

JAERI-M
8650

リブ付伝熱面の強制対流熱伝達・第1報
(数値解析コード)

1980年1月

刃刀 資彰・滝塚 貴和

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

リップ付伝熱面の強制対流熱伝達・第1報
(数値解析コード)

日本原子力研究所東海研究所高温工学室
刃刀 資彰・滝塚 貴和

(1979年12月19日受理)

周期的に出現するリップを有する平行流路内の流れおよび熱伝達についての知見を得ることを目的として行った数値計算に関する報告である。非圧縮性 Newton 流体および非定常 2次元モデルを仮定し、有限差分法により解く際に、渦度移動方程式を適用して完全な Navier-Stokes 式の数値解析を行った。

この解析用に開発した計算コードについて、その内容と計算結果の一例を示した。

Flow and Heat Transfer in Parallel Channel Attached with
Equally-Spaced Ribs, 1st Report
(Program for Numerical Calculations)

Tomoaki KUNUGI and Takakazu TAKIZUKA

Division of High Temperature Engineering,
Tokai Research Establishment, JAERI

(Received December 19, 1979)

Numerical calculations are described for the flow and heat transfer in a parallel channel attached with equally-spaced ribs. Assuming an incompressible Newtonian fluid and unsteady two-dimensional flow model, numerical analysis of the complete Navier-Stokes equations is made by applying vorticity-transport form to the solution by finite difference method.

The numerical procedure and the typical results are presented.

Key words ; Numerical Calculation, Fluid Flow, Heat Transfer, Parallel channel, Equally-spaced Ribs, Incompressible Newtonian Fluid, Unsteady Two-Dimensional Flow Model, Navier-Stokes Equations, Finite Difference Method.

目 次

1. はじめに	1
2. 理論解析	1
2.1 対象領域	1
2.2 仮 定	2
2.3 基礎方程式	2
2.4 境界条件	4
2.5 無次元化体系	5
2.6 圧力方程式	7
2.7 摩擦抵抗	8
2.8 熱伝達率	8
3. 有限差分近似	11
3.1 基礎方程式の有限差分表示	11
3.2 境界条件の有限差分表示	14
3.3 圧力方程式の有限差分表示	17
3.4 摩擦抵抗式の有限差分表示	18
3.5 熱伝達率分布の式の有限差分表示	18
4. 計算コード	20
4.1 収束判定条件	20
4.2 計算コードの構成	21
5. 計算結果例	27
参考文献	33
付録 数値解析コード	34

図 目 次

Fig.1 平行流路内に周期的に取付けられたリップ	2
Fig.2 対象領域と境界条件	5
Fig.3 矩形流路	9
Fig.4 四辺形メッシュ形状	11
Fig.5 対象領域の格子分割	12
Fig.6 計算コードのフローチャート	24
Fig.7 流れ関数分布	28
Fig.8 渦度分布	28

Fig. 9	温度分布	28
Fig. 10	流速分布	29
Fig. 11	压力分布	30
Fig. 12	摩擦抵抗分布	31
Fig. 13	熱伝達率分布	32

CONTENTS

1. Introduction	1
2. Theoretical analysis	1
2.1 Interest region.....	1
2.2 Fundamental assumptions	2
2.3 Fundamental equations	2
2.4 Boundary conditions	4
2.5 Dimensionless system	5
2.6 Pressure equation	7
2.7 Friction force	8
2.8 Heat transfer coefficient	8
3. Finite-difference approximations	11
3.1 Finite-difference representations of fundamental equations...	11
3.2 Finite-difference representations of boundary conditions ...	14
3.3 Finite-difference representation of pressure equation	17
3.4 Finite-difference representation of friction force	18
3.5 Finite-difference equation of heat transfer coefficient	18
4. Numerical analysis.....	20
4.1 Conditions of convergences.....	20
4.2 Program for computations	21
5. Numerical results.....	27
Literature cited	33
Appendix Program for Numerical Calculations	34

記 号 表

- C_p : 定圧比熱
 d_0 : 等価直径
 D : 無次元リブ高さ
 E_θ : 温度の収束判定許容誤差
 E_ψ : 流れ関数の収束判定許容誤差
 E_{ζ_1} : 渦度の収束判定許容誤差 (時刻 T について)
 E_{ζ_2} : 渦度の収束判定許容誤差 (時刻 $T + \Delta T$ について)
 f : 有限差分形の関数
 F : 2階の偏微分を持つ関数
 h : 熱伝達率
 H : 流路高さ
 i : X方向メッシュ・ノード番号
 IB : リブ幅を示すメッシュ分割数
 IX : 領域の X方向メッシュ分割数
 j : Y方向メッシュ・ノード番号
 JS : リブ高さを示すメッシュ分割数
 JY : 領域の Y方向メッシュ分割数
 m : 計算回数
 n : 境界壁に垂直な方向
 N : 境界面に垂直な方向への距離
 Nu : ヌッセルト数
 O : 正確度を示す記号
 p : 圧力
 P_0 : 基準圧力
 P : 1ピッチ長さ
 P^* : 無次元圧力
 P_0^* : 無次元基準圧力
 Pr : プラントル数
 q : 熱流束
 q_1 : 流路上面からの熱流束
 q_2 : 流路下面からの熱流束
 Q : 無次元熱流束
 Re : レイノルズ数
 s : リブ高さ

- t : 時 間
 T : 無次元時間
 ΔT : 無次元時間刻み幅
 u : x 方向速度成分
 U : 無次元 X 方向速度成分
 \bar{U}_0 : 流体の平均流速
 v : y 方向速度成分
 V : 無次元 Y 方向速度成分
 w : リ ブ 幅
 x : x 座 標
 x_p : 1 ピッチ長さ
 x_w : リ ブ 幅
 X : 無次元 x 座標
 X_p : 無次元ピッチ長さ
 y : y 座 標
 y_s : リブ高さ
 y_0 : 流路高さ
 Y : 無次元 y 座標
 Y_s : 無次元リブ高さ
 Y_0 : 無次元流路高さ
 Z_0 : 矩形流路幅

 α : 温度伝ば率
 ζ : 渦 度
 ζ^* : 無次元渦度
 ζ_w : 壁面の渦度
 ζ_{w+1} : 壁面より 1 node 領域内の渦度
 θ : 温 度
 θ_b : バルク温度
 θ_c : 温度定数
 θ_0 : 基準温度
 Θ : 無次元温度
 Θ_b : 無次元バルク温度
 Θ_0 : 無次元基準温度
 λ : 熱伝導率
 μ : 粘 度
 ν : 動 粘 度
 ρ : 密 度

- Σ : 総和記号
- τ : 摩擦抵抗
- τ^* : 無次元摩擦抵抗
- ψ : 流れ関数
- ψ^0 : 流れ関数
- ψ^* : 無次元流れ関数
- ω : 加速係数

1. はじめに

高温ガス炉では、熱伝達率を向上させるため燃料要素や熱交換器などの伝熱面にフィンあるいはリブなどを設ける方法が採られる（炭酸ガス冷却炉燃料要素、ガス冷却高速増殖炉燃料要素、ガスタービン高温ガス炉前置冷却器伝熱管など）。これは、ガスが液体と比べて熱伝導率が低く、したがって同じ条件では熱伝達率が低くなるためである。

リブなどを設けることにより伝熱面積が増加するばかりでなく、流れを大きく乱すことによって熱伝達率が大きくなる。

一般に、このような伝熱面の設計は、熱伝達率が比較的明確な乱流領域で用いることを前提としており、熱伝達率が明確に定まらない遷移流領域（層流／乱流）や熱伝達率が低下する層流領域で設計することは避けられる。

しかしながら、過渡状態あるいは異常時には層流領域に入ることも考えられる。層流領域では、リブ付伝熱面の熱伝達がリブのない平滑な伝熱面の場合よりも低下することを示す実験データ²⁾もあり、これを確認するためにも層流領域における熱伝達率を数値計算で求めることは重要である。

本研究では、平行流路内に周期的に取り付けられたリブまわりの強制対流熱伝達について、非定常2次元非圧縮性流れを仮定し、平行流路壁面およびリブ伝熱面から熱流束が与えられているものとして Navier-Stokes 式およびエネルギー方程式を用いて数値解析する計算コードの開発を行い、従来の実験データとの比較検討を行うのが主目的であるが、本報では、解析の手法および開発した計算コードの紹介を行い、本計算コードによる数値計算の一例のみを示した。

2. 理論解析

2.1 対象領域

Fig. 1 にリブ付伝熱面を有する平行流路を示す。この平行流路内の強制対流熱伝達について Navier-Stokes の式およびエネルギー式を用いて解析を行った。

2次元デカルト座標系において、流体の流れ方向を x 方向とし、領域の流路下面より上面に向かう方向を正の y 方向とする。下面のリブは矩形であり、 x 方向に周期的に取り付けられているものとし、1ピッチの長さを P 、流路高さを H 、リブ幅を w 、リブ高さを s とする。

周期的に取り付けられたリブの任意の1周期を解析の対象領域として採用した。

対象領域には、流速 \bar{U}_0 の流体が流入しており、領域出口においても \bar{U}_0 の流速を有するものとする。また、対象領域上面から流体に対し、熱流束 q_1 が与えられ、下面からも q_2 の熱流束が与えられているものとする。

1. はじめに

高温ガス炉では、熱伝達率を向上させるため燃料要素や熱交換器などの伝熱面にフィンあるいはリブなどを設ける方法が採られる（炭酸ガス冷却炉燃料要素、ガス冷却高速増殖炉燃料要素、ガスタービン高温ガス炉前置冷却器伝熱管など）。これは、ガスが液体と比べて熱伝導率が低く、したがって同じ条件では熱伝達率が低くなるためである。

リブなどを設けることにより伝熱面積が増加するばかりでなく、流れを大きく乱すことによって熱伝達率が大きくなる。

一般に、このような伝熱面の設計は、熱伝達率が比較的明確な乱流領域で用いることを前提としており、熱伝達率が明確に定まらない遷移流領域（層流／乱流）や熱伝達率が低下する層流領域で設計することは避けられる。

しかしながら、過渡状態あるいは異常時には層流領域に入ることも考えられる。層流領域では、リブ付伝熱面の熱伝達がリブのない平滑な伝熱面の場合よりも低下することを示す実験データ²⁾もあり、これを確認するためにも層流領域における熱伝達率を数値計算で求めることは重要である。

本研究では、平行流路内に周期的に取り付けられたリブまわりの強制対流熱伝達について、非定常2次元非圧縮性流れを仮定し、平行流路壁面およびリブ伝熱面から熱流束が与えられているものとしてNavier-Stokes式およびエネルギー方程式を用いて数値解析する計算コードの開発を行い、従来の実験データとの比較検討を行うのが主目的であるが、本報では、解析の手法および開発した計算コードの紹介を行い、本計算コードによる数値計算の一例のみを示した。

2. 理論解析

2.1 対象領域

Fig. 1 にリブ付伝熱面を有する平行流路を示す。この平行流路内の強制対流熱伝達についてNavier-Stokesの式およびエネルギー式を用いて解析を行った。

2次元デカルト座標系において、流体の流れ方向を x 方向とし、領域の流路下面より上面に向かう方向を正の y 方向とする。下面のリブは矩形であり、 x 方向に周期的に取り付けられているものとし、1ピッチの長さを P 、流路高さを H 、リブ幅を w 、リブ高さを s とする。

周期的に取り付けられたリブの任意の1周期を解析の対象領域として採用した。

対象領域には、流速 \bar{U}_0 の流体が流入しており、領域出口においても \bar{U}_0 の流速を有するものとする。また、対象領域上面から流体に対し、熱流束 q_1 が与えられ、下面からも q_2 の熱流束が与えられているものとする。

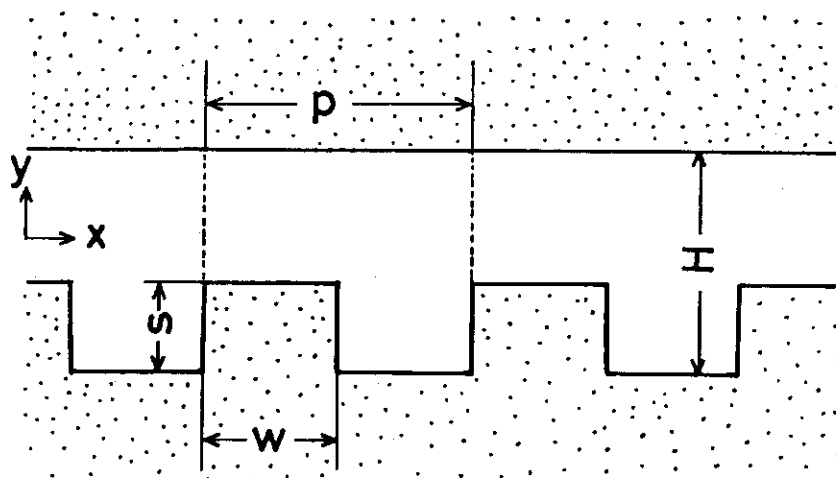


Fig.1 Parallel Channel Attached with Equally-Spaced Ribs

2.2 仮定

- 1) 非定常2次元流れを取扱う。
- 2) 非圧縮性Newton流体を取扱う。
- 3) 流体の物性値は一定で、外力を無視する。
- 4) 流体は壁ですべらないとする。
- 5) エネルギー方程式では、輻射および粘性散逸の効果は無視する。
- 6) 流れ場および温度場は、周期的に出現するものとする。
- 7) 境界壁より熱流束が与えられている（流路上面から q_1 、下面およびリブ表面から q_2 ）。

2.3 基礎方程式

物性値が一定で、外力項のない場合のNewton流体について、非定常2次元非圧縮性流れの基礎方程式は次のようになる。

連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.1)$$

運動の式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2.3)$$

エネルギー方程式

$$\rho C_p \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} + u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) = \lambda \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \right) \quad (2.4)$$

ここで、 u 、 v はそれぞれ x 、 y 方向の速度成分であり、 p は圧力、 ρ は密度、 ν は動粘性係数、 θ は温度、 C_p は定圧比熱、 λ は熱伝導率である。

(2.1)、(2.2)および(2.3)式を用いて、渦度 ζ 、流れ関数 ψ の導入により渦度移動方程式が得られる。

(2.2)式を y で偏微分し、(2.3)式を x で偏微分すると、(2.2)式は、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial y} + \frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial x} + u \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial y} + v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial y} + \nu \left(\frac{\partial^3 u}{\partial y \partial x^2} + \frac{\partial^3 u}{\partial y^3} \right) \end{aligned} \quad (2.5)$$

同様に、(2.3)式は、次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 v}{\partial t \partial x} + \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} + u \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} + v \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \\ = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial y} + \nu \left(\frac{\partial^3 v}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 v}{\partial x \partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (2.6)$$

(2.5)、(2.6)式より圧力項を消去し、渦度 ζ を次式のように定義すると、

$$\zeta = - \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2.7)$$

圧力項消去後の式は、

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial t \partial y} - \frac{\partial^2 v}{\partial t \partial x} \right) + u \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y \partial x} - \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \right) \\ + \left(\frac{\partial u}{\partial y} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial v}{\partial y} \right) \\ = \nu \left(\frac{\partial^3 u}{\partial y \partial x^2} + \frac{\partial^3 u}{\partial y^3} - \frac{\partial^3 v}{\partial x^3} - \frac{\partial^3 v}{\partial x \partial y^2} \right) \end{aligned} \quad (2.8)$$

ここで、流れ関数 ψ を次のように定義する。

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2.9)$$

連続の式(2.3)は、自動的に満足される。

流れ関数を用いて、(2.8)式を書き換えると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y}, \quad \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2}, \quad \frac{\partial v}{\partial x} = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y}, \\ \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^2 \partial x}, \quad \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} = -\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^2 \partial y}, \quad \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^3 \psi}{\partial x^2 \partial y}, \quad \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3}, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = -\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3}, \quad \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = -\frac{\partial^3 \psi}{\partial x \partial y^2}, \quad \frac{\partial^2 u}{\partial t \partial y} = \frac{\partial^3 \psi}{\partial t \partial y^2}, \quad \frac{\partial^2 v}{\partial t \partial x} = -\frac{\partial^3 \psi}{\partial t \partial x^2},$$

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} = -\left(\frac{\partial^3 \psi}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 \psi}{\partial x \partial y^2}\right), \quad \frac{\partial \zeta}{\partial y} = -\left(\frac{\partial^3 \psi}{\partial y \partial x^2} + \frac{\partial^3 \psi}{\partial y^3}\right)$$

従って、(2.8)式は、

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \zeta}{\partial y} = \nu \left(\frac{\partial^2 \zeta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \zeta}{\partial y^2} \right) \quad (2.10)$$

となり、放物型の渦度移動方程式が得られる。この方程式は、非定常項 $\partial \zeta / \partial t$ 、対流項 $u(\partial \zeta / \partial x)$ および $v(\partial \zeta / \partial y)$ 、と粘性効果による拡散項 $\nu \nabla^2 \zeta$ から成立っており、時間に関して放物型である。すなわち、時間に関しては、初期値問題として取扱える。

一方、流れ関数方程式は、(2.7)式より

$$-\nabla^2 \psi = \zeta \quad (2.11)$$

となり、楕円型のポアソン方程式であるから、境界値問題として取扱える。

渦度移動方程式(2.10)は、他の多くの移動過程の1つの典型であり、圧縮性流れを含めて広範囲の移動現象に適用されるものである。

2.4 境界条件

本報で注目している系の境界条件は、前述の仮定に基づき次のようになる。(Fig.2を参照。)

- 1) 壁面上で流れはすべらない。 $u = v = 0$
- 2) 壁面からの熱流束は一定。

$$\text{流路上面から} \quad q_1 = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} \Big|_1$$

$$\text{流路下面から} \quad q_2 = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial n} \Big|_2 \quad (n; \text{壁に垂直な方向})$$

- 3) 入口、出口では速度が等しい。
入口; $x = 0$, 出口; $x = x_p (=P)$
 $u(0, y) = u(x_p, y)$
 $v(0, y) = v(x_p, y)$
- 4) 温度は入口出口で熱収支が合うように次式で与えられる。

$$\theta(x_p, y) = \theta(0, y) + \theta_c$$

ここで、 θ_c は、次式で与えられる定数である。

$$\theta_c = \frac{q_1 x_p + q_2 (x_p + 2s)}{\rho C_p y_0 \bar{U}_0} \quad (2.12)$$

$$(y_0 = H, \quad \bar{U}_0 = \frac{1}{y_0} \int_0^{y_0} u dy)$$

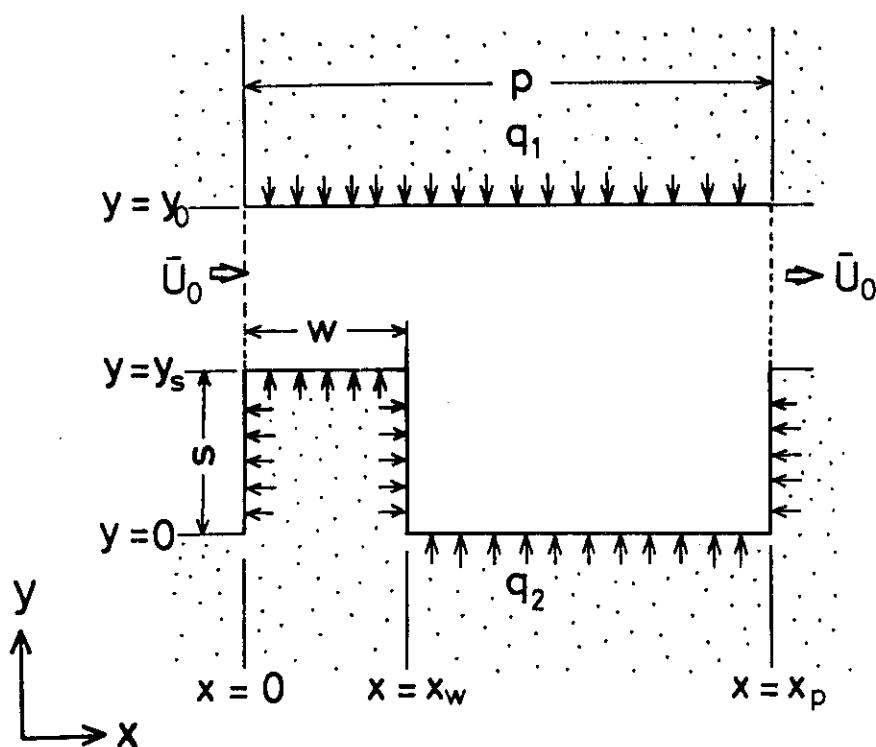


Fig.2 Interest Region and Boundary Conditions.

