(昭和 39 年 5 月造船協会春季講演会において講演)

数値計算法による現図諸展開作業 (第2報)

正員 北 村 昌 一*

正員 高 久 明 雄*

Mathematical Mould Lofting by Electronic Computer (2nd Report)

By Masakazu Kitamura, *Member*Akio Takaku, *Member*

Summary

In this shipyard, an attempt has been made to apply the electronic computer to various works in mould loft such as shell plate development as described in the first report, and many programs have been completed and placed successfully in use in many actual ships.

By this method, the conventional, complicated works in mould loft are replaced by this very simple work of making input data to the computer, and the output list from the computer can be directly used as the marking offsets in marking shop without any additional works.

Therefore, this method is very effective in simplifying works and reducing labour in mould loft.

In this report, the following three items will be explained.

- 1) Calculation of the offsets for assembling work of shell plate subassemblies.
- 2) Calculation of the offsets for bending work to transverse frames.
- 3) Calculation of sizes of shell plates which are necessary in purchasing hull steel.

The input data necessary to the above calculation consist of $x-y$ value of points on body plan. The input data for 1) and 2) are the same as those for shell plate development calculation which are read from 1/10 body plan, and the input data for 3) are read from 1/50 body plan that is drawn in the designing department.

1 緒 言

すでに第1報で述べたように、当横浜造船所では電子計算機による現図作業の数値計算法を計画し、「外板展開と曲型」、「振れロンジと見透型」、「トランスフレーム展開」、「ブロック治具」、「外板註文寸法」等多くの作業についてプログラムを完成し、その実用化に成功した。

第1報ではこれらのうち、「外板展開と曲型」、「振れロンジと見透型」について報告したが、今回その第2報として「ブロック治具」、「トランスフレーム展開」、「外板註文寸法」について報告する。

2 曲り外板ブロック組立用治具 (以下外板ブロック治具と略す)

2.1 外板ブロック治具について

現在当所で採用している外板ブロック治具については造船協会誌 349 号に詳述されているが、その構造は図1に示すように次の2つの部分により構成されている。

(1) 外板支持用治具：これは定盤面に 1250mm の間隔で格子状に配置された高さの調節できる支柱群である。

(2) ストッパー：これは外板ブロックの一方のバットに最も近い外板支持治具ラインから 300mm の距離に

原稿受付 昭和 38 年 12 月 17 日

* 三菱日本重工横浜造船所

図1 外板ブロック治具

図2 外板ブロック治具の計算-1

図3 外板ブロック治具の計算-2

設けられたポストで定盤面に対して一定の傾きを持ち、外板ブロックの一方のブロックバット面を構成する。これによつてクレーンにより支持治具上に外板を配列する際の位置決めが容易であり、正確なブロックバット面が決定でき、その他必要なマーキングの基準となる。

2.2 数値計算法

2.2.1 座標表示：正面線図において、ベースライン、センターラインをそれぞれ x, y 軸、船の長さ方向を z 軸とし、フレーム j 番、シーム i 番の点の座標を (iX_j, iY_j, iZ_j) で示す。この座標系を図2のように (X_0, Y_0) を原点として α だけ回転して得られる座標系を $X-Y'-F$ 座標系とする。この座標系をさらに図3のごとく (Z_0, Y_0) を原点とし、 β だけ回転して得られる座標系

を $X-Y-Z$ 座標系とする。

ここでフレームスペースを f_j とすれば

$$F_j = \sum_{j=2}^j f_j \quad (1)$$

以上の座標変換により $x-y-z$ 座標系の点 (iX_j, iY_j, iZ_j) は

$$X-Y'-F \text{ 座標系で } (iX_j, iY_j', F_j)$$

$$X-Y-Z \text{ 座標系で } (iX_j, iY_j, iZ_j)$$

となる。

2.2.2 定盤面の決定：定盤面はブロック全体に平均し、支持治具高さができるだけ小となるように決定されるが、当所ではブロック対角線上の相対する隅がそれぞれ同じ高さとなり、支持治具高さが最小約 400mm となるようにしている。

