

GFRP 材料の高力ボルト摩擦接合に関する実験的研究

広島工業大学大学院 学生会員 ○永田 拓也 広島工業大学 正会員 皆田 理
中電技術コンサルタント 正会員 石丸 勝 三菱重工工事 正会員 勝野 壽男
旭硝子マテックス 正会員 林 耕四郎

1. はじめに 高温多湿で海塩粒子の影響を受ける地域の広い我国の土木構造物に対する設置環境は厳しい。近年、軽量、高強度、耐塩害性、容易な成形性等に優れた FRP（Fiber Reinforced Plastic、以下 FRP 略称）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。FRP 材料を橋梁に用いる場合、その部材接合法をいかにするかが 1 つの大きな問題となる。本研究は、施工の容易性を考慮して、FRP 材料を用いた高力ボルト摩擦接合の力学的挙動を実験的に解明し、FRP 橋梁に対する合理的接合法を確立するための一資料を提供するものである。

2. 粗さ測定試験 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 材料の表面処理に用いるブラスト材料の選定を目的として、粒径の異なる材料を用いて表面処理した GFRP ブラスト材の表面粗さ測定を行った。図-1 に表面処理に使用した 5 種類の GFRP ブラスト材の算術平均粗さ（Ra）と最高高さ（Ry）の測定結果を棒グラフにまとめて示す。

図-1 より Ry の高い材料は WA、K5A、及び JK-Ⅲである。これらの表面処理法から、補強繊維の損傷を防止し、平面度を確保し得る施工方法を検討した結果、本研究における GFRP 材料の表面処理法として K5A を用いることとした。

3. GFRP 材料を用いた高力ボルト接合の軸力変動

GFRP 高力ボルト接合のレラクセーションを明確にするために、導入ボルト軸力の追跡調査を行なった。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 161.87kN、及びその 70 %（113.31kN）とした。図-2 に測定結果を示す。同図より、GFRP 材料と鋼材とを組合せた継手（STEEL+GFRP）の軸力は、軸力導入後 10 日以内に約 20 % 低下する。その後、40 日目までは約 20 % の低下状態を保持し軸力の低下傾向は認められない。また、接着剤を併用した継手（STEEL+GFRP、接着剤）の場合も、同様の低下傾向を示す。一方、GFRP 材料同士を組合せた継手（GFRP+GFRP）の軸力は軸力導入直後 40 % ～ 50 % 低下し、その後約 30 日間においても軸力は漸減し、軸力低下率は 65 % 程度に達する。従って、GFRP 材料同士を組合せたボルト接合において、ボルト軸力の導入によって生ずる接触面間の摩擦抵抗力を期待することは出来ない。

4. 静的引張試験 GFRP 材料を用いた接着接合、高力ボルト摩擦接合、及び高力ボルトー接着剤併用継手のすべり荷重（すべり係数）を確認するために静的引張試験を実施した。図-3 に本試験に用いた供試体の形状、寸

表-1 GFRP の材料特性 単位:[N/mm²]

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

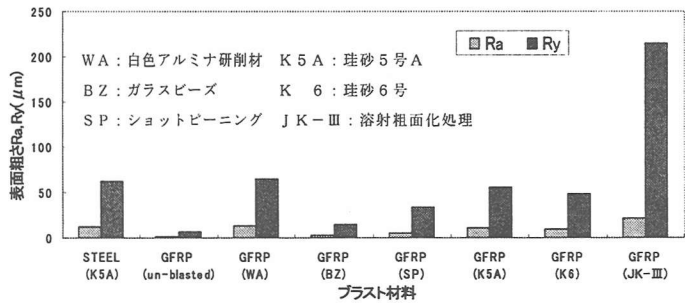


図-1 表面処理方法と表面粗さ

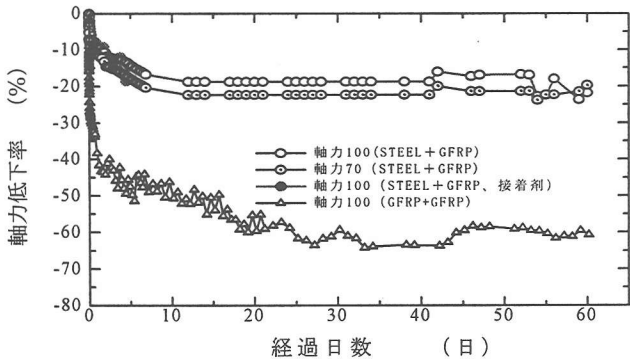


図-2 軸力低下率と経過日数の関係

法を例示する (Type 1、Type 2)。使用した高力ボルトは F 1 0 T、M 2 0 である。なお、継手に用いた鋼板表面は全て GFRP 材料のブラスト処理に用いたブラスト材と同じ K 5 A によってブラスト処理してある。表-1 に各試験体の静的引張試験結果を示す。

4. 1, 接着接合 (Type 1)

表-1 (a) より、主板、及び添接板に GFRP 材料を用いた接着接合 (Type 1-A) のせん断強度は供試体の作成に用いた接着剤のせん断強度 16.68 N/mm^2 の約 10% 程度である。これは、GFRP 材料は成形のままでは表面がガラス面状態であるため接着面で十分なせん断抵抗力を発揮しないことに起因する。GFRP 材料同士でもブラストを施すとせん断強度は接着剤のせん断強度の約 35% 程度に上昇する。次に、GFRP 材料と鋼板との接着接合 (Type 1-B) の場合も接着剤のせん断強度に比して低い継手せん断強度となった。このように、接着接合のせん断強度が低いのは、図-3 に示すように接着接合供試体の形状において、試験部に隣接する高力ボルトの軸力導入によって試験部添接板に剥離力が発生したことも一要因と考えられる。

