

1 Baba の方法による波形解析プログラム

推進性能部 足 達 宏 之

1. プログラムの目的および概要

船の造る波から直接造波抵抗を算出しようとする方法はいくつか考えられているが、Baba の方法は、船の進行方向に平行な線上での波形記録から十分な数の測定点を選び出しその点における波高と仮想した特異点分布の振幅関数による波高との誤差の自乗の総和が最小になるように特異点分布を求めるものである。このプログラムは先に開発された Newman-Sharma 法による波形解析プログラムとの比較および波形記録が十分長く取れない場合の波形解析の目的で作られた。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

45-009

Calculation of Singularity Distribution
by Baba's Method

2.2 製作者

推進性能部 足達宏之

2.3 製作年月

昭和45年7月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

船の進行する方向に平行な波形記録と仮想した振幅関数による波高との誤差の自乗の総和が最小になるようにする。

誤差の総和をEと書くと

$$E = \sum_j \left[\zeta_m(X_j, Y) - \sum_{i=1}^N M_i Z_i(X_j, Y) \right]^2$$

ここで ζ_m は計測された波高, そして

$$Z_i(X, Y) = -\frac{4K_0^2}{L} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} \sec^4 \theta \cdot e^{K_0 c \sec^2 \theta} \sin$$

$$\left\{ K_0 \sec^2 \theta \{ (x - \zeta_i) \cos \theta + Y \sin \theta \} \right\} d\theta$$

E が最小にする条件から M_i に関する連立1次方程式が得られ, これを解いて M_i が求まり, M_i から逆に造波抵抗が計算される。Baba の方法では特異点分布として, 線状 Doublet 分布を考えている。

2.5 計算の手順

省略

2.6 入力

入力は次のものを必要とする

- (1) 船の長さ, 速度, 波高計位置, 特異点の位置および分割数
- (2) 実験番号, 校正定数, 波形記録

2.7 出力

特異点分布, 素成波の角度 θ について 0° から 80° まで振幅関数, 特異点分布による計算波形および造波抵抗, 以上を出力する。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

計算精度は $Z_i(X, Y)$ の計算精度と, 連立方程式の元数による。このプログラムは単精度で計算されている。

3.2 計算所要時間

波形記録約 300 点, 特異点数 21 点で 90 分位である。

4. プログラムの使用法と応用

4.1 プログラムのオペレート

実行は BATCH 処理による。

5. あとがき

波形解析として時間がかかるが, あまり長くない記録の場合に有効である。

参考文献

- 1) E. Baba, Study on Separation of Ship Resistance Components.
造船学会論文集 第125号 1969年
- 2) 足達宏之 Newman-Sharma 法による造波抵抗計算プログラム
船舶技術研究所報告 第7巻 第4号
1970年

2. ストリップ法による規則波中の船の横運動計算プログラム

海洋開発工学部 安 藤 定 雄
運動性能部 高 石 敬 史

1. プログラムの目的および概要

最近、電子計算機の発達にともない船体運動の計算が理論的に行なわれるようになってきた。それは一般にストリップ法と云われている2次元物体に働く流体力から船体運動を計算するものである。この理論によって計算された値は水槽試験結果とよく一致することが実証されているので、船体運動を推定する上で有用な一つの手法として利用することができる。

本報告の横運動計算プログラムと前回報告した縦運動計算プログラム¹⁾とによって船体運動の6自由度内の5つの動揺を計算できるようになった。また、これらの動揺の組合せである船体上任意の点の上下および左右加速度あるいは左右舷側の相対水位変動も計算できる。また、Anti-Rolling Tankを有する場合の計算も、タンクのベンチテストの結果を利用すれば可能となっている。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

45-017

Ship Motions in Regular Waves by Strip Method

(sway, yaw and roll)

2.2 製作者

海洋開発工学部 安藤定雄
運動性能部 高石敬史

2.3 製作年月

昭和46年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

船体をいくつかのStripに分けて、その水面下の図形を等角写像で単位円に写像する場合の写像関数の2つの係数、 a_1, a_3 を求める。(Lewis form) この2次元船型に対してはLaplaceの方程式を満足し、自由表面条件は運動学的条件と圧力一定の両条件を満足させて、それぞれの断面で独立した2次元解の速度ポテンシャルとこれに共軛な流れ関数から附加質量、減衰係数およびモーメントレバーが求められている²⁾。

(348)

そこで、これらの係数を用い固定座標系に関する船体の横運動についての方程式は次のように表わす。

$$\left. \begin{aligned} (m+a_{yy})\ddot{y}+b_{yy}\dot{y}+c_{yy}y+a_{\phi y}\ddot{\phi}+b_{\phi y}\dot{\phi}+c_{\phi y}\phi \\ +a_{\phi y}\dot{\phi}+b_{\phi y}\dot{\phi}+c_{\phi y}\phi=F_{ye} \text{ (sway)} \\ (J_{\phi}+a_{\phi\phi})\ddot{\phi}+b_{\phi\phi}\dot{\phi}+c_{\phi\phi}\phi+a_{\phi\phi}\ddot{\phi}+b_{\phi\phi}\dot{\phi}+c_{\phi\phi}\phi \\ +a_{\phi y}\dot{y}+b_{\phi y}\dot{y}+c_{\phi y}y=M_{\phi e} \text{ (yaw)} \\ (J_{\varphi}+a_{\varphi\varphi})\ddot{\varphi}+b_{\varphi\varphi}\dot{\varphi}+c_{\varphi\varphi}\varphi+a_{\varphi y}\dot{y}+b_{\varphi y}\dot{y}+c_{\varphi y}y \\ +a_{\varphi\phi}\ddot{\phi}+b_{\varphi\phi}\dot{\phi}+c_{\varphi\phi}\phi=M_{\varphi e} \text{ (roll)} \end{aligned} \right\} (1)$$

上式の連立方程式の各係数は船の主要目と各Stripの附加質量、減衰係数およびモーメントレバーを艀から艀まで積分して求める。ただし、横揺れの減衰係数と固有周期とは実験より求めた値を用いることになっている。

この連立方程式を解けば横揺れ、左右揺れおよび艀揺れの振幅と波に対する位相差が得られる。さらに、これらの動揺と上下揺れ、縦揺れの組合せにより船体に固定した軸の上下、左右の加速度と任意の舷側における相対水位を計算できる。

Anti-Rolling Tankを備えた場合は(1)式に次の項、あるいは式を追加する³⁾。

$$\left. \begin{aligned} \text{第3式左辺に } a_{\delta\delta}\ddot{\delta}+b_{\delta\delta}\dot{\delta} \\ \text{第4式として } J_{\delta}\ddot{\delta}+b_{\delta\delta}\dot{\delta}+c_{\delta\delta}\delta+a_{\delta y}\dot{y}+a_{\delta\phi}\ddot{\phi} \\ +c_{\delta\phi}\phi=0 \text{ (tank)} \end{aligned} \right\} (2)$$

2.5 計算手順

計算手順は図-1のフローチャートに示すごとくである。

2.6 プログラム用語および計算機種

FACOM FORTRAN, FACOM 270-20

2.7 入力

必要な入力データは次に示すごとくである。

NW (I4) 波の種類の数
RB (F5.2) $\sqrt{L/\lambda}$ または λ/L
NN (I4) 船速の数
FD (F5.2) フルード数
SSS (F4.1) 模型船の長さ

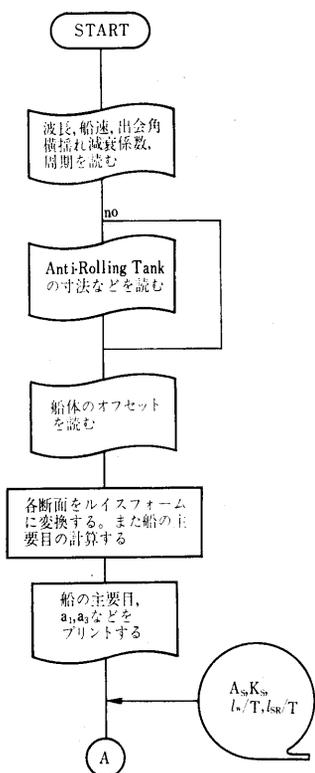


図-1-(a) フローチャート

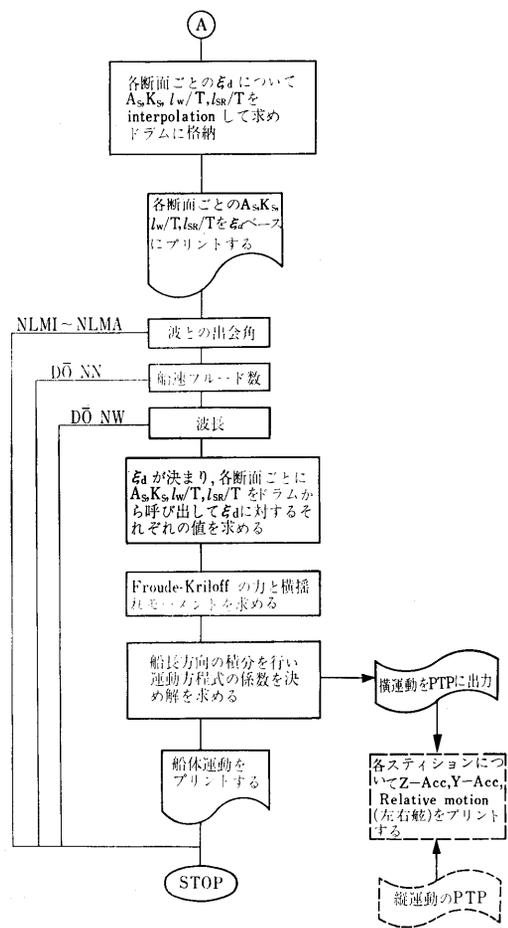


図-1-(b) フローチャート

- NLMI (I3) 波との出会う角の最小値
- NLMA (I3) 波との出会う角の最大値
- NLK (I3) 出会う角の計算する間隔
- NDD (I2) いくつのブロックを一頁に印刷
するか
- OG (F7.3) \overline{OG}
- GM (//) \overline{GM}
- YKI (//) 船揺れ方向の慣動半径
- TRO (//) 横揺れの固有周期
- NA (I4) 減衰係数の読む数
- DAM (F6.3) 横揺れの減衰係数
- RT (F7.3) Anti-Rolling Tankの寸法
- HT (F6.3) // の高さ
- AT (//) // の寸法
- AD (//) // の寸法
- TT (//) // の水位
- BT (//) // の水の減衰係数
- NOS (I4) 船の番号
- SL (E14.7) 船の垂線間長

- SWL (E14.7) 船の喫水線の全長
- TMO (//) 喫水 (中央断面)
- BMO (//) 船幅 (//)
- SKI (E13.6) 縦方向の慣動半径
- DSR (//) A. P 以後の分割の長さ
- DSH (//) base line 部の Keel 幅
- DHH (//) raise of flower
- NS (I2) 各断面の番号
- NCO (I2) 各断面の条件
- TN (F6.3) 各断面の喫水
- BI (F6.3) 各断面の各喫水での船幅

2.8 出力

- (イ) 各断面の吃水, 船幅, 断面積, 幅一吃水比, a_1, a_3 と主要目 ($L, B, T, \Delta, C_b, C_p, C_M, C_w, lcb$) をプリントする。
- (ロ) 各断面の ϵ_d についての $A_s, K_s, l_w/T, l_{sr}/T$

をプリントする。

(イ) 船の番号, 波との出会角, フルード数, $\sqrt{L/\lambda}$, 横揺れ, 艀揺れ, 左右揺れの振幅と波に対する位相差および, λ/L , 出会周期, 有効波傾斜係数をプリントする。

(ニ) 横揺れ, 艀揺れおよび左右揺れの振幅と波に対する位相差を紙テープに出力する。これと縦運動の出力とを用いて, 船体の任意の位置の上下, 左右加速度および相対水位を計算してプリントする。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

計算精度は最終結果が有効数字で3~4桁以上あることを倍長演算や他機種の結果と比較検討してある。

3.2 演算時間

初期の演算時間は約3分を必要として, 以後は出会角, 速度, 波長がそれぞれ決まれば, 1点につき10秒であるので, 1隻について考えれば, 出会角を5種類速度を4種類, 波長を15点とした場合, コンパイル時間を除外すれば, 総計演算時間は60分以内である。

3.3 適用範囲, 制限事項

計算できる最大量は波長を20点, 船速を23点について波との出会角度で1°から179°までの間を1°間隔まで計算可能である。

制限事項としては, 実船寸法のオフセットであること, 船長を23分割, 横揺れの減衰係数をフルード数で0から0.45以内を0.05間隔に入力させる。また, 球状艀形状に対する考慮はなされていない。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

実行は BATCH 処理による(普通はプログラムが MT にコンパイルされて格納されている。)ただし,

附加質量, 減衰係数およびモーメントレバーは別の MT に入っているものを使用する。

4.2 プログラムの応用

本プログラムと前回報告のプログラムを一緒にして多少附加すれば Strip Method による6自由度についての運動, 加速度, Bending モーメント, 相対水位および水圧などが計算できるプログラムが完成できる。

ただし, 大型計算機でなければ不可能である。

4.3 他機種への移行

本プログラムはメインと小さい5つのサブルーチンがコア上において他の主要な4つのサブルーチンはセグメントになっているので, 普通はドラム上にある。その他に DRUM DIMENSION を使用しているので, 大型計算機へ移行するにはこの点を修正する必要がある。

5. あとがき

本プログラムと前回のプログラムを用いて, 運動性能部で行なう耐航性能試験船については順次計算を行なって実験値と計算値の比較がなされる。

参考文献

- 1) 安藤定雄, 小山鴻一, “S-4 ストリップ法による規則波中の船の縦運動計算プログラム” 船研で開発された電子計算機プログラム概要 “第1集” 船舶技術研究所報告 第7巻第4号昭和45年7月
- 2) 田才福造, 高木又男, “規則波中の応答理論および計算法” 耐航性に関するシンポジウム, 日本造船学会, 昭和44年7月
- 3) 高石敬史, “斜め波中の減揺水槽効果に関する模型実験” 関西造船協会講演会, 昭和46年5月

3. 斜航による横力を含むプロペラオープンテスト 解析プログラム

運動性能部 小 川 陽 弘

1. プログラムの目的及び概要

プロペラのオープンテストの結果得られたナマのデータから無次元値を計算し, 平均線を表わす式の係数を求める。スラスト常数 K_T , トルク常数 K_Q につい

(350)

ては前進常数 J_β の2次式で, 斜航による横力 S はスラスト T との比の形 S/T で, 前進常数 J_β 及び偏角 β の n 次式 ($n=1, 2, \dots, 5$) で表わす。

全データの平均線からのズレを検査し, これが標準

偏差 ϵ の C 倍 (C は任意に指定可能) より大きいものは不良データとして取除き, 改めて平均線を決め直す。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

45-070-2 PROPELLER OPEN TEST ANALYSIS

2.2 製作者

運動性能部 小川陽弘

2.3 製作年月

昭和45年5月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

プロペラのスラストはプロペラ軸方向にとり, 前進常数をプロペラの進行方向の速度 U と偏角 β を用いて $J_\beta = U \cos \beta / ND$ (N は回転数, D は直径) と表わして整理すると, K_T, K_Q が β によらず1本のカーブで表わせる¹⁾。これからプロペラ効率 η_p も1本のカーブで示される。ただし,

$$K_T = \frac{T}{\rho N^2 D^4}, \quad K_Q = \frac{Q}{\rho N^2 D^6}$$

$$\eta_p = \frac{J_\beta K_T}{2\pi K_Q}, \quad J_\beta = \frac{U \cos \beta}{ND}$$

である。

プロペラが斜航することによって生ずる横力は軸に直角方向の力として取りだされる。

2.5 計算の手順

計算の概略を図-1 の流れ図に示す。副プログラム RMSSGL は普通の1独立変数の最少自乗法による曲線近似計算のプログラム, RMSDBL は2独立変数の最少自乗法によるものである。副プログラム SIMEQ はガウス消去法による連立方程式の解を求めるプログラムである。これらの詳細は4.2項に示す。

2.6 入力

入力データは紙テープおよびキーボードから与える。紙テープには次のデータを与える。

- 1) プロペラの名称。
- 2) プロペラの直径, ピッチ比。
- 3) 実験番号, 回転数, 前進速度, スラスト, トルク, 偏角, 横力, データの適否マーク。
- 4) カーブに必要な前進常数と偏角。

キー入力は S/T のカーブの次数を与えるもので, 経験によれば3次が適当である。

2.7 出力

出力はラインプリンターに打出される。

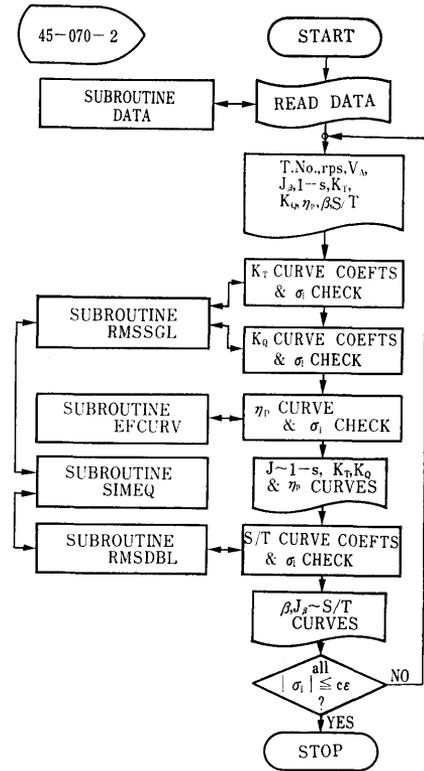


図-1 斜行による横力を含むプロペラオープンテスト解析プログラムの流れ

- 1) プロペラの名称。
- 2) 実験番号, 回転数, 前進速度, 前進常数, スリップ比, $K_T, K_Q, \eta_p, \beta, S/T$ 。この他 $K_T, K_Q, \eta_p, S/T$ のどれかが不適当な値の場合に, その後にX印がつけられる。
- 3) K_T カーブの係数, RMS 誤差。
- 4) K_Q カーブの係数, RMS 誤差。
- 5) η_p の RMS 誤差。
- 6) J_β に対する $1-s, K_T, K_Q, \eta_p$ 各カーブの値。
- 7) S/T カーブの係数, RMS 誤差。
- 8) β, J_β に対する S/T カーブの値。

以上を一度打ち出した後, 全データのうち各々のカーブからの偏差が標準偏差の C 倍以上のものが1つでもあればそのデータに前述のX印をつけ, それを除外して自動的に計算し直す。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度

実験値の精度に較べて十分である。

3.2 演算時間

データ数によるが最大3分程度。

3.3 制限事項

実験点数100までのほか特に制限はない。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

BATCH 処理による。

4.2 応用

サブプログラムのうち RMSSGL, RMSDBL, SIMEQ は汎用に作ってあるので他のプログラムにもそのまま用いられる。

1) SUBROUTINE RMSSGL (X, F, LF, ND, B, JX, NK, CS, JS)

X(ND) : 独立変数

F(ND) : 従属変数

LF(ND) : データ F の適否を示す LOGICAL

ND : データ数

B(NK) : 多項式の各項の係数

JX(NK) : 多項式の各項の次数

NK : 多項式の項の数

CS : 標準偏差の倍数 (有効データ範囲を指定)

JS : 計算の結果不良データの有無を示す指数

2) SUBROUTINE RMSDBL (X, Y, F, LF, ND, B, JX, JY, NK, CS, JS)

X(ND), Y(ND) : 独立変数

JX(NK), JY(NK) : 多項式の各項の次数

他は RMSSGL と同じ。

3) SUBROUTINE SIMEQ (A, KKK, LLL, NK,

NL)

A(KKK, LLL) : 未知数の係数と定数項との行列, DOUBLE PRECISION, 計算上誤差とみなす限界は A の最大値の 10^{-18} 倍にとつてある。

KKK, LLL : A の DIMENSION

NK : 計算する A の元数。

NL : NK+J。通常は J=1 であるが、係数行列が同一で定数項のみが異なる J 組の連立方程式がある場合には NK+1 から NK+J までにその各々の定数項を入れておけば、1 回の演算で J 組の解が同時に求められる。

4.3 他機種への移行

上の SIMEQ では、他のプログラムの大きさにもよるが、50元程度の連立方程式は十分に解ける。それ以上はドラムを使用したプログラムに書き直し、係数の性質によっては精度の検定をする必要があると思われる。

5. あとがき

汎用性のあるサブプログラムを作ることは非常に大切である。上記の SIMEQ などは数年前に作ったものであるが、所内の多くの人々に利用されている。この様にしてプログラム開発に要する時間の重複したムダをできるだけ省く努力が必要であろう。

参考文献

- 1) 小川陽弘, 辻豊治, 森政彦: 斜航するプロペラに働く横力に関する研究, 第16回船研研究発表会 1970. 11.

4. 翼端剥離を起した小縦横比翼の計算プログラム

運動性能部 野 中 晃 二

1. プログラムの目的および概要

小縦横比翼においては揚力の大部分を翼端渦が支配するが、矩形翼においてもその翼端渦は三角翼においてよく知られている前縁剥離渦と同様に翼面上で巻きあがって一対の渦の核を作る事が知られている。

このプログラムは、そのような流れの場を近似する単純化した model を考え、翼面上の圧力分布や渦の核の位置を求めようとするものである。

(352)

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称
45-019 小縦横比翼の計算(1)

2.2 製作者

運動性能部 野中晃二

2.3 製作年月

昭和45年8月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

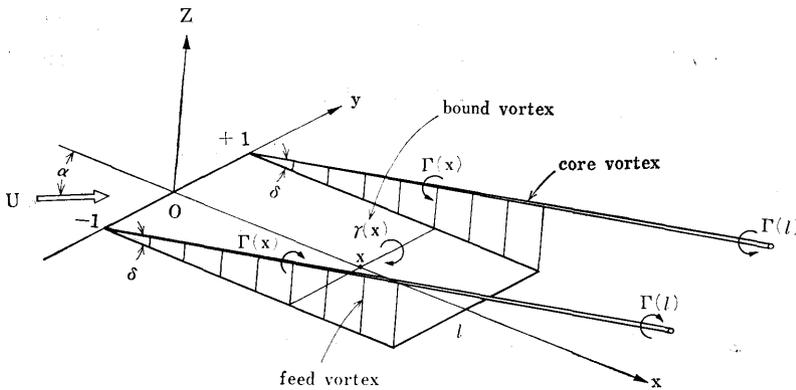


図-1

bound vortex は翼巾方向に一定とし、翼端で feed vortex を通して core vortex へ吸収されるものとして、図-1のような model を考え、この vortex system による各点での誘導速度を計算し、

- (1) 翼巾方向にわたっての流れの平均値が翼面に沿う。
- (2) 翼面上の core vortex と feed vortex に働く渦面に垂直方向の力の和が零。

という条件から出てくる連立非線型積分方程式を逐次近似法で解く。詳しくは文献(1)参照。

2.5 計算の手順

図-2 フローチャートに示す。

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN-IV, FACOM 270-20

2.7 入力

必要な入力データは次のとおり。

- ML 計算する翼数
- MA 計算する迎角数
- M1 翼弦方向分割点数
- N1 翼巾方向分割点数
- EDEL δ の分割
- EPSSS 収束判定用の値
- FLL(I) 翼弦長
- ALL(I) 迎角(度)

2.8 出力

- U1, V1, W1 翼面での誘導速度分布
- CPU, CPL 翼上面, 下面での圧力分布
- DCP 揚力分布
- PP bound vortex 分布
- DEL core vortex の傾き
- CN 1 揚力係数

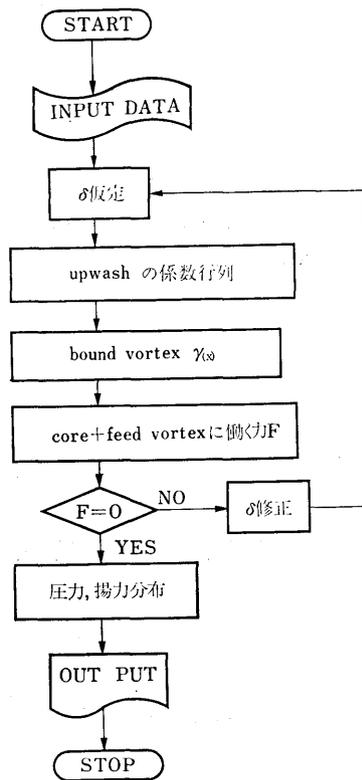


図-2

CM 1 モーメント係数

CP 1 圧力中心位置

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

最終結果の有効数字 3 桁を目標とし、連立方程式を解く場合と若干の変数を倍長精度とした。

3.2 計算所要時間

M1=11, N1=11で1回のくり返しにほぼ15分かかり、アスペクト比、迎角によりくり返し回数はかなり変化する。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

