

(昭和 43 年 5 月日本造船学会春季講演会において講演)

船の主要寸法の決定に対する電子計算機の応用

正員 国 安 常 雄* 正員 並 松 正 明*
正員 田 中 稔*

A Computer Application to Principal Dimensions Study of Ships

By Tsuneo Kuniyasu, *Member*, Masaaki Namimatsu, *Member*
Minoru Tanaka, *Member*

Summary

In this paper, the authors report on the computer programs for principal dimensions study of ships, which have been developed and put into practical use at their ship yard.

The programs, called P. D. S. programs, furnish a designer with brief charts to point out an optimum combination of principal particulars, after making cost and economic studies on the numerous ships designed automatically under a set of same design and operating conditions.

P. D. S. programs can deal with tankers, ordinary bulk carriers, ore carriers and some typical combination carriers.

1 緒 言

船の主要寸法が、船価、並に船舶の経済性に及ぼす影響は、極めて大きい。従つて、商船の基本設計では、与えられた諸性能を満足するだけでなく、経済性の面からも最良の主要寸法を選定する必要がある。一方、数多くの船を試設計し、経済性を比較検討するには、相当の労力と時間が必要である。そのため、computer の高速性を利用することは、極めて効果的であるが、このような computer の活用については、例えば文献 1), 2) で発表された如く、各造船所とも、それぞれの方法で行なっているところである。

われわれ、呉造船所でも、5年前に小型機 (HITAC 201) を導入した時より検討を始め、3年前に東京 IBM データセンターの IBM 7090 にて本論文に述べる大略を完成し、1年前、中型機 (IBM-S/360) の導入を機会に諸計算の精度を改良して、日常の基本設計に使用してきた。ここにその概要を報告し、ご参考に供したいと思う。

われわれの作成した Program は次のような特徴を有する。

- (1) 主要寸法決定のための諸計算の精度が通常の初期設計と同程度であること。
- (2) 船主から要求される種々の設計条件に対して、ただちに最適主要寸法を選定し得るように、種々の input, output が可能であること。このため現在、次の4種類の program を常備しているが、これ以外の組合せも必要に応じて容易に作ることができる。

(Case-1) Dead weight (DW), 航海速力 (V_s), draft (d) が与えられたときに種々の proportion (Length to Breadth ratio (L/B) と block coefficient (C_B) の組合せ) に対して、条件を満足するような主要寸法を決定し、同時に船価並に経済性の計算を行なつて、proportion と主機馬力、船価、経済性の関係を明らかにする program。

(Case-2) Breadth (B), V_s , d が与えられたときに、種々の proportion に対して、 DW , 主機馬力、船価、経済性等を求める program。これは運河の通航、又は造船所の建造設備による B の制限がある場合に、最適主要寸法を求めるのに適している。

(Case-3) DW , 主機馬力, d が与えられたとき, V_s および主要寸法等を求める program。特に Diesel 船

* KK 呉造船所 基本設計部

の如く、主機馬力に対する自由度が少い場合の検討に適している。

(Case-4) これは上記3種の program によつて主要寸法が決定し、船価が求まった後で、運航の条件(freight rate, fuel oil, lub. oilの単価、航路等)を種々変化させて、経済性判定の指数を求める program で、不確定な要素を種々変えて、その経済性に及ぼす影響を調査するのに適している。

(3) 計算結果は諸数値が table として与えられるが、その外に、傾向の把握、優劣の判断を容易にするため、 L/B (または Length (L)) を横軸、 C_B を縦軸にとつた平面上に contour curve で示される図表を作成した。

(4) Tanker, Bulk carrier, Ore carrier, および typical な Combination carrier に対する検討が可能であること。

以上の program 群を P.D.S. (Principal Dimensions Study の略) program と称しているので、以下の説明にはこのように呼ぶことにする。

2 計算法の概略

2.1 主要寸法の決定法

P.D.S. program では、船の形状を端的に表わすために、 L/B , C_B を主要 parameter に選んだ。即ち船の size に関係する L の代りに、無次元の L/B を用いることで、ずんぐり型か長細型かという船の形状を明瞭にと

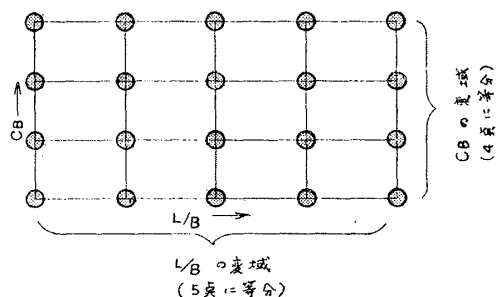


Fig. 1 P.D.S. の計算点

らえることができる。 L/B , C_B について、検討を試みたいと思う変域を input して、その範囲内で Fig. 1 に示す如き 20 個の (L/B , C_B) の組合せ点を作り、それぞれの点で設計条件を満足する主要寸法を計算する。但し、場合によつては L/B よりも L の round number での比較が便利なこともあるので、横軸を L で表示するよう、指示することもできる。

さて、主要寸法、 L , B , D , d , C_B を決めることは L/B , B , D , d , C_B を決めることと同意であるから、商船の基本性能である DW , V_S , CC (cargo hold または cargo tank capacity) は次のように表わすことができる。

$$DW = f_1(L/B, B, D, d, C_B, SHP, C_1)$$

$$V_S = f_2(L/B, B, d, C_B, SHP, C_2)$$

$$CC = f_3(L/B, B, D, C_B, SHP, C_3)$$

ここで SHP は主機馬力、 C_1 , C_2 , C_3 はそれぞれ DW , V_S , CC の算定に関する二次的 factor の総合を意味するもので、次のようなものが含まれる。

C_1 : Rule, 構造配置を表わす factor, 船楼・甲板室の長さ等。

Table-1 P.D.S program の分類

区分	概要	固定する FACTOR	変化させる FACTOR	求める FACTOR - 1	求める FACTOR - 2
CASE-1	通常の場合 即ち DW , V_S , d を一定にしたとき	DW V_S d	L/B (or L) C_B	L (or L/B) B BHP (or SHP)	① SHIP'S PRICE (\$/t DW) ② CRF ③ OPERATING COST (\$/t CARGO)
CASE-2	B 制限のある 場合 B , V_S , d を一定 にしたとき	② V_S d	L/B (or L) C_B	L (or L/B) ① BHP (or SHP)	全 上
CASE-3	ENG. 指定のある 場合 DW , ENG , d を 一定にしたとき	DW ① BHP (ENG) d	L/B (or L) C_B	L (or L/B) B ② V_S	全 上

