

船舶産業の熟練した技能を有する作業者の減少に
対応した新しい生産システムの実現に必要な
基盤技術の開発のための研究
— 建造効率向上に資する技能伝承教材とシステムの開発 —

村上 睦尚*、岩田 知明*、松尾 宏平*、穴井 陽祐*、
林原 仁志*、藤本 修平*、松岡 一祥**

Development of Fundamental Technology for Overcoming Decrease of
Skilled Workers on Maritime Industry
— Visual Educational Skill Manuals and Working Assistant Systems for
Improvement of Productivity on Shipbuilding —

by

Chikahisa MURAKAMI, Toshiaki IWATA, Kohei MATSUO, Yosuke ANAI
Hitoshi HAYASHIBARA, Syuhei FUJIMOTO, Kazuyoshi MATSUOKA

Abstract

This paper is discussed about visual manuals and working assistant systems for special skills on shipbuilding. The manuals have been developed for becoming a skilled worker on piping equipment, distortion correction, machinery equipments, electrical outfitting or production management outfitting. The systems have been developed for improvement of the working efficiency on plate forming. The results have been obtained that: (1) The manuals have been used in shipyards and special work suppliers, and the effect has been confirmed. (2) The systems have been installed at several shipyards, and it reduced 37% of man-hours for the curved shells.

* 構造系、** 研究担当理事
原稿受付 平成 23 年 10 月 31 日
審査日 平成 23 年 12 月 6 日

目 次

1. まえがき	29
2. 配管艤装	29
2.1 はじめに	29
2.2 配管艤装の流れ	29
2.2.1 設計	29
2.2.2 管製作(加工)	30
2.2.3 サポートや管一品の取り付け	31
2.2.4 検査	31
2.3 配管艤装の現状	31
2.3.1 設計の現状	31
2.3.2 製作・取り付けの現状	31
2.3.3 課題の抽出	31
2.4 配管艤装の技能研修用映像教材の作成	31
2.4.1 映像教材の開発	31
2.4.2 教材内容の紹介	32
2.4.2.1 平成17年度映像教材	32
2.4.2.2 平成18年度映像教材	33
2.4.2.3 平成19年度映像教材	35
2.4.3 試行研修の実施	38
2.5 まとめ	38
参考文献	38
3. 歪取り	38
3.1 はじめに	38
3.2 歪取り作業	39
3.2.1 ブロック搭載前の歪取り	39
3.2.2 ブロック継手部の歪取り	39
3.2.3 居住区の歪取り	39
3.3 歪取りにおける現状及び課題	40
3.3.1 歪取りの目的及び許容範囲	40
3.3.2 設計・見積もり段階での歪に対する配慮	40
3.3.3 歪取り技能及び教育	40
3.3.4 歪取りの課題	40
3.4 歪取り技能研修用映像教材の開発	40
3.4.1 1章「歪取りの基礎」	41
3.4.2 2章「歪取りの実際」	41
3.5 まとめ	42
参考文献	42
4. 機関据付	42
4.1 はじめに	42
4.2 機関据付の流れ	42
4.2.1 仮見透し	42
4.2.2 本見透し	43
4.2.3 ボーリング	43
4.2.4 ブッシュの圧入	43
4.2.5 プロペラ圧入と中間軸搭載	43
4.2.6 舵軸と舵板の据付と固定	44
4.2.7 アライメント／デフレクション／主機の固定	44

4.2.8 エンジン試運転／軸の連結	44
4.3 機関据付における現状	45
4.3.1 造船所概況	45
4.3.2 機関据付作業者労務構成	45
4.3.3 近年の傾向	45
4.3.4 造船所により異なる点	46
4.4 機関仕上げ技能研修用映像教材の開発	46
4.4.1 船の特性	46
4.4.2 各工程の解説	46
4.4.3 勘所編	47
4.5 まとめ	47
参考文献	48
5. 電気艤装	48
5.1 はじめに	48
5.2 電気艤装の流れ	48
5.2.1 図面及び電線の種類	48
5.2.2 電線長計測・切断	49
5.2.3 電路及び貫通金物の取付	49
5.2.4 機器の取付及び接地	50
5.2.5 配線	50
5.2.6 結線	51
5.2.7 検査・試験	51
5.3 電気艤装における現状	51
5.3.1 電装設計	51
5.3.2 電装工作	52
5.3.3 電気艤装の課題	53
5.4 電気艤装技能研修用映像教材の開発	53
5.4.1 バンド掛け	54
5.4.2 貫通部処理作業	55
5.4.3 結線	55
5.4.4 配線計画及び配線作業	55
5.4.5 電気系統	56
5.5 まとめ	57
参考文献	57
6. 艤装工程管理	57
6.1 はじめに	57
6.2 工程管理の流れ	57
6.2.1 工程計画	57
6.2.2 工程管理	58
6.3 艤装工程管理の現状	58
6.3.1 体制及び人員	58
6.3.2 工程計画及び工数の管理	59
6.3.3 工程管理の日常業務	59
6.3.4 艤装工程管理の課題	59
6.4 艤装工程管理技術研修用映像教材の開発	59
6.5 まとめ	61
参考文献	61
7. ぎょう鉄の効率化	61
7.1 はじめに	61
7.2 船体外板と曲げ加工	62

7.3 曲率線展開法	62
7.4 曲率線展開システム	63
7.5 プレス施工の作業分析	64
7.5.1 曲面の幾何学	64
7.5.2 プレス加工難度の分析	64
7.5.3 画像解析によるプレス作業分析	65
7.6 プレス施工支援システム	66
7.6.1 リアルプレス線の導出	66
7.6.2 プレス施工支援システムの開発	66
7.7 まとめ	66
参考文献	67
8. あとがき	67

1. まえがき

現在、わが国の製造業においては、年齢構成等により技術伝承が危ぶまれており、造船業においてはその現象が特に顕著である。その理由としては、従来の造船工作現場における技能伝承は熟練工が技能を初心者に体で覚えさせるという方法で行われている。これには、いわゆる徒弟制度が現代の若者には受け入れ難いことや、指導者以上の技能の熟練を期待し難い、熟練するのに時間がかかるなどの問題がある。そのため、「ぎょう鉄」や「配管艤装」などの造船建造に係わる特殊技能といわれている技能習得には10年以上を要することから、少数の高齢な熟練技能者によって技能が維持されており、技能が途絶える可能性が非常に大きく、技能伝承が急務とされている。

このような状況の中で、平成10年度より(独)海上技術安全研究所(当時から平成12年12月まで、運輸省船舶技術研究所)では、造船業における技能伝承問題に対する試みとして専門技能研修用教材の作成に取り組んでいる。具体的には、これらの問題を解消するためには、①技能習得期間の短縮、②コミュニケーション及び知識のギャップの解消、③文章や写真では伝わらない「動き」の熟練技能を記録に残す、の課題を解決する必要があった。そこで、著者ら研究グループは、映像(DVD)教材の開発を試みた。更に、既に教材作成を完成していたぎょう鉄に関しては、曲面形状の幾何を解析的に取り扱うことに基づく新しい船体曲面外板展開システムの開発を行った。

本報告では、著者らが平成18年度から平成22年度の第2期中期計画で作成した「配管艤装」、「歪取り」、「機関据付」、「電気艤装」の映像教材、更に、個別技能の伝承だけでは解消されない艤装工程の整流化を図る試みとして作成した「艤装工程管理」

の教材、「ぎょう鉄」については「曲率線展開システム」及び「プレス施工支援システム」について報告する。

2. 配管艤装

2.1 はじめに

配管艤装は、管を船体に取り付ける作業である。管によって機器と機器を繋げることで、「船殻」を航海可能な「船舶」とするという重要な役割の一端を担っている。これら管には、運航、機器の運転、乗組員の生活などの様々な用途があり、そのため管内を流れる流体も、燃料油、潤滑油、海水、清水、空気、蒸気など多岐にわたる。更に、管は船舶構造のあらゆる区画に配置されるため、他の作業や区画との調整も重要である。特に、船舶の主目的である荷や旅客の運搬をできない機関室は、非常に小さな空間に限られるために、機関室における配管艤装は困難を極める。

この配管艤装について、海技研では平成16年度から調査を開始し、平成17年度から19年度までに三つの教材を作成した。本章では、造船所における配管艤装と海技研で作成した配管艤装技能研修用映像教材について紹介する。

2.2 配管艤装の流れ

配管艤装は「設計」→「管製作(加工)」→「取り付け」→「検査」の順で進められていく(図-2.1参照)。以下にこれらの項目について簡単に説明する。

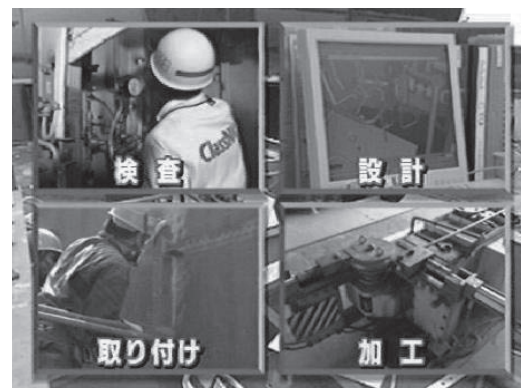


図-2.1 配管艤装の流れ

2.2.1 設計

一般的に造船所における配管設計は、船体部を担当する「船装設計」と機関部を担当する「機装設計」に分かれて図面を作成している。配管艤装に使用される主な図面としては、「諸管系統図」、「諸管装置図(諸管総合図)」、「管一品図」、「サポート一品図」がある。

2.2.2 管製作(加工)

管製作のための加工作業の大まかな流れは、「マーキング」→「切断」→「曲げ」→「組立」→「表面処理」である。次に、各加工について簡単に説明する。

(1) マーキング

マーキングとは、管一品図を基に、管の加工に必要な情報を図-2.2のようにマーカーなどで真直ぐな管に記す作業である。マーキングにより、曲げ位置、角度、切断位置、用いる継手の種類、加工順序がわかるようになる。

(2) 切断

マーキングで指示されている箇所を切断する。切断の方法には、機械的切断として丸鋸（図-2.3 参照）、帯鋸などがあり、溶断としてガス、プラズマなどがある。

(3) 曲げ

曲げ加工は、管の径、曲げの半径、用途に応じて様々な方法で行われている。最も一般的な方法は図-2.4 に示されるパイプベンダによる冷間曲げである。その他に、エルボの使用、えび曲げ、張り曲げ、高周波熱間曲げなどの方法がある。

(4) 組立

船内配管の管継手としては、フランジ同士をボルト止めすることで管を連結するフランジ管継手と、スリーブと管を溶接で連結するスリーブ管継手が主である。また、曲げ半径の小さい曲がり部にはエルボが用いられ、これらの金物と管を溶接により組み立てる（図-2.5 参照）。この溶接作業は仮付けと本溶接の二段階に分けて行い、作業の効率化とミスの軽減を図っている。

(5) 表面処理

組み立てが終わった管は、設置される場所や用途に応じて表面処理が行われる。表面処理には酸洗い、亜鉛メッキ、ポリライニング、塗装などがある（図-2.6 参照）。



図-2.3 丸鋸による管の切断

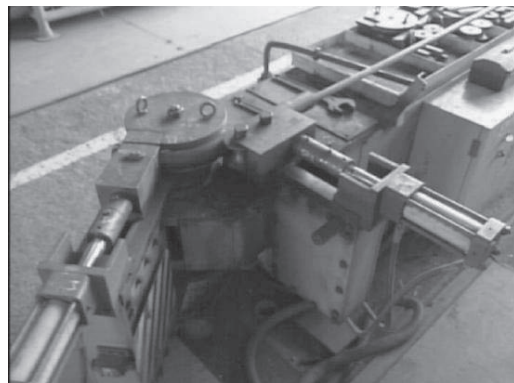


図-2.4 パイプベンダ



図-2.5 溶接による組立



図-2.2 マーキングされた管

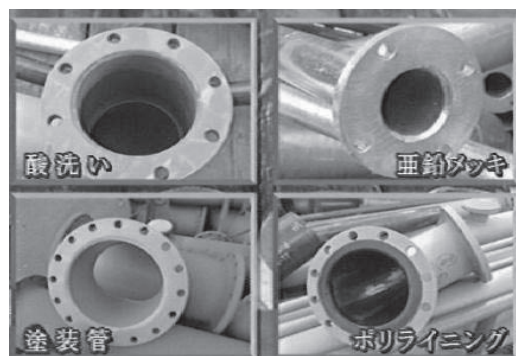


図-2.6 各種表面処理

2.2.3 サポートや管一品の取り付け

諸管装置図に従い、機器、サポート、管一品、バルブなどを船体に取り付けていく。サポートは船体に管を取り付けるために使われ、管を固定することで、振動防止の役割も果たす。

現在、船舶の建造ではブロック工法が主流である。ブロック工法では反転艤装が可能であり、安全姿勢の確保、空間的な余裕、クレーンの使用が容易といった幾つもの利点があり、作業を安全に早く行うことが出来る。一方で、反転図を出図していない場合には、図面が見難い、船殻工作と艤装の綿密な連携が必要となるため工程管理が複雑になる、等の欠点もある。

2.2.4 検査

管の取り付けが終わると、監督や船級により検査が行われる。

油圧管を対象に、異物の除去を目的として「フラッシング」が行われる。管の漏洩のチェックとしては「水圧試験」、「張水試験」、「通水通気試験」などがある。作動確認としては、ビルジ管を対象に「吸水試験」、バラスト管には「注排水試験」、甲板洗淨管や消防管には「放水試験」などの様々な検査が行われる。

2.3 配管艤装の現状

船舶には管があらゆる場所に張り巡らされており、例えば、3万トン級の船には、機関部、船体部にそれぞれ3000～5000本の管が複雑に張り巡らされている。これらの非常に多くの管の艤装を、配管工と配管設計者が担っている。そのため、一人前の配管工や配管設計者になるには多くの経験やノウハウ、知識が必要となり、配管工の場合に10年、配管設計者の場合は20年以上必要と言われている。これが、配管艤装の技能伝承をより困難にしている。

著者らは、平成16年12月から平成19年3月までに、全国の造船所、管製作工場、バルブメーカを、合わせて約30箇所を訪問し、実態調査を実施した。以下に、調査により得られた設計及び製作・取り付けの現状及び課題について簡単に纏める。

2.3.1 設計の現状

設計については、系統図→機器配置図→検討図→諸管装置図→管・サポート一品図の順番で設計行程が進む。ただし、系統図以下、全ての図面を外注している造船所もあれば、系統図から一品図まで全て自社で作成する造船所もある。

また、配管設計用CADについては、全く用いない造船所もあり、使用している場合も、2-DCADを使用する場合から3-DCADにより三次元設計を取り入れている場合もあり、その結果、設計で一品図まで作る造船所もあれば、系統図及び機器配置図ま

でしか作らない造船所もある。

このように、配管設計の形態は非常に多様なものとなっている。

2.3.2 製作・取り付けの現状

上述した設計形態の多様さは、管一品の製作方法に影響を与える。例えば、一品図がある場合は一品を外注することもでき、配管工の役割は取り付けだけとなる。一方、一品図がない場合は、配管工が現場で管配置を決め、型取りを行い、管一品を製作して、取り付けを行う必要がある。

このような現状から、表-2.1に示すような技能レベルの配管工が混在することになる。なお、表中では便宜的に初・中・上級の三つのレベルに分けている。

表-2.1 配管工の技能レベル

初級	管一品図に従い、管一品の製作が出来る
	諸管装置図が理解でき、管とサポートの取り付けが出来る
中級	現場合わせ管・現場型取り管の製作が出来る
上級	系統図に従い、配管経路の決定、管・サポートの製作・取り付けが出来る

2.3.3 課題の抽出

これまでに述べたような製作・取り付けの現状から、以下の課題を抽出した。

- ・管の配置、一品図の描き方が定まっていないため、製作面では高い誤作率につながり、設計面では設計技法の習得に時間を要することにつながる。
- ・諸管装置図、機器・バルブ等の機能や形状、ルール理解が不足していると、製作面では管取り付けの技能向上に時間を要することにつながり、設計面では、配管設計の基本が身につけにくくなる。
- ・製作と設計との乖離は、製作面では技能向上の頭打ちにつながり、設計面では製作現場の実情を考慮しない設計となってしまう。

以上のような課題から、これらを解決すべく次節に示す映像教材の内容及び構成を決定した。

2.4 配管艤装の技能研修用映像教材の作成

著者らは配管艤装の実態調査を行い、平成17年度から19年度までに、管製作(加工)、取り付け、設計に関する三つの教材の開発に取り組んだ。本節では、各教材(映像教材、テキスト、カリキュラム)開発及び実施した技能研修について報告する。

2.4.1 映像教材の開発

各教材の内容を表-2.2に示す。本映像教材は、DVDに納められており、各項目は20分程度に纏め、項目ごとでの再生を可能とした。そのため、生徒の

学習用としても、講師の授業用としても使用しやすいものとなっている。

表－2.2 教材の目次

平成 17 年度	
1 章 配管艤装の概要	
①設計	
②パイプの種類と様々な用途	
③パイプの加工	
④パイプの取り付け	
⑤検査	
⑥資格や安全に関する留意点	
2 章 簡単な管一品の製作	
①マーキングと切断	
②曲げ加工	
③パイプとエルボの溶接	
3 章 サポート及び現場合わせ管の取り付け	
①サポートの取り付け	
②管一品の取り付け	
③現場合わせ管	
4 章 使用する主な用具	

平成 18 年度	
1 章 現場型取り管の製作	
①現場型取りとは	
②配管の基本	
③寸法・角度の計測方法	
④現場型取り 金型法	
⑤現場型取り 型棒法	
⑥現場型取り スケッチ法	
⑦現場型取り 3つの方法の使い分け	
2 章 複雑な管一品の製作	
①複雑な管製作の注意点	
②実角のある管一品	
③枝管	
④枝管の製作 枝角度 90 度	
⑤枝管の製作 枝角度 45 度	
⑥多枝管の製作	

平成 19 年度	
1 章 配管検討	
①機器配置・配管の検討について	
②機関室の機器配置例	
③主な配管系統	
④配管設計の要件	
⑤機器配置の検討	
⑥配管経路の検討	
2 章 配管系統（詳細）	
①燃料油系統	
②潤滑油系統	
③冷却水系統	
④圧縮空気系統	
⑤蒸気系統	

2.4.2 教材内容の紹介

前節に示した各教材の内容について、簡単に紹介する。

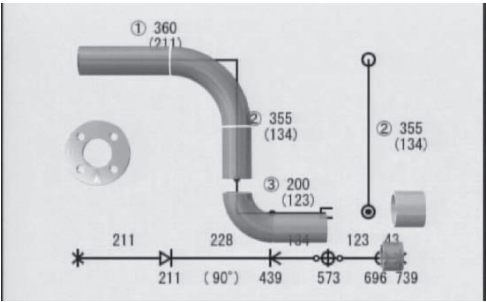
2.4.2.1 平成 17 年度映像教材

教材 1 章「配管艤装の概要」では、これから配管艤装に携わろうとする初心者にも理解できるよう、2.2 節で述べた配管艤装の流れの内容を実写や CG を用いてわかりやすく説明している（図－2.7、図－2.8 参照）。

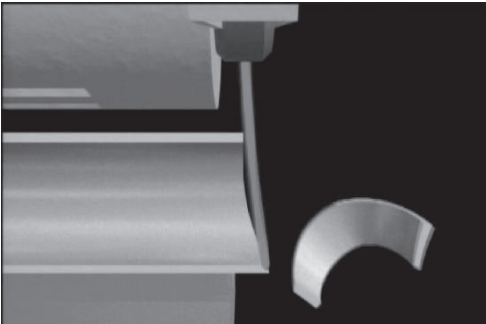
教材 2 章「簡単な管一品の製作」では、管一品製作のノウハウについて具体的に説明している。ここで対象としたのは図－2.7 に示されるような Z 型の管で、曲げには 90 度のベンダ曲げとエルボ、継手にはフランジとスリーブを使用して製作されるため、管製作の基本的な作業を網羅している。また、項目ごとに注意事項があり、その注意事項を守らないとどうなるかという失敗例も示している（図－2.9、図－2.10 参照）。



