

原油タンカー荷油タンク用耐食鋼 (JFE-SIP[®]-OT1, OT2) の開発

Development of Corrosion Resistant Steels for Cargo Oil Tank of Crude Oil Tankers “JFE-SIPTM-OT1, OT2”

池田 博司 IKEDA Hiroshi JFE スチール スチール研究所 鋼材研究部 主任研究員 (副課長)
寒沢 至 SAMUSAWA Itaru JFE スチール スチール研究所 鋼材研究部 主任研究員 (副課長)
三島 永嗣 MISHIMA Eiji JFE スチール 西日本製鉄所 (倉敷地区) 鋼材商品技術部 厚板・鍛造室 主任部員 (課長)

要旨

原油タンカー荷油タンク底板用耐食鋼「JFE-SIP[®]-OT1」および上板用耐食鋼「JFE-SIP[®]-OT2」を開発した。各耐食鋼では、合金元素の作用により形成された保護性の腐食生成物が、タンク底板の孔食および上板の全面腐食を抑制する。実船タンク底板においても、耐食鋼の優れた耐食性を確認した。底板用耐食鋼は IMO 規定の耐食性と AH/DH 32/36-Z35 の機械的特性を、上板用耐食鋼は IMO 規定の耐食性と AH/DH/EH 32/36/40-Z35 の機械的特性を有する。各耐食鋼の適用により、建造時および維持管理時の塗装が省略でき、低廉なライフサイクルコストで原油タンカーの安全性向上に寄与できると期待される。

Abstract:

JFE Steel has developed corrosion resistant steels for bottom plate “JFE-SIPTM-OT1” and upper deck “JFE-SIPTM-OT2” for the cargo oil tanks of crude oil tankers. Protective corrosion products formed by the action of alloying elements reduced the pitting corrosion in bottom plates and the general corrosion of upper decks of the cargo oil tanks. In the actual bottom plate of the cargo oil tanks, the developed steel showed excellent corrosion resistance. The developed corrosion resistant steel for bottom plates satisfies corrosion resistance criterion of IMO regulations and mechanical properties of AH/DH 32/36 grades and Z35. The developed corrosion resistant steel for upper decks satisfies corrosion resistance criterion of IMO regulations and mechanical properties of AH/DH/EH 32/36/40 grades and Z35. The application of those corrosion resistant steels is expected to contribute to the improvement of the safety of crude oil tankers at low life cycle costs by omitting painting in construction and maintenance.

1. はじめに

原油タンカーの破損事故等により原油が流出すると、重大な環境汚染を引き起こす。破損事故の一因となる原油タンカー荷油タンク (以下、COT) の腐食については、1990年代後半から指摘され始め、1999年、日本造船研究協会は、鉄鋼、造船、船主などの海事関係者からなる第242研究会 (SR242) を設置し、COT内の腐食環境と腐食メカニズムについて、大規模な研究調査を行った¹⁾。図1にCOT内の腐食環境を模式的に示す。腐食が問題となるCOT上甲板裏 (以下、上板) と底板では腐食環境が大きく異なり、それぞれ異なる様式の腐食が発生する。COT上板は、原油から発生する硫化水素 (H₂S) と空きスペースに導入された防爆用の排ガス (O₂-CO₂-SO_x-N₂) が混合された雰囲気曝されるとともに、昼夜の温度変化による乾湿繰り返しの過酷な

腐食環境におかれ、全面腐食となる。一方、COT底板の腐食の発生は以下の過程により進行する。COT底板は、オイルコートと呼ばれる油分層で覆われスラッジ (原油固形分や鉄錆、硫黄の混合物) が堆積し、その上に原油から分離した高濃度塩水が滞留している。オイルコートに欠損が生

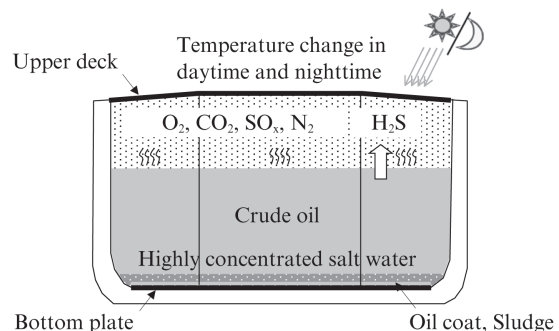


図1 原油タンカー COT 内の腐食環境

Fig. 1 Corrosion environment in COT of crude oil tanker

じると、塩水環境において、オイルコート欠損部分が局所的なアノード、スラッジがカソードとなってマクロセル（腐食電池）が形成され、孔食が発生、成長する。さらに、腐食の進行に伴い、孔食内部で pH が低下すると、孔食成長が加速され、孔食の進展速度は 4 mm/年に達するケースもある。

