

II-103 超音波による河川流速測定の実用化

建設省土木研究所 正員 木下 武雄

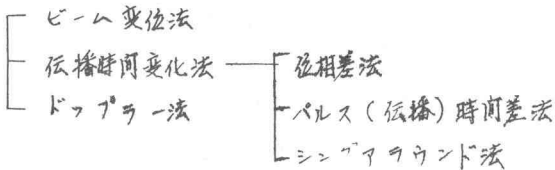
まえがき、土木研究所では昭和39年より超音波による河川流速測定方法の開発に着手した。

在来からの河川の流速測定の方法は点で流速を測り流速値に、それが代表する断面積を掛けて合計したものを流量としているが、測定には問題が多い。たとえば非常に乱れた流れについての測定の代表性とか測定時間がかかるのでその間に条件が変化して行くとか、超音波は河川の水中を通過するもので、以下に述べるような著しい長所がある。実際の河川にとりつけ在来の方法と比較しよい結果をえた。この時、実用上の問題点が色々わかったので今回この結果をまとめて発表し、学会各位のご批判とご教示を仰ぐ次第である。

1. 超音波とは

超音波とは音波のうちで、人へん周波数が高く、人の耳には聞こえないものである。河川流速測定用に使されたものは100~200 KHzである。水中を伝わる速さは水温、塩分、水圧などによって変化するが凡々1400 m/secである。

超音波による河川流速測定方法は次のように分類される。



我々はパルス時間差法とシングア라운드法とが実用化への最短ルートと考えたがらこの二つを上げた。他の方法が利用不可能というわけではない。しかし本報告で行なう問題点は他の方法にも共通した面が多い。

2. 関係式

原理は、超音波が流れの向きに伝播するときと逆の向きに伝播するときでは到達時間がちがうのを利用して流速を測る。このちがいを検出するのに直接的に時間を測るのがパルス時間差法で、くり返し周波数にして測るのがシングア라운드法である。

超音波の送受波器 T_1, T_2 は図のように河川の兩岸に斜めに向かい合っておりつける。 T_1 から T_2 へ超音波パルスを発射する。その伝播時間 t_{12} は

$$t_{12} = \frac{L}{C + v \cos \theta}$$

逆に T_2 から T_1 への伝播時間 t_{21} は

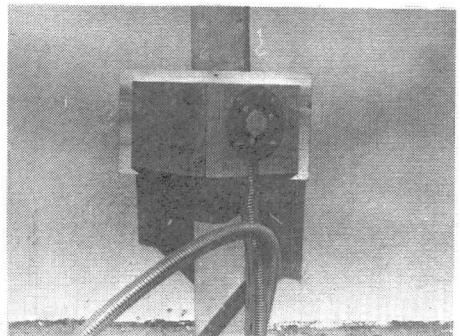
$$t_{21} = \frac{L}{C - v \cos \theta}$$

両者の差 Δt は

$$\Delta t = t_{21} - t_{12} = \frac{2Lv \cos \theta}{C^2 - v^2 \cos^2 \theta} = \frac{2Lv \cos \theta}{C^2}$$

この Δt を検出し、別途 C を測っておけば、

$$v = \frac{C^2 \Delta t}{2L \cos \theta}$$



として流速が求められる。これがパルス時間差法である。

シングアイラウンド法では、 T_1 から右へ超音波が伝わり、右から電気信号が出て制御部へ伝わり直ちに制御部は次の超音波を出せと T_1 に命令するというサイクルをくり返す方式である。順流、逆流のシングアイラウンド通過数は

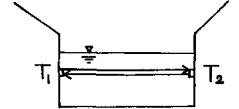
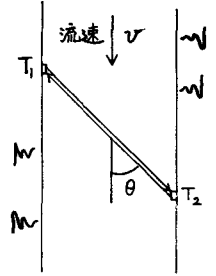
$$f_{12} = \frac{1}{T_{12}} = \frac{C + V \cos \theta}{L}, \quad f_{21} = \frac{1}{T_{21}} = \frac{C - V \cos \theta}{L}$$