注. 1) Tanker, Bulkcarrier, Ore Carrier 夫々により上記3種の Program を準備している

注. 2) ○印は CASE-1 と異なるものを示す

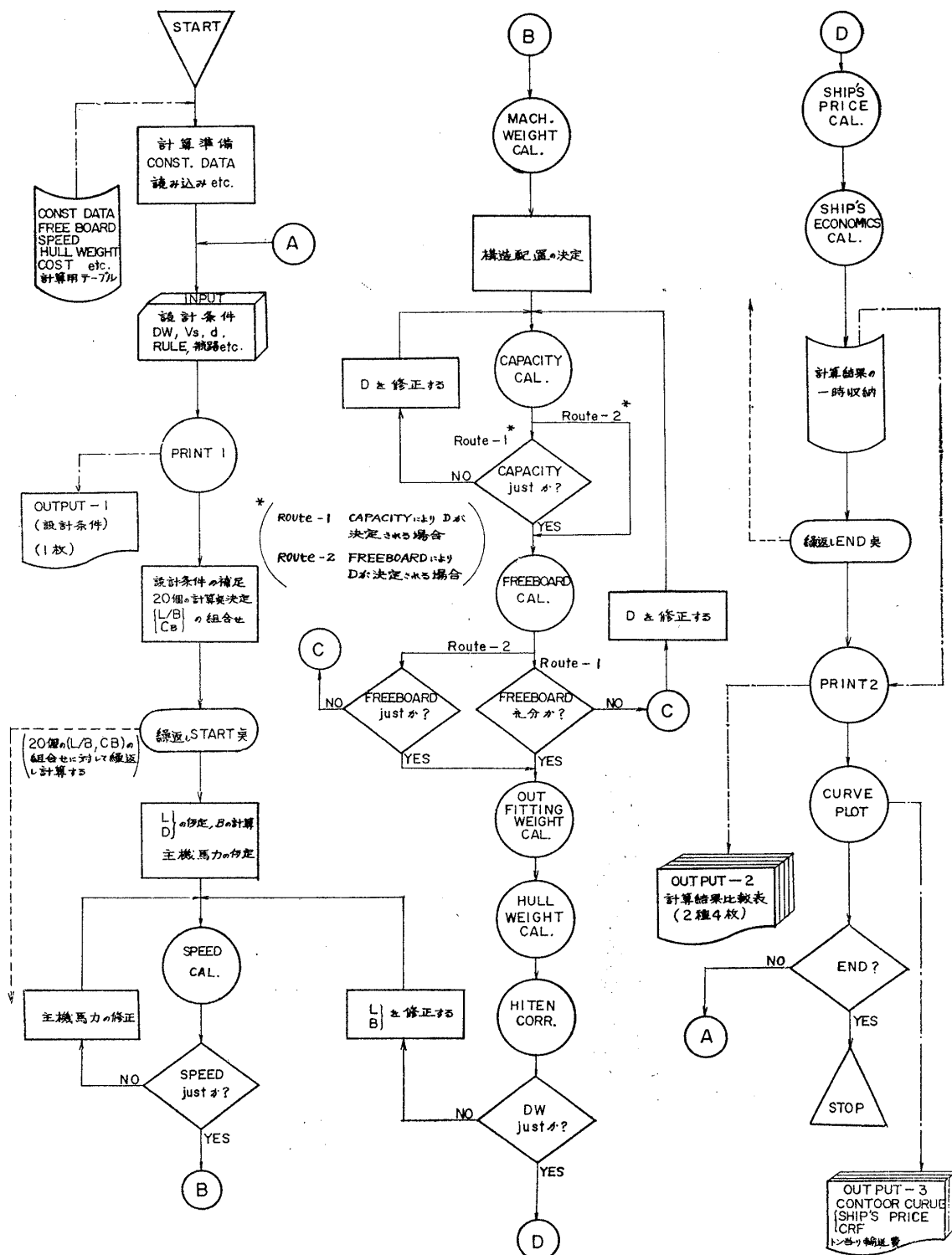


Fig.2 P.D.S. case-1 の Flow Chart

C_2 : lcb (浮心前後位置), C_M (中央断面係数), 主機の種類・回転数, sea margin 等。

C_3 : bilge radius, rise of floor, fore & aft length 等。

これら、二次的 factor は、P.D.S. に先立つて検討を行ない、最適値を input するか、主要寸法および DW , V_S , SHP 等の関数で表わしておく、変数は L/B , B , D , d , C_B , SHP , DW , V_S , CC の 9 個であり、関係式が 3 個であるから、独立変数は 6 個である。前述の通り L/B , C_B は parameter として仮定しているので、除外すると 4 個になる。

(Case-1) program の場合: DW , V_S , d 並に CC を input。

(Case-2) program の場合: B , V_S , d 並に CC/DW ratio を input。

(Case-3) program の場合: DW , SHP , d 並に CC を input。

したがって、仮定した (L/B , C_B) の各点で、それぞれの主要寸法を決定することができる。これ等 3 種の program の分類表を Table-1 に示す。

実際の計算は船殻重量、艤装重量、機関電気重量に分けて通常の手計算で行なうごとく、各重量を算出し、 DW を check して、条件を満足しない場合は主要寸法の変更を行なつて、再度計算を繰返し、収斂させる方法をとっている。所要主機馬力の決定も同様に V_S を満足するまで繰返し計算させ、 D は所要 capacity を満足する D と乾舷を満足する D とを計算して大なる方をとるという様に、通常計算と同じ方法で、input された設計条件を同時に、全て満足する主要寸法が計算される。この様にして主要寸法が求まると、船価並に経済性の指数が計算され、最後に (L/B , C_B) の計算点の間を L/B 方向を 2 つの 2 次式で、また C_B 方向を 3 次式によつて補間し、contour curve にして out put が行なわれる。P.D.S. program (case-1) の flow chart を Fig. 2 に示す。

2.2 経済性判定基準

商船の経済性を比較検討する場合、何を以つて経済性の判定を行なうかは非常に難しい問題である。

P.D.S. program では文献 3), 4) において Benford が船舶の経済性検討の基準として、適切であると推奨する資本回収率 (CRF =capital recovery factor) と現在海運界で、最も一般的に用いられているトン当り輸送費 (載貨重量トン当りの輸送費) を経済性判定の指数として求めることにした。

(A) 資本回収率 (CRF) は次の式で定義される。

$$CRF = \frac{\text{年間利益}}{\text{総投下資本}} = \frac{(\text{年間運賃収入}) - (\text{年間運航経費})}{(\text{船価}) + (\text{乗出費用})}$$

ここで年間運航経費には償却費を含めない。従つて、 $(CRF)^{-1}$ = 投下資本償却年数。

この定義式から解るごとく、資本回収率は船舶の建造を一つの投資と考えて、その投資価値、あるいは投資効果を表わす指数である。

(B) トン当り輸送費は次の式で計算される。

$$\text{トン当り輸送費} = \frac{\text{年間総運航経費}}{\text{年間貨物輸送量}}$$

ここで年間総運航経費は (年間運航経費) + (償却費) と考えている。また償却年数は場合に応じて仮定し、input する。

2.3 Program の構成上特に配慮した事項

(1) Program の細分化

船殻重量計算、艤装重量計算、機関電気重量計算、速力計算、容積計算、乾舷計算、船価計算、経済性計算等をそれぞれ独立の subprogram とした。このことにより、総合 program の開発を容易にしたばかりでなく、今後別の parameter や base による表現が必要となつた場合には、さらに別の subprogram を追加できて便利である。これ等の program は、それぞれ独立の計算にも使用できるように書かれているので、P.D.S. に対しては必要以上の精度の所または全く必要のない所もあるが、program の maintenance (計算方法が改正、改良された場合の変更) 上から非常に利点となつてゐる。

(2) 主要寸法決定の精度

経済船型の設計を論じたものの多くは、主要寸法決定に対する諸々の推定計算を簡略化して取扱つてゐるが、本 program を構成する subprogram は通常の設計に用いてゐる方法をそのまま採用し、現時点において最良

の推定が行なえるように配慮している。主要計算の精度を Table-2 に示す。

(3) 船価並に経済性の推定精度

個々の船の船価、あるいは経済性指数の絶対数値を正確にとらえることは非常に困難である。また P.D.S. の目的とするところは船価あるいは経済性から船型の優劣を判定することにあるので、主要寸法に応じて変化するもの

のを特に、正確な算出ができる様に考えた。また主要寸法に直接関係なく、個々の船によつて変化するものも、あらかじめ算定し得れば、その値を input することにより、実際に近い数値が得られるように考慮されている。

(4) Contour curve による output

Computer により大量の計算を行なつた場合、計算結果を有効に利用するには、結果を graph, あるいは contour curve に表わす必要がでて、計算機の後始末に相当の人手と時間を要することが多い。P.D.S. による計算結果も同様であり、引合船の計画の場合、短時間に検討が行なえなくてはならないこともあるので、数値表と同時に curve plotting を応用して contour curve ができるようにした。従つて output を受けとるとただちに主要寸法と種々の factor との関係を図上で眺められ、判断ができる。