図－2.7 製作する管一品の形状



図－2.8 CG による管一品図の説明



図－2.9 切断の失敗例



図-2.10 パイプベンダによる曲げの失敗例

教材3章「サポート及び現場合わせ管の取り付け」では、諸管装置図を頭の中で反転させて艤装を行えるように、実写とCGを用いて図面の見方を理解しやすく説明し(図-2.11 参照)、更に、サポートの取り付け、ナットの締め方、管の取り付けなどのノウハウを説明している。また、船内における合わせ管の製作および取り付けについても説明している(図-2.12 参照)。

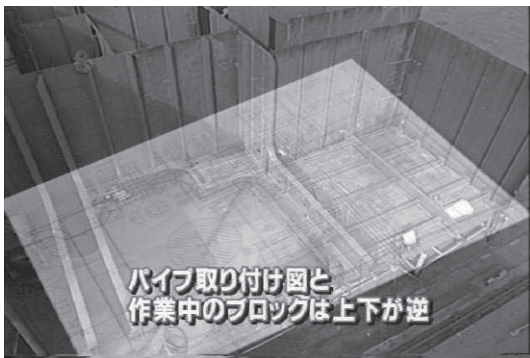


図-2.11 CGと実写による図面反転の説明



図-2.12 現場合わせ作業

2.4.2.2 平成18年度映像教材

船舶の配管は数千本の管一品を接合して出来上が

っているが、ブロックの継ぎ目や船内配管で最後に接合する管は、船体建造時や管製作時に計画寸法との誤差が生じるために、設計段階では敢えて空白にしてある。そのため、ある程度配管作業が進んだ後に、その空白箇所には管を接続していくことが必要となり、管の数は管一品の総数の約一割に及ぶ。この時に用いられるのが「現場合わせ管」及び「現場型取り管」と呼ばれるものである。現場合わせ管については平成17年度の教材の内容となっており、現場型取り管については平成18年度教材の教材1章「現場型取り管の製作」において説明している。

現場型取りでは、管一品の形状を現場で決める必要がある。その際の基本的な考え方の一例を図-2.13に示す。現場型取りを行う場合には、基本的には管の長さを出来るだけ短くする。また、曲がり部分を出来るだけ少なくすることで、その後の加工を容易な形状にすることも重要となる。図-2.13のような接合箇所において、図-2.13の上側の例のように複雑に曲がった管ではサポートの数も多くなってしまうため、下側の例のような形状にすると、曲がり部分やサポートの数も少なくなり、より望ましいといえる。

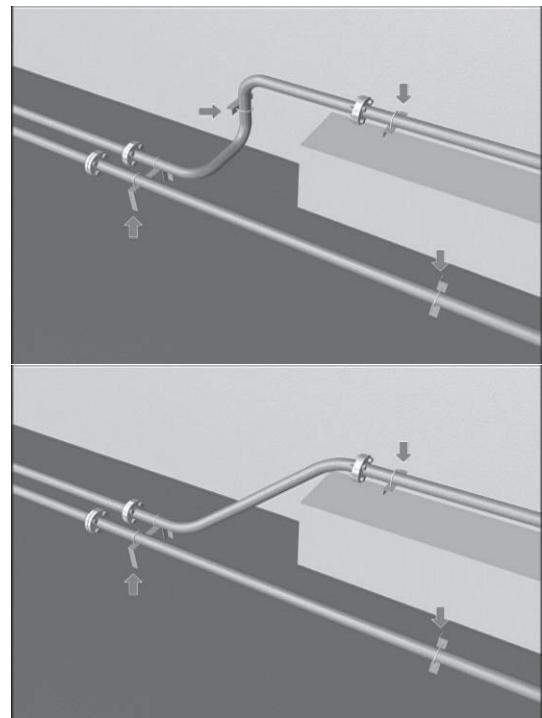


図-2.13 現場型取り管の形状例

また、現場型取りでは、接続する管同士のフランジの距離、位置、角度を計測する必要がある。従って、教材1章において計測方法の説明も行っている(図-2.14 参照)。

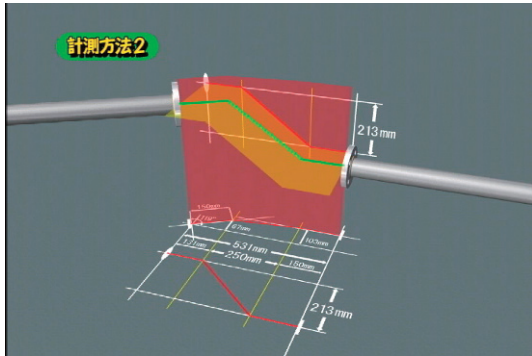


図-2.14 CGによる計測方法の説明

この現場型取りには、複数のやり方があるため、本章では代表的な三つの方法について紹介し、併せて各方法の使い分けについても説明している。

ここで、そのうちの一つの例である型棒法を図-2.15に示す。この手法は、型棒と呼ばれる金属の棒を用いて、接合するフランジ間を結ぶ経路及び管形状を仮決めし、得られた型棒の形状を基に管を製作するというものである。



図-2.15 現場型取り・型棒法

教材2章「複雑な管一品の製作」においては、実角のある管一品や枝管の製作方法や製作における留意点について実写やCGを用いて説明している。

例えば、図-2.13の下側の例や、図-2.16の例においては、管は水平でも垂直でもない角度で曲げられており、このような状態を実角と呼ぶ。このような管を製作する際には、角度に細心の注意を払う必要があり、フランジの孔の位置にも間違いが生じやすいため、製作に高度な技術を要する。

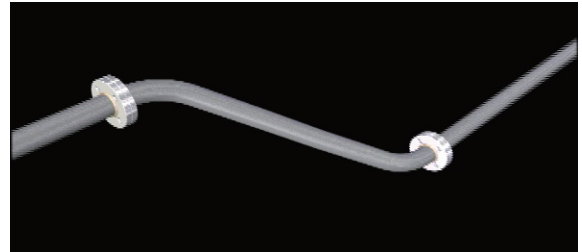


図-2.16 実角のある管

枝管は、管の分岐に最も多く用いられ、主管に溶接で取り付けられる（図-2.17参照）。その製作の際の留意点の例として、枝管の取り付けにおいては、主管が長い場合にはなるべく中央での取り付けを避けるという点が挙げられる。これは、特に主管が長く、中央に枝がある場合に、取り付け時の溶接熱によって大きなひずみや変形が生じるためである（図-2.18参照）。

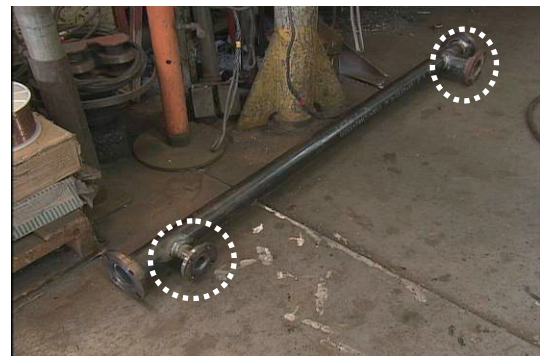


図-2.17 枝管（破線内）

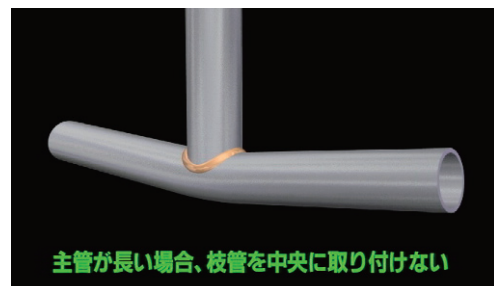


図-2.18 枝管取り付け時の留意点の一例

また、これら枝管の製作の流れについても、枝切り用の型の製作手順を含め、図-2.19のようにCGや実写を用いて説明している。

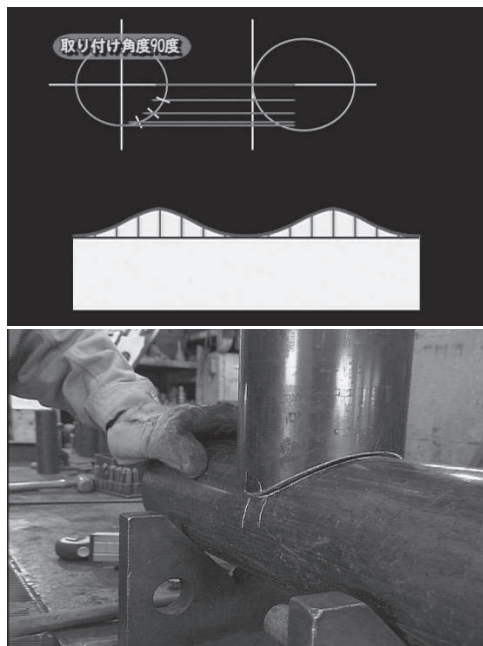


図-2.19 枝管の製作

2.4.2.3 平成19年度映像教材

実態調査の結果、2.3節にも述べたとおり、配管工としての技能レベルが高いと思われる工具は、製作・取り付けだけでなく、設計に関する知識も有していることが分かった。また、近年船体のカーゴホールドの増大を図るため、機関室は前後方向に短くなり、運航に必要とされる機器やそれらをつなぐ管の設計がより複雑になっている。これらの現状を踏まえ、平成19年度においては、配管工向けの配管設計技能研修用教材を作成した。

本教材では、設計における基礎知識及び諸管系統図から一品図作成までの流れ、図面作成の際に必要な機器配置や配管検討についてCGや実写を用いて説明をしている。図-2.20は、バルクキャリアを例に、一般的な機器配置例を説明した図である。

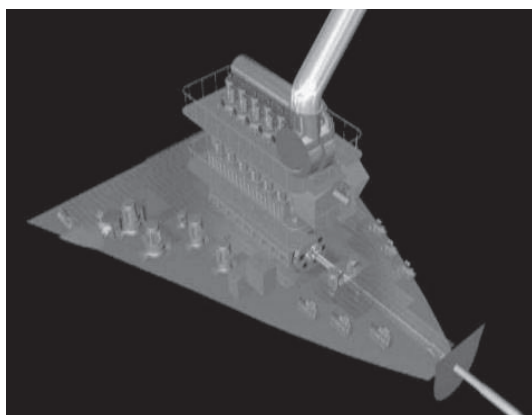


図-2.20 CGによる機器配置例の説明

教材1章「配管検討」では、機関室の機器配置及び配管経路の検討について、設計の際の留意事項や検討の流れ・要件等を説明している。以下に、教材1章の内容を簡単に紹介する。

表-2.3に示すのは、本教材で示した配管設計を行う際の基本的な留意事項である。

表-2.3 配管設計を行う際の留意事項

決定事項（性能計算やルールに基づく）
①性能を十分に発揮できること
②ルール等を満足すること
③各系統に応じた材種・加工を選択すること
検討事項（機器配置・配管経路検討における要件）
④機器の操作・点検・保守・修理に留意すること
⑤総配管長を出来るだけ短くすること
⑥現場での管工作・取り付け作業の手順・難易度を考慮すること
⑦美的感覚（調和した配管・サポート配置）

検討作業の大まかな流れは、図-2.21に示すように、「諸管系統図と船殻図を基に機器配置の検討を行い、機器配置図を作成する作業」と「機器配置図を基に配管経路の検討を行い、配管経路検討図を作成する作業」の二つに分かれる。

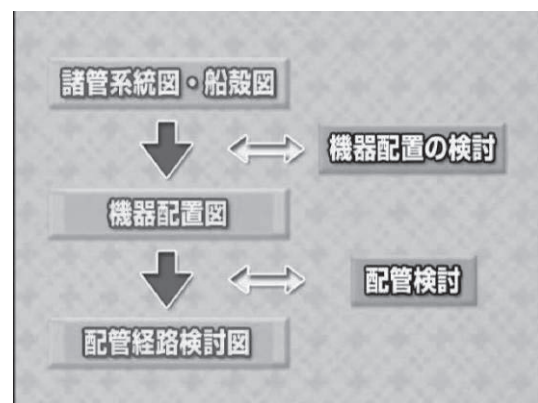
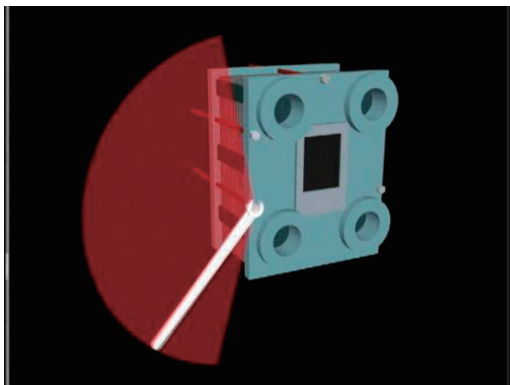


図-2.21 検討作業の流れ

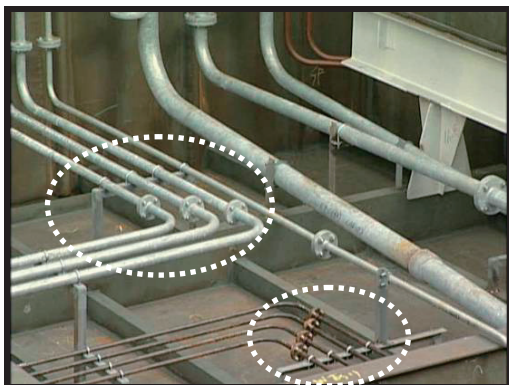
この検討作業においては、大まかには表-2.3中「検討事項」に述べたような点に基づいて作業を進めていくが、以下に「機器配置の検討」と「配管経路の検討」における、より具体的な検討例を示す。

図-2.22は、機器配置の検討における検討例である。機器の配置においては、通常のハンドリングだけではなく、保守・修理も考慮する。そのため、図-2.22に示すように、開放スペースだけではなく、開放スパナを使うためのスペース（図中赤色の範囲）も確保しておく必要がある。



図－2.22 機器配置の検討における検討例
(保守・修理のための作業スペース確保)

次に、配管経路の検討における検討例を示す。複数の管を共通バンドで固定する場合は、管の径だけでなく、フランジの径にも注意する必要がある。更に、図－2.23 に示すように、各フランジの位置とサポートの位置が重ならないように配慮する必要がある。

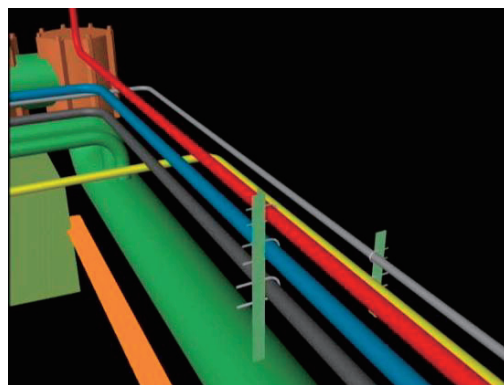


図－2.23 配管経路の検討における検討例①
(例：各フランジとサポートの配置)

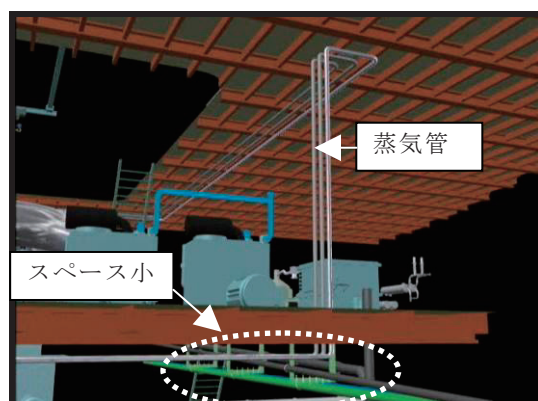
また、管が集中するような箇所においては、図－2.24 に示すように経路を複数列に分けることがあるが、場所によってはそのスペースを確保できないような場合もある。そのようなときは、図－2.25 に示すように、細い管を優先的に迂回させる。その際、空気管や蒸気管は管径も小さく、内部流体の抵抗も小さいため、迂回させるのに適している。

また、教材 2 章「配管系統（詳細）」においては、船の運航上重要となる五つの系統（燃料油系統、潤滑油系統、冷却水系統、圧縮空気系統、蒸気系統）について、実写と CG を用いて詳細な説明をしている（図－2.26 参照）。

なお、一般に理解が難しいとされる配管系統図の説明においては、各系統内を更に機能別に細分化し、チャートを作成して説明した（図－2.27 参照）。



図－2.24 配管経路を二列に分けた例



図－2.25 配管経路の検討における検討例②
(例：配管経路の迂回)



図－2.26 CG と実写による燃料油系統の説明

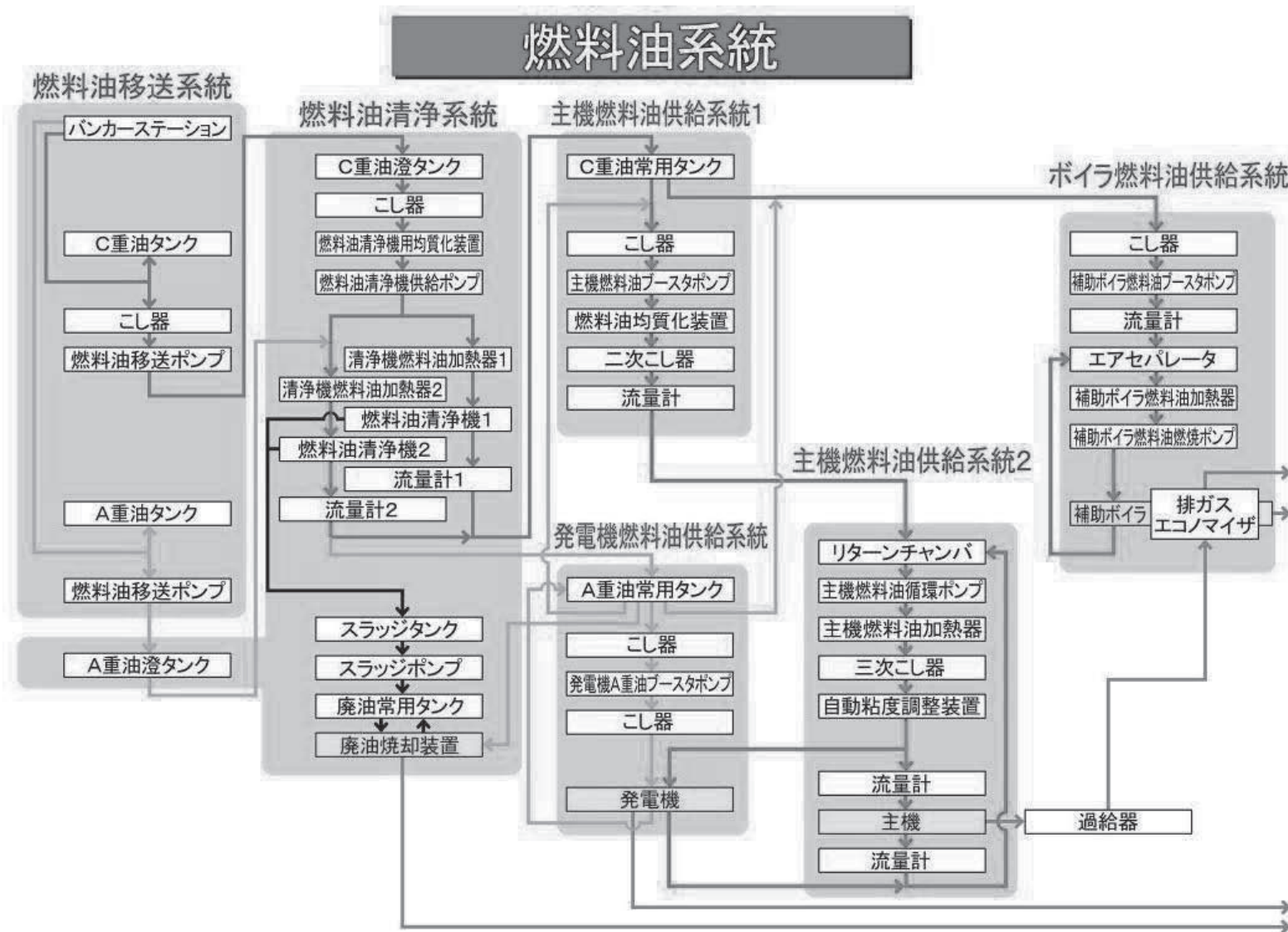


図-2.27 燃料油系統のチャート

また、平成 19 年度の教材においては、付録として、一般的に機関室に設置される各機器について写真と説明文を記載した「機器の説明」及びそれらの機器の一般的な配置例を示した「機器配置図」を作成している。

