

1. はじめに

土砂生産域によって生産された土砂が流砂系内に与える影響を評価するためには、流送する土砂の粒径、量を知ることが重要である。本研究では、日本電信電話株式会社より提供された光ファイバひずみ計を用いて、掃流砂観測手法を考案した。

2. 光ファイバひずみ計

光ファイバひずみ計は、塩ビパイプにひずみ計測の機能を持つFBGセンサ (fiber-bragg-grating) を、設置した計測器である。FBGセンサは、光ファイバの内部に屈折率の異なるグレーチングを、並列させたものである。グレーチングの間隔により、反射光の波長が異なるため、波長の変化量を計測することで、ファイバに生じるひずみ量を測定できる。

3. 流砂モニタリング

3.1 粒径算定の手順

砂粒子がひずみ計に衝突した際に生じるひずみ量を元に、砂粒子の粒径を推定し、衝突回数から流砂量を算出する。具体的な粒径算定手順の構成を以下に示す。センサの運動エネルギーに対する出力のひずみ値の関係より、衝突物の運動エネルギーを求める。運動エネルギーの構成要素である砂粒子の速度を、流速との関係式 (藤堂・関根らの式) を利用した方法と小跳躍シミュレーションを利用した方法の二種類の方法で計算する。この時、センサに衝突する位置や角度による補正も行う。以上より衝突粒子の粒径を算出する。

3.2 運動エネルギーとセンサ出力の関係

センサの運動エネルギーに対する出力のひずみ値の関係を、実験により求める。センサへの衝突を定量的に行うため、 30° の勾配を持たせたスロープを用意し、ガラスビーズの衝突速度及び衝突角度を調整できるようにした。衝突の位置と角度の設定は、**図-1** に示す。

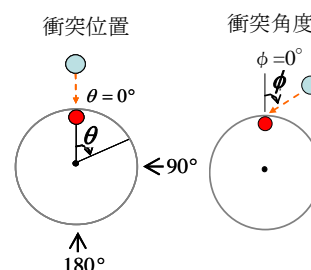


図-1 衝突位置と衝突角度の設定

衝突位置 0° 、衝突角度 0° におけるセンサの出力ひずみと運動エネルギーの関係を**図-2** に示す。各々のプロットは、50個の波形のデータのピーク値の絶対値を平均化したものとなっている。

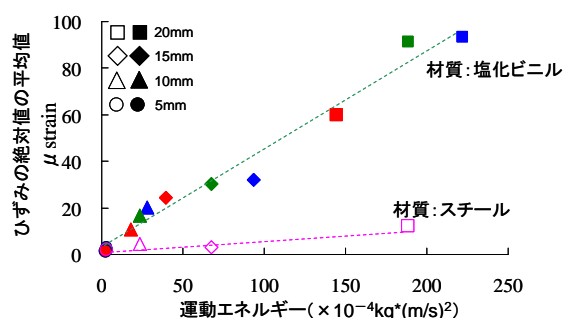


図-2 運動エネルギーと出力ひずみの関係

図-2 の結果より、運動エネルギーと出力ひずみの関係には線形関係が見られ、出力値から衝突する砂粒子の運動エネルギーを求めることが可能である。

また、衝突位置に対する出力値の変化を**図-3** に、衝突角度に対する出力値の変化を**図-4** に示す。実験条件を衝突粒径 20mm、衝突速度 1.5m/s とした。

この結果を用いて、粒径を算定する際に衝突位置と角度の補正を加える。

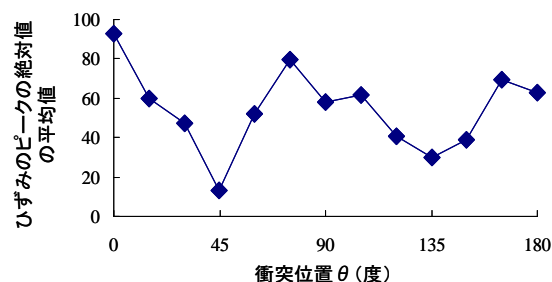


図-3 衝突位置と出力値の関係

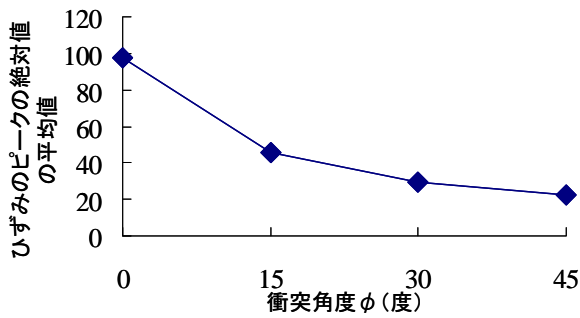


図-4 衝突角度と出力値の関係

4. 運動エネルギー項内の速度項の算定

衝突物の運動エネルギー項内の速度項を算定することで、砂粒子の粒径を算定する。速度項は、(1)砂粒子の平均速度式（藤堂・吉川ら¹⁾）を用いた方法（以降、簡易手法）と、(2)砂粒子の小跳躍シミュレーションを用いた方法（以降、シミュレーション手法）の二種類の方法で計算する。