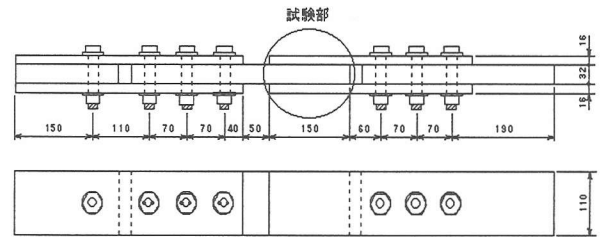
4. 2, 高力ボルト摩擦接合 (Type 2)

表-1 (b)、(d) より、GFRP 材料と鋼板との摩擦接合 (Type 2-B) の場合、すべり係数はボルト 2 本、及び 3 本継手ともに道路橋示方書で規定するすべり係数 $\mu = 0.4$ を上回る。主板にブラストを施した継手では、ブラスト処理しない継手に比してすべり係数値は低くなる。これは、硬度の低い GFRP 材料にブラストを施しているため鋼材を用いた添接板との接触面で掘り起こし抵抗力が減少したことによるものと考えられる。ボルト 3 本継手においては、GFRP 材料の表面処理の影響は見られない。このことより、鋼板表面に適当な表面粗さがあれば、GFRP 材料には特別な表面処理を施さなくてもすべり係数 $\mu = 0.4$ を上回るものと推定される。

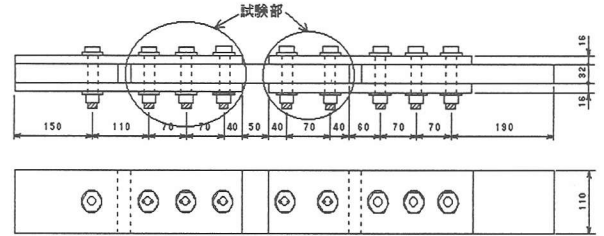
4. 3, 高力ボルト-接着剤併用継手 (Type 3)

表-1 (c)、(e) より、GFRP 材料と鋼板との高力ボルト-接着剤併用継手の場合、GFRP 材料の表面状態、ボルト本数にかかわらず、すべり係数は $\mu = 0.4$ を上回る。GFRP 材料にブラストを施さない場合には、高力ボルト継手の場合とほぼ同等程度のすべり係数であった。すなわち、接着剤の併用効果は小さい。これは、表面処理をしない接着接合の試験結果に見られるように、GFRP 材料の接着面での接着せん断抵抗力が小さいためと考えられる。それに比して、GFRP 材料にブラストを施した継手のすべり係数は、Type 3-A、Type 3-B、B' でそれぞれ 0.93、1.0、及び 0.8 となり接着剤の併用効果は極めて大きくなるのがわかる。

5. まとめ 本研究では、GFRP 材料を用いた高力ボルト摩擦接合の力学的挙動を実験的に確認した。本研究の範囲で、高力ボルト摩擦接合、及び高力ボルト-接着剤併用継手において、GFRP 材料にブラストを施す場合、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。



Type 1 (接着接合)



Type 2 (高力ボルト接合)

図-3 供試体の形状、寸法

表-1 静的引張試験結果

(a) GFRP 接着接合					
試験体	表面処理		平均		備考
	主板	添接板	PB (kN)	$\bar{\tau}$ (N/mm ²)	
Type 1-A	なし	なし	52.97	1.60	主板: GFRP 添接板: GFRP
	ブラスト	ブラスト	200.32	6.07	
Type 1-B	なし	ブラスト	93.39	2.83	主板: GFRP 添接板: STEEL
	ブラスト	ブラスト	206.01	6.24	
(b) GFRP 高力ボルト摩擦接合 (n=2)					
試験体	表面処理		平均		備考
	主板	添接板	P _s (kN)	μ	
Type 2-A	なし	なし	142.54	0.22	主板: GFRP 添接板: GFRP
	ブラスト	ブラスト	274.88	0.43	
Type 2-B	なし	ブラスト	396.91	0.62	主板: GFRP 添接板: STEEL
	ブラスト	ブラスト	341.39	0.53	
(c) GFRP 高力ボルト-接着剤併用継手 (n=2)					
試験体	表面処理		平均		備考
	主板	添接板	P _s (kN)	μ	
Type 3-A	なし	なし	153.92	0.24	主板: GFRP 添接板: GFRP
	ブラスト	ブラスト	602.82	0.93	
Type 3-B	なし	ブラスト	361.69	0.56	主板: GFRP 添接板: STEEL
	ブラスト	ブラスト	645.01	1.00	
(d) GFRP 高力ボルト摩擦接合 (n=3)					
試験体	表面処理		平均		備考
	主板	添接板	P _s (kN)	μ	
Type 2-B'	なし	ブラスト	556.82	0.57	主板: GFRP 添接板: STEEL
	ブラスト	ブラスト	583.50	0.60	
(e) GFRP 高力ボルト-接着剤併用継手 (n=3)					
試験体	表面処理		平均		備考
	主板	添接板	P _s (kN)	μ	
Type 3-B'	なし	ブラスト	511.89	0.53	主板: GFRP 添接板: STEEL
	ブラスト	ブラスト	797.55	0.82	