

鉱石船貨物倉用耐ダメージ塗料 「エポマリンスクラッチ ガード」の開発

Development of “EPOMARINE SCRATCH GUARD”, High Anti-scratch Paint for Ore Bulk Carrier Cargo Hold



NKMコーティングス(株)
技術本部
濱 正司
Masashi
Hama



NKMコーティングス(株)
技術本部
松本康幸
Yasuyuki
Matsumoto



NKMコーティングス(株)
技術本部
綾部正浩
Masahiro
Ayabe

1. はじめに

中国の産業隆盛が著しい中、世界中の資源、原料、製品の海上輸送量は嘗て無いほど増加している。このため新造船建造も活発化し、就航船運航も多忙を極めている。こうした状況の中で、産業の「米」といわれる鉄鋼の生産量も増加の一途であり、全ての機械、産業機器、自動車等の原材料として使われるため、量の確保が逼迫しており、単価高騰の一因となっている。

2007年の世界の鋼材生産量は、約12億トンで前年比6%増加の見込みで、2008年は12億5000万トンに増え、中でも中国は世界の35%の4億250万トンを生産することになると予測されている。世界でも有数の鉄鋼生産国である日本は、原料となる鉄鉱石と石炭のほぼ全量を海外から輸入している。1トンの銑鉄を作るためには、鉄鉱石は約1.6トン、石炭が約0.8トン必要とされ、両方合わせて、銑鉄量の約2.4倍の原料が必要である。

こうした膨大な鉄鋼原料を運んでいるのが、鉱石専用船や鉱炭兼用船と呼ばれる大型バラ積み船である。わが国の鉄鉱石、石炭の最大の輸入先は、オーストラリアで次はカナダであり、これらの原料をより安価に輸送するために、使われる船舶もスケールメリットを重視し大型化が進み、現在では、原油輸送タンカーに匹敵する20万重量トンクラスの超大型船も就航している(写真1、図1)。



17万トンの鉱石船(CAPEサイズ)
長さ×幅×深さ：279×45×24.1m
HOLD数：9

写真1 鉱石運搬船概要

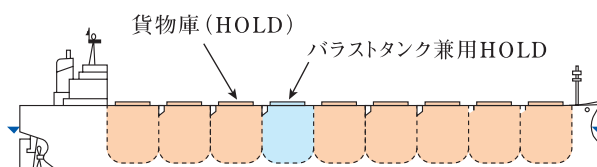


図1 鉱石運搬船船体構造図

これら船舶における塗料性能の1つとして、鉱石、石炭を積むための巨大な貨物倉(ホールド)(図2)に塗られた塗膜は、積荷の荷役時や航行時に、積荷ダメージ(すり傷等)で痛めつけられ発錆しやすく、船の運用効率やメンテナンスコスト削減の観点から、長寿命で施工性良好な高性能ホールド用塗料を要望する声が強くなっている。

現在主流となっているエポキシ系塗料の寿命は、4年間程度が限界と言われており、耐用年数の長期化に対する要望が強い。こうした顧客の声を受け、実船ホールドの塗膜ダメージおよび発錆状況を詳細に調査し(写真2~5)、以下にまとめた。