定盤面を決定するためにまず図2のように $x-y-z$ 座標系を $X-Y'-F$ 座標系に変換する。

このとき

$$X_0 = \frac{1}{4}(iX_1 + iX_n + mX_1 + mX_n) \quad (2)$$

$$Y_0 = \frac{1}{4}(iY_1 + iY_n + mY_1 + mY_n) \quad (3)$$

$$\phi_T = \tan \alpha = \frac{(mY_n + mY_1) - (iY_n + iY_1)}{(mX_n + mX_1) - (iX_n + iX_1)} \quad (4)$$

この $X-Y'-F$ 座標系をさらに図3のように $X-Y-Z$ 座標系に変換する。

このとき

$$\phi_L = \tan \beta = - \frac{|\phi_{Tm} x_n - m y_n - \phi_{T1} x_1 + y_1|}{\sqrt{1 + \phi_{T1}^2} \sum_{j=1}^n f_j} \quad (5)$$

これらの座標変換で得られた $X-Z$ 平面が定盤面となり、 Y が支持治具高さである。 $X-Y'$ 面はブロックバット面となるストッパーラインでその傾き γ は

$$\tan \gamma = \cot \beta$$

座標原点 (Z_0 , Y_0) は最小の Y が約 400 mm, $a=300$ mm となるように決定する。

2.2.3 支持治具高さ ${}_I Y_J$ の計算: 図1に示すように定盤面上のシーム方向の格子線を I , フレームライン方向を J とするとき, まず図2のように外板ブロックの I 断面高さ ${}_I Y_J'$ を各フレームラインの位置で求める。

まず座標変換して

$${}_i X_j = ({}_i x_j - X_0) \cos \alpha + ({}_i y_j - Y_0') \sin \alpha \quad (7)$$

$${}_i Y_j' = ({}_i y_j - Y_0') \cos \alpha - ({}_i x_j - X_0) \sin \alpha \quad (8)$$

ここで

$${}_I X_j = 1250 \times I + k \quad (9)$$

ただし

$$I = 1, 2, 3, \dots, M$$

k : 定数

とすると, ${}_I X_j$ に対応するフレームラインでの値 ${}_I Y_j'$ は

$${}_{i-1} X_j \leq {}_I X_j \leq {}_{i+1} X_j \quad (10)$$

のとき

$${}_I Y_j' = \frac{1}{{}_i A_j} \{ \sqrt{{}_i A_j^2 {}_i R_j^2 - ({}_i A_j {}_I X_j - {}_i B_j)^2} - {}_i C_j \} \quad (11)$$

ただし

$${}_i A_j = 2 \{ {}_{i+1} x_j ({}_i y_j - {}_{i-1} y_j) + {}_i x_j ({}_{i-1} y_j - {}_{i+1} y_j) + {}_{i-1} x_j ({}_{i+1} y_j - {}_i y_j) \}$$

$${}_i B_j = ({}_{i+1} x_j^2 + {}_{i+1} y_j^2) ({}_i y_j - {}_{i-1} y_j) + ({}_i x_j^2 + {}_i y_j^2) ({}_{i-1} y_j - {}_{i+1} y_j) \\ + ({}_{i-1} x_j^2 + {}_{i-1} y_j^2) ({}_{i+1} y_j - {}_i y_j)$$

$${}_i C_j = ({}_{i+1} x_j^2 + {}_{i+1} y_j^2) ({}_i x_j - {}_{i-1} x_j) + ({}_i x_j^2 + {}_i y_j^2) ({}_{i-1} x_j - {}_{i+1} x_j) \\ + ({}_{i-1} x_j^2 + {}_{i-1} y_j^2) ({}_{i+1} x_j - {}_i x_j)$$

$${}_i R_j = \frac{1}{{}_i A_j} \sqrt{({}_i A_j {}_i x_j - {}_i B_j)^2 + ({}_i A_j {}_i y_j + {}_i C_j)^2}$$

