# FRP 歩道橋の主桁-横桁交差部の高力ボルト接合方法に関する基礎的研究

首都大学東京大学院 学生員 〇中村 大希・学生員 濱崎 景太 首都大学東京大学院 正会員 中村 一史・フェロー 前田 研一 ジェイテック 正会員 柳沼 謙一 東レ 正会員 松井 孝洋

## 1. はじめに

近年,繊維強化プラスチック(FRP)の軽量性や耐食性,成形性 を活かした歩道橋への適用が検討されている.その設計ではたわ み制限が支配的となるため,曲げ剛性の確保を目的としたハイブ リット FRP(以下,HFRP)桁が開発されたが,実用化にあたって は、その合理的な接合方法の検討が急務とされている.そこで, 設計対象となる線路上空自由通路の斜張橋<sup>1)</sup>におけるHFRP 主桁 とガラス繊維強化プラスチック(以下,GFRP)横桁の交差部(図 -1)に着目して検討を行った.本研究では、これまでの検討結果 <sup>3)</sup>を踏まえ、従来の摩擦接合用高力ボルトを用いた接合方法に加 え、エポキシ樹脂接着剤を併用した接合方法による FRP 同士の 継手強度の把握を目的として、フランジ部から切り出したクーポ ン試験片による引張試験を行った.

### 2. 交差部の接合を想定した継手強度の評価

#### 2.1 試験片と実験方法

実験に使用した材料の物性値を表-1 に示す. 異方性を有する FRP 部材同士の接合では、FRP 桁の繊維方向によって強度特性が 異なるため, FRP 部材を, それぞれ桁の長手方向(0°), および その直角方向(90°)に切り出し、各試験片とした.用いたボルト は、摩擦接合用高力ボルト(F10T M16)であり、添接板には鋼板 を使用し、その接合面は、算術表面粗さ(Ra)が 10µm 程度、十 点表面粗さ(Rz)が50µm程度となるようにブラスト処理を行っ た.実験パラメータとして、母材は、HFRP部材では桁の長手方 向に対する 0°(以下, 0), 90°(以下, 90), GFRP 部材では桁 の長手方向に対する0°の計3種類に加え、接合方法は摩擦接合 (以下, Fタイプ), 接着併用接合(以下, FBタイプ)の2種類を 設定した.また、ボルトの呼び径Dに対する縁端距離eの比e/D は、3.0を基本としたが、GFRP部材では、より小さい、2.2も比 較した. すべての試験片で導入軸力を設計ボルト軸力の 110%と して、引張試験の直前にトルクレンチを用いて締付けを行った. 実験シリーズを表-2に示す.試験時には、図-2に示すように、 端部と突合せ部の計 6 箇所にクリップ型変位計を,また,FRP 部材, 添接板の各表面, 側面にひずみゲージを設置して計測した. 試験は万能試験機を用いて行い、載荷速度を 2.5mm/min とし、 変位制御で破壊まで載荷を行った.

## 2.2 実験結果と考察

図-3,図-4に、摩擦接合、接着併用接合における荷重とFRP 部材の突合せ部の開口変位の関係をそれぞれ示す.なお、開口変 位が急激に増加した荷重をすべり荷重と定義する.図-3より、F

*Key Words*: FRP, 接合, 高力ボルト, 接着剤, 継手強度 連絡先\*:〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)



## 図-1 検討対象とした HFRP 主桁-GFRP 横桁 の交差部の接合

表-1 材料物性值

UEDD(拒回,+ 15mm)	0°	遥赴係粉(CDa)	48			
пгкр(彼)字:t=13mm)	90°	理注标数 (GPa)	16			
CEPD(坂亘·t-10mm)	0°	弾性係数(GPa)	34			
GFKP(彼岸:t=10mm)	90°		17(圧縮)			
添接板		弾性係数(GPa)	190			
(鋼板,板厚:t=12	mm)	引張強度(MPa)	346			
		降伏強度(MPa)	210			
摩擦接合用高力ボル	レト	耐力(MPa)	1049			
(F10T M16)		引張強度(MPa)	1078			
エポキシ樹脂接着剤		圧縮弾性係数(GPa)	6.4			
(接着層厚:約0.4n	nm)	引張強度(MPa)	32			

