

**Examination of the slipping performance on the friction joints of thermal spraying.**

前田 博\*      橋本秀成\*\*      新免俊典\*\*\*      高木一生\*\*\*\*      奥野眞司\*\*\*\*\*  
Hiroshi MAEDA    Hidenari HASHIMOTO    Shunsuke SHINMEN    Kazuo TAKAGI    Shinji OKUNO

**ABSTRACT** Recently, the number of cases where the thermal spraying is adopted as one of the methods of corrosion prevention has increased to decrease the life cycle cost of steel bridges. However, there is a necessity for confirming the frictional property of the joining section can obtain the slipping coefficient of 0.4 or more when the thermal spraying is applied as a method of the corrosion prevention of the steel bridge. In this report, it aims to be able to omit the verification test when it is clear to be able to confirm the slip coefficient from the outcome of the test.

**Keywords:** 金属溶射, ライフサイクルコスト, 摩擦接合, すべり係数  
*thermal spraying, life cycle cost, frictional joint, slipping coefficient*

## 1. はじめに

近年、鋼橋のライフサイクルコスト(LCC:初期建設費+維持管理費)の低減を目的とした防食方法の一つとして、金属溶射が適用される場合が増えてきている。金属溶射の主な施工実績としては、福岡北九州高速道路5号線(福岡都市高速)、山口県宇部小野田湾岸線等が挙げられる。

金属溶射を橋梁外面の防食方法として採用する場合、部材継手部における摩擦接合面のすべり係数に関して、 $\mu = 0.4$  以上のすべり係数が得られるかを確認する必要がある。

今回の報告においては、溶射条件を変えた時のすべり係数が $\mu = 0.4$  以上を確保出来るかの施工試験を行い、金属溶射継手部すべり係数の確認を行うことにより、現状では工事施工毎に実施している施工試験を省略可能なものとするを目的としている。

## 2. すべり試験方法

金属溶射工法は、大型鋼構造物を対象として実用化されていることから、ガスフレーム式溶射法およびアーク式溶射法を選定した。金属溶射材料としては、①アルミニウム、②アルミニウム・マグネシウム合金、③亜鉛・アルミニウム合金、④亜鉛・アルミニウム擬合金を選定し、すべり係数試験および高力ボルト締付け軸力の減衰試験を実施した。それぞれの試験に用いた試験片の仕様は、表1に示す通りとする。

### 2.1 すべり係数試験

#### 2.1.1 試験体

すべり試験体の概要を図1に示す。使用鋼材は、JIS G 3106 溶接構造用圧延鋼材(SM490材)を使用し、試験体の形状は「溶融亜鉛めっき高力ボルト接合法設計施工指針」にしたがうこととする。本試験で使用した溶融亜鉛めっき高力ボルト(以下高力ボルト)のセットの種類は1種A、等級は、

---

\*工博 (社) 日本橋梁建設協会 技術委員会 製作小委員会 防食部会  
(〒104-0061 東京都中央区銀座2丁目2番18号)

\*\* (社) 日本橋梁建設協会 技術委員会 製作小委員会 防食部会

\*\*\* 日本溶射工業会 (〒655-0035 神戸市垂水区五色山3丁目3番28号)

\*\*\*\* 日本溶射工業会 (〒655-0035 神戸市垂水区五色山3丁目3番28号)

\*\*\*\*\* MS工法協議会 (〒144-0052 東京都大田区蒲田5-13-23 TOKYU REIT 蒲田ビル2F)

表1 試験片における金属溶射仕様

溶射方法	封孔処理なし (μm)		
	ガスフレーム式	ZnAl	125
Al		175	—
AlMg		175	350
アーク式	封孔処理あり (μm)		
	Al	175	400
	MS	70	—

ZnAl : 亜鉛 85, アルミニウム 15 の重量比で製造された合金線.

Al : アルミニウム 99.5%以上の線材.

AlMg : アルミニウム 95, マグネシウム 5 の重量比で製造された合金線.

MS : アルミニウム 50 : 亜鉛 50 の重量比で溶射する工法 (MS 工法).

