

(昭和 29 年 11 月造船協会秋季講演会に於て講演)

近似測地線による外板展開に就いて

正員 工学士 三田村 利武

Abstract.

On the Shell Plate Developing by an Approximate Geodesic Line.

By Toshitake Mitamura, Kogakusho, Member.

There are numerous methods of developing shell plating, but these are to be simple and speedy on account of being used by any loftman, though have an error that is permitted to be used in practice.

"Center Squaring Method," "Center Spot Squaring Method," and "Diagonal Method," which are methods of developing at each frame space, have good accuracy but to be developed by complicated processes on the mold loft floor. "Base Line Method," which is the method of developing one shell plate at a stretch, is easy and speedy, but has not good accuracy, because the straight line on the body plan is assumed to be straight on the developed plan. On the lines of the body, assume that the geodesic line that is straight on the developed plan is drawn by a simple method, the shell plate may be developed easily, speedily, and accurately.

The author intends to explain that the approximate geodesic line is drawn by the easy method that has enough accuracy in practice, and the shell plate is developed by it.

1. 緒 言

船体の如き曲面を包む外板の展開は近似展開法に依る。特に造船コスト低減の為に工数の節約、工期の短縮及び誤作を少くすると云う点から考えて如何に完全に近い展開法であつても複雑なものでは実用価値が無い。工員の行う作業であり簡単に速く出来れば完全な可展面の場合でも近似法に従つた方が良いのである。勿論近似法と云つても余りに誤差があつては意味をなさないので実用上差支えの無い程度の近似差に止める可きである。一般に造船所で使用されている展開法は外板を各肋骨間で区切つて一つ一つ展開して行く方法の真金送法、送返法、襟送法と外板一枚を一度に展開する基線法とがある。後者は現図展開を行わないで墨書き出来る故工期工数の短縮になるが精度の点で前者に劣る。従つて使用範囲が制限されるのでその効果が充分發揮出来ない。そこで後者の方法に簡単な工夫を加え前者程度の精度が保てればこれに越した事はあるまい。基線法は船体正面線図に於て外板に引いた直線即ち基線が展開面に於ても直線として墨書きを行う所に誤差を生ずる大きな原因があるので曲り及び捩れの強い外板では使用出来ない欠点がある。今展開図で直線は正面線図上では一般に曲線になるがこれを容易に求められればその誤差を無くす事が出来るであろう。但しここで問題になるのは如何なる工員にもやれる簡単な方法でなければならぬと云う事である。可展曲面上の測地線は平面に展開すれば直線になる。外板の如く大きなカーブの場合非可展面でもその線に沿つたある有限範囲に就いて可展と考えられればこの測地線を近似的に求める事に依り外板を展開出来るわけである。今その方法に就いて述べて見よう。

2. 外板面上に於ける測地線の近似的求め方

今 Fig. 1 に示す如く肋骨線 F 101 及び F 102 上に A₁ 及び A₂ なる既知の二点があつたとする。A₁ 及び A₂ を通る測地線が F 103 と交る点 A₃ を近似的に求めるには A₂ を通り F 102 の仮肋骨線に直角線を引き F 101 及び F 103 との交りを B₁ 及 B₃ とし B₁A₁ に等しく B₁A₂B₃ に対し反対方向に F 103 上に B₃A₃ を求めれば良い。勿論厳密な意味で A₁B₁ と A₃B₃ とは等しく無いがその誤差は外板の場合特殊な箇所を除き A₁B₁ が極端に大きく無い限り僅少である。Fig. 2 は F 101 及 F 103 で囲まれる外板を F 102 を基準としてその前後に展開したものと示す。真金送法に依り展開されたとすると b₁a₂b₃ は直線となり a₁a₂a₃ も測地線の展開であるから直線になる。展開された外板の隣接せる肋骨線は殆んど平行であり肋骨線間の距離も大差ない故 Δa₁a₂b₁ と

$\Delta a_3 a_2 b_3$ とはほぼ合同である。

従つて $a_1 b_1$ と $a_3 b_3$ がほぼ等しいと云える。今 $a_1 b_1$ と $a_3 b_3$ とは実際にどの位置に異なるか調べて見よう。その原因としては

- 肋骨線間の距離が全く等しく無い事。(縦曲がある事)
- 肋骨線が完全に平行で無い事。(捩れがある事)
- 肋骨線が曲線である事。(横曲がある事)
- 正面線図で直線にした $B_1 A_2 B_3$ が展開面では実は曲線になる事即ち $b_1 a_2 b_3$ が厳密な意味で直線にならない事である。

以上の四点が一応考えられるがその値が問題にならない程小さいことは次の計算実例に依り示される。今これに就いて調べて見ると

- l_1 と l_2 即ち L_1 と L_2 に差がある事に依つて生ずる誤差 α 今簡単な為に F 101 と F 103 とが平行とすると

$$\alpha = \frac{a_3 b_3 - a_1 b_1}{a_1 b_1} = \frac{a_3 b_3 - a_2 b_1}{a_2 b_1} = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \quad (1)$$

Fig.3(省略)は Fig.1 の L_1 及 L_2 を知つて直ちに α を求める図表である。 $A_1 B_1 = S$ 精度とすると A_3 点の位置の誤差は αS 精度となる。Fig.4(省略)は DW 10,000 吨貨物船の工事用正面線図を示すが ($L_1 - L_2$) が F 0~F 186 間では 10 精度を越えるものは無いし F 0~FC 及び F 186~F 192 では 20 精度以下で FC より後部ではそれ以上となり $g-h-i$ で 135 精度になっている。従つてカントの特殊な部分を除いては α の値は非常に小さい事が判る。カントの特殊部分は一般にも箱型を作るか特殊な展開を考慮しなくてはならぬ所である。又 α が比較的大でも S が小なら αS が墨差の誤差に入るなら問題にならない。

- 肋骨線が平行でない事に依つて生ずる誤差 β Fig.2 をその展開面とし F 101 と F 102 及び F 102 と F 103 とのなす角を夫々 θ_1 及び θ_2 とする。 $l_1 = l_2$ とし $\angle a_1 a_2 b_1 = \phi$, $a_1 b_1 \neq b_3 e_3$ とすると

$$\begin{aligned} \frac{a_3 b_3}{a_1 b_1} &= \frac{a_3 b_3}{e_3 b_3} = \frac{\sin \angle a_3 e_3 b_3}{\sin \angle e_3 a_3 b_3} = \frac{\sin(\angle R - \theta_1 + \phi)}{\sin(\angle R - \theta_2 - \phi)} = \frac{\cos(\theta_1 - \phi)}{\cos(\theta_2 + \phi)} \\ \therefore \beta &= \frac{a_3 b_3 - a_1 b_1}{a_1 b_1} = \frac{\cos(\theta_1 - \phi) - \cos(\theta_2 + \phi)}{\cos(\theta_2 + \phi)} \end{aligned} \quad (2)$$

