

超音波流速計の洪水観測への応用

THE APPLICATION OF THE ULTRASONIC FLOW VELOCIMETER FOR FLOOD MEASUREMENT

木下武雄¹・渡辺一夫²

¹ 正会員 理博 株式会社水文環境 木下武雄 (〒103-0005 東京都中央区日本橋久松町10番6号)

² 株式会社水文環境 技術部 渡辺一夫 (〒103-0005 東京都中央区日本橋久松町10番6号)

We discuss the performance of the ultrasonic flow velocimeter in flood by field observation in Uono River, Central Japan. In effect, the ultrasonic flow velocimeter yielded stable measurement results for velocity less than 2.5m/s. We found that the lack of records were caused by impulsive noise resulted from bubble. And we also found that impulsive noises prevented detecting acoustic signals, even if the acoustic signal was transmitted. In order to apply the ultrasonic flow velocimeter to flood measurement, it is effective to reduce the influence of noise.

Key Words : Ultrasonic flow velocimeter, flood measurement, bubble, impulsive noise

1. 目的

超音波による流速観測は河川の横断方向の平均流速を連続して自動観測できるメリットを持ち注目されている。その原理は、河川水の中で、兩岸に設置した1対の送受波器の間で、流れに対して斜めに超音波を伝搬させる。この時上流側から下流側への伝搬は流れに乗る形になり、下流側から上流側への伝搬は流れに逆らう形になるため、伝搬時間に差が生じる。それを電子回路で検出して流速に換算するものである。

超音波による流量観測はこれま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、現地実験を通して洪水観測の可能性および、問題点を検討することを目的として、河川環境管理財団の助成を受けて行った。

2. 実験の概要

超音波流速計の設置場所は、融雪洪水および、豪雨洪水が観測できる信濃川水系魚野川の堀之内水位観測所を選定した。1対の送受波器間の距離(測線長)は102.3mである。設置したのは2種類(沖電気工業(株)製、100kHzおよび、(株)拓和が代理店である独 OTT 社製 AFFRA、200kHz)の超音波流速計である。また、水位データは、国土交通省堀之内水位観測所の水位計(水晶式水位計)よりデータを借用した。超音波の伝搬に影響する懸念があるSS(浮遊物質)、水中雑音、水温の計測のために、濁度計、水中ハイドロフォン、水温計を設置した。またオシログラフを設置して波形データの収集も行った。

観測期間としては、平成11年3月より、平成13年5月まで2年2ヶ月に渡り行った。

3. 観測結果

(1) 豪雨洪水

豪雨洪水については、約 2 年間の観測期間において全般的にみると、ほぼ流速 2.5m/s までは、安定して計測できている。

例として、平成 11 年 10 月 28 日と 11 月 2 日の洪水の観測結果を図 1 に示す。図 1 中の水位 80.2 m 以下には超音波流速データはプロットされていないが、これは洪水観測が目的のため送受波器の設置高を水位 80.2m に設定しているためである。10 月 28 日の洪水の水位上昇期に部分的に欠測が見られたがそれ以外は概ね良好に観測されている。流速は最大 2.35m/s が計測されている。

観測状況と、SS 値との関係を検討してみる。10 月 28 日の洪水では水位上昇期に SS 値が急上昇し最大で 360mg/l まで達した。SS 値が 180mg/l を越えると、流速が欠測している。水位の下降期は、濁度が 210mg/l 以下になると観測が再開されている。11 月 2 日の洪水では SS の最大値は 230mg/l であり、概ね欠測せずに測定できている。また、測定可能だった最大の SS 値は 220mg/l である。豪雨洪水においては、水位上昇期の急激な SS 値の上昇がある場合欠測が生じるが、それ以外は観測が可能である。ただし、後に述べるように、この時の欠測は、気泡の影響を受けている可能性もある。

