

## 断面観察による高力ボルト摩擦接合 GFRP 継手の表面塗装がすべり耐力に及ぼす影響評価

大阪公立大学大学院 学生員 ○関本 将貴 大阪公立大学大学院 正会員 林 巖  
 大阪公立大学大学院 正会員 山口 隆司 宮地エンジニアリング(株) 正会員 久保 圭吾  
 宮地エンジニアリング(株) 正会員 酒井 圭一 宮地エンジニアリング(株) 正会員 青木 海

## 1. はじめに

ガラス繊維強化ポリマー（Glass Fiber Reinforced Polymer：以下、GFRP）の軽量、高耐食性などの優れた性質から、橋梁付属物への適用も進んでおり、部材接合には、鋼構造物での実績が多い高力ボルト摩擦接合の適用が望まれている。筆者らは、**図-1**に示す薄板 GFRP 部材の高力ボルト摩擦接合継手（以下、GFRP 継手）を対象に、引張試験を実施し、母材のフッ素樹脂塗装により試験前ボルト軸力に対するすべり係数 $\mu_1$ が向上することを示した（**図-2**）<sup>1)</sup>。一方、その要因は明らかとなっていないため、本研究では、接触圧試験と引張試験後の試験体のすべり面および断面観察を行い、すべり耐力に及ぼす表面塗装の影響を検討した。

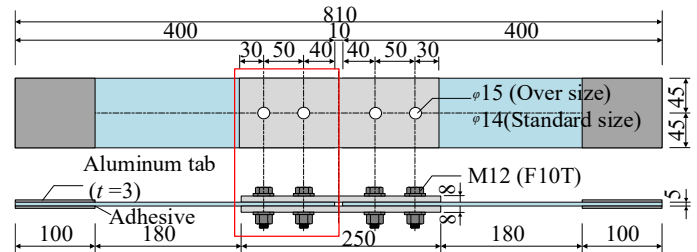
## 2. 研究手法

試験体形状を**図-1**、試験体パラメータを**表-1**に示す。母板は GFRP 引抜成形材、連結板は溶融亜鉛メッキ処理した SM400A、ボルトは M12(F10T)を使用した。本研究では、ボルト締付時に、試験体の母板表面に作用する接触圧を測定するため、接触圧試験を行った。試験には中圧用（測定範囲 10~50N/mm<sup>2</sup>）の圧力測定フィルム（Fujifilm）を用いた。これは、設計ボルト軸力（M12：52.2kN）に対する接触圧が、ボルトーワッシャ間の接触部から 45°に広がると仮定した場合 39.3N/mm<sup>2</sup>と算出されたためである。これを、ボルトのヘッド側とナット側の 2 か所の接合面に挿入後、締付を行い、圧力画像解析システムにより接触圧分布を測定した。

また、すべり面および断面観察は、すべり発生直後に試験体を解体し実施した。断面観察の手順は、まず、切断した試験体を樹脂を用いて、試料作製装置により加熱硬化によって、**図-3**に示す断面観察用試料を製作する。観察断面を鏡面仕上げして、倒立型金属顕微鏡より観察した。拡大倍率は 200 倍とした。

## 3. 試験結果および考察

**図-4**にボルト締付時の接触圧分布、**表-2**に接触圧分布面積と平均圧力を示す。**図-4**の黒枠は、ボルトーワッ

図-1 試験体形状（単位：mm）<sup>1)</sup>表-1 試験体パラメータ<sup>1)</sup>

Case	Surf. coating of GFRP	Surf. coating of connecting plate	Axial force	Bolt hole	$\beta$
R1-100-PNL	Unpainted	Phosphate treat.	100%	Over( $\phi 15$ )	0.62
R1-100-PPL	Painted		(52.2kN)		

