DNT Technical Report on Coatings

DNTコーティング技報

No.25

2026年3月発行

DAI NIPPON TORYO CO.,LTD.

DNTコーティング技報No.25

CONTENTS

●次代を導く“機能”と“解決力”の探究 ……………………………………………………………1

●技術報文（Technical Reports）
1. 高耐食溶融めっき鋼板の表面処理と塗膜物性に関する検証 ………………………………………2～11
Study of Surface Treatment for Corrosion Resistant Hot dip Galvanized Steel Sheets and Coating Properties
2. ZEB外壁不燃断熱塗装仕様 ZERO-eコート ……………………………………………………12～18
ZEB Exterior Wall Non-Combustible Insulation Coating Specification: ZER0-e Coat

●技術解説（Technical Reviews）
1.低飛散形送電鉄塔用1コート塗料の開発 ……………………………………………………………19～24
Development of a low-spatter, one-coat paint for power transmission towers
2.バイオマスフィラーを用いた環境配慮形塗料の開発 ………………………………………………25～30
Development of Environment-conscious Type Paints with Biomass Fillers

●新商品紹介（New Products）
1. 超厚膜形高遮断エポキシ樹脂塗料「タイエンダー下塗ストロングH-R」 ………………………31～32
「Taiender Under Coat Strong H-R」
2. 蛍光反射塗料を使用した「避難目安の水位ライン」 …………………………………………………33～34
「Flood Evacuation Water Level Guide Using Fluorescent Reflective Paint」
3. ウレタンエラストマー被覆材料（海洋構造物用途）「NBコート エラスト＃92マリン」システム ………35～36
「Urethane Elastomer Coating Material「NB COAT ELAST＃92 MARINE」System

●学協会研究発表・技術講演・論文投稿者名と発表タイトル（2024.7～2025.12） ……………………37～38

次代を導く“機能”と“解決力”の探究

執行役員
技術開発部門長
佐野 秀二

DNTコーティング技報 No.25 の発刊にあたり、謹んでご挨拶申し上げます。

2001年の創刊以来、四半世紀にわたり本技報を継続して発行することができましたのは、技術発展に日々心血を注いでこられた皆様方の不断のご研鑽と、長年にわたるご支援の賜物であります。ここに改めて深甚なる感謝の意を表します。

今日、世界はかつてない変動期を迎えております。地政学的リスクの高まり、サプライチェーン構造の再編、経済環境の不透明化など、企業を取り巻く環境は大きく揺れ動き、従来の前提が根底から問い直されています。一方で、脱炭素社会・循環型社会の実現は国家的・国際的な最重要課題として加速しており、二酸化炭素排出量削減はいまや全産業に共通する責務と言えます。こうした情勢のもと、コーティング技術に求められる価値は、保護・美観、そして次代の社会基盤を支える“機能”と“解決力”へと質的転換を遂げつつあります。

DNTグループは、様々な社会的要請や課題解決に応えるべく、独自技術の深化はもとより、異分野との連携、先進技術の開発・活用を通じて、新たな価値創造に挑戦し続けてまいります。コーティングの可能性を拡張し、持続可能な未来への確かな道筋を示すことこそ、私たちに課せられた使命であると考えています。

本報では省エネルギー化を実現する断熱コーティング技術、省人化に貢献する省工程高耐久コーティング技術、さらに二酸化炭素が固定化されたバイオマスフィラーの実用化技術などを紹介させて頂きます。これらの技術が皆様の価値創造の一助となり、新たな技術革新へと踏み出す一歩を後押しすることができましたら、これに勝る喜びはございません。

今後とも、“機能”と“解決力”を高める技術開発に一層励んでまいりますので、変わらぬご支援を賜りますようお願い申し上げます。

高耐食溶融めっき鋼板の表面処理と塗膜物性に関する検証

Study of Surface Treatment for Corrosion Resistant Hot dip Galvanized Steel Sheets and Coating Properties

塗料事業部門 金属焼付塗料事業部 液体塗料テクニカルサポートグループ
Coating Business Div. Metal Baking Coatings Dept. Technical Support Group
土谷 晃弘
Akihiro TSUCHIYA

要旨

高耐食溶融めっき鋼板はその優れた耐食性から建築、土木等の分野で幅広く使用されている。本来は無塗装での使用が前提であるが、塗装される場合も増えている。例えば、建築用アルミニウム合金材料等と同じ用途で使用され、同等の耐久性を求められる場合である。

一般的に使用される高耐食溶融めっき鋼板には、予め鋼板メーカーにて用途に合わせた表面処理が施されている。そこで、基材の表面処理による塗膜物性への影響の確認と塗装前の適切な素地調整の検証を行った。評価は各種物性試験と基材の表面観察とした。その結果、予め鋼板メーカーにて施されている基材の表面処理層によって、塗装現場で素地調整として実施される化成処理が阻害されていることが確認された。また、素地調整を行うことで付着性や耐食性を低下させる傾向が確認された。詳細について本報にて報告する。

Abstract

Corrosion resistant hot dip galvanized steel sheets are widely used in fields such as construction and civil engineering due to their excellent corrosion resistance. That is based on using assumption that it will not be painted, but it will not be also. For example, when used for the same purpose as architectural aluminum alloy materials and equivalent durability is required.

Commonly used highly corrosion-resistant galvanized steel sheets are pre-treated on the surface by the steel sheet manufacturer according to their intended use. Therefore, we verified the effects of substrate surface treatment on coating properties and confirmed the appropriate substrate preparation during painting. We were evaluated various physical property tests and surface observation of the substrate. As a result, it was confirmed that the surface treatment layer applied to the substrate by the steel plate manufacturer was inhibiting the chemical conversion treatment performed at the painting site. Furthermore, it was confirmed that surface conditioning tends to reduce adhesion and corrosion resistance. We report on it details.

1. はじめに

1.1 高耐食溶融めっき鋼板について

溶融亜鉛めっき鋼材は18世紀中頃にフランスの科学者 P.J.Malouinによって発明され、19世紀中頃にはイギリスおよびフランスにおいて実操業が開始された。日本では1906年に八幡製鉄所で切り板に亜鉛めっきを施したのが最初とされている。[1]このように数世紀にわたり人類の暮らしを支えてきた防錆技術である溶融亜鉛めっきだが、近年では、耐食性をさらに向上させた高耐食溶融めっき鋼板が登場し、建築、土木、家電などの様々な分野で幅広く使用されている。さらに高耐食溶融めっき鋼板は日々進歩を遂げており、用途に合わせた様々な表面処理種が誕生している。

1.2 塗装時の素地調整について

焼付塗装分野における亜鉛めっき鋼板への素地調整では、加工や取扱時に付着した油脂分等を溶剤や薬剤により除去する脱脂を行った後に、クロメート系やリン酸塩系の化成処理が施される。[2]環境側面からクロムを含有しないクロメートフリーの処理であるリン酸塩系の化成処理が一般的であり、リン酸亜鉛がその代表例である。化成処理によって亜鉛めっき表面に化成皮膜が形成され、塗膜の付着性や基材の耐食性が向上する。しかし、性能の発揮には均一な化成皮膜の形成が重要であり、不均一な場合や、正常に化成皮膜が形成されていない場合、早期の剥離や早期の腐食につながる可能性がある。そのため、素地調整は非常に重要な工程である。

1.3 本検証の目的

本検証では高耐食溶融めっき鋼板に予め施されている表面処理が塗膜物性に与える影響の確認と、塗装前の適切な素地調整の検証を目的とした。

本来、高耐食溶融めっき鋼板は無塗装での使用が前提であるが、場合によっては塗装されることもある。例えば、建築用アルミニウム合金材料と同じ用途で使用される場合である。金属外装建材分野において、溶融亜鉛めっき鋼板等からJIS G 3323にて規定される高耐食溶融めっき鋼板への切り替えが増えており、建築用アルミニウム合金材料と同程度の耐久性が求められる。しかし、高耐食溶融亜鉛めっき鋼板への塗装仕様は確立されていない。そのような背景から、一般的に使用される高耐食溶融めっき鋼板上での塗膜物性の確認と、塗装前の適切な素地調整についての検証を行った。

2. 実験

2.1 基材

試験片の基材として、表面処理の異なる3種類の高耐食溶融めっき鋼板を用いた。3種類の処理種と主な特長を下記の表1に示す。

表1　使用した基材と表面処理

種類	処理種	特長
基材A	無機系クロメートフリー処理	溶接性
基材B	Ti系無機複合処理	溶接性
基材C	リン酸亜鉛系処理	塗装 密着性

2.2 素地調整

素地調整は、下記に示す5水準で実施した。④、⑤の研磨には280番の研磨紙を使用した。

①無処理
②脱脂（アルカリ系薬剤）
③脱脂（アルカリ系薬剤）＋リン酸亜鉛処理
④研磨＋脱脂（アルカリ系薬剤）
⑤研磨＋脱脂（アルカリ系薬剤）＋リン酸亜鉛処理

表2　基材Aに関する試験片詳細(溶剤系塗装)

試験水準※1	A−①−S ※2	A−②−S	A−③−S	A−④−S	A−⑤−S
基材種	基材A ： 高耐食溶融めっき鋼板　無機系クロメートフリー処理材				
研磨	—	—	—	○	○
脱脂(アルカリ系)	—	○	○	○	○
リン酸亜鉛処理	—	—	○	—	○
下塗塗料	熱硬化形エポキシ樹脂下塗塗料(5～10μm)				
上塗塗料	熱硬化形ふっ素樹脂上塗塗料(35～40μm)				

表3　基材Aに関する試験片詳細(粉体塗装)

試験水準	A−①−P ※2	A−②−P	A−③−P	A−④−P	A−⑤−P
基材種	基材A ： 高耐食溶融めっき鋼板　無機系クロメートフリー処理材				
研磨	—	—	—	○	○
脱脂(アルカリ系)	—	○	○	○	○
リン酸亜鉛処理	—	—	○	—	○
下塗塗料	—				
上塗塗料	二層分離形複合樹脂粉体塗料(50～70μm)				

※1　以後、試験水準は(表面処理種)−(前処理工程)−(塗装系)で記載する。 ※2　塗装系のSはSolvent＝溶剤系塗装、PはPowder＝粉体塗装を示す。

2.3　塗装

基材Aに関する試験片詳細(溶剤系塗装)を表2に示す。表中に記載された素地調整を行い、下塗塗料と上塗塗料を表中に記載の膜厚にてウェットオンウェット塗装で塗装し、160℃×20分間(素材温度)で焼付硬化させ、試験片を作製した。基材B、基材Cについては、素地調整①～③の水準を作製した。

基材Aに関する試験片詳細(粉体塗装)を表3に示す。表中に記載の水準にて素地調整を行い、表中に記載の膜厚にて上塗塗料を塗装し190℃×20分間(素材温度)で焼付硬化させ、試験片を作製した。基材B、基材Cについては、素地調整①～③の水準を作製した。

3. 評価方法

建築用アルミニウム合金材料と同等の耐久性が求められるという背景から、本検証では建築用アルミニウム合金材料加熱硬化形溶剤系塗装標準仕様書・同解説および粉体塗装仕様標準指針・同解説に記載されている材料規格にて試験を実施した。[3) 4)]

3.1　初期付着性

JIS K 5600-5-6に準拠し、塗膜に対して素地に達するクロスカットを入れ、セロハン粘着テープはく離により塗膜付着性を評価した。

3.2　耐衝撃性試験

JIS K 5600-5-3に準拠し、半径6.35㎜±0.03㎜(直径1/2インチ)の撃ち型の上に、50cmの高さから500gのおもりを塗膜の表面に落とし、試験後の塗膜表面にセロハン粘着テープを貼りつけて引きはがし、塗膜の状態を目視にて評価した。

3.3　沸騰水試験

95℃以上の蒸留水の中に、試験片を溶剤系塗装では7時間、粉体塗装では5時間浸せきし、取り出した直後に、浸せき部分の塗膜表面の外観を目視にて評価した。さらに2時間放置して、JIS K 5600-5-6に準じて付着性を評価した。

3.4　耐中性塩水噴霧試験

JIS K 5600-7-1に準拠し、試験片の表面には素地に達する2本の交線を引き、中性塩水噴霧試験を実施した。試験時間は4000時間とし、目視にて平面部とカット部を評価した。

4. 結果と考察

4.1　初期付着性

各水準の初期付着性の結果を表4および表5に示す。初期付着性はA-②-Pを除くいずれの水準においても良好であった。

4.2　耐衝撃性

各水準の耐衝撃性の結果を表4および表5に示す。耐衝撃性はいずれの水準においても良好であった。

表4　基材Aにおける初期付着性および耐衝撃性　試験結果

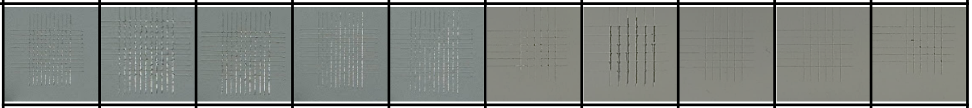
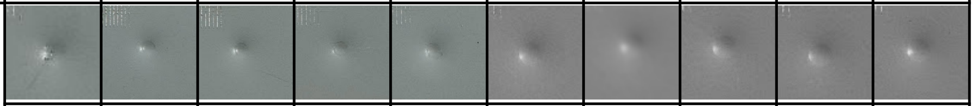
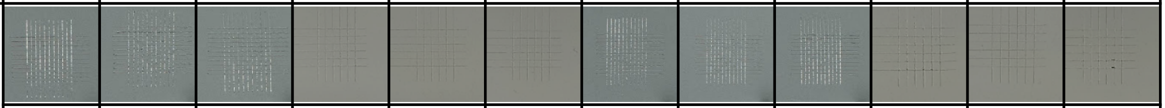
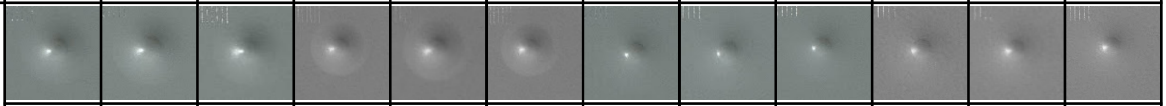
水準	A-①-S	A-②-S	A-③-S	A-④-S	A-⑤-S	A-①-P	A-②-P	A-③-P	A-④-P	A-⑤-P
初期付着性										
	100/100（分類1）	100/100（分類1）	100/100（分類1）	100/100（分類0）	100/100（分類0）	25/25（分類1）	25/25（分類2）	25/25（分類0）	25/25（分類0）	25/25（分類1）
耐衝撃性										
	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし

