

4 中性軸の位置

棒状の物が撓んでいるのを、撓む前の形と比較すると、凹側は縮み凸側は伸びていて、その凹凸両側の中間に、伸びも縮みもしないところがある。この場所を中性軸 (N.A. : Neutral Axis) という。

展開は板や型材を厚さのない面として扱うから、曲りのある部材では、この中性軸を含んで考えないと、実際に合わない。

また、展開面が曲面になるように加工されるとき (図2.4.1)、面外曲げといい、中性軸は板厚の間にある。展開面は平面のまま、その面上で展開形状が変形 (直線⇔曲線) 加工されるとき (図2.4.2)、面内曲げといい、中性軸は展開面上にある。

面外曲げと面内曲げは、板厚と板幅で収縮および伸長が生じる (図2.4.3) だけの違いである。

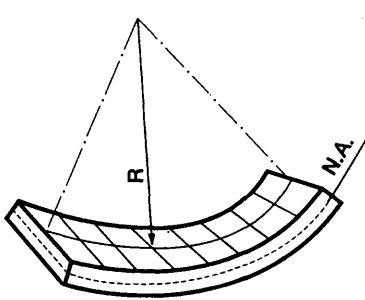


図2.4.1

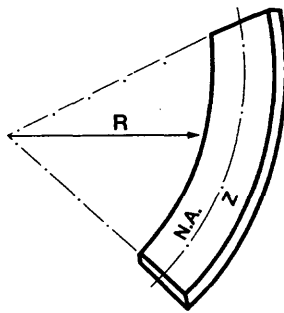


図2.4.2

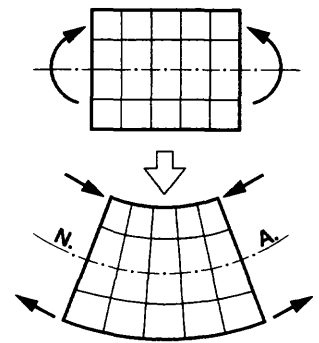


図2.4.3

平振り変形 (図2.4.4) では、このような中性軸はなく、断面の回転と捉えて「振り中心」を用いる。空間にある振り部材の形状を展開するとき利用することがあるが、断面の図心=重心の位置としている。

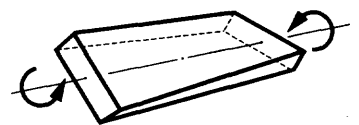


図2.4.4

ついでに平行な曲線を持つ部材の取材につき (図2.4.5)、用語を説明しておこう。

板材から完成形状で取材するのを切出しといい、平帯材から取材して、曲げ加工で完成形状にするのを平曲げという。

切出し/平曲げ、いずれにも利点欠点があり、展開に先立って取決めておく。

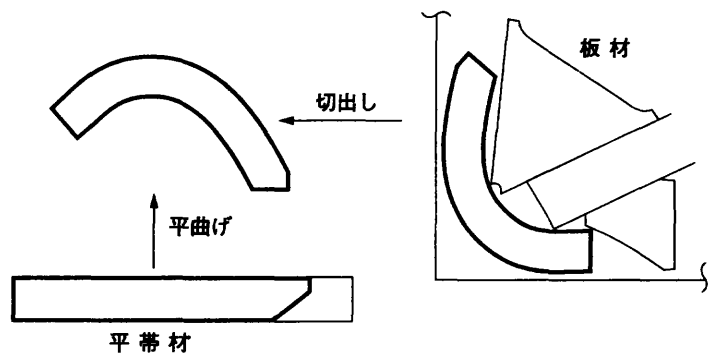


図2.4.5

4.1 弾性変形

力を加えて曲げたり振ったりするとき、力を外せば元に戻る場合を、弾性変形という。

加える力を更に増すと、力を取除いても元に戻らず、曲りや振れの形状が残るようになる。この残った形状を塑性変形という。

船体曲面がなだらかで、外板を曲げ加工しないまま組立工程に送り、板継支持治具の上で板の自重と僅かの人力で所要空間形状に馴染ませることができるところがある。この外板の状態を「自然撓み」という。同じように肋骨の形材部品で、曲げ加工省略の「自然撓み」もあり、振れだけを組立工程で与える「自然振れ」もある。

自然撓み振れは曲げ工程を省略できるので、これに伴う横持ち（移動）も不要になり得策である。この範囲は部材全体の曲り量や振れ量から判るのではなく、部材の中の最も曲り・振れの大きい部分で判断する。いくらか過不足はあってもよいから、加工・組立の両工程と事前協議し、大胆に決めてゆく。

数値現図システムにおいては、判定式を内蔵し、自重と人間の体重程度の加圧で計算を行う自動判定機能を有するものがある。

自然撓み振れは、弾性変形の中にあり、理論的に求まる。

曲りのとき、圧縮量と伸長量はバランスするから、例えば矩形材の場合（図2.4.6）、中心位置となる。山形材などでは、断面二次モーメント中心であり、形材表に数値が示されている。

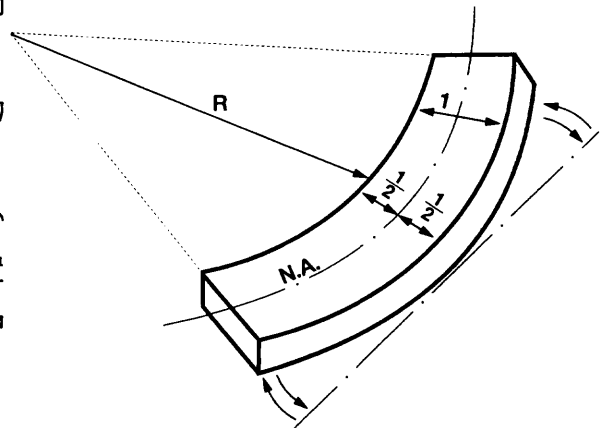


図2.4.6

4.2 塑性変形

曲げ加工のとき、中性軸の位置は加工法により変る。加熱収縮による加工では、「伸び」は起こらず、収縮力の反動として「伸び」が起こったとしても僅かで、無視できる。中性軸とは曲げ加工の前後で長さの変らない位置であるから、焼かない部分にあることになる。山形材に楔状の焼込みで収縮を生じさせて、反りを与えるとき（図2.4.7）、中性軸は加熱しない辺縁である。

