

図-12

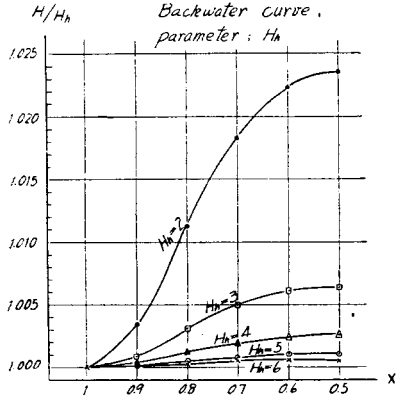
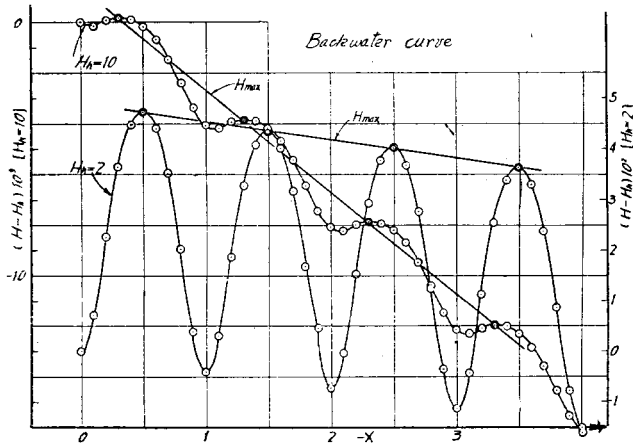


図-13



次に波形が上流側に進むにつれての変化を $H_h = 10, 2$ の場合について計算値を plot したのが図-13である。

なお各区間の H_{max} は上流側に直線的に減少する。

1) の場合と同様近似的考察が許されるならば次の条件式が得られる。

$$H_{max} - H_h < \frac{\alpha F_0^2}{2 H_h^3}, \quad H_{max} \propto F_0^2$$

$$H_{max} \propto K_2$$

本研究は職務の余暇を見て行いました。ここに日本大学工学部並びに土木工学科の諸先生に厚く感謝致します。なお種々御指導を賜わった東京大学教授本間仁博士に心から御礼申上るとともに Tracing に協力下さった工学部学生浅川君に感謝致します。

参考文献

- 1) 例えは
本間：「開水路不等流の統系的計算法」土木学会誌 35 卷 12 号, 井部「河巾拡大部及び狭窄部の水面形」土木学会誌 34 卷 2 号
- 2) 本間：「高等水理学」p. 89
- 3) 拙著：「開水路の等流に対する理論的考察」日大専工, 昭和 25 年 11 月
- 4) 土木学会「水理公式集」
- 5) 嶋：「巾の拡がる水路に関する実験」土木学会誌 37 卷 2 号
Proc. A.S.C.E. 1942: "High-vel. flow in open channels"
- 6) 本間：「流量計算法」

(昭.28.2.3)

洪水時流速計の作製

正員 工学博士 永井 莊七郎*

THE CURRENT-METER FOR FLOOD FLOWS

(JSCE July 1953)

Dr. Eng., Shōshitirō Nagai, C.E. Member

Synopsis It is very hard to use those types of current-meters as Hiroi, Price, etc., which have been used to measure the velocities of the flows of the rivers in Japan and in foreign countries, for the flows of over about 1.5 m/sec and below about 2 m depth. The discharges of flood flows, therefore, have been approximately estimated from the primitive and very rough float-measurement of velocities. The author devised a new type of current-meter, with which the velocities of the flood could easily, safely and precisely be measured at any depth, by just throwing it into the

* 大阪市立大学教授, 理工学部

currents. In this paper it is introduced the construction and the method of use of this new type of current-meter.

要旨 従来河川の流速測定に使用せられた広井式、Price 式等の流速計はすべて、流速がほぼ 1.5 m/sec 以上で、水深がほぼ 2 m 以上になると使用することができない。それ故洪水時には、やむ得ず浮子投下によるきわめて原始的な方法によつて大体の流速を推定してきた。従つて河川の流量の中で、流量が大なる場合の値がはなはだ不正確なものであつた。著者はこの欠点を除くために、流速及び水深が大なる洪水時の流れにおいても、容易に、安全にかつ正確に、任意の深さの流速を測ることができる流速計を作製した。本文はその構造及び使用方法を記したものである。

