

送電鉄塔塗替え用飛散防止形塗料

「タワーマン」

“ TOWER MAN , ”
- Development of Anti-Scattering Paint for a
Power Transmission Tower -



船舶・鉄構塗料本部
第1技術部
加藤裕司
Hiroshi
KATO

1. はじめに

送電鉄塔は、裸使用の亜鉛めっき、エポキシ・塩化ゴムやエポキシ・ポリウレタン樹脂塗料などで保護塗装されたものなどがあるが、10～15年間隔で塗り替え塗装工事が行なわれている。送電鉄塔などの高所塗装作業では刷毛塗りであっても、塗料の飛散により周辺の家屋・自動車・農作物などを汚染する事があり、飛散防止ネットなどでの養生が行われているが完全ではなく、被害補償のトラブルも数多く発生している。したがって、送電鉄塔の塗装材料には、基本的な性能として亜鉛めっき面への付着性、防食性などのほかに飛散防止性が要求される。塗料の飛散防止対策については、過去の経験を元に諸対策がたてられているが、理論的根拠に基づいて行われた事例はあまり見受けられない¹⁾。

本稿では、飛散現象に関して、理論的見地からもアプローチを行ない、環境保全対策にマッチした1液弱溶剤可溶エポキシ樹脂系の送電鉄塔塗り替え飛散防止形塗料「タワーマン」を新規に開発したので、その概要と特徴について紹介する。

2. 送電鉄塔について

送電鉄塔には溶融亜鉛めっき鋼材が使用される場合が多く、その塗装目的は次のように分けられる。

1) 防食(亜鉛保護・防錆)

工業地帯、海浜地帯等の腐食環境に設置される場合は防食のため、新設時に塗装されることもあるが、一般環境に設置される場合は通常、亜鉛めっきのまま暴露放置され、10年～15年経ってから初めて塗装される。

2) 航空標識(黄赤(10R4/13)、白(N-95))

運輸省令により、高さ60m以上の鉄塔には航空標識色を塗装することが義務付けられている。

3) 環境融和

鉄塔を環境に融和させることを目的として、環境庁、各都道府県、地域住民などとの話し合いで、塗装するかどうかが決められる。国立公園などの景観を重視される地域では、特に塗装を要求される。

一般的に鉄塔の防錆用に用いられる亜鉛めっきは、いわゆる溶融亜鉛めっきまたはドブ漬(Hot dipping)と呼ばれるもので、ピックアップによって鋼材に金属亜鉛を550～600 g/m²(厚さとして70～80μm)めっきしたものである。

一般環境では亜鉛めっき鋼材の耐食性はかなり優れている。電力業界では50年来鉄塔部材に亜鉛めっき鋼材を使用し、建設後10～20年も無塗装で使用するのが一般的であった。現在でも山野・田園に建設された鉄塔では防錆上の問題は少なく、特殊な降雪地区を除けば安全標識と美粧を目的に塗装されていた。

しかし、最近の電力エネルギー源が、水力から火力と原子力に急速に転換されるに及んで、これらパワープラントがいずれも海浜または海浜重化学工業地帯に建設されるようになった。この為、海岸に近く、大気汚染の著しい地区の送電鉄塔では2～3年で亜鉛めっきに発錆がみられる場合もあり、この地帯の送電鉄塔では防錆の重要性が増し、建設当初から塗装を行う必要が生じてきている。

環境要因を整理すると以下の通りである。

- ① 工業地帯 煤塵・煤煙中に含まれる硫黄化合物のため腐食が著しく促進される。
- ② 化学工業地帯 化学工場より排棄される酸性アルカリ性の腐食性ガス、および煤塵・煤煙中の硫黄化合物との相乗腐食作用を受ける。
- ③ 海洋性環境 塩分による亜鉛の消耗、更に工業地帯条件が重なると腐食作用は相乗され、より厳しい消耗に至る。

- ④ **交通の激しい市街地** 自動車排気ガス中のNOx、SOxによる腐食に対しても化学工業地帯と同様の配慮が必要とされる。

以上は主として両性金属である亜鉛が汚染環境では耐食性が良くないことから、塗装による防錆を必要とする場合であり、また上記以外にも次の目的から塗装を実施することも多い。

- ⑤ **ボルト・ナットの保護** ボルト・ナットはめつき量が少ない（300g/m²以上）ので鉄骨材より消耗が早い。
 ⑥ **不均一腐食の防止** 鉄～亜鉛間に合金が存在すると電気化学的な不均一腐食が起こる²⁾。

現行の塗装仕様の一例を表1に示す。

3. 送電鉄塔の塗替工事の実態

電力10社の鉄塔の保有基数からみた送電鉄塔塗り替え塗装市場規模は図1のようであり、塗装に関する補修予算

は年間では90億円にも及ぶ。送電鉄塔を管轄する各電力会社の工務所・電力所・技術センター等へのヒアリング及び現地立ち会い調査から得た塗替工事の実態について、表2にまとめた。

