

# 溶融亜鉛めっき高力ボルトの塗装品質向上に関する検討

Study on Improvement Coating Quality of Hot-dip Galvanized High Strength Bolt

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



尾田 光  
Akira ODA



桑原 幹雄  
Mikio KUWAHARA

## 要 旨

塗装された溶融亜鉛めっき鉄骨の高力ボルト接合部において、溶融亜鉛めっき高力ボルトのナット部分に塗装された塗膜が早期にはく離する事例がある。ナットには安定したトルク係数値を得るための潤滑処理が施されており、この処理に使用される潤滑剤が付着阻害因子となって塗膜のはく離に繋がっていると考えられる。本報では、溶融亜鉛めっき高力ボルト接合部の塗装品質を向上させることを目的として、種々の溶剤を用いて潤滑剤を除去し、塗装後の塗膜性能を評価した。その結果、溶剤の種類によって、塗装後の耐久性に差があることを見出した。

## Abstract

There are cases in which the applied coatings peels early its steel structure painted on a nut of a hot-dip galvanized high strength bolt joints. It is considered that this acts as an adhesion inhibitor a nut is lubricated to get a stable torque coefficient value used for this treatment and leads to peeling of a coatings film. In this report, we evaluated film performance after coating and remove the lubricant using various solvents for purpose to improving the coating quality of hot-dip galvanized high strength bolt joints. As a result, we have found that the durability after coating varies depending on the property nature and type of organic solvent.

## 1. はじめに

### 1.1 溶融亜鉛めっきへの塗装の目的

溶融亜鉛めっきは、亜鉛の優れた保護被膜作用と犠牲防食作用により、鋼構造物に長期耐久性を付与することができ、LCC(ライフサイクルコスト)の低減に有効な防食工法である。一般に、溶融亜鉛めっきは屋外環境において無塗装で供用されることが多いが、次のような目的では塗装される場合がある<sup>1)</sup>。

- ① 厳しい腐食環境下における耐久性向上
- ② 環境調和や美観を目的とした意匠性付与
- ③ 注意喚起や安全標識としての着色

このように、溶融亜鉛めっきは様々な目的により塗装される場合があるが、亜鉛特有の性質により塗装後に不具合を生じることがあるため、塗装製品の設置環境や使用条件を考慮して、適切な塗装設計が求められる。

### 1.2 溶融亜鉛めっき高力ボルトの塗装の不具合事例

亜鉛は化学的に活性が高いため、りん酸塩処理などの素地調整を実施しないで塗装した場合には、塗膜を透過した水分によって、亜鉛めっき面に腐食物質を生成し、体積膨張により塗膜を押し上げてはく離することがある(図1)。



図1 溶融亜鉛めっきにおける塗膜はく離事例

一方、溶融亜鉛めっき高力ボルトにおいては、図2に示すようにナット部分に塗装された塗膜が早期にはく離する事例がある。しかし、ナット表面や塗膜はく離面に亜鉛の腐食物質はほとんど付着していない。溶融亜鉛めっき高力ボルトには、安定したトルク係数値を得るため、図3のように潤滑処理が施されている<sup>2)</sup>。潤滑処理は潤滑剤溶液にナットを浸漬させて行われるため、潤滑剤はナットの内面のみでなく、外面にも付着する。従って、外面に付着した潤滑剤が塗膜の付着阻害因子となっていると推定される。



図2 溶融亜鉛めっき高力ボルトのナット部における塗膜はく離事例

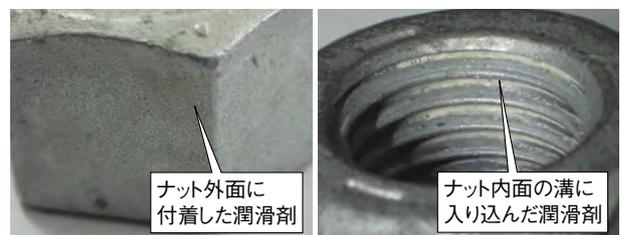


図3 潤滑処理されたナット(左:外面 右:内面)

### 1.3 本研究の目的

溶融亜鉛めっきに対する塗装において、長期耐久性を確保するには素地調整が重要となる。素地調整としては、建築および土木分野で実施されるようにりん酸塩処理やスリーブブラスト処理が有効であるが、現場において溶融亜鉛めっき高力ボルト接合部にこれらの処理を実施することは困難である。