冷間プレス加工はどうか。一般に圧縮側の変形への抵抗が、伸長側のそれより大きく、中性軸は弾性変形的位置より、圧縮側の方へ移動する。面材（Face Plate : F c. Pl.）の円弧曲げの場合、移動量は板厚の一割ほどである（図2.4.8）。

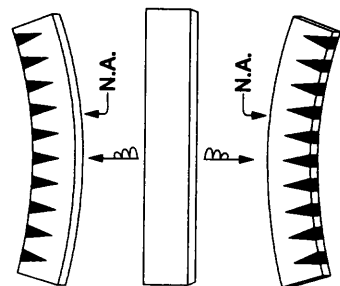


図2.4.7

型材のプレス横押し面内曲げでは、凹曲げと凸曲げとで、当然位置は異なる（図2.4.9）。S字曲げの肋骨などでは、曲り状況により展開長を求める中性軸の位置を変えなければならない。

この曲げ加工で（プレス能力があって）加圧を増してゆくと、限度に達して、圧縮側にフレカタクレを生じたり、伸長側に割れが生じたりする。そこで限度以上は焼曲げに切替える方法をとるが、この場合の中性軸はプレス曲げの位置から更に移動する。

これら塑性加工の中性軸位置は、伸びの量 \oplus と縮みの量 \ominus を測り、その量の比に厚／幅を按分することで求まる（図2.4.10）。建造船ごとの実際の曲げ加工部材で計測を企画し、 $\oplus\ominus$ 値実測データを整理すれば、造船所ごとの加工方法に合った中性軸位置の基準値が自ずと決まってくる。

以上で、現図展開の基本事項の説明を終ることにし、以下その応用について述べる。

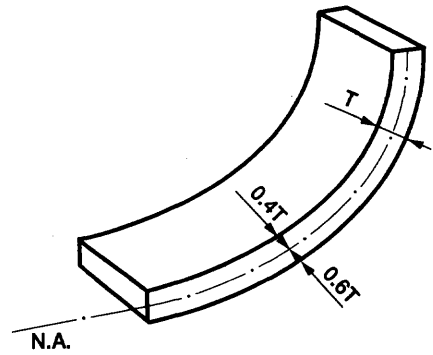


図2.4.8

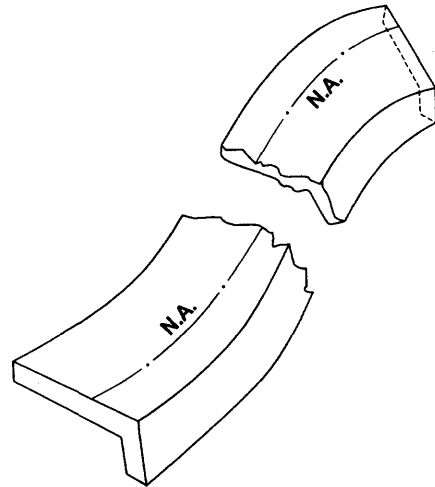


図2.4.9

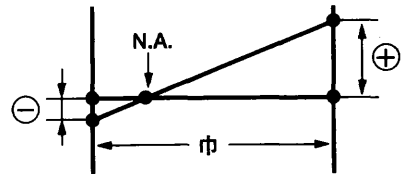


図2.4.10

5 可展面展開の応用

5.1 折れ (KL: Knuckle) の展開

板材を折曲げるとき、指示はKL線を折れ角端に一本の稜線があるよう表わすが、実際には鋭い角が立つように加工できないし、また加工してはいけない。折れ角の大きさにもよるが無理に角を立てようとすると、凸面側に亀裂が入る。そこで小さな半径を持つ柱面をKL面に接するように曲げる。KL線は柱面とKL面との接線(T) 2本に置換えることになる(図2.5.1)。

またKL面の展開はMold Line(M)面で行うから、板逃げの方向により、KL線と接線(T)の相対位置は変化する(図2.5.2)。

- ①折り加工はKL線に矢弦を当てて押す。
- ②接線(T)はKL線に対し振分けとなる。
- ③板厚中性軸での実ガースが展開に近い。

ことから、◎印の場面が最も近似度が高い。

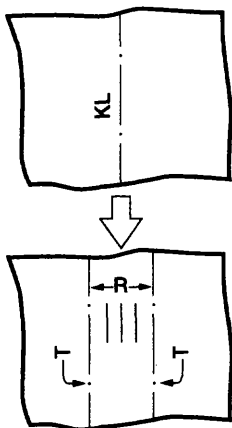


図2.5.1

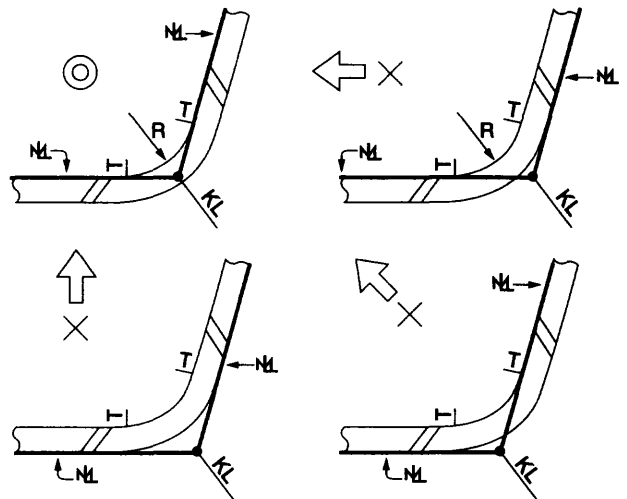


図2.5.2

したがって現図からKL面を展開するときは、まずKL面外からプレスが当てられるように、正規Mが逆ならば◎印の形となるような仮Mに立換えてから、展開するとよい。

5.1.1 折れ部の曲げ半径

板素材が製鉄所で圧延されて流れる方向をロール方向というが、KL線がロール方向に平行なとき亀裂が出易く、直交のときは出難い。このことを考えて、板厚別・部材の重要度別に、曲げ半径を標準化しておく。

5.1.2 フランジ面展開

KL曲げの代表的なものにフランジ折がある。フランジ辺には取合いがないから、折り加工の

中性軸は板厚中心と仮定して展開する。折曲げ半径は板内面で板厚の倍とする（2倍以上ならプレス一作動の衝撃で押切っても、亀裂は発生しない。心配であれば素材圧延をクロスロールと指定しておく。）。

