

補強鋼板を接着した GFRP 板と鋼板の高力ボルト接合部のリラクセーション試験

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

1. はじめに

本研究は、炭素繊維とガラス繊維からなるハイブリッド FRP 桁のウェブ（GFRP）と鋼桁ウェブとの高力ボルト接合の開発りを目的としたもので、補強鋼板をエポキシ樹脂接着剤でウェブに接着した後、現場にて、鋼添接板を用いて既設の鋼桁と高力ボルト摩擦接合により接合する施工を想定している. 実構造物において、摩擦接合として機能するためには、高力ボルトには、所定の設計ボルト軸力が保持される必要がある. 開発中の接合方法では、高力ボルトの締付けにより、GFRP 板、接着層にクリープ変形が生じ、ボルト軸力の低下が懸念される. 既往の研究²⁾では、20～30%低下する可能性が指摘されている. 対象とする接合部に、ボルト軸力を予め導入することで、クリープ変形を発生させれば、その後のボルト軸力の低下が抑えられること³⁾も示されている. そこで、本検討では、予め工場で、GFRP ウェブに補強鋼板をエポキシ樹脂接着剤で接着し、硬化後に高力ボルトで締付けることで、予めクリープ変形を発生させる. 次に、作業工程の時間の相違を考慮して、高力ボルトによる設計ボルト軸力の導入（本締め）を検討し、ボルト軸力の経時変化、試験片の厚さ変化を計測する. それらの結果を考慮して、工場内での軸力管理、現場での本締めのタイミングなどを検討する. 本研究では、補強鋼板が接着された GFRP 板と鋼添接板の高力ボルト接合を模擬した試験片を用いて、高力ボルトの軸力を長期間計測し、リラクセーション特性を把握する.

2. 試験概要

図-1 に、試験片図を示す. 寸法は 80×80mm とし、GFRP 板（厚さ 10mm）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, 厚さ 0.4mm）で接着する. 硬化・養生（1 週間）後、鋼添接板（厚さ 9mm）を両側から六角高力ボルト（M22 F10T）で接合する. ボルト孔の直径は 24.5mm であり、補強鋼板の摩擦接合面、鋼添接板の両面には無機ジンクリッチペイント（膜厚 75μm）が塗布されている. 表-1 に、HFRP 桁ウェブ（GFRP）の材料物性値を示す. なお、図-1 には、リラクセーション試験中に、厚さを計測する位置を示している.

図-2, 表-2 に、製作と作業の工程で想定する施工期間（シナリオ）と実験シリーズをそれぞれ示す. まず、GFRP 板と補強鋼板の接着・硬化後に、設計ボルト軸力の 63%（普通ボルト相当の軸力 130kN）にて予備締めし、仮固定する養生期間（N1）を設定する. 養生期間の完了後、仮固定のボルトを取り外し、部材の出荷・運搬を想定した期間（N2）、現場で HFRP 桁を既設鋼桁に接合する本締め後の供用期間（N3）を設定した. N1, N2 の各期間の組合せを 5 ケース設定し、接合部材の厚さ、長期間のボルト軸力の計測を行った. なお、本締めでは、設計ボルト軸力（205kN）の 10% 増しの 225kN を、トルクレンチを使用して導入した. ボルト軸力は、埋込み型ひずみゲージを用いて計測した.