実行は BATCH 処理にする。

5. あとがき

渦の核の位置はほぼ観測結果と合うが、圧力分布については満足すべきものではなく、さらに model の改良が必要である。

参考文献

- 1) 野中晃二「翼端剝離を起した小縦横比翼の計算」第16回船研研究発表会講演概要, 1970.11

5. 水路内の2次元柱状体まわりの流れの計算プログラム

運動性能部 菅 信

1. プログラムの目的および概要

図-1 のように、平行な壁にはさまれた一様流の水路の中心線上に、その中心線について対称な任意の断面形をもつ柱体が置かれた場合の流場を2次元ポテンシャル流として扱い、物体表面上の流速、圧力、及び物体の附加質量を計算するものである。

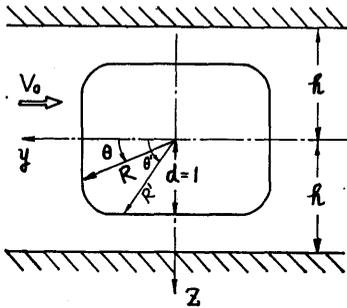


図-1 水路内の物体

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

45-027

Potential Flow about a Two Dimensional Body in a Channel

2.2 製作者

運動性能部 菅 信

2.3 製作年月

昭和45年9月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

物体表面上の吹出し分布

$$q = p/F \quad (F = \sqrt{1 + (R_0/R)^2})$$

を決める積分方程式は次のように表わされる。

(354)

$$P(\theta) = -2\bar{V}_n(\theta) + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P(\theta') \cdot K_\theta(\theta, \theta') d\theta' \quad \dots(1)$$

ここで

$$K_\theta(\theta, \theta') = \frac{\pi}{h} R' \left\{ \frac{(\cos\theta + \sin\theta \cdot R_0/R) \sinh B}{\cosh B - \cos A} + \frac{(\sin\theta - \cos\theta \cdot R_0/R) \sin A}{\cosh B - \cos A} + \frac{(\cos\theta + \sin\theta \cdot R_0/R) \sinh B - (\sin\theta - \cos\theta \cdot R_0/R) \sin A}{\cosh B - \cos A} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$$\bar{V}_n(\theta) = V_0(\cos\theta + \sin\theta \cdot R_0/R) \dots\dots\dots(3)$$

$$A = \frac{\pi}{h} (R' \sin\theta' - R \sin\theta), \quad \bar{A} = \frac{\pi}{h} (R' \sin\theta' + R \sin\theta), \quad B = \frac{\pi}{h} (R' \cos\theta' - R \cos\theta) \dots\dots\dots(4)$$

積分方程式(1)を解いた後で、攪乱流のr方向成分vとθ方向成分v_θは次の式で計算される。

$$v_r = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{F^2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P' R' K_r d\theta', \quad v_\theta = -\frac{P}{2} \cdot \frac{R_0}{R} \cdot \frac{1}{F^2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P' R' K_\theta d\theta' \dots\dots\dots(5)$$

ここで P' = P(θ') および

$$K_r = -\frac{1}{2} \frac{\pi}{h} \left(\frac{\cos\theta \cdot \sinh B + \sin\theta \cdot \sin A}{\cosh B - \cos A} + \frac{\cos\theta \cdot \sinh B - \sin\theta \cdot \sin A}{\cosh B - \cos A} \right) \dots\dots\dots(6)$$

$$K_\theta = \frac{1}{2} \frac{\pi}{h} \left(\frac{\sin\theta \cdot \sinh B - \cos\theta \cdot \sin A}{\cosh B - \cos A} + \frac{\sin\theta \cdot \sinh B + \cos\theta \cdot \sin A}{\cosh B - \cos A} \right) \dots\dots\dots(7)$$

である。圧力係数 C_p = (p - p_∞) / (1/2 ρ V_0^2) は

$$V_r = V_0 \cos\theta + v_r,$$

$$V_\theta = -V_0 \sin\theta + v_\theta \quad \text{として} \quad C_p = 1 - (V_r/V_0)^2 - (V_\theta/V_0)^2 \quad \text{である。}$$

単位長さあたりの附加質量 m' は

$$m' = \frac{\rho}{2\pi V_0^2} \int_0^\pi \bar{V}_n R d\theta \int_0^\pi P' R' K_\theta d\theta' \dots\dots\dots(8)$$

$$K_{\theta} = \log \left\{ 4 \left(\frac{h}{\pi} \right)^4 (\cosh B - \cos A) \times (\cosh B - \cos \bar{A}) \right\} \dots\dots\dots(9)$$

である。K_r、K_θには一位の極があり、K_θには対数特異性があるがそれらの数値積分(台形則を使用)にあたっては完全に処理してある。なお、詳細は参考文献¹⁾を参照されたい。

2.5 計算の手順

計算の手順は 図-2 フローチャートに示すごとくである。

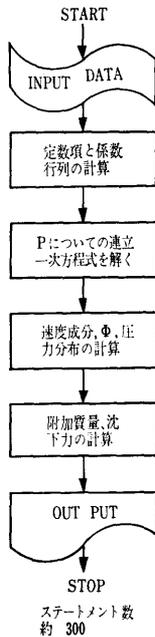


図-2 フローチャート

2.6 プログラム用語および計算機種

FACOM FORTRAN, FACOM 270-20

2.7 入力

必要な入力データは次のごとくである。全て PTR より入力する。

- NO ...断面形を識別する番号 I 4
- D ...θ=90° のRの値 F 8.5
- M ...θ 方向の等分割数 I 3
- R(I)=R I = 1 から 1+Mまで F 8.5
- RT(I)=∂R/∂θ // F 8.5
- RTT(I)=∂²R/∂θ² // F 8.3
- DEL=h/d F 7.3

添字 I は θ = (I-1)π/M の値であることを示

す。

2.8 出力

各 θ = (I-1)π/M で

- VR/VO=V_r/V₀r 方向速度成分
- VT/VO=V_θ/V₀θ 方向速度成分
- V/VO=√V_r²+V_θ²/V₀ ...合速度
- VON/VO=V̄_n/V₀一般流法線速度成分
- SVN/VO=v_n/V₀攪乱流法線速度成分
- Q/VO=q/V₀吹出しの強さ
- CP=C_p圧力係数
- PHY/VO=φ/V₀表面上の速度ポテンシャルの値

以上を各 θ について出力した後、次の項目を出力する。

- SINKING FORCE断面の下半分に働く力
- ADDED MASS COEFFICIENT=m'/m附加質量係数
- SECTIONAL AREA=m/ρ断面積

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

計算精度は、入力データがせいぜい3桁しかないの
で、一応有効数字が3桁まで得られることを目標にしたが h/d の小さくなるにつれ(h/d<1.1程度)精度が悪くなる。また h/d が大きくなると (h/d>15 程度)やはり桁落ちのため精度が悪くなる。

h/d=∞ のときは DEL に 90.0 以上の値を入力すれば、別の式で計算するようになっているため桁落ちは起らない。演算はすべて単語長で行なっている。

3.2 計算所要時間

一つの断面形で一つの h/d に対し M=18 として約1分間で計算できる。Z軸についても対称な物体の場合には約20秒で計算できる。

3.3 適用範囲, 制限事項

普通の船体の横断面のようにRの変化の緩やかなものについては、分割数 M=18 で大体良いが、h/d<1.1の範囲を精度よく計算するにはさらに細分する必要がある。Rの変化の急な板に近いような柱体や、Rがθの多価関数になるような断面形状のものについては、極座標表示を用いる本計算法は不相当である。

4. プログラムの使用法と応用

4.1 オペレート

プログラムの実行は、 ¥ BATCH で PT より行なう。

4.2 プログラムの応用

極座標表示をやめ、直角座標表示を採用することにより板に近い横断面或いはひょうたん形の横断面を持った柱体にも適用できるようにすることができる。

また任意の形状の横断面を持った柱体が、水路内の中心線上以外の任意の位置に置かれた場合に拡張することも可能である。

5. あとがき

表題の様な2次元 Neumann 問題を扱った最初の計算プログラムである。これにより浅水域で船体が横

移動する場合のフルード数零の流場を、厳密ではないが実用的なストリップ法で計算することができるようになった。

参考文献

- 1) 菅 信, “水路内の2次元柱状体まわりのポテンシャル流の計算”, 第16回船研研究発表会講演概要, 1970. 11

6. 無限水域における船体まわりの流れの計算プログラム

運動性能部 菅 信

1. プログラムの目的および概要

無限水域において定常な平面運動をする船体のまわりのポテンシャル流場を解き、船体表面上の圧力分布や附加質量等を計算するプログラムである。

船体表面上に連続分布させた吹出しの強さを決める積分方程式と船体表面上における攪乱流のr方向速度成分 v_r , θ 方向速度成分 v_θ は細長体の仮定を使って2次元問題として扱い、軸方向分 v_x と速度ポテンシャル ϕ は3次元の計算をするものであるが、Hess and Smith の3次元計算法に含まれる莫大な無駄が省かれ、また細長体理論だけによる計算法に含まれる精度の悪さが除かれており、中小型計算機にも適した実用的な、しかも精度の高いものである。ただし、自由表面は固体壁として扱っている。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

45-016

Potential Flow about a Ship Hull

2.2 製作者

運動性能部 菅 信

2.3 製作年月

昭和45年4月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

船体面上の吹出し分布

$$q = P/F \quad (F = \sqrt{1 + R_x^2 + (R_\theta/R)^2})$$

を決める積分方程式は本来2重積分方程式であるが、細長体の仮定を用いることにより次のような、各横断面についての1重の積分方程式にすることができる。

$$P(x; \theta) = -2\bar{V}_n(x; \theta) + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P(x; \theta') K_\theta(x; \theta, \theta') d\theta' \dots\dots\dots(1)$$

$$K_\theta(x; \theta, \theta') = 2R^* \{ \{ R^* \cos(\theta - \theta') - R + R^* \sin(\theta - \theta') \cdot R_\theta/R \} / R_M + \{ R^* \cos(\theta + \theta') - R + R^* \sin(\theta + \theta') \cdot R_\theta/R \} / R_P \} \dots\dots\dots(2)$$

$$R_M = R^2 + R^{*2} - 2RR^* \cos(\theta - \theta'),$$

$$R_P = R^2 + R^{*2} - 2RR^* \cos(\theta + \theta') \dots\dots\dots(3)$$

$$\bar{V}_n(x; \theta) = V_0 \{ -R_x \cos \alpha + R_x R \Omega \cos \theta + (\cos \theta + \sin \theta \cdot R_\theta/R) (\sin \alpha + \Omega x) \} \dots\dots\dots(4)$$

積分方程式(1)を解いた後で、船体表面上の v_r, v_θ はやはり細長体の仮定を使って次のような1重積分の形で計算できる。

$$v_r = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{F^2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P^* R^* K_r d\theta',$$

$$v_\theta = -\frac{P}{2} \cdot \frac{R_\theta}{R} \cdot \frac{1}{F^2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P^* R^* K_\theta d\theta' \dots\dots(5)$$

$$K_r = \{ R - R^* \cos(\theta - \theta') \} / R_M + \{ R - R^* \cos(\theta + \theta') \} / R_P \dots\dots\dots(6)$$

$$K_\theta = R^* \sin(\theta - \theta') / R_M + R^* \sin(\theta + \theta') / R_P \dots\dots(7)$$

但し $P^* = P(x, \theta')$, $R^* = R(x, \theta')$ である。

次に v_x と速度ポテンシャル ϕ の船体表面上での値は細長体の仮定をうまく取入れることが困難であり、次のように2重積分のまま計算する。

$$v_x = -\frac{P}{2} \cdot \frac{R_x}{F^2} + \frac{1}{4\pi} \int_{-1/2}^{1/2} \int_{-1/2}^{1/2} S(x', x; \theta) dx' \dots\dots(8)$$

$$S(x', x; \theta) = \int_0^\pi P' R' (x - x') [\{ (x - x')^2 + R_M \}^{-3/2} + \{ (x - x')^2 + R_P \}^{-3/2}] d\theta' \dots\dots\dots(9)$$

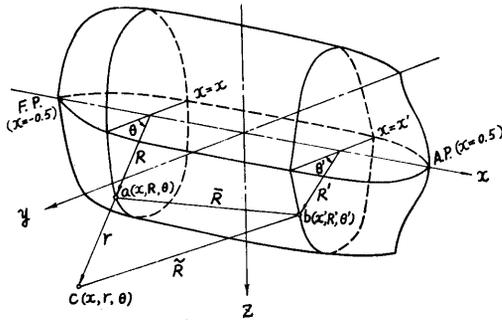


図-1 座標系

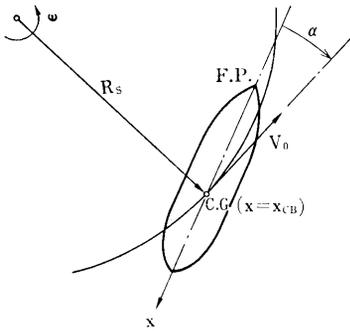


図-2 定常旋回

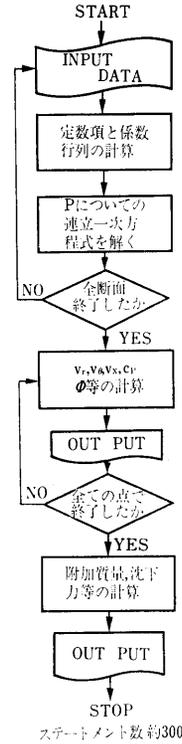


図-3 フローチャート

$$\phi = -\frac{1}{4\pi} \int_{-1/2}^{1/2} W(x', x; \theta) dx' \dots\dots\dots(10)$$

$$W(x', x; \theta) = \int_0^\pi P' R' [\{ (x-x')^2 + R_M \}^{-1/2} + \{ (x-x')^2 + R_p \}^{-1/2}] d\theta' \dots\dots\dots(11)$$

附加質量 m' は次の式で計算する。

$$m' = \frac{\rho}{V_0^2} \int_{-1/2}^{1/2} \int_0^\pi \phi \cdot \bar{V}_n R d\theta dx \dots\dots\dots(12)$$

K_r, K_θ, S は一位の極を持ち W には対数特異性があるが、それらの数値積分(台形則を使用)にあたっては、いずれも完全に処理してある。なお詳細は参考文献1)を参照されたい。

2.5 計算の手順

計算の手順は 図-3 フローチャートに示すごとくである。

2.6 プログラム用語および計算機種

FACOM FORTRAN, FACOM 270-20

2.7 入力

必要な入力データは次のごとくである。

(1) 運動状態を示すデータ…KB より

OM= Ω …無次元旋回角速度 F6.3

AL= α …偏角(度) F7.2

(2) 船型を表わすデータ…PTR より

NXE…入力データを読み込ませる

断面位置の数 I3

XCB…浮心の x 座標 F7.4

各断面位置で

X …その断面の x 座標 F7.4

$R(I)=R$ $I=1$ から $1+M/2$ まで F8.5

$RX(I)=R_x = \partial R / \partial x$ // F6.3

$RT(I)=R_\theta = \partial R / \partial \theta$ // F8.5

$RTT(I)=R_{\theta\theta} = \partial^2 R / \partial \theta^2$ // F6.3

添字 I は原則として $\theta = (I-1)\pi/M$ の値であることを示す。

2.8 出力

各断面位置の x ごとに

各 θ で

$VX/VO = (V_x + v_x) / V_0$ …軸方向速度成分

$VR/VO = (V_r + v_r) / V_0$ … r 方向 //

$VT/VO = (V_\theta + v_\theta)/V_0$ … θ 方向速度成分

$$V = \sqrt{(V_x + v_x)^2 + (V_r + v_r)^2 + (V_\theta + v_\theta)^2}$$

…合成速度

$VON = \bar{V}_n/V_0$ …一般流法線速度成分

$SVN = v_n/V_0$ …攪乱流 //

$Q/VO = q/V_0$ …吹出しの強さ

$CP = C_P = (p - p_\infty) / \frac{1}{2} \rho V_0^2$ …圧力係数

$PHY/VO = \phi/V_0$ …表面上の速度ポテンシャルの値

以上を各 θ について出力した後

LOCAL SINKING FORCE …断面の z 軸方向に働く力

LOCAL SIDE FORCE …断面の y 軸方向に働く力

LOCAL ADDED MASS …断面の附加質量

SECTIONAL AREA …断面積

すべての断面位置で以上を出力した後

SINKING FORCE …船体に働く沈下力

TRIM MOMENT … トリムモーメント

SIDE FORCE … 横力

YAWING MOMENT … 偏揺モーメント

ADDED MASS …附加質量

VOLUME …排水容積

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

計算精度は、入力データがせいぜい3桁しかないので、一応有効数字が3桁まで得られることを目標にした。Series 60 船型等について長さ方向に25断面、各断面で10~13点、計274点での入力データを使って計算した圧力分布は、船首船尾の船底附近を除いた、船体表面上の90%以上の部分でHess and Smithの3次元計算値との差異が認められなかったが、残り

の船首、船尾の船底附近では差があった(直進)。なお同じデータを使って円柱座標で計算した排水容積は正しい値と3桁迄一致した。

3.2 計算所要時間

船体表面上274点での入力データを使って、469点での圧力等を計算し終るのに約60分を必要とする。直進の場合は片側246点で計算すればよいので約30分で済む。

3.3 適用範囲, 制限事項

通常の細長い船体には、このまま上記の分割方法で適用できるが、 R が θ の多価関数となるような特殊な断面形状を持った船には適用できない。また、船首、船尾付近を局部的に詳しく計算しようという目的にはあまり適していない。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

プログラムの実行は、 $\$$ BATCHでPTより行なう。

4.2 プログラムの応用

造波現象を考慮したフルード数が零でない場合の計算プログラムに発展させることが可能である。

5. あとがき

このプログラムの完成により、フルード数零の場合の船体まわりのポテンシャル流の計算が比較的容易にできるようになった。附加質量、沈下力、航走中の復原力減少の計算など実際面での応用に有効であるほか、圧力分布が簡単に精度良く求まることから、船体まわり粘性流体の扱いなど、理論的な研究の発展のためにも寄与するものと信ずる。

参考文献

- 1) 菅 信, “船体まわりの流れの計算”, 日本造船学会論文集第128号, 1970.12

7. 浅水域における船体まわりの流れの計算プログラム

運動性能部 菅 信

1. プログラムの目的および概要

船舶の大型化に伴い、浅水域での船の運動性能に関する研究が重要な課題になっている。このプログラム

は浅水域において定常な平面運動をする船体のまわりのポテンシャル流場を解き、船体表面上の圧力分布や附加質量等を計算するためのものである。船体とその

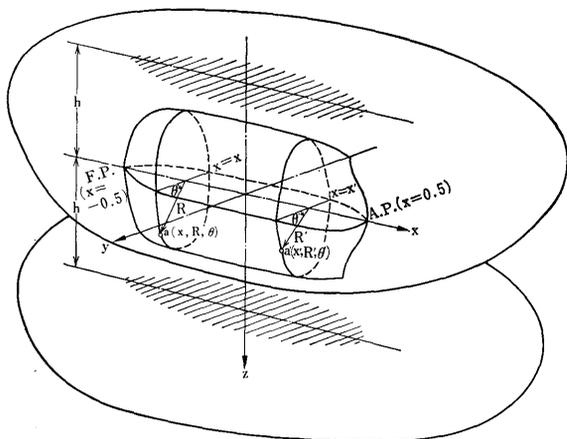


図-1 座 標 系

無限個の鏡像のおおの表面上に連続分布させた吹出しの強さを決める積分方程式と船体表面上における攪乱流の r 方向成分 v_r , θ 方向成分 v_θ は細長体の仮定を使いさらに「近くの鏡像の影響は正しく取り入れるが遠くの鏡像の影響は近似的に取り入れればよい」という考え方から2次元問題として扱うが、軸方向成分 v_x と速度ポテンシャル ϕ は3次元的な計算をするものである。この v_x と ϕ の計算では実際に値が収斂するまで、いくつかの鏡像を数値的に取り入れて計算しなくてはならないため、無限水域の場合に比べ計算時間が数倍から10数倍（水深により異なる）もかかり、実用性という点からはさらに工夫が必要であろう。自由表面は固体壁として扱っている。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

45-029

Potential Flow about a Ship Hull in Shallow water

2.2 製作者

運動性能部 菅 信

2.3 製作年月

昭和45年12月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

船体表面上の吹出し分布

$$q = p/F \quad (F = \sqrt{1 + R_x^2 + (R_\theta/R)^2})$$

を決める積分方程式は、前に述べたように次のような各断面についての1重の積分方程式にすることができる。

$$P(x; \theta) = -2\bar{V}_n(x; \theta) + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P(x; \theta') \cdot K_0(x; \theta, \theta') d\theta' \dots\dots\dots(1)$$

$$K_0(x; \theta, \theta') = \frac{\pi}{h} R^* \left\{ \frac{(\cos \theta + \sin \theta \cdot R_\theta/R) \sinh B}{\cosh B - \cos A} + \frac{(\sin \theta - \cos \theta \cdot R_\theta/R) \sin A}{\cosh B - \cos A} + \frac{(\cos \theta + \sin \theta \cdot R_\theta/R) \sinh \bar{B}}{\cosh \bar{B} - \cos \bar{A}} - \frac{(\sin \theta - \cos \theta \cdot R_\theta/R) \sin \bar{A}}{\cosh \bar{B} - \cos \bar{A}} \right\} \dots\dots\dots(2)$$

$$\bar{V}_n(x, \theta) = V_0 \{ -R_x \cos \alpha + R_x R \Omega \cos \theta + (\cos \theta + \sin \theta \cdot R_\theta/R) (\sin \alpha + \Omega x) \} \dots\dots\dots(3)$$

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{\pi}{h} (R^* \sin \theta' - R \sin \theta) \\ \bar{A} &= \frac{\pi}{h} (R^* \sin \theta' + R \sin \theta) \\ B &= \frac{\pi}{h} (R^* \cos \theta' - R \cos \theta) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(4)$$

積分方程式(1)を数値的に解いた後で、 v_r, v_θ は

$$v_r = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{F^2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P^* R^* K_r d\theta'$$

$$v_\theta = -\frac{P}{2} \cdot \frac{R_\theta}{R} \cdot \frac{1}{F^2} + \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi P^* R^* K_\theta d\theta' \dots\dots\dots(5)$$

$$K_r = -\frac{1}{2} \frac{\pi}{h} \left(\frac{\cos \theta \cdot \sinh B + \sin \theta \cdot \sin A}{\cosh B - \cos A} + \frac{\cos \theta \cdot \sinh \bar{B} - \sin \theta \cdot \sin \bar{A}}{\cosh \bar{B} - \cos \bar{A}} \right) \dots\dots\dots(6)$$

$$K_\theta = \frac{1}{2} \frac{\pi}{h} \left(\frac{\sin \theta \cdot \sinh B - \cos \theta \cdot \sin A}{\cosh B - \cos A} + \frac{\sin \theta \cdot \sinh \bar{B} + \cos \theta \cdot \sin \bar{A}}{\cosh \bar{B} - \cos \bar{A}} \right) \dots\dots\dots(7)$$

で計算できる。ここに $P^* = P(x, \theta')$, $R^* = R(x, \theta')$ である。

次に v_x と ϕ は、 v_r, v_θ のように表示式を簡略化して精度の良い計算を行なうことはむづかしいので、2重積分のまま行なう。

$$v_x = -\frac{P}{2} \frac{R_x}{F^2} + \frac{1}{4\pi} \int_{-1/2}^{1/2} S(x', x; \theta) dx' \dots\dots\dots(8)$$

$$S(x', x; \theta) = \int_0^\pi P' R' \cdot (x - x')$$

$$\sum_{l=-\infty}^{\infty} \left(\frac{1}{R^3} + \frac{1}{\bar{R}^3} \right) d\theta' \dots\dots\dots(9)$$

$$\text{但し } D = \{ (x - x')^2 + (R \cos \theta - R' \cos \theta')^2 \}^{1/2}$$

$$E = R \sin \theta - R' \sin \theta', \quad \bar{E} = R \sin \theta + R' \sin \theta' \dots\dots\dots(10)$$

$$\bar{R} = \{ D^2 - (E - 2lh)^2 \}^{1/2}$$

$$\bar{R}_P = \{ D^2 + (E - 2lh)^2 \}^{1/2} \dots\dots\dots(11)$$

或いは(9)の無限級数の代りに無限積分を使って

$$S(x', x; \theta) = \int_0^\pi \frac{P'R' \cdot (x-x')}{D} \int_0^\infty \frac{\cosh(h-|E|)t + \cosh(h-|\bar{E}|)t}{\sinh ht} t J_1(Dt) dt d\theta' \dots\dots\dots(12)$$