フランジ部断面を図2.5.3に示す。

事例として現図正面で形状が取れる肘板（図2.5.4）のフランジを展開すれば、折れ面をM面＝マーキング面、として、図2.5.5のようになる。この寸法を板厚ごとに標準定規に目盛っておけば簡単である。展開面にフランジ幅（F）寸法のみ指示しておけば、KL線表示は省略しよう。プレスではフランジ端にストッパー治具を置いて位置決めを半自動化できる。

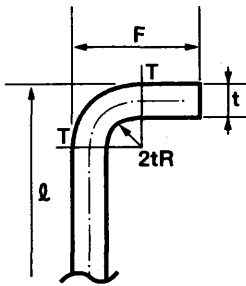


図2.5.3

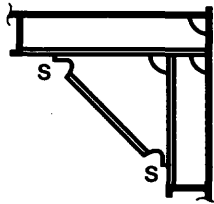


図2.5.4

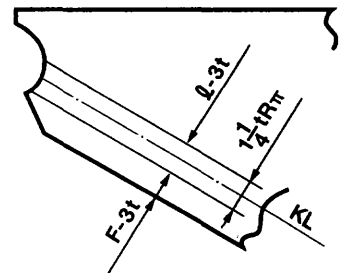


図2.5.5

フランジ取合いで注意を要するのは、このBKT(Bracket)で見たスニップ(Snip)S端ではなく、クリップ(Clip)C端である（図2.5.6）。

フランジ（FL）付GIR(Girder)が横置材（図ではBHD：Bulkhead）と直交していれば、単純であるが、斜交していると、図2.2.11で見た山形材の「いきなり」と同要領になる。

図2.5.6の斜交の場合、FLの切り度及びFL縁の突出端の位置は、実形が⊕（平面図）に出ており、KL部は柱面展開となる。

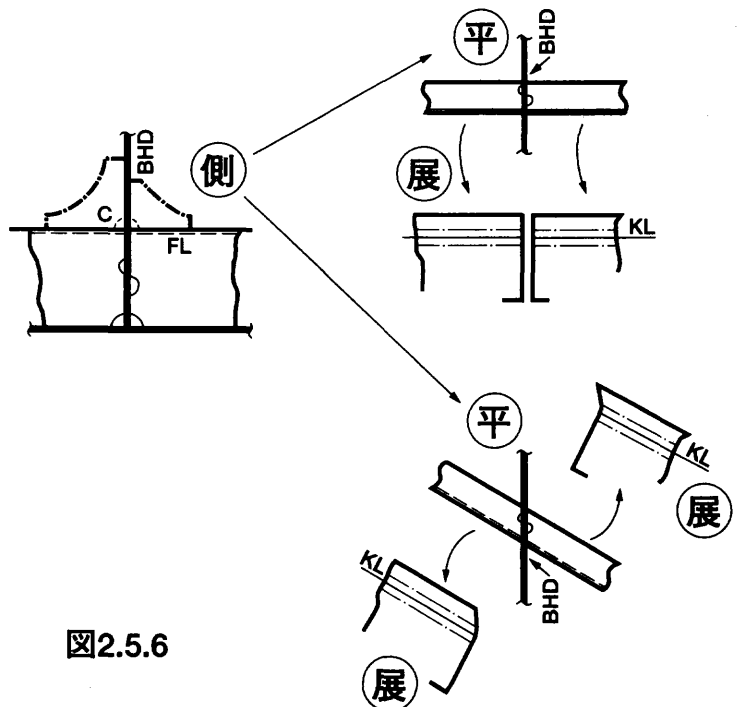


図2.5.6

図2.5.6

図2.5.7に示すこの斜交G I Rをテーパオフして消す構造では「空間の直観」(図2.1.1)で見たように、FL折れ角は直角ではなく、窄み度となる。

このようにKL(折れ)のある部材の展開は、折れ角に小さな柱面があることになるが、実際にはこれを簡略化している。

図2.5.8直角折KLの断面で、これを示す。KLの内折れ面をM面または仮M面として、この面でKLを稜線とする。真の展開面は中性軸：N.A.(Neutral Axis)面であるが、展開長さが変わるのは、その曲げ柱面止り(接線T)の間である。

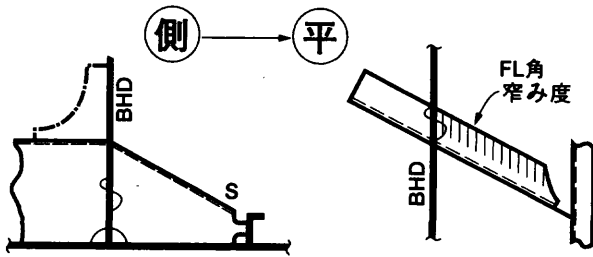


図2.5.7

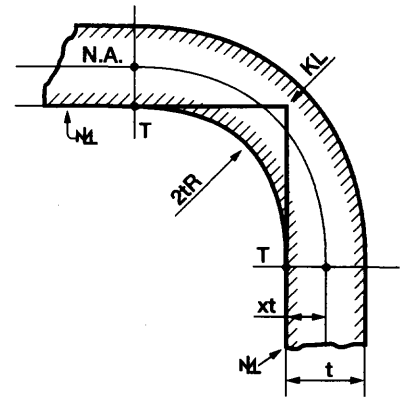


図2.5.8

ここで：

$$T \sim KL \text{ 距離} = (T \sim T \text{ 間 } N.A. \text{ 円弧}) \div 2$$

となるN.A.軸位置をxとおけば

$$x = (8 / \pi) - 2 = 0.55$$

であり、板厚芯に近い。

板厚 $t = 9 \text{ mm}$ で、真のN.A.位置を0.35とすれば、その誤差は2mmであり、無視できる量である。

この理由を、一般のKL折部材に拡大し、「KLは内折面で展開する」ことにする。

だがKL端に突出した角があるわけではないから図2.5.9に示すように、丸める必要がある。「丸め」は曲げR止りT間で行う。TとKLとの距離は、折れ角が直角として、内折れ面縁が取合い面に当たるとき $2t$ 、外折れ面が当るのなら $3t$ 。 $t = 9 \text{ mm}$ なら、18、27mmであり、丸めは厳密を要しない。この丸めを取過ぎるくらいがよい。取付け時「当たって」火を入れれば、そう細かくは丸められないから、いずれギャップになる。初めから「開き気味」にしておく方が得策である。

