

II-141 河床に設置したパイプの音響出力による流砂量計測

京都大学防災研究所 正会員 澤井健二
 北陸地建立山砂防工事事務所 清野雅雄
 砂防・地すべり技術センター 鈴木 宏
 滋賀大学 経済学部 谷口伸一

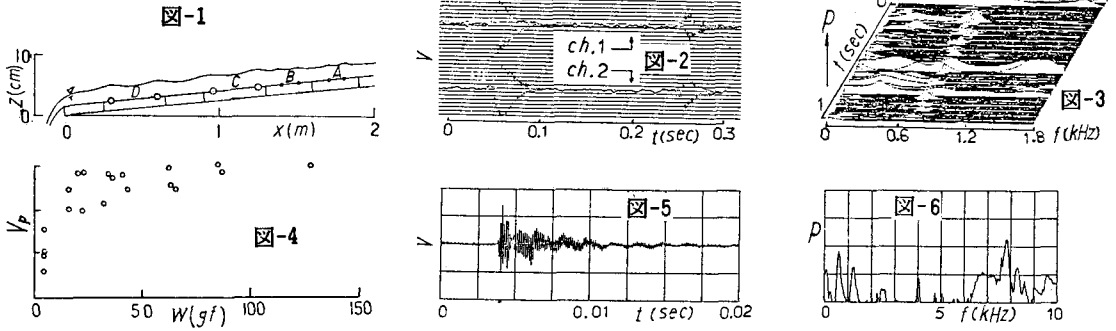
1. まえがき 流砂量計測には、従来、主として、ある断面をある時間に通過した流砂を捕捉して計量する方法や、断面内における流砂の濃度と流下速度を検出し、その積として流砂量を求める方法、あるいは、河床形状の時間変化を検出し、流下方向に積分する方法などが用いられている。最近ではさらに、画像解析技術の向上により、画像による粒子運動の追跡なども行われているが、河床形状から流砂量を求める方法以外は、いずれも実時間処理や自動化が難しく、流砂量計測に多大の労力を要するばかりでなく、詳細なデータを得るのが困難なことが多い。また、河床形状から流砂量を求める方法は、積分の始点における流砂量が既知でなければならないことや、粒度分布が求められないことなどの欠点を有する。近年、回転フルイや転倒マスを用いた自動流砂量計の開発が進められ、一部実用に供されているが、適用条件にかなりの制約があるようである¹⁾。とりわけ、巨礫の混在する山地溪流においては、従来の方法では流砂量を的確に把握することが難しく、新しい手法の開発が切望されている。

そのような事情に鑑み、昭和60年度より、流砂量測定手法検討委員会(建設省)が種々の流砂量計測法について検討を進める中で、河床にパイプを設置して、マイクロホンを埋め込み、流砂の発する音を検出することが考案された²⁾。それに基づき、著者が若干の実験と解析を行った結果、実用化の可能性のあることが推定されたので、ここに報告するものである。

2. 測定原理 砂礫が流下する際に特有の音を発することは、よく知られており、これを計測しようとした試みも古くからあるが、流砂の発する音と流砂量などとの対応が不明確なこと、周囲の雑音から流砂の発する音のみを抽出するのが困難なことなどから、実用には供されていないようである。これは、自然状態で流砂の発する音をいわば受動的に捉えようとしていたところに問題があり、何等かの手法によって能動的に流砂の発する音を制御することができれば、計測も容易になるものと期待される。パイプに流砂を当てて、その音を分析しようという発想は、そのような考えから生まれたものであり、パイプの形状、材質や、設置法、流砂の当て方そのものを制御することによって、他の音との識別を容易にするとともに、流砂量などとの対応度を高めることができるものと考えられる。また、音を採録するマイクロホンの性質や設置法、さらには録音法にも、流砂計測に適した工夫がなし得るものと考えられる。

流砂量測定手法検討委員会では、砂防ダムや床固めの天端あるいは流路工など、大礫が掃流形式で流下する固定床部を想定し、マイクロホンを埋め込んだパイプを河床の横断方向に設置して流砂の一部を衝突させ、収録した音を解析することによって、流砂量などを求めることが提案されている²⁾。現在のところ、物理現象から理論的に推定則を演繹することはできないが、多くの実験の積み重ねにより、経験則を得ることは可能であろう。雑音対策としては、パイプやマイクロホンをできるだけ周囲の音源から切り離し、流砂の衝突音のS/N比を上げることと、流砂の衝撃音の周波数領域や波形を、雑音と分離しやすいものにすることが考えられる。