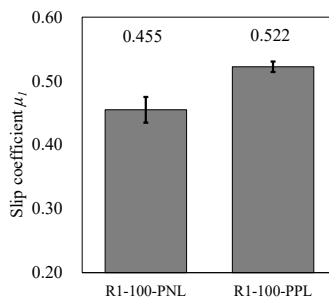
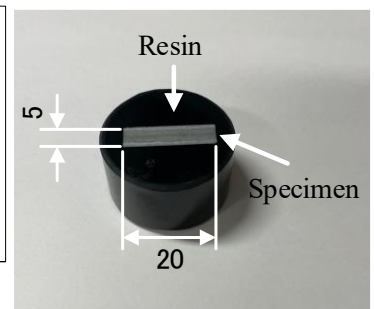
\*  $\beta$  : Designed slip/yield resistance ratio図-2 すべり係数 $\mu_1$ <sup>1)</sup>

図-3 断面観察用試料（単位：mm）

シャ間の接触部から 45° に広がると仮定した場合の接触範囲である。接触圧分布面積は、**図-4**中の接触圧が 10~50N/mm<sup>2</sup>の範囲とした。

**図-4**、**表-2**より、接触圧分布面積は、両ケースともに概ね同等であるが、接触圧は、塗装有の方が高く、濃赤色の範囲が大きいことがわかる。また、平均圧力は、塗装無では 21.8N/mm<sup>2</sup>、塗装有では 25.9N/mm<sup>2</sup>となっており、塗装有の方がやや高く、密着性が高くなったためと推察される。ただし、接触圧分布には、連結板の表面粗さも影響すると考えられるため、今後も接触圧と表面粗

キーワード GFRP, 高力ボルト摩擦接合, すべり係数, フッ素樹脂塗装, 断面観察

連絡先 〒558-8585 大阪市住吉区杉本 3-3-138 大阪公立大学大学院 工学研究科 都市系専攻 TEL06-6605-2765

さの分析を行う。

図-5 にすべり後の試験体の接合面性状を示す。いずれの試験体も接触圧の高いボルト孔周辺やボルトピッチ間で、明瞭なすべり痕があった。塗装無では、GFRP 表層部において母板の表面に損傷が認められる一方で、塗装有では塗装面のみの剥離が見られた。

図-5 中の(1)~(4)に示す位置での断面の拡大写真を図-6 に示す。(a), (c)は、連結板の接触範囲外であり、塗装面は健全状態である。(b), (d)は、接触圧が高くすべり痕が見られたボルト孔付近であり、塗装面は塗膜剥離あるいは損傷状態である。なお、図中の実線はそれぞれの界面であり、(a), (b)中では実線より下側が GFRP である。(c), (d)中の白色の層はフッ素樹脂塗装であり、それより下側が GFRP となる。

図-6(a), (b)より、塗装無のケースは、図-5(a)ではすべり痕が認められるが、すべり発生部の断面を拡大しても大きな変化が無いことがわかる。そのため、最表層の樹脂のみが損傷していると考えられる。一方、図-6(c), (d)より、塗装有のケースは、硬化樹脂とフッ素樹脂塗装の界面に凹凸が認められ、図-5(b)の塗装の剥離位置では GFRP に達するまで樹脂が消失していた。このことから、塗装有のケースにおいては、連結板とフッ素樹脂塗装の接触面ですべりが発生していると考えられる。

また、フッ素樹脂塗装にのみ凹凸が認められており、フッ素樹脂塗装が柔らかいという特性から、連結板と母材の密着性が向上し、接触圧が高くなったため、すべり係数が高くなったと考えられる。そのため、GFRP の表面処理には、比較的柔らかい素材を用いると、すべり耐力を向上できる可能性がある。

#### 4. 結論および今後の課題

高力ボルト摩擦接合 GFRP 継手において、母材よりも柔らかい素材で塗装することで、連結板と母材間の密着性が良くなり、すべり耐力が向上する可能性を示した。ただし、連結板の表面粗さの程度や塗装厚、塗装素材の弾性係数などにも影響されるため、今後はこれらの検討を実施する予定である。