但 θ_1 及 θ_2 は Fig.2 の如く上方で肋骨線が狭くなるものは正、下方で狭くなる時は負とす。 ϕ は a_1 が b_1 より上方にあれば正、下方にあれば負となる。Fig.5(省略)は $|\theta_1 - \phi|$ 及び $|\theta_2 + \phi|$ を知つて β を求める図表である。Fig.6 に示す正面図の F 102 上の点 A_2 よりラインなりに上下に 500 精度の位置より図の如く C, D, E, F を測り C と D, E と F との実長差を Fig.7(省略)より求めそれを $1/1000$ したもののが θ_1 及び θ_2 と見做しておきたい。 ϕ は s が l_1 に較べ比較的小さい時は $\phi = \frac{s}{l_1}$ として求めれば良い。実際に β の値は後記計算例及び Fig.13(省略)に見る如く極めて小さく如何なる場所にても問題にならないことがわかる。

- 展開面に於ける肋骨線が曲線である事に依り生ずる誤差 γ 今まで展開面に於ける肋骨線は直線と考えたが実際は曲線になっている。即ち back-set があるがこの量が板幅に比して小さい故展開に際しては直線として行い後から曲量を付けても実際上問題にはならない。今本方法がこれに依る誤差を調べて見よう。Fig.8 は F 101 より F 103 に涉る外板の展開面で各肋骨線は平行でその曲量は等しく $a_2 b_1 = a_2 b_3$ であるとする。今近似的に各肋骨線が図の如く b_1 を原点とし板の長さの方向を x 軸、幅の方向を y 軸にとると $y^2 = j^2/gx$ なる抛物線とする。 $\angle b_1 a_2 a_1 = \phi$, $a_1 b_1 = S_1$, $a_3 b_3 = S_3$ とし k_1, k_3, h_1, h_3 を図の如くとると $x = h_1$ なる時 $y = k_1$ なる故

$$h_1 = \frac{k_1^2}{j^2} g$$

$$\text{又 } S_1 = k_1 \left\{ 1 + \frac{2}{3} \left(\frac{h_1}{k_1} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{h_1}{k_1} \right)^4 + \dots \right\}$$

$$S_3 = k_3 \left\{ 1 + \frac{2}{3} \left(\frac{h_3}{k_3} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{h_3}{k_3} \right)^4 + \dots \right\}$$

実際問題として $\frac{h_1}{k_1}$ 及び $\frac{h_3}{k_3}$ は極めて小さく 2乗項以下を省略しても差支えない。 $S_1 = k_1$, $S_3 = k_3$

$$\text{又 } \frac{k_3}{k_1} = \frac{l+h_3}{l-h_1}$$

$$\text{故に } \gamma = \frac{S_3 - S_1}{S_1} = \frac{k_3 - k_1}{k_1} = \frac{k_1 \frac{l+h_3}{l-h_1} - k_1}{k_1} = \frac{h_1 + h_3}{l-h_1} = \frac{2h_1}{l-h_1} - \frac{h_1 - h_3}{l-h_1}$$

もし h_3 は Fig.8 の如き場合は正、肋骨線の曲りが図と反対即 $a_1 a_2$ の進行方向に向つて曲つている時は負とする。実際問題として $h_1 - h_3$ は極微である故それを比較的大きい $l - h_1$ で割ると無意味に小さくなる故

$$\gamma = \frac{2h_1}{l - h_1} \quad (3)$$

但し h_1 は Fig.8 の如く進行方向と反対に曲つている時は正、進行方向に曲つている時は負をとる。

$$h_1 = \frac{k_1^2}{j^2} \cdot g = \frac{S_1^2}{j^2} \cdot g$$

但し g は板半幅 j なる時の展開面肋骨線曲量である。

Fig.9 (省略) は正面長 L 、肋骨心距、正面曲量 G を知つて g を求める図表である。実際に γ の値は後記計算例及び Fig.13 (省略) の如くその値は如何なる場所でも意味のない小さいもので問題にならない。

(iv) 展開面に於て $b_1 a_2 b_3$ が厳密な意味で直線でない事に依つて生ずる誤差 δ 精

Fig.10 に示すに正面図を何等かの方法で完全に展開出来たとした場合にその展開図が Fig.11 とすると Fig.10 に於ける $F 102$ に直角な直線 $B_1 A_2 B_3$ は Fig.11 では $b_1 a_2 b_3$ の如く厳密な意味で曲線になつてくる。即ち Fig.11 に於ける $F 102$ に直角な直線 $c_1 a_2 c_3$ より $F 101$ 及び $F 103$ 上にて夫々 $b_1 c_1$ 及び $b_3 c_3$ だけの差があることになる。従つてこれ等の差即ち $B_1 C_1$ と $B_3 C_3$ との差に依る誤差が考えられる。 $B_1 C_1 = \Delta_1$, $B_3 C_3 = \Delta_2$ とするところの値は次式で求められる。 $\Delta_1 = \frac{1}{24} (L_2 - L_1)(3\Theta_1 + \Theta_2)$ $\Delta_2 = \frac{1}{24} (L_2 - L_1)(3\Theta_2 + \Theta_1)$ $\Delta_1 = \frac{1}{12} (L_2 - L_1)(\Theta_2 - \Theta_1)$

茲 $L_1 = \overline{A_2 B_1}$, $L_2 = \overline{A_2 B_3}$, Θ_1 , Θ_2 は夫々正面図の $F 101$ と $F 102$ 及び $F 102$ と $F 103$ のなす角とする。この際 Θ_1 , Θ_2 は図の如く上が狭くなつている時は正で上が開いている時は負の値をとる。求められた Δ_1 , Δ_2 は正の時は B_1 又は B_3 より上方に C_1 , C_3 があり負ならば下方にある。上式の解析は後述する。今 Δ_2 と Δ_1 の絶対値の差を δ とすると

$$\delta = |\Delta_2| - |\Delta_1| = \pm \frac{1}{12} (L_2 - L_1)(\Theta_2 - \Theta_1) \quad (6)$$

但複号は $\Delta_1 < 0$ なら正, $\Delta_1 > 0$ なら負をとる。実際に δ の値も極めて小さく問題にならない事は後記計算例に示す如くである。

