

# 高力ボルト摩擦接合のすべり耐力向上に関する実験的研究

構造工学研究室 澤田知幸

## 1. はじめに

写真-1 に示す高力ボルト摩擦接合継手は橋梁部材の接合部に一般的によく使われており、高力ボルトとそれに組み合わされたナットによって材片を強く締付け材片間の接合面に発生する摩擦力によって荷重を伝達する接合法である。ボルト本数を減少させることで施工性の向上を図ることができることから施工性の観点からボルト本数を減らしたコンパクトな継手形状の実現が求められている。

継手のコンパクト化を実現するための手法の1つに、接合面のすべり係数を上げる方法がある。我が国の鋼道路橋の接合面処理は防錆上の観点から厚膜型の無機ジンクリッチペイント塗布としている。また、接合面に対して低い硬度の金属溶射により高いすべり係数が期待できるという研究<sup>1)</sup>が報告されている。そこで、本研究では金属粉末を音速噴射による衝突エネルギーを用いてプラストと防食皮膜の形成が可能な低温低压型金属溶射工法<sup>2)</sup> (コールドスプレー工法、以下、CS 工法)に着目し、摩擦面に鋼より低い硬度の亜鉛を CS 工法で溶射した場合のすべり耐力特性を明らかにすることを目的としている。

## 2. 試験概要

### 2-1 すべり耐力特性評価方法

すべり耐力は、式(1)に示すように評価することが出来る。一般的に、摩擦面に無機系ジンク塗装を施した場合、ボルト軸力はリラクセーションにより、導入時の軸力が低下する一方で、すべり係数が増加するといわれている。そこで CS 工法を摩擦面に適用した場合の高力ボルトの導入軸力変化をリラクセーション計測し、すべり耐力試験を行うことで、その特性を分析する。また、CS 面のすべり特性の検証を目的にすべり耐力試験を行う。

$$\mu = \frac{F}{m \cdot n \cdot N} \quad \text{式(1)}$$

$\mu$  : すべり係数  
 $F$  : すべり荷重  
 $m$  : 面数  
 $n$  : ボルト本数  
 $N$  : 試験時軸力

### 2-2 試験パラメータ

図-1, 写真-2 に試験体を示す。すべり発生を容易に計測するために、ボルト1本側と2本側の配置とし、ボルト1本側のすべり荷重で評価を行う。表-1 に摩擦面の処理状況のパラメータを示す。パラメータは母材側に設定し、既往の研究で素地調整と防食効果が十分期待できる亜鉛(Zn)とアルミナ(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)の比率を60:40としてCS施工を膜厚が100 $\mu$ mになるように調整したCS膜厚100 $\mu$ m、膜厚が200 $\mu$ mになるように調整したCS膜厚200 $\mu$ m、膜厚が450 $\mu$ mになるように調整したCS膜厚450 $\mu$ m、亜鉛比率を100%としたCSZn100%を用意し、添接板側は無機ジンクを塗装し、母材に無機ジンクを施したケース、母材に無機ジンクを塗装したケース、2種ケレンのみのケースも併せて行った。



写真-1 高力ボルトを用いた摩擦接合

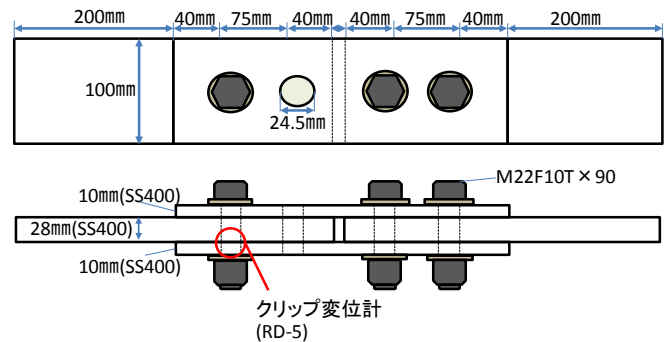


図-1 試験体寸法



写真-2 試験体写真

表-1 パラメータ一覧

	母材施工		添接板	膜厚
	CS(Zn)	CS(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )		
CS膜厚100 $\mu$ m	60%	40%	2種ケレン	98.7 $\mu$ m
CS膜厚200 $\mu$ m	60%	40%	2種ケレン	228 $\mu$ m
CS膜厚450 $\mu$ m	60%	40%	2種ケレン	434 $\mu$ m
CSZn100%型	100%	0%	2種ケレン	154 $\mu$ m
母材CS添接板 無機ジンク	60%	40%	無機ジンク	156 $\mu$ m
無機ジンク	無機ジンク		2種ケレン	101 $\mu$ m
2種ケレン	2種ケレン		2種ケレン	-



写真-3 リラクセーション計測



写真-4 ボルト頭部ひずみゲージ

## 2-3 試験方法

### (1) ボルト軸力のリラクゼーション計測

写真-3 に示すボルト軸力のリラクゼーション計測を行うために、写真-4 に示すボルト頭部にひずみゲージを貼り付け、軸力導入時と導入後のひずみの変化の計測を行った。なお、事前にボルト頭部のひずみゲージと高力ボルト軸力の関係の計測を行い、ボルト頭部のひずみゲージから算出した軸力値から式(2)を用いて高力ボルト軸力の残存率の評価を行った。

$$\text{残存率(\%)} = \frac{\text{試験時軸力(kN)}}{\text{導入軸力(kN)}} \times 100(\%) - \text{式(2)}$$