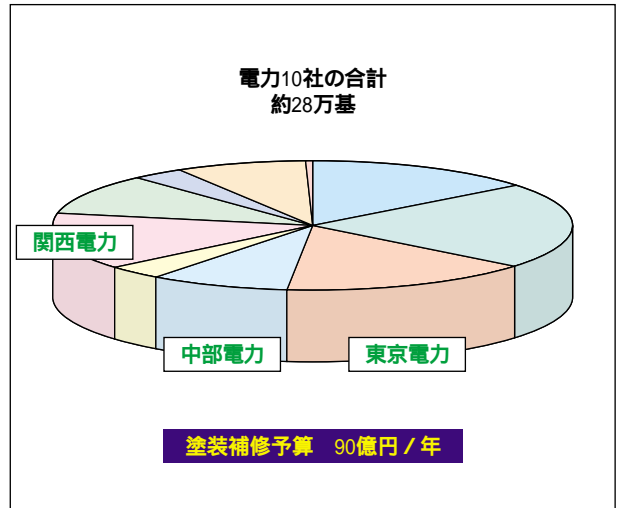


図1 鉄塔塗装の市場規模(鉄塔基数)

表1 現行塗装仕様

工程	塗料名および処置方法	標準塗付量 (g/m ² /回)	膜厚 (μm/回)	標準塗装間隔 (20)	
1	素地調整	手工具・マジクロンなどを併用して発錆箇所の除錆と付着の悪い旧塗膜の除去および活膜部の目粗しを行なう。			
2	補修塗り	ミリオン 10CPプライマー	(150)	(35)	3時間～1ヵ月
3	第1層	ミリオン 10CPプライマー	150	35	3時間～1ヵ月
4	第2層	ラバテクト中塗	170	35	16時間～1ヵ月
5	第3層	ラバテクト上塗	150	30	

表2 送電鉄塔の塗替工事の実態

塗替周期	約10～15年			
構造区分	塔体部と腕金部			
部材形状	アングル(等辺山形鋼)			
工期の制約	通電箇所の腕金部は停電期間の工事になるので、通常は2、3日程度			
素地調整方法	マジクロン掛け(軽く擦る程度しかできない)			
被塗物	(初回の塗替) ...10～15年間程、屋外暴露された亜鉛めっき(さびが混在) (2回目以後の塗替) ...さび面及び旧脆弱塗膜残存面：フタル酸系、塩化ゴム系が多い			
塗装方法	刷毛(50～70mmの筋遣いと目地の併用)			
環境条件の制約	風速7～8m/秒以上の場合作業中止			
塗料への要求機能	必須 (重要)	低飛散性	亜鉛めっき面適性	さび面適性
		旧脆弱塗膜面への塗り重ね適性	厚塗り性	
	その他	低光沢(環境調和)	一液形	速乾性

塗り替え前の鉄塔部材と素地調整後の状態を写真1、2に示す。被塗物の形状が複雑であり、しかも高所作業のためにさびを十分に除去できず、また、脆弱な旧塗膜が残存した条件での塗り替え作業を強いられる。写真3のように非常に不安定な姿勢での塗装作業である。



写真1 塗替前の送電鉄塔



写真2 素地調整後



写真3 塗装状況

このような状況での塗り替え用塗料には、低研掃面適性や旧塗膜への塗り重ね適性が要求される。当社ではさび残存面や脆弱な旧塗膜の上に塗り重ねてもリフティングを起こしにくく、防食性に優れた1液弱溶剤可溶ケチミン硬化形エポキシ樹脂塗料「ユニテクトプライマー」を開発している。そこで、この製品の特徴を生かしながら、「低飛散性」という新しい機能を付加した新製品の開発を行った(図2)。

4. 塗料の理論的飛散距離の試算

まず、高所塗装作業における塗料の飛散距離の目安を把握する為、理論的な考証を行なった。一般に物体の自然落下は、その物体を球形と仮定した場合に粒子の大きさにより、落下速度が異なる¹⁾³⁾。

(1) 粒子が細かい場合 (Re < 5)

$$V_s = \frac{D_p^2 (s - e)g}{18} \quad (\text{Stokesの式})$$

(2) 粒子が1mm径位の場合 (1 < Re < 500)

$$V_s = \left\{ \frac{4(s - e)g^2}{225 \cdot e} \right\}^{1/3} \cdot D_p \quad (\text{Allenの式})$$

(3) 粒子が大きい場合 (500 < Re)

$$V_s = \frac{3g(s - e)D_p}{e} \quad (\text{Newtonの式})$$

但し、Vs:落下速度(cm/sec) Dp:粒径(cm)

s:粒子の密度(g/cm³) e:空気密度(g/cm³)

g:重力の加速度(cm/sec²) η:空気粘性係数

Re:レイノルズ数 Re = Vs · Dp · e / η

したがって、粒子の直径の大小により、落下速度の計算式を適宜選択する必要があるが、上記計算式は複雑な為、標準大気中における粒径が異なる落下速度の計算式は以下の簡略式が用いられている。

粒径(μm)	計算式	法則
1 ~ 10 ²	Vs = 0.003 s · Dp ²	Stokesの式
10 ² ~ 10 ³	Va = 0.43 s ^{2/3} · Dp	Allenの式
10 ³ ~ 10 ⁴	Vn = 15 s · Dp	Newtonの式

但し、Vs、Va、Vn:落下速度(cm/sec)

s:粒子の密度(g/cm³)

Dp:粒径(μm)

