

「船舶（プロセス・施工編）」*



與倉隆人**

Shipbuilding (Process & Construction)*

by YOKURA Takahito**

キーワード 造船, 自動溶接, ロボット溶接, 品質管理, 溶接検査

1. はじめに

わが国の造船業は、太平洋戦争により壊滅的な状態となったが、1956年には当時建造量世界1位のイギリスを、その10年後には全ヨーロッパの建造量を抜き、2000年頃まで建造量世界1位を続け、海洋国家、貿易国家における基幹産業として発展してきた。その原動力となったのは、エネルギー源や産業構造の変化より出現したオイルタンカーやコンテナ船などの建造ラッシュやそれらの大型化に対し、わが国の大学をはじめ世界有数の海運会社や鉄鋼メーカー、船用機器メーカーなど連携した多様な技術開発であった。古くはリベット構造から溶接構造への転換や戦後のブロック建造工法・艀装ユニット工法・コンベアライン生産の導入に始まり、TMCP型高張力鋼開発への参加、CO₂溶接法の採用などである。一方、建造量世界トップの座を維持してきた半世紀の間で2度の大きな不況を経験していることから、1990年以降のグローバルな経済発展による船舶需要拡大に対し、日本では大きな設備拡大をすることなく供給量増加と建造コスト低減に対応した。具体的には、造船所ごとの船種絞り込みや、保有ドックの最大活用（休止中のドック復活やドック期間短縮など）による建造隻数拡大である。また、地上工程では、最新型の自動溶接・NC切断機導入による生産処理能力向上やブロック組立・部材切断に対し最も生産効率の良い工場への集中投入、同時に特殊部材（B-UP組立・形鋼切断・フラットバー切断・バルパスバウ組立・居住区ブロックなど）の専門メーカーへの加工外注化などを実施して、建造量増加対応と同時にコスト削減を両立させた。

一つの造船所で1500人から2000人以上の多くの人が建

造に携わっているだけでなく、船価の約70%を調達品（含む：鋼材）が占めるなど、裾野の広い産業である造船業が国内にあることには大きな意義があると言える。現在では、世界経済が冷え込み、船舶の需給バランスが崩れ適正な船価で受注ができない苦しい局面を迎えているが、これまでの船舶安全性に加えて、環境負荷・影響低減なども規制化される動きがあり、今後、技術的には先を行く日本の造船業界に有利な展開が期待できる。

日本の造船業の歴史は古く、戦前からの設備を使用している造船所も多く、その造船所の特性を活かした生産方式を採用している。本稿では、国内造船所で採用されている建造方法と溶接施工法、品質管理方法の一例を紹介することとする。

2. 製品と工作法

2.1 製品

世界の船別竣工量比率の推移を図1に示す¹⁾。一般商船と言っても多くの種類があるが、最近20年間ではバルカー

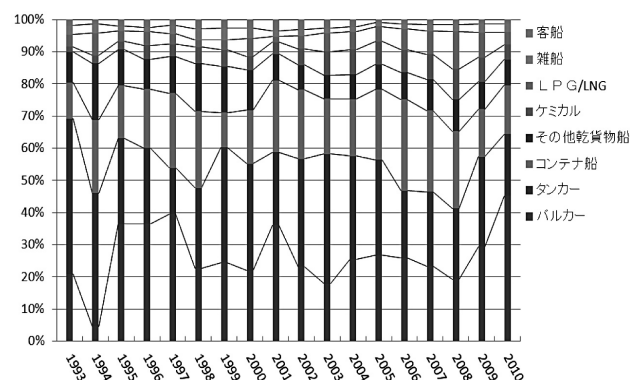


図1 世界の船別竣工量比率推移
[日本造船工業会統計資料より作成]

*原稿受付 平成24年7月6日

**正員 株式会社 アイ・エイチ・アイ マリンユナイテッド
Member, IHI Marine United Inc.

(バラ積み船)とタンカー、コンテナ船の3船種で全体の70%から80%を占めていることが分かる。

また、大型タンカーとコンテナ船の概要の一例を表1に示す。現在主流の原油30万トン積みの大型タンカーは、長さが約330mで、使用する鋼材重量も37,000tonとなる大型構造物である。溶接長も700km程度と言われ工事量も膨大である。しかも進水ピッチは50-55日/隻と短期間であることから効率的に部品を集め、組立・溶接をする必要がある。

