

ハイブリッド FRP 歩道橋の主桁－横桁連結構造の合理化に関する検討

東日本高速道路 正会員○中村 大希

首都大学東京 正会員 中村 一史

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、ハイブリッド FRP(以下、HFRP)桁の歩道橋への適用が検討されているなか、その合理的な接合方法の検討が必要とされている。HFRP 桁を線路上空自由通路に適用した場合、軽量性を活かした一括架設による急速施工や、主桁と横桁を剛結し横構を省略することで、床組構造の省略化・軽量化を図ることが考えられている。そこで、本研究では、HFRP 主桁と GFRP(ガラス繊維強化プラスチック)横桁の交差部の連結構造の合理化を目的とし、検討を行った。これまでのクープン試験片による引張試験結果¹⁾および試設計結果を踏まえ、連結構造を提案し、桁試験体による面内方向の曲げ載荷実験を行い、接合部の安全性を検証した。

2. 設計対象と接合部の試設計

設計対象とした線路上空自由通路(図-1)は、主桁に HFRP 桁を用いた斜張橋であり、横桁には GFRP 桁(ケーブル定着部のみ鋼箱形断面横桁)を用いている。活荷重および風荷重を考慮し、骨組構造解析により接合部に作用する断面力を算出した。フランジに作用する断面力によって応力度が最大となる接合部に着目することとした。HFRP 主桁－鋼箱形断面横桁の接合部は既に検討されており²⁾、本研究では HFRP 主桁－GFRP 横桁接合部について試設計を行った。着目点を図-1 に、試設計で用いた GFRP 横桁の物性値を表-1 に、着目点における横桁に作用する断面力を表-2 に示す。

接合部には、摩擦接合用高力ボルトとエポキシ樹脂接着剤を併用した接合方法¹⁾を前提とし、試設計では、クープン試験片による引張試験で得られた GFRP 母板の継手強度 191kN を、仮定した安全率 4.0 で除した値をボルト 1 本当たりの耐力とし、ボルト本数を決定した。試設計結果に加え、要素試験で得られた FRP 特有の破壊形式を考慮し、鋼製の 3 面連結板を用いることで剛性の確保を図った例(Type I)、HFRP 主桁に鋼製の支口部を設ける例(Type II)の 2 通りの接合方法を提案した。その概念図として、図-2 に、後述する縮小模型の設計例を示す。

3. 曲げ載荷実験による接合部の破壊挙動の検証

3.1 試験片と実験方法

設計した接合部の面内方向荷重に対する安全性を検証するために、接合部を縮小模型でモデル化した試験体を作製し、実験的検討を行った。実験に使用した材料の物性値を表-3 に示す。試験体には、桁高 300mm の HFRP 桁(H 300×B 150×t_w 10×t_f 15mm)および GFRP 桁(H 300×B 150×t_w 14×t_f 10mm)を用い、それぞれの接合部において、高力ボルト接合と接着接合による併用接合とした。また、FRP 桁同士のフランジの板厚差を考慮し、GFRP フィラープレート

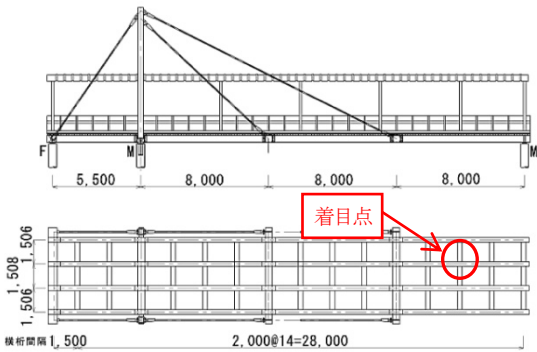


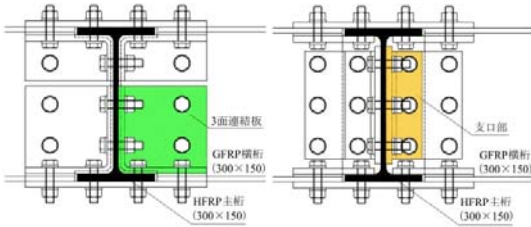
図-1 検討対象の主桁－横桁接合部

表-1 GFRP 横桁の寸法と物性値

断面寸法 (I440×300)	フランジ厚(mm)	14.0
	ウェブ厚(mm)	9.0
フランジ弾性係数(GPa)		35.0
ウェブ弾性係数(GPa)		28.8

表-2 着目した接合部の断面力

断面力		D+PS+L
軸力	N (kN)	5.737
	Q _y (kN)	-5.566
せん断力	Q _x (kN)	4.845
	M _x (kN・m)	-1.862
曲げモーメント	M _y (kN・m)	7.536
	M _z (kN・m)	-3.997



(a) Type I

(b) Type II

図-2 接合部の設計例

表-3 材料物性値

HFRP 桁	弾性係数 (GPa)	48.8
フランジ 板厚:t=15mm	引張強度 (MPa)	881.5
HFRP 桁	弾性係数 (GPa)	15.7
ウェブ 板厚:t=10mm	引張強度 (MPa)	211.5
GFRP 桁	弾性係数 (GPa)	34.0
フランジ 板厚:t=10mm	引張強度 (MPa)	406.8
GFRP 桁	弾性係数 (GPa)	27.1
ウェブ 板厚:t=14mm	引張強度 (MPa)	253.0
フィラープレート	弾性係数 (GPa)	28.4
F1000 板厚:t=4mm	引張強度 (MPa)	429.0
添接板	弾性係数 (GPa)	190.0
SS400 板厚:t=12mm	引張強度 (MPa)	461.0
摩擦接合用高力ボルト	降伏点 (MPa)	311.0
	耐力 (MPa)	1028
F10TM16	引張強度 (MPa)	1068
エポキシ樹脂接着剤	圧縮弾性係数 (GPa)	6.4
シーカデュア 30	引張強度 (MPa)	32

