

# 1 はじめに

現図展開は、これまで熟達した技能として伝えられてきた。教科書や指導書など、この技能に触れた書物は多くあるが、典型的な、一般的な手法を「Know How」ノウハウの形又は「How To」ハウツウの手順として取上げており、そのことを記憶習熟したとしても応用が利きにくい内容になっている。

この現図展開の技能を、できるだけ体系的に捉えて、「Know Why」ノウホワイ：なぜなのか、理由の分かる形に書いてみたい。

そのような試みであることを、あらかじめことわっておく。

分かりにくいところは、どんどん指摘していただきたい。それにより変更や追加を行い、より良いものにして行こうと思う。

そもそもソフトウェアというもの、このようなテキストもそれに含まれるが、使い込むことで使いものになってゆく。そのような期待を込めて書下してみる。

## 1.1 展開とは

そもそも「展開」とは、なにを指す言葉だろうか。外板の構造図は、外板拡張図とか、外板展開図とか名称が付けられているが、この意味は、外板曲面を平面上に押しつぶして描いたということである。その図面から読取れるのは、外板の形状ではなく、外板のつながりや、その他の構造との関係である。地図に見る国や地域も、同じような意味であり、地球展開図と理解してよい。

地球儀に見る形と地図の形は、極点に近いほど異ってくる。外板展開図は、いずれ外板形状を示すものでないから、図面の縦（幅と深さ）と横（長さ）の縮尺が異なり、横を縦の半分にするのが普通に行われる。

では外板の形状を示す図形は、なんと呼ぶか。外板展開（図）である。外板構造図と紛らわしくなるから、図の字は省略している。

図とは一般に面の上に描いたもので、面とは一般に平面を言う。外板の形状を、材料である板から切出すには、平面の図形で与えなければならない。ここで地球儀の形状と、地図の形状との違いのような差異が発生することは容易に類推できる。ことわっておくが単に外板と呼ぶときは、船体前後部の曲面をなす外板を指しているものとする。

地球儀と地図で形状の差異が小さいのは、赤道附近の形状であるが、それぞれの外板の場合、曲面形状を最も少ない差異で平面上の形状にすることを、外板展開と言うのである。

ではこの最も差異が少ないということは、なんで分かるのか。差異は比較できる量として求めるのか。幾何学的には、いろんな定量化手法があろうが、ここでは追求しない。ここでの目的は造船についてであり、平面形状は曲面形状に加工されなければならない。この加工作業量の最も少ない場合を、最少差異の展開と捉えよう。つまり展開とは、撓鉄作業が最少になる平面形状を求めることとする。

ここで撓鉄作業は二つの目的を持つ。

- 平面を所要の曲面にする。
- その曲面の端縁を所要の位置に決める。

この両者が果されることで、曲げ加工は終る。所要の曲面と端縁位置は、曲げ型で与えられている。

余談であるが、外板曲げ加工の自動化と謳って、多点プレス：格子状の圧点のシリンダをNCで昇降させ、その圧点突端で所要曲面を表現（詳しくはバネ戻り量を加味）し、一発押切りで曲面を成形する方式の開発が、2～3度が試みられているが、いずれも実用になっていない。

これは端縁位置がどのようになるか、撓鉄加工の後者の目的を等閑に付してたからであろう。曲面ができれば自ずと端縁は所定位置に行く、そのように展開されているとは限らないし、よしんばそのような展開が可能になったとしても、確認制御は省いてはならないと考える。

このようにくどくどと展開の意味にこだわっているのは、この理解が乏しいからである。「展開が悪いから、板継ぎのギャップが開いた。現図（作業）がおかしい。」と、組立場より苦情がくる。話が違うのである。ギャップが開くことは、外板端縁が所定どおりでない、ということである。原因としてあるのは、

- ① 曲げ型が間違っている（これは、まずない。あるとすれば、曲げ型がユニバーサル・セット方式で精度が狂うか、曲げ型の当て方が正規でないか、いずれか。）。
- ② 曲げ加工が手抜き（曲げ加工定盤上に外板を曲げ形状どおりに支持して曲げなかったか、仕上り検査が甘いか。）。
- ③ 曲げ加工後の外板の保管が悪い（枕台なしに放置したり、上に別の外板を重ねたりして、せっかくの曲げ加工を変形させてしまったか。）。

このいずれか、である。

つまり、展開は曲げ加工抜きには語れない。

これ以上の話は、「6 非可展面の展開」で述べることにし、先に進む。

これまでの話は、外板に関してであった。展開という言葉は、まだ外でも使われる。

一つは、材料から切出したままでは、所定の部材とはならないもの：

- F L (Flange) のある B K T (Bracket) や、K L (Knuckle : 折れ) のある W E B や G I R (Girder) など
- 円弧に曲る F c. P. (Face Plate)
- 外板沿いに曲げる F r (Frame) 類

いずれも曲げ加工のある構造材であり、この場合、曲げ加工前の取材形状を展開と言う。

二つは、曲げ加工はないが、図面や現図の上で、形状がまともに見えてない部材の取材形状を求めることも展開という。

- 曲り外板付 Long. F r. (Longitudinal Frame : 縦肋骨) の取合い B K T (Bracket)
- シャーのある D K. P. (Deck Plate)

- W. L. (Water Line) や B. L. (Buttock Line) に平行でない桁板

この中には、図面指示寸法もアイマイな場合がある。「1.5 図面表示寸法」に詳しく示すことにする。

以上の話をまとめると、展開とは、構造部材を素材（板材・形材）から切出す形状を求めること、つまり取材形状を出すこと、とすることができる。

展開を知らないと、カッティング・プランは書けず、したがって材料発注もできない。

この取材形状を出すということを、更に考えてみよう。

リバースエンジニアリング (Reverse Engineering) という言葉がある。自動車や家電などの量産製品で、他社新製品を組立の逆手順で分解して行って、その内容を吟味し、自社の同種開発の参考にすることを意味する用語である。リバースエンジニアリングで最後は部品単位の最初の形状に行着く。この最初の形状は全工程を逆さに辿った帰結である。