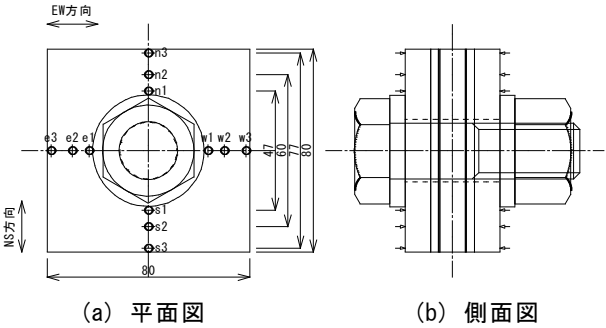


図-1 試験片図と厚さの計測位置

表-1 HFRP 桁ウェブ（GFRP）の材料物性値

弾性係数[kN/mm ²]	0°方向 E_L	30.0
	90°方向 E_T	15.0
面内せん断弾性係数[kN/mm ²]	G_{LT}	6.0

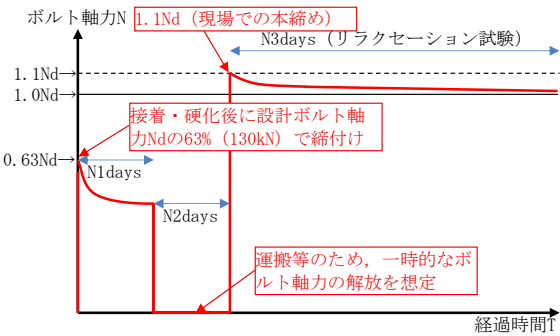


図-2 製作と作業の工程で想定する施工期間

表-2 実験シリーズ

ケース	試験片数	試験片名	日数		
			N1	N2	N3
a	2	a1, a2	1	7	継続
b	2	b1, b2	3	7	継続
c	2	c1, c2	7	7	継続
d	2	d1, d2	1	1	継続
e	2	e1, e2	3	1	継続

キーワード GFRP 板, 鋼板接着, 高力ボルト摩擦接合, リラクセーション
連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 東京都立大学 TEL.042-677-1111 内線 (4564)

3. 実験結果と考察

実験結果の一部として、図-3 に、試験片 a1 の NS 方向におけるボルトの締付けに伴う板厚変化を示す。板厚は、図-1 に示した計測点において、マイクロメータ（最小目盛：0.001mm）を用いて計測した。図より、厚さの初期値（補強鋼板が接着された GFRP 板と鋼添接板を六角高力ボルトでセットした状態）に対して、予備締め（設計ボルト軸力の 63%導入）および本締め（設計ボルト軸力の 110%導入）の直後では、座金に近い位置ほど板厚が小さくなる挙動を示すこと、予備締めと本締めの直後では、板厚変化は同程度であることがわかる。また、予備締めの解放直後の計測では、板厚が大きくなり、板厚が戻る傾向がみられ、開放後、時間の経過（168 時間後）とともに板厚が若干増えることもわかる。

図-4～図-5 に、ボルト軸力（設計ボルト軸力に対する比率）と経過時間の関係を示す。図-4 より、表-2 に示したシナリオ通りに、ボルト軸力が導入されていること、経過時間が 500 時間（約 3 週間）までは、ボルト軸力は 200kN 程度が保持されていることがわかる。また、予備締め、本締めに関わらず、締付けから 1 時間以内で、ボルト軸力の低下が顕著であることもわかる。接着・養生は約 30℃（室温）、1 週間であったため、完全に硬化した状態で、予備締めの養生期間 N1（1～7 日）となり、本締め時には全ての試験片で接着剤の硬化に差異はなかったと推察される。

図-5 の実験開始から約 223 日間の計測結果からは、時間の経過とともに、ボルト軸力が低下すること、最低気温となる 4382 時間以降、気温は上昇に転じるが、ボルト軸力も増加する傾向となることがわかる。これは既往の検討結果³⁾と同じ傾向であり、温度変化の影響を受けるといった。

表-3 に、本締め直後、1 時間後および 30 日経過ごとの経過日数における軸力の導入率を抜粋して示す。それぞれの計測時点における最大・最小の範囲を赤から白のスケールで示している。全ての試験片で、軸力の変化（高低の順位）は同様であること、最低気温に近い 180 日時点の導入率が最も小さいことがわかる。以上のことから、ボルト軸力は、表-2 に示したシナリオの影響は小さく、本締めで導入される軸力に依存するといえた。

4. まとめ

以上のことから、補強鋼板が接着された GFRP 板と鋼添接板を高力ボルトで締付けた実験では、長期間のボルト軸力は、本締め時の導入軸力に依存すること、210 日経過時の導入率は 91～95%であることが確かめられた。今後もボルト軸力の計測を継続し、長期挙動を検討したい。

参考文献

1) 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.

2) 複合構造委員会編:FRP 部材の接合および鋼と FRP の接着接合に関する先端技術, 土木学会, 複合構造レポート 09, 2013.