2.5 無次元化体系

本報で用いた無次元化体系は、流路高さの2倍、 $2H$ を系の代表長さとし、 \bar{U}_0 を代表速度として次の無次元量により構成されている。

$$U = u / \bar{U}_0, \quad V = v / \bar{U}_0, \quad X = x / (2H), \quad Y = y / (2H), \quad T = t / (2H / \bar{U}_0),$$

$$P^* = (p - p_0) / (\rho \bar{U}_0^2), \quad \Theta = (\theta - \theta_0) / \theta_c, \quad Q = q_1 x_p / \{q_1 x_p + q_2 (x_p + 2s)\}$$

レイノルズ数 Re は、系の代表長さ $2H$ と代表速度 \bar{U}_0 に対して次のように定義する。

$$Re = 2 \rho \bar{U}_0 H / \mu \quad \text{または} \quad 2 \bar{U}_0 H / \nu$$

ここで、 μ は流体の粘度である。

また、プラントル数 Pr は、流体の動粘度 ν と温度伝導度 α の比として与えられ次式のように定義する。

$$Pr = \nu / \alpha \quad \text{または} \quad C_p \mu / \lambda$$

ここで、 $\alpha = \lambda / (\rho C_p)$ で与えられるものである。

無次元流れ関数および無次元渦度は、次のように定義する。

$$U = \frac{\partial \psi^*}{\partial Y}, \quad V = -\frac{\partial \psi^*}{\partial X} \quad (2.13)$$

$$\zeta^* = -\left(\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial X^2} \right) \quad (2.14)$$

基礎方程式 (2.1) ~ (2.4) は、次のように無次元化される。

$$\frac{\partial U}{\partial X} + \frac{\partial V}{\partial Y} = 0 \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial U}{\partial T} + U \frac{\partial U}{\partial X} + V \frac{\partial U}{\partial Y} = -\frac{\partial P^*}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} \right) \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial V}{\partial T} + U \frac{\partial V}{\partial X} + V \frac{\partial V}{\partial Y} = -\frac{\partial P^*}{\partial Y} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 V}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial Y^2} \right) \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial \Theta}{\partial T} + U \frac{\partial \Theta}{\partial X} + V \frac{\partial \Theta}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{\partial^2 \Theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \right) \quad (2.18)$$

ここで、(2.13)、(2.14)式を用い、(2.10)式を無次元渦度移動方程式に書き換えると、次式のようになる。

$$\frac{\partial \zeta^*}{\partial T} + \frac{\partial \psi^*}{\partial Y} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} - \frac{\partial \psi^*}{\partial X} \frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial Y^2} \right) \quad (2.19)$$

また、境界条件を無次元化すると次のようになる。

1) 下側の壁では、

$$\left. \begin{aligned} \psi^* &= 0 \\ \zeta^* &= - \left(\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial N^2} \right) \\ -\frac{\partial \Theta}{\partial N} &= \frac{(1-Q) \text{Re Pr}}{2(X_p + 2D)} \end{aligned} \right\} \quad (2.20)$$

2) 上側の壁では、

$$\left. \begin{aligned} \psi^* &= 0.5 \\ \zeta^* &= - \left(\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial N^2} \right) \\ -\frac{\partial \Theta}{\partial N} &= \frac{Q \text{Re Pr}}{2X_p} \end{aligned} \right\} \quad (2.21)$$

ここで、 $X_p = x_p / 2H$, $D = s / 2H$,

$$Q = \frac{q_1 x_p}{q_1 x_p + q_2 (x_p + 2s)}, \quad N = n / 2H$$

ただし、 n は、境界面での法線方向を示す。

3) Scheme入口、出口では、

$$\left. \begin{aligned} \psi^*(0, Y) &= \psi^*(X_p, Y) \\ \zeta^*(0, Y) &= \zeta^*(X_p, Y) \\ \Theta(0, Y) &= \Theta(X_p, Y) - 1 \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

+) 壁面上で法線方向の速度は零であるため、壁面上で流れ関数 ψ^0 は一定となる。上側壁面の流れ関数 ψ_1^0 と下側壁面の流れ関数 ψ_2^0 との差は、その間を流れる流量に等しい。

$$\psi_1^0 - \psi_2^0 = \int_0^{y_0} u dy \quad (a)$$

従って、無次元表示では、

$$\psi_1^* - \psi_2^* = 0.5 \quad (b)$$

ここで、流れ関数の絶対値は、物理的意味をもたないので、 $\psi_2^* = 0$ とおいても一般性を失わない。以上のことから、流れ関数の境界条件は、

$$\left. \begin{array}{l} \text{上側壁面上で, } \psi^* = 0.5 \\ \text{下側壁面上で, } \psi^* = 0.0 \end{array} \right\} \quad (c)$$

また、熱流束 q_1, q_2 については、(2.4)式の(2)の境界条件を無次元化して次式のようになる。

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial \Theta}{\partial N} \Big|_1 = \frac{Q \text{RePr}}{2X_p} \\ \frac{\partial \Theta}{\partial N} \Big|_2 = \frac{(1-Q)\text{RePr}}{2(X_p + 2D)} \end{array} \right\} \quad (d)$$

以上より、解くべき基礎方程式は、(2.14)、(2.18)および(2.19)式であり、境界条件は、(2.20)、(2.21)および、(2.22)式で表される。

2.6 圧力方程式

注目している系の圧力分布を知るために、運動方程式から圧力方程式を導出する。

(2.15)、(2.16)式で与えられている運動方程式について、圧力の解を得るために、圧力の基準が対象領域流入境界上の上側壁面にあるものとする。

圧力基準点上で $U=V=0$ 、圧力勾配は X 方向に拮がっているので $(\partial U / \partial X) = 0$ であり、時間に依存しないので、(2.15)式は、上側壁面 ($0 \leq X \leq X_p, Y=Y_0$)、リブ上面 ($0 < X < X_w, Y=Y_s$)、下側壁面 ($X_w < X < X_p, Y=0$) について、

$$0 = -\frac{\partial P^*}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^2 U}{\partial Y^2} = -\frac{\partial P^*}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial^3 \psi^*}{\partial Y^3} \quad (2.23)$$

ここで、渦度 ζ^* を Y で偏微分すると、 $\partial \psi^* / \partial X = 0$ より、

$$\frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} = -\frac{\partial^3 \psi^*}{\partial Y^3} \quad (2.24)$$

(2.23)式と(2.24)式より、

$$0 = \frac{\partial P^*}{\partial X} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} \quad (2.25)$$

また、リブ側面 ($X=X_w, 0 \leq Y \leq Y_s$ および $X=X_p, 0 \leq Y \leq Y_s$) では、(2.16)式が適用されて、同様に

$$0 = \frac{\partial P^*}{\partial Y} + \frac{1}{\text{Re}} \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \quad (2.26)$$

となる。従って、各境界壁について(2.25)または、(2.26)式を解くことにより、圧力分布を知ることができる。

初期条件として、基準点での圧力が P_0^* であるとすれば、(2.25)、(2.26)式を各境界壁について積分して、

$$P^* = P_0^* + \int_0^x \frac{1}{\text{Re}} \cdot \frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} \Big|_w dx \quad (2.27)$$

または,

$$P^* = P_0^* + \int_0^Y \frac{1}{Re} \cdot \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \Big|_w dY \quad (2.28)$$

となる。(ここで、添字 w は、境界壁を示す。)

2.7 摩擦抵抗

摩擦抵抗 τ は、流体の動粘性係数 $\nu (= \mu/\rho)$ と渦度 ζ に関係し、次式で与えられる。

$$\tau = \nu \zeta = \left(\frac{\mu}{\rho} \right) \zeta \quad (2.29)$$

無次元化を行う。無次元摩擦抵抗は、 $\tau^* = \tau / \rho \bar{U}_0^2$ であり、渦度 ζ と無次元渦度 ζ^* の関係を導くことにより、無次元摩擦抵抗 τ^* と無次元渦度 ζ^* との関係が得られる。

まず、渦度 ζ を無次元化すると、(2.7)式より、

$$\zeta = -\frac{\bar{U}_0}{2H} \left(\frac{\partial U}{\partial Y} - \frac{\partial V}{\partial X} \right) \quad (2.30)$$

無次元流れ関数 ψ^* を導入すると、

$$\zeta = -\frac{\bar{U}_0}{2H} \left(\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial X^2} \right) \quad (2.31)$$

ここで、無次元渦度 ζ^* は、(2.14)式により次のように定義されているので、

$$\zeta^* = -\left(\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial X^2} \right)$$

(2.31)式は無次元渦度 ζ^* で書き換えられて、

$$\zeta = \frac{\bar{U}_0}{2H} \zeta^* \quad (2.32)$$

となる。

従って、無次元摩擦抵抗 τ^* と無次元渦度 ζ^* の関係式は次式のようになり、境界壁面上での摩擦抵抗分布が知れる。

$$\begin{aligned} \tau^* &= \frac{\tau}{\rho \bar{U}_0^2} = \frac{1}{\rho \bar{U}_0^2} \left(\frac{\mu \bar{U}_0}{2H} \right) \zeta^* \\ &= \frac{\nu}{2H \bar{U}_0} \zeta^* \\ &= \frac{1}{Re} \zeta^* \end{aligned} \quad (2.33)$$

2.8 熱伝達率

内部流れの熱伝達問題では、熱伝達率 h は一般に次のように定義される。

$$h = \frac{q}{\theta_w - \theta_b} \quad (2.34)$$

ここで、 q は熱流束、 θ_w および θ_b はそれぞれ壁面温度および混合平均温度 (mixed mean temperature あるいは bulk temperature) であり、 θ_b は次式で与えられる。

$$\theta_b = \frac{\int_0^y \theta u dy}{\int_0^y u dy} \quad (2.35)$$

また、無次元熱伝達率ヌッセルト数 Nu は、一般に代表長さとして等価直径 (equivalent diameter あるいは, hydraulic diameter) をとって、

$$Nu = \frac{h d_0}{\lambda} \quad (2.36)$$

ここで、等価直径 d_0 は、次式で定義される。

$$d_0 = \frac{4 \times (\text{流路断面積})}{(\text{流路断面の周囲の長さ})} \quad (2.37)$$

従って、円管の場合には、 d_0 は円管の直径に等しくなり、Fig. 3 のような形流路では、

$$d_0 = \frac{2 y_0 z_0}{y_0 + z_0} \quad (2.38)$$

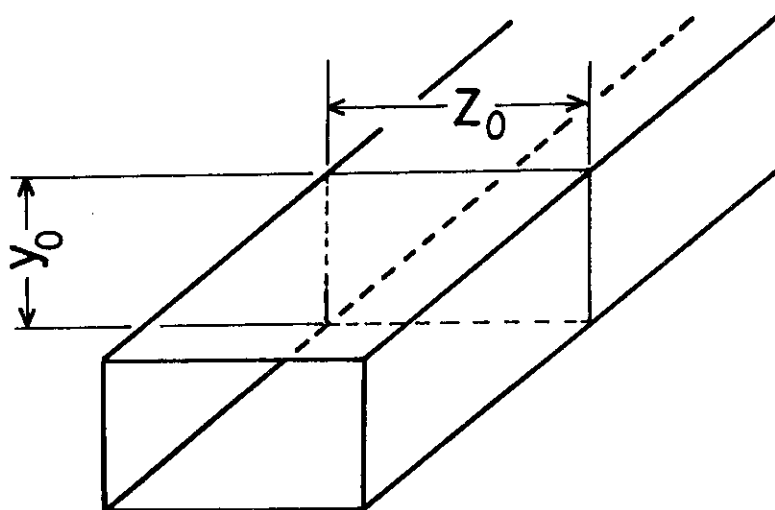


Fig. 3 Square Channel

2次元流路の場合、(2.38)式で $z_0 \rightarrow \infty$ として、

$$d_0 = 2 y_0 \quad (2.39)$$

で表される。本研究で注目している系では、 $y_0 = H$ なので、 $d_0 = 2H$ となる。

(2.34)、(2.36)および(2.39)式より、

$$Nu = \frac{2 d_0 \cdot q}{\lambda (\theta_w - \theta_b)} \quad (2.40)$$

熱流束 q は、上側壁面では、

$$q_1 = \frac{Q}{1-Q} \cdot \frac{q_2 (X_p + 2D)}{X_p} \quad (2.41)$$

また、 $(\theta_w - \theta_b)$ は、無次元化すると、

$$\begin{aligned} \theta_w - \theta_b &= \frac{q_1 x_p + q_2 (x_p + 2s)}{\rho C_p y_0 \bar{U}_0} \cdot (\Theta_w - \Theta_b) \\ &= 2 \cdot \frac{q_1 X_p + q_2 (X_p + 2D)}{2 \rho C_p H \bar{U}_0} \cdot (\Theta_w - \Theta_b) \end{aligned} \quad (2.42)$$

(2.40), (2.41), (2.42) 式より

$$Nu = \frac{Q Re Pr}{2 X_p (\Theta_w - \Theta_b)} \quad (2.43)$$

となる。同様にして、下側壁面では、

$$Nu = \frac{(1-Q) Re Pr}{2 (X_p + 2D) (\Theta_w - \Theta_b)} \quad (2.44)$$

となる。

3. 有限差分近似

3.1 基礎方程式の有限差分表示

渦度移動方程式およびエネルギー方程式の有限差分化の手法を述べる。

まず、渦度移動方程式において、時間に対して前進差分を適用し、対流項および粘性効果の拡散項に対しては中心差分を適用する。ここで用いる mesh 形状は、Fig. 4 に示した四辺形 mesh である。Fig. 5 に格子分割を示す。

無次元流れ関数 ψ^* の偏微分形の有限差分近似は、次式のようになる。

$$\left(\frac{\partial \psi^*}{\partial X}\right)_{ij} = \frac{\psi_{i+1,j}^* - \psi_{i-1,j}^*}{2\Delta X} \quad (3.1)$$

$$\left(\frac{\partial \psi^*}{\partial Y}\right)_{ij} = \frac{\psi_{i,j+1}^* - \psi_{i,j-1}^*}{2\Delta Y} \quad (3.2)$$

$$\left(\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial X^2}\right)_{ij} = \frac{\psi_{i+1,j}^* - 2\psi_{ij}^* + \psi_{i-1,j}^*}{\Delta X^2} \quad (3.3)$$

$$\left(\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial Y^2}\right)_{ij} = \frac{\psi_{i,j+1}^* - 2\psi_{ij}^* + \psi_{i,j-1}^*}{\Delta Y^2} \quad (3.4)$$

従って、(2.14)の渦度方程式の有限差分表示は、

$$\zeta_{ij}^* = - \left(\frac{\psi_{i+1,j}^* - 2\psi_{ij}^* + \psi_{i-1,j}^*}{\Delta X^2} + \frac{\psi_{i,j+1}^* - 2\psi_{ij}^* + \psi_{i,j-1}^*}{\Delta Y^2} \right) \quad (3.5)$$

となる。

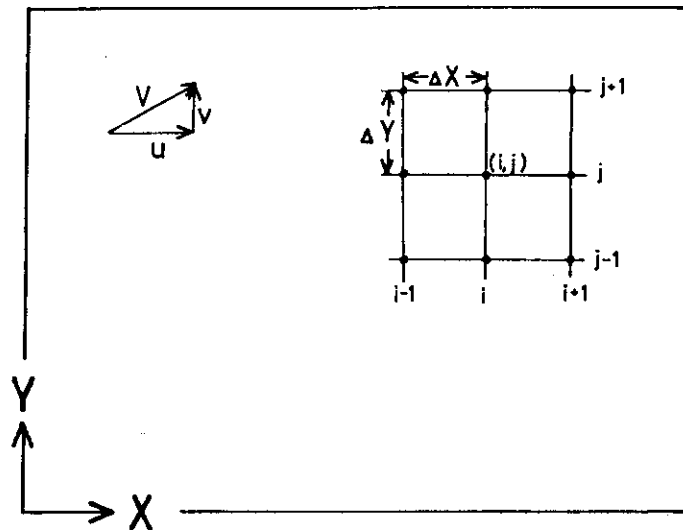


Fig. 4 Situation of the Quadrilateral Mesh.

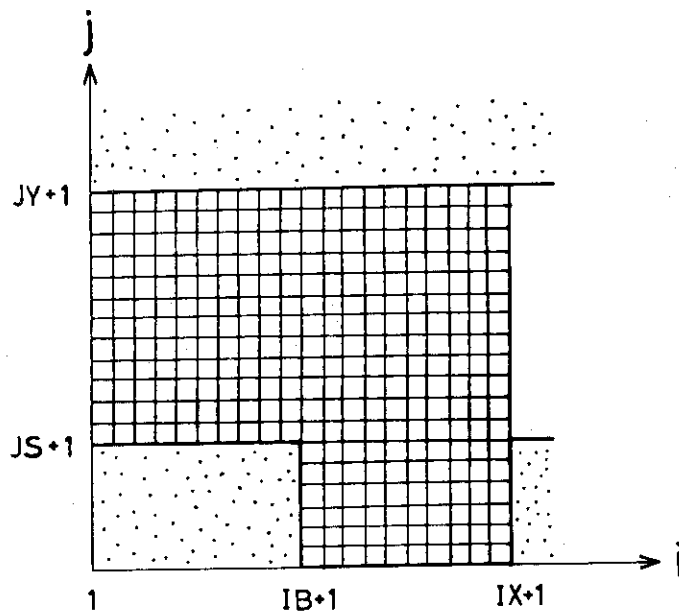


Fig.5 Grids in the Interest Region.

時間に対して前進差分を適用する際、時刻 T における渦度を $\zeta_{ij}^{*(T)}$ とし、時刻 T より ΔT 時間経過後の渦度を $\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ とすると、渦度 ζ^* の時間方向での有限差分近似は、次式のようになる。

$$\left(\frac{\partial \zeta^*}{\partial T}\right)_{ij} = \frac{\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)} - \zeta_{ij}^{*(T)}}{\Delta T} \quad (3.6)$$

(3.1)~(3.6)を用いて、(2.19)の渦度移動方程式を有限差分表示すると次式のようになる。

$$\begin{aligned} \frac{\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)} - \zeta_{ij}^{*(T)}}{\Delta T} + \frac{\psi_{i,j+1}^* - \psi_{i,j-1}^*}{2\Delta Y} \cdot \frac{\zeta_{i+1,j}^{*(T)} - \zeta_{i-1,j}^{*(T)}}{2\Delta X} - \frac{\psi_{i+1,j}^* - \psi_{i-1,j}^*}{2\Delta X} \cdot \frac{\zeta_{i,j+1}^{*(T)} - \zeta_{i,j-1}^{*(T)}}{2\Delta Y} \\ = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\zeta_{i+1,j}^{*(T)} - 2\zeta_{i,j}^{*(T)} + \zeta_{i-1,j}^{*(T)}}{\Delta X^2} + \frac{\zeta_{i,j+1}^{*(T)} - 2\zeta_{i,j}^{*(T)} + \zeta_{i,j-1}^{*(T)}}{\Delta Y^2} \right) \end{aligned} \quad (3.7)$$

(3.7)式を $(T+\Delta T)$ 時刻の渦度 $\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ について解くと、

$$\begin{aligned} \zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)} = \zeta_{ij}^{*(T)} + \Delta T \cdot \left[-\frac{\psi_{i,j+1}^* - \psi_{i,j-1}^*}{2\Delta Y} \cdot \frac{\zeta_{i+1,j}^{*(T)} - \zeta_{i-1,j}^{*(T)}}{2\Delta X} \right. \\ \left. + \frac{\psi_{i+1,j}^* - \psi_{i-1,j}^*}{2\Delta X} \cdot \frac{\zeta_{i,j+1}^{*(T)} - \zeta_{i,j-1}^{*(T)}}{2\Delta Y} + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\zeta_{i+1,j}^{*(T)} - 2\zeta_{i,j}^{*(T)} + \zeta_{i-1,j}^{*(T)}}{\Delta X^2} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{\zeta_{i,j+1}^{*(T)} - 2\zeta_{i,j}^{*(T)} + \zeta_{i,j-1}^{*(T)}}{\Delta Y^2} \right) \right] \end{aligned} \quad (3.8)$$

次に、流れ関数 ψ^* の有限差分表示は、(3.5)式より、四辺形 mesh 幅が $\Delta X = \Delta Y$ ならば、

$$\psi_{ij}^* = \frac{1}{4} (\psi_{i+1,j}^* + \psi_{i-1,j}^* + \psi_{i,j+1}^* + \psi_{i,j-1}^* + \zeta_{ij}^{*(T)} \cdot \Delta X^2) \quad (3.9)$$

また, $\Delta X \neq \Delta Y$ ならば,

$$\psi_{ij}^* = \frac{1}{2(\Delta X^2 + \Delta Y^2)} \left[(\psi_{i+1,j}^* + \psi_{i-1,j}^*) \cdot \Delta Y^2 + (\psi_{i,j+1}^* + \psi_{i,j-1}^*) \cdot \Delta X^2 + \zeta_{ij}^{*(T)} \cdot \Delta X^2 \cdot \Delta Y^2 \right] \quad (3.10)$$

となる。

一方, エネルギー方程式についても, 同様に有限差分表示し, $(T + \Delta T)$ 時刻における無次元温度 $\Theta_{ij}^{(T+\Delta T)}$ について解くと, 次式のようになる。

$$\begin{aligned} \Theta_{ij}^{(T+\Delta T)} = & \Theta_{ij}^{(T)} + \Delta T \cdot \left[-\frac{\psi_{i,j+1}^* - \psi_{i,j-1}^*}{2\Delta Y} \cdot \frac{\Theta_{i+1,j}^{(T)} - \Theta_{i-1,j}^{(T)}}{2\Delta X} \right. \\ & + \frac{\psi_{i+1,j}^* - \psi_{i-1,j}^*}{2\Delta X} \cdot \frac{\Theta_{i,j+1}^{(T)} - \Theta_{i,j-1}^{(T)}}{2\Delta Y} + \frac{1}{\text{Re Pr}} \left(\frac{\Theta_{i+1,j}^{(T)} - 2\Theta_{ij}^{(T)} + \Theta_{i-1,j}^{(T)}}{\Delta X^2} \right. \\ & \left. \left. + \frac{\Theta_{i,j+1}^{(T)} - 2\Theta_{ij}^{(T)} + \Theta_{i,j-1}^{(T)}}{\Delta Y^2} \right) \right] \quad (3.11) \end{aligned}$$

本節で用いた方法は, F T C S 法 (Forward-Time, Centered-Space) と呼ばれるもので, 数値解法的に安定な方法として広く用いられている方法である¹⁾が, ここで, (2.19) 式について, クランク・ニコルソンの陰解法を適用する (この理由は, 陽解法に比較して, 時間刻みが大きくとれるという利点を陰解法が有している為。)。

まず, 渦度移動方程式を次式で示すものとする。

$$\frac{\partial \zeta^*}{\partial T} = F(\zeta^*, \psi^*) \quad (3.12)$$

(3.12) 式を差分化すると,

$$\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)} = \zeta_{ij}^{*(T)} + \Delta T \cdot f\left(\zeta_{ij}^{*(T+\frac{\Delta T}{2})}, \psi_{ij}^{*(T+\frac{\Delta T}{2})}\right) \quad (3.13)$$

となる。ここで, $(T + \frac{\Delta T}{2})$ の値が未知であるから, 繰り返し計算が必要となる。 $(T + \frac{\Delta T}{2})$ は, T と $(T + \Delta T)$ との算術平均をとって, (3.13) 式を書き換えると,

$$\zeta_m^{*(T+\Delta T)} = \zeta_{m-1}^{*(T)} + \frac{\Delta T}{2} \cdot \left[f_{m-1}(\zeta_{m-1}^{*(T)}, \psi_{m-1}^{*(T)}) + f_{m-1}(\zeta_{m-1}^{*(T+\Delta T)}, \psi_{m-1}^{*(T+\Delta T)}) \right] \quad (3.14)$$

ここで, m は計算回数を示す。

具体的に, (2.19) 式をクランク・ニコルソン法により書き換えると次式のようになる。

$$\begin{aligned} \zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)^m} = & \zeta_{ij}^{*(T)^{m-1}} + \frac{\Delta T}{2} \cdot \left[-\frac{\psi_{i,j+1}^{*(T)^{m-1}} - \psi_{i,j-1}^{*(T)^{m-1}}}{2\Delta Y} \cdot \frac{\zeta_{i+1,j}^{*(T)^{m-1}} - \zeta_{i-1,j}^{*(T)^{m-1}}}{2\Delta X} \right. \\ & \left. + \frac{\psi_{i+1,j}^{*(T)^{m-1}} - \psi_{i-1,j}^{*(T)^{m-1}}}{2\Delta X} \cdot \frac{\zeta_{i,j+1}^{*(T)^{m-1}} - \zeta_{i,j-1}^{*(T)^{m-1}}}{2\Delta Y} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\zeta_{i+1,j}^{*(T)^{m-1}} - 2\zeta_{ij}^{*(T)^{m-1}} + \zeta_{i-1,j}^{*(T)^{m-1}}}{\Delta X^2} + \frac{\zeta_{i,j+1}^{*(T)^{m-1}} - 2\zeta_{ij}^{*(T)^{m-1}} + \zeta_{i,j-1}^{*(T)^{m-1}}}{\Delta Y^2} \right) \\
 & - \frac{\psi_{i,j+1}^{*(T+\Delta T)^{m-1}} - \psi_{i,j-1}^{*(T+\Delta T)^{m-1}}}{2\Delta Y} \cdot \frac{\zeta_{i+1,j}^{*(T+\Delta T)^{m-1}} - \zeta_{i-1,j}^{*(T+\Delta T)^{m-1}}}{2\Delta X} \\
 & + \frac{\psi_{i+1,j}^{*(T+\Delta T)^{m-1}} - \psi_{i-1,j}^{*(T+\Delta T)^{m-1}}}{2\Delta X} \cdot \frac{\zeta_{i,j+1}^{*(T+\Delta T)^{m-1}} - \zeta_{i,j-1}^{*(T+\Delta T)^{m-1}}}{2\Delta Y} \\
 & + \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\zeta_{i+1,j}^{*(T+\Delta T)^{m-1}} - 2\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)^{m-1}} + \zeta_{i-1,j}^{*(T+\Delta T)^{m-1}}}{\Delta X^2} \right. \\
 & \left. + \frac{\zeta_{i,j+1}^{*(T+\Delta T)^{m-1}} - 2\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)^{m-1}} + \zeta_{i,j-1}^{*(T+\Delta T)^{m-1}}}{\Delta Y^2} \right) \quad (3.15)
 \end{aligned}$$

この式は、両辺に求めるべき渦度 $\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ が含まれているので、iteration を $\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ が収束するまで行い、求められた $\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ を用いて、流れ関数 $\psi_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ を求める。さらに、求められた $\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ 、 $\psi_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ を用いて、次の時間ステップの ζ^* 、 ψ^* を計算する。