鋼板は、軟鋼と高張力鋼(Y.P.32~Y.P.40)が使用され、船体中央部では高張力鋼の使用比率が大きく、1隻あたりの高張力鋼の使用重量比率は75%を超えている。鋼板板厚も一般的には10mm~30mm程度であるが、特殊な部分では、40mm~80mmの鋼板も使用される。最近では、耐疲労鋼や耐食鋼、アレスト鋼などの機能性鋼材が積極的に採用されている。機能性鋼材を使用する部位を船体断面図としてオイルタンカーは図2、コンテナ船は図3に示す。

2.2 工作法

2.2.1 工程

(1) 新造船の建造工程

一般的な新造船建造工程を図4に示す。造船所では、多

表1 大型タンカー・コンテナ船の概要例

	オイルタンカー	コンテナ船
	300,000ton (原油)	9,300Teu (207イトコンテナ換算)
サイズ(L×B×D)	333m×60m×28.5m	333×45m×27m
鋼材使用量	約37,000ton	約25,000ton
速度	15.75kt	24.5kt
進水ピッチ	約50-55日	約55-60日

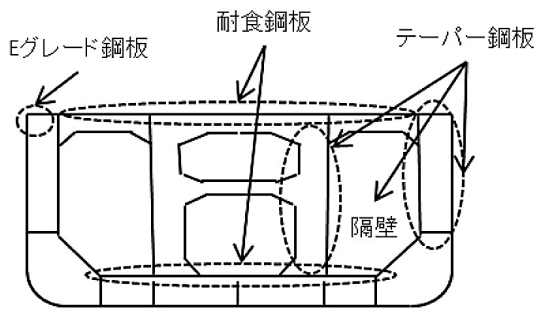


図2 大型タンカー船体断面模式図(機能性鋼板配置例)

大入熱対応・Eグレード・極厚鋼板
(板厚:50mm~80mm・最大入熱量:500kJ/cm)

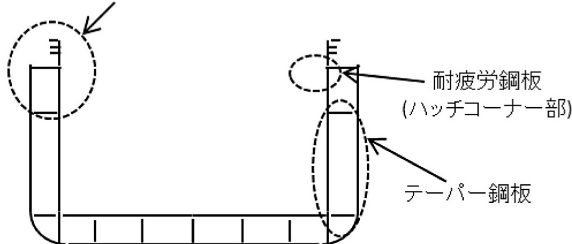


図3 大型コンテナ船船体断面模式図(機能性鋼板配置例)

くの工程や職種を有機的に最適化できる体制がとられている。例えば、生産設計・現図が工場内にあることにより多種多様な船体部品や艤装品を適正なタイミングで組立てするための詳細工程計画が立てられており、連続船建造にあっては現場からのフィードバックが迅速に行うことが出来るようになっている。

ここでは、船体建造を行う船殻工程の溶接に絞って、地上工事のブロックに必要なSUB材組立を小組立工程、ブロック組立を大組立工程、ドック内工事を外業工程として説明する。

(2) 小組立工程・大組立工程(地上工事)

小組立工程では、コンベアラインと固定定盤などSUB材の特性にあった専門工場で、ブロック単位の生産ロットとして組立てられる。

大組立工程では、図5に示すような船体中央部の平行部ブロック組立工場と船首・船尾の曲りブロック組立工場、プロペラや舵部の特殊なブロックやブロック同士を地上で一体化する総組工場など専門工場に分けられて組立てられる。

平行部ブロック組立では、先行してベースとなる大板を板継ぎ溶接後、ロンジ材と呼ばれる船体縦方向(longitudinal)の形鋼やビルトアップ材、トランスと呼ばれる横方向(Transverse)のSUB材を配材・取付・溶接する大板工法、先にロンジ材とトランス材を格子上に溶接し、板継ぎ溶接後の大板に組合せる枠組み工法などが一般的であった。最近では、一枚の鋼板にロンジ材を5本程度先行溶接された単板を板継ぎ溶接し(図6)、トランス材(図7)を配材・取付・溶接(図8)をする単板工法を採用する造船所も増えてきている。