造船の展開も、このように考えたい。後工程の全ての要件を織込んでおく必要がある。どのように組立てるから、どのように加工しておくか、そのように加工するのなら、このように展開しておく。これが展開の本質である。このテキストでは、話は作画（アナログ）現図に限られるから、撓鉄なかんづく熱収縮のみ考慮するほかないが、コンピュータによる数値（デジタル）現図の場合、当然に組付溶接による収縮変形も配慮するのが展開となる。

ちなみに一般図学で言う展開とは、「空間図形をすべてが実長で表わされる平面形状にすること」である。注意しておきたい。

## 1.2 空間状況を直観

展開作業に当たっては、まずその展開する部材の形状のあらましを、宙に想い浮べる必要がある。心眼で、その部材が船体に組付けられている有様を、じっくり見詰めるのである。これには、すでにでき上っている船の構造を、常々注意深く眺めておく修練が大切である。昔の現図工は、円筒を斜めに切ると、切り口は楕円になる、このことを、先輩が故意に教えてくれず、自分で大根を包丁切りにして、悟らされたと聞く。その体で考えた体験を分析すれば、どこに楕円の長径と短径が現われるか、自明になってくる。

例えば、和菓子の羊かんを斜めに切ってみよう。その切り口は一般的には平行四辺形になり、その辺の長さは、羊かんの幅・厚さのそれぞれより長く、辺が作る角度は直角でなく、一方が直角より大きい「<sup>ひら</sup>開き度」なら、一方は直角より狭い「<sup>すぼ</sup>窄み度」になる（図2.1.1）。

この斜め切口形状の展開とは、その平行四辺形の辺と角度の実際の大きさを求めればよいことになる。つまり展開の方法は、辺＝線の「実の長さ＝実長」と、線のなす実物の「角度＝実角」を求める

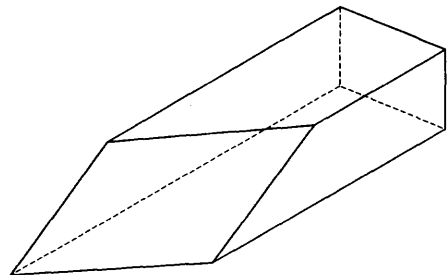


図2.1.1

こと、この2つに単純化される。この実角の代りに、その角度を決める対角線の実長を求めてもよい(図2.1.2)。

このように空間にある形状の特徴と性質を直感的に考えつくことが、展開を理解する早道である。

この空間形状を直観でつかむようになるには、例に挙げたように大根や羊かんを切って体験するまでもない。造船現場には、その修練：イメージトレーニング (Image Training) の題材が多くある。

「現図は用もないのに現場をうろうろするな」ではなく「現図は仕事を磨くために現場を見よう」と励ましておきたい。

この感覚の有無は、正面線図上のLong.Fr. (Longitudinal Frame) の断面作画に見取ることができる。形鋼断面のウェブ深さは正規に求められているが、フランジの長さや角度は無視されている例が多い(図2.1.3)。一般にLong.Fr.の貫通部はOpen Slotであり、ランディング(Landing)でのLongとTransとの斜行は少ないから、精度上の問題とならず、ウェブ深さのみ作業手順として伝えられてきた結果であろう。

また別事例(図2.1.4)として、Bulwark StayのTop Rail付Coll. Pl. (Collar Plate)の型検査で、「容貌が気に入らない」と撥ね返している現図熟練工の声を聞いたことがある。まず形状の性質から納得がいかない、というのである。型作成者が展開作業をやり直したら、やはり間違っていた。

