

7) 基本波形を採り出すために使用するパルスのレベルは揃っていることが望ましい。

3. プログラムの応用

本プログラムは単にデジタルデータのチャンネル毎の割り振り作業を行った後、各チャンネル毎に最小自乗法によるキャリブレーション定数の算出、またある個数のデジタルデータを基に最大値の検索とフーリエ解析を行い、結果をXYプロッタ等に作画するだけなので、1 KHz 程度までの振動現象の周波数分析を対象とするものなら変数名を変えるだけで使用できる。

4. プログラムの検定等

4.1 計算精度および誤差

2.6 計算機および制限事項を参照。

4.2 計算所要時間

10周期分の変動波形の解析を行ってその平均値を出す場合で約50秒程度。

ただしX・Yプロッタ等に結果を作図するルーチンは外して行う。

5. あとがき

フーリエ逆変換を行って解析が正しいことをチェックするルーチンはテストデータで確認したので省略してある。また最近ではパソコンの普及により表題等の作業はパソコン用A/D変換器でデジタル化されたデータを直接処理して行われるが、Digital MTの代わりにパソコンから送り込まれたデータを使っても解析できるように組替えるつもりである。

参 考 文 献

- 1) DATAC-2000 (PB) 高速データ集録装置取扱説明書, 岩崎通信機K.K.
- 2) FACOM OSIV/F 4 DATAC-2000A/DP-4000用磁気テープ入出力ルーチン外部仕様 FACOM HITAC K.K.
- 3) 標準試験法 第2分冊 9 波形解析法 推進性能部
- 4) 岩波講座 基礎工学 4 数値解析 II
- 5) FACOM OSIV GDP 使用手引書, 1970 富士通K.K.

7. 2重反転プロペラの設計及び性能計算プログラム

推進性能部 門 井 弘 行

1. プログラムの目的および概要

高効率の期待できる特殊プロペラのの一つとして2重反転プロペラがある。しかしその設計は、前後に配置した2個のプロペラ間の相互干渉を考慮する必要があるため、通常の1軸プロペラを設計するほど簡単ではない。本プロペラは Lerbs¹⁾ の induction factor method を基にした Morgan²⁾ の2重反転プロペラの設計法をプログラム化したものである。

設計は最初に前後プロペラそれぞれを相互干渉を無視した equivalent propeller として設計する。その後、前後プロペラ間の相互干渉、前後プロペラ位置の伴流の差違、後方プロペラの後流の縮流効果等の影響を修正した actual propeller を設計する。最後にピッチ、キャンバーにたいして揚力面補正および摩擦修正を施して最終的なプロペラ幾何形状が決定される。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

2重反転プロペラの設計及び性能計算プログラム
The Design of Contra-Rotating Propeller

2.2 製作者

推進性能部 小久保 芳男

2.3 製作年月

昭和49年4月

2.4 計算の概要

I. equivalent propeller の設計

- 1) 与えられた設計条件よりスラスト係数 C_{Ti} および C_{Tsi} を計算する。また、 C_{Ti} によりプロペラの理想効率 η_i を Schultz の図表より求める。
- 2) プロペラの前進角 β , 伴流値 w を基にプロペラの流体力学的ピッチ角 β_i を計算する。

- 3) induction factor を計算し、無次元循環 G^* のフーリエ係数 G_m に関する方程式を解いて G_m^* を求め、この値を用いて軸方向および接線方向の誘導速度 U_A , U_T を計算し、 U_A/U_T が初期値と十分一致するまで繰り返し計算を行う。
- 4) G^* , U_A , U_T が収束したら、スラスト係数 C_{TS}^* を計算し、設計値と十分一致するまで β_i を修正して繰り返し計算を行う。
- 5) C_{TS} が収束したら equivalent propeller の G^* , U_A , U_T の最終値を打ち出す。

II. actual propeller の設計

ここでは干渉速度、前後プロペラの間隔、前後プロペラ位置の伴流の差違、プロペラ後流の縮流効果等の影響を考慮した流体力学的ピッチ角を求めてピッチを決定する。また、キャビテーションを考慮してプロペラ幾何形状を求め、これに揚力面補正、摩擦修正を施し、一対の2重反転プロペラの幾何形状を決定する。

