

ハイブリッドFRP 桁のリベット接合に関する実験的検討

首都大学東京大学院 学生員 菊地 勇気

首都大学東京 フェロー 前田研一・正会員 中村一史

埼玉大学 フェロー 睦好宏史 東レ 正会員 松井孝洋・正会員 鈴川研二

1. はじめに

近年、社会基盤施設の建設における経済性の追求や、急速施工を含む架設作業の省力化、維持管理の合理化などの重要性が指摘されるなか、軽量性、耐食性をはじめ、加工性や、成形性などにも優れた繊維強化プラスチック (FRP) は、構造用の新素材として注目されている。本研究は、曲げ剛性に対する寄与度が高い部位に集中して炭素繊維を、それ以外の部位には比較的安価なガラス繊維を配置するハイブリッドFRP (以下、HFRP と略称する) 桁¹⁾を開発し、その実用化を図るものである。特に、接合部の設計が課題とされ、ここでは施工性に優れるリベット接合に着目して検討を行った。本研究では、クーポン試験片によるリベット接合部の引張実験を行い、FRP 桁接合部におけるリベット接合の合理的な接合方法とリベット本数を実験的に検討する。

2. ハイブリッドFRP と実験方法

開発したHFRP 桁は、ウェブにGFRPを、曲げ剛性への寄与が大きい上下フランジにCFRPとGFRPを融合させたハイブリッドFRPを配置した構造である。図-1にその断面形状を示す。ここでは、主桁フランジ部の接合部を検討する。添接板には、強度と耐久性に優れたステンレス鋼板 (SUS304) を用いる。リベットには片側施工が可能なブラインドリベットを、接着剤にはエポキシ樹脂接着剤を適用し、表-1にそれらの材料物性値を示す。

本研究では、接合方法を3シリーズ (リベット接合 R, 接着接合 A, リベット接着併用接合 RA), リベット列数を5ケース (1, 4, 7, 10, 13列) 設定して検討する。試験片図を図-2に示す。幅50mmの母材に対し、リベット行数は2行を基本とし、リベット間隔25mm, 縁端距離15mm, 縁側距離12.5mmとした²⁾。なお、添接板の板厚については、後述するように、母材をGFRPとした場合との比較およびリベットのかしめ厚を考慮して4mmとした。各列数について、それぞれ3体(N=3水準)の引張実験を行い、平均値で評価した。試験には万能試験機を用い、変位制御で荷重速度2.5mm/minとした。写真-1にセットアップ状況を示す。また、図-2に示すように、端部と継目部4箇所をクリック型変位計、添接板の表面には所定間隔でひずみゲージを設置した。

3. 実験結果と考察

図-3に荷重と継目部の開口変位の関係を示す。リベット接合 R は剛性が低いこと、接着接合 A は剛性が高いことが解る。リベット接着併用接合 RA は A と同程度に剛性を高められることがわかった。しかしながら、接着が切れると、添接板の塑性化が徐々に進行し、終局付近ではリベット接合と同じ挙動を示すことがわかった。

図-4, 5に10列モデルにおける64kN, 100kN 荷重時の添接板表面のひずみ分布を示す。64kN 荷重時では、R の端部付近ではひずみが生じず、継目に向かって大きくなる。A, RA では添接板全体のひずみがほぼ等しく、力の伝達が均一であることがわかる。一方、100kN 荷重時には、R の継目付近のひずみは急激に大きくなり、0.2%ひずみに達し塑性化する。A, RA の端部でひずみに勾配が生じるものの0.2%ひずみに達していない。これらより、接着接合を併用することによって、添接板に作用する力の伝達を均一にすることができるといえた。

図-6に最大引張荷重とリベット列数の関係を示す。1列では接着接合の A が最も強度が高く、4列以降はリベット接着併用接合の RA が最も強度が高い。R, RA は7列まで

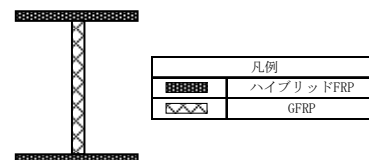


図-1 ハイブリッドFRP 桁断面図

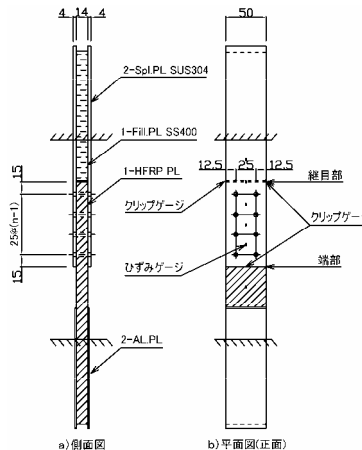


図-2 試験片図 (n 列)



写真-1 セットアップ状況 (4 列)

Key Words : ハイブリッドFRP, リベット接合, 接着接合, GFRP

連絡先*: 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 TEL. 0426-77-1111 FAX. 0426-77-2772 内線(4564)

表-1 材料物性値

ハイブリッドFRP (CF+GF, t=12.5mm)	弾性係数(GPa)	49.8
	引張強度(MPa)	860
GFRP (t=9.8mm)	弾性係数(GPa)	15.7
	引張強度(MPa)	332
添接板 (SUS304, t=3.8mm)	0.2%耐力(MPa)	297
	引張強度(MPa)	634
	伸び(%)	56
	弾性係数(GPa)	181
エポキシ樹脂接着剤 (t=0.2mm)	引張強度(MPa)	30
	弾性係数(GPa)	1.5
ブラインドリベット (SUS305, φ 4.8mm)	引張せん断強度(MPa)	17.2
	引張強度(kN)	6.5
	せん断破壊強度(kN)	5.3