併て 4 点に生ずる誤差を総合して考えてみよう。これを ϵ 精とすると Fig.10 及び Fig.11 に於て

$$\begin{aligned} \epsilon &= |\overline{A_3 B_3}| - |\overline{A_1 B_1}| = |\overline{a_3 b_3}| - |\overline{a_1 b_1}| = (|\overline{a_3 c_3}| \mp |\overline{b_3 c_3}|) - (|\overline{a_1 c_1}| \mp |\overline{b_1 c_1}|) \\ &= (|\overline{a_3 c_3}| - |\overline{a_1 c_1}|) \mp (|\overline{b_3 c_3}| - |\overline{b_1 c_1}|) \end{aligned}$$

複号同順にして複号は B_1 に対し A_1 と C_1 が反対にあれば負号をとり同方向にあれば正号をとる。

(i)(ii)(iii) より $|\overline{a_3 c_3}| - |\overline{a_1 c_1}| = |\overline{a_1 c_1}|(1+\alpha)(1+\beta)(1+\gamma) - |\overline{a_1 c_1}| = |\overline{a_1 c_1}|(\alpha+\beta+\gamma)$
 α, β, γ の相乗積は小なる故略す。 $\overline{A_1 B_1} = S$ とすると $|\overline{a_1 c_1}| = |S| \pm |\Delta_1|$ (iv) より $|\overline{b_3 c_3}| - |\overline{b_1 c_1}| = \delta$
 $\therefore \epsilon = (|S| \pm |\Delta_1|)(\alpha+\beta+\gamma) \mp \delta$ (複号同順) $|\Delta_1|$ と $(\alpha+\beta+\gamma)$ の積は小なる故略すと

$$\epsilon = |S|(\alpha+\beta+\gamma) \pm \delta \quad (7)$$

但し複号は S と Δ_1 と同符号なら正号、異符号なら負号、そこで実際にこれ等誤差が如何なる値になるか計算して見よう。Fig.4 (省略) の如き正面線図上の適当な点(1)(2)……(64)をとり Fig.6 の如く ABCDEFG をとると Fig.12 (省略) の如くなる。

これに依り $\alpha\beta\gamma\delta$ 及び ϵ を S を $50m/m$, $25m/m$, $-25m/m$, $-50m/m$ にとり計算して見ると Fig.13 (省略) の如くなる。これ等の値は非常に小さく実際問題として無視出来るものであることがわかる。ただ α の値でカント附近がやや大きい。参考の為に Δ_1 の符号と Δ_1 と Δ_2 の平均値を求めてみた。これは真金送法の誤差になる。 S の負号は Fig.10 の A_1 が B_1 より下になる時で、これを外板展開に実際に応用する時は一般に S の符号は θ の符号と一致する。 ϵ は正になると作図より A_3 が B_3 より離れ負になる時は逆に近づいていくことになる。

今計算例を示して見よう。(26)の場合をとると

$$\begin{aligned} A &= 52m/m & C &= 71m/m & E &= 85m/m & G &= 32m/m \\ B &= 61m/m & D &= 23m/m & F &= 35m/m & FS &= 800m/m \end{aligned}$$

$$\alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1} \quad (1)$$

Fig.3 (省略) より求めるか, Fig.7 (省略より) l_1, l_2 を求めると $\alpha = 0.00075$

$$\beta = \frac{\cos(\theta_1 - \phi) - \cos(\theta_2 + \phi)}{\cos(\theta_2 + \phi)} \quad (2)$$

C, D 及び E, F の実長を Fig.7 (省略) より求めその差を $1/1000$ したものを θ_1 及び θ_2 として良い。

$$\theta_1 = -0.0027 \quad \theta_2 = -0.0037$$

S が l_1 に較べ比較的小さい故 $\phi = \frac{S}{l_1} = -0.0623$

$$|\theta_1 - \phi| = 0.0596 \quad |\theta_2 + \phi| = 0.0660$$

(2)式又は Fig.5 (省略) より $\beta = 0.0004$

$$\gamma = \frac{2h_1}{l_1 - h_1} \quad h_1 = \frac{S^2}{500^2} \cdot g \quad (3)$$

Fig.9 (省略) より $L=52, FS=800, G=32$ より $g=2 \therefore h_1=0.02$

$$\therefore \gamma = 0.00005$$

$$\delta = -\frac{1}{12} \cdot (L_2 - L_1)(\Theta_2 - \Theta_1) \quad (6) \quad \because \Delta_1 > 0$$

$$L_2 = 61, L_1 = 52, \Theta_2 = \frac{35-85}{1000} = -0.050, \Theta_1 = \frac{23-71}{1000} = -0.048$$

$$\therefore \delta = 0.00015$$

$$\varepsilon = |S| \times (\alpha + \beta + \gamma) - \delta \quad (7) \quad \because \Delta_1 > 0, S_1 < 0$$

$$\therefore \varepsilon = 0.0585 \text{ 精度}$$

A_3B_3 は実際には 50.0585 精度であらねばならぬことになる。

$$(4)(5)式より \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2|}{2} = \frac{1}{12} \cdot (L_1 - L_2)(\Theta_1 + \Theta_2) = 0.0735 \text{ 精度}$$

この場合本方法は真金送法より精度が良いことになる。一般に S の値は本方法に依る場合は A 点が中央より離れるに従つて漸次増加し 30 精度位が限度になるのが普通である。以上の如くこれ等の誤差は非常に小さく作図誤差の中に含まれてしまうことがわかる。依つてこの方法に依り外板を開いてみよう。

3. 近似測地線に依る外板展開法及び書き方

Fig.14 に示す F 100 より F 110 に涉る外板を本方法に依つて展開してみよう。各肋骨心距は同じとする。

- 1) 各肋骨線の上下縁シームとの交点をチョークラインで直線に結ぶ(仮肋骨線と云う)。
- 2) この外板の中央に近い肋骨線 F 105 のほぼ中央に基点 A_5 を求める(測地線が外板全体に涉る様注意して決める)。
- 3) A_5 点より F 105 の仮肋骨線に直角線 XY をチョークラインで打つ(これは従来の基線法の基線であつて測地線がこれを基準として上下に曲線となつて現れてくる目安にする)。
- 4) 直線 XY が F 104, F 106 の肋骨線と交する点を A_4, A_6 とす。
- 5) A_4 より F 104 の仮肋骨線に直角線を打ち F 105, F 103 との交りを B_5 及び C_3 とす。
- 6) $B_5A_5=C_3A_3$ なる様に肋骨線なりに直角線に対し反対側に A_3 点を求める。
- 7) A_3 点より F 103 の仮肋骨線に直角線 $B_4A_3C_2$ を引き $B_4A_4=C_2A_2$ なる様 A_2 を求める。
- 8) 以上の如く A_5 を基点にして前後方向に A_0 より A_{10} までの点を求めるとき等を結ぶ曲線が展開した時 F 105 に直角な直線となる近似測地線である。
- 9) 測地線実長定木(基準線定木)は $A_0 \cdots A_{10}$ の位置を実肋骨線の位置として拾い実長を求めて作る。基準となる中央の肋骨線 F 105 の展開面の仮肋骨線がこの定木と直交する位置を A_5 の実長上の位置よりその点のパックセッタの量だけずらして定木上に直角線位置として明示しておく。
- 10) 上下縁実長定木及び幅定木は基線法と同様に作り、幅定木には $A_0 \cdots A_{10}$ の位置を測地線(基準線)の位置として夫々拾つて置く。肋骨線に曲りがある場合には其の曲量の一番大きい位置に於てパックセッタ量を幅定木に明示して置く。板接手, WL, BL 及内部構造部位置等を記しておくことは勿論である。

