

# 高摩擦有機ジンクリッチペイントの開発

Development of High Slip Coefficient Type Organic Zinc-rich Paint

技術開発部門 開発部  
技術開発第一グループ  
Technical Development Division,  
Development Department,  
Technical Development Group 1



鎌田 由佳  
Yuka KAMATA

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 Division,  
Protective Coatings Department,  
Technical Support Group



松本 剛司  
Tsuyoshi MATSUMOTO

## 要旨

建築分野における高力ボルト摩擦接合部は一般的に無塗装にて適用される。その場合、摩擦接合面に生じた赤さびが流れさびとなり周辺部位の景観を悪化させることが懸念される。一方、橋梁における摩擦接合部では無機ジンクリッチペイントを適用することが定められている。建築分野および橋梁のいずれにおいても、摩擦接合面に塗装を行う場合、その塗装面において、すべり係数0.45以上を確保することが定められている。一般部に無機ジンクリッチペイントを用いた場合にはミストコート工程が必要となり、有機ジンクリッチペイントを用いた場合には摩擦接合面で塗り分けが必要となり、共に工程が増えることになる。

そこで、摩擦接合部にも適用できる有機ジンクリッチペイントの開発に着手した。すべり係数に影響を及ぼす因子について検証し、塗膜中に含まれる顔料の粒度分布をコントロールすることが重要であることを見出した。

検証結果をもとに「高摩擦有機ジンクリッチペイント」を開発した。

## Abstract

Frictional joint with high strength bolts are not coated for architectural field in general. In this case, it would be concerned to impair scenery around the architecture due to red rust generated at frictional joint surface becomes to flow rust. One the other hand, inorganic zinc-rich paint shall be applied at frictional joint surface for steel bridges. For both architectural structures and steel bridges, slip coefficient at frictional joint surface shall be more than 0.45 if any coating systems would be applied. Generally, mist coat process shall be conducted in case the inorganic zinc-rich paint applied for general surface of steel structure, and would be necessary to Paint the frictional joint surface in case the organic zinc-rich paint applied for the general surface. Both cases lead to increase the number of production process.

Therefore, we launched to develop an organic zinc-rich paint which could be applied not only the general surface but also the

frictional joint surface. We investigated factors to be influenced and then we found it is important to control the particle size distribution of all pigments included in the paint film. Based on verification of these results, we developed the “High slip coefficient type organic zinc-rich paint”.

## 1. はじめに

鋼構造物の接合には、高力ボルトによる摩擦接合が用いられる。大型鋼構造物の摩擦接合部において、建築分野では「鋼構造接合部設計指針」<sup>1)</sup>により、すべり係数0.45以上の確保が定められ、その方法として「浮さびを除去した赤さび面」「ブラスト処理面(Rzjis50μm以上)」「無機ジンクリッチペイント」とすることが挙げられている。橋梁では「道路橋示方書・同解説」<sup>2)</sup>により、摩擦接合面の処理方法として「無機ジンクリッチペイント」を適用することですべり係数0.45以上を確保できるとされている。

建築分野で一般的に適用されている「浮さびを除去した赤さび面」「ブラスト処理面」は、摩擦接合面にて生じた赤さびが流れさびとなり周辺部位の景観を悪化させることが懸念される(図1)。そのため、長期美観性が

