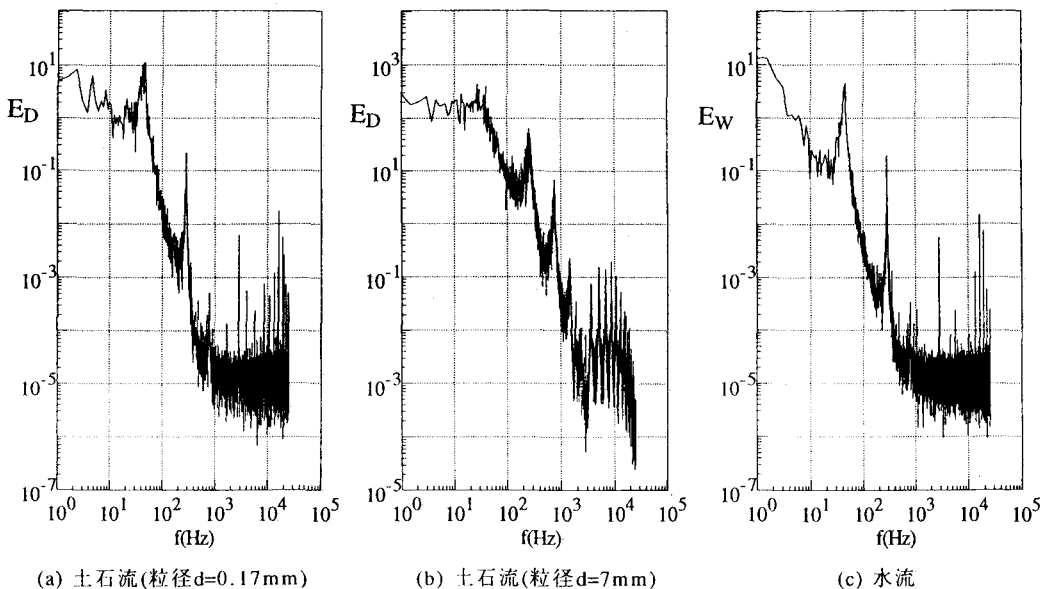


図-1 出力ひずみのスペクトル

合と水流については、 $f=10^3\text{Hz}$ より大きな領域で周波数スペクトルが減少せずほぼ一定値をとり白色雑音であると推測される。さらに、土石流中の粒子が細粒な場合と水流において、 $f_1 \approx 43\text{Hz}$ 、 $f_2 \approx 282\text{Hz}$ 、 $f_3 \approx 777\text{Hz}$ に、また土石流中の粒子が粗粒な場合には、 $f_1 \approx 25\text{Hz}$ 、 $f_2 \approx 258\text{Hz}$ 、 $f_3 \approx 747\text{Hz}$ 、 $f_4 \approx 1421\text{Hz}$ に明確なピークが現れる。一方、空気中や静水中において円柱を自由振動させると固有振動数 $f_1=46\text{Hz}$ を得る。さらに、片持ばりの曲げ振動の固有値から2次～4次の固有振動数を求めると $f_2=287\text{Hz}$ 、 $f_3=804\text{Hz}$ 、 $f_4=1575\text{Hz}$ である。これらは図-1(a),(b),(c)のスペクトルピークの発生周波数とはほぼ一致していることがわかる。従って、それらのピークは共振に起因するものと考えられる。

そこで、出力ひずみにおける共振の影響を除去することが必要となる。

円柱を一つのシステムと考えると、この系の入力力は土石流や水流の流体力で、出力はひずみ量である。このシステムを線形系であると仮定すれば、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。

$$E(f) = |H(f)|^2 \cdot F(f) \quad (1)$$

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

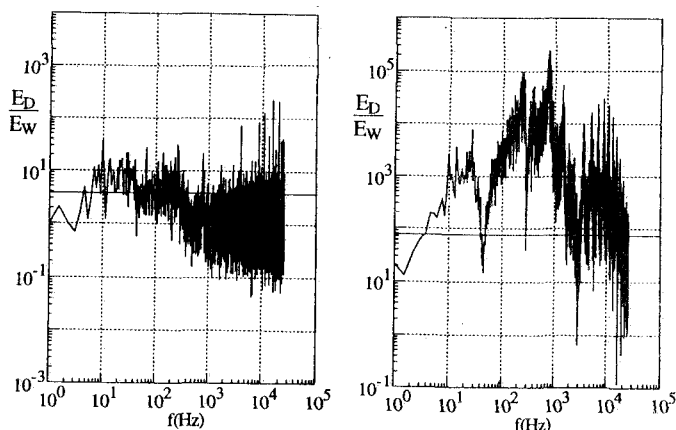
$$E_D(f) = |H(f)|^2 \cdot F_D(f) \quad (2), \quad E_W(f) = |H(f)|^2 \cdot F_W(f) \quad (3)$$

であるから、辺々比をとると

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

となる。従って、土石流と水流による出力ひずみのスペクトルの比を取ることで共振の影響が除去され、流体力のスペクトルの比を推定することができる。

図-2 (a),(b)は、ほぼ同流量の土石流と水流における出力ひずみのスペクトル比であり、図中の直線は平均値の2乗比である。土石流中の粒子が細粒な場合は、 $3 \times 10^2\text{Hz}$ までは3～5倍のほぼ一定の比を示しており、それ以上の周波数領域では1となっている。このことから $3 \times 10^2\text{Hz}$ の周波数レベルまでは粒子による衝突の影響が及んでいるといえる。また、土石流中の粒子が粗粒な場合は、全領域で土石流の流体力が水流に比較して



(a) 土石流(粒径 $d=0.17\text{mm}$)

(b) 土石流(粒径 $d=7\text{mm}$)

図-2 出力ひずみのスペクトル比

大きくなっている。特に、 $10^2 \sim 10^3\text{Hz}$ の範囲では約 10^4 倍となっており、この周波数領域では粒子による衝突効果がかなり大きいものと考えられる。

4. おわりに

以上、土石流の流体力の変動特性についてスペクトル解析を行い、土石流中の粒子が細粒な場合と粗粒な場合で粒子による衝突効果を明らかにした。

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