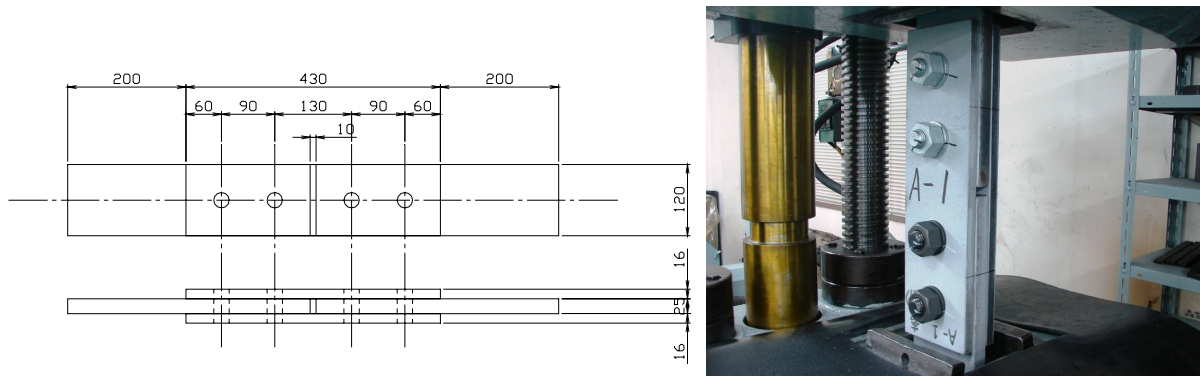


図1 すべり試験体概要図および試験時写真

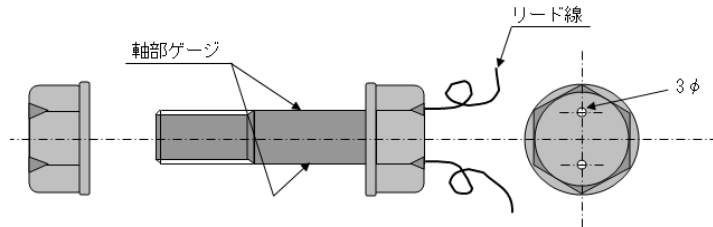


図2 ワイヤーストレインゲージ (WSG) 貼付け要領図

ボルト F8T (M24), ナット F10T, 座金 F35 とした. 試験体は, 片側をすべり側とし, 反対側を固定側とした. すべり側にはボルトの締付け軸力を測定するため, 図2に示すように, ワイヤーストレインゲージ (以下 WSG) を貼付した高力ボルトを使用した. 高力ボルトの締付けは, 一次締め, 本締めの2段階で行い, 一次締めはプレセット型トルクレンチを使用し, 150N・mの一次締めトルク値でナットを回転させて行った. 一次締めの後, ボルト, ナット, 座金および部材にわたりマーキングを施した本締めは, ナット回転角法専用レンチを用いて, 目標角度 120° までナットを回転させて締付けた. (なお, ボルト締付けおよびすべり試験は, 株式会社 NS ボルテン(大阪工

場及び行橋工場)において実施した.)

### 2.1.2 試験概要

引張校正試験として, WSG を貼付した高力ボルトを引張試験用の治具にセット後, 引張試験機にて引張荷重を載荷し, その時の歪量をストレインメーターで測定することにより実施した.

すべり係数試験は, 試験片の状態が異なる以下の条件において3回実施した. ①試験体組立て後, ②24時間以上経過後, ③締付け軸力減衰試験終了後. 試験体の固定側については約20°程度の追締めを行い, 試験体を引張試験機に垂直にセットした. なお, すべり側にはすべり変位量を測定するため, 試験体に罫線を入れることとした. 荷重は, すべりが発生

するまで徐々に载荷した。すべりの確認は、次のいずれかの現象が発生した場合とし、その荷重を測定した。

i) すべり音が発生した場合、ii) 引張試験機の指針が停止または降下した場合、iii) 試験体の野線がずれた場合、iv) クリップ型変位計の変位量が急激に増加した場合。

すべり係数は、計算式(I)より算出した。

$$\mu = \frac{P}{m \times n \times N} \dots\dots (I)$$

ここに、 $\mu$  : すべり係数、P : すべり荷重、m : 接合面の数(m=2)、n : ボルトの本数(n=2)、N : ボルトの軸力の平均値(初期導入軸力)。

## 2.2 締付け軸力の減衰（リラクゼーション）測定

### 2.2.1 試験概要

金属溶射皮膜のクリープおよびなじみの影響により、すべり係数へ与える影響を確認するために、締付け軸力の減衰（リラクゼーション）を測定することとした。すべり係数試験と同仕様にて作成した試験片の被締付け部材に、熔融亜鉛めっき高力ボルト（F8T M24）を締付けた場合における締付け軸力の減衰測定は、供試ボルトを2本とし、締付け直後から次の間隔で測定した。なお、高力ボルトの締付けは、すべり係数試験と同一条件とするため、一次締め、