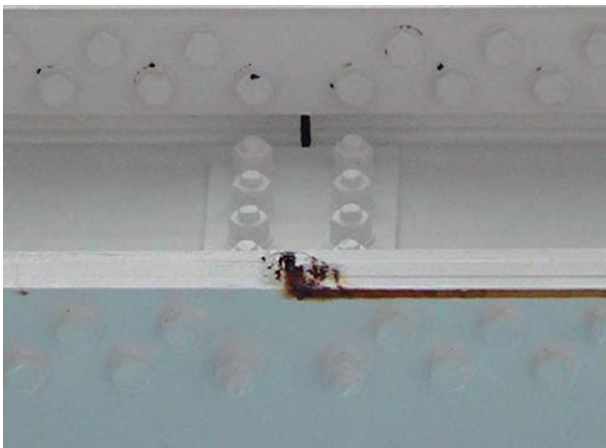


図1 摩擦接合部からのさび汁流出例

求められる大型の鋼構造物では、摩擦接合面に無機ジンクリッチペイントが適用される。一般部に無機ジンクリッチペイントを適用した場合にはミストコート工程が必要となるため、VOC (Volatile Organic Compounds:揮発性有機化合物)削減や工期短縮の観点から、一般部に有機ジンクリッチペイントが塗装されることがある。この場合、摩擦接合面と一般部の塗り分けが必要となるため、多くの工数が必要となる(図2)。

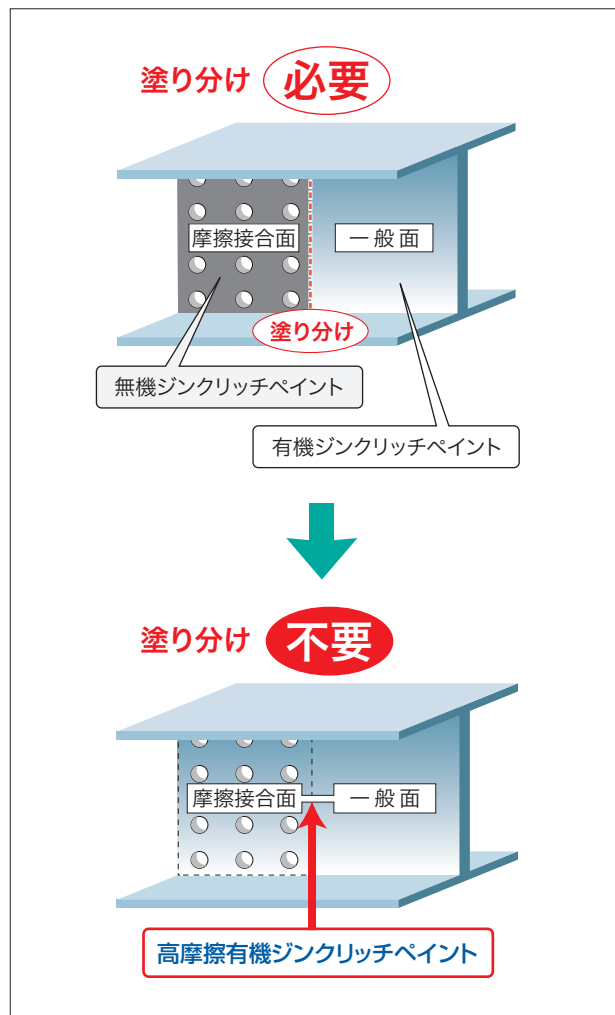


図2 摩擦接合部への塗装イメージ

そのため、すべり係数0.45以上を確保し、摩擦接合面に適用可能な有機ジンクリッチペイントが市場で求められていた。同要求を満足する「高摩擦有機ジンクリッチペイント」を開発したため、その開発検討結果について報告する。

## 2. 実験

### 2.1 すべり試験

#### 2.1.1 試験体

試験体の形状・寸法を図3に示す。試験鋼材は溶接構造用圧延鋼材SM490A(素地調整:グリットブラスト[ISO Sa2 ½以上、Rzjis 70μm以下])、ボルトはS10T-M22トルシア形高力ボルトを用いた。

