

引抜成形 GFRP 接合部の補強に関する研究

北見工業大学大学院 学生員 ○増田 祐介
北見工業大学 正会員 山崎 智之
北見工業大学 フェロー 大島 俊之 (株)日本製鋼所 正会員 寺田 寿

1. はじめに

FRP は、軽量、高強度、塩分による腐食がない、などといった特徴から、土木構造分野への適用が期待されている。実際の適用例は、ロッド状 FRP を鉄筋の代替品として使用、シート状 FRP をコンクリート等に貼付することにより補修、補強するといった補強材料としての用途が主である。また、構造物の主部材として使用された事例では国内において歩道橋、車道橋の施工実績がある。しかしながら、大型構造物を考える際に主要技術となる接合については、接合方法として接着接合、機械的接合があげられるがそれぞれ欠点を抱えており、不明の点が多いのが現状である。

本研究では、FRP 部材のボルト接合におけるせん断破壊を想定し、母材の補強によるせん断強度について検討した。引抜成形された GFRP 板に炭素繊維シート等を 2 次接着することにより供試体を作成し、その耐力向上効果について実験、解析をおこなったので報告する。

2. 材料特性

本研究で使用した供試体は、①連続引抜成形法により製造された GFRP 板、②一方向強化型炭素繊維シート、③含浸接着樹脂の 3 種により構成し、作成したものである。各材料の物性値を表 1 に示す。表 1 中添字 L は繊維方向(引抜方向)を、添字 T は繊維直交方向を示す。また、GFRP 板については材料試験を実施し、その他の材料についてはメーカーのカタログ値を参考にした。シートの接着方法はコンクリートへの接着方法と同様とし、手作業によりおこなった。

3. 引張載荷実験

炭素繊維シートの積層枚数、引張方向に対する繊維方向を実験変数とし、引張載荷実験、ボルト接合部の引張載荷実験をおこなった。供試体形状を図 1 に、供試体詳細を表 2 に示す。炭素繊維シートの積層枚数は 1 枚、2 枚の 2 種とし、2 枚貼り付ける際には、偏心の影響を減らすため両面に貼り付けた。シートの繊維方向は、引張に対する補強効果を期待し、すべての供試体で引張方向と同方向とした。ボルト径は 6mm、ボルト孔径は 7mm である。

4. 結果および考察

引張載荷実験での最大荷重を表 3 に示す。表中の計算値は、GFRP 板を 1 層と考え、ハンドレイアップ成形材等で整合性が確認

表 1 材料物性値

材料種別	引張弾性係数 (GPa)		引張強度 (MPa)	
	E_L		σ_L	
GFRP	37.5		398.3	
	E_T	12.8	σ_T	42.2
炭素繊維シート	245		3400	
含浸接着樹脂			30	

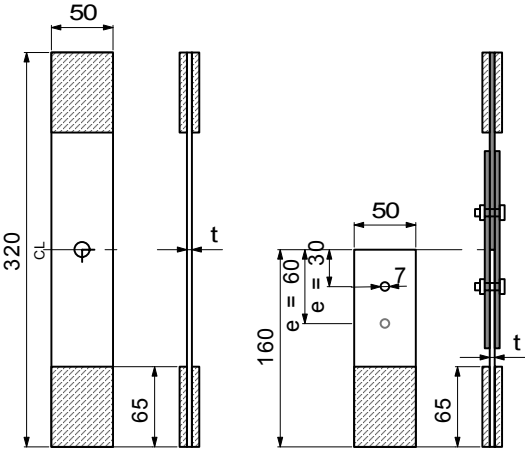


図 1 供試体形状 (Unit:mm)

表 2 供試体詳細

供試体 呼称	試験 方向	補強枚数 (枚)	厚さ t(mm)	供試体 呼称	試験 方向	縁端距離 e(mm)	補強枚数 (枚)	厚さ t(mm)
R0L	0°	0	4.00	e30R0T	90°	30	0	4.00
R1L		1	4.74	e30R1T			1	4.61
R2L		2	5.05	e30R2T			2	5.08
R0T	90°	0	4.00	e60R0T	90°	60	0	4.00
R1T		1	4.61	e60R1T			1	4.61
R2T		2	5.08	e60R2T			2	5.08

表 3 実験結果

供試体 呼称	最大荷重(kN)		
	実験値 A	計算値 B	A/B
R0L	79.2	—	—
R1L	109.9	97.8	1.12
R2L	132.4	113.7	1.16
R0T	8.3	—	—
R1T	27.3	21.4	1.28
R2T	47.4	35.5	1.34

表 4 実験結果

供試体 呼称	最大荷重 (kN)
e30R0T	4.8
e30R1T	6.7
e30R2T	7.0
e60R0T	5.5
e60R1T	7.8
e60R2T	9.9

Keywords: FRP 接合部 補強 炭素繊維シート
連絡先: 〒090-8507 北見市公園町 165 番地 TEL 0157-26-9488

されている複合則による式(1)を用いて算出した強度からの計算値である。実験値はシート積層枚数に対して線形的に増加しているといえ、また実験値と計算値は比較的良好に一致していることから、シート補強効果を検討する際に式(1)が有用であると考えられる。ボルト接合部の引張載荷実験での最大荷重を表 4 に示す。縁端距離の影響は見られるものの、シート補強による耐力向上効果はあまり見られなかった。破壊はシートの剥離を伴い、母材、シートとも繊維方向に対する破壊形式となった。また、縁端距離 60mm 供試体ではボルト孔周辺で支圧破壊が見られた。