本締めの2段階で行った。

リラクゼーション測定間隔					
0分	3分	5分	10分	30分	1時間
3時間	6時間	12時間	24時間	48時間	72時間

### 2.2.2 減衰率の算出

減衰率は、供試ボルト（2本）の平均値を用いて、計算式（II）により算出した。

$$\text{減衰率 (\%)} = \left[ 1 - \frac{\text{測定軸力}}{\text{締付け直後の軸力}} \right] \times 100 \dots\dots (II)$$

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 すべり係数試験結果

ボルトの締付け軸力は、締付け完了後時間の経過とともに減少するため、各試験体とも締付け直後の軸力を初期導入軸力とした。アーク式溶射機を使用し、封孔処理を施したアルミニウム溶射および亜鉛・アルミニウム擬合金溶射における試験片の場合は、すべり係数は $\mu = 0.52 \sim 0.64$ 程度であり、すべり係数の設計基準である $\mu = 0.4$ 以上を十分確保できる結果となった。また、ガスフレーム式溶射機を使用し、封孔処理を施さない亜鉛・アルミニウム合金、アルミニウム、アルミニウム・マグネシウム合金の溶射における試験片の場合は、すべり係数は $\mu = 0.5 \sim 0.69$ 程度であり、すべり係数の設計基準である $\mu = 0.4$ 以上を十分確保できる結果となった。その結果を図3に示す。

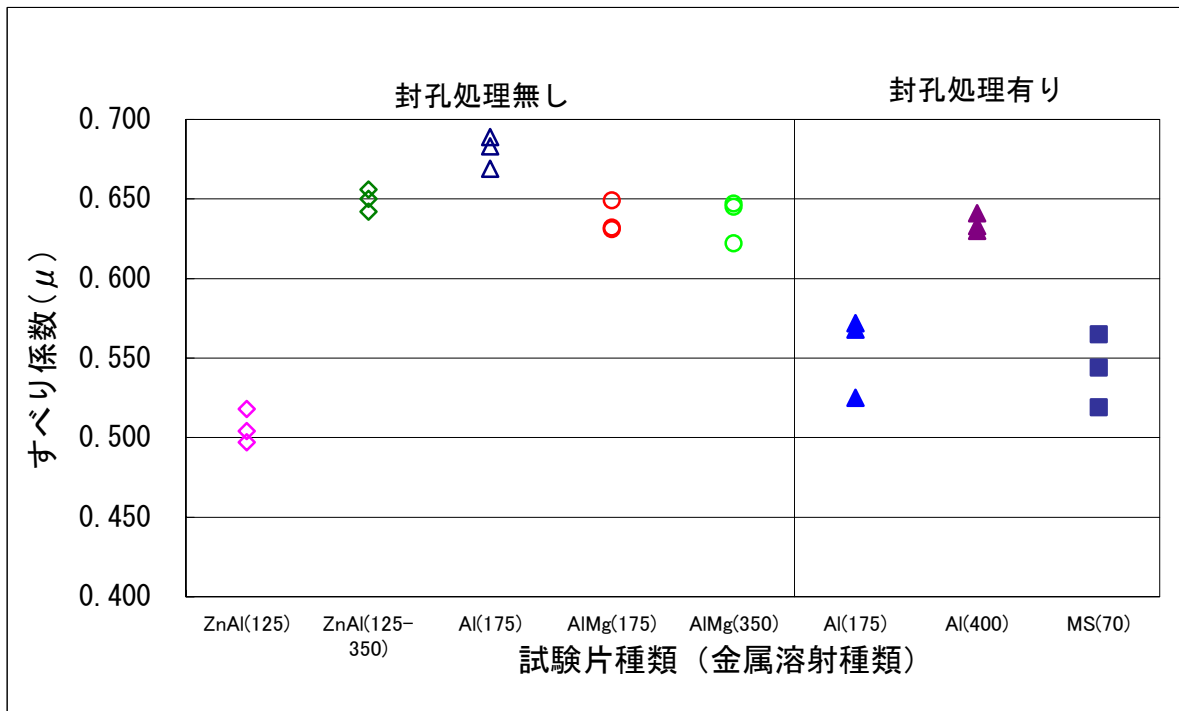


図3 すべり係数試験結果

### 3.2 締付け軸力のリラクゼーション試験結果

ボルト軸力のリラクゼーション試験結果は、試験部材を締付けた後、72時間にわたってWSGの歪量を測定し、初期締付け時の歪量と比較することで評価を行う。その結果を図4に示す。減衰率は、アルミニウム系溶射では4~6%程度、亜鉛系合金溶射では