表-2 実験シリーズ

计影子	母材	縁端距離 e(mm)	接合方法	
武 腴 月 名			摩擦	接着併用
HF0a	HFRP/0 HFRP/90	48mm (3D)	0	
HFB0a				0
HF90a			0	
HFB90a				0
GF0a	GFRP/0		0	
GF0b		35mm	0	
GFB0b		(2.2D)		0



タイプでは、110kN付近で一時、荷重の増加が止まり開口変位の 急増が確認でき、FRP 板と添接板間ですべりが発生したと考えら れる. すべり後はボルト軸部が FRP 部材の孔壁面にあたり, 支 圧状態となり荷重が再び増加し、破壊を起こしていた.また、 HF0a, GF0a では縁端距離が長く、すべり発生後の支圧状態で荷 重が増加しているが、GF0b ではすべり発生後は荷重が低下して いることが解る. 一方, 図-4より, FB タイプではFタイプのよ うなすべりは見られず、終局まで線形挙動を示し、最大荷重が高 くなっている.これは、ボルトの締付けによる摩擦力に加え、接 着剤によってすべりを防ぎ、継手部の強度が向上したためである. 表-3 に各試験片のすべり荷重、すべり係数、最大荷重、破壊形 態の結果を示す. Fタイプでは、すべり荷重と導入軸力から算出 されるすべり係数がすべての試験片で 0.4 以上となり, 異なる FRP 母材でもすべり荷重は近い値をとることが解る.また、剛性 の高いHFRP部材がGFRP部材より高い継手強度を持つことが明 確に解る. ただし、HFB90a が GFB0b よりも低い荷重で破壊に 至っている. これは, HFRP部材 90°方向の母材の引張強度が低 く,継手部外で先に全断面引張破壊を起こしたためである.同様 に、HF90a は GF0a に比べて低い荷重で孔引き断面引張破壊(写 真-1 参照)を起こしている. このように, 部材 90° 方向の試験片 では破壊が母材の引張強度に大きく支配されるといえた. 一方, GFB0b では母材の層間せん断破壊(写真-1参照)が見られ、部材 0° 方向の試験片では母材の引張強度に比べて弱い, 層間せん断 強度に影響されることがあることも確かめられた.

## 3. 主桁-横桁交差部の接合方法の提案

以上の結果から,部材0°方向に荷重が作用する接合部では母 材のせん断強度に,一方,部材90°方向では母材の引張強度に 大きく影響されることがいえ,設計では90°方向の母材の引張 破壊に特に留意しなければならない.そこで,設計対象となる主 桁一横桁交差部では母材90°方向への応力軽減を図り,高剛性 化が期待できる3面連結板の適用を提案する.図-5に,3面連結 板を用いた HFRP 主桁とGFRP 横桁の交差部の設計例を示す.

### 4. まとめ

FRP 部材における摩擦接合では、母材の種類に関わらず、0.4 以上のすべり係数を確保できること、また、接着併用接合では摩 擦接合に比べて高い継手強度を持ち、合理的な接合方法であるこ とが確かめられた. さらに、部材 90°方向の接合では母材破壊 が支配的となることから、主桁-横桁交差部へは3面連結板の適 用を提案した. 今後、桁試験体を作製し、曲げ載荷実験を行って、 その有用性を検証する予定である.

#### 参考文献

 中村一史,前田研一,睦好宏史,吉田一,松井孝洋:ハイブリッド
FRP 桁斜張橋の試設計と線路上空自由通路への適用可能性,鋼構造年次 論文報告集,日本鋼構造協会,第16巻,pp.167-174,2008.11
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ト 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-3 荷重と開口変位の関係(摩擦接合:Fタイプ)



図-4 荷重と開口変位の関係(接着併用接合:FB タイプ) 表-3 継手強度と破壊形態の比較

試験片名	すべり荷重 (kN)	すべり係数	最大荷重 (kN)	破壊形態
HF0a	105	0.45	171	GF側 引張破壊(孔引き)
HFB0a	_	-	271	CF側 せん断破壊
HF90a	100	0.43	114	引張破壊(孔引き)
HFB90a	-	-	139	引張破壊(全断面)
GF0a	121	0.52	131	せん断破壊
GF0b	117	0.50	117	せん断破壊
GFB0b	_	_	191	層間せん断破壊



(a) 引張破壊(HF90a)
(b) 層間せん断破壊(GFB0b)
写真-1 破壊状況



(a) 主桁断面図 (b) 主桁側面図 図-53 面連結板を用いた接合構造の提案