このような COT 内の腐食問題に対し、船舶の安全性向上、環境汚染防止の観点から、2010 年、国際海事機関（以下、IMO）において COT の性能基準が制定され、防食措置が義務化された。防食措置としては、塗装、耐食鋼の使用が定められている²⁾。

こうした状況を背景として、JFE スチールは、長年にわたり蓄積した耐食設計および材質設計技術を活用し、COT 底板および上板での腐食を顕著に抑制するとともに機械的特性にも優れる COT 底板用耐食鋼：JFE-SIP[®]-OT1^{3,4)} および上板用耐食鋼：JFE-SIP[®]-OT2 を開発した。本稿では、これらの耐食設計と性能、船級承認取得状況、適用ベネフィットについて述べる。

2. 底板用耐食鋼：JFE-SIP[®]-OT1

2.1 腐食メカニズムと耐食設計

上述のとおり、COT 底板は、オイルコートと呼ばれる油分層で覆われかつスラッジが堆積し、その上に高濃度塩水が滞留している。ここで、オイルコート欠損部分が局所的なアノード、スラッジがカソードとなってマクロセルが形成され、孔食が発生、成長する。その後、孔食の成長に伴い、孔食内部で pH が低下していき、さらに孔食成長が加速されると考えられる。IMO 規定の COT 底板用の腐食試験²⁾ は、この孔食成長後の孔食内部の酸性環境を模擬したものである。当社では、COT 底板特有の段階的な腐食メカニズムを考慮し、IMO 規定の酸性環境での腐食試験のみならず、孔食の発生および成長段階であるマクロセルを模擬した独自の実験室腐食試験を行い、耐食性に及ぼす添加元素の影響を調査した。これらの検討に基づき耐食性向上に有効な添加元素を選定し、さらに最適な鋼成分の調整を行うことで、高い耐食性と十分な機械的特性を両立させた COT 底板用鋼の開発に成功した。

図 2 に JFE-SIP-OT1 の耐食性発現機構を示す。本鋼は、上述した添加元素の働きにより、難溶性の被膜ならびに微細な錆粒子を有する保護性の腐食生成物を形成する。この保護性の腐食生成物は、オイルコート欠損部とスラッジの間でのマクロセルの形成を阻害し、孔食発生および成長を抑制するとともに、耐酸性を有することから pH 低下による孔食成長の加速を抑制する。

2.2 JFE-SIP[®]-OT1 の耐食性

2.2.1 実験方法

図 3 に COT 底板のマクロセルを模擬した腐食試験法の模

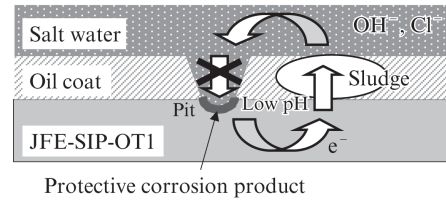


図 2 JFE-SIP[®]-OT1 の防食機構

Fig. 2 Protection mechanism of JFE-SIPTM-OT1

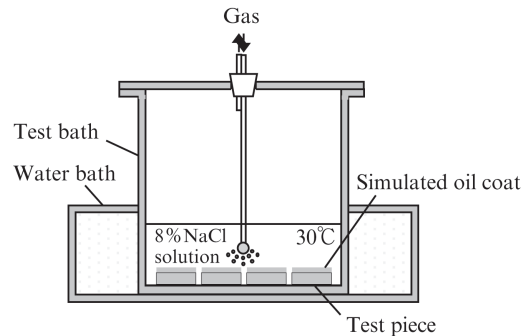


図 3 オイルコート模擬腐食試験方法

Fig. 3 Corrosion test method with simulated oil coat

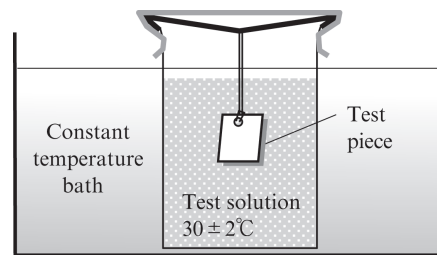


図 4 塩酸浸漬腐食試験方法 (IMO 規定)

