III 構造製作

1. 船舶・海洋構造物

山下 泰生*

Ships and Offshore Structures

by YAMASHITA Yasuo*

キーワード：造船，海洋構造物，溶接，共通構造規則

1.1 概要

造船市場の需要を表す世界の海上荷動き量は中国を初めとする新興国を中心とする世界全体の経済発展により順調に拡大している。これに伴い，世界の新造船竣工量も順調に増大してきた¹⁾。しかし，図1に示すように，海上荷動き量が2倍になる期間に新造船の竣工量は3倍以上に増加している。特に最近数年間の新造船竣工量をみると，2006年は前年比11%増，2007年は前年比10%増，2008年は前年比18%増と急増している。これは将来の経済発展を見越して実需以上の需要が発生し，韓国，中国などを中心として急激に設備増強を行い，需要に応じてきたからである。

このような状況は2008年9月に起こったリーマンショックにより大きく変化した。海上輸送に用いられる商船の価格は中型のものでも数十億円，大型のものでは百億円を越すので船主は金融機関から融資を受けて船を建造するのが一般的である。リーマンショック以降，各金融機関は融資に慎重になり，一気に船主の発注意欲は低下

した。このため，造船業界は2008年9月以降の受注は激減している。しかし，世界人口の多数を占める新興国を中心とした経済発展は続いており，長期的にみれば海上荷動き量は増大していくと予測されている。そこで，造船需要もいずれ拡大に転じるはずであるが，当面は過去の作り過ぎと過剰設備による需給ギャップを解消する造船業界にとっては厳しい調整期間になると考えられている。

海洋関係については2007年4月に海洋基本法が成立し，2007年7月に施行された。これにともない，内閣に総合海洋政策本部が設置され，国として海洋政策の総合的推進体制が整備された。総合海洋政策本部は海洋基本計画策定作業に着手し，パブリックコメントを経て2008年3月に海洋基本計画が閣議決定された。これにより，405万km²に及ぶ排他的経済水域（領海を合わせた200海里水域の広さは世界第6位の447万km²）の開発が推進される体制が整った²⁾。

1.2 全体の技術動向

1.2.1 船舶関連の規則強化

(1) 共通構造規則（CSR：Common Structural Rule）

バルクキャリアーの遭難事故やタンカーの原油流出事故を契機として，腐食問題・疲労問題が注目され，IMO（International Maritime Organization：国際海事機関）を中心に船舶関連の規則が強化されてきた。この流れに従い，IACSでは全船級の統一規則であるCSR（Common Structural Rule：共通構造規則）が定められた。この規則は実際に運行する海域に関わらず，すべての船に海象条件の厳しい北大西洋航路における25年就航に耐える設計と腐食予備厚を要求している。このCSRを適用すると当然のことながら従来規則を適用した場合に比較して鋼材重量が増加することになる。そこで，鋼材重量の増加を少しでも抑制するために耐食性向上と疲労強度向上のニーズが高まっている。

(2) 新塗装基準（PSPC）

バラストタンクの塗装の不備が原因とみられる事故の対策として，船の安全確保の目的から腐食防止が義務付けられた。15年有効な塗装とするために必要な下地処理，塗装の性能，管理方法などが2006年12月に具体的な

図1 世界の海上荷動き量と新造船竣工量の推移
[日本造船工業会統計資料より作成]

原稿受付 平成22年4月14日

*正 員 住友重機械マリンエンジニアリング（株） Member, SUMITOMO
HEAVY INDUSTRIES MARINE & ENGINEERING Co., Ltd.

塗装基準として2006年12月のIMO（国際海事機関）で採択された。2008年7月以降に契約された船には新塗装基準が強制的に適用されるが、2009年9月には新塗装基準を適用した国内で最初の船が引き渡された³⁾。

1.2.2 建造量の拡大

図2に示すように2007年までの急激な新造船の受注に伴う工事量の増大により、各造船所は生産設備の拡充を行った。日本の造船所はかつての造船不況の教訓から中国や韓国ほど大規模ではないが、クレーンの大型化やブロック工場の新設など工事量増加に対応した設備拡張が行われた。この結果、ブロックは大型化し、搭載ブロックの数を減少させ、ドック期間の短縮が図られた。一方、韓国や中国では新興造船所の設立やドックの増設など大規模な設備増強が行われ、建造能力が急増した。また、韓国の大手造船所では設備増強とともに、陸上建造やフローティングドックを用いた建造など新しい建造方法が採用された。

1.2.3 超大型コンテナ船

コンテナ船は従来、パナマ運河を通過できる最大幅のものが最大船型であったが、1990年代に入り、パナマ運河を通過しないオーバーパナマックス船型の出現により急速に大型化している。最近では積載量が10,000 TEUと

いった超大型コンテナ船が建造されている。コンテナ船は上甲板近傍に縦通部材が少ないので、縦強度を確保するため、極厚の高張力鋼が使用される。一般に厚板になると靱性値が低下する傾向にあるが、超大型コンテナ船で使用される極厚板は従来の船舶の想定を超えているものであり、超大型コンテナ船構造安全対策検討委員会（船舶技術研究協会）などで技術的課題の解決のための検討が行われた。また、船級協会でも脆性破壊を防止する観点からガイドラインが設定された^{4), 5)}。

