

京都大学大学院
 京都大学防災研究所 藤田正治・堤大三・竹林洋史
 日本電信電話株式会社 吉田安克・島田徹
 NTTインフラネット株式会社 出口大志

1. はじめに

流送される土砂の粒径と量を把握することができれば、土砂災害の避難警報や流砂量モニタリングに役立てることができる。本研究では、光ファイバーひずみ計によって、流砂観測ができるのか、また光ファイバーひずみ計はどのような特性をもつか実験的に検討する。

2. 実験条件

2.1 実験概要

砂礫が物体と衝突すると、物体にはひずみが生じる。砂礫の運動エネルギーが増加すれば、物体のひずみ量も増加する関係があるため、ひずみ量を計測することで、運動エネルギーを算出することが可能である。また、砂礫の衝突速度を推定することができれば、運動エネルギーから質量または粒径を求めることができる。さらに衝突の頻度が測定できれば、流砂量に変換できる。本研究では、衝突物の運動エネルギーとセンサが感知するひずみについて、どのような関係性を持つか実験する。

2.2 光ファイバーひずみセンサ

本実験で用いたFBGセンサ(Fiber-Bragg-Grating)は、日本電信電話株式会社の開発したひずみ計測センサである。図-1(a)のように光ファイバーの内部に、グレーチングといわれる屈折率の異なる壁面を等間隔 d で設置したものである。このグレーチングの間隔により、反射光の波長が決まるため、ファイバーにひずみが生じれば、図-1(b)で示す様にグレーチングの間隔が変化し波長が変化する。したがって、波長の変化量を計測することで、ファイバーに生じるひずみ量 d を算出することができる。このFBGセンサを塩化ビニルパイプまたはスチールパイプに取り付けた流砂センサの外観を図-2(a)に、内部構造を図-2(b)に示す。

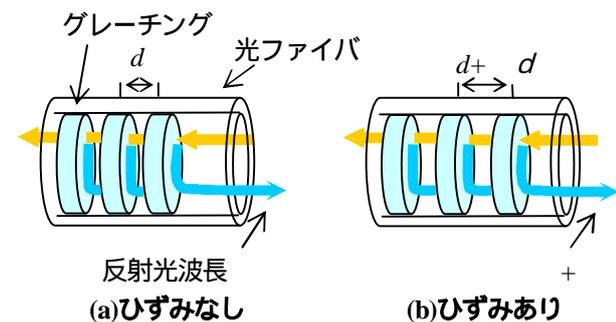


図-1 FBG センサ

2.3 実験装置

衝突物の衝突速度を調整できるように、30°の勾配を持たせた滑面を用意し実験した(図-3)。本実験では、衝突物にガラスビーズ(密度 2.5g/cm^3)を用いた。また、衝突角度を、ハイスピードカメラを用いて計測した。

2.4 衝突条件

ガラスビーズを一つずつ、適当な時間間隔を置き衝突させた。衝突条件を表-1に示す。図-3において、ひずみ計に対する相対的な衝突位置と衝突する角度を変化させるため、ひずみ計を回転及び上下左右に移動させる。衝突位置は、パイプ断面の中心を極として、ひずみ計から衝突地点までの角度で、衝突角度は、衝突面垂直方向から衝突方向の角度と設定した。また、衝突位置及び衝突角度とも、右回りを正としている。case1として、図-4(a)のような衝突位置とし、衝突速度及び粒径を変化させた。また、case2もcase1と同様の条件で、流砂センサの材質をスチールに代え実験した。case3、case4において、図-4(b)と図-4(c)のように、衝突位置と衝突角度を変化させ実験した。

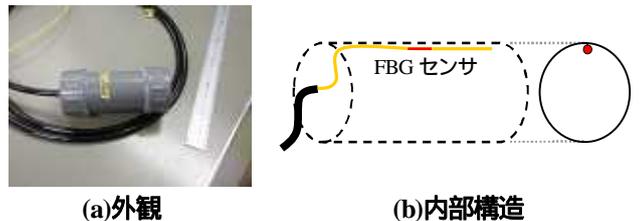


図-2 流砂センサ

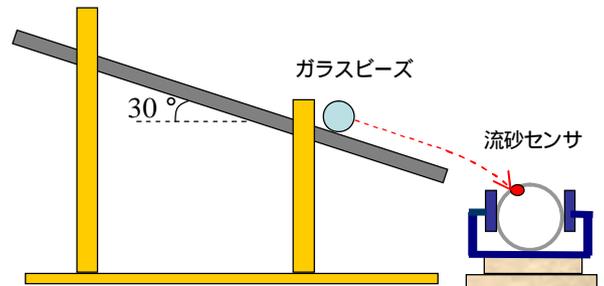


図-3 実験器具

表-1 衝突条件

	材質	衝突速度 (m/s)	粒径 (mm)	衝突位置 (°)	衝突角度 (°)
case1	塩化ビニル	1.3,1.7,2.0	5,10,15,20	0	0
case2	スチール	1.7	5,10,15,20	0	0
case3	塩化ビニル	1.7	20	0,30,45,60,90,135,180	0
case4	塩化ビニル	1.7	5,10,20	0	0,30,45

3. 実験結果

衝突による計測値は、図-5のようなになる。パルス状に見えるが、拡大すると波形になっており、1つの波形が1つのガラスビーズの衝突に対応する。図-5では同じ条件の衝突であるが、波形のピークが異なり正負が生じている。これは、ガラスビーズの速度が比較的速い場合、衝突されたパイプに複雑な変形が生じることが原因であると考えられる。ここでは、代表値として波形ピーク値の絶対値の平均値を用いる。

case1、case2における出力ひずみの比較を図-6に示す。両ケースとも運動エネルギーの増加と共に、センサの出力値が増加することが確認できる。また、剛性の高いスチールは、塩化ビニルに比べ感度が低い。次に、衝突位置を変化させた結果を、図-7に示す。パイプ内のひずみ計が設置されてある位置から、衝突位置が遠ざかるほど出力が低下する傾向がある。しかし、45°と135°においては出力が大きく減少している。これは特異点らしきものである。