現場で実施可能な素地調整として、例えば建築工事標準仕様書・同解説 JASS 18 塗装工事では、亜鉛めっき鋼面に対する素地調整2種の油類除去には溶剤ぶきが適用されている<sup>3)</sup>。

本報では、溶融亜鉛めっき高力ボルト接合部の塗装品質を向上させることを目的として、種々の溶剤による

「溶剤ぶき」を実施し、潤滑剤の除去効果を検証し、塗装後の塗膜性能を評価した<sup>4)</sup>。

## 2. 実験

### 2.1 溶融亜鉛めっき高力ボルト

図4に示すように、実施工で多用されている3種類(A社、B社、C社)の溶融亜鉛めっき高力ボルトのセットを用いた。いずれもナットのみ金属光沢が劣っており、粘稠性のある物質が付着している。



図4 溶融亜鉛めっき高力ボルトのセット  
(左からA社、B社、C社)

### 2.2 潤滑剤の組成分析

ナット表面に付着した潤滑剤を採取し、フーリエ変換赤外分光光度計(日本分光社製;FT/IR-4600)を用いて分析した結果を図5に示す。いずれのナットの潤滑剤も、主成分がステアリン酸ナトリウムやステアリン酸亜鉛といった脂肪酸の金属塩の混合物であると特定された<sup>5)</sup>。

一般に、溶融亜鉛めっきに油性塗料を塗装した場合には、塗料中の脂肪酸と亜鉛の反応により亜鉛めっき層と塗膜の界面に金属石鹸が形成され、塗膜はく離を早期に引き起こすことが知られている<sup>6)</sup>。すなわち、ステアリン酸塩系の潤滑剤を除去せずに塗装した場合

においても、亜鉛めっき層と塗膜の界面に脂肪酸の金属塩が介在することとなり、油性塗料のはく離メカニズムと同様に塗膜はく離を引き起こしていることが推察される。

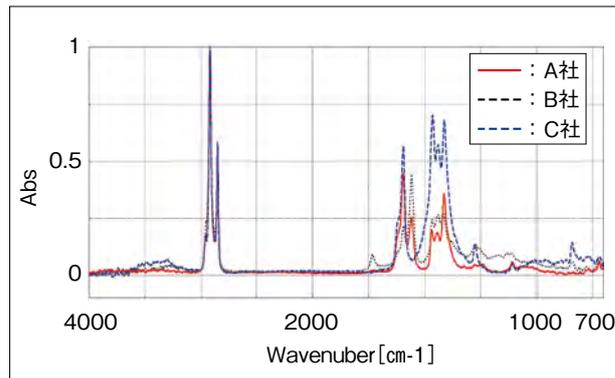


図5 潤滑剤のFT-IR分析結果

### 2.3 潤滑剤除去に用いる溶剤

潤滑剤の組成分析結果より、潤滑剤が付着阻害因子であることが推察される。したがって、塗装前に潤滑剤を除去することで塗膜はく離を抑制あるいは防止できると考えられる。そこで、潤滑剤を除去するのに適した溶剤を見出すため、汎用的かつ現場で使用可能な表1に示す種々の溶剤を選定し、潤滑剤の除去効果を検討した。また、塗装後の初期付着および耐湿性試験後の二次付着についても評価した。さらに、潤滑剤と溶剤の相溶性を詳細に検証するため、Hansen溶解球法によるHSP値測定を行った。

表1 検討対象とした溶剤

分類	溶剤の種類	略記
アルコール	イソブチルアルコール	IBOH
エーテル	エチレングリコールモノブチルエーテル	EGBE
ケトン	メチルエチルケトン	MEK
エステル	酢酸ブチル	BA
芳香族炭化水素	キシレン	XL
脂肪族炭化水素	ミネラルスピリット	MS

### 3. 評価方法

#### 3.1 試験体作製

図6に示すように、熔融亜鉛めっき高力ボルトの座金間に塩化ビニル樹脂製パイプを挟んで固定させた試験体を作製した。



図6 試験体

#### 3.2 素地調整

素地調整は、下記に示す3水準で実施した。

- ①無処理
- ②空拭き(ウエス拭き)
- ③溶剤拭き(表1に示した各溶剤を5ml含ませてウエス拭き)