両者の差 Δf は

$$\Delta f = f_{12} - f_{21} = \frac{2V \cos \theta}{L}$$

$$V = \frac{\Delta f \cdot L}{2 \cos \theta}$$

として流速が求められる。



3 長所

- 1) 流速の水平方向の平均値が自動的に求められる。河川流速の鉛直方向の分布についてはこれまで多くの論文が発表されているが、水平方向の流速分布については皆目わからない。そのため在来法で流速に代表断面積を掛けると言ってもどこまでが代表断面となりうるかが全くわからなかった。しかし超音波による方法ではそれがすべて平均されたものとして与えられるわけでこれは本質的な長所と言ってよい。
- 2) 水平線上の平均流速が測られるのだから、それを上下方向に積分すれば流量は容易に求められる。
- 3) 自動化、省カ化、これは将来のテレメーターや電算機と連動させて、水管理の合理化に寄与するところ大である。
- 4) 実用上、十分な精度で在来からの流速測定法と合う。在来法に合えばよいとは言えないが、ある程度の平均化された値としての在来法と、ほとんどの瞬時値と思われる本法と比べると、大局的によく合う。超音波法では河川流速の微細な変動をよく表現している。

4 問題点

長所はこのように大きい。実用化に対する問題点も多い。短所には河川自身に由来するものも多い。これを明らかにして行くことは、今まで知られてなかった河川の性質を明らかにして行くことでそのうちの主なものをここに述べよう。

1) 温度勾配

夏の昼下り、また冬に雪の降った日に測定が乱れたことがあった。各種の原因を追求した結果これは表層付近にできる鉛直温度勾配が、超音波の伝播路を曲げるためということが結論づけられた。波は伝播速度のちがう媒質の中では屈折されるので、波を使用する限り避けがたい短所である。

我々が観測したのは北利根川、八代で夏の13時15時ごろ、鉛直温度勾配は最大で2℃/mに及ぶ。温度勾配による障害は川幅、水深などとも関係すると思われる。その場合の使用限界などについては東工大奥島基良らの研究によって量的に明らかになった。

測定の乱れは江戸川野田で冬の雪の激しく降る日にもあった。これについては正確な検討はなされていないが1cmの降雪があれば80 cal/gの融解熱のために80cmの水の層が1℃の温度低下をおこすことになる。勿論、伝導、対流でこの通りにはならないだろうが、十分考えうるオーダーである。

2) 伝播中の減衰

水中を伝播する超音波の減衰には次のようなものがある。(A)幾何的減衰 (B)散乱による減衰 (C)吸収による減衰

(B)散乱による減衰は水中の浮遊物の大きさ、数、音響インピーダンス、超音波の減衰に関係し、一定、理論値も発表されている。河川における問題点はこれらが単独で減衰に作用するよりも洪水時にはこれ等の雑音と共に測定に悪影響を与える。

3) 河川の雑音(ノイズ)

河川のノイズには(A)水自身が発するもの(B)浮遊、掃流土砂が発するもの、(C)気泡が発するもの(D)外部からのノイズ、(E)それらの残響などがある。

これらの中で最も妨げになるものは使用している超音波と同波数の似ているもの、パルス性のものである。

発射している信号が超音波パルスなので、パルス性のノイズだと、受信器がノイズを信号と誤認してしまうからである。このようなノイズはノイズレベルとしては低くても影響は大きい。

図は富士川、清水端で測定した結果で、横軸が水位にとってある。水位上昇と共に受信信号が低下するのは浮遊土砂の増加による散乱減衰で、他方、ノイズは水位とともに急速に増している。この場合流水に對向している受信器と流水に並

て向いている受信器ではノイズがちがうので、受信器に水が当たったためのノイズと考えられる。

河川のノイズは河川が乱流になって失って行くエネルギーの一つの指標となるものであるから、その性質を解析することによって、逆に流水の機構をつかめるかも知れない。

5. おわりに

位相差法やドップラー法による長所短所もあげて検討する必要があったが、紙面の都合で省略する。超音波を用いて河川流速が測れることはすでに明らかになったので、実用化への問題点を中心にまとめた。

参考文献

- 1) 木下 武雄、超音波による河川流量の測定、土木技術資料 Vol. 10 No. 6
- 2) 建設省河川局河川計画課、超音波河川流量測定装置の実用化について