Fig. 4 Corrosion test method of immersion in hydrochloric acid (IMO regulations)

式図を示す。試験材として、JFE-SIP-OT1 と従来鋼 (DH36 グレード) から 5 mm^t×25 mm^w×60 mm^L の試験片を採取、試験片表面をショットブラストし、無機 Zn プライマー (膜厚: 15 μm) を塗布した。被試験面以外は、十分な膜厚を有するエポキシ塗装を施し、被試験面には、SR242 で報告されているスラッジ組成¹⁾を参考にパラフィンや鉄錆、硫黄を用いて作製した模擬オイルコートを塗布した。被試験面には、模擬オイルコートを塗布しない部分を設け、欠損部を模擬した孔食起点とした。試験片の評価面を 8% NaCl 溶液中に上向きに浸漬し 30℃ に保持した。上甲板裏側空きスペースの雰囲気をも模擬した腐食性ガスを 20 cc/min でバブリングし、28 日後に表面に発生した孔食深さを測定した。

図 4 に耐酸性についての評価試験方法を示す。試験方法は、IMO 規定の COT 底板用の腐食試験方法 (以下、本稿では塩酸浸漬腐食試験方法と表記) に準拠した²⁾。試験材として、JFE-SIP-OT1 と従来鋼 (DH36 グレード) から 5 mm^t×25 mm^w×60 mm^L の試験片を採取し、試験片表面は

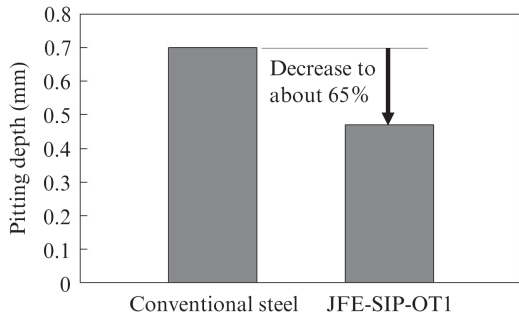


図5 模擬オイルコート腐食試験結果

Fig. 5 Corrosion test results with simulated oil coat

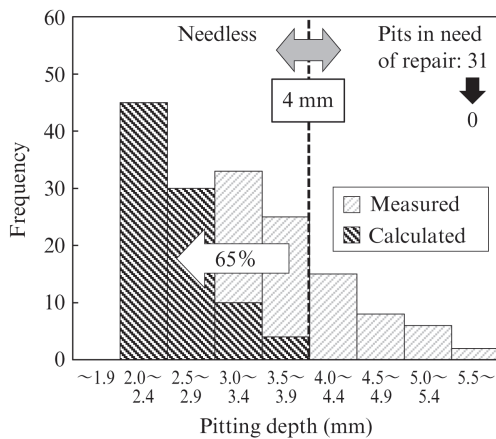


図6 実船の孔食深さ分布と JFE-SIP[®]-OT1 適用後の推定される孔食深さ分布

Fig. 6 Pitting depth distribution on actual tanker and distribution after JFE-SIPTM-OT1 applied

600 番研磨仕上げとした。試験溶液として、10% NaCl を塩酸で pH=0.85 に調整したものを用いた。この試験溶液は、孔食内部の pH 低下時を模擬したものである。試験温度は 30℃ とし、72 時間浸漬後の腐食速度を求めた。

また、IMO 規定においては、溶接継手部にも母材と同等の耐食性能が求められていることから、溶接継手部の耐食性評価も行った。JFE-SIP-OT1 と種々の溶接材料を用いて溶接継手を作製、継手腐食試験片を採取し、塩酸浸漬腐食試験方法で 168 時間浸漬後の試験片の断面観察を行い、母材と溶接金属境界部の段差を測定した。

2.2.2 実験結果

図 5 に模擬オイルコートを用いた腐食試験の結果を示す。JFE-SIP-OT1 の孔食深さは、従来鋼と比較して約 65% に減少した。図 6 に示すように、この孔食深さ抑制効果を、従来鋼プライマー仕様船の実船調査において得られた孔食深さ分布に当てはめる（実船で観測された要補修のすべての孔食について、それぞれの孔食深さに一律 65% を掛ける）と、JFE-SIP-OT1 の要補修孔食数はゼロになる。ただし、実船の孔食深さ分布は個々の船で同一ではないのですべての船舶で要補修孔食数がゼロとなるとは言えないが、JFE-SIP-OT1