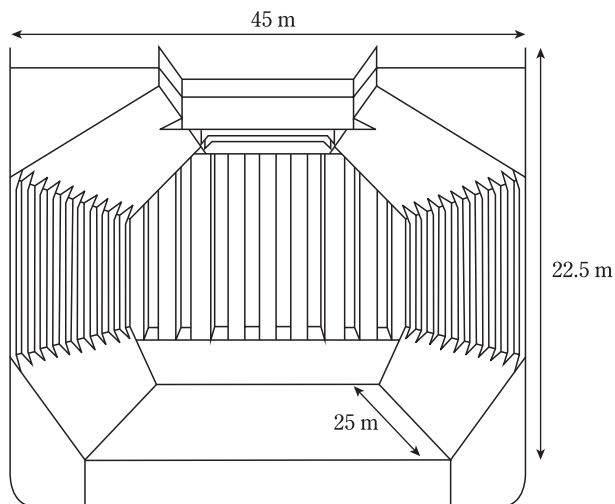


図2 貨物倉の概要図



写真2 荷揚げ作業状況
重機による機械ダメージが発生する

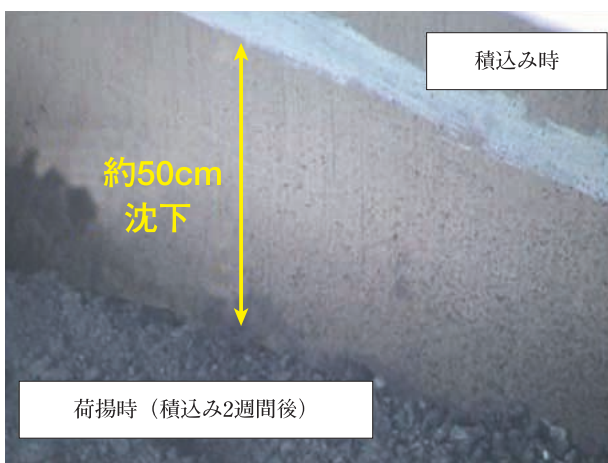


写真3 航行時のゆれで積荷が50 cm沈下した状況



写真4 航行時のゆれにより積荷が沈下した痕跡

(1) 鉱石・石炭貨物倉の塗膜ダメージの実態

・航行時のローリング等で積荷がゆすられ、すり傷ダメージが著しい

→耐磨耗性よりも耐引掻き性の方が重要(大荷重低速
ずり応力条件:再現試験方法は現状無し)。

高比重、角がとがった高硬度積荷(鉱石、石炭)に対し、耐すり傷性を有する塗膜が必要(石炭、鉱石のモース硬度は5程度であり、それらに耐える必要がある)。

表1に積荷となる石炭、鉱石(ピンク色)と塗料に用いられる主な顔料のモース硬度を表した。

表1 各種金属、鉱石、顔料の硬度比較表

顔料および各種鉱石	モース硬度
タルク	1-1.5
無煙炭 Anthracite	2.2
金マイカ	2.5-3.0
炭酸カルシウム	3
バリタ	3-3.5
純鉄	4.5
ガラス	4.5-6.5
赤鉄鉱 Hematite	6
工具鋼	6
長石 Feldspar	6
酸化チタン	6.0-6.5
石英、シリカ	7
アルミナ	9

・荷揚げ作業時の重機による機械ダメージが著しい

→積荷荷揚げ時にブルドーザー等の重機で塗膜に機械ダメージが加えられる。硬いだけでなく可とう性に優れ、付着性の良好な粘り強い塗膜が必要。



写真5 機械ダメージによる鋼板の損傷状況

新技術

- ・積荷時のシューター等によるダメージはそうひどくない
→塗膜硬度を保持することで、今後も対応可能と判断。

(2) 顧客が要望する貨物倉(ホールド)用塗料とは

バラ積み船貨物倉用には、従来より、施工性の良い耐ダメージ性に優れたエポキシ系塗料が採用されてきた。しかし、木材チップ等の軽い積荷には十分な耐性が認められるが、鉱石、石炭のような比重が高く、硬く、角のとがった積荷を積載した場合、数回の航海で塗膜にすり傷ダメージが付き、進行すると発錆に至る。

無機ジンクやガラスフレーク入り塗料は、塗膜硬度が高く、耐性が大きいとされてきたが、高い下地処理グレード、施工技術が必要とされ、コスト高なため、採用が難しかった。

このため、施工性に優れ、耐すり傷性の高いエポキシ系塗料の開発が要望されている。しかし、耐すり傷性が良好なだけでは不十分で、積荷揚げ時のブルドーザー等の重機衝撃ダメージを受けても、周辺塗膜が簡単に割れ、ハグレが発生しないようにする必要もある。

これらの機能を向上させるため、「強固でありながら粘り強さを併せ持つという二律背反した性能を持つ高強度エポキシ塗料を開発する」という目標を定め、検討を行った。その結果、今までにない特徴をもつ耐ダメージ塗料「エポマリンスクラッチガード」を製品化したので、以下に概要を紹介する。

2. 塗膜機能目標の設定

実船調査の結果と顧客要望をまとめ、貨物倉用塗料の機能目標を以下のように設定した。

- (1) 耐すり傷性が高いこと(800 N/mm²の刃先荷重ですり傷が発生しないこと)
- (2) 耐衝撃性が高いこと(1 kg×50 cmの衝撃試験に耐えること)
- (3) 施工性に優れること(下地処理適性、エアレス塗装作業性)
- (4) 従来型貨物倉用エポキシ系塗料と同等以上の防食性を有すること(40℃塩水6ヶ月間異常のないこと)
- (5) VOC(揮発性有機化合物)が削減できること

3. 高強度貨物倉用塗料開発における技術課題

3.1 基体樹脂の設計

〔強固で可とう性があり、付着性の良好な基体樹脂の開発〕

もともとエポキシ樹脂塗料は、強固な塗膜を形成することができるが、同時に脆さを併せ持っている。この脆さを押さえ、いかに付着性、可とう性を向上できるかに基体樹脂の開発目標を絞った。エポキシ樹脂の選定と変性、あるいは変性樹脂(反応性、非反応性)の併用、並びに硬化剤での改質等が考えられる。

