

## II-25

# 抗力型洪水流速計のフィールドデータと その流体力学的解析

(株) 福田水文センター ○ 正会員 工博 田城 徹雄  
(株) 福田水文センター 相山 忠男

はじめに

河川の洪水流の流速を在来型の流速計を用いて計測することは、普通の計測方法では不可能である。洪水の流速が3 m/s程度を超えると、在来型の流速計は水勢に押されて水面近くまで浮上して遊動するので、任意の水深の流速を計測することが出来ないだけでなく、流速測線の設定位置での流速を計測することも出来ない。従って、在来型の流速計を用いた洪水流の流量計測は極めて困難であった為に、主として浮子を用いた流速計測によって洪水流量を計測してきた。

著者等は、この困難を解決することを目的として、在来型の流速計を搭載する洪水流速計を試作し、フィールド・テストを行って、任意水深の定位置での流速計測が可能であることを立証したので報告する。

### 1. 抗力型洪水流速計の原理と設計仕様

著者等の設計製作した洪水流速計は、抗力を受ける平板を装着した潜水用の躯体に在来型の流速計を搭載して潜水させるので、本論文ではこれを抗力型洪水流速計と呼ぶ。また、洪水流速計を牽引することによって、抗力板の回りに循環が生じ揚力が発生する。この揚力こそ洪水流速計を潜水させて洪水流の流速計測を可能にするものである。

なお、この洪水流速計の設計原理は東北大学の沢本正樹教授の開発した採水器と同一のものである。

抗力型洪水流速計の概要を写真-1に示す。

抗力型洪水流速計の潜水用の躯体は軽量型鋼と軽量ステンレスパイプを用い、抗力板はステンレス板を用いて製作されており、全長900mm、幅300mm、全高345mm、重量7.0kgである。抗力板は二枚あり300mm×100mmの大きさであって、本体に対して下向きに15°の角度で取り付けられている。後尾には垂直尾翼と水平尾翼の様な順流板が各々二枚あり、水平順流板は本体に対して上向きに約17°の角度で取り付けられている。

抗力型洪水流速計の構造から分かるように、流れの中では後方の水平順流板が流れに随って水平となろうとするので躯体は前傾して平衡する。これを本論文では躯体傾角 $\beta$ と呼ぶ。

潜水用躯体の中央部に端子があり、在来型の流速計をその錘を取り付ける部材に繋いで搭載できる。

後部に回収用の確保ロープを持つので回収は容易である。

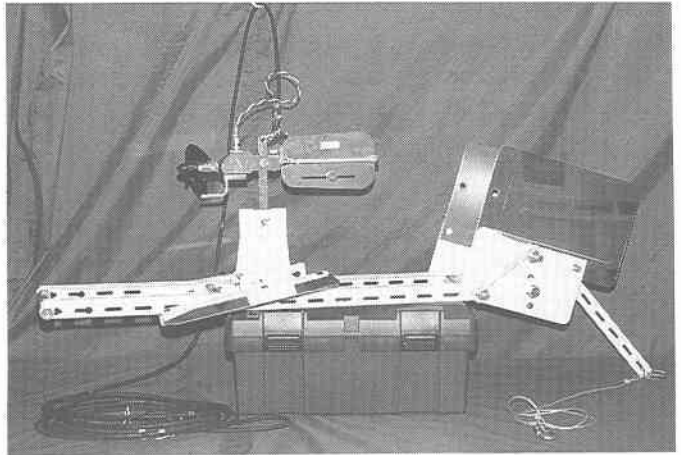


写真-1 抗力型洪水流速計の概要

The efficiency experiment of a flood velocimeter in the field and analysis of the data on fluid dynamics.  
by Dr. TASHIRO Yoshio and AIYAMA Tadao

抗力型洪水流速計の設計特性

抗力型洪水流速計は、躯体傾角 $\beta$ の変化に伴い抗力を決定する対向面積が図-1に示すように変化する。これは抗力板が本体に対して下向きの角度を持って取り付けられているためである。従って、洪水流速計の設計上の抗力は躯体傾角 $\beta$ の平衡躯体傾角への増加に伴って、図-2のように変化して対応する抗力値をとる。抗力係数は各部分の形状により標準的な値を採るものとしている。抗力板に生じる揚力の特性はフィールド・データの流体力学的解析のところで述べる。

