

# 130 衝突音による粒径別流砂量測定法

摂南大学工学部 澤井健二

## 1. はじめに

著者ら<sup>1), 2)</sup>は、数年前から衝突音による流砂量測定法について研究を進め、衝突条件をうまく制御すれば、衝突音の振幅と礫径との間にかなりの相関があることを見出してきた。すなわち、平均的には、粒径の大きな礫ほど大きな衝突音を生じることが期待され、検出された衝突音の個数と平均振幅から、平均粒径と流砂量を推定することが、ある程度可能である。しかしながら、同じ粒径の礫に対して、衝突音の振幅は広く分布し、個々の衝突に関して言えば、かなり粒径の異なる礫に対しても、衝突音の振幅が逆転することがしばしば見られる。そのため、個々の衝突音の振幅に対応する粒径を求めて全体の粒径分布を推定することはできず、より適切な粒径分布の推定法が検討課題として残されてきた。

栗原・宮本<sup>3)</sup>は、その解決法として、各粒径階に対する衝突音の振幅確率分布行列を求め、測定された振幅の分布ベクトルにその逆行列を掛けることによって粒径別衝突個数ベクトルを推定する方法を提案している。

本報告は、栗原・宮本の方法の適用性を検討するとともに、さらにそれを拡張した新たな解析法を提案するものである。

## 2. 各粒径階に対する衝突音の振幅確率分布に関する実験

いずれにせよ、測定された振幅分布から粒径分布を推定するためには、個々の粒径の礫に対する衝突音の振幅確率分布が必要となる。そこで、前報<sup>2)</sup>の場合と同様に、水路の下流端に図-1に示すような金網と板を置き、板の裏側にマイクロホンをつけたパイプを取り付けて、流下する礫の衝突音を採録した。水路幅は20cm、水路勾配は1/11で、流量を10l/sに固定し、粒径を5, 10, 20, 40, 60mmの5種類に変化させて、それぞれ100個ずつ流したところ、図-2に示すような振幅分布が得られた。このように、粒径の異なる礫に対しては、明らかに異なった振幅分布が得られ、振幅分布から逆に粒径を推定できることが期待される。

そこで、衝突音の振幅を0~700~1400~2100~2800~3500mVの5段階に区分し、各粒径階に対する衝突音の振幅分布を確率分布表の形式で表したものが、表-1である。

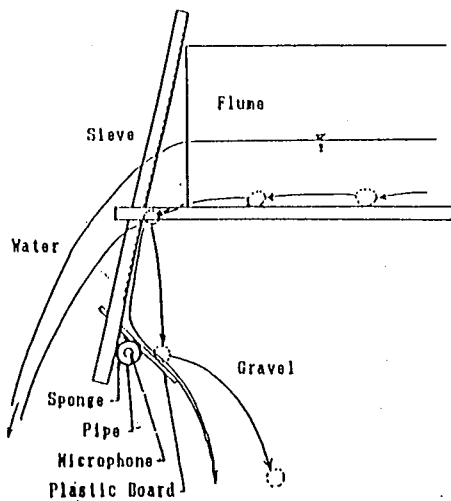


図-1

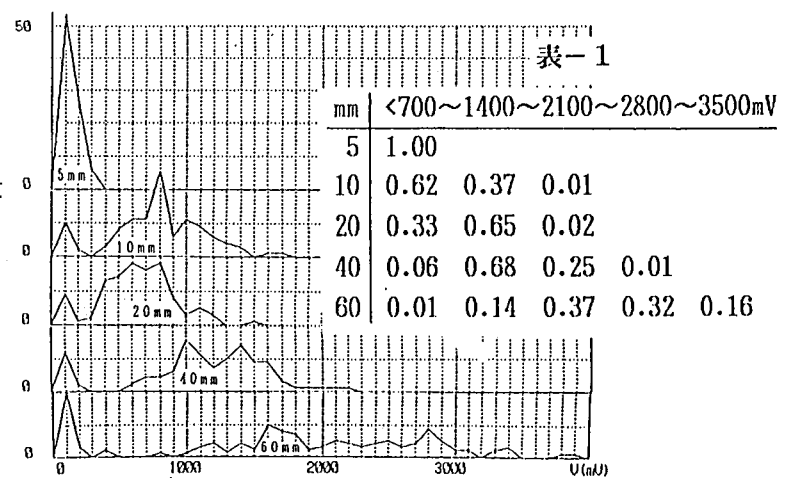


図-2

### 3. 測定された振幅分布からの粒径分布推定法

一般に、礫の粒径を $D_1 \sim D_n$ 、衝突音の振幅を $V_1 \sim V_m$ の階級に区分し、粒径階 $D_i$ の礫の衝突音が振幅階 $V_j$ に入る確率を $a_{ij}$ とすれば、各粒径階 $D_i$ の礫が $n_i$ 個ずつ衝突した場合、各振幅階 $V_j$ に入る衝突個数の期待値 $m_j$ は $\sum a_{ij} n_i$ となる。一方、実際に各振幅階 $V_j$ で検出された衝突音個数を $m'_j$ とすれば、そのような衝突音を発生させた源として、 $m_j$ と $m'_j$ の差ができるだけ小さくなるように、各粒径階 $D_i$ の礫個数 $n_i$ の組合せ $\{n_i\}$ を推定するのが妥当であろう。ただし、礫個数が負となるのは不合理であるから、 $n_i \geq 0$ の条件を加えることにする。

