

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

建設技術研究所 正会員 ○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

ジェイテック フェロー 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、軽量性を活かした一括架設による急速施工を容易にするため、主桁と横桁を剛結し、横構を省略することで、床組み構造を簡素化・軽量化することなどが考えられている¹⁾。本研究では、HFRP 主桁と鋼横桁の接合部に着目して検討を行った。

2. 骨組構造解析に基づく接合部の試設計

検討対象とした橋梁は、**図-1**に示した HFRP 桁を主桁に適用した斜張橋形式の線路上空自由通路であり、ケーブル定着部は鋼箱形断面桁、その他の横桁は GFRP 桁とした。主桁・横桁の寸法と物性値を**表-1**に示す。接合部の断面力は骨組構造解析により算出し、死荷重(D)、ケーブルプレストレス荷重(PS)、活荷重(L、主径間全載荷)、風荷重(W)を考慮した。荷重の組み合わせは、風荷重は活荷重を載荷しない状態で考慮するものとし、 $D+PS+L$ および $D+PS+W$ について検討した。解析結果から、面外方向の曲げモーメントを考慮した場合にフランジ応力度が最大となる点に着目し、試設計を行った。外桁のフランジに作用する応力度の分布を**図-2**に、設計対象とした接合部を**図-1**および**図-2**に、着目した接合部の断面力を**表-2**に示す。

HFRP 主桁と鋼箱形断面横桁との接合部は、打込み式高力ボルトによる支圧接合を前提とした。打込み式高力ボルト(M22, B10T)を HFRP 桁に用いる際の支圧力については、別途、実験的な検討を行って、表-3 に示した結果を得ており、試設計ではこの値を用いた。試設計の結果として、鋼箱形断面横桁に主桁断面と等しい断面を有する仕口を設けて主桁を接合した設計例を図-3 に示す。

3. 縮小模型による面外荷重に対する接合部の曲げ強度の検討

設計した接合部の面外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。試験体は H 形鋼 (H300×300, SS400) に HFRP 桁 (I300×150) を垂直に接合したものであり、試験体の H 形鋼のフランジとウェブは鋼箱形断面桁の中心線から半分として、H 形鋼のフランジは張出し部としてモデル化した。接合部はさらなる高強度化と合理化を図るため、HFRP 桁の接合に高力ボルト摩擦接合 (M16, F10T) と接着接合の併用接合²⁾を適用した。なお、鋼横桁部の接合は摩擦接合とした。実験は、電気油圧式サーボアクチュエータを用い、載荷速度 0.02 mm/sec. の変位制御で行った。試験体および接合部の面外曲げ載荷実験のセットアップ図を図-4 に示す。

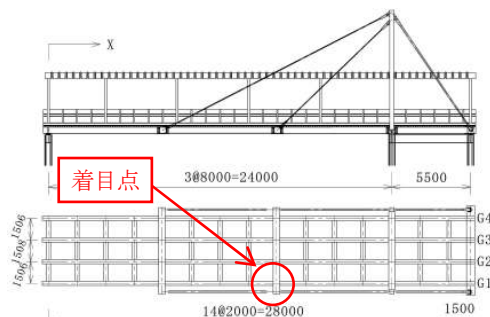


図-1 設計対象とした線路上空自由通路

表-1 主桁・横桁の断面寸法と物性値

断面寸法 [mm]		板厚 [mm]	弾性係数 [GPa]
HFRP主桁 (I440x300)	フランジ	14	48.8
	ウェブ	9	15.7
鋼箱形断面横桁 (H440x440)	フランジ	14	206
	ウェブ	14	206

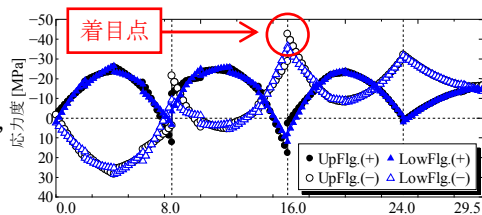


図-2 主桁フランジの応力度分布(D+PS+L)

表-2 着目点の断面力

軸力 [kN]		-152
せん断力 [kN]	面内	-3.4
曲げモーメント [kN.m]	面内	-43.6
	面外	4.6

表-3 ボルト 1 本あたりの最大荷重と許容力

母材の種類		最大荷重 [kN]	安全率	許容力 [kN]
鋼桁		—	—	72
HFRP 桁	フランジ	240	4.0	60
	ウェブ	200	4.0	50

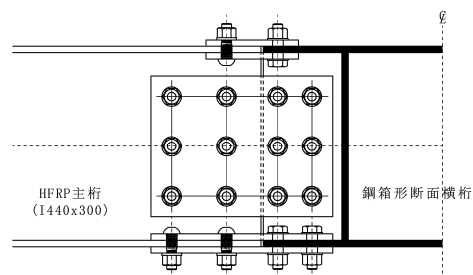


図-3 接合部の設計例

Keywords: ハイブリッドFRP, 打込み式高力ボルト, 支圧接合, 圧縮強度

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

実験の結果、HFRP 桁の接着併用の接合部におけるはく離や、鋼横桁の接合部における摩擦面のすべりはみられず、水平荷重 92kN で、添接板端部において HFRP 桁のフランジ端部が圧縮破壊し、終局を迎えた。破壊箇所を図-4 に、破壊の様子を図-5 に、HFRP 桁の水平変位分布を図-6 に、H 形鋼のウェブを中心とした接合点まわりの M- θ 関係を図-7 に、それぞれ示す。さらに、接合に用いたボルトのうち、最も大きな荷重を受けるボルト 1 本あたりの作用力と、アクチュエータのストロークの関係を図-8 に、HFRP 桁のフランジ端部の面外曲げ応力とストロークの関係を図-9 に、それぞれ示す。