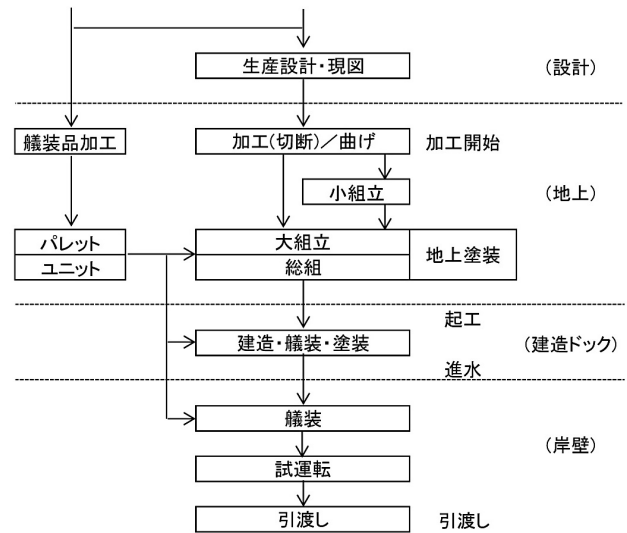


図4 新造船建造工程

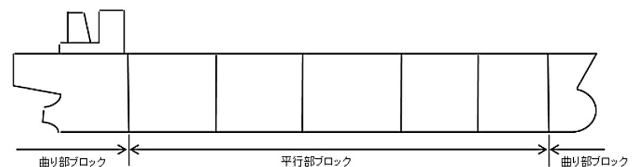


図5 船側図



図6 単板後板継溶接

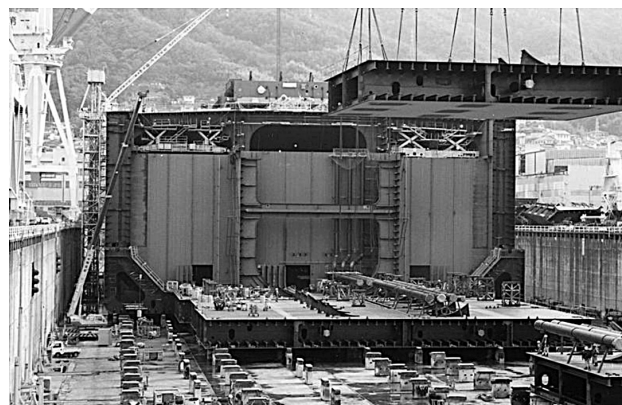


図9 ブロック建造法



図7 トランス材

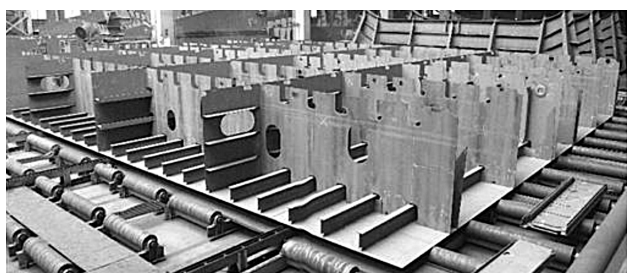


図8 平行部ブロック

曲りブロック組立も基本的には平行部ブロックと同様に、(曲面に加工された)鋼板を板継ぎ溶接して大板にした後、ロンジ材やトランス材などを配材・取付・溶接して組立てる。

総組は、ブロック同士や各種艤装品などを組み合わせる工程で、搭載クレーンが使用できる屋外や屋根が開閉できる工場に組立てられることが多い。

(3) 外業工程 (建造ドック内工事)

ドックで建造中のオイルタンカーを図9に示す。現在行われているブロック建造工法では、搭載クレーン最大吊り重量のブロックを地上で組立(含む：地上艤装・塗装)、ドック内に搭載し建造する。図9の右上に見えるのが搭載クレーンで搬送・搭載中のブロックである。かつては、300 ton 程度の吊り能力の搭載クレーンを持つ造船所が多かったが、現在では設備更新時1,000 ton を超える吊り能力を持つ搭載クレーンを採用する造船所もあり、オイルタンカーで二百数十個の搭載ブロック数が60個～80個程度に削減することができドック内工事期間短縮とともに生産性向上を実現している。

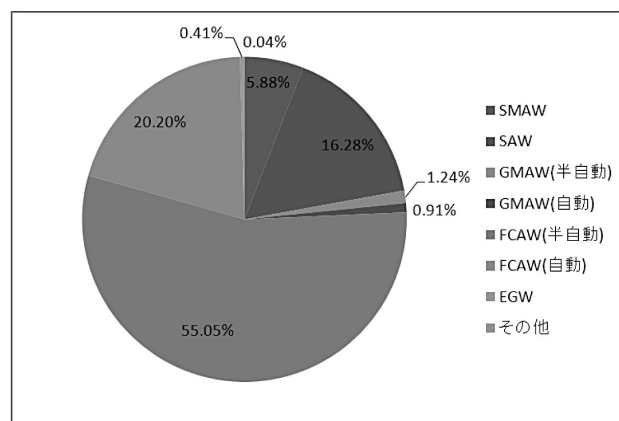


図10 溶接材料重量による溶接法比率

2.2.2 溶接法

国内の造船所で使用されている溶接法の溶接材料重量比率を図10に示す³⁾。

SMAW (被覆アーク溶接) の比率は5.88%であるが、安価で取扱い易いこともあり、船殻取付工事や艤装工事、補修工事などで使用されている。グラビティ溶接も一部の造船所では現役で使用されている。