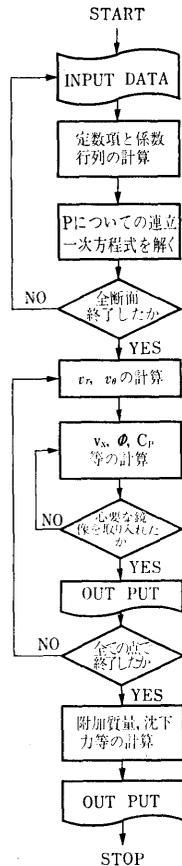
とすることもできる。

$$\phi = -\frac{1}{4\pi} \int_{-1/2}^{1/2} W(x', x; \theta) dx' \dots\dots\dots(13)$$

$$W(x', x; \theta) = \int_0^\pi P'R' \left\{ \left(\sum_{l=-\infty}^{\infty} \frac{1}{R} - \sum_{l=-\infty}^{\infty} \frac{1}{|2lh|} \right) + \left(\sum_{l=-\infty}^{\infty} \frac{1}{R} - \sum_{l=-\infty}^{\infty} \frac{1}{|2lh|} \right) \right\} d\theta' \dots\dots\dots(14)$$

或いは

$$W(x', x; \theta) = \int_0^\pi P'R' \int_0^\infty \frac{\{\cosh(h-|E|)t + \cosh(h-|\bar{E}|)t\} J_0(Dt) - 2e^{-h}}{\sinh ht} dt d\theta' \dots\dots\dots(15)$$



ステートメント数 約450
図-2 フローチャート

K_r, K_s, S に一位の極, W に対数特異性があるが, それらの数値積分にあたっては いずれも完全に処理してある。また, S と W の計算にあたっては (12), (15) の無限積分をこれ以上簡単な形にすることが現在のところできていないので, (9), (14) の無限級数がある有限なところまでで打切るという方法を取っている。詳細は参考文献 1) を参照されたい。

2.5 計算の手順

計算の手順は 図-2 フローチャートに示すごとくである。

2.6 プログラム用語および計算機種

FACOM FORTRAN, FACOM 270-20

2.7 入力

必要な入力データは次のごとくである。

- (1) 運動状態及び水深を示すデータ …KB より
 - OM = Ω …無次元旋回角速度 F 6.3
 - AL = α …偏角 (度) F 7.2
 - DEL = h/d …水深と吃水の比 F 7.3

- (2) 船型を表すデータ …PTR より

前掲の「無限水域における船体まわりの流れの計算プログラム」と同じ。

2.8 出力

前掲の「無限水域における船体まわりの流れの計算プログラム」と同じ。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

船首, 船尾の近くで精度が落ちることは無限水深の場合と同じである。また h/d が小さくなるに従い ($h/d < 1.1$ 程度), 或いはある程度以上 ($h/d < 15$ 程度) のところで精度が悪くなることは, 水路内の 2 次元流の場合と同様である。但し, 直進の場合は横移動に比べてその程度は軽い。(9), (14) で鏡像を取る範囲は直進の場合, 船の上下にそれぞれ船の長さの 2 倍の距離まで, 横移動の場合には船の長さの半分の距離までの鏡像を取り入れれば, ほぼ 1% 以内の打切り誤差におさまることが確認されている。

3.2 計算所要時間

h/d が小さくなるにつれ, 取り入れるべき鏡像の数が増えるのでそれだけ時間がかかるようになる。直進の場合 $h/d=5$ で鏡像の数 $n=4$ を取り 90 分, $h/d=2$ では $n=20$ で 330 分, $h/d=1.5$ では $n=26$ で 420 分 $h/d=1.1$ では $n=36$ で 570 分をそれぞれ費した。横移動の場合は鏡像の数は, 直進の場合の約 $1/4$ ですので計算時間もそれだけ短くてすむ。

3.3 適用範囲, 制限事項

通常の細長い船体で, R の変化の緩かなものについては, 長さ方向に25分割, 横断面で18~25程度の分割で大体良いが $h/d < 1.1$ 程度の範囲を精度良く計算するには船底附近を更に細分する必要がある。また, 球状船首のように R が θ の多価関数になるような横断面形状を持ったものには, このままでは適用できない。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

プログラムの実行は, ¥ BATCH で PT より行なう。

4.2 プログラムの応用

$h/d = \infty$ の場合の計算もできるようになっているが, 無限水域用の単独のプログラムより時間がかかるのであまり有効ではない。プログラムの発展として無限水深での側壁影響の計算用のものになおすことは簡単である。

5. あとがき

このプログラムの完成により, 浅水域において各種の平面運動をする船体まわりのポテンシャル流をフルード数零の場合について計算することができるようになった。圧力分布のほか, 附加質量, 沈下力等の浅水影響が船型を入力データとして計算により求めることができるという実用的価値があるが, 一方計算時間がかかりすぎるという欠点があり, 中小型計算機向きとは云いかねる面がある。(12), (15)の無限積分を解析的に求めることができるか, 或いはもっと簡単な形にできればこの欠点は除かれる。 $h/d < 1.1$ で計算精度が落ちてくるが, そのような船底と水底の間隙の狭い場合を, 粘性を無視したポテンシャル流の計算で精度を上げる努力をしてもあまり意味のないことであろう。

参考文献

- 1) 菅 信 “浅水域における船体まわりのポテンシャル流の計算” 日本造船学会論文集 第129号 1971. 6

8. 2次元骨組構造解析プログラム

船体構造部 遠 藤 久 芳

1. プログラムの目的および概要

最近大型船の構造上の再検討がなされており, 構造部でも大型構造模型試験を頻繁に実施しているので様々の形態の模型について, 種々の荷重条件の基で簡単な計算チェックをする必要がある。そこで撓角撓度法を理論的基礎にしている FRAME 計算を, 一般の構造物より複雑な形をしている船体断面についても使用できるようにすると共に繁雑な入力データ作製の手間を省き, さらに現在の共用計算機程度の小容量の計算機でもかなり部材数の多い複雑な断面について計算しうるようにした。又梁各部面材の応力も計算させた。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号, 名称

45-046 RIGID FRAME ANALYSIS

2.2 製作者

船体構造部 遠藤久芳

2.3 製作年月

昭和46年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

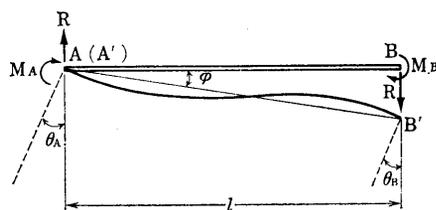


図-1 梁と変形

○撓角撓度法

M_A, M_B ……端部モーメント

R ……端部反力

φ ……部材角

θ_A, θ_B ……端部回転角

l ……スパン

I ……断面2次モーメント

E, G ……ヤング率, 剪断弾性率

A ……断面積

$$\eta \text{ (剪断影響係数)} = 6EI/AGl^2$$

梁 AB が 図-1 のような端部外力を受けて A'B' に変形したとすると以下のような関係がある。

$$M_A = \frac{2EI}{l} \left(2\theta_A \frac{1+\eta/2}{1+2\eta} + \theta_B \frac{1-\eta}{1+2\eta} - 3\varphi \frac{1}{1+2\eta} \right) \dots(1)$$

$$M_B = \frac{2EI}{l} \left(\theta_A \frac{1-\eta}{1+2\eta} + 2\theta_B \frac{1+\eta/2}{1+2\eta} - 3\varphi \frac{1}{1+2\eta} \right) \dots(2)$$

$$R = -\frac{6EI}{l^2} (\theta_A + \theta_B - 2\varphi) \frac{1}{1+2\eta} \dots(3)$$

○MATRIX METHOD

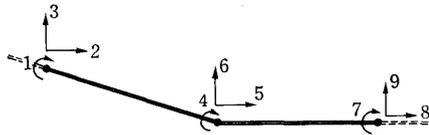


図-2 接点の自由度

P 応力マトリックス
 X 変位マトリックス
 K 剛性マトリックス

$$P = KX \dots\dots\dots(4)$$

○METHOD OF PARTS (分割法)

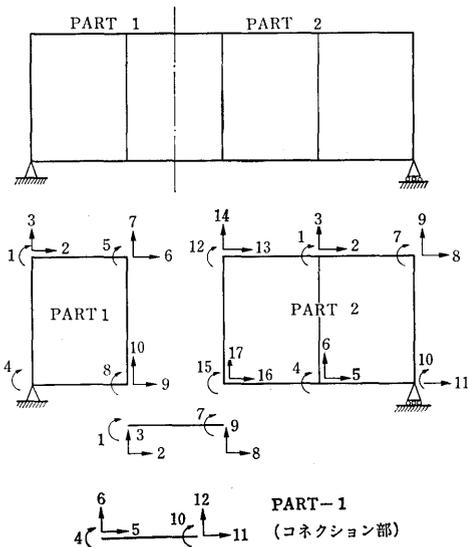


図-3 分割法

$$\left. \begin{aligned} P_i &= K_{ii} X_i + K_{ic} X_c \\ P_c &= K_{ci} X_i + K_{cc} X_c + \dots \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(5)$$

(5)より

$$\{P_c - K_{ci} K_{ii}^{-1} P_i\} = [ASA^T]_c \{X_c\} \dots\dots\dots(6)$$

表-1 剛性マトリックス

X		1		2	
		X _i	X _c	X _i	X _c
P	P _i	K _{ii}	K _{ic}	O	O
	P _c	K _{ci}	K _{cc}	O	nonzero
1	P _i	O	O	K _{ii}	K _{ic}
	P _c	O	nonzero	K _{ci}	K _{cc}

suffix c ; コネクション部に接している
 i ; コネクション部に接していない

ただし,

$$[ASA^T]_c = \begin{bmatrix} [K_{cc} - K_{ci} K_{ii}^{-1} K_{ic}]_I & \text{nonzero} \\ \text{nonzero} & [K_{cc} - K_{ci} K_{ii}^{-1} K_{ic}]_X \end{bmatrix}$$

(6)より $X_c = [ASA^T]_c^{-1} \{P_c - K_{ci} K_{ii}^{-1} P_i\} \dots\dots\dots(7)$

(5)より $X_i = K_{ii}^{-1} \{P_i - K_{ic} X_c\} \dots\dots\dots(8)$

2.5 計算の手順

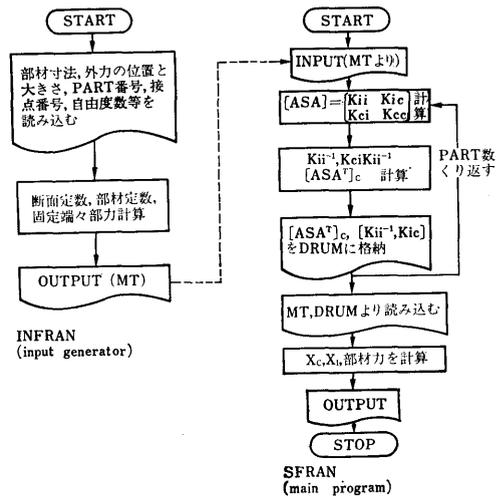


図-4 フローチャート

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN IV, FACOM 270-20

2.7 入力

NPCT, NLC.....コネクション部自由度総数, 荷重条件数

NPART, NPI, NPC, NM, NMC.....PART の番号, その PART 内・外 (コネクション

部)の自由度数, 部材数, 外荷重を受けるコネクション部材数

MEMNO ……部材番号

KGSEI ……剛性係数(通常1, 剛体部は100)

NP1, NP2, NP3, NP4, NP5, NP6 ……各部材につきその自由度番号(図-2 参照)

H, V ……2接点(部材)の水平・垂直距離

B1, B2, B3, T1, T2, T3 ……部材断面の寸法

K ……荷重の種類 { $K=0$ (無荷重), $K=1$ (分布荷重), $K<0$ (集中荷重, $|K|$ は荷重個数)}

W1, W2 ……分布荷重値 ($K=1$ のとき)

W1, W2, XW1 ……集中荷重値 ($K=-1$ のとき)

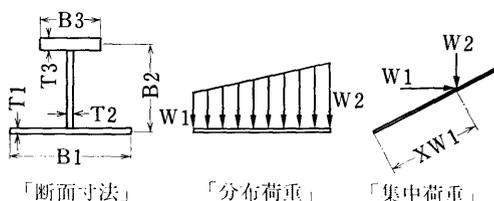


図-5

2.8 出力

A, I, Y1, Y2, SH ……部材定数(断面積, 断面2次モーメント, 中立軸よりフランジまでの距離, 剪断影響係数)

P ……固定端力マトリックス

X ……接点変位マトリックス

F ……接点応力マトリックス

SIGM ……部材各点の応力

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

単語長計算で最大3%, 通常0.1~0.2%の誤差があるが, 入力データの誤差のオーダーであるので実用的には十分である。

3.2 計算所要時間

PART, 部材, 荷重条件の数の大きさによって異なるが鉾石船の断面で約10分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

本プログラムは, 使用計算機の容量により以下の制限がある。

○PART は5個までとれる。

○各PARTにつき自由度は42まで(部材数14本)とれる。

○全PARTを結ぶコネクション部の自由度も42ま

でとれる。

○本プログラムは骨組構造解析のためのものであり, コーナー部など剛性の高い部分は隣接部材の100倍の剛性を与えているが, 骨組構造に置換しにくい板構造の多い物では誤差が大きくなる。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

プログラムが2つに分れている上に主プログラムは, 10個のセグメントを有していて, コンパイルに時間がかかるのでプログラムは全部アプソリュート形式でMTに入っている((INFRAN)…input用プログラム, (SFRAN)…主プログラム)。両プログラムのデータ媒介もMTによるのでMTをかけかえなければならない。

4.2 プログラムの応用

板構造部コーナー部等の応力計算には有限要素法が有用であるが, 本プログラムによる計算結果を使用すれば計算がかなり簡単になる。3次元骨組構造の場合は, 本プログラムによる2次元計算を組み合わせる事により簡易立体計算ができる。

4.3 他機種への移行

本プログラムはコア(16KW)をフルに使用している上に, セグメントを10個とDRUM DIMENSIONを所有している点に注意を要する。さらに複雑な構造計算をする場合は, コアのDIMENSIONとDRUM DIMENSIONを, 大きくするだけで他の大型機種に移行できる。

5. あとがき

本プログラムによれば, どんな複雑な船体についても2次元骨組計算が可能であると思われる。その計算結果はかなり良く実験値に一致しているので今後実船又は模型の設計, 荷重計画に十分役立つと思われる。さらにコーナー部の応力等を求めるために, 有限要素法による計算を組み合わせたり, 3次元骨組構造解析を行なうためには, もっと大容量の計算機が必要となるが, 近い将来共用計算機のレベルアップが行なわれるようなので, それも可能となろう。

参考文献

C. K. Wang; "Matrix Method of Structural Analysis"

松浦義一「梁の曲げにおける剪断の影響について」
関西造船協会秋季講演会(昭和32年10月)
この集他「3次元骨組構造解析プログラム TFR-AN」東芝レビュー 7巻25号(1971)

9. 2次元構造物解析有限要素法プログラム

船体構造部 青木元也

1. プログラムの目的および概要

電子計算機の発展に伴って有限要素法は構造解析の有力な手段として広く用いられている。ここでは容量が小さく補助記憶装置を有しない計算機で手軽に計算を行なえる2次元構造解析プログラムを目的とした。プログラム全体を5つの部分に分け、その間のデータの受け渡しは紙テープせん孔装置を使用した。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

44-057 有限要素法

2.2 製作者

船体構造部 青木元也

2.3 製作年月

昭和45年9月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

$x-y$ 座標系にある i, j, m の3節点からなる三角形要素を考える。要素内の変位は

$$u = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y$$

$$v = \alpha_4 + \alpha_5 x + \alpha_6 y$$

この式に各節点の座標と変位を代入して $\alpha_1 \sim \alpha_6$ を求め、これ等を用いて u, v を表わすと次の様になる。

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} N_i & 0 & N_j & 0 & N_m & 0 \\ 0 & N_i & 0 & N_j & 0 & N_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_m \\ v_m \end{Bmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

ここで $N_i = (a_i + b_i x + c_i y) / 2 \Delta$
 $N_j = (a_j + b_j x + c_j y) / 2 \Delta$
 $N_m = (a_m + b_m x + c_m y) / 2 \Delta$
 $a_i = x_j y_m - x_m y_j$
 $b_i = y_i - y_m$
 $c_i = x_m - x_j$

$$2 \Delta = \det \begin{vmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_m & y_m \end{vmatrix}$$

要素内のひずみは次のように表わされる。

$$\{\epsilon\} = \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \end{Bmatrix}$$

これに(1)式を代入すると

$$\{\epsilon\} = \frac{1}{2 \Delta} \begin{bmatrix} b_i & 0 & b_j & 0 & b_m & 0 \\ 0 & c_i & 0 & c_j & 0 & c_m \\ c_i & b_i & c_j & b_j & c_m & b_m \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \\ u_m \\ v_m \end{Bmatrix} = [B] \{\delta\}$$

平面応力に対しては応力とひずみの関係は次のように表わされる。

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \tau_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & (1-\nu)/2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = [D] \{\epsilon\}$$

仮想仕事の原理から節点外力 $\{F\}$ と節点変位 $\{\delta\}$ との関係は次の様に求まる。

節点外力による仕事 $\{\delta\}^T \{F\}$

応力による内部仕事

$$\{\epsilon\}^T \{\sigma\} t \Delta = \{\delta\}^T [B]^T [D] [B] \{\delta\} t \Delta$$

これ等を等置すると $\{F\} = [B]^T [D] [B] \{\delta\} t \Delta$

ただし Δ は三角形要素の面積

t は // の板厚

従って、要素の剛性マトリックスは $[k] = [B]^T [D] [B] t \Delta$ となる。この $[k]$ を全要素について合成し全体の剛性マトリックス $[K]$ が求まる。節点変位 $\{\delta\}$ が求まると、次式から各要素内の応力が求められる。

$$\{\sigma\} = [D] [B] \{\delta\}$$

2.5 計算の手順

プログラムは PART I ~ PART V の5つの部分に分ける。

PART I では各要素の $[B]^T [D] [B]$ を計算し、これを全体の剛性マトリックスの所定の位置に格納する。PART II では連立方程式解法の前半の部分を行なう。PART III では連立方程式解法の後半の部分を行なう。

行ない、各節点変位を求める。PART IVでは各要素の σ_x , σ_y , τ_{xy} を求め、またこれ等から各要素の主応力 σ_1 , σ_2 および主応力方向 θ を求める。PART Vではプロッターに各要素の σ_1 , σ_2 をそれぞれの方向に矢印で描く。

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN IV, FACOM 270-20

2.7 入力

大分割数(連立方程式を効率よく解くために、構造を数個の部分に分割する。当プログラムでは最大限、4), 既知変位を持った節点の総数, 節点数, 要素数, 各節点の座標, 各要素を構成する節点の番号, 既知の変位を持った節点の番号およびその量, ヤング率, ポアソン比, 外力およびそれが加わる節点番号。

2.8 出力

各節点の変位, 各要素の応力 σ_x , σ_y , σ_1 , σ_2 および

主応力方向 θ がプリントされ、また σ_1 , σ_2 , θ がプロッターに描かれる。

3. プログラムの検定

有限要素法では、要素の数を多くすれば精度が上がるわけであるが、当プログラムで許容し得る最大限の要素数を用いれば、有効数字4桁の精度を期待できる。計算はシングルで行なう。各プログラム間のデータの受け渡しに時間を要するため、節点数約40の場合についての所要時間は約1時間である。

4. プログラムの使用法について

インスタント処理で行なう。節点数40程度の計算に紙テープ1巻を消費する。

5. あとがき

故意にMTを使用しなかったが、計算時間、許容節点数の面でかなりマイナスとなった。ただし、MT装置1台ではあまり利用価値はないと思われる。

10. 実船試験 応力頻度解析プログラム (1)

船体構造部 竹 本 博 安

1. プログラムの目的と概要

従来、実船実験等の計測記録はビジコーダーによっており、その解析は人手により多大の労力と時間をかけて行なっていたが、これを省力化し、かつ高速化するためにデジタル記録方式をとり電算機による処理を行なうことにした。このために DATAC-1500を使用した。この機種では初めに DATAC の磁気テープから電算機の磁気テープへ書き換えを行ない、次に変換された磁気テープの処理を行なうという2段階の処理が必要である。本節では DATAC より電算機用テープへの書き換えのプログラムについて、次節で電算機用テープに変換されたデータについて頻度解析を行なうプログラムについて紹介する。

なお、これらのプログラムは、DATAC用システムプログラムを使用しているため、専用のシステムを必要とする。(詳細については、FACOM 270-20/30アナログ・デジタル変換装置用 IOCS 仕様書参照のこと) FACOM 270-20 (16kw), FACOM 270-30 (65kw) のシステムは既に用意されている。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

USADCF 2

2.2 製作者

船体構造部 竹本博安

2.3 製作年月

昭和45年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要(省)

2.5 計算の手順

フローチャートを図-1に示す。

2.6 プログラム用語および機種

用語: FORTRAN

機種: FACOM 270-20

DATAC-1500

2.7 入力

紙テープにより

NC: (I2) データ転送回数, File

Name の個数

IFN: (I5) File Name

IBLK: (I3) 転送するデータの Block 数

(1 Block: 1024words)

IDD: (I3) } データタックの Data No.

