

GFRP・鋼接合部の耐荷メカニズムに関する解析的検討

九州大学大学院 学生会員 大本透, 小林憲治 フェロー 日野伸一  
正会員 貝沼重信, 山口浩平 非会員 柴田博之, 李宏斌

1. はじめに

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, 異方性であるGFRP引抜き成形材の材料力学特性の把握と部材レベルでの耐荷特性<sup>1)</sup>, GFRP・鋼接合部の接合強度<sup>2)</sup> について明らかにしてきた. これまでの研究より高力ボルト摩擦接合を用いた接合法が最も実用的であるとの結果に至った<sup>2)</sup>. しかし, 試験のみでは破壊に至るまでの耐荷メカニズムを把握が不可能な点が幾つか存在する. そこで本研究では, 先に実施した接着剤や高力ボルトを用いたGFRP板と鋼板接合部の引張試験<sup>2)</sup> について数値解析を行い, GFRP板間の相対変位増大に至るまでの耐荷メカニズムの解明を試みた.

2. 試験および解析概要

2.1 試験概要<sup>2)</sup>

図-1に供試体概略図, 表-1に材料特性値を示す. 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, Boタイプは高力ボルトのみで摩擦接合し, 設計ボルト軸力55.8kNを導入した. Coタイプは樹脂接着剤と高力ボルトの併用接合とした. 供試体は室温20℃, 湿度60%の条件で1週間養生した. 試験はGFRP板のつかみ部を試験機のチャックで挟み, 漸増引張試験を行い, 荷重とGFRP板間の相対変位を計測した.

2.2 解析方法

解析モデルを図-2に示す. GFRP板, 添接鋼板, ボルト, 座金は8節点ソリッド要素を用い, 表-1に示す材料特性値をそれぞれ用いた. 添接鋼板, ボルト, 座金はそれぞれ von Misesの降伏条件, GFRPにはHillの降伏条件を適用した. GFRP - 添接鋼板間の接合面は, Adタイプは試験より求められた接着せん断強度 (未処理は8.23MPa, プラスト処理は24.4MPa), Boタイプは試験より得られた摩擦係数 (未処理は0.61, プラスト処理は0.65), Coタイプは試験より求められた接着せん断強度 (未処理は8.23MPa, プラスト処理は24.4MPa) と摩擦係数 (未処理は0.61, プラスト処理は0.66) をそれぞれ定義した. ボルトと座金は一体としてモデル化し, GFRP板 - ボルト, ボルト - 添

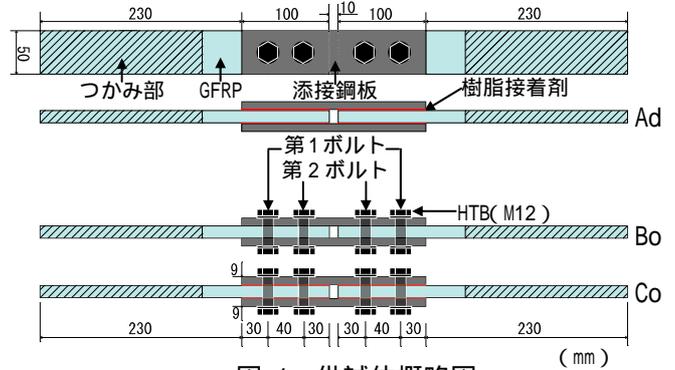


図-1 供試体概略図 (mm)

表-1 材料特性値

		GFRP			添接鋼板
		引抜き方向	引抜き直角方向	45°方向	
弾性率 (GPa)	引張	24.0	11.0	4.00	210
	圧縮	30.0	20.0	-	
	せん断	4.60		-	
強度 (MPa)	引張	250	90.0	45.0	400
	圧縮	430	95.0	-	
	せん断	22.5		-	
ポアソン比		0.28	0.14	0.14	0.30

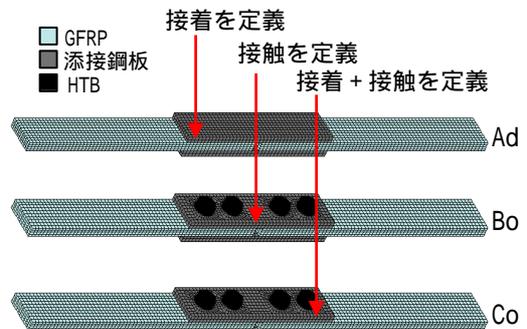


図-2 解析モデル

接鋼板, 座金 - 添接鋼板の界面にはクーロン摩擦を適用し, 摩擦係数を0とした. Bo, Coタイプのボルトへの軸力導入は, 試験時の軸力に相当する圧縮変位を与えることで再現した. 本解析には, 汎用数値解析用ソフト Marc2008r1を使用した.

