

ハイブリッド FRP 部材と鋼部材の一面せん断ボルト継手の引張試験

首都大学東京(研究当時) 正会員○小林 拳祐
 首都大学東京 正会員 中村 一史
 (株)IHI 正会員 岩崎 初美
 東レ(株) 正会員 松井 孝洋

1. はじめに

既設鋼橋で腐食劣化した横構や対傾構などの二次部材の取替材料として、軽量で、腐食しない FRP 形材の利用が期待されている。本研究では、軸方向の剛性と強度を炭素繊維で確保しつつ、軸直角方向の強度やせん断強度に配慮するために、ガラス繊維を配置したハイブリッド FRP (以下、HFRP) を対象に、1 面せん断継手形式の合理的な接合方法を提案することを目的として、実験的な検討を行った。接合材料には、摩擦接合用高力ボルト (F10T M22)、支圧接合用打ち込み式高力ボルト (B10T M24)、あるいはエポキシ樹脂接着剤を用いて、種々の接合条件をパラメータとして継手試験体を作製し、引張試験を行った。

2. 試験概要

図-1 に、継手引張試験における試験体の一例を示す。実験には、万能試験機 (容量: 1000kN) を使用し、載荷速度を 2.5mm/min として、破壊まで載荷した。試験体には、HFRP 板の側面および鋼板の表面と側面に 1 軸ひずみゲージ (ゲージ長 3mm) を、部材間の相対変位を計測するために、 π 型変位計を設置し、ひずみの値と相対変位をデータロガーにより計測した。なお、実験パラメータは、接合方法、孔径、ボルト列数、接合面数、縁端距離、炭素繊維板の追加の有無とした。ここで、炭素繊維板 (一方向材) は HFRP 板の支圧強度を向上させる目的で配置したものである。表-2 に、実験パラメータを示す。ボルトへの軸力導入には、トルクレンチを使用し、設計ボルト軸力の 10% 増しを目標値として、トルク管理を行った。なお、ボルトの縁端距離および中心間隔は、鋼部材における高力ボルト摩擦接合の設計に基づいて設定した。

3. 試験結果と考察

表-2 に、実験パラメータと試験結果を、また、図-2 に、荷重と部材間の相対変位の関係を示す。本試験では、摩擦接合の荷重-相対変位関係が、最初に非線形な挙動を示した点を第 1 すべり点とし、その時点での荷重をすべり荷重とした。接着併用接合では、最初に非線形な挙動を示した点で、接着層の破壊が生じた。支圧接合では、HFRP 板のせん断破壊まで、

表-1 材料物性値

HFRP 板 (板厚 16.3mm)	弾性係数 (kN/mm ²)	72.0
	引張強度 (N/mm ²)	807.1*
鋼板 (SM570, 板厚 14mm)	弾性係数 (kN/mm ²)	206.9
	降伏強度 (N/mm ²)	573.1
炭素繊維板 (板厚 2mm) **	引張強度 (N/mm ²)	675.2
	弾性係数 (kN/mm ²)	187
接着剤 (コニシ E258R) **	引張強度 (N/mm ²)	2655
	圧縮強度 (N/mm ²)	77
	圧縮弾性係数 (kN/mm ²)	3.6
	引張せん断接着強度 (N/mm ²)	26
摩擦接合用高力ボルト (F10T M22×85) ***	耐力 (N/mm ²)	1039
	引張強度 (N/mm ²)	1086
	トルク係数値	0.131
摩擦接合用高力ボルト (F10T M22×90) ***	耐力 (N/mm ²)	1037
	引張強度 (N/mm ²)	1085
	トルク係数値	0.130
支圧接合用打ち込み式 高力ボルト (B10T M24×85) ***	耐力 (N/mm ²)	1015
	引張強度 (N/mm ²)	1073
	トルク係数値	0.141
支圧接合用打ち込み式 高力ボルト (B10T M24×90) ***	耐力 (N/mm ²)	1017
	引張強度 (N/mm ²)	1074
	トルク係数値	0.133

* : 定着部で破壊した時の最大引張応力 (暫定値)