- 11) 一部型、曲型等は従来通りに作る。
- 12) 罫書には測地線定木と外板両端接手及び中央肋骨の幅定木とから鋼板上に測地線（基準直線）の位置を求めて打つ。この直線上に測地線定木（基準線定木）を当てて直角線の位置（F 105 の仮肋骨線の位置）及び各肋骨線の位置を罫書く。
- 13) 直角線の位置即ち F 105 の仮肋骨線の位置にてこの直線に直角線を打ち、これに F 105 の幅定木を当て上下シームの位置を罫書く。
- 14) 他の肋骨及び板端に於ける板幅を $A_0 \dots A_{10}$ の基準線上の相当位置に夫々の幅定木を当て罫書く。
- 15) F 105 を基準とし上下シーム実長定木と前項の板幅位置に依り上下縁の肋骨位置を決める。（これ等と基準線の肋骨位置とを結ぶ曲線が展開肋骨線となる。）
- 16) 肋骨曲線は上記三点を結んで引くが又幅定木に示された最大バックセットの位置と量に依り肋骨曲線を注意して引く。
- 17) 輪廓を書き鉛孔、W.L., B.L., 等や工作上の必要な記号を入れ、必要な箇所は一部型を用い。ローラー曲心を入れれば罫書は終る。

以上は一般の場合を述べたが大型铸物取合外板の如きは従来通りの展開は行わなければならないし、又次の如き場合は特に注意して修正しなくてはならない。

註(1) 一枚の外板中途中で肋骨心距が変る場合。

勿、以上は各肋骨心距が等しい場合を考えたが、船の船首船尾になると肋骨心距が変化し狭くなつてくる。この場合は特に注意して次の方法をとつて求めねばならない。

Fig. 15 (省略) は F 14 で肋骨心距が 800 粕より 685 粕になる所とする。

Fig. 16 (省略) は $OP : PQ = 800 : 685$ になるように直線 \overline{OQ} を板の上に引いたものとする。今 Fig. 15 の A_5 , A_4 を知つて A_3 を求めるものとする。

(イ) A_4 より F 14 に直角線 $\overline{B_5A_4C_3}$ を引く。(ロ) $\overline{A_5B_5} = \overline{OP}$ に P をとり OP に直角に PQ をとり $PQ = \overline{C_3A_3}$ に A_3 を求めれば良い。

又 Fig. 17 (省略) の如き度型に依れば $\overline{OP} = \overline{A_5B_5}$ なら $\overline{RQ} = \overline{A_3C_3}$ にとれる。

註(2) 縦曲が強い場合 (α の影響が大なる場合)。

実際に問題になるような事は殆んどないが若し縦曲が異常に強い Fig. 18 (省略) の如き場合があつたとする。即ち $\overline{A_2B_1}$ と $\overline{A_2C_3}$ の差が非常に多い場合には次の方法に依り修正する。Fig. 18 (省略) の A_1 及び A_2 は既知にて A_3 を求める。

(イ) A_2 より F 32 に直角線 $\overline{B_1A_2C_3}$ を引く。(ロ) Fig. 19 (省略) の如き度型上にて $\overline{A_2B_1} = \overline{OP}$, $\overline{A_2C_3} = \overline{OQ}$ とする。(ハ) P より $\overline{PP'}$ 及び $\overline{QQ'}$ に直角線を引きそのなす角の二等分線上にくる如く M 点を $\overline{QQ'}$ 上に求める。(ニ) $\overline{MR} \perp \overline{OQ}$ なるよう R を求める。(ホ) $\overline{QR} = \overline{C_3D}$ に D を Fig. 18 に求める。

(ヘ) D を通り F 33 に平行に DE を求める。(ト) $\overline{A_1B_1} = \overline{DE}$ なる点 E を求める。(チ) $\overline{A_1A_2E}$ を延長すると F 33 の交点が A_3 である。

以上の外に β, γ, δ の影響があるが修正を要する程大きな誤差は實際上生じない故考慮しない (Fig. 13 参照省略)。

註(3) 中央肋骨線に直角な線が外板全般に涉らない場合。

Fig. 20 (省略) の如く中央の F 15 に直角な線が如何にも板全体に涉らない事がある。この場合適当方向 \overline{XY} の如きを求めてこの線に近い測地線 $\overline{X'Y'}$ を同様に求めて良い。但この場合 F 15 に直角な線に沿う場合に較べ誤差のやや大きくなる事は Fig. 1 に於ける S が大となる事に依り否めない事実である。それ故成る可く直角に近いように XY を設置した方が良い。又この測地線と F 15 のなす展開実角を求め型を作つておく必要がある。

Fig. 20 (省略) の B より F 15 の仮肋骨線に直角に \overline{BC} を求める。

Fig. 21 (省略) にて $\overline{bd} = \text{肋骨心距}, \overline{dc} = \overline{BC}, \angle acb = \angle R, \overline{ac} = \overline{AC}$ にとると $\angle bac$ はその実角である。

4. 展開面に於て肋骨線に直角な直線は正面線図に於て

一般に曲線に現れる事に依つて生ずる誤差を求める近似式

Fig. 11 に於て F 102 に直角な $c_1a_2c_3$ は Fig. 10 に於ては $\widehat{C_1A_2C_3}$ なる曲線になる事に依つて生ずる誤差を

Δ_1 及び Δ_2 としたがこれを求める近似式を求めてみよう。

今一肋骨心距間を等分して表われる正面線図上的一般肋骨線を Fig. 22 (省略) の $F(m), F(m-1), F(m-2)$, とする。 XY は最初の基準肋骨に直角な直線とすると A_{m-2}, A_{m-1} が既知の点とし $B_{m-2}A_{m-1}C_m$ が $F(m-1)$ に直角なる時 $A_{m-2}B_{m-2}=C_mA_m$ に A_m を求めたとする時、この A_{m-2}, A_{m-1}, A_m 点が XY と各肋骨線に沿つて d_{m-2}, d_{m-1}, d_m なる位置にあるとする。又 XY が夫々の肋骨線に依り切られる長さを図の如く l_{m-1}, l_m とし $F(m-2), F(m-1), F(m)$ に依つてなされる角を図の如く θ_{m-1}, θ_m とする。