2.4.3 試行研修の実施

平成 17 年度配管艀装技能研修用教材（DVD 教材、テキスト教材、カリキュラム）の有効性の検証のため、平成 18 年 3 月 6 日～10 日（5 日間）に内海造船（株）において、試行研修を実施した。その様子を図－2.28、2.29 に示す。



図－2.28 実技講師による説明



図－2.29 実技に取り組む研修生

本試行研修では、配管職経験 7 ヶ月～4 年の研修生 9 名を対象に、座学講師 1 名、実技講師 3 名で午前 2 時間の座学、午前 1.5 時間と午後 3.5 時間の実技を実施した。その結果、差し金の正しい使い方がわからない者も少なくないことがわかり、「道具の使用及び寸法出しの基本」の内容を実技に加え、平成 17 年度教材の内容及び研修のカリキュラムともに妥当であることがわかった。また、「道具の使用及び寸法出しの基本」の内容に対応する内容として、平成 18 年度教材の「1. ③寸法・

角度の計測方法」を加えることにより補った。

2.5 まとめ

近年、配管艀装のような造船特有の技能に熟練した職人の数は相変わらず減少傾向にあり、それでも現在の船舶建造数を維持するためには、建造工数の削減、生産性の向上が必要である。これに関して、本章で述べた配管艀装に関する例としては、工数削減が期待されるモジュール化などの新たな動きもある。しかしながら現時点ではまだ問題点も残されており、一般的に用いられるところまでは至っていない。

このような現状から、本映像教材は、配管艀装の短期間での技能伝承、すなわち、新人の教育期間の短縮及び現在配管艀装に携わっている従業員の技能レベルの向上を目的として作成した。本稿において紹介した三つの映像教材は、すでに一部の関係事業者の社内研修等で使用されている。

参考文献

- 1) 村上睦尚他：配管艀装における映像教材の作成、日本船舶海洋工学会講演会論文集、第 3 号（2006）、pp.105-106
- 2) 村上睦尚他：船体に血液を流す配管艀装-配管艀装技能教材の作成-、日本マリンエンジニアリング学会誌、第 41 巻第 6 号（2006）、pp.43-46
- 3) 穴井陽祐他：配管経路検討・系統技能研修用教材の作成、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第 8 号（2008）、pp.245-252
- 4) 穴井陽祐他：造船特殊技能研修用教材の開発－配管艀装の技能伝承－、人工知能学会第 11 回知識・技術・技能の伝承支援研究会（SIG-KST）（2010）
- 5) 村上睦尚他：建造効率向上に資する技能伝承教材とシステムの開発（配管艀装、ぎょう鉄）、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第 11 号（2011）、pp.39-54

3. 歪取り

3.1 はじめに

船舶建造における船殻の接合は、現状では溶接によって行われ、その際に熱変形は避けられないため歪は必然的に発生する。歪取りは、居住区の内装及び艀装、甲板機械設置の前工程であり、その作業期間は岸壁艀装期間に大きな影響を与える。また、ガス加熱で歪を修正するこの作業の難易度はぎょう鉄より若干易しいと言われているものの、

相当に熟練を要する。しかしながら、歪取り作業が常時必要なのではないことが理由で歪取り専門の技能者はいないのが一般的あり、鉄工やぎょう鉄などの作業者が分担している。更に、施工方法が造船所により異なり、工数のばらつきも大きい。一方、今般の建造量増大と建造期間圧縮のために、歪取り技量を有した作業者の育成が求められている。

このような状況から、平成18年度、日本中小型造船工業会の委託により造船技能開発センター向けの「歪取り技能研修用映像教材」を制作した。

本章は、教材作成のための調査、内容の検討、教材作成について概説するものである。

3.2 歪取り作業

歪取りは概ね、①ブロック搭載前の歪取り、②ブロック継手部の歪取り、及び、③居住区の歪取り、に分けられる。以下にこれらの作業について簡単に説明する。

3.2.1 ブロック搭載前の歪取り

条材の直線性を三角焼きで確保したり、部材歪、逆歪などの施工を実施している(図-3.1 参照)。

板が比較的薄い場合、中組みから大組みへの引き渡し前に背焼きで痩せ馬の修正を行う場合がある。板が厚い場合でも、ブロック搭載前にはブロック継手の直近については背焼きを行う(図-3.2 参照)。この作業は、内業(鉄工)が分担することが多い。



図-3.1 PCC 車両甲板トランスの逆歪施工



図-3.2 ブロック継手直近の背焼きの跡

3.2.2 ブロック継手部の歪取り

ブロック搭載後の本溶接後に行われる作業である。また、ブロック継手部の歪の中でも、甲板の変厚するブロックバット(船長方向に垂直な継手)が最もやっかいである(図-3.3 参照)。この作業は、外業(鉄工)が分担することが多いが、造船所によっては甲板艤装(鉄艤とも呼ぶ)が分担する場合もある。

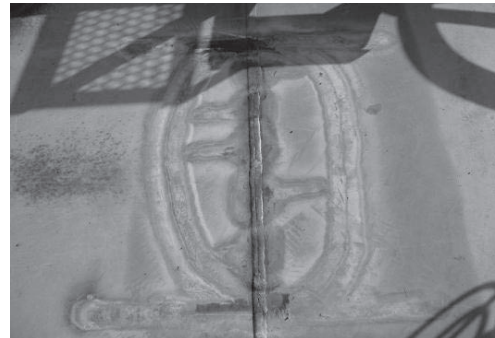


図-3.3 甲板変厚部の歪の修正跡

3.2.3 居住区の歪取り

上部構造物の歪取り順序は、上→下、下→上のどちらの場合もある。床と壁では、一般に、先ず防撓材隅肉溶接裏側の背焼きで折れを修正する。その時、折れを完全に取ってしまう造船所は少ない。その後に、パネルの中を施工するが、凸部→凹部、凹部→凸部どちらかは造船所毎に異なる。その時、パネルが凹の場合には点焼き(図-3.4 参照)、凸の場合には棒焼き(図-3.5 参照)などを行う。開口部については、先ず周辺の防撓材を真直にし、開口部角を三角焼きで絞めた後に、防撓材の背を焼いている(図-3.6 参照)。居住区の歪取りについては、建造工程の終盤での作業であり、かつ、その作業が終わらなければ機器取付けや内壁の施工などが開始できないため、歪取りを短期間で行う必要がある。そのため、歪取り工を専業で設けて行っている場合が比較的多い。

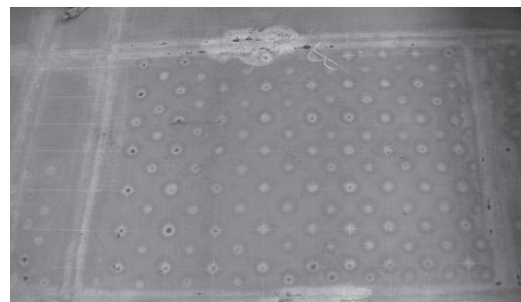


図-3.4 背焼き後の点焼き



図－3.5 背焼き後の棒(ハの字)焼き



図－3.6 開口部(ドア)の歪取りの跡

3.3 歪取りにおける現状及び課題

本調査研究では、教材製作の準備として、平成17年から18年にかけて、造船所8社を主な対象とした実態調査及び文献調査¹⁾³⁾を行った。実態調査の内容は、歪取り技能者の人数、年齢構成、歪の許容範囲、建造各段階での歪取りなどのアンケート及び聞き取り調査、並びに、現場観察と映像収集である。これらの内容について、以下に概説する。

3.3.1 歪取りの目的及び許容範囲

歪取りは、振動の軽減、ブロックの精度維持、搭載し易さ、デッキ上は艀装品の設置のし易さなど、品質保証を目的として作業が行われ、その許容範囲はJSQS(Japan Ship Quality Standard)³⁾を満たせば十分であるが、美観などの観点からの船主要求は更に厳しい。

3.3.2 設計・見積もり段階での歪に対する配慮

歪発生を予測している箇所としては、小組部材、外板(瘦せ馬)、ブロック継手部(DK、外板、L.BHD)、居住区(DK、壁、窓などの開口部)が挙げられる。また、歪取りの工数を管理数量としている造船所はほとんど無いが、居住区に注目すると、その工数の15%程度としている場合が多い。これは各造船所の過去の実績に基づいている。

設計時の対応としては、ブロック継手部など歪の発生しやすい箇所へカーリング(補強ためではなく、撓み防止のために設けられる部材)の配置、上部構造部の板厚を6～8mm(5mm以下をさける)とすること、壁材をコルゲート板にするなどで、現場からの意見を聞いて、鋼板重量増・材料費増と工数とのトータルコストメリットを算出して決定

するのが一般的である。ただし、壁材にコルゲート板を用いて歪が発生した場合は、その修正の難易度は高くなるので注意を要する。

3.3.3 歪取り技能及び教育

各社とも歪取りは難しい技能としている。しかし、教育については、一定期間や就労時間外に実技教育時間を設ける造船所もあるが、現場作業のなかでのOJT(On the job training)が主流である。歪の計測は定規や張り糸が一般的だが、3～4mmまでの歪は目視で可能であり、目視でわからなくなるまでやれば、JSQSを満たしているとのことである。

3.3.4 歪取りの課題

実態調査を行い以下に示す項目の課題を抽出した。

- ①歪取り工を専業としている作業者は多くないものの、歪取りは必要不可欠であり、工期に大きな影響を与えるため、効率の良い育成が必要である。
- ②歪の発生形状、部位に応じた効果的な修正方法が定まっていない。
- ③歪取りの許容範囲はJSQSを満たせば十分であるが、美観などの観点から更に厳しい船主要求にも応える必要がある。

3.4 歪取り技能研修用映像教材の開発

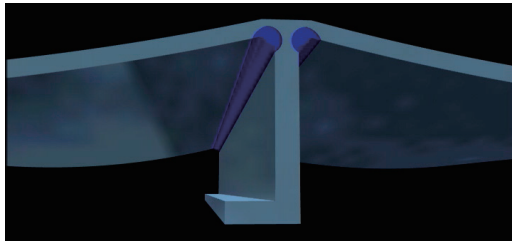
平成18年度に海技研で作成した「歪取り技能研修用映像教材」について紹介する。3.3.4節で示した課題を解決するために表－3.1に示す内容構成で映像教材を作成した。歪取りに携わる初心者にも理解できるように、原理及び実写ではわかりにくい内容については、CGを用いて詳しく説明している。

表－3.1 映像教材の内容

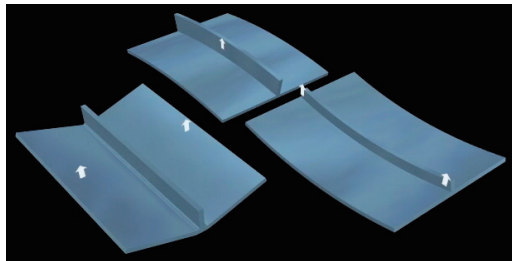
1章「歪取りの基礎」20分
1. 歪の基礎知識
2. 歪の標準範囲
3. 歪の計測
4. 歪取りの原理
5. ガス加熱による歪取り
6. 歪取りに使用する道具
7. 焼き方
2章「歪取りの実際」25分
1. 居住区
2. 歪取りの流れ
3. 歪の把握
4. 背焼きの方法と順序
5. 凸パネルの修正
6. 凹パネルの修正
7. 凹凸パネルの修正
8. 居室の修正例

3.4.1 1章「歪取りの基礎」

総論を「歪取りの基礎」として、歪の発生原理と種類(例として、図－3.7、3.8 参照)、歪の計測、標準範囲、歪取りの道具(例として、図－3.9 参照)と原理を概説した。また、図－3.10 に示す各種歪取り加熱法(線焼き、棒焼き、松葉焼き、格子焼き、点焼き、三角焼き)とその適用について説明した。



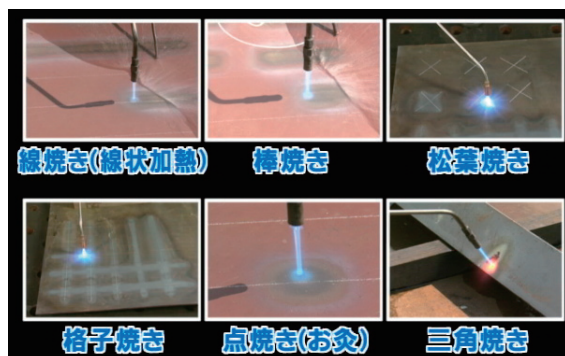
図－3.7 隅肉溶接による歪の発生の説明



図－3.8 歪の種類



図－3.9 歪の計測及び道具



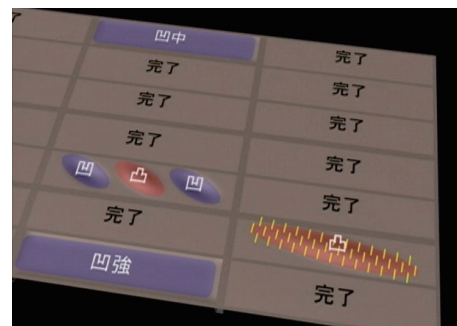
図－3.10 歪取り加熱法

3.4.2 2章「歪取りの実際」

居住区については歪取り工の専業となる場合が多いので、これに重点をおき、居住区の床を対象に、背焼き(図－3.11 参照)、パネル凹凸の修正(図－3.12 参照)、更に、窓、ドア等の開口部の歪取りの手順を示した(図－3.13、3.14、3.15 参照)。



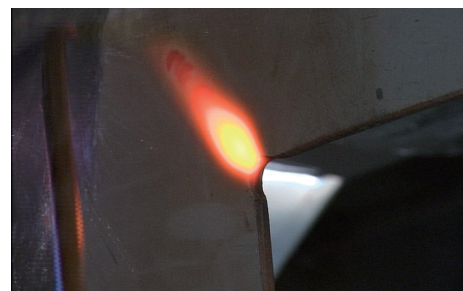
図－3.11 居住区の床の歪と背焼き



図－3.12 居住区の床の歪と凸凹の修正



図－3.13 骨材への三角焼き



図－3.14 開口部隅の三角焼き

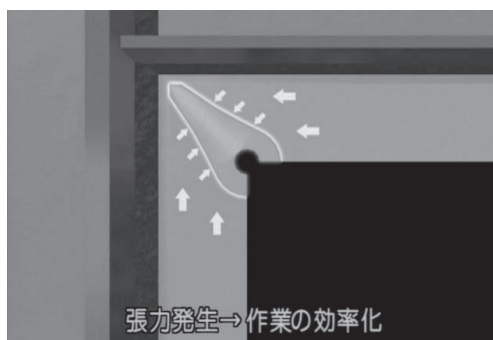


図-3.15 開口部隅の効果的な修正の原理

3.5 まとめ

本教材は歪取りの技能を短期間である一定レベルまで修得することが出来る教材である。しかしながら、船舶建造において、溶接による歪は、同型船であっても何所にどのような形状で現れるか分らないのが現状である。そのため、今後は、レーザースキャナ等による自動計測データを用いて、溶接構造に発生する歪の形状を認識、分類し、最適な歪取りの焼き方、その順序を出力するシステムの開発が期待される。

一方で、歪取り作業はそれ自体がモノを生産する作業ではない。そのため、船舶建造の生産性向上の面からは、歪が生じない、或いは、より少ない接合方法として、他分野では実用化されている接着剤やレーザー溶接による接合が、船舶建造、即ち、厚板鋼板へ適用されることが期待される。

参考文献

- 1)財団法人日本小型船舶造船協業会：通信教育造船科講座 船体工作法、(2000)
- 2)社団法人日本軽金属構造溶接協会（現日本軽金属溶接協会）：アルミニウム合金の溶接ひずみ防止マニュアル、(1982)
- 3)社団法人日本造船学会（現日本船舶海洋工学会）工作法研究委員会：日本鋼船工作法精度標準
- 4)松岡一祥他：歪取り技能研修用教材の作成、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第7号(2007)、pp.113-118

4. 機関据付

4.1 はじめに

機関据付は、新造時の機関艀装作業である。プロペラから推進軸、中間軸、主機関に至る推進軸系の据付精度は、推進効率に大きな影響を与える。据付精度が劣る場合には、中間軸受等の焼付き、機関内部摺動部の磨耗、損傷などが生じ、甚だしい場合には、機関停止に至る。この精度確保のために、古くから種々の方法が試みられ、徐々に機器及び工法の改善が図られてきた。

ここ 10 年余の造船現場での変化は、今までより更に急で、造船所毎の導入時期のずれにより、新旧入り混じった機器、工法が、混在しているのが現状である。また、推進軸系は船種、規模でも大きく異なる。

機関据付の現状と課題を把握し、技能伝承要因を抽出するため、平成 18 年度に機関据付に関する調査を 11 造船所で実施した。本章では、一般的な機関据付作業¹⁾について述べるとともに、造船所における機関据付の現状と、平成 19 年度に海技研で作成した「機関据付（初・中級）の技能研修用映像教材」について紹介する。

4.2 機関据付の流れ

機関据付は、「仮見透し」→「本見透し」→「ボーリング」→「ブッシュの圧入」→「プロペラ圧入と中間軸搭載」→「舵軸と舵板の据付と固定」→（進水）→「アライメント／デフレクション／主機の固定」→「エンジン試運転」→「軸の連結」→「試運転（岸壁、海上）」の順で進められていく。以下に、これらの項目について簡単に説明する。

4.2.1 仮見透し

一般的にはスタンフレームの取り付け位置決定作業となる。

見透しの目的は、スタンチューブの芯を取ると共に、主機架台を正としてボーリングに必要な削り代を確保できるように長手方向の位置を決めることである。スタンチューブは、ボーリング調整代 10 mm を標準としている。

図-4.1 は、見透しの一例である。主機架台艀側に見透し用光源レーザートランシット、中間軸受け、船尾管前後等に見透し金具を設けて、軸芯、長さ、高さを確認する。他に、レーザートランシットではなくピアノ線を使用する方法もある。

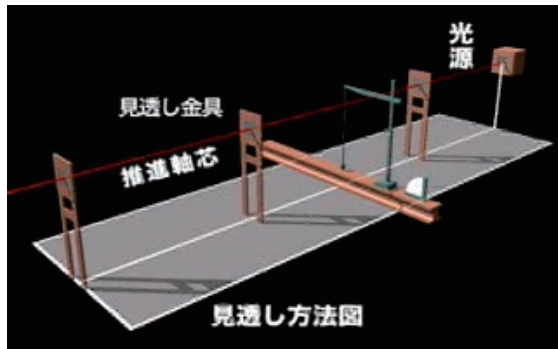


図-4.1 見透しの一例

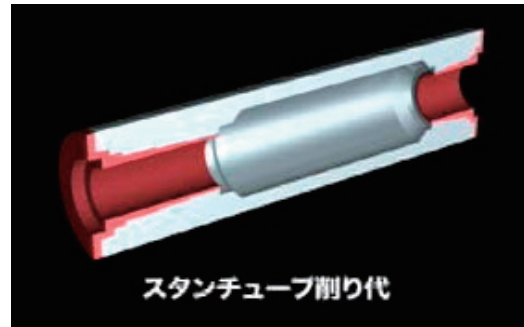


図-4.3 スタンチューブ削り代

4.2.2 本見透し

本見透しでは、仮見透しの後に進められた、重量物の搬入、船体のブロック搭載、溶接によって、軸芯に「ずれ」が生じていないか、船級検査員の立会いの下(図-4.2 参照)、軸芯、舵芯の確認検査を受け、ボーリングの削り代の決定と、マーキングを行なう。軸芯の計測は、主機艙側に光源を、主機艙側とスタンチューブ前後に見透し金具を置いて、軸芯を確認する。また、舵芯はピアノ線を張って確認する。



