

## 7 実長を無視する展開

これまでは、空間実長が展開平面に移し変えられる展開方法であって：

可展面：実長×実角が完全に移せる。

非可展面：実長を押えて近似させる。

ことで区分した。

この章から、実長を押えては展開が近似的にも成立しない場合を取扱う。

### 7.1 曲り量の大きい板の展開

曲りの程度が甚しくなると、実長を追う展開の近似度は低下し、方法原則の矛盾が大きくなってくる。

まずは典型的な一般曲面を考えてみよう。

#### 7.1.1 ドーナツ面の考察

菓子のドーナツを2方に切り、4分したようなチューブ状の曲面（図2.7.1）を想定する。そしてこの分割断面で上下に継手があるとき（図2.7.2の上）、

A：凹曲り⇒図2.7.2 A

B：凸曲り⇒図2.7.3 B

このA Bは全く異なった形状を持つが、水平に継手があるとき（図2.7.2の下）、上下に分れるC Dは、継手面に対称で、一方のみ考えればよい。これをC D⇒図2.7.3 Dで示す。

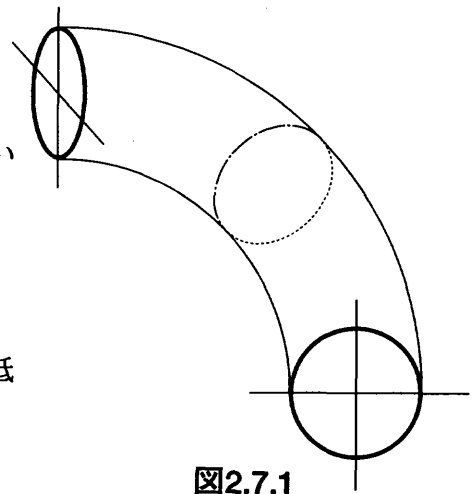


図2.7.1

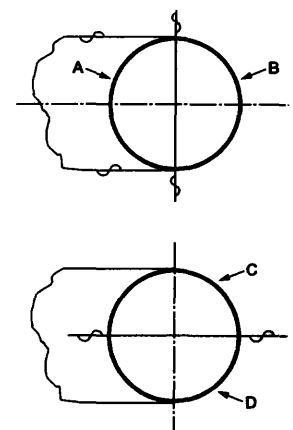


図2.7.2

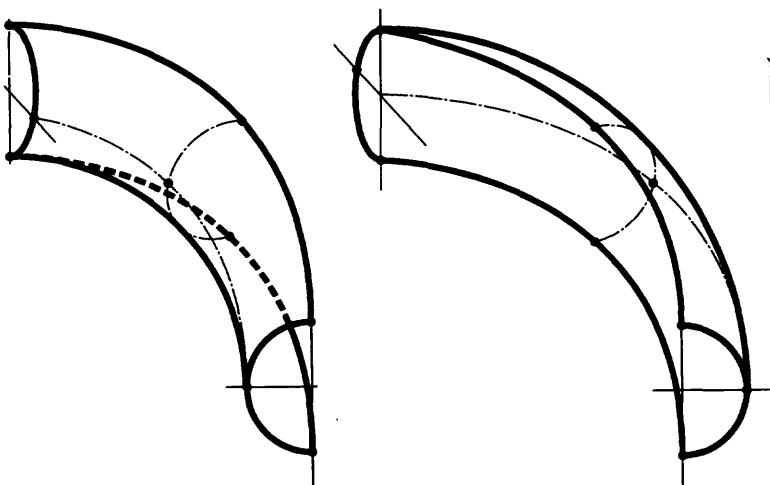


図2.7.3A

図2.7.3B

図2.7.3D

これらをどのように展開するか。

- ① 造船では「1 はじめに」の章で触れたように、プレス型押切りやピーニング（局部槌打による伸展）は使えないから、曲面成型は、直線矢弦によるプレス折やローラーによる柱面曲げと、熱加工による収縮が手段となる。

つまり面の伸びは前提にできない。

- ② 縦横2方向に曲りがあるとき、先に曲りのきつい面を成形し、あとよりゆるやかな方の曲りを付けて完成させるのが、加工手順となる。
- ③ 対称な曲面では、その対称軸を基線として（その線で折返すように）展開する。

これらの原則から考える。

AとBの場合は、きつい方の曲り（ドーナツ断面）と、展開基線とする対称軸は、そのドーナツ断面の中間平面で、同じであるが、ゆるやかな曲り（対称軸の曲り方向）が、凹凸逆となっている。つまり収縮加工を行う曲げだけが異るとしてよい。

Aでは展開基線となる断面中央部を縮め、Bでは断面端縁部を縮める加工となり、縮まない実長の方を正とし、縮む方の実長は無視するのが展開となる。

図2.7.4 AにAの、図2.7.4 BにBの展開要領を示す。実線は実長で、実線と破線の二重線は実長無視の線である。ハッチングした形状は、焼縮めの量をイメージとして表現している。

ドーナツ面を水平に割ったCとDには、曲面の対称軸はなく、展開は図2.7.4 Dのイメージで、この図でN.A.とは焼縮めのない曲面母線である。

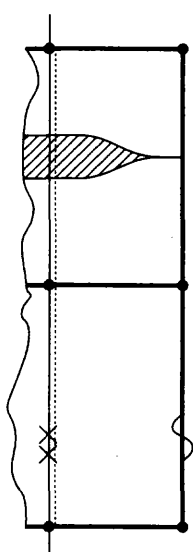


図2.7.4A

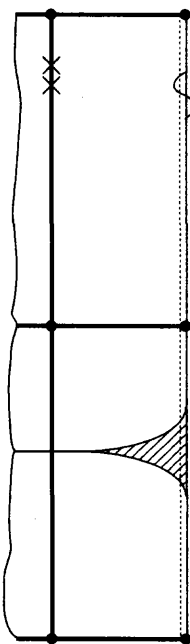


図2.7.4B

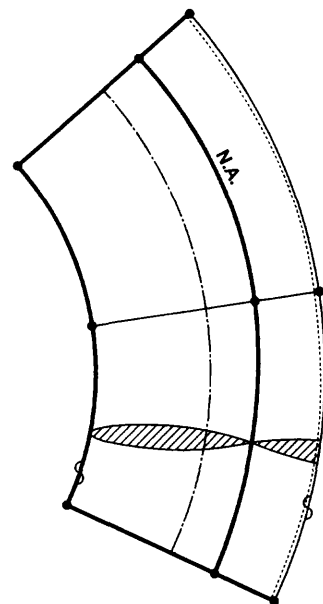


図2.7.4D

### 7.1.2 箱型による展開

造船で上記ドーナツ面CDに類似する曲面があれば、曲げ加工を的確に行うために箱型を作成する（箱型については別項とする）。

したがって、その箱型を利用して展開形状を求める。

図2.7.5にその要領を示す。

- ① 箱型の格子または桁（ます）ごとに型紙を覆い、当てがって形状を切り出す。
- ② それらを平面上に順序どおりに配置し、相互が開くギャップの総量が最少になるように工夫する。
- ③ その結果の外形が展開である。

