

Techno
Scope世界の物流が動く
アジアの貨物船

近年の中国の経済成長に伴う海上荷動量の増加や、既存船の代替建造の需要増を受けて、造船業は現在、史上最大を記録した1975年以来の活況を呈している。一方、韓国や中国の造船業が急成長を遂げ、競争は激化している。大きな変化を迎えるなか、高張力鋼をはじめとした優れた材料技術が造船業の発展を支えている。

中国のコンテナ船などが停泊し、活況を呈す横浜港。いまや国際定期航路の主役となったコンテナ船は、色とりどりのコンテナを次々と積み上げ、スピード荷役を実現している。

(C)時事通信社

活況を呈すアジアの海運市場と造船業

2003年、世界の新造船竣工量は36百万総トン^{*1}を超えた。これは史上最大を記録(約34.2百万総トン)した1975年以降の竣工量である。受注量も飛躍的に増加しており、2003年の世界の受注量は約62.5百万総トンで、前年比2倍以上の伸びとなっている。各造船所では2~3年後まで手持工事で埋まっているという状況だ。かつて造船ラッシュに沸いた1970年代以降、久しく低迷していた造船業はここにきて再び活気づき、第二の好調期が訪れている。

好調な要因は、中国の急速な経済成長の影響を受け、物資運搬用に船舶需要が高まっているためだ。近年の世界の輸出入貿易は、素材資源(原油、鉄鉱石、石炭、穀物等)の輸入、製品(自動車、電機・電子製品、繊維、加工食料品等)の輸出ともにアジア諸国で増大している。特に中国が世界の主要生産国そして消費国として輸出入の中心となっており、海運市場を活

気づかせている。さらに老朽船の代替建造の需要増加等も造船ラッシュに影響している。

現在、世界の主要な造船国は、韓国、日本、中国で、この3国が世界の船舶建造量の8割を担っている。そもそも我が国の造船業は、建造量や技術において長い間世界をリードしてきたが、韓国が国策として造船業に注力し、2000年以降にはシェア率で我が国を凌ぐ勢いとなっている。さらに最近では、中国も急成長を遂げ、造船業の国際競争は激しさを増している。海は今、アジアを中心に大きな変化を迎えている。

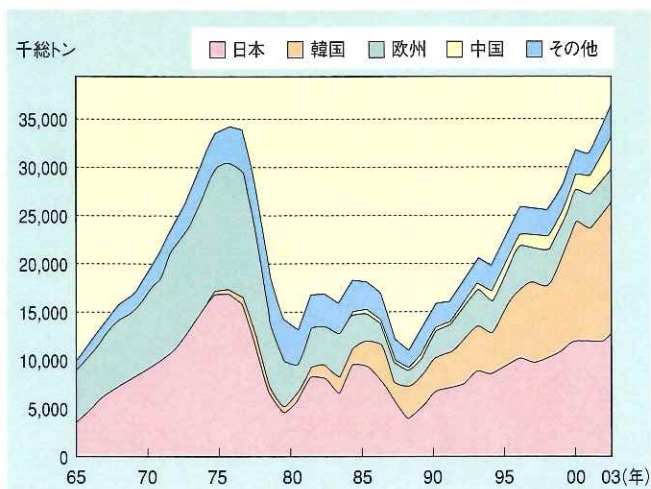
貨物に合わせ進化した専用船

海上には、様々な種類の船舶が運航しているが、用途で分けると、客船、貨物船、特殊船(漁船、海洋調査船などの海上作業に従事する船)に分けられ、客船と特殊船は非常に少なく、貨物船が大部分を占めている。

*1 総トン:船の大きさを表す指標として用いられる。船全体の容積により算定し、課税、検査料等の基準になる。

■世界地域別建造量の推移

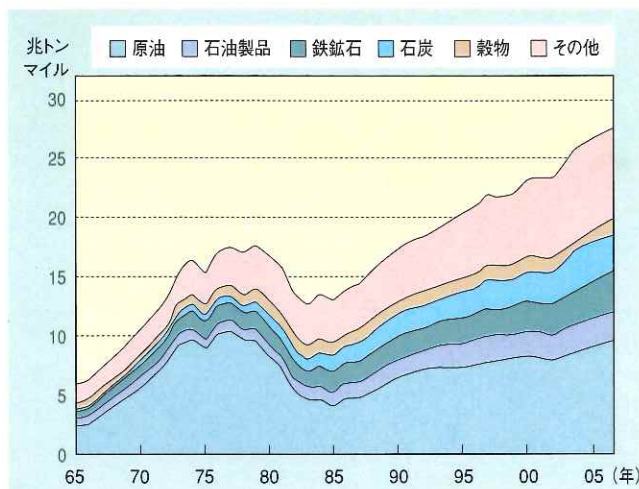
1975年をピークに建造量は減少し、1980年代の低迷期を経て再び上昇傾向に転じている。かつて建造量の多かった欧州はしだいに勢いを弱め、現在は、日本、韓国、中国で世界の建造量の8割を占めている。