そこで、 $n_i \geq 0$ の条件のもとで、 $f = \sum (m'_j - \sum a_{ij} n_i)^2$ を最小にするような $\{n_i\}$ を求めるために、まず、 $n_1 \sim n_n$ の内の任意の $n'$ 個( $n' = 0 \sim n$ )を0とする条件のもとでそれぞれ最小2乗法を適用して $f$ の部分最小値を求め、さらにそれらの内で最小の $f$ を示す $\{n_i\}$ を求めることにした。

なお、 $m = n$ で $n_i \geq 0$ の条件を外した場合には、 $\{n_i\} = \{a_{ij}\}^{-1} \{m'_j\}$ となり、栗原・宮本の方法と一致する。

### 4. 適用例と今後の課題

上記の方法の妥当性を検討するために、先に求めた表-1の各列の確率に基づいて、100個の乱数を発生させることにより、衝突音個数列 $\{m'_j\}$ を模擬発生させ、まず、 $\{a_{ij}\}^{-1} \{m'_j\}$ で $\{n_i\}$ を求めたところ、いずれも負の要素が含まれ、不合理な結果となった。そこで、 $n_i \geq 0$ の条件を加えて、 $\sum n_i = \sum m'_j$ の条件付きで $f$ を最小にする粒径別礫個数列 $\{n_i\}$ を求め直したところ、次のような結果が得られた。

ケース1:	$\{m'_j\} = \{100, 0, 0, 0, 0\}$	$\rightarrow$	$\{n_i\} = \{100, 0, 0, 0, 0\}$
ケース2:	$\{m'_j\} = \{64, 35, 1, 0, 0\}$	$\rightarrow$	$\{n_i\} = \{6, 94, 0, 0, 0\}$
ケース3:	$\{m'_j\} = \{39, 56, 5, 0, 0\}$	$\rightarrow$	$\{n_i\} = \{15, 0, 71, 14, 0\}$
ケース4:	$\{m'_j\} = \{8, 67, 23, 2, 0\}$	$\rightarrow$	$\{n_i\} = \{0, 0, 8, 90, 2\}$
ケース5:	$\{m'_j\} = \{1, 17, 35, 32, 15\}$	$\rightarrow$	$\{n_i\} = \{0, 0, 2, 3, 95\}$

これらは、概ね予期した粒径階近傍に集中したものとなっており、この推定法の妥当性を示している。そこで次に、衝突音個数列に、ケース2とケース5を1倍ずつ重ね合わせたもの(ケース6)、ケース2を1倍とケース5を2倍重ね合わせたもの(ケース7)、ケース1~ケース5を1倍ずつ重ね合わせたもの(ケース8)を与え、粒径別礫個数列を求めたところ、次のような結果が得られた。

ケース6:	$\{m'_j\} = \{65, 52, 36, 32, 15\}$	$\rightarrow$	$\{n_i\} = \{0, 103, 0, 0, 97\}$
ケース7:	$\{m'_j\} = \{66, 69, 71, 64, 30\}$	$\rightarrow$	$\{n_i\} = \{0, 102, 0, 0, 198\}$
ケース8:	$\{m'_j\} = \{212, 175, 64, 34, 15\}$	$\rightarrow$	$\{n_i\} = \{158, 0, 149, 95, 108\}$

これらの場合も、概ね妥当な粒径階に妥当な頻度で $n_i$ が分布したが、ケース8の $n_2$ が0となり、 $n_1$ と $n_3$ に分散したのは問題である。これは、図-2に示した衝突音の振幅分布そのものにも原因があるが、それをどのように区分して確率分布行列を与えるかによっても解決できる可能性がある。

今後さらに、精度の向上とともに、実時間処理、適用範囲の拡大を図り、実用可したいと考えている。

### 参考文献

- 1) 流砂量測定手法研究会(澤井・小倉・板倉・中山・谷口・澤田・諏訪・宮本):可聴音による間接的流砂量測定法(パイプ法)の基礎実験,昭和63年度砂防学会研究発表会,1988.
- 2) 澤井健二・馮金亭:音響による流砂量計測実験,土木学会第43回年次学術講演会,1988.
- 3) 栗原淳一・宮本邦明:音響を利用した流砂量計測装置について,新砂防,Vol.44, No.5, 1992.