これらの事例からも、展開作業は、定性推察から定量確定へ進めるもの、と学び取ることができる。

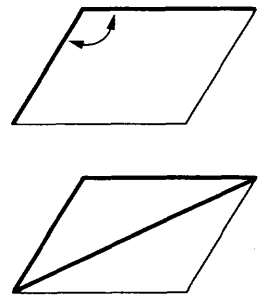


図2.1.2

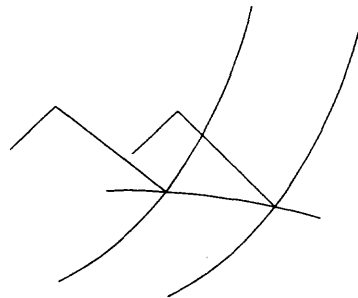


図2.1.3

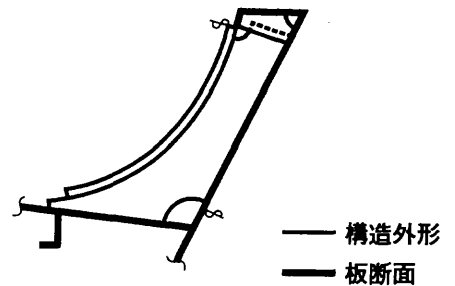


図2.1.4

### 1.3 現図空間は格子枠

空間はそのままで漠として捉えどころがない。形状を定量化するには、なんらかのより所がある。

造船現図では、このより所を空間格子枠としている。

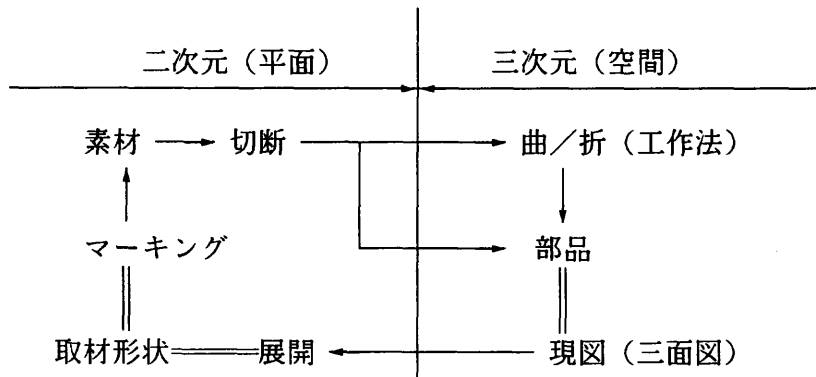
船のW.L. (Water Line : 水平面群) ⇨ 水平格子

B.L. (Buttock Line : 縦断面群) ⇨ 縦格子

F.L. (Frame Line : 横断面群) ⇨ 横格子

そして、このジャングル・ジムのような格子枠を、水平・縦・横にアコーディオンのように圧縮して重ね、それぞれを平面・側面・正面として、船の現尺三面図を描く。船体全曲面はそれぞれの面に、地図と同じ要領の等高線で表現される。この現尺線図があるものとして、以降の展開は説明する。実際には船首尾端のみ三面図があり、中央部では正面図のみ描き、平面・側面は省略されるが、これは正面図があれば、この格子枠の構成から、必要なとき描けるからである。

ここで、これまでの話をまとめておこう。



#### 1.4 造船材料と工作法

展開により求められた取材形状をマーキングする素材としては、板材と型材がある。型材とは平板矩形の板材以外を言い、一定断面を持つ圧延材である。展開の対象としては、船殻構造材として一縁辺が板面に取付けられる帯材・山型材（球山形を含む。）に限る。

このほかに管材・丸型材・溝型材なども用いられるが、一般図学や用器画の学習書の応用で求められるので、解説を省略する。

さて、展開は工作法によって変る。

曲げ加工には、プレス押し変形と加熱収縮を利用する変形とがあり、それぞれ単独に又は併用される。プレス加工では材料は伸びと縮みの両方が起こるが、熱加工では収縮のみが起こる（実際には収縮の反作用により僅かの伸びが生じることがあるが、収縮に比べて無視できるほど小さい。）。

船殻の組立には、内部構造の骨組を先に固めておいて、あとで皮板を個別に張付けてゆく方法〔骨立揃え → 皮張付け〕と、皮板を先に継いで板面を組立後、骨（または骨組）を配材取付ける方法〔皮板組 → 骨取付け〕がある。

あとで詳しく説明するが、曲り外板の展開は近似的であり、不完全であるから、板継ぎ後に空間的に仕上げ（ブロック・マーキング、再切断）する必要が生じる。この場合は板継ぎシームが合い易いよう、ブロック内は同一展開法を適用するのが良いが、単板で皮張付けなら、その配慮は役に立たず、より近似度の高い展開法を作業が面倒でも採用すべきである。

なお、この曲り外板部にSea Chestなどの開孔がある場合、一般に板の位置が固まった時点で穿孔するが、この開孔の形状を求めることも展開と称している。

## 1.5 図面表示寸法

寸法の指示には、いろいろある。

- 間隔（スペース）：

平面・側面・正面といった図面上の寸法。代表的には肋骨心距（フレーム・スペース）がある。それぞれの面から、どれだけ離れているか、を指定する。

- 板沿い：

展開面上での寸法

- 線沿い（ガース：Girth）：

特定の線に沿った寸法。その線が曲線の場合、曲線沿いに曲って測るのか、曲線両端点の間隔寸法なのか、二つの解釈が成立つ。

図2.1.5に示す曲りLong.F r.の図面表現で、曲り外板継手の位置は、スペース寸法。左側三角BKT（Bracket）の足の長さ、右側R付BKTの縁半径は、板沿い寸法。右側BKTの足元斜めの寸法は、ガース。これが造船常識としての区別であろうか。

図2.1.6は、 $\phi$ （Center Line）に平行でないGIR（Girder）側面図であるが、この接寸法は、スペースか、板沿いか。継手の右・左を展開する人がどちらかに決めて、一人で両方作業すれば問題はないが、人が違って解釈を変えれば、継手部は重なりか、ギャップか、いずれかが生じる。

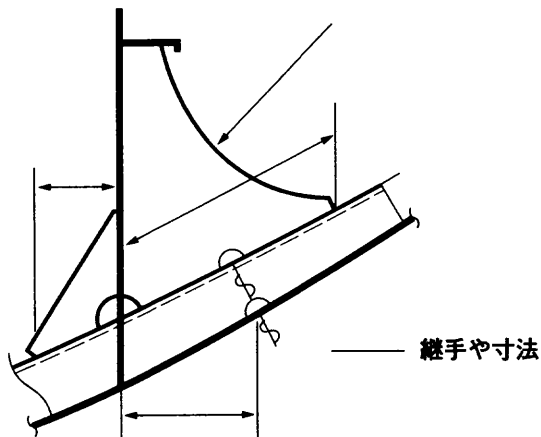


図2.1.5

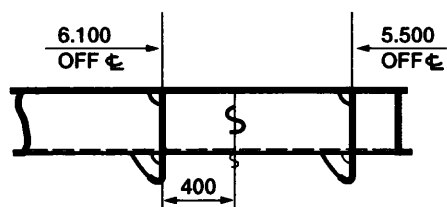


図2.1.6

また、寸法の起点が、モールド・ライン（Mold Line：M）なのか、板面上（Mから板厚分差引く）なのか、の区分がある。

この寸法表示の区分は「設計」と「現図」の間で統一しておくべきであり、アイマイなため生じたトラブルの責任は、指示伝達不明確の故に、一切を「設計」が負うことになる。「現図」は「設計」の補完機能ではない。