ここで (9) 式の k の値は支持治具上に最初に置かれる基準板に I ラインが2本かかるように決定する。

I 断面上の点 (${}_I X_j$, ${}_I Y_j'$, F_j) を $X-Y-Z$ 座標系に変換すると

$${}_I Z_j = (F_j - Z_0) \cos \beta + ({}_I Y_j' - Y_0) \sin \beta \quad (12)$$

$${}_I Y_j = ({}_I Y_j' - Y_0) \cos \beta - (F_j - Z_0) \sin \beta \quad (13)$$

ここで図3のように変換された I 断面を J ラインで切断すれば, 支持治具高さ ${}_I Y_J$ が求められる。

すなわち

$${}_I Z_J = 1250 \times (J-1) \quad (14)$$

ただし

$$J = 1, 2, 3, \dots, N$$

とすれば, これに対応する I 断面高さ ${}_I Y_J$ は

$${}_I Z_{J-1} \leq {}_I Z_J \leq {}_I Z_{J+1}$$

のとき

$${}_I Y_J = \frac{1}{{}_I A_J} \{ \sqrt{{}_I A_J^2 {}_I R_J^2 - ({}_I A_J {}_I Z_J - {}_I B_J)^2} - {}_I C_J \} \quad (15)$$

ただし

$${}_I A_J = 2 \{ {}_{I+1} Z_J ({}_I Y_J - {}_{I-1} Y_J) + {}_I Z_J ({}_{I-1} Y_J - {}_{I+1} Y_J) + {}_{I-1} Z_J ({}_{I+1} Y_J - {}_I Y_J) \}$$

$${}_I B_J = ({}_{I+1} Z_J^2 + {}_{I+1} Y_J^2) ({}_I Y_J - {}_{I-1} Y_J) + ({}_I Z_J^2 + {}_I Y_J^2) ({}_{I-1} Y_J - {}_{I+1} Y_J) \\ + ({}_{I-1} Z_J^2 + {}_{I-1} Y_J^2) ({}_{I+1} Y_J - {}_I Y_J)$$

$$\begin{aligned} {}_I C_j &= ({}_{I+1} Z_j^2 + {}_{I+1} Y_j^2)({}_I Z_j - {}_{I-1} Z_j) + ({}_I Z_j^2 + {}_I Y_j^2)({}_{I-1} Z_j - {}_{I+1} Z_j) \\ &\quad + ({}_{I-1} Z_j^2 + {}_{I-1} Y_j^2)({}_{I+1} Z_j - {}_I Z_j) \\ {}_I R_j &= \frac{1}{{}_I A_j} \sqrt{({}_I A_j {}_I Z_j - {}_I B_j)^2 + ({}_I A_j {}_I Y_j + {}_I C_j)^2} \end{aligned}$$

2.2.4 その他の寸法：以上で支持治具高さ ${}_I Y_j$ が求められるが、このほかに外板がストッパーに当る位置 S_I 、シームラインの定盤面に対する座標 $({}_i X_j, {}_i Y_j, {}_i Z_j)$ 、フレームライン長さ、シームライン長さ等を求めている。フレームライン長さはフレームラインを三点円の弧の連続で近似して求め、シームライン長さは直線近似で求める。

$$S_I = {}_I Y_{j=1} \sqrt{1 + \phi_L^2} \quad (16)$$

$$\left. \begin{aligned} {}_i X_j &= ({}_i x_j - X_0) \cos \alpha + ({}_i y_j - Y_0') \sin \alpha \\ {}_i Y_j &= ({}_i Y_j' - Y_0) \cos \beta - (F_j - Z_0) \sin \beta \\ {}_i Z_j &= (F_j - Z_0) \cos \beta + ({}_i Y_j' - Y_0) \sin \beta \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