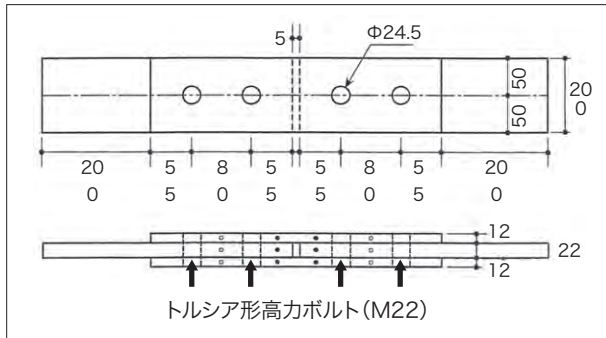


図3 すべり試験体の形状・寸法

#### 2.1.2 試験体の作製

試験鋼材の両面に供試塗料を乾燥膜厚75μmとなるようにエアースプレーにて塗布し、23°C/50%RH環境にて1ヵ月間養生後にボルト締付けを行った。

#### 2.1.3 すべり係数の測定

事前にリラクセーション試験を実施し、ボルト締付け後、72時間程度で軸力の低下は収まることを確認した。その結果から、すべり試験はボルト締付けから72時間以上経過した後に行った。試験体を万能引張試験機UH-2000kN XR(島津製作所製)に取付け、すべりが発生するまで徐々に荷重を載荷し、試験体のけがき線がずれた時点をすべり点とし、この時のすべり荷重を記録した。

すべり係数は、次式により算出した。導入軸力は、ボルトの製品検査証明書の値を用いた。

$$\mu = \frac{P}{m \cdot n \cdot N}$$

$\mu$ :すべり係数, P:すべり荷重(kN), m:摩擦面数(=2), n:ボルト本数(=2), N:ボルト初期導入軸力(kN)

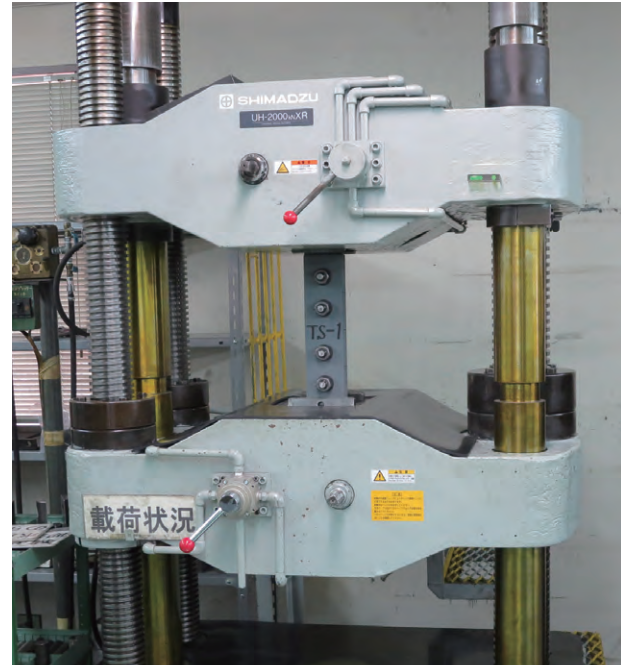


図4 すべり試験の状況

### 2.2 供試塗料

試験に使用した塗料を表1に示す。

表1 供試塗料

塗料	標準膜厚	略称
高摩擦有機ジンクリッチペイント(開発品)	75μm	HF
試作塗料(A~N)	75μm	A~N
有機ジンクリッチペイント	75μm	EP
無機ジンクリッチペイント	75μm	IOZ