図-6、図-7 から、接合点付近の水平変位は小さく、接合点まわりの回転角は、初期勾配が解析値とほぼ一致するため、面外方向荷重に対する接合部の剛性は十分に高いといえる。また、図-7 から、過去のクーポン試験結果²⁾より定めた許容支圧力程度の作用力の下では、線形挙動を示すことが解る。しかしながら、ボルト 1 本あたりの作用力がクーポン試験の終局荷重に達する前に終局を迎えている。これは、終局荷重に達する前に、フランジ端部が圧縮強度に達し、破壊したためである(図-9)。したがって、接合部は、面外方向の荷重に対して HFRP 部材の母材強度が支配的となることが確認できた。

4. 面外風荷重に対する主桁フランジの応力度照査と安全性

第2章の骨組構造解析の結果から、荷重の組み合わせ D+PS+W において、面外曲げモーメントを考慮した外桁フランジ端部の応力度の最大値をまとめたものを表-4 に示す。表-4 から、風荷重を載荷した場合、フランジ端部の応力は HFRP 部材の圧縮強度に達しておらず、圧縮応力の最大値と圧縮強度の比から、フランジ端部に生じる応力は圧縮強度に対して安全率 4.0 以上を確保することが可能であることが確認できた。ゆえに、面外方向の設計において、HFRP 母材の圧縮強度に対しても十分に安全な設計が可能であることが確認できた。

5. まとめ

以上のことから、試設計において、ボルト本数の決定および主桁のフランジに作用する応力に対して支配的となるのは活荷重を載荷した場合であった。一方、実験結果からは、面外方向の荷重に対して、母材強度が支配的となることが確認された。そこで、風荷重を考慮した荷重の組み合わせにおける骨組構造解析を実施したところ、フランジ端部の応力度は、母材の圧縮強度に対して、安全率 4.0 以上が確保されることが確かめられた。したがって、設計対象とした斜張橋においては、面外方向の荷重を考慮しても設計上の問題はなく、接合部の面外方向荷重に対する設計は、面内方向の断面力に対して設計を行えば、フランジの母材の応力度照査のみでよいといえた。

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, 第 16 巻, pp.167-174, 2008.11
- 2) 濱崎景太, 片野洋輔, 中村一史, 前田研一, 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, 第 66 回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, CS2-033, pp.65-66, 2011.9

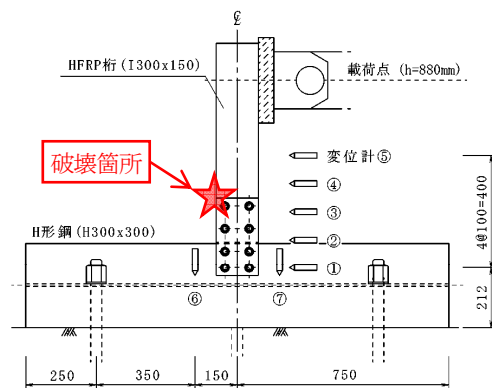


図-4 試験体とセットアップ図



図-5 フランジ端部の破壊状況

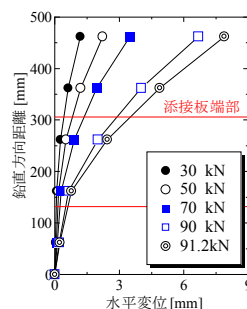


図-6 水平変位分布

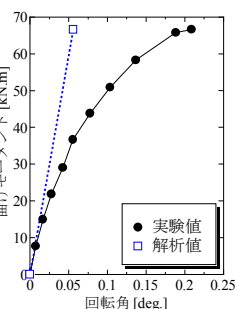


図-7 M- θ 関係

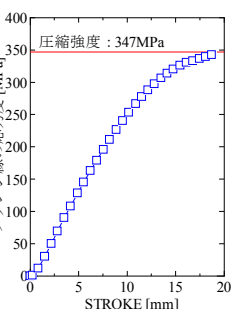
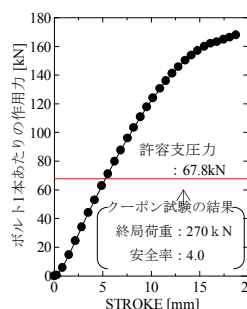


図-8 ボルトの作用力 図-9 フランジ端部の応力

表-4 外桁の最大圧縮応力と圧縮強度の比

荷重の組み合わせ		最大圧縮応力 ① [MPa]	圧縮強度 ② [MPa]	②/①
D+PS+W	G1	35.4	347	9.8
	G4	42.3		8.2