3 トランスフレーム展開

3.1 フレーム曲げ加工

フレームの曲げ加工には逆直線法による冷間加工と熱間加工の2方法が考えられるが、そのいずれを用いるかはフレームの曲りの状態による。

逆直線法の場合はフレームが正規に曲げられた状態で直線となるような曲線をあらかじめ素材上に書いておくのであるから、この加工に必要な寸法は図4のように曲げによつて長さの変化しない中性軸の長さ GH_i と逆直線の曲り量 H_i である。中性軸としては型鋼の断面中心を採用すればよい。

図4 逆直線曲り量の計算

熱間加工の場合は定盤上にフレームライン形状をケ書き、これに合せながら曲げ加工を行なうが、当所ではこのフレームラインをケ書くために図5のようにフレーム上下端を結ぶ直線上でフレーム上端から 500 mm 間隔で横曲り量 Y_i を与えているので、これを計算で求めればよい。

3.2 数値計算法

3.2.1 中性軸長さの計算：一般のフレームラインは三点円の連続で近似することができる。従つて図6のようにフレームライン上の点 i の座標を (x_i, y_i) とすれば、点 $i-1$ と点 i の間のフレームライン長さ G_i' 、これに対応する中性軸長さ GN_i' は次のように求められる。

図5 熱間加工横曲り量の計算

図6 三点円近似

$$G_i' = 2|R_i|\phi \quad (18)$$

$$GN_i' = 2|R_i - DN|\phi \quad (19)$$

ただし
$$\phi = \tan^{-1} \sqrt{\frac{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}{4R_i^2 - (x_i - x_{i-1})^2 - (y_i - y_{i-1})^2}} \quad (20)$$

$$R_i = -\frac{1}{A_i} \sqrt{(A_i x_i - B_i)^2 + (A_i y_i + C_i)^2} \quad (21)$$

$$\left. \begin{aligned} A_i &= 2\{x_{i-1}(y_i - y_{i+1}) + x_i(y_{i+1} - y_{i-1}) + x_{i+1}(y_{i-1} - y_i)\} \\ B_i &= (x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2)(y_i - y_{i+1}) + (x_i^2 + y_i^2)(y_{i+1} - y_{i-1}) \\ &\quad + (x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2)(y_{i-1} - y_i) \\ C_i &= (x_{i-1}^2 + y_{i-1}^2)(x_i - x_{i+1}) + (x_i^2 + y_i^2)(x_{i+1} - x_{i-1}) \\ &\quad + (x_{i+1}^2 + y_{i+1}^2)(x_{i-1} - x_i) \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

したがってフレーム上端から点 i までのフレーム長さ G_i , 中性軸長さ GN_i は

$$G_i = \sum_{i=2}^4 G_i' \quad (23)$$

$$GN_i = \sum_{i=2}^4 GN_i' \quad (24)$$

3・2・2 逆直線曲り量 H_i の計算：逆直線はフレーム内に収まる直線であればどのようなものでもよいが、できるだけ1本で済むよう上下端における寸法 H_1 , H_n を定める。

図4のように各座標をとり、逆直線の式を

$$y = p(x - x_{e1}) + y_{e1} \quad (25)$$

とすれば求める H_i は次のようになる。

$$\begin{aligned} H_i &= \frac{x_i - x_c}{\sin \beta} \\ &= \left\{ x_i - \frac{y_i + x_i/T_i - y_{e1} + p x_{e1}}{p + 1/T_i} \right\} \frac{\sqrt{1 + T_i^2}}{T_i} \end{aligned} \quad (26)$$

