水性重防食システムの開発

浅井 智仁^a, 雲林院 崇宏^a, 山下 聡一郎^a

^a 日本ペイント(株) 汎用塗料事業本部 建設鉄構開発部 (〒572-8501 大阪府寝屋川市池田中町 19-17)

Development in Water-Borne Heavy Duty Coating System

Tomohito ASAI^a, Takahiro UJII^a and Soichiro YAMASHITA^a

^a Trade Use Paint, Nippon Paint Co., Ltd. (19-17, Ikedanaka-machi Neyagawa-City, Osaka 572-8501)

Keywords : Water-Borne, Heavy Duty Coatings

1. はじめに

戸建て住宅・マンションなど建築塗装の分野において、大気汚染物質抑制の要請や住環境への配慮などから、VOC (揮発性有機化合物) を極力抑えた水性塗料が「環境配慮型塗料」として主に使用されている。ところが、ビルや発電所、プラントなどの鉄構造物に塗装される分野(重防食塗料領域)では、被塗物が紫外線・酸性雨や塩害といった劣化要因の影響を強く受ける環境下にあること、またそのような環境下で用いられるために、塗膜の耐食性や耐候性などの躯体の保護機能に関する性能が優先されてきたこと、などにより従来の溶剤形塗料が使われてきており、塗料の水性化は遅れていた。しかし平成16年5月の大気汚染防止法の改正に伴い、重防食塗料領域でもVOC削減への関心が高まることとなった。また、トルエン、キシレンや鉛化合物など、人の健康や生態系への影響が大きい化学物質の環境への排出・廃棄について移動量や排出量を把握し、行政に報告する制度(PRTR)の定着により、PRTR法対象物質の量を削減することも必要となってきた。このような社会状況の変化に対応する塗料業界の動きとしては、平成18年から平成23年にかけて独立行政法人土木研究所と塗料メーカー数社によって「鋼構造物塗装のVOC削減に関する共同研究」が実施されており、その中で水性塗料の適用についての検討結果が報告されている。この研究では低溶剤形のシステムによるVOC削減もあわせて検討されていたが、VOC削減効果では水性システムの方が高いことが示されている。しかし、水性防食システムはVOC削減効果は高いものの、塗装作業性や乾燥過程での降雨や結露への耐性などに課題が残るという結論になっている¹⁾。

このような状況のなかで、当社でも重防食塗料領域での全塗装工程の水性化に取り組んできた。そして自動車用塗料の開発などで培った先進のコーティングテクノロジーも応用して、全塗装工程の水性化に成功し、平成24年8月に「ニッペ水性防食システム」として上市した。

次章以降では、下塗り塗料の設計の一端を紹介するとともに、システム全体を水性化することによって初めて実現した

環境保全への寄与や臭気の低減、また取り扱いにおける安全性や利便性の向上などについて紹介する。

2. 非危険物水性変性エポキシ樹脂下塗り塗料「水性ハイボン 20」の設計技術

「ニッペ水性防食システム」は躯体に直接塗装される下塗りに始まり、中塗り、上塗り、の3種類の塗料から構成されている。本章では重防食用塗料において最も重要な機能である「防食機能」を担っている下塗り塗料「水性ハイボン 20」の設計技術に関して紹介する。

2.1 塗料の高 pH 化

鉄は水と接触すると錆びる性質があるため、鉄面に直接塗装される下塗り塗料の水性化は技術的に非常に難しいと考えられてきた。具体的には、水性塗料を鉄面に塗装すると、塗装から乾燥そして硬化が完了するまでの間に、塗料中に含まれる水によって錆が発生することがあった。

しかしわれわれは鉄に触れる水溶液のpHを高くしておけば、鉄は容易には腐食しない²⁾ことに着目し、塗料液が塗装時から塗膜形成まで高pHを保つように設計することで、この課題を克服した。図1に水道水および水性下塗り塗料用に新規に開発した樹脂水溶液に8時間浸漬した後の鉄板の写真を示す。pHが6.0の水道水に鉄板を浸漬すると、8時間後には既に鉄板からは錆が発生しており、水は錆が溶け出して茶色に変色した。しかし、pHが8.5である樹脂水溶液はもともと乳白色の液体であるが、鉄板を浸漬して8時間後でも鉄板に発錆は見られず、水溶液も乳白色のままであった。このように塗料液のpHをアルカリ性に保つことで、鉄が塗料中の水に接触しても発錆を抑制することができ、水性塗料を鉄面へ塗装可能とすることができるようになった。長期的な防食性については後に述べる。