IDN: (I3) } (メモ用)

Key Board より

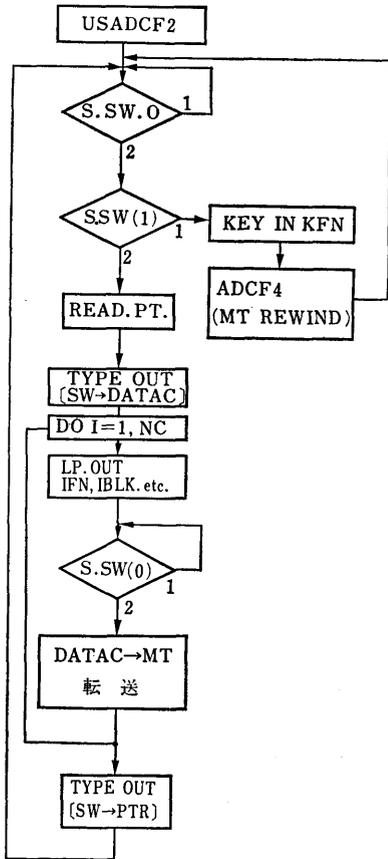


図-1 フローチャート

KFN : (I5) File Name, 変換した磁気テープの内容を LP に Print Out する時に使用する

2.8 出力

MT (0) : DATAC より (IBLK) Block だけデータが転送記録される。File Name = IFN

FACOM WRITER : 入力を PTP, DATAC のいずれにするかの Message

LP : (1) MT (0) へ記録するデータの File Name, Block 数と DATAC のデータ・ナンバー (SENSE SWITCH (1) ON のとき)

(2) File Name KFN のデータ (S. SWITCH (1) OFF のとき)

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

(366)

DATAC の磁気テープ中の記録エラーと転送中に生じたエラーについて、システム・プログラムが自動的に Check を行ない、その個数と種類を表示する。

3.2 計算所要時間

DATAC より FACOM 270-20 の磁気テープへの転送速度は、500 Hz である。250 Hz で 20 分間計測したデーターの場合、この転送に10分かかかるが、他の操作時間を考慮する必要がある。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

- 1) DATAC 用システムを LOAD する。
- 2) システム・プログラム ADSET により DATAC 用 I/O システム・プログラムに必要なパラメータを与える。
- 3) DATAC を Switch Box を介して FACOM 270-20 の Direct Channel へ接続する。(図-2 参照のこと)。この場合 SW により PTR と DATAC とを切替える。

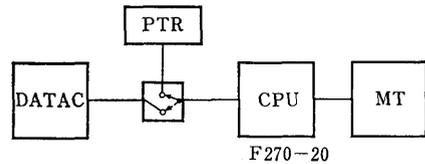


図-2 FACOM 270-20 と DATAC の接続

- 4) SW を PTR にしておき、本プログラムを BATCH 処理により実行する。

以下 FACOM WRITER への MESSAGE に従って、Sense Switch, 切換 Switch, DATAC を操作する。(詳細については、参考文献(1)参照のこと)

4.2 プログラムの応用

DATAC のデータの電算機用磁気テープへの書き換え一般に使用できる。

6. あとがき

DATAC の磁気テープの電算機用磁気テープの変換には、DATAC の搬入、電算機との接続、データック用システムの LOADING 等の手数がかかるため一度にまとめて処理することが望ましい。

参考文献

- (1) 富士通 ; FACOM 270-20/30アナログ・デジタル変換装置用 IOCS 仕様書

11. 実船試験 応力頻度解析プログラム (2)

船体構造部 竹 本 博 安

1. プログラムの目的と概要

前節のプログラムにより電算機用磁気テープに変換記録されたデータについて、このプログラムにより頻度解析を行なうことができる。このプログラムに使用するシステム・プログラムはかなり大きいコア領域を占めるため、これを補うためにデータ領域等に、磁気ドラムを利用している。このために、プログラムが少々簡単になった面もあるが、ドラムーコアの転送時間が問題となる場合もある。(コア容量が 32KW ords 以上の場合、問題にならない)。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

DATA SYS1-(G)

2.2 製作者

船体構造部 竹本博安

2.3 製作年月

昭和45年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

時間的に変動する現象について頻度分布を求める場合、取扱う量によって種々の考え方があがるが、ここでは、Peak Count と Range Count とを採っている。Peak Count では、全データの平均値と極大値との差について(図-1)、Range Count では Peak to Peak の値について(図-2) 頻度分布を求める。これ

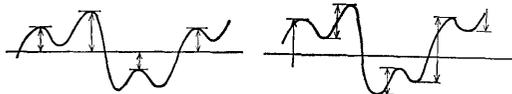


図-1 Peak Count 図-2 Range Count

らは計測されたデータが狭い周波数帯域に限られる時 Rayleigh 分布に近づくことが知られている。

次に、実船で計測された応力には、波浪等による変動応力とそれらにより生じる船体振動とが含まれており、これらを分けてその個々について頻度分布を求めおくことが必要である。このため生のデータ(1)を船体縦曲げ振動の周期で積分し、この周波数成分を除いて振動を含めぬデータ(2)とし、(1)と(2)の差をとって振動成分(3)とする。(図-3)

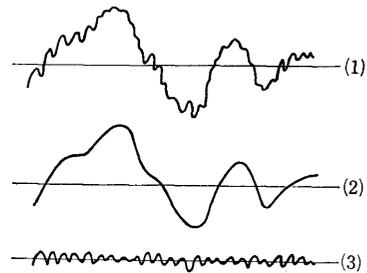


図-3 データ成分の分解

結果は、この (1) (2) (3) のそれぞれについて Peak Count, Range Count により頻度分布, 最大値, Root Mean Square を求める。

2.5 計算の手順

メイン・プログラムのフローチャートを、図-4 に示す。図-5, 6, 7 に各サブルーチンのフローチャートを示す。これらのサブルーチンの主な機能は次の通りである。

SUBCAL キャリブレーションのデータを磁気テープより読み、定数を計算する。

SBMAIN 磁気テープよりデータを読み Peak を検出して頻度分布を求める。結果はドラムに格納する。

SUBOPT ドラムより結果を読み出して修正を行なって、磁気テープ、ラインプリンタ、紙テープ・パンチャーにアウトプットする。

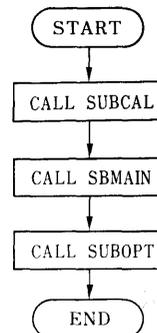


図-4 フローチャート(1)

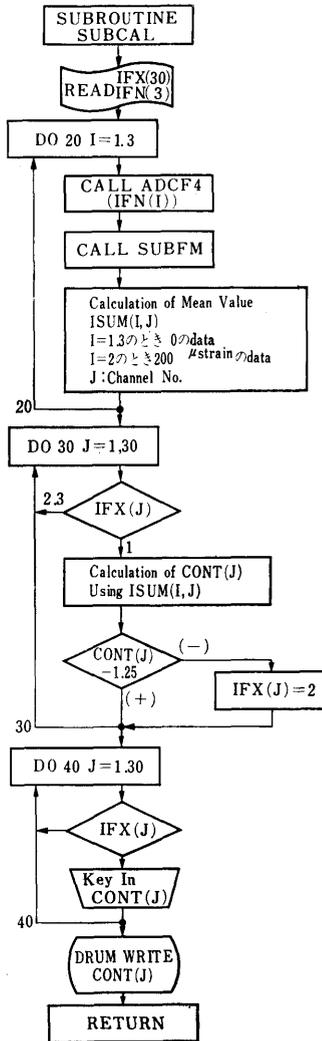


図-5 フローチャート(2)

SUBFM データーのチェックを行なう。

ADCF4 磁気テープよりコア上にデータを読み込むシステム・サブルーチン。

図-8 に Peak 検出のフローチャートを示す。

2.6 プログラム用語および機種

SUBFM のみ **ASSEMBLER (FASP)**

他は **FORTRAN**

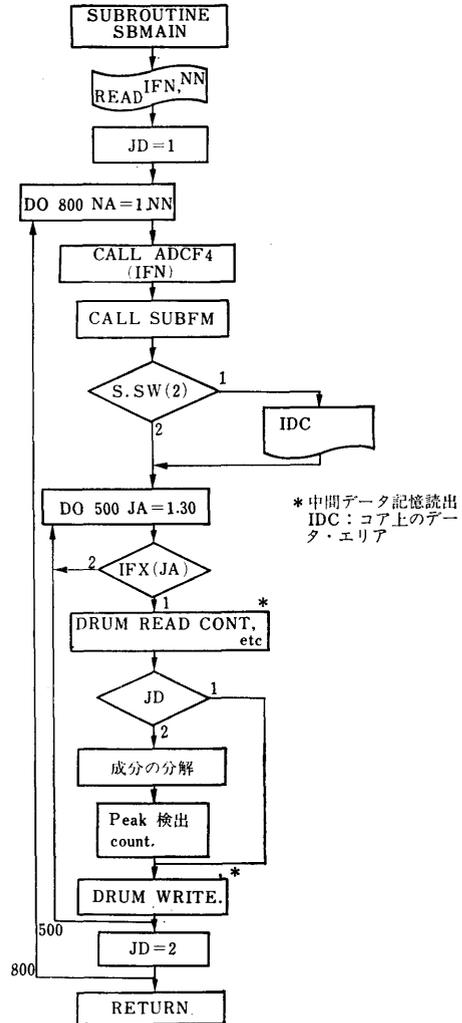
機種 ; **FACOM 270-20/30**

コア **65kW**

磁気テープ **2台必要**

2.7 入力

紙テープにより、処理を行なう **Channel** の指定



* 中間データ記憶読出
IDC: コア上のデータ・エリア

図-6 フローチャート(3)

File Name, 等を与える。

2.8 出力

Peak Count, Range Count による (1)生のデータ, (2)振動を除いたデータ, (3)振動成分の頻度分布, 最大値, **Root Mean Square** を作表してアウト・プットする。XY Plotter への入力として、紙テープ、磁気テープへもアウトプットする。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度, 誤差

データのエラーについては、**SUBFM**によりチェックし、エラーがあるときは、その部分を削除するためデータのエラーによる誤差は少ない。

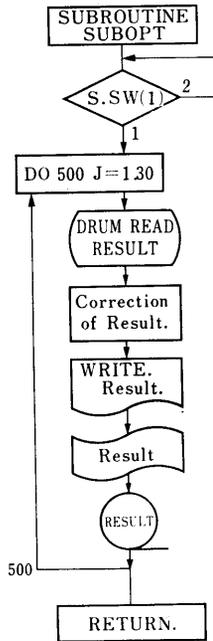


図-7 フローチャート(4)

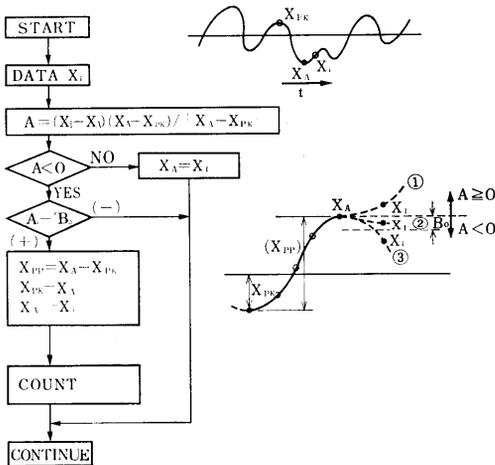


図-8 Peak 検出のフローチャート

3-2 計算所要時間

FACOM 270-30 (65kWords) を使用して, 30 Channel, データ数 30 万個について約一時間かかる。

3.3 適用範囲, 制限事項

このプログラムは, DATAC のシステムによってのみ使用できる。処理するデータ・テープはこのシステムにより変換されたもの, または DATAC-2000 によるものに限る。

4. プログラムの用法について

4.1 オペレート

- 1) DATAC 用システムを LOAD し, パラメータを SET する。MT(0)にデータ・テープを, MT(2)に出力用テープを SET する。
- 2) BATCH 処理で実行できる。

4.2 プログラムの応用

DATAC のデータの check に SUBFM が使用できる。頻度解析一般に SBMAIN その他が, 若干の修正で利用できる。

5. あとがき

このプログラムは, 昭和44年度から実船実験の解析に使用されている。結果は参考文献(1)(2)(3)に発表されている。

参考文献

- (1) 大型鉱石運搬船の船体各部応力に関する実船試験一報告書 日本造船研究協会
- (2) 安藤, 長沢他, 大型鉱石運搬船の実船試験 (その1) 船研研究発表会講演概要 (昭和45年度春季)
- (3) 安藤, 長沢他, 同上 (その2) 船研研究発表会講演概要 (昭和46年度春季)

12. ホーバークラフトの造波抵抗計算プログラム

機関開発部第1部 青 木 修 一

1. プログラムの目的と概要

ホーバークラフトは在来の船舶にない高速輸送機関として時代の脚光を浴びている。しかも航空機と船舶の中間の性格をもち水陸両用性であるが、主に水面上を航行するためその推進特性に影響する要因は複雑であり、それらの要因間には干渉もあると考えられる。しかしながら第一近似としては干渉を無視して各要因の加算が許されると考えられている。各要因として空気形状抵抗、運動量抵抗、水力学的抵抗、造波抵抗等があり、これらを実験的、理論的に解析することが必要である。この要因分析の一環として造波抵抗を解析している。模型実験に先立ち理論面から予想を立てておくことは重要であり、また、実験と比較して理論の適用範囲を知ることも必要である。よってBarrattの論文²⁾にしたがい、矩形、楕円形圧力分布をもつホーバークラフトの造波抵抗計算プログラムを作成した。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

45-037

The Calculation of Wave Drag of a Hovercraft

2.2 製作者

機関開発部第1部 青木修一

2.3 製作年月

昭和45年11月

2.4 計算の基礎となる理論

水上を走るホーバークラフトは、艇の速度で動く一連の誘起波を起こす。エネルギーはその表面上のクッション圧によってこれらの波へ供給される。この反力の水平成分が艇に造波抵抗として現われる。ホーバークラフトは水面から十分離れているので艇の速度に無関係と仮定される圧力分布に関する力として造波抵抗は計算できる。圧力分布の運動方向を x 軸、垂直上方に z 軸とし、圧力分布に固定したデカルト座標系 (x, y, z) を用いる。

理論の仮定

1. 一樣深さ h の無限に広がる流体である。

(370)

2. 圧力分布は一定速度 V_∞ で動く。
3. うずなし流れである。
4. 攪乱のない自由表面上を圧力分布が動く。
5. 攪乱のない流体に相対的な粒子の速度に比例する各流体粒子に働く摩擦力を仮定する。この単位質量当り (摩擦力)/(粒子の相対速度) = μ は、零に限りなく近づくられる。

Havelock¹⁾ に従ってラプラスの式と境界条件を満たす速度ポテンシャル ϕ を与えると造波抵抗は、

$$D_w = \lim_{\mu \rightarrow 0} \mu \rho \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \phi \frac{\partial \phi}{\partial z} dx dy$$

より求まる。(表面 $z=0$ で求める。)

Barratt²⁾ は、以上の仮定より任意圧力分布の造波抵抗式を求め、

6. 全クッション面積にわたる一樣クッション圧力 P_c を仮定し、矩形、楕円形圧力分布をもつホーバークラフトに応用し造波抵抗計算式を求めた。

- 1) 矩形圧力分布をもつホーバークラフトの造波抵抗

a. 浅水の場合

$$\frac{D_w \rho g}{P_c^2 B} = \frac{16 F_R^2}{\pi A} \int_{\theta_0}^{1/2\pi} \frac{\sin^2([\frac{K}{2F_R^2}] \cos \theta) \sin^2 \theta}{K \sin^2 \theta \cos \theta (1 - [H/F_R^2])} \cdot \frac{([\frac{KA}{2F_R^2}] \sin \theta)}{\sec^2 \theta \operatorname{sech}^2 [KH/F_R^2]} \cdot d\theta \dots \dots (1)$$

b. 深水の場合 $H \rightarrow \infty$

$$\frac{D_w \rho g}{P_c^2 B} = \frac{16 F_R^2}{\pi A} \int_0^{1/2\pi} \frac{\sin^2([\frac{1}{2} F_R^2] \sec^2 \theta \cos \theta) \sin^2 \theta}{\sin^2 \theta \sec \theta} \cdot \frac{([A/2F_R^2] \sec^2 \theta \sin \theta)}{d\theta} \dots \dots (2)$$

- 2) 楕円形圧力分布をもつホーバークラフトの造波抵抗

a. 浅水の場合

$$\frac{D_w \rho g}{P_c^2 B} = \frac{\pi A}{F_R^2} \int_{\theta_0}^{1/2\pi} \frac{K J_1^2([\frac{K}{2F_R^2}] \cos \theta)}{\cos \theta (1 + A^2 \tan^2 \theta) (1 - [H/F_R^2] \sec^2 \theta \operatorname{sech}^2 [KH/F_R^2])^{1/2}} \cdot d\theta \dots \dots (3)$$

b. 深水の場合 $H \rightarrow \infty$

$$\frac{D_w \rho g}{P_c^2 B} = \frac{\pi A}{F_R^2} \int_0^{1/2\pi} \frac{J_1^2([1/2F_R^2] \sec \theta [1 + A^2 \tan^2 \theta]^{1/2})}{\cos^3 \theta (1 + A^2 \tan^2 \theta)} d\theta \dots\dots\dots(4)$$

ここで K は

$$K - \sec^2 \theta \tanh(KH/F_R^2) = 0$$

の正の実根である。

$$H/F_R^2 \geq 1 \text{ のとき } \theta_0 = 0$$

$$H/F_R^2 < 1 \text{ のとき } \theta_0 = \cos^{-1}(H^{1/2}/F_R)$$

$D_w \rho g / P_c^2 B$ は無次元造波抵抗, ρ は水の密度, g は重力の加速度, $P_c = W / S_c$ はクッション圧力, W は艇の重量, S_c はクッション面積 (矩形では $S_c = BL$, 楕円では $S_c = \frac{\pi}{4} BL$) B は艇のクッション部最大幅, L は艇のクッション部長さ, $F_R = V_\infty / \sqrt{gL}$ はフルード数, V_∞ は艇の速度, $A = B/L$ は艇のクッション部幅の無次元量, $H = h/L$ は水深の無次元量, J_1 は第一種ベッセル関数である。

2.5 計算の手順

計算の手順は, 図-1 に示すごとくである。

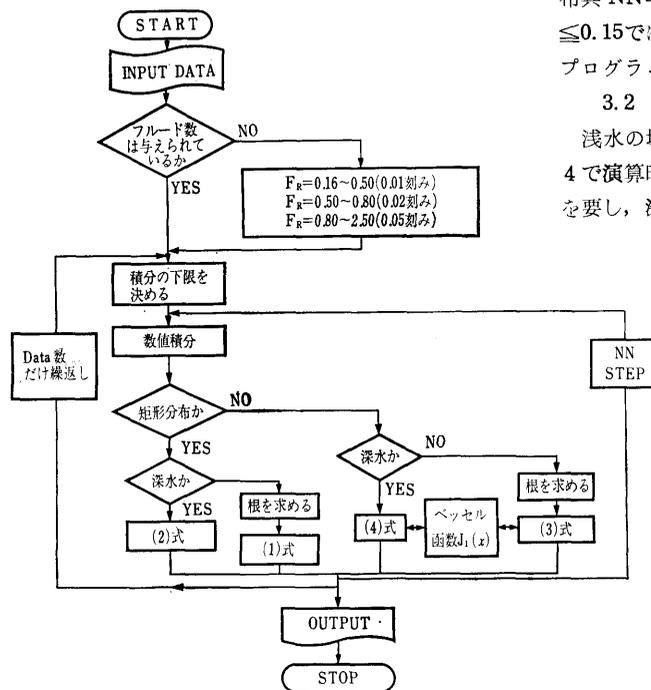


図-1

2.6 プログラム用語および計算機種

FÖRTRAN, FACÖM 270 20/30

2.7 入力

必要な入力データは次のごとくである。

IJ(I 5) フルード数のデータ数

= 0 フルード数は内部で与える

FR(IJ)(E15.7) フルード数

NN(I 5) 数値積分における積分間隔分割点数

NNN(I 5) ガウス積分における n 点式 (n=2 NN N 点分割, NNN=1~8)

A(E 15.7) 艇のクッション部最大幅 B をクッション部長さ L で無次元化した値

EH(E 15.7) 水深 h を艇のクッション長さ L で無次元化した値

EH ≥ 100.0 深水の場合

2.8 出力

入力のうち IJ 以外の全てと

R(IJ) F(10.4) 無次元造波抵抗

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

計算精度は, 演算時間と密接な関係にあるが, ここでは有効数字 3 桁程度とした。この場合矩形, 楕円分布共 NN=100, NNN=4 でよい。楕円分布の一部 A ≤ 0.15 では, NN=200, NNN=8 にする必要がある。プログラムの一部は, 倍長精度になっている。

3.2 計算所要時間

浅水の場合, 矩形, 楕円分布共 NN=100, NNN=4 で演算時間約 3 分, NN=200, NNN=8 で約 13 分を要し, 深水の場合の演算時間には, これらの約 2/3 時間を要する。なお, コンパイルには約 5 分を要する。

4. プログラムの使用法と応用

4.1 プログラムのオペレート

プログラムの実行は, ¥ BATCH で PT より行なう。

4.2 プログラムの応用

サブプログラムとして第 1 種ベッセル関数 $J_1(x)$, ガウスの数値積分 (2n 点式, n=1~8) が含まれている。

5. あとがき

本プログラムの造波抵抗計算式は, 矩形, 楕円形圧力分布という特殊なものであるが, ホーバークラフトの形状は, これらの形に近いものが多いので曳航実験に先立ち計算しておくことにより艇の造波抵抗特性をあらかじめ予測できる。

参考文献

1) T.H. Havelock, The theory of wave

resistance. Proc. Roy. Soc., Series A,
Vol, 138, 1932, PP. 339~348.

2) M. J. Barratt, The wave drag of a hove-

rcraft. J. Fluid Mech., vol. 22, Part 1, 1965,
PP. 39~47.

13. 楔型翼の温度分布および熱応力分布の計算プログラム

機関開発部第1部 森下輝夫・菅進

1. プログラムの目的および概要

ガスタービン機関の起動、停止および負荷の急激な変化に応じて、タービン翼内の温度分布は定常運転状態と比べていちぢるしく不均一となり、また時間の経過とともに変化する。この過渡温度分布にもとづいて翼内に発生する熱応力の値はかなり高く、比較的少ない回数のくり返しで翼の前縁あるいは後縁にクラックを生じることがある。これはいわゆる熱疲労といわれ、熱機関の使用壽命に大きい影響を与える。

最近開発される機関では、熱疲労壽命の予測は機関設計時に当然検討されねばならぬ基本事項の一つと考えられ、当然のことながら簡便な壽命推定法が望まれる。

複雑な形状をもつ冷却タービン翼の温度分布を通常の差分方程式にもとづいて求めるには、大きい記憶容量を必要とするので、翼断面を適当な大きさの部分に分割し、その図心に熱が蓄積されたり図心間で伝導するといった近似手法を採用する必要がある。このプログラムはこうした近似解法を複雑な形状をもった実際の冷却タービン翼に適用する前に単純な形状の楔型断面をもつ無冷却翼に適用しその適否を検討するために作成したものである。計算結果を用いて熱疲労実験を整理しているが好結果をえている。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称
45-052

Temperature and Thermal Stress Distribution in Wedge Shaped No.2 Blade

2.2 製作者

機関開発部第1部 森下輝夫・菅進

2.3 製作年月

昭和46年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

翼断面内の微少部分(図-1の斜線部分)の熱収支は、

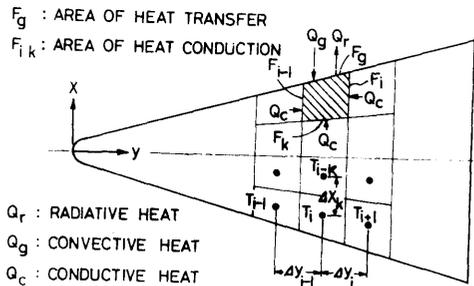


図-1

$$c\gamma S_i \frac{\Delta T_i}{\Delta \tau} = (\alpha_g F_g)_i (T_g - T_i) + \left(\frac{\lambda F}{\Delta y}\right)_{i-1} (T_{i-1} - T_i) + \left(\frac{\lambda F}{\Delta y}\right)_i (T_{i+1} - T_i) + \left(\frac{\lambda F}{\Delta x}\right)_k (T_{i-k} - T_i) + (\alpha_r F_g)_i \left\{ \left(\frac{T_o + 273}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_i + 273}{100}\right)^4 \right\}$$

ここで c, γ, λ は翼材料の比熱、密度、熱伝導率、 S_i は微少部分の面積、 α_g, α_r は対流および放射熱伝達率、 T_g, T_o はガスおよび周囲温度、 T_i 、微少部分の温度、 $\Delta \tau$ は微少時間々隔、あとの記号の意味は図に示すとおりである。

上式により材料の物性値、翼の形状、熱伝達率が与えられれば、任意時刻の温度が求まる。

断面内の温度の不均一によって生じる熱応力は弾性的とみなし、かつ断面は始め平面にあった面が変形後も平面を保つと仮定すれば、次式で表わされる。

$$\delta = AE_x + BE_y + CE - \alpha ET$$

A, B, C は定数で応力およびモーメントのつり合い条件より

$$\left. \begin{aligned} A \int Exds + B \int EydS + C \int Eds &= \int \alpha ETds \\ A \int Exyds + B \int Ey^2ds + C \int EydS &= \int \alpha ETyds \\ A \int Ex^2ds + B \int Exyds + C \int Exds &= \int \alpha ETxds \end{aligned} \right\}$$

を解いて求まる。上式中 E, α は翼材料のヤング率および線膨脹係数, x, y は各微小部分の座標, ds は同じく面積である。

2.5 計算の手順

図-2 のフローチャートに示すとおりである。

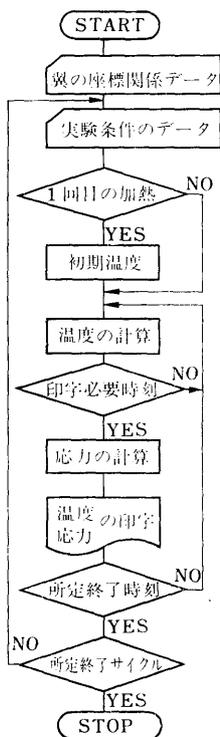


図-2

2.6 プログラム用語および計算機種
FACOM FORTRAN, FACOM 270-20

2.7 入力

- (1) 座標関係: 微小部分図心位置 X, Y
- 同面積 S
- 同ガス側伝熱面積 F
- 同熱伝導面積距離比 P
- (2) 実験条件: 対流熱伝達率 RG
- 対射熱伝達率 RRG
- ガス温度 TG
- 初期翼温度 TMO
- 翼代表温度 TMR
- ガスフィルム温度 TF
- 翼材料の熱容量 SHM
- 同熱伝導率 TCM
- ガス熱伝導率 TCG
- 計算時間間隔 DT
- 計算くり返し数 NC
- 所定計算終了時間 ET

2.8 出力

温度と応力と歪を任意の時間と場所について LP, PTP に出力する。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

温度分布は実験によって確かめる。応力は実験では検定できない。

3.2 計算時間

30秒ずつの加熱・冷却を2回ずつくり返すと定常パターンがえられるが、その場合で約60分。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

BATCH で PTより行なう。

14. タービン翼面の熱伝達率計算プログラム

機関開発部第1部 菅 進

1. プログラムの目的および概要

冷却ガスタービン翼を開発するためには翼面の熱伝達率分布を正確に知ることが重要であり、種々の翼形、種々の流れ条件のもとでの熱伝達率分布をもとに

した温度・応力解析を行なうことによってはじめて冷却翼の最適設計・寿命の推定が可能となる。本計算プログラムは翼列のポテンシャル流計算の結果得られる翼面速度分布を入力として熱伝達率分布を計算するも

