

FRP 接着接合部の破壊性状

豊橋技科大 正会員 山田 聖志^{*1}
 同上 学生会員 中澤 博之^{*1}
 同上 深津 尚人^{*1}
 福井漁網 小宮 巖^{*2}

1. はじめに

繊維補強ポリマ (Fiber Reinforced Polymer : FRP) 材料は、軽量で強度重量比が大きく、耐食性に優れていることから建設構造物への適用が期待されている。しかしながら、部材接合部の力学特性については、その応力伝達と破壊性状は明確にされておらず、合理的な接合法を早急に確立する必要がある。また、FRP 形材は、剛性強度比が鋼材の1/7程度と小さく、設計に際してたわみ制限を満足することが重要となり、ファスナー接合を採用すると円孔とファスナーのクリアランスなどによる接合部剛性の低下が問題となることもある¹⁾。以上の観点から、本研究では、接着接合部に注目し、接合補強部材の挿入形式や種類、母材のマット材の種類を実験変数とし、最大荷重と破壊性状を解明する。

2. 試験体

試験体は、一工程連続引抜成形 GFRP 形材を所定の寸法に切断して作成したものをを用いた。形材の断面は、連続繊維層とマット層を交互に重ねビニルエステル樹脂で固着して構成されている。本試験体では、マット材にストラッドマット(N-series)とローピングクロスマット(C-series)を用いている。表1に示す部材の力学特性は文献2と同様の方法で同定している。

3. 実験方法

図1に試験体設置の概略を示す。母材には100×100×8×8のH形断面形材を使用し、水平部材は長さ700mm、鉛直部材は長さ400mmとし、試験体支持間距離は1500mmとした。試験体支持部はローラー支持とし、鉛直部材に油圧ジャッキ(39kNレンジ)にて載荷した。接合方法は接着接合を採用し、試験体組み立てに際し、6mmの中ボルトを使用している。図2において、鉛直部材にスチフナーを使用していない接合形式をType1、スチフナーを使用したものをType2とする。本実験では、表2に示すように、接合形式、補剛材の種類、母材のマット材の種類を実験変数としている。変位計をスパン中央に2本、中央から250mmの距離に2本設置した。

4. 実験結果と考察

各試験体から得られた最大荷重 P_{max} を表3に示す。図3はスパン中央位置での荷重と変位の実験値と理論値を示している。図3において、理論値はせん断を考慮しない線形たわみ理論から求めている。表3及び図3より、T1SNとT2SCでは最大荷重に達したときに、急激な荷重低下が生じて破壊状態に到っている。一方、T1FNとT1SCでは、最大荷重に達した後も荷重の低下に伴いながら大きな変形を示しているが、T1FNでは荷重低下が著しいのに対し、T1SCではそれ程大きな低下はみられず、靱性のある挙動を示している。

表1 FRP 形材の諸量

	N-series	C-series
縦弾性係数 E_x (GPa)	21.3	22.9
縦弾性係数 E_y (GPa)	8.83	11.5
曲げ弾性係数 E_{bx} (GPa)	16.2	13.2
曲げ弾性係数 E_{by} (GPa)	6.77	6.61
ポアソン比 ν_x	0.248	0.239
ポアソン比 ν_y	0.103	0.120
せん断弾性係数 G_{xy} (GPa)	5.44	-
引張強度 f_t (MPa)	242	396
繊維体積含有率 V_f (%)	25.4	26.9

表2 接合形式の分類

	接合形式	補剛材	マット材
T1FN	Type1	FRP	N-series
T1SN	Type1	Steel	N-series
T1SC	Type1	Steel	C-series
T2SC	Type2	Steel	C-series

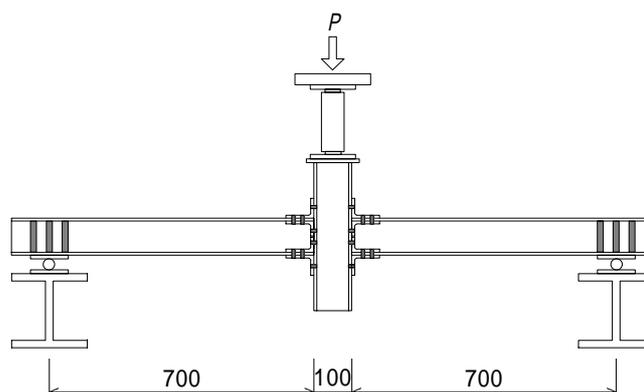


図1 試験体設置の概略

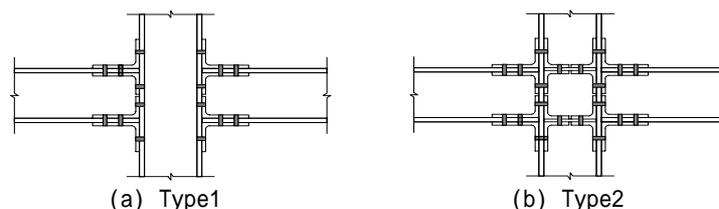


図2 接合形式

キーワード：連続引抜成形 FRP 形材、接着接合、3点曲げ実験

* 1 〒441-8580 豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 TEL 0532-44-6849 FAX 0532-44-6831

* 2 〒441-3196 豊橋市中原町岩西5-1 TEL 0532-41-1211 FAX 0532-41-5078

T1FNの試験体では、最大荷重に達すると水平部材の下側フランジと鉛直部材とを接合しているFRP補剛材の隅角部に繊維方向に沿って亀裂が生じた。最大荷重に達した後、更に載荷を続けると、荷重の低下を伴いながら亀裂は更に進展し、写真1に示すように、FRP補剛材に大きな割れが生じ破壊に到った。