この丸めを行ったKL端が取合いのないフリーエッジなら、この丸めは当然不要である。

このようにKL折れは、KL線で接続する二面として展開するから、FL(Flange)はL付取合いのFc.P.(Face Plate)と同等となる。図2.5.7の展開は、その場合として、あとで説明する。

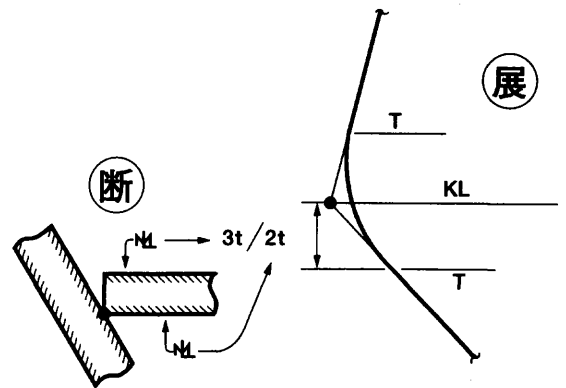


図2.5.9

5.1.3 単純曲りの面材 (Face Plate : F c . R .) の展開

現図には F c . R . の取付く W E B の縁が示され、これが F c . R . の M となる。

F c . R . の曲げ半径なども、この M で与えられるのが一般である (図 2.5.10)。

ここで単純曲りとは、F c . R . のロールラインが、その展開長さ方向に垂直で、展開形状が、〔幅×長さ〕の矩形となる場合を言う。

展開とは、長さだけを求めることになる。

自然撓みの部分は、弾性変形であり、中性軸は F c . R . の板厚中心、そのガス長さを測って展開面に移すことであるが、曲率が小さいので W E B 付 M 長さを中性軸長としても、殆ど変わらない。

R 曲げ加工部は中性軸 (N . A .) 長を求める必要がある (図 2.5.11)。

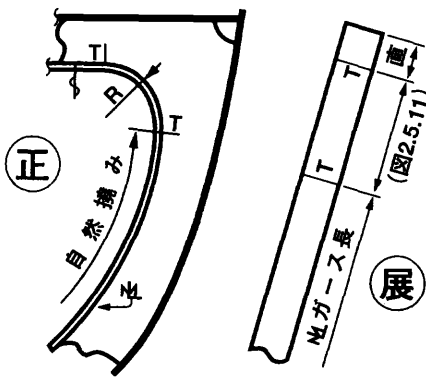


図2.5.10

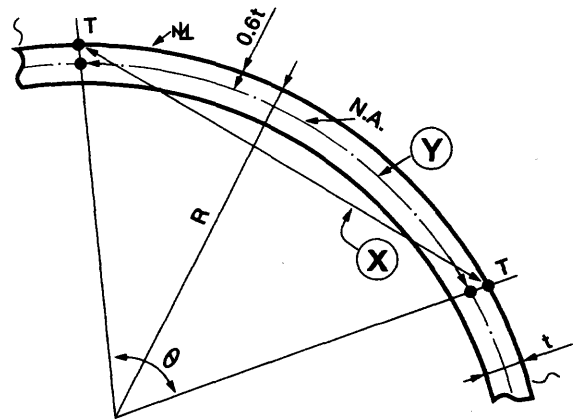


図2.5.11

この N . A . 軸長 (ガス) を、R 曲げ止りの位置 (T) の間の距離 (直線) を測って求めると便利である。

N . A . 軸長 (Y) と T ~ T 間 M 距離 (X) を、円弧範囲の角度 θ (単位 = 度) で表わすと :

$$\begin{cases} Y = (R + 0.4t) \pi (\theta / 180) \\ X = 2R \sin (\theta / 2) \end{cases}$$

この関係から、特定の曲げ半径 R と板厚 t で、弧長尺 (図 2.5.12) が製作できる。この物指で、曲り部の弦長を測れば、弧長が読取れる。このときの中性軸位置は、4.2 項で説明してある (図 2.4.8)。

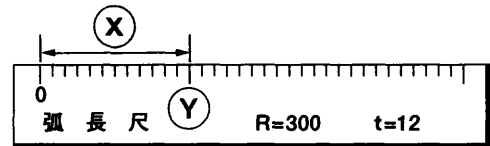


図2.5.12

5.1.4 斜交叉する面材 (Face Plate : F c . R .) の展開

図 2.5.13 に見るように、水平桁板 : S T R (Stringer) で肋板 : F L R (Floor) が止る構造で、相互の F c . R . が取合うとき、中央部なら単純曲げですむのに、前後部で「落ち」のある場合には斜交叉となる。

これを可展面として展開するように、工夫してみる。

- 斜交叉の部分にKLを入れて、取合いのできる面を作る(図2.5.14)。

この展開の手順を説明する。

- ① 正面図でFLRとFc. R.の取付線上に、KLのスタート点を決める。KLを斜に走らせるのであるから、この間は平面でなければならない。
- ② 平面図を作る。Fc. R.の幅(b)のスペースを、FLRの両側に振分けて、STR平面との交点を求める。STRは水平であるから、ここにできるFc. R.の取合い端長は実長である。
- ③ 上記の交点を正面図に戻し、bスペースでFc. R.を含むKL面を描く。この交点とKLスタート点を結ぶ線分は、これもまた実長である。
- ④ Fc. R.のFLR付長さを押えて、幅(b)で展開図を求め、そのKL線分を底辺とする三角形を②と③で求めた実長を用いて完成する。
- ⑤ スペースbでFc. R.幅は伸びているから、展開図上で、幅(b)よりはみ出した部分を切捨てる。つまり、三辺実長で三角形を決めることに帰着する。