(5) 個々の引合船に match した主要寸法の検討

最適船型の摘出を行なう場合、超大型 tanker, あるいは何万トン型 bulk carrier と限つて、前以つて検討した資料を整えて置き、それ等の傾向を採入れて個々の船の設計を行なうやり方もあるが、computer の高速性を利用し、個々の引合船の条件を採入れた船型検討を行なうと同時に、その船の主要寸法を直接 output から決定できるように、毎回計算するのに便利な program としている。

Table-2 主要計算の精度

Bull weight	$\pm 1.5 \%$
Speed	$\pm 1.0 \%$
Hold capacity	$\pm 1.0 \%$

3 SUBPROGRAM

3.1 船殻重量計算

船殻重量は Fig. 3 に示す如く中央部、前後部、上部に分割し、それぞれを推定する。

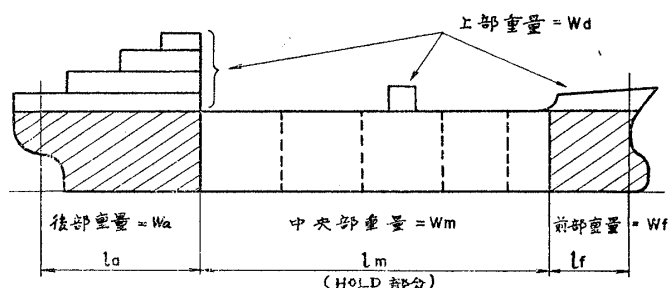


Fig. 3 船殻重量の計算区分

(1) 中央部重量; W_m

W_m を正確に算出するには midship 1m 当りの重量がわかれば良い訳である。わが社では主要寸法、および hold 形状を input すれば、各船級協会の Rule の要求を満足し、造船所の practice に従つた midship の scantling, および weight を算出する program が完成している。然しながら、これを subprogram として computer 内で接続することは能率的な方法ではない。そこでわれわれはこの program を用いて数百隻よりなる

series test design を行ない、これから比較的簡単な base による chart と修正係数を作成し、通常の初期設計に使用している。

まず、Table-3 に示すとき proportion を有する船について、船の大きさを変えて、各 Rule minimum の midship unit weight, ${}_0W_m$ (Kt/m) を計算し、これを基準値とする。Fig. 4 のごとく Rule (R), 船の種類 (T) 別に $L \cdot B \cdot D \sqrt{L/D}$ base に整理して table の形で input して置く。

つぎに、proportion にに対する修正量を test design data から求めて、近似式あるいは table の形に整理する。

$$\Delta W_i = f_i(A_i, {}_0W_m, R, T), (i=1 \sim 7)$$

$$A_{1,2,\dots,7} = L/B, L/D, d/L, B/D, C_B, E/B, S/S_0$$

ただし E ; distance of Longi. BHD off center line

S ; Trans. frame space

$$S_0 ; \text{optimum Trans. frame space} = f_8(L, R)$$

これ等の修正を行なつた midship unit weight を W_m とすると、

Table-3 Standard ships used for midship unit weight cal.

Tanker:

$L/B = 6.0$, $L/D = 12.0$, $d/L = 0.06$, $CB = 0.8$
 Position of longit. BHD = 0.15B off center line
 Trans. frame space = optimum space
 Trans. BHD space = 0.2L
 Swash BHD space = 0.1L

Bulk Carrier:

$B/D = 1.8$, $L/D = 12.0$, $CB = 0.8$
 Web frame space = optimum space
 Deep beam = none
 Side shell = single hull
 Upper wing tank = ballast tank
 Trans. BHD space = 25.0M

Ore Carrier:

$L/D = 12.0$, $CB = 0.8$
 Trans. frame space = 3.75M
 Deep beam = none
 Double bottom height = $B/14$
 Position of longit. BHD = 0.40B off center line

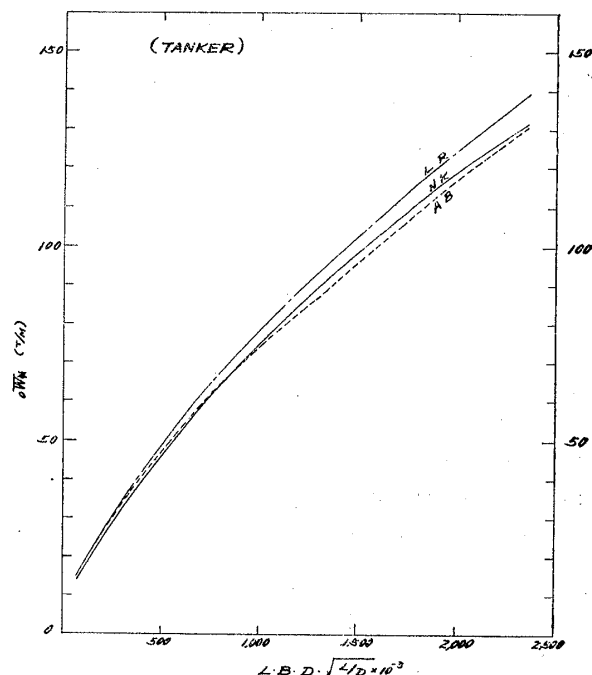


Fig. 4 船殻重量推定曲線 (基準値)

$$W_{\Sigma} = {}_0W_{\Sigma} + \sum_{i=1}^7 \Delta W_i \quad \text{となる。}$$

最後に、横置隔壁数に対して、修正を行なうために、油密隔壁1枚当りの重量 (${}_0W_{BHD}$) を実績および test design data から整理して、 ${}_0W_{BHD} = C_0 \cdot B \cdot D^{3/2}$ とした。さらに BHD 位置において、横置部材重量の重複推定を避けるために、横置部材1本相当の重量を差引いた油密隔壁 (または水密隔壁) および制水隔壁の1枚当り重量を、それぞれ $C_1 \cdot {}_0W_{BHD}$, $C_2 \cdot {}_0W_{BHD}$ で推定する。従つて BHD を除いた midship unit weight (W'_{Σ}) は、Tanker を例にとると、 $W'_{\Sigma} = W_{\Sigma} - (C_1 + C_2) \cdot {}_0W_{BHD} / 0.2 \cdot L$ となる。また対象船の油密および制水隔壁の重量と数を ${}_TW_{BHD}$ と N_T および ${}_SW_{BHD}$ と N_S とすると、 ${}_TW_{BHD} = C_1 \cdot {}_0W_{BHD} \cdot N_T$, ${}_SW_{BHD} = C_2 \cdot {}_0W_{BHD} \cdot N_S$ となる。

したがつて、中央部重量は、 $W_m = (W'_{\Sigma} \cdot l_m + {}_TW_{BHD} + {}_SW_{BHD}) \cdot K_{CB}$ ただし、 K_{CB} は C_B に対する修正係数、 l_m は hold part length である。

(2) 後部重量; W_a

まず、標準後部重量を、 ${}_0W_a = f_9(L, B, D, L/D, l_a/L)$ により求め、 C_B , l_{cb} および機関室内の BHD の修正を行なう。 $W_a = {}_0W_a \cdot f_{10}(C_B, l_{cb}) + f_{11}(B, D, m)$ ただし m は機関室内の BHD 係数である。

(3) 前部重量; W_f

後部重量と同じ手順で、 ${}_0W_f = f_{12}(L, B, D, l_f/L)$, $W_f = {}_0W_f \cdot f_{13}(C_B, l_{cb}) + f_{14}(B, D, n)$ ただし n は fore part の BHD 係数である。

(4) 上部重量; W_d

一般配置が決定されていない段階で、上部構造重量を推定するために、次の簡易推定式を作成した。

$$W_d = F'cle \text{ weight} + Poop \text{ weight} + Bridge \text{ weight}$$

$$= f_{15}(l_{F'cle}, B) + f_{16}(l_{Poop}, B, C_{16}) + f_{17}(L, B, P, Q)$$

ただし C_{16} は船楼、甲板室区別、 P は乗組員数、 Q は grade を示す係数である。

(5) 特殊構造重量; W_s

一般的には求め難いので computer cal. の場合、input にした。

(6) 合計重量; W_H

以上の各重量を集計して, $W_H = (W_m + W_a + W_f + W_d + W_s) \cdot K_1 \cdot K_2$ ただし, K_1 は溶接, 鋸頭, 板厚誤差等に対する係数, K_2 は船主要求, 船級協会の要求等による増加に対しての margin 係数である。