### 2.3 高摩擦有機ジンクリッチペイントの開発

#### 2.3.1 開発の目標

- すべり係数0.45以上
- JIS K 5553 2種の品質を有する
- 塗装作業性が良好
- 複層膜における上塗塗膜の外観が良好

#### 2.3.2 設計

有機ジンクリッチペイントは、エポキシ樹脂と硬化剤、亜鉛末、溶剤を主成分として成る防錆塗料である。

すべり係数に影響を及ぼす可能性のある以下の4つ

の因子について検討を行うこととした。設計のイメージを図5に示す。

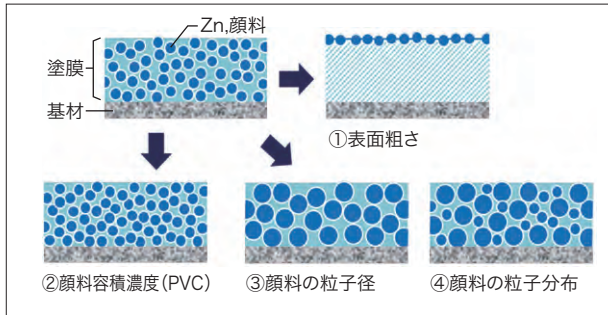


図5 設計イメージ

①表面粗さ

接合部の表面を粗くする(凹凸を付ける)ことにより、接触面の噛み合いが強まると考えた。一方で、過大な表面粗さは、塗膜外観を損ねる可能性がある。

②顔料容積濃度 (PVC)

PVCを大きくすることにより、すべり係数が大きくなるとされている<sup>3)</sup>。

③顔料の粒子径

大粒子径の顔料を用いることにより、引張力に対する抵抗となると考えた。

④顔料の粒度分布

大～小粒子径の顔料を用いることにより、すべり係数が大きくなると考えた。

なお、「顔料」は、亜鉛末を含む。本報では、亜鉛末とその他の顔料に分けた。

2.3.3 表面粗さ

i) すべり試験体の10点平均粗さ (Rzjis/JIS K 1994)を接触式表面粗さ計SJ-301(ミットヨ製)にて、計測した。

ii) レーザー顕微鏡VK-X150(キーエンス製)にて、表面の粗さ状態を観察した。

2.3.4 上塗塗膜の外観

重防食塗装仕様を想定し、供試塗膜の上にエポキシ樹脂下塗塗料、ふっ素樹脂塗料用中塗塗料、ふっ素樹脂上塗塗料を塗り重ね、得られた複層膜について外観を評価した。

3. 結果

試作塗料A～Nについて、結果を表2に示した。顔料は、亜鉛末と亜鉛末以外の顔料(他顔料)に分類した。

表2 試作塗料の特長とすべり係数

試作塗料	PVC [%]	顔料の平均粒子径		Rzjis [μm]	すべり係数	上塗りの外観
		亜鉛末	他顔料			
A	60	● 小	無	9.1	0.39	○
B	60	● 中	無	19.9	0.44	○
C	60	●● 小, 大	無	25.4	0.49	×
D	60	●● 中, 大	無	22.2	0.53	×
E	60	● 小	● 中	23.2	0.42	△
F	65	● 小	無	12.5	0.41	○
G	65	● 小	● 小	20.5	0.48	○
H	65	● 小	● 中	20.0	0.43	○
I	65	● 小	● 大	22.4	0.44	×
J	70	● 小	無	10.8	0.43	○
K	70	● 小	●● 小, 大	23.9	0.50	×
L	70	● 小	● 小	21.2	0.44	○
M	70	● 小	● 中	18.7	0.50	○
N	75	● 小	● 中	22.6	0.49	○

4. 解析

すべり係数に影響を及ぼす可能性のある4つの因子について、すべり係数および、上塗塗膜の外観から解析を行った。

4.1 塗膜の表面粗さ

接触式の表面粗さ計にて得られた表面粗さRzjisとすべり係数の関係性を図6に示す。全体的にはRzjisが大きくなるにつれ、すべり係数も大きくなる傾向が見られた。図7に示した測定結果のように、粗さのチャートには規則性がなく、測定箇所により値が大きく変化していた。