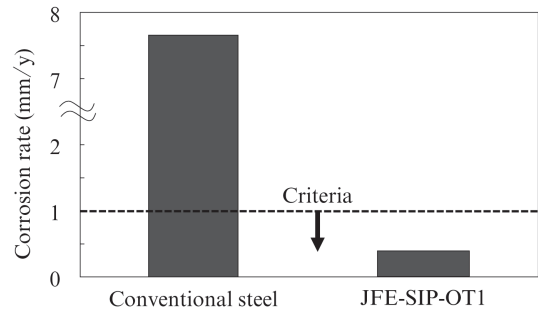


図7 塩酸浸漬腐食試験結果 (IMO 規定)

Fig. 7 Corrosion test results of immersion in hydrochloric acid resistance of JFE-SIPTM-OT1

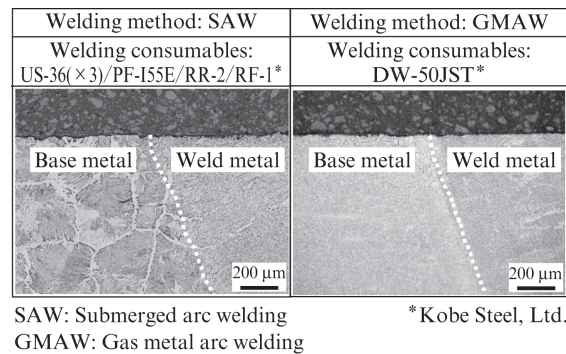


写真1 JFE-SIP[®]-OT1 継手部の塩酸浸漬腐食試験後の断面

Photo 1 Cross section view of welded joints of JFE-SIPTM-OT1 after corrosion test of immersion in hydrochloric acid

の孔食抑制効果が大いことは明らかである。

図 7 に IMO 規定の塩酸浸漬腐食試験の結果を示す。JFE-SIP-OT1 の腐食速度は、従来鋼の約 1/20 である約 0.39 mm/年となり、COT 底板用耐食鋼の IMO 性能基準クライテリア(腐食速度 ≤ 1.0 mm/年²⁾) を十分満足する。

写真 1 に溶接継手部の腐食試験結果の例を示す。ここでは、JFE-SIP-OT1 を用いて作製した SAW 継手(溶接材料:(株)神戸製鋼所製 US-36(×3)/PF-I55E/RR-2/RF-1) および GMAW 継手(溶接材料:(株)神戸製鋼所製 DW-50JST, JFE-SIP-OT1, OT2 の D 級鋼用開発溶材)の断面観察結果を示す。JFE-SIP-OT1 の溶接継手は、母材部と溶接金属部の境界部で段差は生じず、溶接継手部の IMO 性能基準クライテリア(母材部と溶接金属部の境界部の段差が 30 μm 以下または 50 μm 以下かつ角度 15°以下⁵⁾) を十分満足する。

2.3 JFE-SIP[®]-OT1 の機械的特性

表 1 に JFE-SIP-OT1 (板厚 40 mm) の母材の機械的特性を示す。表 2 に JFE-SIP-OT1 を用いて作製した溶接継手の機械的特性の一例を示す。溶接継手は大入熱溶接適用時の機械的特性を評価するため、入熱約 26 kJ/mm の FCB (Flux Copper Backing) 溶接で作製した。本鋼は、母材、溶接継手ともに、DH36 グレードの造船用鋼としての機械的特性を十分満足する。なお、表 1 に示すように、本鋼は、板厚方

表 1 JFE-SIP[®]-OT1 の母材機械的特性

Table 1 Mechanical properties of base metal of JFE-SIPTM-OT1

	Tensile property (Direction : T)			Charpy impact property (Direction : L)	Through thickness tensile property
	YP (MPa)	TS (MPa)	EI (%)	vE-20 (J)	RA (%)
JFE-SIP-OT1 (40 mm ¹)	431	548	24	271	73 (Each 70,74,76)
Spec. (DH36-Z35)	≥355	490 - 620	≥20	≥34	≥35 (Each≥25)