なお $\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)}$ の収束判定条件については後述する。

ここで、流れ関数 ψ_{ij}^* を計算する際に用いた手法について述べる。(3.9)式または、(3.10)式により計算された流れ関数 ψ_{ij}^m を S.L.O.R 法⁺ によって過緩和 (over relaxation) すると次式のようになる。

$$\psi_{ij}^{*m} = \psi_{ij}^{*m-1} + \omega \cdot (\psi_{ij}^m - \psi_{ij}^{*m-1}) \quad (3.16)$$

m : 計算回数

ω : 加速係数 (acceleration parameter)

この式で、加速係数 ω の値を適当に ($1 \leq \omega < 2$) とれば、収束時間の短縮が可能である。

3.2 境界条件の有限差分表示

流れ関数 ψ^* および渦度 ζ^* を境界壁近傍で Taylor 展開し、境界壁面上での渦度 ζ_w^* の有限差分表示を行う。

まず、Y 方向における ψ^* 、 ζ^* の Taylor 展開を行うと、

+ S.L.O.R 法 (Successive Line Over Relaxation)

S.L.O.R 法は、S.O.R 法 (Successive Over Relaxation) のように、直前に計算された値を過緩和し、新しい値を計算して前の値と入れ換えるのではなく、1行または1列について全て計算を終了したところで全て (1行または1列の全て) の値を過緩和し、新しい1行または1列の値を計算して前の値の1行または1列の全てを新しい1行または1列と入れ換える方法である。

++ 正確度 (Degree of accuracy)

精度とは異なり、打ち切り誤差を示す言葉である。

例) $O(\Delta X^2)$ は、 ΔX^2 の打ち切り誤差を示しており、2次の正確度を持つ という。

$$\psi_{w+1}^* = \psi_w^* + \frac{\partial \psi^*}{\partial Y} \Big|_w \cdot \Delta Y + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 \psi^*}{\partial Y^2} \Big|_w \cdot \Delta Y^2 + \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 \psi^*}{\partial Y^3} \Big|_w \cdot \Delta Y^3 + \dots \quad (3.17)$$

$$\zeta_{w+1}^* = \zeta_w^* + \frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} \Big|_w \cdot \Delta Y + \dots \quad (3.18)$$

ただし、 w は壁面を示し、 $w+1$ は領域の内点を示す。
また、流れ関数 ψ^* には、仮定より次の関係がある。

$$\frac{\partial \psi^*}{\partial Y} \Big|_w = U_w = 0 \quad (3.19)$$

$$\frac{\partial^2 \psi^*}{\partial Y^2} \Big|_w = -\zeta_w^* \quad (3.20)$$

$$\frac{\partial^3 \psi^*}{\partial Y^3} \Big|_w = -\frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} \Big|_w \quad (3.21)$$

ここで U_w は、壁面での X 方向の速度成分である。

(3.17)式で、4次以上の項をまとめて $O(\Delta Y^4)$ とし、(3.19)式~(3.21)式および(3.18)式の2次以上の項を無視した式を用いることにより、(3.17)式は、次式のように書き換えられる。

$$\psi_{w+1}^* = \psi_w^* - \frac{1}{2} \zeta_w^* \cdot \Delta Y^2 - \frac{1}{6} (\zeta_{w+1}^* - \zeta_w^*) \cdot \Delta Y^2 + O(\Delta Y^4) \quad (3.22)$$

従って、境界壁上の渦度 ζ_w^* は、2次の正確度⁺⁺で、

$$\zeta_w^* = -\frac{3(\psi_{w+1}^* - \psi_w^*)}{\Delta Y^2} - \frac{\zeta_{w+1}^*}{2} \quad (3.23)$$

となる。 X 方向についても同様にして、境界壁上の渦度 ζ_w^* を求めると次式のようになる。

$$\zeta_w^* = \frac{3(\psi_{w+1}^* - \psi_w^*)}{\Delta X^2} - \frac{\zeta_w^*}{2} \quad (3.24)$$

次に、温度 Θ について、境界壁近傍でTaylor展開すると、 Y 方向については、

$$\Theta_{w+1} = \Theta_w + \frac{\partial \Theta}{\partial Y} \Big|_w \cdot \Delta Y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \Big|_w \cdot \Delta Y^2 + O(\Delta Y^3) \quad (3.25)$$

$$\Theta_{w+2} = \Theta_w + \frac{\partial \Theta}{\partial Y} \Big|_w \cdot (2\Delta Y) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \Theta}{\partial Y^2} \Big|_w \cdot (4\Delta Y^2) + O(\Delta Y^3) \quad (3.26)$$

(3.25)、(3.26)式より、

$$\Theta_w = \frac{4\Theta_{w+1} - \Theta_{w+2} - 2 \frac{\partial \Theta}{\partial Y} \Big|_w \cdot \Delta Y}{3} \quad (3.27)$$

となる。同様にして、 X 方向については、

$$\Theta_w = \frac{4\Theta_{w+1} - \Theta_{w+2} - 2 \frac{\partial \Theta}{\partial X} \Big|_w \cdot \Delta X}{3} \quad (3.28)$$

となる。

以上で境界条件の有限差分表示ができたので、ここで、(2.20)~(2.22)式を書き換えると次のようになる。

1) 流路下側壁面では、

a) リブの上面 ($1 \leq i \leq IB+1, j=JS+1$)

$$\left. \begin{aligned} \psi_{i,JS+1}^* &= 0.0 \\ \zeta_{i,JS+1}^* &= -\frac{3(\psi_{i,JS+2}^* - \psi_{i,JS+1}^*)}{\Delta Y^2} - \frac{\zeta_{i,JS+2}^*}{2} \\ \Theta_{i,JS+1} &= \frac{4\Theta_{i,JS+2} - \Theta_{i,JS+3} + \frac{(1-Q)RePr}{X_p + 2D} \cdot \Delta Y}{3} \end{aligned} \right\} \quad (3.29)$$

b) リブの正のX方向に向いた側面 ($i=IB+1, 1 \leq j \leq JS+1$)

$$\left. \begin{aligned} \psi_{IB+1,j}^* &= 0.0 \\ \zeta_{IB+1,j}^* &= -\frac{3(\psi_{IB+2,j}^* - \psi_{IB+1,j}^*)}{\Delta X^2} - \frac{\zeta_{IB+2,j}^*}{2} \\ \Theta_{IB+1,j} &= \frac{4\Theta_{IB+2,j} - \Theta_{IB+3,j} + \frac{(1-Q)RePr}{X_p + 2D} \cdot \Delta X}{3} \end{aligned} \right\} \quad (3.30)$$

c) 流路下面 (リブの下流側下面)

($IB+1 \leq i \leq IX+1, j=1$)

$$\left. \begin{aligned} \psi_{i,1}^* &= 0.0 \\ \zeta_{i,1}^* &= -\frac{3(\psi_{i,2}^* - \psi_{i,1}^*)}{\Delta Y^2} - \frac{\zeta_{i,2}^*}{2} \\ \Theta_{i,1} &= \frac{4\Theta_{i,2} - \Theta_{i,3} + \frac{(1-Q)RePr}{X_p + 2D} \cdot \Delta Y}{3} \end{aligned} \right\} \quad (3.31)$$

d) リブの負のX方向に向いた側面

($i=IX+1, 1 \leq j \leq JS+1$)

$$\left. \begin{aligned} \psi_{IX+1,j}^* &= 0.0 \\ \zeta_{IX+1,j}^* &= -\frac{3(\psi_{IX+2,j}^* - \psi_{IX+1,j}^*)}{\Delta X^2} - \frac{\zeta_{IX+2,j}^*}{2} \\ \Theta_{IX+1,j} &= \frac{4\Theta_{IX,j} - \Theta_{IX-1,j} + \frac{(1-Q)RePr}{X_p + 2D} \cdot \Delta X}{3} \end{aligned} \right\} \quad (3.32)$$

2) 流路上側壁面では, ($1 \leq i \leq IX+1$, $j = JY+1$)

$$\left. \begin{aligned} \psi_{i,JY+1}^* &= 0.5 \\ \zeta_{i,JY+1}^* &= -\frac{3(\psi_{i,JY}^* - \psi_{i,JY+1}^*)}{\Delta Y^2} - \frac{\zeta_{i,JY}^*}{2} \\ \Theta_{i,JY+1} &= \frac{4\Theta_{i,JY} - \Theta_{i,JY-1} + \frac{QRePr}{X_p} \cdot \Delta Y}{3} \end{aligned} \right\} \quad (3.33)$$

3) 流入境界では, ($i=1$ or $IX+1$, $JS+1 \leq j \leq JY+1$)

$$\left. \begin{aligned} \psi_{1,j}^* &= \psi_{IX+1,j}^* \\ \zeta_{1,j}^* &= \zeta_{IX+1,j}^* \\ \Theta_{1,j} &= \Theta_{IX+1,j} - 1.0 \end{aligned} \right\} \quad (3.34)$$

3.3 圧力方程式の有限差分表示

(2.27), (2.28)式より,

$$P^* = P_0^* + \int_0^X \frac{1}{Re} \cdot \frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} \Big|_w dX \quad (3.35)$$

または

$$P^* = P_0^* + \int_0^Y \frac{1}{Re} \cdot \frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \Big|_w dY \quad (3.36)$$

これらの式から圧力 P^* を求めるためには, 壁面での $\partial \zeta^* / \partial Y$ または $\partial \zeta^* / \partial X$ の有限差分化の必要がある。

すでに領域の内点が求まっているものとすれば, 壁近傍で渦度 ζ^* をTaylor展開することにより, $(\partial \zeta^* / \partial Y)_w$ または, $(\partial \zeta^* / \partial X)_w$ の値を求めることができる。

$$\zeta_{w+1}^* = \zeta_w^* + \frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} \Big|_w \cdot \Delta Y + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial Y^2} \Big|_w \cdot \Delta Y^2 + O(\Delta Y^3) \quad (3.37)$$

$$\zeta_{w+2}^* = \zeta_w^* + \frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} \Big|_w \cdot (2\Delta Y) + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \zeta^*}{\partial Y^2} \Big|_w (2\Delta Y)^2 + O(\Delta Y^3) \quad (3.38)$$

(3.37)×4 - (3.38)

$$\frac{\partial \zeta^*}{\partial Y} \Big|_w = \frac{4\zeta_{w+1}^* - \zeta_{w+2}^* - 3\zeta_w^*}{2\Delta Y} \quad (3.39)$$

同様に,

$$\frac{\partial \zeta^*}{\partial X} \Big|_w = \frac{4\zeta_{w+1}^* - \zeta_{w+2}^* - 3\zeta_w^*}{2\Delta X} \quad (3.40)$$

(3.39), (3.40)式を用いて(2.27), (2.28)式の積分については和分し, 渦度につい

て有限差分表示すると、

$(1 \leq i \leq IX+1, j=JY), (1 \leq i \leq IB+1, j=JS), (IB+1 \leq i \leq IX+1, j=1)$
では、

$$P_{ij}^* = P_0^* + \frac{1}{Re} \sum_i \left(\frac{4\zeta_{i,j+1}^* - \zeta_{i,j+2}^* - 3\zeta_{ij}^*}{2\Delta X} \right) \cdot \Delta Y \quad (3.41)$$

また、 $(i=IB+1, 1 \leq j \leq JS), (i=IX+1, 1 \leq j \leq JS)$ では、

$$P_{ij}^* = P_0^* + \frac{1}{Re} \sum_j \left(\frac{4\zeta_{i+1,j}^* - \zeta_{i+2,j}^* - 3\zeta_{ij}^*}{2\Delta Y} \right) \cdot \Delta X \quad (3.42)$$

3.4 摩擦抵抗式の有限差分表示

(2.33)式で示された摩擦抵抗の式を (i, j) 成分で書き換えると、壁での ζ^* は計算されているので、

1) $1 \leq i \leq IX+1, j=JY$ では、

$$\tau_{i,JY}^* = \frac{1}{Re} \zeta_{i,JY}^* \quad (3.43)$$

2) $1 \leq i \leq IB+1, j=JS+1$ では、

$$\tau_{i,JS+1}^* = \frac{1}{Re} \zeta_{i,JS+1}^* \quad (3.44)$$

3) $i=IB+1, 1 \leq j \leq JS+1$ では、

$$\tau_{IB+1,j}^* = \frac{1}{Re} \zeta_{IB+1,j}^* \quad (3.45)$$

4) $IB+1 \leq i \leq IX+1, j=1$ では、

$$\tau_{i,1}^* = \frac{1}{Re} \zeta_{i,1}^* \quad (3.46)$$

5) $i=IX+1, 1 \leq j \leq JS+1$ では、

$$\tau_{IX+1,j}^* = \frac{1}{Re} \zeta_{IX+1,j}^* \quad (3.47)$$

3.5 熱伝達率分布の式の有限差分表示

無次元熱伝達率ヌッセルト数 Nu を算出する際には、混合平均温度 θ_b を知らねばならない。 θ_b は、(2.35)式で与えられており、この式を無次元化すると、

$$\Theta_b = \frac{\int_0^{Y_0} \Theta U dY}{\int_0^{Y_0} U dY} \quad (3.48)$$

また、

$$\int_0^{Y_0} U dY = 0.5 \quad (3.49)$$

(3.48), (3.49)式より

$$\Theta_b = 2 \int_0^{Y_0} \Theta U dY \quad (3.50)$$

積分について和分し，流れ関数を有限差分表示すると，

$$\Theta_b = \sum_j \Theta_{ij} \cdot (\psi_{i,j+1}^* - \psi_{i,j-1}^*) \quad (3.51)$$

従って， Nu_{ij} は，次のようにして求められる。

1) 下側境界壁では，

イ) $1 \leq i \leq IB+1$, $j = JS+1$

$$Nu_{i,JS+1} = \frac{(1-Q) Re Pr}{2(X_p + 2D)(\Theta_{i,JS+1} - \Theta_b)} \quad (3.52)$$

ただし， Θ_b は， $1 \leq i \leq IB+1$, $JS+2 \leq j \leq JY$ の範囲で計算する。

ロ) $i = IB+1$, $1 \leq j \leq JS+1$

$$Nu_{IB+1,j} = \frac{(1-Q) Re Pr}{2(X_p + 2D)(\Theta_{IB+1,j} - \Theta_b)} \quad (3.53)$$

ただし， Θ_b は， $2 \leq j \leq JY$ の範囲で計算する。

ハ) $IB+1 \leq i \leq IX+1$, $j = 1$

$$Nu_{i,1} = \frac{(1-Q) Re Pr}{2(X_p + 2D)(\Theta_{i,1} - \Theta_b)} \quad (3.54)$$

ただし， Θ_b は， $IB+2 \leq i \leq IX$ の範囲で計算する。

ニ) $i = IX+1$, $1 \leq j \leq JS+1$

$$Nu_{IX+1,j} = \frac{(1-Q) Re Pr}{2(X_p + 2D)(\Theta_{IX+1,j} - \Theta_b)} \quad (3.55)$$

ただし， Θ_b は， $2 \leq j \leq JY$ の範囲で計算する。

2) 上側境界壁 ($1 \leq i \leq IX+1$, $j = JY+1$) では，

$$Nu_{i,JY+1} = \frac{Q Re Pr}{2X_p (\Theta_{i,JY+1} - \Theta_b)} \quad (3.56)$$

ただし， Θ_b は， $1 \leq i \leq IX+1$, $2 \leq j \leq JY$ の範囲で計算する。

4. 計算コード

前章で述べた解析モデルおよび解法に従って本計算コード(RIB)が開発された。書かれているプログラム言語は、FORTRAN IVであり、計算機の使用記憶容量は約146K語である。

4.1 収束判定条件

本計算コードのなかに、4個所の収束判定ループがある。

- 1) 流れ関数 ψ^* の収束判定条件

$$\Delta\psi \leq E_\psi \quad (4.1)$$

$$\Delta\psi = |\psi_{i,j}^{*m} - \psi_{i,j}^{*(m-1)}| \quad (4.2)$$

E_ψ : 収束判定許容誤差

m : 繰り返し計算回数

- 2) 渦度 ζ^* の収束判定条件

$$\Delta\zeta_1 \leq E_{\zeta_1} \quad (4.3)$$

$$\Delta\zeta_1 = |(\zeta_{ij}^*)^m - (\zeta_{ij}^*)^{m-1}| \quad (4.4)$$

E_{ζ_1} : 収束判定許容誤差

- 3) 定常状態の判定条件

$$\Delta\zeta_2 \leq E_{\zeta_2} \quad (4.5)$$

$$\Delta\zeta_2 = |\zeta_{ij}^{*(T+\Delta T)} - \zeta_{ij}^{*(T)}| \quad (4.6)$$

E_{ζ_2} : 収束判定許容誤差

- 4) 温度 Θ の収束判定条件

$$\Delta T \leq E_\theta \quad (4.7)$$

$$\Delta T = |\Theta_{ij}^{*(T+\Delta T)} - \Theta_{ij}^{*(T)}| \quad (4.8)$$

$$\Theta_{ij}^* = \Theta_{ij} - \Theta_0 \quad (4.9)$$

E_θ : 収束判定許容誤差

Θ_0 : 計算領域内の基準地点の無次元温度

上記の収束判定許容誤差は、予備計算の結果から、 $E_\psi = 1 \times 10^{-5}$ 、 $E_{\zeta_1} = E_{\zeta_2} = 1 \times 10^{-3}$ 、 $E_\theta = 1 \times 10^{-4}$ とした。

(4.2)式で、流れ関数 ψ_{ij}^* を算出する際、(3.16)式により加速係数 ω を用いている。計算時間を最短にする最適 ω 値は、メッシュ幅、Re 数などのパラメータに依存しており、 $1.3 \leq \omega < 1.6$ の範囲で適当に選ぶことが望ましく、計算初期においては、 ω 値を大きめにとり、

収束回数が減少し始めたら、 ω 値を小さめにとると比較的計算時間を短縮できる。また、2) の渦度 ζ_{ij}^* の収束計算においては、計算初期に収束許容誤差 E_{ζ_1} の値を大きくとり、条件を緩和することにより全体としての計算時間をかなり短縮できる。

4.2 計算コードの構成

コードは、RIBと呼ぶメイン・プログラムと、28のサブルーチンからできている。Fig. 6に、RIBコードの計算フローチャートを示し、以下にサブルーチンの名称とその内容を示す。

RIB= メイン・プログラム。計算コードRIBの制御を行い、流れ関数、渦度、温度分布、圧力降下、摩擦力、ヌッセルト数の計算を行わせる。

ARENGE=角の値の平均を計算するサブルーチン

CHANGE=変数の入れ換えを行うサブルーチン。

ただし、配列は、 $X(50, 50), Y(50, 50)$ である。

CHANGL=変数の入れ換えを行うサブルーチン。

ただし、配列は、 $X(2, 3), Y(50, 50)$ である。

CHANGP=変数の入れ換えを行うサブルーチン。

ただし、配列は、 $X(50, 50), Y(2, 3)$ である。

CHANGY=変数の入れ換えを行うサブルーチン。

ただし、配列は、 $X(2, 3), Y(2, 3)$ である。

CONVZ =渦度の収束判定誤差の計算を行うサブルーチン。

DATAR =入力データの読み込みを行うサブルーチン。

DIFFER=時刻Tにおける温度 θ_{ij} から、その時の基準点の温度 θ_0 を差し引いた値 θ_{ij}^* の計算を行うサブルーチン。

DPRINT=入力データの印字を行うサブルーチン。

FILER =既に、計算された流れ関数、渦度および温度がファイルに入っているとき、初期値としてそれらの値を読み込むサブルーチン。

FRIC =摩擦力 τ_{ij}^* の計算を行うサブルーチン。

INOUT =温度の流入出条件を合わせるサブルーチン。

INTPSI=流れ関数 ψ_{ij}^* の初期値の計算を行うサブルーチン。

INTTET=温度 θ_{ij} の初期値の計算を行うサブルーチン。

INTTEW=境界での温度 θ_{ij} の初期値の計算を行うサブルーチン。

INTZET=境界での渦度 ζ_{ij}^* の初期値の計算を行うサブルーチン。

NUSELT=ヌッセルト数の計算を行うサブルーチン。

PREPAR=計算準備を行うサブルーチン。

PRESS =圧力降下の計算を行うサブルーチン。

PRINT =流れ関数、渦度、温度の計算結果をラインプリンタに印字またはファイルに出力する為のサブルーチン。

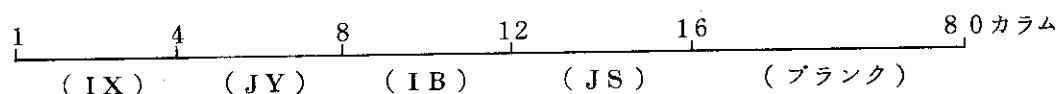
- STEADY = 定常状態の判定 (温度について) を行うサブルーチン。
 STREAM = 流れ関数 ψ_{ij}^* の計算を行うサブルーチン。
 TEMP = 温度 Θ_{ij} の計算を行うサブルーチン。
 TOUT = 計算領域出口での温度の計算を行うサブルーチン。
 TETAW = 境界壁での温度の計算を行うサブルーチン。
 VORTEX = 渦度 ζ_{ij}^* の計算を行うサブルーチン。
 ZERO = 計算を行うまえに、計算領域の変数全てを零にセットするサブルーチン。
 ZETAW = 境界壁での渦度の計算を行うサブルーチン。
 ZPRINT = 摩擦力、圧力降下、ヌッセルト数をラインプリンタに出力させるサブルーチン。

データの入力方法は、次の通りである。

データカードは、6枚必要であり、既に計算された流れ関数、渦度および温度がファイルに入力されている場合は、その値を初期値として計算を行うことができる。

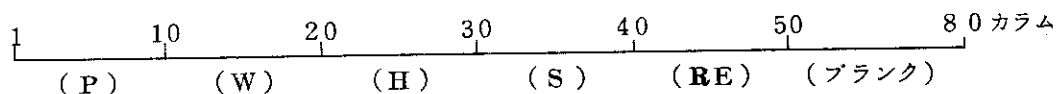
◎データカード 1枚目

- IX : X方向のメッシュ分割数 (I4)
 JY : Y方向のメッシュ分割数 (I4)
 IB : X方向のリブ幅のメッシュ分割数 (I4)
 JS : Y方向のリブ高さのメッシュ分割数 (I4)



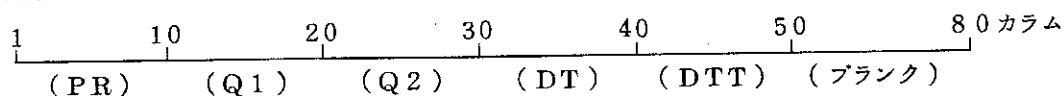
◎データカード 2枚目

- P : 1周期長さ (リブのピッチ) (F10.5)
 W : リブ幅 (F10.5)
 H : 流路幅 (F10.5)
 S : リブ高さ (F10.5)
 RE : レイノルズ数 (F10.5)



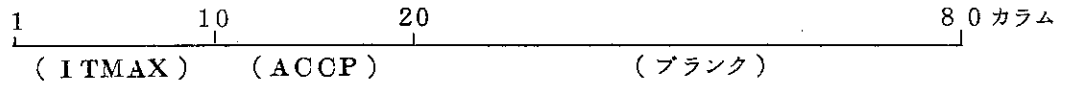
◎データカード 3枚目

- PR : プラントル数 (F10.0)
 Q1 : 流路上面からの熱流束 (F10.0)
 Q2 : 流路下面からの熱流束 (F10.0)
 DT : 無次元時間 (E10.0)
 DTT : 無次元時間 (E10.0)



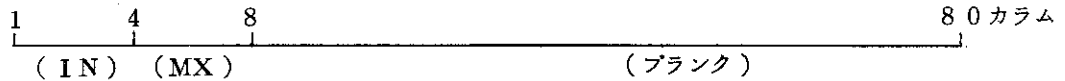
◎データカード 4枚目

ITMAX : 計算打ち切り時間 (sec) (I10)
 ACCP : 加速係数 ω (F10.5)



