

GFRP-GFRP 接合部および GFRP-SUS 接合部の強度特性

九州大学大学院 学生会員 ○李宏斌 直野智彦

フェロー 日野伸一 正会員 山口浩平 非会員 柴田博之

1. はじめに

GFRP(ガラス繊維強化ポリマー,以下 GF)は,その軽量性や耐候性等から自重の軽減,施工性の向上の利点があり,新たな土木構造材料として期待されている. これまで異方性である GF 引抜き成形材の力学特性と部材の耐荷特性や母材に GF 板, 添接板に鋼板を用いて高力ボルトにより接合した GF-鋼接合部についての研究が進められてきた^{1),2)}. しかし鋼材は腐食が懸念されるため,本研究は添接板として GF 材および SUS 板を用いた GF-GF, GF-SUS 接合部の強度特性の把握を目的として接合部の引張試験を行い,過去実施した GF-鋼接合部試験の結果と比較した.

2. 試験概要

供試体概略図を図-1 に示す. 供試体の母材に用いた引抜き成形された GF 板は,7 層構成(CSM/クロス/RH600/ロービング/RH600/クロス/CSM)である. 供試体の寸法を表-1 に示す. GF-GF の接合方法は F10T M12 高力ボルト摩擦接合とし,トルクレンチを用いて設計ボルト軸力 55.8kN を導入した. 接合部の GF 板の表面処理は未処理およびブラスト処理の 2 種類あり,その影響についても検討した. GF 板には,アルミナサンドを用いて,算術平均粗さ (Ra)5 μ m, 十点平均粗さ (Rz) 30 μ m になるようにブラスト処理を行った. GF-GF の供試体はそれぞれ 5 体である. GF-SUS の接合方法は F10T M20 高力ボルト摩擦接合とし,トルクレンチを用いた設計ボルト軸力 165kN を導入した. 接合部の SUS 板の表面はスチールグリッドを用いてブラスト処理を行い, Ra=10 μ m, Rz=45 μ m の表面粗さとした. GF-SUS の供試体は 5 体である. GF 板, 添接 SUS 板, 添接鋼板の材料特性値を表-2 示す. 全供試体とも,室温 20 $^{\circ}$ C, 湿度 60% の条件で 1 週間養生した. 供試体の設置状況を図-2 に示す. 試験は母材 GF 板のつかみ部を万能試験機のチャックで挟み漸増引張試験を行い,荷重と GFRP 板の相対変位を計測した.

3. 結果および考察

3.1 すべり荷重, すべり係数および最大荷重

試験結果を図-3, 表-3 に示す. まず, GF-GF 未処理のすべり荷重は GF-鋼の 50%程度,ブラスト処理のすべり荷重は GF-鋼の 80%程度となった. GF-GF 未処理を除いた全ての供試体ですべり係数が 0.4 以上を確保することができ,道路橋示方書の基準を満足した. 最大荷重に, GF-GF の最大荷重は未処理およびブラスト処理と同様に GF-鋼の 90%程度となった. これは,材料誤差の範囲内だと考えられる. GF-SUS のすべり荷重と最大荷重は同様であった. 図-4 に表面粗さとすべり係数の関係を示す. GF 板のブラスト処理により表面を粗くした場合,すべり係数の増加が確認できた.

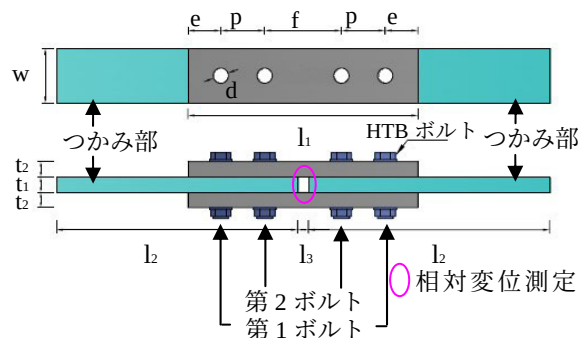


図-1 供試体概略図

表-1 供試体の寸法 単位:mm

	d	t ₁	t ₂	w	e	p	f	l ₁	l ₂	l ₃
GF-GF	14	14	14	50	30	40	70	210	220	10
GF-SUS	23	18	12	100	50	70	110	350	300	10
GF-鋼	14	14	9	50	30	40	70	210	330	10