図-4.2 本見透し船級検査員の立会い

4.2.4 ブッシュの圧入

ブッシュの材料には鋳鋼が使われ、軸との接触面には潤滑材の役割を果たすホワイトメタルが鑄込まれている。実際の押し込み荷重は、大きすぎると、ブッシュにクラックが入ったり、ホワイトメタルが剥離し、小さすぎると、ブッシュとスタンチューブの接触が不十分で、ブッシュがずれる。押し込みを完了すると、船級検査員の立会いの下(図-4.4 参照)、ホワイトメタルが剥離していないかを確認し、更に、ホワイトメタルの内径を計測して、プロペラシャフトとの隙間を確認する。



図-4.4 ブッシュ圧入船級検査員の立会い

4.2.3 ボーリング

スタンチューブには、シールリングとブッシュを装着するための削り代がある。軸心の位置を決定した後、この削り代を削り取る過程をボーリングと言う。図-4.3 に赤い色で示す。両端にはシールリングがつき、内側には、ブッシュが圧入される。

4.2.5 プロペラ圧入と中間軸搭載

推進軸の取り付けは、艙側のプロペラ軸から行う。①プロペラ軸をスタンチューブ艙側に多めに挿入する。②プロペラを軸に圧入し、艙側に戻って、③中間軸を据え付ける。④プロペラ軸の軸戻しを行って、中間軸との面合わせを行う。図-4.5 に面合わせの作業の様子を示す。



図-4.5 プロペラ軸と中間軸の面合わせ

4.2.6 舵軸と舵板の据付と固定

舵軸系についても、推進軸系と同様に、舵芯の見透し、舵軸系のボーリング、ブッシュの圧入を行った後、舵軸と舵板の据付と固定を行う。

舵取機の中心点、隙間などを計測して取付位置を決定し、樹脂ライナと、鋼製のライナを施工し、ボルト締めを行って舵取機を固定する。図-4.6に舵取機の構成のイメージ図を示す。



図-4.6 舵取機の構成

4.2.7 アライメント／デフレクション／主機の固定

軸芯に乱れが生じたとき、プロペラ軸と中間軸及び中間軸と主機フライホイールのカップリングが乱れる。このカップリングの乱れを計測することにより、軸芯の乱れがわかる。このように、カップリングの乱れの計測から軸芯の乱れを調べることを、カップリング計測と言う。図-4.7にアライメント概略図を示す。アライメントの許容値は、設計部からアライメント指示書として出される。中間軸及び主機の位置・角度の修正を行い、プロペラ軸と中間軸、及び中間軸と主機フライホイールのカップリングの乱れを許容値の範囲内に収め、軸芯の乱れを取り除く作業を軸芯整合と言う。



図-4.7 アライメント概略図

中間軸と主機フライホイールのカップリングが許容範囲内に収まって、主機が捻れている場合がある。主機の捻じれは、各シリンダのクランクシャフトの間隔で知ることが出来る。そこで、図-4.8で示すように、クランクシャフト間の距離を計測し、調整を行う。この主機の捻れを解消する作業をデフレクション計測・調整と呼ぶ。

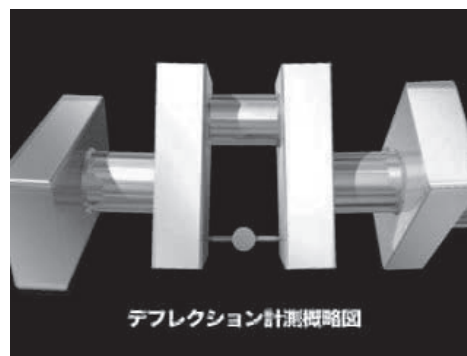


図-4.8 デフレクション計測概略図

アライメント及びデフレクション調整により、主機と中間軸受の位置が決まると、据付を行う。台座の下の方指定箇所に、ライナを施工する。続いて、主機の前後左右に、固定用のストッパを設置する。続いて、主機の両舷側、主機艙側のストッパと主機の隙間に鋼製のライナを艙側から挟み込む。

4.2.8 エンジン試運転／軸の連結

主機固定及び中間軸受けの固定が完了すると、主機が不具合無く起動するか確認するため、主機エンジンの試運転を行う。

主機フライホイールと中間軸、プロペラ軸と中間軸を連結するため、リーマボルトによる固定を行う。リーマボルトは、高精度の位置固定を行うための特殊なボルトである。直径 50.1 mm のボルトを液体窒素の冷却により 50.0 mm に収縮して挿入すれば、常温に戻った時には、0.1 mm を締め込んだ効果が生じ、数百 MPa の強い締め付け力を得ることが出来る。

4.3 機関据付における現状

平成18年度に機関据付に関する調査を11造船所で実施した。以下に平成18年当時の状況について簡単に纏める。

4.3.1 造船所概況

機関据付作業に関連する船種、クレーン能力、年間進水隻数等について表-4.1に示す。造船所により明らかな差異がある。船種や建造船舶の大きさにより主機の大きさや中間軸の数が異なる。

クレーン能力によっては主機の搭載を一括で行えず2分割あるいは3分割で搭載し、船内で組立を行う必要がある。これに対し、クレーン能力不足をクレーン船に頼る造船所もある。

仕上げ作業は、軸芯見通しから主機の据付までの一連の作業で、殆ど同じ作業は行われない。そのため、ある一つの作業の年間の経験数は年間進水隻数に相当する。現場で経験して、技能を習得させるという現在の教育方法では年間の進水隻数が技術の向上に影響する。

表-4.1 造船所概況

造船所	年間 隻数	船種	クレーン 能力 (ton)	船台 (GT)	ブロック	修繕	ドック (GT)	工期
A	8隻	LPG ケミカル 多目的	150	9900	外注 40～ 60%	×		5ヶ月
B	5.5隻	ケミカル他	150	9200	外注 1000 ton	×		船台2ヶ月 岸壁2ヶ月
C	4隻	多目的船	65	5000		浮きドック	2400	船台3ヶ月
D	9隻	バルカー フェリー等	270ジブ	21000		○ 25000GT		
E	7隻	フェリー タンカー コンテナ バルカー PCC等	130	30000		○	44500 5000	
F	4隻	ケミカル		8000		○ 2599ton (浮き)		
G	6隻	プロダクト ケミカル タンカー PCC等	170	25000	外注 50～ 60%	×		
H	15隻	プロダクト バルカー チップ船 自動車運搬 ケミカル	300		外注 40 ブロック		150000	
I	5隻	バルク 冷凍船	150			×	22000	
J	4隻							
K	6隻	コンテナ	60ジブ	9990		6900GT		

4.3.2 機関据付作業労務構成

機関仕上げ担当者の職種・人数・年齢構成・経験年数等について表-4.2に示す。

表-4.2 機関据付作業労務構成

造船所	職種	協力職種	総数 (内、 名人ク ラス)	年齢構成				
				30歳 未満	30歳 代	40歳 代	50歳 代	60歳 以上
A	主機据付		6(3)	2	1		1	2
B	機関据付	鉄工	13(3)	7			※55歳～65歳 6	
C	仕上げ		7(1)	※36歳～63歳 7				
D	仕上げ	修繕から 3人	10(3)	3	3		3	1
E	仕上げ	旋盤工 (修繕)	4			1	3	
F	仕上げ	修繕から 5人	5	1		2		2
G	仕上げ	計測他	6(2)	2	2			2
H	機装仕上げ		20(10)	6	4	6	4	
I	仕上げ		6(2)	1		2	1	2
J	仕上げ旋盤		10(3)	3	1		3	3
K	仕上げ		8(3)	3	1		1	3

軸芯見通し～機器据付～運転までの作業担当者は、一般に「仕上げ職」と呼ばれている。計装、鉄機据付等他の作業についても仕上げ職が担当する造船所もある。造船所によっては限られた作業を鉄工(スターンフレーム搭載)・旋盤工(ボーリング)などの協力に頼っていることも多い。修繕部門のある造船所では、労働力が不足した際には、修繕チームの応援を頼むこともある。

仕上げ職は、定年前後と20-30歳代が殆どで、40代の職人が極めて少ない。これは、造船会社のみならず、製造業の一般的な特徴であるが、その結果として、技能の継承に問題が残る。

なお、仕上げ職特有の資格はない。しかし、造船所の作業に応じて必要な資格(ガス取扱い・溶接・高所作業・砥石・玉掛け・ボイラ・フォークリフト等)は必要である。

ボーリング作業については、殆どの造船所が専門業者に依頼している。専門業者は3～4日程度のボーリング作業を造船所で行う。

造船の殆どの作業では、協力工の役割・比重が大きい。しかし、機関仕上げに関しては、殆どが本工主体で、協力工に頼む割合は極めて少ない。

4.3.3 近年の傾向

半世紀前と現在の作業の流れの最も大きな違いは、進水までに終わらせる作業項目の数の差である。現在は、主機の据付けに関する作業以外は進水までに殆ど終了する。これは、技術の向上と経験の積み重ねにより、工期短縮が可能となったためである。技術の主な向上点は、ブロックの高精度化と機関仕上げ関連技術の進歩である。

具体的には、下記の項目があげられる。

- ①スタンチューブをブロック建造時にブロックに取り付けて、スタンプフレームとして搭載する。

このことで軸芯見透し作業の際のスタンチューブ押し込み作業が省略された。

- ②ブロック及び位置決め技術の向上があり、設計どおりに船殻を作り上げることが可能になり、計算通りのアライメントが可能になった。
- ③チョックライナ(主機関を架台(チョック)に締結後、振動で動いたり、ズレたりするのを防止するためのクリアランスを埋める鋼製「噛ませ板(ライナー)」)に代わりチョックファスト(樹脂製のライナーで、摺り合わせ作業の省略を可能にした)の採用。中間軸受や一部補機を除いて従来のチョックライナからチョックファストを採用する造船所が殆どとなり、工期が短縮されるとともに作業が軽減した。
- ④工期の短縮に貢献している事項に、外注工事の増加がある。ボーリング作業やプロペラコンパート(プロペラボスとプロペラ軸のはめ合い部分)の摺り合わせなどである。

4.3.4 造船所により異なる点

造船所により、建造船舶の大きさ、クレーン能力、造船所の伝統等で作業内容が異なる。

- ①船舶の大きさや設計の方針で中間軸の数が異なる。中間軸が短い場合(例えば中間軸が1, 2本の場合)の軸芯見透しはピアノ線のみで行う傾向にある。長くなると(例えば3本以上)光源とピアノ線による従来のやり方で行う。
- ②主機を一括搭載するか、2分割あるいは3分割搭載するかは、クレーン能力に大いに依存する。

4.4 機関仕上げ技能研修用映像教材の開発

平成19年度に海技研で作成した「機関据付(初・中級)の技能研修用映像教材」について紹介する。

4.1節で紹介した機関据付作業の一連の項目をすべて含んでいるが、これから機関据付に携わる初心者にも理解できるよう、実写ではわかりにくい箇所については、CGを用いて詳しく説明している。機器名、部位名、作業名等に関しては、映像中にスーパーを重ねて表示している(図-4.9 参照)。

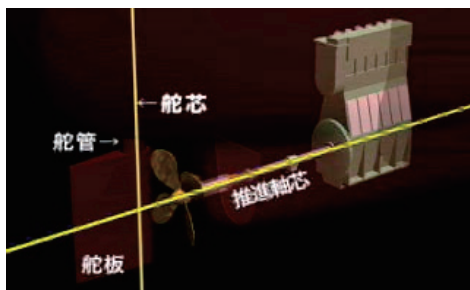


図-4.9 用語の説明

表-4.3 に映像教材の内容を示す。メニューとして自動表示され、オールプレイ又は項目ごとの再生のどちらかを選択可能である。

表-4.3 映像教材の内容

【進水前】	40分51秒
I. 機関仕上げの概要と船の特性	
II. スタンフレイムの搭載	
III. 仮見透し	
IV. 本見透し	
V. ボーリング	
VI. ブッシュ圧入	
VII. プロペラ圧入と中間軸搭載	
【進水後】	24分24秒
VIII. アライメント/デフレクション/主機固定	
IX. エンジン試運転	
X. 軸の連結	
【舵系編】	5分
【勘所編】	5分33秒

4.4.1 船の特性

機関据付の各工程の解説に入る前に、変形に対する熱と温度の影響(図-4.10 参照)や、浮力の影響などについて説明している。



図-4.10 日光による船体の横曲がり

4.4.2 各工程の解説

4.1節で示される各工程の作業が、詳しく解説されている。CGでは、各部の解説図(図-4.11 参照)の他、グラフなども用いられ、例えばプロペラ押し込み荷重の求め方などが解説されている(図-4.12 参照)。

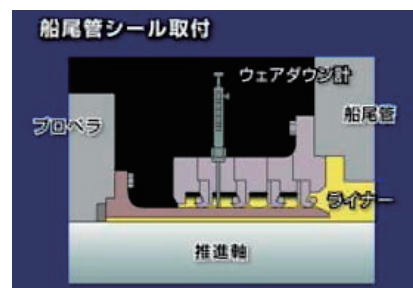


図-4.11 船尾管シールの機構

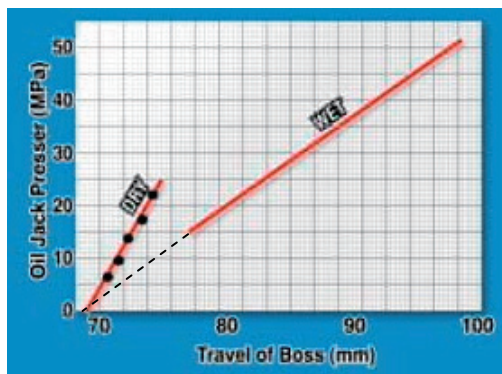


図-4.12 プロペラ押し込み荷重

4.4.3 勘所編

本編中で詳しく説明すると冗長となり、作業の流れが掴みにくくなると思われる下記の二項目に関しては、勘所編として別途設けた。

「軸のイメージと推進力の伝達」では、軸が回転していない状態の推進軸系(図-4.13参照)が、軸が回転し始めるとどのように変化するかや、推力が伝達される際、エンドストップなど各部にどのような力がかかるかについて説明している(図-4.14参照)。

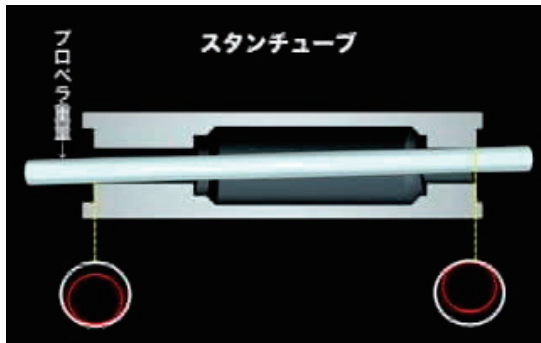


図-4.13 回転していないときの推進軸系

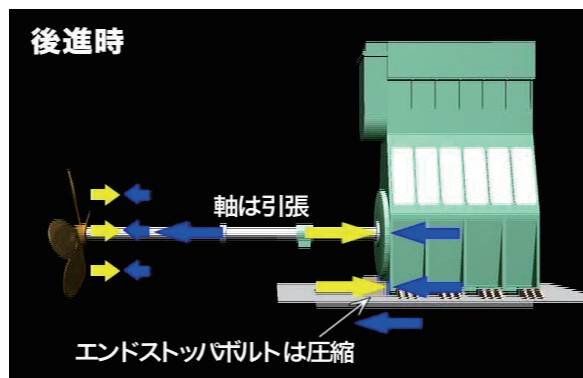


図-4.14 後進時の力の伝達

「基準点」では、作業に応じて、工程毎に異なる点が基準点としてとられることを説明している。例えば、仮見透しでは、主機後部のフレームと船体縦中央断面を正とするが、本見透しでは、中間軸受台位置を正とするなどである。更に、ボーリングが完了してスタンチューブが確定後は、スタンチューブを正とする。図-4.15に仮見透しの、図-4.16に本見透しの、それぞれ作業の様子を示す。また、必要な削代が確保できない場合は、フレームや中間軸受台位置を動かし、基準点位置を設定しなおすことも説明している。



図-4.15 仮見透しの基準点

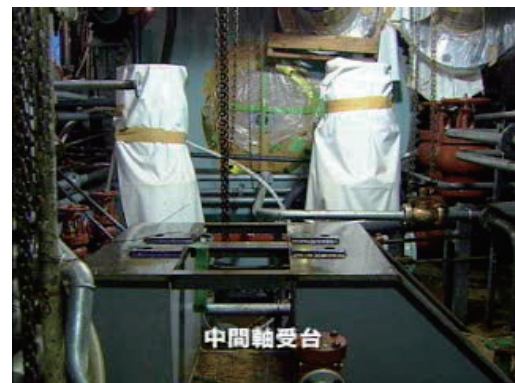


図-4.16 本見透しの基準点

4.5 まとめ

機関据付作業には、非常に多くの作業項目があるが、繰り返し行われる同じ作業は少なく、それぞれ異なる作業が繋がって機関据付作業を構成している。大部分の作業は、一隻あたり一回しか行われられないため、現場で経験して技能を修得するには、他の職種と比較して長い経験年数を必要とする。特に年間建造隻数の少ない造船所ほど、技術の向上に影響しているといえる。経験する機会の少ない作業をいかに早く修得できるかが、機関据付作

業において重要であり、他の職種とは異なっている。

「機関据付（初・中級）の技能研修用映像教材」では、実写と CG を組み合わせることにより、これから機関据付に携わる初心者であっても、繰り返し現場を擬似的に体験でき、技能の向上に役立つものとなっている。複数の造船所において採用実績があり、社内研修などに使用されている。近年の ISO 認証のためには作業標準書の整備が必要であるが、本映像教材は、作業標準書の作成にも有益である。

参考文献

- 1)造船協会機装研究委員会：機関機装第 1 巻および第 2 巻、海文堂、1963
- 2)松岡一祥他：新造船機仕上げ技能研修用教材の作成、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第 8 号(2008)、pp.253-260

5. 電気機装

5.1 はじめに

電気機装で扱う部分は、電源動力装置、通信・計測・航海装置、各部の自動化のための装置、照明等の設計、配置設計及びそれらの施工である。近年、自動化、電気推進化、船内ネットワーク化等により電気設備の重要性がより大きくなっている。

電気機装の設計は、造船所内にて行われる場合と、協力会社等に外注する形で行われる場合がある。設計にあたっては、電力の計算、適した電線の選択、電路の配管・ダクト配置との取り合いの調整等を行う必要がある。

電気機装の工作は、電気関連機器類の設置工事及びそれらに必要な電気動力線・制御線の電線布設工事のみならず、各種機器台や電線布設に必要な電路を船体に設置するための金物の溶接工事までを含んでいる。電路金物設置に付随する溶接工事まで電機機装工作の所掌として含まれている点だが、陸上の電気工事と異なっており、電気に関する知識・技能に加えて鉄工としての知識・技能も必要とされる。

船舶においても他業種と同様に近年電子化により電気関連設備の重要性が大きくなってはいるが、依然として、造船においては船殻工作が機装工作より優位にあり、更に機装工作の中でも配管等の船体機装や機関機装が電気機装よりも優位にある

のが一般的であり、工程遅れや取り合いが生じた場合、電気機装側が譲歩させられ調整されている事例が多い。電気機装は造船所内の電気機装部門で行われている場合もあるが、多くは外注する形で行われていることも関係していると考えられる。

