

## 非定常水流測定における干渉誤差の補償法

(昭和49年5月18日 原稿受理)

機械工学教室	松	永	成	徳
第二部機械工学科	西		道	弘
自然科学教室	石	橋	治	生
機械工学教室	宇	野	美	津夫

## Correction of Inertial Effect on a Sphere-Probe to Measure the Unsteady Flow

by Shigenori MATSUNAGA  
Michihiro NISHI  
Haruo ISHIBASHI  
Mitsuo UNO

When a combined sphere-probe is used to measure the instantaneous value of velocity in the unsteady flow where both magnitude and direction of velocity vary strongly, the inertial effects on the pressure reading of the probe should be considered.

The procedure is developed to secure the accurate measurement of velocity by the probe, assuming that the pressure reading is superimposed with the viscous term and the inertial term. The former is obtained by the calibration test, and the latter is predicted by the inviscid theory. The time derivative in the inertial term is determined from the time series data of the pressure reading using a digital computer.

Applying this method to the experimental data, it was shown that one or two times iteration was enough for predicting the inertial term. The Fortran computer program is included.

## 1. まえがき

流れの方向、速度および静圧を測定したい場合、複合型プローブを固定して流れを計測する方法いわゆる非平衡方式を用いることにより、定常な流れだけでなく速度の大きさおよびその方向も変動する非定常な流れ場の測定に複合型プローブを適用することが試みられている<sup>1)~6)</sup>。しかしながら流れの変動が速い場合、プローブ各取圧孔の指示値に対する流れの加速度の影響いわゆる干渉誤差を無視し得なくなる\*。したがって定常流れにおいて調べたプローブの検定値をそのまま非定常流れの実験のデータ処理に使用すると結果に大きな誤差を生ずる危険があり、それ故干渉誤差を補償する方法が望まれる<sup>7)</sup>。

流れが非定常であることは速度の大きさおよび方向そ

れぞれの勾配が未知量として加わったことを意味するから、原理的には未知量の数だけ取圧部表面に取圧孔を設けてそれぞれの指示圧を同時に測定してやればよい。しかしながらこの方法はデータ数が膨大になる欠点があるだけでなく、取圧部周りの実際の流れでは粘性が大きく影響するので、そのことも考慮せねばならず、また検定するにしても性質のはっきりした検定用変動流をつくることは非常に困難である。

本研究は球形取圧部を有する複合型プローブに対する干渉誤差の補償法として、各取圧孔指示圧を同時記録して得た時系列データより慣性項を求め、実験精度より定めた範囲に収束するまで電子計算機を用いて修正計算する方法を採用する。慣性項を除いたプローブ指示圧は非定常流れの場合においても定常流れにおける結果と同じであるとし、その妥当性を非定常流れの実験に適用することから調べたものである。

なお Siddon はアナログ演算器を利用して物体表面の圧力を互に直交する速度成分より求まる抵抗力で修正す

\* この干渉誤差は測定点における流れの加速度およびプローブ寸法に関係し、加速度および取圧部寸法が大きい程大きくなる<sup>7)</sup>。

る干渉誤差補償法を報告している<sup>6)</sup>。

この報告においては2次元流れに限るが、3次元流れの場合も同様の補償法が考えられる。

2. 記 号

- $a$  : プロープ球形取圧部の半径
- $C_p$  : 圧力係数, (7) 式参照
- $C_{ps}$  : 静圧係数, (12) 式参照
- $C_{pt}$  : 全圧係数, (13) 式参照
- $DC_{pA}$  : 圧力係数の差, (11) 式参照
- $Dp_A$  : 指示圧力の差, (4) 式参照
- $F_A \cdot F_c$  : 関数
- $g$  : 重力加速度
- $p$  : 取圧孔指示圧力
- $p_s$  : 静圧
- $p_t$  : 全圧
- $r$  : 座標系,  $(r, \theta)$
- $S_V$  : ポテンシオメータ出力電圧
- $T_p$  : ピストン半ストロークの所要時間
- $t$  : 時間
- $u$  : 主流方向速度
- $v$  : 主流直角方向速度
- $v_p$  : ピストン速度より求めた  $v$
- $v_s$  : 流速
- $X$  : 指圧相関数, (3) 式参照
- $z$  : 座標軸, 図1参照
- $z_1$  : 座標軸, 図1参照
- $\alpha$  : 流れの方向とプロープとのなす角度
- $\alpha_s$  : 設定角度
- $\gamma$  : 単位体積重量
- $\theta$  : 座標系,  $(r, \theta)$
- $\theta_1$  : 座標系,  $(r_1, \theta_1)$

添 字

- $i$  : 取圧孔番号, 図1参照

— : 平均値

3. 干渉誤差とその補償方法

3.1. 流れの解析

平行非定常ポテンシャル流れの中におかれた図1に示すような複合型プロープの先端部に相当する半径  $a$  の球表面の圧力  $p_i$  は次式で与えられる<sup>9)</sup>。

$$p_i/\gamma = p_s/\gamma + \left(1 - \frac{9}{4} \sin^2 \theta_{1i}\right) \cdot v_s^2/2g - \frac{3 \cdot a}{2g} \frac{d}{dt} (v_s \cos \theta_{1i}) \quad (1)$$