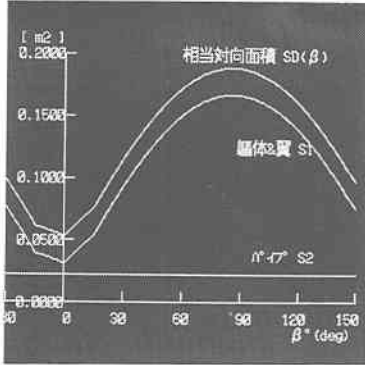


図-1 洪水流速計の対向面積

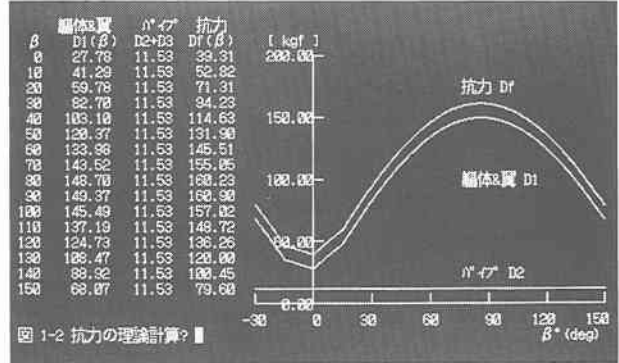


図-2 洪水流速計の設計抗力

2. 洪水流速計のフィールドテストとそのデータ

製作した洪水流速計は札幌の山鼻川で行った予備テストにおいて流速 1.4m/s で、前傾して安定した躯体傾角を保つことが観察された。そこで、静水である石狩川旧河川の茨戸三線において、洪水流速計を船外機付き調査船により曳航してフィールドでの実機テストを行った。洪水流速計は調査船の船舷に設置した支持アーム先端の滑車からロープで吊して静置深度を決め、ロープの長さは固定した。調査船を一定速で走行させて速度U m/sを計測し、ロープの張力T kgf と、ロープの垂線からの後方開角 $\theta^\circ$ とを計測した。現地は濁度が高く洪水流速計の目視観測は出来なかったが、牽引ロープは振動や揺動をせず安定して曳航され、速度に対応した後方開角 $\theta$ を保つことによって、相対流速に対応する一定の水深にあることを示した。

抗力型洪水流速計のフィールドテスト・データを表-1に示す。No. 21～27は静置深度 1.5 m、ロープの長さは 2.0m に設定。No. 41 は静置深度 3.5 m、ロープの長さは 4.0m に設定して計測した。また、図-3はそれを図に表したものである。

表-1 フィールドテスト・データ

DATA No	流速 U (m/s)	ロープ張力 T (kgf)	後方開角 $\theta$ (deg)
21	1.23	--	34.0
22	1.95	28.0	44.0
23	2.24	43.0	50.0
24	2.44	54.5	50.0
25	2.65	64.5	54.0
26	3.05	82.5	55.0
27	3.23	91.0	59.0
41	3.15	91.0	65.0

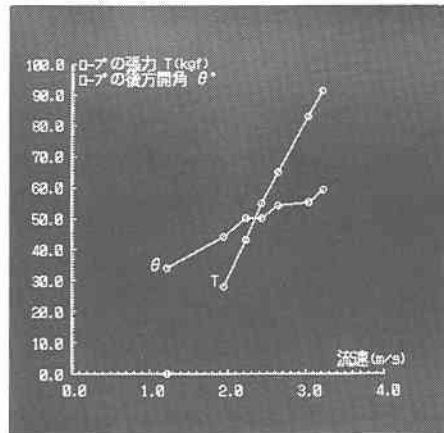


図-3 洪水流速計のフィールドテスト・データのグラフ

### 3. 流体力学的解析

#### 3-1. フィールドテスト・データに対する考察とシミュレーションモデル

試作した抗力型洪水流速計は抗力 D と揚力 L の二つの流体力を受ける。

抗力 D は流れの方向に働き、平板形状の抗力板だけでなく圧力損失を生じやすい形状の他の構造部も同様に大きな抗力を受ける。抗力は流れに対する対向断面積と抗力係数の積で与えられるから、ここでは、抗力値は躯体傾角  $\beta$  の関数となる。

