

## GFRP 材料を用いた高力ボルト摩擦接合の力学的挙動

広島工業大学大学院 学生会員 ○永田 拓也  
 中電技術コンサルタント 正会員 石丸 勝  
 旭硝子マテックス 正会員 林 耕四郎

広島工業大学 正会員 皆田 理  
 エス・エム・エー 正会員 勝野 壽男

**1.はじめに** 周囲を海に囲まれた日本は土木構造物に対する腐食環境が厳しい。そこで軽量、高強度、優れた耐腐食性のある GFRP 材料を橋梁に使用するための研究開発が実施されている。本研究は、施工の容易性を考慮して、鋼橋の現場接合に用いられている高力ボルト摩擦接合を GFRP 材料を用いた構造物の接合法に適用するため、同材料を用いた構造物の合理的接合法確立のための基礎資料を得ようとするものである。なお、ここでいう GFRP 材料を用いた高力ボルト摩擦接合とは、主板に GFRP 材料、添接板に鋼材を用いた継手である。

### 2. GFRP 材料を用いた高力ボルト接合の軸力変動

本研究で用いた FRP 材料はガラス繊維で補強した GFRP 引抜材である（繊維含有率 53%）。表-1 に GFRP 材料の材料特性を示す。GFRP 高力ボルト摩擦接合における高力ボルトのレラクセーションを確認するため、主板、及び添接板の板厚を変えた試験体を作成し、ボルト軸力の追跡調査を行った。使用した高力ボルトは F10T、M20 である。導入ボルト軸力は道路橋示方書に規定する設計ボルト軸力 161.9kN とした。なお、導入軸力の測定はボルト軸部に貼付したひずみゲージにより行った。図-1 に供試体の種類、及び形状、寸法を示す。図-2 は経過日数と軸力低下率との関係を示したものである。同図より、経過日数約 60 日目までは全ての供試体において 15~30% の軸力低下を示している。これは主として主板となる GFRP 材料の粘弾性挙動であるクリープ現象によるものと考えられる。60 日目以降においては各供試体において若干の増減はあるものの軸力の減少傾向は認められない。鋼添接板厚が同じものでは、GFRP 材の板厚が厚い方が低下率が大きい。また、主板である GFRP 材の板厚が同じものでは、鋼添接板厚の薄い方が低下率は大きい。これは、鋼添接板厚が薄い場合、軸力導入による圧縮力の分布域が狭くなり、GFRP 材に作用する応力が大きくなるためと考えられる。

### 3. 静的引張試験

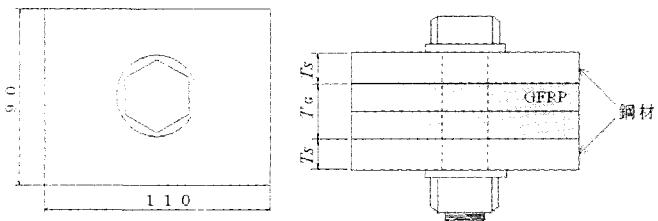
接着接合 (Type 1)、高力ボルト 2 本を用いた高力ボルト摩擦接合 (Type 2)、高力ボルト接着剤併用接合 (Type 3)、及び高力ボルト 3 本を用いた高力ボルト摩擦接合 (Type 2')、高力ボルト接着剤併用接合 (Type 3') のすべり荷重（すべり係数）を確認するために、静的引張試験を実施した。また、主板に用いた GFRP 材の試験部のボルト孔径を大きくした ( $\phi 24.5$ ) 試験体の高力ボルト接着剤併用接合 (Type 4 : 2 本継手) について同様の静的引張試験を実施した。図-3 に供試体の形状、寸法を示す。使用した高力ボルトは F10T、M20 であり、使用した添接板表面はプラスチック材料珪砂 5 号 A を用いて表面処理してある。表-2 に静的引張試験結果を示す。Type 1 継手において継手の破壊時のせん断応力は主板の表面処理の有無に関わらず、接着剤のせん断強度

表-1 GFRP の材料特性

単位: [N/mm<sup>2</sup>]

引張強さ		圧縮強さ		引張弾性率		圧縮弾性率		層間せん断強さ	
MD	TD	MD	TD	MD	TD	MD	TD	MD	TD
598.21	21.092	444.1	99.28	38184	10742	12061	5089.1	31.49	8.24