ここで

$$\left. \begin{aligned} \sin^2 \theta_{1i} &= (\sin \theta \cdot \cos \alpha - \cos \theta \cdot \sin \alpha)^2 \\ \cos \theta_{1i} &= \sin \theta \cdot \sin \alpha + \cos \theta \cdot \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

図1(b)の幾何学的な関係から判るように各取圧孔位置は  $\theta_1 = \pi$ ,  $\theta_2 = \pi + \theta_n$ ,  $\theta_3 = \pi - \theta_n$  となる。

(1) 式において右辺第3項が加速度項である。変動流において変動速度の振巾が小さい場合また変動周期がかなり長い場合には加速度を無視でき、いわゆる準定常流として取り扱いうるから、プロープを定常または準定常な流れの中で検定し、指圧相関数を用いてその特性を表示する方法が適用できる<sup>10)</sup>。

図1(a)に示すように速度  $v_s$  なる流れが角度  $\alpha$  でプロープにあたる場合、各取圧孔指示圧がそれぞれ  $p_1$ ,  $p_2$  および  $p_3$  であるならば、指圧相関数  $X$  は

$$X = (p_2 - p_3) / Dp_A \quad (3)$$

ここで圧力差  $Dp_A$  は測定精度を考慮し以下のようにとる。

$$\left. \begin{aligned} Dp_A &= p_1 - p_3 (p_2 \geq p_3) \\ Dp_A &= p_1 - p_2 (p_2 < p_3) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

したがって流れ角  $\alpha$  および各取圧孔の圧力係数  $C_{pi}$  は  $X$  の関数として表示できる<sup>11)</sup>。

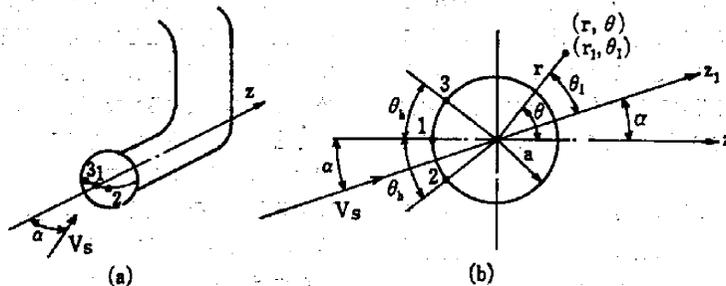


図1 プロープに対する流れ

$$\alpha = F_{\alpha}(X) \quad (5)$$

$$C_{pi} = F_c(X) \quad (i = 1, 2, 3) \quad (6)$$

ここで

$$C_{pi} = (p_i - p_s) / \frac{\tau}{2g} v_s^2 \quad (7)$$

流れの測定にあたっては各指示圧を(3)式に代入し  
ず指圧相関数  $X$  を求め、(5) 式の関係から角度  $\alpha$ 、(6)  
式から圧力係数  $C_{pi}$  を定める。(7) 式から判るように速  
度  $v_s$ 、静圧  $p_s$  および全圧  $p_t$  は次式を用いて算出でき  
る。

$$v_s = \sqrt{2g \cdot Dp_A} (\tau \cdot DC_{pA}) \quad (8)$$

$$p_s \cdot \tau = p_t \cdot \tau + Dp_A \cdot C_{ps} \cdot \tau \quad (9)$$

$$p_t \cdot \tau = p_1 \cdot \tau + Dp_A \cdot C_{p1} \cdot \tau \quad (10)$$

ここで(4)式と同様に二つの領域を考える。

$$\left. \begin{aligned} DC_{pA} &= C_{p1} - C_{p2} (p_2 \geq p_3) \\ DC_{pA} &= C_{p1} - C_{p2} (p_2 < p_3) \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

また

$$C_{ps} = -C_{p1} / DC_{pA} \quad (12)$$

$$C_{p1} = (1 - C_{ps}) / DC_{pA} \quad (13)$$

### 3.2. 補償方法

流れの変動周波数が 100 Hz 程度以上になると加速度  
の影響を無視できないので<sup>2)</sup>、定常または準定常流で検  
定した結果の(5)式、(6)式は不適当となり、したがっ  
て(8)式、(9)式および(10)式を用いて定める速度・  
静圧・全圧も異った結果を示す危険がある。

非定常流れにおかれた球周りの流れと定常流れの場合  
とを比べると、同じレイノルズ数においてもは離点の  
位置が少々変化する等同一状態にはならないが、球形複  
合型プローブの場合球の後側にステムがあること、取圧  
孔を設ける位置などを考慮すれば、プローブ指圧に対す  
る粘性の影響は非定常流れに置かれた場合も定常流の場  
合と同じであるとして取り扱えると思われる。したがっ  
てポテンシャル流れより求めた(1)式の右辺第2項には  
プローブを検定することから粘性の影響を含め得る。加  
速度の影響は第3項で示されるから、何らかの方法でこ  
の値を予測すれば重ね合せ法が適用できよう。

