

ハイブリッド FRP 桁と鋼桁の高力ボルト接合に関する実験的検討

東京都立大学大学院 学生員 小野寺諒・正会員 中村一史
IHI インフラ建設 小林拳祐, 栗本鐵工所 花村光一
パシフィックコンサルタンツ 新倉利之

1. はじめに

FRP部材を既設の鋼部材に取り付ける場合、ボルトを用いたせん断支圧接合¹⁾を適用すると、継手耐力はFRP部材の支圧強度、せん断強度に依存し、それらの材料強度は鋼に比べて相対的に小さいことが課題となる。そこで、FRP板と鋼板の接合部の継手耐力を向上させる方法として、鋼板接着で補強されたFRP板の鋼添接板による接合方法を考案した²⁾。本研究は、継手引張試験で検討した鋼板接着によるFRP接合部の補強方法²⁾を応用して、ハイブリッドFRP（以下、HFRPとよぶ）桁と鋼桁を高力ボルト接合した試験体を作製し、桁接合部の耐力を実験的に検討したものである。

2. 接合試験体と実験方法

対象としたHFRP桁は、高さ450mm、幅150mmのI形断面であり、フランジはガラス繊維と炭素繊維のHFRPであり、ウェブはGFRPであり、引抜成形によって作製された。表-1に、HFRP桁の材料物性値を示す。図-1に、HFRP桁と鋼桁を接合した試験体のセットアップ図を示す。HFRP桁と鋼桁をウェブで添接板により接合し、支間長2500mmのI形断面桁として、4点曲げ载荷により、接合部の耐力を実験的に検討した。接合部は支点から300mm、载荷スパンを500mmとした。接合部は、GFRPウェブの両面に厚さ3.2mmの補強鋼板（SS400材）を、エポキシ樹脂接着剤（コニシE258R）を用いて接着した。さらに、厚さ9mmの鋼添接板（SS400材）を用いて、HFRP桁と鋼桁を摩擦接合で連結した。ボルトはひずみゲージ付き高力六角ボルト（F10T M22）を使用した。補強鋼板の摩擦接合面、鋼添接板には、無機ジンクリッチペイント（膜厚75μm）を塗布した。補強鋼板の接着接合面、鋼桁の摩擦接合面は、一種ケレン相当の表面処理を行った。

表-2に、実験シリーズを示す。FRPのクリープ変形に伴う高力ボルト軸力の低下を考慮して、高力ボルトの軸力をパラメトリックに検討した、設計軸力（205kN）を100%として、100%、80%、60%の3ケースを設定した。接合部の相対変位を計測するため、クリップ型開口変位計を設置した。図-2に、クリップ型変位計の設置位置を示す。また、FRP桁接合部の側面下方（FRP_SL, FRP_NLの近傍）にマイクロスコープを設置し、画像計測により、初期はく離の発生を目視観察した。

载荷には、汎用構造物曲げ载荷システムを使用し、油圧ジャッキ（容量：2000kN、200mm）を用いてハンドポンプによる载荷とし、50kNごとに荷重を漸増した。50kNごとの载荷では、载荷・除荷を2回ずつ繰り返した。

4. 実験結果と考察

実験結果の一部として、表-3 に、各実験シリーズにおける初期はく離時、最大荷重時の荷重、ボルト軸力の導入率、破壊

表-1 HFRP 桁の材料物性値

部材		HFRP 桁		
		フランジ	ウェブ	
等方性/異方性		異方性	異方性	
弾性係数[kN/mm ²]	0°方向 E_L	95.0	30.0	
	90°方向 E_T	10.5	15.0	
面内せん断弾性係数[kN/mm ²]		G_{LT}	4.5	6.0