船用電気機装工作の現状と課題を把握し、技能伝承・工数削減要因を抽出するため、平成 20～22 年度に電気機装に関する調査を、中強手造船所の電気工作部門、船用電気機器製造メーカー、船用電気機装工事事業者など延べ 19 回 14 社で実施した。本章では、一般的な電気機装作業について述べるとともに、造船所における電気機装の現状と、平成 22 年度に海技研で作成した「電気機装技能研修用映像教材」について紹介する。

5.2 電気機装の流れ

電気機装は、「設計部門による図面作成」→「電線長計測・切断」→「電路取付」→「機器取付・接地」→「配線」→「結線」→「検査・試験」の順で進められていく。以下にこれらの項目について簡単に説明する。

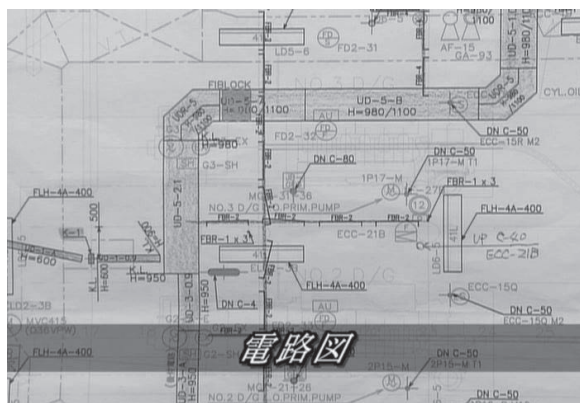
5.2.1 図面及び電線の種類

電装作業に使われる設計図には、「系統図」、「電気機器配置図」、「電路図（図－5.1 参照）」、「電線表」、「配線図」、「結線図」などがある。

「系統図」は、動力、制御・自動化、航海・通信・無線、照明などの用途ごとに分けられた機器間の接続を示した図である。

「電路図」には区画ごとに、電線の通り道となる電路の配置が示されている。

「電気機器配置図」では主要な機器及び電気機装関連の機装品取付位置が示されている。



図－5.1 電路図

「電線表」は、機器間を接続する電線 1 本毎に、電線名、始点・終点となる機器、枝分れの箇所、区画の変わり目などが記号で記されている。

「配線図」は、電路の分岐点に番号を付し、各電線がどのような経路をたどるかを示したもので、電線表とも対応して経路の確認が可能となっている。「電路図」で代用している造船所もある。

「結線図」は、結線作業で用いる。機器の中の端子台には番号が振ってあり、電線の心線に書いてある番号や心線の色により接続先が分かる様に作成されている。

電気機装に用いる電線は用途に応じて色々な種類があるが、中でも最も多く使用されるのは、JISの船用電線であり、電線の種類は記号で表される。例えば図-5.2のように「MPYC-27 1.0」と書かれている場合、最初のアルファベット4文字は順に、＜線心数及び用途＞、＜絶縁記号＞、＜外被記号＞、＜がい装記号＞を表している。



図-5.2 電線記号

5.2.2 電線長計測・切断

電線メーカーからは定尺の長さの電線がドラムに巻かれて出荷される。これを配線に必要なだけの長さに切断し、作業に用いる。電線長さの計測には、図面から読み取る方法と、現場合合わせによる方法がある。

図面から読み取る方法においては、系統図や電線表で、電線の始めと終わりの機器を読み取って、その間を結ぶ電路の水平方向と高さ方向の距離を電路図上の数値から読み取る。あるいは、スケールや針金、キルビメータといった計測器を用いて測り、合計する。これを電線検尺巻取装置にセットし、必要な長さだけ巻き取って切断する。電線の始端と終端には、つなげる機器や電線の長さ、系統図での記号が記される。

現場合合わせの場合は、例えば、発電機から主配電盤への太い電線はドラムのまま現場に持ち込み配線しながら切断する。図-5.3に示すような照明用の線なども、図面を用いて長さを計測した場合には、余裕を取る必要があり、端材が多くなるので、同じく現場合合わせにより電線が切断されている。

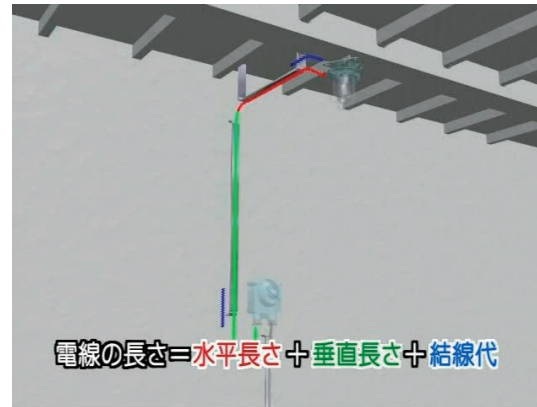


図-5.3 電線の長さ

5.2.3 電路及び貫通金物の取付

電線を固定する金物を電路金物と呼ぶ。多くの電線を通る主な電路を主電路といい、図-5.4、5.5で示される電線トレー・電線ハンガーが用いられる。トレーは配線の美観にこだわらず作業が早く行える一方、ハンガーはトレーに比べて作業の手間がかかるが、固縛力が強くできるので、鉛直部や振動する機器の近くに用いられる。

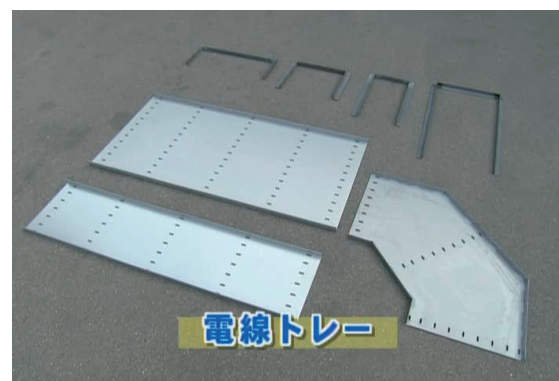
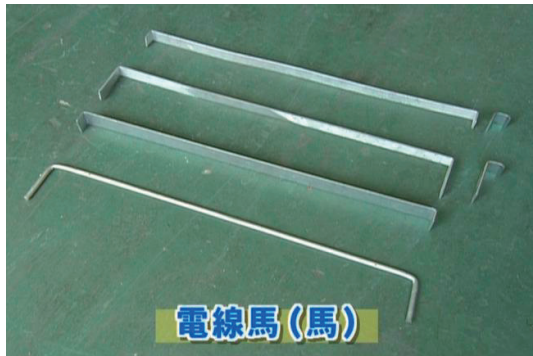


図-5.4 電線トレー



図-5.5 電線ハンガー

主電路から分岐し、少数の電線が布設される電路を支電路と言う。支電路金物としては、フラットバーや形鋼、丸棒を曲げ加工した電線馬（図－5.6 参照）が主に使用されている。支電路は電路図に記載されないことが多いので、系統図から布設する電線の太さと本数を読み取り、適した電路金物を取り付ける。

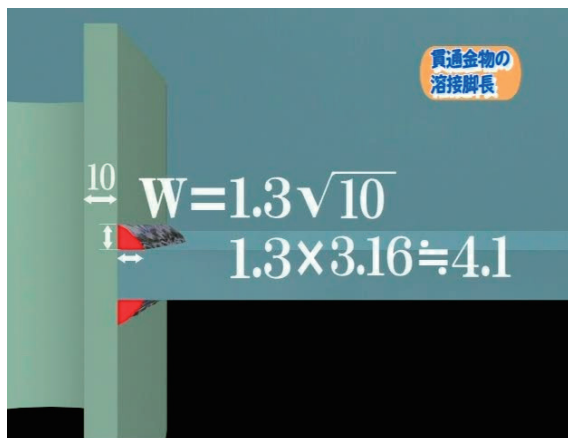


図－5.6 電線馬



図－5.7 貫通金物
(左：コーミング、右：グラント)

電線貫通金物（図－5.7 参照）は、隔壁や補強材を貫通して電線を布設するとき用いる。図－5.8 のように金物の板厚に応じて必要な溶接脚長が決まっている。



図－5.8 電路金物の溶接脚長

5.2.4 機器の取付及び接地

機器取付はほとんどが鉄艤装と呼ばれる別職種の作業であり、電気艤装が担当するのは、小型のスイッチ及び機器箱程度である。しかし、これらの設置位置は、図面では明確に決められていないことも多く、図－5.9 に示す点に注意しつつ現場作業時に決めて取り付ける。一般にこれらの取付位置は日本船舶電装協会のハンドブック¹⁾や社内標準として推奨指針が設けられている。

機器箱は船体に接地される。接地方式には、接地線により接続する「接地線方式」と、機器または電線を直接船体と触れるようにして接続する「メタルタッチ方式」がある。



図－5.9 機器の取付位置

5.2.5 配線

機器間に電線を引くことを配線、または、電線（ケーブル）布設と言う。電線の布設作業では、配線図に示される導入経路に従って電線を送り出し、電路上に通していく。配線図がない場合には、図－5.10 に示すように電路図に系統図や、電線表の情報を基に配線経路を記入して使用する。電線の布設作業は、基本的には太い線、長い線を優先的に配線していく。まとまった数の電線が布設されたら、電線をそろえて巻きバンドをかけ、金物に固縛する。配線後、防火区画を貫通する電線貫通金物にはコンパウンドを詰める。電線布設は人数が必要なので、布設作業を効率よく、かつ手戻りなく行うためには、作業手順を決めておくなどの段取りや作業中の掛け声、布設を終了した作業の消し込みなどが重要である。

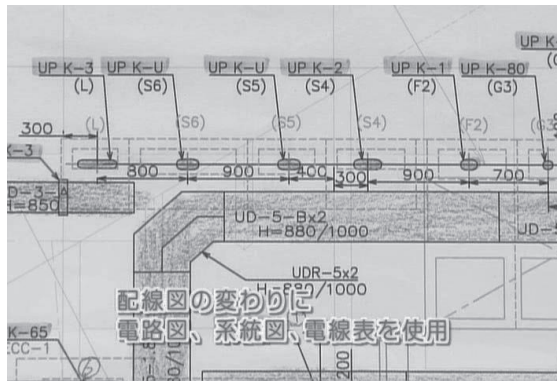
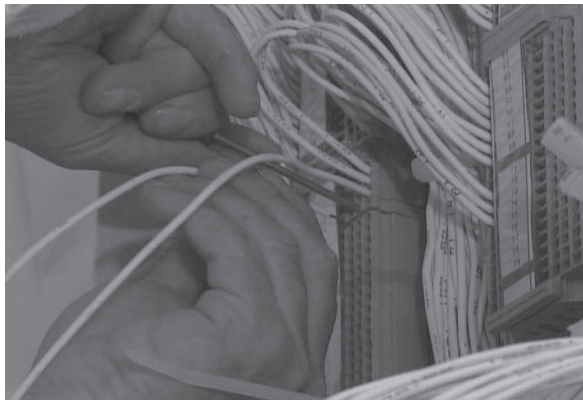


図-5.10 配線作業に用いられる図表例

5.2.6 結線

配線と機器取付が終わると、結線を行う。結線とは、布設した電線の心線を機器に接続し、通電可能な状態にする作業である(図-5.11 参照)。接続を誤ると事故・誤動作につながるので、結線図をよく確認しながら作業を行う。

図-5.11 結線作業の例
(スプリングクランプ式端子台)

5.2.7 検査・試験

工事の各段階では、正しく工事が行われているかどうか、図-5.12 に示す機器や項目に対して船級協会による検査を受ける。例えば、配線検査ではバンド掛けの間隔、貫通部の処理、電線の曲げ半径などが確認される。なお、これらについては事前に社内検査も行われる。岸壁工事や海上公試の際には、「主発電機と主配電盤の性能試験」、「自動制御装置や遠隔制御装置の作動確認」などが実施される。

電気関係設置

- ◆電気機器・装置、動力やライトの電源がルールと一致するか
機関室、居住区の装置、冷蔵庫、曝露甲板、荷蔵区画、
高電圧装置、操舵機の冗長性のある配線
- ◆主発電機と主配電盤の性能試験
- ◆非常用発電機または非常用蓄電池、及び、
非常用配電盤(非常用発電機の起動装置を含む)
- ◆メインライト、非常用ライトの作動試験
- ◆非常用警報の作動試験
- ◆ファン、FO ポンプ、LO ポンプ、
カーゴオイルポンプなどの非常停止の作動試験
- ◆通信システムの作動試験(ホイールハウスと舵機室の
通信システム、電信機、電話)

自動制御装置や遠隔制御装置の作動確認

- ◆主機関、発電機、補機、温度制御装置、圧力制御装置、
ブラックアウトシーケンシャルスタートテスト、
火災警報装置、補機自動切換、MO(no-man)テスト、
機関制御室とホイールハウスと居住区(宿泊)の音声通信手段、
延長警報装置

安全装置関係のテスト

- ◆主機関、補機関、ボイラ、オイルヒータ、焼却装置、
空気貯めタンク、空気圧縮機など

海上公試(動力、制御、警報関係全般に係わる)

- ◆主機関起動、操舵機、主機関遠隔操作、自動制御など

図-5.12 検査項目

5.3 電気艙装における現状

近年の電気機器の発達によって、船舶での電気艙装の占める領域はより広がっており、船内 LAN 等の新たな試みもなされている。また、従来は電動油圧動力によっていたウインドラス、ハッチカバーの様な甲板機器も作業工数の低減を図って電動機による直接駆動へと変化しつつある。本調査研究では、平成20年から22年にかけて造船所4社、電装設計/工事会社10社を訪問し実態調査を行った。本節では、調査を通じて分かった現状及び課題をまとめる。

5.3.1 電装設計

設計手順は概ね仕様書、電力調査表→系統図、機器配置図→回路図→配線図→結線図の様に進む。殆どの図面を社内で作成する造船所から基本計画以外の部分を外注する造船所まで様々である。

(1)体制及び人員

電装設計に関する調査対象11社(造船所3社、電装設計会社8社)の調査結果は表-5.1の通りである。今回調査した事業所の多くでは、少人数で設計が行われている。このため、上記に挙げた全ての図面を出図しない会社もあり、作業者の判断により施工される箇所の割合が大きい。

表－5.1 電装設計部門の年齢構成[人]

造船所・設計会社	30歳未満	30歳代	40歳代	50歳代	60歳以上	計	平均年齢
a	1	3	1	6	0	11	41
b	1	1			3	5	49
c		1		1		2	49
d	5	9	5	1		20	35
e				5		5	50～60
f		1	1			2	35
g	1			2		3	約 45
h				2			約 55
i					1	1	70
j				1	1	2	約 60
k				1	2	3	約 62

(1)電力調査表

電力調査表の結果を基に、負荷率が最大で 80～90%となるように発電機容量が決定される。サイドスラストを持たない貨物船の場合は、荷役時に最大負荷となる。

(2)系統図及び機器配置図

主電路計画を念頭において機器配置設計が行われている。スイッチの設置高等、社内標準として定めているものは記入されないが、操舵室及び機関制御室では機器が密集しているために立面図も作図される。

大物機器の機器台は一品図を作図する。電灯台等は仕様を標準化してリスト形式で発注している。

(3)電路図

設計時には、電線長さの削減が最も意識されている。主電路金物がハンガー電路からトレー電路に変化し、電線固定のためのバンドも押さえバンドから巻きバンドに置き換わったため、配線時の美観には以前と比較して注意は払われていない。ただし、トレー式電路を用いる場合は、高さ方向により大きなスペースを必要とし、かつブロック反転時の先行配線が面倒になるので、ハンガー電路が用いられる場合もある。この他、火災などからの電線の保護を考慮して電路の位置を決定する。特に発電機から主配電盤までの経路には保護回路がないため、経路決定時に注意が必要である。

電路図作成の際には船体構造、配管、ダクトとの取り合いを考慮することが必要である。設計の

初期から電気機装設計者が協議に参加することで、調整が可能であるが、造船所に電装設計部門がなく、設計が外注される場合に、支障が生じ易い。この傾向は空間的な余裕の少ない小型船で顕著である。

電路図は作図しない事業者もあり、作図する場合であっても支電路は作図されないことが多い。図面にて指示の与えられない電路は、現場の作業者の判断によって位置決めされている。電路図が作図される場合でも、電路金物 1 つずつの設置箇所が作図される例と、電路の幅のみが作図され、金物の位置は現場の作業者に任される例に分かれる。

電路が船殻構造を貫通する箇所は、鋼材の NC 切断用データとしては入力されず、専ら現場作業時にガス切断作業で開孔されていることが多い。

(4)配線図

配線図を作成する事業者は少数であった。作図しない場合の配線経路は作業者の判断によることになる。配線図を作図する事業者には、電路の配置情報と系統の情報(電線の始端及び終端の機器)を入力することで、配線経路決定及び電線長さ算出を行うシステムを構築した例があった。

電線の長さは、発注及び見積もりのために設計部で一度算出し、再度現場で計測、切断する例と、設計部で算出した長さで切断し、現場に供給する例の両方が存在する。

(5)結線図

結線間違い削減のために多心線の数を少なくしている例があった。

5.3.2 電装工作

電装工作は建造の各段階順に、ブロック機装での金物取付及び配線→船台(ドック)、機装岸壁での金物、機器取付及び配線→結線→試験の様に進む。布設する電線は都度切断し、配線開始位置の近くに積み込む。

(1)体制及び人員

電装工作に関する調査対象 14 社(造船所 4 社、電装工事会社 10 社)の内、回答の得られた 10 社の年齢構成は表－5.2 に示す通りである。なお、各年代が事業者内で占める割合で表示している。今回調査対象についてみると、一部の事業者を除いて、50 代から 2、30 代への世代交代が進みつつあることが分かる。技量の高い作業者の要望はあるが、人数的には不足感はない。ただし、造船所の工程により作業負荷の変動が大きいため、スポット的に作業を外注している。造船所と協力会社の電装作業者が作業分担をする場合、機関室は造船所側、居住区及び船体部は協力会社側となる例が多い。

表-5.2 電装工作部門の年齢構成[%]

造船所・工事会社	30歳未満	30代	40代	50歳以上
i	11	22	15	52
ii	45	27	0	27
iii	32	23	13	32
iv	平均 30 歳代後半			
v	40	20	16	24
vi	36	21	7	36
vii	平均 50 歳代後半			
viii	38	25	25	13
ix	7	21	29	43
x	27	30	20	23

(2) 先行艤装

ブロック艤装は反転状態で作業が可能であり、特にデッキ裏に電線が多い電装工作では効率的であるが、造船所によってはブロック置場の敷地面積に制限があるため、十分なブロック艤装期間を確保できていない。また、先行配線した電線でブロック間をまたぐものについては、図-5.13のようにブロック端で巻いた状態で置かれるが、特にブロックが小さい場合はかえって非効率となる。

ユニット艤装は特にレーダーマスト、船橋のワイパーなど、ブロック搭載後の工事が困難な機器に対して行われている。

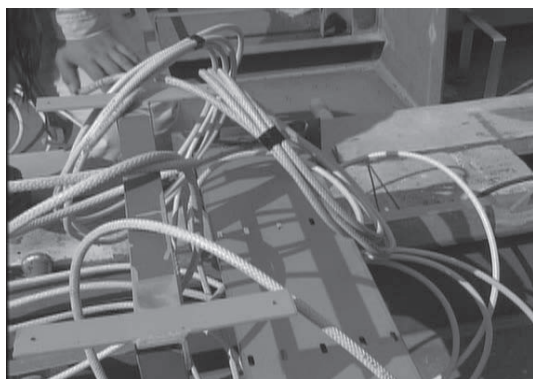


図-5.13 ブロック端にまとめられた電線

(3) 金物取付

配管及び通風ダクトと電路の干渉が発生し、作業時に電路の位置変更が必要となる箇所がある。電装設計と配管設計を別々の事業者で行っている

場合には特に事前には発見し難い。

(4) 配線

電線は溶接及び溶断により損傷するところがあり、これらの作業完了後に配線を実施するのが理想である。従って、工程変動の影響を受け易い。造船所に電装の担当職員(工程管理担当者)がいない場合に調整がなされないことが多い。

配線経路の検討が実作業直前に現場で行われている例がある。配線作業は従事する人数が多いため、手待ちによる影響が大きい。また、経路及び配線の順序を決定する作業は電装設計にかかる知識も必要となってくるため、熟練を要する。