SAW (サブマージアーク溶接) の比率は16.28%であり比較的大きな割合を占めている。船側・船底外板やデッキ(上甲)板などは板厚が10 mm～25 mm 程度であり、ブロック組立時、平板でも曲り板でもわが国で開発・発展した片面SAW法(FCB法・RF法・FAB法)が多くの大型造船所で採用されている。

ソリッドワイヤを使用したGMAW(ガスマタルアーク溶接)の比率は半自動・自動合わせても約2%程度で少なく、フラックスコアードワイヤを用いたFCAW(フラックスコアード溶接)の比率が半自動・自動合わせて75%超と最も多く使用されている。シールドガスには、GMAW・FCAWとも一部の造船所を除き安価なCO₂ガスを使用している。最近では、船殻取付工事でもSMAWに替わってFCAWを使用することが多くなってきており、自動溶接部の品質向上の後押しをしている。溶接ワイヤに関しては、かつてCO₂半自動溶接でも溶着金属量増加を目的にφ1.4のワイヤを採用する造船所があったが、現在では汎用性の良さからφ1.2が主流となっている。溶接電源は、工場内でのメンテナンス実施を考慮し、一部の自動溶接を除きサイリス

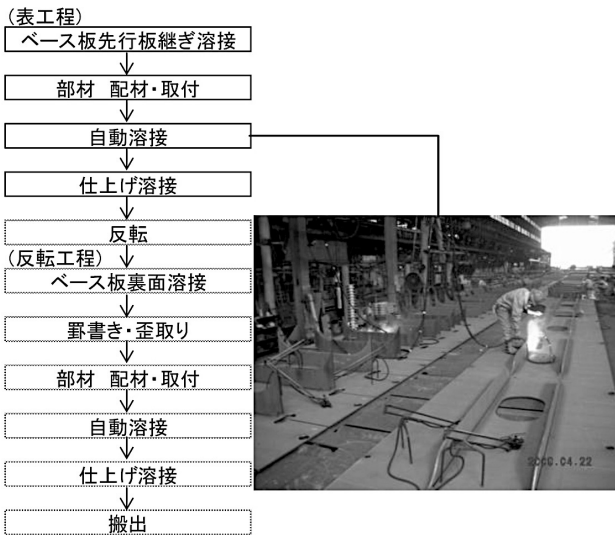


図11 小組立工程の作業工程と自動溶接事例

タ制御電源が主流である。

EGW (エレクトロガス溶接) の比率は、0.41%と少ないが、外業工程における船側内外板の立向突合継手で採用している造船所が多い。最近では、セラミックスの裏当て材を使用した簡易エレガスと呼ばれる施工法が主流である。

3. 溶接・接合プロセス及び施工

3.1 小組立の溶接施工法

小組立工程は、ブロックに組み合わせる SUB 材組立工程であり、作業工程とその中の自動溶接施工事例を図11に示す。様々な形状の SUB 材や先行溶接が必要な先行 SUB 材、SUB 材と SUB 材を組み合わせる集合 SUB 材なども小組立工程である。単純な構造を大量に組み立てることが出来るコンベアラインと汎用性の高い固定定盤を併用している造船所が多いが、コンベアラインの方が作業能率は1.5倍程度高い。また、平行部ブロック向けでは、構造的に似通った形状の SUB 材を連続で組立てることからロボット溶接専用ラインを設置している造船所もある。

SUB 材では標準脚長 5mm の水平隅肉が主な溶接継手で、かつてはグラビティ溶接を10台/人を扱う猛者もいた。現在では、4~6台/人程度の溶接台車を使用した CO₂ 簡易自動溶接が広く採用されているが、部分的な大脚長や E グレード鋼、溶接台車の構造上溶接残しが多くなる箇所などにグラビティを併用することで、溶接材料の取り換えや仕上げ溶接作業の負荷を減らす取組をしている造船所もある。一般的には自動溶接工程での簡易台車の多台持ちや最小限の溶接残しに取り組むことで生産性向上を図っている。最近、取付作業への CO₂ 半自動溶接の採用により、自動溶接後の仮付位置のビード形状が改善され、手直し溶接削減に寄与している。