表5　基材B、Cにおける初期付着性および耐衝撃性　試験結果

水準	B-①-S	B-②-S	B-③-S	B-①-P	B-②-P	B-③-P	C-①-S	C-②-S	C-③-S	C-①-P	C-②-P	C-③-P
初期付着性												
	100/100（分類0）	100/100（分類0）	100/100（分類0）	25/25（分類0）	25/25（分類0）	25/25（分類0）	100/100（分類0）	100/100（分類0）	100/100（分類0）	25/25（分類1）	25/25（分類0）	25/25（分類1）
耐衝撃性												
	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし	剥離なし

4.3　沸騰水試験

基材A、Bおよび基材Cの沸騰水試験の結果を表6および表7に示す。溶剤系塗装を実施した基材Aにおいては、A-④-Sのみ良好な付着性を示した。その他の水準では付着性の低下が確認され、特にA-③-Sでは塗膜のはく離が確認された。粉体塗装を実施した基材Aにおいては、A-④-Pのみ良好な付着性を示した。その他の水準では付着性の低下が確認され、A-①-P、A-②-P、A-③-Pの水準では、塗膜のはく離が確認された。

基材Bにおいては、溶剤系塗装、粉体塗装を実施したいずれの水準においても付着性の低下が確認された。

溶剤系塗装を実施した基材Cにおいては、C-①-S、C-②-Sは良好な付着性を示しており、C-③-Sでは著しい付着性の低下が確認された。粉体塗装を実施した基材Cにおいては、 C-①-P、C-②-Pは良好な付着性を示しており、C-③-Pでは付着性の低下が確認された。

基材Aは、研磨＋アルカリ脱脂を素地調整として実施した水準④が溶剤系塗装、粉体塗装の両者ともに良好な付着性を示す結果となった。これは研磨によるアンカー効果により基材と塗膜の付着性が向上したためと考えられる。基材Bは他の基材と比較すると、基材そのものの付着性が悪い傾向が確認された。基材Cは塗装用の表面処理がされている基材であるため、3種類の基材の中で最も良好な結果を示している。しかし、水準③のアルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理を行うと付着性が低下する傾向が確認された。

表6　基材Aにおける沸騰水試験　試験結果

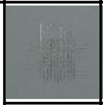
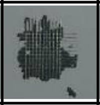
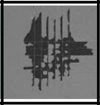
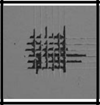
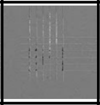
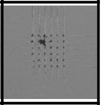
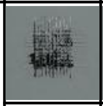
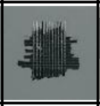
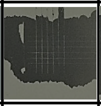
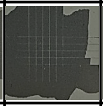
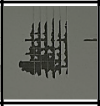
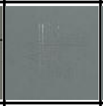
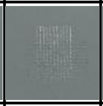
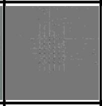
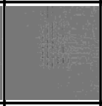
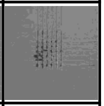
水準	A-①-S	A-②-S	A-③-S	A-④-S	A-⑤-S	A-①-P	A-②-P	A-③-P	A-④-P	A-⑤-P
沸騰水試験										
	100/100 (分類2)	100/100 (分類2)	剥離	100/100 (分類1)	100/100 (分類2)	6/25 (分類5)	6/25 (分類5)	10/25 (分類3)	25/25 (分類1)	23/25 (分類2)

表7　基材B、Cにおける沸騰水試験　試験結果

水準	B-①-S	B-②-S	B-③-S	B-①-P	B-②-P	B-③-P	C-①-S	C-②-S	C-③-S	C-①-P	C-②-P	C-③-P
沸騰水試験												
	14/100 (分類4)	4/100 (分類5)	剥離	剥離	剥離	8/25 (分類4)	100/100 (分類1)	100/100 (分類1)	剥離	25/25 (分類1)	25/25 (分類1)	24/25 (分類2)

4.4　耐中性塩水噴霧性

基材A、BおよびCの耐中性塩水噴霧性の試験結果を表8、表9に示す。溶剤系塗装を実施した基材Aで最も良好な結果を示した水準はA-①-Sで、4000時間の試験後のカット部から発生したふくれの幅は2.0mmであった。その他の水準は、 A-⑤-S＜A-②-S＜A-④-S＜A-③-Sの順でふくれ幅が大きくなっており、特にA-③-Sでは15mmであった。粉体塗装を実施した基材Aで最も良好な結果を示した水準はA-①-Pで、カット部からのふくれ幅は1.5mmであった。その他の水準ではA-②-P＝A-③-P＜A-④-P＜A-⑤-Pの順でふくれ幅が大きくなっており、特にA-⑤-Pでは11mmであった。溶剤系塗装を実施した基材BではB-①-Sでカット部からのふくれ幅が3.0mm、B-②-Sで5.0mm、B-③-Sで9.0mmであった。

粉体塗装を実施したB-①-Pは1000時間時点でカット部からの全面はく離が確認された。4000時間の試験後、B-②-Pはカット部からのふくれ幅5.0mm、B-③-Pはふくれ幅10mmであった。

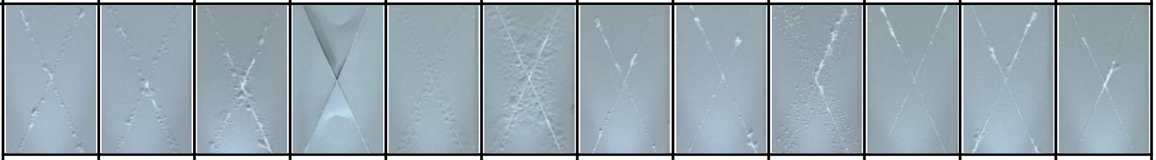
溶剤系塗装を実施した基材Cでは、C-①-Sでカット部からのふくれ幅は2.0mm、C-②-Sで4.0mm、C-③-Sで8.0mmであった。粉体塗装を実施した基材CではC-①-Pはカット部からのふくれ幅が2.0mm、C-②-Pは3.0mm、C-③-Pは4.0mmであった。

素地調整ごとに比較すると、溶剤系塗装、粉体塗装の両者で良好な結果を示したのは素地調整を実施しない水準①であった。また、化成処理を実施した水準③や水準⑤では、著しく耐食性が低下する傾向が確認された。

表8　基材Aにおける耐中性塩水噴霧試験　試験結果

水準	A-①-S	A-②-S	A-③-S	A-④-S	A-⑤-S	A-①-P	A-②-P	A-③-P	A-④-P	A-⑤-P
4000時間										
	ふくれ幅 2.0㎜	ふくれ幅 6.0㎜	ふくれ幅 15.0㎜	ふくれ幅 8.0㎜	ふくれ幅 4.0㎜	ふくれ幅 1.5㎜	ふくれ幅 3.0㎜	ふくれ幅 3.0㎜	ふくれ幅 7.0㎜	ふくれ幅 11.0㎜

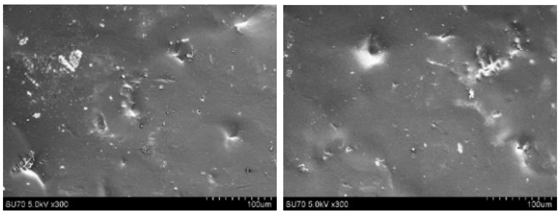
表9　基材B、Cにおける耐中性塩水噴霧試験　試験結果

水準	B-①-S	B-②-S	B-③-S	B-①-P	B-②-P	B-③-P	C-①-S	C-②-S	C-③-S	C-①-P	C-②-P	C-③-P
4000時間												
	ふくれ幅 3.0㎜	ふくれ幅 5.0㎜	ふくれ幅 9.0㎜	剥離	ふくれ幅 5.0㎜	ふくれ幅 10.0㎜	ふくれ幅 2.0㎜	ふくれ幅 4.0㎜	ふくれ幅 8.0㎜	ふくれ幅 2.0㎜	ふくれ幅 3.0㎜	ふくれ幅 4.0㎜

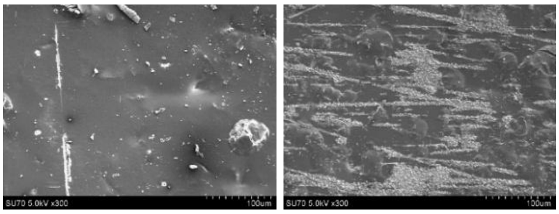
4.5 各素地調整における表面観察

表面状態の観察には、走査型電子顕微鏡(日立ハイテクノロジーズ社製超高分解能分析走査SU-70型)を用いた。その他、X線回析法(オックスフォード・インストゥルメンツ社製電子顕微鏡用分析装置)を適用し、表面の元素を分析した。

基材Aに対して、①、②、③、⑤の素地調整を行った表面状態を図1に示す。アルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理を施したA-③は、A-①やA-②と同様の表面状態であることから、リン酸亜鉛の化成皮膜が形成されていないことが確認できる。それに対し、研磨＋アルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理を施したA-⑤では、基材表面の研磨痕周辺が白く変化している。A-⑤の基材を高倍率で観察した画像を図2で示す。白く変化している部分にはリン酸亜鉛皮膜の結晶の形成が確認できる。しかし、A-⑤の基材の別の箇所(研磨痕が無い箇所)ではリン酸亜鉛皮膜の結晶の形成は確認できない。つまり、基材表面全体に均一に化成皮膜は形成されておらず、基材の研磨痕に沿って化成皮膜が形成されている。

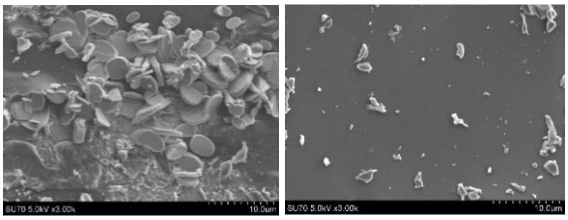


水準 A-①　水準 A-②



水準 A-③　水準 A-⑤

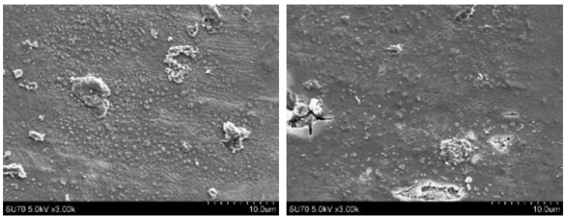
図1 SEMによる表面画像(倍率300倍)



研磨痕周辺部　研磨痕が無い箇所

図2 水準A-⑤のSEMによる表面画像(倍率3000倍)

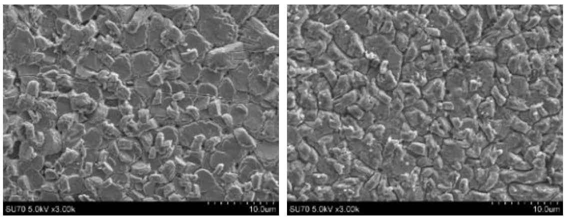
基材Bに対し、①と③の素地調整を行った表面状態を図3に示す。B-③の表面にはA-⑤で確認されたようなリン酸亜鉛の化成皮膜は形成されていないことが確認できる。



水準 B-①　水準 B-③

図3 SEMによる表面画像(倍率3000倍)

基材Cに対し、①と③の素地調整を行った表面状態を図4に示す。C-①では予め鉄鋼メーカーにて施されるリン酸亜鉛系の化成皮膜が確認できる。C-③は、C-①と比較すると新たな結晶の形成は確認できないため、既存の表面処理層の上に重ねてリン酸亜鉛の化成皮膜は形成されていないと考えられる。



水準 C-①　水準 C-③

図4 SEMによる表面画像(倍率3000倍)

表10　X線回析による元素分析結果

	A−①	A−②	A−③	A−⑤	B−①	B−③	C−①	C−③
元素名	各水準における元素検出量[質量%]							
Zn	51.2	51.3	44.1	42.6	68.9	66.7	43.9	45.2
C	27.1	27.8	28.2	23.5	9.6	6.8	7.7	9.1
O	11.5	11.4	16.5	21.9	8.0	11.5	31.0	28.7
Si	3.2	3.1	3.8	2.8	0.1	0.2	0.1	5.1
Al	2.7	2.7	2.5	1.8	4.3	5.1	1.1	1.2
Mg	2.5	2.4	2.0	1.3	3.9	3.6	0.5	0.5
F	0.8	0.5	0.5	0.6	2.2	2.0	—	—
P	0.6	0.5	2.1	5.0	1.5	2.1	10.5	7.1
Mn	—	—	—	0.5	—	—	4.6	2.6
V	0.3	0.3	0.1	—	—	—	—	—
S	—	—	微量	—	—	—	—	—
Ti	—	—	—	—	0.8	1.1	—	—
Fe	—	—	—	—	0.6	0.5	0.4	0.5
K	—	—	—	—	—	0.4	微量	微量

各水準の表面元素組成を表10に示す。A-①とA-②を比較すると、アルカリ脱脂のみを実施した場合では表面の元素組成に大きな変化は見られない。しかし、A-③のアルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理まで実施した水準では、Znの減少とP、Oの増加が確認された。A-⑤ではさらにP、Oの増加が確認されている。基材Bも基材Aと同様にZnの減少とP、Oの増加が確認された。基材Cについては異なる挙動が確認され、Znの増加とP、Oの減少が確認された。いずれの水準においても、アルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理まで実施した場合、基材の表面状態に変化が生じることが確認された。

4.6 考察

リン酸塩処理は基本的に金属素材のエッチングによってその表面に$H_2PO_4^-$と各種金属を不化させ皮膜とする技術である。[5)]

本検証でのリン酸亜鉛処理において、皮膜の析出反応は下記の式であると考えられる。

$$2H_2PO_4^- + 3Zn^{2+} + 4H_2O$$
$$\rightarrow Zn_3(PO_4)^2 \cdot 4H_2O + 4H^+ \text{（ホパイト）}$$

アルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理を実施した水準③では、高耐食溶融めっき鋼板に予め鉄鋼メーカーにて施された表面処理層によって亜鉛のエッチングが阻害され、アノード反応が進行せず、化成皮膜の形成が進行しなかったと考えられる。研磨後にリン酸亜鉛処理を行った水準⑤の場合、研磨によって表面処理層を除去することで亜鉛が露出するため、エッチングにより溶解し、アノード反応が進行する。そのため研磨痕がある部分でのみ化成皮膜の形成が進行したと考えられる。

A-③のアルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理まで実施した水準では、Znの減少とP、Oの増加が確認されているが、表面にリン酸亜鉛の化成皮膜は形成されていない。よって、この検出元素の変化は、化成処理液由来のリン酸のPとOが検出されたものと考えられる。基材Bついても基材Aと同様の傾向が確認された。基材Cについては、前述の基材AやBとは異なる挙動が確認され、Znは増加しP、Oは減少していた。これは、リン酸亜鉛が希鉱酸や水酸化アルカリ溶液に可溶であるため、予め鉄鋼メーカーにて表面処理として施されたリン酸亜鉛系皮膜が一部溶解したものと考えられる。 A-⑤に関しては、リン酸亜鉛の化成皮膜の生成に伴うPとOの増加が確認された。