半径 a 、長さ l の長い円筒閉管の円周方向の1次モードの固有周波数は $f_{10} = 0.298c/a$ 、半径方向の1次モードの固有周波数は $f_{01} = 0.61c/a$ 、軸方向の1次モードの固有周波数は $f_r = 3c/(4l)$ で表される³⁾。ここに、 c は管内の音速である。流砂による衝撃音は、衝撃の瞬間を除けば、これらの固有振動で特徴づけられるものと考えられる。一方、体積 V 、表面積 S の室内の残響エネルギー密度は、 $\varepsilon = \varepsilon_0 \exp(-13.6t/T)$ 、残響時間は $T = 0.16V/(\alpha S)$ と表される。ここに、 ε_0 は、初期音響エネルギー密度、 α



は平均吸音率である。この残響時間と流砂の衝突頻度をうまく組み合わせることによって、測定効率を高めることが可能となろう。 ϵ は、砂礫の衝突のしかたによっても異なるが、粒子の大きさと強い相関をもつことが期待される。さらに、衝突の態様によって、打撃時のスペクトル構造が異なることが考えられる。

3. 実験装置および方法 実験に用いた水路は、幅30.7cm、長さ12mの鋼製勾配可変水路で、下流部の約4cm区間に、厚さ3cmの木板を敷き、図-1に示すような片端にマイクを封入した8本の鋼管を下半分だけ埋め込み、まず、水だけを流して、録音した。次に、水を流しながら、直径1~4cmで重さが既知の礫を1個ずつ投入した。その後、さらに粒径1~4cmの混合礫を連続的に供給し、録音と同時に下流端で土砂を採取して、秤量した。パイプは2本1組となっており、上流から、A(外径1cm、厚さ1.5mm)、B(外径1cm、厚さ2mm)、C(外径3cm、厚さ2mm)、D(外径3cm、厚さ3mm)の4組となっている。管の全長は30cmで、内部の約25cmの部分が空洞になっている。各組のパイプの間隔は直径の10倍に設定した。マイクロホンは、直径5.6mm、長さ7mmのコンデンサタイプで、周波数特性は50~15000Hzである。記録には、周波数特性100~8000Hzのアナログカセットデータレコーダを用いた。

水理条件は、勾配1/30~1/15、流量10~20l/s、給砂量0~5kg/minの範囲で数通りの組合わせを設定した。

4. 実験結果 図-2は、パイプCの出力波形を電磁オシログラフで表示したもので、Ch.1が上流側、Ch.2が下流側のマイクによるものである。図-3は、0.01秒ごとのスペクトルの変化を1秒間にわたって表示したもので、水流のみの場合と、砂礫が衝突した時とで、明確な差異が現れている。すなわち、水流のみの場合には、卓越した周波数成分が存在しないが、礫が当たると、約700Hz付近に卓越周波数が現れる。

図-4は、礫の重さとピーク振幅値との関係を示したものである。小さな礫に対してはS/N比が小さく、ピークを判別するのが困難で、重さとピーク値の関係を求めることができないが、約15g以上の礫に対しては、礫の重さとピーク値との間にかなり明瞭な相関が認められる。

図-5,6は、データサンプリング間隔をさらに短くして、0.02秒間の波形変化とスペクトル分布を示したものであるが、8kHz付近に明確なスペクトルピークの現れているのが特徴的である。これは、ひとつの典型例であるが、同一の礫でもその当たり方によっては、異なった波形を呈することも確認された。

5. あとがき 以上のように、河床に設置したパイプの音響出力による流砂量計測は、精度や適用条件にかなりの制約があるものの、現地にも適用し得る簡易な流砂量計測法として、実用化の可能性の高いことが明らかにされた。今後、さらに詳細な検討を進めていきたいと考えている。なお、本研究を進めるに当たり、京都工芸繊維大学工芸学部小倉久直教授、滋賀大学教育学部板倉安正教授を初め、流砂量測定手法検討委員会関係各位、ならびに京都大学防災研究所芦田和男教授より、貴重なご助言とご援助をいただいた。記して謝意を表す。

参考文献 1) 澤井健二：流砂量測定器の試作研究，京大防災研年報，第29号B-2，pp.505-510，1986。

2) 北陸地建立山砂防工事事務所：昭和60年度流砂量測定手法検討業務報告書，1986。

3) 城戸健一：音響工学，コロナ社，1982。