

ハイブリッド FRP 主桁斜張橋における主桁と横桁の接合方法に関する検討

首都大学東京大学院 学生員 ○ 飯田 達也

首都大学東京 フェロー 前田研一・正会員 中村一史

東日本旅客鉄道 正会員 柳沼謙一, 東レ 正会員 松井孝洋

1. はじめに

繊維強化プラスチック (FRP) の歩道橋への適用が検討される中, 実構造へ適用する上で, その優れた力学的特性を十分に発揮することのできる合理的な構造システムを開発することが重要である. 例えば, ハイブリッド FRP (以下, HFRP とよぶ) の線路上空自由通路への適用検討では, 軽量性を活かして一括架設による急速施工を容易にすることや, 主桁と横桁を剛結し横構を省略することで床組構造を簡素化することが考えられている¹⁾. 本研究では, HFRP 主桁と鋼横桁の接合方法に着目して検討を行った.

2. 設計対象とした線路上空自由通路と骨組構造解析

設計対象とした線路上空自由通路は図-1 のような HFRP 桁を主桁に用いた斜張橋であり, ケーブル定着部の横桁は鋼箱型断面桁, その他の横桁は GFRP 桁とした¹⁾. 接合部の断面力は骨組構造解析により算出した. 荷重の組合わせとして, 各部材の自重 D に加え, ケーブルプレストレス PS , 活荷重 L (主径間全載) を載荷した場合 (以下, この荷重組合わせを主荷重とよぶ) や, 風荷重 W を同時に作用させた場合を考えた. 骨組構造解析の結果から, 活荷重を載荷した際にたわみ制限 $L/500$ ($= 48 \text{ mm}$) を満足している. 試設計で用いた HFRP 主桁の寸法と物性値を表-1 に示す.

3. ハイブリッド FRP 主桁と鋼箱型断面横桁との接合部の試設計

骨組構造解析の結果から各接合部において主桁フランジの応力度が最大となる箇所に着目して試設計を行った. 設計対象とした HFRP 主桁と鋼箱型断面横桁との接合部を図-1 に, 接合部の作用力を表-2 に示す.

HFRP 主桁と鋼箱型断面横桁の接合は, 打込み式高力ボルトによる支圧接合とした. 打込み式高力ボルトを HFRP 部材に適用した際の支圧強度については別途, 実験的な検討²⁾を行っており, 試設計ではこの結果を用いた. 対象とする接合部では HFRP 母板の支圧強度が支配的であることから, 実験により得られた母板の支圧耐力 240 kN に対し, 本研究では仮に安全率を 4.0 と設定し, ボルト 1 本あたりの許容支圧耐力を 60 kN と仮定して作用断面力に対してボルト本数を決定した. さらに, 橋軸方向の曲げモーメントとせん断力および風荷重による面外方向の曲げモーメントとせん断力は, その値が面内方向の値に比べて小さいため設計では考慮していない. 試設計の結果, 上フランジおよび下フランジでそれぞれ必要なボルト本数は 2 本と 4 本であり, ウェブのボルト配置を含め, 図-2 に示すように決定した. また, 鋼連結板の板厚は 12 mm とした.

図-2(a) は, ウェブの連結に折り曲げ加工を施した連結板を適用した設計結果であり, 図-2(b) は接合部の剛性確保を目的として三面で

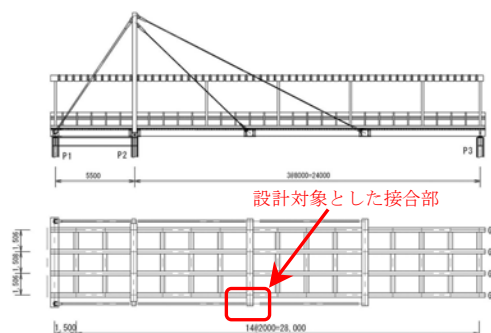
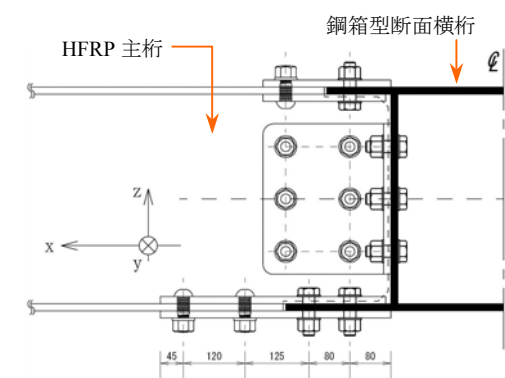


