

FRP ボルト - 接着併用接合における軸力の効果に関する実験的検討

独立行政法人土木研究所 正会員 木嶋 健

1. はじめに

FRP を橋梁等の構造部材に適用する場合には、FRP 部材接合を考慮する必要がある。FRP 部材の接合形式としては接着接合やボルト接合が考えられるが、ここでは橋梁部材を接合するという観点からボルト接合について検討を行うこととした。FRP の材料強度は、引張強度については鋼材とほぼ同等であるが、圧縮強度やせん断強度については鋼材よりも低い。FRP 部材のボルト接合強度は圧縮強度やせん断強度に支配されるため、接合強度は鋼材に比べて低くなると考えられる。この様な点から、FRP 部材接合には、鋼材で多用されている摩擦形式のボルト接合ではなく、接着を併用したボルト接合が多用されている。本稿では、ボルト軸力を考慮したボルト - 接着併用接合について実験的に検討した結果を報告する。

2. 試験概要¹⁾

FRP 部材のボルト - 接着併用接合は、試験体と添接板とをボルトならびに接着により接合したものである。強度の検討にあたっては、基本的な特性を把握する観点から、ダブルラップボルト接合を対象とした。接合試験は ASTM D 953 に準拠するものとし、図 - 1 に示すように、両端に単孔 ($\phi 21$) を空けた FRP 試験体を M16 ボルト (F10T) および添接板により両側から引張した。本試験においては、FRP 試験体として GFRP 積層板、添接板として鋼材 SS400 を使用した。積層構成は、CSM (コンティニュアス・ストランドマット) / $\pm 45^\circ$ / クロス / $\pm 45^\circ$ / クロス / ローピング / クロス / $\pm 45^\circ$ / クロス / $\pm 45^\circ$ / CSM の 11 層構成である。試験体の体積繊維含有率は 52% であり、各積層の体積繊維含有率は表 - 1 に示す通りである。なお、樹脂には耐候性に優れたビニルエステル樹脂を用いた。また、添接板と引張治具、引張治具とクルビスは M20 のピンで連結した。引張治具は SS400、厚さ 25mm で、クルビスは SCM440 で製作した。添接板と引張治具、引張治具とクルビスの間にはスペーサは設置されていない。FRP 試験体の形状は、厚さ 27mm、長さ 250mm、幅 (w) 102mm、孔径 (ϕ) 21mm で、縁端距離 e は 63mm ($e=3\phi$) である。

接着剤としては、一般的な接着剤であるセメダイン社製の 2 液性エポキシ樹脂接着剤 EP-007 と高強度接着剤である富士インダストリー社製の HYSOL-EA-9309A を使用した。なお、接着にあたっては、試験体表面にサンドペーパー処理を施して、試験体と添接板との接触面を全て接着するものとした。EP-007 と HYSOL-EA-9309A の機械的特性は、各メーカーより表 - 2 のように示されている。試験にあたっては、軸力を加えない形式のボルト接合の他、ボルト軸力を 3 種類 (57kN、80kN、115kN) に変化させた形式のボルト接合を対象とした。最大荷重に関する試験結果を表 - 3 に、ボルト軸力と最大荷重との関係を図 - 2 に示す。図 - 2 を見ても分かるように、接着剤の種類に関わらず、軸力の増大に伴って最大荷重も

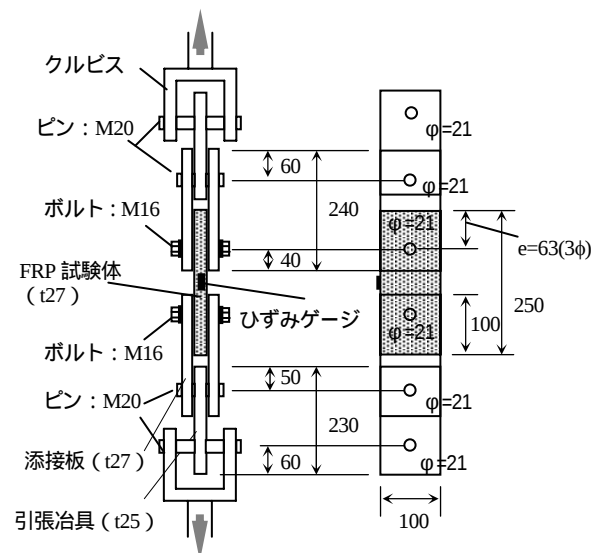


図 - 1 ボルト - 接着併用接合の試験方法

表 - 1 FRP 試験体の基材構成

基 材	体積比率
CSM	1.6%
$\pm 45^\circ$	9.4%
クロス	2.1%
ローピング	39%

表 - 2 接着剤の機械的特性 (カタログ値)