(社)日本造船工業会資料より

■世界海上荷動量の推移

荷動量は1980年後半からゆるやかに増加し、近年は、特にその他の部分の増加が著しい。その他の部分の貨物の内容は精密機器や電子製品、食料品や日用品などで、主にコンテナ船がこれらの貨物を運んでいる。



(社)日本造船工業会資料より

貨物船は物資をいかに効率的に運ぶかが重要である。1960年代に入って海上輸送量が増大し、また貨物内容が変化することにつれて、輸送効率を高めるために貨物の種類、形状に合わせ専用化した船が開発された。主な専用船は、鉄鉱石や石炭、穀物等を運ぶばら積貨物船、原油等を運ぶタンカー、製品、半製品を運ぶコンテナ船があり、その他液化燃料を運ぶLNG (Liquefied Natural Gas) 運搬船やLPG (Liquefied Petroleum Gas) 運搬船、自動車運搬船等がある。

貨物船を構成する材料で最も多いのは鉄鋼材料である。船殻をはじめとして主機（ディーゼル機関などの推進機関）、補機（ポンプや発電機などの補助機械）、配管などを合わせると鉄鋼材料はかなりの割合で使用されている。特に我が国では、高張力鋼を多く使用しているのが特徴的である。

急速に大型化が進むコンテナ船

近年特に増加している貨物船は、コンテナ船である。

コンテナ船は、コンテナの使用により荷役時間の大幅な短縮が図れる。在来船の最終港の標準的な在港時間が約1週間と言われるのに対し、ガントリークレーンで荷役作業を行うフルコンテナ船では、通常1泊2日程度である。

コンテナ船が運んでいる貨物は、精密機器や電子製品、食料品や日用品など多様で、アジア諸国に生産工場が増加するに伴いコンテナの取扱量が増大している。

積載量を増やし、1航海当たりの輸送コストを低減させるため、近年、コンテナ船の大型化が顕著となっている。1970年代は



(C)時事通信社

客船も最近大型化の傾向が見られ、10万総トン級の大型客船が就航している。客船の大型化はデザイン性や装飾性と深く結びついている。写真は世界最大のクイーンメリー2号。04年8月オリンピックの見物客を乗せてアテネの外港に到着した。

2,000TEU*2級が主力であったが、1988年には、アジア域内だけに就航するという目的から4,000TEU級のオーバーパナマックス型（パナマ運河を通航できる最大船型を超える船型）が建造され、1990年代になると6,000TEU級の大型コンテナが登場している。

コンテナ船の構造は、コンテナの出し入れがしやすいように倉口が大きく開口し、船倉内の仕切壁が少ないのが特徴である。そのため甲板や仕切壁の少ないコの字型の形状となり、構造的にねじれやすいという弱点を持つ。強度を確保するためコンテナ船は二重船殻構造となっている。さらに船の側壁上部（淵の部分に当たる）には、厚肉の鋼板が使用されている。これに薄い船殻がぶら下がるような構造で、船全体の強度が確保されている。

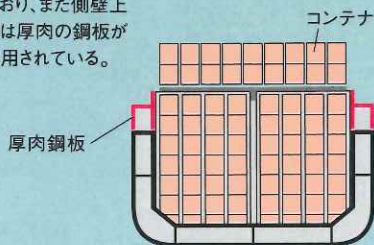
コンテナ船の大型化に伴い、鋼材の厚肉化、高強度化は進み、6,000TEUを超える大型船では、側壁上部に最大厚板65mm、降伏強度390N/mm²級の鋼板が使用されている。

*2 TEU: Twenty Foot Equivalent Unit

コンテナ船の積載量は載貨重量トンではなく、コンテナを何個積むことができるかで表示される。2,000TEUは20フィートコンテナを2,000個積む能力がある船である。

コンテナ船

貨物船のなかでは最速の専用船。船倉内にはセル・ガイドと呼ばれるコンテナ枠があり、コンテナはこれに沿って積み上げられる。倉口が大きく開いているのが特徴。強度を確保するため二重船殻構造となっており、また側壁上部は厚肉の鋼板が使用されている。



(写真提供:石川島播磨重工業(株))