表 2 JFE-SIP[®]-OT1 の継手機械的特性

Table 2 Mechanical properties of welded joint of JFE-SIPTM-OT1

	Welding method	Tensile property		Charpy impact property		
		TS (MPa)		Face, vE ₀ (J)		
		Start	End	WM	FL	FL + 2 mm
JFE-SIP-OT1 (40 mm ¹)	FCB, Heat input : 26 kJ/mm	548	557	116	107	187
Spec. (DH36)		≥490		≥34		

向引張試験においても高い絞り値を示しており、耐ラメラテア性にも優れる。

2.4 JFE-SIP[®]-OT1 の実船への適用例

実船環境における JFE-SIP-OT1 の耐食性を検証するため、2007 年から原油タンカーへの適用を開始し、2.5 年毎の原油タンカーのドック入りごとに調査を行った。図 8 に実船孔食数の調査結果を示す。ここでは、JFE-SIP-OT1 を適用した原

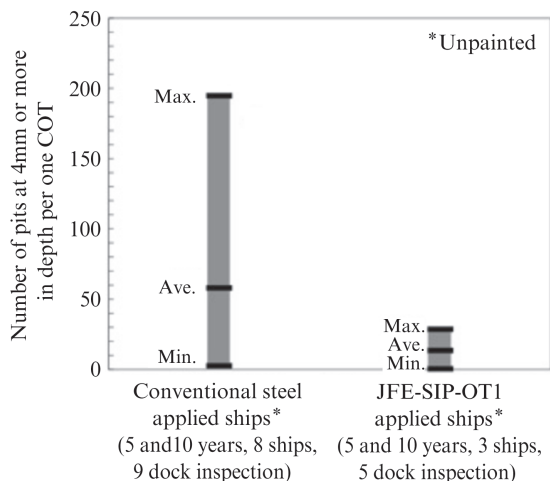


図 8 実船原油タンク底板での孔食発生数

Fig. 8 Number of pits on bottom plate of actual COT

油タンカー 3 隻 (AFRA (Average Freight Rate Assessment) Max 1 隻, VLCC (Very Large Crude Oil Carrier) 2 隻) の 5 年目および 10 年目の検査ドックで計測された、各タンク底板に発生した深さ 4 mm 以上の孔食発生数を集計し、1 タンクあたりの孔食発生数を求めた。比較のため、従来鋼が適用された 8 隻についても同様の調査を行った。ここでの調査対象船はいずれも IMO における防食措置の義務化以前に建造されており、塗装されていない状態で就航している。なお、孔食は、2.5 年毎のドック入り時のタンククリーニングで成長が停止すると考えられており¹⁾、実船タンク底板の孔食発生数は、ドック入り時の調査データで比較調査できると考えられる。要補修となる深さ 4 mm 以上の孔食発生数は、従来鋼では最大 195 個、平均 58 個となった。一方、JFE-SIP-OT1 では最大 29 個、平均 14 個と顕著に低減した。このことから、JFE-SIP-OT1 は、実船環境においても優れた耐孔食性を示すことが確認できた。

3. 上板用耐食鋼 : JFE-SIP[®]-OT2

3.1 腐食メカニズムと耐食設計

SR242 での調査研究で明らかにされているとおり¹⁾、COT 上板は、原油から発生する硫化水素 (H₂S) と防爆用の排ガス (O₂-CO₂-SO_x-N₂) の混合雰囲気曝され、かつ昼夜の温度変化により結露が生じ乾湿が繰り返されることで、全面腐食となる。上述した底板とは全く異なった腐食環境におかれているため、COT 上板用の耐食鋼開発においては、新たな耐食設計が必要であった。当社では、上板特有の腐食メカニズムを再現する IMO 規定の模擬腐食試験²⁾を実施し、COT 上板での耐食性向上に有効な添加元素を選定した。結露水分中の腐食因子 (HS⁻, SO₄²⁻ など) の地鉄への近接の抑制に効果のある元素に着目し最適な鋼成分の設計、調整を行うことで、COT 上板用鋼として必要な機械的特性と高い耐食性の両立に成功した。

図 9 に JFE-SIP-OT2 の耐食性発現機構を示す。本鋼は、添加した合金元素の働きにより、鋼表面に硫化物を主体とする難溶性化合物を形成する。この難溶性化合物を含む保護性の腐食生成物が腐食因子の地鉄への近接を抑制することで、鉄の溶解反応を低減し高い耐食性を実現する。