** : メーカーによる計測値

*** : ミルシート値

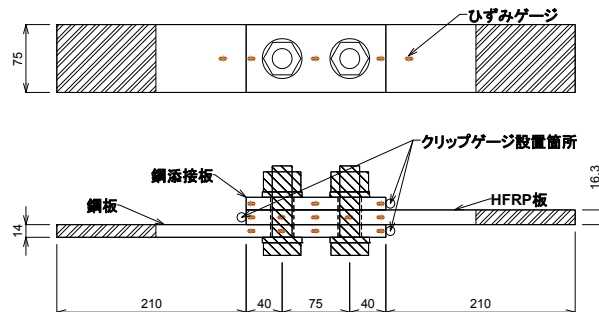


図-1 継手試験体の一例 (F26_2_1_40)

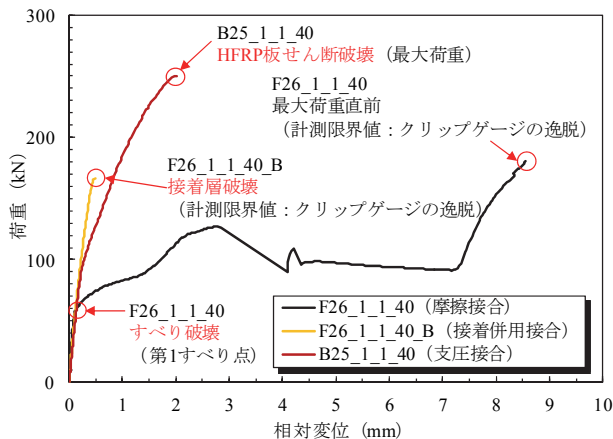


図-2 荷重と部材間の相対変位の関係

キーワード HFRP, 鋼板桁橋二次部材, 高力ボルト接合, 接着接合, 継手強度

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 都市環境学部 TEL 042-677-1111 (内) 4564

荷重が上昇するが、途中の非線形な挙動は、継手のすべりではなく、一面せん断の偏心曲げの影響が π 型変位計で計測されたことによるものと推察された。

図-3 に、すべり荷重・最大荷重とボルト列数の関係を示す。

図-3、表-2 から、摩擦接合では、道路橋示方書で定められるすべり係数の規定（接触面を塗装しない場合 0.40 以上）を下回った。最大荷重を比較すると、支圧接合では、他の接合方法と比べて、最大荷重が増加した。以上のことから、1 面せん断形式の継手に対して、支圧接合が最も効果的な接合方法であるといえた。さらに、高力ボルト接合と接着接合を併用することで、十分な継手耐力を確保できることがわかった。

図-4 に、炭素繊維板が最大荷重に及ぼす影響を示す。試験結果から、炭素繊維板の追加で最大荷重は微増していることから、HFRP 板の支圧耐力が向上していると考えられるが、使用した炭素繊維板の板厚は 2mm である。炭素繊維板の厚さが最大荷重に及ぼす影響は十分に検討できていないため、今後の課題である。

図-5 に、継手部のひずみ分布の一例 (F26_2_1_40_C) を示す。図-5 から、最大荷重 (431kN) 時に、両部材の端部近傍でひずみが集中している。鋼板では、ボルト孔のある断面にも高いひずみが発生しており、継手端部近傍とボルト孔のある断面で降伏ひずみに達していることがわかる。この傾向は、ボルト 2 列以上の試験体で確認されたため、ボルト列数が増加すると、継手の破壊形式は、鋼板の降伏後の HFRP 板のせん断破壊、あるいは鋼板の純断面引張破壊になるといえた。

4. まとめ

HFRP 部材と鋼部材の 1 面せん断継手形式では、支圧接合において最も高い継手耐力が得られた。摩擦接合では、鋼材と同等のすべり係数は得られなかったが、接着接合と併用することで、摩擦接合を上回る継手耐力を確保できることが確かめられた。

