

# 曲げの職人芸を科学する

## - ぎょう鉄技能の伝承 -

環境・エネルギー研究領域 環境調和型生産技術研究グループ

\* 田中 義照、安藤 孝弘、松尾 宏平、林 慎也、小林 佑規  
環境・エネルギー研究領域長 松岡 一祥

### 1. はじめに

近年、ものづくりにおける技能伝承が様々な分野で危惧されているのは周知のとおりであり、我が国造船業においても高度な基盤技術を支えてきた世代の高齢化が進んでいる。特に、「ぎょう鉄」と呼ばれる造船業特有の厚鋼板の曲げ加工は、職人の「経験と勘」や「ノウハウ」といった因子が数多く含まれ、技能の伝承に多大な時間を要すると考えられてきた。

そこで、ぎょう鉄技能の伝承問題に対するひとつの試みとして、当所は、社団法人日本中小型造船工業会(以後、中小造工という)とともに、「ぎょう鉄作業の技能伝承マニュアル作成」および「技能伝承のためのぎょう鉄作業の高度化」に取り組んできた。

本稿では、これらの研究成果を活用して、中小造工が国および日本財団の支援のもと、2004年より開始している人材育成事業<sup>1)</sup>の概要を紹介するとともに、当所で行っている新しいぎょう鉄システムの開発<sup>2~7)</sup>について解説する。

### 2. ぎょう鉄における熟練技能者不足の現状

1998年に(社)日本中型造船工業会(現中小造工)に設置された「次世代中型造船工場に関する調査研究委員会」では、まず、ぎょう鉄技能の現状を把握することを目的として、「ぎょう鉄技能者および曲げ加工に関するアンケート調査」が実施された。さらに、5年後の2003年にも同様のアンケート調査が行われ、1998年の結果と比較・分析された。

アンケートでは14の造船所を対象に、表2.1に示す8種類の曲面外板(板寸法を指定)を物差しとして、ぎょう鉄工の経験年数、年齢、技能、および、工数を調査した。結果の一部を図2.1および図2.2に示す。

図2.1は、表2.1の ~ のクラス( はビルジ外板のような可展面、 は捻れのある皿板、 は捻れのある鞍板、 は捻れ板)の外板を任せられるかどうかを、ぎょう鉄工ごとに経験年数および年齢と関係付けて示したものである。記号は表2.1中に示されているが、表中にない記号 は、 ~ のクラスはもちろん、どの様な形状の外板にも対応できることを示している。図2.1を見ると、経験的に「名人になるには20年かかる」と言われているが、これを確認できる。一方で、経験30年でも簡単な板しか任せられない者がいることがわかる。これがぎょう鉄を技芸と認識する所以である。

図2.2は ~ のクラスの外板を施工するのに要する時間を造船所ごとに折れ線で示したものである。概ね、右上がりの所要時間で、 ~ の順に難易度が高いものと考えられるが、内曲がり(皿型)が得意なグループと外曲がり(鞍型)が得意なグループがある。

表 2.1 外板の曲がり形状のクラス分け

クラス	横曲がり	縦曲がり	捻れ	記号
	小 0~100mm	なし	なし	
	小 0~100mm	内曲 0~150mm	小 0~10°	
	小 0~100mm	外曲 0~100mm	小 0~10°	
	中 100~200mm	内曲 150~300mm	中 11~20°	
	中 100~200mm	外曲 100~200mm	中 11~20°	
	大 200mm~	内曲 300mm~	大 21~30°	
	大 200mm~	外曲 200mm~	大 21~30°	
	なし	なし	特大 31°~	

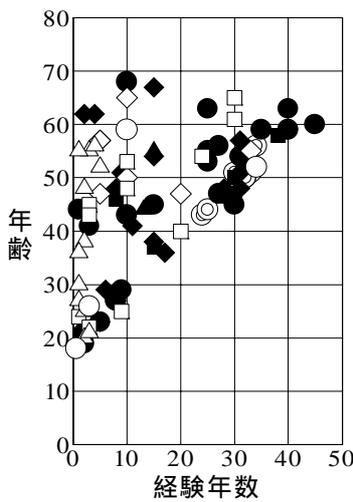


図 2.1 ぎょう鉄工の経験と技能

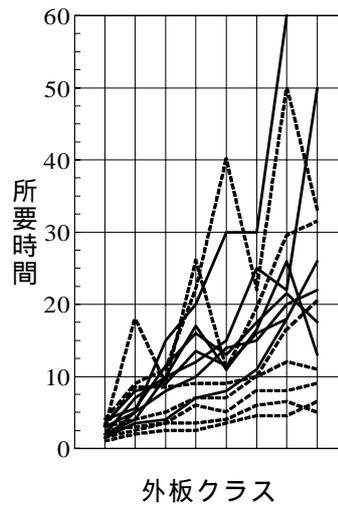


図 2.2 造船所ごとの工数比較

この違いは、工場施設の影響と考えられる。横曲がりの施工に線状加熱(板表面に移動熱源を置き、線状に加熱し冷却することにより、熱源の移動方向と直角方向に板を曲げる方法)を用いると、板の中央部が長手方向に収縮し、鞍型(縦方向外曲がり)になりやすい。すなわち、長尺ものの冷間曲げを行うことができる大型のプレス機あるいはローラベンダを持たない造船所では、外曲がりの施工時間が内曲がりに比べて短くなる。このような工場施設の差を考慮したとしても、造船所間の格差(最大約 12 倍)は無視できない大きさではある。