複合型プローブ各取圧孔は半導体圧力変換器と結ばれ  
ているので、それぞれの瞬時圧力を時系列データとして  
同時記録できる。それ故、まず準定常流として3.1で述  
べた手続きに従い流速を算出し、結果の数値微分から各  
時刻における流れの加速度を定める。指示圧から加速度  
項を除いたものに対しては準定常流の検定結果が使用で  
きるので、電子計算機を使ってこの計算をくり返し実験

から予測した精度内に収束するまで修正を行う。

### 3.3. 計算機プログラム

プログラミングにあたりプローブ各指示圧  $p_i$  を次式  
のように表す。

$$p_i = p_s + p_{vi} + p_{ai} \quad (14)$$

ここで  $p_s$ : 静圧,  $p_v$ : 粘性の影響を含めた流れ方向に  
関係する圧力,  $p_a$ : 指示圧力のうち流れの非定常性に基  
く加速度項である。すなわち

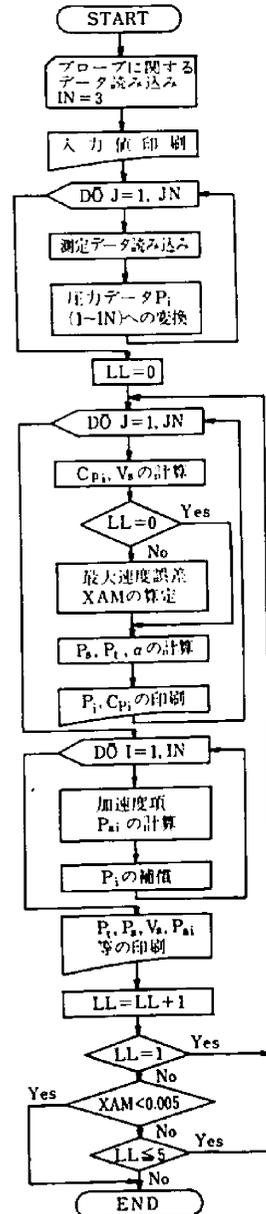


図2 流れ図

$$p_{ai} = -\frac{3r}{2g} \cdot a \cdot \frac{d}{dt} (v_s \cos \theta_{1i}) \quad (15)$$

3.2節で述べた計算手順および方法を箇条書きすれば

①  $p_{ai}=0$  と仮定し  $N$  個の時系列データ  $p_{1i}(i=1, 2, 3)$  から 3.1節の解析法により  $p_s, v_s$  を求める。

②  $v_s$  およびプローブ寸法を使ってそれぞれの取圧孔に対し (15) 式の関係から  $p_{ai}$  を求める。ここで数値微分の計算が必要になるが、3番目から  $(N-2)$  番目までのデータについては5点法、2番目および  $(N-1)$  番目に対しては3点法を用いた。データの両端にくる1番目および  $N$  番目についてはそれぞれ2番目、 $(N-1)$  番目の微係数の0.8倍を使用した。

③  $(p_i - p_{ai})$  の時系列データが定まるので、これらの値から指圧相関数法で  $v_s$  等を算出する。

④  $v_s$  の時系列データを前回求めた結果と比較し、その差が収束条件内に入れば干渉誤差の補償が行われたとする。

⑤ 条件内に入らない場合には②③④の手続きを収束するまでくり返す。

プログラムを付録に示す。また流れ図は図2のようである。

#### 4. 非定常流測定への適用

上述した干渉誤差補償法の妥当性を調べるために変動流中に複合型プローブを挿入し実験した。

##### 4.1. 供試プローブ

実験に使用した球形複合型プローブ VS 55346 を図3に示す。取圧部の直径は 2 mm、取圧孔直径は 0.2 mm である。このプローブに関する詳細は別報<sup>9)</sup> に示すので略す。



図3 供試プローブ (VS 55346)