Mは図2.1.7の下方に示す矢印の向きで表わすとよい。

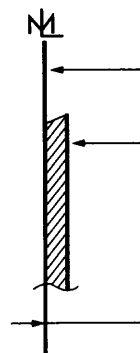


図2.1.7

## 2 展開の原理

基本はユークリッド幾何学である。内容例には「平行線は相交わらない」がある。ちなみに非ユークリッド幾何学では「平行線は無限遠点で交わる」であり、平行線も交わる線として包含する。実質的には同じことで、太陽は一点で、その光を放射しているが、その放射点より遠い地球上では、平行光と見做してよい。

### 2.1 空間の幾何

幾何というのはGeometry：土地測量法の意味のある外国語に対応する用語で、図形の科学であるが、現図に応用する方法は、本書では計算でなく作画で解く範囲に限られる。

作画である以上、図形を描く平面上に捉えなければならない。この捉え方として、平行光による投影を用いる。太陽光による影をイメージするとよい。

一般に空間図形の科学は「図学」として体系化されており、造船特有でない部分はそれを参照すれば足りるので、本編では取挙げない。

現在普及を進めている数値現図では、方法は計算であり、実長と実角は方向を持つ量であるベクトルとし、空間は空間のまま取扱える。本編で説明している作画現図の対比として、付記しておく。

### 2.2 空間から平面へ

形状を表わす要素は線なので、空間にある線を平面に投影する様子を考える。

太陽光は真上から降り注ぐ。線と見做す棒は地面に対して斜めに宙に浮いているとする。真下に棒の影ができる。影の長さは棒より短い(図2.2.1)。展開するとは、平面上に実長で形状を描くことだから、この棒=線の実長を影の形から求めねばならない。

造船現図では、これを次のように考える。

- ① 線の下端点を含み、地面に平行な平面を想定する。

この平面への影の長さは、先に見た図2.2.1と変わらない。

線の上端点も掴まないと、実長は決まらないから、この上端点を含む、やはり地面に平行な平面を想定する(図2.2.2)。

- ② 次に、この線とその影を含む平面を、更に付加えて想定する(図2.2.3)。この面は太陽光に平行(図2.2.1参照)だから、前の①で想定した二つの平面とは直交する。

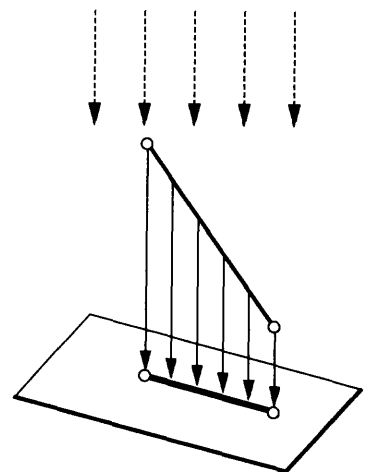


図2.2.1

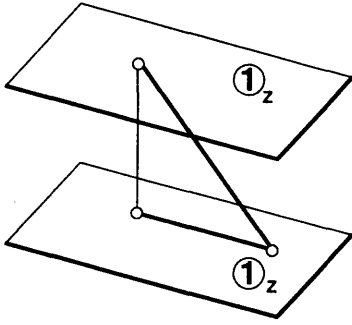


図2.2.2

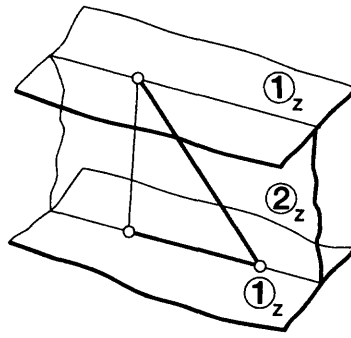


図2.2.3

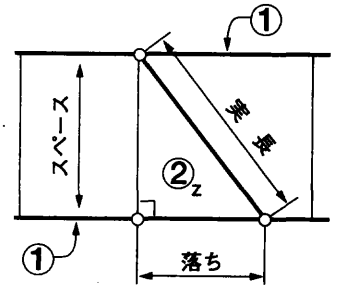


図2.2.4

③ この②で想定した平面を実際に作画してみよう。線とその影は、直角三角形の2辺をなして捉えられる(図2.2.4)。

ここで造船現図特有の用語を説明しておこう。

- スペース：先の手順①で想定した平行二平面の間隔である。
- 落ち：影の長さ

なぜこのような呼称となったか。現図ではやはり曲り外板に関わる作業が重要であって、正面線図がその基本である。正面での肋骨線は外板曲面の等高線を示し、スペース寸法の間で曲面の落差がどれだけあるかが、曲面の傾きを示すからであろう。

正面線図から外板シームの長さを求めるとき、正面のその部分の「落ち」を拾い(図2.2.5)〔スペース〕と〔落ち〕を直交2辺とする直角三角形を描けば、その斜辺が〔シーム長〕となる(図2.2.6)。

