

35 司聴音による間接的流砂量測定法(パイプ法)の基礎実験

流砂量測定手法研究会(京都大学防災研究所 澤井健二 外7名*)

1. よ え が き

従来、流砂量計測は、そのほとんどが流砂を捕捉して計量するいわゆる直接的測定法によっているが、適用条件、設置費、維持等の問題から、現地とくに山地河川において流砂量が実測されている例は少なく、新しい手法の開発が切望されている。昭和60年度に建設省北陸地方建設局立山砂防工事事務所の委託により、砂防・地すべり技術センターが世話役となって組織された流砂量測定手法検討委員会では、直接法の他に、音響法や映像法など、種々の間接法の可能性とその適否の検討が進められている。本研究会は、主として当委員会にかかわっている大学の研究者が、より基礎的な面から流砂量測定法を検討しようとして、昭和62年度に発足したものであり、現在、音響法と超音波法について検討を進めている。本報告は、そのうち板倉、谷口、澤井が中心となって進めている音響法(パイプ法)について発表するものである。

2. 測定原理ならびに実験方針

砂礫が流下する時、特有の音を発することは、誰もが経験しているところである。ところが、我々が通常耳にする流砂音には、水流の音や人の話し声など、流砂以外の雑音が混じっており、その中からいかにして流砂音を抽出するかがまず問題となる。ここで提案するパイプ法は、片端にマイクを封入したパイプを河床に設置し、そのパイプに当たる流砂の衝突音を検出しようとするものである。このアイデアは、既に先述の委員会によって出されていたものであるが、本研究会では、基礎実験をもとに、これをさらに具体化し、実用化への見通しを得ることができた。

半径 a 、長さ l のパイプ中の空気の1次の固有振動周波数は、円周方向に $f_0 = 0.298 c/a$ 、半径方向に $f_{01} = 0.61 c/a$ 、軸方向に $f_z = c/2l$ となる。ここに、 c は空気中の音波の伝播速度である。礫の衝突直後には、さらに他の振動も加わるが、それは急速に減衰し、その後はこれらの固有振動が卓越するようになる。一方、体積 V 、表面積 S の室内の残響エネルギー密度は、 $\varepsilon = \varepsilon_0 \exp(-13.6 t/T)$ と表される。ここに、 ε_0 は初期音響エネルギー密度、 T は残響時間で、平均吸音率を α とすると、 $T = 0.16 V/(\alpha S)$ と表される。したがって、これらの諸元をうまく組み合わせ設計すれば、流砂の個々の衝突音を検出して、その振幅ごとの衝突頻度から、粒径別流砂量を測定できる可能性がある。

ここで重要なことは、 ε_0 がはたして粒径と対応する否か、また、衝突頻度が流砂量と対応する否かを検討し、それらがよく対応するようなパイプの設置法ならびに信号処理法を見出すことである。そこで、まず、空気中あるいは静水中で、礫や鋼球を所定の速度で衝突させて礫径と波形との関係を調べ、次に、水路において不規則な形状の礫を流下させて、その検出頻度や振幅の分布を測定することにした。

*小倉久直(京大・工)、板倉安正(滋賀大・教育)、中山純一(京工大・工学)、谷口伸一(滋賀大・経済)、沢田豊明・諏訪 浩(京大・防災研)、宮本邦明(砂防・地すべり技術センター)

3. 実験方法ならびに結果

(1) 空気中および静水中での衝撃実験 まず、最も基本的な実験として、空中に置かれた直径 6 cm、長さ 1.2 m の鋼管に、種々の大きさの鋼球を種々の速度で衝突させたところ、音響出力（振幅）は衝突粒子の運動量に比例することが確認された。また、円周方向のモードは衝突場所に依存しないが、軸方向のモードは衝突位置により、振幅がかなり異なることがわかった。半径方向のモードは、小さな球に対しては検出不能となり、不適当と判断された。そこで、パイプの端部に吸音材をつけて軸方向の振動を極力減衰させ、さらにバンドパスフィルターを通して円周方向のモードのみを抽出するのが有効であると判断される。