のであり計算を行なうにあたり、境界層は2次元であること、非圧縮性、壁温一定、流れと壁の温度差が小さいことを仮定した。翼面境界層が層流から乱流に遷移する点を予測する方法が十分確立されていないためプログラムは層流計算部と乱流計算部に分割し、遷移点および乱流境界層初期値はプログラム中にくみこまれた方法で決定するほか入力として外部から与えることもできる。物質移動の実験と熱伝達率計算法との比較を行なうため物質移動率分布の計算を同時に行なう。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

45-054-L Heat Transfer of a Turbine Blade, Laminar Boundary Layer

45-054-T Heat Transfer of a Turbine Blade, Turbulent Boundary Layer

2.2 製作者

機関開発部第1部 菅 進

2.2 製作年月

昭和46年1月

2.4 計算法の基礎

速度境界層および熱伝達率の計算は主として Schlichting の著書(1)に示された方法にしたが行なっ

た。表-1 に計算方法の一覧を示す。

2.5 計算の手順

計算の手順を 図-1 に示す。

2.6 プログラム用語および計算機

FACOM FORTRAN, FACOM 270-20

2.7 入 力

必要な入力を表-2に示す。

2.8 出 力

よみこまれた主な計算パラメータのほか表-3, 表-4 に示す結果を印字する。乱流速度境界層の計算を2種の方法で行なっているため表-4の NU 以下は2とおりの結果を印字する。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

特に問題はない。

3.2 演算時間

30秒

3.3 適用範囲・制限事項

特に問題はない。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

実行は BATCH 処理による。

4.2 プログラムの応用

熱伝達率を計算するのみでなく、翼面上の流れの性質を推定し、翼列の空力的な研究にも役立つことができる。

表-1

計算内容	計算方法・式, () は出典
層流速度境界層	Walz (1)
層流熱伝達率	Squire (1)
層流剥離点	$A \leq -12$ (1)
層流剥離域	$A = -12$ と仮定
Schlichting 型不安定点	Schlichting (1)
" 遷移点	Granville の実験 (1)
Görtler 型遷移点	Liebmann の実験 (1)
乱流境界層初期値	Truckenbrodt (1)
乱流速度境界層 a	Truckenbrodt に準ずる(1)
" b	Garner (1)
乱流熱伝達	Kármán (1)
Görtler 渦域熱伝達率	$Nu(l) \sqrt{1+TGP}$ (3)
層流物質移動率 a	Squire (1)
" b	$Nu(Sc/Pr)^{0.4}$ (2)
乱流物質移動率 a	Kármán (1)

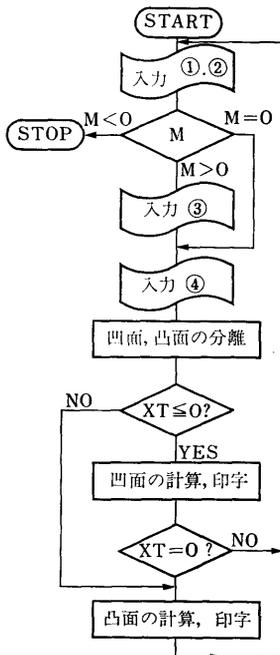


図-1

$$\text{Görtler 渦域物質移動率 } \text{Sh}(l) \sqrt{1+\text{TGP}} \quad (3)$$

表-2 入力

記号	標題
①	標題
② M	制御用数値
L	よみこみ点数
L1	前縁の位置
B2	流出角 β_2
CL	弦長 l
③ XX(1)~XX(L)	後縁から翼面上各点までの距離 x
UU(1)~UU(L)	翼面上の点における速度 u/u_∞
RR(1)~RR(L)	翼面の曲率半径 R , 凹面以外は 0 とする
④ RE	レイノルズ数 $Re = \frac{u_2 l}{\nu}$
PR	プラントル数 Pr
SC	シュミット数 Sc
XT*	乱流遷移点 x_t
GND2*	乱流境界層初期値 $\left(\frac{\delta_2}{l} \sqrt{R_s} \right)_{xt}$
GNH*	

* 層流計算では無視される。乱流計算でこれらを指定しないときはプログラムされた方法で計算した遷移点, 乱流境界層初期値が使われる。

表-3 層流計算出力

記号	説明
X	前縁からの距離 x/l
U	速度 u/u_∞
SH	Sh_x / \sqrt{Re} (squire)

SHN	$NU \times (Sc/Pr)^{0.4}$
NU	Nux / \sqrt{Re}
LAMDA	$\frac{u\delta^2}{\nu} \sqrt{\frac{du}{dx}}$
RED 1	$\frac{u\delta_1}{\nu}$
RED 2	$\frac{u\delta_2}{\nu}$
D 1	$\frac{\delta_1}{l} \sqrt{Re}$
D 2	$\frac{\delta_2}{l} \sqrt{Re}$
TGP	$\frac{u\delta_2}{\nu} \sqrt{\frac{\delta_2}{R}}$
SHG	$SHN \times \sqrt{1+\text{TGP}}$
NUG	$NU \times \sqrt{1+\text{TGP}}$

表-4 乱流計算出力

記号	説明
X	前縁からの距離 x/l
U	速度 u/u_2
NU	Nux / \sqrt{Re}
SH	Sh_x / \sqrt{Re}
SHN	$NU \times (Sc/Pr)^{0.6}$
D 2	$\frac{\delta_2}{l} \sqrt{Re}$
H	δ_1 / δ_2

参考文献

- Schlichting, Grenzschicht-Theorie, 5 th Ed. G. Braun, 1965
- 森下, 野村, 船研報告第5巻第5号, 1968
- 菅他, 国際ガスタービン会議東京大会 JSME 30, 1971

15. 環状流路内乱流熱伝達率計算用プログラム

機関開発部第2部 塚原茂司

1. プログラムの目的および概要

環状流路内を超臨界圧流体 (物性値が温度により, 大きく変動する流体) が流れる場合の伝熱問題解法の第一段階として, 物性値が一定の場合の熱伝達率を求める。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称
45-047

CAL. OF VEL. AND TEMP. DISTR. FOR
TURB. FLOW IN ANNULI

2.2 製作者

機関開発部第2部 塚原茂司

2.3 製作年月

昭和45年11月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

この計算に使用したモデルを 図-1 に示す。

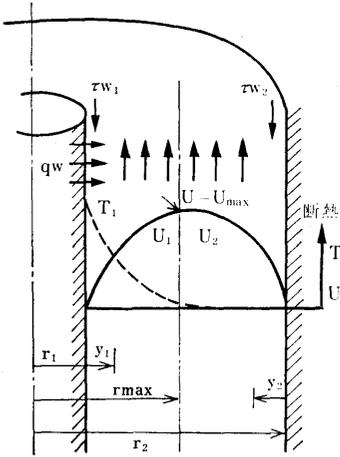


図-1 計算に使用したモデル

計算の際の仮定は次のとおりである。

- 1) 流体の速度および温度場は十分に発達しており、それぞれ軸対称である。
- 2) 軸方向の熱伝導は無視できる。
- 3) 半径方向に圧力勾配はない。

基礎式は次に示すとおりである^{1), 2)}。(記号は図-1参照)

$$\tau_1 = \rho(\nu + \epsilon_M) du_1 / dy_1 \dots\dots\dots(1)$$

$$\tau_2 = \rho(\nu + \epsilon_M) du_2 / dy_2 \dots\dots\dots(2)$$

$$q_1 = -\rho C_P (a + \epsilon_H) dT_1 / dy_1 \dots\dots\dots(3)$$

一方、半径 r におけるつりあいの式から

$$\tau_1 / \tau_{w1} = (r_1 / r) (r_{max}^2 - r^2) / (r_{max}^2 - r_1^2) \dots\dots\dots(4)$$

$$\tau_2 / \tau_{w2} = (r_2 / r) (r^2 - r_{max}^2) / (r_2^2 - r_{max}^2) \dots\dots\dots(5)$$

$$q / q_{w1} = (r_1 / r) \{ 1 - (\int_{r_1}^r u r dr / \int_{r_1}^{r_{max}} u r dr) \} \dots\dots\dots(6)$$

また、うず動粘性係数 ϵ_M とうず温度伝導率 ϵ_H とはプラントル数が1近傍では等しいと仮定し、それを次の表示式³⁾ で表わされるとする。

$$\epsilon / \nu = 0.37y^+ [1 - \exp\{-0.002(y^+)^2\}] \dots\dots\dots(7)$$

境界条件としては次のものを用いる。

$$r = r_1 (y_1 = 0) \text{ で } u_1 = 0, T_1 = T_{w1}, q = q_{w1}, \tau = \tau_{w1} \dots\dots\dots(8)$$

$$r = r_2 (y_2 = 0) \text{ で } u_2 = 0, q = 0, \tau = \tau_{w2} \dots\dots\dots(9)$$

$$r = r_{max} \text{ で } u_1 = u_2, \tau_1 = \tau_2 = 0 \dots\dots\dots(10)$$

以上の(1)~(10)式を用いて、 y_1 に対し u_1, T_1 を、 y_2 に対して u_2 を求める。

熱伝達率は次式より求める。

$$h = q_w / (T_w - T_b) \dots\dots\dots(11)$$

$$\text{ただし } T_b = \int_{r_1}^{r_2} u T r dr / \int_{r_1}^{r_2} u r dr \dots\dots\dots(12)$$

さらに得られた結果を Re, Pr, Nu 数として計算している。

2.5 計算手順

計算手順は 図-2 に示すとおりで、始めに(10)式の境界条件を満たすように τ_{w2} / τ_{w1} を加減し、次に流量を設定値に合わせるように τ_{w1} を操作している。なお常微分方程式に対しては Runge-Kutta-Gill 法を用いている。

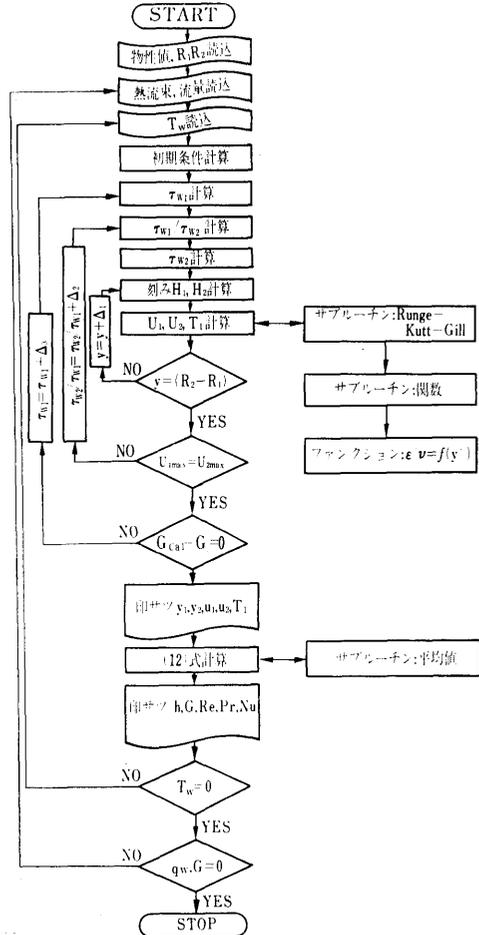


図-2 フローチャート

2.6 入力

入力データは始めに物性値を入れ、次に幾何学的条件、さらに熱流束と流量、最後に壁温をそれぞれE 12.5 の FORMAT を用いて読み込んでいる。

2.7 出力

出力は流速 u_1, u_2 , 温度 T_1 を y に対し計算したものを E-TYPE であらわし、さらに $h, G, \tau_{w1}, \tau_{w2}, R_{max}, R_r, P_r, N_u, N_u/P_r^{0.4}$ を E-TYPE で打ち出している。

3. プログラムの検討

上記計算で最大誤差は判断機構にあり、それは0.01以下である。計算時間は壁温1条件に対し、印刷時間を除いて30~60秒である。

4. プログラムの使用法と応用

使用法で注意するところは収束係数 A_2, A_3 の取り方で、これを適切にしなければならぬ。応用面に

は、管内乱流伝達等が考えられる。

5. あとがき

この計算結果は実験結果と良い一致をみた。

参考文献

- 1) Knudsen and Katz "Fluid Dynamics and Heat Transfer" McGRAW-HILL, PP. 185~200.
- 2) 田中「超臨界圧流体の乱流熱伝達に関する研究」東京大学学位論文(昭42.12)
- 3) 加藤「熱伝達におよぼす物性値の影響」東京大学学位論文(昭40.12)
- 4) J.G.Knudsen et al "Heat Transfer and Pressure Drop in Annuli" CEP Oct ('50), PP. 490~500

16. 回転円板の過渡弾塑性応力解析プログラム

機関開発部第2部 天田重庚・町田明正

1. プログラムの目的および概要

ガスタービンディスクをモデル化した等厚中空円板に過渡的熱負荷が加わる場合(即ちガスタービンの発停状態に担当する)、円板内に発生する弾塑性熱応力を解析する。得られた結果は回転円板の熱疲労や強度の推定に必要なデータを提供するものと思われる。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

45-041

Elasto-Plastic Stress Analysis of Discs Subjected to Transient Thermal Loading

2.2 製作者

機関開発部第2部 天田重庚, 町田明正

2.3 製作年月

昭和45年5月

2.4 プログラムの大きさ

- 構成…①メインプログラム+8×サブプログラム
 ステートメント数…… 305 (応力系)
 ②メインプログラム+4×サブプログラム
 ステートメント数…… 237 (温度系)
 ③メインプログラム+4×サブプログラム

ステートメント数… 185 (温度系固有値)

2.5 計算の基礎となる理論の概要

一定速度で回転している等厚中空円板の外周が温度 T_f の高温流体に接触し熱伝達加熱される場合を考える。円板の外径を b , 円径を a , 温度伝導率を κ とすれば温度分布は次式のようになる。

$$T = T_0 + \frac{T_f - T_0}{\log(b/a) + \lambda/bh} \log(r/a) + \frac{T_f - T_0}{\log(b/a) + \lambda/bh} \sum_{n=1}^{\infty} C_n \times \exp(-\kappa \alpha_n^2 t) U_0(\alpha_n r) \left\{ -Y_0(\alpha_n a) \left[\frac{b}{\alpha_n} J_1(\alpha_n b) \log\left(\frac{b}{a}\right) + \frac{1}{\alpha_n^2} J_0(\alpha_n b) \right] + J_0(\alpha_n a) \left[\frac{b}{\alpha_n} Y_1(\alpha_n b) \log\left(\frac{b}{a}\right) + \frac{1}{\alpha_n^2} Y_0(\alpha_n b) \right] \right\} \dots\dots\dots(1)$$

ただし、 T_0 は円板の初期温度、 J_0, J_1, Y_0, Y_1 は Bessel, Neuman の 0 次と 1 次の関数である。 C_n は初期条件から求まる系数。また α_n は

$$\frac{J_0(\alpha_n a)}{Y_0(\alpha_n a)} = \frac{\alpha_n J_1(\alpha_n b) - h/\lambda J_0(\alpha_n b)}{\alpha_n Y_1(\alpha_n b) - h/\lambda Y_0(\alpha_n b)} \dots\dots\dots(2)$$

を満足する α の中で小さい順に数えて n 番目の正根であり、この α_n を求めるプログラムが 2.4 に述べた②の固有値を求めるものに相当する。

応力系については若干の仮定の下で半径方向のつり合い式は次式のようになる。

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} + \rho \omega^2 r = 0 \dots\dots\dots(3)$$

適合条件式は

$$\frac{\partial \epsilon_\theta}{\partial r} + \frac{\epsilon_\theta - \epsilon_r}{r} = 0 \dots\dots\dots(4)$$

降伏条件として Mises の式を用いる。

$$\sigma_r^2 - \sigma_r \sigma_\theta + \sigma_\theta^2 = \sigma_s^2 \dots\dots\dots(5)$$

応力-ひずみ関係式はひずみ増分理論を用いた Prandtl-Reuss の式を用いる。

$$\frac{\partial \epsilon_r}{\partial t} = \alpha \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{E} \left(\frac{\partial \sigma_r}{\partial t} - \nu \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial t} \right) + \frac{\partial \epsilon_r^p}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \epsilon_\theta}{\partial t} = \alpha \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{E} \left(\frac{\partial \sigma_\theta}{\partial t} - \nu \frac{\partial \sigma_r}{\partial t} \right) + \frac{\partial \epsilon_\theta^p}{\partial t} \dots\dots\dots(6)$$

2.6 計算手順

時間軸と半径軸を採りこれを適当な間隔に分割し、それに基づいて(3)~(6)式を差分方程式に変換する。

(1)式から時間間隔における温度増分を求めこれと回転数から負荷を決定する。これにより応力、ひずみを

求める場合、(6)式中の塑性ひずみ成分 ϵ_r^p と ϵ_θ^p 、それに(5)式を含まない方程式の系にて求め、得られた応力成分で(5)式を計算し $\sigma_r > \sigma_y$ ならば、あらためて塑性成分を考慮した解析をする。図-1 にフローチャートを示す。(詳しい点については文献^{1),2)}を参照されたい。)

2.7 入力

- 円板の大きさ
- 温度の条件
- Biot 数
- 材料の機械的性質

2.8 出力

- 各々の時間における応力、ひずみ

3. プログラムの検定

3.1 精度

温度系では倍精度計算を用いた。

3.2 演算時間

半径軸は40等分、時間軸は25~40等分にて45~90分を要した。

4. プログラムの使用法と応用

4.1 オペレート

実行は ¥BATCH にて行ない、計算機容量が少なかったので MT を用いた。温度はすべて予め MT に格納しておき必要時に取出す方法によった。

5. あとがき

非定常温度分布を求め、これを円板に加えた。得られた応力-ひずみ挙動は Loading と Unloading の織りなす複雑な様相を提した。

記号

λ : 熱伝導率, h : 熱伝達率

参考文献

- 1) 天田, 町田 “非定常な熱負荷を受ける回転円板の弾塑性応力” 日本機械学会講演論文集 No. 700-13 (45-10)
- 2) S. Amada “Elasto-Plastic Stress Analysis of Rotating Discs Subjected to Transient Thermal and Centrifugal Loadings” Proceedings of the 14th Japan Congress on Material Research. (1971)

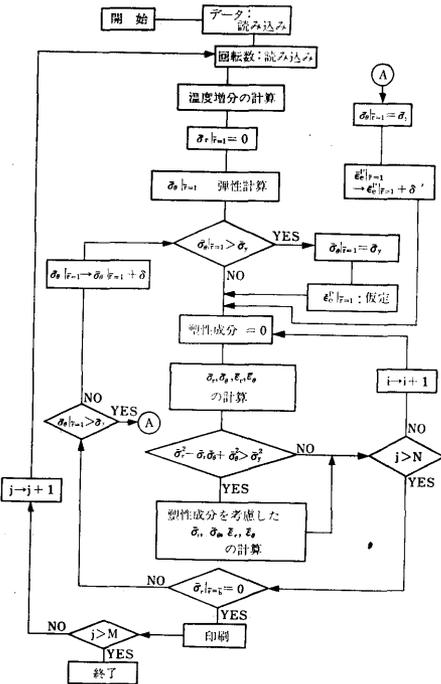


図-1

17. 燃料噴射系のシミュレーション

機関性能部 塩出敬二郎

1. プログラムの目的および概要

このプログラムは、ディーゼル機関の燃料噴射系の特性を解析するために作ったものである。ディーゼル機関の燃焼と非常に密接な関係を持つ燃料噴射率は、噴射系の設計条件、例えば燃料カム回転速度、噴射管の長さ、断面積、噴口径などにより大きく左右される。これらと燃料噴射率との関連性をこのシミュレータによって解明することができる。

計算の方法は、燃料噴射系を構成している各部について、圧力、流量、変位などの式を作りこれを連立して時間に対して解くものである。

噴射管内の流れは1次元非定常流を仮定して特性曲線法により解いている。

燃料噴射系のモデルとしては、現在広く利用されているボッシュ型ポンプと自動弁を細長い噴射管で結合した構造のものを用いた。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

SOFIS-001

2.2 製作者

機関性能部 塩出敬二郎

2.3 製作年月

昭和44年3月

2.4 計算の基礎となる理論

記号の説明

F_k	プランジャー断面積
C_k	// 速度
V_k	// 室容積
P_k	// 室圧力
E	燃料油の体積弾性率
t	時間
μ_0	燃料吸込口における流量係数
C_0	// における流速
F_0	// の開口面積
μ_d	吐出弁における流量係数
C_d	// 流速
F_d	吐出弁の開口面積

A_d	吐出弁の断面積
\dot{h}_v	// 速度
h_v	// 揚程
V_d	// 室容積
P_d	// 室圧力
C_r	噴射管入口流速
F_r	// 断面積
W_d	吐出弁質量
R	// の摩擦係数
K	// バネのバネ定数
δ_0	// バネの初期変位量
C_r'	噴射管出口流速
V_n	ノズル室容積
P_n	// 室圧力
A_n	// 針弁断面積
\dot{h}_n	// 針弁速度
h_n	// 針弁揚程
μ_n	// 針弁における流量係数
C_n	// 針弁における流速
F_n	// 針弁の開口面積
W_n	// 針弁の質量
R_n	// 針弁の摩擦係数
K_n	// 針弁バネのバネ定数
δ_{n0}	// 針弁バネの初期変位量
A_s	// 針弁座下の断面積

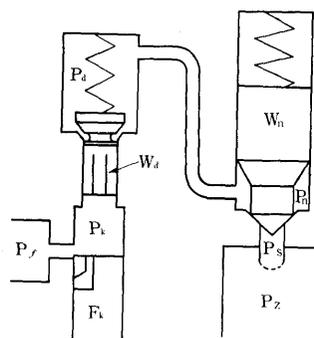


図-1

P_1 ノズル針弁座下の圧力
 P_2 シリンダ圧力

燃料噴射系モデルの概略図を 図-1 に示す。プランジャー室の圧力は、燃料吸込口からの流入量と吐出弁を通して流出する量およびプランジャー室容積により決まる。これを数式化したのが(1)式である。

$$F_k \cdot C_k = \frac{V_d}{E} \frac{dP_k}{dt} + \mu_0 C_0 F_0 + A_d \dot{h}_v + \mu_d C_d \cdot F_d \quad (1)$$

吐出弁室の圧力は、吐出弁を通して流入する量と噴射管に出て行く量および吐出弁室の容積によって決まる。

$$\mu_d C_d \cdot F_d + A_d \dot{h}_v = \frac{V_d}{E} \frac{dP_d}{dt} + C_r \cdot F_r \quad (2)$$

また吐出弁の動きは、吐出弁の質量とプランジャー室圧力と吐出弁室圧力との差およびバネ力、吐出弁の摩擦係数により、次式のように表わすことができる。

$$W_d \frac{d\dot{h}_v}{dt} + R \dot{h}_v + K(\delta_0 + h_v) = A_d(P_k - P_d) \quad (3)$$

$$\frac{ph_v}{dt} = \dot{h}_v \quad (4)$$

ノズル室においてもプランジャー室と同様に次式が成り立つ。

$$F_r \cdot C_r' = \frac{V_n}{E} \frac{dP_n}{dt} + \mu_n C_n \cdot F_n + A_n \dot{h}_n \quad (5)$$

ノズル針弁の動きについても、吐出弁と同様に次式が成立する。

$$W_n \frac{d\dot{h}_n}{dt} + R_n \dot{h}_n + K_n(\delta_{n0} + h_n) = (A_n - A_2) P_n + P_2 A_2 \quad (6)$$

$$\frac{dh_n}{dt} = \dot{h}_n \quad (7)$$

また噴射管内の流れは、1次元非定常流を仮定すれば、次の二つの基礎方程式で表わされる。

$$\frac{\partial P}{\partial x} + \rho \frac{\partial C}{\partial t} + 2\rho kc = 0 \quad (8)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} + \frac{1}{a^2 l} \frac{\partial P}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

ただし、 P ：流体圧力 C ：流体の速度 ρ ：流体の密度 x ：導管の長さ方向の座標 t ：時間 a ：流体中の音速 k ：流体抵抗係数である。この両式において、(8)式を t で偏微分し、(9)式を x で偏微分し、 $\frac{\partial^2 P}{\partial x \partial t}$ を消去すればつぎの電信方程式を得る。

$$\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{1}{a^2} \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} - \frac{2k}{a^2} \frac{\partial C}{\partial t} = 0 \quad (10)$$

この電信方程式は2次の偏微分方程式であるが、完(380)

全微分の系によって置換すれば解くことができる。そのため次の関係式

$$\frac{\partial C}{\partial x} = v, \quad \frac{\partial C}{\partial t} = q, \quad \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = r, \quad \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial t} = S, \quad \frac{\partial^2 C}{\partial t^2} = m$$