表11　沸騰水試験結果まとめ

塗装系	溶剤系塗装					粉体塗装				
素地調整	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
基材A	×	×	×	○	×	×	×	×	○	×
基材B	×	×	×	—	—	×	×	×	—	—
基材C	○	○	×	—	—	○	○	×	—	—

○：試験後の付着分類が分類1以下

表12　耐中性塩水噴霧試験結果まとめ

塗装系	溶剤系塗装					粉体塗装				
素地調整	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
基材A	○	×	×	×	×	○	×	×	×	×
基材B	×	×	×	—	—	×	×	×	—	—
基材C	○	×	×	—	—	○	×	×	—	—

○：試験後のカット部からのふくれ幅が片側2.0 ㎜以下

沸騰水試験および耐中性塩水噴霧性試験の試験結果をまとめたものを表11、12に示す。表中では建築用アルミニウム合金材料加熱硬化形溶剤系塗装標準仕様書・同解説及び粉体塗装仕様標準指針・同解説に記載されている材料規格を満たすか否かを記載する。

基材ごとに沸騰水試験結果を比較すると、溶剤系塗装および粉体塗装の両者で良好な付着性を示したのは予め鉄鋼メーカーにて塗装用の表面処理がされている基材Cであった。

素地調整ごとに試験結果を比較すると、アルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理を行った水準③では基材A、B、Cのいずれも沸騰水試験と耐中性塩水噴霧試験において著しい性能の低下が確認されており、材料規格を満たさない結果となった。また、研磨＋アルカリ脱脂を行った水準④では付着性は向上したが、耐食性の低下が確認され、耐中性塩水噴霧試験の材料規格を満たさない結果となった。研磨＋アルカリ脱脂＋リン酸亜鉛処理を行った水準⑤では、付着性は水準①と同等以上の結果となり向上したが、耐食性は水準①よりも低下しており、塩水噴霧試験の材料規格を満たさない結果となった。

以上の結果から、化成処理を行いながらも正常な化成皮膜が形成されなかった場合、基材に予め施されている表面処理層へ影響を与えるため、付着性や耐食性に悪影響を及ぼすと考えられる。また、化成皮膜を均一に形成するためには、完全に表面処理層を除去する必要があると考えられる。しかし、研磨によって表面処理層全体を均一に除去することは困難である。そこまで研磨を実施した場合、亜鉛めっき層も研磨され、基材そのものの耐食性を損なう可能性が考えられる。つまり、予め鉄鋼メーカーにて表面処理が施されている高耐食溶融めっき鋼板に対して、表面処理層の上に重ねて化成処理を行うことはできず、その工程によって既存の表面処理層に影響を与え、塗膜の付着性や耐食性の低下を招くこととなる。

5. まとめ

高耐食溶融めっき鋼板の表面処理層が塗膜物性に与える影響と塗装前の適切な素地調整について検証を行った。初期付着性や耐衝撃性はいずれも概ね良好であったが、沸騰水試験や耐中性塩水噴霧試験において基材の表面処理種および塗装前の素地調整による影響が確認された。表面観察の結果から、予め鉄鋼メーカーにて施される基材の表面処理層の影響により、リン酸亜鉛の化成皮膜形成が阻害されていることが確認された。さらに、既存の表面処理層の上から化成処理を行いながらも正常な化成皮膜が形成されなかった場合には、化成処理工程が既存の表面処理層へ影響を及ぼし、塗膜の付着性や耐食性を阻害する因子としても作用していることが確認された。

本検証より、建築用アルミニウム合金材料加熱硬化形溶剤系塗装標準仕様書・同解説および粉体塗装仕様標準指針・同解説に記載されている材料規格内において、建築用アルミニウム合金材料の焼付塗装材と同程度の性能を求めて高耐食溶融めっき鋼板に塗装する場合は以下の点に注意すべきであると考える。

(1) 塗装用の表面処理がされた基材を使用する。
(2) 塗装前の素地調整工程での化成処理では既存の表面処理層により、亜鉛のエッチングが阻害されるためアノード反応が進行せず化成皮膜の形成が阻害される。
(3) 化成処理皮膜を均一に形成するためには、基材の表面処理層を完全に除去する必要があると考えられる。
(4) 基材の表面処理層を研磨により除去する場合、めっき層も研磨されることとなり、基材そのものの耐食性は低下すると考えられる。

今後は、高耐食溶融めっき鋼板への塗装仕様の確立に向け、さらなる検証を続ける。

参考文献

1)柴山裕. 溶融亜鉛めっきの技術と装置. 表面技術. 2017, Vol68, No.11, p24-29.
2)日本塗料工業会. 工場塗装ラインにおける塗装・塗料管理ハンドブック. 2001, p174-189
3)日本建築仕上学会. 建築用アルミニウム合金材料加熱硬化形溶剤系塗装標準仕様書・同解説. 2022, p59-63.
4)日本建築仕上学会. 建築用アルミニウム合金材料粉体塗装仕様標準指針・同解説. 2024, p46-49.
5)石井均. リン酸塩処理の基礎. 表面技術. 2010, Vol61, No.3, p2-8.

ZEB外壁不燃断熱塗装仕様　ZERO-eコート

ZEB Exterior Wall Non-Combustible Insulation Coating Specification: ZER0-e Coat

塗料事業部門 建築塗料事業部テクニカルサポートグループ
Coating Business Div. Decorative Coatings Dept.
Technical Support Group
常盤　勇斗
Hayato Tokiwa
畠山　淳
Jyun Hatayama

塗料事業部門開発部 技術開発第一グループ
Technical Development Div. Development Dept.
Technical Development Group1
髙久　優太
Yuta Takaku

要　旨

近年、地球温暖化は全世界で深刻な問題として考えられており、日本においても様々な地球温暖化対策が実施されている。この中で建築物に焦点を当てると、建物が消費するエネルギーを太陽光発電等の創エネ技術や省エネ技術を活用して実質ゼロを目指すZEB（Zero Energy Building）といった技術に注目が集まっている。ZEB化にあたっては建物内外部の温度差を小さく、断熱性を高めることで空調負荷を下げることができる。そのためには建物表面の反射性を高くし、断熱性を付与できる塗料があれば空調負荷を下げることができると考えられる。一方、断熱性に関しては、一般的に建物内部に用いられる断熱材が効果的であるが、特に改修工事においては、内部の稼働を止める必要がある。また、塗料として断熱材と同程度の熱伝導率を付与しようとすると、多くの難燃剤を配合する必要があるが、耐候性や耐久性に影響する樹脂が少なくなり、塗膜の経年劣化を早める傾向にある。このため、屋外で用いることができ、断熱材と同程度の熱伝導率を有する塗料は現状存在しない。本報では、改修工事において内部の稼働を止めず、屋外で施工を行うことができ、断熱材と同程度の熱伝導率を有する塗料について報告する。

Abstract

Global warming has become a serious issue worldwide, and Japan has implemented various countermeasures to combat it. Focusing on buildings, ZEB (Zero Energy Building) technology, which aims to achieve virtually zero energy consumption by utilizing energy-creating technologies such as solar power generation and energy-saving technologies, has been gaining attention. ZEB construction can reduce air-conditioning loads by minimizing the temperature difference between the inside and outside of a building and improving its insulation. To achieve this, it is thought that paints that can enhance the reflectivity of building surfaces and provide thermal insulation could reduce air-conditioning loads. While insulation materials typically used inside buildings are effective for insulation, they require the shut down of internal operations, especially during renovation work. Furthermore, imparting thermal conductivity comparable to that.

of insulation requires the incorporation of a large amount of flame retardants, which reduces the amount of resin that affects weather resistance and durability, and tends to accelerate the deterioration of the coating over time. Therefore, there are currently no paints that can be used outdoors and have thermal conductivity comparable to that of insulation. In this paper, we report a paint that can be applied outdoors during renovation work without shutting down internal operations and has thermal conductivity comparable to that of insulation.

1. は じ め に

1.1 断熱材種類と施工上の課題

断熱材とは、熱の移動や伝達を減少させる材料の総称で、熱絶縁材とも呼ばれる。主に建築物においては、外部から侵入する熱や内部から放出される熱を遮断し、室内温度を快適に保つ役割がある。断熱材の仕組みは、空気の断熱性能を利用している点にあり、熱伝導率の低い素材で空気の層を作り出すことで、熱の伝導を遅らせることができる。主な種類は以下に示す。

〇繊維系断熱材

・無機繊維系: ガラスを溶かして繊維状にしたグラスウールや、岩石を原料とするロックウールなどが挙げられ、比較的安価で耐熱性や吸音性に優れ、多くの住宅で使われる。

・木質繊維系: 古紙を原料とするセルロースファイバーや、木材繊維を原料とするウッドファイバーなどがあり、調湿性や吸音性に優れるが、防湿加工が必要な材料である。

〇発泡プラスチック系断熱材

・発泡ポリスチレンや発泡ポリウレタンなどがあり無数の気泡によって高い断熱効果を発揮し、薄くても高い断熱効果が得られるのが特徴である。

断熱材は、建物の床、壁、天井、屋根などに施工され、冷暖房効率を高め、省エネ性能を向上させる。また、建物の気密性を高める効果も併せ持つ一方で、断熱材の多くは内壁の内側に打設もしくは貼り付けを行うものが主流であり、既存建物を断熱化する場合、大規模な工事が必要となり、工期や費用の面で大きな負担になりやすい。

1.2 高層ビル火災の事例について

高層ビルの火災において外壁(外装材・カーテンウォール・断熱材など)は火災の拡大を左右する非常に重要な要素となる。高層ビル火災の被害が拡大する要因としては、以下が挙げられる。

外壁の表面や内部に可燃性の断熱材や仕上げ材が使用されている場合、炎が外壁を伝って一気に上層階へと燃え広がる垂直燃焼が発生しやすく、これが最大の要因とされている。その他要因としては、開口部(窓など)から火炎が噴出し、上層の外壁に着火する外壁延焼(フラッシュオーバー伝播)が挙げられる。

1.3 本検討の目的

これらの課題を解決するため、著者らは断熱材に近い熱伝導率を有するとともに、建築基準法に定められる不燃材料相当の性能を有する外装用塗料の検討を実施した。双方の機能を有する材料であれば、改修時に適用することで、現在断熱性の無い建物に対して断熱性を付与することが可能となる。また、断熱性のある建物についても火災時の燃え広がりを遅くできることや太陽光による熱発生から躯体の劣化を軽減させることが可能である。さらには、既存の遮熱塗料と組み合わせることにより、夏場は遮熱と断熱による室内温度上昇の軽減、冬場は断熱による室内温度の保持が可能となり、エアコン等の電力削減が期待できる。また、従来の断熱材と異なり室内での施工を必要としないため、工期及び工費の削減にも繋がる。

2. 開 発 品 の 概 要

今回求められる塗料機能を満たすために必要な樹脂への要求性能を表1に示す。商品の目標として無機を主成分として設計する。採用した樹脂は環境対応型水性ディスパージョンであり、基本骨格は有機無機ハイブリッドの自己乳化型水分散体となる。無機成分はポリシロキサンを含有しているが、最低造膜温度は低いため、有機成分となる成膜助剤を必要としない。また、柔軟性を示す被膜伸度は100～300%を有しており、躯体の経時伸縮に耐え得るものとなっている。

表1　採用樹脂性状

要求事項	採用樹脂
無機成分含有	ポリシロキサン含有量30wt%
最低造膜温度	5℃以下
環境対応	水系ディスパージョン
柔軟性	被膜伸度100～300%

断熱性を付与させる材料として、空気層を有する中空樹脂ビーズや中空ガラスビーズ、熱伝導率の低い無機フィラー(シリカエアロゲル・タルク・バーミキュライト)が挙げられる。樹脂との混合性や混合後の熱伝導率安定性を考慮し、本製品では中空ガラスビーズを採用した。

図1に収束イオンビーム走査型電子顕微鏡(FIB-SEM)による中空ガラスビーズの分布状況を3D観察した結果を示す。ZERO－eコートの乾燥塗膜中に中空ガラスビーズが充填されていることが確認できる。これにより断熱性に必要な空気層の確保が明確となっている。

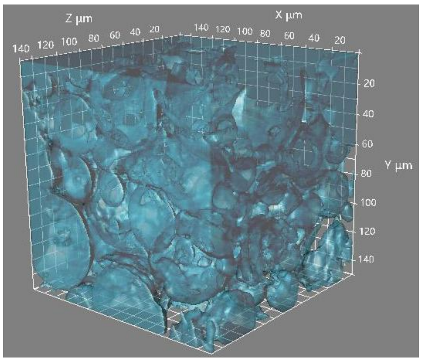


図1　塗膜中の中空ガラスビーズ分布

3. 性 能 評 価

3.1 標準塗装仕様

ZERO－eコートを用いた標準塗装仕様を表2に示す。従来の遮熱塗装システムに中塗としてZERO－eコートを塗装することで、遮熱性と断熱性の両方を付与することが可能となる。

表2　標準塗装仕様

		標準塗装仕様
下塗	材料名	マイティー万能水性シーラー
	塗布量	0.10kg/㎡
	塗装方法	刷毛/ローラー
中塗	材料名	ZERO－eコート
	塗布量	0.83kg/㎡(塗膜厚1mm)
	塗装方法	砂骨ローラー/コテ/リシンガン
上塗	材料名	エコクールアクアF
	塗布量	0.12kg/㎡
	塗装方法	刷毛/ローラー

3.2 試験水準

標準塗装仕様のほかに、市場展開されている断熱塗料を一部試験の比較として実施した。

表3に試験項目一覧を示す。試験は断熱性の指標である熱伝導率測定のほか、外壁向け塗料としての物性試験として耐酸性・耐アルカリ性・凍結融解性・促進耐候性・屋外暴露を実施した。また実際の温度変化を確認するため、コンクリート供試体を用いて実施する光照射試験による温度測定も実施した。

表3 試験項目一覧

試験項目	試験条件
熱伝導率	ISO-22007-2に準拠するホットディスク法
耐酸性	5g/L硫酸水溶液を作製し、7日間浸漬
耐アルカリ性	水酸化カルシウム飽和水溶液を作製し、7日間浸漬
湿潤冷熱サイクル試験	23℃×18時間(湿潤)、-20℃×3時間(低温)、50℃×3時間(高温)」を1サイクルとして10サイクル
促進耐候性	キセノンアークランプ照射2,800時間
屋外暴露	沖縄県うるま市の暴露場で2年間
人工光源照射試験	7時間(420分)の照射試験後、照射停止後7時間(420分)の温度降下状況を確認し、計14時間(840分)で温度測定を実施する。

3. 4 試験方法

3.4.1. 熱伝導率試験方法

塗膜の熱伝導率測定は、ISO 22007-2に準拠するホットディスク法熱物性測定装置TPS2500S(京都電子工業社製)で測定した。また、試験体は50mm×50mm×5mmのテフロン製型枠に入れ、乾燥した塗膜を試験体とした。なお、塗膜は断熱層であるZERO－eコート単膜で実施した。