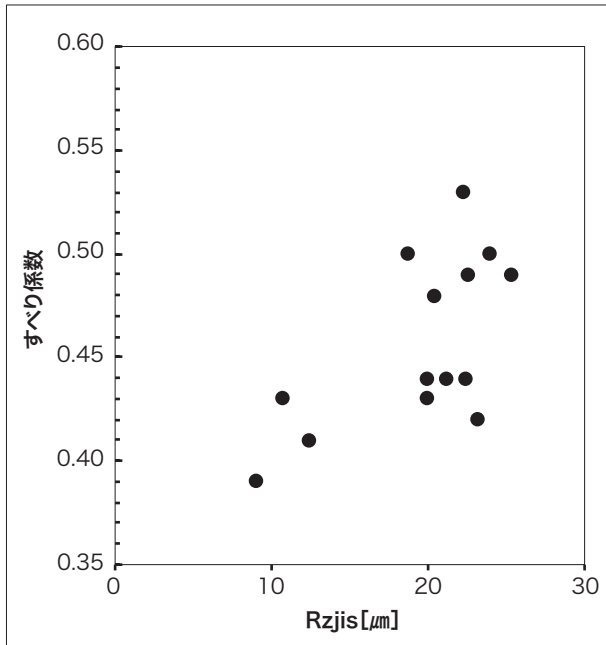


図6 すべり係数と表面粗さの関係

次に、レーザー顕微鏡にて表面の粗さを観察した結果を図8に示す。試作塗料Aに比べ、BやKの表面は粗く、すべり係数もAより大きくなった。しかし、BはKの表面状態に類似しているにもかかわらず、すべり係数0.45を満たさなかった。以上のことから、塗膜の表面粗さとすべり係数には相関が認められなかった。一方、上塗塗料まで塗り重ねたときの外観は、Bは良好であったのに対し、大粒子径の顔料を含むKは不良であった。

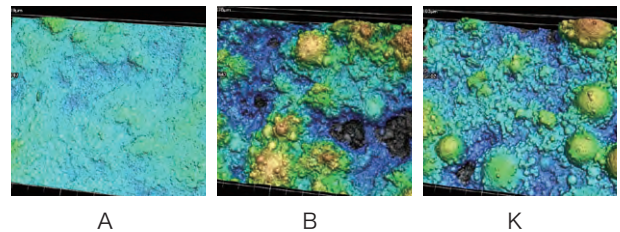


図8 表面粗さ(レーザー顕微鏡)