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)

(4mm)を用いた。図-3 にセットアップ状況を示す。荷重実験では、支点間距離 1,500mm, 荷重点間距離 1,500mm と設定し、GFRP 横桁を単純支持とし、HFRP 主桁への 2 点荷重を行った。荷重装置には、容量 2,000kN の油圧ジャッキを用いた。また、荷重点および支点付近での FRP 桁の破壊を防ぐために、鋼製の補剛材を、試験体の横倒れを防止するために、支点付近に横倒れ防止装置を設置した。

3.2 実験結果と考察

図-4 に、荷重と支間中央部でのたわみの関係を示す。添接板中央、荷重点下の HFRP 桁、支点上の GFRP 桁に設置した変位計による鉛直変位を相対的に考慮し、HFRP 桁および GFRP 桁のたわみとした。また、せん断変形による付加たわみを考慮した Timoshenko 梁理論により、桁単体によるたわみ(破線)と、添接板を考慮した合成断面におけるたわみ(実線)を、それぞれ理論値として算出した。両試験体ともに、理論値とはほぼ等しい線形挙動を示した。Type I では 381kN で接着接合部の破壊が生じた後、一時荷重が低下するが、支圧状態となり再び荷重が増加し、463kN で HFRP 桁フランジ部での曲げ圧縮破壊により終局を迎えた。一方、Type II では 354kN で接着接合部の破壊が生じた後、377kN で GFRP 桁の引張フランジ継手部でのせん断破壊により終局を迎えた。図-5 に、終局時における接合部の破壊状況を示す。また、図-6 に、下フランジ添接板に作用する曲げ応力度分布を、表-4 に、クーボン試験との継手強度の比較を示す。これらより、Type I では、3 面連結板の高い剛性により、曲げ応力が抑えられているため、継手部外で母材の曲げ圧縮破壊が起きたと考えられる。Type II では、Type I に比べてフランジに作用する曲げ応力が高くなり、フィラーでのすべりが生じたことで、クーボン試験片による継手強度よりも低い値になったと考えられる。

4. まとめ

3 面連結板を用いた Type I の試験体では、接合部の剛性が向上し、接合部の破壊ではなく、母材の曲げ圧縮破壊が支配的となること、支口部を設けた Type II の試験体では、連結部でのすべりが発生し、接合部でせん断破壊が起こることが確かめられた。また、試験設計における作用断面力を考慮すると、両試験体とも十分な強度を有し、安全な接合方法であるといえる。

表-4 連結構造の継手強度の検討

試験体の種類	クーボン試験片	桁試験体	
		Type I	Type II
荷重方法	引張	曲げ	曲げ
ボルト本数(本)	1	2	2
終局時の換算軸力(kN/本)	191	192 ※	157
終局時の母材応力(MPa)	294	257	209
終局時の母材ひずみ($\times 10^{-6}$)	8642	7331	5970
破壊形態	層間せん断破壊	曲げ圧縮破壊	層間せん断破壊

※ 接合部の破壊ではない。

参考文献

- 中村大希, 濱崎景太, 中村一史, 前田研一, 柳沼謙一, 松井孝洋: 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, 土木学会第 67 回年次学術講演会概要集, CS2-033, pp.65-66, 2012.
- 飯田達也, 前田研一, 中村一史, 柳沼謙一, 松井孝洋: ハイブリッド FRP 主桁斜張橋における主桁と横桁の接合部の面外風荷重に対する検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会概要集, CS2-034, pp.67-68, 2012.



図-3 荷重実験のセットアップ状況

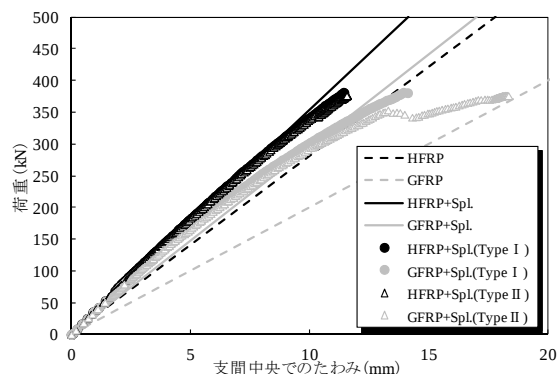
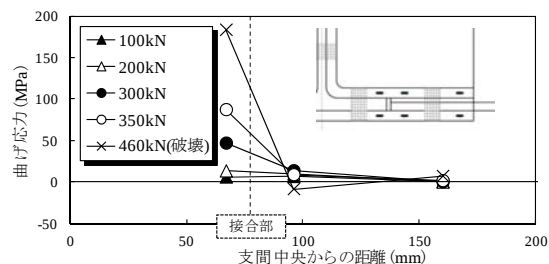


図-4 荷重と支間中央部でのたわみの関係

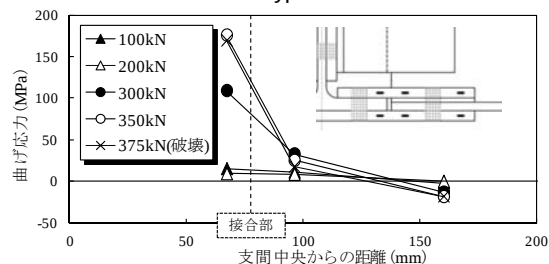


(a) 曲げ圧縮破壊 (Type I) (b) せん断破壊 (Type II)

図-5 破壊状況



(a) Type I



(b) Type II

図-6 下フランジ添接板の曲げ応力度分布