##### 4.2. 実験装置

図4に示す速度モデルの変動流を実現するために、高圧タンクよりの定常噴流と、往復運動する油圧駆動ピス

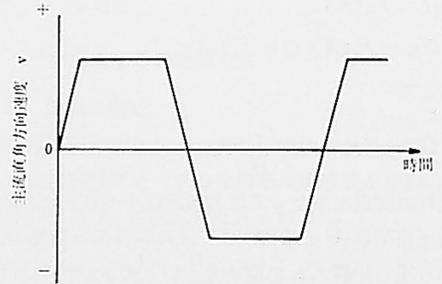


図4 変動流モデル

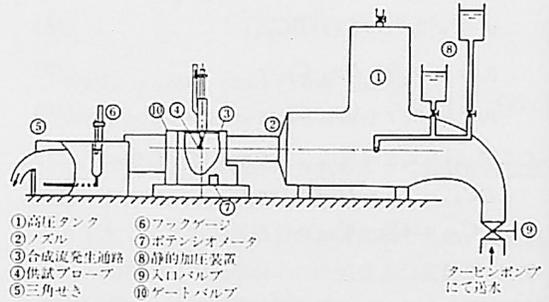


図5 実験装置

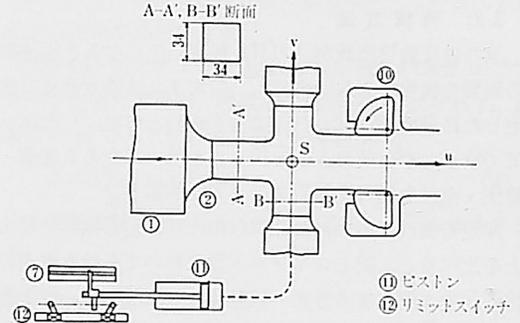


図6 合成流発生通路

トンを用いて噴流に直交する水流を発生させ、それら二つの流れを合成する方法を採った。

図5に実験装置の概略図を示す。4段タービンポンプを使って吸い上げられた水は高圧タンク①に導かれる。高圧タンクには空気室を設けて圧力脈動を吸収するようにしている。ノズル②を通過して縮流された水はプローブ④の設定される合成流発生通路③へ導かれる。その下流には平均流れ測定のための三角せき⑤が設けられており、それらを通った後、水は地下水槽へ戻る。

高圧タンクには静的加圧装置⑧と呼ぶ高さの異った2種のオーバーフロータンクが接続されている。この装置は計測断面に取付けられた供試プローブに一定の静水圧を印加する際に使用する。すなわち実験の直前直後にお

いて通路③の下流に設けられたゲートバルブ④および高圧タンク上流のバルブ⑤をそれぞれ閉じて試験通路を密閉容器とし、オーバーフロータンクに取付けてあるバルブを操作することで2段階の一定圧力をプローブに働かせ、手軽にプローブの零点および感度を調べ得る。

図6は合成流発生通路を示すが、各種の流れの状態を実現するために、主流方向速度だけでなく主流直角方向速度も変え得るように工夫した。すなわち油圧装置流量制御弁により2個のリミットスイッチ⑥間を往復運動するピストン⑦の速度を変化できる。またポテンシオメータ⑧を使って合成流のデータ処理に必要なピストンの位置をモニターできるようにした。

供試プローブは図6に示す一辺が34mmの正方形通路のS点に設置した。

### 4.3. 実験方法

実験はまず主流だけの場合、つぎに主流を流さずピストンを動かし直角方向の流れを与えた場合について行った。その後、両者の重り合った合成流を調べた。

プローブにより検出されたデータはプローブ検定の場合と同様の機器および方法<sup>9)</sup>を用いてデータ集録装置(ティアック製, DP-300)に同時記録される。AD変換後紙テープにデータを出力し、電子計算機にかけて処理した。なおひとつの実験におけるデータは時間々隔4msecで500個ないし1500個取った。

### 4.4. 実験結果

#### 4.4.1. 主流だけの場合

横軸に時間 $t$ をとり、プローブで測定した主流方向速度 $u$ を縦軸とし、結果をプロットしたものが図7である。平均値に対し $\pm 3\%$ 程度の速度変動が主流速度に含まれていることが判る。なお図7(a)はせきの流量よ

り算出した試験通路部の平均速度 $\bar{u}$ が4.33m/sの場合、図7(b)は5.91m/sの場合をそれぞれ示す。

#### 4.4.2. ピストンによる流れだけの場合

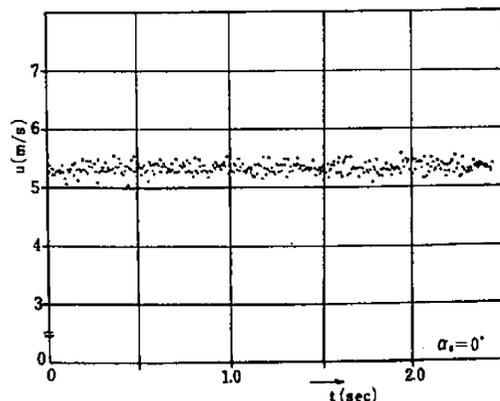
図8は図7と同様に時間 $t$ を横軸に、主流直角方向の速度 $v$ を縦軸にとり、ピストンの半ストロークの時間 $T_p$ が1.3秒であった場合の測定結果を示す。同図にはピストンの各時刻における位置を示すポテンシオメータ出力電圧 $S_v$ も併せて載せた。この電圧変化がほぼ一定の領域はその勾配がピストン速度を表すから、一定速度の流れが試験通路部に与えられていることを意味する。実線を用いて勾配より求めた速度 $v_p$ を示した。主流だけの場合に比べるとかなりのばらつきが認められるが、プローブを挿入した位置において直角方向速度 $v$ はおおよそピストン速度に対応していると思われる。なお図8(a)はピストン速度が(+)の結果、(b)は(-)の場合を示す。