図2.5.15では、KLスタート位置をFc. R.両縁で揃えているが、ただ簡単にしただけであって、両縁で違っても支障はない。

この方式は、両縁が直な平材の端部に上下折を入れれば、それですむので便利である。

- 次はFc. R.のロールラインを斜行させて、柱面に巻きつけた要領とし、斜交叉に結ぶようにする(図2.5.16)。

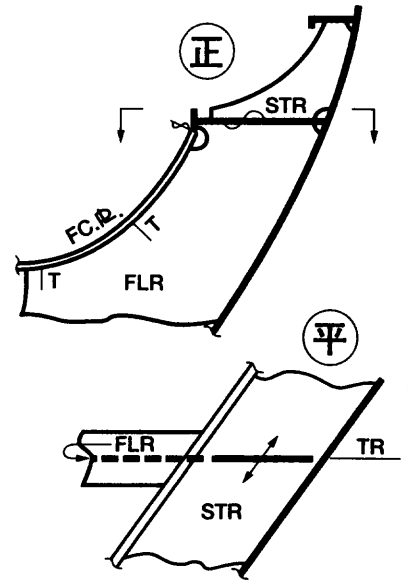


図2.5.13

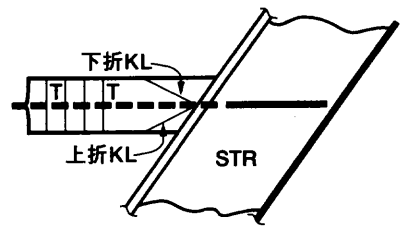


図2.5.14

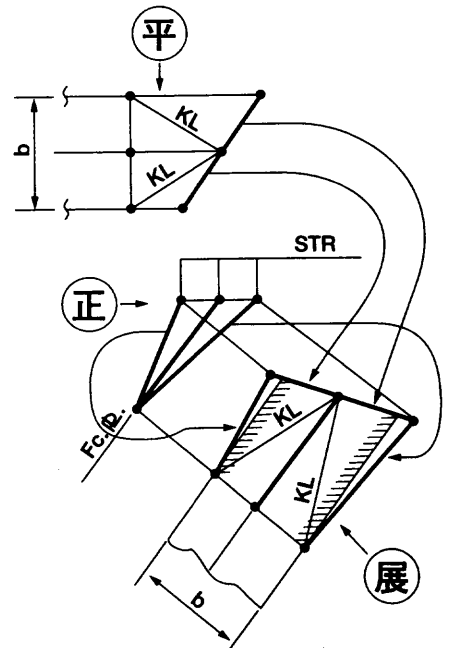


図2.5.15

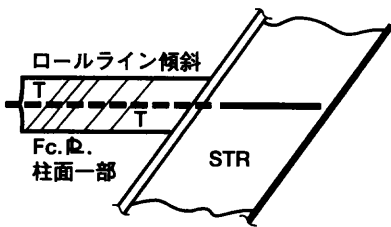


図2.5.16

この方式は、先のKL方式より見栄えはよいが、展開及び加工は面倒である。

原理は柱面展開（図2.3.6）である。

① 正面図で、F c. R. のロールライン間隔を適当に割付ける。このF c. R. のFLR付線は実長である（図2.5.17）。

② 割付けたロールラインを平面図に戻して描く。傾斜はSTR取合線に平行である。ここでF c. R. の幅は考えず、柱面上でのFLR付線のみ考える。図2.5.17では平面図に幅を描いているが、これは説明を分かり易くするため付けたものである。

このロールラインに直交する基線を入れよう。位置はどこでもよい。

この基線とFLR付線との間に挟まれているロールライン長は実長である。

③ この平面図上の基線とロールラインの交点を、正面図上のロールライン高さの位置に戻して、これを結べば、柱面の基線断面が求まる。この基線断面上の基線は実長である。（この基線断面は正面図ではない。）。

④ 以上の手順①②③での実長で、F c. R. のFLR付線の展開図が描ける。

F c. R. 幅 (b) は、この展開されたFLR付線を中心に振分けて描く。手順②の平面図で幅(b) を考えない理由は、ここにある。平面図でのF c. R. 幅はbとはならない。

図2.5.18は、主機械台が特設肋骨と一体になった構造を示す。台前板は傾斜があって、肋骨と接続するには、継手が折れるだけでなく、肋骨下端にも斜にKL (Knuckle) が入る。