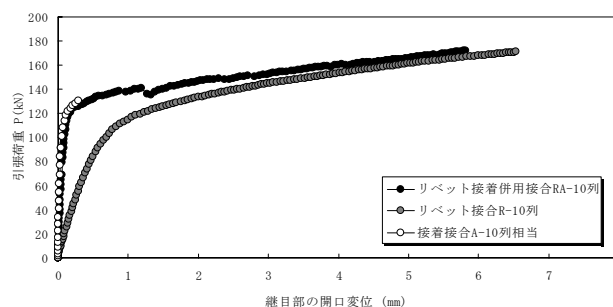


図-3 荷重と継目部の開口変位の関係

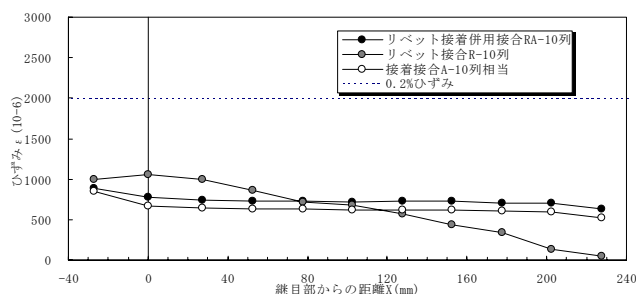


図-4 添接板表面のひずみ分布（64kN 載荷時）

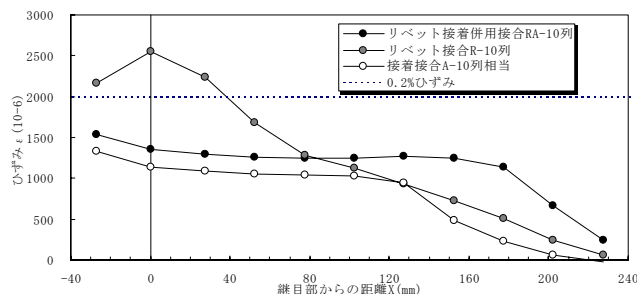


図-5 添接板表面のひずみ分布（100kN 載荷時）

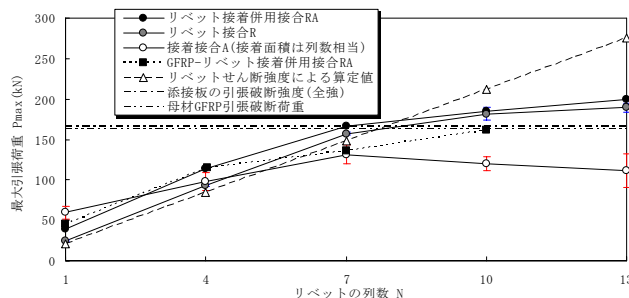


図-6 最大引張荷重とリベット列数の関係



写真-2 リベット接着併用接合（RA-10列）における破壊状況

は線形的に強度が高くなるが、7列以降は、表-1の材料物性値から予測される添接板の引張強度を上回るために、最大荷重が停滞し、一様なリベットせん断強度が得られなくなる。Aは1列ではR、RAに比べて強度が高くなるものの、7列をピークにほぼ横ばいとなる。また、図-6に併記したRとAの標準偏差の比較から、Aの最大引張荷重は、Rに比べてばらつきも大きく、接着接合のみでは信頼性に欠けるといった。一方、破壊形態については、写真-2にその一例を示すが、Rはリベットのせん断破壊、Aは界面・凝集・層間を含む混在破壊、RAは接着の付着が切れた後、リベットのせん断破壊であった。

比較のために、母材にGFRPを適用した場合についても検討を行った。HFRPに比べてGFRPの母材強度が低いため、図-6に示すように4列以降で最大荷重が停滞する。また、破壊形態もHFRPはリベットのせん断破壊となるのに対して、GFRPは母材の層間せん断破壊となった。これより、HFRPでは添接板の強度が、GFRPでは母材の強度が支配的であるといえた。

4. まとめ

以上のことから、リベット接合に接着接合を併用することで、剛性が高められ、継手効率が向上するとともに、力の伝達が均一化され、強度のばらつきも小さくなることがわかった。母材強度の低いGFRPと異なってハイブリッドFRPは、継手強度がリベットと添接板の強度に支配されることが確かめられた。ハイブリッドFRPは、GFRPと異なり、全強設計は困難であるが、妥当な列数を採ることによって、十分安全な継手構造とすることが可能であるといえた。

本研究は、国土交通省建設技術研究開発助成制度（研究課題名：革新的材料を用いた社会基盤施設の再構築）の一環として行われた。共同研究者各位からは貴重なご助言をいただいた。ここに記して謝意を表します。なお、ボルト接合については別項³⁾を参照されたい。

参考文献

- 1) 複合構造委員会編：先進複合材料の社会基盤施設への適用，土木学会，複合構造レポート01，pp.121-136，2007.2.
- 2) L. C. Bank：Composites for Construction: Structural Design with FRP Materials，John Wiley & Sons, Inc, pp.499-502，2006.
- 3) 山本育実，睦好宏史，浅本晋吾，松井孝洋：ハイブリッドFRP桁のボルト接合に関する実験的検討，土木学会，第63回年次学術講演会講演概要集，CS2，2008.9.（投稿中）