3.4.2. 耐酸性試験方法

耐酸性試験は、5g/L硫酸水溶液を作製し、7日間浸漬した後、取り出した試験板の外観を評価した。

3.4.3. 耐アルカリ性試験方法

耐アルカリ性試験は、水酸化カルシウム飽和水溶液を作製し、7日間浸漬した後、取り出した試験板の外観を評価した。

3.4.4. 耐湿潤冷熱サイクル試験方法

耐湿潤冷熱繰返し性試験は、「23℃×18時間(湿潤)、-20℃×3時間(低温)、50℃×3時間(高温)」を1サイクルとして10サイクル行った後、取り出した試験板の外観を評価した。

3.4.5. 促進耐候性試験方法

促進耐候性試験については、上塗り塗料の色を白色として、キセノンアークランプ照射2,800時間までの60度鏡面光沢度を測定した後、式1にて光沢保持率を計算し、光沢保持率の変化を評価した。

$$\text{光沢保持率(\%)} = \frac{\text{試験後の鏡面光沢度}}{\text{初期の鏡面光沢度}} \times 100 \quad \cdots\text{式1}$$

3.4.6. 屋外暴露試験方法

屋外暴露耐候性試験については、上塗り塗料の色をグレー色として、沖縄県うるま市の暴露場で2年間の屋外暴露耐候性試験を行った。評価は、白亜化の等級、JIS K 5600-4-6(測色)に準拠しL*a*b*値の測定を行った後、初期値との比較で色差ΔEを計算した。

3.4.7. 人工光源照射性試験方法

建築用コンクリート供試体(縦200mm×横200mm×高さ200mm)でコンクリート内部の2か所で測定位置①、測定位置②更にコンクリート裏面側雰囲気温度として測定位置③に温度センサーを設置し塗装前の試験体とした。なお、測定位置の断面図を図2に示す。

ZERO－eコートの塗装有無、無塗装のコンクリートとの比較で1分毎の温度測定結果を7時間(420分間)照射し記録した。無塗装のコンクリートと塗装したコンクリートが示す最大温度を比較することで温度低減効果を算出した。試験体の周囲は発泡スチロール(厚み=25mm)で覆い、試験体表面以外からの熱影響を遮断した。測定では、光源としてJIS C 8912(結晶系太陽電池測定用ソーラシミュレータ)におけるCLASS C級に準拠したランプ、温度センサーとしてK型熱電対、記録計としてデータロガー(江藤電気社製)を用いた。また、外部雰囲気温度は照射実験付近で雰囲気温度を測定し、全天日射量は、全天日射計(プリード社製)を用いて1,000W/㎡の条件とした。

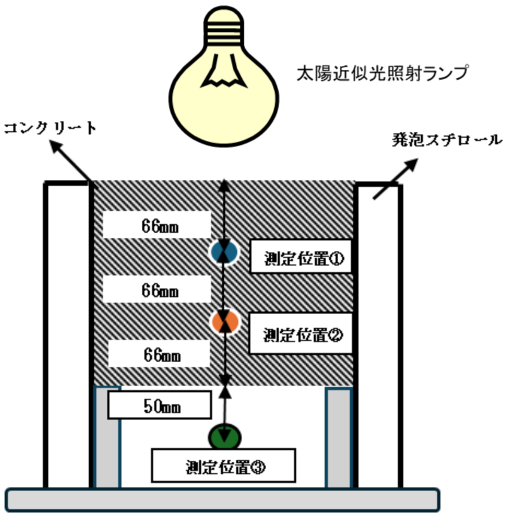


図2　測定位置

4. 結　果

4.1. 熱伝導率試験結果

ホットディスク法による熱伝導率の測定結果を表4に示す。ZERO－eコートの熱伝導率は0.071W/m·Kであった。冒頭で目標としていた断熱材である発泡ウレタンと比較すると、数値としては大きい値となっているが、現在市場展開されている他社断熱塗料と比較すると、約4割～5割程度の低い値を得ることができた。

表4　熱伝導率測定一覧

塗料	熱伝導率
発泡ウレタン	0.030W/m·K
ZERO－eコート	**0.071W/m·K**
他社品 A	0.118W/m·K
他社品 B	0.135W/m·K

4.2. 耐酸性試験結果

試験は5g/L硫酸水溶液に24時間没水する方法にて試験を行った。結果として、試験後の塗膜外観に異常がなく、2次付着性（基盤目付着性4mmカット幅）も良好な結果が得られた。このことから、ZERO－eコートを含む基本仕様は、5g/L硫酸水溶液に対して耐性があることを確認した。

4.3. 耐アルカリ性試験結果

試験は水酸化カルシウム飽和水溶液に500時間没水する方法にて行った。試験後の塗膜外観に異常がなく、 2次付着性（基盤目付着性　4mmカット幅）も良好な結果が得られた。このことから、ZERO－eコートは水酸化カルシウム飽和水溶液に対して耐性があることを確認した。

4.4. 耐湿潤冷熱繰返し性試験結果

試験は、（23℃×18時間）＋（－20℃×3時間）＋（50℃×3時間）を1サイクルとし、計10サイクル行う方法にて行った。試験後の塗膜外観に異常は確認されなかった。このことから、ZERO－eコートは耐湿潤冷熱環境に対して耐性があることを確認した。

4.5. 促進耐候性試験結果

試験は、キセノンアークランプ照射による方法にて行った。照射2,800時間（JIS K5658 1級相当）までの光沢保持率の変化を図3に示す。照射2,800時間後の塗膜外観には異常がなく、光沢保持率は高い値で推移している。このことから、ZERO－eコートを中塗りとして用いた場合でも、耐紫外線性に影響は無く、高い耐候性を有する塗膜であることを確認した。

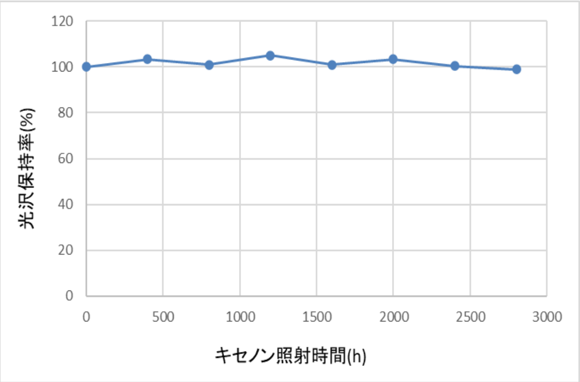


図3　促進耐候性試験結果

4.6.屋外暴露試験結果

試験は、沖縄県伊計島で実施。屋外暴露試験2年経過後の試験板については、塗膜外観に異常がなく、白亜化は等級1であった。また、暴露試験開始から0.5年、1年、2年経過した試験板を初期値との比較でL*a*b*値を測定し、ΔEを計算した結果、暴露試験1年経過ではΔEは0.63と変化も小さく、2年経過した試験板についてもΔEは1.12で初期値からの大きな変化は起こらなかった。また、2年経過した試験板に塗膜劣化も起こっていないことから、開発品の屋外暴露環境における下塗り、上塗りを含めた塗装仕様での性能は良好であることを確認した。

4.7.人工光源照射試験結果

人工光源照射時間に対する温度変化の結果を図4～6に示す。7時間(420分)照射終了後に人工光源照射を停止させたのち、7時間(420分)測定を継続しており、照射停止後に温度の低下が確認されている。

4.7.1測定位置①(建物外壁表面想定)比較

測定位置①における結果を図4に示す。無塗装コンクリートの最大温度とZERO－eコート塗装コンクリートの最大温度を比較すると約4.0℃の温度低減効果が確認された。

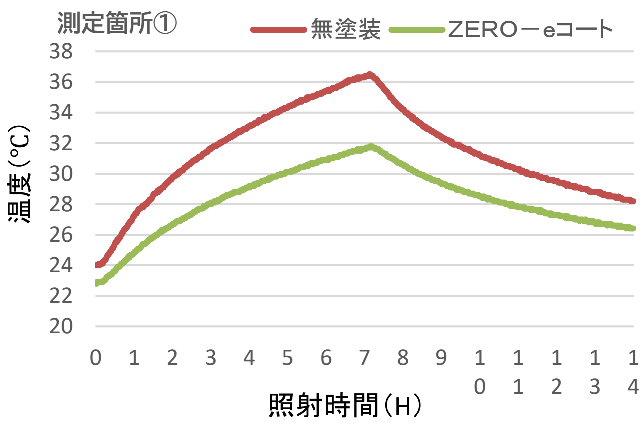


図4　測 定 位 置 ①

4.7.2測定位置②(建物外壁内部想定)比較

測定位置②における結果を図5に示す。無塗装コンクリートの最大温度とZERO－eコート塗装コンクリートの最大温度を比較すると約3.5℃の温度低減効果が確認された。

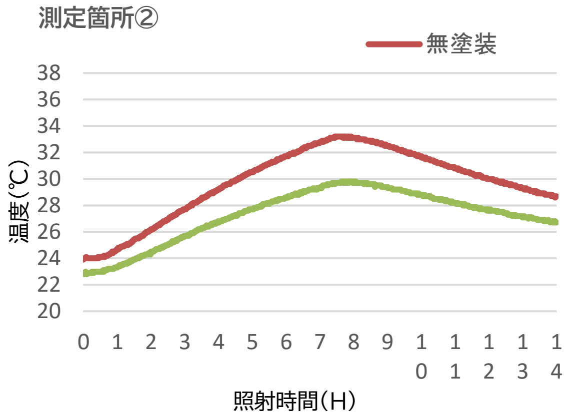


図5　測 定 位 置 ②

4.7.3測定位置③(室内想定)比較

測定位置③における結果を図6に示す。無塗装コンクリートの最大温度とZERO－eコート塗装コンクリートの最大温度を比較すると約2.5℃の温度低減効果が確認された。

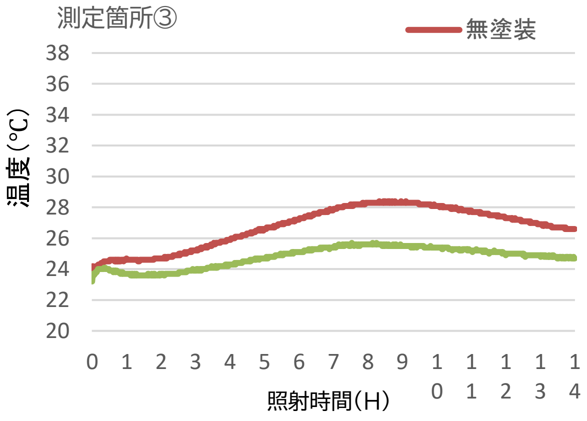


図6　測 定 位 置 ③

2. 開 発 品 の 概 要

得られた結果を要約すると以下の通りである。

(1)ZERO－eコートは0.071W/m・Kの熱伝導率であり、屋外で使用できる塗膜性能を有することを確認した。

(2)ZERO－eコートは紫外線、熱、水などの塗膜劣化因子に対して耐性があることを確認した。

(3)ZERO－eコートを用いた際に下塗り、上塗りの耐候性、耐久性への影響はなく、標準塗装仕様の中塗りとして用いることができることを確認した。

(4)人工光源照射下において、ZERO－eコートを塗装した試験体はコンクリート内部の温度上昇抑制効果が、すべての測定位置で確認された。このことから、ZERO－eコートを塗装するだけで断熱性能を付与することが可能となることを確認した。

表5　物性試験結果一覧

試験項目	結　　果
熱伝導率	0.071W/m・K
耐酸性	外観評価異常なし・2次付着性異常なし
耐アルカリ性	外観評価異常なし・2次付着性異常なし
湿潤冷熱 サイクル試験	外観評価異常なし
促進耐候性	外観評価異常なし (光沢保持率　約98%)
屋外暴露	外観評価異常なし (2年経過時　色差⊿E値1.12)
人工光源 照射試験	・無塗装　測定箇所③(室内想定) 最高温度:28.3℃ ・ZERO－eコート　測定箇所③(室内想定) 最高温度:25.8℃ 温度差:2.5℃

6. 今後について

今後塗膜の燃焼性に関する認証取得を目指す。

7. 謝　　辞

本開発品は大成建設株式会社、日本大学との共同研究によって得られた成果です。
関係者各位に深く感謝申し上げます。

参考文献

1) 櫻田、永井 他:日本建築学会2025年大会学術講演梗概集、断熱性を有する塗膜の性能検証　その1
2)常盤、永井　他:日本建築学会2025年大会学術講演梗概集、断熱性を有する塗膜の性能検証　その2

低飛散形送電鉄塔用1コート塗料の開発

Development of a low-spatter, one-coat paint for power transmission towers

技術開発部門 開発部 技術開発第一グループ
Technical Development Div. Development Dept. Technical Development Group1
吉田　新
Arata YOSHIDA

スペシャリティ事業部門 スペシャリティ事業部 技術グループ インクジェットチーム
Speciality Business Div. Speciality Business Dept. Technical Group Inkjet Team
佐藤　亮太
Ryota SATOH

塗料事業部門 構造物塗料事業部 テクニカルサポートグループ
Coating Business Div. Protective Coatings Dept. Technical Support Group
澤口　大輔
Daisuke SAWAGUCHI

1. はじめに

送電鉄塔は発電施設から電気を供給するための重要なインフラ設備であり、日本全国に約248,000基存在している。その多くは高度経済成長期に建設されたものであるため高経年化が進行しており、これら送電鉄塔の寿命を延ばしていくことが重要である[1]。

このような状況において、政府は「強靭かつ持続可能な電気供給体制の確立を図るための電気事業法等の一部を改正する法律（エネルギー供給強靭化法）」を制定し、レベニューキャップ制度を導入した[2]。この制度に基づき、送配電事業者は事業計画を作成・公表している。計画の中で、送配電事業者は塗装による鉄塔の延命化を基本としており、事業者毎に独自の規格を策定している。

こうした背景の中、送電鉄塔用塗料においても高機能化が求められている。その主な要求性能を以下に示す。

①防食性や耐候性等の高耐久性
②亜鉛めっき材や旧塗膜に対する良好な付着性
③高所作業に対応するための低飛散性
④工程短縮（1コート仕上げ）、
　工期短縮（速乾性、1day2coat等）

今回、著者らは耐久性・付着性・低飛散性に優れた、新たな送電鉄塔用1コート仕上げ塗料を開発した。本報では、開発塗料の性能ならびに塗装作業性に関する検討結果を報告する。

2. 実験

2. 1. 試験の概要

供試塗料および試験一覧を表1に示す。開発塗料は低飛散性を有し、1コート仕上げが可能な弱溶剤形塗料であり、塗替え塗装時の旧塗膜適性幅が広い。2種類の比較塗料には、いずれも送電鉄塔の塗替え塗装に適用する既存製品を用いた。比較塗料1は低飛散性を有する他社製強溶剤形1コート仕上げ塗料である。比較塗料2は2コート仕上げに用いる弱溶剤形上塗塗料であり、飛散抑制効果は有さない。