種々検討を行った結果、液状エポキシ樹脂をベースとし、架橋性が良く、反応性の高い特殊変性アミンと特殊変性ポ

リアミド硬化剤を併用することで、強固で、かつ可とう性に優れるという今までにないエポキシ樹脂特性を得ることができた。更に、耐重機ダメージ性を高めるために、柔軟性、伸び性の優れた特殊変性リニア構造変性樹脂を併用した。

3.2 高強度顔料の選定

〔耐すり傷性、耐重機ダメージ性のある高硬度塗膜を実現する顔料の選定と配合量の適正化〕

実船の耐すり傷性を再現するために各種試験方法を探索したが、適切な装置が無く、今回新規耐すり傷性試験装置(図3)を開発した。この装置は、荷重を加えながらすり傷を加えるという貨物倉の条件を再現するために開発したもので、この装置を使って得られた結果と実船の塗膜ダメージの状況との間に相関性が高いことも確認できた。

この装置を使い、入手できる貨物倉用耐ダメージ塗料の耐すり傷性を確認したが、無機ジンクリッチ塗料以外では、なかなか満足する結果を示すものは見当たらなかった。

また、3.1で開発した高強度、高可とう性樹脂を用いた場合でも、通常の顔料種では、すり傷ダメージや機械ダメージが加えられると、その塗膜に素地まで達する傷が生ずることが確認された。結局、こうした強いすり傷ダメージ条件には、従来から使用されてきた顔料種では対応できず、新規高硬度顔料の選定と配合比率、顔料形状のバランスを取る必要があることが分かった。最終的には、顔料種、粒径、顔料形状(不定形、リン片状)の最適化を図ることで、硬度、強度が高く、耐すり傷性が非常に良好な塗料の配合設計が可能となった。

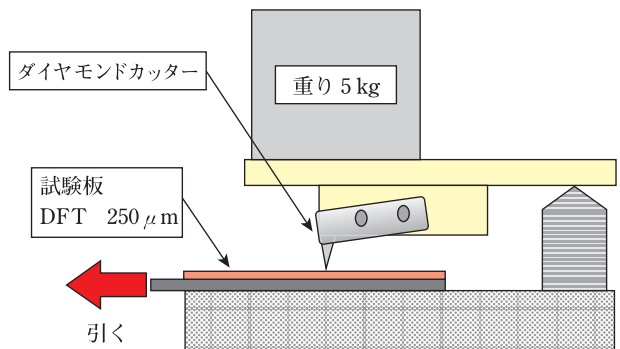


図3 新規開発耐すり傷性試験装置

3.3 レオロジーコントロール技術

〔良好な塗料貯蔵安定性、エアレス塗装作業性を保持するためのレオロジーコントロール技術の確立〕

高い耐ダメージ性を発揮する塗装仕様を提供するために、エアレス作業時に良好な厚塗り性とフロー性が必要である。高硬度顔料の配合で塗料比重が高くなり、従来のレオロジーコントロール技術では塗料貯蔵安定性、エアレス塗装作業性を確保することは難しく、大きな課題となった。新規レオロジーコントロール剤(塗料系中で強力なネットワーク構造を形成可能)の開発により、良好な塗料貯蔵安定性とエアレス塗装作業性を確保することが可能となった。

4. 開発塗料の性能と特長

新規基体樹脂、高強度顔料の配合、新規レオロジーコントロール技術の開発により、「エポマリンスクラッチガード」は、高強度特性を有するだけでなく、可とう性、付着性、塗装作業性に優れるという独特の特長を有している。以下に、本製品の特長と塗膜性能を略記する。

4.1 高耐すり傷性、耐衝撃ダメージ性

「エポマリンスクラッチガード」と従来型エポキシ、ハイソリッドエポキシ塗料の塗膜物性を、引っ張り試験機測定の結果から考察した。

図4で各種エポキシ塗膜の引っ張り試験結果を示すが、「エポマリンスクラッチガード」は、破断時の伸び率、破断応力、破断エネルギーすべてにおいて他と比べて大きな値を示しており、硬くて、粘り強い塗膜物性が得られていることがわかる。今回選択したエポキシ樹脂、硬化剤、変性樹脂、高強度顔料の組み合わせで、従来のエポキシ樹脂では得られなかった高い伸び性能、破断強度、応力を併せ持つ塗膜を実現できた。