#### 4.4.3. 合成流の場合

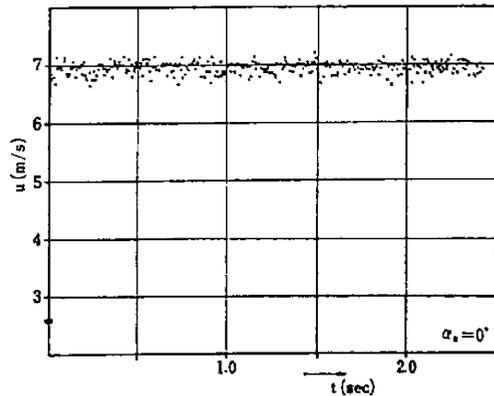
ピストンを $T_p=1.3$ 秒で動かし、三角せきより求めた速度 $\bar{u}=5.19$ m/sの状態において合成流の実験を行った。測定結果を図7・図8と同様な形式で、図9に主流方向速度 $u$ 、図10に主流直角方向速度 $v$ および図11に流れ角度 $\alpha$ をそれぞれ示す。ピストンの往時と復時の速度を同一にできなかった影響等がそれぞれの結果にみられるが、いずれの図からも流れの状態をうまく捕えていることが判断できる。

### 4.5. 干渉誤差補償法の適用

4.4.3.に述べた実験値に対し干渉誤差の補償を行った補償の一例として図10中の丸印で囲んだ測定点に対する結果を図12に示す。図の横軸は計算のくり返し回数、縦軸は各取圧孔指示圧 $P_i$ と加速度項 $P_{a_i}$ との差 $P_i - P_{a_i}$

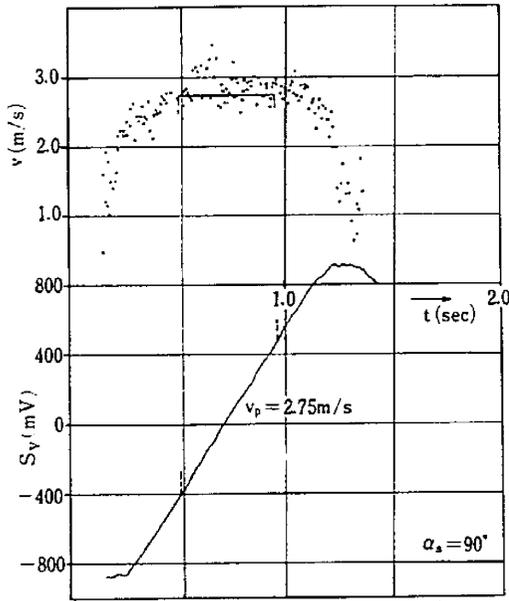


(a)  $\bar{u} = 4.33$  m/s

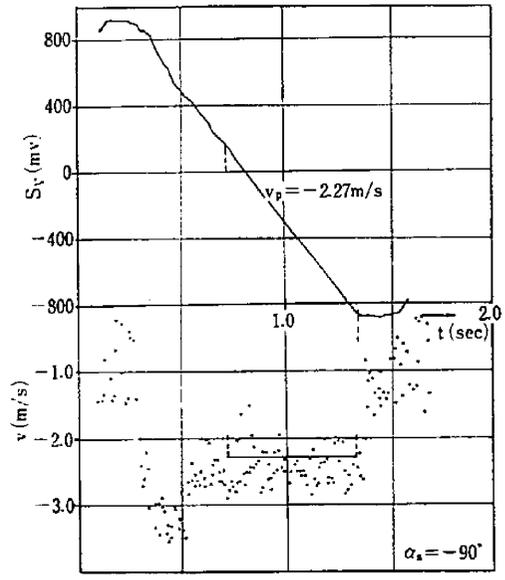


(b)  $\bar{u} = 5.91$  m/s

図7 主流だけ流した場合



(a)  $v_p = 2.75\text{m/s}$



(b)  $v_p = -2.27\text{m/s}$

図8 ピストン運動による流れ ( $T_p = 1.3$ 秒)