表-2 材料特性値

GFRP				SUS板	添接鋼板
	引抜き方向	引抜き直角方向	45 $^{\circ}$ 方向		
弾性率 (GPa)	引張	24.0	11.0	4.00	196
	圧縮	30.0	20.0	—	210
	せん断	4.60		—	—
強度 (MPa)	引張	250	90.0	45.0	260
	圧縮	430	95.0	—	—
ポアソン比		0.28	0.14	0.14	0.30



図-2 供試体設置状況

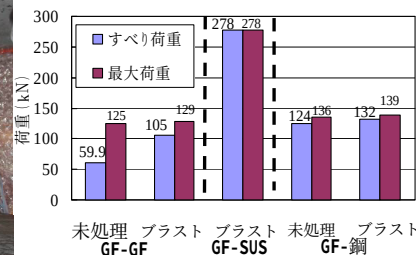


図-3 すべり荷重・最大荷重の比較

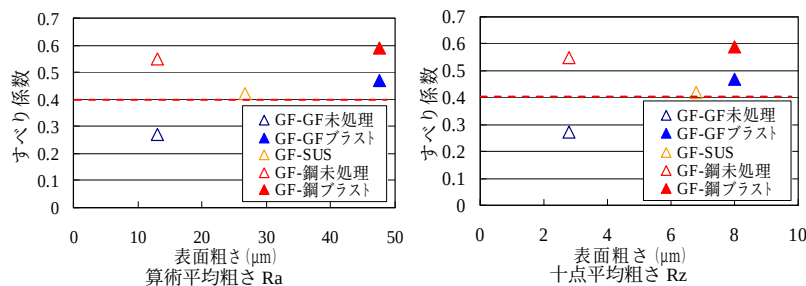


図-4 すべり係数と表面粗さ関係

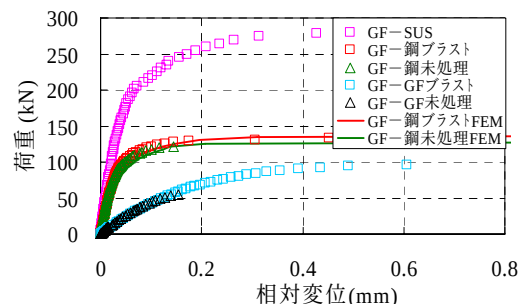


図-5 荷重-相対変位関係

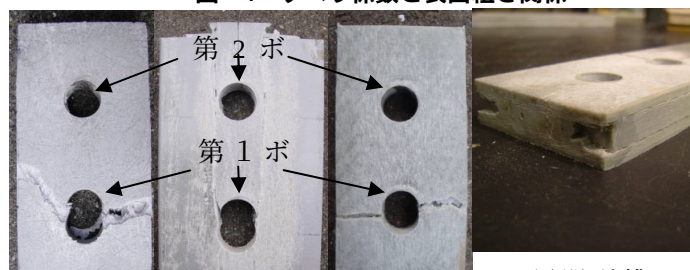


図-6 GF 母材破壊

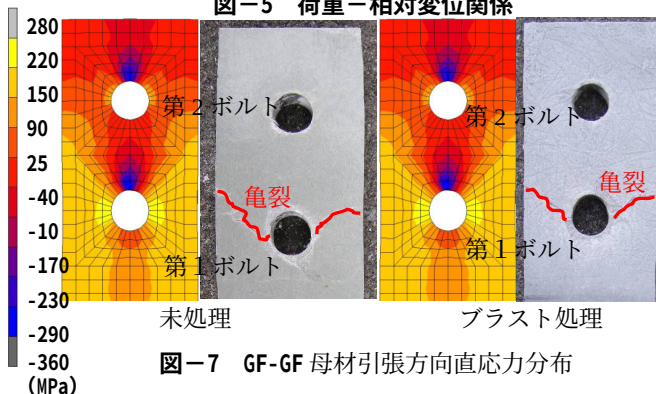


図-7 GF-GF 母材引張方向直応力分布

3.2 荷重-相対変位関係

図-5に荷重-相対変位関係を示す。また、GF-鋼のFEM解析結果も示す。荷重 100kN まで GF-SUS と GF-鋼の相対変位の変化および初期剛性は概ね一致した。GF-GF の剛性が最小、GF-SUS の剛性が最大となった。この理由として、GF-SUS の寸法が GF-GF、GF-鋼と比較して大きいことや GF、鋼および SUS 板の弾性係数の違いによるものと考えられる。また、GF-GF および GF-鋼接合部についてはブラスト処理、未処理による相違はないことが確認された。さらに、未処理の場合は脆性的に破壊したため、0.16mm まで計測した。GF-鋼の試験値と解析値は概ね一致しており、GF-鋼の解析結果は妥当であると考えられる。

3.3 破壊性状

図-6にGF母材破壊性状を示す。GF-GFとGF-鋼の破壊形式は同様であり、母材が層間剥離して破壊に至った。第1ボルト近傍に引張荷重方向に対して直角方向にき裂が進展するという引張破壊が発生した。GF-SUSは引張荷重方向に円孔の両端から部材端に向かって破壊するというせん断破壊が発生した。供試体にすべりが発生した時、第1、2ボルト近傍でGFが破断した。GF-SUSのGF母材の厚さは18mmであり、他の種類と比較してGF母材の0°方向のガラス繊維が多いため、せん断破壊したと考えられる。