- 1) equivalent propeller の設計で求めた G^* , U_A , U_T を用いて、前後プロペラの誘導速度にたいする相互干渉係数 f_a , g_a , 後流の縮流効果を示す contraction factor δ , 前後プロペラが同一トルクで作動するための circulation factor ζ を計算し、これらを取り入れた流体力学的ピッチ角 β_i を計算する。最初に $(1 + \delta)(1 + \zeta) = 1 = M_0$ を初期値として、 δ , ζ を計算し、 $1 - (M_i/M_0) < 0.01$ まで繰り返し計算を行う。 δ , ζ が収束したら、 $\bar{\delta}$, $\bar{\zeta}$ を用いて前後プロペラの流体力学的ピッチ角 $(\tan \beta_i)_1$, $(\tan \beta_i)_2$ を計算し、ピッチ比の第1近似値を求める。
- 2) Burrill のキャビテーション判定基準 (SRI の設計線) に基づいてプロペラ翼面積を求め、MAU 型プロペラの標準翼輪郭に倣って半径方向の翼幅分布を、また翼強度計算を行って半径方向の翼厚分布を決定する。
- 3) 循環を基に揚力係数を、また設計条件よりキャビテーション数を計算し、2次元翼型の初生キャビテーション曲線図より各翼素のキャンバー比の第1近似値を求める。
- 4) ピッチ比およびキャンバー比の第1近似値にたいして揚力面補正および摩擦修正を施して、半径方向のピッチ比およびキャンバー比の最終的な分布を決定する。
- 5) 最後に設計点におけるプロペラ特性を計算して設計が終了する。

2.5 計算の手順

計算の手順は、図-1～図-4 のフローチャートに示すとおりである。

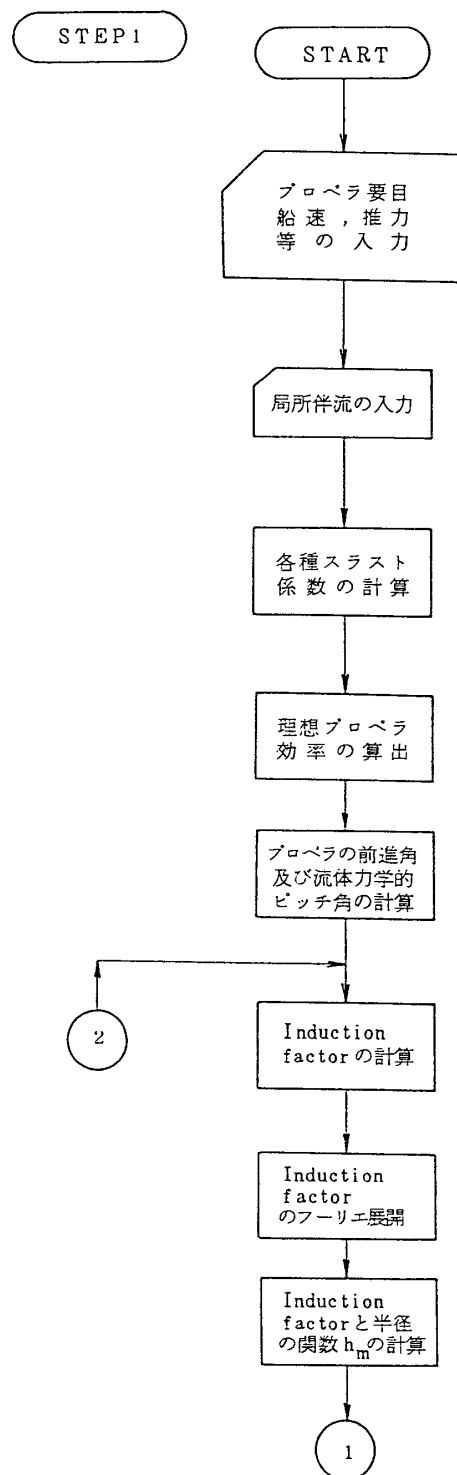


図-1 フロチャート (1-1)