MD: 荷重方向 TD: 荷重直角方向



	T <sub>s</sub> (mm)	T <sub>g</sub> (mm)
S9G16	9	16
S9G32	9	32
S12G16	12	16
S12G32	12	32
S16G16	16	16
S16G32	16	32

図-1 供試体の種類、及び形状、寸法

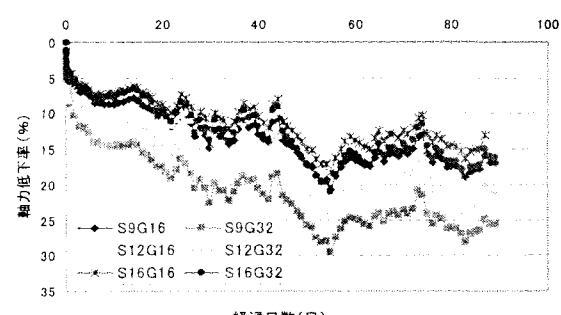


図-2 経過日数と軸力低下率

(Type 3)、及び高力ボルト 3 本を用いた高力ボルト摩擦接合 (Type 2')、高力ボルト接着剤併用接合 (Type 3') のすべり荷重（すべり係数）を確認するために、静的引張試験を実施した。また、主板に用いた GFRP 材の試験部のボルト孔径を大きくした ( $\phi 24.5$ ) 試験体の高力ボルト接着剤併用接合 (Type 4 : 2 本継手) について同様の静的引張試験を実施した。図-3 に供試体の形状、寸法を示す。使用した高力ボルトは F10T、M20 であり、使用した添接板表面はプラスチック材料珪砂 5 号 A を用いて表面処理してある。表-2 に静的引張試験結果を示す。Type 1 継手において継手の破壊時のせん断応力は主板の表面処理の有無に関わらず、接着剤のせん断強度

16.  $7 \text{ N/mm}^2$  より低い値となった。これは試験体の形状に起因して試験部に剥離力が発生したためと考えられる。Type 2 継手において主板を表面処理した継手のすべり係数は  $\mu = 0.54$ 、表面処理の無い継手で  $\mu = 0.58$  となり、主板を表面処理した継手は、表面処理しない場合に比してすべり係数は低下傾向にあるが、そのばらつきを考えればほぼ同等と見なせる。Type 3 継手において、主板を表面処理した継手のすべり係数は  $\mu = 0.94$ 、表面処理の無い継手で  $\mu = 0.56$  となり、主板を表面処理した場合、表面処理しない場合に比してすべり係数値は上昇した。これは表面形状がガラス面状態である GFRP 材の表面をブラスト処理したことにより接着面積が増加したことによるものと考えられる。Type 2'、Type 3' 継手においても Type 2、Type 3 継手の場合と同様の傾向が見られる。Type 4 継手のすべり係数は普通孔径を有する Type 3'、Type 3 継手のそれに比して小さい。これは母材に用いた GFRP 材のボルト孔径が大きいために、鋼板、座金を通して伝達されるボルト軸力による接触面圧が局所的となり接触面間に有効に分布しないことによるものと推定される。高力ボルト接着剤併用接合のすべり荷重は接着接合強度、及び高力ボルト摩擦接合強度によって決定される。そこで、その併用効率(併用効率)を算定した結果を表中(Type 3)に併記した。この結果より、GFRP 材表面をブラスト処理することによって併用効率は 1.0 以上となることが分かる。

**4. 荷重ずれ変位曲線** 図-4 に Type 2 の断面 A-A での応力ずれ変位曲線と鋼対鋼摩擦接合の応力ずれ変位曲線<sup>1)</sup>を示す。図に示すように、鋼対鋼摩擦接合では、すべりに至るまでの応力ずれ変位曲線はほぼ直線関係を示す。一方、Type 2 継手においては、主すべり(母材応力約  $130 \text{ N/mm}^2$ )に至るまでの比較的低荷重域から直線性が失われる。直線性が失われ始める時の作用応力は主すべりが生じる作用応力の約 38%に相当する  $50 \text{ N/mm}^2$  程度となる。図-5 は Type 2' 継手の断面 B-B での応力残留ずれ変位曲線を示す。図に示すように約  $49 \text{ N/mm}^2$  で残留ずれ変位が発生し、それ以後は作用応力の上昇とともに増加する。このように、GFRP 材を用いた高力ボルト摩擦接合においては主すべりが生ずる作用応力より相当低い応力レベルでずれ変形が生じる。この現象は鋼対鋼摩擦接合と異なるところと考えられる。

