

# 異種金属間に絶縁材を配置した摩擦接合継手のすべり耐力

大西孝典・村井啓太・澁谷 敦・上仙 靖・玉越隆史

## 1. はじめに

鋼道路橋において腐食による損傷は、橋の耐荷性能を著しく低下させる要因の一つであり、これを防ぐために種々の防食方法が取られている。防食方法として一般的に用いられている塗装は、一般的な環境での耐久性は十分あるものの、海岸付近や冬期に凍結防止剤を散布する等の厳しい環境では塗膜の劣化が早く、劣化範囲の塗り替え塗装に要する維持管理費が課題となる。また、耐候性鋼板も、飛来塩分の影響がある環境等では、腐食の進行の抑制を期待できる緻密なさびの生成が十分ではなく、鋼部材の断面欠損を伴う腐食が生じている事例が多く報告されている。このようなことから、無塗装でも高い防食性を発揮し、維持管理費の削減を期待でき、かつ、使用地域を限定しない高い耐食性を有する高耐久鋼材のニーズが高まっている。

高い耐食性を有する高耐久鋼材として、本検討ではステンレス鋼（以下「SUS鋼」という。）に着目した。SUS鋼は、一般構造用圧延鋼材（以下「SS材」という。）等の炭素鋼と比べてコストが高いものの、腐食しやすい箇所限定して適用する等、部材の適用箇所によってはライフサイクルコストが有利になると考えられる。一方で、炭素鋼とSUS鋼といった異なる鋼材を組み合わせる場合、高力ボルトや溶接による接合部において湿潤状態が維持されると、両鋼材の電位差による異種金属接触腐食の発生が懸念される。この異種金属接触腐食を防ぐためには、適切な方法で電気的な絶縁を行う必要があるが、長期の耐久性を有した絶縁の仕様やその仕様を適用した接合部の基本特性は標準化されていない。そこで、炭素鋼とSUS鋼との摩擦接合継手において、電気的な絶縁に配慮した接合面の処理方法を検討し、その処理方法を適用した継手のすべり耐力試験を行った。本稿では、その概要について報告する。

## 2. すべり耐力試験の試験体及び載荷方法

試験体の形状を図-1に示す。荷重の作用方向に2本のボルトを有する2面摩擦接合継手の引張試験体である。腐食による損傷が再発する可能性のある部位、点検や塗り替え塗装等の維持管理が困難な部位の部材を、SUS鋼部材に交換することを想定し、試験体の一方の母材をSS400、他方の母材をSUS316、連結板をSUS316とした。試験体に用いた高力ボルトは、日本鋼構造協会規格SSBS301に示される構造用ステンレス鋼高力ボルト10T-SUS(径M22、SUS630)である。高力ボルトの締付けはトルク法により、設計ボルト軸力205kNの10%増の226kNを目標に行った。

すべり耐力試験では、試験体に引張荷重を単調に載荷し、母材間の変位を計測した。すべり耐力は、母材間の変位が0.2mmに達したときの荷重、0.2mmまでに最大荷重が生じた場合はその荷重、及び母材間の変位が急激に大きくなったときの荷重のうち、最小の値とした。

## 3. 摩擦接合面の処理と電気的な絶縁の方法

異種金属の接触部において電気的な絶縁を行うため、鋼材同士が接触する摩擦接合面に絶縁材を配置する方法を検討した。接合面の処理方法と絶縁材の組み合わせを表-1、摩擦接合面の処理方法の模式図を図-2に示す。すべり耐力試験は、絶縁材の材質ごとにすべり耐力を把握するため、材質の候補4ケース（ケース1～4）、比較用の参考1ヶ