1. 緒言

従来、河川の流速測定に用いられた広井式、Price 式等の流速計はすべて、測定者の真下の流速を測定するごとく造られているため、測定者が船に乗るか、足場を組んでその上に乗るか、あるいは自ら河中に入つて、測定せんとする地点に達して流速を測らねばならない。従つて、流速がほぼ 1.5 m/sec 以上で、水深がほぼ $2\sim 3 \text{ m}$ 以上に達すると、一般に流速計の使用がきわめて困難である。そこで最近では、電音式 Price 型流速計に非常に重い錘を附して橋梁上から吊下げ、橋脚間の流速を測定することが試みられているが、橋脚間の流水の状態は、橋脚の影響を受けて渦流が特にはなはだしく、流速の鉛直方向及び河巾方向の分布がきわめて不規則である上に、また河床の洗掘による横断面の変化もいちじるしい等のため、流量を正確に測ることが非常に困難である。それ故現在においても、出水時の流量の測定は一般に、やむを得ず、きわめて原始的な方法である浮子投下による測定を行つている。しかし言うまでもなく、浮子測量による流量の値の精度はきわめて低いので、従来得られている出水時の流量の値ははなはだ不正確なものである。しかるに河川の治水上及び利水上最も重要なのは、出水時の流量（最大洪水流量をも含めた）であるから、河川の流速計としてはむしろ出水時に使用できることが最も望ましいのである。著者は昭和 26 年秋以来、洪水時においても使用できる流速計の作製に着手し（昭和 26 年 10 月特許申請）、その後 1 年余、試作品について実験、実測を行つた結果、ほぼ目的の流速計を作製することができたので、ここに紹介し、読者の方々の御批判を仰ぎたいと思ふ次第である。

2. 流速計の特長

洪水時用流速計は言うまでもなく、流速及び水深が

大なる河川の流れにおいて、容易に、正確に流速を測ることができるのが目的であるが、本流速計の作製にあつて、著者が特に考慮を払つた諸点は次のごとくである。

- (1) 洪水時に何等の危険もなく、正確に、迅速にかつ $2\sim 3$ 人で容易に流速を測りうること。
- (2) 1 個の流速計で毎秒ほぼ 1 m ないし数 m までの流速を測定できること。
- (3) 河川の所要地点の所要の深さにおける流速を測りうること。
- (4) 夜間でも、風雨の激しい時でも測定できること。
- (5) 流木、ごみ、藻類が流れてきても、流速計に巻付いたり、壊れたりしないこと。

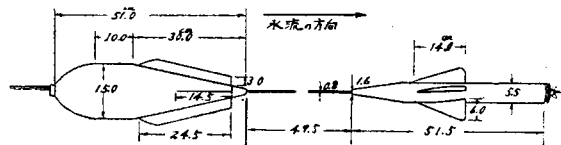
以下記述する構造の流速計はこれ等所期の諸条件をほぼ満足したものである。

3. 流速計の構造

本流速計の主要部分は、(1) 羽根付回転体、(2) 誘導浮子、(3) 回転数、水深及び回転時間指示装置及び(4) 浮子によつて構成されている。

(1) 羽根付回転体 (図-1, No. 4 の平面図) 図-1 に示すごとき直径 5.5 cm の円筒に 4 枚の羽根が一定の pitch で取付けてあつて、この円筒を水流に平行に浮べると流水の力によつて回転する。この回転はその先端に取付けられた円棒 (直径 0.8 cm) を通じて誘導浮子の中心軸に伝えられる。回転体の後端に螺

図-1 羽根付回転体及び誘導浮子の平面図 (No. 4)

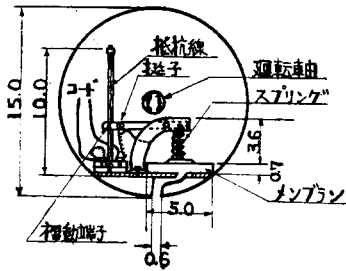


で止められている錘は、流速が大きくなると回転体が誘導浮子より上方に浮上つて、水面に平行でなくなるので、この錘の重量を適当に調節して、回転体の浮上りを防ぐためのものである。大体図-1 に示すごとき寸法の回転円筒において、流速が 5 m/sec くらいまでの時では、この錘の重量はほぼ $250\sim 300 \text{ g}$ ぐらい。