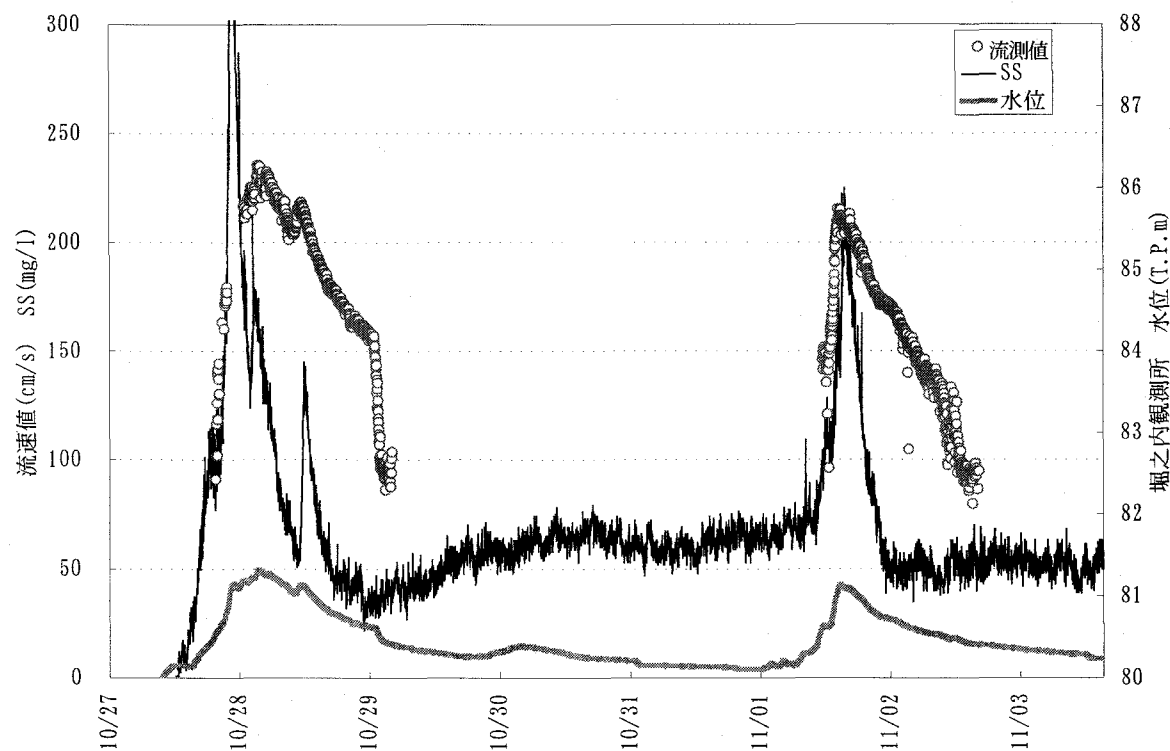


図 1 平成 11 年 10 月 28 日と 11 月 2 日の洪水の観測結果

(2) 融雪洪水

融雪洪水については、約 2 年間の観測期間において全般的にみると、ほぼ流速 2.5m/s までは、安定して計測できている。これまでに計測された最大流速は 2.9m/s であった（平成 13 年 4 月 12 日）。

