

## 超音波流速計による洪水観測

株式会社水文環境 正員 木下武雄

1. まえがき：超音波を利用した河川流速観測はこれまで各地で主として低水観測用として行われて来た。本報告ではこれを洪水観測に適用するための研究を、河川環境管理財団の助成によって行った。その経過と可能性を報告し、ご教示を仰ぐものである。

2. 原理：超音波を利用した河川流速観測は、次のような原理による。河川水の中で、兩岸にかつ流れに斜めに（角を  $\theta$  とする）に設置した 1 対の送受波器の間を超音波を伝搬させる。上流側から下流側への伝搬時間  $t_1$  は流れの速さを  $v$ 、音速を  $C$ 、送受波器間隔を  $L$  とすると

$$t_1 = L / (C + v \cos \theta)$$

となる。下流側から上流側への伝搬時間  $t_2$  は同様に、

$$t_2 = L / (C - v \cos \theta)$$

となる。両者の差  $\Delta t = t_2 - t_1 \div 2Lv \cos \theta / C^2$

であって、これから流速は  $v = \Delta t C^2 / (2L \cos \theta)$

という形で求められる。この他にも  $t_1$ 、 $t_2$  の逆数をとって差を求める逆時間差法によれば音速  $C$  が消去されるとか、シングア라운드法などがある。この方法の特徴は水平方向の平均流速が求まることである。

これらとは別にドップラーを利用した超音波流速計がある。一つは ADCP と呼ばれる方法で、鉛直線上の流速分布をドップラー法で求める方法、他は大気中より指向性マイクロホンで水面に音波を当てて反射波のドップラー周波数を測って表面流速を測る方法で、それらは本報告の対象とはしない。

3. 本研究以前の成果：超音波で河川の水平方向の平均流速を測り、それを上下方向に代表断面積を掛けた積の和によって流量を算出する方法は低水においてはほぼ成功していた。しかし低水でも、問題が発生した。そのうちの多くは水温の鉛直分布により、音の伝搬経路が曲げられて、音波が対岸へ届かないという例であった。水温の鉛直分布を測り音線の屈折を計算し、波形の乱れをオシロで目視した。すると水温差が発現すると、波形が乱れること、その時、器械がアラームを発し、欠測になるという過程がわかった。このことは低水つまり、流れの乱れの小さい状態では発生しても、高水つまり流れの乱れの大きい状態では、この種の欠測は発生しにくいと判断されるわけである。さらに、某河川では平成 10 年 9 月洪水で、約  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  まで低水用超音波流速計で測れ、HQ 曲線ともよく合ったという事実により、洪水観測への可能性が高まった。この場合、低水用であるため係数の設定が洪水のことを考慮していなかったため、 $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  に止ったのである。

4. 洪水観測への応用での問題：洪水でも音波が通る可能性があるが、問題は何か。①濁度（SS）、②気泡、③設置環境の 3 項が考えられる。それで、研究内容を 2 分し、一方は、現場に設置して継続観測して、これらの項目との遭遇の機会を把えて、判定を下すこととし、他方では、文献調査とともに室内実験により①、②の検証をすることとした。これまでの結果を、現地観測と、室内実験とに分けて示す。

5. 現地設置と観測結果：融雪洪水は必ず発生するという性質があるので、東京からの交通も考慮して、信濃川水系、魚野川の国土交通省の堀之内観測所を選んだ。 $L = 102.3 \text{ m}$ 、 $\theta = 45^\circ 50''$  である。豪雨出水 1999 年 10 月 28 日と、融雪出水 2000 年 1 月 14 日との観測結果を図 2 に示す。横軸は洪水開始からの時刻で、2 分ごとの測定なので、1000 とは 2000 分 = 33 時間 20 分を意味する。豪雨の方でみると、水位上昇期に濁度が急上昇し、濁度が  $180 \text{ mg/l}$  で、流速が欠測する。水位の下降期でもほぼ同様であるが、測定可能だった最

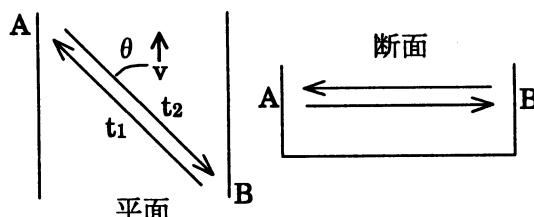


図 1 説明図

キーワード：水文観測、超音波、超音波流速計、洪水観測

連絡先：〒103-0005 東京都中央区日本橋久松町 10 番 6 号 FT ビル 2 階 株式会社 水文環境

TEL:03(3668)2171 FAX:03(3668)2174

大の濁度は  $200\text{mg/l}$  である。濁度が下がると流速は測れていて、水位最高の付近で流速  $2.35\text{m/s}$  が計測されている。融雪出水では濁度が  $80\text{mg/l}$  程度なので、継続的に測れている。水位最高の付近で最大流速  $1.90\text{m/s}$  が計測されている。測定可能率は測定回数／音波発射回数として、豪雨が  $86\%$ 、融雪が  $98\%$  であった。水位と流速との関係は図3のように、水位の低いところでは、マニング式のように曲がるが、水位が上がると直線的になる。これは超音波測線が一定の高さなので、水位が上がって行くと、鉛直流速分布上で相対的に速いところを測ることになるためであろう。流速と濁度との関係は図4のようになる。欠測は流速0とプロットした。流速が  $2.2\text{m/s}$  をこえるときは濁度が  $200\text{mg/l}$  となり、これ以上は欠測しているようである。比較のための流量観測は浮子を用いて、約  $400\text{m}$  下流の根小屋橋で実施した。その比較は図5の通りである。