展開としても金取り用であり、伸しを付しておいて、成形後箱型により仕上げを行う。

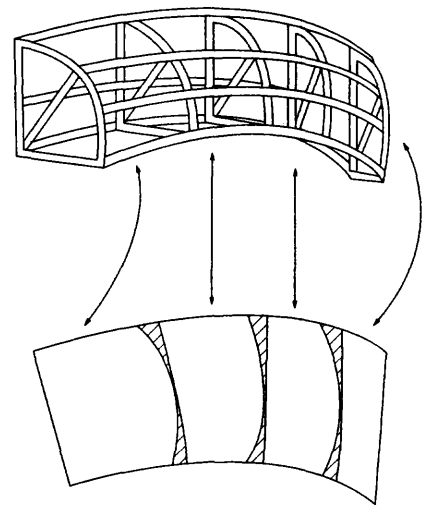


図2.7.5

## 7.2 船首尾端中心板の展開

ドーナツ面A：凹型、B：凸型の展開の考え方は、船首尾端の☉(Center Line)を含む対称型外板に応用できる(図2.7.6)。

ここでその形状から凹型を鞍(くら)型、凸型を鏡(あぶみ)型と呼ぶことにする。

船首端上部の鉢の開いた形のファッションプレート(Fashion Plate)は、ドーナツ面とは異なるが、その延長として説明する。

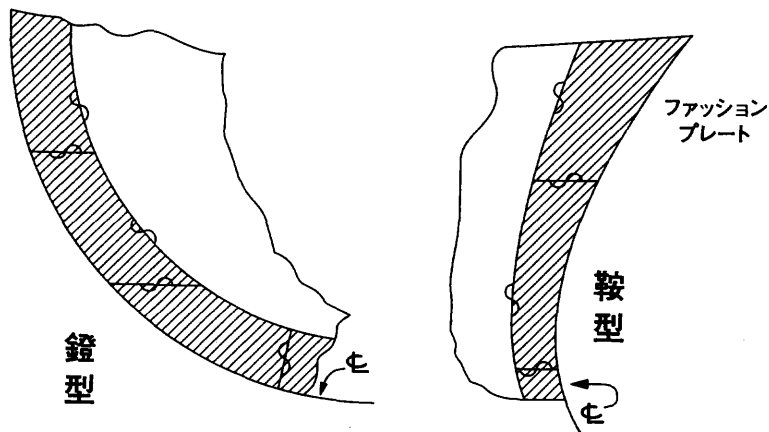


図2.7.6

### 7.2.1 センターライン (Center Line : ☉) の直切り展開

図2.7.7見取図に、その要領を示す。

側面の☉に垂直切直しを行うと、その切直し断面は実長を表わし、☉を対称曲面の展開基線とすれば、その垂直切直し展開線は基線に直交する直線となる。

側面線図(㊦)で見れば図2.7.8のようになる。これらの図では、側面切直し位置は上下端と中間に設けたが、この3本で簡単に説明するため、実際には一枚の板に5カ所程度選ぶ。理由は「2.4 曲面と曲線」の章で解説したとおりである。

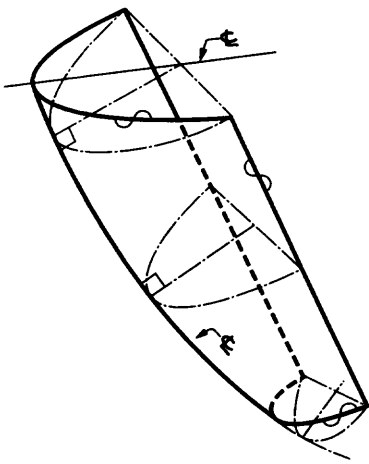


図2.7.7

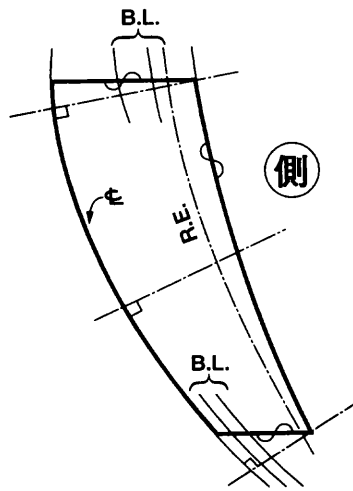


図2.7.8

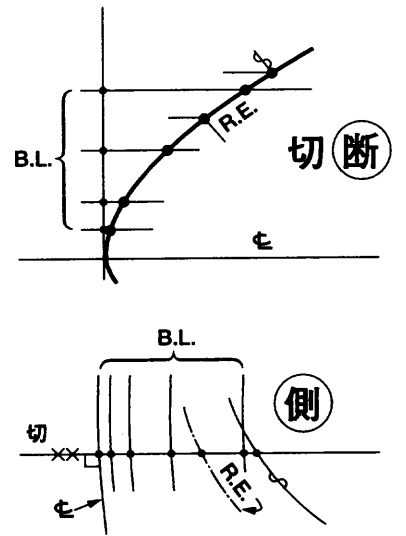


図2.7.9

この側で、B.L. (Buttock Line) は実長を示すが、実長として展開に用いるのは、その中心板の上下端切口の位置を求める範囲だけである。

側での垂直切直し断面（切断）の求め方は、図2.7.9に示す。

図2.7.8側に示される中心板の展開は図2.7.10のようになる。これらの図にあるR.E.は、アールエンドの意で、中心板の曲率と船側外板の曲率の変化点を意味する。