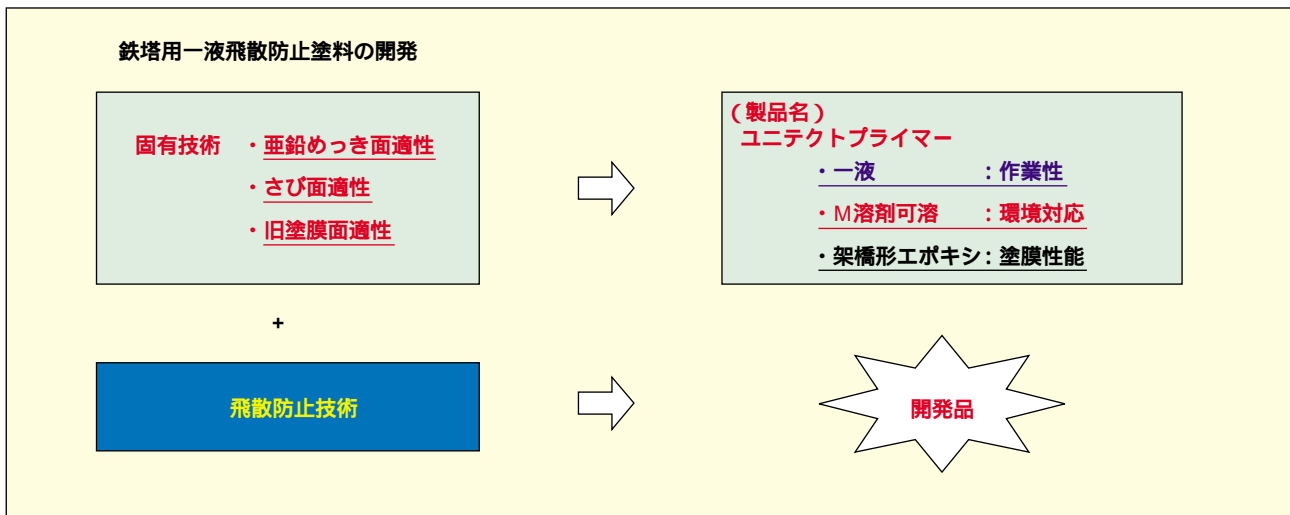


図2 市場参入への対応

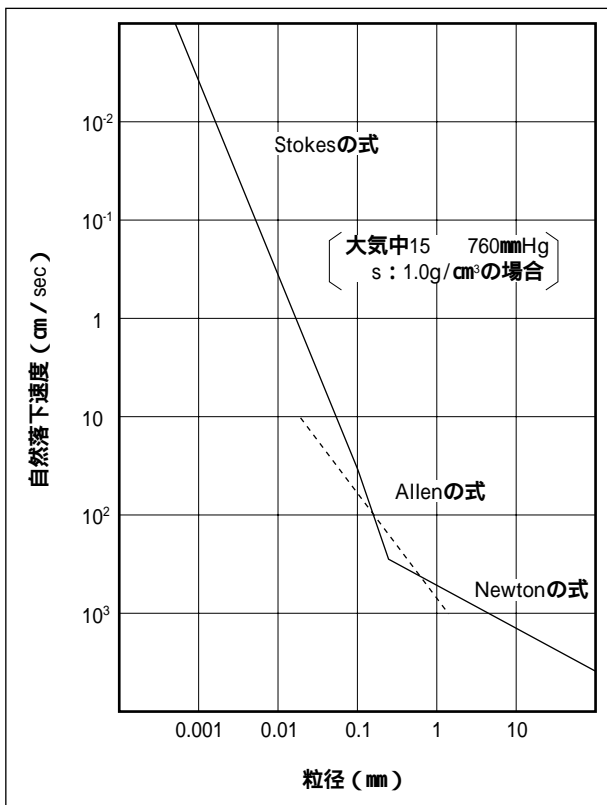


図3 粒径と自然落下速度との関係

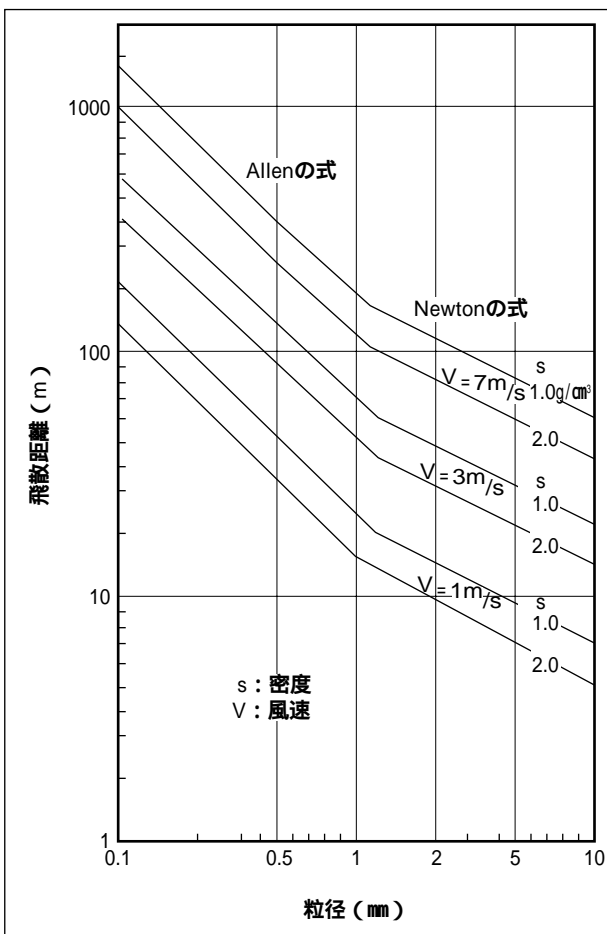


図4 風速別にみた高さ100mからの塗料の飛散距離と粒径、密度との関係

簡略式を用いた粒径と自然落下速度との関係を図3に示す。この図より、飛散する塗料の粒径が細くなればなるほど、その自然落下速度が遅くなることが理解され、小さい粒径の塗料ほど、その飛散距離が遠くに及ぶことになる。

今、実際の高所塗装作業を考え、塗料の密度、粒径および風速を次のような範囲で例にとり、風速別にみた塗料の飛散距離と粒径、密度との関係を求めると図4のようになる。

a) 塗装作業場所の高さ

100m

b) 塗料の密度

実際の塗料の密度は、塗料毎に千差万別であるが、屋外構造物に使用されている代表的塗料の密度を考慮して以下のように設定した。

$s : 1.0 \sim 2.0 \text{ g/cm}^3$

c) 粒径

塗装現場の状況から、上限値を10mm、下限値は0.1mmとした。

(目視できる範囲は0.5mm以上と推定される。)

d) 風速

$V : 1 \sim 7 \text{ m/秒}$

実際の塗装作業は、風速5m/秒程度までは行われる。7m/秒以上になれば作業は行われない。しかしながら、測定風速5m/秒の場所では、位置的、時間的条件を考慮すると局部的に或いは一時的に風速7m/秒のこともありうるとして7m/秒まで設定風速とした。

