

3. 接着剤およびボルト接合を用いた GFRP・鋼接合部の強度特性に関する実験的研究

大本 透

1. 目的

GFRP (ガラス繊維強化プラスチック) は, その軽量性や耐食性等から, 自重の軽減, 施工性の向上等の利点があり, 新たな土木構造材料として期待されている. これまで著者らは, 異方性である GFRP 引抜き成形材の材料特性の把握と部材レベルでの耐荷特性について検討してきた. しかし, GFRP 引抜き成形材を土木構造部材として適用するに当たっては, GFRP 部材同士または他部材との接合が不可欠である. 一般に, FRP の接合は接着接合と機械接合に大別される. 接着剤を用いて接合する接着接合は, 連続的な応力伝達が可能で応力集中を軽減できる利点がある. 一方, ボルトやリベットを用いて接合する機械接合は, 施工上の簡便さや維持管理の容易さといった利点を有している. しかしながら, 土木分野において, GFRP を構造材料として他部材と接合した場合の研究事例は少なく, 設計指針の基となるデータ蓄積の重要度は高い. そこで本研究では, 接合方法および GFRP 板の表面処理の有無をパラメータとする GFRP 板と鋼板の接合部の引張試験を行い, その耐荷特性と破壊メカニズムについて検証した.

2. 内容

2.1 試験概要

供試体の概略図を図-1 に示す. 供試体に用いた引抜き成形された GFRP 板は, 7 層構成 (CSM/クロス/RH600/ロービング/RH600/クロス/CSM) とし, 長さ 330mm, 幅 50mm, 板厚 14mm である. 接合する添接鋼板は SS400 で長さ 210mm, 幅 50mm, 板厚 9mm とし, ダブルラップ形式で接合した. 供試体の種類を表-1 に示す. Ad タイプは 2 液混合常温硬化型エポキシ樹脂接着剤のみで接着接合した. Bo タイプは高力ボルトのみで摩擦接合し, Co タイプは樹脂接着剤と高力ボルトを併用して接合した. GFRP 板および樹脂接着剤の材料特性値を表-2 に示す. Bo タイプ, Co タイプには, トルクレンチを用いて設計ボルト軸力 55.8kN を導入した. また, 全タイプについて, GFRP 板の表面処理は未処理およびブラスト処理の 2 種類であり, その影響についても検討した. GFRP 板には, アルミナサンド (60) を用いて, 算術平均粗さ (Ra) $5\mu\text{m}$, 十点平均粗さ (Rz) $30\mu\text{m}$ になる様にブラスト処理を行った. 添接鋼板には, スチールグリッド (粒径 0.7mm) を用いてブラスト処理を行い, Ra = $10\mu\text{m}$, Rz = $45\mu\text{m}$ の表面粗さとした. 全ての供試体を室温 20℃, 湿度 60% の恒温恒湿室にて, 7 日間養生した. 試験は, GFRP 板のつかみ部を試験機のチャックで挟み, GFRP 板の相対変位と GFRP 板・添接鋼板の側面に貼付したひずみゲージの値を計測し, 漸増引張試験を行った.

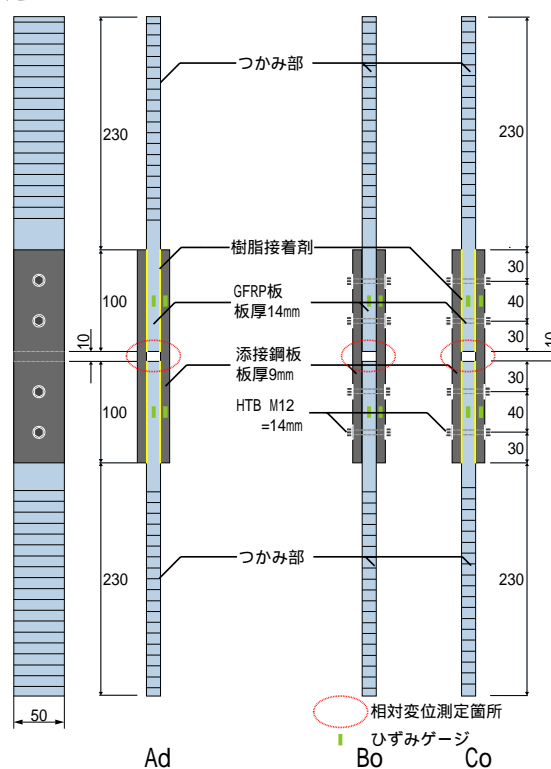


図-1 供試体概略図

表-1 供試体種類

供試体	接合方法	導入軸力 kN	表面	供試体数
Ad	接着	0	未処理	5
			ブラスト	5
Bo	摩擦 (ボルト)	55.8	未処理	5
			ブラスト	5
Co	接着+摩擦 (ボルト) 併用	55.8	未処理	5
			ブラスト	5

表-2 材料特性値

GFRP板	引張強度	250
	引張弾性率	24×10^3
	圧縮強度	430
	圧縮弾性率	30×10^3
樹脂接着剤	引張せん断強度	17.5 (鋼材同士)
		3.9 (FRP同士)