(5) 結線

接続には圧着端子を使用するか、導体を直接接続可能なスクリーレス端子台を用いる。長い経路を布設する電線は、適当な位置に接続箱を設けて結線するケースが多いが、結線工数及び電線切り代削減を目的に接続箱を設けない例があった。

一部の機器に関しては、メーカーから派遣される作業員が結線作業を行っている。

5.3.3 電気艤装の課題

実態調査を基に下記項目を電気艤装の課題として抽出した。

- ① 電装に係わる作業は様々な工程段階で施工が必要である。
- ② 関連する機器の種類が非常に多く、更に、それぞれに応じた作業、電線またはケーブル処理があり、修得すべき知識及び技能が膨大である。
- ③ 特に電路計画において、他の艤装設計との協議が不十分のため干渉が生じている。
- ④ 電装作業は工程変更の影響を受け易く、電気艤装に通じた工程管理担当者による調整が必要である。
- ⑤ 熟練の必要な配線経路の検討時に、手待ちが生じている。

5.4 電気艤装技能研修用映像教材の開発

平成22年度に著者らが作成した「電気艤装技能研修用映像教材」について紹介する。

電気艤装作業の一連の項目をすべて含んでいるが、これから電気艤装に携わる初心者にも理解できるよう、実写ではわかりにくい箇所については、CGを用いて詳しく説明している。機器名、部位名、作業名等に関しては、映像中にスーパーを重ねて表示している。

表-5.3に映像教材の内容を示す。メニューとして自動表示され、オールプレイ(電気艤装の個別技能は含まれない)又は項目ごとの再生のどちらかを選択可能である。

表－5.3 映像教材の内容

1 章「電気機装の概要」 30 分
1. はじめに
2. 電気機装の流れ
3. 作業に必要な図面
4. 電線の種類と用途
5. 電線長計測と切断
6. 電路金物
7. 機器の取付と接地
8. 配線（ケーブル布設）
9. 結線
10. 検査・試験
11. 作業の効率化と安全
2 章「電気機装の個別技能」 61 分
1. 電線長さの計測
2. 電線切断
3. 電線積込
4. 電路の取付
4.1 位置決め
4.2 仮溶接
4.3 本溶接
5. バンド掛け
5.1 巻きドライバー
5.2 結束機
6. 貫通部処理作業
6.1 グランドの処理
6.2 防火処理
7. 結線
7.1 線端処理
7.2 動力用ケーブル
7.3 太い動力用ケーブル
7.4 通信・制御・計測用ケーブル
7.5 照明用ケーブル
7.6 高周波同軸ケーブル
3 章「配線計画及び配線作業」 25 分
1. 配線経路の計画
2. 配線作業手順
3. 配線作業
4 章「主要な系統の概要と動力系統」 15 分
1. 動力系統
2. 制御・自動化系統
3. 航海・通信・無線系統
4. 照明系統

教材 1 章「電気機装の概要」のチャプターでは、電気機装の一連の作業順に、各作業の技能の要点をまとめている。主な内容は 5.2 節「電気機装の流れ」で示している。

教材 2 章「電気機装の個別技能」のチャプターでは、教材 1 章「電気機装の概要」中で詳しく説明すると冗長となり、作業の流れが掴みにくくなると思われるが、各ケーブル毎の結線方法など更に詳しい説明が必要な作業について個別に取り扱っている。このうち

「バンド掛け」、「貫通部処理作業」、「結線」について本節で紹介する。

また、造船所の規模によっては、詳細な電路図を設計部で取り扱っておらず、電装工作技能職が電路の取付位置を含めて計画しなければならない。電路図が設計部で製作される造船所であっても、電装工作技能職が電路図に示される電路計画の考え方を十分理解した上で作業にあたれば、より効率的に進められる。そこで、「配線計画及び配線作業」のチャプターを別途設けることとした。

事項以降で、5.2 節では紹介していない個別技能、配線、系統について数例を挙げて教材の内容を説明する。

5.4.1 バンド掛け

電線を電路に布設した後、電路金物と電線をしっかり固定するために金属のバンドを巻き付ける作業がバンド掛けである。おおよそ幅 50mm 以下の電線の束にバンド掛けする場合は巻きドライバー、それ以上の電線の束にバンド掛けをする場合は結束機を使用する。図－5.14 のようにバンドの間隔には規則がある。

バンドの間隔 JG 船【船舶設備規程第 256 条の第 3 項】		
ケーブルの外径 (mm)	帯金の間隔 (mm)	
	がい装無	がい装有
13 以下	250	300
13 を超え 20 以下	300	350
20 を超え 30 以下	350	400
30 を超える	400	450

バンドの間隔 NK 船【NK 鋼船規則 H 編 2.9.14】		
	支持間隔 (mm)	固定間隔 (mm)
暴露区域以外に布設されるケーブルであってハンガー等の上に水平に布設されるもの	400 以下	900 以下
暴露区域に布設されるケーブル及び水平以外で布設されるもの	400 以下	400 以下

図－5.14 バンドの間隔規則要件
(上図：JG、下図：NK)

バックルが電路金物側にあるとバンドがゆるみやすくなるのでバックルは出来るだけ電線の上に持ってくる。また、細い電線の上にバックルを

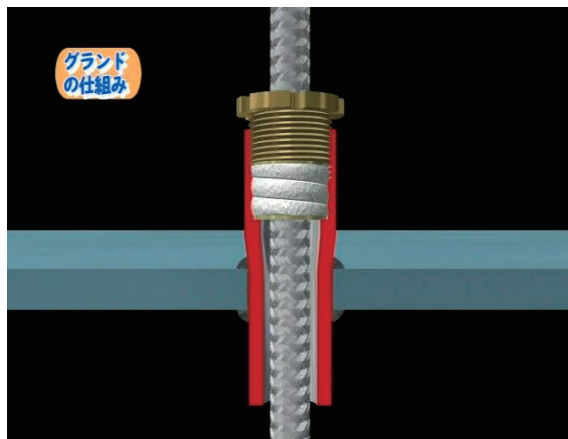
持って行くと、バンドを締めたときにバックルで線をつぶす恐れがあるので、出来るだけ太い電線の上でバンドを締める（図－5.15 参照）。



図－5.15 バックルの位置

5.4.2 貫通部処理作業

グラントは締付グラント、体、座金、ガスケットで構成される（図－5.16 参照）。ガスケットを圧縮して電線とのすき間を埋め、防水の効果を発揮するようになっている。



図－5.16 グランドの仕組み

防火区画を貫通している貫通金物には、電線を布設した後にコンパウンドを充填し、火災時の炎が広がるのを防ぐ。防火構造には図－5.17 のように等級があり、貫通金物の長さや充填材が異なるので注意が必要である。

＜防火構造の等級＞				
A 級仕切り：1 時間の標準火災試験中、炎及び煙の通過を阻止する				
等級	A-60	A-30	A-15	A-0
規定時間	60 分	30 分	15 分	0 分
B 級仕切り：標準火災試験の最初の 30 分までの間、炎の通過を阻止する				
等級	B-15	B-0		
規定時間	15 分	0 分		
*規定時間内において、火にさらされていない側の平均温度が最初の温度よりも 140℃を超えて上昇しないように、かつ、いかなる点における温度も最初の温度よりも 180℃（B 級仕切りにおいては 225℃）を超えて上昇しないようにされていること				
C 級仕切り：承認された不燃材で造られた仕切り				
詳細は船舶防火構造規則、日本海事協会・鋼船規則 R 編などを参照				

図－5.17 防火構造の等級

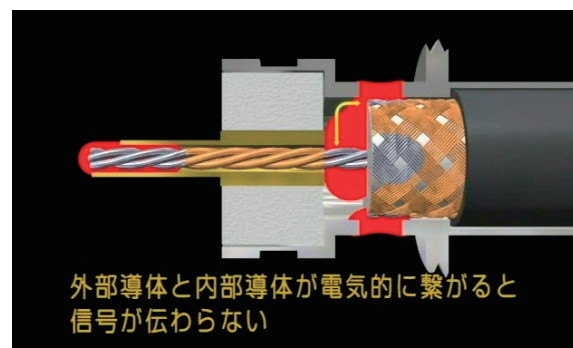
5.4.3 結線

結線作業は、線端処理、機器へ電線導入、心線裁き、接続・バンド固定の手順で行う。

動力用ケーブル、太い動力用ケーブル、通信・制御・計測用ケーブル、照明用ケーブル、高周波同軸ケーブルの 5 種類のケーブルに関して、注意点を詳しく説明している（図－5.18、5.19 参照）。



図－5.18 機器用グラントの先端処理



図－5.19 コネクタシエルの注意点

5.4.4 配線計画及び配線作業

配線作業は他の作業と違い関わる人数が

多く、作業に取りかかる前の段取りをしっかりと行い、効率良く作業していくことが重要である。

配線の実作業の前に、それぞれの電線がどのような経路(電路)を通して布設されるかを確認する必要がある。また、電路図が設計部から得られないときは、電路そのものから計画していかなければならない。

以下の手順で順次経路を決めていく。

- ①系統図を確認し、電線の始端および終端の機器を電路図や電気機器配置図から見つける
- ②それぞれの機器からデッキ裏か天井へ伸びる経路とし、直角・水平な最短経路で繋ぐ

最短経路で繋ぐことで電線長さが短くなり、コスト削減および作業効率向上につながる。ただし、経路を考える上で、機器の操作・整備や交通の邪魔になるかどうかも考えなければならない(図-5.20 参照)。また、図-5.21に示すように、系統の二重化を規則で義務づけられているものもある。

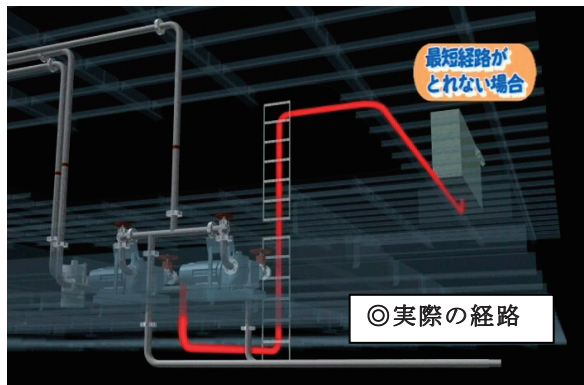


図-5.20 経路の決定

<二重化が義務づけられている機器>

「照明設備並びに船内通信及び信号設備に至る電路からの動力設備及び電熱設備に至る電路への分岐禁止」を前提として、以下に挙げるものが二重化(非常又は予備系統含む)されている。

- ・機関区無人化船における機関部船舶職員室と制御室間の通話装置
- ・無線設備を操作する場所の照明装置
- ・航海灯 ・信号灯 ・紅灯及び停泊灯
- ・電源から航海灯制御盤までの電路
- ・電動操舵装置及び電動油圧操舵装置
- ・自動スプリンクラ装置
- ・退船警報装置 ・火災探知装置
- ・その他として、船舶設備規程第二百九十九条に示される機器

図-5.21 二重化規則要件

配線経路の計画の後に、配線の開始場所および配線の順序を決定する(配線計画)。

電路の始端または終端のどちらかの側から電線を布設していくことが一般的であるが、曲がりの多い経路の場合は、曲がり部に人を配置するなど作業人数が増えてしまう。細い電線であれば、図-5.22の様に途中から片方ずつ電線を通すことで、少人数でも作業が容易になる。

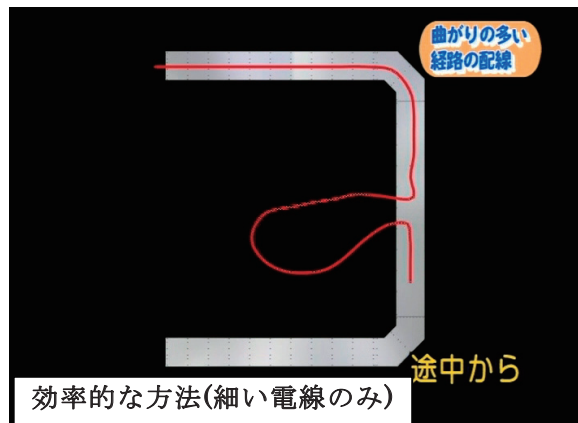


図-5.22 曲がりの多い経路の配線

5.4.5 電気系統

船の主な電気系統として、

- ①動力系統
 - ②制御・自動化系統
 - ③航海・通信・無線系統
 - ④照明系統
- がある。



NO.10	自動操舵装置又は自動航路保持装置
英名	Heading Controller System又はTacking Control System
略語	Heading Controller Sys. 又はTCS
通称オートパイロット。舵の動作は最小にとどめながら設定された針路方向に船首を自動保持する装置。右図は操舵装置であり、自動操舵装置はその一部として組み込まれている。	

図-5.23 機器リストの一例

本教材においては、外航船を例にこれらの系統と電気機器について解説するとともに、各機器について写真と説明文を記載した「機器リスト」を付録としている。機器リストの1例を図-5.23に示す。

5.5 まとめ

電気艀装作業では、繰り返し行われる作業も多く、配線経路が複雑になる長い電線ほど、複数の電装作業で実施され、主回路から機器までを接続する支線は経路が複雑でないため、図面に記されていない場合が多い。よって一部の職長クラスの電装作業者が「電線表」や「配線図」を読み取って他の電装作業者に指示を出すことができれば、作業が滞りなく進んでいく面もある。しかしながら、各電装作業者が適切な配線経路の計画の考え方を把握して作業に望めば、作業前の段取りもスムーズでより効率良く作業を進めることが出来る。

「電気艀装技能研修用映像教材」では、設計部門が製作する図表類がしっかりしている造船所ほど、日頃、電装作業者が考える機会が少なくなる電路計画の考え方について、理解を深めることが出来るよう「配線計画及び配線作業」のチャプターを個別に設けている。電装作業の効率化に有益であり、既に一部の電装工事会社の研修において、本教材が採用されている。

参考文献

- 1) 社団法人日本船舶電装協会：通信講習用船舶電気装備技術講座〔電気艀装工事編〕(初級)、社団法人日本船舶電装協会、2003
- 2) 岩田知明他：電気艀装技能研修用教材の作成、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第11号(2011)、pp.151-162

6. 艀装工程管理

6.1 はじめに

造船所における工程管理は、建造作業が計画通り進むように計らい、また必要に応じて人員、計画、工法の調整を行う作業である。工程管理にあたる職員は、担当、スタッフとも呼ばれている。艀装工程は船殻工程と比較して、多様な職種の作業が多く、多くの場所で同時並行的に進行すると言う特徴がある。本章では、造船所における艀装工程

管理に関する調査と、調査結果に基づき作成した艀装工程管理技術研修用映像教材について述べる。

6.2 工程管理の流れ

本節では、工程計画を含めて工程管理の流れについて述べる。

6.2.1 工程計画

工程計画とは、建造開始に先立って、建造に要する工数及び工期を予測し、作業手順、建造の日程、人員及び物品の手配を計画する作業である。工程計画に基づき、作業日程について表したものが工程表¹⁾である。工程表は記載の細かさに応じて、大日程表、中日程表、小日程表がある。

(1) 大日程表

大日程表は、図-6.1に例示する様に、主に船殻の加工開始、船台あるいはドックへのブロック搭載開始日、進水日、引き渡し日といった工事の節目となる主要日程(節点)と共に建造全体の大まかな日程を記載したものである。

節点は大きな物品の納期や式典、契約に関係することが多く、容易には変更されない期日となるので、まずこの節点日程を守ることが出来るように計画を行う。所要の工数は、艀装に関しては配管の重量、電線の長さなど、管理物量が判明しているか、あるいは、同型船の建造実績があればより精度良く予測可能であるが、大日程計画段階では艀装詳細設計までは完了していないため、過去の実績から船殻重量及び船種を元に概略予測して計画する。各節点日程は平行する他の建造船の計画を鑑みつつ、引渡し予定日より逆算する。

(2) 中日程表

中日程表では、大日程表を基にして、船体艀装、電気艀装、機関艀装、塗装の担当毎に作成することが一般的である。それぞれの作業区画に対して、作業項目、作業の順序を計画し、検査日程等のより細かい節点日程を記載する。中日程計画段階では、作業負荷の平準化が意識される。平準化により工場の設備及び人員配置を効率化し、コストの低減を図ることが出来る。平準化を大規模かつ定量的に行うために工程管理システムを導入している事業所もあり、システム上では、図-6.2のように作業を項目化し、相互の関連性(順序)、工数、配員を入力することで、数値的に計画を立てている。ただし、作業の順序や平準化を意識することは、システムを用いずに工程計画を行う場合であっても必要になる。

(3) 小日程表

小日程表は中日程表を更に詳細にし、その日毎の作業内容を実作業にあたるチーム(班)や各人

担当者を置く例が見られた。

年齢構成を見ると、経験年数20～30年のベテランと経験年数数年程度の若手という構成が多い。このため、人数的には十分と考えられているが、経験の伝承が不十分で能力的には不足感が持たれている。

6.3.2 工程計画及び工数の管理

大日程表に関しては、計画部門が作成する場合もあり、工程管理に携わる担当者は、主に中日程表の作成を行っている。工程計画のためのシステムを導入している事業所がある一方で、市販の表計算ソフト等で工程表の作成を行っている例が多い。

艤装工程は船殻工程と比較して作業の細分化及び工数の把握が進んでおらず、管理においても節点日程を守ることに重点がおかれている。このため工程計画上也、工数の平準化が定量的には行われていないことが多い。敷地面積の小さい造船所の場合は、設備面及び船殻工程の制約により工程が決まる傾向が強いことも、工数平準化の困難さを助長している。

6.3.3 工程管理の日常業務

工程管理担当者の1日の業務形態として、デスクワークは1～2時間程度であり、それ以外は現場での進捗管理、調整が主である。作業上の細かな指示を与えることは少ないが、トラブルの発生時には主体的に解決を図り、次回へフィードバックを行うことが求められている。

船殻工程の変動及び検査での不具合発覚時に工程の変更が必要になることが多い。工程変更のために他部署との調整が必要となり、その際、自身の分担外の作業の手順まで理解できていれば調整が円滑に進む。

6.3.4 艤装工程管理の課題

実態調査を基に下記項目を艤装工程管理の課題として抽出した。

- ①節点日程の遵守に重きを置いたスケジュール管理はもとより、工数低減及び平準化をも目的とした工程管理を行う必要がある。
- ②艤装工程は、大きく見ても機装、電装、船装、塗装と分かれており、更にそれぞれの職種内の作業項目、扱う機器の数が多い。このため、建造の流れや作業内容を把握するために長い経験が必要となっている。
- ③艤装作業の項目化、順序づけが明文化されておらず、工程管理担当者の経験に依存している。

6.4 艤装工程管理技術研修用映像教材の開発

前節にて挙げた課題に対し、特に工程管理業務初心者に対して理解を深めることを目的とした研

修用映像教材の開発を行った。本教材はDVDに収録し、映像と音声により解説を行う形式とした。表-6.1に教材の構成を示す。前節の課題に対応し、工程の細分化及び工数の平準化の考え方についての解説を取り入れている。なお、教材の全編を視聴すると60分程度となる。

教材1章「工程管理」では、導入編として、図-6.3の様に工程管理が必要な理由及び造船所における工程管理者の位置づけについて解説を行っている。

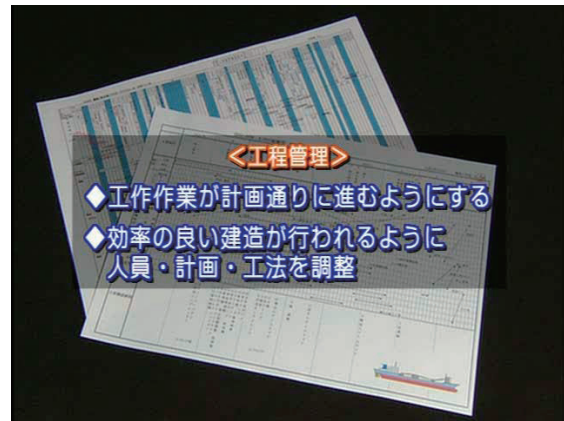
建造工程は、天候、資材入手の遅延、前工程の遅延等により常に計画から変動する要因を抱えている。円滑な建造作業が行われるよう、進捗状況を把握し、早い段階で問題解決を行うために、工程管理が必要である。また、工程管理により作業に区切りを設けて、統制のとれた建造を行うことが出来る。この様にして、作業の負荷変動を少なくし、かつ次回に向け工数のより少ない工法を検討していく。この役割を現場の作業者が直接行くと、その間作業の停滞を招くので、作業者は作業そのものに専念出来るように工程管理担当者を別途設けている。