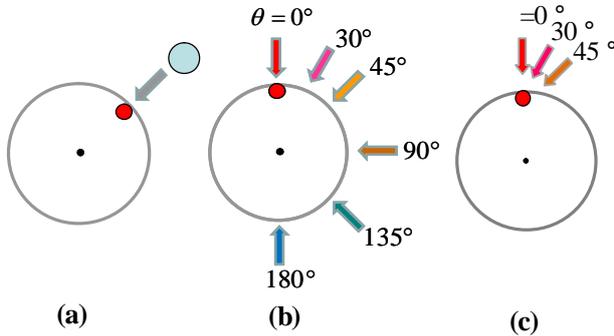


図-4 衝突状況

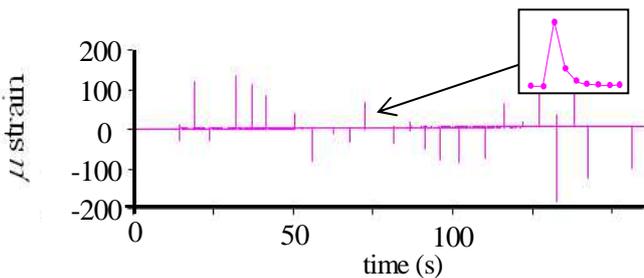


図-5 出力波形 (d=20mm, 25個)

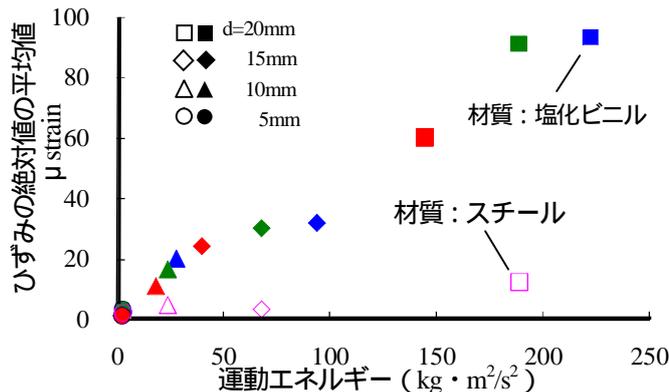


図-6 出力結果 (粒径・速度変化)

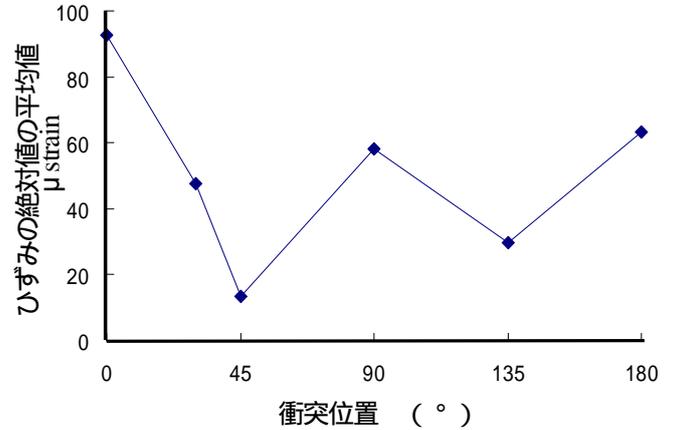


図-7 出力結果 (衝突位置変化)

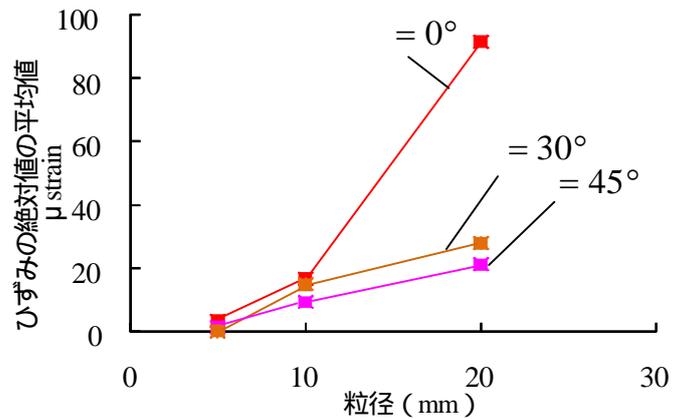


図-8 出力結果 (衝突角度変化)

ると推察できる。また、衝突角度を変化させた結果を、図-8に示す。センサの衝突面に対する角度が大きくなるほど出力は小さくなるのが分かる。

4. まとめ

図-6のセンサ出力 - 運動エネルギーの関係より、計測された出力データから、衝突物の運動エネルギーを決定できる可能性がある。したがって、前掲の通り衝突物の質量を算定することも可能である。しかし、図-7及び図-8の結果にあるように、衝突する位置や角度の違いにより、出力が変化してしまうため補正する必要がある。衝突位置の補正に関しては、例えば、パイプの円周上にセンサを複数個設置すれば、砂礫が任意の位置に衝突しても、各々のセンサの平均を取ることによって、一定値を得られる可能性がある。衝突角度の補正は、設備的な対応が困難なため確率的な手法等を用いて補正する必要がある。

本実験においては、気中での衝突であり、また衝突物が球形状であった。しかし、実際に河川で使用する場合には、水中での衝突であり、砂礫表面の凹凸があるため、さらに出力にばらつきが出ると予測できる。今後、実際の状況を考慮して、実験を行う必要がある。