この中心板側は鍔（あぶみ）型で、板縁を縮めることになるから、側の実長以外は無視される。鞍（くら）型では、側寄りが焼縮められるから、板縁だけ実長が押えられる。

この関係を図2.7.11に略示した。これまで破線を添えて二本線で示した実長無視の線は、この略示では一本の破線としてある。

この方法で側を連ねて、接続する中心板を展開しても、その切口接手部にギャップは生じない。一挙に連続展開すると効率がよい。

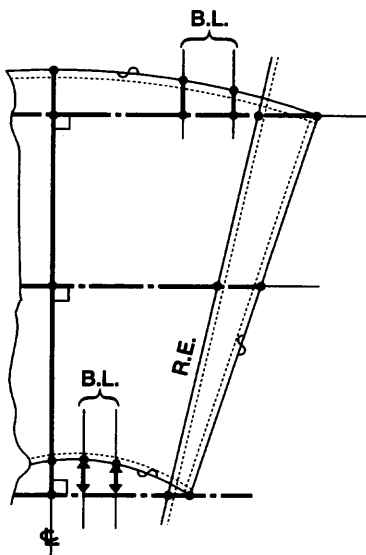
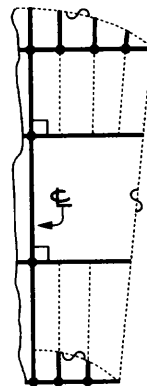


図2.7.10

鍔型 展



鞍型 展

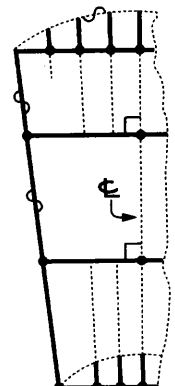


図2.7.11

### 7.2.2 近似錐面展開

ファッションプレートを倒立した錐面の一部と見做して、その錐面を扇子状に拡げる展開法である。

まず単一の錐面で近似できる例で方法を説明する。

図2.7.12に、その側面線図(側)と、平面線図(平)を示す。

側面図(側)で船首端 $\epsilon$ が直線に近いとき、中心板の切口点を直線で結んで、さらに下方延長する。

一方平面図(平)では先述のR.E.(アールエンド)の、やはり切口の上下端点を直線で結んで延長し、 $\epsilon$ との交点を求める。その交点が近似錐面の中心軸(錐軸)となる。錐軸を側面図(側)に移せば、先に $\epsilon$ 上下端延長直線との交点が決まり、その点が倒立錐面の頂点:錐頂となる。

錐面の展開は「3.2 柱面と錐面」で説明したように錐頂から錐面を形作る放射状の母線の実長と、その隣接母線上の点間の距離実長で、三角形を決めてゆけば求まる。

まず母線実長の求め方を図2.7.13に示す。

中心板下方切口の各点までの錐母線実長は、平面図(平)の錐軸からの各点までの寸法(足元距離)と、側面図(側)における錐頂からの高さ寸法を、直交二辺とする直角三角形の斜辺として求まる。

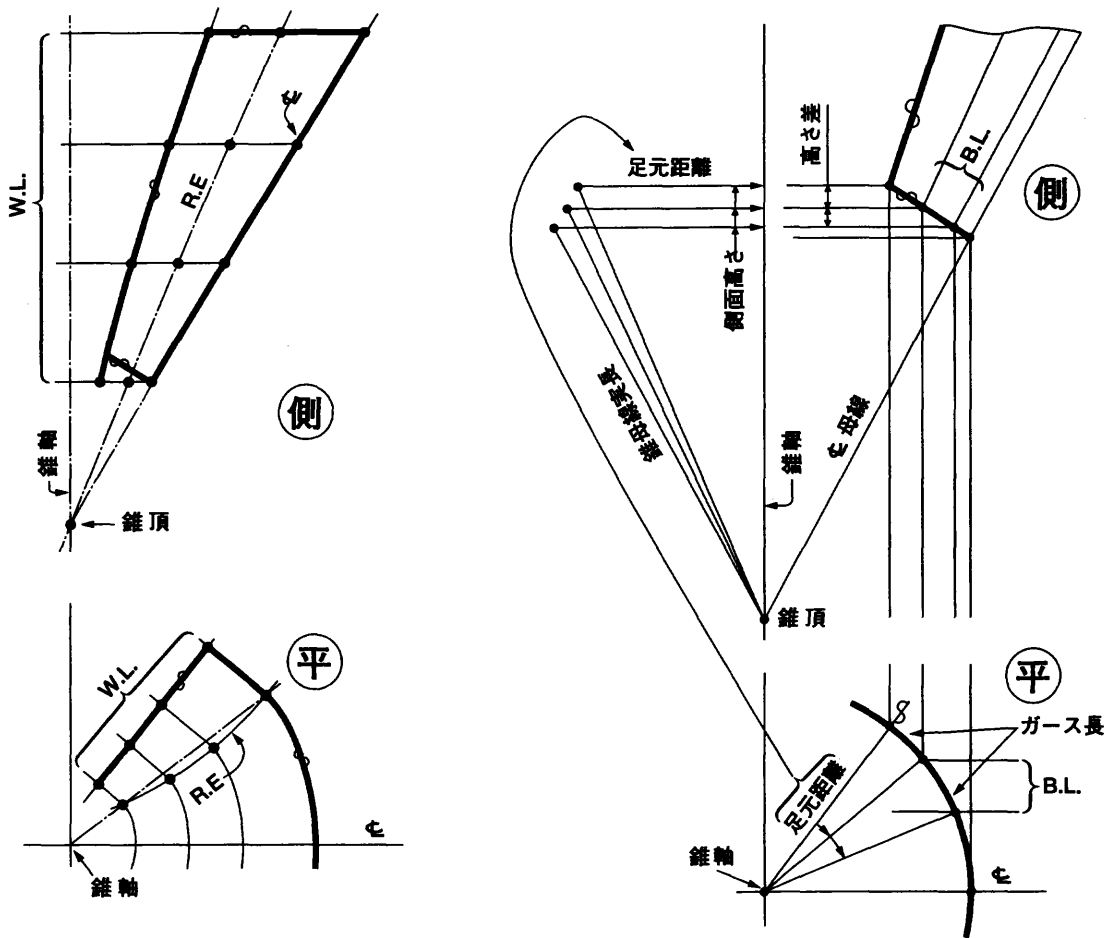


図2.7.13

図2.7.12

また隣接母線上の二点間実長は、Ⓔにおける  
 ガース長と、Ⓕにおけるその二点間の高さ差を、  
 直交二辺とする直角三角形の斜辺長である。こ  
 うして求まる実長三角形を、錐頂を共有させな  
 がら（図2.7.14）、拡げてゆけば切口の展開面  
 形状（錐Ⓖ）が成立する。

この錐面は、 $\phi$ で対称であるから、錐面上の  
 各点を、この錐Ⓖ要領で求めてゆき、それを連  
 ねれば、展開形状（錐Ⓖ）から図2.7.15のよう  
 に求まる。