SUB 材のベース板は板厚が 10mm~16mm 程度であり、隅肉溶接による角変形が生じることから反転工程が必要で、裏焼きと呼ばれるガスバーナーによる歪取りを実施している。SUB 材には、延尺と呼ばれる熱収縮量があらか



図12 ツインタンデム溶接装置 (ラインウェルダ)

じめ付加されているので、部材寸法精度確保のための入熱管理 (溶接脚長管理・歪取り熱量管理) が必要である。SUB 工程は、タクトタイムが2, 3時間程度のコンベアラインでの作業であり、作業量や能率を考慮した職長・班長・スタッフなどによる人員配置や工程計画と同時に、作業者全員が前後工程と次作業を理解した作業の進め方が要求される。また、前述の入熱管理に加え、技量が必要とされる部材端部の巻き溶接部が多くあるなど、小組工程では溶接作業者に要求されることが幅広い職場である。

3.2 大組立の溶接施工法

(1) 平行部ブロック

平行部ブロック組立では、多くの造船所でコンベアラインを採用している。ここでは特に、平行部ブロック組立工法として最近採用が増えてきた単板工法⁹⁾の溶接施工法を説明する。

単板製作工程は、切断した1枚の鋼板にロンジ材を5本程度配材・取付・溶接する工程である。図12に示すようなラインウェルダと呼ばれる装置を使用し、脚長5~8mmの隅肉溶接を行う。メタル系フラックスコードワイヤを使用したツインタンデムの溶接法で、溶接速度が120cm/min.~150cm/min と高速であり、最近ではファイラーワイヤを追加した3電極化による200cm/min. の高速溶接法も開発されている⁹⁾。この工程では、高速溶接によるビード形状の安定化対策 (含む: 磁気吹き) に加え、ピットなどのガスに起因する溶接欠陥対策が必要である。3電極化は有効な対策の一つであるが、造船所では鋼板に塗布されている Zn を主体としたショッププライマー材の塗膜厚管理に加えてロンジ材の溶接部の塗料剥離を実施するなどの対策が取られている。

また、単板工法では、溶接により発生した角変形を歪矯正装置 (冷間加工) で修正することができ、ブロック組立精度向上につながる単板精度向上ややせ馬の少ない船体船側の美観向上につながっている。発生するヒュームもトーチ部に取付けられた装置で集塵され作業環境向上にもつながっている。

最大5枚の単板を板継ぎ溶接して大板にする工程では、片面サブマージアーク溶接が一般的には使用されている。鋼板板厚は10mm~40mm程度で大入熱溶接となるが、



図13 4電極高速 FCB 溶接装置



図14 ロボット溶接施工事例

TMCP 型高張力鋼の進歩により鋼板は大入熱に対応しており、かつては問題となったサルファクラックなども発生することはなくなった。片面サブマージアーク溶接は、国内造船所と溶接材料メーカーが大幅工数削減を目指した溶接法としてボンドフラックスの開発を伴って発展されてきた⁶⁾。平行部ブロック製造における片面サブマージアーク溶接では、裏当てに銅板を使用する FCB 溶接法が一般的である。2 電極や 3 電極の施工法が一般的であったが、更なる高速溶接をめざし約 20 年前に 4 電極 FCB 溶接法が開発されている。溶接材料成分(含む：フラックス)だけでなく高速化による裏ビード形成の安定化や高温割れ防止のため電極径や配置、角度なども工夫がされている。最近では、鉄系ボンドフラックスの採用などにより、従来型の 3 電極に比べ 1.7 倍の溶接速度(板厚 20 mm で約 130 cm/min.)の高速溶接が実現している。4 電極高速 FCB 溶接装置を図 13 に表す。溶接装置を搭載した大型の架構は、4 電極を高速で安定走行させるだけでなく、溶接ワイヤや自動フラックス回収・乾燥装置が搭載されており、鋼板を拘束することで面外変形防止の機能も有している。安定した溶接ビードを得るために、仮付溶接が安定する簡易型の自動仮付け装置の採用が有効である。また、片面サブマージアーク溶接では終端部割れが問題となるが、割れ要因の一つである溶接中の面内回転変形を制御するためにエンドタブにスリットタブを採用して防止を図っている造船所もある。終端部は、自主検査として超音波探傷試験などの非破壊検査を全数実施して溶接継手の健全性の確認と同時に溶接欠陥防止に向けたフィードバックを実施している。最近では、ルール変更や設計技術の向上により板厚差のある溶接継手が増えてきたこともあり、FCB 溶接法では、裏当て銅板形状の工夫だけで対応することは難しくなったことから、裏当てフラックスの下側に銅板ではなく耐火フラックスを使用する RF 法を採用する造船所も増えている。