また肋骨のF c. R. は、台天板と接続する。この場合は、柱面より取出すほかはない。

このような場合は、展開の前に、空間にある構造の形状決定が、先の問題としてある。

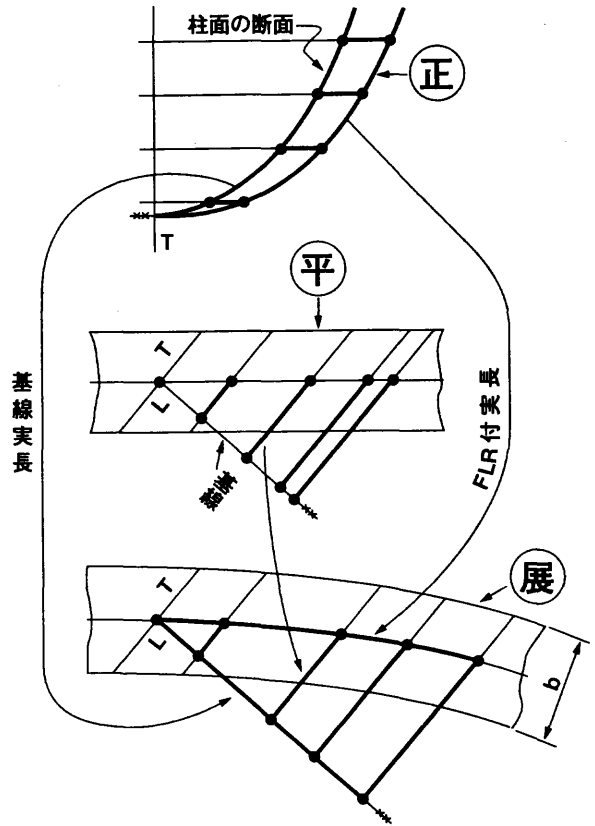


図2.5.17

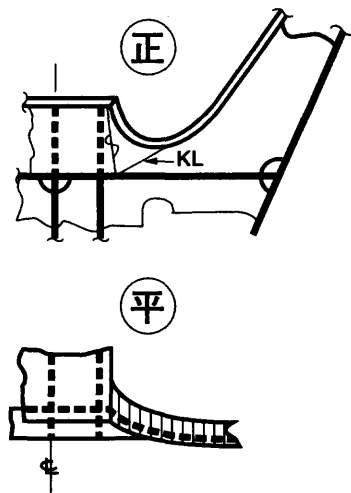


図2.5.18

この空間形状の現図を作り出す作業を「構造現図」と呼び、三面図の作画操作を必要とする。

ここではKLを持つ多面体と柱面の相貫線を求める作業となり、別途の説明に立入らねばならない。したがって本項では、便宜上、これ以上の記述を省略する。

- 曲りのある F c. R. が、取付け度を持つとき、やはり柱面展開になる。

図 2.5.19 は、シヤー (sheer) のある甲板の横肋骨を示す。

甲板に平行な深さの桁板で縦壁に狭まれ、その F c. R. の縦壁付は、裏にある甲板に平行な縦肋骨と面を揃える。図 2.5.20 は、その展開要領を示す。

正面図にある取付線実長と、側面 (F c. R. の断面) 図より求めた基線のシフト量とから、展開図が描ける。

つまり、柱面を考えなくても「実長の見える線に立てた垂線は、展開面上でも垂線である」ことだけの応用で足りる (図 2.5.21)。

この原則は便利であり、以下多用する。

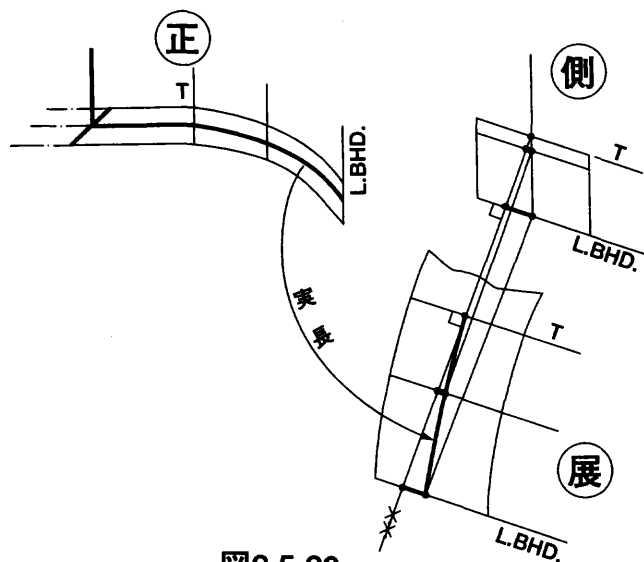


図 2.5.20

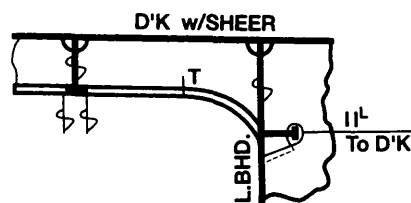


図 2.5.19

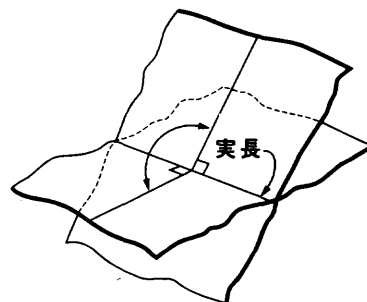


図 2.5.21

5.2 「伸び」の出る板面の展開

5.2.1 シヤーのあるサイドストリンガーの展開

設計図示平面に図 2.5.22 のように描かれた船側桁板 (Stringer: STR) を展開する。この図示寸法は、平面寸法でなく、板 (展開) 面寸法と解する。

STR 面の F r 断面は直線で表され、その線は実長であるから、これに垂線を立てれば、展開面でも相互の線関係は直交である。図 2.5.23 のように、STR、F r 断面が水平なら、B. L. (Buttock Line) を展開基線とすることができる。F r 断面の「落ち」を拾って「伸び」を求めれば、STR 展開面が得られる。

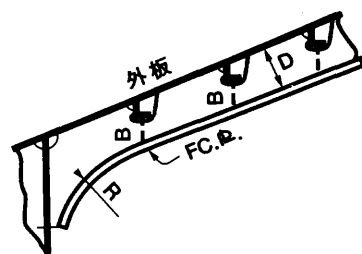


図 2.5.22

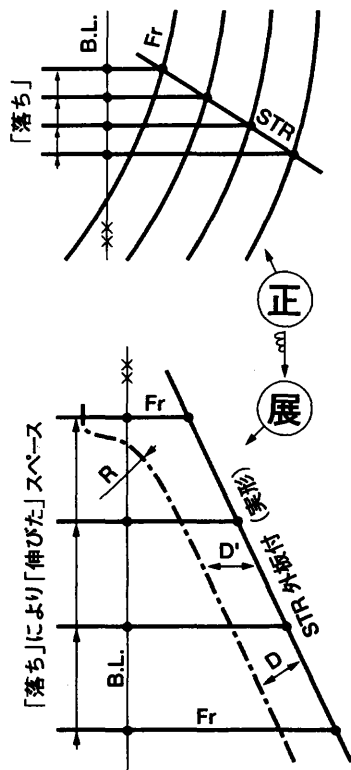


図2.5.23

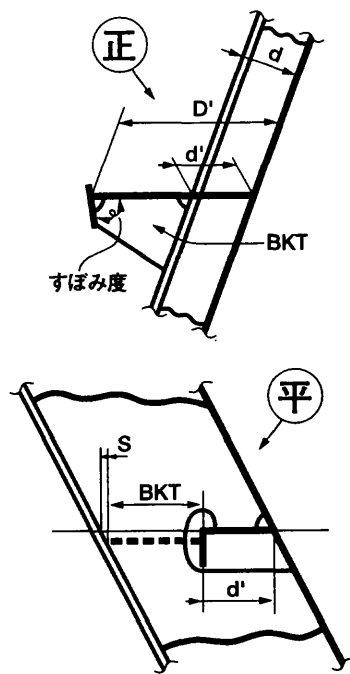


図2.5.24

この展開面上で図示寸法、端部 F c. R. の曲げ R、STR の Web 深さ (D) を押える。STR の正面の幅 (D') は、この展開面上で決まり、正面図に戻すことになる。

ここで STR の現図正面、平面の詳細を説明しておこう (図 2.5.24)。

横肋骨は正面に実形が描かれるから、STR 上の貫通部深さは、 $d \rightarrow d'$ のように伸びた実寸で表われている。その肋骨上に取付ける BKT (Bracket) は、Fr 断面上になく、隅肉溶接のため外してあるから、深さは平面で求める。また F c. R. 付は「窄み度」になることを注意しておきたい。

この「窄み度」「開き度」は、羊かんを斜に切ればの例えて、冒頭 (図 2.1.1) で説明したものである。

今扱っている STR 展開面では、横肋骨のフランジ断面は「開き度」になることは図 2.5.24 の正面で、フランジ幅だけ Fr 断面から離れた正面での STR 面位置を考えると、すぐに分る。