### 3. ぎょう鉄技能の体系化とマニュアル作成

#### 3.1 ぎょう鉄作業とは

ここで、造船業におけるぎょう鉄作業の位置付けについて述べる。船体曲面外板は、まず、船体線図上で切り分けられた(板割りという)外板 1 枚ごとに、現図展開ソフトで数値的に平面に展開され、NC マーキング・切断機により、鋼板から平板部品として生産される。その後、プレス、ローラベンダ等の冷間曲げ加工を行い、さらに、ガス火炎による熱曲げ、熱絞りを行って所定の形状に加工する。この外板の曲げ加工を「ぎょう鉄」という(図 3.1 参照)。

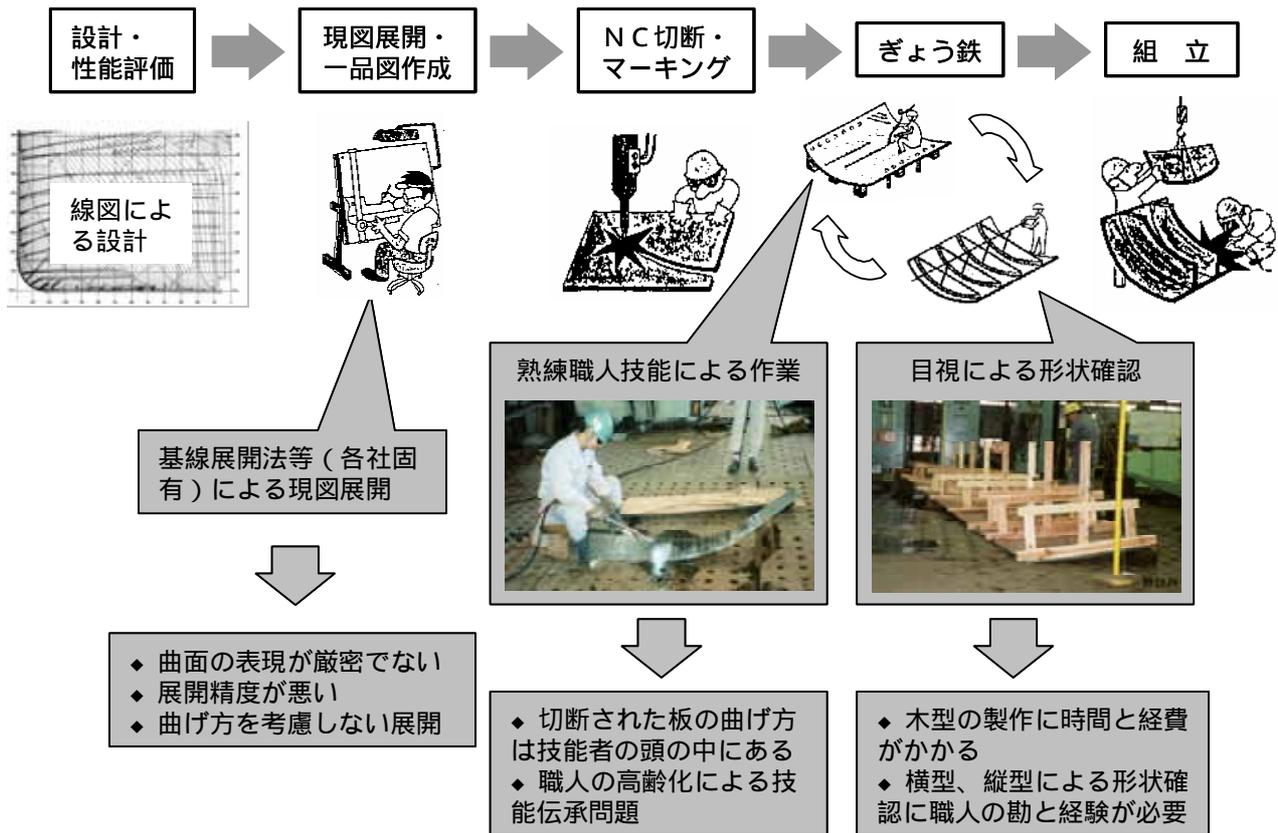


図 3.1 ぎょう鉄作業と設計とのつながり、および、各ステージにおける問題点

図 3.1 にぎょう鉄作業と設計とのつながりの概念図を示すが、ぎょう鉄作業者に与えられるものは、(1)いくつかのマーキング線(基準線)を持つ鋼板、(2)外板形状を示す曲げ型または曲げ型を製作するための数値表あるいは図、(3)プレス機、加熱器等の装置、器具等である。設計側からの指示は、「上記(3)を用いて、(1)を(2)に合致する滑らかな曲面板にせよ。」ということである。

作業者は、(1)と(2)を見て、(2)を重ね合わせたり、(1)の基準線上に(2)を置いたり、転がしたりして戦略を練り、ぎょう鉄作業と型による形状確認、時には鋼板を撫でてみたり、を繰り返して、漸近的に目的形状に近づけていく。この戦略に個人差があり、なぜその方法を採用するのかを、うまく言葉で説明できないところにぎょう鉄の技能伝承問題があった。

### 3.2 ぎょう鉄技能の分析と体系化

2. で述べたアンケート結果を参考に、全国 20 箇所以上の造船所を訪問し、ぎょう鉄作業を見学した。許可された場合には、作業の様子をビデオに収録した。

調査の途中で、マニュアルには視覚化が必要であるとの判断の基に、ビデオマニュアル初級編のシナリオを作成し、初級編の制作と並行して、調査と分析を継続した。また、ビデオマニュアル用の映像を収集するために、外板部位を指定して撮影チームの派遣を行った。