$m=0$ なる時は $F(0)$ は XY に直角である。 XY と $F(m-1)$ の交点を D_{m-1} とすると

$$\text{故に } \angle X D_{m-1} A_{m-1} = \angle R - \sum_{x=1}^{m-1} \theta_x$$

$$\begin{aligned} A_{m-2}B_{m-2} &= \frac{l_{m-1} \sin \sum_{x=1}^{m-1} \theta_x - d_{m-1}}{\cos \theta_{m-1}} + d_{m-2} \\ A_m C_m &= \frac{l_m \sin \sum_{x=1}^{m-1} \theta_x + d_{m-1}}{\cos \theta_m} - d_m \end{aligned}$$

故に d_m, d_{m-1}, d_{m-2} 間には次の関係式が出来る。

$$d_m = \sin \sum_{x=1}^{m-1} \theta_x \left(\frac{l_m}{\cos \theta_m} - \frac{l_{m-1}}{\cos \theta_{m-1}} \right) + d_{m-1} \left(\frac{1}{\cos \theta_m} + \frac{1}{\cos \theta_{m-1}} \right) - d_{m-2}$$

今 θ_x が非常に 0 に近いならば $\cos \theta_x \approx 1$ である故上式は実用上

$$d_m = \sin \sum_{x=1}^{m-1} \theta_x (l_m - l_{m-1}) + 2d_{m-1} - d_{m-2}$$

$$\text{又同様 } d_{m-1} = \sin \sum_{x=1}^{m-2} \theta_x (l_{m-1} - l_{m-2}) + 2d_{m-2} - d_{m-3}$$

$$d_4 = \sin \sum_{x=1}^3 \theta_x (l_4 - l_3) + 2d_3 - d_2$$

$$d_3 = \sin \sum_{x=1}^2 \theta_x (l_3 - l_2) + 2d_2$$

$$d_2 = \sin \theta_1 (l_2 - l_1)$$

これ等の式より $d_2 \dots d_{m-1}$ を消去すると

$$\begin{aligned} d_m &= \sin \sum_{x=1}^{m-1} \theta_x (l_m - l_{m-1}) + 2 \sin \sum_{x=1}^{m-2} \theta_x (l_{m-1} - l_{m-2}) + 3 \sin \sum_{x=1}^{m-3} \theta_x (l_{m-2} - l_{m-3}) + \dots \dots \dots \\ &\dots \dots \dots + (m-3) \sin \sum_{x=1}^3 \theta_x (l_4 - l_3) + (m-2) \sin \sum_{x=1}^2 \theta_x (l_3 - l_2) + (m-1) \sin \theta_1 (l_2 - l_1) \quad (8) \end{aligned}$$

今 Fig. 23 (省略) に於て $F_1 \sim F_3$ にかけて考えてみる。肋骨心距は同じ F とする。 XY は F_2 に直角な線とする。 L_1, L_2 は XY が F_1, F_2, F_3 に切られる部分、 Θ_1, Θ_2 は F_1, F_2, F_3 に依り作られる角、 Δ_1, Δ_2 は F_1 及び F_3 に於ける偏量とする。 XY を含む紙面に垂直な平面に現れる曲線 POQ は近似的に二次の抛物線とすると (Fig. 24 省略)

抛物線の式 $x = A_y^2 + B_y + C$ は

$$0 \text{ を原点とすると } x = \frac{L_2 - L_1}{2F^2} y^2 + \frac{L_2 + L_1}{2F} y \text{ となる。}$$

F を n 等分した正面長を夫々 $l_1 \dots l_n$ とし $\frac{F}{n} = f$ とすると

$$l_m = x_m - x_{m-1}$$

$$\text{故に } l_m = \frac{L_2 - L_1}{2F^2} (2m-1)f^2 + \frac{L_2 + L_1}{2F} f$$

$$l_{m-1} = \frac{L_2 - L_1}{2F^2} (2m-3)f^2 + \frac{L_2 + L_1}{2F} f$$

$$l_1 = \frac{L_3 - L_1}{2F^2} f^2 + \frac{L_2 + L_1}{2F} f$$

$$\therefore l_m - l_{m-1} = l_{m-1} - l_{m-2} = \dots = l_2 - l_1 = \frac{L_2 - L_1}{F^2} f^2 = \frac{L_2 - L_1}{n^2}$$

次に肋骨心距を n 等分することに依り現れる正面図に於ける肋骨線と F 2 (Fig. 23 省略)) となす角を $\sum \theta_x$ とすると Fig. 25 (省略) に示す如く x' 軸に $\sin \sum \theta_x$ を取り y' 軸に肋骨心距をとると現れる曲線 P'O'Q' を同様に近似的に二次抛物線とすると式は

$$x' = \frac{\sin \Theta_2 - \sin \Theta_1}{2F^2} y'^2 + \frac{\sin \Theta_2 + \sin \Theta_1}{2F} y'$$

故に $\sin \sum_{x=1}^{m-1} \theta_x = \frac{\sin \Theta_2 - \sin \Theta_1}{2F^2} (m-1)^2 f^2 + \frac{\sin \Theta_2 + \sin \Theta_1}{2F} (m-1)f$

$$\sin \sum_{x=1}^{m-2} \theta_x = \frac{\sin \Theta_2 - \sin \Theta_1}{2F^2} (m-2)^2 f^2 + \frac{\sin \Theta_2 + \sin \Theta_1}{2F} (m-2)f$$

$$\sin \theta_1 = \frac{\sin \Theta_2 - \sin \Theta_1}{2F^2} f^2 + \frac{\sin \Theta_2 + \sin \Theta_1}{2F} f$$

これ等を(8)に代入すると

$$d_m = \frac{L_2 - L_1}{n^2} \left\{ \frac{1}{24} \frac{\sin \Theta_2 - \sin \Theta_1}{n^2} m^2 (m^2 - 1) + \frac{1}{12} \frac{\sin \Theta_2 + \sin \Theta_1}{n} m (m^2 - 1) \right\}$$

$m = n$ なら $d_n = \frac{1}{24} (L_2 - L_1) (3 \sin \Theta_2 + \sin \Theta_1) \left(1 - \frac{1}{n^2} \right)$ (9)

今肋骨心距間を無限に等分したとすると $n \rightarrow \infty$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} d_n = \frac{1}{24} (L_2 - L_1) (3 \sin \Theta_2 + \sin \Theta_1)$$