詳細は次項以降に示す。

表1. 供試塗料および試験一覧

供試塗料種		開発塗料	比較塗料1	比較塗料2
特徴		送電鉄塔用 1コート仕上げ用 低飛散形	送電鉄塔用 1コート仕上げ用 低飛散形	送電鉄塔用 2コート仕上げ用（上塗） 一般形（飛散抑制効果なし）
溶剤区分		弱溶剤形	強溶剤形	弱溶剤形
試験項目	基材			
耐複合サイクル防食性	SS400鋼板	○	○	−
付着性	劣化亜鉛めっき鋼板	○	○	−
暴露耐候性	SS400鋼板	○	○	−
レオロジー測定	−	○	○	○
刷毛塗り作業性	模擬部材	○	−	−
歩行性	ブリキ板	○	○	−

2. 2. 供試塗料

開発塗料 ：弱溶剤形送電鉄塔用塗料、低飛散形、
1コート仕上げ用
比較塗料1：強溶剤形送電鉄塔用塗料、低飛散形、
1コート仕上げ用
比較塗料2：弱溶剤形ふっ素樹脂系上塗塗料、
一般形、2コート仕上げ用

2. 3. 試験板の作製

耐複合サイクル防食性試験と暴露耐候性試験には、寸法150×70×t3.2 mmの鋼板（一般構造物用圧延鋼材、SS400鋼板）の表面をサンドブラスト処理（25μmRz$_{JIS}$）した試験板を用いた。各塗料は刷毛塗りで乾燥膜厚60μmとなるように塗装し、試験板の裏面および側面は同種塗料でシールを行った。塗装後、室温にて7日間養生し、試験に供した。

付着性試験には、寸法150×70×t3.2 mmの劣化亜鉛めっき鋼板（めっき平均付着量＝550 g/m^2）の表面を研磨用不織布（粒度＃320）にて素地調整後、溶剤を含ませたウエスで清掃した試験板を用いた。各塗料は刷毛塗りで乾燥膜厚60μmとなるように塗装し、試験板の裏面および側面は同種塗料でシールを行った。塗装後、室温にて7日間養生し、試験に供した。

なお、劣化亜鉛めっき鋼板は、溶融亜鉛めっき鋼板を当社那須事業所（栃木県大田原市）内の屋外暴露場にて半年間暴露させたものを用いた。

2. 4. 塗膜の耐久性評価

2. 4. 1. 耐複合サイクル防食性試験

試験板下部にクロスカットを施した試験板を、JIS K 5600-7-9：2006（サイクル腐食試験）のサイクルD（塩水噴霧／乾燥／湿潤）の条件にて試験に供し、120サイクル後の試験板の外観を評価した。膨れの等級はJIS K 5600-8-2:2008、さびの等級はJIS K 5600-8-3:2008に基づいて評価した。

なお、本試験は開発塗料および比較塗料1について実施した。

2. 4. 2. 付着性試験

劣化亜鉛めっき鋼板に塗装した試験板を用いて、図1に示す冷熱サイクル試験を200サイクル実施し、試験前後の塗膜の付着性試験を行った。付着性はJIS K 5600-5-7(ISO 4624)に基づいたプルオフ法(DeFelsko社製PosiTest AT)により評価した。

なお、本試験は開発塗料および比較塗料1について実施した。

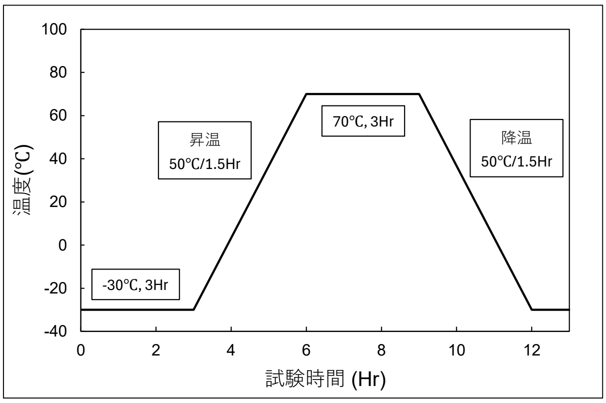


図1. 冷熱サイクル試験条件

2. 4. 3. 暴露耐候性試験

暴露耐候性試験は、当社沖縄暴露試験場(沖縄県うるま市伊計島)で12か月間実施した。回収した試験板の白亜化の等級(JIS K 5600-8-6:2014)および外観を評価した。

なお、本試験は開発塗料および比較塗料1について実施した。

2. 5. 塗装作業性評価

2. 5. 1. 塗料のレオロジー測定

粘弾性測定装置(Anton Paar社製MCR302e)にて、23℃、ズリ速度0.01～1000 1/sにおける塗料粘度のせん断速度依存性を測定した。

なお、本試験は開発塗料、比較塗料1および比較塗料2について実施した。

2. 5. 2. 刷毛塗り作業性

筋違刷毛(15号)を用いて、送電鉄塔基部を模擬した部材(幅2.8 m×奥行2.8 m×高さ2.6 m)に試験塗装を行った。模擬部材の外観を図2に示す。模擬部材の周囲を飛散防止ネットで養生し、5℃50%RH環境下での刷毛さばき性、たるみ性、仕上がり外観の評価を行った。

なお、本試験は開発塗料について実施した。

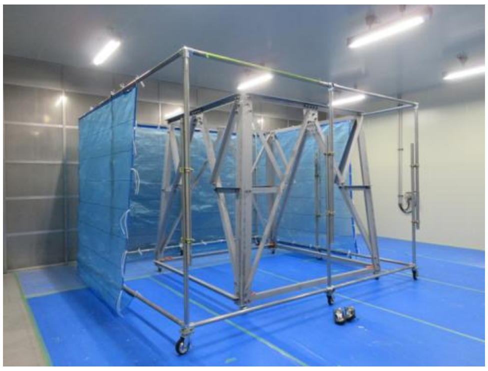


図2. 模擬部材

2. 6. 歩行性(硬化乾燥性)評価

0℃および5℃50%RH環境下にて、各塗料をブリキ板に刷毛塗りし、塗装から一定時間経過後の試験板の乾燥程度を評価した。試験の様子を図3に示す。評価は半硬化乾燥(JIS K 5600-1-1:1999)に加え、実現場を想定した「試験片の踏みつけ」、「試験片の踏みつけ後、90°回転」を行い、素地露出の有無を確認することで行った。

なお、本試験は開発塗料および比較塗料1について実施した。

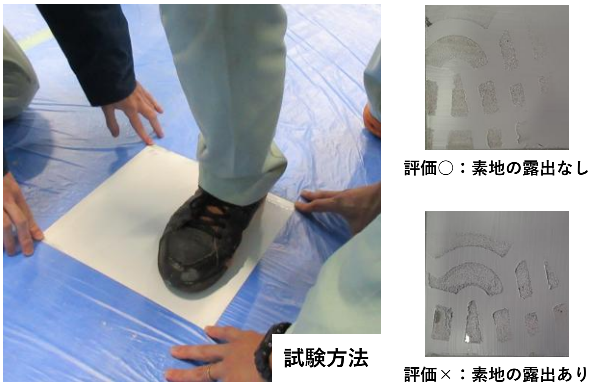


図3. 歩行性評価方法と評価基準

表2. 耐複合サイクル防食性試験結果

		開発塗料	比較塗料1
初期	外観		
120 サイクル	外観		
	一般部 膨れ等級	0	0
	一般部 さび等級	Ri 0	Ri 0
	カット部 さび・膨れ幅	2.0 mm	2.0 mm

3. 結果と考察

3.1. 塗膜の耐久性

耐複合サイクル防食性試験前後の塗膜状態を表2に示す。

開発塗料は、120サイクル経過時において市場で実績のある比較塗料1（強溶剤形送電鉄塔用塗料）と同等の防食性を示した。

冷熱サイクル試験前後の劣化亜鉛めっき鋼板への付着性評価結果を表3に示す。

開発塗料は初期付着強度が高く、試験後においても2.0 MPa以上の良好な付着強度を維持しており、健全な状態を保っていた。

暴露耐候性試験の結果を表4に示す。開発塗料および比較塗料1はいずれも外観変状なく、良好な防食性を示した。また、開発塗料の白亜化等級は1、比較塗料1の白亜化等級は3であり、開発塗料は良好な耐候性を示した。

表3. 付着性試験結果

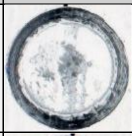
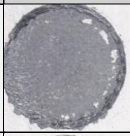
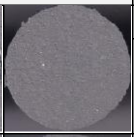
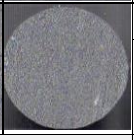
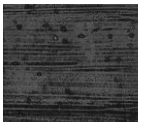
		初期付着（試験前）				200サイクル		
		基材側	治具側	付着力／破壊形態		基材側	治具側	付着力／破壊形態
開発塗料	N 1			8.85 MPa 塗膜内凝集破壊 70% 塗膜/基材界面 30%	N 1			3.03 MPa 塗膜/基材界面 100%
	N 2			9.14 MPa 塗膜内凝集破壊 70% 塗膜/基材界面 30%	N 2			3.95 MPa 塗膜/基材界面 100%
			付着力平均：	**9.00 MPa**			付着力平均：	**3.49 MPa**
比較塗料1	N 1			2.11 MPa 塗膜内凝集破壊 100%	N 1			1.69 MPa 塗膜/基材界面 100%
	N 2			3.14 MPa 塗膜内凝集破壊 100%	N 2			1.66 MPa 塗膜/基材界面 100%
			付着力平均：	**2.63 MPa**			付着力平均：	**1.68 MPa**

表4. 暴露耐候性試験結果

		開発塗料	比較塗料1
外観	写真		
	評価	変状なし	変状なし
白亜化	写真		
	等級	1	3

3. 2. 塗装作業性

高所作業における塗料の飛散は、落下した塗料の粒子が空気抵抗や風等の外力を受けることで微粒化することに起因する。その飛散距離は、高さや風速が一定であれば、粒子径に依存する。一般的に、粒子が微細化すると、飛散距離が長くなる[3)4)]。

したがって、塗料の飛散を防ぐには、刷毛や塗布面から落下しにくい（タレにくい）こと、および塗料が落下した場合でも粒子が微細化しにくいことが重要である。そこで、塗料のタレにくさ、微細化しにくさの指標として降伏値を適用し考察を行った。また、高せん断速度での粘度は塗装時の作業性に影響する。高せん断時の粘度が高いと刷毛さばき性が悪化するため、低いことが望ましい。

上記の塗料性状を確認するために、せん断粘度および降伏値の測定を行った。降伏値はCassonの式（式2）を用い算出した[5)]。

$$\sigma^{\frac{1}{2}} = \sigma_0^{\frac{1}{2}} + \eta_\infty^{\frac{1}{2}}\dot{\gamma}^{\frac{1}{2}} \quad (式2)$$

σ_0：降伏値、η_∞：残留粘度、$\dot{\gamma}$：せん断速度

粘弾性測定装置を用いた塗料のレオロジー測定結果を図4、Cassonプロットを図5に示す。開発塗料は高い降伏値を有し、かつ高せん断速度時のせん断粘度は低い値を示している。

そのため、飛散抑制効果を有さない比較塗料2と比較し、高所からの塗料の落下・微細化を防ぎつつ、塗装作業性に優れた粘性挙動を示していると考える。この挙動は低飛散形塗料である比較塗料1と類似している。

模擬部材を用いた作業性評価においても、刷毛さばき性、たるみ性および仕上がり外観のいずれも良好であった。

刷毛塗り作業性確認の状況を図6に示す。

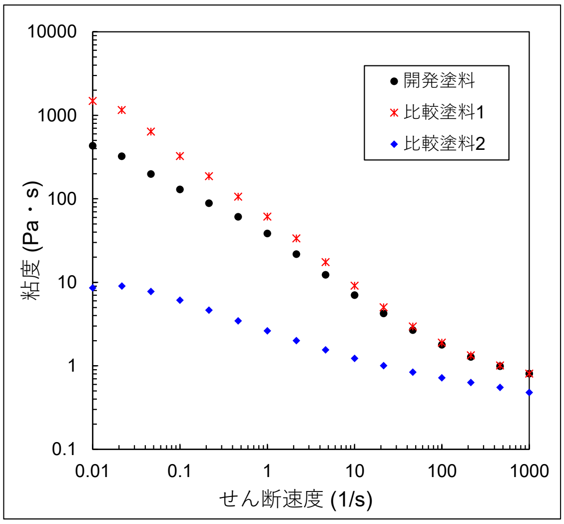


図4. レオロジー測定結果（せん断速度依存）

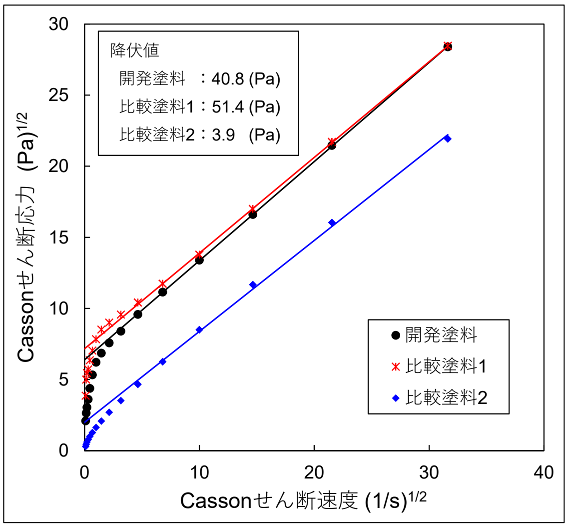


図5. Cassonプロット

表5. 歩行性(硬化乾燥性)評価結果

	温度	半硬化		踏みつけ		踏みつけ後90°回転	
開発塗料	0℃	○	1時間30分	○	4時間	○	5時間30分
	5℃	○	1時間30分	○	3 時間30分	○	5時間
比較塗料1	0℃	○	1時間30分	○	4時間30分	×	7時間
	5℃	○	1時間30分	○	3時間30分	×	7時間

図6. 刷毛塗り作業性

3.3. 歩行性(硬化乾燥性)

歩行性の評価結果を表5に示す。冬期を想定した低温環境(0℃および5℃50%RH)において、開発塗料は良好な乾燥性を示した。0℃環境においては、塗装して4時間後には踏みつけによる素地の露出がない程度に硬化し、5時間30分後には踏みつけ後の90°回転に耐えられる程度に塗膜が硬化した。比較塗料1と比較すると、短時間での補修塗装も支障なく行えるため、作業効率の向上につながると考えられる。