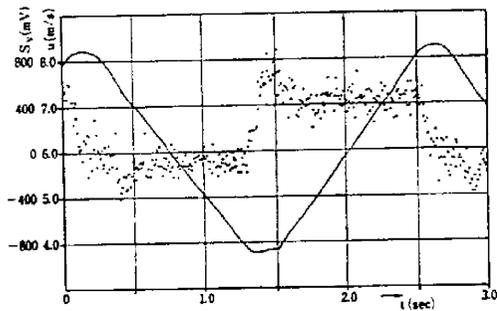


図9 合成流の主流方向速度

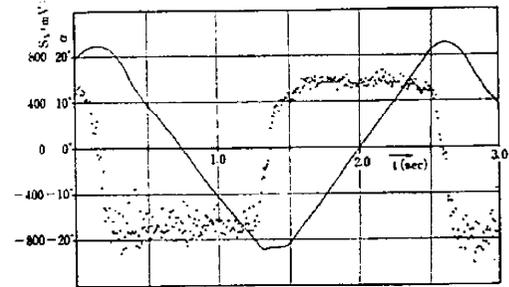


図11 合成流の流れ方向角度

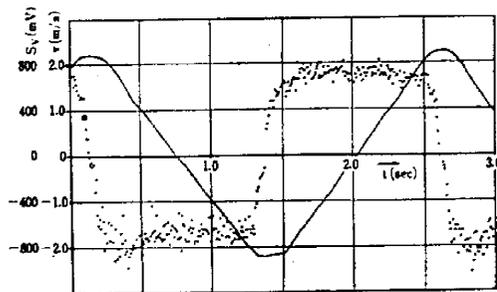


図10 合成流の主流直角方向速度

である。計算に用いたデータの場合干渉誤差の影響がわずかであったことにもよるが2回のくり返し計算で加速度項を区別することができた。他の測定点についても同

な結果が得られた。

### 5. まとめ

指示圧の時系列データを数値微分して加速度項を求めくり返し計算による収束法を用いた加速度補償の計算機プログラムを作成した。それを変動流の実験に適用した結果、非定常水流の瞬時測定に複合型プローブを使用する場合、定常または準定常流で検定したプローブ特性とポテンシャル流れから予測できる加速度項とを重ね合わせる方法により干渉誤差を補償し得ることが判った。

ただ加速度の影響が大きい実験データに対して本報告で示した干渉誤差補償法を適用し、妥当なものかどうか今後調べる必要がある。

本研究を遂行するにあたり流体工学研究室員諸氏、昭

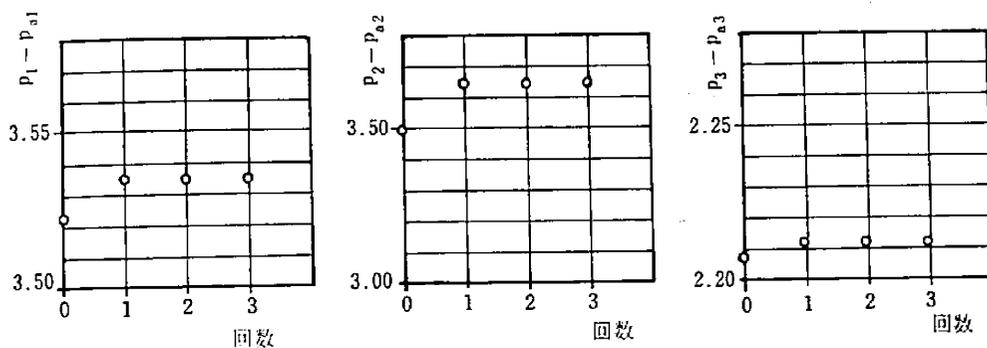


図 12 加速度補償法の検討 (縦軸目盛: m水柱)

和 48 年度卒修士坂梨俊昭君, 学士 重松清志・桧垣和久君の協力を得た。ここに感謝する。

データ処理計算は本学計算機センターにて行った。

#### 参 考 文 献

- 1) 松永ほか 2 名, 日本機械学会論文集, 31-231 (昭 40-11), 1653.
- 2) 松永ほか 1 名, 日本機械学会論文集, 32-241 (昭 41-9), 1365.
- 3) 葛西・松永ほか 2 名, 日本機械学会論文集, 33-249 (昭 42-5), 759.
- 4) 葛西・高松ほか 2 名, 日本機械学会講演前刷集, No. 153 (昭 41-4).
- 5) 松永ほか 2 名, 日本機械学会講演論文集, No. 730-6 (昭 48-4), 25.
- 6) Senoo, Y., et al., Trans. ASME-I, 95-2 (1973-6), 295.
- 7) Kovaszny, L. S. G., et al., Tech. Report Johns Hopkins Univ. (1971-12).
- 8) Siddon, T. E., UTIAS Report, No. 136 (1969-1).
- 9) 松永ほか 3 名, 九州工業大学研究報告 (工学), 29号 (昭 49).

#### 付 録

##### 加速度補償プログラム

プログラムの作成にあたり次の事項を考慮した。(1) フォートランを用いて記述する。(2) プロープの特性値は全てカード入力とする。(3) 時系列データは紙テープにより入力する。(4) 一連の時系列データの先頭にはアドレス番号がつくが, 一アドレス分のデータ処理で計算を終了する。(5) 収束の判別は速度または流れの角度の補償値が 1% 以下になったときとする。(6) 収束しない場合を考慮しくり返し回数には上限を設ける。5 回とする。

##### 1. 記 号

変数の先頭についた○印は入力値を示す。

変 数	定 義
○A(I)	: 変換係数
AAA	: $3 \cdot a / 2g$
○ADR	: 処理するデータのアドレス番号
○AL0	: プロープ設定角度補正值 (度)
ALP	: 流れの角度, $\alpha$ (rad)
○AS	: 球形取圧部半径, $a$
○B(I)	: 変換係数
○C(I)	: 変換係数
COS10	: ダミー変数
CP(I)	: 圧力係数, (7) 式参照 なお CP(INP) は流れ角度を示す
CPS	: 静圧係数, $C_{ps}$ , (12) 式参照
CPT	: 全圧係数, $C_{pt}$ , (13) 式参照
○D(I)	: 変換係数
DCPA	: $DC_{pA}$ , (11) 式参照
DPA	: $Dp_A$ , (4) 式参照
○DT	: データ時間々隔
DVCOS1(I, J)	: $3a/2g \cdot \frac{d}{dt}(v \cdot \cos \theta_{11})$
F(J)	: ダミー変数
○FSP(I)	: 電圧から圧力への換算係数
G 2	: $2g = 19.6 \text{ m/s}^2$
GRD	: ダミー変数
I	: 取圧孔番号
IN	: 取圧孔数
INP	: IN+1
J	: データの番号
○JN	: 処理するデータ数, $N$
○JNS	: 始めから読み飛ばすデータ数
K	: 多項式の次数を示す番号
○KM(I)	: (多項式の次数)+1
KMII	: ダミー変数

