

東工大精研 正員 奥島基良, 国立防災センター 正員 木下武雄, 東大海洋研 寺本俊彦

建設省土木研究所において昭和39年頃から超音波による河川流速測定方法の開発が着手された。超音波流速計は現在全国数か所に設置されているが、それらの稼働状況は必ずしも満足できる状態ではないようである。そこで著者らは、数年来その原因の究明のために河川の水槽と超音波伝搬特性との関係を調査し、また装置の改善を行い、最近ようやく十分実用に耐え得るという見通しを得たのでここに報告する。

1. 超音波流速測定装置の原理

逆時間差法を採用している。この方法は、時間差法に比べ音速値の補正を必要としない点で優れている。

ℓ : (T_1-T_2) 間の距離、及び (T_2-T_3) 間の距離。 d : (T_1-T_3) 間の距離。
 θ : 流軸と (T_1-T_3) 、及び (T_2-T_3) となす角。

$T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$ の順に超音波パルスを送信させたときの伝搬時間を t 、次に逆方向 $T_3 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$ の順に伝搬させたときの伝搬時間を t' とすると、

$$\frac{1}{t} - \frac{1}{t'} = \frac{c+V\cos\theta}{2\ell} - \frac{c-V\cos\theta}{2\ell} = \frac{V}{\ell} \cos\theta = \frac{d}{2\ell^2} V \quad \text{となり、}$$

$$V = \frac{2\ell^2}{d} \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{t'} \right) \dots\dots (1) \quad \text{として流速 } V \text{ が求められる。}$$

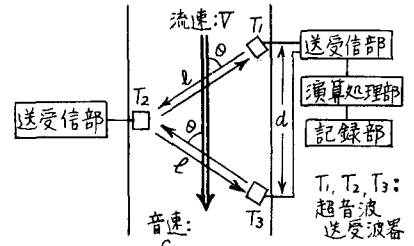


図1. 流速測定装置ブロック図

2. 河川における音線の屈折(昭45,25回本会 II-104参照)

感潮河川では従来設置された装置が、夏季は日照時に、冬季は深夜に欠測となることがしばしば経験された。これは水面近くが加熱または冷却されても、流速が小さいために上下の混合が進行せず、深度方向に温度成層が生じ音速勾配をもつため、音線が屈折することによると考えられる。図2は、北利根川における河川横断面の水温

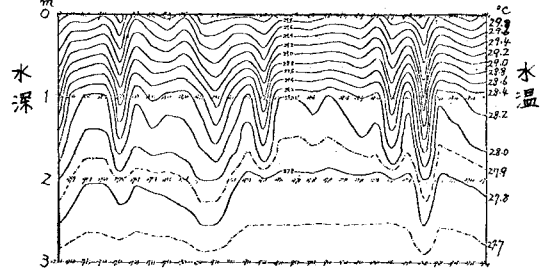


図2. 北利根川(八代)水温横断面(夏季18時20分)

分布の夏季測定例で、図3上は夏季における音線の計算例である。この場合には、直接波は受波器に到達できないことを示しており、水底反射波等が受信される結果、欠測になると推定された。

冬季には、夜間に表面水温が4℃以下になることが観測されており、その場合の音線の計算例を図3下を示す。この場合には直接波は到達できるが、水面反射波の方が伝搬時間が小さい場合があり、多経路の伝搬波の干渉により欠測になると推定された。

このような多経路伝搬波の干渉を避けるために、極めて短い超音波パルスを送受波する装置(モ1パルス方式)を開発した。

3. 河川における流速・流向の変動

超音波流速計で時々刻々の超音波伝搬時間を測定すると、かなりの時間変動が観測される。この原因には、流速流向の変動と音速変動の両者が考えられる。図4は、流速変動の状況を知るために行った木曽川におけるプライス流速計による観測例で、3分程度の平均を行ってもまだ変動が残っている。

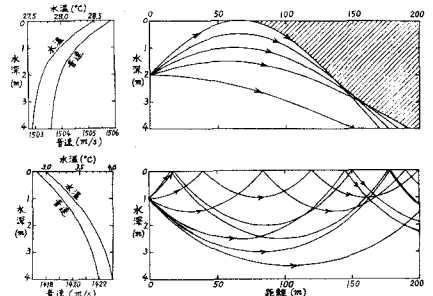


図3. 音線の計算図(上:夏季, 下:冬季)

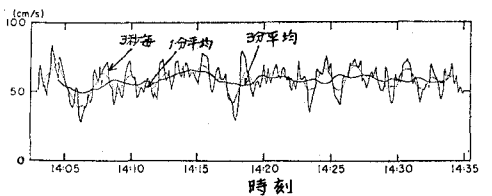


図4. プライス流速計による定点流観(木曽川笠松 49.9.12)