4. まとめ

新規開発した送電鉄塔用塗料の塗膜性能および塗装作業性について、検討結果に基づき解説した。

本塗料は現在、送電鉄塔用塗料として求められる各種性能(耐久性、下地との付着性、低飛散性、工程短縮、工期短縮)を満足する材料である。本塗料が送電鉄塔の長寿命化に貢献できれば幸いである。

参考文献

1)電力広域的運営推進機関:
高経年化設備更新ガイドライン(2021)
2)経済産業省産 電気安全課:
エネルギー供給強靭化法案について(2020)
3)鎌田由佳、山内健一郎、赤沼文子:
DNTコーティング技報No.13, P2-7(2013)
4)青木敬雄、木伏源治、田尻勝紀:
防錆管理,18(5), P9-12(1974)
5)江端公章:
色材協会誌, 91(6), P206-211(2018)

バイオマスフィラーを用いた環境配慮形塗料の開発

Development of Environment-conscious Type Paints with Biomass Fillers

塗料事業部門　建材塗料事業部テクニカルサポートグループ
Coating Business Div. Building Materials Coating Dept. Technical Support Group
平瀬　潤一郎
Junichiro HIRASE
菊地　彪流
Takeru　KIKUCHI

1. はじめに

気候変動や異常気象などの環境問題が深刻化した昨今では、その対策のひとつとなるCO_2 排出量の削減が急務となっている。建設業界においても、様々な取組みが進む中、仕上技術や仕上材料においてもその対策が望まれている。

筆者らは、塗料の製造に係るCO_2 排出量の削減を目指して、海洋副産物のホタテ貝殻を粉砕して製造した粉末をバイオマスフィラーとして再利用する検討を進めている。ホタテは、成長の過程で海水に含まれるCO_2 を貝殻へ吸収・固定化している。そのため、これを添加した塗料には、ホタテ貝殻由来のCO_2 が固定化されていると考えることができる。また、廃棄物を再利用していることから、このような取組みは、SDGs（持続可能な開発目標）の目標12のターゲット12.5（廃棄物の削減・再生利用）へ貢献すると考えられる。

本報では、押出成形セメント板（以下、ECP）の工場塗装仕様（ふっ素樹脂塗装仕様）における下塗塗料へバイオマスフィラーを適用した結果を報告する。

2. 試験体

ECPの工場におけるふっ素樹脂塗装仕様を表1に示す。この仕様において、バイオマスフィラーを添加した際に、色や艶の仕上がり性への影響をより小さくするため、上塗塗料ではなく下塗塗料へバイオマスフィラーを添加することとした。実際の塗装工場で幅600 mm×長さ1800 mm×厚さ60 mmのECPへ表1に示す塗装仕様でスプレー塗装し、試験体を作製した。上塗りの色は、LN40（濃灰色；一般社団法人日本塗料工業会色票番号）とし、艶は鏡面光沢度 40とした。バイオマスフィラーを添加した下塗塗料の塗装状況を写真1に示す。バイオマスフィラーの添加率（塗料重量に対する割合）は、表2に示すとおり、体質顔料の一部を置換したNo.1は11 %、体質顔料全てを置換したNo.2は28 %、顔料成分（体質顔料＋着色顔料）全てを置換したNo.3は44 %とした。また、比較用に添加無し（0 %）をBLK（ブランク）とした。なお、バイオマスフィラーは、ホタテ貝殻粉の市販品を使用した。試験体は、各試験項目毎に、塗装したECPから所定の大きさに切り出して試験に供した。

表1　ECP のふっ素樹脂塗装仕様（工場塗装）

	種類	塗布量（g/㎡）	乾燥条件
下塗塗料	エポキシ樹脂系塗料	120～140	110℃×20分
上塗塗料	ふっ素樹脂系塗料	120～140	110℃×30分

写真1　下塗塗料の塗装状況(ECP 工場塗装)

表2　試験体の種類

試験体No.			BLK	No.1	No.2	No.3
下塗塗料	エポキシ樹脂系塗料	着色顔料	16%	16%	16%	0%
		体質顔料	28%	17%	0%	0%
		バイオマスフィラー	0%	11%	28%	44%
上塗塗料	ふっ素樹脂系塗料					

3. 試験項目と試験方法

表3へ試験項目を示す。いずれの試験項目においても、各試験体においてn=2 で試験を実施した。

3.1　塗料性状・塗装性及び試験体の仕上がり性

バイオマスフィラーを添加した下塗塗料の塗料性状、塗装性、試験体の外観や仕上がり性について評価した。

3.2　引っかき硬度・耐衝撃性

JIS K 5600:1999(塗料一般試験方法5-4)に準じて塗膜の引っかき硬度を測定した。また、JIS K5658:2010(建築用耐候性上塗り塗料)に準じて球形おもりW2-500(Φ51 ㎜・質量533 g)を高さ30 ㎝から落下させて、塗膜の耐衝撃性を評価した。

3.3　初期塗膜付着性（クロスカット法・プルオフ法）

JIS K 5600:1999(塗料一般試験方法5-6および5-7)に準じて、2 ㎜幅100 マスのクロスカット試験およびΦ20 ㎜の試験円筒(端子)を用いたプルオフ接着試験機による付着力試験を実施して、塗膜の初期付着性を評価した。

3.4　耐アルカリ性・耐酸性・耐水性・耐温水性・耐温水徐冷性

JIS K 5658:2010(建築用耐候性上塗り塗料)に準じて、23 ℃の飽和水酸化カルシウム水溶液および0.5 %硫酸水溶液へ168 時間浸漬して、耐アルカリ性および耐酸性を評価した。また、JIS K5600:1999(塗料一般試験方法6-2)に準じて、常温の水道水へ10 時間浸漬して耐水性を評価した。さらに、50 ℃の温水に20 日間浸漬して耐温水性を評価した。また、50 ℃の温水に8 時間浸漬後、水道水へ16 時間浸漬を1 サイクルとして20 サイクル繰り返し、耐温水徐冷性を評価した。これらの試験では、いずれも外観の目視観察にて劣化の有無を評価した。耐温水性、耐温水徐冷性試験後は、初期値と同様にプルオフ法による塗膜付着性を評価した。

3.5　耐湿性

JIS K 5600:1999(塗料一般試験方法7-2)に準じて、50 ℃±1 ℃、95 %RH 以上で7 日間静置後、塗膜の状態を目視観察して耐湿性を評価した。

3.6　耐湿潤冷熱繰返し性

JIS K 5658:2010(建築用耐候性上塗り塗料)に準じて、23℃±2℃の水道水に18 時間浸漬後、−20 ℃±2 ℃で3 時間、50 ℃±3 ℃で3 時間の静置を1 サイクルとし、10 サイクル実施した。その後、初期値と同様にクロスカット試験を実施して塗膜付着性を確認した。

3.7 耐凍結融解性(気中凍結水中融解)

JIS A 1435:2013(建築用外装材料の凍結融解試験方法)に準じて、-20 ℃で2 時間静置後、10 ℃の水浸漬1 時間を1 サイクルとして1,100 サイクルまで実施し、耐凍結融解性を評価した。400 サイクルおよび1,100 サイクル実施後、初期値と同様にプルオフ法で塗膜付着性を確認した。

3.8 サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験

JIS K 5600:2008(塗料一般試験方法7－7)を参考に、サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験(以下、SWOM)を実施した。試験前および所定の試験時間毎に、試験体の上部、中部および下部について、測色計で表面のL*，a*，b*を測定し、それらの平均値を求め、初期値から色差⊿E を算出した。また、光沢度計にて、測色と同様に鏡面光沢度を測定し、それらの平均値を求め、初期値から光沢保持率を算定し、促進耐候性を評価した。

3. 試験項目と試験方法

表3へ全ての試験結果をまとめる。

4.1 塗料性状・塗装性及び試験体の仕上がり性

エポキシ樹脂系下塗塗料へバイオマスフィラーを各割合で添加して塗料を作製したところ、塗料性状および塗料の安定性はBLKの塗料と比較して大差なかった。各塗料を工場塗装したところ、バイオマスフィラーの添加率が高くなるほど、下塗塗料の粘性が若干上昇した。これはバイオマスフィラーの吸油量(46mL/100g)が体質顔料(吸油量30～35mL/100g)、着色顔料(吸油量18mL/100g)よりも高いことが影響していると考えられる。ただし、スプレー塗装器の吐出圧、ノズル口径やプライマーの希釈率を調整することで、問題なく塗装することができた。

次に、試験体の外観を写真2に示す。No.3については、下塗塗料の色が若干異なるものの、上塗塗料塗装後の色や艶の仕上がり性への影響は認められなかった。これより、下塗塗料へバイオマスフィラーを最大44 %添加しても上塗への影響

表3 試験項目と試験結果一覧

試験項目		BLK	No.1	No.2	No.3
塗料性状・塗装性・仕上がり性		問題なし(BLKと同等)			
引っかき硬度(鉛筆法)		H			
耐衝撃性		割れおよびはがれが生じない			
初期塗膜付着性(クロスカット法)		100/100 分類0			
初期塗膜付着力(プルオフ法MPa)		7.8	7.8	7.3	7.1
耐アルカリ性		異状なし			
耐酸性		異状なし			
耐水性		異状なし			
耐温水性	外観	異状なし			
	付着力(Mpa)	5.7	6.9	5.2	5.0
耐温水徐冷性	外観	異状なし			
	付着力(Mpa)	8.8	7.8	6.5	5.5
耐湿性		異状なし			
耐湿潤冷熱繰り返し性	外観	異状なし			
	付着性	100/100 分類0			
耐凍結融解性(気中凍結 水中融解)	400サイクル外観	異状なし			
	付着力(Mpa)	6.1*	6.9*	6.2	6.1
	1100サイクル外観	異状なし			
	付着力(Mpa)	6.0	6.2	5.9	4.6
SWOM5000h	光沢保持率(%)	97	90	102	96
	色差⊿E	0.38	0.45	0.38	0.27

*:塗膜と接着剤との界面

は認められず、いずれも良好な仕上がり性を示すことが確認できた。

BLK	No.1	No.2	No.3

写真2 試験体の外観写真

4.2 引っかき硬度・耐衝撃性

引っかき硬度はいずれもHを示した。また、耐衝撃性はいずれの塗膜も割れやはがれは認められず良好で、試験体間で差は認められなかった。

4.3 初期塗膜付着性（クロスカット法・プルオフ法）

クロスカット法による初期塗膜付着性は、いずれの試験体も良好で、100 マス中100 マスが付着し分類0であった。プルオフ法では、いずれもECP（基材）の凝集破壊100 %となった。このことから、バイオマスフィラーを44 %まで添加しても、下塗塗料のECPへの付着性や上塗りのふっ素樹脂塗料との付着性に影響は認められなかった。

4.4 耐アルカリ性・耐酸性・耐水性・耐温水性・耐温水徐冷性

耐アルカリ性、耐酸性、耐水性のいずれの試験においても、BLK とNo.1～No.3の試験体間で差は認められず、また、異常は認められなかった。

耐温水性試験後のプルオフ法による付着力は、No.1 でBLK よりも高く、No.2 およびNo.3でBLK とほぼ同等の値となった。また、いずれも基材の凝集破壊 100 %であった.

耐温水徐冷性後のプルオフ法による付着力は、BLK と比較してバイオマスフィラー添加量が増えるにつれて、若干、低下する傾向が認められた。しかし、試験体の破壊形状はいずれも基材の凝集破壊 100 %であり、基材/下塗塗膜/上塗塗膜の層間での剥離ではなかったため、塗膜付着性に問題はなく、良好であると考えられる。

4.5 耐湿性

耐湿性試験において、いずれの試験体も膨れの発生や変色などの異常は認められなかった。

4.6 耐湿潤冷熱繰返し性

耐湿潤冷熱繰返し性はいずれの試験体も試験後に外観の異常は認められなかった。また、クロスカット法による付着力は、いずれも100マス中100マスが付着し、いずれも分類 0で、良好であった。

4.7 耐凍結融解性（気中凍結水中融解）

耐凍結融解性試験において、1,100 サイクルまで実施した結果、塗膜の割れ、膨れ、はがれ、変色などの外観異常は認められなかった。また、400 サイクル後に実施したプルオフ法による付着力は、いずれも6 MPa以上を示し、初期塗膜付着性のBLK の値（7. 8MPa）と比較すると約8割程度であったものの、破壊形状が全て基材の凝集破壊100 %であった。同様に、1,100 サイクル後に実施したプルオフ法による付着力試験の結果、いずれも破壊形状が基材の凝集破壊100 %で、No.4 を除いて6 MPa 程度と良好な値を示した。ただし、No.4 については、初期塗膜付着性のBLKの値（7.8 MPa）と比較すると、約6割程度に付着力（基材の凝集破壊強度）が低下していた。このことから、耐凍結融解性試験における1,100 サイクルが非常に厳しい条件であるものの、バイオマスフィラーを44 %と大量に添加し

たことによって、塗膜によるECPの保護機能が若干低下している可能性が示唆された。

4.8 サンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験

SWOM を5,000 時間まで実施した際の光沢保持率および色差⊿E を表3に示すとともに、それらの変化を図1および図2に示す。これより、光沢保持率については、No.1がBLK より僅かに低い傾向にあったものの、いずれも90 %以上を示しており、実暴露10 年相当の促進期間において、いずれも良好な耐候性を示した。色差⊿E についても、いずれの試験体も0.5 以下を示しており、その変化は小さいことがわかった。

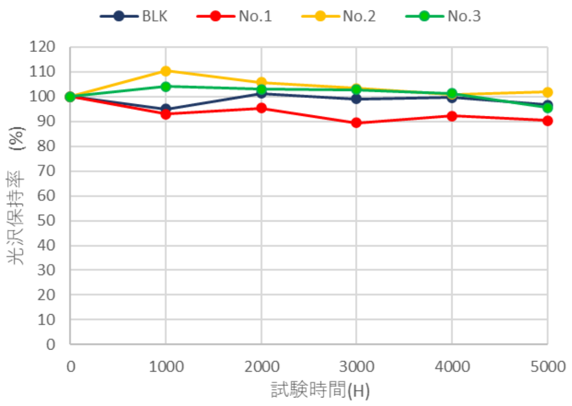


図1 SWOM試験における光沢保持率の変化

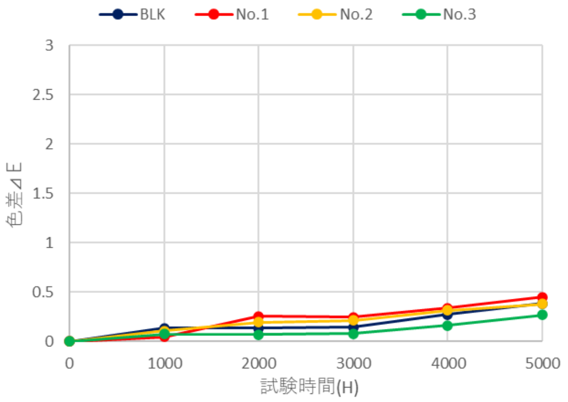


図2 SWOM試験における色差⊿Eの変化

4.9 試験結果のまとめと考察

以上の評価結果より、下塗塗料へバイオマスフィラーを添加しても、主に上塗りに由来する特性(仕上がり性、引っかき硬度、耐アルカリ性、耐酸性、耐水性)へ影響を与えないことが確認できた。一方で、下塗塗料は、基材への付着性を確保する役割を果たすため、各種促進劣化試験後のプルオフ法による付着性試験結果を図3で比較した。これより、バイオマスフィラーの添加率が高いほど、付着力が僅かに低下する傾向が認められた。ただし、各種性能試験結果にて記載したとおり、いずれも基材の凝集破壊100 %であった。今後、ECP素地の耐凍結融解性を評価し、各塗装仕様の基材の保護効果についても検討を進める。