表-6.1 教材の構成

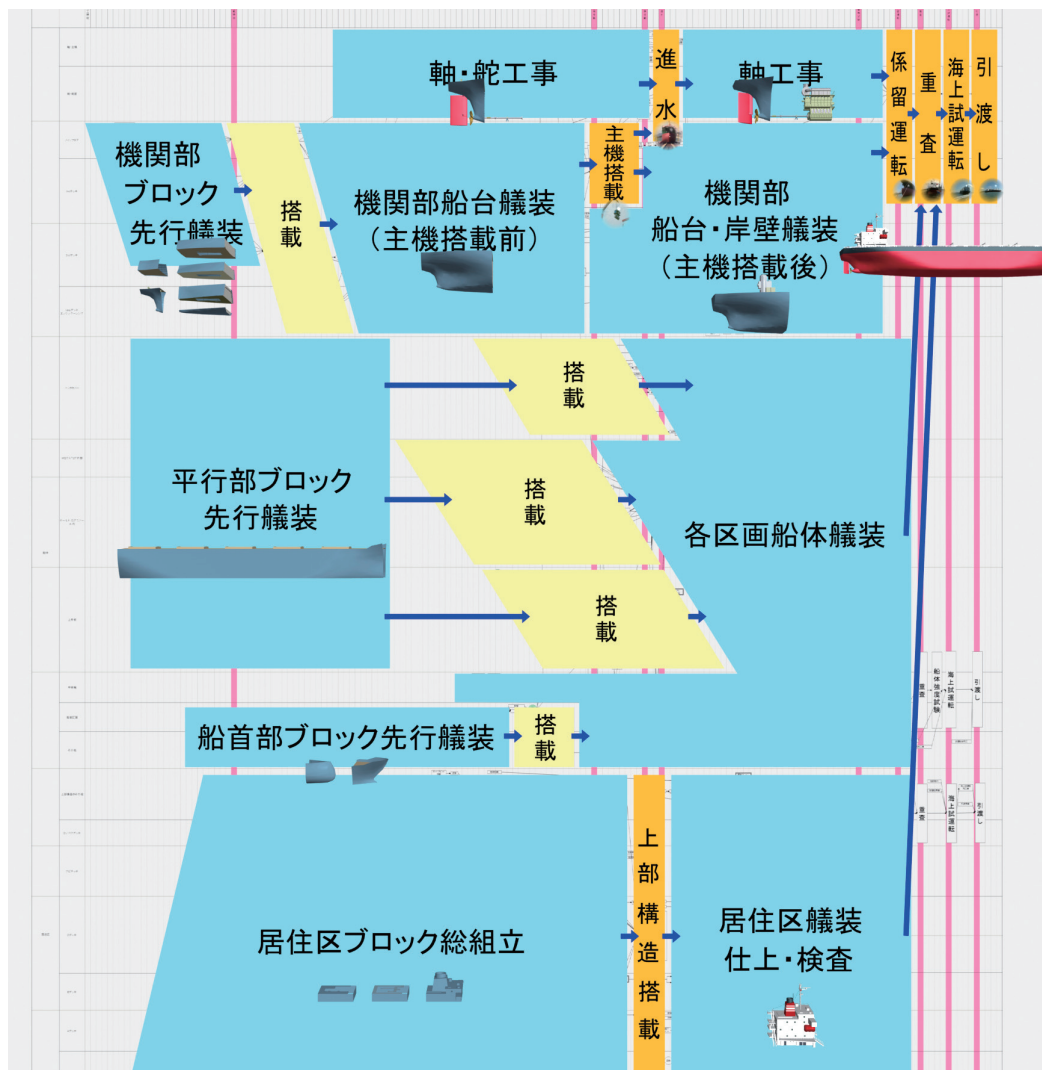
1章	工程管理
①	工程管理
②	工程管理者
2章	船舶の主要構成と艤装工事の流れ
①	工程ネットワーク
②	先行機装
③	ブロック搭載
④	機関機装
⑤	船体機装
⑥	居住区機装
⑦	進水後の機装
3章	工程計画の作成
①	工程表と節点
②	中日程計画の作成について
	・工程ネットワークと工数
	・平準化の基礎
	・平準化の応用
4章	工程管理業務の流れ
①	節点
②	進捗の管理
③	検査・試験の実施
④	トラブル対応

教材2章「船舶の主要構成と艤装工事の流れ」は、工程管理者が自身の担当職種以外にも含めた艤装全体の工程について理解を進める内容としている。先行機装から始めて、建造の進行とあわせて船台での機装、進水後の機装、試運転と解説して

いる。更には、作業が細分化、項目化できること、また、それらの作業には順序があり、相互に関連づけ可能なことを解説することが目的であり、教材中ではこの関連づけられた工程を「工程ネットワーク」と呼んでいる。工程ネットワークの作成によって、工程情報の明文化、共通化が可能となり、6.3.4 項で示した課題②及び③を解決することが出来る。教材では、まず図－6.4 に示す簡略化した工程ネットワークについて説明し、ネットワークが艤装作業だけでは成立せず、図－6.5 に例示する様に船殻工程(ブロック出棟、搭載等)からも強く影響を受けていることが分かる様にしている。その後、それぞれの区画の工程について、図－6.2 の様に詳細な工程ネットワークの解説を行う構成としている。



図－6.3 工程管理の役割



図－6.4 簡略化した工程ネットワーク



図-6.5 上部ブロック搭載までに艤装品搭載を完了させる例

教材3章「工程計画の作成」では、工数の平準化を行いながら中日程計画を作成するための基礎的な考え方を解説している。教材2章で取り上げた工程ネットワークを基に、船体艤装工事(ハッチコーミング/ハッチカバー取付)を例として、工数と配員から工期を設定し、節点日程を守る範囲で作業開始時期を調整することで工数の平準化を行った例を示している(図-6.6 参照)。

教材4章「工程管理業務の流れ」では、日常の工程管理の実務について、教材1、2章にて節点として解説した項目に対しどのような対応が行われているかを解説する。艤装工程では、多くの検査及び試験が節点として存在し、各節点までに完了すべき作業を把握すること、検査前の社内試験(図-6.7 参照)を実施すること、トラブルの再発防止を図ることで、品質の向上にだけでなく、工程の維持にも繋がることを解説している。

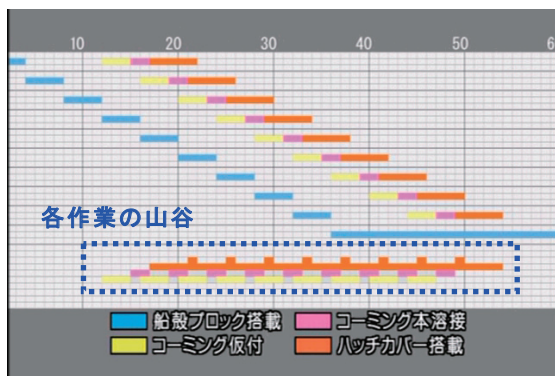


図-6.6 1日毎の工数の累計(山積)と平準化に関する解説

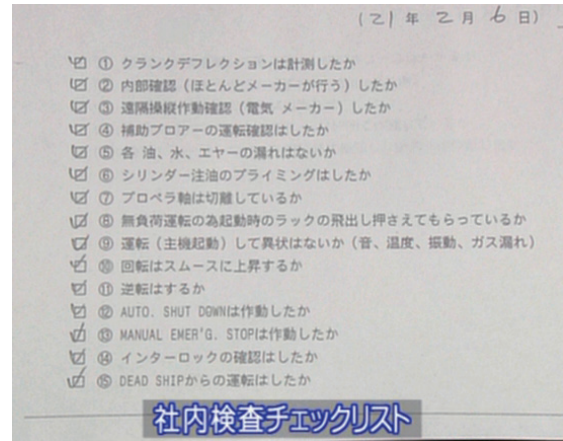


図-6.7 チェックリスト化された社内検査の確認項目

6.5 まとめ

船殻のブロック建造法の発展と共に、艤装工作も先行艤装、ユニット艤装が取り入れられて効率化が進み、工程管理の面でも PERT(Program Evaluation and Review Technique)法を用いたシステムの導入により定量化が図られつつある。しかし、実行可能な工程計画を立て、かつ円滑な作業の進行を担保する上では、工程管理担当者の果たす役割が今後とも重要であると考えられる。造船所の担当職員の世代交代に伴って、ベテランの暗黙知を文書化し、技能の伝承を行おうとする動きも見られ、本章で紹介した映像教材もこれに資することを期待する。

参考文献

- 1) (社)造船協会鋼船工作法研究委員会：造船艤装管理，海文堂、(1966)
- 2) 岩田知明他：艤装工程管理者の教育用教材の開発、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第10号(2010)、pp.105-112

7. ぎょう鉄の効率化

7.1 はじめに

著者らは、曲り外板の加工に関する外板展開ならびにぎょう鉄作業について、約10年間に渡り研究を実施してきた¹⁾⁻²³⁾。そこでは、曲げ加工の科学的解明を基礎とし、新しい外板展開法の開発、現場でのぎょう鉄作業用の映像教材(ビデオ)等の開発、加えて、最近では曲げ加工全体の更なる効率化を図るため、プレス加工に着目したプレス施工支援システムの開発を行っている。

著者らによる曲げ加工に関する科学的アプローチは、曲面形状の幾何学的特性に基づいていることが特徴である。複雑な曲りの船体曲面外板を、曲率線を用いて互いに独立となるよう成分分けし、それらにプレス加工とガス加熱加工を対応させる。

本章では、これまでの著者らの曲げ加工に関する研究のうち、曲率線に基づく新しい船体曲面外板展開法「曲率線展開法」と、現在研究を推進中である「プレス施工支援システム」について報告する。これらの研究は、特に、曲面形状の幾何を解析的に取り扱っている研究事例である。

7.2 船体外板と曲げ加工

船体を構成する曲面外板は次のような手順で加工される。まず、船体線図上で分割された外板一枚ごとを展開ソフト等で平面に展開する。次いで NC マーキング・NC 切断機により、鋼板から平面部材を切り出す。その後、プレス機やローラーベンダー等を用いて冷間曲げ加工を行い、更にガスバーナ等による熱曲げ・熱絞りを行って所定の曲面形状を完成させる。この手順のうち、後段の冷間加工および熱加工により外板を成形する工程を「ぎょう鉄」と呼ぶ。ぎょう鉄は、造船における職人技の代表例として扱われることが多く、特に習得が難しい技能とされる。ぎょう鉄作業の困難さの要因としては

- (1) 曲面の 3 次元形状イメージ
- (2) 目的形状までの加工手順の立案
- (3) 思い通りの加工（特に熱間加工）

が挙げられる。こうした難点のため、ぎょう鉄には以下のような問題点がある。

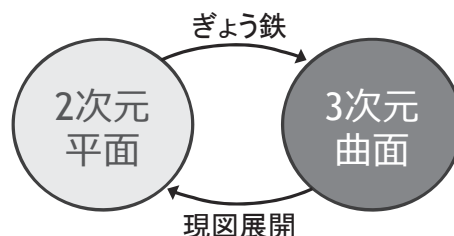
- (a) 理論が無く、経験がベースである
- (b) 作業方針が職人まかせである
- (c) 仕上がり形状にばらつきが生じる
- (d) 複雑な外板形状への対応

海技研では、ぎょう鉄加工の効率化および作業標準化への取り組みとして、ぎょう鉄に最適な外板現図展開手法を研究し、その成果を組み込んだプログラムパッケージを開発した。この手法では、曲面形状ならびに外板展開を、微分幾何学を用いて厳密に取り扱うことにより、幾何学的変形（曲げと絞り）を定量化し、ぎょう鉄加工の作業指示線を与えることが出来る。ここでは、この外板現図展開手法とその工程改善効果および今後の更なる生産性向上への取り組みについて述べる。

7.3 曲率線展開法

ぎょう鉄では、平板から目的の曲面を形成する。設計段階において、目的の曲面に相当する平板形状を求める必要があるが、これを「現図展開」と

いう。平板を曲面に加工するぎょう鉄と、曲面を平面上に展開する現図展開は、原則的に逆作業（図－7.1 参照）である。設計段階で曲面をどのように平面に展開したかが判っていれば、現場でのぎょう鉄作業の方法は一義的に定まる。



図－7.1 現図展開とぎょう鉄

しかし、これまで長く使用されてきた展開法はその展開原理に仮定や近似を含んでいるため、合理的な展開とは言えない。造船における展開法は 1950 年代の三田村²⁴⁾による「測地線展開法」が現在も主流となっている。測地線展開法は、曲面内の任意の 2 点の最短距離を結ぶ曲線（測地線）を直線に展開する方法だが、測地線の求め方が近似的であることや展開に伴って生じる伸ばしを原理的に考慮できないことなど問題点がある。他にも、板を細かく区切って展開を行う「真金送り法」、「送り返し法」、「タスキ送り法」など^{25),26)}があるが、展開作業に手間がかかることや現図場での作業を要する場合があるため、特にスタンプレームや船首バルバスバウ付近など、曲面形状が複雑で測地線展開法では展開精度が期待できない外板に用途が限られている。近年では、これらの従来展開法を搭載した展開システムが導入されているが、展開過程がブラックボックス化し、どのような展開を行ったかが不明な場合がある。このような場合には、現場へ適切な情報あるいは作業指示を伝えることが出来ない。

また、ぎょう鉄で取り扱う曲面は、そのほとんどが非可展面（伸縮させずに平面に展開することが出来ない曲面。数学的にはガウス曲率が非零の曲面と規定される）である。非可展面の展開方法は無数に存在するが、最適なぎょう鉄作業方法に応じた展開は唯一に定まる。最適なぎょう鉄作業法とは工数が最小となる作業法であり、その要点は「工場設備が許す限り、大きい曲りには冷間加工を用い、非可展面の測地測度の調整に熱を用いること。また、熱による調整作業量が最少となるように冷間曲げを行うこと」である。ぎょう鉄作業のうち、熱加工は冷間加工に比べ難度が高く、特に熟練した技能が必要とされる。このため、工

数を最少とするには、加工の難しい工程(熱加工)を可能な限り少なくするというのが「最適なぎょう鉄」の発想である。具体的手順としては、図-7.2のように、プレス等による曲げ(冷間加工)とガスバーナ等による絞り(熱加工)を独立成分(直交成分)として扱い、加工するのが最適なぎょう鉄となる。この最適なぎょう鉄作業に対応する展開法として、曲率線を展開の基線(および、なぎょう鉄作業における施工指示線)とする展開法「曲率線展開法」を開発した。

曲率線とは、曲面上の最大曲率および最小曲率の方向(主方向)をそれぞれ結んだ2組の曲面上曲線であり、互いに直交する。曲率線は曲面の曲りが最も際だった方向を走る曲線を表す。曲率線展開法の骨子は、上記の最適なぎょう鉄作業方法における、冷間加工を行う大きい曲りを曲率の絶対値の大きい曲率線方向(以下では第1曲率線と呼

ぶ)に、測地測度の調整のための熱絞りを曲率の絶対値の小さい曲率線(以下、第2曲率線)方向にすることである。曲率線には測地的ねじれがないため、測地的に展開(測地的曲率を保持したまま、法曲率成分を捨象して実長展開すること)すると、平面に展開することが出来る。このため従来の展開方法とちがって、仮定を設けずに厳密な展開が出来る。曲率線による測地的展開の概念図を図-7.3に示す。

測地的に展開した第1曲率線を、同じく測地的に展開した第2曲率線を用いて伸ばしの量が最小となるように接続することで曲面全体の平面展開を得る(図-7.4参照)。各曲率線における伸ばし量の総和が最小となるように接続の第2曲率線を定める。曲率線の平面への展開および曲率線同士の接続は幾何学的に厳密に行うことが出来るため、曲りや伸ばしの箇所・量を定量的に把握することが出来る。

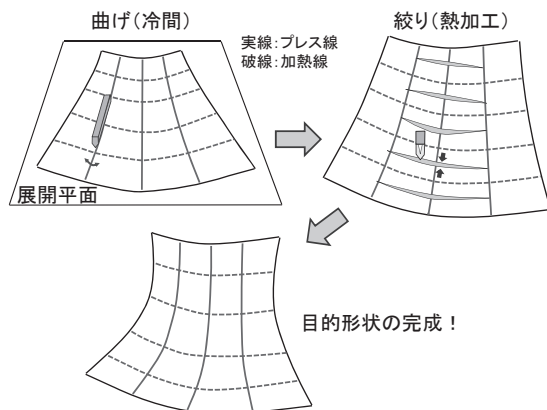


図-7.2 最適なぎょう鉄の考え方

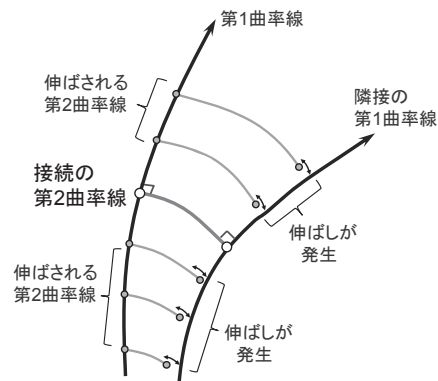


図-7.4 曲率線の接続

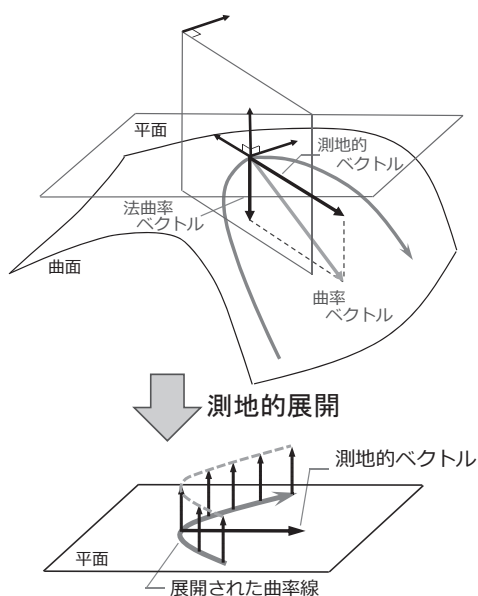


図-7.3 曲率線の測地的展開

7.4 曲率線展開システム

曲率線展開法を現場適用するため、同展開法を組み込んだ外板展開プログラムパッケージ「曲率線展開システム」を開発した。本システムは現在、国内大手造船所において生産ラインに組み込まれ成果を上げている。また、その他の造船所やブロック製造会社からの引き合いも多い。

図-7.5に曲率線展開システムのインターフェース画面と外板展開結果の例を示す。また、図-7.6にシステムの出力例を示す。システムは外板展開図のほか、3D図と曲げ型図のCADデータ(DXF形式)および曲げ型寸法を記録したCSVファイルを出力することが出来る。

曲率線展開システムの導入による工数削減効果を確認するため、実証実験を行った。従来方針での加工と、曲率線展開結果(図-7.7上参照)に基づく冷間曲げを行った場合の加工で施工工数を比較した。プレス加工はライナーを使用するな