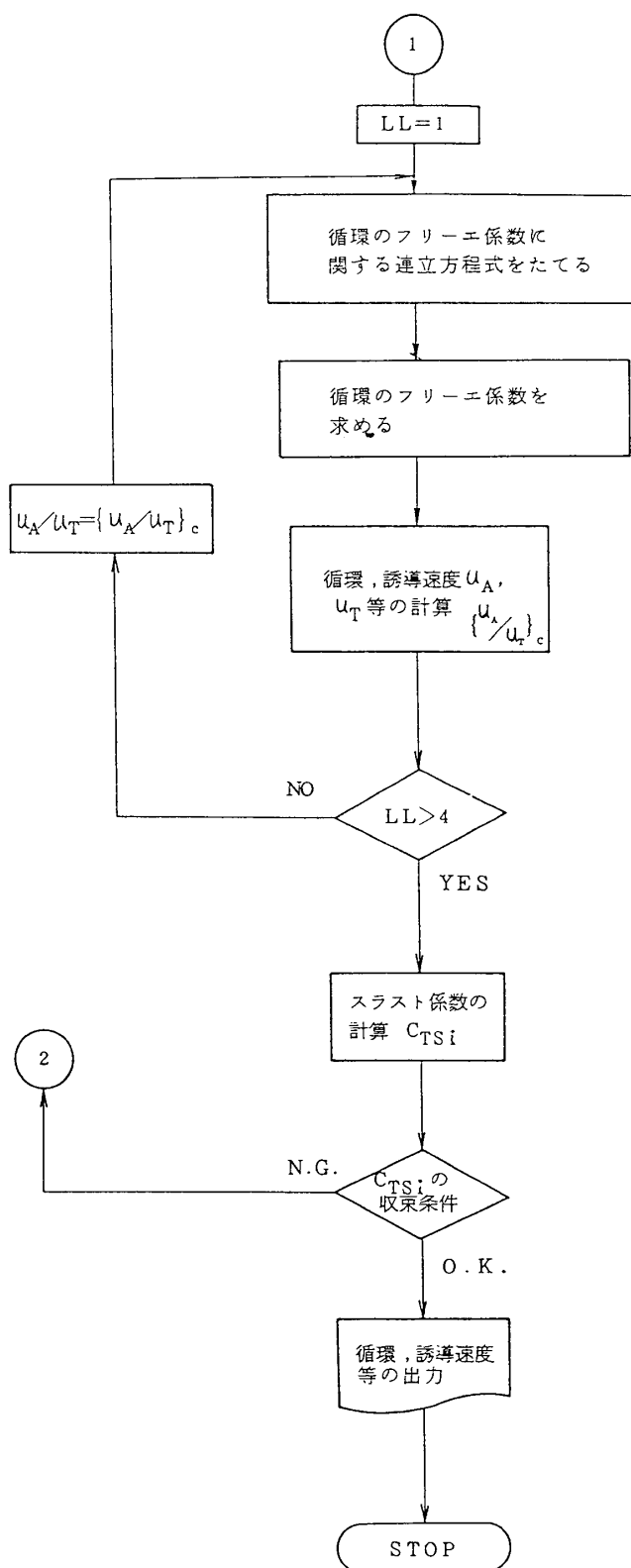


図-2 フロチャート (1-2)