安全性向上が図られるタンカー

近年、その構造に変化が生じているのがタンカーである。タンカーが座礁や衝突で油流出を起こすと、海洋環境に深刻な被害を与える。国際海事機関では、1996年以降に建造される5,000載貨重量トン^{*3}以上のタンカーすべてを二重船殻構造(ダブルハル)にすることを義務付けた。ダブルハルとは、船体の側壁と底部を二重構造にし、座礁や衝突で外側の壁が破れても、内側の壁によって原油が流出しないようにしたものである。さらに2003年の条約改正では、5,000載貨重量トン以上のシングルハルタンカーは2005年には運航禁止になることが定められ、現在、条

約締結国ではタンカーのダブルハル化を積極的に進めている。

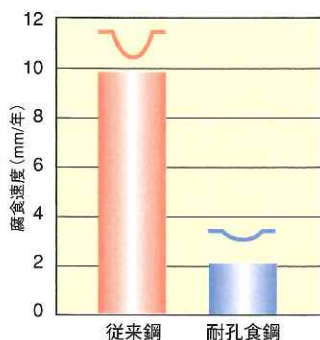
タンカーでは、原油タンク内が厳しい腐食環境におかれるため、腐食が問題となっている。過度の船体腐食が原因で、原油流出事故を起こした老朽船の例もあり、腐食に対する安全性確保が課題となっている。

原油タンク内で生じる主な腐食は、タンク底板の孔食と上甲板裏側を中心とした腐食である。

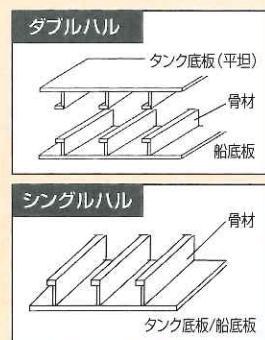
タンク底板の孔食は、ダブルハル化が進むにつれ顕著になっている。シングルハルでは船体の骨材が内側に突出しているが、ダブルハルでは二重船殻の空隙部分に納められ、底板は突起物のないフラットな構造となっている。本来、タンク内は原油が固化してできた厚い油膜が防錆の役目をしているが、スラッジ等を落とすため行われる定期的な油噴射により、遮るものがないダブルハルはタンク底板の油膜が薄くなり、孔食が生じやすくなった。そのため孔食の進行速度を1/5程度に低減させる耐孔食鋼板が開発されている。塗装に頼らずに孔食速度が低減できるため、施工性やメンテナンス性向上に大きく貢献すると期待されている。

また、上甲板裏側の腐食は、上甲板裏側が排気ガスや硫化水素が混在する雰囲気下で、昼夜の乾湿繰り返しを受けるため起こる。腐食が激しければ上甲板を交換する必要性も生じるため、腐食に強い鋼板が求められている。このようなニーズに対応したタンカー上甲板用に耐腐食鋼板が開発されている。この耐食鋼は

■原油タンク底板用耐孔食鋼の腐食速度



■ダブルハルとシングルハルタンカーのタンク底板構造の相違



■タンカー上甲板用耐腐食鋼板の腐食試験

現用鋼に比べ、耐腐食鋼は腐食速度がおそい

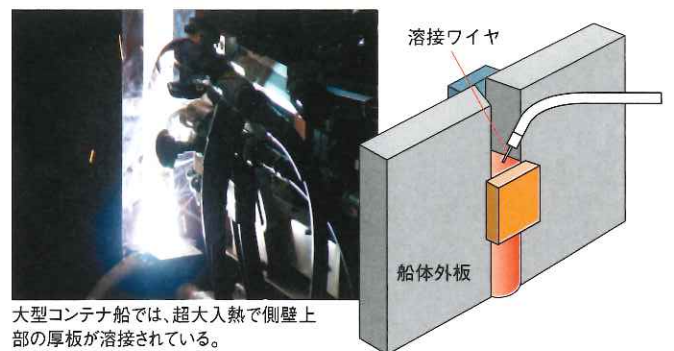
現用鋼



耐腐食鋼



●腐食試験条件
ガス組成…CO₂、SO_x、O₂、N₂
混合ガス乾湿繰り返し、720時間



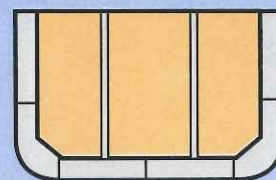
大型コンテナ船では、超大入熱で側壁上部の厚板が溶接されている。

*3 載貨重量トン:貨物を満載した時の排水量(船の重量)から、何も積まないときの排水量を引いたもので、貨物を何トン積めるかが分かる。タンカーやばら積貨物船などに用いられる。