その後、ナットの素地調整前後における表面状態をデジタルマイクロスコープ(キーエンス社製; VHX-5000)によって観察した。

#### 3.3 塗装および養生

素地調整を施した試験体に、JASS 18 M-109に該当する変性エポキシ樹脂プライマーを膜厚が $40\mu\text{m}$ となるように刷毛塗りし、室温 $23^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $50\%RH$ の屋内で1週間乾燥させた。完成した塗装試験体を図7に示す。



図7 塗装試験体

#### 3.4 付着性評価

塗膜に対して素地に達するX字の切り込み傷を入れ、セロテープはく離により塗膜付着性を評価した。さらに、耐湿性試験(JIS K 5600-7-2:連続結露法)に準じて、槽内温度 $50^\circ\text{C}$  相対湿度 $95\%RH$ 以上に1週間供試した後も同様の付着性評価を行った。

#### 3.5 Hansen溶解球法によるHSP値測定<sup>8)</sup>

純溶媒20種に対するステアリン酸ナトリウム(関東化学製;鹿1級)およびステアリン酸亜鉛(関東化学製;鹿1級)の溶解性評価を行った。サンプル瓶に各試料 $0.01\text{g}$ を測りとり、純溶媒 $10\text{ml}$ を加えて $25^\circ\text{C} \times 30$ 分間超音波にて溶解させた。30分間静置後、溶解状態を目視評価し、HSPiP 5.3.02を用いてHansen溶解球法によりHSP値を測定した。

## 4. 結果と考察

#### 4.1 素地調整前後における表面観察

素地調整前後の観察結果として、A社のナットを一例に選定し、無処理、空拭き、溶剤拭き(EGBE)した表面状態を図8に示す。

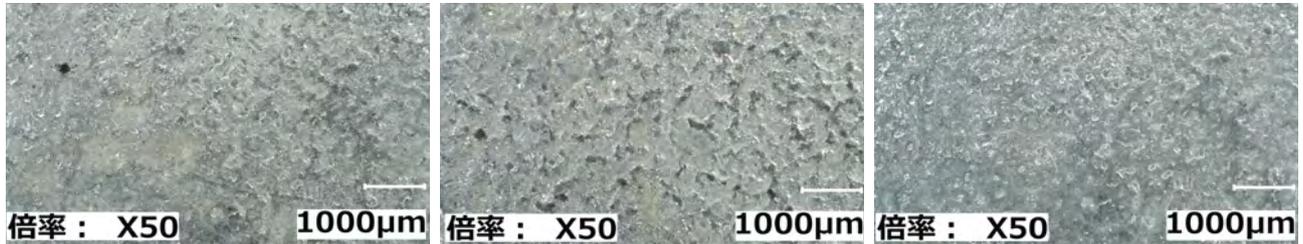


図8 A社のナット表面の拡大像(左:無処理 中央:空拭き 右:溶剤拭き)

無処理では、表面の微細な凹部にまで潤滑剤が入り込んでいるのが分かる。また、空拭き後は、潤滑剤の一定の除去効果が認められるが、不十分な状態である。

一方で、溶剤拭き(EGBE)に関しては、凹部の潤滑剤まで除去され、金属光沢を呈していることから、清浄面になったことが分かる。

### 4.2 付着性試験

塗膜付着性の評価結果を表2に示す。ナットの種類により塗膜付着性に差は見られるが、無処理では塗膜が全面はく離する傾向があり、溶剤を含まないウエス拭きでも付着性は十分に確保できていない。一方、溶剤拭きでは付着性の向上が認められ、特にEGBE、MEK、BA、MSにおいて良好な付着性を示している。

表2 塗膜付着性の評価結果

ボルトメーカー	付着性		無処理	空拭き	溶剤拭き					
					IBOH	EGBE	MEK	BA	XL	MS
A社	初期	外観								
		評価	×	×	△	○	○	○	△	○
	耐湿性試験後	外観								
		評価	×	○	○	○	△	○	△	△
B社	初期	外観								
		評価	×	△	△	○	○	○	○	○
	耐湿性試験後	外観								
		評価	×	×	△	○	○	○	△	○
C社	初期	外観								
		評価	△	△	×	○	○	○	○	○
	耐湿性試験後	外観								
		評価	△	△	○	○	○	○	○	○