図-7にGF-GFの母材引張方向直応力分布を示す。図より第1ボルト孔壁板幅方向端部にて母材の引張方向応力が引張強度250MPaに達したことが確認でき、ブラスト処理、未処理についても同様の結果であった。また、破壊写真より、実際の試験では本解析にて引張強度に達した位置においてき裂が発生しており、本解析では本試験終了時に発生した現象を再現することができた。

4. まとめ

- 1) GF-GF はブラスト処理した場合、すべり係数は 0.47 程度を確保することができた。GF-鋼、GF-SUS および GF-GF のすべり係数は 0.4 以上であり、道路橋示方書の基準を満足した。
- 2) GF 表面粗さ (Ra, Rz) の増加とともに、すべり係数の増加が確認できた。
- 3) 相対変位について、同一荷重では GF-GF、GF-鋼 GF-SUS の順に大きかった。GF-GF と GF-鋼接合部ではブラスト処理、未処理による相違はないことが確認された。

参考文献

- 1) 小林憲治他：GFRP 引抜き成形 I 形断面はりの材料力学特性およびせん断挙動に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.54A, pp.805-859, 2008.3.
- 2) 大本透他：接着剤およびボルト接合を用い GFRP-鋼接合部の強度特性に関する実験研究。平成 19 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集，I-21, pp.41-42, 2008.3

表-3 試験結果

	No.	GF-GF		GF-SUS	GF-鋼	
		未処理	ブラスト	ブラスト	未処理	ブラスト
すべり荷重 (kN)	1	56.9	97.5	279	124	131
	2	67.6	110	284	127	133
	3	52.3	100	280	126	134
	4	68.1	112	280	123	132
	5	54.5	107	266	120	132
	平均	59.9	105	278	124	132
すべり係数	平均	0.27	0.47	0.42	0.55	0.59
最大荷重 (kN)	1	121	122	279	139	139
	2	127	131	284	138	142
	3	118	123	280	132	134
	4	132	141	280	138	142
	5	124	126	266	132	141
	平均	125	129	278	136	139