2.2 樹脂の疎水化

重防食用塗料は屋外で塗装される塗料であり、塗装後比較的短期間で降雨や結露などにより水にさらされることがある。そのため、塗料液の状態では液体として長期間安定でなくてはならないが、塗装された後は速やかに乾燥して水に不要な

図1 水道水および樹脂水溶液に浸漬した鉄板の発錆

塗膜を形成する，ということが基本性能として求められる。従来の溶剤形塗料の場合には樹脂として水に溶解せず，塗料に使用している溶剤に溶解するものを選択すれば，塗料液として安定で塗膜としては水に不溶な膜とすることができる。乾燥速度も溶剤の蒸発速度を変えることで調整が可能であった。

しかし，水性塗料の場合は溶剤系塗料と同じような樹脂の選定をすることができない。水性塗料では塗料液の状態では樹脂などの各種の不揮発成分は水中に溶解あるいは分散した状態を長期にわたって維持し，かつ，水を主体とする溶媒成分が揮発した後に得られる塗膜は水に溶解しないように設計する必要がある。だが冒頭で述べた「鋼構造物塗装の VOC 削減に関する共同研究」の結論にもあるように，水性塗料は乾燥初期で降雨・結露を受けた場合，われ・はがれ，場合によっては溶出といった塗膜異常を起こす場合が多い。この主たる原因は，塗料に含まれる樹脂が塗料液の状態を持っていた水に溶解あるいは分散する性質を乾燥・硬化が完了するまではある程度維持してしまうからである。この問題を克服する技術的な課題は，塗装完了後に樹脂をいかに早く水に不溶な状態に変化させるかである。

樹脂そのものが水溶性である場合には，水などの揮発成分が蒸発しても樹脂の水溶性はそのまま維持されるため，上記課題を解決することは困難である。そこでこれまで行われてきた方法は，疎水性が強く水には溶解しない樹脂成分を，そのような水と全くなじまない成分を水中に安定に分散させる機能をもった分散剤や界面活性剤などで水中に分散した形態で塗料に配合するというものである。樹脂の水分散体は塗料液の状態では分散体の形態を維持しているが，一度溶媒成分が揮発すると樹脂どうしが融着を起こし，塗膜を形成する。一度融着した樹脂は再分散しないため，樹脂そのものが水溶性の場合よりは耐水性の優れた膜が得られることが多い。

この手法を重防食用下塗り塗料に適用する場合，従来の溶剤形下塗り塗料で一般的に用いられているエポキシ樹脂を分

散剤や界面活性剤で水中に分散させることになる。しかし，エポキシ樹脂を水中に安定に分散するためには分散剤が多く必要となる。これらの親水成分は塗膜になった後も膜中に残存するため，水に対する耐性が従来の溶剤形塗料に比べると低下する傾向にあった。このような点を考慮し，今回開発した水性ハイボン 20 で用いている樹脂は親水成分を極力少なくした設計とすることで大幅に疎水化した。これにより塗布後は速やかに水に対して不溶な塗膜を得ることができるようになった。この樹脂を配合することで，塗装後短時間での降雨・結露などといった特に水性塗料では厳しい条件にも耐えることができる塗料を得ることができた。

2. 3 樹脂分散体の水中安定化

2. 2 節で述べたように，塗料中の樹脂成分は溶剤形塗料では溶剤中に分子レベルで均一に溶解しているのに対し，水性塗料ではそれ自身は水に不溶な樹脂粒子が水中に分散している形態で存在する。しかし，この場合は粒子径が大きくなると沈降が生じやすく，塗料として十分な貯蔵安定性を得ることが難しい。粒子径を小さくすれば沈降はしにくくなり安定性が向上するが，他方で表面積が大きくなるため粒子表面を覆う界面活性剤などの親水性の高い物質が多く必要となり，溶剤形塗料に比べて塗膜の耐水性の低下をもたらす。その結果，防食性の低下や乾燥初期での降雨や結露による塗膜異常などの問題が生じる。すなわち，樹脂の水中安定化と塗膜性能の確保は背反する事項であった。