10~13%程度であった。72時間経過後の締付け軸力の減衰率は、溶射金属が同種類の場合において、ほぼ同程度の減衰率を示しているが、膜厚の厚い試験片に関して減衰率が大きい傾向を示している。これは、金属溶射皮膜のクリープおよびなじみ等による影響を受けているものと考えられる。

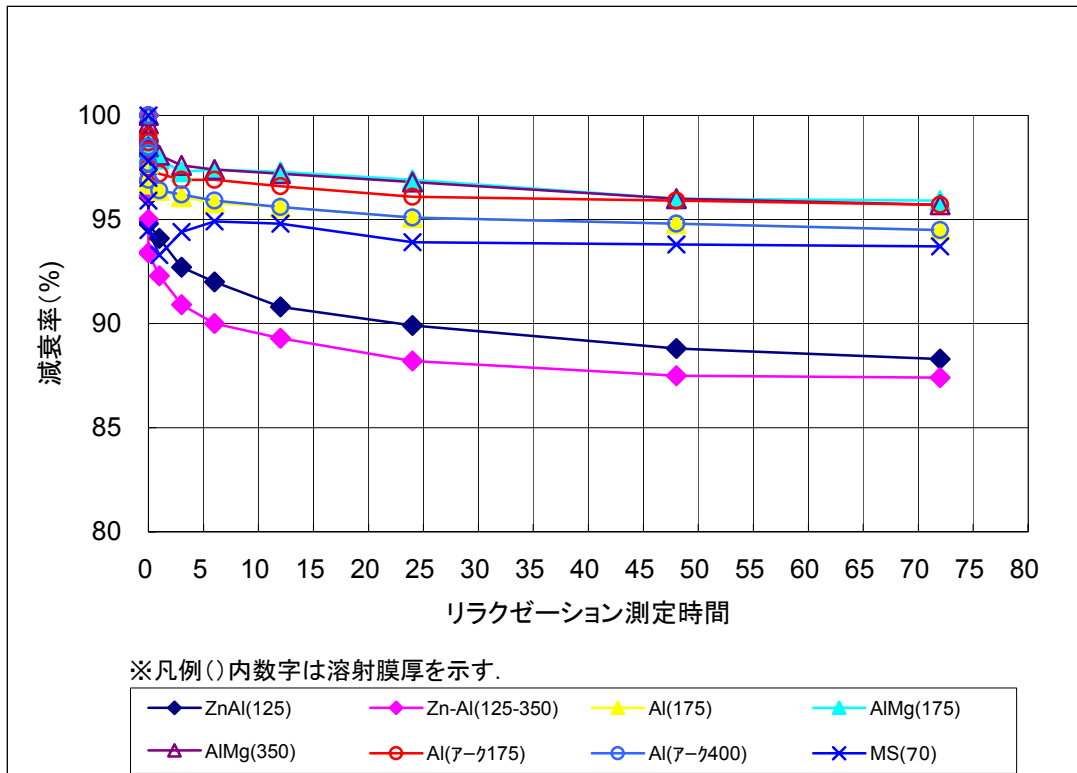


図4 ボルト締付け軸力のリラクゼーション試験結果

### 4. まとめ

今回の試験結果より、アーク式溶射機を使用したアルミニウム溶射および亜鉛・アルミニウム擬合金溶射の摩擦接合面におけるすべり係数は、摩擦面接合面に対して封孔処理を施した各組み合わせにおいて、設計基準 $\mu = 0.4$ を十分に上回ることが確認できた。

また、ガスフレーム式溶射機を使用した亜鉛・アルミニウム合金、アルミニウム、アルミニウム・マグネシウム合金の溶射では、封孔処理を施さない各組み合わせにおいて、設計基準 $\mu = 0.4$ を十分に上回ることが確認できた。さらに、締付け軸力のリラクゼーション試験においても、軸力を確保していることが確認できた。したがって、同条件にて溶射施工を行う場合には、今回得られた結果を適用することにより、継手部摩擦接合面のすべり係数確認試験を省略することが可能であると考えられる。

### 【参考文献】

「溶融亜鉛めっき高力ボルト接合工法設計施工指針」(社)日本橋梁建設協会