T1SNの試験体では、最大荷重に達する直前に鉛直部材からFRP特有の高周波の音が断続的に聞こえ始め、写真2に示すように、鉛直部材のフランジの板要素に大きな面外変形が生じた。最大荷重に達すると水平部材の下側フランジ位置にて、鉛直部材のウェブとフランジの境界となる隅角部の表層で、繊維方向に沿う亀裂が生じた。その直後、写真3に示すように、鉛直部材の下端から水平部材の上側フランジの位置まで、鉛直部材のフランジとウェブの隅角部に割れが生じ、耐力をほぼ完全に損失した。

T1SCの試験体では、比較的低い荷重レベルで、鉛直部材から高周波の音が断続的に聞こえ始め、T1SNと同様な鉛直部材のフランジの板要素の変形が観察された。最大荷重に達すると鉛直部材のフランジの板幅方向に亀裂が観察された。その後、更に載荷を進めると、T1SNとは異なり耐力を完全に損失せず、耐力が一定のまま変形だけが進展し、最終的には、写真4に示すように、鉛直部材のフランジの板幅方向の亀裂が進展し崩壊に至った。最大荷重についてT1SNと比較すると、T1SCの方が30%程度小さくなっている。このことは、クロスマットを用いたT1SCの方が、ストランドマットを用いたT1SNに比べ層間強度が低いためであると考えられる。

T2SCの試験体では、12kN程度の比較的高い荷重レベルで、鉛直部材から高周波の音が聞こえ始め、最大荷重に達する直前には、水平部材からも高周波の音が断続的に聞こえ始めた。最大荷重に達するまで、T1SN及びT1SCのような鉛直部材のフランジの板要素の変形は観察されていない。このことは、スチフナーを設置したことにより、鉛直部材のフランジの板要素の変形を拘束した効果によると考えられる。水平部材の下側フランジには引張力が生じており、鉛直部材のフランジとウェブを引剥がす力として伝達される。最大荷重に達すると、その引剥がし力によって補剛材の接着層に剥離が生じ耐力が急激に損失した。その際、ナットのネジ抜けによる飛散という二次的破壊もみられた。本実験によって、接合部のパネルゾーンの剛性と強度を増加させることは、最大荷重を2倍程度上昇させる可能性のあることが明らかになった。

5. おわりに

本研究では、連続引抜成形FRP接着接合部の曲げ実験を行い、T1FNでは補剛材の破壊、T1SNでは鉛直部材のウェブとフランジ隅角部の破壊、T1SCでは鉛直部材のフランジの破壊、T2SCでは補剛材の接着層の剥離によって破壊することを明らかにした。このことから、接合補強部材の挿入形式や種類、母材のマット材を種々変えることにより、破壊形式や接合部耐力、並びに最大耐力後の荷重の伝達能力を設計に適応したものに制御可能であると考えられる。

謝辞：実験を遂行するにあたり、塩野谷宣和氏（平成13年3月卒業）の協力を得た。本研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(C)(2)10650560（代表・山田聖志）により行ったものである。

参考文献

- 1) 北山暢彦, 佐伯彰一, 山城和男: 沖縄県におけるFRP横断歩道橋の概要, 土木学会第55回年次学術講演会論文集, 第1部(A), pp.460-461, 2000年9.
- 2) 山田聖志, 中澤博之, 小宮巖: 引抜成形FRP柱材の圧縮力による崩壊メカニズム, 強化プラスチック, (社)強化プラスチック協会, Vol.46, No.6, pp.238-244, 2000年6.
- 3) 山田聖志, 中澤博之, 小宮巖: 連続引抜成形FRP材の重ね継ぎ手接合部の引張力による破壊メカニズム, 土木学会第55回年次学術講演会論文集, 第1部(A), pp.410-411, 2000年9.

表3 実験結果

	最大荷重 P_{max} (kN)	最大荷重時の変形角 /75	最大変形角 max/75
T1FN	6.41	1/102	1/39
T1SN	8.34	1/39	1/31
T1SC	5.98	1/108	1/21
T2SC	16.2	1/29	1/27

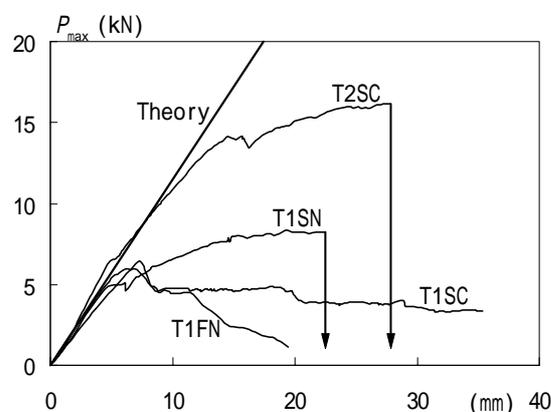


図3 スパン中央での荷重・変位曲線



写真1 T1FNの最終崩壊状況

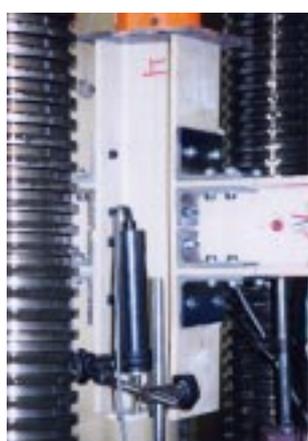


写真2 T1SNの変形性状



写真3 T1SNの最終崩壊状況



写真4 T1SCの最終崩壊状況