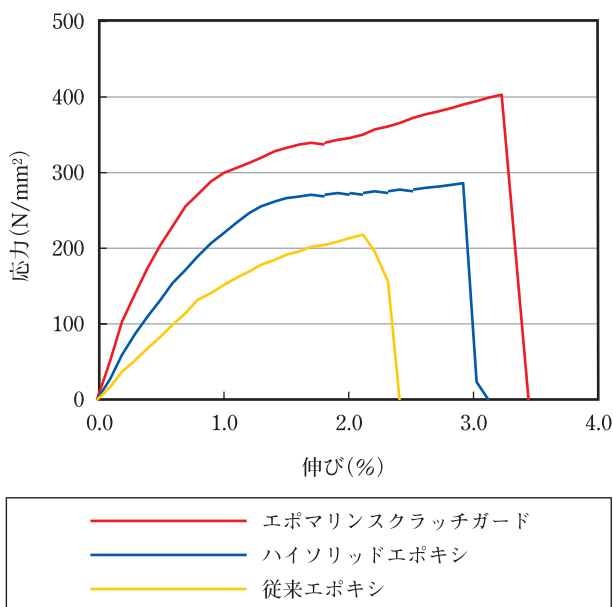


図4 各種エポキシ塗膜のS-Sカーブ

表2に新規開発した耐すり傷性確認試験方法(図3)での比較試験結果をまとめているが、鉱石船貨物倉のすり傷条件を想定した800N/mm²荷重条件でも「エポマリンスクラッチガード」は、ほんの表層に傷が見られるだけなのに対し、従来型ハイソリッドエポキシ塗料は、鉄板素地まで達する傷が発生することが確認された。また、重機ダメージを想定した耐衝撃性試験の結果でも「エポマリンスクラッチガード」は従来型ハイソリッドエポキシ塗料に比べ、塗膜ダメージが小さく、また周辺の浮上りも少ないことが確認された。

4.2 高い施工性

4.2.1 エアレス塗装作業性

表3に示す条件でエアレス作業性の評価を実施したが、良好なエアレス塗装作業性を有することが確認できた。

表3 「エポマリンスクラッチガード」エアレス塗装作業性評価結果

塗料調合条件	シンナー希釈率	エポキシシンナー 3 wt%希釈
	試験板	磨き軟鋼板
エアレス設定条件	エアレス機	圧力比 30:1 エアレス塗装機
	2次圧	10-12 N/mm ²
	チップ	623 (GRACO)
	ガンからの距離	約30 cm
試験結果	霧化性	◎~○
	パターン幅	42 cm
	タレ限界	wet 400 μm (dry 305 μm)
	最低造膜膜厚	dry 100~110 μm

4.2.2 下地処理適性

新造船建造時には、ショットブラスト処理後、無機ショッププライマーを塗装したショップ鋼板が使用される。こうした鋼板の2次下地処理適性を確認するために、ショットブラスト処理鋼板に無機ショッププライマーを塗装し、パワーツール処理の有無で「エポマリンスクラッチガード」の防食性を確認した。40℃塩水に6ヶ月間浸漬後の塗膜状態、付着性を確認したが、差が無く良好な結果であり、下地処理適性が高いことが確認できた(表4)。

表4 「エポマリンスクラッチガード」の下地処理適性試験結果

- ① 無機ショッププライマー：SDジンク1000HA(S) グレー
 - ② 試験板：ショットブラスト板 3.2×75×150 mm
- (40℃塩水試験浸漬6ヵ月後結果)







		ショップ板	ショップ板をパワーツール処理
エポマリンスクラッチガード 150 μm×2回	サビ	一般部	○
		カット部	○-
	フクレ	一般部	○
		カット部	○
付着力(Mpa)*		4.7	4.2

*アドヒージョンテスト (英国エルコメーター社)

4.3 高い防食性能

40℃塩水浸漬試験6ヶ月後の試験結果を表5にまとめている。サンドブラスト鋼板、およびエポキシジンク塗装鋼板の上でも「エポマリンスクラッチガード」は、従来型ハイソリッドエポキシ塗料と同等の防錆性、耐フクレ性を有し、かつカット部からのスクラッチ巾も小さく、付着試験結果も優れており、十分な防食性を有していることが確認できた。

表2 「エポマリンスクラッチガード」、従来型ハイソリッドエポキシ塗料の耐すり傷性、耐衝撃ダメージ性試験結果

塗膜乾燥条件		エポマリンスクラッチガード		従来型ハイソリッドエポキシ塗料	
鉛筆硬度	室温4日	F-H		2B-3B	
	室温4日+40℃×3日	4H		F	
	室温4日+40℃×7日	5H-6H		2H	
耐すり傷性試験結果	室温4日+40℃×3日				
		○ 表層のみの浅い傷発生		×× 傷が素地に達し鉄面が見える	
耐衝撃性試験結果 (衝撃+クリープ)	室温4日+40℃×3日	衝撃試験部	回りをクリープした結果	衝撃試験部	回りをクリープした結果
					
