

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

首都大学東京大学院 学生員 ○濱崎景太・学生員 片野洋輔
 首都大学東京大学院 正会員 中村一史・フェロー 前田研一
 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) を用いた歩道橋の設計・施工にあたっては, FRP 部材の合理的な接合方法が求められている. 本研究では, これまでの検討結果¹⁾を踏まえ, ガラス繊維と炭素繊維で構成されるハイブリッド FRP (以下, HFRP) 部材の連結部に着目し, 摩擦接合用高力ボルトにエポキシ樹脂接着剤を併用した合理的な接合方法を提案することを目的としてクープン試験片による引張試験を行った. 高力ボルトの使用にあたっては, FRP および接着剤のクリープ変形によるボルト軸力の低下が懸念されることから, ボルト軸力の経時変化を検討した.

2. HFRP 部材の継手試験

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. 母板は, 既往の研究と同様に, RTM 成形された HFRP 板とした. ボルトは, 摩擦接合用高力ボルト (F10T M16) であり, 連結板には鋼板を使用した. 接合面については, HFRP 部材にはアルミナサンド(#46)を, また, 連結板にはスチールグリッド(#240)を用いて, 算術表面粗さ(R_a)が約 $10\mu\text{m}$, 十点表面粗さ(R_z)が約 $50\mu\text{m}$ となるようにブラスト処理を行った.

比較した接合方法は, 摩擦接合 (以下, F), 接着併用接合 (以下, FB), 接着接合 (以下, B) の 3 種類であり, FB ではボルトの締付け時期もパラメータとした. また, FRP および接着剤のクリープ変形によるボルト軸力の低下を考慮して, ボルトの導入軸力を, 設計軸力 $N=106\text{ kN}$ に対して 110%, 87%, 58%と変化させて検討した. 孔径は全て 18mm とした. 実験シリーズを表-2 に, また, 試験片図を図-1 に示す. 母板突合せ部および連結板端部の相対変位はクリップ型変位計 (6 箇所) を用いて, また, 各部位のひずみはひずみゲージを用いて, それぞれ計測した. 引張試験は, 万能試験機を用いて実施し, 変位制御 (2.5 mm/min) にて, 破壊まで載荷を行った.

2.2 実験結果と考察

表-2 に, 各接合方法におけるすべり荷重, すべり係数, 摩擦係数, 最大荷重の値を示す. また, 図-2 (a), (b) には, 摩擦接合, 接着併用接合における荷重と母板突合せ部の相対変位の関係をそれぞれ示す. 図-2 (a) から, F シリーズでは, 荷重の増加が停滞し, 相対変位が急増することが確認されたことから, この付近で母板と連結板との間ですべりが発生したと判断された. 表-2 に実験結果を示したように, 平均ですべり係数は 0.54 程度となることが確かめられた. F シリーズでは, すべり発生後は, ボルトの軸部が孔壁にあたって支圧状態となり, 荷重が再び増加したものと考えられる. 一方, 図-2 (b) からは, B および FB シリーズでは, 荷重と突合せ部の相対変位の関係が, 終局まで線形挙動を示し, FB シリーズではすべりが発生することなく最大荷重に達していることが解る. また, 図-3 より, F および FB シリーズで, ボルトの導入軸力にほぼ比例して, 最大荷重が増加すること, また, FB シリーズ

表-1 材料物性値

母板 (HFRP 板, $t=15\text{ mm}$)	弾性係数 (GPa)	48
連結板 (鋼板, $t=12\text{ mm}$)	弾性係数 (GPa)	190
	引張強度 (MPa)	346
	降伏点 (MPa)	210
摩擦接合用高力ボルト (F10T M16 $N=106\text{ kN}$)	耐力 (MPa)	1049
	引張強度 (MPa)	1078
エポキシ樹脂接着剤 (シーカデュア 30)	圧縮弾性係数 (MPa)	6.4
	引張強度 (MPa)	32