次に、空気中および静水中で、パイプならびにそれを支持している床面に衝撃を加えた時のマイクの出力を比較したところ、床面の材質ならびにパイプの支持状態によって波形とリワイ床面からの音の伝達が大きく変化することがわかった。パイプへの衝突音のみを検出するには、緩衝材を挿入して床面に固定する必要がある。緩衝材としては、スポンジのような多孔質の物質が効果的である。なお、水や空気を媒介して伝わる振動は、パイプの内部ではほとんど検出されなかった。

(2) 水流中での衝撃実験 次に、幅 15 cm、勾配 1/20 の水路床に、直径 3 cm、長さ 30 cm のパイプを横断方向に半分の高さまで埋めこみ、8 L/S の給水で球を投入し、図-1 に示すようなアナログ回路で処理された信号を、図-2 に示すフローチャートに従ってパーソナルコンピュータで定時間処理し、各衝突でのトリガー検出時から一定回数のサンプリング電圧の和を一定時間ごとに出力した。図-3 は、同一の球を 10 回ずつ反復して投下した時の出力値をプロットしたもので、大きな球はほぼ毎回検出されているが、球が小さくなるにつれて検出率が低下し、3 g 以下の球は 1 回も検出されなかった。また、同一の球に対して、検出されたデータにかなりのばらつきがあり、個々のデータから球径を特定することには無理がある。これは、速度をも含めて球の衝突のしかたにばらつきがあるためであろう。しかしながら、出力電圧の分布範囲と球重量との間には明確な相関があり、多くのデータの統計処理によって、粒径別の流砂量を求めることは、十分可能である。

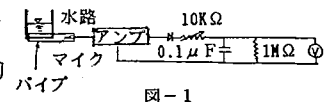


図-1

図-2 は、同一の球を 10 回ずつ反復して投下した時の出力値をプロットしたもので、大きな球はほぼ毎回検出されているが、球が小さくなるにつれて検出率が低下し、3 g 以下の球は 1 回も検出されなかった。また、同一の球に対して、検出されたデータにかなりのばらつきがあり、個々のデータから球径を特定することには無理がある。これは、速度をも含めて球の衝突のしかたにばらつきがあるためであろう。しかしながら、出力電圧の分布範囲と球重量との間には明確な相関があり、多くのデータの統計処理によって、粒径別の流砂量を求めることは、十分可能である。

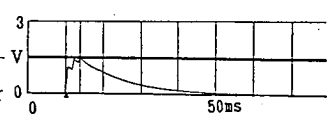
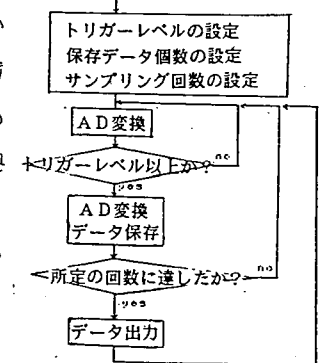


図-2



単一の球だけでなく、これらの球を同時に投入した場合にも、同一の処理法でそれらを識別できることも確認された。

4. 問題点

水理条件と給砂条件の組合せによっては、同一の球でもパイプへの衝突確率や振幅分布の変化することがあり、また、パイプによる堰上げや渦のため、球が停止あるいは堆積してしまうことがあった。したがって、本手法は、掃流形式で十分な土砂流送能力の確保できる場所に適用しなければならぬ。また、球の衝突による音響出力は運動量に比例するため、流砂量を検出するには、衝突確率を高めるとともに衝突速度の計測を併用するかまたはその制御を行う必要がある。

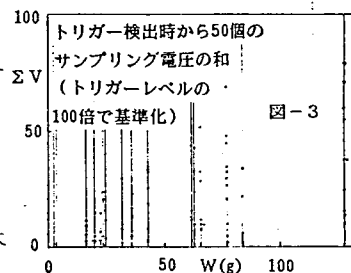


図-3