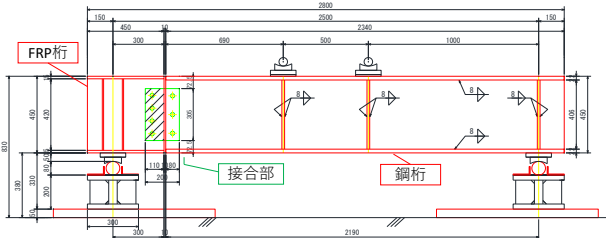


図-1 4点曲げ試験の概略図

表-2 4点曲げ試験の実験シリーズ

試験体名	ボルト軸力	試験体数
100A/B	100%	2
080A/B	80%	2
060A/B	60%	2

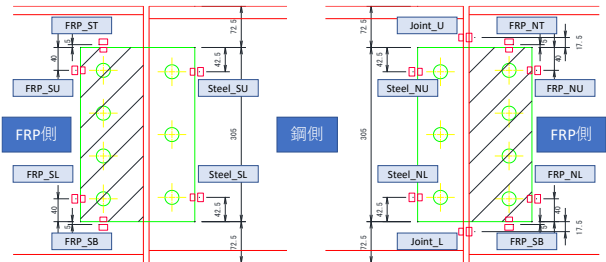


図-2 クリップ型変位計の設置位置

表-3 破壊荷重と破壊形式

試験体名	初期はく離時		最大荷重時		破壊形式
	荷重 (kN)	軸力導入率 (%)	荷重 (kN)	軸力導入率 (%)	
100A	295.5	90.6	530.8	90.6	すべり/はく離
100B	260.2	90.7	490.8	90.7	すべり/はく離
080A	210.9	75.5	436.1	75.5	はく離
080B	258.9	75.0	470.8	77.1	すべり
060A	192.2	57.6	464.8	64.0	すべり
060B	254.9	55.9	415.5	53.4	すべり

形式をそれぞれ示す。破壊形式では、はく離は接着剤の完全なはく離を、すべりは補強鋼板と鋼添接板の間で生じたことを示している。

表-3 より、すべりまたははく離は、GFRP ウェブの材料破壊よりも先行すること、ボルト軸力が低い場合、すべりが先行する傾向にあることがわかった。図-3 に、試験後のすべり面の状況を示す。すべりが生じた試験体では全てボルトまわりの無機ジンクリッチペイントのはく離が観察された。

図-4 に、試験後の接着面のはく離の状況を示す。完全にはく離した試験体は、全て凝集破壊であり、補強鋼板を接着することで、接着剤の材料破壊が先行し、GFRP ウェブの材料破壊が生じないことが確認できた。

図-5 に、100A 試験体における、継目および FRP 側側面に設置したクリップ型変位計の変位と荷重の関係を示す。図より、圧縮側、引張側で概ね対称の挙動であること、また、荷重が漸増するにつれて、除荷時の残留変位が大きくなることがわかった。これらは、載荷ごとに僅かなすべりあるいははく離が生じているといえた。100A 試験体では、S 側ですべり、N 側ではく離が生じたが、N 側の変位は、特に引張側で、S 側より大きくなっていることから、はく離が生じる場合、相対変位が大きくなるといえた。

図-6 に、マイクロ스코プの目視観察で得られた初期はく離荷重、最大荷重とその時のボルト軸力の導入率の関係を示す。初期はく離荷重は、ボルト軸力が大きいほど高くなる傾向がみられ、最小で 192kN、最大で 296kN であった。また、最大荷重について、080A では 436kN で完全にはく離であったが、080B は 471kN ですべり破壊であり、完全にはく離は生じなかったことから、破壊形式にもばらつきがあるといえた。