今回はこの背反する事項に対して鋭意検討を重ね，当社独自の自動車用塗料の開発等で培った樹脂の水分散技術を応用することで，親水性の高い物質の使用量を極力減らして大幅に疎水化し，かつ粒子径の小さい水性エポキシ樹脂を得ることに成功した。これにより十分な塗膜性能と塗料の貯蔵安定性を併せ持つ水性下塗り塗料を開発することができた。

3. 地球環境への貢献

ニッペ水性防食システムは下塗り，中塗り，上塗りのすべての工程を水性化することにより，従来の溶剤形防食システムと比較して，VOC や PRTR 法対象の化学物質を大幅に削減した塗料としている。当社の弱溶剤防食システムと比較した場合，VOC は 185.4 g/m^2 から 21.8 g/m^2 へと約 90% の削減を達成している。PRTR 法の対象化学物質は弱溶剤形では 36.3 g/m^2 含まれていたが，今回の水性防食システムでは全く含まれていない。このような点で，水性防食システムは大気汚染や光化学スモッグなどの発生要因物質を大幅に抑制することができる地球にやさしい塗料システムであるといえる。

また，VOC を大幅に削減したことにより，臭気についても従来の溶剤形防食システムに比べて大幅に改善されている。当社グループ社員 150 人に対して臭気アンケートをおこったところ，90% 以上の被験者でほとんど臭気を感じない，または多少臭気はあるが，従来の弱溶剤形塗料に比べ気にならないとの結果が得られた。ニッペ水性防食システムは大幅な臭気の低減がはかれており，人通りが多い市街地や学校，病院などの人が集まる施設の近くの鋼構造物，臭気への配慮が必要な食品工場などでの塗り替え施工には特に最適であるといえる。実際に学校の近くや住宅街での試験施工も実施してい

るが、臭気の苦情等の問題は起こっておらず、施工者からも従来の溶剤形塗料と比べて臭気をほとんど感じない、と大変高い評価をいただいている。

4. 安全性および利便性の向上

溶剤形塗料では実現できない塗料の水性化がもたらす大きな利点として、消防法上の非危険物として取り扱えるようになることが挙げられる。従来の溶剤形塗料では消防法上の危険物あるいは指定可燃物に分類され、保管をするには消防法に則った届け出が必要となり、また貯蔵数量も制限される。しかし水性化すれば、引火点を持たなくなるため非危険物として分類されるようになり、届け出は不要で貯蔵数量の制限を受けることもなくなる。また引火点を持たないため、保管から塗装までを通じた安全性も飛躍的に高まる。

この水性塗料ならではの利点はシステム全体がすべて水性化されることで初めて大きな効果を発揮する。重防食塗料システムでは一般に塗料液と硬化剤液の2液を現場で混合して塗装する2液タイプが用いられている。そこで、「ニッペ水性防食システム」の開発にあたっては、当初より下塗り、中塗り、上塗り、各々の塗料液および硬化剤液の全てを非危険物化することを目指して開発を進めた。

システム全てを水性化するにあたって、特に困難であったのが上塗り用の硬化剤液であった。従来の溶剤形塗料では、ポリウレタン樹脂上塗り塗料、フッ素樹脂上塗り塗料のいずれも硬化剤にはイソシアネート化合物が用いられてきた。し

かしイソシアネート化合物は水との反応性が非常に高く、貯蔵安定性の面で水性化が極めて困難であり、これまでは全く希釈剤を含まない無溶剤形、あるいは有機溶剤に溶解させた溶剤形とならざるを得なかった。この場合には上塗り用の硬化剤が危険物、もしくは指定可燃物に分類され、上記メリットが大きく損なわれてしまう。本システムの開発では当初よりシステム中の塗料液および硬化剤全ての非危険物化を重要性能と定めて鋭意検討を重ね、イソシアネート化合物を特殊変性することで水との反応をほぼ完全に抑制する技術を開発した。またこのイソシアネート変性物を安定に水分散させる技術もあわせて開発することで、上塗り塗料用の硬化剤液の水性化に成功した。