ただし (22) 式の A_i , B_i , C_i を用いて

$$T_i = -\frac{A_i x_i - B_i}{A_i y_i + C_i} \quad (27)$$

このとき H_i はフレーム内に収まる値でなければならないから

$$k_1 \leq H_i \leq D - k_2 \quad (28)$$

ただし

D : フレーム深さ

k_1, k_2 : 定数

3・2・3 横曲り量 Y_I の計算： Y_I を求めるために先ず図5のように $x-y$ 座標系を $X-Y$ 座標系に変換する。

$$X_i = (x_i - x_1) \cos \phi + (y_i - y_1) \sin \phi \quad (29)$$

$$Y_i = (y_i - y_1) \cos \phi - (x_i - x_1) \sin \phi \quad (30)$$

ただし

$$\tan \phi = \frac{y_1 - y_n}{x_1 - x_n}$$

ここで

$$X_I = -500 \cdot I \quad I = 1, 2, 3, \dots$$

とすれば

$$x_{i+1} \leq X_I \leq x_{i-1}$$

のとき (21) 式, (22) 式の x_i , y_i に X_i , Y_i を代入して得られる R_i , A_i , B_i , C_i を用いて

$$Y_I = -\frac{1}{A_i} \{ \sqrt{A_i^2 R_i^2 - (A_i X_I - B_i)^2} - C_i \} \quad (31)$$

3・2・4 その他の諸寸法：フレーム曲げ加工そのものにはフレームライン実長は不要であるが、寸法チェック、仕上げマーキング等必要な場合に利用できるよう (23) 式で G_i も求める。セレーションがある場合はそのピッチと大きさを与えてセレーションの割込みを行ない、その中心位置をフレーム上端からの追寸法で与える。

フレームの外板付角度 α は次のように求められる。すなわち α を求めようとする点 $i(x_i, y_i)$ に対応して隣りのフレームライン上に点 (x_i', y_i') をとれば (27) 式の T_i を用いて

$$\alpha = \tan^{-1} \left| \frac{x_i' - x_i}{FS} \cdot \frac{T_i}{\sqrt{1 + T_i^2}} \right| \quad (32)$$

ただし

FS : フレーム・ペース

4 プログラムについて

プログラムの骨子となる計算式は上に述べたごとくであるが、これらの式を組合せて実用プログラムを作製するにあたっていくつかの問題点がある。以下それらについて簡単に述べることにする。

4.1 ブロック治具プログラム

4.1.1 リベットシームの処理：ブロック内にリベットシームがあるときはフレームラインに不連続点が生じるのでフレームラインを単純に3点円の連続で近似することはできない。従つてこのプログラムではインプットデーターによつてその有無を判別し、その結果によりプログラムの流れを2分して計算を行なっている。

4.1.2 定盤面の選定：一般の外板ブロックでは定盤面は計算により決定されるが、特に WL 面または BL 面を定盤面として選んだ方が後の作業に都合のよい場合がある。この定盤面の選定はプログラム内の判別機構で自動的に処理される。

もし WL 面を定盤面とすれば $\phi_T=0, \phi_L=0$

BL 面を定盤面とすれば $\phi_T=\infty, \phi_L=0$

として座標変換を行ない以後の計算を進める。

4.1.3 基準板の選定：支持治具上に最初に置かれる外板を基準板と呼んでいるが、この基準板は定盤面に対して傾斜の少い外板であることが望まれる。このためフレームラインの勾配の2乗和が最少となる板を基準板として選びアウトプットで指示する。基準板が決定されるとこれに2本の I ラインがかかるよう (9) 式の k の値を決定する。

4.1.4 インプットデーターおよび計算時間：インプットデーターは1/10 正面線図上で計測するが、既に外板展開のために計測した値をそのまま用いることができる。計算時間は1ブロックおよそ 1/1000 時間である。

4.2 フレーム展開プログラム

4.2.1 冷間、熱間の判別：プログラムは冷間、熱間により大きく2分されるがいずれの計算を行なうかはインプットデーターで指示する。しかしデーターの指示による判別機構とは独立に別の判別機構が用意されており、冷間の指示あるものでもそれが不可能な場合には熱間の計算を行うようプログラムの流れをコントロールする。