5. まとめ

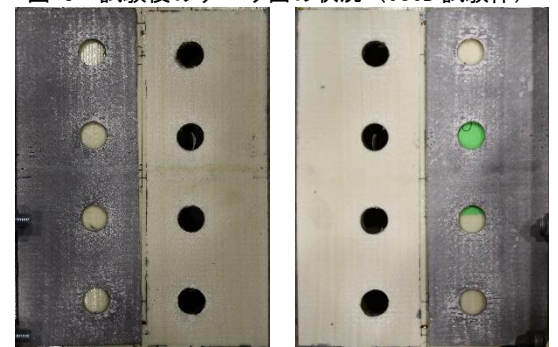
以上のことから、補強鋼板を接着して接合部を補強した HFRP 桁と鋼桁の高力ボルト摩擦接合では、すべりまたははく離が先行することで、GFRP ウェブの材料破壊が生じないことがわかった。また、漸増荷重の小さい荷重においても僅かなすべりが生じること、はく離が生じると接合部の相対変位が大きかったことがわかった。初期はく離は 192~296kN の間で生じ、ボルトの導入軸力が大きいほど、初期はく離荷重、最大荷重が大きくなる傾向にあるといえた。破壊形式は、試験体ごとのばらつきもあったが、ボルトの導入率が小さいほど、すべり破壊が支配的であった。

参考文献

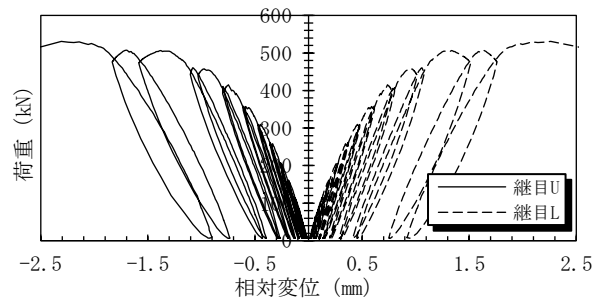
- 1) Clarke, J. L.: Structural Design of Polymer Composites -EUROCOMP Design Code and Handbook-, E&FN SPON, 1996.
- 2) 小野寺諒, 中村一史, 小林拳祐, 花村光一, 新倉利之: 鋼板接着で補強した GFRP 板の高力ボルト接合に関する実験的検討, 第 9 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム講演概要集, pp.129-135, 2022.



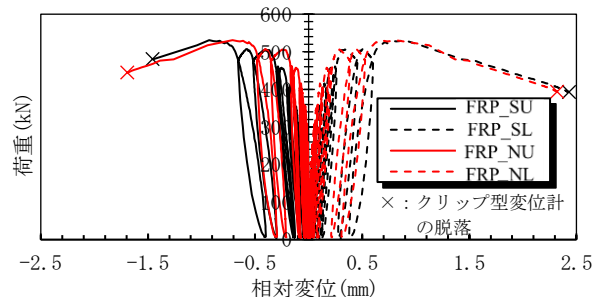
(a) S 側 (すべり破壊) (b) N 側 (すべり破壊)
図-3 試験後のすべり面の状況 (080B 試験体)



(a) S 側 (はく離破壊) (b) N 側 (はく離破壊)
図-4 試験後の接着面の状況 (080A 試験体)



(a) 継目部の相対変位



(b) FRP 側面の相対変位

図-5 荷重と変位の関係 (100A 試験体)

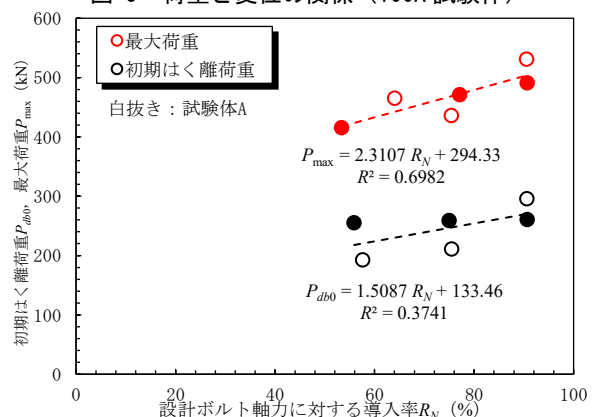


図-6 ボルト軸力と初期はく離荷重、最大荷重の関係