この技術によりシステム中の全ての塗料液および硬化剤液の非危険物化が実現した。貯蔵数量の制限、および消防法上の届けの必要性が全くなり、これまでの塗料に比べて安全性が向上し、取り扱いも容易になった。また危険物の持ち込みや塗装に厳しい制限を設けざるを得ないプラント施設などでも従来塗料と異なり、自由に持ち込んで塗装することができるようになった。

5. ニッペ水性防食システムの性能

ニッペ水性防食システムは従来の弱溶剤形重防食システムと同等の性能を有している。表1に、JIS K 5551 C 種 構造物用さび止めペイント(下塗り)および表2に JIS K 5659 鋼構造物用耐候性塗料(上塗り)の試験項目とそれに対する結果を示

表1 水性ハイボン 20 JIS K 5551 C 種の規格項目と評価結果

試験項目	規格	評価結果
容器の中の状態	かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる	合格
半硬化乾燥性	半硬化乾燥している	合格
塗装作業性	支障がない	合格
塗膜の外観	正常である	合格
ポットライフ	規定時間後、使用できる	合格
たるみ性	たるみがない	合格
上塗り適合性	支障がない	合格
耐衝撃性	割れおよびはがれがない	合格
付着性	分類1*又は分類0*	合格
耐熱性	外観が正常である。試験後の付着性試験で分類2*、分類1*又は分類0*	合格
サイクル腐食性	さび、膨れ、割れ及びはがれがない	合格
塗膜中の鉛の定量(質量分率%)	0.06 以下	合格
塗膜中のクロムの定量(質量分率%)	0.03 以下	合格

※

【分類2】 塗膜がカットの縁に沿って、及び／又は交差点においてははがれている。クロスカット部分で影響を受けるのは明確に5%を超えるが15%を上回ることはない。

【分類1】 カットの交差点における塗膜の小さなはがれ。クロスカットの部分で影響を受けるのは、明確に5%を上回ることはない。

【分類0】 カットの縁が完全に滑らかで、どの格子の目にもはがれがない。

表2 水性ハイボン 50 上塗りおよび水性デュフロン 100 上塗り JIS K 5659 の規格項目と評価結果

試験項目	規格	評価結果	
		水性ハイボン 50 上塗り	水性デュフロン 100 上塗り
容器の中の状態	かき混ぜたとき、堅い塊がなくて一様になる	合格	合格
表面乾燥性	表面乾燥する	合格	合格
塗膜の外観	正常である	合格	合格
ポットライフ	規定時間後、使用できる	合格	合格
隠蔽率(%)	白・淡彩は90以上、鮮明な赤及び黄は50以上、その他の色は80以上	合格	合格
鏡面光沢度(60度)	70以上	合格	合格
耐屈曲性	折り曲げに耐える	合格	合格
耐おもり落下性(デュボン式)	塗膜にわれ及びはがれが生じない	合格	合格
層間付着性II	異常がない	合格	合格
耐アルカリ性	異常がない	合格	合格
耐酸性	異常がない	合格	合格
耐湿潤冷熱繰り返し性	湿潤冷熱繰り返しに耐える	合格	合格
混合塗料中の加熱残分	白・淡彩は50以上、その他の色は40以上	合格	合格
促進耐候性(1級)	照射時間2000時間の促進耐候性試験に耐える	—	2000時間合格
促進耐候性(3級)	照射時間500時間の促進耐候性試験に耐える	500時間合格	—

図2 サイクル腐食試験 240 サイクルの結果 (JIS K 5600-7-9 サイクル D)
サンドブラスト鋼板へ塗装 (塗布量は 200 g/m²)

図3 促進耐候性(キセノンランプ法)

す。各種とも JIS 項目を合格できる結果が得られ、従来の溶剤形塗料同様、JIS 規格相当の性能を有することがわかった。

図2には下塗り塗料「水性ハイボン 20」のサイクル腐食試験 240 サイクルの結果を示す。比較として当社従来型強溶剤変性エポキシ樹脂塗料および当社従来型弱溶剤変性エポキシ樹脂塗料を試験した。水性ハイボン 20 は一般部での錆および膨れなどの塗膜欠陥はなく、カット部からの膨れ幅は従来の溶剤形塗料と同等以上であり、優れた防食性を持つことが確認できた。