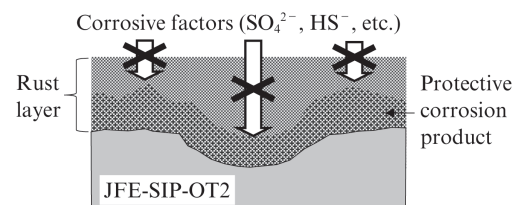


図 9 JFE-SIP[®]-OT2 の防食機構

Fig. 9 Protection mechanism of JFE-SIPTM-OT2

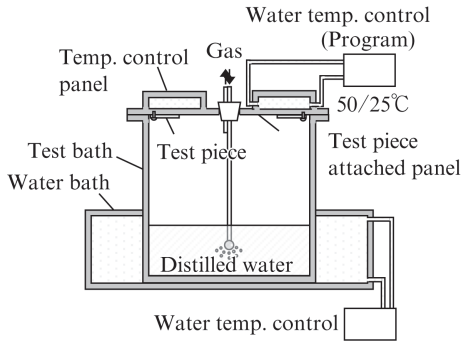
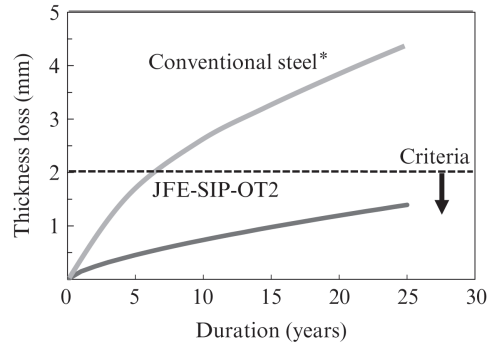


図 10 COT 上板環境模擬腐食試験装置 (IMO 規定)

Fig. 10 Simulated corrosion test apparatus for upper deck of COT (IMO regulations)



*Quoted from reference⁶⁾

図 12 JFE-SIP[®]-OT2 の 25 年後腐食量予測 (図 11 の外挿による)

Fig. 12 Estimation of corrosion loss of JFE-SIPTM-OT2 after 25 years (Extrapolated from the data in Fig. 11)

3.2 JFE-SIP[®]-OT2 の耐食性

3.2.1 実験方法

図 10 に IMO 規定の上板用の模擬腐食試験²⁾ 装置の概要を示す。蒸留水を入れた密閉容器中に上甲板裏側空きスペースの腐食性ガスを模擬したガス (O₂, CO₂, SO₂, H₂S 含有) を吹き込み、上板の環境を模擬している。試験片は上甲板裏側を模擬するため試験槽天井裏に取り付け、25°C–50°C の温度サイクルを付与することで結露と乾燥の繰り返しを再現している。試験材として JFE-SIP-OT2 と従来鋼を使用し、JFE-SIP-OT2 は 21, 49, 77, 98 日間の、従来鋼は 98 日間の試験を行った。そのうえで、IMO ルール²⁾ に従い、JFE-SIP-OT2 の腐食試験データに最小二乗法を適用し、外挿により 25 年後の腐食量を計算した。なお、IMO ルールでは、従来鋼の 98 日試験後の腐食速度が 0.2–0.4 mm/年の間であれば適切な試験と判断される。

底板と同様に、IMO 規定では溶接継手にも母材と同等の耐食性能が求められることから、溶接継手の耐食性の評価も行った。試料として JFE-SIP-OT2 と種々の溶接材料を用いて溶接継手を作製、継手腐食試験片を採取した。上板環境の模擬腐食試験方法で 98 日試験後の継手腐食試験片の断面観察を行い、母材と溶接金属境界部の段差を測定した。

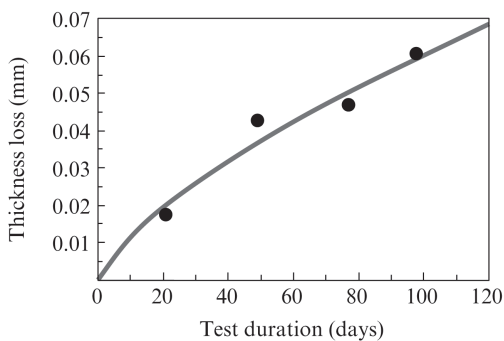
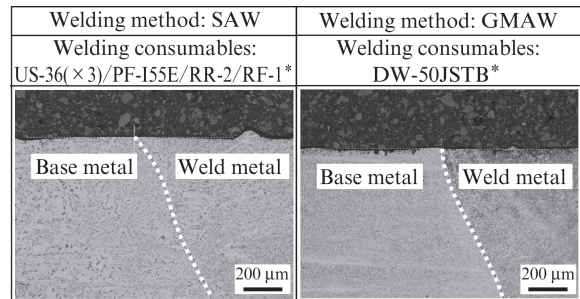


図 11 JFE-SIP[®]-OT2 の模擬腐食試験結果

Fig. 11 Simulated corrosion test result of JFE-SIPTM-OT2



SAW: Submerged arc welding
GMAW: Gas metal arc welding

*Kobe Steel, Ltd.