6. 気泡の影響：気泡の影響については主として室内実験に拠った。現地観測の所見を述べると、送受波器の支柱より水面が低い状態では支柱周辺には乱れによる気泡が発生するが、水面が高くなり支柱が水没すると支柱周辺での気泡の発生は大幅に減小する。それで、支柱の形状を考慮し、必要以上に長くしないことが重要な条件の一つである。また一般的に河川水中は目視によれば気泡は少く、あってもすぐ水面上へ逸散するので、器深が深くなれば安全と思われる。普通は送受波器と水面約  $0.3\sim 0.5\text{m}$  でも測定できている。室内実験の結果は図に示す通りで気泡による減衰量は可成り大きいが、実用的にはあまり問題ないようである。

7. 今後の課題：濁度については注意を要する結果となった。気泡については機器の設置環境などを考えてある程度の解決はできる。今後、送受波器の形状の改良（超音波ビームをしぼって強くする）、出力の増加、あるいは濁度にあわせた測線長を選ぶなどの方法が考えられ、洪水観測への道が拓かれた。

8. 謝辞：本研究は河川環境管理財団の助成研究として行った。これに係わった委員会委員とともに感謝する次第である。観測に際し便宜を供与された国土交通省にも厚くお礼を述べる。

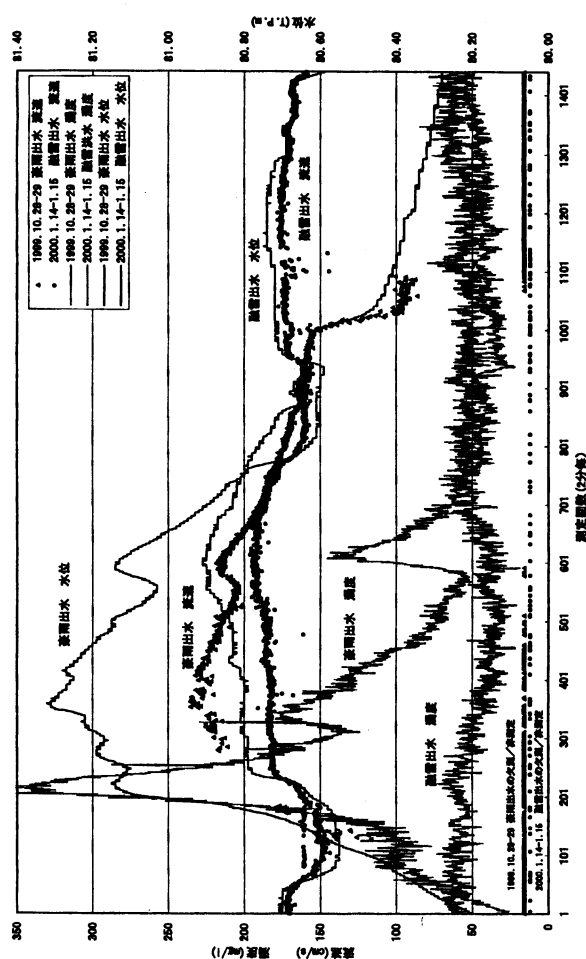


図2 O型測流計の豪雨出水と融雪出水での実測観測の状況図

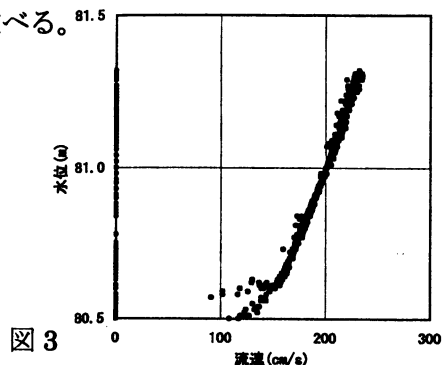


図3

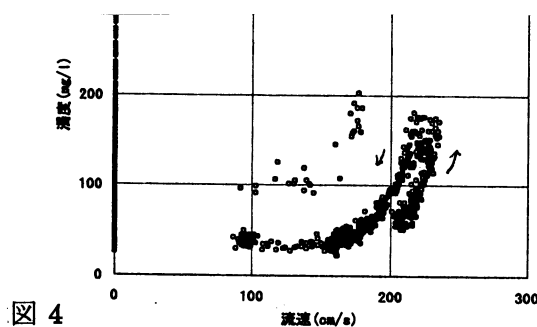


図4

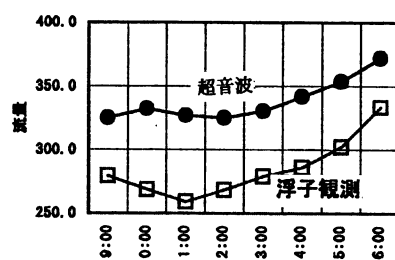


図5 流量比較