- LL : くり返し計算の回数  
 ○ MD(I) : 電圧で表わされるデータ  
 P0(I, J) : 各取圧孔指示圧力  
 P1(I, J) : 加速度項を除いた指示力  
 PAI :  $\pi = 3.14159$   
 PN : ダミー変数  
 PN1 : ダミー変数  
 PS(J) : 静圧  $P_s$ , (9) 式参照  
 PT(J) : 全圧  $P_t$ , (10) 式参照  
 RAD :  $1(\text{度}) = 1/57.1957(\text{rad})$   
 ○ SA 2(I, J) : 多項式の係数  
 ○ SA 3(I, J) : 多項式の係数  
 ○ SA 4(I, J) : 多項式の係数  
 ○ SB(I) : 電圧から圧力への換算係数  
 TETA(I) : 取圧孔角度位置,  $\theta_i$   
 TH : 取圧孔間々隔,  $\theta_h$   
 UC(J) : 主流方向速度,  $u$   
 VC(J) : 主流直角方向速度,  $v$   
 VCOS1(I, J) :  $v_s \cos \theta_{1i}$   
 VSO : ダミー変数  
 VS(J) : 流速  $v_s$ , (8) 式参照  
 VVV : ダミー変数  
 X : 指圧相関数, (3) 式参照  
 XAM : 最大誤差  
 XX : ダミー変数

```

READ(5,1000) DT,ALO
READ(PTR,2000) ADR
IF(JNS,EQ,0) GO TO 41
DO 40 J=1,JNS
  READ(PTN,2200) (MD(I),I=1,IN)
40 CONTINUE
41 DO 45 J=1,JM
  READ(PTR,2200) (MD(I),I=1,IN)
  DO 42 I=1,IN
    P1(I,J)=FSP(I)+FLOAT(MD(I))+SB(I)
  DO(I,J)=P1(I,J)
42 CONTINUE
45 CONTINUE
LL=0
XAM=0.0
C
CALCULATION
100 WRITE(6,400) LL
  WRITE(6,410)
  DO 30 J=1,JM
    IF(P1(2,J).GE.P1(3,J)) GO TO 61
    OPA=P1(1,J)-P1(2,J)
    GO TO 62
  61 OPA=P1(1,J)-P1(3,J)
  42 XX=PI(2,J)-PI(3,J)/DPA
  DO 70 I=1,INP
    PN1=0.0
    XX=A(I)*X+B(I)
    PN(I)=1.0
    PN(2)=(XX-SA3(I,2))+PN(I)
    KM(I)=KM(I)
    DO 64 K=1,KM(I)
      PNI=(XX-SA3(I,K))+PN(K-1)-SA4(I,K-1)+PN(K-2)
64 CONTINUE
    DO 66 K=1,KM(I)
      PNI=PN1+SA2(I,K)+PM(K)
66 CONTINUE
    CP(I)=PNI+C(I)-D(I)
70 CONTINUE
    IF(P1(2,J).GE.P1(3,J)) GO TO 73
    DCPA=CP(1)-CP(2)
    GO TO 74
73 DCPA=CP(1)-CP(3)
74 VSO=G2*OPA/DCPA
    IF(VSO) 75,76,76
75 VSO=0.0
76 VSO=SQRT(VSO)
    IF(LL.EQ.0) GO TO 77
    VVV=ABS(VS(J)-VSO)/(VS(J)+VSO)
    IF(XAM.LE.VVV) XAM=VVV
77 VS(J)=VSO