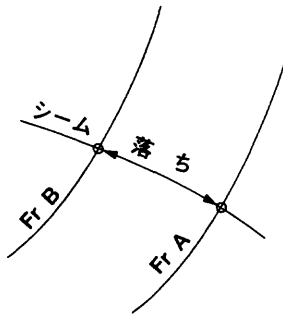


図2.2.5

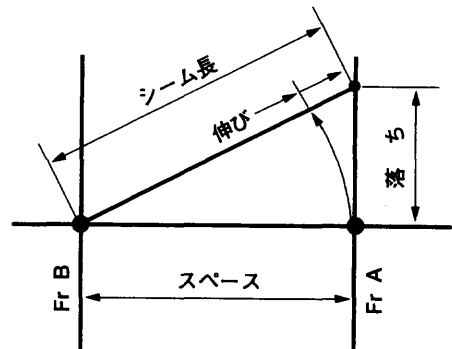


図2.2.6

ここで、もう一つの用語を付加しておく。

- 伸び：シーム長=実長が、スペースよりどれほど伸びているかを示す量  
〔伸び〕 = 〔実長〕 - 〔スペース〕

ただし、造船所や人が違えば、

$$〔スペースより伸びた実長〕 = 〔伸び〕$$

という場合もあるようである。



## 2.3 平面作画

作画というとき、一般には計算は用いないが、造船現図ではそう限定しないでよい。より能率が上がるのなら計算も役立つ。

先に示したように直角三角形の場合、ピタゴラスの定理が使える。

$$[\text{実長}]^2 = [\text{スペース}]^2 + [\text{落ち}]^2$$

この式からスペースごとに物指を作り〔落ち〕を測れば〔伸び〕が読取れるようにすると便利である（図2.2.7）。この関数尺を実長尺と呼ぶ。

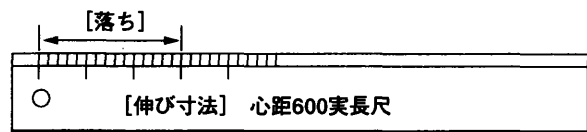


図2.2.7

さて、実長には、その線の含まれる平面を取出せばよかった。実角も同様で、その角の含まれる面を出せばよい。先の実長を求めた直角三角形で、線とその影のなす角度は、実長と同時に求められている。

ここで一般の三角形の性格を再確認しておこう（図2.2.8）。

- 三角形は、一平面を決める。
- 三角形は、三辺の長さで決まる。
- 三角形は、二辺とそのなす角で決まる。
- 三角形は、一辺とその両端角で決まる。理屈としては、一辺とどの二角でも決まるのであるが、三つの角の合計は2直角であり、作画上は両端角とする。

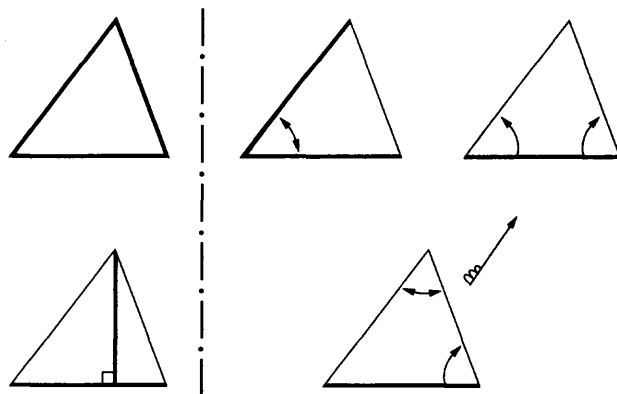


図2.2.8

一般に現図作画には、角度は用いない方がよい。分度器では足が短いため精度が劣り、自在金は狂いが出易い。使うならコンパスで正確に出せる直角だけとしたい。

- 三角形は、一辺とその対応頂点からの垂線で決まる。

この最後の直角三角形の構成にする方法は現図展開で多用されている。

角度には三種ある。

- 線と線の交角：  
これまでの説明で見た角度
- 線と面の交角：  
線を含み、面に直交する面を想定すれば、その想定面に表わされる角度

（図2.2.9）

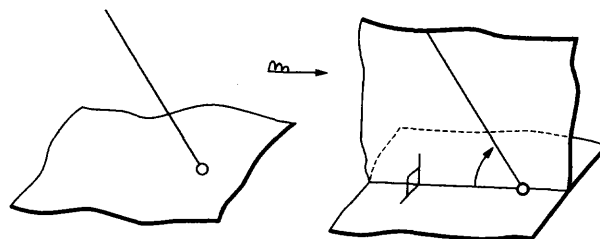


図2.2.9

- 面と面の交角（面角）：

交角をなす二つの面に直交する第三の面を想定すれば、その想定面上の面の交線がなす角度（図 2. 2.10）

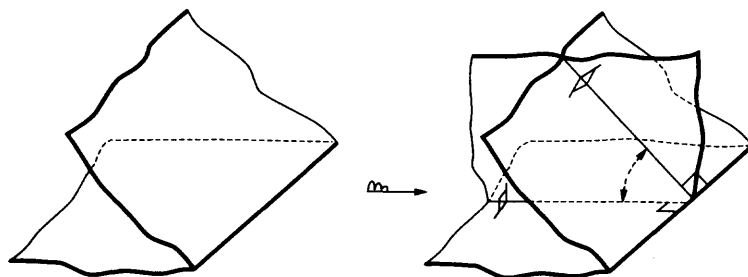


図2.2.10

いずれも線と線の交角として求められる。

ここで角度の造船用語を挙げておこう。

- 切り度：

切断縁のなす角。形材でその幅が角度を与える道具の自在金の長さより小さいとき、端部切断の形状を与えるのに用いている。F. B. (Flat Bar) や Flange Snip の山形材なら、これでもよいが、山形材の全面取合い端のときは、やはりウェブ／フランジの縁辺の位置で与えるのがよい（図 2. 2.11）。この切断端面は縁辺三点で決まる平面に密着させる形状となる。この切断端をいきなりと言う。取合い面に「行き成り」の意味であろう。この切断加工は一平面となるように精度上注意を要する。

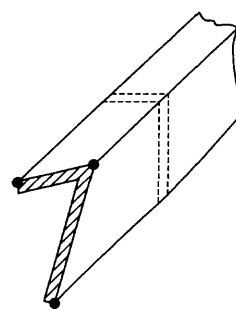


図2.2.11

- 取付け度：

取合いのある部材相互の面角であり、組立取付の指示値として用いられる。類似目的のものに下げ振り度があるが、これは組立定盤面と組立部材の面角をいう。曲り外板ブロック組立において桁板のように深い構造物の配材位置決め及び完成チェックに利用する。

- 折れ度：

K L (Knuckle：ナックル) 曲げの折り角で、当然面角であるが、取合い端の精度を押えるとき、端部二辺の完成時の交角（面角でない）を指定することがある。

- 做い度：

部材には板厚があるから、取付け度があれば板端に取付け面に接するための傾斜が生じる。この端面角をいう。板厚面を斜に削った形であるから、削り度とも称する。

$$〔取付け度〕 = 〔做い度（削り度）〕$$

現図は Mold Line (M) により描かれているから、展開は M により行われる。反 M 面に直角に取合う部材端は、相手の板厚分を差引くことでよいが、做い度があると、この補正量はケースごと

