

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⁾土石流の平均流体力について検討してきたが、本研究では土石流の確率分布や変動係数を調べ、変動成分について共振の影響を除去するため振動形解析法を用い、衝撃力を推定した。

2. 実験方法

土石流および水流の実験に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の部分ベニヤ板か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。一方、粒子流の実験に使用した水路は長さ5m、幅15cmの可変勾配水路で、下流端から0.5mの地点に直径 $d_L=8\text{mm}$ 、長さ $L=38.5\text{cm}$ のアルミ製円柱を河床面に垂直に設置した。

上流側で発生した土石流および粒子流は、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。サンプリング周波数は1kHzと50kHzで流れの定常状態の部分2048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、水流による流体力も同様に測定した。

3. 実験結果と考察

図-1は、ひずみ変動の周波数スペクトルの1例である。いずれの実験においても、 $f_1 \div 43\text{Hz}$ 、 $f_2 \div 282\text{Hz}$ 、 $f_3 \div 777\text{Hz}$ 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 $f_1=45\text{Hz}$ を、さらに、片持ばりの曲げ振動の固有値から2次および3次の固有振動数を求めると $f_2=287\text{Hz}$ 、 $f_3=804\text{Hz}$ である。これらは図-1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、この系の入力ひずみは土石流や水流の流体力で、出力ひずみ量である。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 $S_i(f)$ 、ひずみ量のスペクトルを $S_o(f)$ とすると次の関係が成り立つ。

$$S_o(f) = |H(f)|^2 \cdot S_i(f) \quad (1)$$

ここに、 $H(f)$ は周波数応答関数である。この周波数応答関数 $H(f)$ を求めれば、式(1)により入力ひずみのスペクトル $S_i(f)$ を推定できる。

不規則な外力が作用する多自由度系の応答計算には振動形解析法

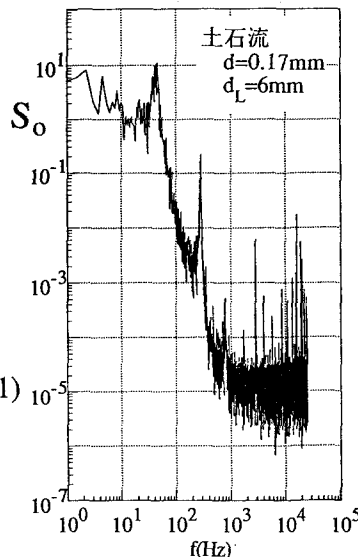


図-1 出力の
パワースペクトル

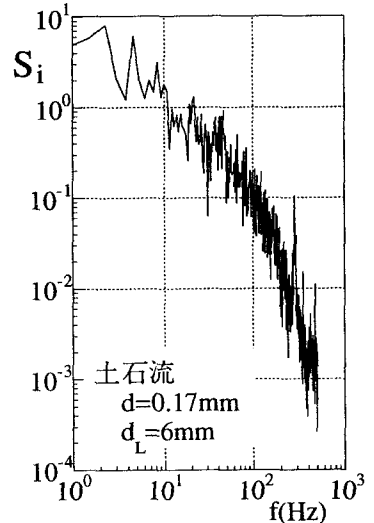


図-2 入力
のパワースペクトル

が用いられる²⁾。それにより、周波数応答関数 $H(f)$ を求め、入力スペクトル $S_i(f)$ を推定すると図-2のようになる。ただし、図-1に見られるように $5 \times 10^2 \text{ Hz}$ 以上の領域ではスペクトルはほぼ一定値を取り白色雑音と推測されるので、この部分は無視している。図-2は、図-1と比較して共振の影響が取り除かれていることがわかる。次に、これを時系列データへ逆変換し入力である流体力を求める。