(7) 高張力鋼使用および corrosion control を行なう場合

(1)~(6) に述べた計算は全て MS 材使用の場合である。船体の一部に HT を使用する場合, または corrosion control を行なう場合には, 変化重量 (使用重量および減少重量) を MS 材使用の時の W_H および $L, L/D, B/D, C_B$, 使用範囲, Rule 要求等により算定する方法をとっている。

3.2 艦装重量計算

船の使用目的や grade, owner の好み等によつて変る艦装品の重量を, 画一的に整理することは不可能に近い。そこで標準仕様に対する艦装重量を求めることにして, 仕様の差に基づく重量変化は, あらかじめ見積を行なつて修正量を input することにした。先ず実績を標準仕様の場合に修正し, 曳航・繫留装置および塗料の重量をとりだして $L \cdot (B+D)$ の関数で整理し, 残りの重量は $a \cdot L + b \cdot DW + c$ で推定することにして最小自乗法により係数を求めた。

3.3 機関電気重量計算

機関室内の水油, 機関部固定重量 (電気部を含む) および spare propeller & shaft に分けて推定する。何れも主機馬力 base に整理しているが, 主機の種類, boiler の type, 船の種類, 船主の Light weight 算出の practice 等を parameter にとつた。

3.4 速力計算

(1) 計算方法について

速力の推定は船殻重量の推定とともに, 船価の傾向を大きく左右するので, 極めて重要である。広範囲にわたる proportion と大きさの変化を有する船の速力を検討できる様にするため, 今までに発表された種々の系統的模型試験の結果と, われわれが行なつた模型試験の結果を再解析し, 推定図表および推定式を作成した。

推定方法は基本的には, Hughes が提唱した粘性抵抗に対して形状の影響を修正する考え方に従い, 今までの公試運転成績から Model と実船の scale effect を調査し, 修正係数を求めた。即ち, 記号を

$$C_F = R_F / 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \dots \text{相当平板の摩擦抵抗係数}$$

$$C_K = R_K / 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \dots \text{形状影響による摩擦抵抗の増分に対する係数}$$

$$C_W = R_W / 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \dots \text{造波抵抗係数}$$

$$C_T = R_T / 1/2 \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \dots \text{全抵抗係数}$$

$$\Delta C_F \dots \dots \dots \text{摩擦抵抗修正係数}$$

とし, model および実船の値に対して, それぞれ suffix M, S を附すことにして

$$\frac{C_{KS}}{C_{KM}} \propto \frac{C_{FS}}{C_{FM}} \text{ と仮定し, } \frac{C_{KS}}{C_{FS}} = \frac{C_{KM}}{C_{FM}} \equiv K \text{ と置く。}$$

また, 対応する $F_N = v / \sqrt{g \cdot L}$ の所では $C_{WM} = C_{WS} \equiv C_W$ と考えると, $C_{TS} = C_W + C_{FS}(1+K) + \Delta C_F$ 。

C_F は, 従来の data からの換算を容易にするため, Schoenherr's line を用いた。

(2) 造波抵抗係数

剰余抵抗から形状影響による摩擦抵抗の増分を差引いた残りを造波抵抗と考えた。proportion が異なるものを比較検討するための無次元表示はいろいろ考えられるが, 比較検討の結果, 主要目の差による修正係数が簡単なこと, 従来の表示からの換算や比較が容易なこと等のために, speed は $F_N = v / \sqrt{g \cdot L}$, resistance は $r_W = R_W / \rho \cdot L^2 \cdot v^2$ を採用した。

UT series, SR 41, SR 61 における $L/B, C_B, l_{cb}$ series および Todd の Series 60⁽⁶⁾ の data を再解析して求めた r_W を fore body prismatic coefficient (C_{PF}) が等しいものの group に分類し, 比較すると, L/B によつて多少のばらつきは見られるが, $F_N < 0.2$ を対象とする大型船の r_W の推定用としては negligible である。従つて, この mean line をとつて, Fig. 5 に示す如き, normal bow (without bulbous bow) に対する造波抵抗係数 (r_{W0}) の推定 chart を作成した。

これに対して, bulbous bow, prismatic curve および frame line が改良されたことによる修正係数 (β_1) を, われわれの最新 lines による模型試験結果から求めた。

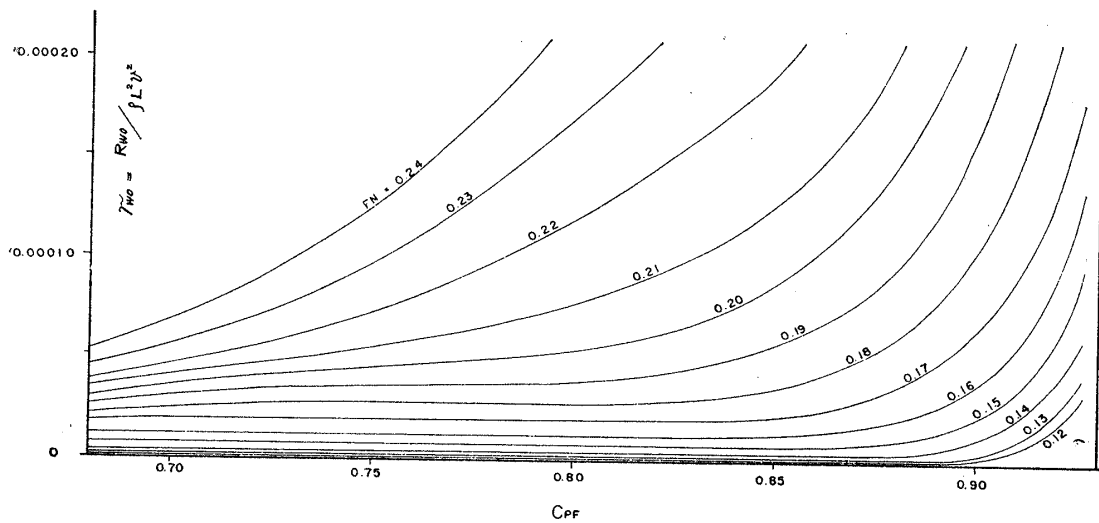


Fig. 5 Wave Resistance Coefficient for Normal Bow

すなわち, $c_w = r_{w0} \cdot \beta_1 \cdot 2L^2/S$ で大型 bulb を採用した場合, $\beta_1 \approx 0.5$ 程度である。

(3) Form factor

form factor は (1) にて説明した K と定義し, 低速における抵抗係数から求めた。基準値としては r_{w0} のときと同様に normal bow のものをとることにし, r_{w0} を求める時に用いた模型試験結果から求めた。

form factor には aft body の lines が大きく影響することから, 第一近似の parameter として, 次のような係数, T_R を考えた。Fig. 6 に示す如く, 任意の prismatic curve と等しい aft body prismatic coefficient (C_{PA}) を有する直線型の prismatic curve, $\overline{AB}$ を考えると, 近似の run length は $(1-C_{PA}) \cdot L$ となる。後部の流線方向に対応する船幅として Fig. 7 の $\overline{EF}$ をとると, macro 的にみた run の傾斜は次式の如くなり, これを T_R と定義する。即ち,