図3には水性ポリウレタン樹脂上塗り塗料「水性ハイボン

50 上塗り」および水性ふっ素樹脂上塗り塗料「水性デュフロン 100 上塗り」の促進耐候性試験(キセノンランプ法)の結果を示す。比較は当社従来型弱溶剤ポリウレタン樹脂上塗り塗料および当社従来型弱溶剤ふっ素樹脂上塗り塗料とした。水性ハイボン 50 上塗り、水性デュフロン 100 上塗り、それぞれ弱溶剤形の商品と同等の耐候性を有していることがわかった。また光沢保持率は水性ハイボン 50 上塗りにおいては JIS K 5659 3 級、水性デュフロン 100 上塗りにおいては JIS K 5659 1 級を満たす結果となっている。

以上の性能試験の結果、ニッペ水性防食システムは従来の弱溶剤形システムと同等の性能を持つことがわかった。

6. 標準仕様

表3にニッペ水性防食システムの標準仕様を示す。商品体系としては弱溶剤形防食システムと同様、耐候性グレード別に、ふっ素仕様とポリウレタン仕様を揃えた。また本システムは乾燥性に優れるため、施工面積によるが、1日2コートの塗り重ねが可能である。例えば、下塗り2回、中塗り1回、上塗り1回の4回塗り仕様では従来システムでは1日1コートの塗装となるため4日間の工期が必要であるが、ニッペ水性防食システムでは2日間に短縮することが可能である。これは従来までの溶剤形システムでは実現できなかった本システムならではの特徴であり、工期短縮によるコスト削減や、作業期間を長く取れない施工現場などへ貢献できる特徴であると考えられる。

7. おわりに

今回、当社は水性重防食塗料システム「ニッペ水性防食システム」を上市した。この分野において、下塗り、中塗り、

表 3 標準塗装仕様(塗り替え)

工程	商品名	標準使用量 (g/m ² /回)	目標膜厚 (μm/回)	塗り回数	塗装方法	シンナー 希釈率 (%)	塗り重ね 乾燥時間 (23℃)
素地調整	電動工具、手工具を用いて劣化した旧塗膜を除去し、発錆部は ISO St3 まで除錆する。 一般旧塗膜部は塗り替え塗膜との付着性を回復するために、全面清掃ケレンを行う。						
下塗り	水性ハイボン 20 (非危険物水性変性 エポキシ樹脂下塗り塗料)	200	50	1～2	はけ ローラー	水道水 (0～5%)	4時間 ～10日
中塗り	ウレタン仕様 水性ハイボン 30 中塗 (非危険物水性ポリウレタン 樹脂塗料用中塗)	140	30	1	はけ ローラー	水道水 (0～5%)	4時間 ～10日
	ふっ素仕様 水性デュフロン 100 中塗 (非危険物水性ふっ素 樹脂塗料用中塗)	140	30	1	はけ ローラー	水道水 (0～5%)	4時間 ～10日
上塗り	ウレタン仕様 水性ハイボン 50 上塗 (非危険物水性ポリウレタン 樹脂上塗り塗料)	120	25	1	はけ ローラー	水道水 (0～5%)	—
	ふっ素仕様 水性デュフロン 100 中塗 (非危険物水性ふっ素 樹脂上塗り塗料)	120	25	1	はけ ローラー	水道水 (0～5%)	—

上塗りの塗料液および硬化剤をすべて非危険物でラインナップしたのは業界初である。このことで重防食塗料領域における環境配慮の究極形である「水性化」を先駆けることができたと自負している。重防食塗料領域の水性化はまだまだ今後の発展に期待されるところだが、地球環境保全のためには必須であると考えられる。将来は重防食塗料領域でも水性塗料が主力となることは間違いない。地球環境保全という社会的責任を担う者の一員として、今回上市したニッペ水性防食シ

ステムが、重防食塗料領域における水性化への動きに役立つことを願っている。

(Received January 15, 2013)

文 献

- 1) (独)土木研究所；鋼構造物塗装のVOC（揮発性有機化合物）削減に関する共同研究報告, 共同研究報告書第411号(2010).
- 2) 岡本 剛, 井上勝也；腐食と防食, p.46 (大日本図書株, 1971).