円柱の抗力と上記の方法で推定された流体力のそれぞれについて、標準化されたヒストグラムを図-3に示す。ここに、 $\bar{F}$, $\bar{D}$ を入力、出力の平均値、 σ_i , σ_o を入力、出力の標準偏差として、 $Z_i = (F - \bar{F})/\sigma_i$, $Z_o = (D - \bar{D})/\sigma_o$ である。また、図中の実線は正規分布曲線である。入力、出力ともほぼ正規分布に一致しているといえる。さらに、入力である流体力について、変動係数 C_v と無次元径 d_L/d との関係を図-4に示す。データ数が少ないが、土石流、粒子流のどちらも無次元径 d_L/d が小さくなるとすなわち粒径 d が大きくなると急激に C_v は大きくなっている。これは粒子による接触・衝突作用によるものと考えられる。また、水流の変動係数は約0.2であるので、 d_L/d が大きくなるとこの値に漸近するものと考えられる。図-5は変動係数 C_v と粒子濃度 C_T との関係を示したものである。 C_v は C_T には依存せず、流体中の粒子の径が大きく寄与していることがわかる。

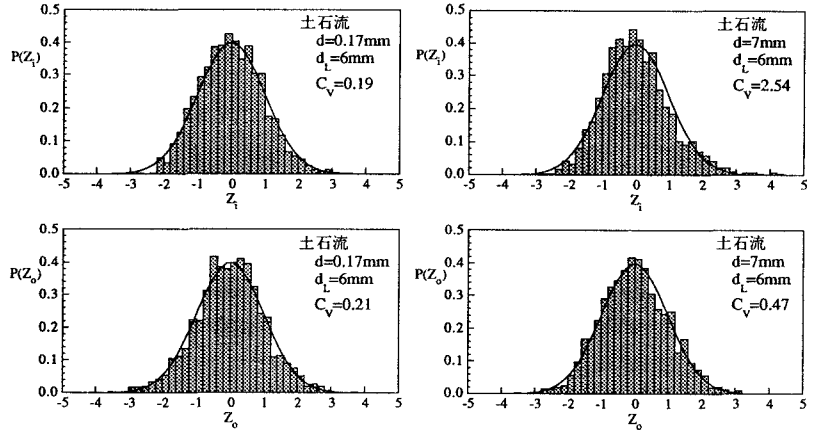


図-3 標準化されたヒストグラム

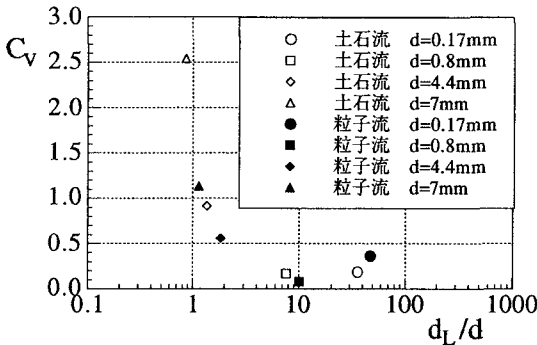


図-4 変動係数と無次元径との関係

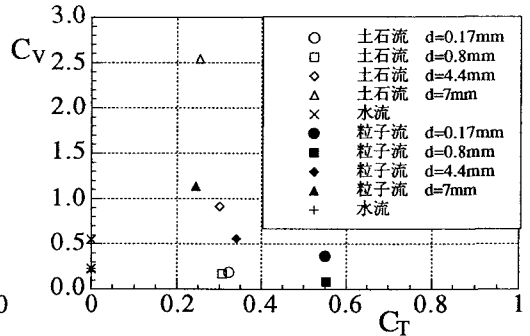


図-5 変動係数と粒子輸送濃度との関係

4. おわりに

振動形解析法を用いることにより周波数応答関数を求め、入力である土石流の流体力を推定することができた。また、土石流の流体力の変動はほぼ正規分布に一致し、その変動係数は流体中の粒子の径が大きくなると増加し、粒子輸送濃度にはあまり依存しないことがわかった。したがって、このような統計処理を行うことにより変動係数を求め、これまで議論されてきた流体力の平均値を考慮すれば、土石流の流体力は正規分布に従うことにより衝撃力（瞬間最大流体力）が評価できることになる。

参考文献 1) 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講演概要集, 1992. 2) 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