

ハイブリッド FRP 桁の連結構造の合理化と高耐久性化に関する実験的検討

首都高速道路 正会員○濱崎景太

首都大学東京 正会員 中村一史, 琉球大学 正会員 瀬戸内秀規

東日本旅客鉄道 正会員 今 裕之, ジェイテック 正会員 柳沼謙一

1. はじめに

繊維強化プラスチック (FRP) を線路上空自由通路等のペデストリアンデッキに適用する場合、FRP 部材の合理的な接合方法を確立することが求められている。これまでの検討結果¹⁾によれば、FRP 継手に鋼添接板を接着接合して、高力ボルトで締付けた場合、強度が大幅に向上すること、また、接着接合のみの場合であっても、十分な継手強度を有していることが確かめられている。また、FRP は耐食性に優れる材料であり、添接板へも適用することで、FRP の特性を最大限活用することが可能となる。そこで、FRP 以外の鋼製接合材料部に腐食劣化が生じた場合には、鋼添接板と鋼製高力ボルトの取替えを可能とし、取替え作業中には、死荷重に対して、FRP 母板と FRP 添接板の接着接合で対応する接合方法を提案する。本研究では、母板と添接板に、ガラス繊維と炭素繊維で構成されるハイブリッド FRP (以下 HFRP とよぶ) を使用し、クーボン試験片による引張載荷試験、および屋外大気暴露試験を行い、継手の強度特性、変形特性、耐久性について実験的に検討を行った。

2. 鋼製接合材料の取替を考慮したボルトと接着による併用接合の開発

2.1 実験方法

実験に使用した材料の物性値を表-1 に示す。母板は引き抜き成形された HFRP 板、添接板は RTM 成形された HFRP 添接板および、鋼板 (SS400) を使用した。接合面は、HFRP 母板および HFRP 添接板にはガラスビーズ (#40) を、鋼添接板にはスチールグリッド (#240) を用いてブラスト処理を行い、接着剤にはエポキシ樹脂接着剤を使用した。また、ボルトには摩擦接合用高力ボルト F10T M16 を使用し、孔径は全て 18mm とした。さらに、FRP および接着剤のクリープ変形によるボルト軸力の低下が懸念されることから、軸力導入は実験開始直前とした。設計軸力 $N=106\text{kN}$ に 10% 増し締めを考慮した $N_e=117\text{kN}$ の軸力を導入した。実験シリーズを表-2 に示す。

試験に用いた試験片は Type-A (比較用)、Type-B (供用時)、Type-C (取替時)、Type-D (比較用) の 4 タイプとした。実験パラメータとしては、接合タイプのほか、各タイプの試験片に対してボルト列数 (ボルト間距離 80mm) を 1, 2, 3 列と変え、実験を行った。その中から 1 列の試験片図を代表して図-1 に示す。

引張試験には、万能試験機 (載荷容量 1000kN) を用い、載荷速度は 2.5mm/min とした。変位制御による引張載荷実験とし、変位の増加が確認できなくなるまで荷重を載荷した。また、HFRP 母板突合せ部、および添接板端部の相対変位は π 型クリップゲージを用いて、各部位のひずみは、ひずみゲージ (ゲージ長 3mm) を用いて、測定を行った。

2.2 実験結果と考察

表-2 に実験結果、図-2 に荷重と変位の関係を示す。図-2 より、接着を施した試験片には、HFRP 母板と添接板間でのすべりは発生せず、荷重と変位の関係は終局まで線形挙動を示すことがわかる。これは、ボルトの締付けによる摩擦力に加え、接着剤により、すべりが抑制されているためである。また、図を略したが、Type-A の 2 列、3 列では、鋼添接板が降伏し、Type-B では降伏しなかった。Type-B では 2 枚の添接板で応力を分担しているためであると考えられる。また、表-3 より、ボルト列数の増

表-1 各種材料の物性値

母板 (HFRP 板, $t=15\text{mm}$)	弾性係数	(GPa)	44.2
	引張強度	(MPa)	832.5
添接板 (SS400, $t=12\text{mm}$)	弾性係数	(GPa)	189.0
	引張強度	(MPa)	462.7
	降伏点	(MPa)	328.5
摩擦接合用高力ボルト (F10T M16×70, 95mm)	耐力	(MPa)	1034
	引張強度	(MPa)	1076
エポキシ樹脂接着剤 (シーカデュア 30)	弾性係数	(GPa)	6.4
	引張強度	(MPa)	32