実際には Θ_1, Θ_2 は極めて小なる故 $\sin \Theta_2 \approx \Theta_2, \sin \Theta_1 \approx \Theta_1$

$$\Delta_2 = \frac{1}{24} (L_2 - L_1) (3 \Theta_2 + \Theta_1)$$

$$\Delta_1 = \frac{1}{24} (L_1 - L_2) (3 \Theta_1 + \Theta_2)$$

この場合の Θ_1, Θ_2 は Fig. 23 (省略) の如く肋骨線間が XY より上方で狭い時は正、下で狭い時は負とする。

以上肋骨線は直線として考えたが実際は一般に曲線で現れるのであるが Δ_1, Δ_2 が微小距離である故この間外板の如き場合は直線と考えて問題でない。

5. 本方法と真金送法及び基線法との誤差の一例

Fig. 4 (省略) の如き正面線図の比較的問題のある A 板の F 24-36 にかけて実例をとつてみよう。便宜上板幅を 1 米として三方法の誤差を計算してみる。Fig. 26 は夫々の位置の肋骨間の落を拾つたもので Fig. 27 に其の生ずる誤差を示してある。①は本方法②は真金送法③は基線法に依る正しい位置との誤差を示す。正号は夫々の作図より正しい位置が肋骨線に沿つて上にある時で負号は下にある時である。これに依ると①が一番誤差が少く②がそれに次ぎ③は最も大きいことが判る。

6. 基線展開法と本方法との使用範囲

一般に基線展開法が使用出来る範囲に於ては出来るだけ基線法を使つた方が経済的で間違も少い事は論を俟たないが基線法と本方法との使用の限界に就いて述べてみよう。Fig. 28 (省略) に於て F 101~109 間を展開しようとすると今中央の肋骨線 F 105 の中央にてそれに直交する測地線と正面図の直線との F 101 及 F 109 上に於ける偏れを Δ_1 及 Δ_2 とする。前述の近似式は二肋骨心距間のものであつたがこれを外板一枚に及ぼしてもこの際には大過はない。同一肋骨心距ならば

$$\Delta_1 = \frac{1}{24} (L_1 - L_2) (3 \Theta_1 + \Theta_2), \quad \Delta_2 = \frac{1}{24} (L_2 - L_1) (3 \Theta_2 + \Theta_1)$$

今 $D = \frac{|\Delta_1| + |\Delta_2|}{2} = \frac{1}{12} |(L_1 - L_2)(\Theta_1 + \Theta_2)|$

次に m =縦曲量。 L =外板縦長(実長) B =外板中央板幅(実肋骨線長) B' =中央仮肋骨線長。 a =中央下縁にて中央仮肋骨線に直角に両端肋骨間を距つた正面長。 b =同様上縁に於ける正面長。 Θ =両端肋骨線によりなされる正面角 $\Theta = \Theta_1 + \Theta_2$ 実際問題として B と B' は大差がない故 (Fig. 29 (省略)) $\Theta = \frac{a-b}{B'} = \frac{a-b}{B}$
又 Fig. 30 (省略) より $m = \frac{L_1 - L_2}{2}$

Fig. 31 (省略) に於て実線は本方法に依り、鎖線は基線法に依るものとすると鎖線を実線に重ね合せるために少しく回転させると肋骨線 F 105 は点線の如くなる。この時の肋骨線のシームに於ける偏れを x とすると

$$x = \frac{BD}{L} = \frac{1}{6} \cdot \frac{B}{L} \cdot m \cdot \frac{a-b}{B} = \frac{1}{6} \cdot \frac{m}{L} (a-b)$$

今下縁の肋骨線の位置を正しく置くと上縁に於ける肋骨線の偏れは約 $2x$ となる。この時上縁における鉛孔のぞれの許容範囲を 0.5 精度とすると x は 0.25 精度以下を要する。Fig. 4 (省略) のイ、ロ…タの外板に就いて求めてみると Fig. 32 の如くなる。即ちイヘトチワカヨタでは基線法は使用出来ない。又カント附近のカーブが極端な場合には従来通り箱型に依るか、板中央の長さを十分正確にとり外板に直角な肋骨を仮設して展開した方が良かろう。一般に墨差に依る作業が 0.2 精度以下を保ち得ないとすると前記一肋骨心距間の誤差が 0.2 精度までは本方法を使つても良い事になる。

7. 基線法、真金送法と本方法との経済的比較

同一外板の展開に以上 3 方法を用いた場合の大体の作業時間を比較してみよう。外板片舷 10 枚を 2 名で展開するとして各工程毎に分解して延作業時間を表にしたのが Fig. 33 である。この中基線法及測地線法の⑤⑥は②を墨掛けすることになり、真金送法は展開図より捨つて墨掛けしなくてはならない。人に依り夫々多少の個人差はあるが真金送法に較べ遙に工期工数の節約が出来る事になる。

8. 結 語

以上述べた如くこの方法は肋骨心距の変り目に注意すれば極めて簡単であり従来の方法と較べて十分な精度を有し、現圖場床にての展開を必要としない故工期工数の短縮となる事は論を俟たない。Fig. 34 にこれ等の利欠点を表にしてみた。又展開した時シームを直線にしたい時でも本方法を用うれば良い。(終)