**5. まとめ** 本研究は、GFRP 構造物の接合部に対して高力ボルト摩擦接合を適用し、その設計法の確立を目的として実施した一連の試験研究である。本研究の範囲で得られた主な結論は次の通りである。①ボルト軸力の低下は、主として GFRP 材料に用いられる樹脂のクリープ現象により生じ、本実験の範囲では最大約 30% であった。②高力ボルト摩擦接合、及び高力ボルト接着剤併用接合において、すべり係数は道路橋示方書で規定するすべり係数  $\mu = 0.4$  を上回り、高力ボルト摩擦接合としての適用が可能と考えられる。③高力ボルト接着剤併用接合においては、GFRP 材の表面をブラスト処理することによって併用効率は 1.0 以上となる。

**参考文献** 1) 中本 大輔、村中 昭典、秋山 寿行：板厚差を有する高力ボルト摩擦接合の耐荷力と荷重伝達機構に関する研究、土木学会中国支部研究発表会概要集、第 53 回、平成 13 年 6 月、PP. 17-18.

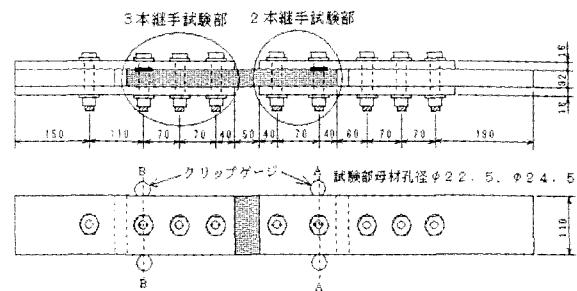


図-3 供試体の形状、寸法

表-2 静的引張試験結果

Type1(接着接合)		
主板の表面処理	破壊荷重(kN)	せん断強さ(N/mm <sup>2</sup> )
なし	96.6	2.93
ブラスト	195.0	5.91
Type2(高力ボルト摩擦接合 2本継手)		
主板の表面処理	すべり荷重(kN)	すべり係数
なし	373.7	0.58
ブラスト	348.5	0.54
Type3(高力ボルト接着剤併用接合 2本継手)		
主板の表面処理	すべり荷重(kN)	すべり係数 併用効率
なし	361.6	0.56 0.77
ブラスト	611.1	0.94 1.12
Type4(高力ボルト接着剤併用接合 2本継手 φ24.5)		
主板の表面処理	すべり荷重(kN)	すべり係数
ブラスト	504.4	0.78
Type2'(高力ボルト摩擦接合 3本継手)		
主板の表面処理	すべり荷重(kN)	すべり係数
なし	555.5	0.57
ブラスト	583.4	0.60
Type3'(高力ボルト接着剤併用接合 3本継手)		
主板の表面処理	すべり荷重(kN)	すべり係数
なし	511.8	0.53
ブラスト	797.5	0.82

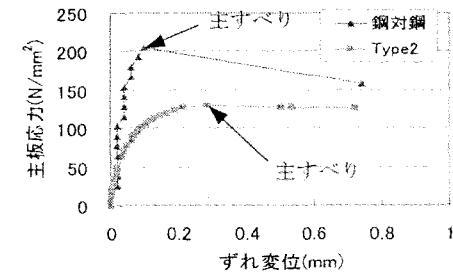


図-4 応力ずれ変位曲線

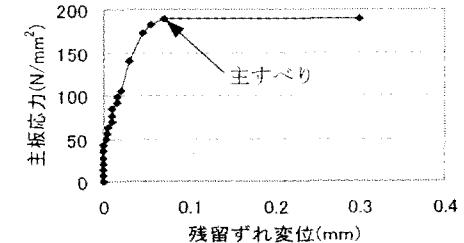


図-5 応力残留ずれ変位曲線