に変化する。この様子を図 2.2.12 に示す。

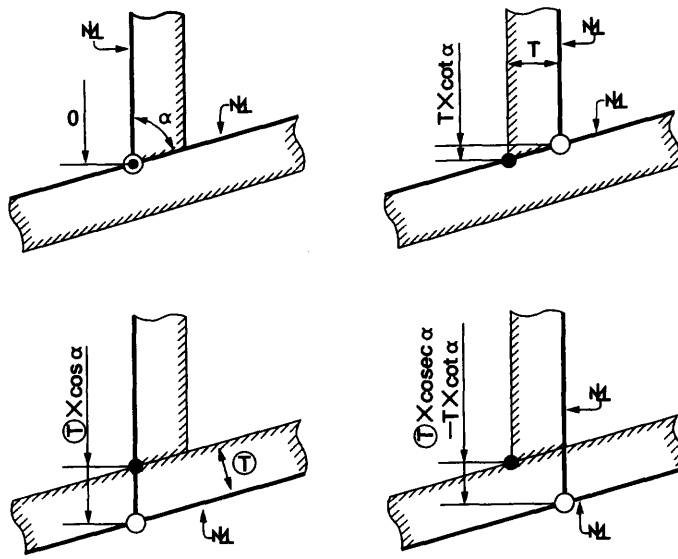


図2.2.12

○印位置が現図に描かれたM位置、●印は取合い部材の最端点位置である。その形状差異を、作画ではなく三角関数で表示してみた。

この端縁の切断加工は、做い度の変化により、直切り⇒メタルタッチV開先⇒X開先（Yを含む。）と、溶接の条件（脚長×姿勢）から選択される。

この詳細は、船殻工作法：生産設計標準と適用⇒現図型定規の表現⇒切断要領にからむ話であり、これ以上立入らない。

## 2.4 曲面と曲線

造船では船体曲面を表わす図面を線図と呼ぶように、曲面は曲線の集りとする。そして曲線は、その上にある点の集りとして表わしている。直線は2点で明確に決まるが、曲線を決めるのには多くの点が必要で、点が多いほど、その本来の曲線に近い曲線を再現する。

点が3個の場合を考えてみよう。曲線はバツテンで描くが、その両端点より先の位置の押え方を変えると曲線の形が変わり、どれが良いのか、3点だけでは分からない（図 2.2.13）。

つまり曲線として3点が与えられるだけならば、はっきりしているのは「この3点は曲線の上にある」という意味でしかない。あえて3点を押えてバツテンを回すと、両端点を支点とし、中間点の位置に集中荷重を掛けた弾性梁の撓み曲線となる。まずは船体曲面から派生した曲線ではない。



図2.2.13

一般にバツテンで曲線を回すと、端点近傍は直線となっている。この範囲を減らすには端点近くに点を押えるとよい。5点で曲線を押えようとすれば、点は図2.2.14のような配置であろう。

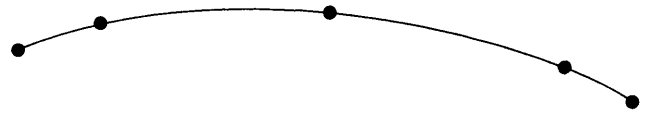


図2.2.14

さて、このように点列の接続で表わされた空間曲線の実長は、どのように求めるか。

直線の実長を求めた方法を拡大するのである。点のある位置ごとに平行平面を想定し、平面間スペースの上に、各点間の「落ち」を目盛って行き、その目盛った点を接続すれば、それが実長の曲線となる（図2.2.15）。「落ち」はその平行平面上の投影曲線上で拾い、求める実長も点列接続曲線上で求める。

直線の実長の説明では、その端点を含む二平面と、「落ち」（その投影線）を含んで二平面に直交する第三の平面を想定し、この直線を含んだ第三の面を作画して実長を捉えた。この第三の面は、空間曲線ではどうなるか。これは平面ではなく、空間曲線を含み、点列ごとの平行平面に直交する曲面になるのである。この曲面を平面上に展開したのが、実長曲線の作画と捉えれば、直線の場合と全く同じ方法であると理解できる。

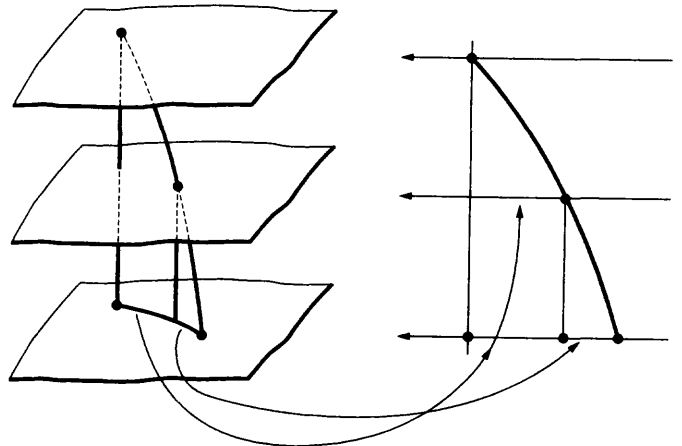


図2.2.15

次は、曲線／曲面での角度である。幾何

学では、交点における各々の曲線／曲面の接線のなす角であるが、さきに見たように点列で表現される曲線は、接線の意味があるほどの確かさでは、船体曲面もそれから派生する曲線も捉えていない。