なお、塗料粒径0.1mm~1mmの範囲の計算はAllenの式を、1mm~10mmの範囲の計算は、Newtonの式をそれぞれ適用した。図4に示すとおり高所塗装作業に際しては、粒径、風速が飛散距離にかなり大きく影響してくることがわかる。

5. 飛散防止性能の代用特性の検討

では、飛散防止形塗料とは一体、どのような性状を要求されるのであろうか。塗料の落下現象は以下の3タイプに分類される。

- ① 塗料の流下：塗料が缶、はけ、被塗物から離れて流れ落ちる現象。
- ② 塗料の落下：塗料が(量に関係なく)重力に従って落下する現象。
- ③ 塗料の飛散：流下あるいは落下した塗料が、落下速度を増しながら微粒化するとともに風力によって飛散する現象。

刷毛から塗料が垂れ落ちる、被塗物に塗着した塗料が垂れ落ちるといった1次要因的な「落下」という現象と、この落下した塗料が落下中に広範囲に飛び散っていくといった、2次要因的な「飛散」という現象に分けられる。即ち、飛散防止形塗料とはこのような落下・飛散現象が発生しにくい特徴をもった塗料であると言える。特に塗装現場で問題となるのは後者の「飛散」という現象である。

刷毛から落下した塗料は、図5のように落下中に空気抵抗を受けて微粒化していく。この際、風の作用を受けると、細

かい粒子は非常に遠くまで運ばれる。この微粒化を支配する因子を塗料特性値にあてはめて考えてみた。外力(風圧)が作用した場合に流動(微粒化)しにくいといった特性であり、これを代用する指標としては粘度と降伏値があてはまる。各々の作業におけるズリ速度は一般的には図6のように言われている⁴⁾。しかし、鉄塔などの高所での刷毛塗装作業の場合には塗装姿勢上の制約があり、実際には $10^2 \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$ 程度である。