	剥離径(mm)	10.0		10.0	
	室温4日+40℃×7日				
		剥離径(mm)	11.5		13.5






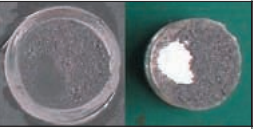
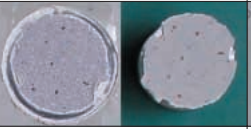
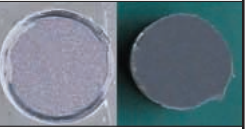
1. 試験板作成条件

- ① 塗付条件：2.3mmサンド板 アプリケーター塗布 dry250 μ m

2. 試験方法

- ① 塗膜硬度：各乾燥条件で鉛筆硬度測定
- ② 耐すり傷性試験：新規開発耐すり傷性試験装置(図3)使用。荷重5kg、刃先約0.25mm×0.25mm(約800N/mm²)
- ③ 耐衝撃性試験：デュボン式落下衝撃試験 1/2インチ 1000g-50cm(直後の塗膜状態と、周辺へのナイフクリープ)

表5 「エポマリンスクラッチガード」と従来型ハイソリッドエポキシ塗料との防食性能比較試験結果

		エポマリンスクラッチガード		従来型ハイソリッドエポキシ塗料		
下地条件		サンド板	SDジンク100QD	サンド板	SDジンク100QD	
40℃ 塩水浸漬 6ヶ月	塗膜状態					
	サビ評価	一般部	○	○	○	○
		カット部	○△	○ー	○△	○ー
	フクレ評価	一般部	○	○	○	○
		カット部	○	○	○	○
	クリープ	巾 mm	14	10	25<	25<
アドヒージョン テスト結果*	剥離状態					
	付着力Mpa	4.5	4.0	1.8	2.0	

*アドヒージョンテスト (英国エルコメーター社)

1. 試験板作成条件

- ① 試験板：2.3 mmサンド板およびSDジンク100QD塗装板(DFT 25 μm)+各上塗り DFT250 μm(エアースプレー)
- ② 乾燥条件：室温7日間乾燥後供試

2. 試験条件

40℃塩水浸漬：6ヶ月間浸漬後塗膜状態

4.4 VOC(揮発性有機化合物)の削減

「エポマリンスクラッチガード」は、従来型エポキシ塗料に比べ、VOC量を40%以上削減することができた。

5. 実船貨物倉での「エポマリンスクラッチガード」の耐すり傷性追跡調査結果

「エポマリンスクラッチガード」の紹介をすすめる中で、約10隻に採用頂き、性能を追跡調査中である。

現在得られている情報では、明確な耐すり傷性改善効果

が観察でき、顧客からも高い評価を頂いている。

その状況を代表的な写真で紹介する(写真6、写真7)。

6. おわりに

従来タイプのエポキシ塗料、ハイソリッドエポキシ塗料が塗装された鉍石・石炭運搬船貨物倉で、積荷による塗膜ダメージが発生しているケースは多いものと推測される。今後も鉄鋼生産量の伸びが続き、鉍石運搬船の新造船建造、就航船貨物倉の塗り替え工事も増えると予想される。



塗装後 9ヶ月			
	貨物倉壁面	拡大写真	塗膜状態
エポマリンスクラッチガード			ダメージ無く良好
従来型ハイソリッドエポキシ			素地に達する傷が多く、発錆が顕著である

写真6 「エポマリンスクラッチガード」と従来型ハイソリッドエポキシ塗料との実船試験結果比較（9ヵ月後）



	貨物倉壁面	貨物倉壁面
エポマリンスクラッチガード		従来型エポキシ
塗膜状態	ダメージ無し	塗膜状態
		
		素地に達する傷が多く、発錆が顕著である

写真7 「エポマリンスクラッチガード」と従来型エポキシ塗料との実船試験結果比較（24ヵ月後）

鉱石・石炭運搬船貨物倉の「エポマリンスクラッチガード」による補修塗装の機会が増えれば、従来型エポキシ系塗料に比べ、塗膜ダメージの発生を抑制でき、塗膜寿命の長期化によって顧客満足度の向上が達成できると期待している。

補修インターバルの長期化は大きな意味でエネルギーの浪費を押さえ、ひいてはCO₂削減に繋がり、VOC低減も実現でき、地球環境保全に貢献できるものと考えます。