側面線図において、 $\phi$ がカーブしており、単  
 一錐面近似では無理な場合は、曲面を複数の錐  
 面に分割する（図2.7.16）。各錐面の錐長及び  
 錐軸の決め方及び展開法は、単一錐面要領に同  
 じである。

すると錐面展開が複数できる。この展開形状を $\phi$ 基線  
 で連結する（図2.7.17）と、それぞれの間にギャップを  
 生じる。このギャップが全体としての焼縮め代に相当する。

展開面上のギャップとなった曲線の全体としての位置は振分け  
 ( $\frac{1}{2} + \frac{1}{2}$ ) に按分して決めることになる。

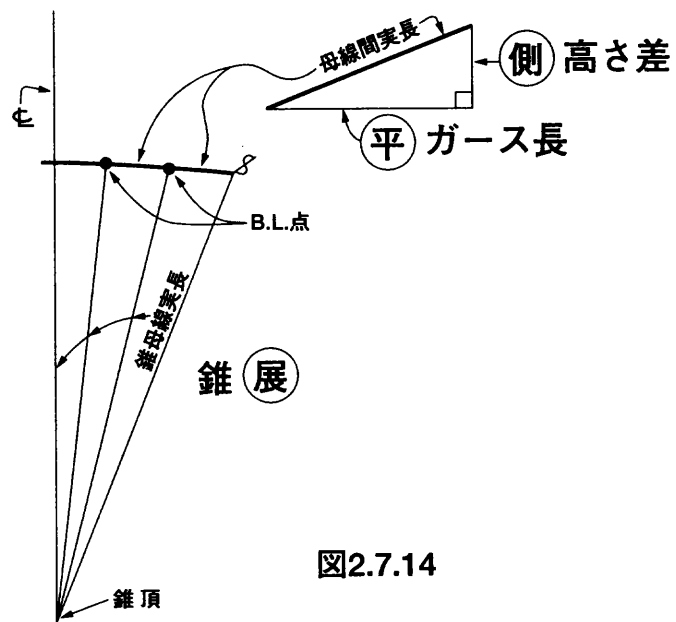


図2.7.14

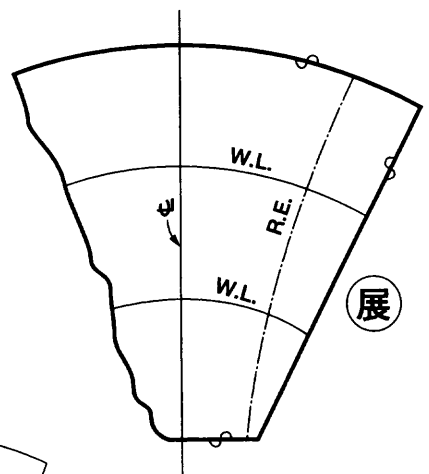


図2.7.15

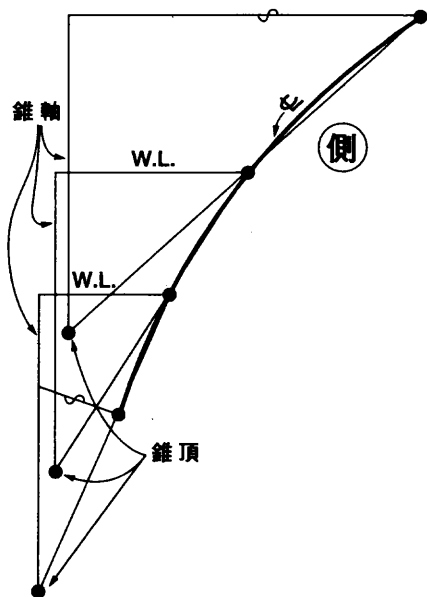


図2.7.16

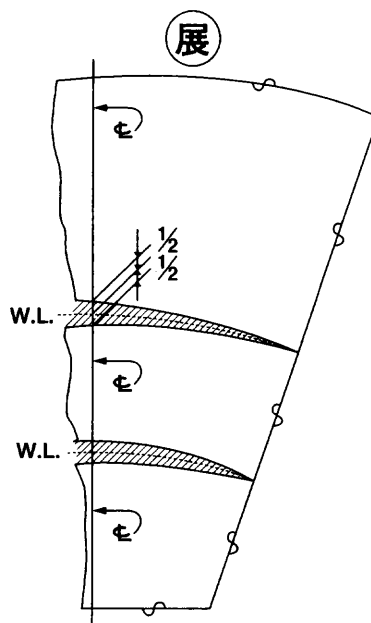


図2.2.17

## 8 形材肋骨の展開

ここから形材：圧延される断面形状がそのまま用いられる素材 (Section)、例：山形材 (Angle)、球平形材 (Bulb Plate)、帯材 (Flat Bar) の展開に入る。

板材では、展開とは平面形状を求めることであったが、形材では曲げ加工が面内（参照「4 中性軸の位置」）であり、更にはその平面展開形状に曲げ加工する前の取材形状を求める展開が必要となる。

また形材に類する一定断面を組立溶接する方式 (Built up Section : B.up) があり、この面内曲げが切出し（板材からの曲り形状取材）で置換えられることもあるが、展開の原則は変わらない。

### 8.1 逆直線曲げ

図2.8.1に、その概念を示す。

曲げ加工後の形状である平曲げ展開（材曲と図示）面内に、任意の直線を設定し、曲げ加工前の直素材（材直と図示）に、その直線に対応する曲線を求めて取材する方法である。曲げ加工はこの対応曲線が直線に戻るように行えばよい。

このように曲げ加工の基線として設立した線を「逆直線」という。

簡単には図2.8.2に示すように、図2.8.1の材曲の形状を型（型曲と指示）に取り、その曲線を取材時に転写する方法も、その応用である。この略法は曲げ加工における形状の伸縮を無視しており、型形状維持及び罫書と切断の手順の多さの問題と併せて、適用するとしても曲りの大きな短尺（幅に比較して長さの短い）部材に限りたい。この突っ込んだ解説は、別途の「原寸型定規」の巻に譲る。