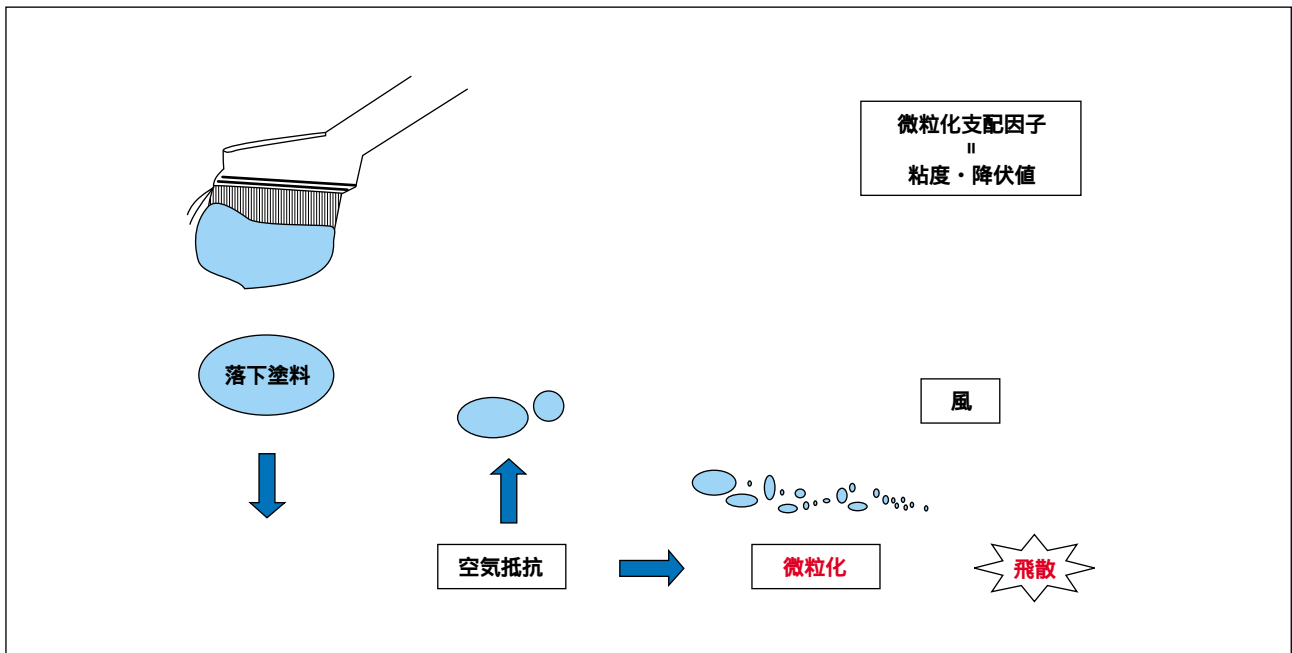


図5 飛散防止性能の代用特性の検討

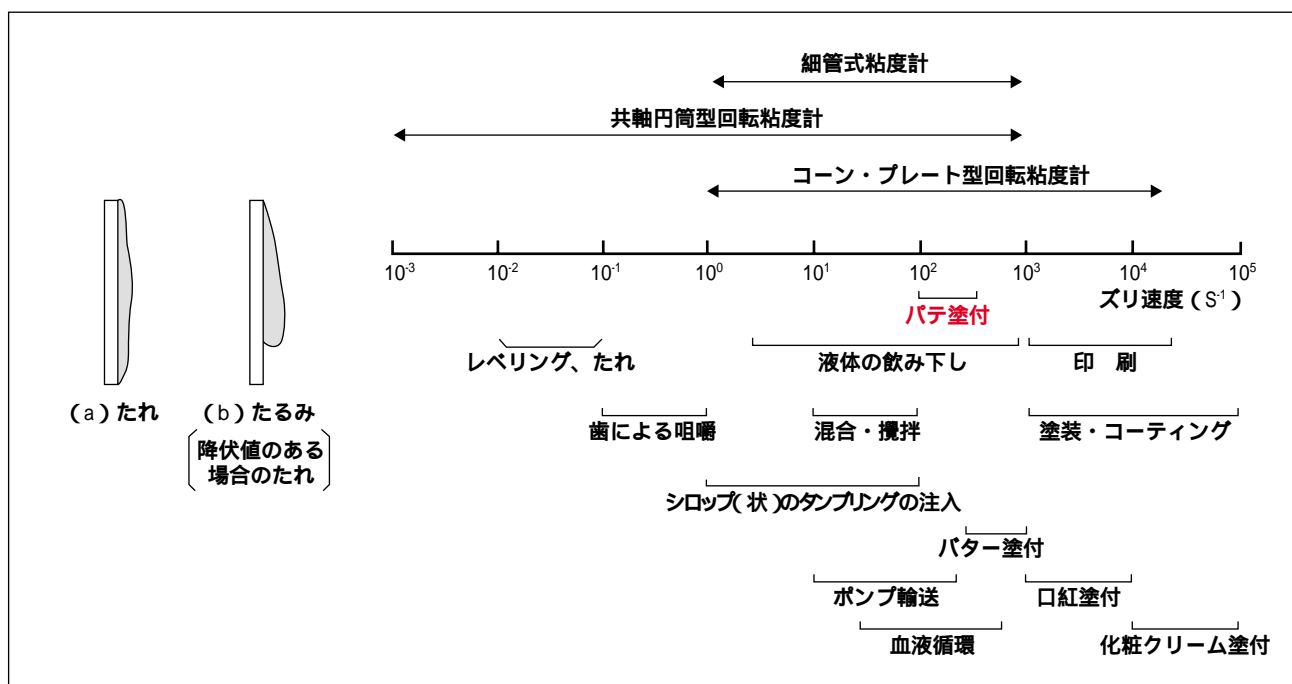


図6 実作業におけるズリ速度

市販されている飛散防止形と称する塗料の粘性挙動をコーン&プレートで測定した結果、飛散防止形でない一般の塗料に比べて、低ズリ速度での粘度が高く、また降伏値が大きいことがわかった(図7)。この粘性により、刷毛から塗料が落下しにくく、仮に落下しても微粒化しにくいと考えられる。しかし、高ズリ速度での粘度が一般塗料に比べて、著しく高いために刷毛作業性の悪さに影響を及ぼしているものと考えられる。