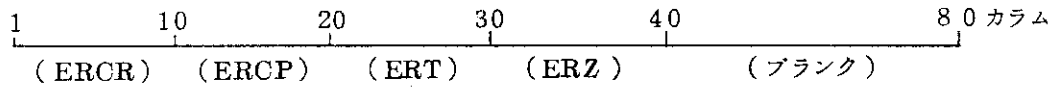
◎データカード 5枚目

IN : 入出力装置の機番指定 (I4)
 MX : 時間ステップの指定 (MX ステップ毎に印字する) (I4)



◎データカード 6枚目

ERCR : 収束判定許容誤差 E_{ζ_2} (E10.0)
 ERCP : 収束判定許容誤差 E_{ψ} (E10.0)
 ERT : 収束判定許容誤差 E_{θ} (E10.0)
 ERZ : 収束判定許容誤差 E_{ζ_1} (E10.0)



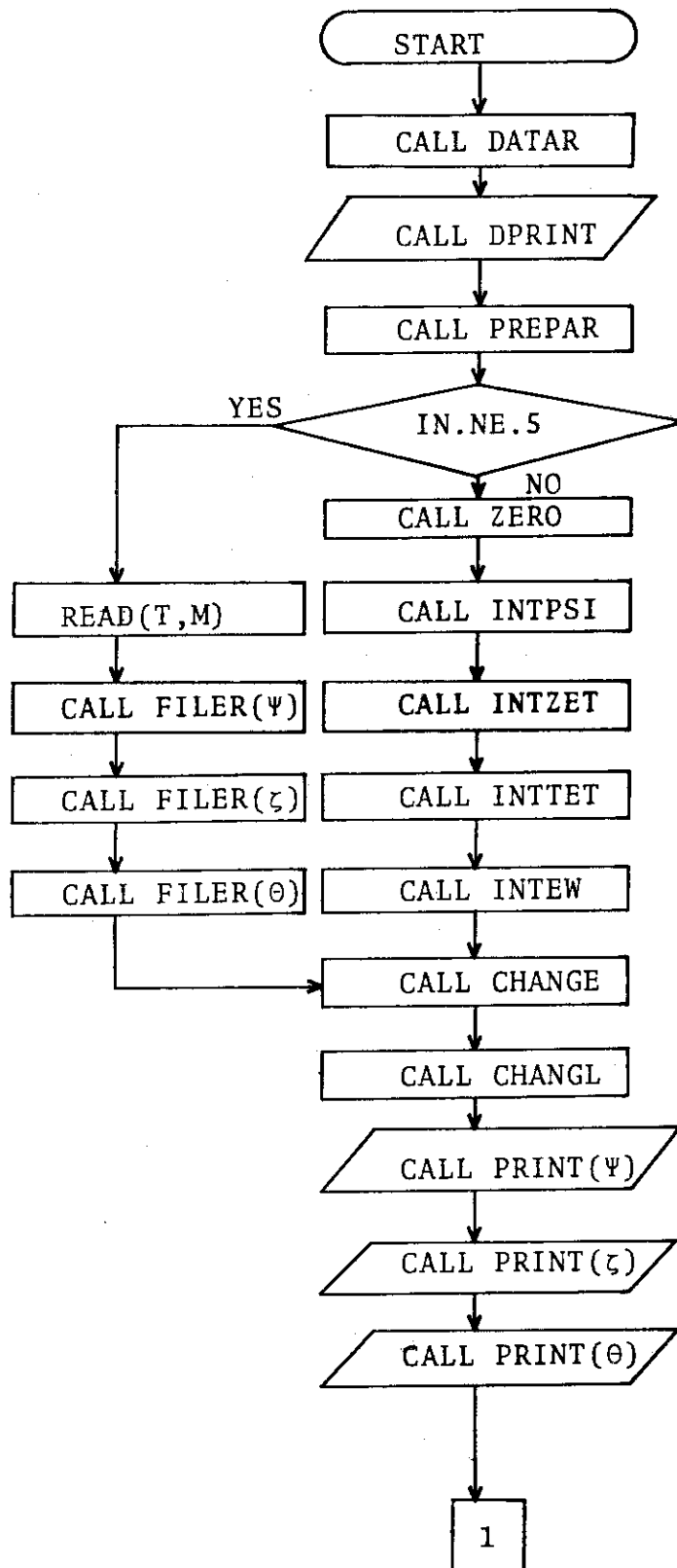
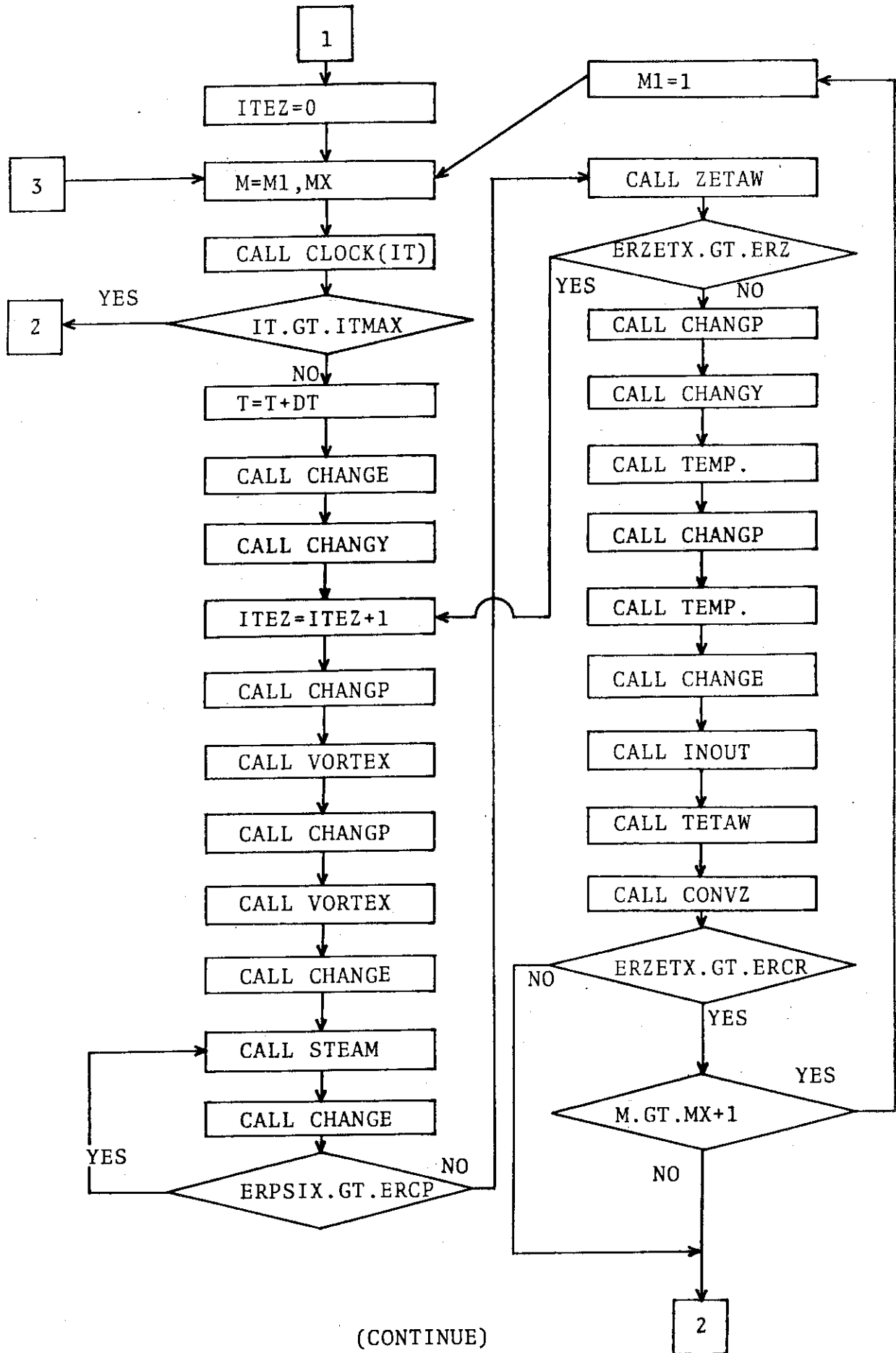
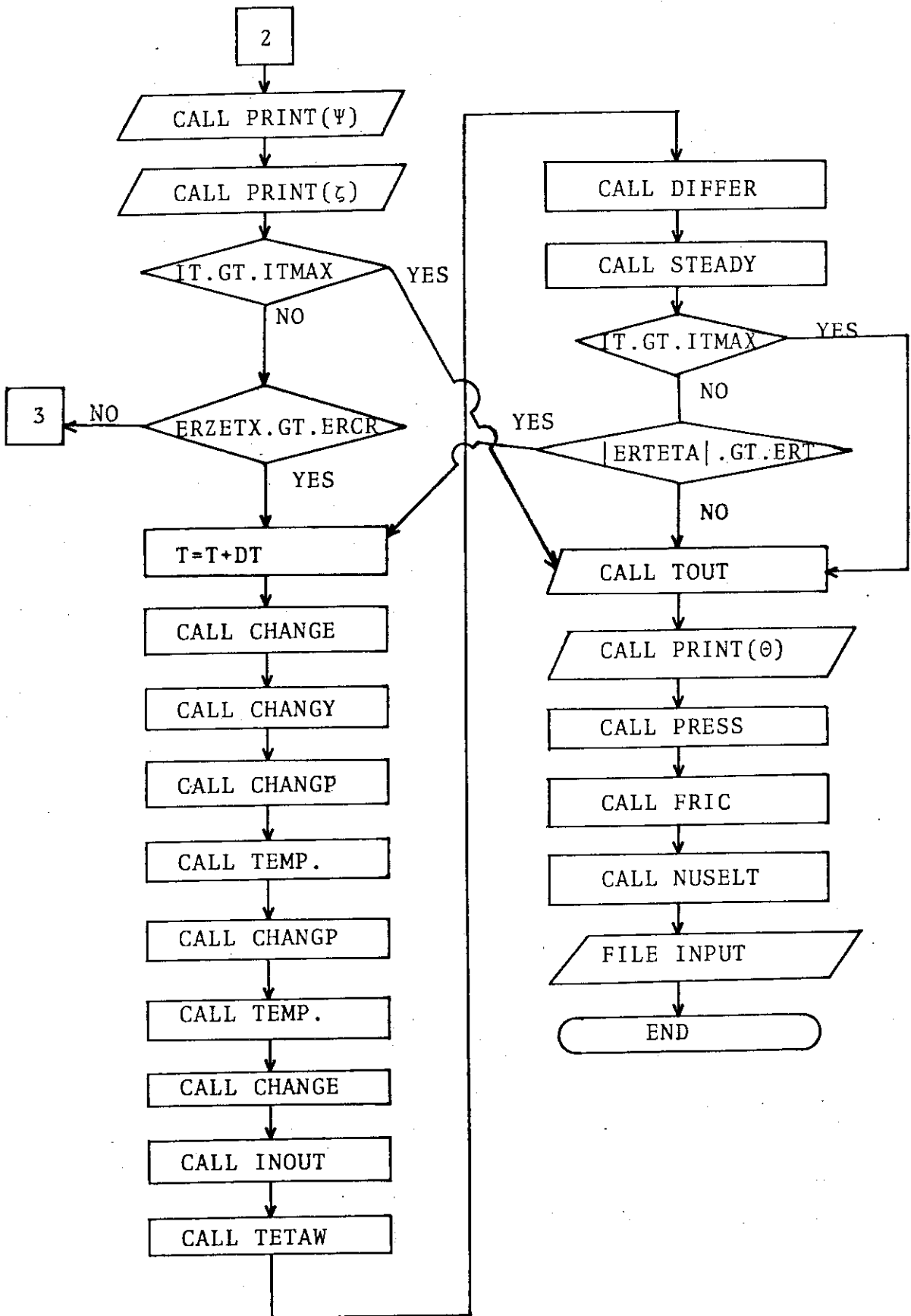


Fig.6 Flow chart of the program





(CONTINUE)

5. 計算結果例

リブピッチ $P=10$, リブ高さ $S=2.5$, リブ幅 $W=3.0$, 流路高さ $H=5.0$, レイノルズ数 $Re=10$, プラントル数 $Pr=1.0$, 加速係数 $\omega=1.40$, 収束判定許容誤差 $E_{\zeta_1}=E_{\zeta_2}=1.0 \times 10^{-3}$, $E_\theta=1.0 \times 10^{-4}$, $E_\psi=1.0 \times 10^{-5}$, X方向メッシュ分割数 $IX=40$, Y方向メッシュ分割数 $JY=30$ で行った計算の結果を示す。

Fig. 7に無次元流れ関数の等高線図, Fig. 8に無次元渦度の等渦度線図, Fig. 9に無次元等温線図を示した。さらに, 無次元圧力損失, 無次元摩擦抵抗, 無次元熱伝達率の計算を行い, 結果をFig. 11~Fig. 13に示した。

なお, 流れ関数の等高線, 等渦度線および等温線は, カルコンプのGPCP (General Purpose Contouring Program)により描かれており, 入力データは, 全てGPCP用に規格化を行った。