揚力 L は流れとほぼ直交する方向に働き、流線に対して迎え角  $\alpha$  を持つ平板の回りの循環によって生じるものであるが、その形状のために容易に剥離渦を発生して「失速状態」となるので相対的に小さな揚力を受けることとなる。

この抗力と揚力の合成ベクトルが洪水流速計に働く流体力であり、牽引ロープの張力の主な成分となる。

さらに、牽引ロープも抗力  $D_r$  を受ける。このロープに働く抗力のために、洪水流速計は上記の合成ベクトルによって決まる位置から後方に流されて湾曲した牽引ロープの端点で釣り合う。

これらの流体力学に基づく理論的な考え方は、フィールドデータを矛盾なく説明することが出来る筈であるので流体力学的な解析をシミュレーションの手法を用いて行った。シミュレーションの条件は以下のように考察して定めた。

躯体傾角  $\beta$  については次のように考察できる。製作した抗力型洪水流速計は、流れの中に置かれると水平順流尾翼の働きですぐに水平姿勢を保ち、流速の増加とともに設定した平衡躯体傾角  $\beta_s$  に達する。この躯体傾角  $\beta$  を流速  $U$  の関数として次のように定める。

$$\beta = \beta_s (1 - \exp(-U^2 / \sigma)) \quad \dots\dots\dots (1)$$

但し、 $\beta_s = 17^\circ$ 、 $\sigma = 3.0$  である。定数  $\sigma$  はフィールドテストの流速の範囲を考慮して定め、以下の式にも適用する。

抗力 D については次のように考察できる。抗力型洪水流速計の抗力は躯体傾角  $\beta$  の増加に伴って増大する。それは、流れの中で水平に置かれたとき、円柱と流れに沿う平板に生じる相対的に小さな抗力を受けるが、流速が増加して躯体傾角  $\beta$  が増加すると流れを遮る平板形状の抗力板だけでなく圧力損失を生じやすい形状の他の構造部も同様に大きな抗力を受けるからである。そこで、抗力係数  $C_0$  を次のように定める。

$$C_0 = 1.0 + 1.0 (1 - \exp(-U^2 / \sigma)) \quad \dots\dots\dots (2)$$

揚力 L については次のように考察できる。流速の小さいときは揚力効果が相対的に大きく、流速の大きいときは揚力効果が相対的に小さい。これは、流速の小さいときは抗力板の回りに循環が発達するが、流速の大きいときは乱流剥離によって循環が乱され揚力効果が減殺されるためと考えられる。

ここに、抗力板の流れ方向の幅を揚力翼長  $W_0$  と考えるとき、流速の関数である有効翼長  $W_e$  の概念を導入し、次式で定義する。

$$W_e = W_0 (0.5 \exp(-U^2 / (2 \sigma)) + 0.5) \quad \dots\dots\dots (3)$$

即ち、有効翼長  $W_e$  は  $U = 3.0$  m/sec のとき  $W_0$  より 50% 少ないものとする。

#### 3-2. シミュレーションによる

##### 流体力学的な解析とその結果

製作した抗力型流速計の設計諸元と 2-1 に記した条件の下にシミュレーションを行うとき、残る課題は牽引ロープがその受ける抗力によって湾曲した形状を求めることである。

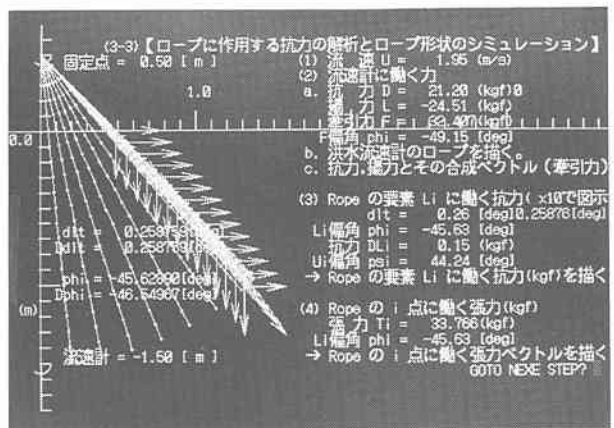


図-4 洪水流速計のシミュレーション演算の一例

この問題は理論的には懸垂線 (catenary) と類似の問題であるが、局所に働く力が勾配の関数となる。ここでは、局所に働く力の釣り合いからベクトル方程式を立て、牽引ロープ先端の釣り合い位置から出発して逐次計算を行い、数値解を求めた。

$$T_{i-1} = T_i + D_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

$T_i$  は牽引ロープの  $i$  番目の単位長さの要素に働く張力、 $D_i$  はその要素に働く抗力である。このシミュレーション演算の一例を図-4に示す。この演算の結果、洪水流速計のロープの後方開角  $\theta$  と、洪水流速計の潜水深度を求めることが出来る。このようにして求めたシミュレーション演算の結果を図-5に示す。