### (2) すべり耐力試験方法

写真-5 に示す 2,000kN 万能試験機を用いてすべり耐力試験を行った。すべり判定には供試体の母材と添接板の相対変位をクリップ変位計(RA-5)で測定し、相対変位が 0.2 mm 以内の最大荷重もしくは相対変位が 0.2 mm 時の荷重を採用した。図-1 にクリップ変位計の取り付け位置を示す。

## 3. 試験結果

### (1) ボルト軸力のリラクゼーション特性

図-3 にリラクゼーション計測の結果を示す。ボルト軸力の残存率は CS シリーズでは概ね現行基準である無機ジンクと同程度のリラクゼーション特性であることが確認できた。

### (2) すべり耐力特性

図-4 にすべり耐力試験の結果を示す。すべり荷重の判定は鋼構造接合部設計指針<sup>3)</sup>より、図-1 に示すクリップ変位計の相対変位 0.2 mm 以内の最大荷重もしくは相対変位 0.2 mm 時の荷重とし、評価式(式(1))を用いてすべり係数  $\mu$  を算出した。図-5 にすべり係数の結果を示す。図より、膜厚を大幅に増幅させた CS 膜厚 450  $\mu\text{m}$  ではすべり指数が大幅に上昇した。しかし、CS 膜厚 100  $\mu\text{m}$  と CSZn100%は無機ジンクのすべり係数と比べると低い値となった。

## 4. まとめ

本実験で得られたすべり耐力特性を以下に示す。

### (1) ボルト軸力のリラクゼーション特性

CS 工法シリーズは現行基準の無機ジンクと概ね同程度の特性を示し、膜厚や表面形状による差がないことが分かった。

### (2) すべり特性

摩擦面に CS 工法を適用した場合のすべり係数は摩擦面に無機ジンクを適用した場合と同程度である。しかし、CS 工法の膜厚が厚い場合はすべり係数が上昇した。一方、薄い場合や亜鉛のみを用いた場合、すべり係数が低下する傾向を得た。

## 参考文献：

- 1) 小池、平嶋ほか：こうすべり係数を有する無機ジンクリッチペイントの開発，土木学会 59 回年次学術講演会，I-584，2004.9
- 2) 山城、下里ほか：腐食面に対する SmartZIC 工法の適用性に関する研究，土木学会西部支部沖縄会第 5 回技術研究発表会，2016.3
- 3) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針，pp281-283，2006.3

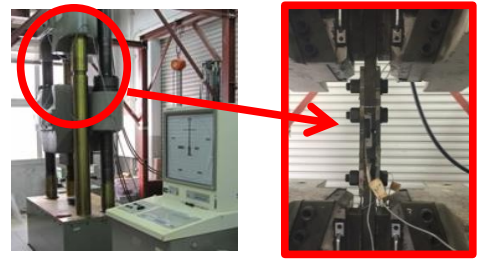


写真-5 すべり耐力試験

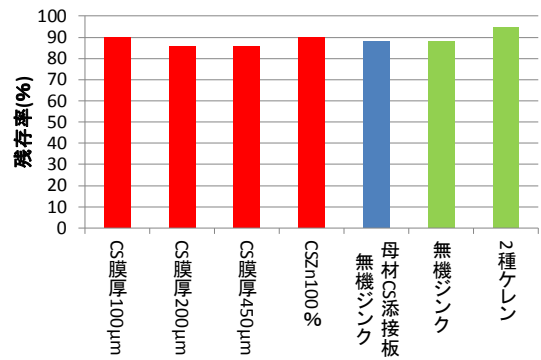


図-2 各パラメータにおけるボルト軸力の残存率

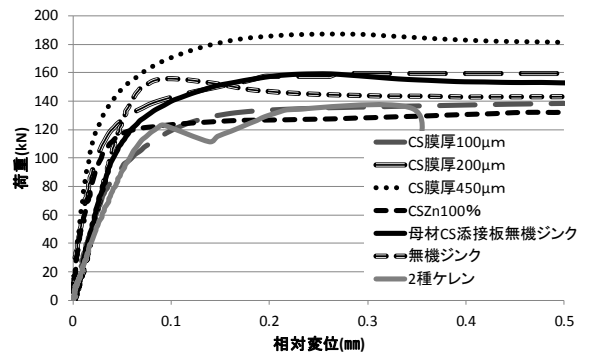


図-3 荷重と母材と添接板の相対変位の関係

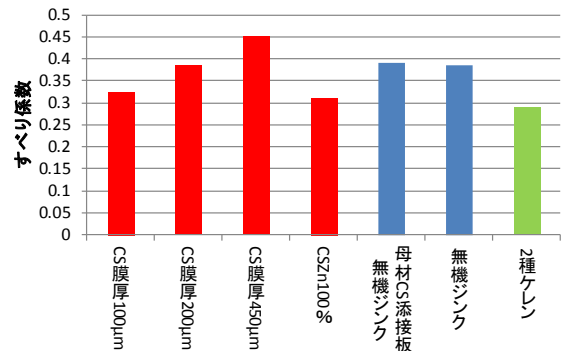


図-4 各パラメータにおけるすべり係数