以上の計算は, 単なる一例に過ぎない。

計算結果の詳細に関しては, 次報で述べる予定である。

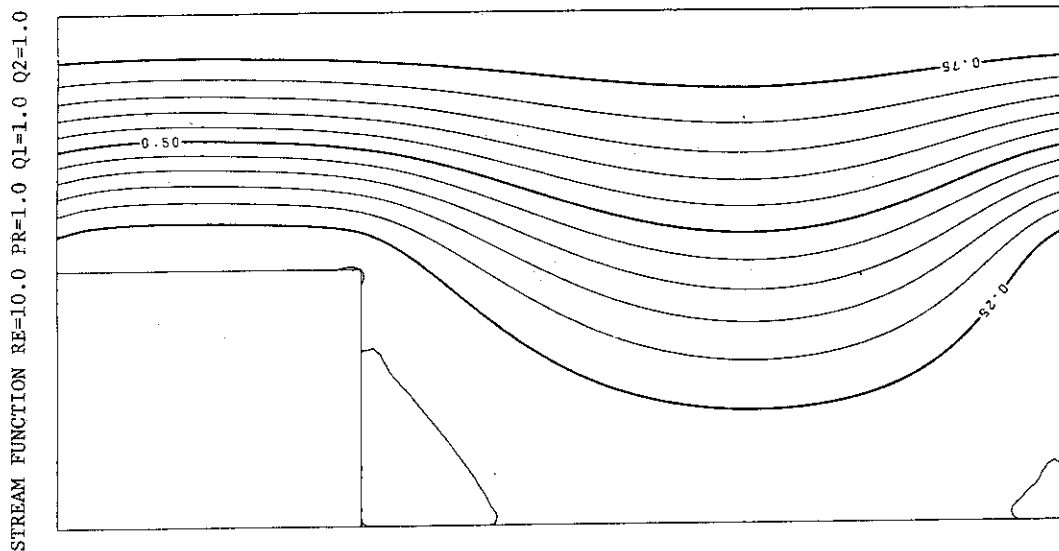


Fig. 7 Contour line of the Stream Function

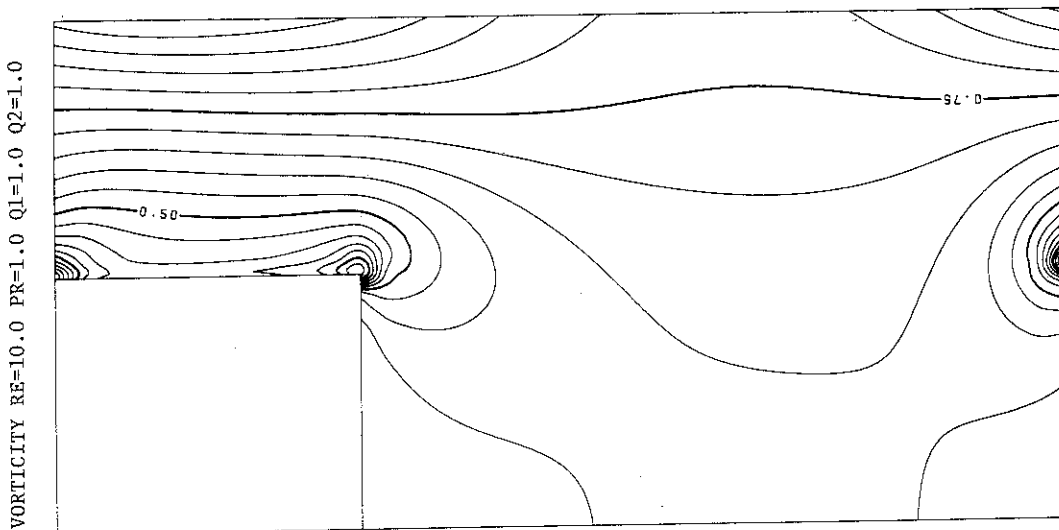


Fig. 8 Contour line of the Vorticity

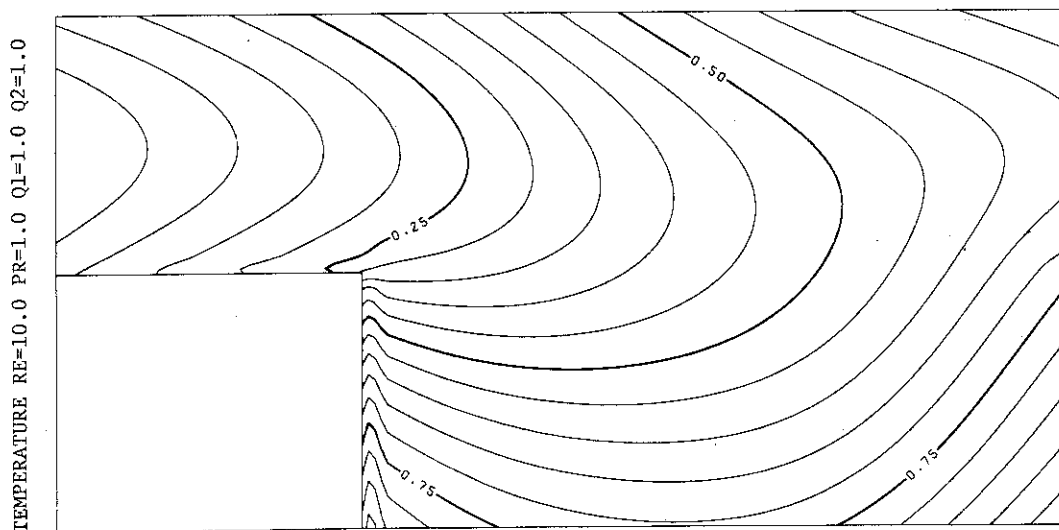


Fig. 9 Contour line of the Temperature

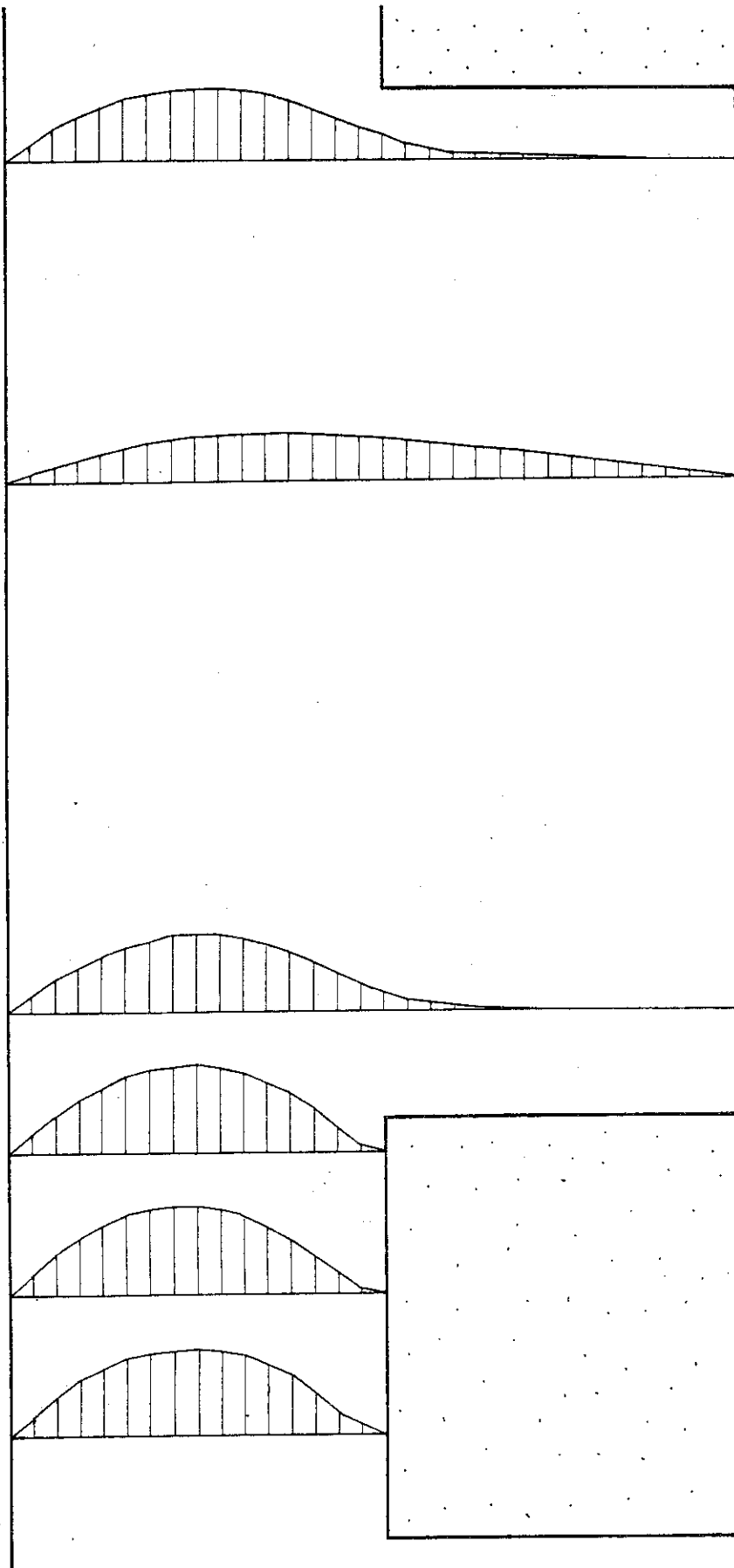


Fig. 10 Velocity distribution

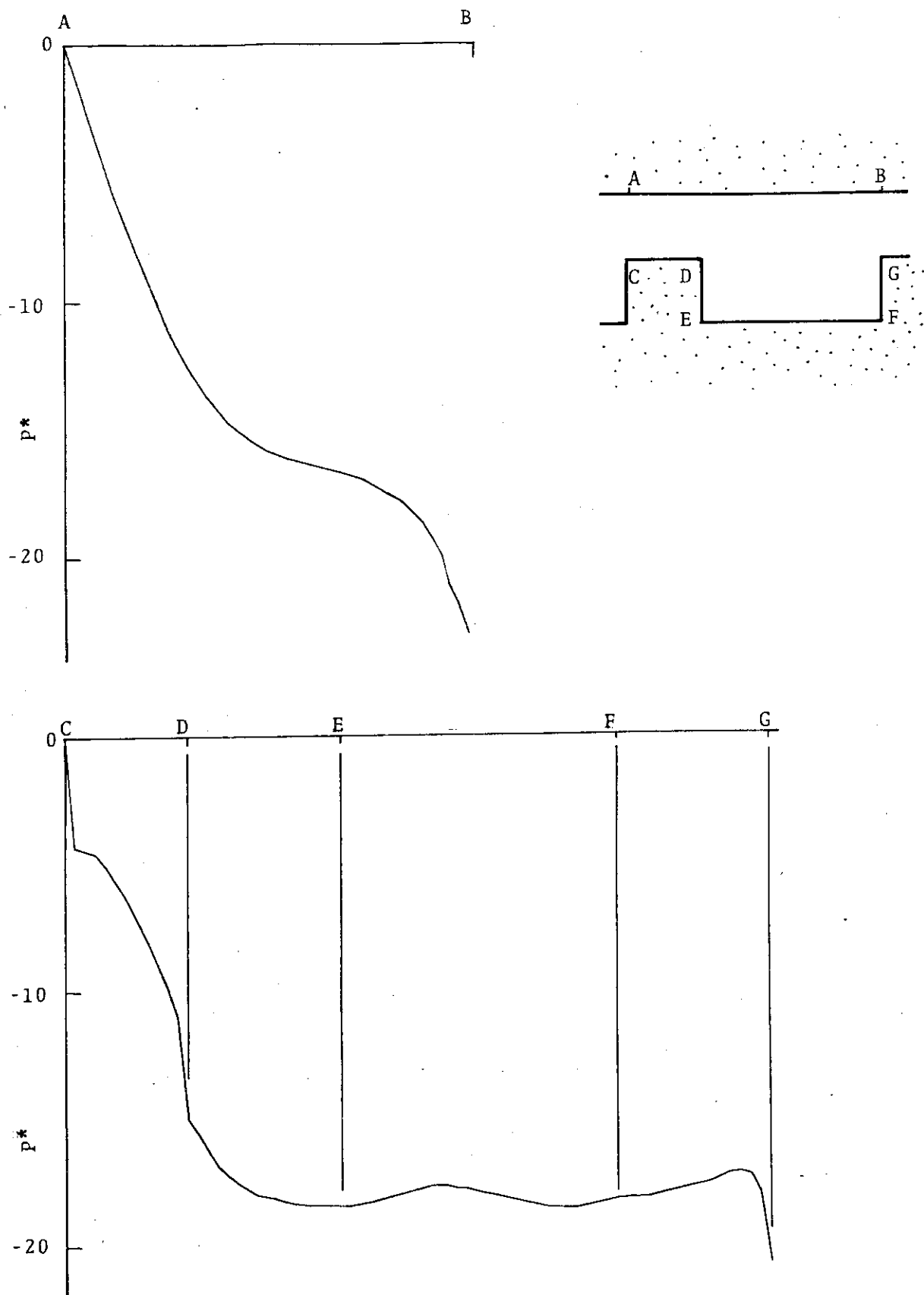


Fig. 11 Distribution of the Pressure Drops

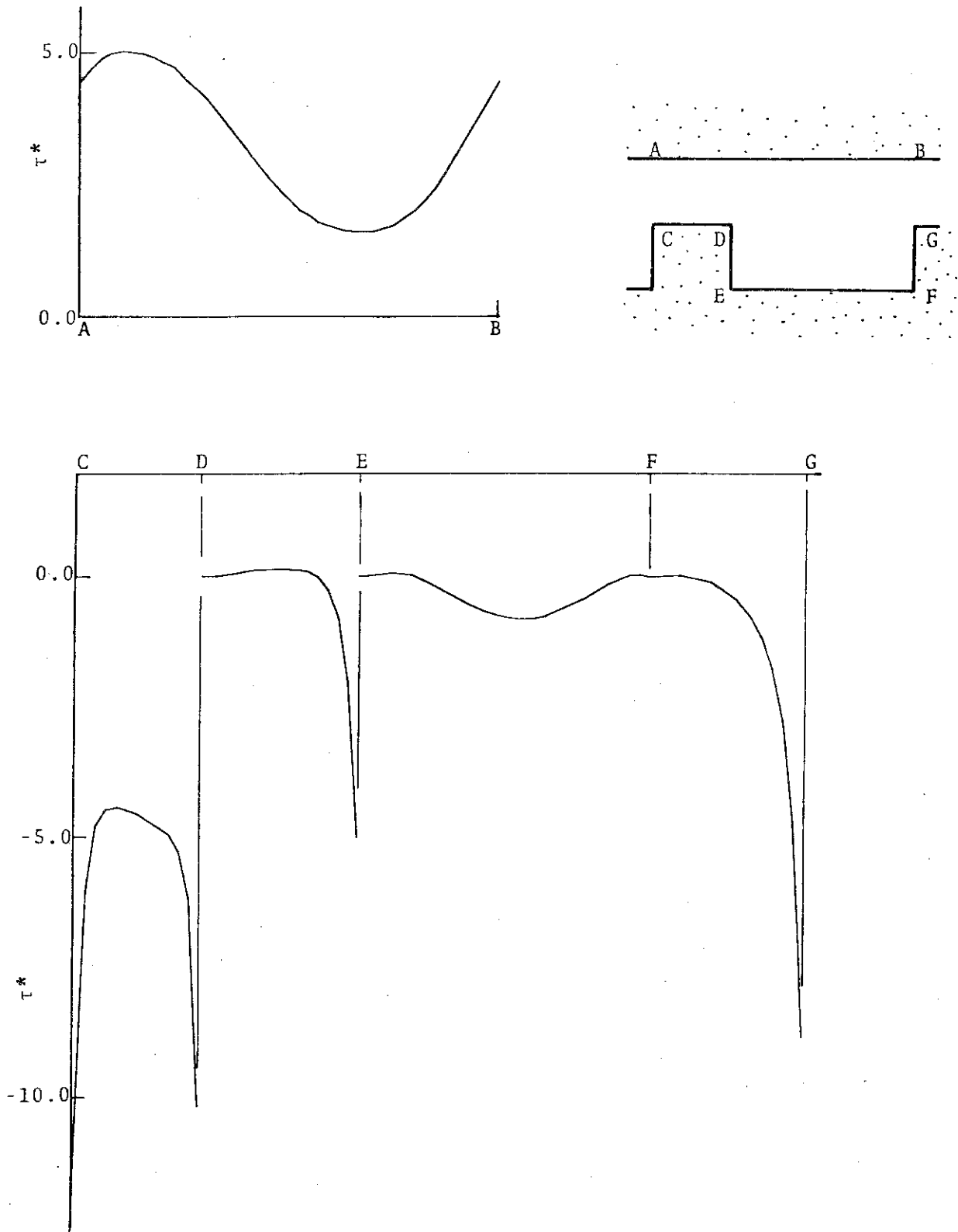


Fig. 12 Distribution of the Friction Forces

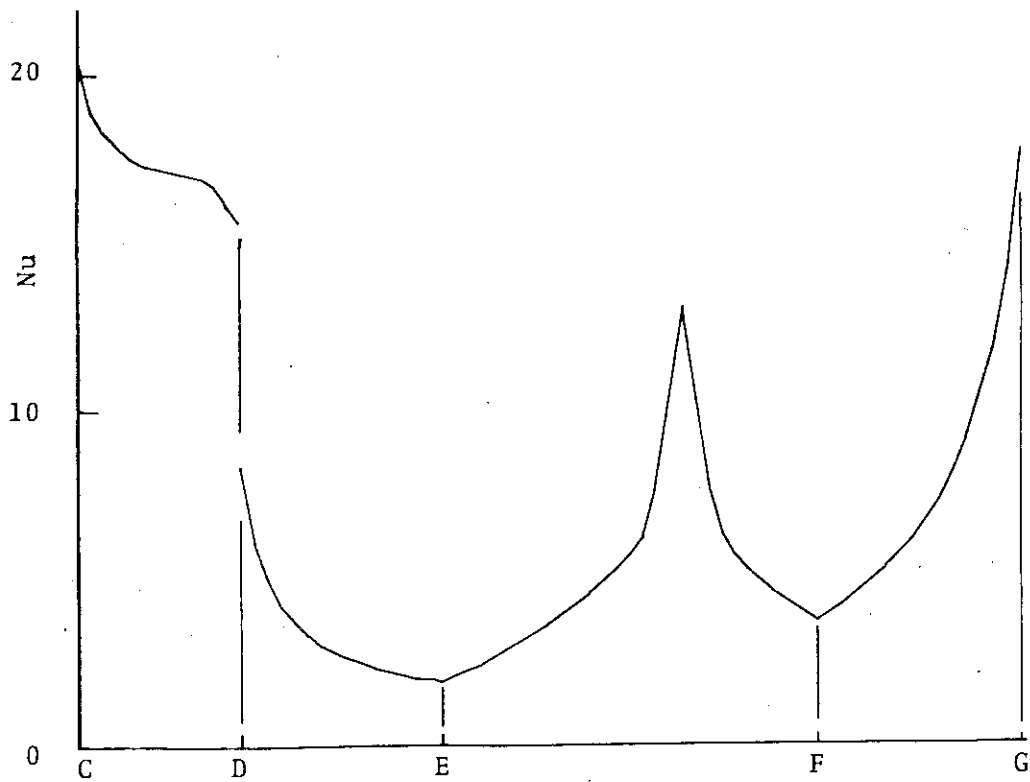
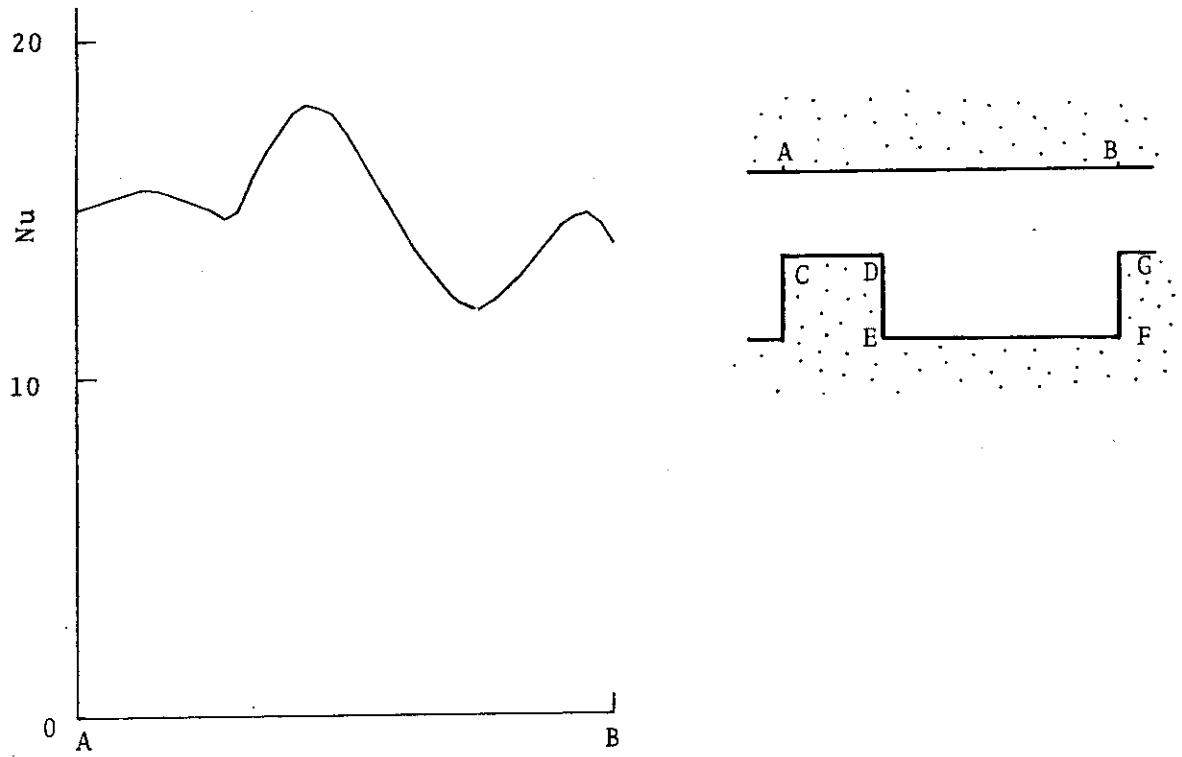


Fig. 13 Distribution of the Heat Transfer Coefficients

参考文献

- 1) P.J.ローチェ著, 高橋亮一他訳, コンピュータによる流体力学<上>, <下> (1977)
- 2) M.Hishida, Y.Okamoto, H.Kawamura and J.Hanawa, "Enhanced heat transfer of fuel at low Reynolds number", Nuclear Engineering Maturity, Proceedings of the European Nuclear Conference, Paris, Vol 9, pp453-467 (1975)

数值解析コード

FACOM 230-75 M7 FORTHAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 1

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
		C*****	R180000
		C*****	R180001
		C***** FLUID DYNAMICS CODE // RIB //	R180002
		C*****	R180003
		C***** FLOW AND HEAT TRANSFER IN PARALLEL CHANNEL	R180004
		C*****	R180005
		C***** ATTACHED WITH PERIODICAL RIBS	R180006
		C*****	R180007
		C***** DATE/26/7/1979	R180008
		C***** CODED BY T.KUNUGI	R180009
		C*****	R180010
		C*****	R180011
		C	R180012
1		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETAL(50,50),ZETAC(2,3),	R180013
		1ZETAZ(2,3),ZETAZ(50,50)	R180014
2		COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),	R180015
		1TETAZ(2,3),TETAZ(50,50)	R180016
3		COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50)	R180017
4		COMMON/ BLK4 /IP(50)	R180018
5		COMMON/ BLK5 /TETA(50),GNU(50)	R180019
6		COMMON/ BLK6 /PRES(50)	R180020
7		COMMON/ BLK7 /TAU(50)	R180021
8		COMMON/ BLK8 /P,W,H,S,RE,PR,Q1,Q2	R180022
9		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R180023
10		COMMON/ BLK10/RH,SI,IPC	R180024
11		COMMON/ BLK11/VDX,VDY,VDX,VDY,DX,DDY,DDY,DDY,DDY,DDY,DDY,	R180025
		1VRE,VREP,RDX,VRDXY,SDXY,0	R180026
12		COMMON/ BLK12/ERCR,ERCP,ERT,ERZ	R180027
13		COMMON/ BLK13/IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JY3	R180028
14		COMMON/ BLK14/CM1,CM2,CM3	R180029
15		COMMON/ BLK15/VM1,VM2	R180030
16		COMMON/ BLK16/ERPSI,ERPSIX,ERZET,ERZETX,ERTETA,ERTX	R180031
		C	R180032
		C	R180033
		C*****	R180034
		C***** INPUT DATA HEAD	R180035
		C*****	R180036
		C*****	R180037
		C	R180038
		C	R180039
17		CALL DATAR	R180040
		C	R180041
		C	R180042
		C	R180043
		C*****	R180044
		C***** INPUT DATA PRINT	R180045
		C*****	R180046
		C*****	R180047
		C	R180048
		C	R180049
18		CALL DPRINT	R180050
		C	R180051
		C	R180052
		C	R180053
		C*****	R180054
		C***** PREPARATION FOR CALCULATION	R180055
		C*****	R180056

FACOM 230-75 M7 FORTHAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 2

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
		C*****	R180057
		C	R180058
		C	R180059
19		CALL PREPAR	R180060
		C	R180061
		C	R180062
		C	R180063
20		IF(IN,NE,5) GO TO 10	R180064
		C	R180065
		C	R180066
21		T=0.0	R180067
		C	R180068
		C	R180069
		C	R180070
		C*****	R180071
		C***** ZEROS IN SCHEME	R180072
		C*****	R180073
		C*****	R180074
		C*****	R180075
		C	R180076
		C	R180077
22		M1=1	R180078
		C	R180079
		C	R180080
23		CALL ZERO	R180081
		C	R180082
		C	R180083
		C	R180084
		C*****	R180085
		C***** INITIAL CONDITIONS	R180086
		C*****	R180087
		C*****	R180088
		C*****	R180089
		C	R180090
		C	R180091
24		CALL INTPSI	R180092
		C	R180093
25		CALL INTZET	R180094
		C	R180095
26		CALL INTTET	R180096
		C	R180097
27		CALL INTEW	R180098
		C	R180099
		C	R180100
28		GO TO 20	R180101
29		10 CONTINUE	R180102
		C	R180103
30		READ(IN,1140) T,M	R180104
		C	R180105
		C	R180106
31		M1=M	R180107
32		IF(M1,GE,MX+1) M1=1	R180108
		C	R180109
		C	R180110
		C*****	R180111
		C***** READING FILE NO.08	R180112
		C*****	R180113

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
		C*****	R1800114
		C	R1800115
33		CALL FILER(PSI,1,JY1,1)	R1800116
34		CALL FILER(ZETA,1,JY1,1)	R1800117
35		CALL FILER(TETA,1,JY1,1)	R1800118
36		20 CONTINUE	R1800119
37		CALL CHANGE(1,PSI,PSI,JS1,JY1,IX2,2)	R1800120
38		CALL CHANGE(1,ZETA,ZETA,JS1,JY1,IX2,2)	R1800121
39		CALL CHANGE(1,TETA,TETA,JS1,JY1,IX2,2)	R1800122
40		CALL CHANGL(2,ZETAC,ZETA,1,JS1,1,1)	R1800123
41		CALL CHANGL(2,ZETAC,ZETA,1,JS1,2,1)	R1800124
42		CALL CHANGL(2,ZETAC,ZETA,2,JS1,1,1B1)	R1800125
43		CALL CHANGL(2,ZETAC,ZETA,2,JS1,2,1B1)	R1800126
44		CALL CHANGL(2,ZETAC,ZETA,3,JS1,1,1X1)	R1800127
45		CALL CHANGL(2,ZETAC,ZETA,3,JS1,2,1X1)	R1800128
46		CALL CHANGL(2,TETAC,TETA,1,JS1,1,1)	R1800129
47		CALL CHANGL(2,TETAC,TETA,1,JS1,2,1)	R1800130
48		CALL CHANGL(2,TETAC,TETA,2,JS1,1,1B1)	R1800131
49		CALL CHANGL(2,TETAC,TETA,2,JS1,2,1B1)	R1800132
50		CALL CHANGL(2,TETAC,TETA,3,JS1,1,1X1)	R1800133
51		CALL CHANGL(2,TETAC,TETA,3,JS1,2,1X1)	R1800134
		C	R1800135
		C	R1800136
52		WRITE(6,1000)	R1800137
53		1000 FORMAT(//1H,5X,'INITIAL CONDITION'//)	R1800138
		C	R1800139
54		WRITE(6,1010) T,M1	R1800140
55		1010 FORMAT(//1H,5X,'T=',G13.6,5X,'M=',5X,G13.6//)	R1800141
		C	R1800142
		C	R1800143
		C*****	R1800144
		C*****	R1800145
		C***** INITIAL CONDITION PSI(I,J) PRINT *****	R1800146
		C*****	R1800147
		C*****	R1800148
		C	R1800149
		C	R1800150
56		WRITE(6,1020)	R1800151
57		1020 FORMAT(//1H,5X,'STREAM FUNCTION PSI(I,J)'//)	R1800152
		C	R1800153
		C	R1800154
58		CALL PRINT(PSI,6,1,JY1)	R1800155
		C	R1800156
		C	R1800157
		C*****	R1800158
		C*****	R1800159
		C***** INITIAL CONDITION ZETA(I,J) PRINT *****	R1800160
		C*****	R1800161
		C*****	R1800162
		C	R1800163
		C	R1800164
59		WRITE(6,1030)	R1800165
60		1030 FORMAT(//1H,5X,'VORTICITY ZETA(I,J)'//)	R1800166
61		CALL PRINT(ZETA,6,1,JY1)	R1800167
		C	R1800168
		C	R1800169
		C*****	R1800170

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
		C*****	R1800171
		C***** INITIAL CONDITION TETA(I,J) PRINT *****	R1800172
		C*****	R1800173
		C*****	R1800174
		C	R1800175
		C	R1800176
62		WRITE(6,1040)	R1800177
63		1040 FORMAT(//1H,5X,'TEMPERATURE TETA(I,J)'//)	R1800178
		C	R1800179
64		CALL PRINT(TETA,6,1,JY1)	R1800180
		C	R1800181
		C	R1800182
		C	R1800183
65		100 CONTINUE	R1800184
66		ITEZ=0	R1800185
		C	R1800186
		C*****	R1800187
		C*****	R1800188
		C***** MAIN LOOP CALCULATION *****	R1800189
		C*****	R1800190
		C	R1800191
		C	R1800192
		C	R1800193
67		200 CONTINUE	R1800194
		C	R1800195
68		DO 400 M=M1,MX	R1800196
69		CALL CLOCK (IT)	R1800197
70		IF(IT,GT,ITMAX) GO TO 500	R1800198
		C	R1800199
71		T=T+DT	R1800200
		C	R1800201
72		CALL CHANGE(0,ZETAZ,ZETA,1,JY1,1,IX2)	R1800202
73		CALL CHANGE(0,TETAZ,TETA,1,JY1,1,IX2)	R1800203
74		CALL CHANGE(0,PSI Z,PSI,1,JY1,1,IX2)	R1800204
75		CALL CHANGY(1,ZETAZC,ZETAC,1,2,1,1)	R1800205
76		CALL CHANGY(1,ZETAZC,ZETAC,1,2,2,2)	R1800206
77		CALL CHANGY(1,TETAZC,TETAC,1,2,1,1)	R1800207
78		CALL CHANGY(1,TETAZC,TETAC,1,2,2,2)	R1800208
		C	R1800209
79		210 ITEZ=ITEZ+1	R1800210
		C	R1800211
80		CALL CHANGP(2,ZETA,ZETAC,JS1,1,IX1,1)	R1800212
81		CALL CHANGP(2,ZETA,ZETAC,JS1,2,1B1,1)	R1800213
82		CALL CHANGP(2,ZETAZ,ZETAZC,JS1,1,IX1,1)	R1800214
83		CALL CHANGP(2,ZETAZ,ZETAZC,JS1,1,IX1,1)	R1800215
84		CALL CHANGP(2,ZETAZ,ZETAZC,JS1,2,1B1,1)	R1800216
85		CALL CHANGP(2,ZETA,ZETAC,JS1,1,IX1,1)	R1800217
		C	R1800218
		C	R1800219
86		CALL VORTEX(2,IX1,JS2,JY)	R1800220
		C	R1800221
		C	R1800222
87		CALL CHANGP(2,ZETA,ZETAC,JS1,1,IX1,2)	R1800223
88		CALL CHANGP(2,ZETA,ZETAC,JS1,2,1B1,2)	R1800224
89		CALL CHANGP(2,ZETAZ,ZETAZC,JS1,1,IX1,2)	R1800225
90		CALL CHANGP(2,ZETAZ,ZETAZC,JS1,2,1B1,2)	R1800226
		C	R1800227

JAERI-M 8650

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 5

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
91	C	CALL VORTEX(I82,IX,2,JS1)	R1800228
	C		R1800229
	C		R1800230
	C		R1800231
92	C	CALL CHANGE(O,ZETA,ZETAL,JS2,JY,2,IX1)	R1800232
93	C	CALL CHANGE(O,ZETA,ZETAL,2,JS1,I82,IX)	R1800233
	C		R1800234
	C		R1800235
	C		R1800236
	C		R1800237
	C	ZETA(I,J) INOUT	R1800238
	C		R1800239
	C		R1800240
	C		R1800241
	C		R1800242
94	C	CALL CHANGE(1,ZETA,ZETA,JS2,JY,1,IX1)	R1800243
95	C	CALL CHANGE(1,ZETA,ZETA,JS2,JY,IX2,2)	R1800244
	C		R1800245
	C		R1800246
	C		R1800247
	C		R1800248
	C	CALCULATION OF STREAM FUNCTION	R1800249
	C		R1800250
	C		R1800251
	C		R1800252
	C		R1800253
96	C	NPSI=0	R1800254
97	C	300 CONTINUE	R1800255
98	C	ERPSI=0,0	R1800256
99	C	NPSI=NPSI+1	R1800257
100	C	CALL STREAM(I82,IX,2,JS1)	R1800258
101	C	CALL STREAM(2,IX1,JS2,JY)	R1800259
102	C	CALL CHANGE(1,PSI,PSI,JS2,JY,1,IX1)	R1800260
103	C	CALL CHANGE(1,PSI,PSI,JS2,JY,IX2,2)	R1800261
104	C	IF(ERPSI)X,LT,ERCP) GO TO 310	R1800262
105	C	GO TO 300	R1800263
106	C	310 CONTINUE	R1800264
	C		R1800265
	C		R1800266
	C		R1800267
	C		R1800268
	C	CALCULATION OF VORTICITY	R1800269
	C		R1800270
	C		R1800271
	C		R1800272
	C		R1800273
	C		R1800274
	C		R1800275
	C		R1800276
	C		R1800277
	C		R1800278
	C		R1800279
	C	ZETA ITERATION DATA PRINT	R1800280
	C		R1800281
	C		R1800282
	C		R1800283
	C		R1800284
107	C	CALL ZETA	R1800274
108	C	IF(ERZET,GT,ERZ) GO TO 210	R1800275
	C		R1800276
	C		R1800277
	C		R1800278
	C		R1800279
	C		R1800280
	C		R1800281
	C		R1800282
	C		R1800283
	C		R1800284