次に平行部ブロック組立では、SUB 材であるトランス材やガーダー材(船体縦方向の壁材)を、大板に配材・取付・溶接する。ここでの溶接では多関節の溶接ロボットを適用している造船所もあり、その例を図 14 に示す。また、ロボット溶接継手を図 15 に示す。溶接継手は水平隅肉だけで



図15 ロボット溶接適用箇所

なく、立向上進隅肉溶接もあることから、溶接材料にはスラグ系の立向用フラックスコアードワイヤを使用し、アークセンサーにより溶接線を倣っている。最近では、直線部だけでなく、トランス材側の円弧カラープレートの隅肉溶接にもロボット溶接が適用されている。ハンドリング装置に吊り下げられた溶接ロボットを溶接継手近傍まで作業者が配置し、タッチセンシング以降をロボットが自動溶接する事例が多くみられるが、パソコン上で設計のブロック情報から各ロボットの溶接箇所割付けを行うことにより、溶接継手への移動も自動で行う完全自動溶接を行っている造船所もある。この場合、16 台の溶接ロボットを一人でコントロールしている。

この工程の後、ロボット溶接適用範囲外やトランス材とガーダー材の立向隅肉溶接は、CO₂ 半自動溶接により行われている。しかし、最近では溶接長さが 2 メートル程度の立向隅肉溶接でも、溶接台車を利用した CO₂ 簡易自動溶接適用の取組が報告されている。更なる生産性向上に向け大型装置だけでなく、現場改善による簡易自動溶接適用範囲の拡大も続けられている。

(2) 曲りブロック

曲りブロック組立では、図 16 に示す通り、高さを調整できるピン治具上に、曲げ加工された鋼板を並べ、片面サブマージアーク溶接である FAB 溶接などでベース板となる大板に板継ぎ溶接する。曲り外板の突合せ溶接継手には溶



図16 曲りブロック板継ぎ工程



図17 曲りブロック組立工程

接線方向や直角方向への傾斜がありサブマージアーク溶接など自動溶接で良好なビードが得られないことが多いため、溶接線が常に下向きとなるようにブロック全体をユニバーサルに傾斜できる大型のポジショナーが採用されたこともある。FAB溶接も終端割れが発生するため、終端部は補修溶接するのが一般的で、超音波探傷試験が自主検査として全数実施されている。

次に大板の上にロンジ材・トランス材などを配材・取付・自動溶接・本溶接される。最近では、図17で示すようにピン治具が取り付けられた四角く平たい構造物(スキッド)を移動するコンベア方式が採用されてきており、溶接機などをハンドリング装置に取付けるなど作業段取り時間の削減が行われている。主な溶接継手はロンジ材・トランス材とベース板との水平隅肉溶接となるが、溶接台車を用いたCO₂簡易自動溶接が用いられることが多い。しかし、定盤上からベース板まで1.5m程度の高さがあり、その上での作業となることや部材の傾斜が溶接の進行とともに変化するため、トーチ狙いを調整する必要があるなど一人で扱える簡易自動は3台～4台程度が限界である。

3.3 外業工程の溶接施工法

外業工程は、屋外工事で天候に大きく影響を受けることやドック内工期短縮による艀装工程・塗装工程などの前後工程との厳しい工程節点が決まっていることが挙げられる。また、高所・狹隘部などアクセスが困難で、溶接機などの装置・道具の段取りや設置場所にも工夫が必要な工程である。また、溶接では前工程である大組立のブロック組立寸法精度により開先の健全性が左右される。外業工



図18 船側内外板へのエレガス溶接適用例

程で開先面を切断により再切断した長さの全溶接長に対する比率を「切断率」、規定の開先ギャップ量を超えた溶接継手長さの全溶接長に対する比率を「当金率(実際に裏当て材を使用する長さではない)」として管理し、数多くある地上工程での寸法精度向上対策やブロック寸法の端伸ばし計画にフィードバックして、より健全な溶接継手を得られるような取組を実施している。よって、外業工程の溶接法は、品質・能率・工期を最適化するために1面的な優位性だけでなく上記すべてを考慮して採用されている。従って、小骨などの内構材では、溶接長が短く板厚も20mm以下が多い溶接継手のため汎用性の高いCO₂半自動溶接施工が多く採用されている。一方、デッキ板や船側内外板、船底外板、タンクトップなどでは、比較的長い突合せ継手があり積極的に自動溶接が採用されている。ここでは、自動溶接法を適用した例を2, 3紹介する。