を用いると、(10)式と等価な二つの方程式を得る。

$$\left. \begin{aligned} dt - \lambda_1 dx &= 0 \\ dc - v dx - q dt &= 0 \\ dv + \lambda_2 dq - \frac{2k}{a^2} q dx &= 0 \end{aligned} \right\} (11)$$

$$\left. \begin{aligned} dt - \lambda_2 dx &= 0 \\ dc - v dx - q dt &= 0 \\ dv + \lambda_1 dq - \frac{2k}{a^2} q dx &= 0 \end{aligned} \right\} (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{ただし} \quad \lambda_1 &= \frac{1}{a} = \frac{dt}{dx} \\ \lambda_2 &= -\frac{1}{a} = \frac{dt}{dx} \end{aligned} \right\} (13)$$

(13)式は(10)式の特性曲線といわれるものである。この特性曲線は $x-t$ 面で表わせば 図-2 のようになる。

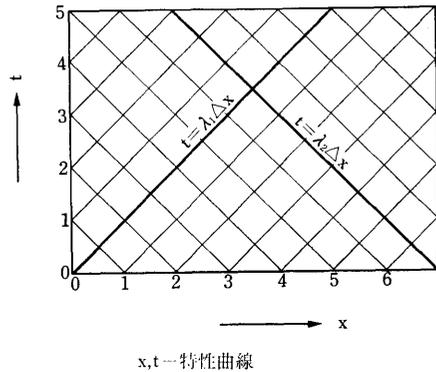


図-2

流体速度 C はこの両特性曲線の結び目で決定される。(11)、(12)式を階差法を用いて流体速度 C について解けば

$$C_{x+1, t+2} = b_1 C_{x, t} + b_2 C_{x+1, t+1} - b_3 C_{x+1, t} + b_2 C_{x+1, t+1} + b_3 C_{x, t+1} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{ただし} \quad b_1 &= \frac{k\Delta t}{1+k\Delta t} \\ b_2 &= \frac{1}{1+k\Delta t} \\ b_3 &= \frac{1-k\Delta t}{1+k\Delta t} \end{aligned}$$

である。

(13)式の内容を具体的に示したものが次の 図-3 である。それ故、噴射管両端の流体速度が与えられれば、

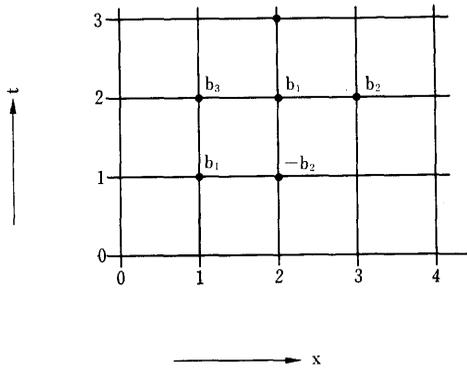


図-3

噴射管内の速度を(13)式によって決めることができる。
(9)式を階差法を用いて、 $x=0$ の位置について書けば、

$$C_{0,t+1} = C_{1,t+1} + \frac{1}{a\rho} (Pd' - Pd) \dots \dots \dots (14)$$

ただし、 Pd' は $t+dt$ における吐出弁室の圧力を表わす。これが噴射管入口の速度を表わす。同様に出口側でも求めることができる。

(1)~(7)式の微分方程式を連立して解き、噴射管入口、出口の境界条件を与えて、噴射管内の速度を漸次決定していくと、燃料噴射系全体の挙動を解析することができる。

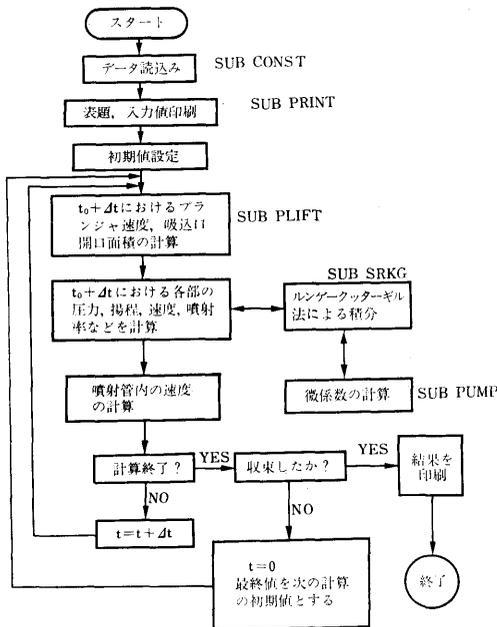


図-4

2.5 計算の手順

フローチャートを 図-4 に示す

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN IV, FACOM 270-20

2.7 入力

入力は紙テープリーダーから次のものを入れている。

- RPM 燃料カム回転数 (rpm)
- DT 計算1ステップの時間間隔 (sec)
- RACK 燃料ラック位置 (cm)
- PRES 残留圧力 (kg/cm²)
- Lpipe 燃料管分割数
- ACV 燃料中の音速 (cm/sec)
- GAM 燃料の比重量
- DP プランジャー直径 (cm)
- DD 吐出弁座直径 (cm)
- DN ノズル針弁直径 (cm)
- DC // 座直径 (cm)
- DR 噴射管内径 (cm)
- PF 燃料供給圧力 (kg/cm²)
- PZ シリンダ内圧力 (kg/cm²)
- WD 吐出弁質量 + 1/3 バネ質量 (kg sec²/cm)
- DELD 吐出弁バネのバネ定数 (kg/cm)
- DELO // の初期変位量 (cm)
- WN ノズル針弁質量 + 1/3 バネ質量 (kg sec²/cm)
- DELN ノズル針弁バネのバネ定数 (kg/cm)
- DELNO // の初期変位量 (cm)
- HSD カラー高さ (cm)
- ANU 燃料の摩擦係数
- AFN ノズル噴口面積 (cm²)
- VMO プランジャー室初期容積 (cm³)
- VDO 吐出弁室初期容積 (cm³)
- VNO ノズル室初期容積 (cm³)

この他、燃料カムの形状および燃料吸込口面積とラック位置の関係をサブプログラムにして与える。

2.8 出力

ラインプリンタに次のものが出力される。

- T 時間またはカム角度 (sec or deg)
- PP プランジャー室圧力 (kg/cm²)
- HD 吐出弁揚程 (cm)
- SD // 速度 (cm/sec)
- PD // 室圧力 (kg/cm²)
- PN ノズル室圧力 (kg/cm²)

HN	ノズル針弁揚程 (cm)
SN	// 速度 (cm/sec)
AA	燃料吸込口における流量 (cm ³ /sec)
AB	吐出弁における流量 (cm ³ /sec)
AC	噴射管入口における流量 (cm ³ /sec)
AD	噴射管出口における流量 (cm ³ /sec)
AE	ノズル針弁における流量 (cm ³ /sec)
AF	噴射率 (cm ³ /deg)
PL	プランジャー揚程 (cm)
CP	// 速度 (cm/sec)
QINJ	噴射量 (cm ³)

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

この計算は多くの仮定をおいているので、実験との比較なしには評価できない。

3.2 計算所要時間

エンジンの種類、噴射管の分割数、回転数などにより大幅に変化するが、平均1サイクル20分程度である。

3.3 適用範囲, 制限事項

特になし

4. プログラムの使用法について

4.1 オプレート

BATCH処理による。オルタレーションスイッチ 0番 ON で噴射期間のデータだけを出力。

4.2 プログラムの応用

各種噴射系のシミュレーションに応用できる。また、特性曲線法の手法を用いて1次元非定常流を解析することができる。

4.3 他機種への移行

5. あとがき

今後はキャビテーションによる音速の変化、蒸発、燃料の物性値の変化なども考慮したプログラムを開発したい。

参考文献

- (1) György Sitkei: Kraftstoffaufbereitung und Uerbrennung bei Dieselmotoren

18. 二つのベクトルの合成とその結果の作図に関するプログラム

海洋開発工学部 丹 羽 新・安 藤 定 雄

1. プログラムの目的および概要

この計算プログラムは、振動している重力式擁壁の一つの力学モデルを考えるに際して、実験的にえられた壁体の水平変位と回転変位から、モデルに対する振動入力を求めることを目的としている。

この入力ベクトル **A** は、実測した二つのベクトル **B** と **C**、および求めようとするスカラー **c** との間に、 $\mathbf{A} = \mathbf{B} - c\mathbf{C}$ なる関係があり、**A** が各実験ブロック(後述)に共通な振動数特性を持つように、**c** の値を各ブロックごとに定めたい。そのため与えられた **B** および **C** を用い、**c** を数多くかえて計算した結果が、一見して求めるものであるか否かを判断できるように、作図するプログラムである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

45-030

Calculation of Exciting Displacement when Using the Earthquake Generator

(382)

2.2 製作者

海洋開発工学部 安藤定雄

// 丹羽 新

2.3 製作年月

昭和45年9月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

人工地震発生装置によって自然地震盤に定常地震動を起し、このとき重力式擁壁の背面と底面に作用する振動土圧と壁体の変位を実測した。裏込めの状態は、i) 載荷重を加える前の裏込めのみの場合、ii) 高さ2mの載荷重を裏込め上に載せた場合、iii) 上記の載荷重の高さを1mにした場合、iv) 載荷重を取り除いた場合、v) 裏込めの砂を掘り取って代りに水を満した場合、vi) 裏込めがからの場合、について実験を行なった。この六つを実験のブロックと言うことにする。

これらの実測値から重力式擁壁の力学モデルを組み立てるのであるが、その一つとして、図-1 に示すよ

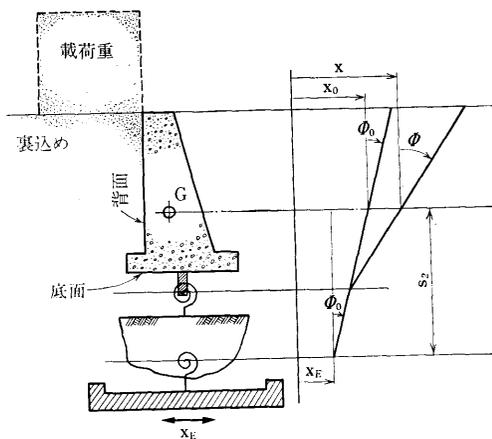


図-1 重力式擁壁と基礎地盤の力学モデル

うに壁体と基礎地盤がともに回転変位のみをなす系が考えられる¹⁾。

この図で x_0 , ϕ_0 実測値を用いて計算によって求めることができるが、この振動系への入力となる地動 x_E は直接観測することができず、 s_2 とともに計算によって求めなければならない。それらの関係式は図より明らかのように

$$x_E = x_0 - s_2 \phi_0$$

となり、 x_0 と ϕ_0 を既知として、 s_2 の値を順次変えて計算を行ない、すべてのブロックの実験を通じて x_E の振幅と位相角が共通の振動数特性を持つように、実験のブロックごとに s_2 を求め、そのときえられる地動 x_E を求める。

2.5 計算手順

計算手順を図-2のフローチャートに示す。

2.6 プログラム用語および計算機種

FACOM FORTRAN, FACOM 270-20

2.7 入力

必要な入力データは次に示すものである。

NA	……ブロックの数
NB	……全体のデータの数
NN(I)	……各ブロックの中のデータの数
MM(I)	…… s_2 を変える第1定数
HH(I)	…… s_2 を変える第2定数
NO(I)	……実験番号
FA(I)	……実験の振動数
AX(I)	…… x_0 の振幅
AL(I)	…… x_0 の位相角
PA(I)	…… ϕ_0 の振幅
BE(I)	…… ϕ_0 の位相角

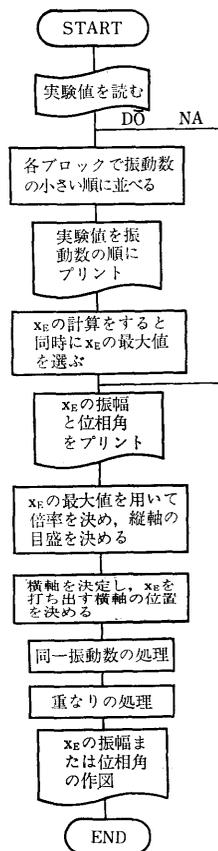


図-2 フローチャート

2.8 出力

(イ) 実験番号、実測値を各ブロックごとに振動数の小さい順に入れ換えたものをプリントする。

(ロ) s_2 , 全体の通し番号、実験番号、振動数および計算した x_E の振幅および位相角をプリントする。

(ハ) LP による作図で、振動数、 x_E の重なりを示す表示、および x_E の振幅または位相角を s_2 の値に応じた記号でプリントする。作図した例を図-3に示す。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

入力データは実験値であるので有効数字2~4桁である。また、第1段階の s_2 の値は大略を求めればよいので、計算は有効数字4桁がえられることを目標にして、単語長(整数は5桁で、実数は8桁である。)で行なった。

3.2 計算所要時間

演算だけに必要な時間は約60秒であるが、作図には

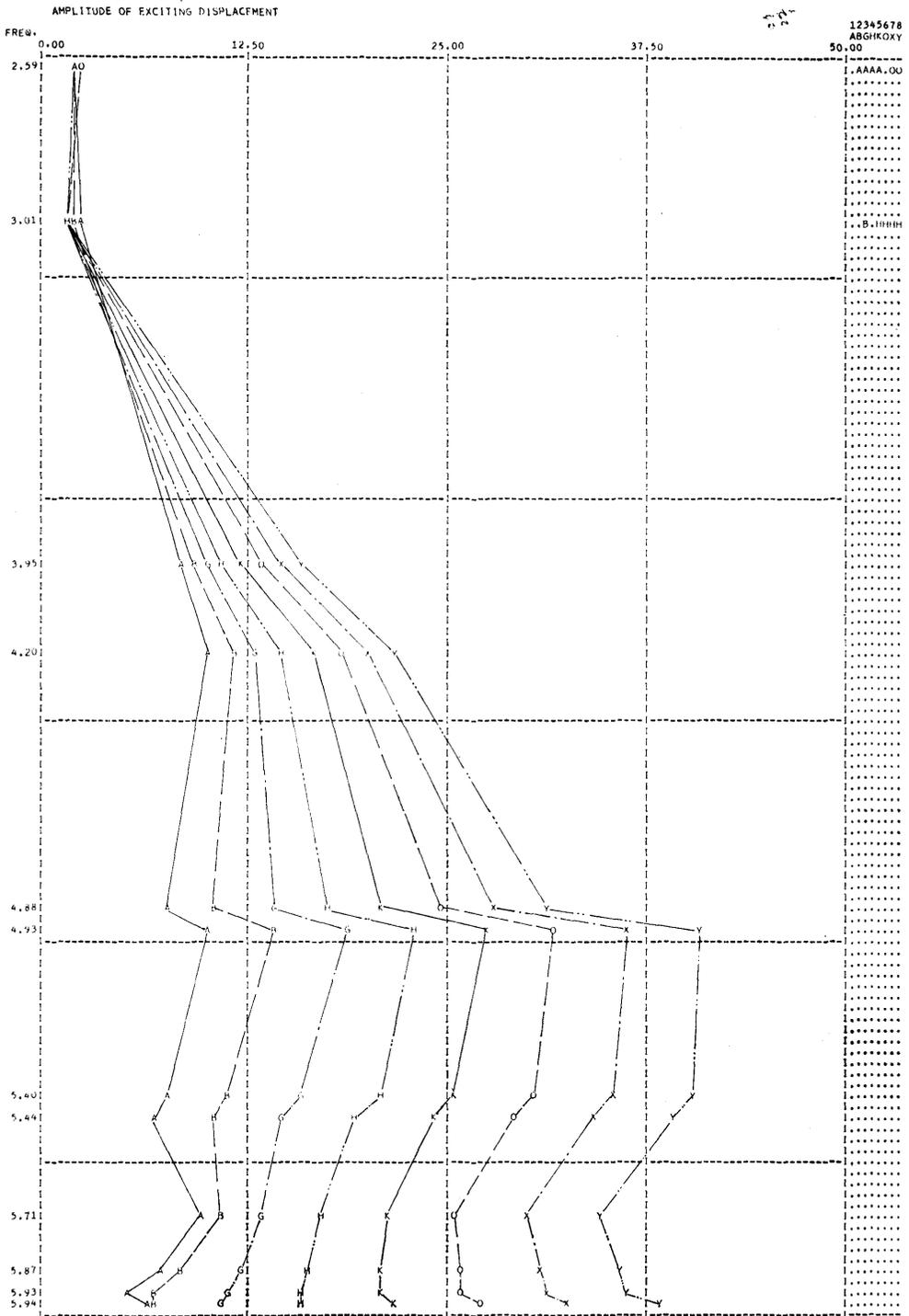


図-3 結果の一例ブロック ii) の振幅

LP の印刷速度から受ける制限があり、全体の計算機の使用時間は約3分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

作図には、同時に八つの s_2 について計算した x_E を出力させることができる。縦軸は120分割してあり、その時の目盛はプログラムの中で決めることになっている。横軸は無限の長さまで続けられる。また、同一振動数の点があれば次の行に打ち出すようになっている。

このプログラムを用いて解析できる最大容量はブロック数が12までで、一つのブロックの中は12点（振動数の種類）まで、全体のデータ数が最大72点までである。

4. プログラムの用法について

4.1 オペレート

実行は BATCH 処理で行なう。

4.2 プログラムの応用

プログラムの中で作図のための個所は XY プロッタほどの精度を要求しなければ、計算結果がどのようになっているかがすぐ見られる便利さがある。この場合、縦軸はプログラムの中で、いかなる値がきても常

に紙面の半分以上を使用するように処理している。また、重なり、同一振動数の処理もなされている。

横軸にも縦軸と同じ手法を用いれば、これも適当な目盛にすることができる。

4.3 他機種への移行

上記プログラムはほとんどがコア上で演算されているので、使用可能なコアが 8 kw 以上ある計算機ならば移行できる。しかし、すべての演算を終了してから作図にかかるため DRUM DIMENSION があるので注意する必要がある。

5. あとがき

本プログラムは計算処理自体については簡単なものであるが、XY プロッタを用いずに、任意の縦・横軸の置点、点の重なり、および同一振動数の処理などに工夫がこらされているので、今後、この手法は種々の方面で応用できると思われる。

参考文献

- 1) 丹羽 新・“重力式擁壁に作用する振動土圧について”，船舶技術研究所報告，第8巻第5号 昭和46年9月

19. 強磁性多結晶体の磁気ひずみ効果の計算プログラム

共通工学部 滝沢千嘉子

1. プログラムの目的および概要

強磁性体の磁気的な性質が応力により大きく変化することは、磁気ひずみ効果として知られている。

これを利用して、鋼材の応力を非破壊的に測定する基礎研究をおこなっているが、応力による磁束密度の変化のみでなく、透磁率の変化を理論的に求める必要が生じた。

このプログラムは、強磁性体に与えられた磁界と同じ方向の1軸応力が加えられた場合、この強磁性体の磁気ひずみ効果を、任意の方向の単結晶、および多結晶体について、広い磁界範囲にわたって計算するものである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラム番号

45-005

2.2 製作者

共通工学部 滝沢千嘉子

共通工学部 岩柳 順二

2.3 製作年月

昭和45年10月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

強磁性体多結晶内の磁化の方向は自由エネルギー F の極小条件から求める。

$$F = F_K + F_G + F_H \dots\dots\dots(1)$$

磁界および応力が小さい時は磁化の方向は、磁化容易軸方向 $\langle 100 \rangle$ を向いていると考え、(1) 式の極小値問題より磁化の方向が定まれば、磁化は次式で求まる。

$$I = I_S \sum_{i=1}^3 \alpha_i \beta_i \quad (i=1, 2, 3)$$

(1)式はラグランジュの未定係数法を用いると、未定

係数 L と α_i に関する 4 元 3 次連立方程式となる。

無次元化するため次のようにおく、

$$Q = \frac{HI_s}{2K}, \quad q = \frac{hI_s}{2K}, \quad l = \frac{L}{K},$$

$$p = \frac{3\lambda_{111}\sigma}{2K}, \quad D = \frac{\lambda_{100} - \lambda_{111}}{\lambda_{111}}$$

$$\text{式は } \begin{cases} \alpha_i^3 - l\alpha_i + \beta_i Q + \beta_i q + \beta_i (\sum_j \alpha_j \beta_j + P\alpha_i \beta_i) p = 0 \\ \sum_j \alpha_j^2 - 1 = 0 \quad (j=1, 2, 3) \end{cases}$$

となり、これを p, q について級数に展開して、解を 2 次の項まで求める。

記号は

- F_K 磁気異方性エネルギー
- F_H 磁界のエネルギー
- $\lambda_{100}, \lambda_{111}$ 磁気ひずみ定数
- σ 応力
- I_s 自発磁化
- h 微小(交番)磁界
- F_0 磁気ひずみエネルギー
- α_i 磁化の方向余弦
- β_i 磁界, 応力の方向余弦
- K 磁気異方性定数
- H バイアス磁界

磁化 I は次式となる。

$$I = A_0 + A_1 q + A_2 p + A_3 q^2 + A_4 p q + A_5 p^2 \dots \dots (2)$$

A_0 は逐次近似により求められ、 $A_1 \sim A_5$ は連立 1 次方程式で求める。

A_0 は応力がなげないときの磁化曲線

A_1 は応力 0 のときの可逆透磁率

A_2 は磁界の変化に対する磁気ひずみ効果

A_4 は可逆透磁率についての磁気ひずみ感度

A_5 は磁束密度変化の磁気ひずみ効果の非直線項

多結晶体の磁化を求めるには、単位球面の $\frac{1}{48}$ である図 (a) に示す斜線の範囲内で (2) 式を平均する。実際には、図 (b) のように三角領域を正方形領域 (ψ, ϕ) に交換し、シンプソンの $\frac{1}{3}$ 則を用いて 2 重

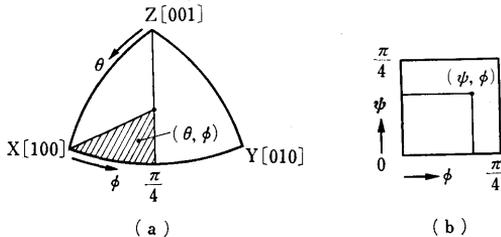


図-1

(386)

積分をおこなった。

2.5 計算の手順

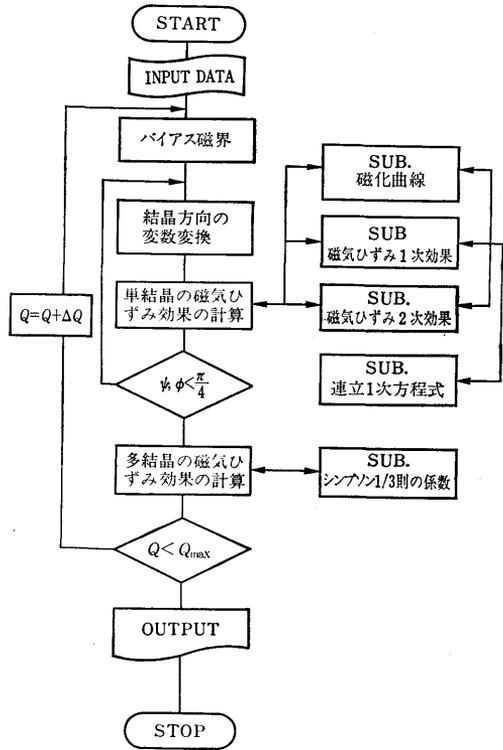


図-2

2.6 入力

1. 磁界範囲の上限値と下限値
2. 磁界範囲の分割数
3. 結晶方位の分割数
4. 磁気ひずみ異方性 $\frac{\lambda_{100} - \lambda_{111}}{\lambda_{111}}$

2.7 出力

1. 磁界
2. 単結晶の結晶方向
3. 単結晶の磁化, 磁気ひずみ効果をあらわす(2)式の, 6 個の係数 A_0, A_1, \dots, A_5
4. 多結晶体の磁化, および磁気ひずみ効果 $\bar{A}_0, \bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_4, \bar{A}_5$

近似の回数も出力する。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

A_0 の逐次近似は 10^{-5} の精度でうちきり。

最終結果は有効数字 5 桁。

3.2 計算時間

1つの磁界について、結晶方向の分割数

10×10のときの計算時間が1分。

3.3 適用範囲, 制限事項

結晶方向<110>, <111>は, 特定の磁界に対して, ある種の特異点となる。

多結晶体について平均するときは取除いた。

その影響は無視できる。

4. プログラムの使用法と応用

4.1 プログラムのオペレート

実行は BATCH 処理でおこなう。

4.2 プログラムの応用

磁気異方性定数 $K > 0$ (鉄型) のものは, このプログラムが適用される。 $K < 0$ (ニッケル型) に対しては, α_i の初期値を $\left(\frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}, \frac{1}{\sqrt{3}}\right)$ とすれば適用できる。

