

第 I 部門

FRP 製 HP リベットを用いた GFRP 部材の接合法に関する基礎的研究

神戸大学工学部 学生員 ○石間 啓介
 神戸大学大学院工学研究科 正会員 橋本国太郎
 株式会社ヒビ 正会員 日比 英輝

1. 研究背景および目的 FRP とは繊維強化プラスチック(Fiber Reinforced Polymer)の略称であり、樹脂を繊維強化材により補強し、樹脂単独に比べ強度や弾性率を向上させた複合材料である。FRP の特徴としては、軽量かつ高強度で施工性に優れており、錆びないため耐食性にも優れている。近年、FRP は土木構造物にも適用されつつあるが、腐食環境が厳しい場所では FRP 部材が腐食しなくても接合部に使用されているステンレスボルトが腐食するなど接合部の耐久性に問題がある。また、FRP を接着剤で接合した接合方法は、多くの研究成果¹⁾があるが、安全性が担保されていないため、あまり使用されていない。そこで本研究では、ボルトやリベットなどの金属製ファスナーを使用せず、接着剤を補助的に使用する FRP 製のリベット（以下、HP リベット）による接合方法を提案し、実験により、その強度特性を検討した。

2. HP リベット HP(Hand Pultrusion) リベットとは、人の手による引抜成形法で製作され、軸部とヘッド部を有するリベット形状をした FRP 製の留め具である。本研究ではこの提案した HP リベットの基本的な性能として、はじめに軸部およびヘッド部の強度を調べるために引張試験を行った。次に、HP リベットを用いた支圧せん断接合継手の接合部強度を調べるために引張試験を行った。

3. 実験方法 HP リベットの軸部引張試験について、図-1 に示すように $\phi 8\text{mm}$ の軸部両端に GFRP 製のつかみ部を接着剤により接合した試験体を 5 体製作して引張試験を行った。引張試験は万能試験機（島津製作所製：UH-1000kNXh）を用いて荷重およびストロークを測定、軸部の中心に対称な位置に貼った 2 枚の 1 軸ひずみゲージによりひずみを測定した。HP リベットのヘッド部引張試験は図-2 に示すように $\phi 18\text{mm}$ の HP リベットを用い、接着剤により接合した試験体を 5 体製作して引張試験を行った。引張試験は万能試験機（島津製作所製：UH-2000kNI）を用いて荷重および試験機ストロークを測定、およびヘッド部の中心に貼った 2 軸ひずみゲージによりひずみを測定した。

HP リベットを用いた支圧せん断接合部材の引張試験について、図-3 に示すように、接着剤のみで接合し



図-1 HP リベットの軸部引張試験

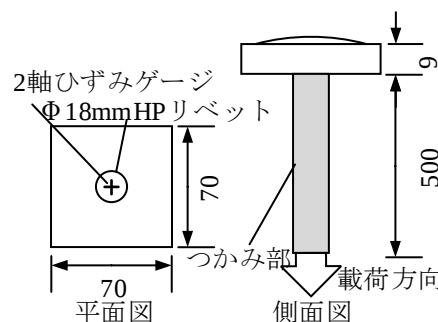


図-2 HP リベットのヘッド部引張試験

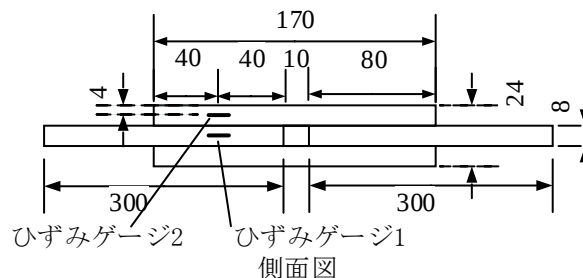


図-3 引張接合試験体

表-1 HP リベットの試験結果

		実験値	板の強度 参考値 ²⁾
軸部	引張(N/mm ²)	247	274
	せん断(N/mm ²)	43.8	51.3
	引張弾性 係数(kN/mm ²)	14.2	23.0
ヘッド部	引張(N/mm ²)	96.0	—

た試験体を5体、接合面の中心にφ18mm 孔加工を施し HP リベットを埋め込み、接着剤と併用した試験体を5体、および接着剤を用いず HP リベットのみで接合した試験体を5体製作して引張試験を行った。引張試験はヘッド部試験と同じ万能試験機を用いて荷重および試験機ストローク、クリップ変位計を用いて板同士の相対変位、および1軸ひずみゲージを用いて図に示す位置の板のひずみを測定した。