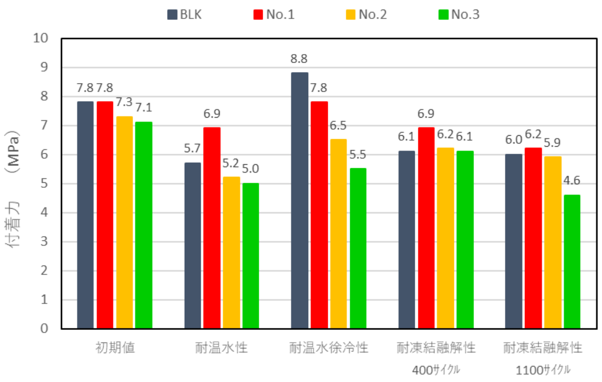


図3 各試験におけるプルオフ法による付着力

5. まとめ

塗料の製造に関わるCO_2 排出量の削減と廃棄物の削減・再利用によるSDGs貢献を目的とし、押出成形セメント板(ECP)の工場塗装仕様における下塗塗料へホタテ貝殻由来のバイオマスフィラーを添加することにより、環境配慮形塗料の開発を検討した。バイオマスフィラー添加による影響を評価するため、各種性能試験を実施した。結果を以下にまとめる。

1) 下塗塗料へバイオマスフィラーを44 %添加（置換）した場合でも塗料性状および塗装性において、特に問題は認められなかった。
2) 仕上がり性や上塗りに起因する塗膜物性については、下塗塗料へバイオマスフィラーを添加しても変化は認められなかった。
3) バイオマスフィラーの添加により、促進劣化に対して、ECPの凝集破壊強度が若干低下する傾向が認められた。

実用化に向けて、促進耐候性試験や屋外暴露試験を実施し、長期耐候性への影響についても確認していく所存である。

6. 謝辞

本開発は株式会社大林組様、アイカテック建材株式会社様と当社の共同研究により得た成果です。関係各位のこれまでの精力的な活動に深く感謝申し上げます。

参考文献

1) 奥田章子, 小林利充：
バイオマスフィラーを適用した環境配慮型塗装の実験的研究,
AIJ-SDGs Day 2025 発表梗概集,
pp.1-4,2025.2
2) 奥田章子, 平瀬潤一郎, 出山剛之,
小林利充：
バイオマスフィラーを添加した環境配慮型塗装の研究　その2
工場における押出成形セメント板のふっ素樹脂塗装への応用

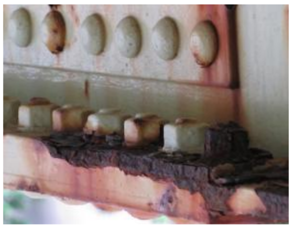
新商品紹介-1
New Products

超厚膜形高遮断エポキシ樹脂塗料「タイエンダー下塗ストロングH－R」

「Taiender Under Coat Strong H-R」

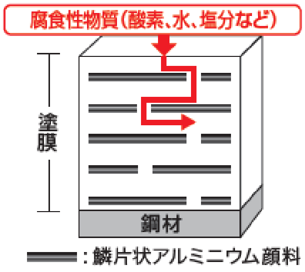
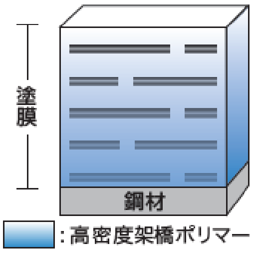
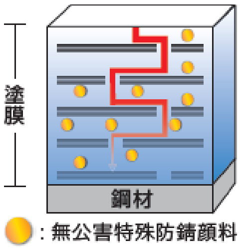
塗料事業部門
構造物塗料事業部

橋梁等鋼構造物の添接部は複雑形状部位であるため、通常の塗料では膜厚確保が困難な箇所が多く存在する。そのため、早期腐食を生じる懸念から、一般的に超厚膜形エポキシ樹脂塗料（300μm）が適用されている。一方で、強塩害地域に架設された鋼構造物においては、同塗料を適用してもなお早期腐食が進行するケースが散見されている。（右写真参照） そこで、当社が長年培った高遮断エポキシ樹脂塗料の設計技術を応用し、鋼構造物添接部に対して好適な超厚膜形高遮断エポキシ樹脂塗料『タイエンダー下塗ストロングH－R』を新たに発売した。商品の特長および検証データを以下に示す。


添接部の腐食状況

● 特長　(1) 優れた防食性

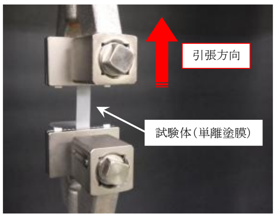
タイエンダー下塗ストロングH－Rは下表に示す3つの機能を有する塗膜を形成することで、従来の 超厚膜形エポキシ樹脂塗料と比較して、極めて優れた防食性を発揮する。

効果	遮断効果 Interception Effect	拡散抑制効果 Anti-Diffusion Effect	無害化効果 Detoxification Effect
メカニズム			
効果詳細	鱗片状アルミニウム顔料により、驚異的な遮断効果を生み出す	高密度架橋ポリマーにより、腐食性物質の塗膜内への侵入・拡散を抑制する	無公害特殊防錆顔料により、侵入した腐食生成物質を効率良く無害化する

(2) 優れた塗膜柔軟性

複雑形状となる添接部においては、塗膜割れが生じやすく、割れを起点とした腐食事例も多数報告されている。塗膜割れの発生を抑制するためには、優れた塗膜柔軟性を有することも極めて重要である。

引張試験機



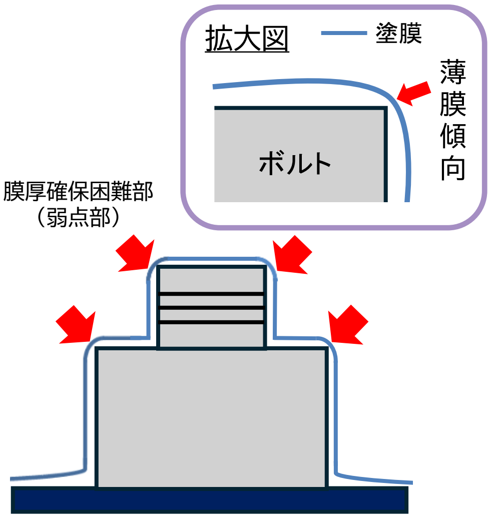
塗膜引張試験の様子

供試塗料	塗膜伸び率
タイエンダー下塗ストロングH-R	20.39%
従来品	7.58%

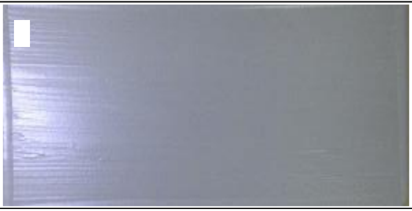
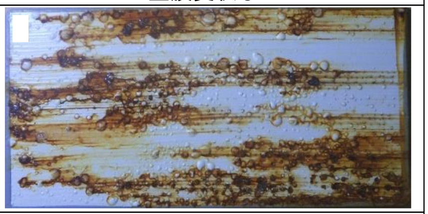
約3倍

● 耐塩害性の評価

特に腐食現象が促進される塩害環境を想定し、10,000時間にも及ぶ超長期の耐中性塩水噴霧試験を実施した。超厚膜形エポキシ樹脂塗料の標準膜厚は300μmであるが、膜厚確保が困難な添接部の複雑形状部位（ボルト角部等）を想定し、標準膜厚よりも薄膜である60μmにて試験を実施した。

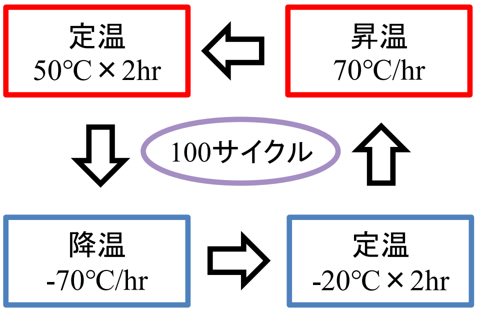


ボルト部の膜厚イメージ

供試塗料		耐中性塩水噴霧試験 10,000時間
タイエンダー下塗 ストロングH-R	試験片 外観	
	評価結果	塗膜変状なし
従来品	試験片 外観	
	評価結果	錆び・膨れ（3,000時間で変状発生）

● 耐塗膜割れ性の評価

添接部で塗膜割れを生じる要因として①塗膜の硬化乾燥時に発生する体積収縮ストレス、および　②環境温度の変化に起因する塗膜の伸縮ストレス等が挙げられる。実際の架設環境下で生じる塗膜ストレスを促進的に評価することを目的とし、添接部を模擬したボルト試験体を用いて以下に示す。冷熱繰り返し試験を100サイクル実施した。



冷熱サイクル試験条件

供試塗料	タイエンダー下塗 ストロングH-R	従来品
ボルト 試験体 外観		
評価結果	塗膜変状なし	塗膜割れあり

● 総括

従来の超厚膜形エポキシ樹脂塗料と比較し、『タイエンダー下塗ストロングH－R』はこれまでにない優れた防食性と塗膜柔軟性を兼ね備えた性能を有するため、鋼構造物のライフサイクルコスト（LCC）低減に大いに貢献できる商品である。

新商品紹介-2
New Products

蛍光反射塗料を使用した「避難目安の水位ライン」

Flood Evacuation Water Level Guide Using Fluorescent Reflective Paint

シンロイヒ株式会社
営業部

異常気象により各地で自然災害が発生している。河川氾濫もその一つであり、いち早い避難行動が求められている。市町村からの避難情報発令前でも住民が自らの判断で避難行動を取ることができるよう、内閣府が設定した5段階の警戒レベルを水位ラインとして河川に明示する取り組みが進んでいる。視認性の高い蛍光反射塗料で塗装すると豪雨時においても目視、河川カメラで見やすいと評価されており、行政機関による採用が広がりつつある。

警戒レベルとの色の連携		製品名	色名
＊警戒レベル5（緊急安全確保）	：黒	Vトップ	黒（DNT製）
＊警戒レベル4（避難指示）	：紫	スーパールミノVトップ	マゼンタ
＊警戒レベル3（高齢者等避難）	：赤	スーパールミノVトップ	レッド
＊警戒レベル2（大雨・洪水注意報）	：黄	スーパールミノVトップ	レモン
＊警戒レベル1（早期注意情報）	：白	ルミノVトップ	ホワイト
		（上塗り（全面）ビームライト＃2000UV）	

図1　内閣府設定の警戒レベルと当社仕様

● 特長

（1）警戒レベルに応じた5段階の色分け

・警戒レベルに応じた5段階の色分けによって、避難判断の目安が明確になる。
・さらに「注意、警戒、危険」などの文字を併記することで、警戒レベルがより伝わりやすい。

（2）優れた視認性と高い耐久性

・高耐候性ウレタン蛍光塗料「スーパールミノVトップ」は紫外線で発色するため、日中はもちろん、雨天時、曇天時、夕暮れ時でも太陽光に含まれる紫外線によって鮮やかに見える。（図2参照）
・上塗りには、懐中電灯などの光を反射するウレタンクリヤー塗料「ビームライト＃2000UV」を使用しているため、夜間でも水位ラインを確認できる。（図3参照）
・「スーパールミノVトップ」は、高い耐候性を誇る自社製蛍光顔料「F－10シリーズ」を使用しており、屋外の 過酷な環境下でも長期的な耐候性を発揮する。

蛍光色が鮮やかに見える

図2 蛍光反射塗料塗装例(曇天時)

懐中電灯の光を反射

図3 蛍光反射塗料塗装例(夜間)

（3）IR標 ～「赤外線（IR）カメラ」に対応した水位表示～

河川カメラの中には、夜になると自動的に「赤外線（IR）カメラ」に切り替わるものもある。
赤外線カメラで撮影した画像はモノクロになり、警戒レベルに応じた5段階の色分けはいずれもグレー色に見え、識別しづらくなる。そこで赤外線カメラで識別できるよう、5段階に色分けされた水位ラインの横に白と黒で色分けされたIR標の設置を推奨している。（図4参照）

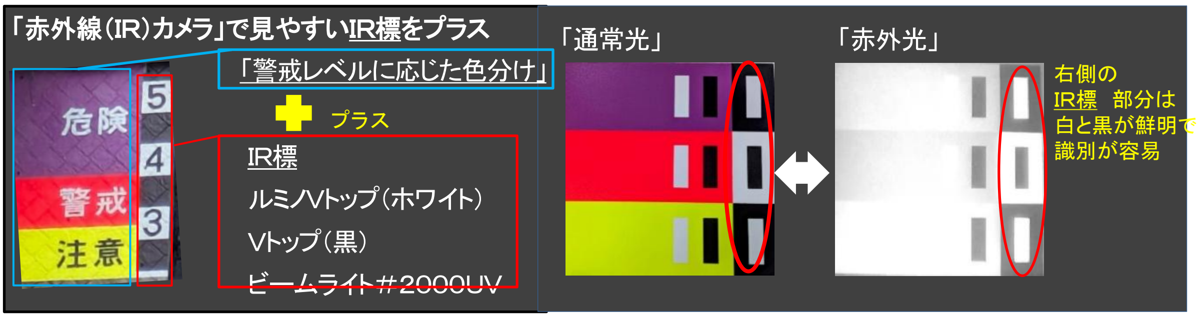


図4 赤外線カメラ対応仕様

● 導入実績

○国土交通省 ：近畿地方整備局紀南河川国道事務所、中部地方整備局浜松河川国道事務所、
四国地方整備局那賀川河川事務所、九州地方整備局大隅河川国道事務所

地方自治体 ：岩手県、秋田県、福島県、茨城県、群馬県、東京都、岐阜県、静岡県、滋賀県、
三重県、和歌山県、大分県、石巻市、岐阜市

玖珠川 天瀬橋に設置された水位ライン(大分県)
(大分県土木建築部河川課)

菊川 加茂橋に設置された水位ライン(静岡県)
(国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所)