また、北利根川八代において河川横断方向に6個の観測点をほぼ等間隔にとり、各観測点で流速の水深方向の分布を5分間隔で測定した。各点での流速変動はかなり大きかったが、15回の測定値の平均の更に6観測点についての平均をとるとスムーズな水深方向流速分布が得られ、古来いわれてきたように、水面から6割の深度での流速が、全深度についての平均流速にほぼ一致することが確認された。

超音波流速計の場合には、流速の河道方向成分は横断方向で平均されるので、河道方向流速成分の変動による誤差はかなり小さいと考えられる。これに対し、流速の河川横断方向の速度成分の変動は、流速測定値にかなり大きい誤差を与えることが測定原理上考えられる。図5は超音波流速計による測定例で、①は20秒間の10回の測定値の平均値、②は更に約3分間の平均を行ったもので、流速変動を消去するためには3分以上の時間にわたる平均が必要であることを示している。

4. 音速変動と音速変動誤差消去方法

図5における測定時間中には流速変化がほとんどないと考えられる状況であったが、②の測定値は時間とともに流速が増大しているように示されている。この誤差が生じる原因として音速変動が考えられた。そこで次のような音速変動消去法を考案した。この方法では、1回目($T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$) (平均音速 c)、2回目($T_3 \rightarrow T_2 \rightarrow T_1$) (平均音速 c')、3回目($T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$) (平均音速 c'') の測定を一定時間間隔で順次行い、次式で計算する。

$$\frac{1}{2} \frac{2\ell^2}{a} \left\{ \left(\frac{1}{c} - \frac{1}{c'} \right) + \left(\frac{1}{c'} - \frac{1}{c''} \right) \right\} = V + \frac{\ell}{2a} (c - 2c' + c'') \dots (2)$$

このようにすれば、音速変化が時間に比例する場合には $(c - 2c' + c'') = 0$ となり、(2)式を用いれば音速変化による誤差が消去できることになる。

この方法による流速算出例を図5の③と④に示す。③は約40秒平均値、④は約3分間平均値で、この音速変動消去方法が極めて有効であることが確認された。

音速変動は、音速の異なる水塊が流れてくれば生じるはずであり、降雨直後、塩分の侵入があるとき、水温分布の変化が大きいつきに、音速変動の大きいことが超音波の伝搬時間の測定により確認された。

5. 改良された装置による流速測定例

以上の検討に基づきモノパルス方式を用い音速変動消去方法を採用した実験装置を製作した。この超音波式流速測定装置による測定値をプライス流速計による測定値と比較するための実験を、本曾川笠松、北利根川八代、利根川河口堰付近などで行った。

図6は、利根川河口堰の上流約300mの地点での測定例で、プライス流速計は4地点に設置した。4地点

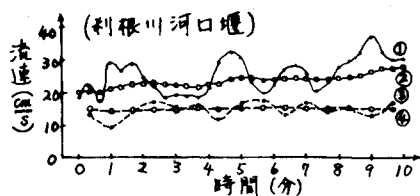


図5. 流速測定における音速変動と流速変動

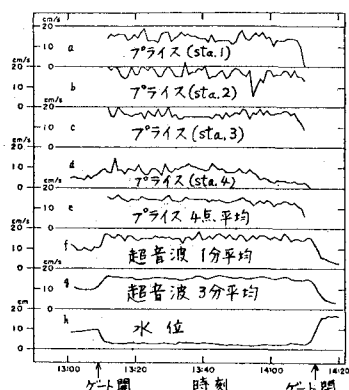


図6. 流速測定結果の比較

(利根川河口堰 300m上流)
49.11.19

のプライス流速計による測定値の平均値と超音波式による測定値とはよく一致した。また、河口堰の開閉による水位変化と流速変化との間に高い相関があることも示された。

以上の実験により、本改良方式による装置が十分実用にたええると判断されたので実用化装置を製作した。本装置は、現在霞ヶ浦工事事務所日川観測所(常陸利根川)で稼働しており、自動計測が行われている。

6. おわりに

河川用超音波流速計の実用化のために、河川の環境状況の調査を行い、測定方式及び装置の改良を行った結果、ほぼ満足できる装置が製作された。主な改良点は、モノパルス方式と音速変動消去方法を導入したことであり、流速値の演算回路をデジタル化することにより動作が安定した。

本研究に使用した装置は沖電気工業(株)システム推進部で製作されたもので、測定にも多大の労力をわすらわした。終りに臨み、実験に際して懇切に便宜をはかっていただき、また多大の御協力をいただいた建設省関係各位に感謝いたします。

1)建設省:超音波流量計の現状に関する調査報告,土研資料1056号