タンカー

20～30万載貨重量トン級のVLCC (Very Large Crude Oil Carrier) タンカーが主力となっている。新たに建造される5,000載貨重量トンタンカーはダブルハル化が義務付けられ、船体の側壁と底部は二重構造になっている。



防錆塗装と併用することで従来に比べ5年程度耐用寿命を延長させることができ、メンテナンス性向上に寄与すると期待されている。

溶接性を高めた鋼板の開発

現在、ほとんどの貨物船は、溶接ブロック建造法を用いて建造されている。この方法は、あらかじめ工場内で部材を組み立て船体の塊(ブロック)を造り、これを大型クレーンで船台に運び接合する方法である。

貨物船の建造工程中、溶接作業は膨大な作業量となる。特に最近増加しているダブルハルの船などは船殻の溶接工数が増加する傾向にあり、溶接工数の低減は造船業における重要な課題である。

最近では、コンテナ船などでは厚板の溶接に一度で一気に行う大入熱溶接が行われている。少しずつ溶接を積み上げる小入熱溶接では、板厚が厚くなるほど溶接工数が増えるが、この方法では大幅な溶接工数の短縮が図れる。大型コンテナ船などは、40万J/cmを超える超大入熱溶接が行われている。しかし大入熱溶接により溶接熱影響部(Heat Affected Zone, HAZ)の組織が粗大化し、継手部の靱性が大きく劣化するという現象が起こることがある。また、最近の高強度化や厚肉化のニーズに対応し、鋼板の炭素当量、合金元素は増加し

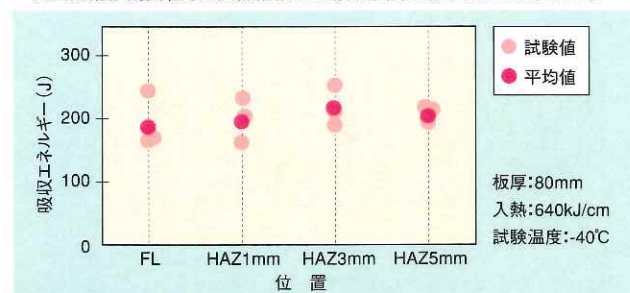
ており、これも溶接性、溶接継手靱性の低下に影響している。このような課題に対応し、大入熱溶接用鋼板が開発されている。この開発鋼は、TiやMgの酸化物、窒化物を用いることにより、溶接時の γ 結晶粒の成長を抑制したり、粒内変態組織を微細化することによりHAZの靱性を改善している。さらに、高速急冷が可能な最新の水冷設備を用いて、従来より低い炭素当量で高い強度を持つ鋼板が開発され、溶接施工性が向上されている。大入熱溶接用鋼板は大型コンテナ船などに採用され、工期短縮に大きく貢献している。

現在、各造船所では、生産性向上のため自動化やロボット化を積極的に進めている。自動化された組立ラインのなかで、切断や溶接時に、高張力鋼板等に生じる変形にばらつきが生じると、高度な工作精度要求に対応できず、自動化の妨げとなることがある。そのため、このような工作精度向上に対応する残留応力制御型高張力鋼板が開発されている。この鋼板は、圧延後の冷却時や溶接後の変態により生ずる鋼板の残留応力を制御し、造船所の加工工程における切断変形や溶接変形の安定化を図っている。

最近では、超大型コンテナ船などに、さらに厚肉の80mm厚高張力鋼板を要望する声も出ており、鋼板が高強度化、厚肉化するなかで、「加工しやすいハイトンを」というニーズは今後ますます強まることが考えられる。

■大入熱溶接用鋼板の溶接継手シャルピー衝撃試験

大入熱溶接用鋼板を大入熱溶接した場合、良好な継手靱性を発揮する。



「造船用鋼材」JFE技報 NO.2 (2003.11)より



これまで以上に高速冷却が可能な水冷設備を用いて、従来より低炭素当量で溶接性に優れ、高強度な鋼板の製造が可能となっている。

環境規制強化に対応

注目される次世代ディーゼルエンジン

近年、地球環境に対する認識はますます高まり、船舶においても窒素酸化物(NOx)、硫黄酸化物(SOx)等の低減は必須となっている。今後、環境対策を行っていない船舶は寄港できないという状態に陥る可能性もあり、我が国では環境に配慮した船舶の開発等を進めている。

国際海事機関による海洋汚染防止条約では、船舶用エンジンのNOx等の排出規制を年々厳しくしている。そのため各造船所では環境負荷の低い新しいディーゼルエンジンに期待を集めている。