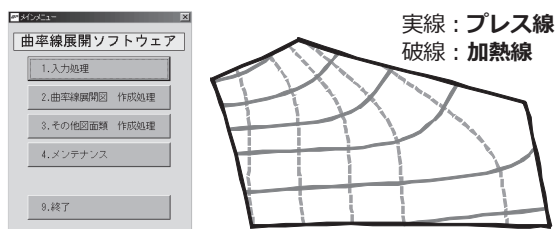


図-7.5 曲率線展開システム

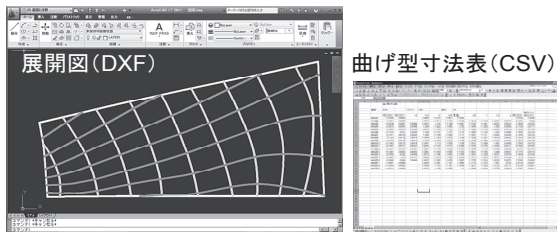


図-7.6 システムの出力例

ど、可能な限り曲率線に沿った加工を心がけた。熱加工では図-7.7 下に示す箇所を加熱した。図中の矢印は線状加熱の方向であり、●は点焼きの箇所を示している。

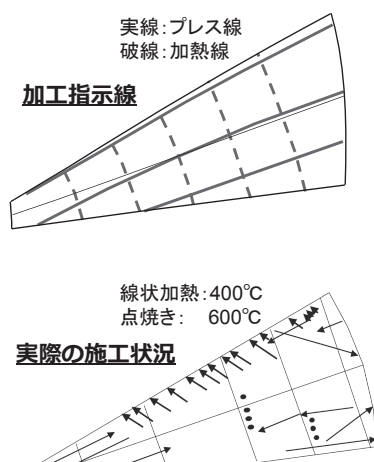
図-7.7 (上) 加工指示線
(下) 実際のガス加熱線

表-7.1 に曲率線展開システム導入前後での工数比較を示す。表中の工数比は従来法と曲率線展開法の比である。結果として37%の工数削減が達成されている。工数削減の主な要因は冷間加工終了時点で板のねじれの変化も含め、ほぼ所要の形状が得られていたことによる。曲率線による加工指示線から、外板の曲り形状をイメージしやすいと熟練技能者からも好感を得た。

また、曲率線展開システムを導入後、2年程度

が経過した現在において、従来よりも工程の手戻り数が減少する効果が認められた。これは本システムによる曲り外板の精度向上を反映した結果である。

表-7.1 工数の比較

	施工工数 [hr]						
	プレス加工			熱加工			合 計
	左舷	右舷	計	左舷	右舷	計	
従来法	2.0	2.0	4.0	7.0	8.0	15.0	19.0
曲率線法	1.8	1.5	3.3	4.3	4.5	8.8	12.1
工数比	0.88	0.75	0.81	0.61	0.56	0.59	0.63

7.5 プレス施工の作業分析

プレス施工の更なる生産性向上を目的として、曲率線展開の結果を用いて外板ごとの幾何学的特徴に基づき加工性（加工難度）を分析した。また、簡易的な画像解析により実際のプレス施工の作業分析を試みた。以下にその結果を述べる。

7.5.1 曲面の幾何学

曲率線展開法では可能な限り出力された曲率線に沿ってプレス押しすることを推奨する。しかし、外板によっては曲率線が複雑に変化し、通常の条押しプレス機ではプレス線に沿って押し切れないものも存在する。こうした点に起因する外板ごとの加工難易度を定量的に評価するため、曲面幾何に基づく分析を実施した。

曲面の曲り方は曲率ベクトルによって表される（図-7.3 参照）。曲率ベクトル $\mathbf{p}$ は一般に曲面に水平あるいは垂直ではなく、 $\mathbf{p}$ は曲面に接する成分と曲面に垂直な成分に分解でき、それぞれを測地的曲率ベクトル $\mathbf{k}_g$ 、法曲率ベクトル $\mathbf{k}_n$ と呼ぶ。

$\mathbf{k}_g$ は曲率線（プレス線）の曲りの大きさを表し、 $\mathbf{k}_n$ は板自体の曲りの大きさを表す。プレス施工においては、 $\mathbf{k}_g$ はプレス位置決め・操作の難易に、 $\mathbf{k}_n$ はプレス押し量調整の難易に対応する。

7.5.2 プレス加工難度の分析

曲面を特徴づける2種の曲率ベクトルを用いた分析のイメージを図-7.8 に示す。図の横軸が板曲りの大きさを表す法曲率ベクトル ($\mathbf{k}_n$)、縦軸がプレス線の曲りを表す測地的曲率ベクトル ($\mathbf{k}_g$) である。 $\mathbf{k}_g$ 、 $\mathbf{k}_n$ の値は各外板における最大値を代表値として採用する。図-7.8 に示すように、各外板形状はその代表値によって $\mathbf{k}_n$ - $\mathbf{k}_g$ 平面の一点にプロットされる。

図-7.8 において、横軸の値が大きいほど施工完了までに要するプレス押し量が大きく、縦軸の値が大きいほどプレス線に沿った加工が難しくなる。また、プレス線の曲りは「ねじれ」や「S

字」などの板自体の曲りの変化に対応している。すなわち、原点から離れるほど、その外板の加工が難しいと考える。なお、図中の点はいずれも模擬データである。

原点に近い領域に位置する、実線で囲んだ点群 I はプレス線の曲り（板の曲り変化）が少なく、かつ板自体の曲りも小さいグループであり、プレス施工は比較的に容易であると推測される。点群 II は板の曲り変化が少ないが、板の曲り量は大きいグループで、円筒の一部を切り出したような形の外板などが属する。対して、点群 III は板の曲り変化が大きい、曲り量自体は小さいグループで、曲りの小さい捩れ板や S 字板が該当する。点群 IV は原点から離れた領域に位置しており、板の曲り変化が大きく、かつ曲り量も大きいグループであり、曲りの大きな捩れ・S 字板が該当する。

グループ I はプレス施工が容易であり、グループ II はプレス押しの回数（板曲りが大きいほど多くのプレス回数を要する）は増えるが、プレス線に沿った施工自体は比較的に容易である。グループ III は必要なプレス押しの回数は少ないものの、プレス線に沿った加工が難しい。また、グループ IV は所要のプレス回数が多く、かつプレス線に沿った加工も難しく、最もプレス施工の難易度が高いグループと推測される。以上の分析は、実際の現場観察からも支持される。

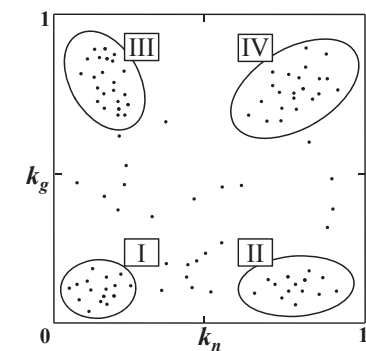


図-7.8 プレス加工難度の分析

7.5.3 画像解析によるプレス作業分析

前節の曲面幾何学に基づく分析と共に、実際のプレス作業のプレス施工工程の作業分析を実施した。外板のプレス作業の様子をデジタルビデオカメラで撮影し、画像解析を行った。撮影には2機のカメラを使用し、1機ではプレス作業の全景を、もう1機ではプレスヘッドの上下動の時間変化を記録した。テンプレートマッチングによる簡易的な二次元モーションキャプチャプログラムを作成し、プレス位置の時間変化を計測した。マッチングのテンプレートにはプレス機に貼付さ

れた注意喚起マークを使用し、マッチング判定には2画像間での相互相関係数を用いた。

以上の方法により時々刻々と変化するプレスの位置を追跡すると図-7.9 の様なグラフが得られる。図の横軸は経過時間を、縦軸はプレスの高さ方向位置を示す。グラフ中のひとつの谷が1回のプレスを表す。

図-7.10 はプレスの一押しをパルスに見立て、プレス下死点近傍に位置している時間を黒い帯で示したものである。図は実際の観測データに基づくものではなく、説明用のイメージ図である。プレスの全景観測から、プレス線に沿って押す工程と曲げ量の過不足が生じた場合の修正曲げ工程が行われた時間が判る。図の灰色の部分の部分がプレス線に沿う曲げ、白色部分が修正曲げである。黒い帯が規則的で等間隔であるほど、プレス作業が円滑に進行していることを示す。逆に、帯の幅が不揃いで間隔が不規則であるほど、プレスの位置決め等のために時間を要している事を示す。図-7.10 の A、B、C、D は、それぞれ前述（前節）のグループ I・IV に対応するプレス分析のイメージ図である。比較的加工の容易なグループ I はプレス間隔も等間隔で修正時間も短い。プレス線の曲りが少なく板の曲り量が大きいグループ II では、I に比べプレス回数が増えるため加工時間が延びるが、プレス間隔は等間隔で円滑な施工が可能である。グループ III ではプレス間隔が不揃いになり、グループ IV ではプレス間隔が不揃いになり、修正にも長い時間を要するようになる。理想的なプレス施工が実現されれば、修正時間は大幅に削減される。グループ III・IV に属する、 k_g の大きい外板のプレス作業に改善の余地があることが判る。

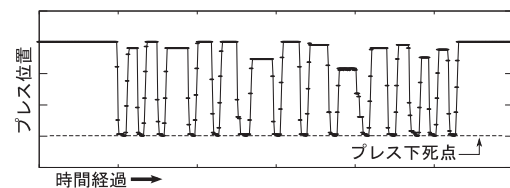


図-7.9 プレスヘッド位置の時間変化

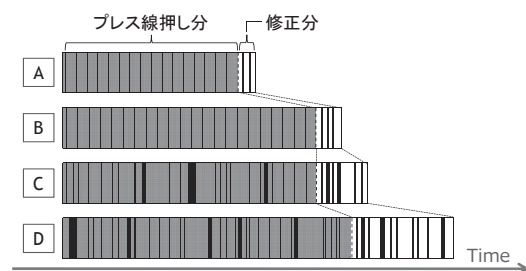


図-7.10 プレス施工の作業分析

7.6 プレス施工支援システム

曲率線をそのまま現場で施工線として用いることは実は理想的ではない。なぜなら、展開基線として求めた曲率線格子は距離が均等になるように求めており、施工にとって重要な曲げ量に準じたものになっていないためである。つまり、これまでの方法では曲げの大まかな方向性を把握するには有効だが、厳密な作業指示や作業定量化にはそのままでは適用出来ないということである。そこで、特にプレス施工の効率化に着目し、プレス曲げ量に応じた曲率線を導出し、そこから実際にプレスすべき箇所とする「リアルプレス線」を求める研究を行った。以下にリアルプレス線の導出法ならびにそのシステム化（プレス施工支援システム）について述べる。

7.6.1 リアルプレス線の導出

施工上の観点からは、曲面上の法曲率ベクトル $\mathbf{k}_n$ はプレスで粗曲げする面外曲げ成分に相当する。所要のプレス量を面外曲りの角度で表すことにすれば、 $\mathbf{k}_n$ を曲率線に沿ったある範囲内で一回積分すればその曲率線部分の曲げに必要なプレス角度を算出することが出来る。算出したプレス角度を所与の角度（プレス量）ごとに刻んでいけば、曲率線上でのプレス位置（プレスで押すべき位置）を求められる（図-7.11 左）。更にこれをすべての曲率線について行い、隣接する曲率線との刻み位置で結べば、板全体での所与のプレス角に応じた等角度の区分線「ピッチ線」が得られる（図-7.11 右）。

通常、プレス施工には直線状の歯を有する条押しプレスが用いられる。作業者に具体的なプレス位置を指示するため、プレス歯の形状（長さ）に応じてピッチ線を直線近似し、リアルプレス線とした。直線近似の際には実際のプレス施工性（ラップ量、板端の扱い等）も考慮する。

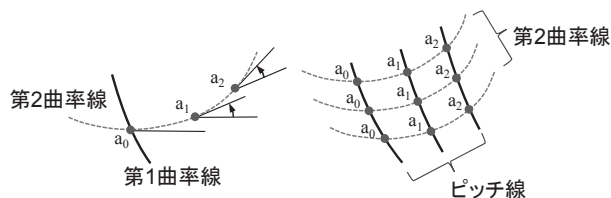


図-7.11 ピッチ線の算出法

7.6.2 プレス施工支援システムの開発

前項で述べたピッチ線・リアルプレス線を算出し、図面作成を行うシステムを開発した（図-7.12）。開発したシステムは、曲率線展開システムの出力結果を入力として動作し、ピッチ線・リ

アルプレス線ならびにプレス仕上がり後の目的形状を示すプレス仕上がり形状出力機能を備えている。図の左がシステムのインターフェース、右がリアルプレス線の出力例である。

システムには各工場に固有のプレス条件（プレスの一押しで板曲り量、プレスの歯長/歯幅等）を入力することができ、各製造現場に応じたプレス施工指示を出力することが出来る。

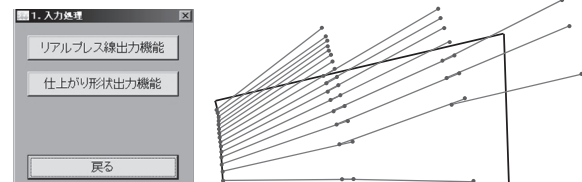


図-7.12 プレス施工支援システム

本システムの課題と今後の改善について述べる。本節では最終的なプレス位置（リアルプレス線）を幾何学的な曲り量を基に算出している。曲率線展開法の合理性より、これ自体は幾何学的に正しい。一方、幾何学的には正しいはずの成形アプローチを、実際のプレス加工で辿る際には別の問題が生じる。折り紙で例えれば、幾何学的に求めた折り線／谷線は正しいが、実際にそれをその通りに折ることは可能かという問題である。プレス施工の場合その阻害要因として、「プレス機側の問題」と「板の弾塑性応答」の影響が考えられる。

プレス機側の問題とは、ピッチ線／リアルプレス線を求める際に入力したプレス施工条件（プレス一押しで得られる曲り角等）が実際の作業現場でいつも再現されているかということである。プレス機の作動原理等に応じてより多様な施工条件入力が必要になることも想定される。また、本システムの目的に合致したプレス機の開発も今後の研究課題である。また、板の弾塑性の影響とは、プレスした箇所以外でも曲りの影響を受ける問題である。これについては、有限要素法による解析やモデル実験を基にして、弾塑性変形の影響を加味する研究を進めている。

7.7 まとめ

曲面の幾何形状に基づいた厳密な外板展開法「曲率線展開法」を開発し、システム化した。開発システムを適用した結果、ぎょう鉄工程において工数削減および精度向上の効果が確認出来た。一層の工数削減を目指して、現在、「プレス施工支援システム」の開発を進めている。

参考文献

- 1) K. Matsuoka, T. Matsukawa : Shell plating developing method, shell plating manufacturing method, computer program for teaching the methods, and image recording medium for teaching the methods, PCT/JP.3/03260 (2003)
- 2) 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 (2004)、pp.99-100
- 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 (2004)、pp.101-102
- 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 (2004)、pp.103-104
- 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 (2004)、pp.105-106
- 6) 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 (2004)、pp.107-108
- 7) 松岡一祥他：これからの造船技術人材育成はどうなる ギョウ鉄技能育成への取り組み、溶接技術第52巻第11号 (2004)、pp.55-62
- 8) 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、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集5 (2005)、pp.235-238
- 9) 松尾宏平他：曲率線展開による新外板展開法とそのソフトウェア・パッケージ化について、日本船舶海洋工学会講演会論文集第1号 (2005)、pp.285-286
- 10) 田中義照他：ぎょう鉄とその周辺 ギョウ鉄技能教育と新しいシステムの開発、日本造船学会誌第883号 (2005)、pp.113-117
- 11) 田中義照他：ぎょう鉄技能研修用教材の開発、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第6号 (2006)、pp.63-66
- 12) 松岡一祥他：曲率線展開の理論 (展開法と作業指示)、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第6号 (2006)、pp.67-68
- 13) 松尾宏平他：ぎょう鉄システムの今後の展開、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第6号 (2006)、pp.69-70
- 14) 松岡一祥他：船舶の自由曲面を作る、日本マリンエンジニアリング学会誌第41巻第6号 (2006)、pp.31-36
- 15) 松尾宏平他：曲率線を用いた新しい外板ランディング手法について、日本船舶海洋工学会講演会論文集第3号 (2006)、pp.525-526
- 16) 松岡一祥：ぎょう鉄 船舶の自由曲面を作る、日本船舶海洋工学会誌第22号 (2009)、pp.15-20
- 17) ギョウ鉄を理論解析 IT活用で測地線から「曲率線」展開へ、海技研ニュース 船と海のサイエンス 2010Winter (2010)、pp.4-11
- 18) 松尾、松岡：船舶の曲り外板製造を支援する新しい外板展開システムの開発、日本機械学会論文集C編第76巻第771号 (2010)、pp.2797-2802
- 19) 松尾宏平：匠の技「ぎょう鉄」の問題を解決する研究、人工知能学会第10回知識・技術・技能の伝承支援研究会 (SIG-KST) (2010)
- 20) 松尾宏平：匠の技 ギョウ鉄のカイゼン 新外板展開法の現場適用、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第10号 (2010)、pp.89-96
- 21) 藤本修平他：曲面幾何に基づく造船プレス作業分析手法の開発、日本船舶海洋工学会講演会論文集第12号 (2011)、2011S-G3-11
- 22) 松尾宏平他：曲面幾何に基づく造船プレス施工支援システムの開発について、日本船舶海洋工学会講演会論文集第12号 (2011)、2011S-G3-12
- 23) 村上睦尚他：建造効率向上に資する技能伝承教材とシステムの開発 (配管艀装、ぎょう鉄)、独立行政法人海上技術安全研究所研究発表会講演集第11号 (2011)、pp.39-54
- 24) 三田村利武：近似測地線に依る外板展開に就いて、造船協会論文集第96号 (1955)、pp.131-141
- 25) 日本小型船舶工業会：造船現図指導書 (1996)、<http://nippon.zaidan.info/seikabutsu/1996/00278/mokuji.htm>
- 26) 日本小型船舶工業会：通信教育造船科講座テキスト船体工作法 (2000) <http://nippon.zaidan.info/seikabutsu/2000/00348/mokuji.htm>

8. あとがき

造船所等にて実態調査を行い、「配管艀装」、「歪取り」、「機関据付」、「電気艀装」、「艀装工程管理」について映像教材を作成し、その内容、手順、勘所等を体系的に示した。艀装作業は、配管艀装、機関仕上げ、電気艀装など多岐にわたる。しかもそれらの各艀装作業は、設計は個別に行われ、工事は同じ場所ではほぼ同時期に行われることが多いのが現状である。これらの作業を効率よく進めるためには、各艀装作業の連携が非常に重要となる。従って、各艀装作業者が、本教材を通じ

て自分の担当以外の艀装作業内容に対する理解を深めることにより、今後の更なる艀装工数削減が実現可能であると考えます。今後も本教材が用いられ、技能伝承及び技能向上、更には船舶建造生産性の向上に資することを期待する。

最後に、近年、船体のカーゴホールドの増大を図るため、機関室は前後方向に短くなり運航に必要とされる機器やそれらをつなぐ管や電路等の艀装に係わる設計がより繁雑になっている。このような状況の中、多くの造船所では、設計の現場において、3次元CADを取り入れているものの、設計作業の十分な省力化に繋がったとは言えず、過去の実績に基づく経験に頼っているのが現状である。一方、日本に造船業を残すためには、船舶建造の更なる生産性向上を図る必要がある。現状では、船殻工作においては既に生産性向上が図られているが、その精度は十分とは言えない。更には、艀装工作においては未だ十分に改善の余地があり、艀装工数削減が期待される。今後、著者ら研究グループは、船舶建造の生産性向上に資する

ため船舶建造手法の革新とそれを実現させる要素技術の開発及び設計支援ツールの実用化に取り組む予定である。

謝 辞

本教材開発は（社）日本中小型造船工業会からの委託研究、或いは、共同研究として実施されたものであり、（公財）日本財団、国土交通省の援助を頂戴した。また、「ぎょう鉄」に関するシステム開発に関しては、（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構による「運輸分野における基礎的研究推進制度」及び住友重機械マリンエンジニアリング（株）との共同研究において実施した。ここに記し、謝意を表す。また、実態調査、実験等の実施に当たりご協力頂いた造船所、関係事業者、（社）日本船舶電装協会に感謝申し上げる。