近似測地線に依る外板展開に就いて

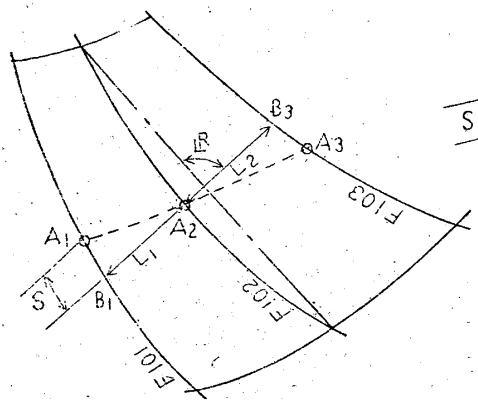


Fig.1 正面線図

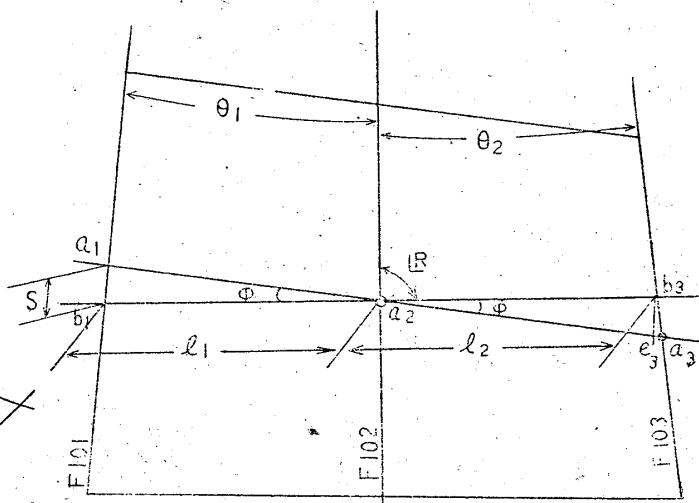


Fig.2 展開図

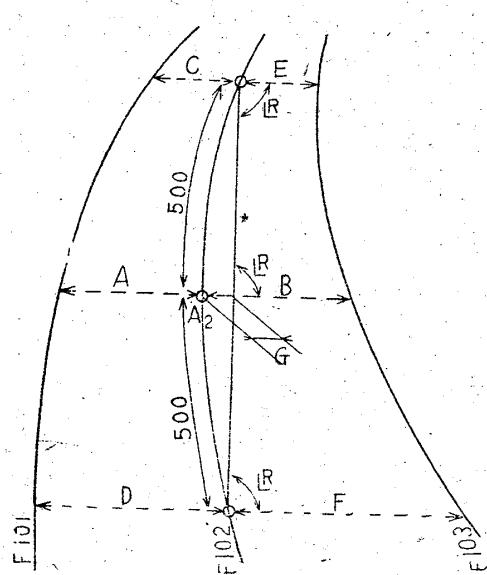


Fig.6 正面図

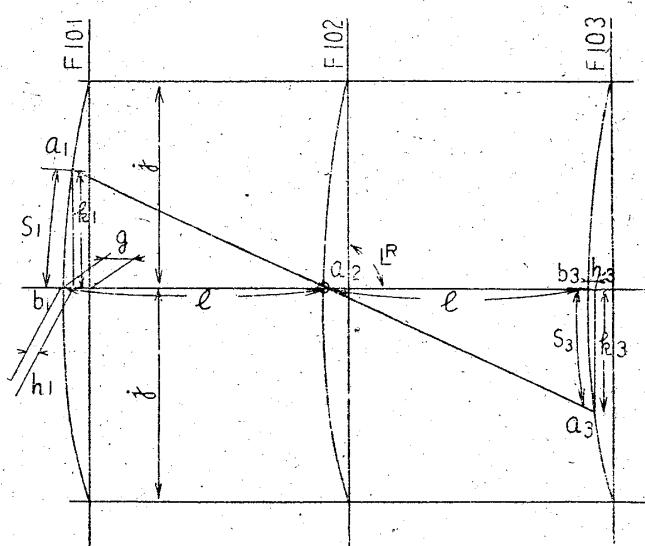


Fig.8 展開図

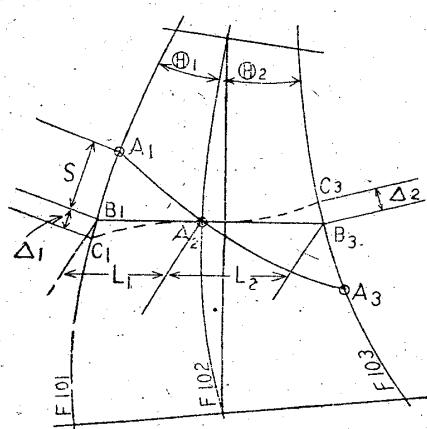


Fig.10 正面図

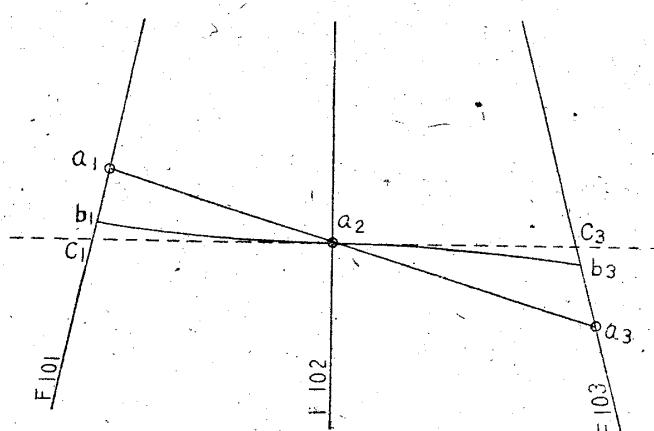


Fig.11 展開図

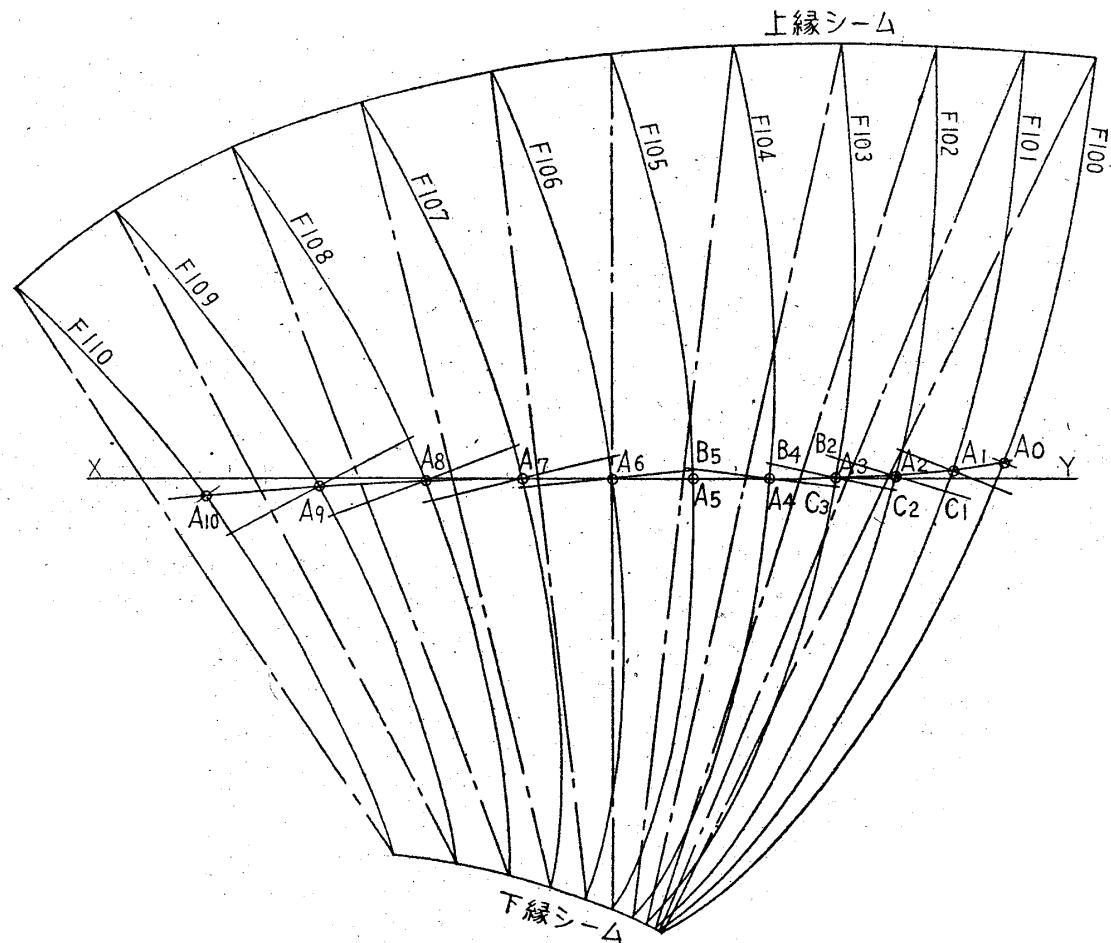


Fig. 14 正面線図

Fig. 26

Fig. 27

フレーム	上縁	板中心	下縁	肋番	α	β	γ	$S(\alpha + \beta + \gamma)$	δ	Δ	ϵ	①	②	③
25-24	109	84	58	24	0.0005	0.0002	0.0000	0.0148	0.0003		0.0145	0.0091	0.0338	0.1930
26-25	104	80	54	25	0.0005	0.0002	0.0000	0.0118	0.0003		0.0115	0.0054	0.0331	0.1592
27-26	99	75	50	26	0.0005	0.0001	0.0000	0.0077	0.0003		0.0074	0.0169	0.0325	0.1261
28-27	94	71	46	27	0.0004	0.0001	0.0000	0.0046	0.0003		0.0043	0.0243	0.0318	0.0936
29-28	89	67	42	28	0.0004	0.0000	0.0000	0.0024	0.0003		0.0021	0.0286	0.0311	0.0618
30-29	84	63	38	29						0.0307		0.0307	0.0307	0.0307
30-31	80	59	34	31						0.0307		0.0307	0.0307	0.0307
31-32	75	55	31	32	0.0004	0.0000	0.0000	0.0020	0.0003		0.0017	0.0290	0.0296	0.0603
32-33	70	50	27	33	0.0004	0.0000	0.0000	0.0028	0.0003		0.0025	0.0265	0.0288	0.0891
33-34	65	46	23	34	0.0004	0.0000	0.0000	0.0036	0.0003		0.0033	0.0232	0.0281	0.1172
34-35	60	42	19	35	0.0003	0.0000	0.0000	0.0032	0.0003		0.0029	0.0203	0.0275	0.1447
35-36	56	38	15	36	0.0003	0.0001	0.0000	0.0024	0.0003		0.0021	0.0182	0.0273	0.1720

A板 F.S=800 単位耗

① 測地線法に依る誤差 ② 真金送り法に依る誤差 ③ 基線法に依る誤差

夫々の作図より正しい位置がフレームラインに沿つて上にあれば(+)下にあれば(-)

近似測地線に依る外板展開に就いて

Fig. 32

符号	板名	肋骨番号	a	b	$a \sim b$	m	B	B'	L	x	D	
イ	B	30—40	520	1120	600	66	1622	1620	8043	0.82	4.1	測