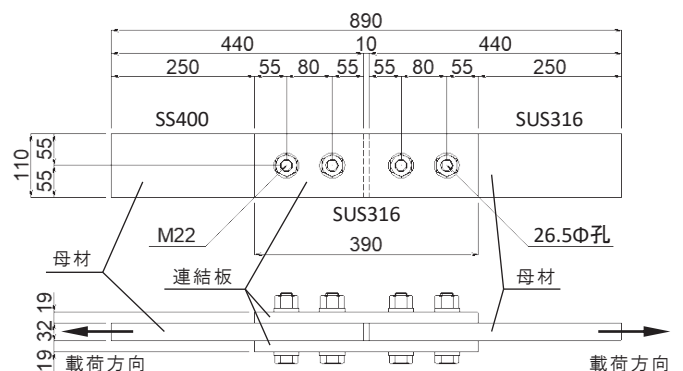


図-1 試験体の形状

表-1 摩擦接合面の処理方法と絶縁材の組み合わせケース

ケース	摩擦接合面の処理方法			フィラープレート
	母材 SS400	母材 SUS316	連結板 SUS316	
0	無機ジクロリッチペイント 目標膜厚75 $\mu$ m	ブラスト処理 Sa2.5	無機ステンレス粉末入塗料 目標膜厚75 $\mu$ m	なし
1	動力工具処理 St3	ブラスト処理 Sa2.5	アルミナ溶射 目標膜厚300 $\mu$ m	なし
2	動力工具処理 St3	ブラスト処理 Sa2.5	ガラスフレーク入塗料 目標膜厚175 $\mu$ m	なし
3	動力工具処理 St3	ブラスト処理 Sa2.5	ブラスト処理 Sa2.5	GFRP板 厚さ6mm
4	動力工具処理 St3	ブラスト処理 Sa2.5	ブラスト処理 Sa2.5	エポキシ樹脂板 厚さ1mm

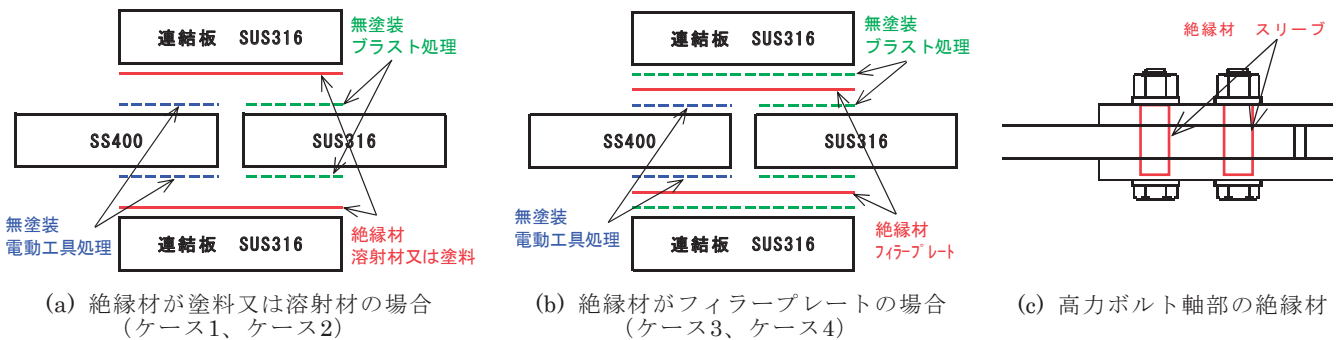


図-2 摩擦接合面の処理方法の模式図

ース (ケース0) の計5ケース行った。ケース1、2は、溶射材又は塗料に絶縁材としての機能を期待した仕様である (図-2(a))。ケース3、4は、絶縁材としてフィラープレートを配置する仕様である (図-2(b))。高力ボルトの軸部には、ケース1~4の全てにPTFE樹脂製のスリーブを絶縁材として配置した (図-2(c))。ケース1~4の電気的な絶縁の良否は、炭素鋼とSUS鋼との両鋼材に印加電圧を与え、絶縁抵抗計により高い抵抗値が計測されることで確認した。