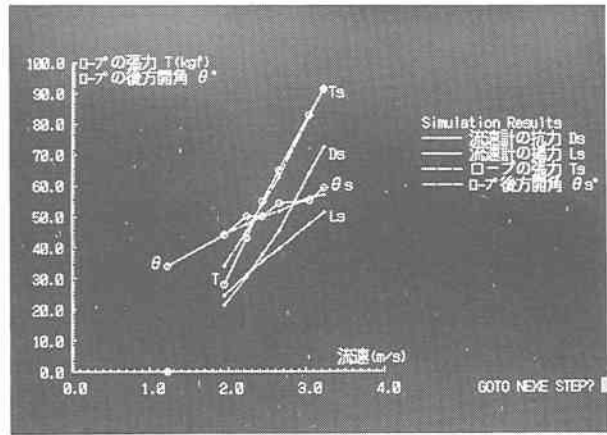


図-5 洪水流速計のシミュレーション結果のグラフ

まとめ

フィールドテストは成功した。抗力型洪水流速計は、在来型の流速計を搭載して洪水流の流速の計測が可能であることを立証した。また、シミュレーションによって流体力学的考察と解析の正しさも立証された。

しかし、解決すべき二つの問題が残った。一つは、ロープの張力  $T$  が 100kgf のオーダーに達し、計測者が単独に人力で操作するには大きすぎることである。今一つは、流速の増加に伴って牽引ロープの後方開角  $\theta$  が大きく増大変化することである。計測者は洪水流速計の潜水深度を牽引ロープのマーカ―では判断できず、別の水深センサーによるか、後方開角  $\theta$  からシミュレーション演算によって求めなければならない。

ここに、抗力型洪水流速計の限界がある。これらの問題を解決することの出来る新しいタイプの洪水流速計として、著者は、揚力型洪水流速計を本論文に提示する。その原理と設計仕様は次の通りである。

揚力型洪水流速計は倒置された翼型断面形状の「揚力翼」を持ち、流れの中に置かれるとき、その揚力により潜水する。また、抗力を低減させるため流線型の躯体形状を持ち、対向断面積も極力小さくなるように設計してある。この揚力型洪水流量計は、在来型の流速計を搭載して流速計測に用いることが出来るが、躯体に装着した高性能圧力センサーを持つピトー管により流速と水深とを計測して、信号ケーブルにより計測情報を取得する。図-6に揚力型洪水流量計の概要図を示す。

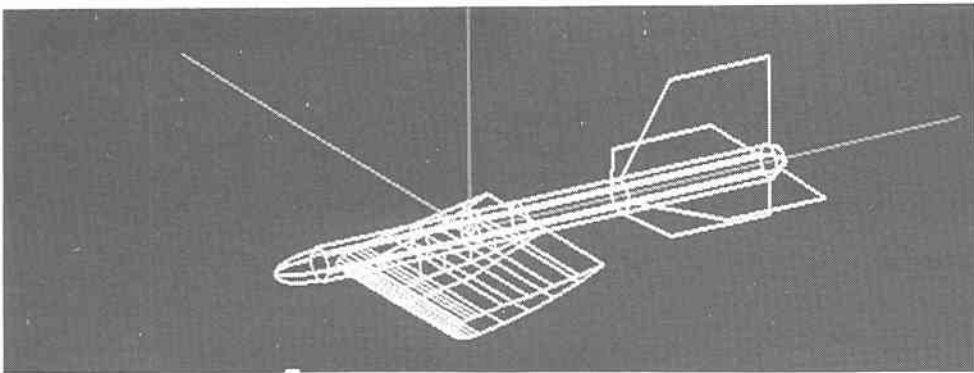


図-6 揚力型洪水流速計の概要図

参考文献

(1) 真野明・沢本正樹・杉本基泰：洪水用簡易浮遊砂採水器の開発，東北地域災害科学研究第32巻，(1996)