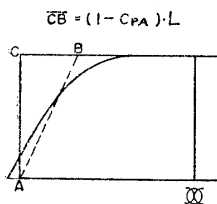


Fig. 6 Aft Body Prismatic Curve

Fig. 6

Aft Body prismatic Curve

$$T_R \equiv \frac{\sqrt{1 + 4/(B/d)^2}}{L/B(1 - C_{PA})}$$

この T_R により form resistance に対する圧力影響を近似し, さらに摩擦力の影響を表わすために $C_F = \tau/L^3$ を加えて, computer を用いて, 最小自乗法により, 上記の data から次式を得た。

$$K_0 = 0.5 T_R + 14.0 C_F - 0.18$$

aft body lines による補正係数を α_1 , bulbous bow の影響による補正係数を β_2 とすると, $K = K_0 \cdot \alpha_1 \cdot \beta_2$ となる。最近の lines に対する大体の目安としては, $\alpha_1 \approx 0.95$, $\beta_2 \approx 0.9$ である。

(4) 推進効率

A) 推力減少率 (t) は模型試験のやり方によつて, 相当に値が変わることが考えられたので, SR およびわれわれが, 船研の目白 tank に依頼して test したものの平均線をと, $1-t = (-0.1 T_R + 0.86) \cdot \alpha_2$ とした。

ただし, α_2 は lines による修正係数である。

B) 伴流係数 (w) は Model の値を推定し, 実船との尺度影響を修正する 2 段階の推定法をとらず, 直接実船の伴流係数を推定する式を作った。この場合, propeller dia は基準値として, $D_{P0} = 0.3 \sqrt{B \cdot d}$ を用いて, 文献⁶⁾の方法で数隻の Pitot tube よる模型試験の結果を実船の wake pattern に修正して得た propeller dia の相異による mean wake の修正を行なう。

$$1-w = (-0.2 T_R + 0.76) \cdot \delta \cdot \alpha_3$$

$$\delta = (D_P/D_{P0})^{1/3}$$

ただし, α_3 は lines による修正係数, D_P は propeller dia である。

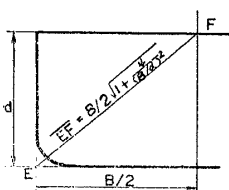


Fig. 7

Midship Section

C) 推進器効率比 (η_R) は今までの模型試験結果から、確実な傾向をつかみ難いので、 $\eta_R=1.0$ とし、誤差は全て ΔC_F に集積するものとして取扱った。

D) 伝達効率 (η_t) は turbine 船に対して 1/1.02, diesel 船に対して 1/1.03 を使用した。

E) 推進器効率 (η_P) は MAU-chart⁽⁷⁾ の optimum line を使用し、収斂法により求めた。

(5) 摩擦抵抗修正係数

以上に述べた仮定および推定式、図表を用いたときの ΔC_F を公試運転成績から求めて、 $\Delta C_F=f(R_N)$ とした。なお、計算には次の推定式と常数を使用している。

$$\text{浸水面積 ; } S = \left\{ (0.5 C_B + 1.41) \cdot L \cdot d + \frac{A}{d} \right\} \cdot \left(1 + \frac{\text{Bulb size}}{1500} \right)$$

$$\text{Schoenherr's line の近似式 ; } C_F = 0.4631 \left\{ \log_{10} \left(\frac{L \cdot v}{\nu} \right) \right\}^{-2.6}$$

ただし、 $\nu = 1.191 \times 10^6$ (m²/sec), $\rho = 104.61$ (kg-sec²/m⁴), $g = 9.8$ (m/sec²)

5.3 容 積 計 算

cargo hold (or tank) capacity の推定計算のために、total sectional area, 並びに標準の hold 形状を有する bulk carrier の upper wing tank (U. W. T.) および lower wing tank (L. W. T.) のそれぞれに対して、文献 8) の方法で求めた lines から midship (☒) を原点とする積分曲線を作成した。即ち、☒ より hold 後端までの距離を l_a , 前端までの距離を l_f , ☒ における sectional area を $A_{\text{☒}}$ として、

$$k_a \equiv (\text{☒ より後方の volume}) / l_a \cdot A_{\text{☒}},$$

$$k_f \equiv (\text{☒ より前方の volume}) / l_f \cdot A_{\text{☒}}$$

と定義した係数、 k_a , k_f を total area, U. W. T., L. W. T. のそれぞれについて求めた。これを Fig. 8 に示す如く、 l_a/L , l_f/L を base に、 C_{PA} , C_{PF} を parameter として整理した。 C_{PA} , C_{PF} は計画喫水に対する値を用いるが、これは速力計算のときに用いた値と同じで、実績より求めた $q=f(l_{cb})$ から $C_{PA}=C_B/C_{\text{☒}}-q$, $C_{PF}=C_B/C_{\text{☒}}+q$ として計算する。従つて、☒ から前後方向にそれぞれ l_f , l_a の所にある BHD の間の容積 (aV_f)

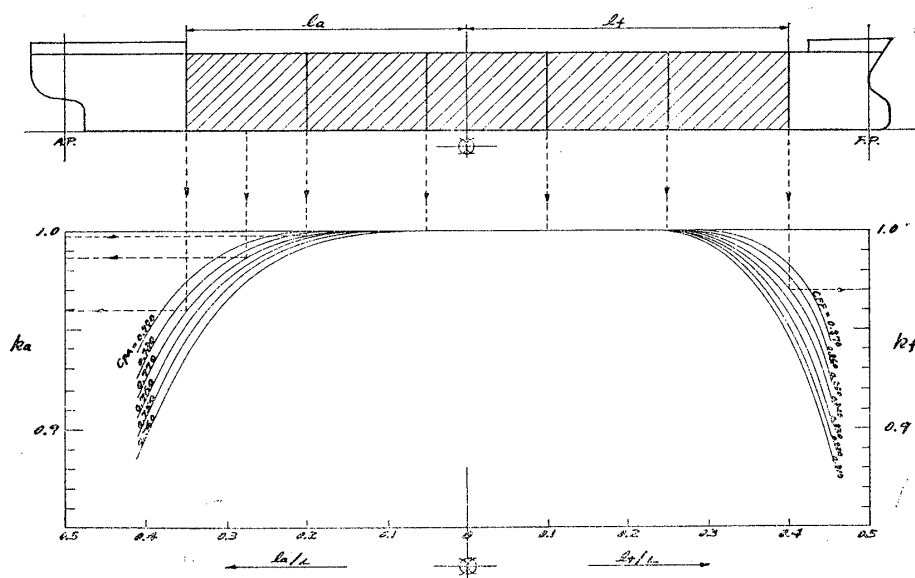


Fig. 8 An Example of Integral Coefficient

は、構造物控除率を c とすると、 $aV_f = A_{\text{☒}} \cdot (l_a \cdot k_a + l_f \cdot k_f) \cdot c$ となる。この場合の $A_{\text{☒}}$ は input した ☒ section の形状によりあらためて正確に計算したものを用いる。

かく hold の容積は l_a , l_f を変えて求めた容積の差をとることで容易に求まり、bulk carrier の場合の cargo hold は、最初に total volume 求め、次に U. W. T. および L. W. T. を差し引いて求める。

3.6 乾 玄 計 算

各船級協会の要求がすべて組込まれている。

3.7 船 価 計 算

建造費は船殻部、艤装部、機関電気部を材料費と工費とに分けて算出し、それに設計費、直接経費および一般管理費を加えて総原価とし、さらに造船所の利益を加えたものを船価と考えた。各部 cost の求め方を Table-4 に示す。

Table-4 建造費の算式

項 目	COST の算式			備 考
	材 料 費 (鋼材 船殻部)	工 費 (工数×単価)	標準仕様と異 なる場合の修正	
船 殻 S_1	$f_1(WH)$	$g_1(WH)W_a$	C_1	WH ; Hull steel weight CN ; $L \cdot (B + D) / 100$ SHP ; Turbine 船の主機馬力 (MCR) BHP ; Diesel 船
艤 装 S_2	$f_2(CN)$	$g_2(CN)W_a$	C_2	W _a ; 現場 Wage charge (¥/MH) (input) C _i ; Grade を考慮して input する。
機 関 電 気 S_3	$f_3(SHP)$ or $f_3(BHP)$	$g_3(SHP)W_a$ or $g_3(BHP)W_a$	C_3	
設計費 S_4	$g_4(DW) \cdot W_b$			W _b ; 設計 Wage charge (¥/MH) (input)
直接経費 S_5	$f_5(DW)$			
一般管理費 S_6	$a \sum_{i=1}^5 S_i$			a ; 一般管理費率 (input)
船 価	$(1 + P) \sum_{i=1}^6 S_i$			P ; 利益率 (input)

