まわ エンジン!

原油タンカー向け高耐食鋼板 『NSGP®-1』*

金子 道郎**, 西村 誠二**

金子 道郎

西村 誠二

High Corrosion Resistant Steel 『NSGP®-1』 for Oil Tankers*

by KANEKO Michio** and NISHIMURA Seiji**

キーワード 腐食, 孔食, 原油, タンカー

1. 背景と目的

船舶分野では、過去の重大な事故を教訓として、世界的な安全確保・環境保護に対する意識が高まっている。これらはいずれも脆性破壊、疲労破壊、腐食による損耗などが直接または間接的な原因となって生じた事故に根ざすもので、船舶の安全性・信頼性を向上させて海難事故を防止するためのルールづくりと整備が、国際海事機構 (IMO: International Maritime Organization) の主導ですすめられている。

特に腐食問題は、船齢が高くなるにつれて、損傷の主たる原因となる¹⁾。近年、原油タンカーでは、座礁時等に原油の流出を防ぐためにダブルハル化が義務づけられた。一方、ダブルハル化以降、原油槽の底板に最大で 10 mm にも及ぶ深い孔食の頻発が増大していることが、報告されている²⁾。図 1 は、原油タンカーの油槽の模式図と底板に発生した孔食の一例である。原油槽底板の板厚は約 20 mm であり、最悪の場合には原油流出によって環境汚染を引き起こす危険性がある。

このような状況下、わが国では 1999～2001 年度に学術機関、国家機関、船主、造船、鉄鋼等が (社) 日本造船

研究協会第 242 研究部会 (SR242) に集結し、10 数隻におよぶ VLCC の腐食損傷を詳細に調査した。

その結果、底板上はオイルコートと呼ばれる保護層に覆われる一方で、COW (Crude Oil Washing の略。積載原油を高圧噴射して原油槽内部を洗浄すること。) や水 (原油から析出) の存在が原因となって、部分的にオイルコートが損傷することで孔食が発生することを明らかにした。ここで、原油中に含有される水は航行中に分離し、ブライン (油井起因の高濃度岩塩水 最大 10% NaCl 海水ではない) として底板上に滞留し腐食環境を形成することが明らかとなった²⁾。さらに、ダブルハル化後に孔食の発生は顕著となっているが、ダブルハルでは底部ロンジがなくなり底板が完全にフラット化したために、底板上のオイルコートに直接 COW が照射されその損傷がより加速されたためであることも明らかとなっている²⁾。

当社ではこのような知見に加えて、さらに孔食の腐食メカニズムを明らかにして、原油タンカー用高耐食鋼『NSGP®-1』を開発した。

2. 孔食メカニズム

原油タンカーの底板上に滞留するブライン (岩塩水)

図 1 原油槽の模式図と底板に発生した孔食の一例

図 2 タンク底板の孔食メカニズムの模式図

*原稿受付 平成 20 年 7 月 16 日

** 新日本製鐵株式会社 Nippon Steel Corporation

表1 NSGP®-1 の代表的成分 (重量%)

	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Ceq
NSGP-1	0.124	meets IACS Standard (including all ally elements)						0.331
AH32	0.140	0.20	1.09	0.018	0.006	0.031	0.014	0.322
IACS Standard	≤0.18	≤0.5	0.9~1.6	≤0.035	≤0.035	≥0.02	≤0.02	≤0.36

図3 従来鋼と NSGP®-1 と腐食試験結果

写真1 NSGP®-1 を適用した原油タンカーの全景写真

図4 NSGP®-1 を無塗装で適用した部分

は pH 7 の中性であるが、孔食内の pH は 1.5 と強酸性であることが判明した³⁾。中性のブラインが孔食内で強酸性となるメカニズムを模式的に図 2 に示す。孔食内に溶出した Fe イオンが加水分解で水素イオンを形成し、ブライン中の負電荷を有する塩化物イオンが孔食内に集まり、塩酸を生成することによって孔食内の pH は低下する。

ところで、孔食内の pH 測定は蒸留水を浸した pH 紙を用いて実施するため、実際の孔食内の pH はさらに低く、1.5 以下とみられた。そこで、造船用鋼材の腐食速度の pH 依存性および実船でのタンク底板の孔食の最大腐食速度との関係から、孔食内の pH は約 0.85 という強酸腐食環境であることをはじめに明らかにした⁴⁾。

以上の検討結果から、原油タンカー用耐食鋼の腐食評価環境は、10%NaCl をベースに塩酸で pH を 0.85 に調整したものが妥当であることを見いだした。本腐食試験を用いて、耐食性向上に寄与する合金成分元素を種々解明して、原油タンカー用高耐食鋼『NSGP®-1』を開発した。

3. NSGP®-1 の耐食性

NSGP®-1 は、極微量の合金元素の添加で鋼材の耐食性を大幅に向上させた耐食鋼である。代表的成分の概要を

表 1 に示すが、表にあきらかなように NSGP®-1 は、IACS (International Association of Class Society) の船級規格を満足する耐食鋼である。