ケース1は、耐磨耗部品や電気絶縁部品等に用いられている表面処理方法のアルミナ溶射を連結板の接合面に行った。ケース2は、エポキシ樹脂塗料にガラスフレークを含有させた塗料により、絶縁とすべり係数が確保できることを期待して選定した。ケース3では厚さ6mmのガラス繊維強化プラスチック板 (以下「GFRP板」という。) を、ケース4では厚さ1mmのエポキシ樹脂板を、それぞれ絶縁フィラープレートとして母材と連結板の間に配置した。ケース1~4におけるSS400の母材の摩擦接合面は、既設部材を想定してグラインダーによる動力工具処理とし、新設部材を想定したSUS316の母材はブラスト処理とした。なお、ケース4で選定したエポキシ樹脂板は、文献2)で

検討された材料と同じであり、炭素鋼とSUS鋼との摩擦接合継手に対する性能を確認した。ケース0は、文献3)に示されている炭素鋼とSUS鋼との接合における摩擦接合面の処理方法であり、電气的に絶縁されていないが、ケース1~4のすべり耐力と比較することを目的とした参考ケースである。

## 4. 試験結果

### 4.1 使用鋼材の機械的性質

表-2に試験体の母材及び連結板に使用した鋼材のミルシートから機械的特性を示す。SS400の降伏点とSUS316の0.2%耐力は同程度であるが、引張強さは大きく異なる。SUS316の引張強さはSM570材に相当し、伸びはSS400の約2倍の値を示している。図-3に板厚32mmと19mmのSUS316の引張試験において記録された荷重と変位の関係を示す。鋼材の引張試験片のうち、板厚32mmはJIS Z 2201 1A号、板厚19mmは5号試験片である。図-3より、0.2%耐力に相当する曲線の勾配が変化する位置を過ぎると、荷重は徐々に増加するが試験片の軸方向の変形は大きくなる。最大荷重に到達後、急激に強度が低下し、試験片は破断に至っている。SUS鋼は、降伏以降の伸び性能が十分に期待できる材料と考えられる。



### 4.2 リラクゼーション計測

高力ボルトの締付け直後から71日後における試験体のボルト軸力の減少量を図-4に示す。接合面にアルミナ溶射を行ったケース1のボルト軸力の減少量が、5ケースの中で最も小さい。次が厚さ1mmのエポキシ樹脂板を接合面に配置したケース4で、ボルト軸力の減少量は10.4～13.5%であった。ボルト軸力の減少量が最も大きいのは、厚さ6mmのGFRP板を接合面に配置したケース3で、ボルト軸力の減少量は16.5～17.8%と約18%近くあり、接合面に挟んだ板の厚さが影響しているものと考えられる。高力ボルトの締付けボルト軸力は、リラクゼーション等を考慮して設計ボルト軸力の10%増が標準とされている。絶縁材とするフィラープレートが厚い場合は、締付けボルト軸力を高めに設定する等の留意が必要である。

### 4.3 すべり耐力

図-5に各ケースの荷重と母材間の変位の関係を示す。ケース1は、ケース0と同程度のすべり耐力を有し、最大荷重に達した後、荷重の低下とともに母材間の変位が増加する。ケース0と比較してケース1の荷重の低下は急激である。一方、フィラープレートを配置したケース3、4は、ケース1やケース0と比較してすべり耐力は低いが、すべり発生後に荷重の低下はなく、母材間の変位の増加とともに荷重も緩やかに増加する傾向がみられた。なお、連結板の接合面にガラスフレーク入塗料を用いたケース2は、全ての試験体において荷重の載荷直後からすべりが生じる結果となった。

表-3に各ケースの試験体のすべり係数を示す。ここで、すべり係数は、接合面のすべり難さを表し、設計ボルト軸力に対するすべり耐力の比で定義される。ケース1のすべり係数は、3体の平均で0.528、最小で0.495であり、ケース0と同程度の値であった。フィラープレートを配置したケース3、4のすべり係数は、ケース1やケース0と比較すると低いが、3体の平均で0.3以上であった。