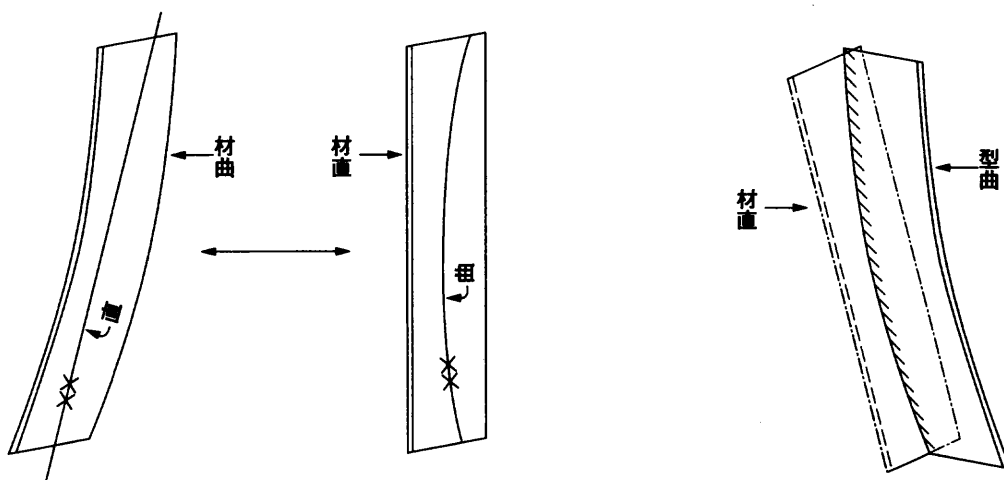


図2.8.1

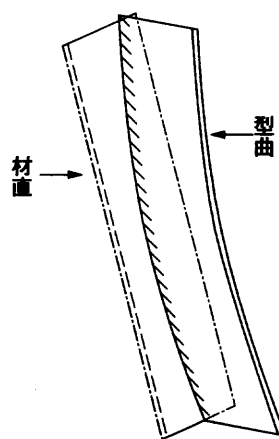


図2.8.2

前章までの板材の曲面展開では、面外曲げであり、近似展開であることもあって、板厚中性軸は、さほど問題としなかった。だがこの型材の面内曲げでは、中性軸は曲げ展開の主要な条件となる。再度「4 中性軸の位置」の章を振り返っておこう。

図2.8.3に、そのイメージを示す。

① 曲げには、二とおりがある。

正反り：肋骨のとき外板凹面に取り付く。

逆反り：正の逆で、外板凸面に取り付く。

② 正反りと逆反りとで中性軸（N.A.）の位置は異なる。

③ また曲げ加工法（プレス曲げと焼曲げ）により、N.A.の位置は異なる。

その位置は図2.4.10の説明で実践的に求められるが、プレス面内曲げの場合は一般的に図2.8.4の式で近似できる。

一つの部材に、反りの正/逆や、プレス曲げと焼曲げが混在するときは、それぞれの支配条件の範囲でN.A.位置を定める。

図2.8.5にN.A.の動きを示す。

④ すべての長さ方向の寸法は、N.A.上に、N.A.に垂直に求める。

⑤ 逆直線の「高さ」位置を目盛る「長さ」方向の割込み位置（Pitch）も同様にN.A.上に設け、N.A.に垂直に「高さ」を与える線を立てる。

⑥ 逆直線外の位置は、Flange位置（FLと図示）とその反対のWeb端縁で与えるが、これらの点もN.A.上の垂足で示される。

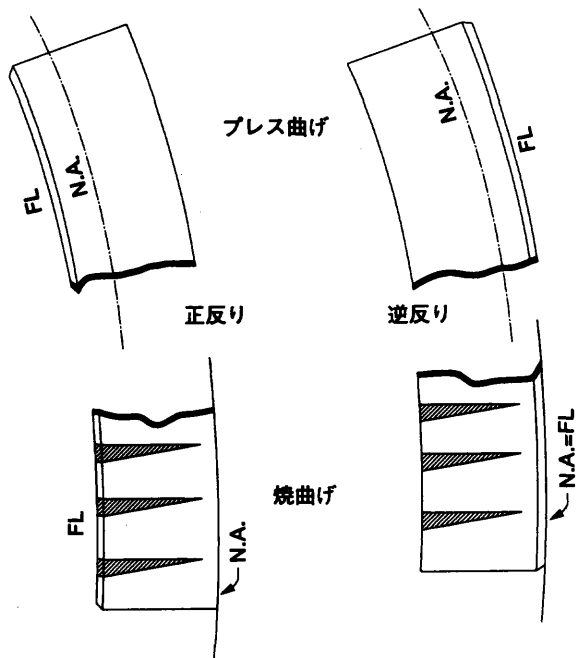
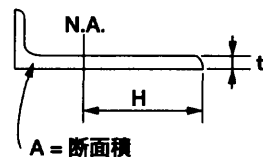


図2.8.3

### プレス面内曲



$$H = \frac{A}{2t} (1 \pm 0.03)$$

正符号：正反り  
負符号：逆反り

図2.8.4

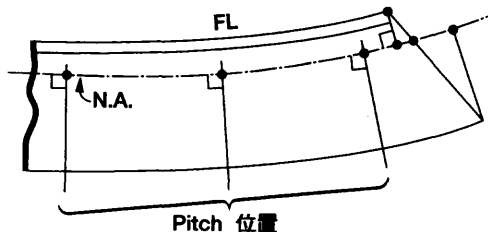


図2.8.5



### 8.1.1 横肋骨の展開

図2.8.6に例を示す。

肋骨面は正面線図のFr面そのものであり、曲げ加工後の形状展開は不要である。

図の材曲での作業手順：

- ① 正面で逆直線を直線に打つ。  
FLに接近しても、曲線が打てる限度内  
一本で全長が結べなければ二本に  
二本重ねるときは、2 Pitch 以上で
- ② N.A.線を描く。
- ③ N.A.線上に、Pitch 位置を決める。  
逆直線が二本なら、その交点を押えて  
一本なら、標準に決めた端点から  
標準の Pitch 間隔を選んで
- ④ N.A.線上に、Pitch点以外の点を下す。
- ⑤ 逆直線の Pitch点高さを拾う。