3) 岩崎初美, 松井孝洋, 小林拳祐, 中村一史: 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強度特性, 土木学会, 構造工学論文集, Vol.64A, pp.768-778, 2018.

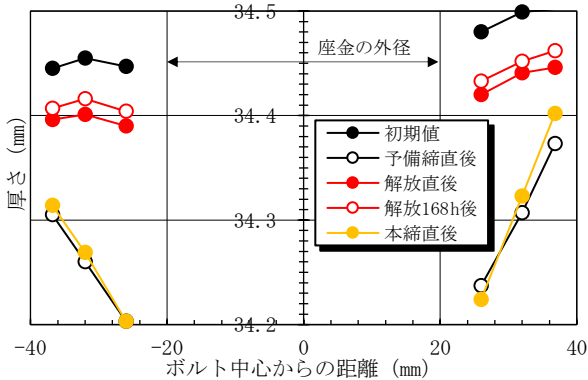


図-3 ボルト締付けに伴う板厚変化 (a1, NS)

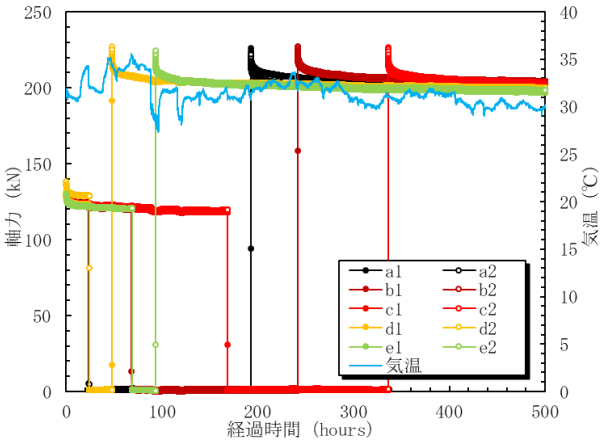


図-4 ボルト軸力と経過時間の関係 (500 時間)

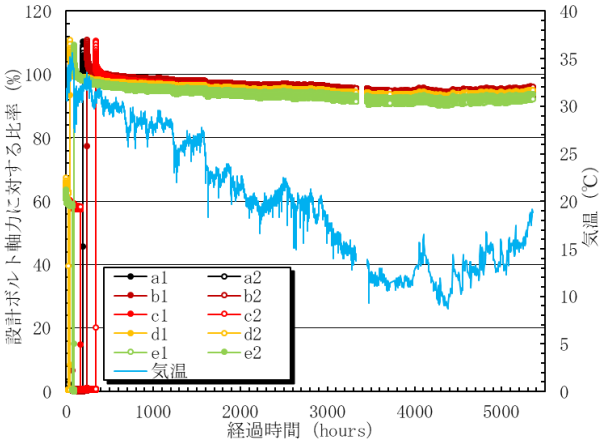


図-5 設計ボルト軸力に対する比率と経過時間の関係

表-3 設計ボルト軸力に対する軸力の導入率 (%)

試験片	直後	1時間	30日	60日	90日	120日	150日	180日	210日
a1	107.8	105.1	97.7	97.2	96.0	95.6	94.2	93.9	94.6
a2	108.2	102.8	95.2	94.5	93.1	92.7	91.1	90.9	91.8
b1	110.8	105.6	98.2	97.2	95.9	95.4	94.1	94.0	94.5
b2	110.8	106.4	98.8	97.9	96.7	96.2	94.9	94.7	95.2
c1	110.6	104.9	97.9	96.6	95.3	94.8	93.4	93.2	93.8
c2	110.0	103.9	96.5	95.4	94.0	93.4	91.9	91.6	92.3
d1	110.4	104.8	96.4	95.6	94.3	93.8	92.3	92.0	92.7
d2	110.8	104.2	97.0	96.4	95.3	94.9	93.7	93.4	94.1
e1	108.9	103.3	95.1	94.4	93.0	92.4	90.9	90.5	91.2
e2	109.4	103.5	96.1	95.4	94.3	93.9	92.6	92.3	92.8