初期段階の分析は単純で、同じような形状の曲面外板に対する複数の作業方法の中から、最も工数が少なくなるものを見つけ出すという作業である。次に、工場施設を考慮して工数の重み付けと作業方法の並べ替えを行った。その結果、特殊事例を除けば、「工場施設が許す限り、大きい曲がりには冷間加工を用い、非可展面(曲げだけでは平面に展開できない曲面)の測地測度の調整に熱を用いること。また、熱による調整が最少になるように冷間曲げを行うこと。」が最適作業方針であることが分かった。特殊事例とは、線状加熱による鞍型変形を積極的に利用する場合(マルチタッチ利用など)、あるいは、測地測度の変化にピーニング等の冷間伸ばしを用いる場合などである。

上述の最適作業方針から、冷間曲げが非常に重要であることが分かる。この作業で後工程の加熱時間が決まると言っても過言ではない。冷間曲げにおけるプレス線の設定方法には3段階あり、最も単純な各フレーム位置で曲率が変わらない場合は、ロール線(図3.2参照、基準線としてマーキングされている場合が多い)に平行にプレス線を引いていくことである。次に、板の長手方向に曲率が変化する場合は、プレス線をロール線に平行に引くだけでは不十分で、図3.3に示すように、板の前後端の曲げ型を一定角度ずつ転がして、ロール線に平行でないプレス線を引いて行く必要がある。さらに、鋼板上の見透し線が直線でない場合(図3.4参照)、あるいは長手方向の捻れの変化が複雑な場合は、すべての曲げ型を一定角度ずつ転がして、プレス線を引いて行く必要がある。プレスによる施工(一次曲げ)では、プレス線に押し歯を合わせ、曲げ型に合うように横曲がりを付け、その後、熱曲げ(二次曲げ)の工程に移る。

熱曲げでは、横曲がりおよび捻れの調整と縦曲がりの施工を行う。まず、外板の姿勢を調整した後、すべての曲げ型を所定の位置に所定の角度で立てて、全体を見透し、縦曲がりと捻れの過不足を見る。横曲がりの調整では、曲げ型と外板の接触状態から位置を、捻れの過不足とプレス線の方角から加熱線の方角を決めて線状加熱を行う。縦曲がりを施すには、鞍型に変形させたい箇所では板の中央部付近を熱絞りし、皿型にする場合にはシーム付近を絞る。

以下、外板の姿勢の調整、見透し、熱曲げの工程を繰り返して目的形状に漸近させていく。

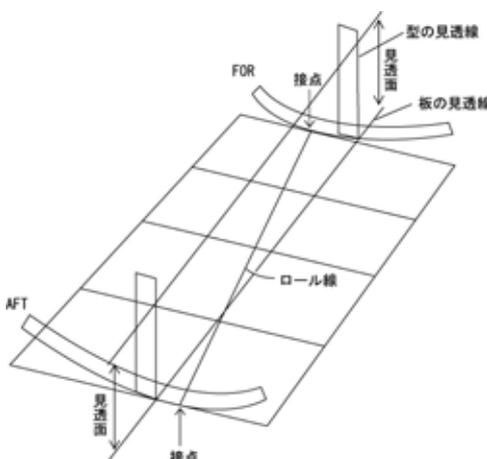


図 3.2 ロール線

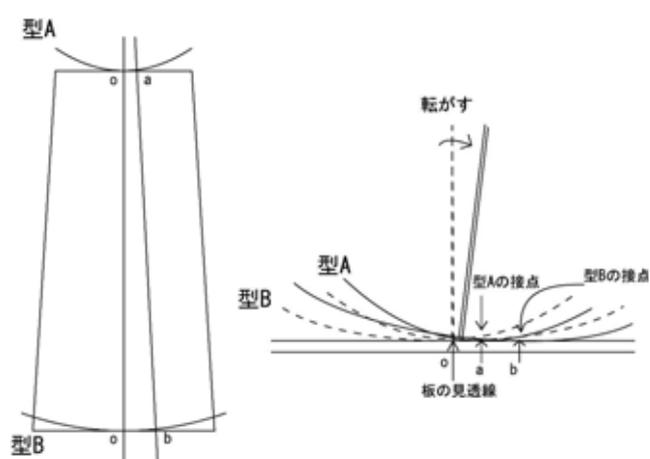


図 3.3 ロール線に平行でないプレス線

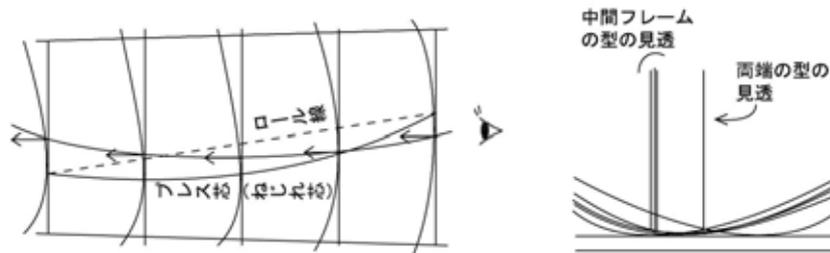


図 3.4 見透しのずれと捻れ芯、プレス芯

### 3.3 ぎょう鉄作業ビデオマニュアルの作成

3.2 節で述べたような最適作業方針に基づき、ぎょう鉄作業マニュアルの作成に取りかかった。マニュアルを作るということは、熟練技能者の頭の中の働きを理解することであり、より上位の工程からの体系化が要求される。

ぎょう鉄ビデオマニュアルは、基礎編と応用編の2巻が制作された。2001年3月に完成した基礎編は、3.2に述べたように、作業分析と平行して制作されたもので、初級研修項目の映像化である。目次を表3.1に示す。