写真-1にすべり耐力試験後の摩擦接合面の状況を示す。荷重の載荷直後からすべりが生じたケース2では、連結板に塗装したガラスフレーク入塗料が母材側に付着しており、被膜が柔らかく接合面に摩擦力を伝達する能力がなかったと考えられる。ケース1のアルミナ溶射は、皮膜に剥離や割れが生じておらず、ブラスト処理した母材が少し

表-2 試験に用いた鋼材の機械的特性

区分	鋼種	板厚 (mm)	引張試験		
			降伏点 又は 0.2%耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)
PL	SUS316	32	256	580	63
PL	SUS316	19	249	585	61
PL	SS400	32	246	409	36

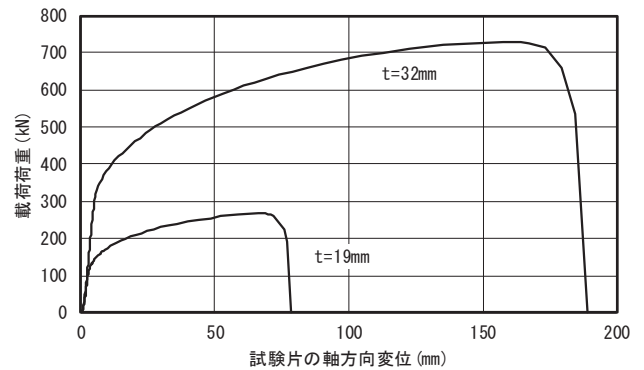


図-3 試験に用いたステンレス鋼の荷重と変位の関係

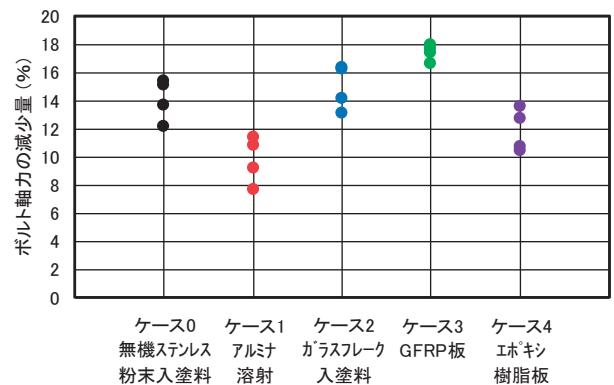


図-4 リラクゼーション計測の結果

削り取られていた。アルミナ溶射は、摩擦接合に要する鋼板との付着力と硬さを十分有していると推定される。また、ケース3、4のフィラープレートに割れ等の不具合は見られなかった。

## 5. まとめ

高い耐食性を有するSUS鋼を適材適所に用いることで、鋼道路橋の耐久性を向上させる手法の確立を目指し、電気的な絶縁に配慮した炭素鋼とSUS鋼との摩擦接合面の処理方法を検討した。接合面に絶縁材を配置した摩擦接合継手のすべり耐力試験を行い、絶縁材の材質によっては実橋梁に適用できる程度の耐力を有することを確認した。

本稿で検討した摩擦接合面の処理方法は、接合部に電気的な抵抗を確保できるが、異種金属接触

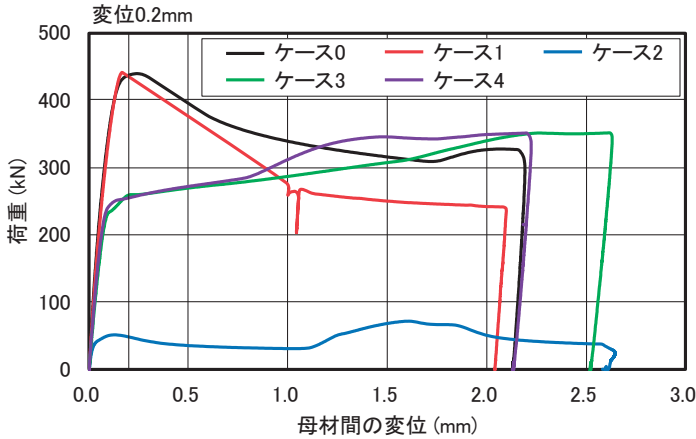


図-5 荷重と母材間の変位の関係

表-3 絶縁材とすべり係数

ケース	絶縁材	すべり係数 (3体平均)
— ケース0	無機ステンレス粉末入塗料 (すべり係数の比較用)	0.503
— ケース1	アルミナ溶射	0.528
— ケース2	ガラスフレーク入塗料	—
— ケース3	GFRP板	0.346
— ケース4	エポキシ樹脂板	0.335