写真 2 JFE-SIP[®]-OT2 継手部の模擬腐食試験後の断面

Photo 2 Cross section view of welded joints of JFE-SIPTM-OT1 after simulated corrosion test

3.2.2 実験結果

図 11 に上板用の模擬腐食試験結果を示す。図 11 のデータに基づき、IMO ルール²⁾ で定められる最小二乗法の外挿により 25 年後の腐食量を計算した結果を示す。なお、図 12 には、参考のため、NK 船級が開示している累積 98% 板厚減データ⁶⁾ も併記した。JFE-SIP-OT2 の 25 年後予測腐食量は 1.39 mm となり、IMO 性能基準のクライテリア (≤2.0 mm/25 年)²⁾ を十分満足する。

写真 2 に継手腐食試験の結果の例を示す。ここでは、JFE-SIP-OT2 を用いて作製した SAW 継手 (溶接材料: (株) 神戸製鋼所製 US-36 (×3)/PF-I55E/RR-2/RF-1) および GMAW 継手 (溶接材料: (株) 神戸製鋼所製 DW-50JSTB, JFE-SIP-OT1, OT2 の E 級鋼用開発溶材) の断面観察結果を示す。母材部と溶接金属部の境界部において段差は認められず、溶接継手の耐食性も優れていることを確認した。

3.3 JFE-SIP[®]-OT2 の機械的特性

表 3 に JFE-SIP-OT2 (板厚 40 mm) の母材の機械的特性を示す。表 4 にこの鋼板を用いて作製した大入熱溶接継手 (FCB 溶接, 入熱約 26 kJ/mm) の機械的特性の一例を示す。

表3 JFE-SIP[®]-OT2の母材機械的特性Table 3 Mechanical properties of base metal of JFE-SIPTM-OT2

	Tensile property (Direction : T)			Charpy impact property (Direction : L)	Through thickness tensile property
	YP (MPa)	TS (MPa)	El (%)	vE-40 (J)	RA (%)
JFE-SIP-OT2 (40 mm ¹)	460	544	26	353	76 (Each 80,72,77)
Spec. (EH40-Z35)	≥390	510 - 650	≥19	≥39	≥35 (Each≥25)

表4 JFE-SIP[®]-OT2の継手機械的特性Table 4 Mechanical properties of welded joint of JFE-SIPTM-OT2

	Welding method	Tensile property		Charpy impact property		
		TS (MPa)		Face, vE-20 (J)		
		Start	End	WM	FL	FL + 2 mm
JFE-SIP-OT2 (40 mm ¹)	FCB, Heat input : 26 kJ/mm	548	556	111	99	117
Spec. (EH40)		≥510		≥39		

本鋼は、母材、溶接継手ともに、EH40グレードの造船用鋼としての機械的特性を十分満足する。また、底板と同様、表3に示すとおり板厚方向引張試験においても高い絞り値を示しており、耐ラメラテア性にも優れている。

4. 船級承認取得状況

各耐食鋼は、NK船級のほか、ABS船級、DNV GL船級、BV船級など海外船級の承認も順次取得している。底板用耐食鋼JFE-SIP-OT1は、「AH32-RCB」、「DH32-RCB」、「AH36-RCB」、「DH36-RCB」の船級規格において、最大板厚50 mm、Z35の承認を得ている。また、上板用耐食鋼JFE-SIP-OT2は、「AH32-RCU」、「DH32-RCU」、「EH32-RCU」、「AH36-RCU」、「DH36-RCU」、「EH36-RCU」、「AH40-RCU」、「DH40-RCU」、「EH40-RCU」の船級規格において、最大板厚40 mm、Z35の承認を得ている。さらに、各耐食鋼への溶接材料の適用承認も多数取得している。