次に羽根付回転体として具備すべき条件は、

- i) 流速が毎秒 1 m ないし数 m の間で、流速と回転数との関係が直線であること。
- ii) 流速が大きくなつたとき、回転による上下左

図-5 水深計断面図



とともに回転することを防ぐとともに、流向に平行に浮ぶごとくなっている。

(3) 回転数、水深及び回転時間指示計 図-6, 7

に示すとき、上面厚ガラス板張りの木製箱に、羽根付回転体の回転数を指示する装置、その回転時間を同時に測定するようになった stop-watch、及び誘導浮子の浮んでいる点の水面からの深さを指示する装置が納められている。ボタン(発)を押すと、上記諸装置の回路に電流が通じ、同時に stop-watch が始動する。流速の測定を終わった時、他のボタン(停)を押すと、全回路の電流が切れる。その間の回転数指示板の目盛と stop-watch、の示す時間とを讀めば、回転体の平均毎秒回転数が求まる。また流速測定中の誘導浮子の深さ、従つて回転体の深さは水深指示計の目盛を讀めばわかる。

回転数指示板の中央の大針は、回転体が1回転する

図-6 回転数及び水深指示計 (平面図)

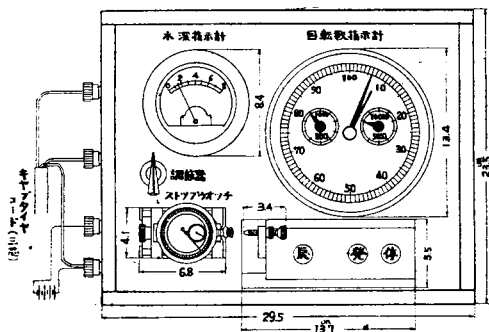
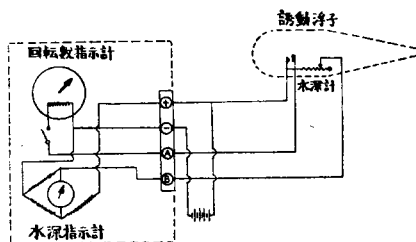


図-7 結線図

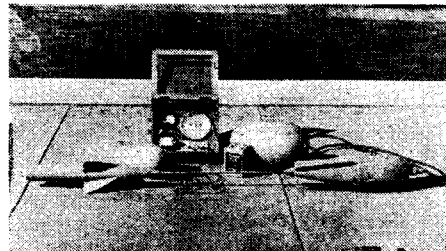


と1目盛進み、100回転で1回転する。左側の小針は100回転で1目盛、右側の小針は1000回転で1目盛動く。従つて10000回転まで読み得るわけである。しかしこの流速計においては、流速がほぼ5m/secの時約3.5回転/secであるから、2~3分間くらいの測定時間では、流速が数m/sec以下の時ならば、400~1000くらいしか回転しない。

水深計は図-4, 5に示すごとく、誘導浮子の中央下部に開けられた小孔(0.6cmφ)の上に取付けられて、浮子が沈んでいる点の静水圧が、この小孔を通じて鱗青銅の薄板に作用し、鱗青銅板の歪みは遊子によつて拡大されて抵抗線上の滑動端子を動かし、Wheatstone bridge 回路の抵抗を変え、水深指示計の針を動かす。水深指示計の目盛と水深との関係はあらかじめ pool で検定を行つておく。

この流速計の結線図を示すと図-7 のようである。

写真-1 洪水時流速計全体

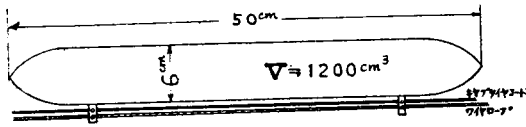


4. 流速計の使用法

(1) 表面流速の測定方法 この流速計を用いて河川の表面流速を測るには、あらかじめ cap-tire cord (4芯) を大体1mごとに wire rope (3mmφ) に結び付けて、cord が rope から離れないようにしてから、rope を緩めながら橋梁上から羽根付き回転体及び誘導浮子を、橋梁の影響のない地点まで流す。橋梁から回転体までの距離は、水面上橋脚までの clearance、流速、流路の曲直等によつても異なるが、大体30~40m くらい流せば橋脚の影響はなくなる。羽根付回転体(錘を含む)及び誘導浮子の比重は1よりわずかに大きい上に、wire-rope 及び cap-tire cord の重量(約0.15kg/m)のために、回転体及び誘導浮子は20~50cm 前後水中に没するので、これ等が水面からほぼ20cm の水中において水面に平行に浮ぶために、図-8に示すように円管状の浮子(直径6cm、長さ50cm)を、誘導浮子から約15m離れた箇所より大体5m 間隔に1本づつ wire rope 及び cap-tire cord に結び付ける。