4. 実験結果 表-1 に示すように HP リベットの軸部引張試験結果として、平均最大応力は 247N/mm^2 、引張弾性係数は 14.2kN/mm^2 であった。参考とした同一メーカーの FRP 板の引張強度²⁾は 274N/mm^2 、引張弾性係数は 23.0kN/mm^2 であり、参考強度と比較すると小さい値となった。強度や弾性係数が低下した要因の1つとして参考値は繊維構成の違う板の強度を対象としているためと考えられる。FRP 板は繊維を交差させて積層しているため、参考とした板の強度は HP リベットの強度より高い値となると考えられる。他に繊維含有率のばらつきや樹脂内の繊維の配置も1つの要因に挙げられる。次に、表-1 に示すように HP リベットのヘッド部引張試験結果として、平均最大応力は 96.0N/mm^2 であり、軸部試験の最大応力 242N/mm^2 と比較すると、ヘッド部の強度は軸部の半分以下の値となった。HP リベットのヘッド部はガラス繊維を直線的に配置することが難しく、ガラス繊維を折り返す形状となる。よって繊維は繊維方向に引っ張られずヘッド部の強度が低下したと考えられる。

HP リベットを用いた支圧せん断接合部材の引張試験結果を表-2 および図-4～6 に示す。これらの図表から、平均最大荷重として、接着試験体は 85.4kN 、支圧試験体は 22.3kN 、併用試験体は荷重のピークが2つ現れ、第1ピーク荷重は 68.3kN 、第2ピーク荷重は 30.8kN となった。破壊の形式について併用試験体は第1ピーク荷重に達するまで接着剤が荷重を負担し破壊した後、HP リベットに荷重が伝達し第2ピーク荷重に達して破壊した。併用試験体の強度が接着試験体より低下した原因としては、HP リベットを挿入するために開けた孔による接着面積の減少が考えられる。また、支圧試験体の結果より HP リベットの1本当たりのせん断強度を求めると 43.8N/mm^2 であり、この材料と同様の参考強度²⁾ 51.3N/mm^2 と比較すると小さい値となった。強度が低下した原因は軸部の引張試験と同様と考えられる。

5. 結論 本研究では、FRP 部材同士を接合するための FRP 製の留め具である HP リベットを提案し、その基本性能を実験的に検討した。その結果、HP リベットの軸部の引張強度は板の参考強度の約 88%、引張弾性係数は約 80% となり、板の参考強度より低い結果となった。また、HP リベットのヘッド部の強度は軸部の強度の約 40% であった。HP リベットを用いた支圧せん断接合継手の強度は接着剤のみの強度と比べて約 22% 低下した。今後の課題として、HP リベット頭部の改良を行い、引張強度の向上を図る。また、HP リベットを使用した引張継手の検討を行う。

表-2 支圧せん断接合継手の試験結果

	平均第1 ピーク荷重 kN	標準 偏差	平均第2 ピーク荷重 kN	標準 偏差
接着試験体	85.4	7.3	—	—
併用試験体	68.3	11.5	30.8	6.7
支圧試験体	22.3	2.7	—	—

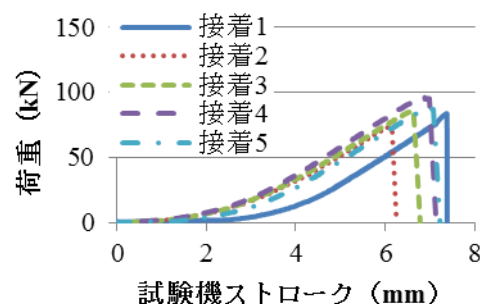


図-4 接着試験体

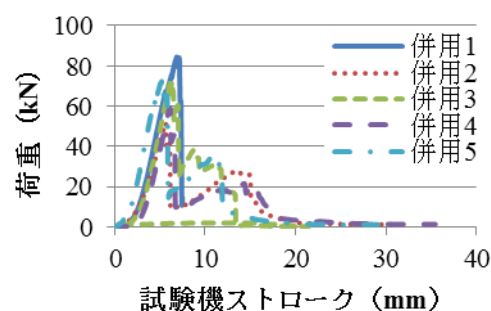


図-5 併用試験体

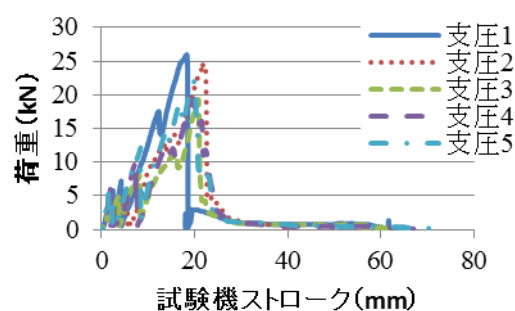


図-6 支圧試験体

参考文献：1) S.W.Boyd,I.E.Winkle,A.H.Day：Bonded butt joints in pultruded GRP panels—an experimental study, International Journal of Adhesion and Adhesives, Volume24, Issue3, pp.263-275, 2004.6.

2) 土木学会複合構造委員会：FRP 歩道橋設計・施工指針（案），pp.195-199, 2011.1.