新商品紹介-3
New Products

ウレタンエラストマー被覆材料(海洋構造物用途)「NBコート エラスト#92マリン」システム

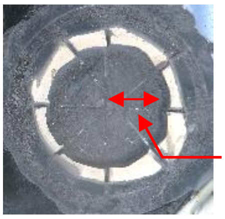
Urethane Elastomer Coating Material 「NB COAT ELAST#92 MARINE」 System

日塗化学株式会社
塗料・接着剤事業部塗料技術開発グループ

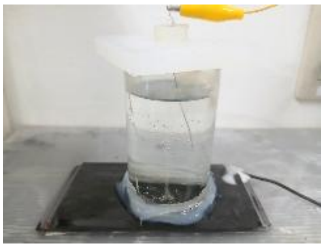
海洋構造物の護岸工事などで鋼管杭や鋼矢板を用いるが、その腐食防止用途にウレタンエラストマーが塗装される。当社はこれまで、水道鋼管の外面被覆用ウレタンエラストマーとして「NBコート エラスト#92」を販売してきたが、この水道用鋼管にて蓄積した技術を応用して海洋用途にも展開すべく、新たに「NBコート エラスト#92マリン」を開発した。

● 特長 (1)メインコートの塗膜性能アップ

ウレタンエラストマーはひまし油由来のポリオールを使うことにより優れた弾性を示す被覆材であるが、一方でエステル結合の加水分解により塗膜劣化が発生しやすい材料となる。そこで本品では、加水分解を遅延させるために耐水性に富んだ特殊変性ポリオールを併用することで、柔軟性を損なうことなく、塗膜性能を向上させることに成功した。

		既存品A	既存品B	開発品
樹脂配合	メインポリオール	ひまし油変性ポリオール	ひまし油変性ポリオール	ひまし油変性ポリオール
	サブポリオール	無し	エポキシ変性ポリオール	特殊変性ポリオール
陰極剥離試験※ 温度:23℃ 期間:60日	試験後外観	 剥離距離	剥離距離	剥離距離
	剥離距離	17.0 mm	15.5 mm	7.5 mm
コメント		エステル結合の加水分解が発生し、メインコートの塗膜性能が低下。※顔料の影響で試験部が白色化。	エポキシ構造を組み入れるも、塗膜性能の向上の効果は低い。	特殊変性樹脂の組み入れにより、耐加水分解性能が大幅に向上。

※陰極剥離試験
塗装仕様:プライマー 25μm、メインコート 2500μm
試験条件:23℃、60日
試験溶液: 3%NaCl水溶液
印加電圧: -1.5V(対飽和カロメル電極)
評価方法:中央部(φ6mmの人工欠陥)から切込みを入れハツリ試験を実施
剥離距離:人工欠陥を除く中心からの剥離距離を測定

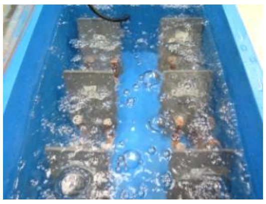

陰極剥離試験の様子

(2)プライマーの耐アルカリ性アップ

ひまし油由来のウレタンエラストマーは耐水性に優れるものの、エポキシ樹脂と比較して耐アルカリ性が劣る。そのため、長期にわたり被塗物を保護するためには、プライマーの耐アルカリ性が重要となってくる。そこで本品では、長期にわたり耐アルカリ性を保持できるよう、ポリオールと顔料の両面より、最適な原料を選定した。本品を用いて、海洋構造物を模擬した耐食性試験を実施したが、既存品と比較して良好な塗膜性能を示すことがわかった。

		既存品	開発品
配合	ポリオール	エポキシ変性ポリオール	特殊変性ポリオール
	顔料	着色顔料・体質顔料	着色顔料・体質顔料・防錆顔料
概要		耐水性を付与させるために、 エポキシ変性ポリオールを添加。	防錆顔料の溶出を考慮した、 最適なポリオール樹脂を選定。
耐食性試験※ 剥離距離		18.5 mm	7.8 mm

※耐食性試験方法
塗装仕様：プライマー　25μm、メインコート　2500μm
試験方法：50℃アルミアノード付塩水バブリング
試験溶液：3%NaCl水溶液
試験条件：50℃、60日
試験溶液：3%NaCl水溶液
評価方法：端部(側面)からのハツリ試験を実施し、
ハツリ幅を測定


バブリング試験の様子

剥離距離(ハツリ試験)

(3)平滑な塗膜外観

ウレタンエラストマーはメインコートの膜厚確保のために揺変剤(たれ止め剤)を使用していることから、塗膜表面がゆず肌になる製品も多くある。そこで、本品は揺変剤ではなく、増粘反応を制御することで従来と同等の付着性を有し、かつ、塗膜表面の平滑化を達成した。この結果、外観検査時の手直し工数を削減でき、製品としての意匠性を高めることも可能となっている。

既存品

開発品

● 塗装仕様(例)

工程	作業内容	
素地調整	ブラスト処理　(表面粗度　Rz_{jis82} 0.04mm～0.06mm)	
プライマー	エラストガードプライマー	塗装方法 ： 刷毛、ローラー、エアスプレー 、 乾燥膜厚 ： 25μm
メインコート	エラスト#92マリン	塗装方法 ： ホットエアレススプレー 、 乾燥膜厚 ： 2500μm

学協会研究発表・技術講演・論文投稿者名と発表タイトル(2024.7～2025.12)

大日本塗料は各種学協会に参加し、積極的に研究発表を行っています。ここに2024年7月から2025年12月までの主な講演・発表内容を紹介します。

投稿リスト 2024年7月～2025年12月

氏名	発表テーマ	掲載紙名	団体・協会・出版
関 智行・吉田 新	シラン・ふっ素複合系含浸剤の開発と性能評価	「JETI」(ジェティ)2024年7月号	(株)日本出版制作センター
宮澤 雄太	イムノクロマト法による細胞外小胞の検出と診断への応用	週刊 医学のあゆみ	医歯薬出版(株)
山本 基弘	万博開催から思うこと(進歩・進化し続けるテクノロジー)	塗装工学 VOL.60 №7 2025	日本塗装技術協会

口頭発表リスト① 2024年7月～2025年12月

氏名	発表テーマ	発表先/投稿紙名	団体・協会・新聞・出版
山口 直人・桑原 幹雄・楠戸 博貴	油性系さび止め塗料のローラー塗装における塗装間隔への影響検証	2024年度日本建築学会大会	(一社)日本建築学会
桑原 幹雄	無機ジンクリッチペイント塗膜に塗装した変性エポキシ樹脂塗料の剥離削除去後のすべり係数に関する検討	2024年度日本建築学会大会	(一社)日本建築学会
楠戸 博貴・桑原 幹雄	鉄骨製作時に使用するマーカー成分が塗膜性能に与える影響	2024年度日本建築学会大会	(一社)日本建築学会
櫻田 将至、増田 直之	国産木材利用促進を目的とした塗装仕様の評価	2024年度日本建築学会大会	(一社)日本建築学会
小畑 佑介	木質材料用難燃塗布材の開発(7) -耐水性を向上させた塗布材の開発	2024年度日本建築学会大会	(一社)日本建築学会
古田 祐二朗	分散媒の硬化過程で形成される不均一な架橋ネットワークがコロイドの凝集に与える影響	第67回理論応用力学講演会	日本工学会理論応用力学コンソーシアム
木口 忠広	粉体塗料について	第64回塗料入門講座	(一社)色材協会
古田 祐二朗	架橋ネットワーク形成過程で生じるコロイド間の実効的引力のメカニズム	日本物理学会第79回年次大会	(一社)日本物理学会
古田 祐二朗	分散媒の硬化過程による微粒子の凝集	化学工学会第55回秋季大会	(公財)化学工学会
末次 晴美	複合劣化促進解析システムを用いた塗膜の劣化評価	第35回研究発表会	マテリアルライフ学会
古田 祐二朗	Emergence of long-range attractive interactions between colloidal particles during curing of dispersion media	Soft Matter, 2024,20, 6929-6939	Royal Society of Chemistry
古田 祐二朗	分散媒の硬化過程におけるコロイドの凝集メカニズム	日本物理学会第79回年次大会	(一社)日本物理学会
古田 祐二朗	MDシミュレーションによる硬化過程でのコロイドの凝集に関する研究	化学工学会第55回秋季大会	(公財)化学工学会
櫻田 将至	塗料・塗装の基礎	表面処理入門講座(Ⅱ)	(一社)表面技術協会
田辺 知浩	Research for accelerated corrosion resistance test methods has high correlation with outdoor exposure	Advances in Corrosion Protection by Organic Coatings 2024	ACPOC 2024実行委員会
櫻田 将至	遮熱塗料の基礎知識および最新動向	積算資料ポケット版リフォーム編 2025	(一財)経済調査会
末次 晴美	複合劣化促進解析システムを用いた塗膜の劣化評価	2024年度色材研究発表会	(一社)色材協会
末次 晴美	複合劣化促進解析システムの開発と塗膜の劣化評価	第29回高分子分析討論会	(公社)日本分析化学会
宮澤 雄太	細胞外小胞をイムノクロマト法により45分で検出 -Exorapid-qICのご紹介-	BioJapan 2024 ランチョンセミナー	BioJapan組織委員会
末次 晴美・田邉 祥子	HS-SPME/GC/MSを用いた木材用塗膜の成分差異解析	第29回高分子分析討論会	(公社)日本分析化学会
木口 忠広	塗膜の耐久性(耐候性)	第56回塗料基礎講座	(一社)色材協会
古田 祐二朗	分散媒の架橋ネットワーク形成過程がコロイドの凝集に与える影響	関東ソフトマター研究会	関東ソフトマター研究会組織委員会

学協会研究発表・技術講演・論文投稿者名と発表タイトル（2024.7～2025.12）

口頭発表リスト② 2024年7月～2025年12月

氏名	発表テーマ	発表先/投稿紙名	団体・協会・新聞・出版
末次　晴美	ケミルミネッセンス法による塗膜の劣化予測方法の検討	第17回ケミルミネッセンス研究会	マテリアルライフ学会
楠戸　博貴・桑原　幹雄	成形油が角形鋼管に塗布する塗料の耐久性に与える影響に関する検討、その1、その2	2025年度日本建築学会大会	(一社)日本建築学会
山口　直人・桑原　幹雄・楠戸　博貴	断続隅肉溶接部分の塗装に関する検証	2025年度日本建築学会大会	(一社)日本建築学会
桑原　幹雄、楠戸　博貴	無機ジンクリッチペイントのローラー塗装後のすべり係数	2025年度日本建築学会大会	(一社)日本建築学会
桑原　幹雄・楠戸　博貴・野上　知徳	ハイブリッド FRP に対する塗装仕様の検討	令和7年度全国大会	(公社)土木学会
宮澤　雄太	エクソソーム簡易検出技術	インターフェックスWeek東京2025	RX Japan(株)
宗　芳和	Exorapid-qIC®細胞外小胞用イムノクロマトキット	第12回日本細胞外小胞学会学術集会	日本細胞外小胞学会
末次　晴美	複合劣化促進解析システムの製品化と妥当性評価	第74回高分子討論会	(公社)高分子学会
濱中　政爾	粉体塗料について	第65回塗料入門講座	(一社)色材協会
末次　晴美	複合劣化促進解析システムの製品化と妥当性評価	2025年度色材研究発表会	(一社)色材協会
末次　晴美	複合劣化促進システムを用いたシリコーン塗膜の劣化評価	第30回高分子分析討論会	(公社)日本分析化学会
末次　晴美	複合劣化促進解析システムの製品化開発とポリスチレンを用いた妥当性評価	第30回高分子分析討論会	(公社)日本分析化学会
宮澤　雄太	イムノクロマト法でEV検出をもっと手軽に ― 製品概要と追加データのご紹介 ―	BioJapan 2025 ランチョンセミナー	BioJapan組織委員会

DNT 大日本塗料株式会社

●本社・大阪事業所
☎06-6266-3100 〒542-0081 大阪市中央区南船場1-18-11(SRビル長堀)
●那須事業所
☎0287-29-1611 〒324-8516 大田原市下石上1382-12
●小牧事業所
☎0568-72-4141 〒485-8516 小牧市大字三ッ渕字西ノ門878
●東京営業本部
☎03-5710-4501 〒144-0052 東京都大田区蒲田5-13-23(TOKYU REIT 蒲田ビル)

●東日本販売部

札幌営業所	☎011-822-1661 〒003-0012 札幌市白石区中央二条1-5-1
仙台営業所	☎022-288-8866 〒984-0011 仙台市若林区六丁の目西町8-1(齋喜センタービル)
北関東営業所	☎0480-26-5111 〒346-0003 埼玉県久喜市久喜中央1-5-18(辻屋ビル)
東京営業所	☎03-5710-4501 〒144-0052 東京都大田区蒲田5-13-23(TOKYU REIT 蒲田ビル)
新潟営業所	☎025-244-7890 〒950-0912 新潟市中央区南笹口1-1-54(日生南笹口ビル)
千葉営業所	☎043-225-1721 〒260-0015 千葉市中央区富士見2-7-5(富士見ハイネスビル)
神奈川営業所	☎042-786-1831 〒252-0233 神奈川県相模原市中央区鹿沼台1-7-7(トラスト・テック相模原ビル)
静岡営業所	☎054-254-5341 〒420-0857 静岡市葵区御幸町8(静岡三菱ビル)

●西日本販売部

名古屋営業所	☎052-332-1701 〒460-0022 名古屋市中区金山1-12-14(金山総合ビル)
富山営業所	☎076-444-5260 〒930-0005 富山県富山市新桜町6-15(Toyama Sakuraビル)
大阪営業所	☎06-6266-3116 〒542-0081 大阪市中央区南船場1-18-11(SRビル長堀)
京滋営業所	☎075-595-7761 〒607-8085 京都市山科区竹鼻堂ノ前町46-1(京都山科ビル)
姫路出張所	☎079-226-5727 〒670-0965 兵庫県姫路市東延末一丁目1番地(姫路NKビル)
岡山営業所	☎086-214-1852 〒700-0034 岡山市北区高柳東町10-30
広島営業所	☎082-286-2811 〒732-0802 広島市南区大州3-4-1
高松営業所	☎087-869-2585 〒761-8075 高松市多肥下町1511-1(サンフラワー通り東ビルⅠ)
福岡営業所	☎092-938-8222 〒811-2317 福岡県糟屋郡粕屋町長者原東3-10-5

塗料相談室フリーコール　0120-98-1716
ホームページ https://www.dnt.co.jp/

●表紙について
DNT及びDEVELOP(開発する)の「D」に希望の光をイメージしてデザインしました。

DNTコーティング技報 No.25
●公開日　2026年3月
●発行人　溝口 大剛
●発　行　大日本塗料株式会社 技術開発部門 研究部
●編　集　同 技術開発部門 技術企画室
TEL 06-6266-3141

禁無断転載

C-8443.26.03①(PRD)