表-2 実験シリーズと実験結果

試験片名	接合方法	締付け時期	導入軸力 N_0 (kN)	N_0/N (%)	すべり荷重 (kN)	すべり係数	摩擦係数	最大荷重 (kN)
F1a	摩擦	-	117	110	131	0.57	0.60	203
F1b					105	0.45	0.48	171
F1c					129	0.56	0.62	179
F2			87	82	86	0.51	0.55	155
F3			58	55	69	0.60	0.62	138
FB1	接着併用	1週間養生後	117	110	-	-	-	271
FB2			87	82	-	-	-	224
FB3			58	55	-	-	-	188
FB1s		接着時	117	110	-	-	-	247
B1	接着	-	-	-	-	-	-	116

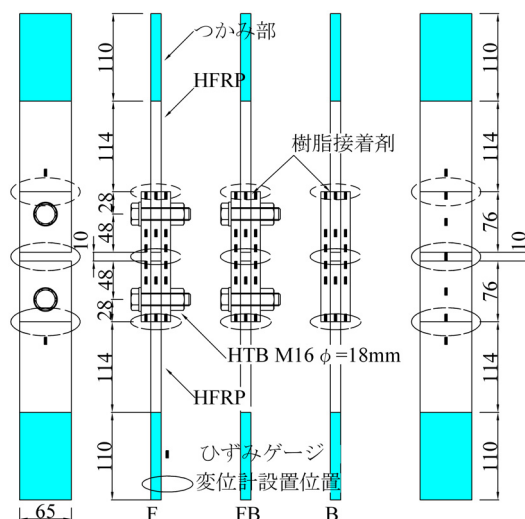


図-1 引張試験用の試験片

Key Words : ハイブリッド FRP 部材, 接合部, 高力ボルト, 接着剤, クリープ

連絡先*: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL.042-677-1111 内線(4564)

の最大荷重は、F シリーズの最大荷重に比べて、同じ導入軸力で40%程度、大きくなることが確かめられた。なお、図を略したが、HFRP 部材は、厚さ方向にも GFRP 層と CF を多く含むハイブリッドFRP 層に分かれている。F, FB シリーズともに、GFRP 層では引張破壊、もう一方ではせん断破壊であった。

3. ボルト軸力の経時変化の検討

3.1 試験片と実験方法

図-4 に示すように、埋込み式ひずみゲージを設置して、ボルト軸力を計測した。材料物性値およびボルトの締付け条件は継手試験と同一である。パラメータは、接着層厚(なし, 0.4mm, 1.5mm)とプレテンション(締付け後, 24 時間後に一度開放し、再締付け(設計軸力の 10%増)を行うこと)の有無とし、各 2 体ずつ、計 12 体の試験片を対象とした。

3.2 実験結果と考察

表-3 に、ボルト締付け後(プレテンション有では、再締付け後)、24 時間および 1400 時間(約 2 ヶ月)経過した時点における、設計軸力 N に対するボルト軸力 N_c の割合 (N_c/N) を示す。まず、24 時間後における摩擦接合では、プレテンション無の場合、設計軸力に対するボルト軸力の割合は、平均で 104.6%であるのに対し、プレテンション有の場合、平均で 106.5%となり、プレテンションを導入している試験片の方が、ボルト軸力の低下が小さいことが解り、1400 時間後においても同様の傾向が得られた。また、図を略したが、全ての試験片で、締付け後、約 1 時間で急激なボルト軸力の低下が見られた。さらに、100 時間を経過したあたりから、ボルト軸力の低下の度合いが緩やかになり始め、1400 時間後には設計軸力 N と同程度か、僅かに上回るくらいまで低下することが確認された。接着併用接合では、接着層厚が厚いほど軸力が低下するが、今回の検討の範囲では、プレテンションを与えれば、その低下が抑制され、接着層厚による軸力の差異も小さくなる傾向が見られた。