単位: MPa

2.2 試験結果

(1)破壊性状およびすべり係数

Ad タイプは、プラスト未処理は 12.1kN，プラスト処理は 35.8kN で接着剤の付着が切れて脆性的に破壊に至った。Bo タイプは、プラスト未処理は 124kN，プラスト処理は 132kN で GFRP 板同士の相対変位が急増した後、それぞれ 136kN, 139kN で GFRP 母材が層間剥離して破壊に至った。なお、前述の GFRP 板同士の相対変位が急増したときの荷重をすべり荷重とした。Co タイプは、プラスト未処理は 12kN から接着剤の剥離する音が発生したが、その後 116kN で GFRP 板同士の相対変位が急増した後、135kN で GFRP 母材が層間剥離して破壊に至った。一方、Co タイプのプラスト処理は剥離する音は発生せず、137kN で GFRP 板同士の相対変位が急増した後、GFRP 母材が層間剥離して破壊に至った。表-3 および図-2 に各タイプの試験結果を示す。プラスト処理のすべり荷重はプラスト未処理のすべり荷重と比べ Bo タイプで 1.1 倍、Co タイプで 1.2 倍、最大荷重は Ad タイプで 3.0 倍、Bo タイプで 1.1 倍となった。これらよりプラスト処理は Ad タイプの最大荷重に大きく影響するが、Bo, Co タイプへのすべり荷重、最大荷重の影響が小さいといえる。また、表-3 から Bo, Co タイプでは、プラスト処理によってすべり荷重、最大荷重の標準偏差が大幅に小さくなり、安定したすべり係数 0.5 以上を確保できた。荷重-相対変位関係を図-3 に示す。同図より Co タイプの剛性が最も高く、またプラスト処理の方が剛性が高いことが確認できる。

(2)耐荷挙動

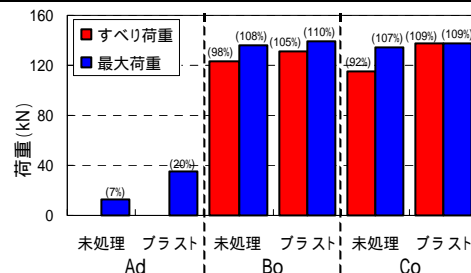
Bo, Co タイプの供試体側面の荷重-ひずみ (図-1 各供試体のひずみ代表値) 関係を図-4 に示す。GFRP 板のひずみは、Bo, Co タイプともにプラスト未処理に比べプラスト処理をした方が小さい。これは、プラスト処理によって向上した摩擦力により、GFRP 板が受ける荷重が添接鋼板に円滑に荷重が伝わるため GFRP 板と添接鋼板が一体となって挙動し、GFRP 板が負担する荷重が軽減されたためと考えられる。また、Co タイプは 40kN 付近まで GFRP 板と添接鋼板のひずみは等しいが、Bo タイプは 40kN 付近では添接鋼板に比べ GFRP 板のひずみが大きいことから、接着剤を併用することで接合効率が向上したといえる。

3. 結論

- (1)最大荷重ともに Ad タイプが最も小さく、Bo, Co タイプは概ね等しい。また、Bo, Co タイプのすべり係数は 0.52 ~ 0.61 である。
 - (2)Ad タイプの GFRP 板のプラスト処理は、耐力向上に大きく影響する。
 - (3)Bo, Co タイプの GFRP 板のプラスト処理は影響が小さいが、安定した耐力(すべり係数)を確保できる。
- 今後は、GFRP のクリープによるボルトの軸力低下が接合耐力に及ぼす影響、また疲労特性等の長期的な挙動について検討する必要がある。

表-3 試験結果

	Ad		Bo		Co		
	未処理	プラスト	未処理	プラスト	未処理	プラスト	
すべり荷重 (kN)	-	-	124	132	116	137	
最大荷重 (kN)	12.1	35.8	136	139	135	137	
GFRP母材耐力 (kN)	176						
すべり係数	-	-	0.55	0.59	0.52	0.61	
標準偏差	すべり荷重	-	2.58	0.83	9.23	4.16	
偏差	最大荷重	0.97	1.54	3.28	3.38	4.21	3.52



()内は GFRP 母材耐力に対するすべり荷重・最大荷重の比率
図-2 すべり荷重・最大荷重の比較

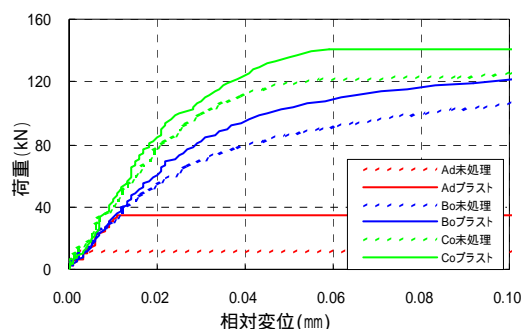


図-3 荷重-相対変位関係

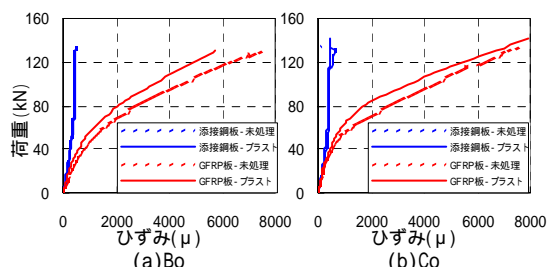


図-4 荷重-ひずみ関係