4.2.2 逆直線の決定：逆直線は (28) 式を満足するよう決定されなければならないが、これを満足する1本の直線が存在しないときは約 1000mm ラップさせて2本または3本の直線を用いる。3本でも満足されないときは自動的に熱間の計算を行なう。またフレームの内そり、外そり、タッチング点や変曲点の有無等により最も有利に逆直線を決定するためこれらの判別機構も用意されプログラム内で処理される。

4.2.3 インプットデーターおよび計算時間：データーは外板展開で計測した値を用いればよく、計算時間はおよそフレーム 70 本で 1/100 時間である。

5 外板注文寸法

外板鋼材は納期の関係で相当早い時期に発注しなければならないので、従来設計より出図される 1/50 正面線図により荒展開を行ないその注文寸法を決定している。しかしこの方法では精度が十分でなく且つ作業の性質上とかく過大の材料寸法となりがちである。このため精度の向上を主目的に注文寸法決定のための外板荒展開プログラムを作製した。これは既に完成している外板展開プログラムに基づき簡単なインプットデーターで計算できるようにしたもので、測地線の計算、展開方法等はそれと同じである。以下その要点をのべることにする。

(1) インプットデーター：1枚の外板について上下シーム、 G 線がそれぞれ両バットおよび中央フレームと交わる9点の $x-y$ 座標値を 1/50 正面線図で計測しデーターを作製する。連続する外板ではシームの座標はプログラム内で受渡しして共通に用いる。

(2) 計算方法：両バットと中央フレームの間に各々1本のフレームを計算により内挿し、合せて3本のフレームと両バットにより展開を行なう。展開に必要な操作は外板展開プログラムと同じである。展開された結果から最大の幅、長さを求めこれにあるマージンを加えたものを10mm単位で材料寸法としてアウトプットする。

(3) アウトプット：計算結果は外板名称の各通り（A板通り、B板通り……）ごとにまとめて次のようにプリントされる。

板名称	板厚×板幅×板長さ	重量
-----	-----------	----

(4) 精度：1/10 正面線図から計測作製したデーターで計算した結果を外板展開プログラムによるものと比較するとその最大誤差は幅、長さ方向とも $\pm 10\text{mm}$ である。この誤差は計算展開方法自体によるものであるが、この程度は許容しうるものであり、方法自体に問題はないと考えられる。

しかし1/50 正面線図でデーターを計測作製する限り、製図の精度、紙の収縮等どうしても避けられない誤差の原因が存在するので、このプログラムではこれらを考慮して計算された最大幅、長さにある係数を乗じたものを材料寸法としてアウトプットしている。

(5) その他：データー作製には5万トン型タンカーで約4工数を要し、計算時間は2/100時間である。

6 結 論

第1報でも述べたように、現図作業の数値計算化は線図の数値表示に始まり内業加工の数値制御まで結びついた一連の体制が確立されたとき真の効果を発揮するものと期待されるが、当面の問題としてぜひ考慮しなければならないのはインプットデーターの減少簡略化である。すなわち計算機そのものは非常に高い計算速度を誇りこれに要する費用も比較的安価であるが、データーの作製は工員の作業によらなければならず、このためにかかなりの工数を必要とする。従って計算方法、プログラムの構成が複雑になることを恐れずにできる限りデーターの減少簡略化を計ることが工数低減上からも誤作防止上からも有利である。現在当所ではこの方針にそつて線図の数値表示、内業加工の数値制御の完成を目指す一方、正面線図上の点をすべてデーターとして機械に記憶させ、各種計算に必要な数値を随意その中から選択して自動的に計算が行なわれるようプログラムを改善してデーターの減少を計っている。

参 考 文 献

- 北村昌一 数値計算法による現図諸展開作業（第1報） 造船協会論文集第112号
武藤昌太郎、北村昌一 曲り外板組立法 造船協会誌349号