5. あとがき

この計算結果は実験値と比べ, 定性的にも定量的にも, かなりよい一致を示している。

20. 球状放射線遮蔽体の重量最小化計算プログラム

原子力船部 金 井 康 二

1. プログラムの目的および概要

原子力船が, 遮蔽を必要としない従来船と競合する場合, 遮蔽体設置による重量の増加, 資本費の増大および空間損失は原子力船の経済性あるいは性能に著しい影響を与える。特に軽量・小形化をめざす船用炉の設計段階で, コマースベースにあった計算時間で, 安全性を保持しつつ経済性を向上させる遮蔽の「最適化」の手法と計算プログラムが要望される。本プログラムは最適遮蔽の一連の研究中, 最初に電子計算機 NEAC 2206 用にプログラミングされたもので, 放射線透過の本質をそこなわない範囲の単純化を計り, 最適化の手法に「ダイナミック・プログラミング法」を適用して, 特に遮蔽重量に対する最適な物質配列を求める。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

SOP-DP

2.2 製作者

原子力船部 金井康二

2.3 製作年月

昭和45年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

球状遮蔽体中で, 放射線(速中性子, 熱中性子, γ 線の3種の粒子を考える)が(1)式であらわされる線形1次の減衰過程をとるものとする。

$$(1) \quad d\phi_j(r)/dr = -\phi_j(r)[\mu_j - d(\ln G(r_0, r))/dr]$$

$$+ \sum_{k=1}^3 A_{kj} \phi_k(r) \quad j=1, 2, 3$$

ただし $\phi_j(r)$: 半径 r での j 粒子のフラックス

μ_j : j 粒子の減衰係数

$G(r_0, r)$: 形状係数(球の場合 $= (r_0/r)^2$)

A_{kj} : k 粒子から j 粒子への減速または2次生成の係数

r_0 : 遮蔽体内半径

(1)式をマトリックス表示すると

$$(1') \quad d\Phi(r)/dr = M(m, r) \cdot \Phi(r)$$

ただし $\Phi(r) = (\phi_1(r), \phi_2(r), \phi_3(r))^T$

$$M = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix}$$

m_{ij} は(1)式に対応した物質定数

また遮蔽体の外径 r_N での線量は人員, 機器類の安全性の観点から定められた設計基準線量 D_0 を満足する。今線量変換係数のベクトルを F であらわせば

$$(2) \quad \langle F \cdot \Phi(r_N) \rangle \leq D_0$$

となる。ここで $\langle \rangle$ は内積を示す。

最適化の問題は, 数個の物質を与えて, (1), (2)の条件の下で遮蔽重量 $W = C \int_{r_0}^{r_N} \rho(r) r^2 dr$ ($\rho(r)$ は半径 r での密度) を最小にするような各半径 r での物質を選択することである。

今半径 r でフラックスが $\Phi(r)$ のとき r より r_N まで最適な物質 $m(r)$ で構成されたときの重量関数一ベル

マンの関数— $W^0(\phi, r) = \min_{m(r)} \int_r^{r_N} C \cdot \rho(r') r'^2 dr'$ を導入して r を微小変化 Δ だけ変化しときフラックスの変化は $\delta\phi$ とすると

$$(3) \quad W^0(\phi + \delta\phi, r + \Delta) = \min_{m(r)} \int_{r+\Delta}^{r_N} C \cdot \rho(r') r'^2 dr'$$

これより

$$(4) \quad W^0(\phi, r) = \min_{m(r)} \left[\int_r^{r+\Delta} C \cdot \rho(r') r'^2 dr' + W^0(\phi + \delta\phi, r + \Delta) \right]$$

ここでメッシュ幅 Δ の範囲内では物質は一定であると仮定すると

$$(5) \quad W^0(\phi, r) = \min_{m(r)} [4\pi\rho(r)/3 \cdot \{(r+\Delta)^3 - r^3\} + W^0(\phi + \delta\phi, r + \Delta)]$$

(5)式より r_N から逆方向に r_0 までのくり返し計算により遮蔽重量を最小にする物質 $m(r)$ がメッシュ幅 Δ 毎に順次選びだすことができる。

ただし $\delta\phi/\delta r = M(m, r)\phi$,
 $\langle F \cdot \phi(r_N) \rangle \geq D_0$

を満足しなければならない。

2.5 計算の手順

図-1 参照

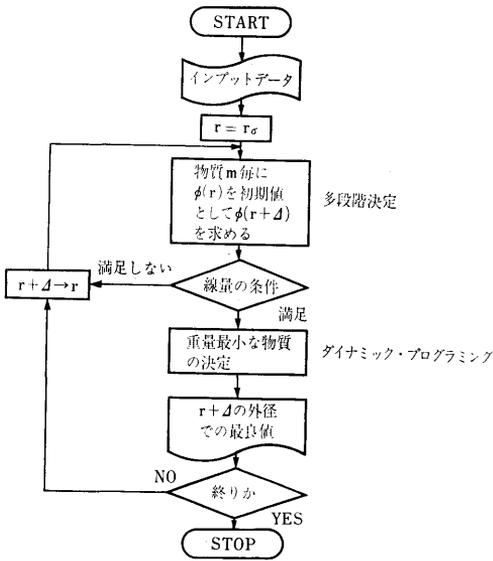


図-1

2.6 入力

- COV(I) : 線量変換係数
- DO : 設計基準線量

(388)

- RO : 遮蔽体内径
- MAXMAT : 遮蔽材総数
- MATNM(K) : 遮蔽物質名
- COEF(K, t) : 物質定数
- SMESH : メッシュ幅
- PHIO(I) : フラックス初期値

ここで I : 粒子数 1~3

K : 物質番号 1~10

L : 物質定数 1~7

2.7 出力

- DOP : 遮蔽体外径での線量
- WOP : 遮蔽重量
- MATOP(J) : J番目の最適な物質名
- PHIOP(I, J) : J番目のフラックス

3. プログラムの検定

3.1 計算誤差, 精度

既存の最適遮蔽のプログラムのうち大部分は放射線の減衰を簡単な指数関数近似で取扱っている。その点本プログラムは減速および2次発生の方も含めてあるのでデータさえそろえれば概念設計の資料としては十分であると思われる。また粒子数の増加, 例えば中性子, γ 線を更に細かいエネルギーグループに分けて取扱うこともプログラムの簡単な改良で行なわれる。

ただしこの場合計算時間との調和も考慮しなければならない。更に精度を決定する要因としてメッシュ幅が上げられるが, 試計算では2物質の配列を定めるのに5cmが磁気テープの限度であった。

3.2 演算時間

2物質の層状配列を求めるのにメッシュ幅40cmの場合約8分, 20cmの場合約40分である。

3.3 適用範囲, 制限事項

物質数はプログラム上10種類まで取扱えるが実際には3種類が限度である。またメッシュ幅は10cm以上が計算時間の点から適当と思われる。

4. プログラムの使用について

4.1 オペレート

プログラムの実行に際し次の付属機種を onにする

- 磁気テープ番号 5, 6, 7
- ラインプリンタ
- タイプライタ
- テープ読取機

センススイッチ SWO が OFF を確認してスタート

5. あとがき

本プログラムで用いられた手法を改良，発展した，微分ダイナミック・プログラミング法を応用して球・円筒・平板形状遮蔽体の資本費・重量の最適化計算をおこなうプログラムを IBM 360 モデル 75 の大型電子計算機用に作成中である。

参考文献

- 金井，片岡；船研発表会（第14回）（1969.11）
 // ；船研発表会（第16回）（1971.11）
 // ；原子力学会炉物理分科会D5（1969）
 // ；原子力学会昭和45年年会（1970）
 // ；原子力学会昭和46年年会（1971）

21. 線源コリメータの端部で発生する散乱ガンマ線の 評価プログラム

原子力船部 植木 紘太郎

1. プログラムの目的および概要

放射性同位元素は 4π 方向に一律に放射線を放射している。放射性同位元素を用いて遮蔽実験をするとき，細くしぼった線束を取出すために一般にコリメータを使用する。

コリメータを通し細くしぼった線束を遮蔽体に投射し，透過ガンマ線のエネルギースペクトルを測定する場合，検出器にはコリメータによって細くしぼられたガンマ線束からの透過ガンマ線とコリメータの端部で不可避的に発生する散乱ガンマ線が遮蔽体中を透過したものが同時に入射することになる。そこで実験の目的である遮蔽体中を透過したガンマ線の正味のエネルギースペクトルを得るにはコリメータ端部で発生した散乱線の影響を評価し，検出器によって得られたエネルギースペクトルからコリメータ端部で発生した散乱線の寄与している部分を差引かなければならない。

このプログラムは線源コリメータを用いて細くしぼった線束を平板に垂直あるいは斜め投射した場合についてコリメータ端部で発生した散乱線からの寄与を計算し，遮蔽体を透過した正味のエネルギースペクトルを計算するものである。

この計算方法によって得られたエネルギースペクトルはモンテカルロ法で計算したスペクトルとよい一致を見ている。これについてはすでに船研講演会，原子力学会講演会で発表している。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの番号および名称

JPTR 13

2.2 製作者

原子力船部 植木紘太郎

2.3 製作年月

昭和42年

2.4 計算の基礎となる理論の概要

光子は遮蔽体と種々多様な相互作用をするが，ここでは ^{60}Co の 1.33MeV，あるいはそれ以下のエネルギーの放射線を放出する放射性同位元素を対称とするものとし，次の三つの過程を考慮する。

- (1) 光電効果
- (2) Compton 散乱
- (3) 電子対創性

本計算方法を適応する実験配置では検出部にもコリメータを使用しているので，ここで問題にしているコリメータ端部で発生した散乱線が遮蔽体中で上記の相互作用を行なっても検出部には入射しないものとみなしうる。

以上のような仮定が成立つものとするれば，コリメータ端部で発生した散乱ガンマ線は， $e^{-\mu x}$ のように減衰する。

物質の線吸収係数を $\mu(E)\text{cm}^{-1}$ とすれば，

$$\mu(E) = \tau(E) + \sigma(E) + \kappa(E) \dots \dots \dots (1)$$

ここで τ , σ , κ , はそれぞれ(1), (2), (3)の過程に対する線吸収係数である。

線源コリメータ端部の中心と検出器の中心とを結ぶ直線が遮蔽体を横切る部分の線分を \bar{x} とし，この長さをコリメータ端部で発生した散乱ガンマ線の遮蔽体透過平均距離とする。

遮蔽体を \bar{x} だけ透過したガンマ線の角度エネルギーベクトル $N^s_3(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ は、投射光子の角度エネルギーベクトルを $N^s_2(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ とすれば、

$$N^s_3(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = N^s_2(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) e^{-\mu(E)\bar{x}} \dots(2)$$

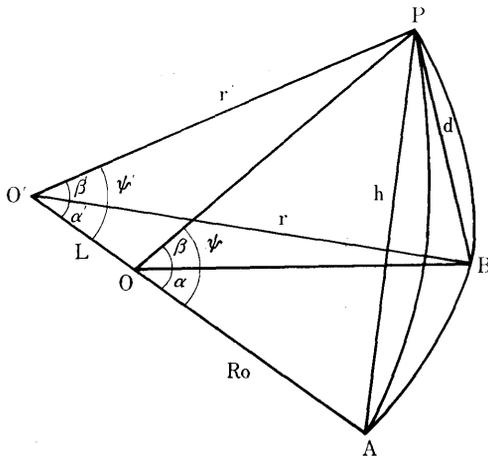
コリメータ端部で発生した散乱ガンマ線が(2)式のように減衰し、正味の遮蔽体透過ガンマ線と同時に検出器に入射する。そこで正味の遮蔽体透過ガンマ線の角度エネルギーベクトル $N^s(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ は次のように計算される。

$$N^s(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = N^s_1(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) - N^s_2(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) e^{-\mu(E)\bar{x}} \dots(3)$$

ここで $N^s_1(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ は線源コリメータの前方に遮蔽体を設置して測定した角度エネルギーベクトルである。同様に $N^s_2(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ は線源コリメータの前方に遮蔽体が置かれていない場合の測定値である。

次に(3)式の \bar{x} を計算する。

図-1 において点 P, A, B は O を中心とする半径 R_0 の同一球面上にある。 θ, ϕ はそれぞれ極角, 方位角である。



- O slab center
- O' collimator center
- ψ, ψ' scattered angle
- α, α' azimuthal angle
- β, β' latitudinal angle

図-1

球面三角形 $OPBA$ において $\angle B = \angle R$
 $\cos \Psi = \cos \theta \cos \phi + \sin \theta \sin \phi \cos \pi/2$
 $= \cos \theta \cos \phi$

(390)

$$\Psi = \cos^{-1}(\cos \theta \cos \phi) \dots\dots\dots(4)$$

$\triangle OPA$ において

$$h^2 = 2R_0^2 - 2R_0^2 \cos \Psi$$

$$h = \sqrt{2} \cdot R_0 \sqrt{1 - \cos \Psi} \dots\dots\dots(5)$$

$\triangle O'PA$ において

$$\angle O'AP = \pi/2 - \Psi/2$$

$$r'^2 = (R_0 + L)^2 + h^2 - 2(R_0 + L) \cdot h \cos\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\Psi}{2}\right)$$

$$r' = \sqrt{(R_0 + L)^2 + h^2 - 2(R_0 + L) \cdot h \cos(\pi/2 - \Psi/2)} \dots\dots\dots(6)$$

一方

$$h^2 = r'^2 + (R_0 + L)^2 - 2r'(R_0 + L) \cos \Psi'$$

$$\cos \Psi' = \frac{r'^2 + (R_0 + L)^2 - h^2}{2r'(R_0 + L)}$$

$$\Psi' = \cos^{-1} \left(\frac{r'^2 + (R_0 + L)^2 - h^2}{2r'(R_0 + L)} \right) \dots\dots\dots(7)$$

遮蔽体の厚さ X_0 と \bar{x}, Ψ' との関係は

$$\bar{x} = X_0 / \cos \Psi' \dots\dots\dots(8)$$

(7)式で $\cos \Psi'$ が求まっているので(8)式で得られた \bar{x} を(3)式に代入すれば求める正味の遮蔽体透過ガンマ線の角度エネルギーベクトル $N^s(\vec{r}, \vec{\Omega}, E)$ が得られる。

2.5 計算の手順

図-2 のフローチャートに手順を示す。

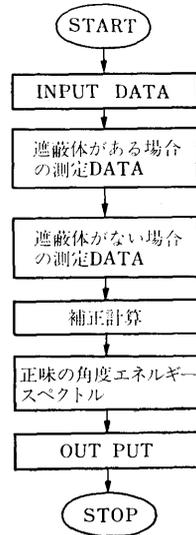


図-2

2.6 入力

- X(I) : エネルギー 5F10.5
- F(I) : 線吸収係数 5F10.5

ALPHA	:	α	F10.5
BETA	:	β	F10.5
GZAI	:	ξ	F10.5
R	:	R_0	F10.5
XLENGT	:	L	F10.5
THICK	:	X_0	F10.5
ON(I)	:	遮蔽体がない場合の測定 DATA 5F10.0	
OM(I)	:	遮蔽体がある場合の測定 DATA 5F10.0	

2.7 出力

IONN(I) : 正味の角度エネルギースペクトル
10 I 8

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

モデルの妥当性からみて光子のエネルギーが 1MeV

程度で数%以下である。

3.2 計算時間

測定点一点につきエネルギーメッシュ40点で5秒以下である。

4. プログラムの使用方法について

4.1 オペレート

4.2 プログラムの応用

このプログラムは、線源側にコリメータを使用し検出器側にもコリメータを使用する実験配置であれば、ガンマ線に限らず中性子線や電子線に対しても核データを変えれば応用できる。

5. あとがき

比較的簡単な方法でしかも短い計算時間で正味の角度エネルギースペクトルを実験データから補正計算して求められる。

22. 薄い平板遮蔽体用透過ガンマ線計算プログラム

原子力船部 植木 紘太郎

1. プログラムの目的および概要

比較的薄い鋼板に細くしぼったガンマ線束を垂直および斜め投射し、鋼板の背面で透過ガンマ線の角度エネルギースペクトルを測定する実験を行ない、この実験結果からエネルギー再生係数を求めた。

このプログラムは実験と同一の幾何学的条件の下に、遮蔽体の透過ガンマ線角度エネルギースペクトルをモンテカルロ法で計算するものである。

一般に光子と物質との相互作用は種々多様であるが、ここでは線源として放射性同位元素の ^{60}Co , ^{137}Cs 程度を考えているので次の三つの現象だけを考慮すれば十分である。

- (1) 光電効果
- (2) Compton 散乱
- (3) 電子対創生

上記の過程と乱数を組合わせて遮蔽体中での光子のふるまいを追跡し、透過した光子の位置、方向、エネルギーをそれぞれ記録し出力として取り出す。

このプログラムを用いて得られた角度エネルギースペクトルをもとに、幾何学的条件を変換して計算した広い平行線束に対するエネルギー再生係数の値は実験

値および Peebles の計算値と比較して $\pm 10\%$ 以内にある。これについては船研講演会および原子力学会で報告している。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

SPM

2.2 製作者

原子力船部 植木紘太郎

2.3 製作年月

昭和44年

2.4 計算の基礎となる理論の概要

下記の文献に手法と原理の解説がある。

A Practical Manual on the Monte Carlo Method for Random Walk Problems by E. D. Cashwell and C. J. Everett 1959 Pergamon Press.

特に光子の Compton 散乱角の決定には Kahn の Rejection Technique を採用した。

このモンテカルロ法はいわゆる“貧乏人のモンテカルロ”といわれるもので Importance Sampling を行なっておらず、したがって光子の持つウエイトは終始 1 でありルシアンルーレットによるスプレットは行

なわない。

各物理現象については細部まで説明しきれないので別の機会に報告する。

2.5 計算の手順

図-1 に手順をフローチャートで示す。

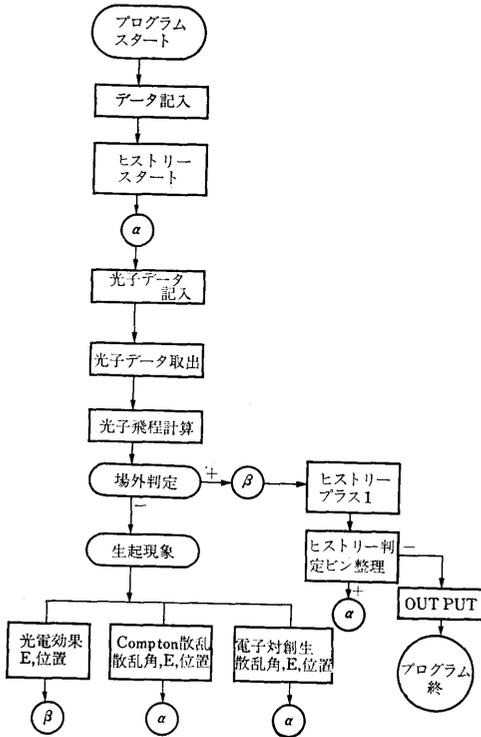


図-1

2.6 用語および計算機機種

FORTRAN II

NEAC 2206

2.7 入力

2.7.1 センス・スイッチ

SW 0 ON : MTよりエネルギースペクトルを読む

SW 1 ON : MTにエネルギースペクトルを書込む

SW 3 ON : 光子の線吸収係数をPTRより読む

SW 5 ON : 計算し終ったヒストリー数を打出す

2.7.2 入力データ

N : 今回計算するヒストリー数 I 8

NO : これまでに計算終了したヒストリーの和 I 8

R	: 疑似乱数	I 8
ϕ_0	: ガンマ線束の入射角	F 10.6
u, v, w	: 入射光子の方向余弦	3 F 10.6
x, y, z	: 入射光子の入射位置	3 F 10.6
X	: 平板のx方向の広がり	F 15.5
Y	: 平板のy方向の広がり	F 15.5
Z	: 平板の厚さ	F 15.5
DATA	: 光子の線吸収係数	5 F 12.5
ENERGY	: 光子のエネルギー	5 F 12.5
E_c	: 入射光子のエネルギー	F 12.5
E_{cut}	: Cut off エネルギー	F 12.5
∂	: エネルギーメッシュ幅	F 12.5
α_j	: 方位角メッシュ	F 12.5
β_j	: 極角メッシュ	F 12.5
r	: 測定球面半径	F 12.5

2.8 出力

N_{rh}	: 非散乱光子数	I 10
N_{DIE}	: 遮蔽体中で吸収された光子数	I 10
N_{BC}	: 後方散乱光子数	I 10
N_{DET}	: 測定に係わった光子数	I 10
NSPECT(I, J, K)	: 透過光子角度エネルギースペクトル	10 I 10
NDOSE(I, J, K)	: 角度光子数	I 10
EDOSE(I, J, K)	: エネルギー線量	F 15.5
NBACK(I, J, K)	: 後方散乱エネルギースペクトル	10 I 10

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

透過光子角度エネルギースペクトルについては計算位置によってそこに入射する光子数およびエネルギー範囲が異なるのでいちがいにヴァリアンスは計算できないが、計算で得た角度エネルギースペクトルをもとに幾何学的条件を変換して求めたエネルギー再生係数は実験値および Peebles の値と比較して±10%以内にある。

3.2 計算所要時間

線源が ^{60}Co で鋼板の厚さ 1 mfp の平板に細くしぼった線束を垂直入射させた場合、1万ヒストリーで約1時間、70° 投射にすると2時間30分程度かかる。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

目的に応じてシャンプ・スイッチをONにする。

4.2 プログラムの応用

このプログラムはこれまで単一層平板について計算

を行ってきたがプログラムの一部改訂によって多重層平板問題も計算できる。また点等方線源や他の幾何学的形状についてもプログラムの一部改訂によって応用可能である。

5. あとがき

ここで用いた手法はいわゆる“貧乏人のモンテカルロ”といわれるもので計算効率を向上する手法が使われていないため、遮蔽体が厚くなるにつれヴァリانسが大きくなり計算効率が低下する。NEAC 2206 計算機では4~5 mfp 程度まで実行可能である。

23. 厚い平板遮蔽体用透過ガンマ線計算プログラム

原子力船部 植木 紘太郎

1. プログラムの目的および概要

点等方線源からのガンマ線で有限の広がりをもった平板に入射する場合の透過光子角度エネルギースペクトルを計算し、ガンマ線再生係数の空間分布を求めるプログラムである。

モンテカルロ法を用いた計算である点、薄い平板遮蔽体用透過ガンマ線計算プログラム -SPM と変りないが、このプログラムは厚い遮蔽体を透過する光子の追跡が計算効率よく計算できるようにARMSTRONGらの Importance Functions を採用した。各光子にウエイトを持たセルシアンルーレットによるスプリットを行なっている。

遮蔽体が厚くなると電子対創生で発生する 0.51MeV の光子は吸収係数が大きいので遮蔽体中で吸収される確率が大きくなり、この過程を吸収過程として取扱えるものとする。このプログラム中では光電効果と電子対創生を吸収過程とし、Compton 散乱と二つの過程だけを考慮して計算した。

このプログラムで計算したエネルギー再生係数の空間分布は実験結果と傾向がよく合い、実験値より10%程度小さい値を示している。無限の広がりを持った鋼板に対するエネルギー再生係数を Peebles の値と比較すると±10%以内にあると推定できる。これについては原子力学会講演会で報告している。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

DPM

2.2 製作者

原子力船部 植木紘太郎

2.3 製作年月

昭和45年

2.4 計算の基礎となる理論の概要

下記の文献に手法と原理の解説がある。

A Practical Manual on the Monte Carlo Method for Randon Walk Problems by E. D. Cashwell and C. J. Everett. 1959 Pergamon Press.

Importance Function は ARMSTRONG の文献より一部修正し引用した。

A V⁰ Importance Function for the Monte Carlo Calculation of the Deep Penetration of Gamma Rays. by T. W. Armstrong and P. N. Stevens. Journal of Nuclear Energy Vol. 23, PP. 331. 1969.