3. 結果および考察

3.1 荷重 - 相対変位関係

図-3に荷重 - 相対変位関係を示す. Adタイプは, 線形的に挙動した後, 接着剤の付着が切れ脆性的に破壊したが, 解析結果も同様であった. Boタイプは, 未処理, プ

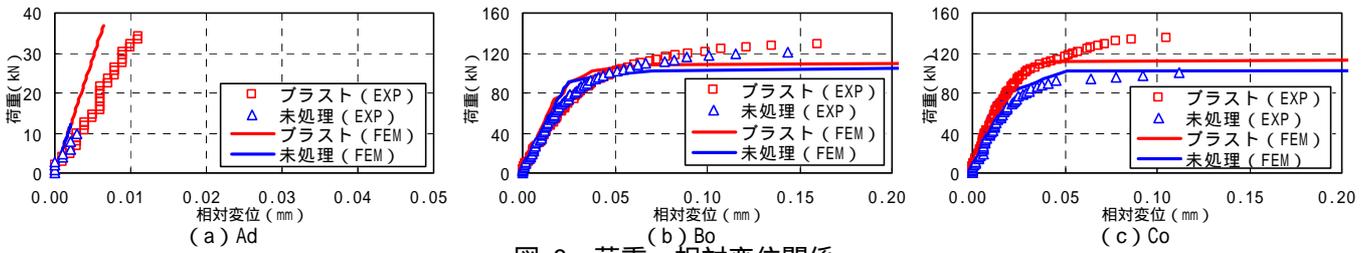


図-3 荷重 - 相対変位関係

ラスト処理はともに90kNまで、Coタイプは、未処理は80kN、プラスト処理は100kNまでは線形的に挙動した。Bo, Coタイプそれぞれの未処理, プラスト処理ともに前述の荷重で摩擦切れにより相対変位が増大した。解析においては摩擦切れにより相対変位が増大するまでの挙動の再現ができた。しかし、Adタイプは全荷重レベルにおいて、Coタイプは相対変位増大以降において試験結果と解析結果は一致していない。本解析では接着剤のせん断変形を考慮していないため、試験結果と解析結果の結果に差が生じたと考えられる。

3.2 せん断応力分布

図-4にAd, Bo, CoタイプのGFRP板接合面せん断応力分布図を示す。Adタイプは、35.8kN時点で端部にせん断応力が発生し、最大荷重に達した。Boタイプは、35.8kN時点ではAdタイプとは異なり第1ボルトから同心円状に顕著なせん断応力が発生している。この時、Boタイプは第1ボルト近傍の摩擦力によりすべりに抵抗しているものと考えられる。その後、荷重が増大し相対変位が増大し始めた91.0kN時点では、せん断応力の発生箇所が第1ボルトから第2ボルトへ移行した。さらに荷重が増大し、115kN時点では第2ボルトを中心に同心円状にせん断応力が発生した。この時、第2ボルト近傍の摩擦力によりすべりに抵抗しているものと考えられる。Coタイプは、35.8kN時点ではAdタイプと同様に添接鋼板端部に顕著なせん断応力が発生し、Boタイプと異なるせん断応力分布となった。その後、荷重が増大し56kN時点では端部のせん断応力は消失した。これより、端部の接着は解離したと考えられる。また、この時Boタイプと同様に第1ボルトから同心円状に顕著なせん断応力が発生している。よって、端部の接着の解離以降は第1ボルト近傍の摩擦力によりすべりに抵抗しているものと考えられる。さらに荷重が増大し、摩擦力が切れ始めた91.0kN時点では、せん断応力が板幅方向に広がっている。これは接着の影響であり、第2ボルト付近ではこの時点でも解離していないものと推察される。さらに荷重が増大し、119kN時点では、第2ボルトを中心に同心円状にせん断応力が発生したことが

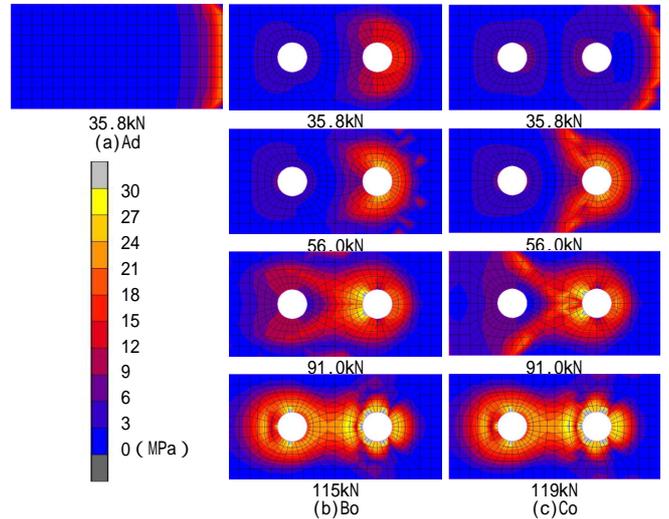


図-4 GFRP 板接合面せん断応力分布図

確認された。

4. まとめ

- 1) 荷重 - 相対変位関係より、相対変位が急増するまでのBo, Coタイプの試験, 解析結果は概ね一致しており、摩擦切れにより相対変位増大に至るまでの挙動を概ね再現することができた。
- 2) Ad, Bo, Coタイプの耐荷メカニズムをせん断応力分布より検討し、接着の解離や摩擦切れの挙動を把握した。また、Coタイプは添接鋼板端部のせん断応力の消失以降の荷重レベルではBoタイプと概ね同じ耐荷メカニズムであることが確認できた。

参考文献

- 1) (社)土木学会：FRP橋梁-技術とその展望-, 構造工学シリーズ14, 2004
- 2) 大本透他：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, 平成19年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, -21, pp.41-42, 2008.3

謝辞

本研究は、平成19~21年度科学研究費基盤研究(B)(代表：日野伸一)の補助を受けている。また、供試体作成にあたり、(株)AGCマテックスより材料を提供頂いた。ここに記して感謝を表す。