#### 謝辞

本研究の一部には、JSPS 科研費（課題番号：21K14234）の助成を受けた。ここに謝意を表します。

#### <参考文献>

- 1) 関本将貴, 林巖, 山口隆司, 久保圭吾, 酒井圭一, 青木海：薄板 GFRP を用いた高力ボルト摩擦接合継手のすべり挙動, 令和4年度土木学会関西支部（投稿中）

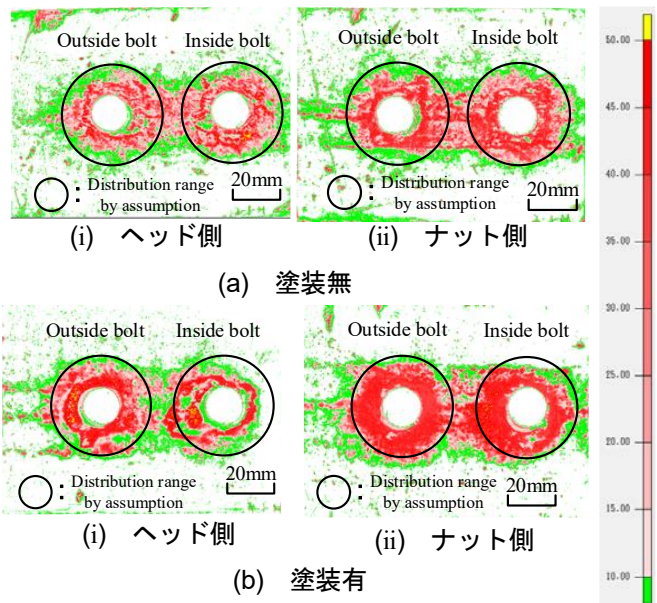


図-4 接触圧分布（単位：N/mm<sup>2</sup>）

表-2 接触圧分布面積と平均圧力

Case	Distribution area(mm <sup>2</sup> )		Average pressure(N/mm <sup>2</sup> )
	Head side	Nut side	
R1-100-PNL	2193	2450	21.8
R1-100-PPL	2009	2644	25.9

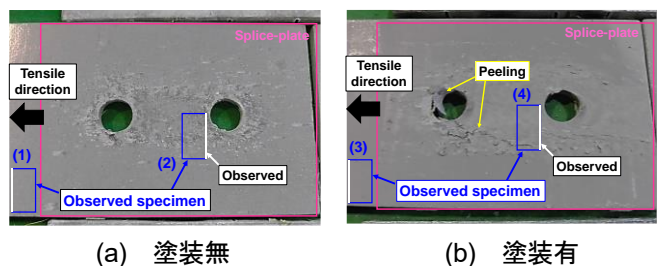


図-5 すべり後の試験体

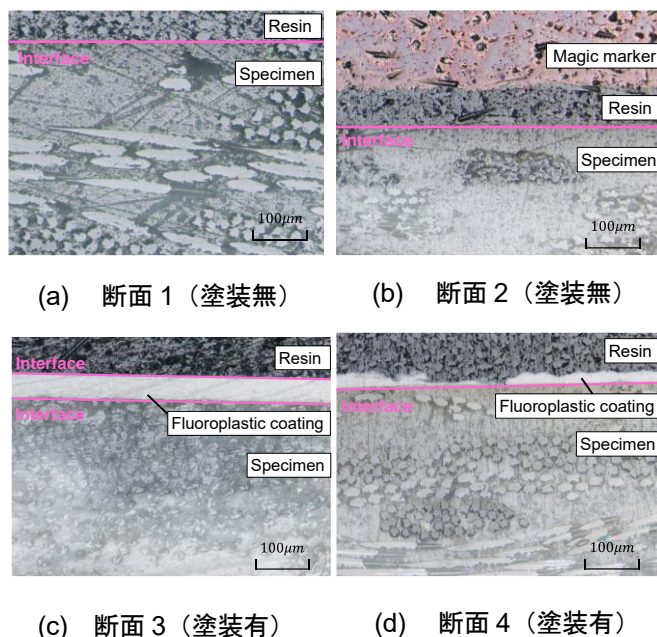


図-6 断面の拡大写真