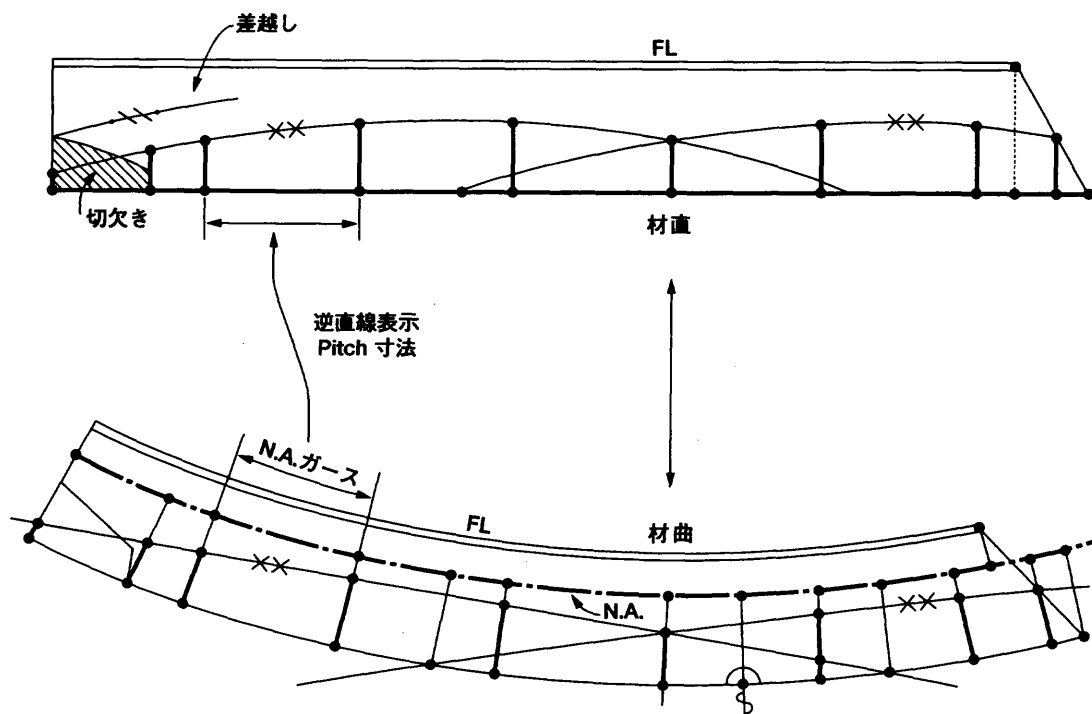


図2.8.6

素材展開：図の材直へ移す手順：

- ① N.A.線上で拾った長さ方向の位置を、まず型材WEB端縁上に下す。
- ② 下した位置から、幅方向の高さのある点は端縁に垂直に位置を移す。
- ③ 端部形状を描き、次いで Pitch点を連ねて、逆直線の曲線を描く。

図2.8.6の肋骨端部には切欠きがあるが、この処理は：

- ① 曲げ加工後の材曲形状から切取る。
  - ② 曲げ加工後の切断は一工程増えるので、材直形状時切取っておく。曲げ加工のためには、次の工夫が要る。
    - (a) 逆直線の切取られる部分の曲線に平行な差越し線を付加して、その部分を補う。
    - (b) その部分だけの材曲形状一部曲げ型を与える。
    - (c) 最初から逆直線が切欠き部に入らないように設定する（図2.8.6とは異なった位置）。
- このいずれかであり、その選択は加工の工程／精度／方針による。

### 8.1.2 縦肋骨の展開

横肋骨の曲げ後の形状は、正面線図のFr面にあるから、取材のための材直展開だけ行えばよかったが、縦肋骨では、まずその曲げ加工後の形状を求める材曲展開から始めることになる。

図2.8.7に縦肋骨（L.Fr.）の正面線図(㊟)を示す。

各横断面（T.Fr.面）での縦肋骨断面が描かれており、その外板付を連ねる線（これをLanding Lineと称する）、L.Fr.は傾斜して外板上を走っており、縦肋骨のWeb面は一つの曲面をなしている。この曲面の展開をするのが、その材曲展開となる。

展開法としては、タスキ、マカネ、基線展開のいずれかが使えるが、この章ではより簡単にN.A.線だけを展開し、その展開N.A.線を押えて展開面とする方法を説明する。

展開手順は次の通り：

- ① L.Fr.の各T.Fr.断面上にN.A.位置を出す。Web面でその寸法には「伸び」があることに留意する。
  - ② それらのN.A.点を繋いで、N.A.の空間曲線を描く。
  - ③ L.Fr.の長さの中央付近のT.Fr.を基準のT.Fr.に選び、その中央基準T.Fr.のL.Fr. Web断面線に垂直で、かつそのN.A.点を通る線を立てる。その垂線が展開基線となる。
  - ④ すべてのN.A.点の：
    - 展開基線上の「落ち」：FL方向「落ち」
    - 展開基線からの距離：WEB方向の「落ち」
- を拾う。

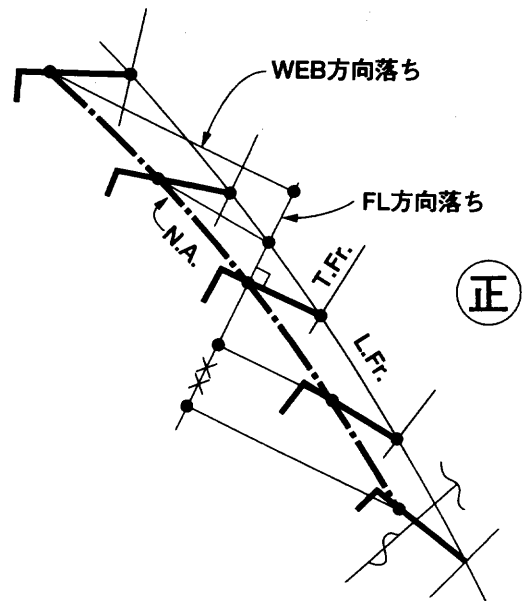


図2.8.7

図2.8.8は、このFL方向、WEB方向の二つの落ちを用いたN.A.線の展開である。

展開手順は：

- ① FL方向落ちを用いて、展開基線の実長を出す。
- ② その展開基線の実長スペース上に、WEB方向落ちを下し、N.A.線の実長を描く。
- ③ このN.A.線展開面上に、WEB幅を当てはめれば、縦肋骨の面内曲げ形状が得られる。

この考え方は：—

- ① L.Fr.のN.A.を各T.Fr.断面上で押える。
- ② その各T.Fr.上のL.Fr.断面を、押えたN.A.点を中心として、展開の基準とする中央断面のWEB面と平行になるよう回転する。
- ③ そうすると、L.Fr.は「5.2 伸びの出る板面の展開」で説明した Sheerのある Side Stringerと同じになる。

L.Fr.は長さに対しWEB幅は小さいし、一般に振れ量も少いから、振れない状態に置換え、可展面として展開するのである。

このようにして面内曲り展開が得られれば、あとの取材のための逆直線展開は、横肋骨の場合と全く同じであり、曲りはなだらかで、ほぼ一本の逆直線で足りるだけに簡単である。