2002年3月に完成した応用編は、3.2の検討結果に基づき、表3.2に示すような内容となった。

表 3.1 ビデオマニュアル基礎編目次

1. ぎょう鉄の原理	5. ガスの取扱い
2. 曲がりの形状の分類	6. 温度管理
3. ぎょう鉄作業に使われる道具 冷間加工機器 補助機器 計測治具	7. 角変形に及ぼす影響因子
4. 焼き方・冷却	8. マーキング線
	9. プレスによる粗曲げ
	10. 曲げ型合わせ
	11. エンディング

表 3.2 ビデオマニュアル応用編目次

1. いろいろな基準線 正面線図 見透し線 ロール線とプレス線 捻れ芯	5. 皿板の加工 皿板の特徴 耳絞りの位置の求め方 仕上げ作業
2. 曲がりの形状と特徴 横曲がり 縦曲がり 捻れ	6. 捻れ板の加工 プレス作業 線状加熱作業
3. ビルジ外板の加工	7. 仕上げと精度管理 シーム長さの調整 精度管理
4. ステム・鞍形板の加工 プレス線の引き方 腹絞り	8. エンディング

### 3.4 ぎょう鉄作業ビデオマニュアルの効果

図 3.5 にアンケート調査の結果、明らかとなった調査対象造船所における 5 年間の工数の変化をまとめて示す。造船所ごとに、表 2.1 の ~ のクラスの外板ごとの施工時間を、1998 年(横軸)と 2003 年(縦軸)で比較したもので、対角線の下側が、工数の改善が見られたことを示している。図中の ○印はビデオマニュアルのユーザ(6 社)、●印は非ユーザ(6 社)である。○印は 1 つのユーザ会社の結果ではあるが、以下に示す特殊事情がある。

○印で示した造船所では、1998 年当時、ひとりの名人が、ぎょう鉄作業の指示をすべて行っていた。名人以外のぎょう鉄工は、名人の手足だったのである。その後、この名人が定年を迎えたことで、この造船所ではぎょう鉄工を増員し、現在、体制の立て直しを図っているところである。

図 3.5 から特殊な状況を除けば、ビデオマニュアルにより工数削減効果が十分にあったことが伺える。

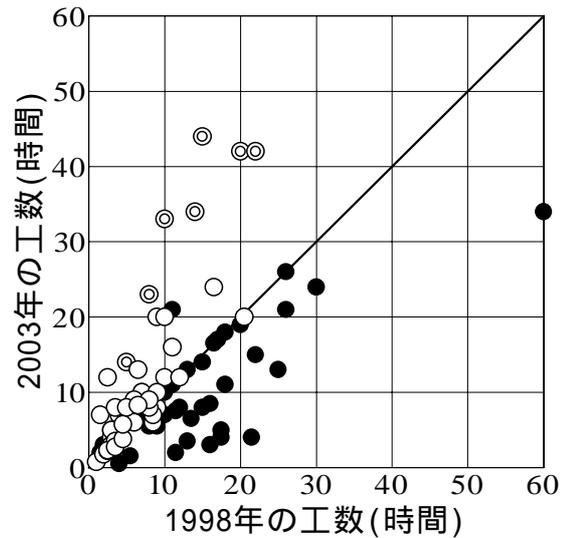


図 3.5 5 年間の工数の変化

## 4 . 人材育成事業への取り組み

平成 15 年度、シップ・アンド・オーシャン財団は、日本財団助成事業として、「今後の造船技能者人材育成のあり方 - 造船技能開発センター構想について - 」<sup>1)</sup> をとりまとめた。この構想に基づき、新しい造船技能継承・研修事業が平成 16 年度より動き始めた。ここでは、本事業の概要を紹介するとともに、当所が担っている役割について述べる。

### 4.1 事業の仕組み

造船業における人材育成事業を運営していくための仕組みを簡略に図示すると図 4.1 のようになる。

#### (1) 技能開発センター現業部門

地域の中核造船所の養成所をオープン化することにより、短期集合研修による新人養成を主な目的とした基礎研修や、専門技能研修を実施する。

#### (2) 技能開発センター管理部門

新人等教育、専門技能継承のための教材開発や教材・機材等の貸出、指導員派遣や教材提供等の各社 OJT(on job training)の支援、OB 名人と言われる指導者の紹介等の

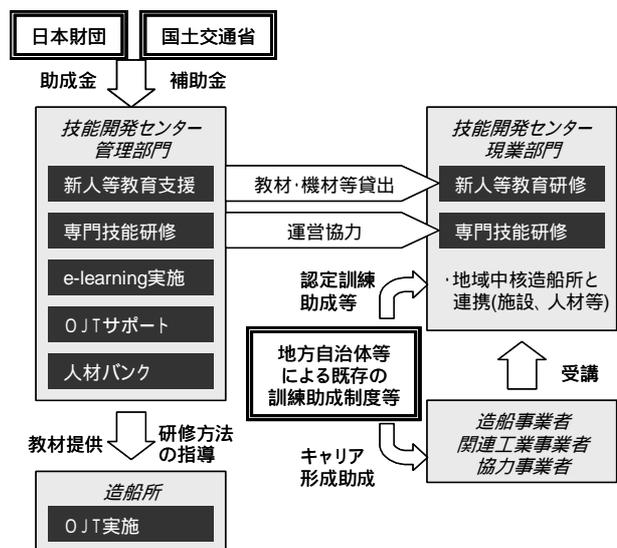


図 4.1 人材育成事業の仕組み

ための人材バンクの開発・運用などを行う。

## 4.2 研修システムの内容

### (1) 新人等教育(基礎研修)

今後 10 年間に約 3 万人と推定される団塊世代の退職に伴う、大量新人の早期戦力化を目的として、地域の中核造船所の養成所等を活用した集中(集合)研修を実施する。造船業に必須の「溶接・ガス切断」を基礎研修科目としている。