一般的な Long Fr. 山形材が傾いて走っている配置のときの正面形状の求め方を示しておく (図 2.5.25)。

正面には Long の Web 線 (正しくは、その面と Fr 断面の交線) と (Web 足元の) 外板付線が示されている。まずこの 2 つの線を含む面を、Fr スペースの間に一線として見えるような〔副〕側面として求める。この副側面では、フランジの実幅 (f) が描ける。またこの Web 面を、さきの STR 展開と同様にスペース伸びを押えて展開すれば、Web 深さ (W) が描ける。ここで Web 深さの「伸び」(W 伸び) が求まる。また副側面で f だけ離れた W 面との平行平面の正面「落ち」

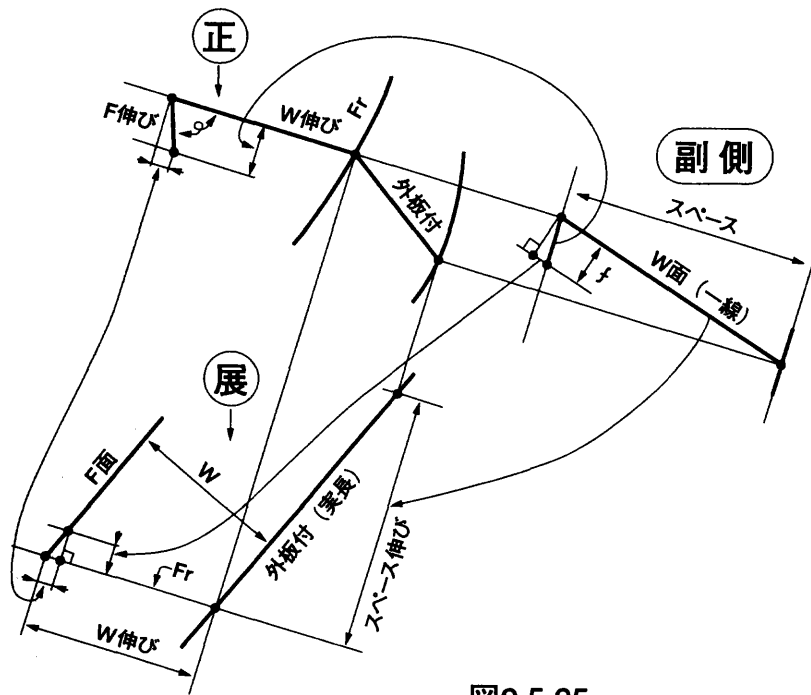


図2.5.25

を正面に戻し、展開面でのフランジ平面（F面）の「落ち」から、正面でのフランジ端縁の位置を求めて、W伸位置を結べば、フランジの「伸び」（F伸び）とW面とF面との正面狭角が得られたことになる。

図2.5.24のBKTのF c. R. 付は、上記図2.5.25における〔副〕側面が、〔正〕側面に相当するから、より分かり易い。

このような作画問題／展開問題で、解法や手順を記憶するのは、実りが少ない。これまでに説明した原理原則：実長三角形、実長線への空間垂線＝展開面でも直交、平行平面での落ち／伸び／実長、を組合せれば、必ず解ける。要は考えることにつきる。

さきに説明したLong. Fr.における正面形状解法も、一例にすぎない。

5.2.2 シヤーとキャンバのあるデッキプレート (Deck Plate: DK.R.) の展開

まずStreight Camber (直線キャンバ) の展開を図2.5.26に示す。

この展開は、すぐ前のSTR (Stringer) の展開と全く同じである。

正面キャンバー線に直交する基線を立て、その基線の実長の上に、正面に実長として描かれている甲板幅を、基線を押えて目盛ってゆけばよい。

ここでSheer がParabola(放物線)なら、C. R. (Center line Plate)と側板の継手シームは、正面で直線であっても、側板展開面では直線とはならない。展開しても平行直線シームであるC. R.

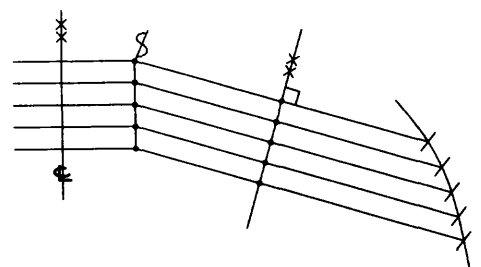


図2.5.26

を除く他の板継シームは、展開面上で平行直線となるように決めるとよい。プレーナ一切断とするためである。

Round Camber (円弧キャンバ) 図 2.5.27 の場合も、板割りは同じ事情となる。

円弧キャンバでシヤーがあると、展開面で Fr 線は曲線となる。このため直線キャンバのように正面だけでは展開できず、側面を必要とする。

正面には Fr 線の実長があり、側面には B. L. (Buttock Line) の実長がある。この実長の関係を求めるために、Fr 線の外板付 D'K. Side Line の各 Fr 位置から、 \perp 及び B. L. に向けて垂線を下す。この垂線は展開面においても \perp 、B. L. に直交する。この直交線は、展開甲板上の Fr 線を弧とすれば、弦の関係となる。

この展開面における、弧と弦の間の寸法を Back Set (バックセット) と呼び、空間の弧が、展開面上に伸びて転がることから、「コロビ」と感じを出して略称することもある。以下このバックセットを B. S. と記号化し、言葉では「転び」と使うことにする。

展開手順は、次のようになる。

- ① 正面で、 \perp 、B. L.、S. L. (Side Line) を押えた Fr 線の実長を、側面で、B. S.、Fr 位置を押えた \perp 、B. L. 実長を拾う。
- ② \perp を展開基線とし、その上の B. S. 位置より幅方向に基線に垂線を立てる。この垂線が幅基線となる。
- ③ 図 2.5.28 の \perp 上の Fr 位置 \square より、次の B. L. までの Fr 線実長 \square で、コンパスを掛け、次の B. L. の B. S. \square との交点 \odot を求める。この交点 \odot を連ねる曲線が、展開 Fr 線であり、この \odot 点を通り \perp に平行な線を描けば、これが展開面での B. L. である。