図-1 設計対象とした線路上空自由通路
表-1 HFRP 主桁の寸法と物性値

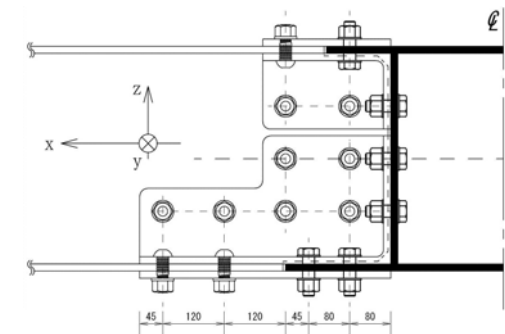
断面寸法 (1440×300)	フランジ厚 [mm]	14
	ウェブ厚 [mm]	9
フランジ弾性係数 [GPa]		48.8
ウェブ弾性係数 [GPa]		15.7

表-2 設計対象とした接合部の作用力

設計対象箇所	G1, $x = 13.5 \text{ m}$	
荷重組合せ	$D + PS + L + W$	
軸力 [kN]	-205.1	
せん断力 (面内) [kN]	30.2	
曲げモーメント (面内) [kN.m]	-44.8	
曲げモーメント (面外) [kN.m]	4.7	
フランジ応力 [MPa]	上フランジ	-42.7
	下フランジ	18.0



(a) 折り曲げ加工を施した連結板を用いた接合部



(b) 三面連結板を用いた接合部
図-2 接合部の試設計結果

keywords : ハイブリッド FRP, 打込み式高力ボルト, 支圧接合, 三面連結板

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

接合する連結板(以下、三面連結板)を用いた設計結果である。鋼横桁と鋼連結板との接合は摩擦接合とし、HFRP母板との連結のために鋼横桁の上フランジを125mm、下フランジを205mm延長した。接合部の設計に用いたボルトおよびFRP部材の諸元を表-3および表-4に示す。表-4においてHFRP母板の支圧強度は実験値に基づいたものであり、GFRP母板の支圧強度は圧縮強度から概算した値である。

4. 有限要素解析による接合部の応力分布特性の検討

三面連結板を適用して試設計した接合部について、汎用有限解析プログラム MIDAS/Civil を用いて有限要素解析を行い、異種材料の組合せによる接合部に生じる応力分布を確認した。接合部のモデリングには各部材の板厚を考慮した板要素を用い、ボルトは簡易的に剛体と仮定した梁要素でモデル化した。骨組要素によりモデル化した橋梁に接合部のモデルを組み込み、第2章と同様の解析条件で静的解析を行った。橋梁全体の解析モデルおよび接合部の板要素解析モデルを図-3に示す。また、有限要素解析により得られた三面連結板の応力分布を主荷重のみ載荷した場合と風荷重を加えて載荷した場合について図-4の(a)と(b)に示す。同様に接合部の応力分布を図-5の(a)と(b)に示す。ただし図-5では連結板は表示していない。

図-4 から風荷重を載荷した際には連結板に面外の応力が作用するが、三面連結板が応力を分担することで、過大な応力が生じていないことがわかる。図-5 の接合部の応力分布図から、主荷重に加え風荷重を載荷した場合、主桁の下フランジに最も大きい応力が作用するが、三面連結板の剛性により大きな偏り無く応力が伝達されていることも確かめられた。

