ハイブリッド FRP 板と鋼板の一面せん断高力ボルト継手の引張試験

首都大学東京大学院	学生会員	○齋藤	舜
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
東レ(株)		近藤 富	i 士夫

1. はじめに

FRP は、鋼材に比べて軽量で、優れた耐腐食性を有するため、既設鋼橋の腐食した横構や対傾構などの二次部材の取替 材料として利用することが考えられる.また、橋梁の構造用材料としては、剛性確保のために、軸方向に高弾性の炭素繊 維(CFRP)を、面内のせん断抵抗のために、軸直角方向に低弾性のガラス繊維(GFRP)を配置することで、経済的に優

れるハイブリッド FRP (HFRP) が有効であると考えられる.本研究 では,HFRP 板を鋼板に一面せん断継手形式で接合し,異種材料間の 継手強度を明らかにすることを目的とした.接合材料には,摩擦接合 用高力ボルト,エポキシ樹脂接着剤を用いて,試験体を作製し,引張 試験を行った.

2. 継手試験体の作製方法と試験条件

表-1に、材料物性値を、表-2に、実験シリーズを、図-1に、継手 試験体の一例をそれぞれ示す.試験体の材質、接着接合の有無、ボル トの締め付け条件、ボルト列数、ボルトピッチを実験パラメータとし た.なお、鋼部材における高力ボルト摩擦接合の設計に基づき、ボル トの縁端距離は 40mm を基本とし、ボルト孔径は 26mm の拡大孔と した.接合面は、鋼板、HFRP 板ともに、アルミナ(#24)によるブ ラスト処理を行った.表面粗さ *Rz*_{JIS}の計測結果(平均値)は、鋼板 で 29.9µm、HFRP 板で 40.3µm であった.ボルト軸力の導入には、ト ルクレンチを使用し、設計時軸力(205kN)の10%増しを目標値とし て、トルク管理を行った.接着剤を併用した試験体では、1週間、室 温 23℃で養生をした後、引張試験を実施した.なお、TYPE3 の試験 体の接合方法は、接着併用であるが、接着剤の硬化後に本締めを行っ た TYPE3a と、接着と同時に本締めを行った TYPE3b を比較すること で、同時締め付けが継手耐力に及ぼす影響を検討した.この試験体の 導入軸力は、ボルト頭部に設置した 2 軸ゲージを用いて管理した.

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、ひずみと 相対変位をデータロガーにより計測した.

3. 実験結果と考察

表-3 に、継手引張試験の結果を、また、図-2 に、TYPE4 の試 験体の破壊の状況をそれぞれ示す.図-2 より、HFRP 部材の表層 部で層間破壊が生じた後、HFRP 側のボルトと部材が支圧状態と なり、HFRP 部材ボルト孔近傍で純断面引張破壊することがわか

表-1 材料物性值				
HFRP 板	弾性係数(kN/mm ²)	146.9		
(板厚 21mm)	引張強度(N/mm ²)	842.4*		
鋼板 (SM570,板厚 14mm)	弾性係数(kN/mm ²)	206		
	降伏強度(N/mm ²)	577		
	引張強度(N/mm ²)	647		
接着剤 (コニシ E258R)**	圧縮強度(N/mm ²)	77		
	圧縮弾性係数(N/mm ²)	3.6		
	引張強度(N/mm ²)	33		
	引張せん断接着強さ (N/mm ²)	26		
摩擦接合用高力ボルト (F10T M22)***	耐力(N/mm ²)	1030		
	引張強度(N/mm ²)	1068		
	トルク係数値	0.131		

*: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 継手引張試験体の一例 (TYPE3a, 3b, TYPE10)

表-2 継手引張試験の実験シリーズ

タイプ	試験体	接合方法	締め付け	ボルト列	ボルトピ	挿入軸力
	の材質		条件	数	ッチ (mm)	(kN)
ГҮРЕ3а	鋼—HFRP	接着併用	硬化後	2	75	230
ГҮРЕ3Ь			接着時	2	75	202
TYPE4				2	112	225*
ГҮРЕ5				3	75	225*
TYPE10		摩擦	I	2	75	225*
TYPE12	HFRP同士	接着併用	接着時	2	75	225*
e L y p (本) z ト フ (空) 田						