1.2.4 高精度化

造船において、ブロック精度を確保することが極めて重要な課題であるが、精度計測方法やブロック精度のばらつきの原因となる溶接変形についての新たな試みがなされている。

造船ではブロック建造を行っているので、各ブロックについて、精度を上げることが重要な課題である。ブロックの精度計測方法についてはかつて、トランシット、巻尺やプロンといった計測器が使用されていたが、現在では3次元計測器を用いるのが主流になっている。3次元計測器では計測したい位置にターゲットを設置してターゲットの3次元座標を計測している。すなわち「点」の計測であるが、最近、レーザースキャナを用いてターゲットを用いず、「面」での計測が試みられている。「面」で計測した場合には図面形状との照合をいかに行うかが重要な課題となる。これに対し、レーザースキャンした結果から角の位置を自動的に求め、これを3D-CADによる3次元形状と照らし合わせるにより効率よく計測する方法が検討されている⁶⁾。レーザースキャナの低価格化及び3次元CADの進化が進めば曲面の多い造船の中で今後普及していくことが考えられる。

ブロックを精度よく製作するためには溶接変形を予測することが重要な課題であることから以前からブロックの溶接変形予測については有限要素法を用いたシミュレーションが試みられていた。しかし、大型ブロックの変形を有限要素法でシミュレーションするためには固有ひずみを用いた方法でも多くの要素による大規模な計算が必要となる。最近、大型ブロックの組立順序が溶接変形に及ぼす影響についてのシミュレーションが行われている⁷⁾。3D-CADから溶接変形シミュレーションまでの作業が効率化すれば、事前に施工手順を検討する有力なツールになる可能性がある。

1.2.5 海洋構造物

現在、羽田沖では羽田空港の4番目の滑走路が平成22年10月末の供用開始を目指して建設中であるが、多摩川の河口側は多摩川の流れを阻害しないようにする必要があり、図3に示す写真の栈橋部と連絡誘導路ではパイプ構造となっている。この部分は現地での工事期間の短縮等の目的で、大型のジャケットをつなぎ合わせる工法が採用されている。100年耐用とするため、飛沫帯では防食のため、鋼管表面に板厚0.4mmの耐海水性ステンレス鋼（SUS312L）を専用の工場にてライニング溶接している⁸⁾。

図2 世界の新造船受注量、竣工量及び手持ち工事量
[日本造船工業会統計資料より作成]

図3 建設が進む羽田空港新滑走路
(国土交通省関東地方整備局東京空港整備事務所ホームページ)

1.3 溶接・接合技術の動向

1.3.1 共通構造規則（CSR：Common Structural Rule）への対応

（1）規則改正に伴う継手構造の変化

CSR の適用が義務付けられたことにより、板厚が増加し、船殻重量は増加する傾向にある。一方、建造コストや積載量を考慮すると、船殻重量の増加を抑制する必要がある。そこで、溶接量は増加するが、図4に示すように、部分的に疲労強度を必要とする箇所のみ増厚や骨材の量を増やして対応している造船所が多い。この結果、溶接としては以下のような構造の変化に対応する必要が生じてきた。

- ・板厚差のある板継溶接
- ・骨材の効率的な製作
- ・骨材と板の溶接の効率化
- ・骨材の増加に伴う立向溶接の効率化

（2）板厚差に対応する板継溶接

造船ではブロック工法が採用されているが、大型ブロックのベースとなる板は広幅の鋼材を片面溶接するのが一般的である。この片面溶接法としては片面サブマージアーク溶接が多く造船所で適用されているが、裏波の形成をフラックスと銅板から得る方法（FCB, FCuB）と熱硬化性のフラックスを用いる方法（RF）が従来から用いられている。以前は銅板を用いる方法が多く採用されてきたが、最近では RF を採用する造船所が増加している。片面溶接では板厚差がある場合、上面に後から部材を取り付けるために、板厚差を下面（裏面）に逃がす場合が多い。RF が銅板を用いる方法よりも板厚差のある場合の裏波形成が容易であることから導入する造船所が増加していると考えられる⁹⁾。

（3）すみ肉溶接の高速化

CSR 適用により骨材が増加する傾向にあるので、この骨材をいかに効率的に製作するか、また、骨材とベースになる板とのすみ肉溶接をいかに効率的に行うかが重要な課題となる。このすみ肉溶接について、内外の数多くの造船所では TOP 法（Tandem One Pool：2 電極 1 プール高速すみ肉溶接法）が採用されている（溶接速度：

