

VI 成形法による GFRP のガラス繊維量の違いが
シングルラップ継手の接着強度と破壊性状に与える影響

熊本大学大学院
熊本大学大学院

学生会員
正 会 員

○阿南 勇斗
松村 政秀

(株) コムテック
熊本大学大学院

正 会 員
学生会員

井上 澄貴
岩田 大輝

1. はじめに

Vacuum Infusion (VI) 成形法による GFRP 集成箱桁を用いた歩道橋の成形・製作が注目されており、沖縄県に図-1¹⁾に示す橋長 18.5 m の GFRP 歩道橋が建設された。VI 成形法は任意の積層繊維に対して、真空状態で樹脂を含浸することにより部材を成形する方法であるため、高い繊維含有率を発現し、安定した強度を発現する。しかし、橋長 20 m 以上の歩道橋を建設するためには、部材間の接合が必要となる。接着接合では、FRP が異方性であるために载荷方向に対する繊維量が異なると接着強度や破壊性状が変動することが予想される。そこで本研究では、接着剤を用いた GFRP シングルラップ接合に着目し、引張せん断試験を行うことにより、荷重方向の繊維目付量の違いが接着強度および破壊性状に及ぼす影響について検討した。

2. 引張せん断試験

試験ケースを表-1 に示す。ガラス繊維および载荷方向をケースとし、ガラス繊維は 3 種類、それぞれ繊維量の多い方向 (0°) と繊維量の少ない方向 (90°) の 2 種類、計 6 ケースであり、1 ケースあたり 5 体の試験体を用いて引張せん断試験を実施した。いずれの GFRP 板もガラス繊維は 1 方向のみに配向されたガラスマットと 4 方向に配向されたロービングクロスを交互に積層してあり、A および B 試験体は 13 層、C 試験体に用いたガラス繊維は 1 層あたりの目付量が小さいため、22 層積層してある。ガラス繊維の引張強度および引張弾性率のカタログ値を表-2 に示しており、GFRP 板の繊維目付量は表-3 に示すとおりである。樹脂にはビニルエステル樹脂を用いて、VI 成形法により成形した。また、それぞれの GFRP 板について JIS K 7161²⁾に準拠した材料試験を行っており、その結果を表-1 に併記してある。

図-2 に試験体形状を示す。接着長および接着幅は 100 mm とし、接着には表-4³⁾に示す、弾性係数が 170~345 MPa の低弾性接着剤を用いた。接着厚はガラスビーズ



図-1 VI 成形法により製作された GFRP 歩道橋¹⁾

表-1 引張せん断試験ケース

試験体名	繊維種類	方向	試験体数	GFRP板の材料試験(JIS K 7161)結果	
				引張強度 σ_t (MPa)	引張弾性率 E_t (GPa)
A-0-No.	A	0°	5	558	30.2
A-90-No.	A	90°		230	17.6
B-0-No.	B	0°		570	32.5
B-90-No.	B	90°		191	14.7
C-0-No.	C	0°		513	30.8
C-90-No.	C	90°		220	17.9

表-2 各繊維の引張強度と引張弾性率

繊維種類	繊維の目付方向	引張強度 σ_t (GPa)	引張弾性率 E_t (GPa)
A	0°	1.9-2.4	69-76
	0°, 90°, ±45°	1.9-2.6	73
B	0°	0.9	40
	0°, 90°, ±45°	0.9	40
C	0°	-	70
	0°, 90°, ±45°	-	70

表-3 試験体の繊維目付量

	0°	+45°	-45°	90°	total (g/m ²)
GFRP積層板A	9300	2100	2100	2100	15600
GFRP積層板B	8928	2107	2100	2407	15542
GFRP積層板C	9764	2180	2030	2708	16682

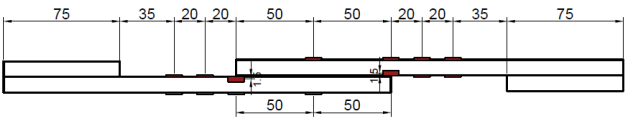


図-2 試験体図とゲージ貼付位置 (単位: mm)

キーワード GFRP, 接着接合, シングルラップ, 引張せん断試験, VI 成形法

連絡先 〒860-0855 熊本市中央区黒髪 2-39-1 熊本大学工学部 TEL 096-342-3546

を用いて1mmを目標とした。また、各ケース1体にひずみゲージを図-2に示す位置に貼付している。

試験には1,000kN 万能試験機を用い載荷速度はJIS K 6850⁴⁾を参考にし、6mm/minを目標に手動で調整した。

3. 実験結果

試験体の破壊性状の分類を図-4に示す。図-4(a)に示すようにGFRP板の両面に接着剤が付着した破壊を接着剤の破壊(AF)、図-4(b)に示すように片側のGFRPがはく離している破壊をGFRPの層間はく離(DF)とし、これらが主な破壊性状として確認された。