4.1 平均砂粒子速度式を用いた方法¹⁾

水理条件から砂粒子の平均速度 V を、以下の式(1)を用いて計算する。

$$V = 7.0 \times \tau_*^{0.72} \sqrt{sgd} \quad \dots(1)$$

ここで、 τ_* :無次元掃流力、 s :砂粒子の水中比重、 d :砂粒子の粒径である。

4.2 粒子の小跳躍シミュレーションを用いた方法²⁾

砂粒子の衝突速度を、水流下で小跳躍をする粒子をシミュレーションすることにより求める。なお、小跳躍は水流を流送する流送部分と河床に衝突する跳ね返り部分に区分できる。砂粒子の流送部分は、運動方程式 (2) および (3) を差分化しシミュレーションする。

$$\begin{cases} m_1 \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{1}{2} \rho_f C_D A |u_x - u_{px}| (u_x - u_{px}) & \dots(2) \\ m_1 \frac{d^2 z}{dt^2} = -\frac{1}{2} \rho_f C_D A |u_{pz}| u_{pz} - m_2 g & \dots(3) \end{cases}$$

$$m_1 = \pi d^3 / 6 * (\sigma_s + 0.5)$$

$$m_2 = \pi d^3 / 6 * (\sigma_s - 1.0)$$

ここで、 u_x :流下方向の流速、 u_{bx}, u_{by} : x, y 方向の砂粒子の速度、 m_1 :仮想質量を含めた砂粒子の質量、 m_2 :浮力を考慮した砂粒子の質量、 C_D :抗力係数、 ρ_f :流体の単位体積重量、 σ_s :砂粒子の単位体積重量である。跳ね返り部分では、砂粒子が河床に衝突する入射角

によって、確率的に跳ね返り角度を決定する。これより、センサに対する衝突速度、衝突位置、衝突角度の期待値を求め、計測より得られた運動エネルギーと一致するまで条件を変え、計算を繰り返す。

5. 仮定した条件に対する事例検討

以上の方法を用いて、図-5 に示す仮定した出力波形に対して、粒径の判定を行った。また、地形条件を、川幅 2m、河床勾配 1/30、粗度係数 0.04 とした。簡易手法とシミュレーション手法による粒径算定の結果を図-6 に示す。位置・角度ともに 0° を仮定した角度・位置補正をしない場合と、補正した場合は、算定結果が 2 倍程度異なっている。

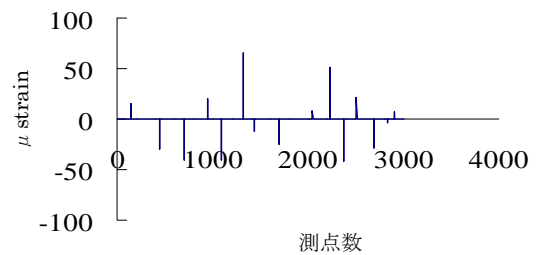


図-5 仮定した出力波形

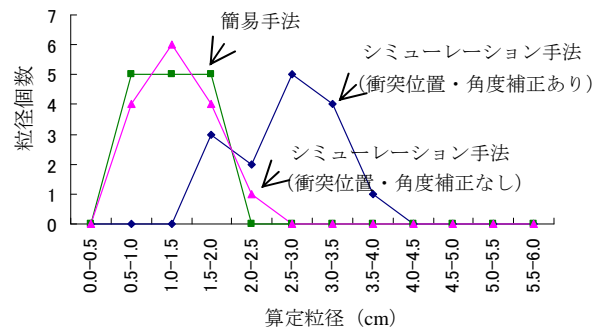


図-6 粒径算定の結果

6. まとめ

粒径の算定を行うことは可能であるが、衝突する位置と角度の補正で、算定される粒径が大きく変化する。粒径算定の精度を高めるには、衝突角度と衝突位置を正確に決定する工夫が必要である。

<参考文献>

1)藤堂正樹・関根正人・吉川秀夫 土砂の流送機構に関する基礎的研究 第27回水理講演会論文集 1983 pp299-304

2)関根正人・吉川秀夫 掃流砂の流送機構に関する研究 土木学会論文集 第351号 1984年 pp69-75