さきに直線／平面の角度の説明で、展開に角度は使わない方がよい、としたが、曲線／曲面では、使ってはならない、としておく。

現図展開とは関係ないが、外板曲面上で求めて現場に渡す必要のある角度がある。ついでだから、その考え方を示しておく。

- 取付け度：組立時に使用する角度自在金の足の当たる点を求めて出す（図2.2.16）。曲り外板が逆反りのときはどうするか。下げ振り度は、そのためにある。
- 曲げ型当て度：曲り外板では、当て位置と見透し線を押えるのが第一義であり、当て度は参考なので、曲面上に直線を近似させる。ここらの詳しい論議は別途としておく。

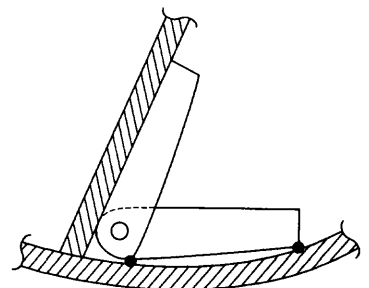


図2.2.16

### 3 可展面と非可展面

図学では、空間にある曲面が、その面上の線の長さを変えずに一平面上に移せるとき、その曲面を可展面といい、柱面・錐面・接線曲面（接平面包絡面）の3種に限られる。

造船では普通は可展・非可展の区別をしないが、この区分は具体的な展開作業を行う上で便利なので、意味を変えて用いることにする。

造船における可展・非可展の区分は、部材に撓鉄加工があって、その加工がプレス押しだけで完成できるか、できないか、である。

造船では雌雄型による押切り成型はないから、この区分で図学の定義と矛盾しない。

また、この区分は板材に対してであって、型材では用いない。

プレス加工とは、矢弦により所要角に折ることで、この折線をふやすことで曲面成形ができる。曲げローラー加工は折線を平行に無限にふやしたと見做し、プレス加工と同等とする。

角度を付けて折る線をKL（ナックル）線、曲面を成形してゆく線を、ロールラインと称して区別している。

#### 3.1 可展の条件

プレス曲げだけで、撓鉄加工が完成できるには、次の二つの条件が必要である。

一つは、KL線＝ロールラインが直線で、二つには、その面に絞りや振れがない、ことである。絞りや振れは、プレスでは与えることができず、熱加工による局部収縮で対処している。収縮による成形と逆に、ハンマーで叩き伸す方法（ピーニング）が用いられることがあるが、空間形状と展開形状とで、その面上の線の長さが変わる点で類似であり、可展ではない。

図学教科書では、展開手法の典型例として多面体（平面多角形で囲まれた立体）の表面を、面の角（稜線）での折れを開いて、平面上に拡げる説明がある。

造船分野で実際に出てくる多面体といえば台形（図2.3.1）であるが、このとき吟味しなければならないのは、その構成面に振れがないのか、どうか、である。この面の四辺形を展開するのに、対角線を結んで三角形に分割し（図2.3.2）、その各実長を求めて展開してみる。

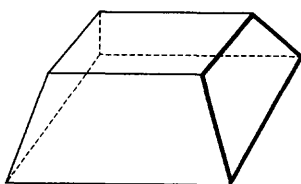


図2.3.1

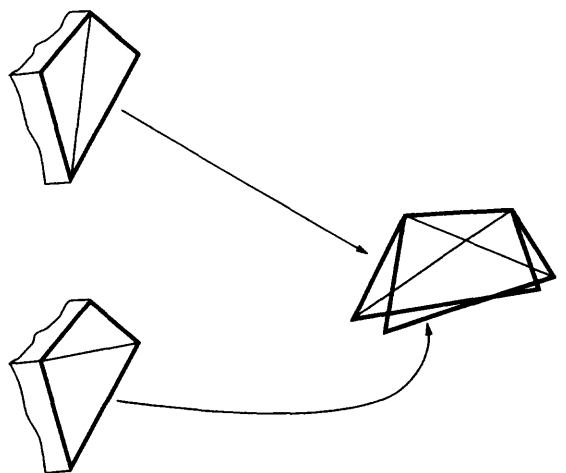


図2.3.2

この対角線の結び方を変えてみると、展開形状が全く重なれば一平面であるが、対角線の取り方により展開形状に差が出れば、この四辺形面は捩れており、つまり可展面ではなく、非可展の曲面である。このとき、どちらの対角線でもよいから、KL線とすれば、この捩れ面は二つの平面の合成に置代えることができる。

この捩れ面の事例として、H形材柱を支えるTransverse WebのDouble Tripping Bracket (図2.3.3)を考えよう。Bracket (BKT)の上端はH形材のフランジ面に一致せねばならず、下縁はLong.Fr.の走行に合わせねばならない。BKT面は捩れるのである。あとで説明するが捩れ面の展開は近似的にしかできず、即、精度が悪く、曲げ加工用捩れ型が必要になり、焼曲げのため加工は面倒になる。それに取付け度は位置指定が要る。空間の直観ができない設計者は、無自覚にこのような捩りを発生させてしまう。この捩れはKL (Knuckle) に代えられるので、図面を訂正して貰うとよい。

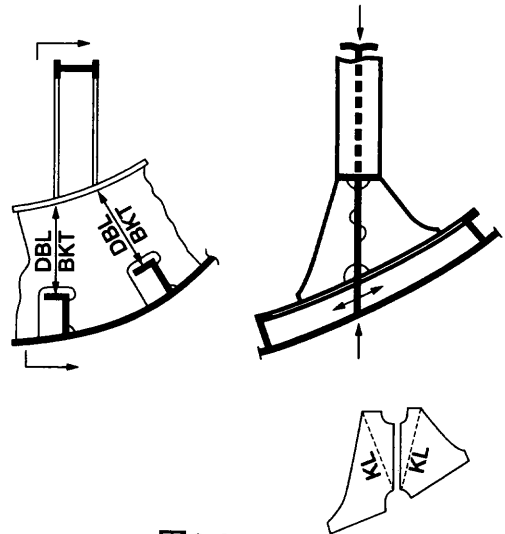


図2.3.3

現図側で気を利かせて図面を補うときも、あと図面の改訂を確認しておく。現図は常に図面指示通りに作業しなければいけない。この原則の遵守が、設計の水準を高め、派生するトラブルを防ぐ。