NSGP®-1 の耐食性の評価結果を図 3 に示す。従来鋼の腐食速度は pH の低下と共に大幅に上昇し、上述の pH 0.85 の条件では従来鋼の腐食速度は 4mm 超/年と極めて大きい。一方 NSGP®-1 の腐食速度は、pH に依存することなく約 0.6mm/year と低く、極めて優れた耐食性を有することが分かる。

4. NSGP®-1 の実船適用結果

以上の検討結果に基づき『NSGP®-1』を、写真 1 に外観を示す実船 VLCC の原油タンクの全底板に適用した。造船所での施工性、溶接性は従来鋼と全く変わらなかった。全 15 の原油タンク槽のうち、図 4 に示す 6 タンクを無塗装とし、残りは塗装を施した。

就航から 2 年 3 ヶ月後の初回ドックで、無塗装タンクの詳細腐食評価を実施した。結果を図 5 に示すが、補修が必要となる深さ 4mm 超の孔食は皆無であった (溶接部およびドレインホール近傍部分を含め)。その結果、おそらく無塗装船としては世界ではじめて、本船は一切の

図5 NSGP®-1 を無塗装で適用した原油槽底板で観察された 4 mm 超の孔食数

図6 全船齢に渡る NSGP®-1 の最大利用方法

表2 塗装と耐食鋼の比較

Item	Coating	Anti-Corrosion Steel
Target useful life	15 years, "GOOD" condition	25 years, diminution to be less than diminution allowance
Area of Application	upper deck and bottom plates (inside)	upper deck and bottom plates
Inspector	Qualified coating inspector	(None)
Additional work and inspection during construction	-Edge treatment -Surface treatment (blasting, cleaning, etc.) -Multiple coating application -Measurements of salts, Dry film thickness etc. -Repair of Defects	
Additional inspection and Maintenance after construction	-Inspection of coating condition -Repair by recoat, weld, steel renewal	(Less Maintenance and Possibility of no repair)
	(Risk of pitting penetration in 5 years)	(No Possibility of penetration in 5 years)

腐食補修を施すことなく Dock-Out した。

さらに研究的な観点から、通常は計測が困難な深さ2～4mm という極めて小さな孔食の存否を探索したところ、その頻度は数個／タンク（約 30m×60m）と極めて低く、その深さは最大でも約 3mm 程度と極めて浅いものであった。このデータを用いて全15タンクに NSGP®-1 を無塗装で適用とした場合の最大孔食深さを極値統計解析で推定した。その結果、最大の孔食深さは 4mm 以下となること。すなわち NSGP®-1 を全タンクに適用しても一切孔食の補修は不要となることが明らかとなった。

5. NSGP®-1 適用の価値

孔食はドック点検・クリーニング時にその成長は停止し、新たな孔食は別の箇所に発生することが従来⁵⁾明らかとなっている。さらに NSGP®-1 を適用した実船で補修が必要な孔食が皆無であったという新たな事実を総合すると、図6に示すように NSGP®-1 を使用することで、全船齢にわたり補修は不要になると考えられる。

現在、IMO では原油槽の防食措置の強制化が議論されているが、防食措置の基本は塗装と考えられている。しかしながら、塗装と耐食鋼を比較すると⁶⁾、塗膜の目標寿命が15年と短期であるのに対して、耐食鋼では25年で腐食損耗量が船級で規定されている許容範囲を満足する。という長期耐久が実現可能な視野にある。また塗装対策時には専門の検査員による様々な検査が必須で、検査結

果に応じた再塗装等の補修が必要となる可能性が高く、最長ドック検査間隔期間5年とした場合に貫通の危険性もある等々、煩雑性やリスクをとまうが、NSGP®-1 ではこれらが大幅に軽減しうる。

このように耐食鋼の適用は防食効果にとどまらず、総合的なメリットに優れていることが分かる。

参考文献

1) 渡辺、日本鉄鋼協会：第 159・160 回西山記念講座「新しい時代を創造する高性能厚板」、(1996), p.199.
2) 日本造船研究協会：SR242 研究部会成果報告書「原油タンカーの新形コロージョン挙動の研究」。
3) International Ship Structure and Technology 2007, S. Imai, K. Katoh, Y. Funatsu, M. Kaneko, T. Matsubara, H. Hirooka, H. Sato: Development of New Anti-corrosion Steel for COTS of Crude Oil Carrier(2007).
4) International Ship Structure and Technology 2007, S. Imai, K. Katoh, Y. Funatsu, M. Kaneko, T. Matsubara, H. Hirooka, H. Sato: Onboard Evaluation Results of Newly Developed Anti-corrosion Steel for COTS of VLCC and Proposal for Maximum Utilization Method (2007).
5) K. Katoh, S. Imai, D. Yasunaga, H. Miyuki, Y. Yamane, H. Ohyabu, M. Saito, M. Yoshikawa, K. Kobayashi and Y. Tomita: World Maritime Technology Conference, (2003), A15.
6) 日本船舶技術協会、日本鉄鋼連盟：DE51/25/7 報告資料、Proposal of Countermeasure for Cargo Oil Tank Corrosion by Anti-Corrosion Steel, (2007. 3. 2). (日本船舶技術研究協会 提供 (日本財団助成事業)).