### (2) 専門技能継承(専門技能研修)

基礎・共通レベルで集合研修の効果が上がると考えられる職種について研修システムを構築する。すなわち、「ぎょう鉄」、「配管ぎ装」、「機関仕上げ」、「溶接」など企業の枠を超えた共通のプログラムを組みやすい技能について集合研修を実施する。

### (3) OJT サポート

各社で異なる中上級へのスキルアップや、集合研修に向かない職種については、その分野における優秀な OB の指導者としての派遣や教材の提供など、現場での OJT へのサポートを行う。

## 4.3 ぎょう鉄技能研修カリキュラムの開発と初級研修の実施

ぎょう鉄ビデオマニュアルの実績を評価された当所は、上述の人材育成事業において、「ぎょう鉄専門講座」のカリキュラム、ビデオ教材を含む座学用テキスト、および、実技用テキストの原案開発を上述の技能開発センターから受託した。研修のレベルは、造船所におけるその他職種からのぎょう鉄職への配置転換者を想定して、初級程度の内容とし、2004 年 10 月 18 日～29 日に因島市の三和ドック(株)殿において、試行研修を実施した。

試行研修では、研修生 10 名に対し座学講師 2 名、実技指導員 3 名で、午前に座学、午後に実技研修を集中的に実施し、ビデオ教材(「ぎょう鉄の原理と道具」、「プレス機の原理と取り扱い方」、「ガスとガス器具の取り扱い方」、「鋼板の曲げと修正」)の効果、実技課題(緩曲円筒および緩曲錐形の一部を目標形状としたぎょう鉄作業)の妥当性・時間配分等を検討することとした。研修の様子を図 4.2 および図 4.3 に示す。試行研修の結果、



図 4.2 プレス作業の指導



図 4.3 ガス加熱作業の指導

1期当たりの研修生は12名(4名×3組)、座学・実技の比率は1:2、プレス・ガス加熱作業の比率は1:2、および、研修期間は5日間とすることが、初級研修として最適であることが判明した。本検討結果をもとに、2005年11月7日～11日に三和ドック(株)殿において、第1回ぎょう鉄初級研修が実施され、研修修了者にはぎょう鉄技能3級(中小造工認定)が授与された。

さらに当所は、平成17年度にぎょう鉄中上級研修(深い皿板および鞍板の加工法、捻れ板の加工法)用のカリキュラムおよび教材の開発を技能開発センターから受託し、現在開発中である。

## 5. 新しいぎょう鉄システムの開発

3.2で述べた調査分析の過程で、工場施設の差では説明できない現象がいくつか現れた。例えば、「工場施設があまり違わない造船所で、ぎょう鉄作業の方法が全く異なる場合がある」、「ある造船所で名人と言われたぎょう鉄工が他の造船所に移ると、それほどでもないことが多い」などである。これらの理由は、造船所ごとの外板の板割りと展開法の違いによると考えられる。

そこで、表3.2に示したビデオマニュアル応用編をさらに発展させ、さらには「ぎょう鉄データベース」としてぎょう鉄作業そのものをデジタル化するためには、外板の板割りや曲面の展開方法にも踏み込む必要があると考えた。そこで、ぎょう鉄作業の逆工程として合理的な曲面展開を行う「曲率線展開法」が考案され、さらに、鋼板の熱曲げ加工の基準となる「熱曲げデータベース」の構築、曲げ型によらず非接触で曲面形状を計測する「三次元形状計測装置」の試作、および、「ぎょう鉄簡易自動機」の試作に関する研究を開始した。以下、これらの成果について述べる。

### 5.1 曲率線展開法の開発

平板を曲面外板に加工するぎょう鉄作業と、船体曲面を平面に展開する現図展開とは、原則的には逆作業であり、曲面をどの様に平面に展開したかが分かっているならば、ぎょう鉄作業の方法は一義的に定まることになる。現図工が手書きで展開していた時代には、現図工がぎょう鉄工に作業指示することもできたのである。しかし、展開プログラムが組み込まれ、プログラム作成者がいなくなり、プログラムのメンテナンスも困難になっている現状では、展開側からの作業指示は期待できない。

曲面の平面への展開方法は唯一ではなく、非可展面についてはむしろ無限の方法があるとするのが正しい。ところが、3.2に示したように最適なぎょう鉄作業方法は存在する。そして、この逆作業としての曲面の展開方法は唯一である。そこで、著者らは、曲面外板上の曲率線情報を利用した新しい外板展開法<sup>8)</sup>(曲率線展開法という)を開発し、現在、造船システムに組み込めるようにパッケージ化(線図データの入出力、ユーザーインターフェース、展開計算、各種出図処理等)を進めている。

ここでいう曲率線とは、曲面上の任意の点における絶対値が最大(または最小)の曲率の方向(主方向という)に、曲面上で連続して追跡した線であり、これら2本の曲率線は、曲面上で互いに直交する性質を持つ。また、曲率線には測地的捻れがないことから、測地的展開(曲線をそれが乗っている曲面に対し、測地的曲率を保ったまま実長展開するこ