5. まとめ

骨組構造解析に基づく試設計および接合部に着目した有限要素解析の結果から、打込み式高力ボルトを用いることでボルト本数を減らすことができること、また、三面連結板を用いた場合、接合部に作用する力が分散され、接合部の剛性を確保できることが確認できた。今後、HFRP主桁とGFRP横桁との接合部についても同様の検討を行うとともに、より詳細な解析により応力分布を把握し、それぞれの接合部に関して部分模型による実験検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 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, Vol.16, pp.167-174, 2008.11
- 2) 片野洋輔, 中村一史, 前田研一, 睦好宏史, 吉田一, 松井孝洋, 鈴川研二, 柳沼謙一: ハイブリッドFRP部材と鋼部材の高力ボルト接合に関する実験的研究, 第65回年次学術講演会講演概要集, p.23-24

表-3 高力ボルトの諸元

	ボルト 等級	ボルト径 d [mm]	孔径 d _h [mm]	ボルトの許容耐力	
				1面	2面
打込み式高力ボルト				許容せん断耐力 τ_a [kN]	
M22	B8T	23.5	22.5	100.2	200.4
摩擦接合用高力ボルト				許容摩擦力 ρ_a [kN]	
M22	F10T	22	23.5	48.9	96.8

表-4 設計で仮定したボルト1本(M22 B8T)あたりの母板の支圧強度

HFRP部材	終局強度 [kN]	240
	安全率	4.0
	許容支圧強度 [kN]	60
GFRP部材	終局強度 [kN]	42.3
	安全率	4.0
	許容支圧強度 [kN]	10.6

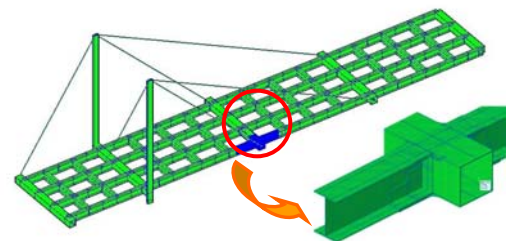


図-3 線路上空自由通路の解析モデル

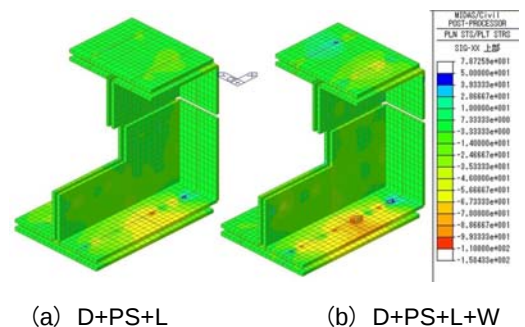


図-4 三面連結板の応力分布

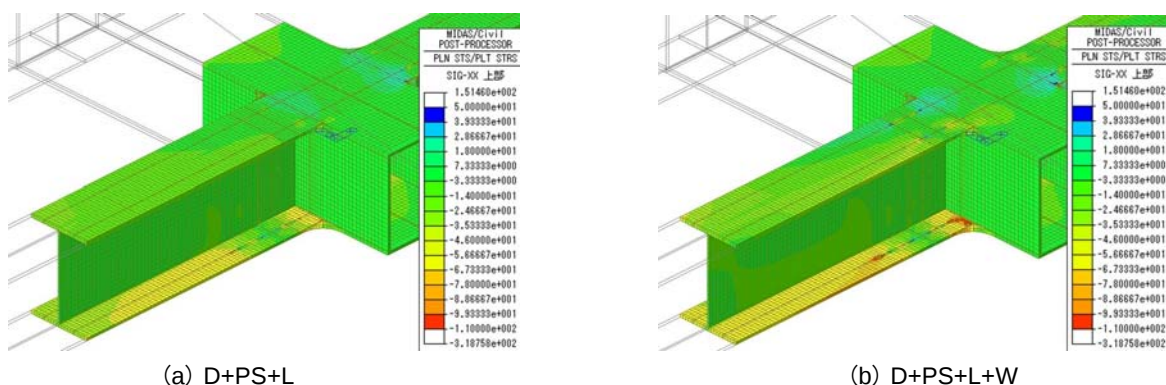


図-5 三面連結板を用いた接合部における母板の応力分布