【評価基準】 ○…はく離面積0% △…はく離面積1~20% ×…はく離面積21%以上

### 4.3 Hansen溶解球法によるHSP値の測定

純溶媒20種に対するステアリン酸ナトリウムおよびステアリン酸亜鉛の目視評価による溶解性の判断基準を表3に示す。ステアリン酸塩に対する良溶媒が少数のため、ここでは溶解性の判断基準を(Score 1:溶解 2:分散 3:膨潤 0:不溶)とし、1および2を良溶媒、3および0を貧溶媒として定めた。

表3 目視評価による溶解性の判断基準

Score	1	2	3	0
溶解状態	溶解	分散	膨潤	不溶
外観				
判定基準	良溶媒		貧溶媒	

この判断基準に基づいて、Hansen溶解球法にて決定したステアリン酸塩のHSP値を3Dグラフにプロットした結果をそれぞれ図9、10に、それぞれのステアリン酸塩のHSP値を表4に示す。図9、10および表4の結果から、いずれのステアリン酸塩も2つの溶解球を有していることがわかる。各ステアリン酸塩の溶解球は、ひとつは疎水性エリア、もうひとつは親水性エリアに位置しており、これはステアリン酸塩が界面活性剤として機能していることが示唆される。

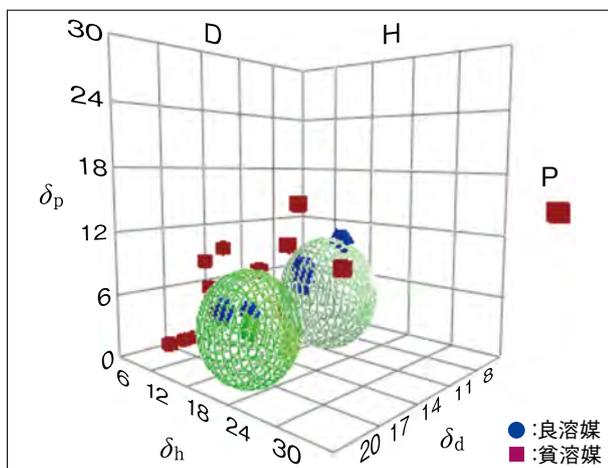


図9 溶解球法によるステアリン酸ナトリウムのHSP値

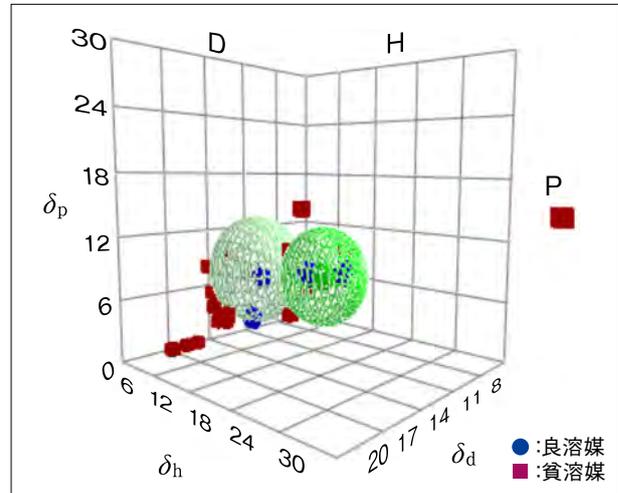


図10 溶解球法によるステアリン酸亜鉛のHSP値

また、表5に潤滑剤除去に用いた溶剤に対するステアリン酸塩のScore判定結果を示す。この結果は表2の付着性試験結果と相関傾向にあり、EGBEは潤滑剤の良溶媒であるため、潤滑剤を効率的に除去でき、良好な塗膜付着性を示したと考えられる。またMEK、BAやMSは潤滑剤を膨潤させる効果があるため、ウエスによる物理的処理が加わることで比較的良好な付着性が確保できたものと思われる。一方で、IBOHやXLにおいては、いずれか一方のステアリン酸塩が完全に不溶であるため、潤滑剤の除去効果が低かったと推察される。