例として、平成 13 年 4 月 10 日から 4 月 16 日までの融雪洪水時の観測結果を図 2 に示す。概ね良好に観測され

ているが、流速が 2.5m/s を超えた場合の水位上昇期に欠測が生じている。ただし、水位下降期には観測できている。

SS 値は、150mg/l 程度であり、豪雨洪水と比較すると小さく、SS 値が欠測の原因とは考えられない。

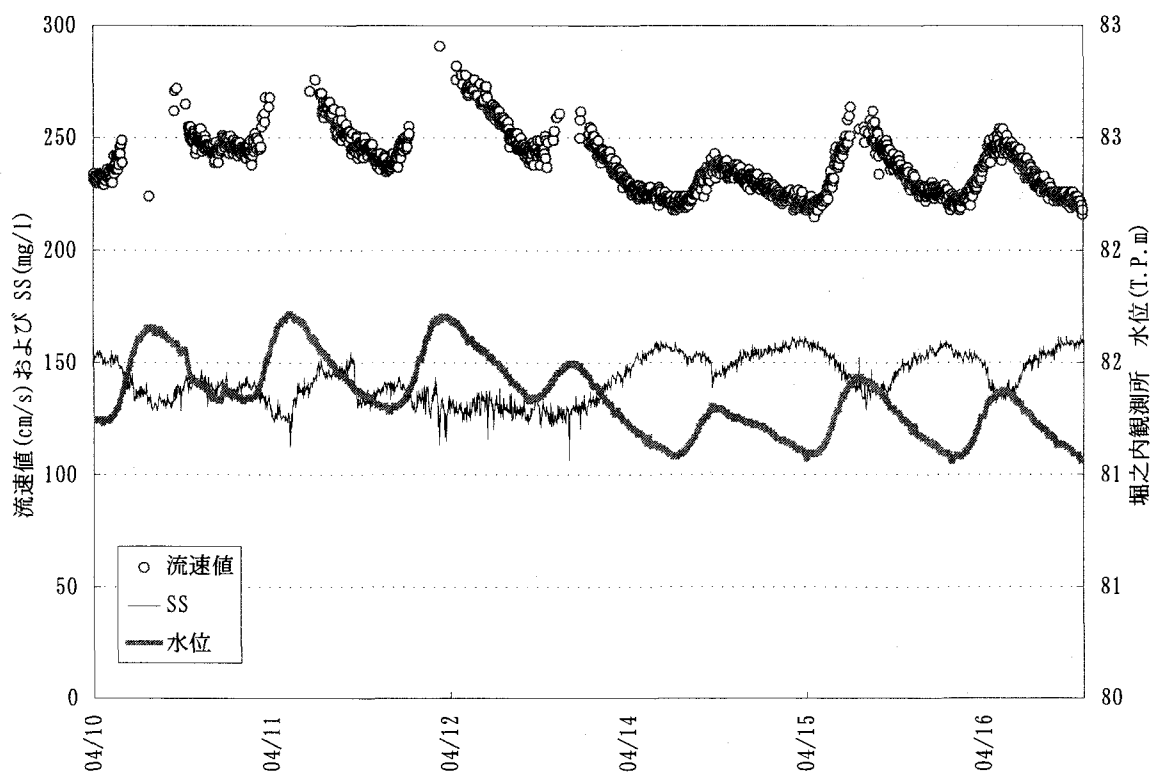


図2 平成13年4月10日から4月16日までの融雪洪水の観測結果

4. 考察

(1) 気泡の影響

観測結果は概ね良好であったが、欠測した場合もあった。その理由と対策について考察する。超音波の伝搬の障害要因にはSSと気泡が考えられるが、豪雨洪水においてはSSの影響は大きいと考えられる。しかし、図にも見られるように融雪洪水時はSS値は低いので、欠測の原因として、気泡の影響が疑われる。

図3は、図2と同じ期間（融雪洪水）の超音波流速と、水温を示すグラフである。融雪洪水時は、日中は気温上昇により融雪が促進され、夜間は融雪が停滞するため、日周期で水位、流量が変化する。図3に見られるように、水温に関しても、日周期の変動をしている。超音波流速が欠測し始めるのは、水温のピーク付近であることがわかる。また、逆に観測が再開されるのは、水温が低い時である（図中の点線の矢印の部分）。

水位上昇期に欠測が生じ、水位下降期には観測可能である理由は、水位や流速といった流れの状態に起因して

いるというよりむしろ、水温の変化に伴う気泡の発生量の違いによるものである。すなわち、水温が高くなると気泡の発生が増加して、超音波の減衰が生じて欠測の原因になる。これは、気体の体積弾性率が液体のそれに比べて、4桁も小さいため、音圧によって気泡が激しく収縮、膨張の振動をするからであって、音波は散乱され、音波のエネルギーの一部は気泡によって消散するからである。

本調査では、気泡が音波伝搬に与える影響を把握するため、気泡を水槽中に発生させて気泡量を変化させる室内実験を行い、伝搬信号の減衰について検討した。その結果、気泡量と減衰の関係は、気泡の体積比が、 3.5×10^{-6} 、 5×10^{-6} 、 9.3×10^{-6} 、（これらは実験で発生させた気泡の体積比）に対して、減衰率は、それぞれほぼ、8dB/m、15dB/m、45dB/mとなった。おおむね40dB以上の減衰が起こると信号の検出が難しくなるので、気泡の発生量が体積比 8.3×10^{-6} 程度になった時が、気泡が発生している場合の計測限界と考えられる。今回の観測では送受波器は左岸側が水位観測井の基部に、右岸側はH鋼で河道内に設置しているため気泡が出やすい環境であった。