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 6

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
109	C	WRITE(6,1050) ITEZ,ERZET	R1800285
110	C	1050 FORMAT(1H 'ZETA ITERATION NO. ITEZ=',110,5X, 1'MAX,ERROR ERZET=',E15,8)	R1800286
	C		R1800287
	C		R1800288
	C		R1800289
	C		R1800290
	C		R1800291
	C	CALCULATION OF TEMPERATURE	R1800292
	C		R1800293
	C		R1800294
	C		R1800295
	C		R1800296
	C		R1800297
111	C	CALL CHANGP(2,TETA,TETAC,JS1,1,1,1)	R1800298
112	C	CALL CHANGP(2,TETA,TETAC,JS1,2,1,1)	R1800299
113	C	CALL CHANGP(3,TETA,TETAC,JS1,1,1,1)	R1800300
114	C	CALL CHANGP(2,TETA,TETAZC,JS1,1,1,1)	R1800301
115	C	CALL CHANGP(2,TETA,TETAZC,JS1,2,1,1)	R1800302
116	C	CALL CHANGP(3,TETA,TETAZC,JS1,1,1,1)	R1800303
	C		R1800304
	C		R1800305
	C		R1800306
	C		R1800307
	C		R1800308
	C		R1800309
118	C	CALL CHANGP(3,TETA,TETAC,JS1,1,1,2)	R1800310
119	C	CALL CHANGP(3,TETA,TETAZC,JS1,1,1,2)	R1800311
120	C	CALL CHANGP(2,TETA,TETAC,JS1,2,1,2)	R1800312
121	C	CALL CHANGP(2,TETA,TETAZC,JS1,2,1,2)	R1800313
	C		R1800314
	C		R1800315
	C		R1800316
123	C	CALL CHANGE(O,TETA,TETAL,2,JS1,I82,IX)	R1800317
124	C	CALL CHANGE(O,TETA,TETAL,JS2,JY,2,IX1)	R1800318
	C		R1800319
	C		R1800320
	C		R1800321
	C		R1800322
	C	TETA(I,J) INOUT	R1800323
	C		R1800324
	C		R1800325
	C		R1800326
	C		R1800327
	C		R1800328
	C		R1800329
	C		R1800330
	C		R1800331
	C		R1800332
	C		R1800333
	C	CALCULATION OF TEMP. AT WALL	R1800334
	C		R1800335
	C		R1800336
	C		R1800337
	C		R1800338
126	C	CALL TETA	R1800339
	C		R1800340
127	C	CALL CONVZ	R1800341
	C		R1800341

LSN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
128		IF(ERZETX.LT.ERCR) GO TO 500	R1800342
129		400 CONTINUE	R1800343
130		500 CONTINUE	R1800344
	C		R1800345
131		M1=1	R1800346
	C		R1800347
	C		R1800348
	C	*****	R1800349
	C	*****	R1800350
	C	***** STREAM FUNCTION PRINT *****	R1800351
	C	*****	R1800352
	C	*****	R1800353
	C	*****	R1800354
	C	*****	R1800355
	C	*****	R1800356
132		WRITE(6,1060) T,M	R1800357
133		1060 FORMAT(//1M ,5X,'T=' ,5X,G13.6,5X,'M=' ,5X,G13.6)	R1800358
134		WRITE(6,1070)	R1800359
135		1070 FORMAT(//1M ,5X,'INNER RESULTS OF PS[(I,J)']//)	R1800360
	C		R1800361
136		CALL PRINT(PSI,6,1,JY1)	R1800362
	C		R1800363
	C		R1800364
	C	*****	R1800365
	C	*****	R1800366
	C	***** VORTICITY PRINT *****	R1800367
	C	*****	R1800368
	C	*****	R1800369
	C	*****	R1800370
	C	*****	R1800371
137		WRITE(6,1075)	R1800372
138		1075 FORMAT(//1M ,5X,'INNER RESULTS OF ZETA(I,J)')//	R1800373
	C		R1800374
139		CALL PRINT(ZETA,6,1,JY1)	R1800375
	C		R1800376
140		CALL CLOCK (IT)	R1800377
141		IF(IT.GT.ITMAX) GO TO 1113	R1800378
	C		R1800379
142		IF(ERZETX.GT.ERCR) GO TO 200	R1800380
	C		R1800381
143		WRITE(6,1080)	R1800382
144		1080 FORMAT(//2M , 'PSI AND ZETA HAVE BEEN STEADY STATE')//	R1800383
	C		R1800384
	C	*****	R1800385
	C	*****	R1800386
	C	***** TEMPERATURE RECALCULATION *****	R1800387
	C	*****	R1800388
	C	*****	R1800389
	C	*****	R1800390
	C	*****	R1800391
145		WRITE(6,1090)	R1800392
146		1090 FORMAT(//1M , 'TETA CALCULATION AGAIN')//	R1800393
	C		R1800394
	C		R1800395
147		600 CONTINUE	R1800396
	C		R1800397
148		T=T+DTT	R1800398

LSN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
	C		R1800399
	C		R1800400
149		CALL CHANGE(0,TETAZ,TETA,1-JY1,1,1X2)	R1800401
150		CALL CHANGY(1,TETAZC,TETAC,1,2,1,1)	R1800402
151		CALL CHANGY(1,TETAZC,TETAC,2,2,2,1)	R1800403
	C		R1800404
	C		R1800405
	C	*****	R1800406
	C	*****	R1800407
	C	***** CALCULATION OF TEMP. AGAIN *****	R1800408
	C	*****	R1800409
	C	*****	R1800410
	C	*****	R1800411
	C	*****	R1800412
152		CALL CHANGP(2,TETA,TETAC,JS1,1,1,1)	R1800413
153		CALL CHANGP(2,TETA,TETAC,JS1,2,1B1,1)	R1800414
154		CALL CHANGP(2,TETAZ,TETAZC,JS1,1,1,1)	R1800415
155		CALL CHANGP(2,TETAZ,TETAZC,JS1,2,1B1,1)	R1800416
156		CALL CHANGP(3,TETA,TETAC,JS1,1,1X1,1)	R1800417
157		CALL CHANGP(3,TETAZ,TETAZC,JS1,1,1X1,1)	R1800418
	C		R1800419
	C		R1800420
158		CALL TEMP(2,1X1,JS2,JY)	R1800421
	C		R1800422
	C		R1800423
159		CALL CHANGP(3,TETA,TETAC,JS1,1,1X1,2)	R1800424
160		CALL CHANGP(3,TETAZ,TETAZC,JS1,1,1X1,2)	R1800425
161		CALL CHANGP(2,TETA,TETAC,JS1,2,1B1,2)	R1800426
162		CALL CHANGP(2,TETAZ,TETAZC,JS1,2,1B1,2)	R1800427
	C		R1800428
	C		R1800429
	C		R1800430
	C		R1800431
163		CALL TEMP(1B2,1X,2,JS1)	R1800432
	C		R1800433
	C		R1800434
164		CALL CHANGE(0,TETA,TETA,JS2,JY,2,1X1)	R1800435
165		CALL CHANGE(0,TETA,TETA,2,JS1,1B2,1X)	R1800436
	C		R1800437
	C	*****	R1800438
	C	*****	R1800439
	C	***** TETA(I,J) INOUT *****	R1800440
	C	*****	R1800441
	C	*****	R1800442
	C	*****	R1800443
	C	*****	R1800444
	C	*****	R1800445
166		CALL INOUT(JS2,JY)	R1800446
	C		R1800447
	C		R1800448
	C	*****	R1800449
	C	*****	R1800450
	C	***** CALCULATION OF TEMP. AT WALL *****	R1800451
	C	*****	R1800452
	C	*****	R1800453
	C	*****	R1800454
	C	*****	R1800455

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
167		CALL TETA	R1800456
	C		R1800457
	C		R1800458
	C	*****	R1800459
	C	CONVERGENCE OF STEADY STATE	R1800460
	C	*****	R1800461
	C	*****	R1800462
	C	*****	R1800463
	C	*****	R1800464
	C	*****	R1800465
168		CALL DIFFER(1,IX2,JS1,JY1)	R1800466
169		CALL DIFFER(1B1,IX1,1,JS1)	R1800467
	C		R1800468
	C		R1800469
170		CALL STEADY(1,IX1,JS2,JY)	R1800470
171		CALL STEADY(1B2,IX,2,JS1)	R1800471
	C		R1800472
	C		R1800473
	C		R1800474
172		CALL CLOCK (IT)	R1800475
173		IF(IT.GT.ITMAX) GO TO 1115	R1800476
174		WRITE(6,1100) ERTETA	R1800477
175	1100	FORMAT(1H,5X,'ERTETA=',G13.6)	R1800478
176		IF(ABS(ERTETA).GT.ERT) GO TO 600	R1800479
177		WRITE(6,1110)	R1800480
178	1110	FORMAT(//1M,'STEADY STATE')	R1800481
179		GO TO 1125	R1800482
180	1115	WRITE(6,1120)	R1800483
181	1120	FORMAT(//1H,'ITERATION LOOP TIME OVER ; IT > ITMAX//')	R1800484
182	1125	CONTINUE	R1800485
	C	*****	R1800486
	C	*****	R1800487
	C	TEMPERATURE PRINT	R1800488
	C	*****	R1800489
	C	*****	R1800490
	C	*****	R1800491
	C	*****	R1800492
	C	*****	R1800493
183		CALL TOUT	R1800494
	C		R1800495
184		WRITE(6,1130)	R1800496
185	1130	FORMAT(//1H,5X,'INNER RESULTS OF TETA(1,J)//')	R1800497
	C		R1800498
	C		R1800499
186		CALL PRINT(TETA,6,1,JY1)	R1800500
	C		R1800501
	C	*****	R1800502
	C	*****	R1800503
	C	CALCULATION OF PRESSURE DROP	R1800504
	C	*****	R1800505
	C	*****	R1800506
	C	*****	R1800507
	C	*****	R1800508
187		CALL PRESS	R1800509
	C		R1800510
	C		R1800511
	C	*****	R1800512

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (FTMAIN)	SEQUENCE
	C	*****	R1800513
	C	CALCULATION OF FRICTION FORCE	R1800514
	C	*****	R1800515
	C	*****	R1800516
	C	*****	R1800517
	C	*****	R1800518
188		CALL FRIC	R1800519
	C		R1800520
	C		R1800521
	C	*****	R1800522
	C	*****	R1800523
	C	CALCULATION OF NUSSELT NUMBER	R1800524
	C	*****	R1800525
	C	*****	R1800526
	C	*****	R1800527
	C	*****	R1800528
189		CALL NUSELT	R1800529
	C		R1800530
	C		R1800531
	C	*****	R1800532
	C	*****	R1800533
	C	INPUT DATA TO FILE NO.08	R1800534
	C	*****	R1800535
	C	*****	R1800536
	C	*****	R1800537
	C	*****	R1800538
190		CALL ARENGE(ZETA,ZETAC)	R1800539
191		CALL ARENGE(TETA,TETAC)	R1800540
	C		R1800541
	C		R1800542
	C		R1800543
192		WRITE(8,1140) T.M	R1800544
193	1140	FORMAT(2G13.6)	R1800545
	C		R1800546
194		CALL PRINT(PSI,8,1,JY1)	R1800547
195		CALL PRINT(ZETA,8,1,JY1)	R1800548
196		CALL PRINT(TETA,8,1,JY1)	R1800549
	C		R1800550
197		CALL CLOCK(MSEC)	R1800551
198		WRITE(8,1150) MSEC	R1800552
199	1150	FORMAT(//1H,'CPU TIME: TIME=',110//)	R1800553
	C		R1800554
200		WRITE(6,1160)	R1800555
201	1160	FORMAT(//1H,'INPUT END//')	R1800556
	C		R1800557
202		IF(IT.GT.ITMAX) GO TO 1170	R1800558
	C		R1800559
203		IF(ENZETA.GT.ETOCR) GO TO 1170	R1800560
	C		R1800561
204		GO TO 1190	R1800562
205	1170	WRITE(6,1180)	R1800563
206	1180	FORMAT(//1H,'PLEASE CONTINUE THIS CALCULATION//')	R1800564
207		GO TO 1210	R1800565
208	1190	WRITE(6,1200)	R1800566
209	1200	FORMAT(//1H,'THIS CALCULATION HAS BEEN ENDED//')	R1800567
210	1210	STOP	R1800568
211		END	R1800569

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE ARENGE(H,A)	R1800569
	C		R1800570
	C****	ARRANGEMENT OF THE VALUE AT THE EDGE *****	R1800571
	C		R1800572
2		COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1800573
3		DIMENSION H(50,50),A(2,3)	R1800574
4		H(1,JS1)=0.5*(A(1,1)+A(2,1))	R1800575
5		H(1B1,JS1)=0.5*(A(1,2)+A(2,2))	R1800576
6		H(IX1,JS1)=0.5*(A(1,1)+A(2,3))	R1800577
7		RETURN	R1800578
8		END	R1800579

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE CHANGE(INDEX,X,Y,K,L,M,N)	R1800580
	C		R1800581
	C****	CHANGE VALUES OF VARIABLES *****	R1800582
	C		R1800583
2		DIMENSION X(50,50),Y(50,50)	R1800584
3		DO 30 J=K,L	R1800585
4		IF(INDEX,E0,1) GO TO 20	R1800586
5		IF(INDEX,E0,2) GO TO 40	R1800587
6		IF(INDEX,E0,3) GO TO 60	R1800588
7		IF(INDEX,E0,4) GO TO 80	R1800589
8		DO 10 I=M,N	R1800590
9		X(I,J)=Y(I,J)	R1800591
10	10	CONTINUE	R1800592
11		GO TO 30	R1800593
12	20	X(M,J)=Y(N,J)	R1800594
13	30	CONTINUE	R1800595
14		GO TO 100	R1800596
15	40	X(M,K)=Y(N,L)	R1800597
16		GO TO 100	R1800598
17	60	X(M,K)=Y(N,L)+1.0	R1800599
18		GO TO 100	R1800600
19	80	DO 90 J=K,L	R1800601
20		X(M,J)=Y(N,J)+1.0	R1800602
21	90	CONTINUE	R1800603
22	100	CONTINUE	R1800604
23		RETURN	R1800605
24		END	R1800606

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE CHANGL(INDEX,X,Y,K,L,M,N)	R1800607
	C		R1800608
	C****	CHANGE VALUES OF VARIABLES *****	R1800609
	C		R1800610
2		DIMENSION X(2,3),Y(50,50)	R1800611
3		DO 30 J=K,L	R1800612
4		IF(INDEX,E0,1) GO TO 20	R1800613
5		IF(INDEX,E0,2) GO TO 40	R1800614
6		IF(INDEX,E0,3) GO TO 60	R1800615
7		IF(INDEX,E0,4) GO TO 80	R1800616
8		DO 10 I=M,N	R1800617
9		X(I,J)=Y(I,J)	R1800618
10	10	CONTINUE	R1800619
11		GO TO 30	R1800620
12	20	X(M,J)=Y(N,J)	R1800621
13	30	CONTINUE	R1800622
14		GO TO 100	R1800623
15	40	X(M,K)=Y(N,L)	R1800624
16		GO TO 100	R1800625
17	60	X(M,K)=Y(N,L)+1.0	R1800626
18		GO TO 100	R1800627
19	80	DO 90 J=K,L	R1800628
20		X(M,J)=Y(N,J)+1.0	R1800629
21	90	CONTINUE	R1800630
22	100	CONTINUE	R1800631
23		RETURN	R1800632
24		END	R1800633

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE CHANGP(INDEX,X,Y,K,L,M,N)	R1800634
	C		R1800635
	C****	CHANGE VALUES OF VARIABLES *****	R1800636
	C		R1800637
2		DIMENSION X(50,50),Y(2,3)	R1800638
3		DO 30 J=K,L	R1800639
4		IF(INDEX.EQ.1) GO TO 20	R1800640
5		IF(INDEX.EQ.2) GO TO 40	R1800641
6		IF(INDEX.EQ.3) GO TO 60	R1800642
7		IF(INDEX.EQ.4) GO TO 80	R1800643
8		DO 10 I=M,N	R1800644
9		X(I,J)=Y(I,J)	R1800645
10		10 CONTINUE	R1800646
11		GO TO 30	R1800647
12		20 X(M,J)=Y(N,J)	R1800648
13		30 CONTINUE	R1800649
14		GO TO 100	R1800650
15		40 X(M,K)=Y(N,L)	R1800651
16		GO TO 100	R1800652
17		60 X(M,K)=Y(N,L)+1.0	R1800653
18		GO TO 100	R1800654
19		80 DO 90 J=K,L	R1800655
20		X(M,J)=Y(N,J)+1.0	R1800656
21		90 CONTINUE	R1800657
22		100 CONTINUE	R1800658
23		RETURN	R1800659
24		END	R1800660

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE CHANGY(INDEX,X,Y,K,L,M,N)	R1800661
	C		R1800662
	C****	CHANGE VALUES OF VARIABLES *****	R1800663
	C		R1800664
2		DIMENSION X(2,3),Y(2,3)	R1800665
3		DO 30 J=K,L	R1800666
4		IF(INDEX.EQ.1) GO TO 20	R1800667
5		IF(INDEX.EQ.2) GO TO 40	R1800668
6		IF(INDEX.EQ.3) GO TO 60	R1800669
7		IF(INDEX.EQ.4) GO TO 80	R1800670
8		DO 10 I=M,N	R1800671
9		X(I,J)=Y(I,J)	R1800672
10		10 CONTINUE	R1800673
11		GO TO 30	R1800674
12		20 X(M,J)=Y(N,J)	R1800675
13		30 CONTINUE	R1800676
14		GO TO 100	R1800677
15		40 X(M,K)=Y(N,L)	R1800678
16		GO TO 100	R1800679
17		60 X(M,K)=Y(N,L)+1.0	R1800680
18		GO TO 100	R1800681
19		80 DO 90 J=K,L	R1800682
20		X(M,J)=Y(N,J)+1.0	R1800683
21		90 CONTINUE	R1800684
22		100 CONTINUE	R1800685
23		RETURN	R1800686
24		END	R1800687

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE CONVZ	R1800688
	C		R1800689
	C****	PRERARATION OF CONVERGENCE ZETA *****	R1800690
	C		R1800691
	C		R1800692
	C		R1800693
2		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETAL(50,50),ZETAC(2,3),	R1800694
		1ZETAZ(2,3),ZETAZ(50,50)	R1800695
3		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800696
4		COMMON/ BLK13 /IX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JY3	R1800697
5		COMMON/ BLK16 /ERPS1,ERPS1X,ERZET,ERZETX,ERTETA,ERTX	R1800698
6		WRITE(6,100) ERZETX	R1800699
7		100 FORMAT(/1H ,5X,'ERZETA=',G13.6)	R1800700
8		ERZETX=0.0	R1800701
9		DO 10 I=1,IX	R1800702
10		ERZET=ABS(ZETA(I,JY1)-ZETAZ(I,JY1))	R1800703
11		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1800704
12		10 CONTINUE	R1800705
13		DO 20 I=2,IB	R1800706
14		ERZET=ABS(ZETA(I,JS1)-ZETAZ(I,JS1))	R1800707
15		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1800708
16		20 CONTINUE	R1800709
17		DO 30 J=2,JS	R1800710
18		ERZET=ABS(ZETA(IB1,J)-ZETAZ(IB1,J))	R1800711
19		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1800712
20		30 CONTINUE	R1800713
21		DO 40 I=1B2,IX	R1800714
22		ERZET=ABS(ZETA(I,1)-ZETAZ(I,1))	R1800715
23		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1800716
24		40 CONTINUE	R1800717
25		DO 50 J=2,JS	R1800718
26		ERZET=ABS(ZETA(IX1,J)-ZETAZ(IX1,J))	R1800719
27		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1800720
28		50 CONTINUE	R1800721
29		RETURN	R1800722
30		END	R1800723

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2.CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02.L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 17

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE DATAB	R1800724
	C		R1800725
	C	*****DATA READ *****	R1800726
	C		R1800727
2		COMMON/ BLK8 /P,W,H,S,RE,PR,Q1,Q2	R1800728
3		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800729
4		COMMON/ BLK12/ERCR,ERCP,ERT,ERZ	R1800730
5		READ(5,100) IX,JY,IB,JS	R1800731
6	100	FORMAT(4I4)	R1800732
7		READ(5,200) P,W,H,S,RE	R1800733
8	200	FORMAT(5F10.5)	R1800734
9		READ(5,300) PR,Q1,Q2,DT,DTT	R1800735
10	300	FORMAT(3F10.0,2E10.0)	R1800736
11		READ(5,400) ITMAX,ACCP	R1800737
12	400	FORMAT(1I0,F10.5)	R1800738
13		READ(5,500) IN,MX	R1800739
14	500	FORMAT(2I4)	R1800740
15		READ(5,600) ERCR,ERCP,ERT,ERZ	R1800741
16	600	FORMAT(4E10.0)	R1800742
17		RETURN	R1800743
18		END	R1800744

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2.CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02.L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 18

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE DIFFER(MD,MF,NG,NH)	R1800745
	C		R1800746
	C		R1800747
	C	***** DIFFERENCE BETWEEN TETA & DTETA *****	R1800748
	C		R1800749
	C		R1800750
2		COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3), ITETAZ(2,3),TETAZ(50,50)	R1800751
3		COMMON/ BLK12/ERCR,ERCP,ERT,ERZ	R1800752
4		COMMON/ BLK13/IX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JY3	R1800753
5		COMMON/ BLK16/ERPSI,ERPSIX,ERZET,ERZETX,ERTETA,ERTX	R1800754
6		DTETA=TETA(I,JY1)	R1800755
7		ERTETA=0.0	R1800756
8		DO 20 J=NG,NH	R1800757
9		DO 10 I=MD,MF	R1800758
10		TETA(I,J)=TETA(I,J)-DTETA	R1800759
11	10	CONTINUE	R1800760
12	20	CONTINUE	R1800761
13		RETURN	R1800762
14		END	R1800763

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2.CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02.L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 19