1点における流速を測る時間はほぼ2~3分で十分であるから、橋梁上から所要地点まで回転体及び誘導

図-3 円管状小浮子



浮子を流す時間、測定前後の余裕等を見込んで、1点の流速を測るに要する時間は大体数分間である。もし1点ごとに rope 及び cord を伸したり捲いたりしないで、流速測定横断面の一方の岸から他方の岸へ表面流速のみを連続して測るにすれば、1点の流速を測るに要する平均時間はさらに短縮できる。

(2) 任意の深さの点の流速の測定方法 水面からある深さの点の流速を測るには、図-9 に示すように、あらかじめ誘導浮子に鉛の錘を付け、またその上部に wire rope によつて大浮子 (体積約 10000 cm^3) を付けて、表面流速を測る場合と同様に、rope 及び cord を緩めながら、橋梁上から所要地点まで流す。誘導浮子に付ける錘は、同浮子及び廻転体に働く流水の浮揚力及び rope 及び cord に働く流水の上向抵抗力に打ちかつて誘導浮子及び廻転体が所要の深さまで沈むだけの重量を有する必要がある。従つてこの錘の重量は、流速、沈める深さ、rope 及び cord の長さ等により変わるわけであるが、流速がほぼ $2 \sim 6 \text{ m/sec}$ くらいで、流速を測らんとする深さが数 m で、rope 及び cord の長さが $30 \sim 50 \text{ m}$ くらいまでならばほぼ $5 \sim 10 \text{ kg}$ で十分であろう。しかして洪水時の河流は渦乱が激しいので、誘導浮子は上下左右に動いてなかなか1箇所に静止しにくいので、誘導浮子を表面の大浮子により図-9 のように鉛直上方から吊る。この浮子を結ぶ rope の長さは流速を測らんとする点の水面からの深さに等しくする。このようにすると誘導浮子の動

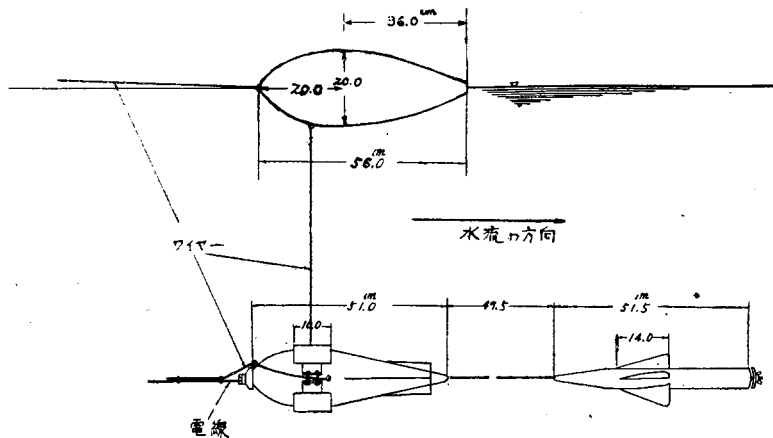
揺は非常に減少するが、それでもなかなか所要の深さに沈まない場合があるので、図-5 に示した電気的水深計によつて流速測定中の誘導浮子の浮んでいる深さを確認するようにした。

水面からある深さの流速を測る場合にも、表面流速を測る場合と同様に、流量測定横断面の一方の岸から順次他方の岸に向つて同一の深さの点の流速を測るにすれば、すみやかに多数の点の流速を測ることができる。河中が相当広くて測点が多い場合には、1点の流速を測るのに平均5分かかるとしても、かなりの時間を要し、わが国の河川のように急流河川では、その間に水位が変化しおそれがあるので、2~3台を使用し、例えば、1台は表面流速を、1台は水面下1mの点の流速を、もう1台は水面下3mの流速を測るというように、手分けして一方の岸から他方の岸へ順次に測つてゆけば、河中が数100mある大河川においても、数10分で横断面の流速測定を終えることができる。

5. 結 言

この流速計を昭和27年秋の洪水流に使用しようとして待機していたが、あいにく昨年秋は当地方には大した出水がなかつたので予定どおりの実測を行うことはできなかつたが、淀川の出水時に一度、長柄橋から実測を行つた。同橋の一部には堰があつて、その下流では流速は 3.5 m/sec くらいあり、はなはだしく渦を巻いていたが、橋梁下流 $30 \sim 50 \text{ m}$ の地点の流速を容易に測ることができた。また橋梁上で rope 及び captive coad を引張つているのに相当の力を要するのではないかと思ひ winch までも用意して行つたが、この程度の流速では1人で軽く引張つておけば十分であつた。また最近、瀬田川筋南郷の宇治発電所入口開渠