#### 4.2 顔料容積濃度の影響

すべり係数と顔料容積濃度(PVC)の関係を図9に示す。すべり係数とPVCの相関は認められなかった。

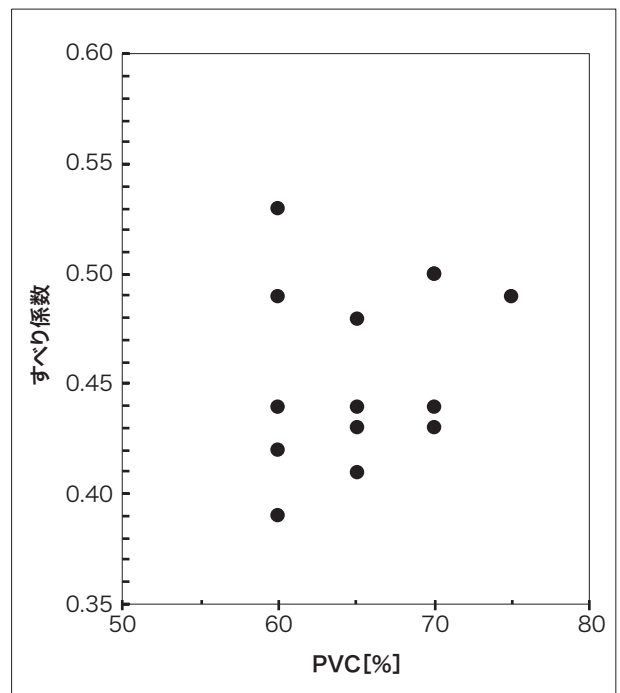


図9 すべり係数とPVCの関係

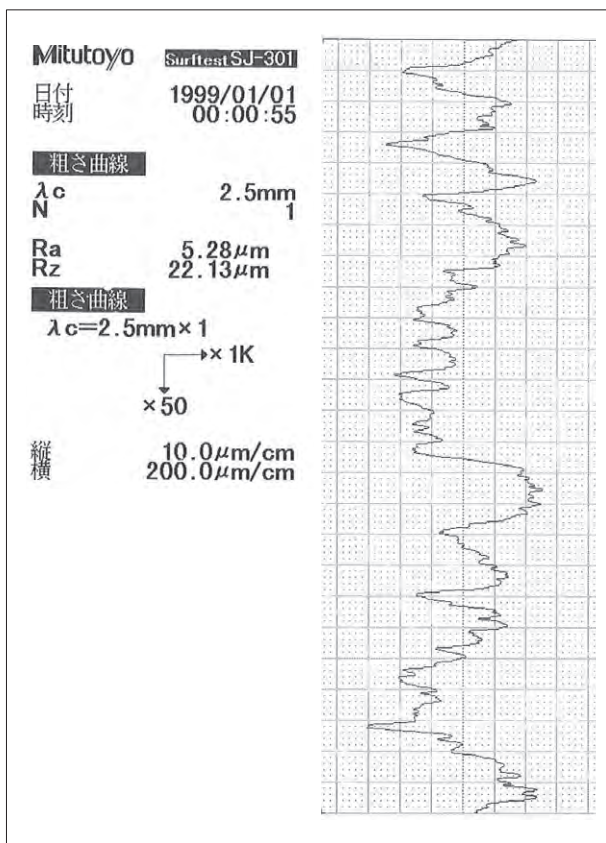


図7 接触式表面粗さ測定例

### 4.3 顔料の粒子径の影響

粒子径の大きな顔料を用いた場合に、すべり係数の向上が認められた。ただし、試作塗料Iのように、大粒子径の顔料を含んでいても、すべり係数0.45を下回るものも存在する。上塗塗膜の外観は、大粒子径の顔料を含む場合に悪化した。すべり係数や上塗塗膜の外観として、顔料の大きさ、或いは量に適切な範囲があると考えられる。

一般に顔料の粒子径とは、平均粒子径(d50)のことを指し、顔料によって粒度分布が異なる。すなわち、同じ平均粒子径であっても、最大粒子の大きさや、一定サイズ以上の粒子の量は異なる。すべり係数および上塗塗膜の外観は、大粒子径の顔料の影響を強く受けていると考えられる。