表4 ステアリン酸塩のHansen溶解度パラメータ

種類	溶解球	$\delta_d$ [(J/cm <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup> ]	$\delta_p$ [(J/cm <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup> ]	$\delta_h$ [(J/cm <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup> ]	$\delta_t(=SP値)$ [(J/cm <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup> ]	$R_o$ [(J/cm <sup>2</sup> ) <sup>1/2</sup> ]	Fiting [-]
ステアリン酸ナトリウム	親水性	15.4	8.1	21.8	27.87	4.5	1.00
	疎水性	17.7	4.8	15.9	24.29	5.0	
ステアリン酸亜鉛	親水性	17.5	10.7	24.4	31.86	3.7	1.00
	疎水性	15.6	9.5	12.1	21.89	4.8	

$R_o$ : Hansen溶解球の相互作用半径

Fiting: 良溶媒と判断された溶媒がHansen溶解球内に含まれる割合

表5 潤滑剤除去に用いた溶剤のステアリン酸塩に対するScore判定

溶剤	Score	
	ステアリン酸ナトリウム	ステアリン酸亜鉛
IBOH	0	3
EGBE	1	2
MEK	3	3
BA	3	3
XL	3	0
MS	3	3

## 5. 実施工上の留意事項

### 5.1 マーキングについて

溶融亜鉛めっき高力ボルトの締付け完了後、全てのボルトについて、1次締め後に付したマークのずれにより共回りの有無、ナットの回転量を目視で検査する<sup>7)</sup>。

素地調整に用いる溶剤によっては、マークが消えてしまうため、締付け後の検査が完了した後に溶剤拭き作業に入る。

### 5.2 溶剤拭き作業について

実施工にあたっては、安定した塗装品質を確保するために、下記に留意しながら溶剤拭き作業を行う。

①溶剤拭きに用いるウエスおよび溶剤は、こまめに新

品に取り替える必要がある。汚染されたウエスを使い続けると、潤滑剤の除去効果も低下し、溶剤中に潤滑剤が溶け込み、その状態で溶剤拭きを実施しても清浄面にはならない。

②溶剤拭きの作業で保護手袋を使用する場合は、手袋の素材に注意が必要である。例えば、塩化ビニルやニトリルゴムなどは、耐溶剤性が低いため、成分が溶出し塗装面を汚染する。このため耐溶剤性の高いポリエチレン製などの手袋が推奨される。

## 6. まとめ

溶融亜鉛めっき高力ボルト接合部における塗装品質向上を目的として、溶融亜鉛めっき高力ボルトのナットに施されている潤滑剤の除去に関し検討を行った。潤滑剤の成分はステアリン酸の金属塩であることがわかり、汎用的かつ現場で使用可能な性質の異なる様々な溶剤による潤滑剤の除去効果を検証した。その結果、EGBE、MEK、BA、MSなどの溶剤が潤滑剤の除去に有効であると判断され、これらの溶剤はHansen溶解球法からも潤滑剤除去に適していることがわかった。これらの溶剤にて潤滑剤を除去した場合は、塗膜の付着性が確保されたため、溶融亜鉛めっき高力ボルト接合部の塗装品質の向上に貢献できるものと考えられる。

---

## 7. 謝辞

本検討に際し、ものづくり大学名誉教授 近藤照夫先生には貴重なご意見、ご指導をいただきました。ここに謝意を表します。

### 参考文献

- 1) (一社)溶融亜鉛鍍金協会:溶融亜鉛めっき上の塗装
  - 2) (一社)日本建築学会:高力ボルト接合設計施工ガイドブック, 2, p.112, 2016
  - 3) (一社)日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 18 塗装工事, 8, p.159, 2013
  - 4) 日本建築学会大会講演梗概集:  
「溶融亜鉛めっき高力ボルトの塗装品質向上に関する検討」, p.1325-1326, 2018
  - 5) 有機化合物のスペクトルデータベースSDBS:  
<http://sdbb.db.aist.go.jp> (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology)
  - 6) 牧島博:色材協会誌, 亜鉛鋼板に対する塗料の密着性に関する研究, 44, 4, p.155-160, 1971
  - 7) (一社)日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説 JASS 6 鉄骨工事, 11, p.38, 2018
  - 8) 接着の技術:「Hansen溶解度パラメタ(HSP値)を用いた溶解性評価」, 第34, 巻3号, p.219-216, 2014
-