3.8 経 済 性 計 算

この subprogram は 2.2 で述べたごとく、経済性判定の指数として、資本回収率と載貨重量トン当りの輸送費を求めるためのものである。

(1) 投下資本 (S)

A) 船価 (S_0) ; 3.7 の船価計算 subprogram により計算される。

B) 乗出費用 (s) ; 船の大小、船主により一率ではないが、主要寸法検討上、主要因子でないで、次式により推定する。

$$s = 4.5 \times 10^7 + 0.015 S_0$$

したがって、投下資本は $S = S_0 + s$ で求まる。

(2) 運搬経費 (Y)

A) 利息 (Y_1) ; 建造資金の調達方法により異なるので船価に対する平均利率 (r) を算定して input する。すなわち、 $Y_1 = S_0 \cdot r$

B) 保険料 (Y_2) ; 通常の船舶保険のみを考えると、投下資本に比例すると考えられる。 $Y_2 = 0.11 S$

C) 償却費 (Y_3) ; 定額償却、残存一割として計算する。 $Y_3 = \frac{1-0.1}{n} \cdot S$ ただし、n は償却年数で input。

D) 店費 (Y_4) ; 船主によりまちまちで、科学的な取扱いは不可能であるが、主要寸法の検討に対して、主要因子とならないので、 $Y_4 = C \cdot DW$ により推定する。ただし、C は DW 1Kt 当りの店費で input とした。

E) 船員費 (Y_5) ; 船の自動化の程度によつて乗組員数は異なる。また船員の給与ベースは船主により一様ではないので input base とした。即ち、 $Y_5 = C_W \cdot P$ 、 C_W は年間の 1 人平均船員費、P は乗組員数で共に input。

F) 修繕費 (Y_6) ; $Y_6 = \left\{ 2.0 \times 10^6 \cdot \left(\frac{DW}{1,000} \right)^{2/3} + 1.25 \times 10^6 \left(\frac{SHP}{1,000} \right)^{2/3} \right\} \cdot C_M$

ただし、 C_M は Turbine 船に対して 1.0、Diesel 船に対して 1.2 とした。

G) 船用品費 (Y_7) ; 潤滑油費は燃料費と同様に主要寸法の検討に対して、重要な factor であるので、別途に計上することにして、残りを、 $Y_7 = 2.0 \times 10^6 \left(\frac{DW}{1,000} \right)^{1/3}$ で推定する。

H) 燃料費 (Y_8) ; $Y_8 = P_f \cdot F \cdot N$ ただし、 P_f は燃料単価で input、F は一航海の燃料消費量、N は年間航海回数で、後述の計算で求まる。

I) 潤滑油費 (Y_9) ; $Y_9 = P_e \cdot E \cdot N$ ただし、 P_e は潤滑油単価で input、E は一航海の潤滑油消費量。

J) 港費 (Y_{10}); 文献 9) より, 次の推定式を採用した。

$$\text{寄港 1 回につき支払う費用} = 84,000 + 24,500 \cdot C_N$$

$$\text{碇泊 1 日につき支払う費用} = 72,000 + 10,500 \cdot C_N$$

$$\text{したがって } Y_{10} = \{(84,000 + 24,500 \cdot C_N) \cdot N_P + (27,000 + 10,500 \cdot C_N) \cdot D_P\} \cdot N$$

ただし, $C_N = L \cdot B \cdot D / 1,000$, N_P は 1 航海中の寄港地数, D_P は 1 航海中の碇泊日数で input。

K) 運河通航費 (Y_{11}); Suez および Panama を通航する場合は, 文献 4) により経費を推定し計上する。

Table-5 運河通航 1 回当り経費の推定 (単位円)

	FULL LOAD 通過	BALLAST 通過
SUEZ	$90,000 + 151,000 \times \frac{\Delta F}{1,000}$	$90,000 + 72,000 \times \frac{\Delta F}{1,000}$
PANAMA	$129,600 \times \frac{\Delta F}{1,000}$	$104,400 \times \frac{\Delta F}{1,000}$

注) ΔF は満載排水量 (kt)

L) 調整費 (Y_{12}); 将来の経済変動に備えるため, 総運搬経費 (利息を除く) の 3% を調整費として計上する。すなわち, $Y_{12} = \left(\sum_{i=2}^{11} Y_i \right) \times 0.03$ 。

したがって, 以上の費用を集計して, 年間総運搬経費は, $Y = \sum_{i=1}^{12} Y_i$ となる。

(3) 年間輸送量 (W) 並びに年間運賃収入 (R)

この subprogram は, 一定の航路に就航し, 特定の貨物を長期間連続繰返し輸送することを前提にしている。航路は一般の tanker のごとく, 2 港間をピストン輸送する場合だけでなく, 自由な一周航路を想定することができる。例えば, Fig. 9 に示すごとく, 往路は港 (A) から港 (C) へ貨物 (X) を, 復路は港 (D) から港 (F) へ貨物 (Y) を満載輸送し, 途中 B および E で bunker stop する。また C~D および F~A 間は ballast 航海であり, B~C および D~E 間で Panama 運河を通過するというような就航状態を示すために Table-6 のごとき input 方式を採用した。