表-2 実験シリーズと実験結果

試験 Type	試験片名	接合方法	添接板の降伏	すべり荷重 (kN)	すべり係数	最大荷重 (kN)
Type-A	A1	接着併用	なし	-	-	227
	A2		降伏	-	-	415
	A3		降伏	-	-	446
Type-B	B1	接着併用	なし	-	-	227
	B2		なし	-	-	399
	B3		なし	-	-	428
Type-C	C1	接着	なし	-	-	126
	C2		なし	-	-	148
	C3		なし	-	-	219
Type-D	D1-1	摩擦	なし	134	0.59	261
	D1-2		なし	130	0.56	260

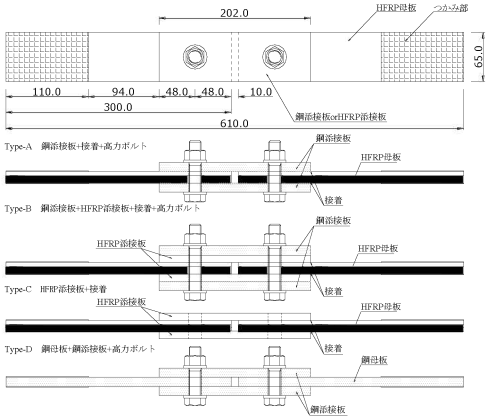


図-1 試験片図 (継手, 暴露試験共通)

Keywords : ハイブリッド FRP, 摩擦接合用高力ボルト, 摩擦接合, 引張強度, 接着剤
連絡先 : 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1, TEL.0426-77-1111, FAX.0426-77-2772

加にとともに、継手強度は HFRP 母板の引張強度が支配的となり、母板純断面の引張破壊によって終局に至ることも確かめられた。さらに、図-3 より Type-A、Type-B において、列数を 1 列から 2 列へ増加させた時の最大荷重の増加量に対し、2 列から 3 列へ増加させた時の増加量は少なくなる。これは、前述の通り、継手強度は母板の引張強度に依存するためであり、ボルト列数を 3 列以上にしても大幅な強度の増加は見込めないといえる。また、鋼製材料取替え時の継手 (Type-C) の最大荷重は、ボルト列数 1 列の場合、126kN であり、通常使用される継手 (Type-D) のすべり荷重である約 130kN と同程度の強度を有していることも確かめられた。

3. 屋外大気暴露試験による接合部の耐久性の評価

3.1 実験方法

継手引張試験と同様の試験片を、気候条件の異なる 3 地域に設置し、暴露試験を行い、劣化の進展を確認する。設置地域は、沖縄 (亜熱帯地域)、新潟 (沿岸地域)、東京の 3 地域とし、沖縄、新潟には、Type-A~D を各一体ずつの計 4 体、東京には、Type-A~C を各 3 体ずつと、Type-D を 1 体の計 10 体設置した。また、暴露期間は約 5 年を予定しており、東京の試験片については、1, 3, 5 年経過後に引張試験を行い、強度特性も検討をする予定である。

3.2 実験結果と考察

暴露開始直後と暴露開始から約 1 ヶ月経過後の試験体写真を表-4 に示す。全ての設置場所で、目視観察では HFRP 部材、および接着剤には、はく離、割れ、変色等の変化は見られないが、鋼材や高力ボルトには、多くの発錆がみられた。特に、雨による湿潤を受けやすい沖縄、飛来塩分の影響を受けやすい新潟の 2 地域では、試験片の全面の発錆が著しく進行していたが、東京では、試験片の表面に斑点状の錆が広がるという状況であった。さらに、暴露開始 5 ヶ月の時点で、鋼材の発錆により、若干ではあるが、試験体重量の増加を確認している。