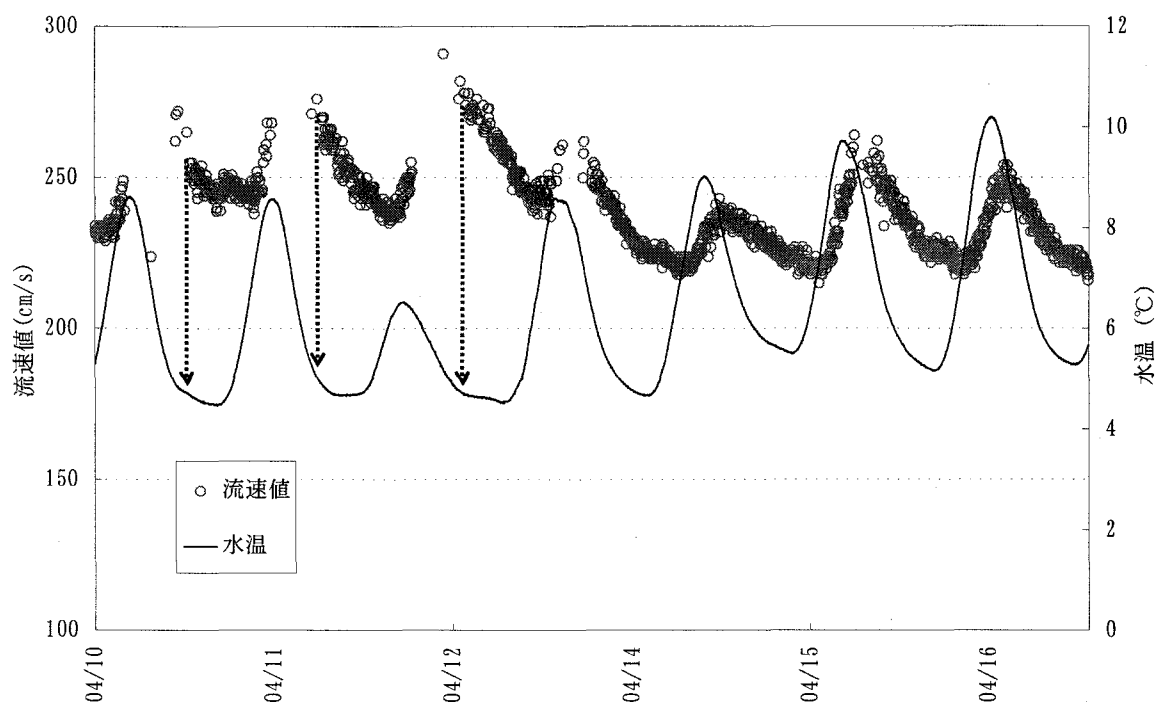


図3 平成13年4月10日から4月16日までの融雪洪水時の超音波流速と水温

(2) 気泡による雑音

融雪洪水時に欠測している時、オシロスコープにより音波が伝搬しているか否かを確認すると、音波は十分に伝搬していることがわかった。また、欠測時には雑音のレベルが明らかに高くなっていることがわかった。

気泡による雑音については、森ら¹⁾によると気泡が水面を離れるときに音が発生し、その音は気泡の共振周波数に依存するとしている。春日²⁾は水槽内で気泡を発生させた際の背景雑音の周波数分析を行った結果、10数kHzの卓越周波数成分を観測しており、理論計算から半径2.5cm $\times 10^{-2}$ 程度の気泡により発生する音であるとしている。し

たがって、欠測が発生するのは、気泡により音波が減衰することもあるが、音波は伝搬しても気泡の破裂等によるノイズ（水中雑音）レベルが高くなって、受波した音波を信号として検出できないという要因も考えられる。

図4は、平成13年4月17日の流速欠測時の音波の波形である。

つまり、閾値を越えたノイズが信号の到達以前に発生し、誤った伝搬時間を求めてしまい、その結果流速値が異常値になってしまい、許容範囲を超えて欠測になってしまうのである。