### 4.4 顔料の粒度分布の影響

顔料の粒度分布に着目し、10 $\mu$ m以上の粒子の含有量とすべり係数の関係を図10に示す。検証した因子の

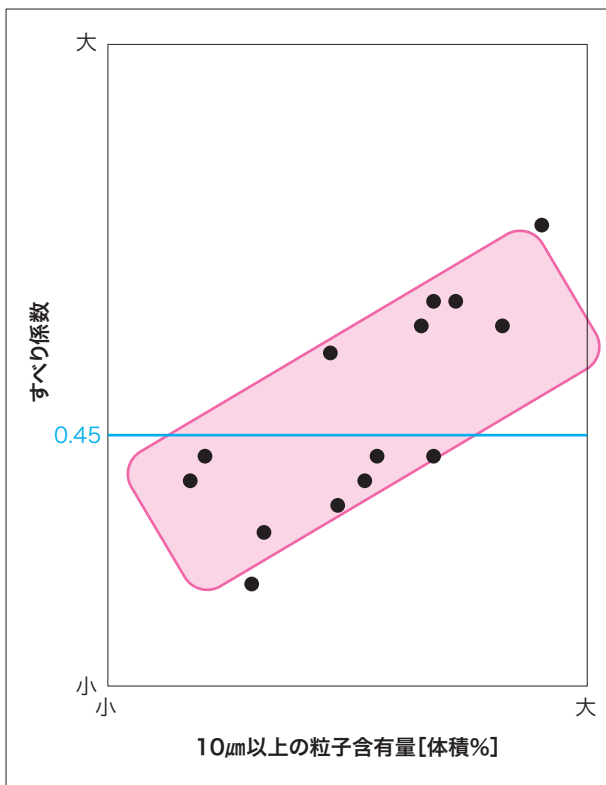


図10 すべり係数と粒度分布の関係

中で最も相関性のある結果が得られた。一方で、バラツキを含むため、顔料の粒度分布以外の因子も影響していると考えられる。

### 4.5 解析まとめ

4つの因子について、すべり係数との関係性を解析した結果、顔料の粒度分布が最も相関性が高い因子であることがわかった。

大粒子径の顔料割合を増やすことは、すべり係数を大きくするために有効だが、上塗塗膜の外観が悪くなる傾向がある。本検討では、上塗外観を損なわず、すべり係数0.45を満足し得る粒度分布が存在することがわかった。

## 5. 開発品の性能評価

以上の結果より、顔料の粒子径を最適となるようにコントロールし、高摩擦有機ジンクリッチペイント(開発品、以下HFと示す)を得た。得られた塗料について、各種評価を実施した。

### 5.1 すべり試験

リラクゼーション試験の結果を図11に示す。ボルト締め後、72時間程度で全ての試験体の軸力低下は収

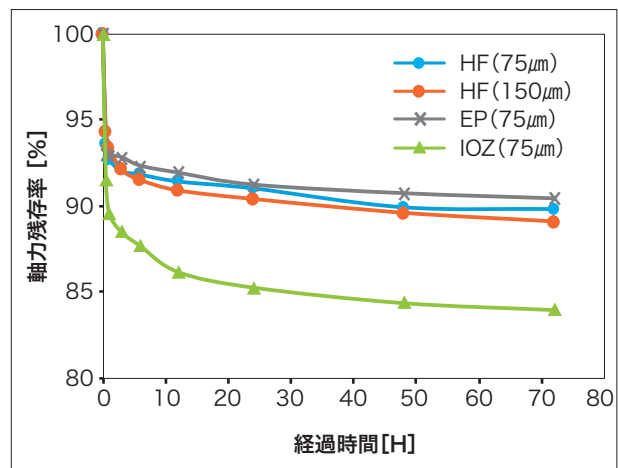


図11 すべり試験における軸力残存

まった。HFの軸力減少率は10%程度であり、無機ジンクリッチペイント (IOZ) より軸力減少率が小さかった。

すべり試験の結果を表3に示す。また、すべり係数と膜厚の関係をプロットした結果を図12に示す。HFは、IOZと同様に、すべり係数0.45を満足することを確認した。標準膜厚である75 $\mu\text{m}$ の場合にすべり係数が最も大きく、膜厚が増大するにつれ、すべり係数が緩やかに小さくなり、150 $\mu\text{m}$  (標準 $\times$ 2倍) までは0.45を超えていたが、240 $\mu\text{m}$  (標準 $\times$ 3倍以上) では0.45を下回った。また、55 $\mu\text{m}$  (標準 $\times$ 0.7倍) でも0.45以上を満たす。

表3 すべり試験結果

	膜厚 [ $\mu\text{m}$ ]	締付け軸力 [kN]	すべり荷重 [kN]	すべり係数
HF	55	223	414	0.46
	75	226	485	0.54
	147	228	434	0.48
	240	224	389	0.43
EP	80	224	361	0.39
	138	223	382	0.38
IOZ	79	225	559	0.59
	125	223	510	0.58