5. JFE-SIP[®]-OT1, OT2の適用ベネフィット

JFE-SIP-OT1をCOT底板に適用することで孔食を大幅に抑制でき、またJFE-SIP-OT2をCOT上板に適用することで全面腐食を大幅に低減できる。各耐食鋼はIMO基準に適合しているためCOT底板および上板を無塗装でき、原油タンカー建造時の塗装に関わるコストおよび工期を圧縮でき

る。就航後も、補修工事の簡略化によるドック期間の短縮に寄与できる。また、耐食性と十分に十分な機械的特性を兼備し、特に耐ラメラテア性に優れているため、COT構造部材で板厚方向に引張応力を受ける溶接部にも適用可能である⁷⁾。加えて、無塗装化により、塗装時に発生する揮発性有機化合物(VOC: Volatile Organic Compounds)排出量の削減が期待できる。

底板の腐食環境の場合、耐食鋼は鋼材自体に耐食性が備わっており、従来鋼を塗装して使用する場合の塗装欠陥部の異常腐食が生じないため、安定した耐食性能が期待できる。

また、上板については、補修時の高所での塗装工事不要化による人的安全性の向上や、上甲板上で火気工事を行う際の塗装裏焼けケアの不要化といった利点も挙げられる。さらに、防食設計において耐食鋼と塗装を組み合わせることも可能であり、その場合、簡易塗装施工でも耐食性はさらに向上すると考えられる。

以上から、JFE-SIP-OT1, OT2は、昨今の省力化ニーズの高まりの中、低廉なライフサイクルコストで原油タンカーの安全性向上に寄与でき、さらに地球環境保全にも大きく貢献する材料であるといえる。

6. おわりに

原油タンカー荷油タンク底板用耐食鋼「JFE-SIP-OT1」および上板用耐食鋼「JFE-SIP-OT2」を開発した。開発鋼の主な特徴を以下にまとめる。

- (1) 開発鋼は、合金元素の作用により保護性の腐食生成物を形成し、COT底板の孔食およびCOT上板の全面腐食を抑制する。
- (2) 実船COT底板で、開発鋼は優れた耐孔食性能を示し、補修を必要とする深さの孔食発生数を顕著に低減した。
- (3) 開発鋼はIMO基準に適合し、底板用耐食鋼は規定の耐食性とAH/DH 32/36-Z35の機械的特性を、上板用耐食鋼は規定の耐食性とAH/DH/EH 32/36/40-Z35の機械的特性を満足する。
- (4) 開発鋼は、多くの船級協会から承認を受けている。また溶接材料の適用承認も多数取得している。
- (5) 開発鋼の適用により、船舶の安全性向上、塗装に関わるコストや工期の短縮、VOC排出量削減といった様々なベネフィットが期待できる。

謝辞

実船COT調査は、株式会社商船三井のご協力により行われたものであり、関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 原油タンカーの新形コロージョン挙動の研究—研究概要総括書—。2002-03, 日本造船研究協会。第242研究部会。
- 2) SOLAS Chapter II-I, Part A-1, Reg. 3-11, as amended by resolution MSC. 291 (87), APPENDIX, Test Procedures for Qualification of Corrosion Resistant Steel for Cargo Tanks in Crude Oil Tankers.
- 3) 猪原康人, 西村公宏, 中村雅美. タンカー原油タンク用耐食鋼「JFE-SIP-OT」. JFE 技報. 2007, no. 18, p. 53-56.
- 4) 底板用タンカー耐食鋼 JFE-SIP[®]-OT1. JFE 技報. 2014, no. 33, p. 67-68.
- 5) IACS UI SC 258, For Application of Regulation 3-11, Part A-1, Chapter II-I of the SOLAS Convention (Corrosion Protection of Cargo Oil Tanks of Crude Oil Tankers), adopted by Resolution MSC. 289 (87) The Performance Standard for Alternative Means of Corrosion Protection for Cargo Oil Tanks of Crude Oil Tankers.
- 6) 山本規夫. 腐食衰耗に関する最近の調査結果とその強度検討. 「構造シンポジウム 損傷に学ぶ」テキスト. 日本造船学会, 2001, P. 10.
- 7) 公益社団法人 発明協会. 平成30年度中国地方発明表彰 文部科学大臣賞「完全無塗装化を実現するタンカー用耐食鋼材(特許第6260756)」.



池田 博司



寒沢 至



三島 永嗣