と。曲線の法曲率成分を除去すること。)すると、平面上に展開することができる。

そこで、曲面外板の曲率線展開法では、絶対値が最大の曲率線(第1曲率線)群を測地的展開し、それらの展開曲線を絶対値が最小の曲率線(第2曲率線)で接続することで、曲面全体の展開を曲率線を用いて表現する。

このように、微分幾何学的に曲面外板を展開することにより、その逆作業であるぎょう鉄作業に対して、詳細な作業指示が作成可能となる。そのため、ぎょう鉄初心者や後述するぎょう鉄簡易自動機でも、高度なぎょう鉄作業にある程度対応できるようになる。

## 5.2 熱曲げデータベースの構築

5.1 で述べた曲率線展開の逆作業としてのぎょう鉄作業指示を作成するためには、鋼板への規則的な入熱から得られる変形量をデータベース化しておく必要がある。そこで、以下に示す鋼板の加熱実験を行った。試験体として、公称板厚 10, 16, 19 および 22 mm の SS400 鋼板(914 × 1,829 mm)、燃焼ガスとしてアセチレンおよびプロパンを用い、火口およびガストーチ移動速度を変えて、種々の条件で鋼板を加熱した。加熱実験におけるガス火炎の状態は、鋼板表面に垂直に白芯先端が位置するものとし、加熱前後の鋼板の変形として、鋼板に罫書いた格子点の(x, y, z)座標を公称 1/100 mm 精度の非接触変位計測装置で計測した。

鋼板の加熱実験の結果として、角変形 と入熱パラメータ  $Q/T^2$  の関係を図 5.1 に、横収縮量  $D_t$  と入熱パラメータ  $Q/T$  の関係を図 5.2 に示す( $Q$  = 入熱量、 $T$  = 板厚)。なお、両図ともアセチレンガスおよびプロパンガス使用時の計測結果を併せて示した。

図 5.2 から鋼板の横収縮量と入熱パラメータ  $Q/T$  は、ほぼ比例関係にあることが分かる。すなわち、造船所ごとに使用される燃料ガスの種類、ガストーチ火口の番手、火炎の状態(白芯の長さ)を基にガス流量計測を行っておけば、板厚と加熱速度によりその造船所固有の入熱パラメータ  $Q/T$  を決定できる。したがって、熱絞りに必要な横収縮量を加熱速度と熱絞り加熱線の本数により制御することができ、外板の曲げ方案(ぎょう鉄作業指示書)を作成することができる。

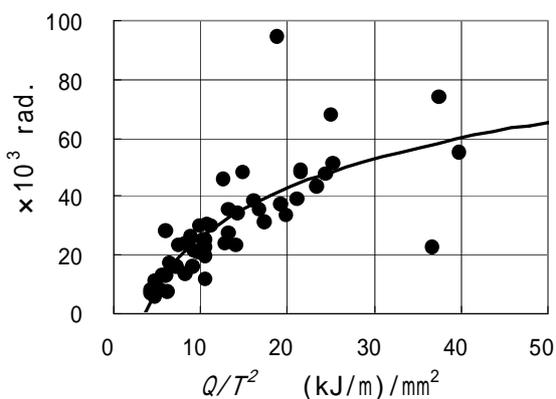


図 5.1 角変形と  $Q/T^2$  の関係

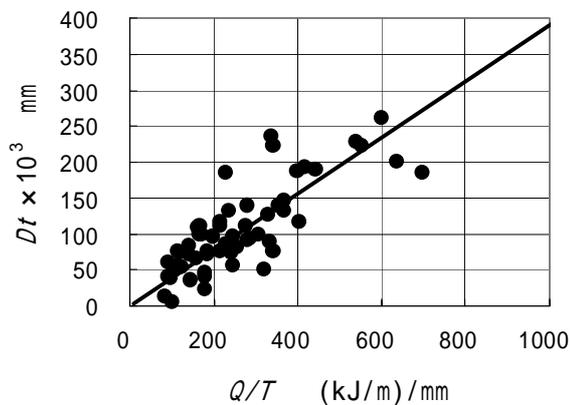


図 5.2 横収縮量と  $Q/T$  の関係

### 5.3 三次元形状計測装置の試作

造船現場では、ぎょう鉄作業における曲がり外板の形状確認は、木型(見透し型、縦型、箱型など)またはユニバーサル治具を用いた、現物合わせにより行われている。このため設備投資が少なくて済むという利点はあるものの、計測に時間がかかり作業工数の管理が難しいのが現状である。また、実物の形状データが記録に残らないという問題点もある。そこで、当所に設置されている小池酸素工業(株)製のガントリー型変位計測装置に2台のデジタルカメラとレーザーラインを併用した三次元スキャナと二次元ラインセンサとを組み合わせた三次元形状計測装置(図5.3参照)を試作し、曲がり形状計測の自動化、および、形状データのデジタル管理を目指したシステム開発を実施している。

図5.4左に示すように、チタンホワイトを用いて鋼板にマーキングを施し、試験装置による認識試験を行った結果を同図右に示す。マーキング線がくぼんだ線として認識されていることが確認できる。この結果を二値化することにより、より鮮明に線を区別しマーキング線のオフセット値を抽出する。

本装置を用いて形状確認を行う場合、熱曲げ後のマーキング線(曲率線)のオフセット値を本装置により計測し、目的形状の曲率線のオフセット値と比較し、両者が一致するまで修正を施すことになる(ガス加熱により消失しないマーキングパウダを別途開発し、特許出願中である)。