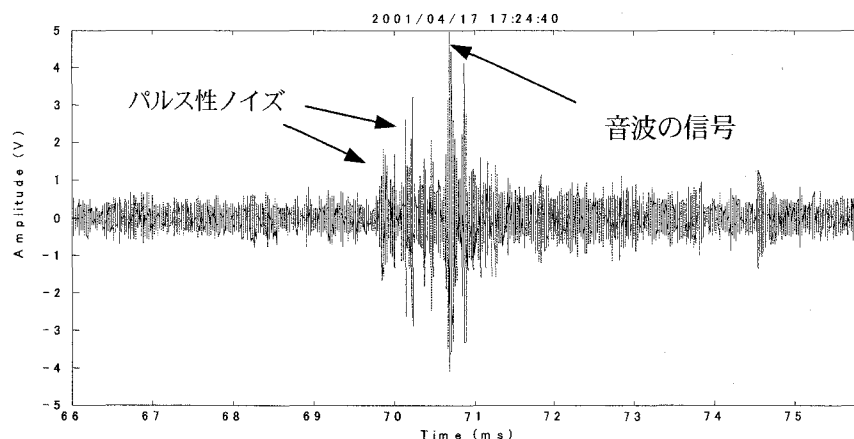


図4 流速欠測時の音波伝搬データ

図5に平成13年4月17日の16時50分から17時20分までの欠測時の受波波形を示す。この時は、流速値は検出がされていないが、受波波形の信号部に減衰はほとんどなく、信号を受信できている。

上部の黒線が下流送受波器の受波波形で、下部が上流送受波器の受波波形である。また、若干色の濃くなっている箇所については、全てノイズ（水中雑音）である。

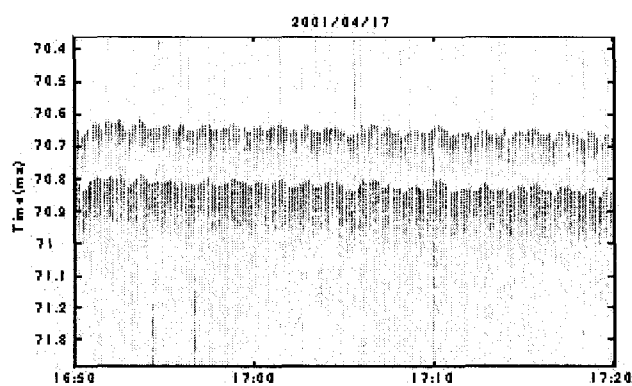


図5 上下流受波時間差の時間変化
(濃淡は受波電圧を示す)

(3) 気泡の対策

気泡は、河川中に自然に発生するものと、設置杭の付近に発生するものの、2種類がある。気泡により超音波が減衰し、欠測の原因となる。したがって、事前に気泡の発生量のある程度把握するとともに、送受波器設置に際し気泡を出さないように、以下の様な注意をすればよい。①護岸がある場合、送受波器を護岸に埋め込むような形で設置する。②送受波器を設置する杭は、送受波器から上部はできるだけ短くする。③橋脚や水位観測井等の波や渦を作る構造物の付近を避ける。④やむを得ず気泡が発生してしまう場合、気泡が発生しにくいようなカバーを設置する。

また、雑音の影響を除去することは、超音波流速計機器の信号処理方法に改良（送波と受波の波形相関をとる等）を加えることで改善できるものと考えられる。

5. まとめ

本研究では、現地実験を通して超音波流速計の洪水観測の可能性および、問題点を検討した。その結果、部分的に欠測はあるものの、2.5m/sまでの流速であれば安定して計測できることがわかった。また、音波が受波されているにもかかわらず、ノイズ（水中雑音）が障害となり信号として検出されず、欠測となる場合があることがわかった。この原因には気泡の破裂などによるノイズが考えられるが、なお検討を要する。雑音の影響を除去することは、一つには、気泡を発生させないような送受波器の設置方法を取ることで、超音波流速計機器の信号処理方法に改良（送波と受波の波形相関をとる等）を加えることで改善できるものと考えられる。

6. 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。河川環境管理財団および委員会の委員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。

参考文献

- 1) 森康夫, 水上雅人, 武士侯健: 剛球または水滴の水面への落下および水流により発生する音の研究, 日本機械学会論文集 (B編), No. 86-0335A, pp984-902, Mar. 1987.
- 2) 春日健太郎, 超音波による洪水時河川流量計測の定量的検討, 平成14年度千葉大学修士論文, 2003.

(2003. 4. 11受付)