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE DPRINT	R1800765
	C		R1800766
	C	*****HEADING PRINT *****	R1800767
	C		R1800768
2		COMMON/ BLK8 /P,W,H,S,RE,PR,Q1,Q2	R1800769
3		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800770
4		COMMON/ BLK12/ERCR,ERCP,ERT,ERZ	R1800771
5		WRITE(6,100) IX,JY,IB,JS,P,W,H,S,RE,PR,Q1,Q2,DT,DTT	R1800772
6	100	FORMAT(//1H,15X,3HIX=,14,3X,3HJY=,14,3X,3HIB=,14,3X,3HJS=,14, 1/1H,6X,2HP=,G13.6,4X,2HM=,G13.6,4X,2HM=,G13.6,4X,2HS=,G13.6/ 21H,5X,3HRE=,G13.6,3X,3HPR=,G13.6,3X,3H01=,G13.6,3X,3H02=,G13.6, 3/1H,5X,3HDT=,G13.6,2X,4HDTT=,G13.6) WRITE(6,200) ITMAX,ACCP,IN,MX,ERCR,ERCP,ERT,ERZ	R1800773
7		FORMAT(//1H,5X,6HITMAX=,110,5X,5HACCP=,F10.5,3X,3HIN=,14,3X,3HMA=, 24HERZ=,G13.6//)	R1800774
8	200		R1800775
9		RETURN	R1800776
10		END	R1800777

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2.CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02.L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 20

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE FILER(V,MM,NN,IN)	R1800783
	C		R1800784
	C	***** READING FILE *****	R1800785
	C		R1800786
2		COMMON/ BLK4 /IP(50)	R1800787
3		COMMON/ BLK13/IX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JY3	R1800788
4		DIMENSION V(50,50)	R1800789
5		I1=1	R1800790
6	100	CONTINUE	R1800791
7		I9=I1+9	R1800792
8		IF(I9,GE,IX1) I9=IX1	R1800793
9		DO 20 J=MM,NN	R1800794
10		READ(IN,25) V(I,J),I=I1,I9	R1800795
11	25	FORMAT(10F12.5)	R1800796
12	20	CONTINUE	R1800797
13		IF(I9,EQ,IX1) GO TO 110	R1800798
14		I1=I9+1	R1800799
15		GO TO 100	R1800800
16	110	CONTINUE	R1800801
17		RETURN	R1800802
18		END	R1800803

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE FRIC	R1800804
	C		R1800805
	C	***** FRICTION FORCE *****	R1800806
	C		R1800807
2		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETAL(50,50),ZETAC(2,3),	R1800808
		1ZETAZC(2,3),ZETAZ(50,50)	R1800809
		COMMON/ BLK7 /TAU(50)	R1800810
3		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800811
4		COMMON/ BLK11 /DX,DY,VDX,VDY,DXK,DYK,VDXK,VDYK,VDXK,VDYK,	R1800812
5		1VRE,VREPR,VDXY,VVDXY,SDXY,0	R1800813
6		COMMON/ BLK13 /IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1800814
7		DO 10 I=1,IX2	R1800815
8		TAU(I)=ZETA(I,JY1)*VRE	R1800816
9	10	CONTINUE	R1800817
10		CALL ZPRINT('I',TAU,1,IX1,'TAU1')	R1800818
	C		R1800819
11		DO 20 I=1,IB1	R1800820
12		ZETA(I,JS1)=ZETAC(1,1)	R1800821
13		ZETA(I,JS1)=ZETAC(1,2)	R1800822
14		TAU(I)=ZETA(I,JS1)*VRE	R1800823
15	20	CONTINUE	R1800824
16		CALL ZPRINT('I',TAU,1,IB1,'TAU2')	R1800825
	C		R1800826
17		DO 30 JJ=1,JS1	R1800827
18		ZETA(I,JS1)=ZETAC(2,2)	R1800828
19		J=JS-JJ*2	R1800829
20		TAU(J)=ZETA(I,JS1)*VRE	R1800830
21	30	CONTINUE	R1800831
22		CALL ZPRINT('J',TAU,1,JS1,'TAU3')	R1800832
	C		R1800833
23		DO 40 I=1,IX1	R1800834
24		I=I-IB	R1800835
25		TAU(I)=ZETA(I,1)*VRE	R1800836
26	40	CONTINUE	R1800837
27		CALL ZPRINT('I',TAU,1,IX1-IB,'TAU4')	R1800838
	C		R1800839
28		DO 50 J=1,JS1	R1800840
29		ZETA(IX1,JS1)=ZETAC(2,3)	R1800841
30		TAU(J)=ZETA(IX1,J)*VRE	R1800842
31	50	CONTINUE	R1800843
32		CALL ZPRINT('J',TAU,1,JS1,'TAU5')	R1800844
33		RETURN	R1800845
34		END	R1800846

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INOUT(JM,JN)	R1800847
	C		R1800848
2		COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),	R1800849
		1TETAZC(2,3),TETAZ(50,50)	R1800850
3		COMMON/ BLK13 /IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1800851
	C		R1800852
4		DO 10 J=JM,JN	R1800853
5		TETA(1,J)=TETA(IX1,J)-1.0	R1800854
6		TETA(IX2,J)=TETA(2,J)+1.0	R1800855
7	10	CONTINUE	R1800856
8		RETURN	R1800857
9		END	R1800858

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INTPSI	R1800859
	C		R1800860
	C	*****INITIAL CONDITION PSI(I,J) *****	R1800861
	C		R1800862
2		COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50)	R1800863
3		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800864
4		COMMON/ BLK13 /IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1800865
5		DO 20 I=1,IB2,IX	R1800866
6		DO 10 J=2,JS	R1800867
7		PSI(I,J)=0.0	R1800868
8	10	CONTINUE	R1800869
9	20	CONTINUE	R1800870
10		DO 40 I=1,IX2	R1800871
11		DO 30 J=JS1,JY1	R1800872
12		PSI(I,J)=0.5*(1.0-FLOAT(JY1-J)/FLOAT(JY1-JS1))	R1800873
13	30	CONTINUE	R1800874
14	40	CONTINUE	R1800875
15		RETURN	R1800876
16		END	R1800877

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INTTET	R1800878
	C	*****INITIAL CONDITION TETA(I,J) *****	R1800879
	C		R1800880
	C		R1800881
2		COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETA(50,50),TETAC(2,3), 1TETAZ(2,3),TETAZ(50,50)	R1800882
3		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800883
4		COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1800884
5		DO 20 I=1,IX	R1800885
6		DO 10 J=2,JS1	R1800886
7		TETA(I,J)=1.0-FLOAT((IX1-1)/FLOAT(IX1))	R1800887
8	10	CONTINUE	R1800888
9	20	CONTINUE	R1800889
	C		R1800890
10		DO 40 I=1,IX2	R1800891
11		DO 30 J=JS2,JY	R1800892
12		TETA(I,J)=1.0-FLOAT((IX1-1)/FLOAT(IX1))	R1800893
13	30	CONTINUE	R1800894
14	40	CONTINUE	R1800895
15		RETURN	R1800896
16		END	R1800897

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INTE*	R1800899
	C	*****INITIAL CONDITION TETA(I,J) AT WALL *****	R1800900
	C		R1800901
	C		R1800902
2		COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETA(50,50),TETAC(2,3), 1TETAZ(2,3),TETAZ(50,50)	R1800903
3		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800904
4		COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1800905
5		COMMON/ BLK14/CM1,CM2,CM3	R1800906
6		DO 10 I=1,IX2	R1800907
7		TETA(I,JY1)=(4.0*TETA(I,JY)-TETA(I,JYY)+CM1)/3.0	R1800908
8	10	CONTINUE	R1800909
	C		R1800910
9		DO 20 I=1,IB	R1800911
10		TETA(I,JS1)=(4.0*TETA(I,JS2)-TETA(I,JS3)+CM2)/3.0	R1800912
11	20	CONTINUE	R1800913
	C		R1800914
12		DO 30 J=2,JS1	R1800915
13		TETA(1B1,J)=(4.0*TETA(1B2,J)-TETA(1B3,J)+CM3)/3.0	R1800916
14	30	CONTINUE	R1800917
	C		R1800918
15		DO 40 I=1B1,IX	R1800919
16		TETA(I,1)=(4.0*TETA(I,2)-TETA(I,3)+CM2)/3.0	R1800920
17	40	CONTINUE	R1800921
	C		R1800922
18		DO 50 J=1,JS1	R1800923
19		TETA(IX1,J)=(4.0*TETA(IX,J)-TETA(IXX,J)+CM3)/3.0	R1800924
20	50	CONTINUE	R1800925
21		TETA(IX1,JS1)=TETA(1,JS1)+1.0	R1800926
22		TETA(IX2,JS1)=TETA(2,JS1)+1.0	R1800927
23		RETURN	R1800928
24		END	R1800929

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE INTZET	R1800931
	C	*****INITIAL CONDITION ZETA(I,J) AT WALL *****	R1800932
	C		R1800933
	C		R1800934
2		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETA(50,50),ZETAC(2,3), 1ZETAZ(2,3),ZETAZ(50,50)	R1800935
3		COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50)	R1800936
4		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800937
5		COMMON/ BLK11/DX,DY,VDX,VDY,DXX,DYY,DXY,VDDX,VDDY, 1VRE,VREPR,RDXY,VDDX,VDDY,SDXY,S	R1800938
6		COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1800939
7		DO 20 J=2,JS1	R1800940
8		DO 10 I=1B2,IX	R1800941
9		ZETA(I,J)=(PSI(I,J)*2.0+RDXY-(PSI(I+1,J)+PSI(I-1,J))*DYY-(PSI(I, 1J+1)+PSI(I,J-1))*DXX)*VDDX*VDYY	R1800942
10	10	CONTINUE	R1800943
11	20	CONTINUE	R1800944
12		DO 40 J=JS2,JY	R1800945
13		DO 30 I=2,IX1	R1800946
14		ZETA(I,J)=(PSI(I,J)*2.0+RDXY-(PSI(I+1,J)+PSI(I-1,J))*DYY-(PSI(I, 1J+1)+PSI(I,J-1))*DXX)*VDDX*VDYY	R1800947
15	30	CONTINUE	R1800948
16	40	CONTINUE	R1800949
17		DO 50 J=JS2,JY	R1800950
18		ZETA(IX2,J)=ZETA(2,J)	R1800951
19		ZETA(1,J)=ZETA(IX1,J)	R1800952
20	50	CONTINUE	R1800953
21		DO 60 I=1,IX2	R1800954
22		ZETA(I,JY1)=-3.0*(PSI(I,JY)-PSI(I,JY1))*VDYY+0.5*ZETA(I,JY)	R1800955
23	60	CONTINUE	R1800956
	C		R1800957
24		DO 70 I=1,IB	R1800958
25		ZETA(1,JS1)=-3.0*(PSI(1,JS2)-PSI(1,JS1))*VDYY+0.5*ZETA(1,JS2)	R1800959
26	70	CONTINUE	R1800960
	C		R1800961
27		DO 80 J=2,JS1	R1800962
28		ZETA(1B1,J)=-3.0*(PSI(1B2,J)-PSI(1B1,J))*VDXX+0.5*ZETA(1B2,J)	R1800963
29	80	CONTINUE	R1800964
	C		R1800965
30		DO 90 I=1B1,IX	R1800966
31		ZETA(I,1)=-3.0*(PSI(I,2)-PSI(I,1))*VDYY+0.5*ZETA(I,2)	R1800967
32	90	CONTINUE	R1800968
	C		R1800969
33		DO 100 J=1,JS1	R1800970
34		ZETA(IX1,J)=-3.0*(PSI(IX,J)-PSI(IX1,J))*VDXX+0.5*ZETA(IX,J)	R1800971
35	100	CONTINUE	R1800972
36		ZETA(IX1,JS1)=ZETA(1,JS1)	R1800973
37		ZETA(IX2,JS1)=ZETA(2,JS1)	R1800974
38		RETURN	R1800975
39		END	R1800976

JAERI-M 8650

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 27

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE NUSELT	R1800981
	C		R1800982
	C****	NUSELTT NUMBER CALCULATION *****	R1800983
	C		R1800984
2		COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETA1(50,50),TETAC(2,3),	R1800985
		1TETAZ(2,3),TETAZ(50,50)	R1800986
3		COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSI2(50,50)	R1800987
4		COMMON/ BLK5 /TETAB(50),GNU(50)	R1800988
5		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,J5,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1800989
6		COMMON/ BLK15 /IX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1800990
7		COMMON/ BLK15 /VM1,VM2	R1800991
8		DO 20 I=1,IB1	R1800992
9		TETAB1=0.0	R1800993
10		DO 10 J=JS2,JY	R1800994
11		TETAB1=TETAB1+TETA(I,J)*(PSI(I,J+1)-PSI(I,J-1))	R1800995
12		TETAB(I)=TETAB1	R1800996
13	10	CONTINUE	R1800997
14	20	CONTINUE	R1800998
15		DO 40 I=IB1,IX1	R1800999
16		TETAB1=0.0	R1801000
17		DO 30 J=2,JY	R1801001
18		TETAB1=TETAB1+TETA(I,J)*(PSI(I,J+1)-PSI(I,J-1))	R1801002
19		TETAB(I)=TETAB1	R1801003
20	30	CONTINUE	R1801004
21	40	CONTINUE	R1801005
22		WRITE(6,1000) (TETAB(I),I=1,IX1)	R1801006
23	1000	FORMAT(/1H ,10X,16HBULK TEMPERATURE/1H ,10X,10F10,5)	R1801007
24		TETAB(IX1)=TETAB(1)+1.0	R1801008
25		TETAB(IX2)=TETAB(2)+1.0	R1801009
	C		R1801010
	C		R1801011
26		DO 50 I=1,IX1	R1801012
27		GNU(I)=VM1/(TETA(I,JY1)-TETAB(I))	R1801013
28	50	CONTINUE	R1801014
29		CALL ZPRINT('I',GNU,1,IX1,'GNU1')	R1801015
	C		R1801016
30		DO 60 I=1,IB1	R1801017
31		TETA(1,JS1)=TETA(1,1)	R1801018
32		TETA(1B1,JS1)=TETA(1,2)	R1801019
33		GNU(I)=VM2/(TETA(I,JS1)-TETAB(I))	R1801020
34	60	CONTINUE	R1801021
35		CALL ZPRINT('I',GNU,1,IB1,'GNU2')	R1801022
	C		R1801023
36		DO 70 J=1,JS1	R1801024
37		TETA(1B1,JS1)=TETA(2,2)	R1801025
38		GNU(J)=VM2/(TETA(1B1,J)-TETAB(1B1))	R1801027
39	70	CONTINUE	R1801028
40		CALL ZPRINT('J',GNU,1,JS1,'GNU3')	R1801029
	C		R1801030
41		DO 80 I=1B1,IX1	R1801031
42		I=I-1B	R1801032
43		GNU(I)=VM2/(TETA(I,1)-TETAB(I))	R1801033
44	80	CONTINUE	R1801034
45		CALL ZPRINT('I',GNU,1,IX1-1B,'GNU4')	R1801035
46		TETA(IX1,JS1)=TETA(2,3)	R1801036
47		DO 90 J=1,JS1	R1801037
48		GNU(J)=VM2/(TETA(IX1,J)-TETAB(IX1))	R1801038

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 28

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (NUSELT)	SEQUENCE
49	90	CONTINUE	R1801039
50		CALL ZPRINT('J',GNU,1,JS1,'GNU5')	R1801040
51		RETURN	R1801041
52		END	R1801042

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE PREPAR	R1801043
	C		R1801044
	C	*****PREPARATJON *****	R1801045
	C		R1801046
2		COMMON/ BLK4 /IP(50)	R1801047
3		COMMON/ BLK8 /P,WH+S,RE,PR,WI,Q2	R1801048
4		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1801049
5		COMMON/ BLK10/PH,SH,PC	R1801050
6		COMMON/ BLK11/DX,DY,VDX,VDY,DXX,DYY,DXY,VDXY,VDXX,VDYY, VRE,VREPR,RDXY,VRDXY,SDXY,S	R1801051
7		COMMON/ BLK12/ERCR,ERCP,ERT,ERZ	R1801052
8		COMMON/ BLK13/IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1801053
9		COMMON/ BLK14/CM1,CM2,CM3	R1801054
10		COMMON/ BLK15/VM1,VM2	R1801055
11		PH=PI/(2.0*H)	R1801056
12		SH=0.5*FLOAT(JS)/FLOAT(JY)	R1801057
13		WPC=1.0-FLOAT(IB)/FLOAT(IX)	R1801058
14		DX=PH/FLOAT(IX)	R1801059
15		DY=0.5/FLOAT(JY)	R1801060
16		VDX=1.0/DX	R1801061
17		VDY=1.0/DY	R1801062
18		DXY=DX*DY	R1801063
19		DXX=DX*DX	R1801064
20		DYY=DY*DY	R1801065
21		VDXY=VDX*VDY	R1801066
22		VDXX=VDX*VDX	R1801067
23		VDYY=VDY*VDY	R1801068
24		VRE=1.0/RE	R1801069
25		VREPR=1.0/(RE*PR)	R1801070
26		RDXY=DXX*DYY	R1801071
27		VRDXY=1.0/RDXY	R1801072
28		SDX=DXX*DXY	R1801073
29		Q=Q1*PH/(Q1*PH+Q2*(PH+2.0*SH))	R1801074
30		IXX=IX-1	R1801075
31		IX1=IX+1	R1801076
32		IX2=IX+2	R1801077
33		IX3=IX+3	R1801078
34		JS1=JS+1	R1801079
35		JS2=JS+2	R1801080
36		JS3=JS+3	R1801081
37		IB1=IB+1	R1801082
38		IB2=IB+2	R1801083
39		IB3=IB+3	R1801084
40		JY1=JY+1	R1801085
41		JY2=JY+2	R1801086
42		JYY=JY-1	R1801087
43		CM1=Q*RE*PR*DY/PH	R1801088
44		CM2=(1.0-Q)*RE*PR*DY/(PH+2.0*SH)	R1801089
45		CM3=(1.0-Q)*RE*PR*DX/(PH+2.0*SH)	R1801090
46		VM1=0.5*Q*RE*PR/PH	R1801091
47		VM2=0.5*(1.0-Q)*RE*PR/(PH+2.0*SH)	R1801092
48		DO 10 I=1,50	R1801093
49		IF(I) 10	R1801094
50	10	CONTINUE	R1801095
51		RETURN	R1801096
52		END	R1801097

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE PRESS	R1801099
	C		R1801100
	C	***** PRESSURE DISTRIBUTION *****	R1801101
	C		R1801102
2		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETAL(50,50),ZETAC(2,3), ZETAZ(2,3),ZETAJ(50,50)	R1801103
3		COMMON/ BLK6 /PRES(50)	R1801104
4		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1801105
5		COMMON/ BLK11/DX,DY,VDX,VDY,DXX,DYY,DXY,VDXY,VDXX,VDYY, VRE,VREPR,RDXY,VRDXY,SDXY,S	R1801106
6		COMMON/ BLK13/IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1801107
7		PRES(1)=0.0	R1801108
8		DO 10 I=2,IX2	R1801109
9		PRES(I)=PRES(I-1)+4.0*ZETA(I,JY)-ZETA(I,JYY)-3.0*ZETA(I,JY1)	R1801110
10		1*VRE=0.5*DXX*VDY	R1801111
11	10	CONTINUE	R1801112
	C	CALL ZPRINT('I',PRES,1,IX1,'PRS1')	R1801113
12		PRES(1)=0.0	R1801114
13		ZETA(1,JS1)=ZETAC(1,1)	R1801115
14		ZETA(1B1,JS1)=ZETAC(1,2)	R1801116
15		DO 20 J=2,IB1	R1801117
16		PRES(J)=PRES(J-1)-0.5*(4.0*ZETA(I,JS2)-ZETA(I,JS3)-3.0*ZETA(I,JS1) 1*4.0*ZETA(I-1,JS2)-ZETA(I-1,JS3)-3.0*ZETA(I-1,JS1))*VRE+0.5*DXX*VDY	R1801118
17	20	CONTINUE	R1801119
	C	CALL ZPRINT('I',PRES,1,IB1,'PRS2')	R1801120
19		PRES(JS1)=PRES(1B1)	R1801121
20		ZETA(1B1,JS1)=ZETAC(2,2)	R1801122
21		DO 30 JJ=2,JS1	R1801123
22		J=JS-JJ+2	R1801124
23		PRES(J)=PRES(J+1)+0.5*(4.0*ZETA(1B2,J)-ZETA(1B3,J)-3.0*ZETA(1B1,J) 1*4.0*ZETA(1B2,J-1)-ZETA(1B3,J-1)-3.0*ZETA(1B1,J-1))*VRE+0.5*DXX*VDY	R1801125
24	30	CONTINUE	R1801126
	C	CALL ZPRINT('J',PRES,1,JS1,'PRS3')	R1801127
26		DO 40 I=2,IX-IB	R1801128
27		PRES(I)=PRES(I-1)-0.5*(4.0*ZETA(I-1B,2)-ZETA(I-1B,3)-3.0*ZETA(I-1B,1) 1*3*4.0*ZETA(I-1B-1,2)-ZETA(I-1B-1,3)-3.0*ZETA(I-1B-1,1))	R1801129
28		2*VRE+0.5*DXX*VDY	R1801130
29	40	CONTINUE	R1801131
	C	CALL ZPRINT('I',PRES,1,IX-IB,'PRS4')	R1801132
30		PRES(1)=PRES(IX-IB)	R1801133
31		ZETA(1X1,JS1)=ZETAC(2,3)	R1801134
32		DO 50 J=2,JS1	R1801135
33		PRES(J)=PRES(J-1)-0.5*(4.0*ZETA(1X,J)-ZETA(1X,J)-3.0*ZETA(1X1,J) 1*4.0*ZETA(1X,J-1)-ZETA(1X,J-1)-3.0*ZETA(1X1,J-1))*VRE+0.5*DXX*VDY	R1801136
34	50	CONTINUE	R1801137
	C	CALL ZPRINT('J',PRES,1,JS1,'PRS5')	R1801138
35		RETURN	R1801139
36			R1801140
37		END	R1801141

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE PRINT(Z,IQ,KK,LL)	R1801151
	C		R1801152
	C	***** PRINT *****	R1801153
	C		R1801154
2		COMMON/ BLK4 /IP(50)	R1801155
3		COMMON/ BLK13/IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1801156
4		DIMENSION Z(50,50)	R1801157
5		I1=1	R1801158
6	100	CONTINUE	R1801159
7		I9=I1+9	R1801160
8		IF(I9.GE.IX1) I9=IX1	R1801161
9		IF(IQ.NE.6) GO TO 30	R1801162
10		WRITE(6,5) (IP(I),I=1,I9)	R1801163
11	5	FORMAT(/1H,5X,'I=',4X,10(I+,' ',7X)/)	R1801164
12		DO 10 J=K,LL	R1801165
13		WRITE(IQ,20) J,(Z(I,J),I=1,I9)	R1801166
14	10	CONTINUE	R1801167
15	20	FORMAT(1H,3X,'J=',14,3X,10F12.5)	R1801168
16	25	FORMAT(10F12.5)	R1801169
17		GO TO 50	R1801170
18	30	DO 40 J=K,LL	R1801171
19		WRITE(IQ,25) (Z(I,J),I=1,I9)	R1801172
20	40	CONTINUE	R1801173
21	50	CONTINUE	R1801174
22		IF(I9.EQ.IX1) GO TO 110	R1801175
23		I1=I9+1	R1801176
24		GO TO 100	R1801177
25	110	CONTINUE	R1801178
26		RETURN	R1801179
27		END	R1801180

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE STEADY(MV,MC,ND,NF)	R1801181
	C		R1801182
	C		R1801183
	C	***** STEADY STATET *****	R1801184
	C		R1801185
	C		R1801186
2		COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),	R1801187
		ITETAZ(2,3),TETAZ(50,50)	R1801188
3		COMMON/ BLK16/ERPSI,ERPSIX,ERZET,ERZETX,ERTETA,ERTX	R1801189
4		DO 20 J=ND,NF	R1801190
5		DO 10 I=MV,MC	R1801191
6		ERTX=TETA(I,J)-TETAZ(I,J)	R1801192
7		IF(ABS(ERTX).LT.ABS(ERTETA)) GO TO 30	R1801193
8		ERTETA=ERTX	R1801194
9	10	CONTINUE	R1801195
10	20	CONTINUE	R1801196
11	30	CONTINUE	R1801197
12		RETURN	R1801198
13		END	R1801199