1.0 m/min 程度）。しかし、さらなる高速化の要求に対しては、ビード外観や耐気孔性の点で課題が多い。図5に示す 3 電極 1 プール高速すみ肉溶接法は、TOP 法の 2 電極間に専用ワイヤを挿入した新しい溶接施工法である。挿入電極には、DCEP（直流電極プラス）ではなく、反対の極性である DCEN（直流電極マイナス）を適用し、通電するもののアークは発生させない。挿入電極を DCEN にすることで両側の電極と逆の磁界が発生し、アーク干渉が緩和されて溶滴移行および熔融池が安定化する。これによって品質の安定した高速すみ肉溶接が可能となった。図6、図7に示すように、本溶接法が造船所のビルトアップロンジ製作ラインとロンジを鋼板に溶接するラインウェルダーとして導入された^{10, 11)}。

（4）立向溶接の効率化

CSR 適用により骨材が増加する傾向にあるので、結果として立向溶接も増加する傾向にある。従来、立向姿勢

図5 3電極1プール高速すみ肉溶接法

図6 3電極1プール高速すみ肉溶接を利用したビルトアップロンジ製作ライン

図4 CSR（共通構造規則）適用による構造変化

図7 3電極1プール高速すみ肉溶接を利用した多電極溶接装置

図8 立向簡易自動溶接機

図9 プラズマ切断機による上面フリーエッジ切断
[小池酸素工業㈱提供]

の溶接ではトーチのウィービングが必要であり、装置化する場合においてはロボットなど高度の機能を必要としていた。これに対し、溶接金属の粘性やスラグ発生量などをさらに改良したFCWが開発され、ウィービングを行わなくても溶接できる立向上進溶接用FCWが開発された¹¹⁾。このFCWでは立向上進溶接でウィービングを行わない場合でも、9mm程度の脚長までフラットでなじ

みの良好なビードが得られる。このワイヤを用いることによりウィービング機能を持たない比較的簡易で安価な装置で立向溶接を機械化することが可能となった。このような簡易自動溶接装置を使用している例を図8に示す。

1.3.2 新塗装基準への対応

新塗装基準ではバラストタンク内のフリーエッジは半径2mm以上の丸みをつける(2R処理)、または3回グライNDERをかける(3P処理)必要ある。そこで、このようなエッジ処理を省力化する方法として図9に示すように、切断時に鋼板上面に2R以上の丸みのできるプラズマ切断機が開発され¹²⁾、一部の造船所で使用が開始された。溶接においても滑らかなスパッターの少ない溶接が求められ、溶接材料や溶接機の改良が進められている。

1.3.3 レーザー・アークハイブリッド溶接

ヨーロッパの造船所においてはレーザーとGMAWのレーザー・アークハイブリッド溶接が艦艇やフェリーなどの薄板構造で適用されてきた。一般商船建造を中心とする国内の造船所では、適用板厚の制約から導入されていなかったが溶接変形の防止、高精度化などを目的として13mm以下の鋼板を対象として、一般商船への適用が開始された^{3, 13)}。レーザー・アークハイブリッド溶接では従来のアーク溶接と異なる施工管理が必要となる。そこで、日本海事協会はレーザー・アークハイブリッド溶接独自の技術要件を反映させ、船体構造に適用する場合の施工方法承認試験と施工要領作成に関する具体的な要件を新たなガイドラインとして発行した¹⁴⁾。今後、サンドイッチパネルなど、レーザー溶接の特徴を生かした新たな構造様式が造船の中で普及することが期待される。

文 献

- 1) 造船関係資料, 日本造船工業会, 2009年9月。
- 2) 海洋白書2009, 海洋政策研究財団, 2009年5月。
- 3) Japan Shipbuilding Digest (No.15), 日本造船工業会, 2009年12月。
- 4) 大型コンテナ船のYP47鋼の使用に関するガイドライン, 日本海事協会, 2008年10月。
- 5) 脆性亀裂アレスト設計指針, 日本海事協会, 2009年9月。
- 6) レーザースキャナによるブロック精度計測方法に関する研究, 稗方和夫, ワークショップ, 「情報技術による海事産業の新展開」, 2009年6月。
- 7) 大型溶接構造物の組立・搭載工程計画に関する研究-船体ブロックの溶接変形予測, 望月正人他, 溶接学会春季全国大会, 2009年4月。
- 8) 東京国際空港D滑走路建設外工事 (http://www.haneda-d.jp/d_pr/tec07.html)。
- 9) 高品質, 高能率を実現する溶接ソリューション, 伊藤和彦他, 溶接ニュース2009年(平成21年)9月22日付。
- 10) Development and Application of 3-Electrode MAG High Speed Horizontal Fillet Welding Process (IIW DOC. XII-1969-09), Yasuyuki YOKOTA etc., 2009年7月。
- 11) 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, 伊藤和彦他, 神戸製鋼技報/Vol. 59 No. 1 (Apr. 2009)。
- 12) プラズマ切断の最新技術, 濱田智他, 溶接学会誌 Vol.79 (No.2 2010)。
- 13) 重工業におけるレーザー加工技術の動向, 石出孝, 溶接接合振興会第19回セミナー。
- 14) レーザーハイブリッド溶接ガイドライン, 日本海事協会, 2009年12月。