各試験体の最大荷重と繊維目付量、破壊性状の関係を図-5に示す。図には各ケース同じ破壊性状を示した最大荷重の平均値もプロットしてある。これより、同繊維で載荷方向が異なる場合、破壊性状に関わらず、繊維目付量が多いほど最大荷重が大きい傾向にある。また、いずれのケースでもAFを示した試験体の最大荷重が大きいことが確認できる。表-2、3の繊維の弾性率および0°方向の繊維目付量が最も小さいB-0に着目すると、A-0、C-0ではAFを示しているにも関わらず、B-0では4体がDFであり、強度の平均は最も小さいケースとなった。一方、A-90よりもB-90の目付量が多いが、最大荷重が小さいことが確認された。図-5に最大荷重時の表裏のひずみから算出した曲げモーメント図を示す。図より、接着端部の曲げモーメントが大きいことから接着端部から破壊が生じたと考えられる。また、DFを示した試験体は曲げモーメントが小さいことがわかる。以上より、ガラス繊維の物性値や目付量の違いによって接着強度、破壊性状が異なることを確認した。

4. まとめ

本研究では、GFRP シングルラップ接着接合に対して、ガラス繊維、目付量をケースに引張せん断試験を実施した。以下に得られた結果をまとめる。

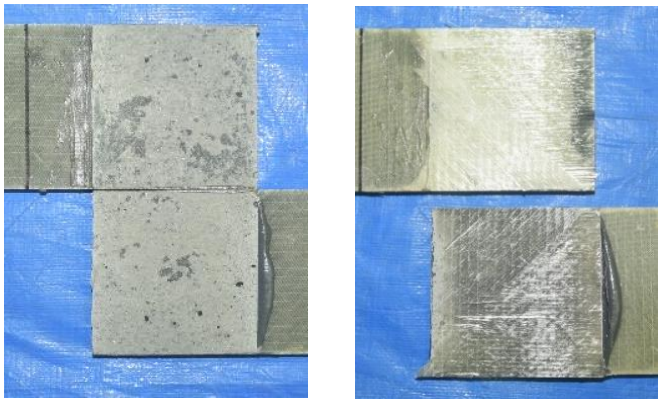
破壊性状は接着剤の破壊(AF)と層間はく離(DF)の2種類であった。特に、繊維目付量が多いほど最大荷重が大きい傾向にあり、AFであった。しかし、繊維の弾性率が小さいケースでは目付量によらず、DFであり、繊維の物性値および目付量によって、接着強度、破壊性状が異なることを確認した。またDFを示した試験体では曲げモーメントが小さいことを確認した。

参考文献

1) 株式会社コムテック：GRP BRIDGE, 2022.
2) 日本規格協会：JIS K 7161 ープラスチックー引張特性の求め方ー

表-4 接着剤の材料特性 (カタログ値) ³⁾

接着剤	引張強度 σ_t (GPa)	引張弾性率 E_t (GPa)	引張せん断強度 τ (MPa)	伸び ϕ (%)
MA560-1	17.2-20.7	172-345	11.7-15.2	>130



(a) 接着剤の破壊 (AF) (b) GFRP の層間はく離 (DF)

図-4 破壊性状

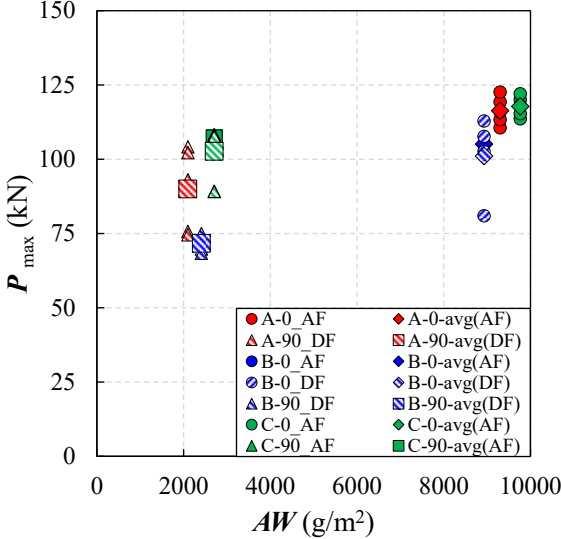


図-5 最大荷重と繊維目付量の関係

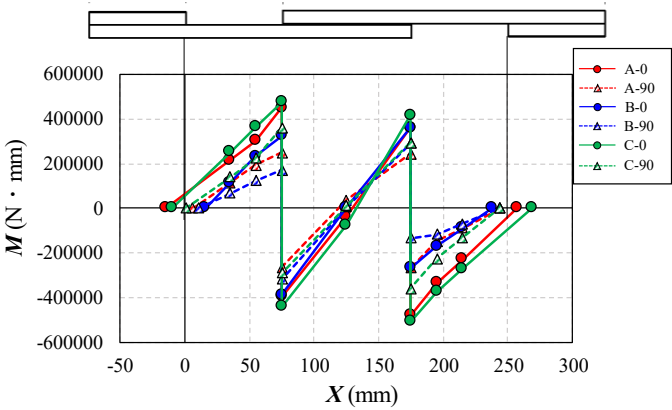


図-5 最大荷重時の曲げモーメント図

第1部：通則, 2014.
3) 株式会社ITW：PLEXUS MA 560-1テクニカルデータシート, 2011.
4) 日本規格協会：JIS K 6850 接着剤ー剛性被着材の引張せん断接着強さ試験方法, 1999.