現在、造船重機メーカーでは、電子制御型ディーゼルエンジンの製造を開始している。このエンジンは、燃料噴射のタイミングと排気弁の開閉をきめ細かく電子制御することで、

効率的にエンジンを燃焼させる仕組みになっている。通常、船舶のエンジンはその能力の80%程度が最も燃費効率が高いとされ、反対に低速運転中は燃焼効率が落ちるほか、排気ガスに含まれるNOxやばい煙が増える。今回の電子制御型は、この低速運転中の燃焼効率を向上させ、また排気ガスに含まれるNOxやばい煙の発生を抑制する。さらに燃料および潤滑油消費量の低減等も図れる。環境負荷低減が船舶における大きな課題となるなか、電子制御型ディーゼルエンジンは次世代の環境配慮型エンジンとして注目が集まっている。



今後の主力エンジンとして期待される電子制御型ディーゼルエンジン

高い技術と材料で競争力確保をめざす

現在、韓国、中国等の新しい造船国の台頭により、国際競争力の確保が日本の造船業における喫緊の課題となっている。船舶の低い他国の船が進出するなかで、我が国は高い技術をもとに効率化の徹底と船の高性能化を積極的に進めている。高張力鋼は船舶の軽量化と高性能化に大きく貢献する材料である。日本の造船業における高張力鋼の使用は非常に高く、その使用比率は7割を超える。競争が激化するなか、優位性を確保する手段として高張力鋼は不可欠となっている。

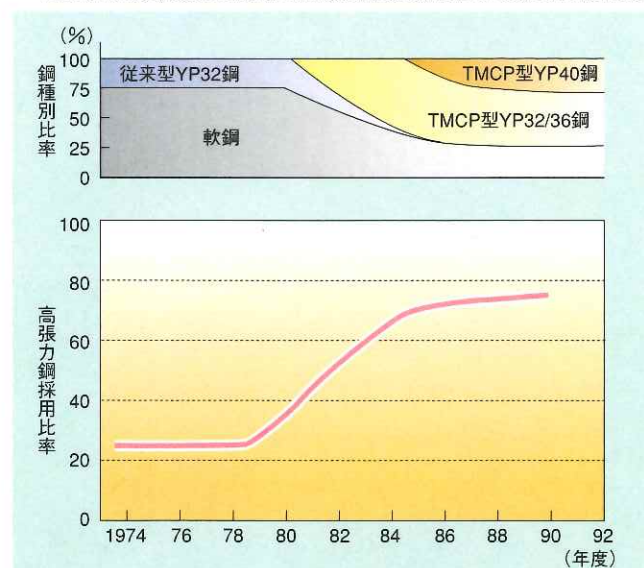
高張力鋼の採用が本格化したのは1980年代である。これはTMCP(Thermo Mechanical Control Process)技術の実用化と大きく結びついている。TMCP技術は、スラブ加熱、圧延、冷却の各工程の温度や圧下率を厳密に管理し、圧延過程で鋼材の材質性能を確保する方法である。一般に鋼板には、高張力化すると溶接性が低下するという相反する性質があるが、TMCP技術の適用により、溶接性を損なうことなく厚板の高強度化を実現することができた。1970年代では従来型YP32鋼(降伏強度32kgf/mm²(314N/mm²)級鋼)使用による高張力鋼化は20%程度にすぎなかったが、1980年代中頃にはTMCP型YP32/36鋼の実用化で70%にまで達した。その結果、高張力鋼を使用した船舶は、軟鋼使用船に比べて20~25%の軽量化が達成された。1980年代後半にはTMCP型のYP40鋼が新たに開発、実用化され、船体重量の軽減や溶接施工効率の向上が図られ、大型船建造コストの低減に寄与している。

最近では、7,000TEU以上の大型コンテナ船がアジアの造船国に次々と発注されている。なかにはこれまでにない大きさの

8,000TEUを超える大型コンテナ船も数多く発注されている。かつてない大型化に伴い、鋼板の厚肉化、高強度化はますます強く求められることが予想される。世界の物流はアジアを中心に動き、船はアジアを中心にドラスティックに変貌している。活気づくアジアの海に、我が国の高い技術から生まれた鉄鋼材料が果たす役割は大きい。

■日本における高張力鋼化比率とTMCP鋼採用率の推移(タンカー(VLCC)による適用)

TMCP型YP32/36鋼の実用化で、高張力鋼の採用比率が70%にまで向上した。



今井嗣郎「ニーズの変化に応える造船用鋼材」鉄鋼界(1999.6)より

- 取材協力 (社)日本造船工業会、三井造船(株)、JFEスチール(株)、新日本製鐵(株)、(株)神戸製鋼所
- 取材・文 杉山 香里