図 5.3 三次元形状計測装置の外観

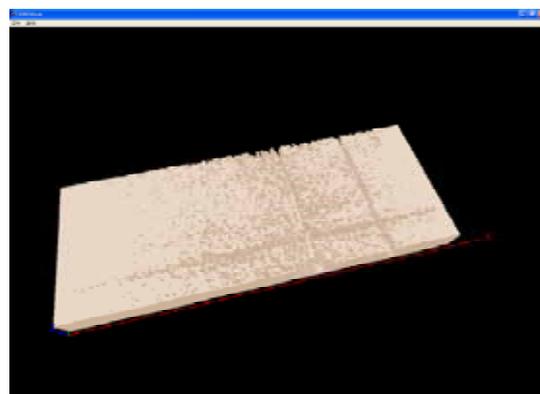
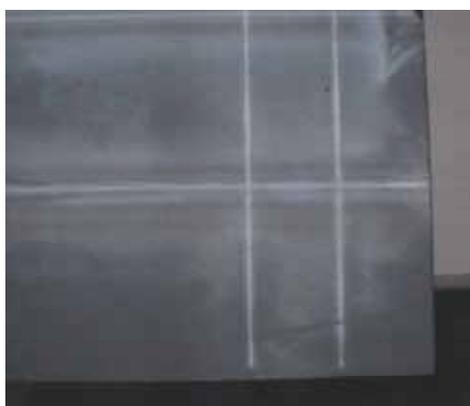


図 5.4 鋼板上に描いたマーキング線(左)と計測結果(右)

## 5.4 ぎょう鉄簡易自動機の試作

これまでに蓄積された熱曲げデータベースに基づき、冷間加工により粗曲げ(一次曲げ)された鋼板を、ガス加熱により二次曲げする作業を半自動化することを試みることにした。そこで、撓鉄簡易自動機のプロトタイプとして、加熱用自動台車装置を製作し、板曲げ作業の半自動化における機能上の要件を見出すことにした。なお、全く新規に機器を設計・製作することは、相当のリスクを負うことになる。そのため、現在、溶接変形のひずみ除去に多くの造船所で使用されているポータブル形の線状加熱装置を改良し、撓鉄作業に適用することとした。

本装置は、フラットバーレールの側面をガイドローラーで倣い、走行台車を試験片にマグネットで吸着しながら走行し、線状加熱を連続的に行う加熱台車である。市販の線状加熱用ポータブル自動加熱装置を改良し、船体外板のような曲面板の加熱にも使用できるようにしたものである。

試作した加熱用自動台車装置の外観を図 5.5 に示す。同図の左側は中継ボックスである。下部筐体が電気信号関係であり、その上にデジタル流量計 2 式(酸素および LPG)が搭載されている。同図の右側は加熱台車である。加熱台車の左側に火口があり、右側がガス供給・遮断の電磁弁を搭載した走行台車である。酸素、LPG、冷却水のホース 3 本が、左側の中継ボックスから走行台車に接続される。図 5.6 に後述する板曲げ実証実験における加熱中の様子を示す。加熱台車がレールに沿って手前から奥に向かって一定速度で走行し、加熱直後を水ホースからの撒水により冷却している。加熱後の加熱線は、ガス火炎により消失していることがわかる。



図 5.5 試作した自動加熱台車の外観写真 図 5.6 板曲げ実験における加熱中の台車

## 5.5 板曲げ実証実験

5.1 で述べた曲率線展開法による外板展開と最適ぎょう鉄作業の検証を目的として、以下の実証実験を実施した。

### 5.5.1 実験室での実験

実験対象とした曲面外板は、図 5.7 に示す緩曲捻れ板で、曲率線(実線：第 1 曲率線、破線：第 2 曲率線)を併せて示す。対象外板の曲率線を測地的展開し、それらを同一平面

上に最適配置して得られた展開図を図 5.8 に示す。曲率線展開法に対する最適曲げ方案は、以下のようになる。

(1) 第 1 曲率線方向の曲げ施工

曲がりの強い曲率線(第 1 曲率線)方向の曲がり形成を冷間曲げで粗曲げする。具体的には、図 5.8 に示した第 1 曲率線方向の曲がりをプレス機で形成する。つまり、プレスの歯を第 2 曲率線に合わせていき、第 1 曲率線の法曲率成分の曲がりを形成する。

(2) 第 1 曲率線方向の熱絞り施工

次に、非可展面の形成のための板の面内収縮を第 1 曲率線に沿ってガス加熱で行う。熱収縮量の管理は、幾何学的な観点からすべて定量化・方案化される。本実験では、ぎょう鉄自動簡易装置(加熱用自動台車装置)を用いて線状加熱を行った。

(3) 修正加工

(1)、(2)による施工により、熱曲げデータベース等に誤差要因がなければ、曲面形成が終了するはずであるが、本実験では、一度の熱絞りで目的形状に一致せず、修正加工が必要となった。

(4) 実証実験の検証

以上の工程を経て、目的形状の曲面外板が完成した。図 5.9 および図 5.10 は、外板の縦曲がりと捻れの形状を示すものである。曲面形成後は、図 5.9 のように木型の縦板が同一方向に揃い、また、図 5.10 のように各フレームの見透し点が直線状に並ぶ。以上より、各フレームにおける横曲がり、縦曲げおよび捻れが十分な精度内で施工可能であることが確認され、曲率線展開法による曲面展開、および、その逆作業である曲げ方案により、ぎょう鉄作業が実施可能であることが実証された。

5.5.2 実外板での実験

既存の展開法を用いた場合でも、上述した曲率線 = プレス線を板にマーキングしておくことは作業指示を容易にする。図 5.11 は、船首側喫水付近の緩曲鞍型板をある造船所