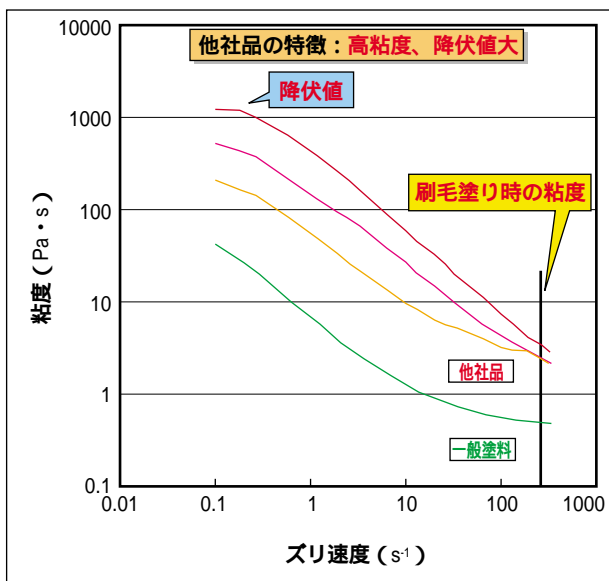


図7 他社飛散防止形塗料の粘性

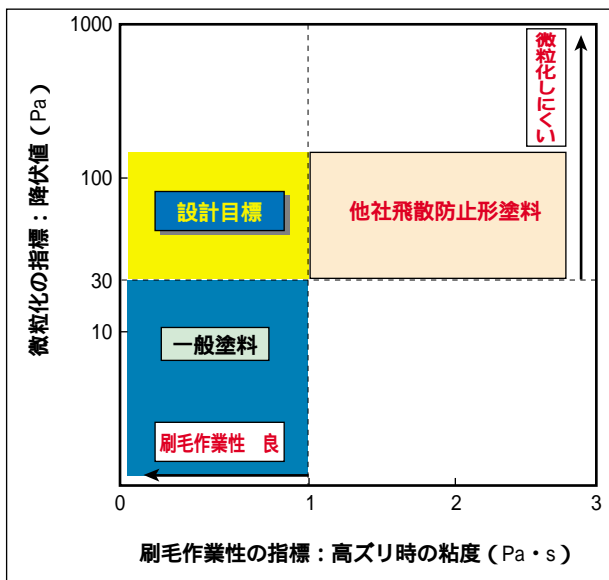


図8 飛散防止形塗料の粘性の設計目標

そこで、市販品の粘度測定結果を元に目標とする粘性を具体的に設定し図8に示した。まず、①刷毛から塗料が垂れ落ちにくくするためには低ズリ速度(0.1sec⁻¹)で高粘度(100 Pa・s以上)であること、②落下中に塗料が微粒化しにくいためには降伏値が高いこと(30Pa以上)、③刷毛塗り作業

性に支障がないためには、高ズリ速度(500sec⁻¹)で低粘度(1Pa・s以下)であること、この3条件を満足することが理想的な飛散防止形塗料の粘性として必須である(図9)。

上記の条件を満たすべく、各種揺変剤による粘性挙動を検討した結果、目標とする粘性の品質「タワーマン」を開発した(図10、11)。

1. 刷毛から塗料が自然落下しないこと
低ズリ速度域で高粘度
0.1sec⁻¹で100Pa・s以上
2. 落下中に塗料が微粒化しないこと
高降伏値
30Pa以上
3. 刷毛塗りに支障がないこと
高ズリ速度域で低粘度
500sec⁻¹で1Pa・s以下