この $\square \sim \square$ を繰返して、 \odot 点を連ねてゆけば図 2.5.27 の展開面が得られる。

ここで正面 Fr 線の実長はガース長であるのに、その実長を半径とするコンパスで \odot を求めた。これはガース長を直線に延したことになる。したがって厳密な実長を追ったことにはならず、

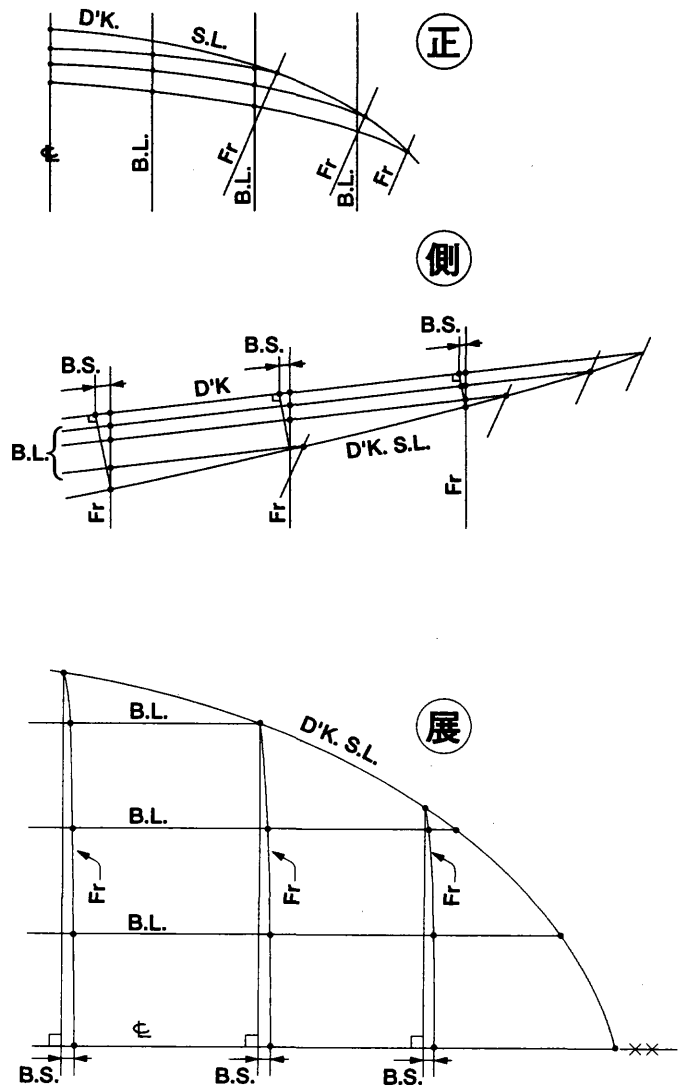


図 2.5.27

僅かだが長めに出る。

このD'K.℄.は、曲げ加工不要の自然撓みで組付けが行われるから、弾性変形の中性軸は、板厚の中間であるが、これを無視して、骨付面であるM (D'K下面)で実長を拾う。厳密に言えば、実長は短めと言えないこともない。

これらのことで、僅少差は無視するのが、一般的であり、以下の非可展面での説明でも、ガス長=直線長、中性軸の誤差は無視することにする。

なおParabola SheerとRound Camberが同時にあれば、D'K.℄.面は、厳密には、非可展面である。

だが通常の形状であれば、この方法で展開してよい。誤差は作画誤差程度である。

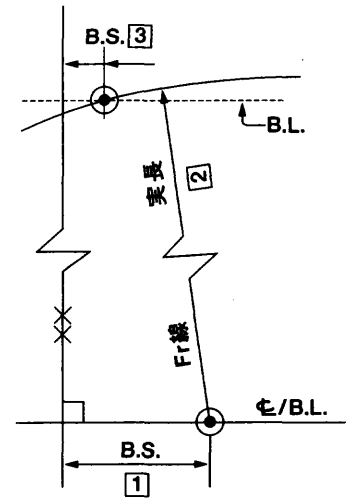


図2.5.28

5.2.3 船尾戸立 (Transom) の展開

図2.5.29に示す。

柱面展開とも、直線シヤーで円弧キャンバのD'K.℄.の展開とも、考えてよい。

平面にW.L. (Water Line) ガス実長が、側面にはB.L. (Buttock Line) 実長があり、その他のTOP、BTM (Bottom)、S.L. (Side Line) の各端縁の実長は、必要な※の部分のみ、平・側二面から実長を出す。展開面においても、W.L.相互、ε、B.L.相互は平行であることを利用する。

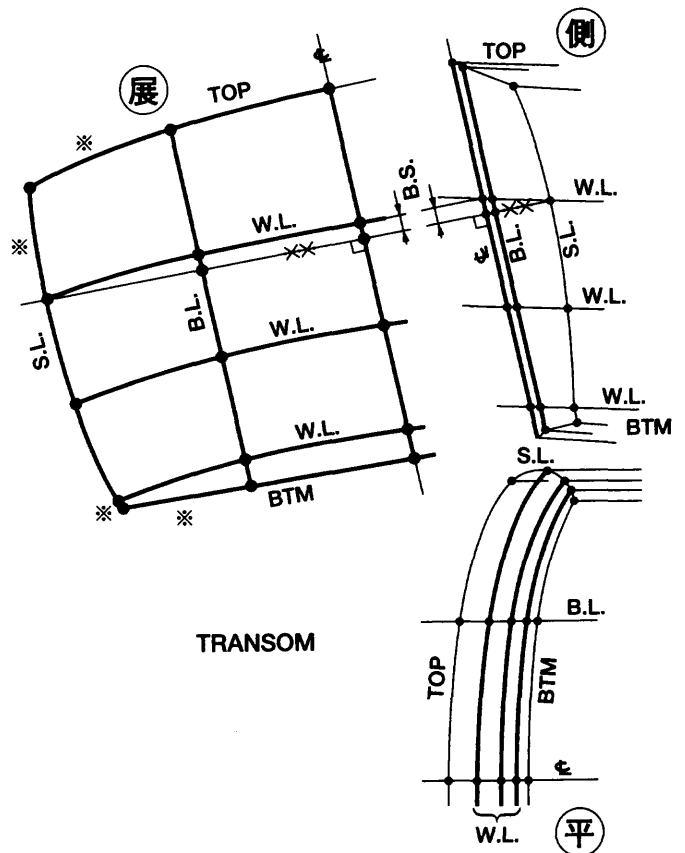


図2.5.29