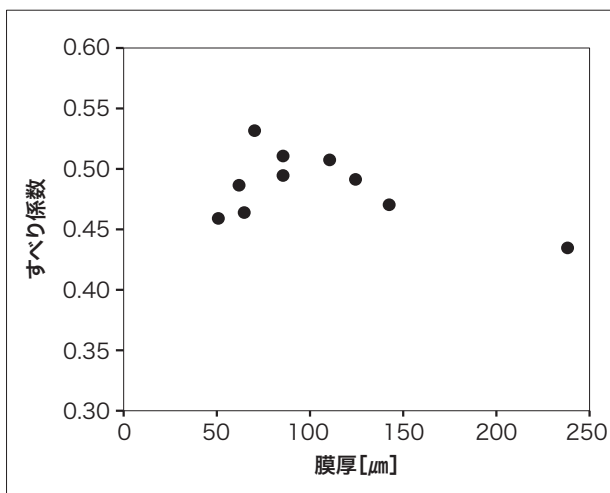


図12 すべり係数と膜厚の関係 (開発品)

## 5.2 塗装作業性

### ●ラボ試験塗装

塗料を均一に混合し、さらに希釈シンナーを用いて適正粘度 (10P以下; リオン粘度計) となるように希釈し、エアレス塗装機にてブリキ板上に塗装を行った。塗装条件を表4、塗装状況を図13に示す。霧化性は良好で、塗装作業性に問題はなかった。

表4 エアレス塗装条件

	試験塗装 (実験室)	塗装現場での施工
日時	2016年6月27日	2017年7月19日
温湿度	28°C50%RH	32°C71%RH
塗料粘度	8.5 ps	14 ps
チップ	#521	#415
吐出圧	70 psi	90 psi

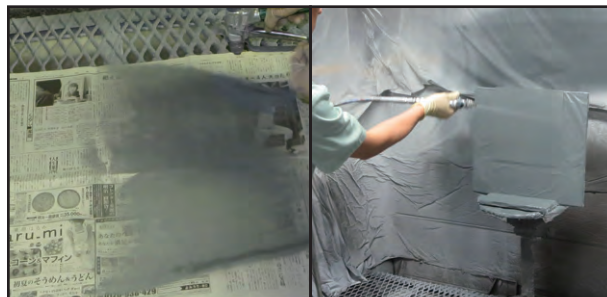


図13 塗装状況 (実験室)

### ●塗装現場での施工

実部材に、表4の条件で塗装業者による施工を行い、施工性を評価した。塗装後の実部材の外観を図14に示す。塗装作業性には問題なく、仕上がり外観も良好であった。



図14 実施工板の外観

### 5.3 塗料の性状および性能試験

JIS K 5553 2種に定められている項目を評価した結果を表5に示す。HF(開発品)は、JIS K 5553 2種の品質を有することが確認された。

表5 塗料の性状および性能評価結果

項目	品質	HF結果
容器中での状態	かき混ぜたとき堅い塊がなくて一様になること	合格
塗膜外観	塗膜の外観が正常であること	合格
ポットライフ	5時間で使用できること	合格
耐衝撃性 (500g×500mm)	衝撃によって割れおよびはがれが生じないこと	合格
厚膜性	厚塗り性に支障がないこと	合格
耐塩水噴霧性	塩水噴霧(240h)に耐えること	合格
耐水性	イオン交換水(240h)に浸したとき異常がないこと	合格
混合塗料の加熱残分%	75以上	合格
加熱残分中の金属亜鉛%	70以上	合格
屋外暴露耐候性	2年間の試験でさび、割れ、はがれおよび膨れがないこと	合格

## 6. まとめ

すべり係数に影響を及ぼす因子として、塗膜に含まれる顔料の粒度分布が重要であることを見出した。また、すべり係数0.45を満たすと共に、従来の有機ジンクリッチペイントと同等の品質を有する高摩擦有機ジンクリッチペイントを開発した。本開発品は、摩擦接合部と一般部の塗り分けが不要であるため、作業性の向上・工数の削減が期待できる。

### 参考文献

- 1)日本建築学会:鋼構造接合部設計指針(2012)
- 2)日本道路協会:道路橋示方書(Ⅱ鋼橋編)・同解説(2017)
- 3)特開2004-26972