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE STREAM(ID,IF,JG,JH)	R1801200
	C		R1801201
	C	*****CALCULATION OF PSIX(I) *****	R1801202
	C		R1801203
2		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETAL(50,50),ZETAC(2,3),	R1801204
		IZETAZ(2,3),ZETAZ(50,50)	R1801205
3		COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50)	R1801206
4		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX	R1801207
5		COMMON/ BLK11/DX,DY,VDX,VDY,DXD,DDY,DDY,VDXY,VDXX,VDYY,	R1801208
		IVRE,VREPR,RDX,VRDXY,SDXY,0	R1801209
6		COMMON/ BLK16/ERPSI,ERPSIX,ERZET,ERZETX,ERTETA,ERTX	R1801210
7		DO 20 J=JG,JH	R1801211
8		DO 10 I=ID,IF	R1801212
9		PSIX(I)=D,5*VRDXY*((PSI(I+1,J)+PSI(I-1,J))*DDY+(PSI(I,J+1)+PSI(I,	R1801213
		J-1))*DX+ZETA(I,J)*SDXY)	R1801214
	C		R1801215
10		ERPSI=ABS(PSI(I,J)-PSIX(I))	R1801216
11		IF(ERPSI.GT.ERPSIX) ERPSIX=ERPSI	R1801217
12	10	CONTINUE	R1801218
	C		R1801219
13		DO 15 I=ID,IF	R1801220
14		PSI(I,J)=PSI(I,J)+ACCP*(PSIX(I)-PSI(I,J))	R1801221
15	15	CONTINUE	R1801222
16	20	CONTINUE	R1801223
17		RETURN	R1801224
18		END	R1801225

```

ISN  ST-NO          SOURCE PROGRAM          SEQUENCE
 1      SUBROUTINE  TEMP(MF,MM,KV,KN)          R1801226
   C                                          R1801227
   C                                          R1801228
   C**** CALCULATION OF TETA IN SCHEME ***** R1801229
   C                                          R1801230
   C                                          R1801231
 2      COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),
      1TETAZC(2,3),TETAZ(50,50)          R1801232
 3      COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50) R1801233
 4      COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX R1801234
 5      COMMON/ BLK11/DX,DY,VDX,VDY,DXX,DYY,DXY,VDDX,VDDY, R1801235
      1VRE,VREPR,RDXY,VROXY,SQXY,0
 6      COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY R1801236
 7      DO 20 J=KV,KN                      R1801239
 8      DD 10 I=MF,MM                      R1801240
 9      D1=TETA(I+1,J)-TETA(I-1,J)        R1801241
10     D2=TETA(I,J+1)-TETA(I,J-1)        R1801242
11     D3=TETAZ(I+1,J)-TETAZ(I-1,J)      R1801243
12     D4=TETAZ(I,J+1)-TETAZ(I,J-1)      R1801244
13     E1=TETA(I+1,J)+TETA(I-1,J)-2.0*TETA(I,J) R1801245
14     E2=TETA(I+1,J)+TETA(I,J-1)-2.0*TETA(I,J) R1801246
15     E3=TETAZ(I+1,J)+TETAZ(I-1,J)-2.0*TETAZ(I,J) R1801247
16     E4=TETAZ(I,J+1)+TETAZ(I,J-1)-2.0*TETAZ(I,J) R1801248
   C                                          R1801249
17     TETA(I,J)=TETAZ(I,J)+0.5*DT*(0.25*VDXY+(-PSI(I+1,J)+PSI(I,J-1))
      1*0.1*(PSI(I+1,J)-PSI(I-1,J))*D2)+VREPR*(E1*VDXX+E2*VDYY)+0.25*VDXY
      2*(PSI(I,J+1)-PSI(I,J-1))*D3+(PSI(I+1,J)-PSI(I-1,J))*D4)+
      3VREPR*(E3*VDXX+E4*VDYY)          R1801251
18     10 CONTINUE                      R1801252
19     20 CONTINUE                      R1801253
20     RETURN                          R1801254
21     END                              R1801257

```

```

ISN  ST-NO          SOURCE PROGRAM          SEQUENCE
 1      SUBROUTINE  TOUT                      R1801258
   C                                          R1801259
   C                                          R1801260
   C**** CALCULATION OF EDGE VALUE AT SCHEME=OUT ***** R1801261
   C                                          R1801262
   C                                          R1801263
 2      COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),
      1TETAZC(2,3),TETAZ(50,50)          R1801264
 3      COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY R1801265
 4      COMMON/ BLK14/CM1,CM2,CM3         R1801266
 5      TETA(1,3)=(4.0*TETA(IX1,JS2)+TETA(IX1,JS3)+CM2)/3.0 R1801267
 6      TETA(IX1,JS1)=0.5*(TETA(1,3)+TETA(2,3)) R1801268
 7      RETURN                          R1801270
 8      END                              R1801271

```

```

ISN  ST-NO          SOURCE PROGRAM          SEQUENCE
 1      SUBROUTINE  TETAW                     R1801272
   C                                          R1801273
   C                                          R1801274
   C**** CALCULATION OF TETA AT WALL ***** R1801275
   C                                          R1801276
   C                                          R1801277
 2      COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),
      1TETAZC(2,3),TETAZ(50,50)          R1801278
 3      COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX R1801279
 4      COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY R1801280
 5      COMMON/ BLK14/CM1,CM2,CM3         R1801281
 6      DO 10 I=1,IX2                    R1801282
 7      TETA(I,JY1)=(4.0*TETA(I,JY)-TETA(I,JYY)+CM1)/3.0 R1801283
 8      10 CONTINUE                      R1801284
 9      TETA(1,1)=(4.0*TETA(1,JS2)-TETA(1,JS3)+CM2)/3.0 R1801285
10     DO 20 I=2,IB                      R1801286
11     TETA(I,JS1)=(4.0*TETA(1,JS2)-TETA(1,JS3)+CM2)/3.0 R1801287
12     20 CONTINUE                      R1801288
13     TETA(1,2)=(4.0*TETA(1B1,JS2)-TETA(1B1,JS3)+CM2)/3.0 R1801289
14     DO 30 J=2,JS                      R1801290
15     TETA(1B1,J)=(4.0*TETA(1B2,J)-TETA(1B3,J)+CM3)/3.0 R1801291
16     30 CONTINUE                      R1801292
17     TETA(2,2)=(4.0*TETA(1B2,JS1)-TETA(1B3,JS1)+CM3)/3.0 R1801293
18     DO 40 I=(1B1,IX2)                R1801294
19     TETA(I,1)=(4.0*TETA(1,2)-TETA(1,3)+CM2)/3.0 R1801295
20     40 CONTINUE                      R1801296
21     DO 50 J=1,JS                      R1801297
22     TETA(IX1,J)=(4.0*TETA(IX,J)-TETA(IXX,J)+CM3)/3.0 R1801298
23     TETA(1,J)=TETA(IX1,J)-1.0         R1801299
24     50 CONTINUE                      R1801300
25     TETA(2,3)=(4.0*TETA(IX,JS1)-TETA(IXX,JS1)+CM3)/3.0 R1801301
26     TETA(2,1)=TETA(2,3)-1.0         R1801302
27     TETA(1,JS1)=0.5*(TETA(1,1)+TETA(2,1)) R1801303
28     TETA(IX1,JS1)=TETA(1,JS1)+1.0 R1801304
29     TETA(1B1,JS1)=0.5*(TETA(1,2)+TETA(2,2)) R1801305
30     TETA(IX2,JS1)=TETA(2,JS1)+1.0 R1801306
31     TETA(IX2,JY1)=TETA(2,JY1)+1.0 R1801307
32     TETA(IX1,JY1)=TETA(1,JY1)+1.0 R1801308
33     RETURN                          R1801309
34     END                              R1801310

```

JAERI-M 8650

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 37

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE VORTEX(KN,KM,KN+LM)	R1801312
	C		R1801313
	C	*****CALCULATION OF ZETA IN SCHEME *****	R1801314
	C		R1801315
2		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETAL(50,50),ZETAC(2,3),	R1801316
		1ZETAZC(2,3),ZETAZ(50,50)	R1801317
3		COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50)	R1801318
4		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,IMAX,ACCP,IN,MX	R1801319
5		COMMON/ BLK11/VDX+DY+VDX+VDY+DXX+DYY+DXY+VDXX+VDYY+VRE, VREPR,VDXY,VDXX,VDYY,0	R1801320
		1VRE, VREPR,VDXY,VDXX,VDYY,0	R1801321
6		COMMON/ BLK13/IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JY3	R1801322
7		DO 20 J=LN+LM	R1801323
8		DO 10 I=KN+KM	R1801324
9		A1=PSI(I,J+1)-PSI(I,J-1)	R1801325
10		A2=PSI(I+1,J)-PSI(I-1,J)	R1801326
11		A3=PSI(Z(I,J+1))-PSI(Z(I,J-1))	R1801327
12		A4=PSI(Z(I+1,J))-PSI(Z(I-1,J))	R1801328
13		B1=ZETA(I+1,J)-ZETA(I-1,J)	R1801329
14		B2=ZETA(I,J+1)-ZETA(I,J-1)	R1801330
15		B3=ZETAZ(I+1,J)-ZETAZ(I-1,J)	R1801331
16		B4=ZETAZ(I,J+1)-ZETAZ(I,J-1)	R1801332
17		C1=ZETA(I+1,J)+ZETA(I-1,J)+2.0*ZETA(I,J)	R1801333
18		C2=ZETA(I,J+1)+ZETA(I,J-1)+2.0*ZETA(I,J)	R1801334
19		C3=ZETAZ(I+1,J)+ZETAZ(I-1,J)+2.0*ZETAZ(I,J)	R1801335
20		C4=ZETAZ(I,J+1)+ZETAZ(I,J-1)+2.0*ZETAZ(I,J)	R1801336
21		ZETAL(I,J)=ZETAZ(I,J)+0.5*DT*((-A1*B1+A2*B2)*VDXY+0.25*(C1*VDXX+	R1801337
		1C2*VDYY)+VRE*(-A3*B3+A4*B4)*VDXY+0.25*(C3*VDXX+C4*VDYY)*VRE)	R1801338
22	10	CONTINUE	R1801339
23	20	CONTINUE	R1801340
24		RETURN	R1801341
25		END	R1801342

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 38

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE ZERO	R1801343
	C		R1801344
	C	*****ZEROS IN SCHEME *****	R1801345
	C		R1801346
2		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETAL(50,50),ZETAC(2,3),	R1801347
		1ZETAZC(2,3),ZETAZ(50,50)	R1801348
3		COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),	R1801349
		1TETAZC(2,3),TETAZ(50,50)	R1801350
4		COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50)	R1801351
5		DO 20 J=1,50	R1801352
6		DO 10 I=1,50	R1801353
7		PSI(I,J)=0.0	R1801354
8		ZETA(I,J)=0.0	R1801355
9		TETA(I,J)=0.0	R1801356
10	10	CONTINUE	R1801357
11	20	CONTINUE	R1801358
12		RETURN	R1801359
13		END	R1801360

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 34

```

ISN  ST-NO          SOURCE PROGRAM          SEQUENCE
 1      SUBROUTINE  TEMP(MF,MH,KV,KN)        R1801226
  C                                          R1801227
  C                                          R1801228
  C**** CALCULATION OF TETA IN SCHEME ***** R1801229
  C                                          R1801230
  C                                          R1801231
 2      COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),
      1TETAZC(2,3),TETAZ(50,50)          R1801232
 3      COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50) R1801233
 4      COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX R1801234
 5      COMMON/ BLK11/DX,DY,VDX,VDY,DXX,DYY,DXY,VDXX,VDYY,
      1VRE,VREPR,VDXY,VRDXY,SDXY,0      R1801235
 6      COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY R1801238
 7      DO 20 J=KV,KN                      R1801239
 8      DO 10 I=MF,MH                      R1801240
 9      D1=TETA(I+1,J)-TETA(I-1,J)        R1801241
10      D2=TETA(I,J+1)-TETA(I,J-1)        R1801242
11      D3=TETA(I+1,J)-TETA(I-1,J)        R1801243
12      D4=TETAZ(I+1,J)-TETAZ(I-1,J)      R1801244
13      E1=TETA(I+1,J)+TETA(I-1,J)-2.0*TETA(I,J) R1801245
14      E2=TETA(I,J+1)+TETA(I,J-1)-2.0*TETA(I,J) R1801246
15      E3=TETAZ(I+1,J)+TETAZ(I-1,J)-2.0*TETAZ(I,J) R1801247
16      E4=TETAZ(I,J+1)+TETAZ(I,J-1)-2.0*TETAZ(I,J) R1801248
  C                                          R1801249
17      TETA(I,J)=TETAZ(I,J)+0.5*DT*(0.25*VDXY*(-(PSI(I,J+1)+PSI(I,J-1))
      1*D1+(PSI(I+1,J)+PSI(I-1,J))*D2)+VREPR*(E1*VDXX+E2*VDYY)+0.25*VDXY
      2*(-(PSIZ(I,J+1)+PSI(I,J-1))*D3+(PSI2(I+1,J)+PSI2(I-1,J))*D4)+
      3VREPR*(E3*VDXX+E4*VDYY))          R1801250
18      10 CONTINUE                      R1801251
19      20 CONTINUE                      R1801252
20      RETURN                            R1801253
21      END                                R1801256

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 35

```

ISN  ST-NO          SOURCE PROGRAM          SEQUENCE
 1      SUBROUTINE  TOUT                    R1801258
  C                                          R1801259
  C                                          R1801260
  C**** CALCULATION OF EDGE VALUE AT SCHEME=OUT ***** R1801261
  C                                          R1801262
  C                                          R1801263
 2      COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),
      1TETAZC(2,3),TETAZ(50,50)          R1801264
 3      COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY R1801265
 4      COMMON/ BLK14/CM1,CM2,CM3        R1801266
 5      TETAC(1,3)=(4.0*TETA(IX1,JS2)-TETA(IX1,JS3)+CM2)/3.0 R1801267
 6      TETA(IX1,JS1)=0.5*(TETAC(1,3)+TETAC(2,3)) R1801268
 7      RETURN                            R1801270
 8      END                                R1801271

```

FACOM 230-75 M7 FORTRAN-IV H COMPILER (OPT2,CP) SOURCE PROGRAM LIST -790420-(V02,L14) DATE 79.11.22/09:40 PAGE 36

```

ISN  ST-NO          SOURCE PROGRAM          SEQUENCE
 1      SUBROUTINE  TETA*                  R1801272
  C                                          R1801273
  C                                          R1801274
  C**** CALCULATION OF TETA AT WALL ***** R1801275
  C                                          R1801276
  C                                          R1801277
 2      COMMON/ BLK2 /TETA(50,50),TETAL(50,50),TETAC(2,3),
      1TETAZC(2,3),TETAZ(50,50)          R1801278
 3      COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,IN,MX R1801279
 4      COMMON/ BLK13/IXX,IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY R1801280
 5      COMMON/ BLK14/CM1,CM2,CM3        R1801281
 6      DO 10 I=1,IX2                    R1801282
 7      TETA(I,JY1)=(4.0*TETA(I,JY)-TETA(I,JYY)+CM1)/3.0 R1801284
 8      10 CONTINUE                      R1801285
 9      TETAC(1,1)=(4.0*TETA(1,JS2)-TETA(1,JS3)+CM2)/3.0 R1801286
10      DO 20 I=2,IB                      R1801287
11      TETA(I,JS1)=(4.0*TETA(I,JS2)-TETA(I,JS3)+CM2)/3.0 R1801288
12      20 CONTINUE                      R1801289
13      TETAC(1,2)=(4.0*TETA(1B1,JS2)-TETA(1B1,JS3)+CM2)/3.0 R1801290
14      DO 30 J=2,JS                      R1801291
15      TETA(1B1,J)=(4.0*TETA(1B2,J)-TETA(1B3,J)+CM3)/3.0 R1801292
16      30 CONTINUE                      R1801293
17      TETAC(2,2)=(4.0*TETA(1B2,JS1)-TETA(1B3,JS1)+CM3)/3.0 R1801294
18      DO 40 I=1B1,IX                   R1801295
19      TETA(I,1)=(4.0*TETA(I,2)-TETA(I,3)+CM2)/3.0 R1801296
20      40 CONTINUE                      R1801297
21      DO 50 J=1,JS                      R1801298
22      TETA(IX,J)=(4.0*TETA(IX,J)-TETA(IXX,J)+CM3)/3.0 R1801299
23      TETA(1,J)=TETA(1X1,J)-1.0        R1801300
24      50 CONTINUE                      R1801301
25      TETAC(2,3)=(4.0*TETA(1X,JS1)-TETA(1X,JS1)+CM3)/3.0 R1801302
26      TETA(2,1)=TETAZ(2,3)-1.0        R1801303
27      TETA(1,JS1)=0.5*(TETAC(1,1)+TETAC(2,1)) R1801304
28      TETA(1X1,JS1)=TETA(1,JS1)+1.0   R1801305
29      TETA(1B1,JS1)=0.5*(TETAC(1,2)+TETAC(2,2)) R1801306
30      TETA(1X2,JS1)=TETA(2,JS1)+1.0   R1801307
31      TETA(1X2,JY1)=TETA(2,JY1)+1.0   R1801308
32      TETA(1X1,JY1)=TETA(1,JY1)+1.0   R1801309
33      RETURN                            R1801310
34      END                                R1801311

```

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE ZETA#	R1B01361
	C		R1B01362
	C	***** CALCULATION OF ZETA(I,J) AT *ALL *****	R1B01363
	C		R1B01364
2		COMMON/ BLK1 /ZETA(50,50),ZETAL(50,50),ZETAC(2,3),	R1B01365
		IZETAZC(2,3),ZETAZ(50,50)	R1B01366
3		COMMON/ BLK3 /PSI(50,50),PSIX(50),PSIZ(50,50)	R1B01367
4		COMMON/ BLK9 /IX,JY,IB,JS,DT,DTT,ITMAX,ACCP,(N,MX	R1B01368
5		COMMON/ BLK11/DX,DY,VDX,VDY,DXX,DYY,DXY,VXDY,VDDY,	R1B01369
		1VRE,VREPR,RDXY,VHDXY,SDXY,9	R1B01370
6		COMMON/ BLK13/IX1,IX2,IX3,JS1,JS2,JS3,IB1,IB2,IB3,JY1,JY2,JYY	R1B01371
7		COMMON/ BLK16/ERPSI,ERPSIX,ERZET,ERZETX,ERTETA,ERTX	R1B01372
8		ERZETX=0.0	R1B01373
9		DO 10 I=2,IX1	R1B01374
10		ZETA(I,JY1)=-(3.0*(PSI(I,JY)-PSI(I,JY1))*VDYY	R1B01375
		1+0.5*ZETA(I,JY1))	R1B01376
11		ERZET=ABS(ZETA(I,JY1)-ZETA(I,JY1))	R1B01377
12		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1B01378
13		ZETA(I,JY1)=ZETA(I,JY1)	R1B01379
14		10 CONTINUE	R1B01380
15		ZETA(1,JY1)=ZETA(IX1,JY1)	R1B01381
16		ZETA(IX2,JY1)=ZETA(2,JY1)	R1B01382
17		ZETAC(1,1)=-(3.0*(PSI(1,JS2)-PSI(1,JS1))*VDYY	R1B01383
		1+0.5*ZETA(1,JS2))	R1B01384
18		DO 20 I=2,IB	R1B01385
19		ZETA(I,JS1)=-(3.0*(PSI(I,JS2)-PSI(I,JS1))*VDYY	R1B01386
		1+0.5*ZETA(I,JS2))	R1B01387
20		ERZET=ABS(ZETA(I,JS1)-ZETA(I,JS1))	R1B01388
21		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1B01389
22		ZETA(I,JS1)=ZETA(I,JS1)	R1B01390
23		20 CONTINUE	R1B01391
24		ZETAC(1,2)=-(3.0*(PSI(1B1,JS2)-PSI(1B1,JS1))*VDYY	R1B01392
		1+0.5*ZETA(1B1,JS2))	R1B01393
25		DO 30 J=2,JS	R1B01394
26		ZETA(1B1,J)=-(3.0*(PSI(1B2,J)-PSI(1B1,J))*VDXX	R1B01395
		1+0.5*ZETA(1B2,J))	R1B01396
27		ERZET=ABS(ZETA(1B1,J)-ZETA(1B1,J))	R1B01397
28		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1B01398
29		ZETA(1B1,J)=ZETA(1B1,J)	R1B01399
30		30 CONTINUE	R1B01400
31		ZETAC(2,2)=-(3.0*(PSI(1B2,JS1)-PSI(1B1,JS1))*VDXX	R1B01401
		1+0.5*ZETA(1B2,JS1))	R1B01402
32		DO 40 I=1B2,IX	R1B01403
33		ZETA(I,1)=-(3.0*(PSI(I,2)-PSI(I,1))*VDYY	R1B01404
		1+0.5*ZETA(I,2))	R1B01405
34		ERZET=ABS(ZETA(I,1)-ZETA(I,1))	R1B01406
35		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1B01407
36		ZETA(I,1)=ZETA(I,1)	R1B01408
37		40 CONTINUE	R1B01409
38		DO 50 J=2,JS	R1B01410
39		ZETA(IX1,J)=-(3.0*(PSI(IX,J)-PSI(IX1,J))*VDXX	R1B01411
		1+0.5*ZETA(IX,J))	R1B01412
40		ERZET=ABS(ZETA(IX1,J)-ZETA(IX1,J))	R1B01413
41		IF(ERZET.GT.ERZETX) ERZETX=ERZET	R1B01414
42		ZETA(IX1,J)=ZETA(IX1,J)	R1B01415
43		50 CONTINUE	R1B01416
44		ZETAC(2,3)=-(3.0*(PSI(IX,JS1)-PSI(IX1,JS1))*VDXX	R1B01417

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM (ZETA#)	SEQUENCE
		1+0.5*ZETA(IX,JS1))	R1B01418
45		ZETAC(2,1)=ZETAC(2,3)	R1B01419
46		ZETA(1,JS1)=0.5*(ZETA(1,1)+ZETA(2,1))	R1B01420
47		ZETA(1B1,JS1)=0.5*(ZETA(1,2)+ZETA(2,2))	R1B01421
48		DO 60 J=2,JS	R1B01422
49		ZETA(1,J)=ZETA(IX1,J)	R1B01423
50		60 CONTINUE	R1B01424
51		ZETA(IX1,JS1)=ZETA(1,JS1)	R1B01425
52		ZETA(1,1)=0.0	R1B01426
53		ZETA(1B1,1)=0.0	R1B01427
54		ZETA(IX1,1)=0.0	R1B01428
55		RETURN	R1B01429
56		END	R1B01430

ISN	ST-NO	SOURCE PROGRAM	SEQUENCE
1		SUBROUTINE ZPRINT(IPP,X,IZ,IZZ,N)	R1B01431
	C		R1B01432
	C	***** PRINT PRES,FRIC AND NUSSELT *****	R1B01433
	C		R1B01434
	C		R1B01435
	C		R1B01436
2		COMMON/ BLK4 /IP(50)	R1B01437
3		DIMENSION X(50)	R1B01438
	C		R1B01439
	C		R1B01440
4		WRITE(6,100) N,IPP,(IP(I),I=1,10)	R1B01441
5		WRITE(6,200) (X(I),I=1Z,1ZZ)	R1B01442
6		100 FORMAT(/1H ,A4,3X,A1,' ',9X,10(14,' ',7X)/)	R1B01443
7		200 FORMAT(1H ,12X,10F12,5)	R1B01444
8		RETURN	R1B01445
9		END	R1B01446