船側内外板の立向突合せ継手に簡易エレガス法を適用している事例を図18に示す。大型タンカーやコンテナ船の船側内外板には、エレガス法の利点を十分に発揮できる長さ約20mの直線状の溶接継手がある。高所作業となるが、船側内外板はダブルハル構造であるため、ここでは、船側内外板の両面に Gondola を有した Gondola ユニットを採用している。Gondola ユニットには溶接機なども搭載されており、溶接・検査終了後、Gondola ごと次の溶接継手へクレーンにて転進される。また、大型コンテナ船などでは板厚15mmから65mm程度まで1パス溶接施工を実施している。

デッキ板や船底タンクトップの下向突合せ継手では板厚が15mm～25mm程度であり、かつてはサブマージアーク溶接が適用されてきたが、ドック内工期短縮や搭載クレーンの使用制約、ブロック精度向上などもありCO₂溶接が適用されることが多くなっている。40°V開先で4mmギャップの開先に対し裏当て材を使用したCO₂半自動溶接で裏波溶接を初層で施工した後、溶接台車を利用したCO₂簡易自動溶接で上盛りを施工することが多い。一部の造船所では、0mmギャップの溶接継手に400Aを超える大電流でソリッドワイヤを使用したCO₂片面自動溶接を適用している。その適用事例を図19に示す。図19では、ルートギャップの縮小による溶着金属量低減に加え、マルチ

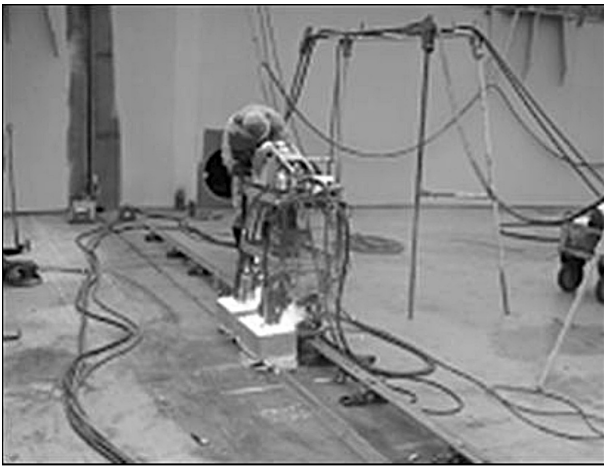


図19 CO₂片面自動溶接適用例



図20 船底外板への可搬型簡易ロボット適用例

アークにより更なる能率向上を実施している。また、最近では、CO₂溶接でのデメリットを解消するため、ソリッドワイヤにREM (rare earth metal) を添加し、棒マイナスの極性を用いたスプレー移行型CO₂ガスアーク溶接なども採用されてきている⁷⁾。

船底外板の溶接は、板厚 20 mm～25 mm の下向突合せ継手であるがロンジ材 (約 900 mm ピッチ) があるため、図19のような自動溶接が適用できない。そこで、可搬タイプの3軸直交型溶接ロボット (実際にはトーチスイング機能があり4軸) を適用している事例がありその適用例を図20に示す。ここでは、ロボットによる自動溶接中にロンジ材の突合せ溶接を作業者がCO₂半自動溶接により実施するマルチアークを実現しており、更なる生産性向上が図られている。

その他、外業工程の隅肉継手では簡易台車を用いたCO₂簡易自動溶接の適用や大脚長対応ワイヤの採用、突合せ継手では横向姿勢や極厚板 (80 mm 程度) の下向姿勢への簡易型ロボット溶接の適用など積極的に自動溶接を実施している。また、段取り時間短縮を目指した外業工程での大容量バックワイヤ (200 kg ベールバック) 採用など各種の溶接能率改善に取り組んでいる。

4. 検査・品質管理

4.1 品質管理

一般的に溶接構造の溶接品質は、設計が意図する溶接品

質を施工管理技術者が製造で作りこむ管理能力があって確保することが出来る。ここでの設計の品質、製造の品質は以下である。

- ・設計の品質 (ねらいの品質):
その用途と使用条件により決定されるもの

- ・製造の品質:

溶接を中心とする製造工程により実現されるもの
溶接工程は、ISO9001 の中で「製品試験や検査だけでは品質が判別できない特殊工程」に該当し、品質確保するためのプロセスが重要であるとされている。造船における船体建造においては、船級認定の鋼板と溶接材料を間違わずに組み合わせて用いて、船級に認定された溶接技量資格者が、船級に承認された溶接施工要領書通りに施工することである。よって、製造工程で溶接施工管理技術者が溶接施工に対する確な現場管理をすることが重要であり、製造工程で管理すべきものの一例を以下に示す。

- ① 溶接施工計画
- ② 鋼材・溶接材料の管理
- ③ 溶接設備管理
- ④ 溶接作業技術管理
- ⑤ 溶接検査結果への対応 など

具体的には、まず、建造に先立ちドック工程での建造計画や地上工程でのブロック組立計画を実施し、造船所で認定されている溶接要領書に照らした溶接計画書を作成し、船級からの認定を受ける。新しい施工法の導入や経年劣化による更新等の溶接設備計画を立案・実施することで適正な溶接ができるような環境を整える。建造中には、鋼板切断時の刻印刷り取りなどによる鋼材のトレーサビリティ管理や鋼種ごとに適正な取り扱い・溶接 (予熱管理や適正溶接材料選択など) をするためのショッププライマー色分けによる識別管理、溶接技量有資格者リスト管理などを社内基準化する。そして、適正運用されているかをパトロールや社内委員会などを開催し確認する。また、溶接不具合が発生した時は、PDCA サイクルを回し、不具合処理及び再発防止対策を立案、実施することなどである。

4.2 検査

ここでは、製品検査における溶接検査について説明する。全ての溶接部に対し、溶接ビード外観検査が実施される。造船業界では、1976年に日本造船学会と日本溶接協会が協力して日本鋼船工作精度基準 JSQS (Japan Shipbuilding Quality Standard) と称する船体建造における工作精度基準が制定され、その中の溶接外観基準をベースに検査が実施されている。外観検査は、作業者→品質検査員 (班長/棒心)→品質管理部員・船級検査員・オーナー検査員と3段階で実施されており、第3段階目の検査は外業溶接終了後と大組ブロック組立完了後に実施される。溶接品質に関しても、各造船所では JSQS に準拠した独自の契約図書を船主と交わしている。最近の溶接部検査では JSQS だけでなく、塗装品質に影響の大きい溶接スパッタ付着やビード外観不良などが注目されている。

また、浮体構造物である船舶では水密検査も行われており、地上工程では隅肉エアーテスト、外業工程ではバキュームテストなどが行われている。溶接部の内部欠陥については、非破壊検査要領が船級規則で規定されており、検査

箇所については建造開始前に船級に認定を受ける。品質管理指標として、外業工程でのX線検査合格率を活用している造船所もある。

5. おわりに

本稿で紹介した大型商船における建造方法や溶接施工法、品質管理方法は、紙面の関係で、幅広く実施されている中の1例であり、また、各溶接施工方法についても適用事例のみとなった。2000年以降建造量としては世界トップを奪われたが、日本の長い船舶建造の歴史の中でこれまで蓄積されてきた多様な技術や個々の技術の深さは、設計技術だけでなく建造技術でも未だ世界トップである。最近の機能性鋼板開発・適用や大型コンテナ船の溶接安全性（アレスタ評価）検討などが一例である。産業として今後も発展していくためには高い技術力と共に、建造量も必要であることは歴史が証明している。建造量確保が日本造船業の

大きな課題であるが、そのために、溶接を中心とした生産技術と設計技術を融合した革新的なモノづくりに向けて、本稿が少しでも役に立てば幸いである。

参考文献

- 1) 造船関係資料：,日本造船工業会2011年9月.
- 2) 南崎邦夫：船舶建造システムの歩み 成山書店, 1996年4月.
- 3) 日本溶接協会 船舶・鉄構海洋構造物部会 溶接施工委員会：平成19年度日本の造船所における溶接材料, 設備等に関する総合調査報告
- 4) 奥本泰久：溶接・接合技術の適用（造船）, 溶接学会誌第79巻（2010）第6号.
- 5) 伊藤和彦・日高武史：船舶・海洋構造物の分野で拡大するフラックス入りワイヤ, 神戸製鋼技報 Vol.59 No.1 (Apr. 2009).
- 6) 長谷, 幸村：造船の建造方法を変えた片面サブマージーク溶接法の開発と展開, 神戸製鋼技報 Vol.50 No.3 (Dec. 2000)
- 7) 木治昇ほか：造船におけるJ-STARweldingの適用, 日本船舶海洋工学会講演論文集第12号.