ロ	D	19—29	1992	1263	171	36	1100	1100	8275	0.12	0.9	基
ハ	G	35—45	1558	1493	95	64	1368	1367	8160	0.12	0.7	"
ニ	H	18—26	1627	1502	125	4	1344	1344	6589	0.13	0.6	"
ホ	M	18—26	1282	1176	106	54	1273	1273	6518	0.15	0.8	"
ヘ	A	157—167	284	890	106	48	1330	1324	6887	0.70	3.7	測
ト	C	133—143	288	1024	736	124	1590	1589	8027	1.92	9.5	"
チ	F	116—128	944	765	179	88	1450	1442	8647	0.30	1.8	"
リ	E	149—159	1665	1720	55	15	1200	1200	7058	0.02	0.1	基
ヌ	G	125—137	1473	1298	175	24	1453	1452	9708	0.07	0.5	"
ル	J	157—167	1869	1854	15	26	1342	1342	7099	0.01	0.05	"
ヲ	L	133—143	1175	1033	142	84	1078	1078	8078	0.25	1.8	"
ワ	S	154—164	1624	1461	157	38	1520	1520	7025	0.30	1.8	測
カ	M	2—h	2460	2645	185	225	1104	1104	6615	1.05	6.3	"
ヨ	S	2—h	2638	2835	197	235	1383	1382	6685	1.15	5.6	"
タ	N	2—h	2825	2965	140	245	1075	1075	6755	0.85	5.3	"

Fig. 33 作業時間比較表

展開種類	作業分解	作業時間比較表			備考
		基線法	測地線法	真金送法	
(1) 基準線又は点を求める		5H	10H	10H	○本型以外は全部定木とし一部
(2) 幅及長さの実長を拾う		20H	20H	20H	○曲型
(3) パックセットを拾う		10H	10H	10H	○型はない。
(4) 展開				40H	○中央フレームラインに直角な
(5) 基準線定木を作る		5H	5H	20H	○線が外板全体に涉るものとす。
(6) 幅及上下シーム定木を作る		10H	10H	30H	○本線は外板フレームラインにて拾う上下前後計四
(7) 曲型を作る		30H	30H	30H	○時間は延時間を示す。
(8) 板の縦横曲量を測る		10H	10H	10H	○作業量は外板片舷十枚分を二
合 計		90H	95H	170H	○精度が良い。

Fig. 34

	基 線 法	測 地 線 法	真 金 送 法
利 点	○展開不用に付工期工数の短縮となる。 ○肋骨心巨の変化に気を使わない	○展開不要に付工期工数の短縮となる。 ○精度が充分に良い。 ○測地線を作る際直角を掛けるのが少々悪くても余り問題にならない ○測地線が中央フレームラインに必ず直交しなくても用いられる。	○精度が良い。 ○肋骨心巨の変化に気を使わない。 ○フレームラインとシームラインが極端な度を持つ場合でも用いられる。
欠 点	○精度が悪い故使用範囲が制限される。 ○基線が外板全体に涉らないことがある。	○肋骨心巨の変化する所を特に注意しないと誤る。 ○測地線がフレームラインと極端に度を持つ場合に正面図フレームラインの間隔が極端に変化する場合は修正をする。	○現図場上で展開を要する。 ○正面図及び展開面図にて一つ一つの直角の掛け方が不良だと大きな誤作を生じ精度は基線法よりも悪くなることがある。