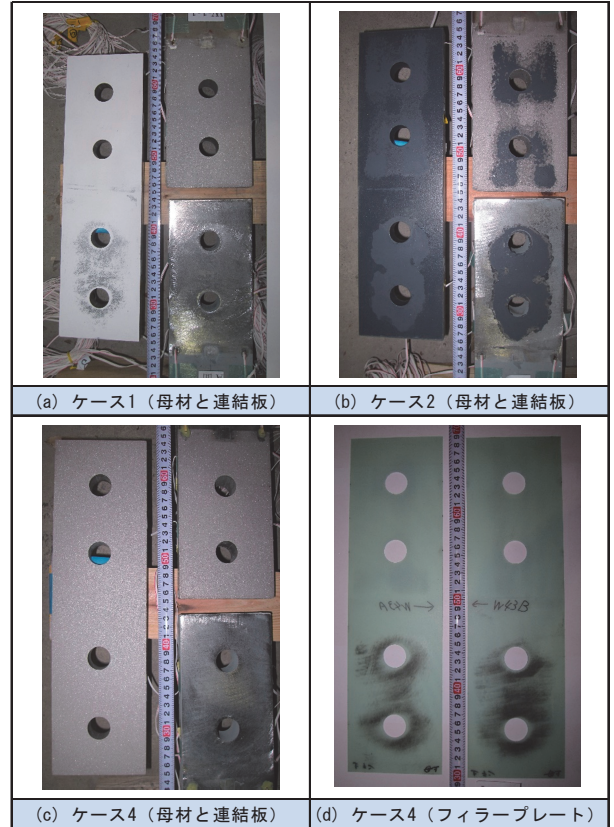


写真-1 すべり耐力試験後の摩擦接合面の状況

腐食に対する長期の耐久性を確認できていない。そのため今後は、腐食促進試験等により本処理方法を適用した摩擦接合継手部の耐久性を評価する予定である。また、SUS鋼を用いた部材の載荷試験や材料特性を考慮した解析検討により、SUS鋼部材の耐荷力の評価方法を検討する計画である。

謝 辞

本試験は、土木研究所、日本鋼構造協会、日本橋梁建設協会、長岡技術科学大学、長岡工業高等専門学校、早稲田大学、本州四国連絡高速道路との共同研究「耐久性向上のための高機能鋼材の道

路橋への適用に関する共同研究」の一環として実施されたものである。ここに記して、共同研究者の皆様へ謝意を表します。

参考文献

- 1) 玉越隆史、横井芳輝、岡田紗也加、水口知樹、強瀬義輝：耐候性鋼橋の外観性状によるさび状態の評価法に関する研究、国土技術政策総合研究所資料、第828号、2015.2
- 2) 市川篤司、長嶋文雄、山田稔、羽田政浩：絶縁性を付与した摩擦接合継手の静的強度および疲労強度試験、土木学会論文集、No.546/ I -37、1996.10
- 3) 日本鋼構造協会：ステンレス鋼土木構造物の設計・施工指針(案)、2015.11

大西孝典



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 研究員  
Takanori OHNISHI

村井啓太



研究当時 土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ研究員、現首都高速道路(株)  
Keita MURAI

澁谷 敦



研究当時 土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 交流研究員  
Atsushi SHIBUYA

上仙 靖



土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員  
Yasushi JOSEN

玉越隆史



研究当時 土木研究所構造物メンテナンス研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員、現京都大学経営管理大学院 特定教授、博士(工学)  
Dr.Takashi TAMAKOSHI