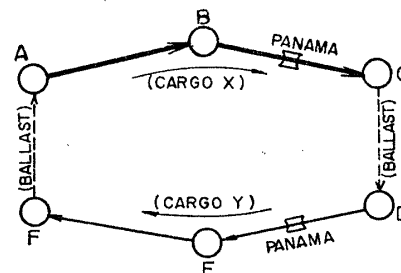


Fig. 9 航路の 1 例

A) 1 航海所要日数および年間航海回数

いま満載航海速力を V_1 , ballast 航海速力を V_2 とすると, 1 航

Table-6 航路の input 例

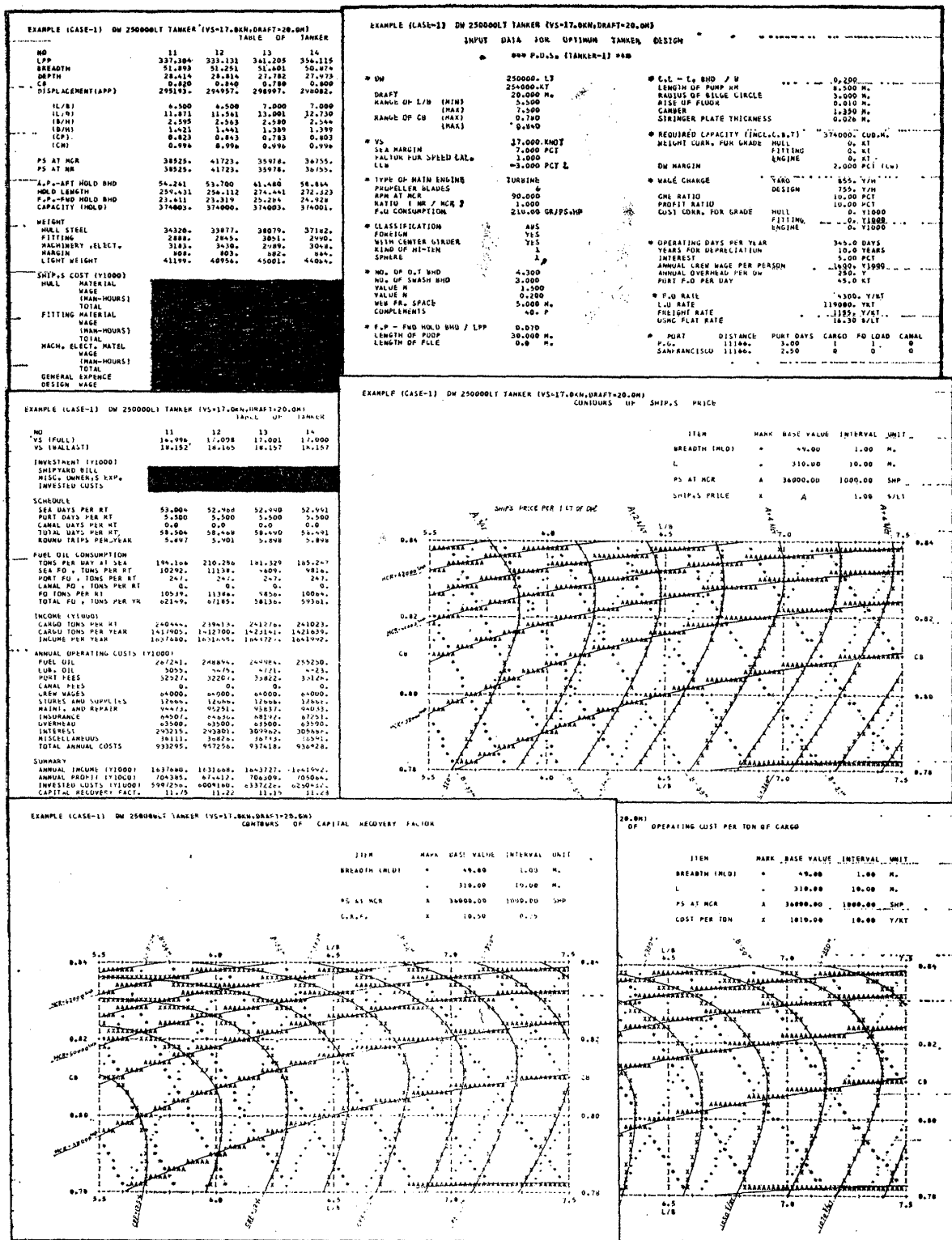
港名	次の港までの距離 (SM)	各港に於ける碇泊日数 (MY)	満載バラストの区別	Bunker STOP	運河
	l_i	a_i	$j * 1$	$j' * 2$	$j'' * 3$
A	l_1	a_1	1	0	0
B	l_2	a_2	1	1	2
C	l_3	a_3	2	0	0
D	l_4	a_4	1	0	2
E	l_5	a_5	1	1	0
F	l_6	a_6	2	0	0

- * 1 $\begin{cases} \text{Full load 出港の時} & \dots\dots 1 \\ \text{Ballast 出港の時} & \dots\dots 2 \end{cases}$
- * 2 $\begin{cases} \text{F.O. を搭載する港} & \dots\dots 1 \\ \text{F.O. を搭載しない港} & \dots\dots 0 \end{cases}$
- * 3 次の港までに $\begin{cases} \text{Suez を通過する時} & \dots\dots 1 \\ \text{Panama を通過する時} & \dots\dots 2 \\ \text{その他} & \dots\dots 0 \end{cases}$

海の海上航行日数は $D_S = \sum_{i=1}^6 \frac{l_i}{24 V_j}$, 碇泊日数は $D_P = \sum_{i=1}^6 a_i$, 運河通航による所要日数の増加は $D_C = 2$ (Suez, Panama 共に通過 1 回に対して 1 日増と仮定した)。従つて, 1 航海所要日数は $D = D_S + D_P + D_C$, 年間航海回数は $N = \frac{Z}{D}$ 。ただし, Z は年間稼働日数で input である。

B) 燃料および潤滑油消費量

航海中の主機出力は満載, ballast 航海, 共に常用出力 (PS_{NR}) で航行するものと仮定し, 馬力当りの主機補機合計の燃料消費率, b (gr/PS·Hr) を input する。また碇泊中の F.O 量は碇泊 1 日当りの所要量の平均, F_P



(Kt/Day) を input し, 運河通過に要する $F.O$ 量は文献 4) により推定する。すなわち, 1 航海当りの Sea $F.O$ は $F_1=24b \cdot PS_{NR} \cdot D_S \times 10^{-6}(\text{Kt})$, Port $F.O$ は $F_2=F_P \cdot D_P$, Canal $F.O$ は Suez に対して $F_3=\left(0.3 \times \frac{DW}{1,000} + 7.0\right) \cdot D_C$, Panama に対して $F_3=\left(0.15 \times \frac{DW}{1,000} + 4.0\right) \cdot D_C$ 。従つて, 年間 $F.O$ 消費量は $F=(F_1+F_2+F_3) \cdot N$ 。

$L.O$ 消費量は $F.O$ 消費量に比例すると仮定し, $E=\alpha \cdot F$ とした。ここで, Turbine 船に対して $\alpha=0.0007$, Diesel 船に対して $\alpha=0.006$ と仮定した。

C) 輸送量および運賃収入

$F.O$ の塔載量は 1 航海消費量を bunker stop の回数 (m) で割つた量の 20% 増と仮定し, 清水, $L.O$, 倉庫品, 乗組員, その所持品等の一般塔載物件の総重量を u とすると, 1 航海の貨物輸送量 (Q) は $Q=DW - \{1.2 \times (F_1+F_2+F_3)/m + u\}$, また年間の輸送量 (W) は $W=Q \cdot N$ 。 u は次式により推定する。 $u=P \cdot (0.12 + 0.155 \cdot D) + 0.0015 \cdot DW + W_{ENG}$, ただし, P は乗組員数, D は 1 航海所要日数, W_{ENG} は機関室内の水油で機関電気重量計算のところで推定される。

したがつて, input された freight rate (r_c) に対して年間運賃収入 (R) は $R=W \cdot r_c$ で求まる。

(4) 資本回収率 (CRF) およびトン当り輸送費 (y)

$$\text{資本回収率} \quad CRF = \frac{R - (Y - Y_0)}{S}$$

$$\text{トン当り輸送費} \quad y = \frac{Y}{W}$$

4 計 算 例

P.D.S. case-1 を用いて, DW 25 万トン型 tanker について, Table-7 に示す如き設計条件で計算した, output sheet の例を Fig.10 に示す。

同図の数値表は Input data の一覧表, 並びに Fig.1 に示した 20 個の proportion に対応する計算結果の一部である。これ等の数値表の外に, 同図に見られる如く, 船価, CRF , トン当り輸送費の 3 種類の contour curve が output される。各図表は L/B を横軸, C_B を縦軸にとつた座標上に, L, B および所要主機馬力の等高線を伴つており, 設計条件を満足するための主要寸法と主機馬力の組合せを任意の proportion の所で求めることができる。これ等の contour curve には Fig.11 に示す如く, optimum point が存在することもあるが, Fig.10 に見るように, 図表の外になる場合も多い。 L/B をおさえると optimum C_B が存在し, この点を結んで求まる optimum C_B line は等主機馬力線とはほぼ平行となつてゐる。すなわち proportion とは無関係に最適主機馬力が存在するが, 船価上の最適主機馬力は CRF から見た最適値と一致せず, CRF の Optimum は低馬力側に移動している。トン当り輸送費の傾向は CRF とよく似ており, 最適主機馬力もほぼ一致する。

つぎに, case-2 の例として, Suez 運河通航可能な最大 tanker について検討した結果を Fig.12 に示す。設計条件としては $B=39.0\text{m}$, $d=$

Table-7 Design Condition for Fig.10

DW	250,000 LT
Draft	20 M
Speed	17 Knots (at NR with 7% S.M.)
Tank Capacity	374,000 Cub.M (incl. C.B.T.)
Class	ABS
Main Engine	Turbine 1 set (MCR=NR, RPM=90)
Complement	42 persons
Route	Persian Gulf-Sanfrancisco (distance 11,166 S.M.)
Freight rate	1,155 ¥/kt (USMC -80)
F.O rate	4,300 ¥/kt
L.O rate	119,000 ¥/kt
Operating days per year	345 Days
Annual crew wages (mean)	$1,600 \times 10^3$ ¥/person
Rate of interest	5 %
Annual overhead	250 ¥/DWT
Range of L/B	5.5 - 7.5
Range of C_B	0.78 - 0.84