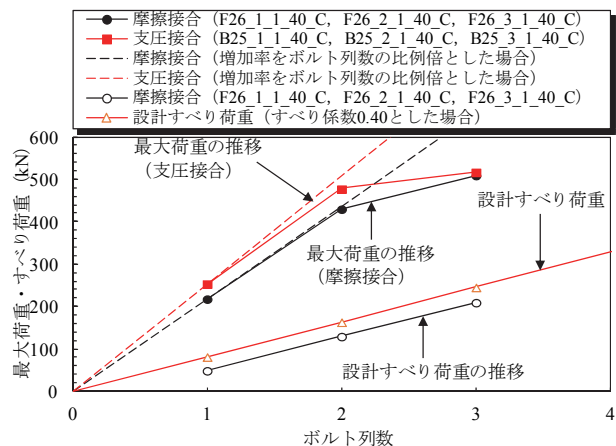


図-3 すべり荷重・最大荷重とボルト列数の関係

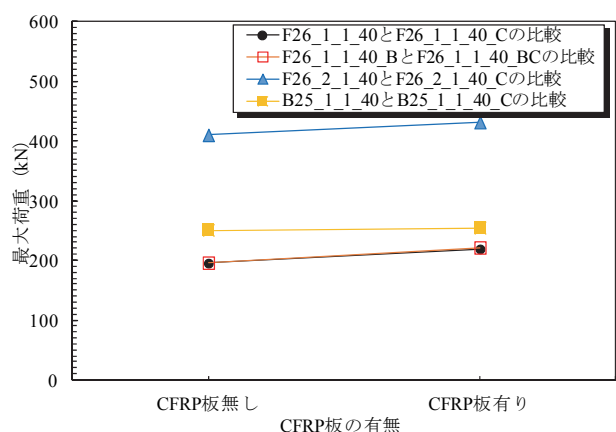


図-4 炭素繊維板が最大荷重に及ぼす影響

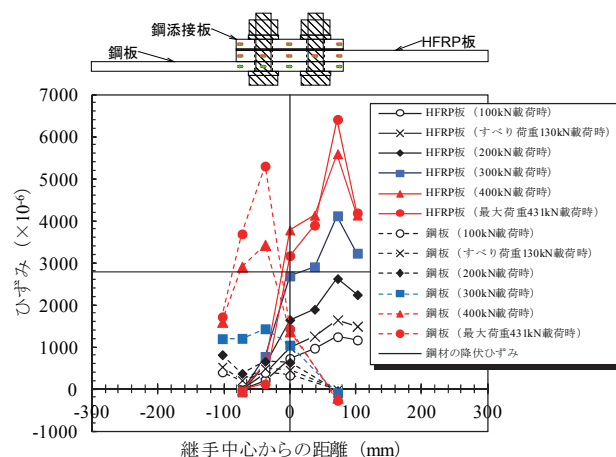


図-5 継手部のひずみ分布 (F26_2_1_40_C)

表-2 実験パラメータと試験結果

試験体	接合方法	孔径 (mm)	ボルト列数	接合面数	縁端距離 (mm)	炭素繊維板の追加	すべり荷重 (kN)	すべり係数 μ	最大荷重 (kN)	破壊形式
F26_1_1_40	摩擦	26.0	1	1	40	無	56.1	0.249	194.9	HFRP 板のせん断破壊
F26_2_1_40		26.0	2	1	40	無	190.8	0.423	409.4	HFRP 板のせん断破壊
F26_1_1_40_C		26.0	1	1	40	有	49.5	0.220	218.6	HFRP 板のせん断破壊
F26_2_1_40_C		26.0	2	1	40	有	130.2	0.289	430.7	HFRP 板のせん断破壊
F26_3_1_40_C		26.0	3	1	40	有	210.3	0.311	510.0	鋼板の純断面引張破壊
F26_1_1_40_B	接着併用	26.0	1	1	40	無	166.5*	—	195.7	HFRP 板のせん断破壊
F26_1_1_40_BC		26.0	1	1	40	有	173.9*	—	221.0	HFRP 板のせん断破壊
B25_1_1_40	支圧	25.5	1	1	40	無	—	—	250.5	HFRP 板のせん断破壊
B25_1_1_40_C		25.5	1	1	40	有	—	—	254.2	HFRP 板のせん断破壊
B25_2_1_40_C		25.5	2	1	40	有	—	—	478.1	HFRP 板のせん断破壊
B25_3_1_40_C		25.5	3	1	40	有	—	—	517.4	鋼板の純断面引張破壊
比較用 F24_1_1_40	摩擦	24.0	1	1	40	無	76.4	0.339	209.6	HFRP 板のせん断破壊
F26_1_1_70_C		26.0	1	1	70	有	81.1	0.359	242.5	HFRP 板のせん断破壊
F26_1_2_40		26.0	1	2	40	無	169.6	0.376	238.0	HFRP 板のせん断破壊

*: 接着層の破壊時の荷重