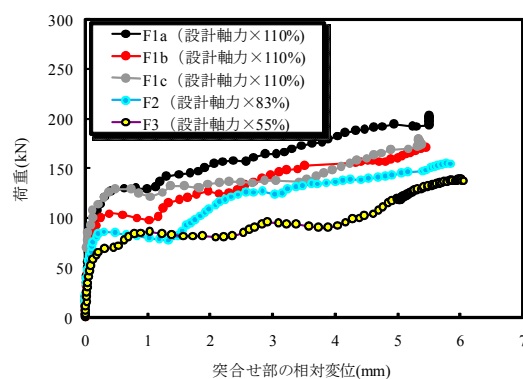
4. まとめ

ハイブリッド FRP 部材における摩擦接合では、平均で 0.54 程度のすべり係数を確保できること、また、接着併用接合では、最大荷重はボルト軸力に比例して増加し、摩擦接合のすべり荷重に比べて約 40%増加することが確かめられた。したがって、摩擦接合用高力ボルトに接着接合を併用することにより、より合理的な接合とすることができるといえた。また、ボルト軸力の経時変化の検討では、約 2 ヶ月間の実験結果であるが、プレテンションの導入は、ボルト軸力の低下を抑制する効果のあることが確かめられた。今後も計測を継続し、データを蓄積する予定である。

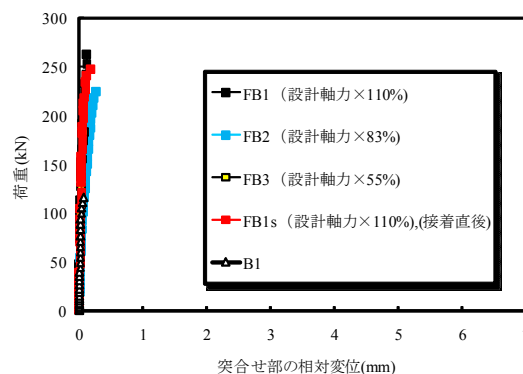
本研究を行うにあたり、日本シーカ株式会社より、実験材料を提供いただいた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 片野洋輔, 中村一史, 前田研一, 陸好宏史, 松井孝洋, 鈴川研二, 吉田 一, 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, 土木学会第 65 回年次学術講演会概要集, CS2, pp.23-24, 2010.9



(a) 摩擦接合



(b) 接着併用接合および接着接合
図-2 荷重と相対変位の関係

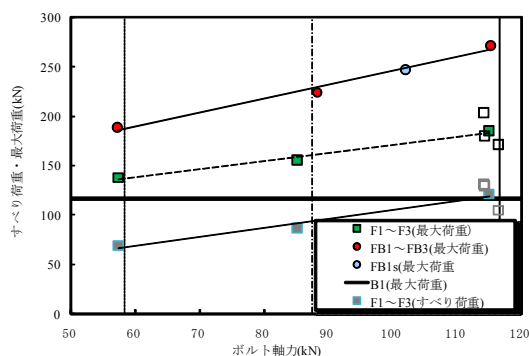


図-3 最大荷重と軸力の関係

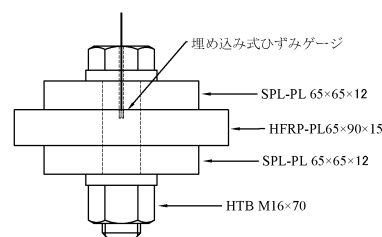


図-4 ボルト軸力計測用の試験片

表-3 ボルト軸力の経時変化

接合方法	プレテンション	接着層厚 (mm)	ボルト軸力の割合 N_c/N (%)	
			24 時間後	1400 時間後
摩擦	無	なし	104.6	101.1
	有		106.5	102.6
接着併用	無	0.4mm	105.2	101.9
	有		107.5	103.7
	無	1.5mm	104.3	100.2
	有		105.8	102.9