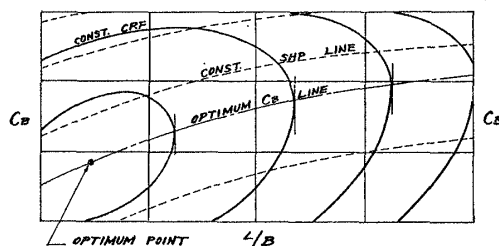


Fig.11 Contour Curves of CRF

12.15mにおさえ $V_s=16.0$ knots (at $NR(=MCR)$ with 7% S.M) とし、航路は Persian Gulf~Rotterdam (6,440 S.M) を仮定した。この場合、船価並びに CRF のそれぞれに対して最適 DW が存在することが解る。

また、case-3 の例として、DW 35,000LT 型 Bulk carrier に対する計算結果を Fig. 13 に示す。この例は $d=10.5$ m, 主機は Diesel (11,200 BHP $\times$ 122 RPM) 1基とし、航路は横浜~Vancouver (4,262 S.M) を想定したものである。横軸は L/B の代りに L で示した。

これは主機を固定した場合で、case-1 の等主機馬力線の代りに V_s の等高線が示されている。 V_s をおさえ、と船価に対して最適の proportion が定まり、また CRF に対して最適速力が存在することが解る。

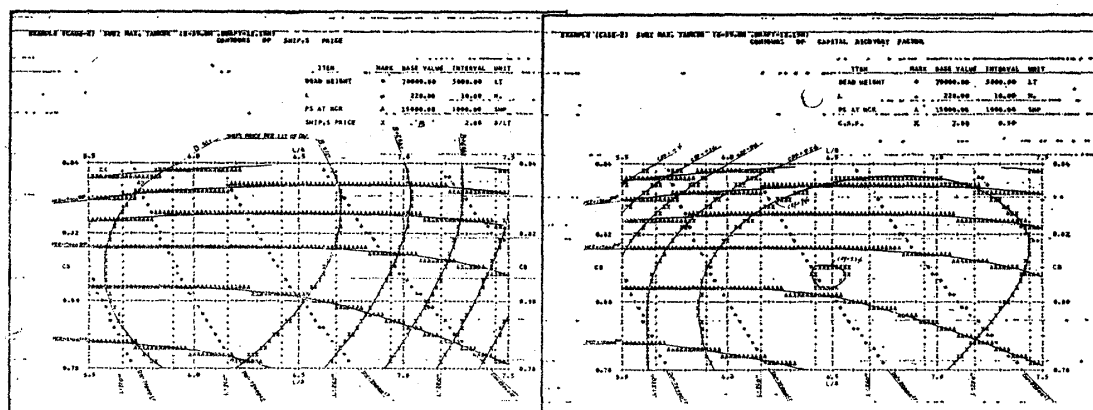


Fig. 12 Sample of Contour Curve (P.D.S. Case-2)

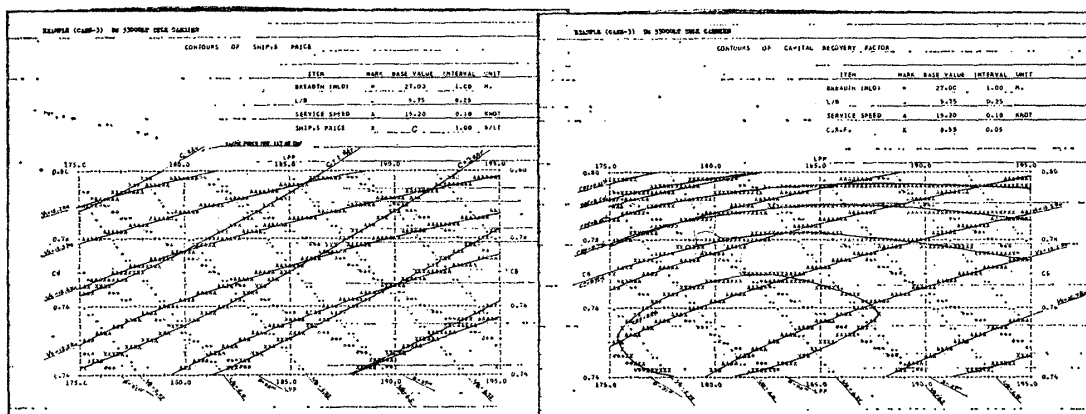


Fig. 13 Sample of Contour Curve (P.D.S. Case-3)

最後に、P.D.S. の計算結果の応用における問題点、並びにいままでの計算結果から判明した、二三の結論を示す。

- (1) 船価上の最適船型と運航採算上の最適船型は、一般に一致しない。従つてその船の船主の運航上、財政上の条件を考慮に入れて船型を決定するために、船主、造船所が協調して検討の結果を適確に判断し、活用をはかる必要がある。
- (2) contour curve 上に optimum point が存在する場合でも、その附近の変化が比較的なだらかな時は、無理に contour curve の中心にこだわらず、船型を決定すべきである。
- (3) 操縦性能、波浪中の航海性能、肥大化に伴う船尾剥離等の技術的問題に対しては、別途に proportion の限界を考慮する必要がある。
- (4) 一般に運航採算上の最適 C_B は船価に対する最適値より小さい方にある。
- (5) Speed の最適値は DW が大きい程、また d が浅い程高速側に移動する。
- (6) 一般に大型船では L/B が小さい程、船価は下がるが、DW の割合に d を深くとれる中型船では、必ずしも L/B が小さい程良いとは限らない。

- (7) bulk carrier の最適船型は、同一 DW の tanker と比較して、 L/B が大きい方にある。これは B が増すと、二重底の強度上の要求による船殻重量の増加が影響するためと思われる。

5 結 言

以上、KK 呉造船所において開発してきた主要寸法検討用 program の報告とともに、この種の program に対する考え方的一端を述べた。然しながら、説明した構成は中型 computer を対象としているので、大型 computer に対しては、考え方も多少変更の必要があると思っている。また個々の subprogram は日々改良されているので、構成の程度を示す参考資料と考えて頂きたい。

今後は Trim 計算, bending moment 計算等の一般配置関係の program との連結を行い、よりきめの細かいものに発展させて行く予定である。

このような総合 program の開発には、特に基礎 data の整備と設計の標準化、また実績の解析も非常に大切である。このために当社基本設計部 福井靖課長並びに重政利明氏、外いろいろご協力頂いた基本設計部および電子計算室の各位に深く感謝致します。

さらに本研究に着手したときから終始ご指導を賜わった当社顧問 近藤忠夫氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) A. Yamagata, N. Akatsu : On the Application of Digital Computer to Ship Calculation & Initial Design Problem, Journal of Zosen Kyokai, Vol. 115
- 2) S. Sato : Effect of Principal Dimensions on Weight and Cost of Large Ships, Paper presented at Feb. 1967 meeting of S. N. A. M. E.
- 3) H. Benford : Engineering Economy in Tanker Design, Trans. of S. N. A. M. E., Vol. 65
- 4) H. Benford : Ocean Ore-Carriers Economics and Preliminary Design, Trans. of S. N. A. M. E., Vol. 68
- 5) F. H. Todd, G. R. Stunz and P. C. Pien : Series 60-The Effect upon Resistance and Power of Variation in Ship Proportion, Trans. of S. N. A. M. E., Vol. 65
- 6) 笹島秀雄, 外 : 肥大船の併流分布, 造船協会論文集, 118 号
- 7) 矢崎敦生 : AU 型プロペラ設計法に関する研究, 運輸技術研究所報告, 第 11 巻第 7 号
- 8) 並松正明, 外 : 肥大船の線図の電子計算化, 西部造船会論文集, 第 35 号
- 9) H. Benford : The Practical Application of Economics to Merchant Ship Design, De Ingenieur, 1966