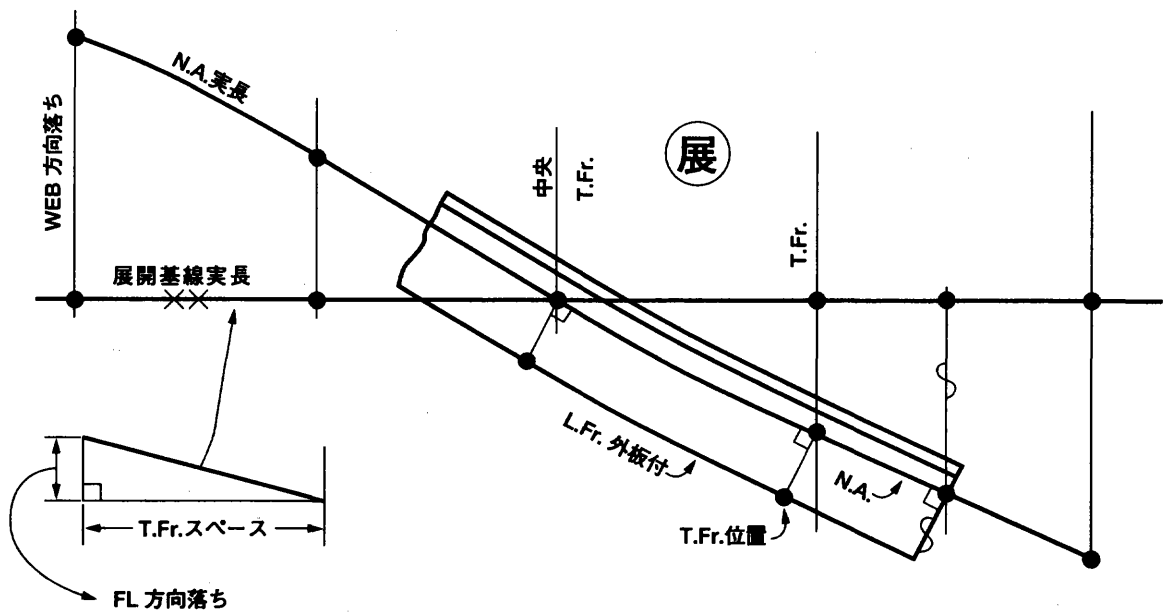


図2.8.8

## 8.2 縦肋骨と取合うブラケット (Bracket : BKT) の展開

横肋骨は正面上にあり、その取合い構造も一般に同一横断面をリング状に形成している。だが縦肋骨の方は、肋骨自体が一平面上になく、一般に曲面となっているから、その取合い構造物は、それぞれ特有の面上にあり、全体としての連環となっていない。つまり個別に展開する必要がある (図2.8.9)。

展開技術の体系からは、特に別記することはないのであるが、船殻構造に占める部材数も多いことから、この「現図展開」の末尾に付加しておく。

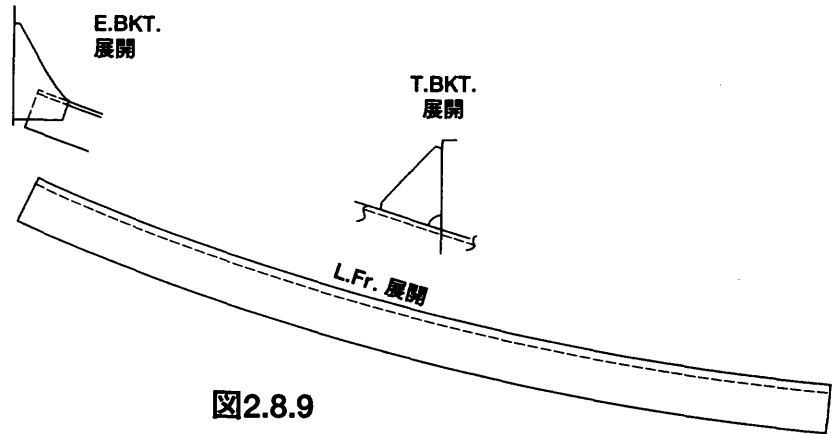


図2.8.9

### 8.2.1 端部ブラケットの展開

L.Fr.の端部固着を行うBKTで図2.8.9では、E.BKT.(End Bracket)と略記している。その展開要領を図2.8.10に示す。縦肋骨は横置壁(T.BHD.: Transvers Bulkhead)を貫通構造にできない場面である。

考え方は、E.BKT.の含まれる局所の平面を展開する。図2.8.8のL.Fr.展開面に描くのではない。

図2.8.10の線図正面(⊕)で、L.Fr.とは、T.BHD.を貫通するとすれば……として描いた断面であり、この断面のN.A.位置を使ってL.Fr.展開(図2.8.8)は行われた。E.BKT.はこのBHD位置のL.Fr.面に重なり、BHDへの取付線は、このL.Fr.断面WEB線の延長である。

E.BKT.のある局所としては、BHDとBKTのある側の次のT.Fr.間を選び、BHD上のBKT取付線とL.Fr.の外板付線を含む平面を展開する。この1T.Fr.スペース間でのWEB方向とFL方向の落ちを使えば、展開を決めるT.BHD.線と外板付線が実角をなして描ける。