### 3.2 柱面と錐面

直線のロールラインが：

すべて平行な曲面を⇒柱面

すべて一点に交わる曲面を⇒錐面

といい、プレスだけで曲げ加工を完了できる。図学では、もう一つ可展面として、接線曲面があるが、造船では意識的にこの曲面を適用することはない、設計結果として類似した面が発生しているとしても、捉えようがなく、捩れ面として非可展面の中で扱うのが実際的である(図2.3.4)。

柱面の展開は、ロールラインが平行なことに着目し、各ロールラインの間隔を求め、その間隔を平面上に延して、ロールライン実長を目盛ることにする。巻寿司を作るのに使うみすを想像すればよい(図2.3.5)。

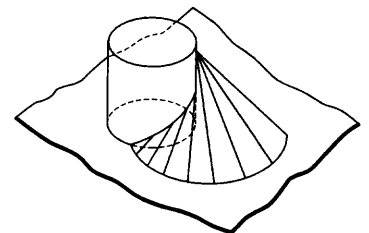


図2.3.4

ロールラインの間隔は、ロールラインに直交する平面を想定し、柱面とその平面との交線の実長を求めることに帰する。

錐面の展開は、ロールラインの交点(頂点)に着目し、その

交点を要（かなめ）とする扇子を拡げる方法である。ロールラインは相互に頂点を共有する三角形を作るので、その各辺に実長を与えればよいのである（図2.3.6）。

錐面の頂点が現図場をはみ出すように遠くにあるならどうするか。

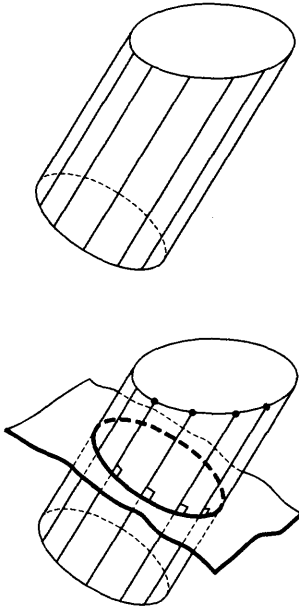


図2.3.5

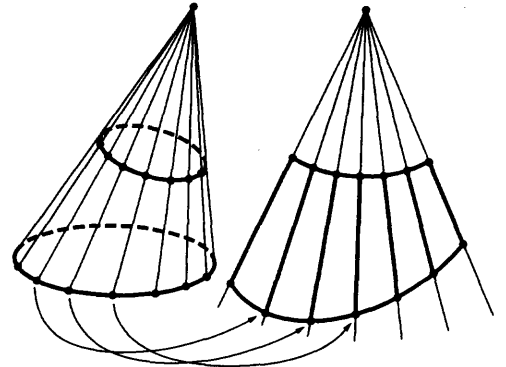
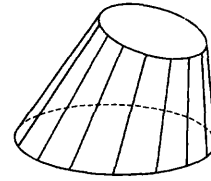
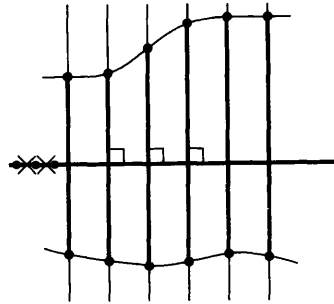


図2.3.6

もう錐面展開は諦め、非平行ロールラインを二辺とする四辺形を対角線を設けて三角形に分割、その実長を追うのが、実際的である（図2.3.7）。

さて、ここで柱面展開と錐面展開の本質を考察してみよう。

柱面の展開形状は、一本の骨となる線：柱面とその直交平面を展開平面上に引延した線、これを人体の背骨に例えれば、その背骨の線に関係付けられたいくつかの骨：ここでは柱面のロールライン、人体なら肋骨………の感じでイメージすることができる。

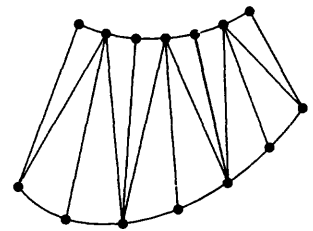


図2.3.7

こうイメージするときの、最初の（背骨）線を、展開基線といい、展開面上で直線にできる空間曲線を選ぶ。あとはこの基線に関係付けられた多くの実長を、展開形状を決められるように配置するのである。

錐面の展開には基線はない。展開要素をすべて三角形で捉え、その辺の実長を追ってゆくことで、展開形状を描き出す。

実は造船の現図展開は、可展・非可展を問わず、この二つの本質：

基線を求める。

三角形を追う。

に尽きるのである。

ここでの説明は、作画現図に限られているが、参考のためいくつかの話題につき、コンピュータによる数値現図と比較しておこう。

さきに曲面⇒曲線⇒点列で表現され、少ない点列の場合、点列⇒曲線の再現性：元に戻る性質は乏しいことを見た。数値現図では：

- ①この同じ取扱い方でも点の数を、多く取出したり、発生させたりする
- ②曲線を数式化して、曲面⇒曲線のレベルで処理する
- ③曲面を、面表現だけで扱える曲面に決め込む

ことができるので、作画現図より精度が高く、①より②が、②より③がレベルが高い。

柱面や錐面での展開でも、ロールラインの密度を増してゆき、無限に至る、つまり曲面のまま扱えるのが、数値現図を優位にしている。

ただし数値現図システムには、その内部のプログラムに、このようなレベル差があるから、採用選定に当たっては注意を要する。

作画現図の精度は、作業者の現図理解度と作業の綿密度に依存する。つまり人為性だけだから、システムとしてのレベル差はない。