トルク値による管理

表-3 継手引張試験の結果

タイプ	表層部層間破 壊荷重(kN)	すべり荷重 (kN)	すべり係数	最大荷重 (kN)	破壊モード
YPE3a	292.2	-	-	370.8	
YPE3b	284.7	-	-	364.5	
YPE4	314.1	-	-	404.2	HFKP 部州
YPE5	376.2	-	-	420.8	20171日内1日15日
YPE10	-	219.2	0.486	358.7	'JICHIX 400
YPE12	286.3	-	-	378.7	

キーワード ハイブリッド FRP, 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 首都大学東京大学院 TEL 042-677-1111 (内) 4564 った.これらの挙動は,接着併用した試験体で全て同じであった.そこで,接着剤を併用した試験体では,荷重-変位関係の荷重が最初に低下した時点での荷重を,HFRP板の表層部層間破壊荷重とした.また,接着剤を用いな

500

い,摩擦接合の試験体では,荷重-相対変位関係が最初に非線 形的な挙動を示した点を第1すべり点とし,その時の荷重をす べり荷重とした.

まず, TYPE10 の摩擦接合された試験体のすべり係数は, 0.486 であり, 道路橋示方書が規定するすべり係数 (0.4) を上 回る結果が得られた.

TYPE3a, 3bの実験結果から,表層部層間破壊荷重,最大荷重は 同程度であったことから,接着とボルト締め付けを同時に行って も接着剤硬化後であれば,継手耐力に影響がないといえた.

TYPE12の試験体は、HFRP 部材同士の接合を想定した試験体で ある.表層部層間破壊荷重,最大荷重は,鋼部材との接合の場合 と同程度であり、十分な継手強度を確保できるといえた.

図-3に、TYPE3aとTYPE10の試験体における荷重-変位関係を示す. クリップゲージの変位を相対変位, 試験機のチャック間変位を全体変位とした. 全体変位は, 試験体全体の伸びが含まれ, 変位が大きいため, 相対変位を用いて, 継手のすべり特性を評価した. TYPE3aでは, 表層部層間破壊荷重は292.2kNであり, これは, TYPE10のすべり荷重219.2kNを大きく上回った. 接着を併用することで, すべりは生じないため, すべり耐力以上の継手耐力を確保できることがわかった.

また、図-4 に、TYPE3a の試験体、また、図-5 に、TYPE10 の 試験体の HFRP 部材と鋼部材のひずみ分布を示す. 接着併用した TYPE3a の試験体の方が、HFRP 板、鋼板において、高いひずみが 発生することがわかる. 全ての試験体において、破壊形式は断面 C での HFRP 純断面引張破壊であったが、HFRP 板では、破壊断面 C 近傍(断面 B, D)で、最大荷重時に高いひずみが発生しているこ とがわかった. また、TYPE3a の鋼板では、鋼側ボルト孔断面 E で、最大荷重時に高いひずみが発生しており、降伏ひずみ(2770 ×10⁻⁶)を超えることが確認された. 一方、図-5の TYPE10の摩擦 接合において、すべり荷重近傍(200kN 載荷時)で、部材に生じ るひずみは、図-4 と比べて小さいことから、荷重が比較的小さい 段階から軽微なすべりが発生していると考えられた. すべり荷重 以降では支圧状態となり、鋼板側では断面 E で、HFRP 板側では 断面 B で大きなひずみが生じることがわかる. なお、最小断面の C では、ひずみは小さかった.

4. まとめ

一面せん断高力ボルト継手の引張試験結果から,以下がいえた.

- (1) 接着併用の場合,接着時にボルトを締め付けても,継手耐力 に影響はないことから,施工面で有用であるといえた.
- (2) 接着併用した高力ボルト接合は、摩擦接合のすべり耐力を上回ることがわかった.
- (3) 全試験体で, HFRP 板の純断面破壊形式であったため, 継手 耐力は, HFRP 板の材料強度に依存する.



図-2 試験体の破壊の様子 (TYPE4)





 HFRP板 (100k)載荷時)
HFRP板 (200k)載荷時)
HFRP板 (オペリ 荷重219kN載荷時)
HFRP板 (300k)載荷時)
HFRP板 (最大荷重358kN載荷時)
400kN載荷時)
400kN載荷時)
400kN載荷時) 4500 0--0 D--3500 鋼板(200kN載荷時 (すべり荷重219kN載荷時) (300kN載荷時) 鋼板 鋼板 **^ずみ(10>** (最大荷重358kN載荷時) 鋼板 2500 鋼板隆伯 1500 -150-100-50 50 100 150継手中心からの距離 (mm 図-5 継手部近傍のひずみ分布 (TYPE10)