各光子のウエイトを計算セルシアンルーレットによってスプリットを行なっている。

各物理現象および Importance Function の詳細な説明については別の機会に報告する。

2.5 計算の手順

図-1 に計算手順をフローチャートで示す。

2.6 用語および計算機機種

FORTRAN II

NEAC 2206

2.7 入力

2.7.1 センス・スイッチ

SW 1 ON: 光子の線吸収係数を読込む

SW 2 ON: SPCTL(I, J, K)=0

PRIM(J, K)=0, SPCWGT=0, DIEWGT=0

ELENG : 線源の位置 F12.6

ENERG(K) : エネルギー 5 F12.6

DATA(I, J) : 光子の線吸収係数 5 F12.6

EDELT : エネルギーメッシュ幅 F12.6

XT : x 方向の広がり F10.3

YT : y 方向の広がり F10.3

ZT : 平板の厚さ F10.3

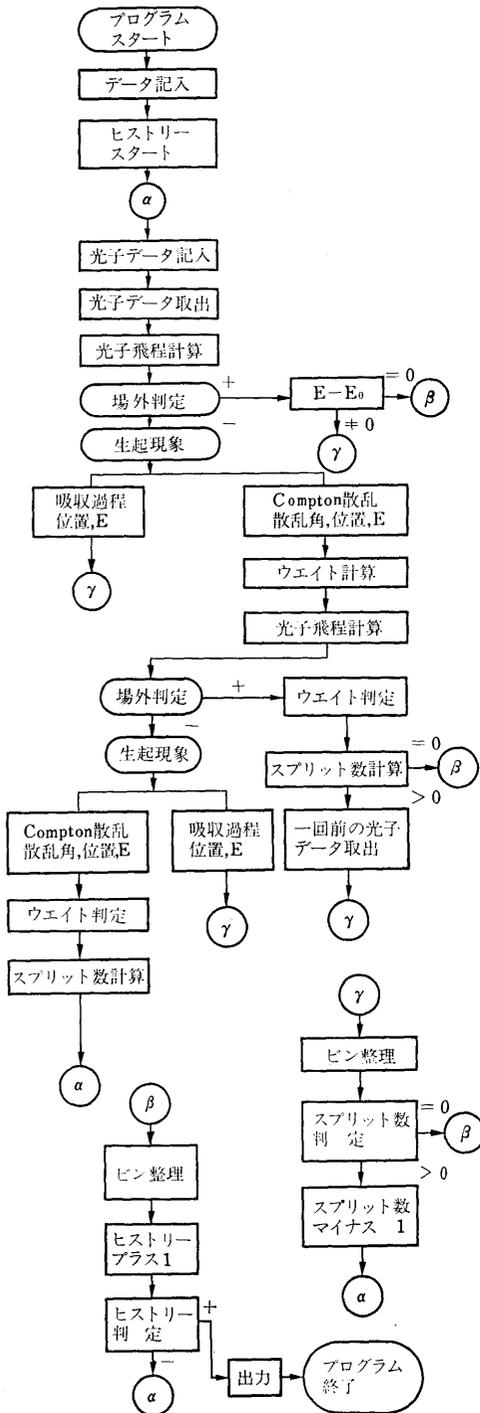


図-1

ZPLANE(I) : z 方向の測定面の位置 3F10.3
 RPLANE(J) : 測定面の z 軸からの半径 3F10.3

2.8 出力

NTHR : 非散乱光子数 I 10
 NDIE : 遮蔽体中で吸収された光子数 I 10
 NBACK : 後方散乱光子数 I 10
 NSPECT : 測定に係わった光子数 I 10
 SPECT(I, J, K) : 透過光子角度エネルギースペクトル 10F 9.2
 PRIM(J, K) : 非散乱光子角度フラックス F15.5
 WDOSE : 散乱光子ナンバーフラックス F13.3

EDOSE : 散乱光子エネルギーフラックス F13.3
 PRMWGT : 非散乱光子のウエイトの和 F14.0
 BCKWGT=0, PRMWGT=0, TOTWGT=0 の

計算を行ないそれぞれの値を MT に書込む。
 SW 3 ON : 入射光子の方向余弦を打出す
 SW 4 ON : 光子の Compton 散乱点の z 座標を打出す
 SW 5 ON : くりかえし回数を打出す
 SW 6 ON : 散乱光子のエネルギーとウエイトを打出す
 SW 9 ON : スプリットの回数を打出す
 SW 0 ON : 印字の途中でできりあげ計算値を MT に書込む

2.7.2 入力データ

NUMB 0 : くりかえし数 I 10
 NUMB 1 : これまでに計算したくりかえし数の和 I 10
 NUMB 2 : これまでに計算したヒストリー数 I 10
 NSTART : 疑似乱数 I 10
 EEOO : 入射光子のエネルギー F12.6
 ECUT : cut off エネルギー F12.6
 EDIV : 平板みこみ角の分割数 F12.6
 DIEWGT : 吸収光子のウエイトの和 F14.0
 BCKWGT : 後方散乱光子のウエイトの和 F14.0
 SPCWGT : 測定に係わった光子のウエイトの和 F14.0
 TOTWGT : 投射光子のウエイトの和 F14.0

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

透過光子角度エネルギースペクトルについては計算

点によってそこに入射する光子数およびエネルギー範囲が異なるのでいちがいにヴァリانسは計算できないルギが、計算で得たエネルギースペクトルにエネルギーのウェイトを乗じて求めたエネルギー再生係数の空間分布は実験値より10%程度小さく、傾向は良い一致を見ている。無限の広がりを持った鋼板に対するエネルギー再生係数は Peebles の値と比較し ±10%以内にある。

3.2 計算所要時間

線源が ^{60}Co で鋼板の厚さが1 mfp の平板の場合1万ヒストリーで約100分を要する。

4. プログラムの使用法について

4.1 オペレート

目的に応じてジャンプ・スイッチをONにする。

4.2 プログラムの応用

このプログラムはこれまで点等方線源、単一層平板問題の計算を行ってきたが、プログラムの一部改訂によって平行線束や多重層問題あるいは他の幾何学的形状についても応用可能である。

5. あとがき

計算効率を向上するために Importance Function を採用し各光子のウェイトを計算しシアンルーレットによってスプリットングをする手用を用いた。NEAC 2206 計算機は計算速度が遅いので数 mfp 以上厚い遮蔽体のガンマ線透過問題を計算できないのでヴァリانسの変動減少効果を立証できないが ARM-STRONG らの報告によると非常によい方法であるように述べられている。

24. 軽水炉1次冷却水喪失事故時船外に放出される放射能計算プログラム

原子力船部 野 間 口 道 義

1. プログラムの目的および概要

原子力第1船「むつ」の原子炉と同型の軽水炉について、1次冷却水喪失事故を想定して事故発生後の燃料棒温度上昇または内圧上昇による燃料棒溶融、被覆破損等のために炉心から放出される放射能の挙動を記述する、そして最終的には船外に放出される放射エネルギーを安全側に求めるプログラムを作製した。

原子力船の放射能放出事故発生後の経過を記述するには多くの不明確な因子があるので、3つのモデルを設定した(表-1)。いずれも安全側であって、3つの内ではモデルIが最も安全側であり、モデルIIIが最も実際に近い。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

表-1 計算モデルの条件

条件 モデル	出力履歴	燃料破損	コンテナ F.P. への出る割合	コンテナ に付着する割合	コンテナ からの漏洩率	スプレー Wash out 効果	炉室 換気率	フィルタ 効果	崩壊
I	階段状入力により可変	瞬時100%溶融	希ガス100% ハロゲン50% 固体1% 入力により可変	経時変化入力により可変	経時変化入力により可変	なし	無限大	なし	135核種親一娘系近似
II	同上	同上	同上	同上	同上	経時変化入力により可変	経時変化入力により可変	有入力により可変	同上
III	同上	燃料からの放射能放出の時間おくれ	同上	同上	同上	同上	同上	同上	同上

LOC (A Simulation of Radioactive Fission Product Release from a Nuclear Ship in the Loss of Coolant Accident)

2.2 製作者

原子力船部 野間口道義・佐藤健一郎

2.3 製作年月

昭和43年3月

2.4 計算の基礎となる理論の概要

モデルIおよびIIはモデルIIIの特殊な場合なので、モデルIIIについて述べる。U-235の核分裂生成物のうち、次の4つのグループの挙動を記述する(図-1)。

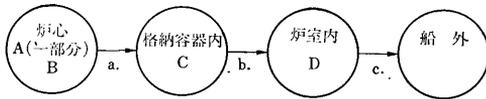


図-1 放射能の船外放出

A: 放射性のもの全体, B: 燃料棒内圧に関するもの(放射性でないものも含む), C: 格納容器内の放射性のもの, D: 炉室内の放射性のもの。この計算の基礎は安全側に結果を求めることなので、図-1の過程aでは(i)被覆破損, (ii)被覆溶融, (iii)燃料グレングロス, (iv)燃料溶融を考え、これらが起ったと判定されたときは、一刻み前の時刻に瞬時にグループAの一部が格納容器内に放出されて完全混合とする。過程bは格納容器内と炉室内との圧力差による洩れとする。過程cでは(i)炉室換気率(ii)フィルタ効率を考えにいて記述する。

燃料棒温度上昇については、燃料棒外面を断熱状態として、出力ピーキング係数が f_s の点の、事故発生後 t 秒での温度 $T(^{\circ}\text{C})$ を次式で計算する。

$$T = T_0 + \frac{f_s}{C_c + C_u} \int_0^t Q(t') dt'$$

$$T_0 = \frac{1}{C_c + C_u} (C_c \bar{T}_{c0} + C_u \bar{T}_{u0})$$

ここに、 $Q(t)$: 炉停止後 t 秒、 $f_s=1.0$ での燃料棒単位長さ当りの崩壊熱発生量, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm}$, C_u : 燃料単位長さ当りの熱容量, $\text{cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}$, C_c : 被覆単位長さ当りの熱容量, $\text{cal}/^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}$, \bar{T}_{u0} : $f_s=1.0$ の燃料初期平均温度, $^{\circ}\text{C}$, \bar{T}_{c0} : $f_s=1.0$ の点の被覆初期平均温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

燃料棒内圧上昇については、燃料棒内圧 P , kg/cm^2 を次式で計算する¹⁾。

$$P = \frac{85.0 \cdot \Gamma \cdot N \cdot \bar{T}}{V}$$

$$V = \pi (b^2 - a^2) L + \frac{0.07 \cdot M_u}{\rho_u \cdot \rho_l}$$

ここに、 Γ : 圧縮係数, \bar{T} : 燃料棒1本の平均温度, $^{\circ}\text{K}$, V : 燃料棒1本のプレナム体積, cm^3 , N : プレナム内の気体モル数, moles, a : 燃料ペレット半径, cm , b : 被覆内半径, cm , L : 燃料棒長さ, cm , M_u : 燃料棒1本の UO_2 ペレット質量, gm , ρ_u : UO_2 ペレット密度, gm/cm^3 , ρ_l : UO_2 の理論密度, gm/cm^3 。

2.5 計算の手順

事故発生前については、出力履歴を任意の階段状に与えれば、事故発生時のグループ、A, B, CおよびDに属する核種の個数の初期値がえられる。事故発生後については、定常運転時の出力ピーキング係数および燃料の比燃焼度を考慮して適当に炉心を半径方向および軸方向に分割する。このプログラムでは、分割数は半径方向、軸方向共に ≤ 15 である。このように分割した各部に定常運転時の出力ピーキング係数、燃料棒の比燃焼度を対応させる。これによって炉心の各所の温度上昇および燃料棒内圧上昇が計算される。また燃料棒の状態を示す指標を対応させて記述してゆく。

2.6 プログラム用語および計算機種

FORTRAN II, NEAC 2206

2.7 入力

(1) 紙テープ No. 1 1. 最大熱出力, Mwt 2. 最大平均熱中性子束, $\text{n/cm}^2 \cdot \text{sec}$ 3. 装荷燃料 UO_2 質量, gm 4. 燃料棒本数 5. 燃料棒長さ, cm 6. ペレット半径, cm 7. 燃料棒被覆内半径, cm 8. 同外半径, cm 9. 燃料比熱, $\text{cal/gm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 10. 被覆比熱, $\text{cal/gm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 11. ペレット密度, gm/cm^3 12. 被覆密度, gm/cm^3 13. 燃料理論密度, gm/cm^3 14. 燃料熱伝導率, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 15. 被覆熱伝導率, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C}$ 16. 燃料-被覆熱伝達率, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 17. 被覆-冷却水熱伝達率, $\text{cal/sec} \cdot \text{cm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$ 18. 運転時冷却水最高温度, $^{\circ}\text{C}$ 19. 被覆溶融点, $^{\circ}\text{C}$ 20. 燃料グレングロス温度, $^{\circ}\text{C}$ 21. 燃料溶融点, $^{\circ}\text{C}$ 22. 燃料棒内の H_e のモル数, moles 23. 事故発生後変化を追跡する時間刻み H , sec 24. 出力の時間間隔 HH , sec ($HH=nH$, $n=1, 2, \dots$)。以上, A 6, E 14.5。

(2) 紙テープ No. 2 1. MI ; 炉心軸方向分割数 ≤ 15 , I 3 2. $AL(I)$; 軸方向I番目の長さ, cm , 5E 12.0 3. MJ ; 半径方向分割数 ≤ 15 , I 3 4. $RN(J)$; 半径方向J番目の燃料棒本数, 5E 12.0 5. $FS(I,$

J); 軸方向 I, 半径方向 J 番目の出力ピーキング係数, 5E12.0 6. QPA(J); 半径方向 J 番目の燃料表面最大熱流束, cal/cm²·sec, 5E12.0 7. SB(J); 半径方向 J 番目の燃料棒比燃焼度, 5E12.0。

(3) 紙テープ No. 3 1. NH; 出力履歴の段階数, I 3 2. PCP(K); 出力履歴 K 番目の出力(%), TO (K); K 番目の継続時間(sec)。K=1, 2, …, NH; 2E12.0。

(4) 紙テープ No. 4 グループ A, C, D を親娘系近似により記述するためのデータ 1. P1(N); 親核崩壊常数, dis/sec 2. P2(N); 娘核崩壊常数, dis/sec 3. Y1(N); 娘核独立生成率, % 4. Y2(N); 娘核累積生成率, % 5. EE(N); エネルギー放出率, Mev/dis 以上, N=1, 2, …, 135; 5E12.0

(5) 紙テープ No. 5 1. SS 1(N, K); 親核の核納容器内への放出率, % 2. SS2(N, K); 娘核の放出率, % 以上, N=1, 2, …, 135; K=1 (燃料溶融以外), 2 (燃料溶融); 5E12.0。

(6) 紙テープ No. 6 グループ B を親娘系近似で記述するためのデータ 1. GP1(N); 親核崩壊常数, dis/sec 2. GP2(N); 娘核崩壊常数, dis/sec 3. GY1(N); 親核累積生成率, % 4. 娘核累積生成率, % 以上, N=1, 2, …, 47; 5E15.0。

(7) 紙テープ No. 7 燃料棒平均温度 \bar{T} , °C のとき, グループ B から内圧, kg/cm² を求めるためのデータ 1. CB(N, K); 核種 N が K 条件のもとで気体状である割合, N=1, 2, …, 47; K=1 ($\bar{T} < 672$), 2. ($672 \leq \bar{T} < 700$), 3. ($700 \leq \bar{T}$); 5E15.0。

(8) 紙テープ No. 8 核分裂生成ガスが燃料棒内プレナムに出る割合 κ を求めるデータ 1. MC; 実験データの数²⁾ ≤ 10 , I 3 2. HF(K); 燃料棒表面最大熱流束, cal/cm²·sec, D1(K); 燃焼度 1000 MWD/ton のときの κ , D²(K); 同じく 7000 MWD/ton のとき以上, K=1, 2, …, MC; 3E12.0。

(9) 紙テープ No. 9 燃料棒半径方向の平均温度 TP(K), °C のときの被覆破損内圧を求めるためのデータ 1. MS; K の最大値 ≤ 20 , I 3 2. TP(K), ST(K); 引張り強さ, kg/cm², K=1, 2, …, MS; 2E12.0。

(10) 紙テープ No. 10 1. ML; K の最大値 ≤ 20 , I 3 2. TL(K); 時刻(sec), PL(K); 格納容器内圧 (kg/cm²), $\lambda_s(K)$; スプレー wash out 効果による減衰率 (sec⁻¹), $\lambda_l(K)$; 漏洩率 (sec⁻¹), $\lambda_o(K)$; 炉室換気率 (sec⁻¹), K=1, 2, …, ML; 5E12.0 3.

FF(N); 娘核のフィルタ効率, %, N=1, 2, …, 135; 5E12.0。

2.8 出力

このプログラムは各々のモデルにおいて安全側で、放射性の 135 核種につき、次のものを求めることができる。(1) 事故発生後任意の時刻までに船外に放出された放射能, Curies (2) その時刻までに船外に放出された核種ごとの放射能, Curies (3) その時刻に船外に放出される核種ごとの放射能, Curies/sec また任意の時刻で、燃料および被覆の状態を観察できるように指標 S を打ち出す。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

事故時の放射能の挙動を記述する時間刻みを大きくしても計算結果は振動しない。それは格納容器からの洩れを濃度差ではなくて圧力差によるものとしているからである。刻みを大きくすると計算精度はおちる。しかし、その際の誤差は 2.4 で述べたことによって、かならず安全側である。

3.2 計算所要時間

一刻みの事故時の経過を追跡するのに要する計算時間は、約 1 秒である。

4. プログラムの使用法および応用

4.1 オペレート

(1) 計算を開始するとき a) 入力のための紙テープを用意する。 b) 磁気テープ 14 をセットする。これは計算中断のときに状態等が記録されるためのものである。 c) プログラム LOCA14 を実行する。 d) あとは、304 タイプライタの指示に従う。 e) 出力はラインプリンタに出る。

(2) 計算終了または中断のとき a) JSW, No. 9 を ON にする。 b) あとは、304 タイプライタの指示に従う。 c) 中断の時は磁気テープ 14 を保管しておく。

(3) 計算再開のとき a) 前項 c) の磁気テープを 14 にセットする。 b) プログラム ALOC14 を実行する。 c) 304 タイプライタの指示に従う。 d) 出力はラインプリンタに出る。

(4) 燃料棒の状態を観察するとき a) 計算実行中に JSW, No. 0 を ON にする。 b) 指標 S がラインプリンタに打ち出される。

4.2 応用

燃料棒被覆にジルカロイを用いる場合の原子力船の安全性評価にこのプログラムを応用できる。しかし、

その際は水一金反応による発熱を考えにいれるためにこのプログラムの一部を改造しなければならない。

5. あとがき

JPDR についての計算結果は JAERI-1054⁹⁾ の結果と十分な一致をしめした⁴⁾。

崩壊熱発生量 $Q(t)$ のためのデータについて、パーキンスおよびキングのデータに対する補足が文献

- 4) にある。燃料棒内核分裂生成ガスのデータについて、親娘系近似計算のできる47核種のデータが文献
- 5) に編集してある。

参考文献

1) T. D. Anderson, et al. : "Activity Release

from the N. S. Savannah in the Maximum Credible Accident", USAEC ORNL-3361

- 2) F. A. Brandt, et al. : "Irradiation Results, N. S. Savannah Core II Prototype Fuel Assemblies", USAEC GEAP-3559 (1960)
- 3) 都甲泰正: 軽水型動力炉の安全性評価, JAERI-1054 (1963)
- 4) 野間口道義, 伊従功: 原子力船の環境安全評価用の計算コード LOC, 第12回船研研究発表会講演概要 (1968)
- 5) 野間口道義, 伊従功: 船用炉の核分裂生成気体の内蔵量, 第12回船研研究発表会講演概要(1968)

25. 2次元 (r, z) 円柱形状遮蔽体透過中性子計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

2次元 (r, z) 円柱形状遮蔽体を透過する中性子を計算するため、定常の中性子積分型輸送方程式を数値解法で解き、多重層の円柱形状遮蔽体の任意の位置および遮蔽体背面における中性子角度分布を算出する。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

PALLAS-2D-CY

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和45年4月

2.4 計算理論

定常の積分型輸送方程式は次の(1)式のように表わせる。

$$\begin{aligned} \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = & \phi(\vec{r}', \vec{\Omega}, E) \exp \\ & \left[- \int_0^R \Sigma_t(\vec{r}-R'\vec{\Omega}, E) dR' \right] \\ & + \int_0^R dR' \cdot S(\vec{r}-R'\vec{\Omega}, \vec{\Omega}, E) \exp \\ & \left[- \int_0^{R'} \Sigma_t(\vec{r}-R''\vec{\Omega}, E) dR'' \right] \\ & + \int_0^R dR' \left\{ \int_0^{4\pi} d\vec{\Omega}' \int_E^\infty dE' \right. \\ & \cdot \Sigma_s(\vec{r}-R'\vec{\Omega}; E' \rightarrow E, \vec{\Omega}' \rightarrow \vec{\Omega}) \end{aligned}$$

$$\phi(\vec{r}-R'\vec{\Omega}, \vec{\Omega}, E) \}$$

$$\times \exp \left[- \int_0^{R'} \Sigma_t(\vec{r}-R''\vec{\Omega}, E) dR'' \right] \dots (1)$$

上式を数値解法で解くと次の(2)式のように差分形式が得られる。

$$\begin{aligned} \phi(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) = & \phi(\vec{r}', \vec{\Omega}, E) \exp \left[- \Sigma_t(\vec{r}', E) R \right] \\ & \times K_2(\vec{r}, \vec{r}', R, E) \\ & + \left\{ G'(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \left[\Sigma_t(\vec{r}', E) R \right. \right. \\ & \left. \left. + \exp \left[- \Sigma_t(\vec{r}', E) R \right] - 1 \right] \right. \\ & \left. + G'(\vec{r}, \vec{\Omega}, E) \left[1 - \left[1 + \Sigma_t(\vec{r}', E) R \right] \right. \right. \\ & \left. \left. \exp \left[- \Sigma_t(\vec{r}', E) R \right] \right] \right\} \\ & \times K_1(\vec{r}, \vec{r}', R, E) \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

(1)式から(2)式の導出の詳細は参考文献(1)を参照されたい。

2.5 フローチャート

参考文献(2)を参照されたい。

2.6 入力

参考文献(2)を参照されたい。

2.7 出力

参考文献(2)を参照されたい。

3. プログラムの検定

この項は参考文献(1)および(2)を参照されたい。

なお最初の PALLAS-2D-CY プログラムは次の制

限条件であったが、下記のように変更した。

- エネルギーグループ数 ≤ 50
- 物質領域数 $\leq 16(4 \times 4)$
- 空間メッシュ数 $\leq 1,200(24 \times 50)$
- 角度方向メッシュ数 = 24(半球面上)

この条件を計算機システムのコア容量の拡大により次のように制限緩和をした。

- エネルギーグループ数 ≤ 50
- 物質領域数 $\leq 36(4 \times 9)$
- 空間メッシュ数 $\leq 1,800(60 \times 30)$
- 角度方向メッシュ数 = 24

4. 計算機機種およびプログラム用語

IBM 360 モデル 75

FORTRAN-IV

5. あとがき

本プログラムは原子炉の炉心や原子炉さらに遮蔽体を有限円柱形状で表わし、中性子の透過計算をすすめる

る極めて精確な計算プログラムである。しかしその反面、大量の計算時間を必要とする。したがって現時点では遮蔽の実用計算には適さない。他のより簡単な計算技法にもとづく計算プログラムに対する標準プログラムとして使用することになろう。なお本プログラムは UNIVAC 1108 計算機に対しても使用できるようにする予定である。

参考文献

- (1) K. Takeuchi; Numerical Solution to Space-Angle Energy-Dependent Neutron Integral Transport Equation, J. Nucl. Sci. Technol. Vol. 8 [3] (1971)
- (2) 竹内 清; 有限円柱形状遮蔽体に対する中性子計算コード PALLAS, 船研報告 第7巻第5号 (1970)

26. 1次元平板および球対称形状遮蔽体透過中性子計算プログラム

原子力船部 竹 内 清

1. プログラムの目的および概要

1次元平板および1次元球対称形状遮蔽体を透過する中性子を求めるため、定常の中性子積分型輸送方程式を数値解法で解き、多重層の平板あるいは球対称形状遮蔽体の任意の位置および遮蔽体背面における中性子角度分布を算出する。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

PALLAS-PL, SP

2.2 製作者

原子力船部 竹内 清

2.3 製作年月

昭和46年1月

2.4 計算理論

PALLAS-2D-CY プログラムの計算理論と同様である。詳細は PALLAS-2D-CY プログラムの参考文献(1)を参照されたい。

2.5 フローチャート

2.6 入力

2.7 出力

以上の2.5から2.7は参考文献(1)を参照されたい。

3. プログラムの検定

PALLAS-2D-CY プログラムの参考文献(1)を参照されたい。

4. 計算機機種およびプログラム用語

IBM 360 モデル 75

FORTRAN-IV

計算機のコア容量を約70K語必要とし、外部記憶容量(磁気ディスクあるいは磁気ドラム)を約 7.5×10^6 語必要とする。本プログラムは近日中に UNIVAC 1108計算機も使用できるようにする予定である。

5. あとがき

1次元形状用計算プログラムは計算時間が少なくてすむので実用の中性子遮蔽計算に適している。

参考文献

- (1) 本プログラムの使用マニュアルを船研報告に提出の予定である。