```

## 2. プログラム

```

C MEASUREMENT OF 2-D UNSTEADY FLOW BY A SPHERE PROBE
C COMPENSATION OF ACCELERATION
C
DOUBLE PRECISION SA2
DIMENSION TETA(3),KM(4),SA2(4,30),SA3(4,30),SA4(4,30),
1 A(1,8),C(1,4),D(1,4),FSP(3),SB(3),P1(3,50),MD(3),
2 P(3,50),PN(30),CP(4),V(50),PS(50),PT(50),
3 VCS1(3,50),F(50),DVCOS1(2,50),UC(50),VC(50)
G2=10.0
PAI=3.141592
RAD=1.0/57.2957
C PROBE DATA
READ(5,1000) AS,TH
AAA=3.0*AS/G2
IN=3
INP=IN+1
TETA(1)=PAI
TETA(2)=-PAI+RAD*TH
TETA(3)=TETA(2)
READ(5,1001) (KM(I),I=1,INP)
DO 20 I=1,INP
  KM(I)=KM(I)
DO 15 K=1,KM(I)
15 READ(5,1200) SA2(I,K),SA3(I,K),SA4(I,K)
20 CONTINUE
DO 25 I=1,INP
  READ(5,1300) A(1),D(1),C(1),D(1)
25 CONTINUE
C CALIBRATION FACTORS FOR DATA
READ(5,1000) (FSP(I),I=1,IN)
READ(5,1000) (SB(I),I=1,IN)
C PRINT OUT THE INPUT DATA
WRITE(6,200)
WRITE(6,210) AS,TH
WRITE(6,220) (KM(I),I=1,INP)
WRITE(6,240)
DO 26 I=1,INP
  WRITE(6,250) I
  WRITE(6,260) A(I),B(I),C(I),D(I)
  KM1=KM(I)
  DO 27 K=1,KM1
    WRITE(6,280) SA2(I,K),SA3(I,K),SA4(I,K)
27 CONTINUE
28 CONTINUE
  WRITE(6,290)
  DO 29 I=1,IN
    WRITE(6,300) I,FSP(I),SB(I)
29 CONTINUE
C READ DATA
READ(5,1100) JN,JMS
JNM2=JN-2
CPS=CPI(1)/DCPA
PS(J)=P1(1,J)+DPA+CPS
CPJ=(1.0-CPI(1))/DCPA
PT(J)=P1(1,J)+DPA+CPT
CPI(INP)=CPI(INP)+ALO
ALP=AD+CPI(INP)
UC(J)=VS(J)+COS(ALP)
VC(J)=VS(J)+SIN(ALP)
DO 79 I=1,IN
  COS1=COS(TETA(I))+COS(ALP)*SIN(TETA(I))+SIN(ALP)
  VCOS1(I,J)=VS(J)+COS1
79 CONTINUE
WRITE(6,420) J,(P1(I,J),I=1,IN),X,(CPI(I),I=1,INP)
C
80 CONTINUE
  COMPENSATION
  DO 95 I=1,IN
    DO 91 J=1,JM
      F(J)=VCOS1(I,J)
91 CONTINUE
      GRAD=0.5*(F(3)-F(1))/DT
      DVCOS1(1,2)=GRAD
      DVCOS1(1,1)=0.0+GRAD
      GRAD=0.5*(F(JN)-F(JN-2))/DT
      DVCOS1(1,JN)=GRAD
      DVCOS1(1,JN)=0.0+GRAD
      DO 93 J=3,JNM2
        GRAD=(F(J-2)-0.0*(F(J-1)-F(J+1))-F(J+2)
          DVCOS1(1,J)=GRAD/(12.0*DT)
93 CONTINUE
      DO 94 J=1,JM
        DVCOS1(1,J)=AAA*DVCOS1(1,J)
        P1(1,J)=P1(1,J)+DVCOS1(1,J)
94 CONTINUE
95 CONTINUE
      WRITE(6,600)
      DO 96 J=1,JM
        WRITE(6,620) J,P1(J),PS(J),VS(J),UC(J),VC(J),
          1 (VCOS1(I,J),I=1,IN),(DVCOS1(I,J),I=1,IN)
96 CONTINUE
LL=LL+1
IF(LL.EQ.1) GO TO 100
IF(XAM.LE.0.005) GO TO 99
IF(LL.LE.5) GO TO 100
99 STOP
C
1000 FORMAT(8F10.8)
1100 FORMAT(10I5)
1200 FORMAT(020,8,F15.5,F15.5)
1300 FORMAT(6F12.8)
2000 FORMAT(A4)

```

```

2200 FORMAT(2(15,1X),15)
200  FORMAT(1M1//13X,29HCOMPENSATION OF ACCELLARATION//1M0,5X,
      1  10HPROB( DATA)
210  FORMAT(1M0,10X,5HΔS = ,F10.5,5X,5HTH = ,F10.5/)
220  FORMAT(1M0,5X,10HPOLYNOMIAL/1M -10X,3HCP1,14,3X,3HCP2,
      1  14,3X,3HCP3,14,3X,3HALP,(14,3X/)
240  FORMAT(1M0,5X,11HCOEFFICIENTS)
250  FORMAT(1M0,11)
260  FORMAT(1M ,70X,4(5X,F10.5))
280  FORMAT(1M ,D30,5,2F15.5)
290  FORMAT(1M0/6X,13HSCALE FACTORS/)
300  FORMAT(1M ,10X,2H| = |3,5X,4HESP = ,F10.8,5X,3H50 = ,F10.8)
400  FORMAT(1M1,5X,9HITERATION(5X,(2)
410  FORMAT(1M0,12X,11H,7X,2HP1,8X,2HP2,9X,2HP3,9X,1HX,7X,3HCP1,
      1  7X,3HCP2,7X,3HCP3,7X,3HALP)
420  FORMAT(1M ,9X,15,3F10.5)
600  FORMAT(1M0//13X,1HJ,7X,2HPT,8X,2HP5,8X,2HVS,9X,1HJ,8X,1HV,
      1  4X,6HVCOS1,14X,6HVCOS12,4X,6HVCOS13,3X,7HVCOS11,
      2  3X,7HVCOS12,3X,7HVCOS13)
620  FORMAT(1M ,8X,15,11F10.5)
      END

```