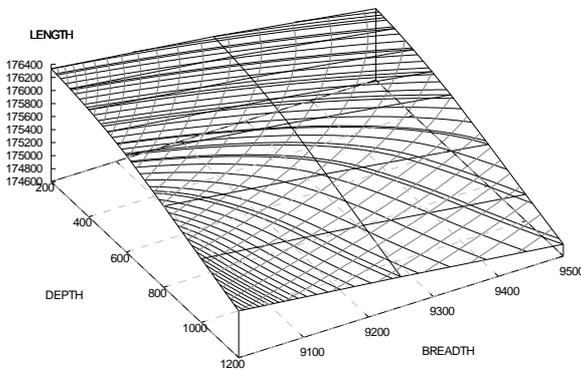


図 5.7 対象曲面と曲率線

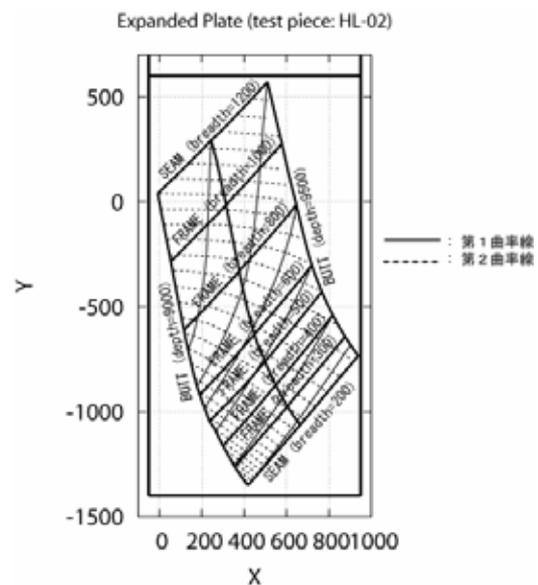


図 5.8 投影面上での曲率線



図 5.9 木型縦板の向きの様子



図 5.10 見透し点の並びの様子

の造船システムにより展開された外板部品に、曲率線と熱絞り施工線をマーキングした例である。同図の横方向に伸びる第2曲率線をプレス線として、横曲がりを型に合わせて、横曲がりと捻れの施工がほぼ完了する。その後、同図の上下方向の実線(第1曲率線)に平行に引かれた破線を、一定速度で焼くだけで図 5.12 のようにぎょう鉄作業は終了する。この曲面外板は、造船所のぎょう鉄工により施工されたものであるが、図 5.11 に示されるように、緩曲外板の熱絞り施工線を複雑な曲線にしない限り、5.4 で述べたぎょう鉄簡易自動機を用いることも可能である。

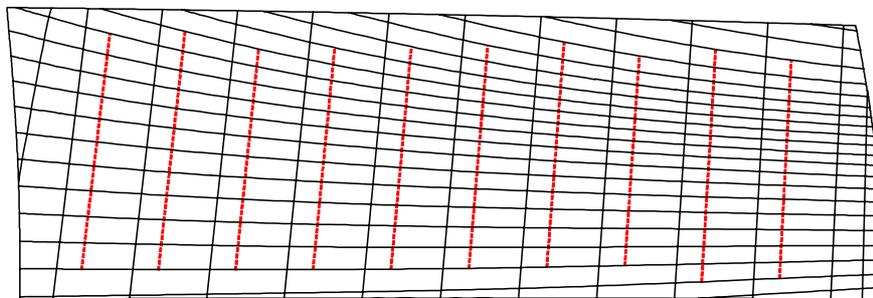


図 5.11 鞍型板の曲率線(実線)と熱絞り施工線(破線)の例



図 5.12 加工後の板の見透し

## 6 . おわりに

外板曲面の曲率線を求めることは、現実的には相当困難である。それは、船型を決定する正面、平面、側面の3つの線図に少なからず矛盾を含んでいるためであり、板割り(シームランディング、トリミング)された外板の形状定義も問題になるためである。これらの問題を解決するためには、3D-CAD システムを導入するなど、船体設計システムそのものを変える必要があり、今後に残された課題である。

以上、当所がどのようにしてぎょう鉄の技能伝承問題に取り組み、対応したか等について述べてきた。当所のぎょう鉄関連の研究実施に当たっては、国土交通省海事局からの受託研究、独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構「運輸分野における基礎的研究推進制度」、並びに、日本財団助成事業により実施した研究の一部が含まれていることをお断りし、ご援助に感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1)財団法人シップ・アンド・オーシャン財団：今後の造船技能者人材育成のあり方 - 造船技能開発センター構想について -、2004 .
- 2)林慎也他：ぎょう鉄技術・施工の現状、日本造船学会講演会論文集、第3号、pp.107-108、2004 .
- 3)富澤茂他：ぎょう鉄技能の継承、日本造船学会講演会論文集、第3号、pp.101-102、2004 .
- 4)松岡一祥他：ぎょう鉄作業と曲面の展開、日本造船学会講演会論文集、第3号、pp.103-104、2004 .
- 5)田中義照他：ぎょう鉄データベース、日本造船学会講演会論文集、第3号、pp.105-106、2004 .
- 6)砂川祐一他：ぎょう鉄作業機械化システムの開発、日本造船学会講演会論文集、第3号、pp.99-100、2004 .
- 7)松尾宏平他：曲率線展開法によるぎょう鉄施工の理論的解釈とその実証実験、平成17年度(第5回)海上技術安全研究所研究発表会講演集、pp.235-238、2005 .
- 8)Shell plating developing method, shell plating manufacturing method, computer program for teaching the methods, and image recording medium for teaching the methods, PCT 出願(国際公開番号 WO 03/079238 A1) .