5. FEM 解析による補強効果の検討

接合部の耐力については繊維の種類やその構成、また円孔径、縁端距離などに代表される供試体形状など、様々な影響を受ける可能性があることから、本研究では FEM 解析モデルによる補強効果シミュレーションをおこなう。供試体形状を図 2 に示す。供試体は GFRP 板 2 枚によるサンドイッチ構造とし、厚さ 2mm の接着層を設け、接着層内の構成を解析パラメータとした。解析パラメータを表 5 に示す。材料は 3 種とし、炭素繊維シートについては引張方向に対する繊維方向をパラメータとした。ボルト径は直径 16mm、ボルト孔径は直径 18mm とした。解析モデルを図 3 に示す。解析には汎用有限要素解析プログラム ANSYS を使用した。供試体の対称性を考慮して、解析モデルは実供試体の 1/2 とし、高次要素である 3 次元 8 節点、非線形積層構造シェル要素を用いて作成した。境界条件はボルトとの接触面を完全拘束とし、荷重は点荷重による載荷とした。また、FRP の異方性を考慮し、弾性範囲内のみの線形解析とした。

解析結果として、同一荷重時の母材表面における von Mises 相当応力、せん断応力の最大値を図 4 に示す。補強による応力低減効果はステンレス板補強モデルで最も大きく表れており、炭素繊維シート補強モデルでは 45° 方向強化モデルが最も効果が大きいことがわかる。今後は実験値との比較や、破壊メカニズムを解析に組み込むことが必要となる。

6. まとめ

- 本研究による結論は以下のようになる。
- (1) 引張載荷実験の結果より、シート補強効果については複合則を用いた計算式が有用であることが確認できた。
 - (2) シート補強供試体の破壊にはシートの剥離が伴うため、接着工程において、接着前処理の検討、接着剤の選択などを検討する必要がある。
 - (3) ボルト接合部の引張載荷実験においては、シート補強による耐力向上効果があまりみられなかった。これは炭素繊維シートの強化方向による影響が大きいと考えられ、今後はシートの繊維方向を考慮した補強の設計が必要である。
 - (4) FEM 解析では、解析パラメータを種々変更することにより、補強効果をシミュレーションすることができた。今後は実験結果との比較をすること、解析パラメータの決定方法を確立することが必要である。

【参考文献】

- 1) 建設省土木研究所他:繊維強化プラスチックの土木構造材料への適用に関する共同研究報告書(Ⅰ) ―一次構造材料としての FRP の適用事例調査―,共同研究報告書, No.210・1998.10
- 2) 張、山本、北山、佐伯、山城:GFRP 部材の接合方法,第 1 回 FRP 橋梁に関するシンポジウム, pp.107-112・2001.1

$$F = K_F \{ F_{GFRP} V_{GFRP} + F_{CF} V_{CF} + F_m V_m \}$$

...

(1)

K_F : 経験係数 (今回 1.0 とする)

F_{GFRP}, F_{CF}, F_m : GFRP 板、炭素繊維シート、
含浸接着樹脂の強度

V_{GFRP}, V_{CF}, V_m : GFRP 板、炭素繊維シート、
含浸接着樹脂の体積含有率

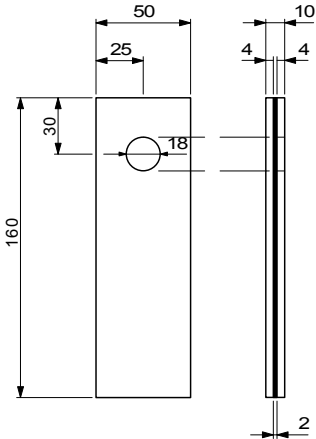


図 2 供試体形状 (Unit:mm)

表 5 解析パラメータ

①	エポキシ接着	
②	炭素繊維シート	シート配向角
		0°
		45°
③	ステンレス	

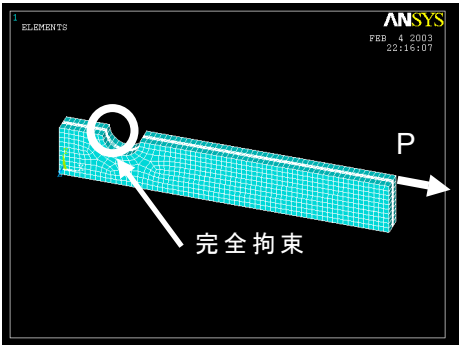


図 3 解析モデル図

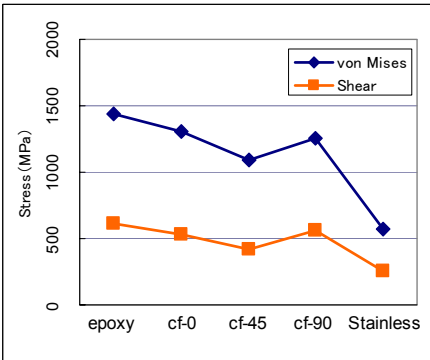


図 4 解析結果