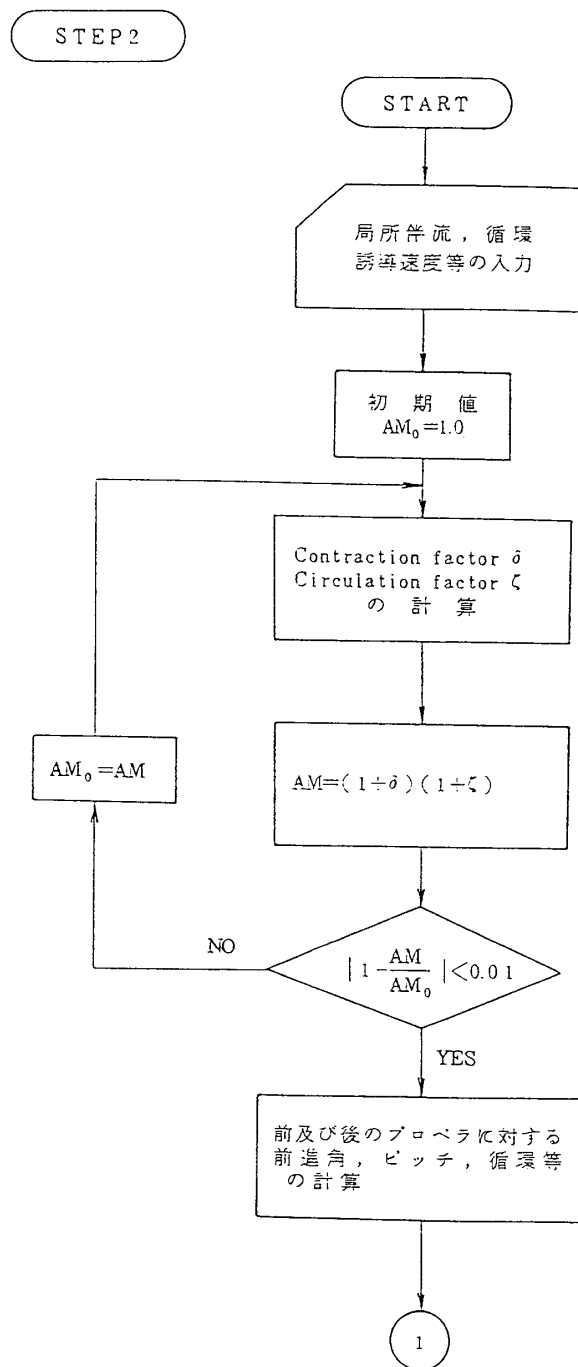


図-3 フロチャート (2-1)

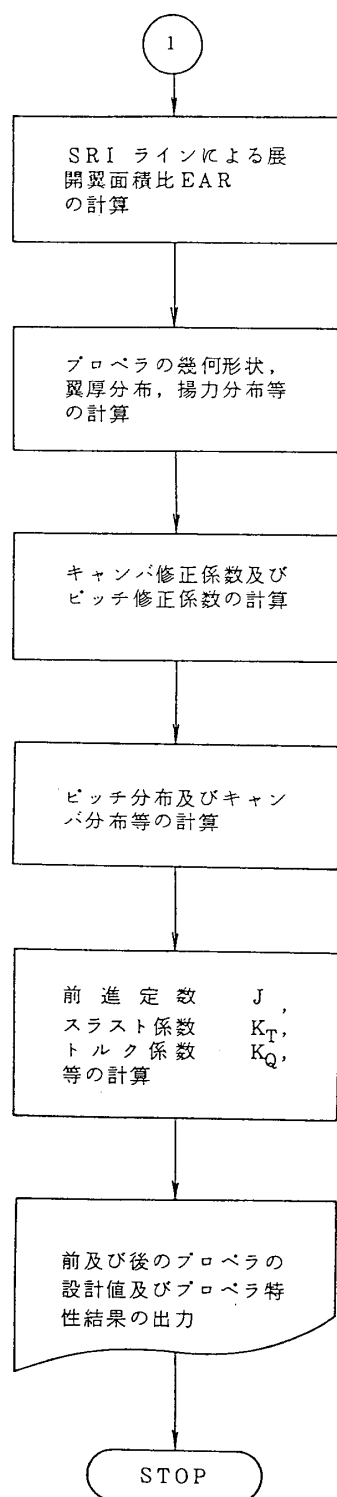


図-4 フローチャート(2-2)

2.6 計算機種および制限事項

本プログラムは、49年4月に TOSBAC 5600用で作成されたが、56年8月に FACOM M-180 II AD 用に変換された。

注意事項および制限事項としては、

- 1) STEP 1 (DLPOTE, Equivalent Propeller) では Lerbs の induction factor method を基にした伴流プロペラとして計算を進めている。
- 2) STEP 1 の入力データの E の値は通常1.04で入力する。
- 3) STEP 2 (DLPOTA, Actual Propeller) ではプロペラの翼断面形状は、翼厚分布は NACA 16および66シリーズを、キャンバー分布は $a=0.8$ および 1.0 mean line のものに限定されている。したがって入力データの K K としては、1608, 1610, 6608, 6610のいずれかを指定する。
- 4) 翼輪郭形状はMAU型プロペラの標準寸法に倣って決定される。
- 5) STEP 2 の入力データの distance-factor ga の値は、文献2) または文献3) の図表を基に作成した cross curve より読みとって入力値とする。

3. プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

精度および誤差に関する検定は行っていない。

3.2 計算所要時間

STEP 1 と STEP 2 を併せて約3分である。

4. プログラムの応用

各種船舶用の2重反転プロペラの設計に使用できる。

5. あとがき

本プログラムによって設計されたプロペラのプロペラ特性を、模型試験によって確認すると、設計条件を十分に満足させない場合もある、設計法の中に実験結果より得られる修正値を導入することにより精度向上をはかる必要がある。

参 考 文 献

- 1) H.W. Lerbs; Moderately Loaded Propeller with a Finite Number of Blades and an Arbitrary Distribution of Circulation, T. of SNAME, Vol. 60,1952

2) W.B. Morgan; The Design of Contra-rotating Propeller Using Lerb's Theory, T. of SNAME, Vol. 68, 1960

3) A.J. Tachmindji; The Axial Velocity Field of an Optimum Infinitely Bladed Propeller, DTMB Report, NO, 1294, 1959

8. プロペラ単独特性の計算プログラム (無限翼数プロペラ理論による)

推進性能部 (故)*森 山 文 雄

1. プログラムの目的および概要

プロペラ性能の数値計算については、揚力面理論を取入れた容量の大きな計算が最近実施されるが、船の推進性能を考える場合のプロペラの取扱いは、船体あるいは、舵との相互干渉という形で取扱われるので、プロペラ自体については、計算時間が短く、かつ流体力や近傍の流場が、出来るだけ良好に推定できるモデルが必要である。

このような目的から、従来の無限翼数プロペラ理論を応用したプロペラモデルに、a) プロペラ後方へ流出する自由渦モデルの変更、b) プロペラ性能に影響する物理量をプロペラ半径方向に変化させ、半径方向の単一断面における値で代表させることを極力さけることの2点の改良を加えたプログラムである。

*プログラム製作者に代って上田隆康が本稿を著した。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

プロペラ単独特性の計算 (無限翼数プロペラ理論)
Approximate Calculation Method for Estimating the Propeller Performance by Infinitely Bladed Propeller Theory

2.2 製作者

推進性能部 森山 文雄

2.3 製作年月日

昭和54年7月

2.4 計算の概要

プロペラは面SP上に分布する半径方向に軸をもつ束縛渦 $\Gamma(r, \theta)$ と、それから流出する自由渦で置

換えることができる。自由渦は一定ピッチ (hydraulic pitch) $2\pi h(r)$ をもつ螺旋面を形成するものとする。今、プロペラは θ の負の向きに一定角速度 Ω で回転しながら x 軸に沿って負の方向に一定速度 V で前進しているとき (図-1 参照)、 x , r 及び θ 方向の流速成分を w_{1x} , w_{1r} 及び $w_{1\theta}$ とすると、有限翼数の補正がされた、翼面の位置での速度成分は、

$$\begin{aligned} W_{1x} &= \frac{\Gamma(r, \theta)}{2h(r)k(r, h(r))}, \\ W_{1r} &= 0, \quad W_{1\theta} = \frac{\Gamma(r, \theta)}{2rk(r, h(r))} \end{aligned} \quad (1)$$

ただし、

$$\begin{aligned} k(r, h(r)) &= \frac{2}{\pi} \cos^{-1} \exp \left\{ N - \left(1 - \frac{r}{r_0} \right) \frac{\sqrt{r_0^2 + h(r)^2}}{2h(r)} \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

となる。 N は翼数、 r_0 は半径である。

プロペラ面上の x , θ 方向の流速成分を $[V_x]_{(SP)}$, $[V_\theta]_{(SP)}$ とすると、

$$\begin{aligned} [V_x]_{(SP)} &= V + \frac{\Gamma(r, \theta)}{2h(r)k(r, h(r))}, \\ [V_\theta]_{(SP)} &= r\Omega - \frac{\Gamma(r, \theta)}{2rk(r, h(r))} \end{aligned} \quad (3)$$

プロペラ翼面における境界条件は、プロペラ翼面を透過する流れがないという条件と自由渦の流出条件は、流線に沿って自由渦が流出するという条件について前者には、有限翼数であること、及び翼幅が広いことから揚力面理論に対応する補正を加え、後者には、自由渦の流出するピッチ $2\pi h(r)$ を、プロペラ近傍の流場を用いて表わすことにする。

以上の条件の下に $\Gamma(r, \theta)$ が求まると、スラスト Γ , トルク Q は、