図-9 水中の任意の深さの点における流速の測定



(水面巾約 8 m 、深さ約 $5.0 \sim 5.5 \text{ m}$ の馬蹄形水路、流速はほぼ $0.8 \sim 2.3 \text{ m/sec}$ くらい、流量約 $60 \text{ m}^3/\text{sec}$) において実験を行つたが、 6 kg の錘を使用して、水面下 1 m 、 2 m 、 3 m 、 5 m の深さの流速を容易に測ることができた。この時は 6 kg 以下の錘を用意していなかったため、錘の必要最小重量を測ることはできなかつたが、おそらく $4 \sim 5 \text{ kg}$ の錘で十分であつたろうと考えられた。この2回の実測

結果から考えると、流速が 1~6 m/sec くらいで、深さが数 m くらいの流れにおいては (rope 及び cord は 30~50 m) 誘導浮子に付ける錘はおそらく 5~10 kg で十分であろうと考えられる。

なお今年はできる限り多くの洪水に使用し、欠点があればさらに改良を加えたいと考えている。また読者の方々の御批判、御教示を得ることができれば幸甚である。

附記 本研究には昭和 27 年度建設省の研究補助金を頂いた。また器械の作製については布谷計器製作所の絶大なる援助を受けた。なお電気的水深計の考案には当研究室の助手高橋幸四郎理学士に、検定実験には助手森下房次、山本宏及び久保弘一工学士に負うところ大である。ここに記して建設省及び助手諸君に深甚なる謝意を表する次第である。

(昭. 28. 3. 20)

平均値法による流量算定式について

正員・春日屋 伸 昌*

ON THE FORMULA FOR THE RATE OF DISCHARGE BY THE MEAN-VALUE METHOD

(JSCE July 1953)

Nobumasa Kasugaya, C. E. Member

Synopsis In order to calculate the rate of discharge of the open channel, using the mean-value method, the author determines the gauging stations across the channel and the degree of depth at which the current meter is to be inserted in the channel beneath the gauging stations, and then the author can introduce the calculating formula for the rate of discharge.

要旨 平均値法を応用し、開水路の流量を算定するため、巾にそつてとるべき観測点の位置と、その観測点下において挿入すべき流速計の深さを決定し、流量算定式を導いた。

1. まえがき

流速計によつて、開水路の流量を求めるには、従来、水路巾をいくつかに分割し、各区間の断面積を求め、つぎに、各区間における平均流速を測定して、これをその区間の断面積に乘じ、これらの総和をもつて、この水路の流量としている。各区間の断面積を求めるには、横断図を画いてプランメーターを用いるか、各区間を梯形の集まりとみるか、そのほか種々の方法が用いられている。平均流速を測定するには、垂直流速曲線法 (10 等分法)、4 点法、3 点法、2 点法、1 点法、或全法 (連続して器械を上下させる方法) などが用いられ、それらの各方法に対して、平均流速を算定する式が与えられている。

しかし、水路巾にそつての観測点をどこにとつたらよいかということや、また、平均流速を求めるために挿入すべき流速計の深さなどについての理論的な考察を行うことは、きわめて有用なことと思われる。

本論文においては、これらの問題を解決することを

試みた。

2. 平均流速算定式の誘導

本節においては、流速計を挿入すべき深さ、および、平均流速算定式について、Gauss の平均値法¹⁾を用いて研究を行う。

深さにそつて z 軸をとり、その観測点下の水深を h とすれば、平均流速 v_m は、

$$v_m = \frac{1}{h} \int_0^h v dz \dots\dots\dots (1)$$

v は深さ z の函数であるから、 $v=f(z)$ とおく。

そこで、(1) 式の積分限界を $[-1, 1]$ にするため、つぎの変数変換を行う。

$$z = \frac{h}{2}(1+t) \dots\dots\dots (2)$$

そうすると、(1) 式は、つぎのようになる。

$$v_m = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 v dt \dots\dots\dots (3)$$

$v=f(z)$ の z の中に (2) 式を入れたものを、改めて $g(t)$ と書けば、

$$v=f(z) = f\left\{\frac{h}{2}(1+t)\right\} = g(t) \dots\dots\dots (4)$$

$$\therefore v_m = \frac{1}{2} \int_{-1}^1 g(t) dt \dots\dots\dots (5)$$

ここで、 $g(t)$ を t に関する Maclaurin の級数に

* 中央大学助教授、工学部土木工学科