図9 飛散防止形塗料として必要な粘度特性

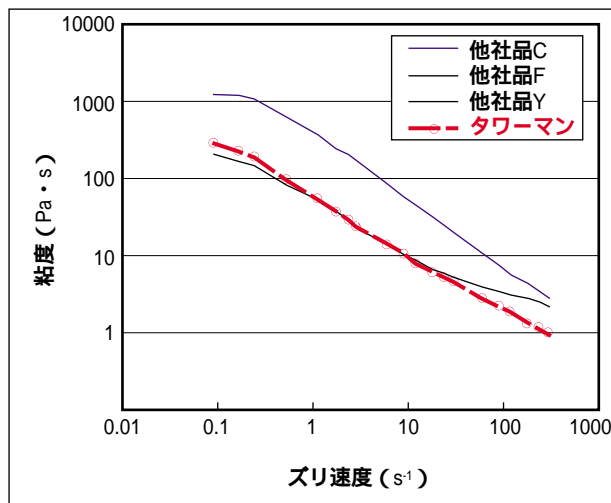


図10 他社品との揺変性の比較

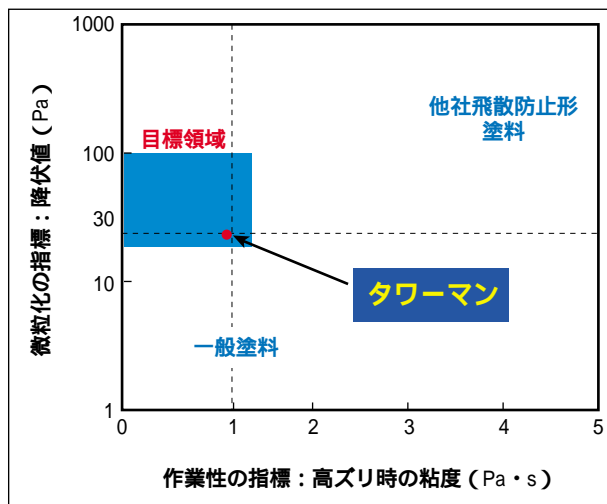


図11 タワーマンの粘度特性

6. 他社の飛散防止形塗料との性能比較

近年、本市場へは各社競って飛散防止形塗料を積極的にPRしてきている。しかし、メーカーによって設計思想が異なり、樹脂系一つをとっても多岐にわたっている。

「タワーマン」の市場適性を判断する目的で飛散防止性能を確認した。飛散防止性能はたっぶり塗料を含ませた刷毛(筋違い)を高さ3mの地点で強制的に振り、横から風を当てて、その時に飛散した塗料を模造紙で回収する方法で評価した。「タワーマン」は市場で最も飛散しにくいと評価されている他社品Cと比べて、ほぼ同等の飛散状態・飛散距離であった。一方、飛散防止形でない一般塗料は微粒化して、遠くまで飛散する結果であった(写真4)。

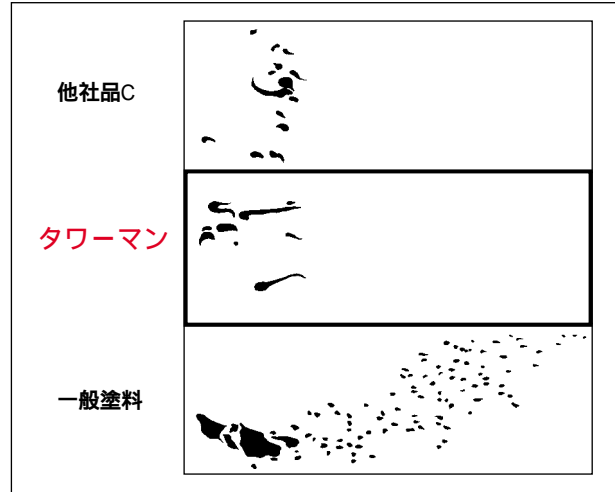


写真4 タワーマンの飛散防止性能

さらに「タワーマン」と他社飛散防止形塗料の性能比較試験を実施した。ここでは、鉄塔の塗り替えに必要な不可欠な①さび面適性、②旧脆弱塗膜面適性を紹介する。さび面適性は現場を想定して、マジクロン掛けしたさび鋼板に塗装した試験板を塩水噴霧試験に供試して評価した(写真5)。また、旧脆弱塗膜面適性は離型紙上に旧塗膜の塗装仕様で作製したものを付着不良の脆弱面として、塗り重ね試験を行ない評価した(写真6)。

他社品との性能比較をレーダーチャート(図12)にまとめた。

塗料	タワーマン	他社品C	他社品F	他社品Y	塗装前の試験板
樹脂系統	ケチン硬化系エポキシ	変性ビニル	アクリル	エポキシエステル	
膜厚					
120μm					
60μm					

写真5 さび面適性(塩水噴霧試験:500時間)

<試験方法>

・脆弱塗膜の作製: 離型紙上に鉄塔の標準的な旧塗膜系をスプレー塗装する。(50 で10日乾燥) カット部周辺に塗料を刷毛で塗装し、塗膜の浮き上がり状態を評価する。

- 脆弱面A仕様: 油性さび止め~フタル酸樹脂系上塗
- B仕様: 鉛酸Ca含有塩化ゴム樹脂系下塗~塩化ゴム樹脂系上塗
- C仕様: エポキシ樹脂系下塗~塩化ゴム樹脂系上塗

塗料	タワーマン	他社品C	他社品F	他社品Y
樹脂	エポキシ	変性ビニル	アクリル	エポキシエステル
溶剤	ミネラルスピリット	芳香族系	芳香族系+ミネラルスピリット	芳香族系
脆弱面A				
評価		××		××
脆弱面B				
評価		×		×
脆弱面C				
評価				