4. まとめ

鋼製材料の取替えを考慮したボルトと接着による併用接合の開発では、ボルト列数の増加にともなって、継手強度は HFRP 部材の引張強度が支配的となり、十分な強度を有することが確かめられた。また、供用時の接合方法 (Type-B) において、通常の鋼継手と同程度の終局荷重を確保できること、および、取替え時の接合方法 (Type-C) でも、通常の高力ボルト接合のすべり荷重と同等であることから、提案した接合方法は十分な性能を有していることがわかった。また、暴露試験では、設置地域ごとに錆の進展状況の相違を確認できたが、引き続き継手の耐久性に関するデータを収集する予定である。

あとがき 本研究は、経済産業省の「戦略的基礎技術高度化支援事業」の一環として行われたものである。関係者各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

1) 濱崎景太, 片野洋輔, 前田研一, 中村一史, 柳沼謙一, 松井孝洋: 高力ボルトと接着剤を用いたハイブリッド FRP 部材の接合方法に関する実験的研究, 土木学会第 66 回年次学術講演会概要集, CS2-033, pp.65-66, 2011.9

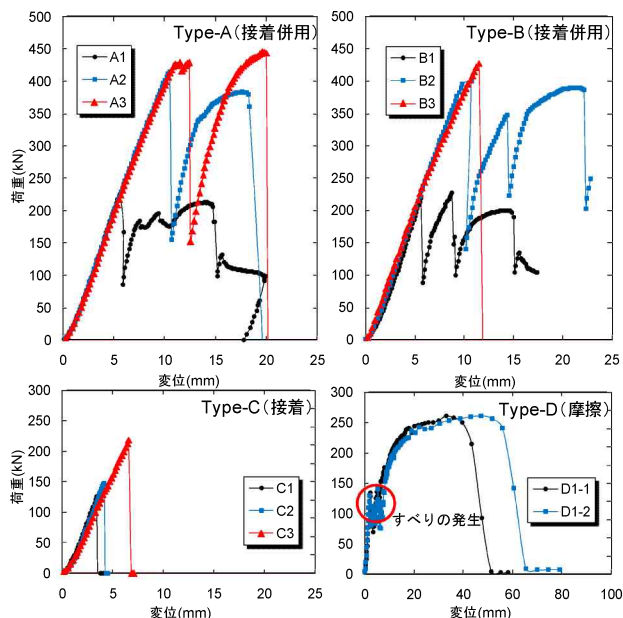


図-2 荷重と変位の関係

表-3 接着剤のはく離形態と破断位置

試験片名	接着剤はく離の形態	破断位置	
		GFRP 側	CFRP 側
A1	鋼添接板界面はく離	1 列目純断面	1 列目縁端
A2	FRP 層間はく離	1 列目縁端	2 列目純断面
A3	鋼添接板界面はく離	3 列目純断面	3 列目純断面
B1	HFRP 添接板界面はく離	1 列目縁端	1 列目縁端
B2	HFRP 添接板界面はく離	1 列目縁端	1 列目縁端
B3	HFRP 母板層間はく離	3 列目純断面	3 列目純断面
C1	HFRP 母板層間はく離	-	-
C2	HFRP 母板層間はく離	-	-
C3	HFRP 母板層間はく離	-	-
DI-1	-	1 列目純断面	
DI-2	-	1 列目縁端	

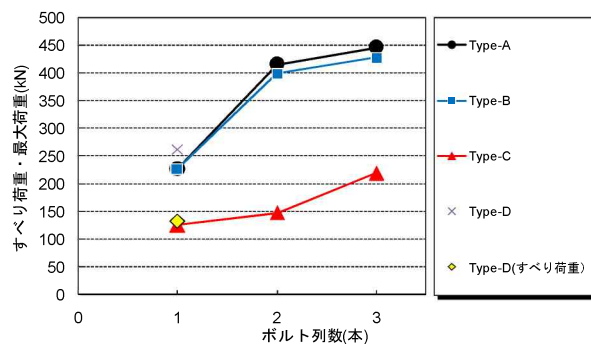


図-3 荷重とボルト列数の関係

表-4 暴露試験片写真

Type	暴露開始直後	暴露開始 1 ヶ月経過後
沖縄 (亜熱帯地域)	A	
	B	
	C	
	D	
新潟 (沿岸地域)	A	
	B	
	C	
	D	
東京 (比較用)	A	
	B	
	C	
	D	