この展開面にE.BKT.の設計寸法を与えればよい。N.A.線を押えたL.Fr.展開形状とは、T.BHD.の外板付位置で接続する。

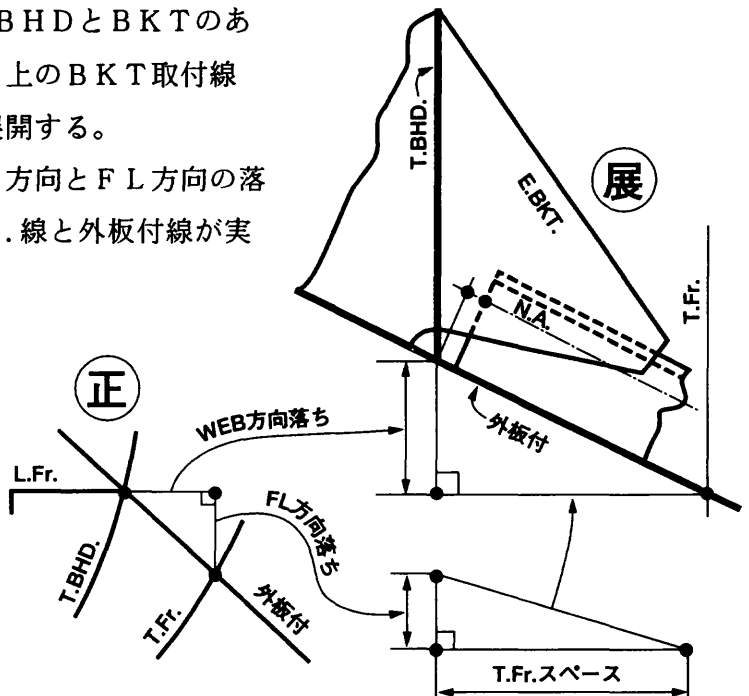


図2.8.10

### 8.2.2 倒れ止めブラケットの展開

L. Fr.の支点である横置特設肋板 (Transverse Web: T.WEB) の倒れ止め (Tripping) BKTである。このT. BKT.の足元が、L. Fr.のFL (Flange) 上に乗る。

図2.8.11に、その展開要領を示す。

先のE. BKT. と異なるのは、L. Fr.のWEB面と関係がないことである。

	E. BKT.	T. BKT.
横断面側	BHD取付線	WEB取付線
外板側	L. Fr.外板付	FL上の足元

このように展開面を決める二本の線を置換えれば、要領は全く同じであり、説明は省略する。図より読み取っていただきたい。

このT. BKT. 展開は、E. BKT. と違って、L. Fr. 展開 (図2.8.8) とは接続がない。

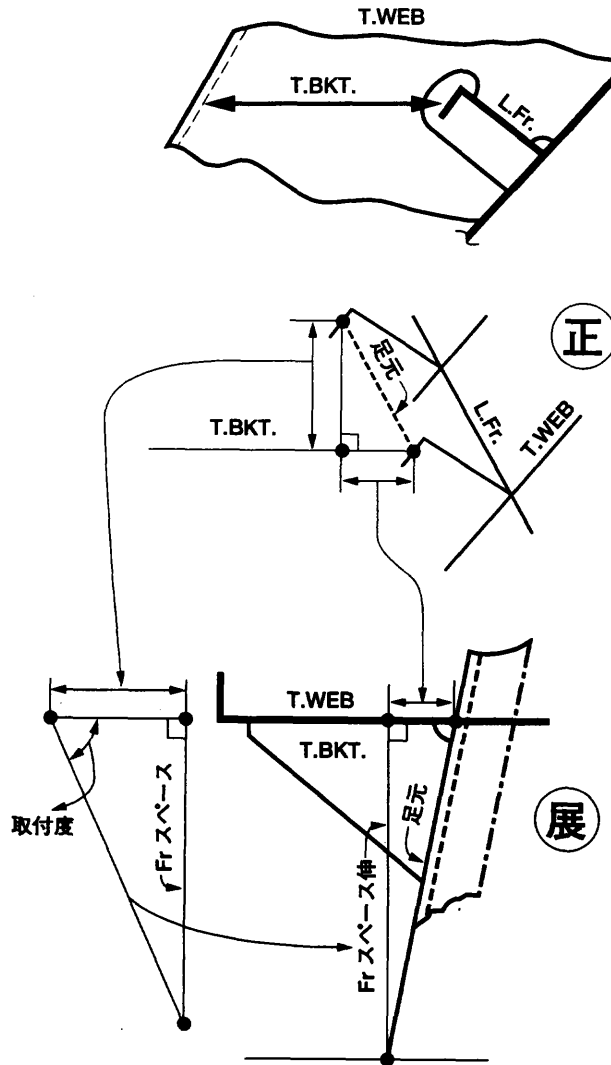


図2.8.11

## 9 おわりに

現図展開を、「1 はじめに」で冒頭にことわったように、Know Why: なぜなのかを説明する試みで書き下してみた。

用いる図表示も、整合性よりイメージを強調し、現実より誇張して描いてある。

このテキストは、経験の書でなく、知識の書である。この知識を実際の現図に当てはめて学んでいただければ、経験のかなりの範囲は凌駕できるであろう。

また説明は作画現図（手作業）についてであるが、参考としてところどころで数値現図（コンピュータ・システム）と対比した。もう数値現図の時代ではあるものの、システムがブラックボックス（覗けない内容）になっていて、定かでないものが多い。システムの導入選択に当たって、このテキストに示した内容がどのように処理されているか、つぶさに問合せ、具体的に吟味されるとよい。またすでに数値現図を使っている人にも、この作画現図の知識は「温故知新」として役立つと考えている。

### 9.1 現図工程中の展開作業

造船現図の機能は

- ① 空間に形状を表現する。
- ② その形状を取材形状に変換する。
- ③ 形状情報を伝達手段に転換する。

の3段階に分けられる。

作業量は、手作業所要時間で

- ① 「現尺線図」が5%
- ② 「現図展開」で10%
- ③ 「現寸型定規」で残り85%

くらいの割合になる。機能の本質的部分①②は合わせて15%程度であり、この作業品質が現図の水準を決める。

丁寧な余裕を持った仕事としたい。合理化するなら③であろう。

### 9.2 現尺線図工程での展開準備

主な作業は外板曲面関連であり、切直し線図や相貫体線図は、先ず展開法や組立法を決めて準備する。これらの作業は基本設計図だけで行えるから、工作要領の前倒し検討に留意したい。

また作業者が同じ場所に集中し干渉し合わないために、現図場の使用場所計画は、加工組立日程を押えて行っておく。

一般に展開準備のための線図作成者と展開作業者は同一人で、引続き作業として計画するのが望ましい。複雑な展開部位は、準備線図も複雑になり、意志疎通や相互の思いやりが能率や精度

に影響するが、同一人だと、その問題はまずないからである。

使用済の線図は、こまめに消し、現図床面の手入れ塗替えを行っておきたい。旧線図との重なりは間違いの基であり、乱雑な環境は乱雑な作業を生む。

### 9.3 現図展開と原寸型定規

展開工程を設けるのは、線図準備の必要な曲面部位に限り、その他の展開は原寸型や定規の作成者が、同時に行うのがよい。理由は前項と同じであり、できるだけ分業しない方が効率がよい。

このような型定規作成時の展開は、現図床上に形状を残す必要がなく、床面が汚れず、作業場所も任意にできる。

Mold Line (M) と板逃げの処理や、取付け度の必要場所などは、型定規作成段階で配慮する方が、より直接的である。

つまり本書で説明した現図展開工程②は、①現尺線図工程と③原寸型定規工程に溶解させ、現図工程を圧縮することにしたい。