[評価基準] 優、 、 、 ×、 ×× 劣

写真6 旧脆弱塗膜面への塗り重ね適性

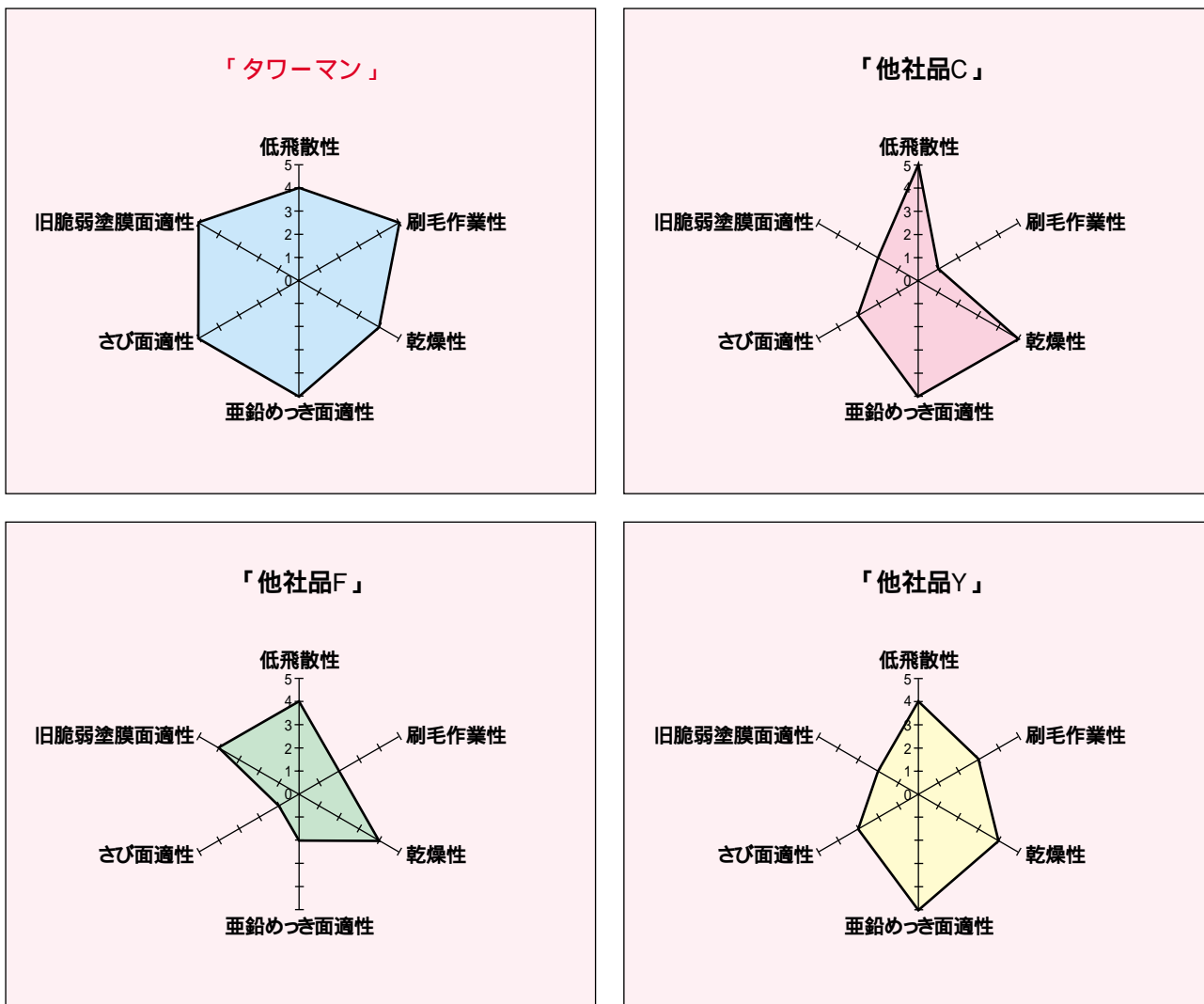


図12 他社品との性能比較

7. まとめ

「タワーマン」の特長を以下にまとめる。

- ① **低飛散性**
 揺変性(構造粘性)を向上させ、塗料粒径を大きくすることで飛散性を著しく軽減させた。
 また、刷毛作業性にも配慮して、粘性挙動をコントロールしたので、一般的なエポキシ樹脂塗料と同様に塗装できる。
- ② **工程短縮**
 刷毛塗装で80 μ m / 回の塗付が可能である。したがって、従来の2回塗りでの塗膜厚を1回塗りで確保でき、工期が短縮できる。
- ③ **取り扱い性と環境保全への配慮**
 一液形のため、可使時間の制約がなく、また、残塗料や廃容器等の産業廃棄物を削減できる。
- ④ **優れた防食性**
 さび面に対する浸透性に優れたケチミン硬化形エポ

キシ樹脂塗料であり、十分な素地調整ができない高所作業箇所でも優れた防食性を発揮する。

- ⑤ **優れた旧塗膜適性**
 弱溶剤タイプのため、各種既存塗膜に対しての塗り重ね性に優れている。

以上のように、「タワーマン」は送電鉄塔の塗替に要求されるすべての条件をクリアできる画期的な塗料である。

8. 施工実績例

- ① 東京湾横断道路 / アクアライン橋梁部高欄 (平成12年2月)
- ② 中部電力 / 中村電力センター 寛政築港No.9他鉄塔防錆工事 (平成12年4~5月)
 七宝築港線鉄塔防錆工事
- ③ 関西電力 / 東播変電所 美化鉄構 (平成12年5月)

表3 塗装仕様例

工程		塗料名および処置方法	標準塗付量 (g/m ²)	膜厚 (μm)	塗装方法
1	素地調整	手工具・マジロンなどを併用して発錆箇所の除錆と付着の悪い旧塗膜の除去および活膜部の目粗しを行なう。			
2	塗料名	タワーマン	320	80	刷毛

9. おわりに

今回、送電鉄塔の塗替市場をターゲットとして、本市場特性を十分に分析した上で、必須機能の一つである飛散防止性能に関する知見を得た。

今後、本開発品「タワーマン」が鉄塔市場のみならず、その他の高所塗装作業市場においての飛散防止形防食塗料の代名詞となるような活躍を期待する。

10. 参考文献

- 1) 青木、木伏、田尻ら: 防錆管理「高所塗装における塗料の飛散に関する検討」, 74[5], p.9-12(1974)
- 2) 日本鋼構造協会編「重防食塗装の実際」、p.287～288 (山海堂)
- 3) 化学工学便覧 p.765(昭和33年、日本化学工学会)
- 4) 「回転粘度計による粘性測定の実例」(東機産業)