	せん断接着力 (MPa)	弾性係数 (MPa)
EP-007	22.0	3000 ~ 5000
HYSOL	34.5(25)	2069(25)

キーワード： FRP、ボルト - 接着併用接合、ボルト軸力、最大荷重

連絡先： 〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 (Tel : 029-879-6763、Fax : 029-879-6733)

増大している。また、軸力と最大荷重との関係はほぼ線形を保っている。

表 - 3 ボルト - 接着併用接合の最大荷重（単位：kN）

試験体 軸力	EP-007	HYSOL
0kN	-	217.3
57kN	196.7	247.4
80kN	198.9	258.7
115kN	220.7	273.2

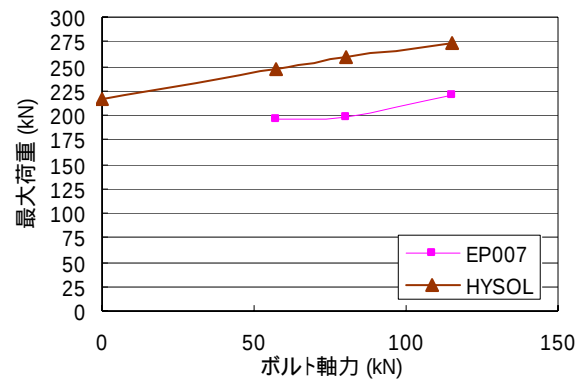


図 - 2 最大荷重とボルト軸力との関係

3. ボルト軸力の効果

破壊後の試験体の状況を図 - 3 に示す。図 - 3 (a) は、接着剤 EP-007 を併用した試験体の破壊状況を示したものである。図からは明瞭に観察することはできないが、円孔周辺の圧縮破壊（圧壊破壊）の他に、試験体の CSM 層が一部剥離して最終破壊に至っている。図 - 3 (b) は、接着剤 HYSOL を併用した試験体の破壊状況を示したものである。円孔周辺が圧縮破壊（圧壊破壊）している状況は EP-007 と同様であるが、試験体の CSM 層が大きく剥離して最終破壊に至っている点が異なっている。

図 - 2 を見ても分かるように、摩擦接合の場合と同様に、ボルト軸力の増大に伴って最大荷重が増大する傾向にある²⁾。しかし、最大荷重が接着剤の接合強度により決定されると仮定した場合には、摩擦接合の場合とは異なり、軸力の大小によらず最大荷重は一定になると考えられる。従って、本接合形式の最大荷重は接着接合強度により決定されたのではないと判断される。

一方、試験体の圧縮強度（圧壊強度）は、面外拘束を伴った場合に増大する。摩擦接合の場合は、試験体と添接板との摩擦力が低いために、圧縮破壊（圧壊破壊）ではなくせん断破壊により終局に至っている。そのため、ボルト軸力と圧縮強度（圧壊強度）との関係が明瞭に得られなかった。一般的には、ボルト軸力の増大に伴い面外拘束効果も増大すると考えられるため、試験体がせん断破壊しない場合には、ボルト軸力の増大に伴って圧縮強度（圧壊強度）も増大すると判断される。ボルト - 接着併用接合のせん断強度は、試験体と添接板との接着力により、摩擦接合よりも高くなっている。最大荷重が圧縮破壊（圧壊破壊）により決定される場合には、ボルト軸力の増大に伴って最大荷重も増大する。以上より、本接合形式の破壊モードは圧縮破壊（圧壊破壊）と判断されるが、これは試験体の圧縮強度が鋼材等に比べて低いために生じた現象と考えられる。また、EP-007 を併用した試験体の最大荷重と HYSOL を併用した試験体の最大荷重とが異なっているのは、両者の接着強度の違いが現れたものと考えられる。

4. 今後の課題

ボルト軸力による樹脂クリープの長期的挙動を予測すると共に、ボルト接合強度の総合的な評価方法を検討することが必要である。

参考文献

- 1) T. Kishima et al., Experiment on the Bolted Joint Strength of Pultruded GFRP Laminates, Proceedings of the 18th US-Japan Bridge Engineering Workshop, pp.158 ~ 164, 2002.10
- 2) 木嶋他、FRP ボルト接合における軸力の効果に関する実験的検討、第 59 回土木学会年次学術講演会、2004.9



図 - 3 (a) 試験体の破壊状況 (EP-007 併用)



図 - 3 (b) 試験体の破壊状況 (HYSOL 併用)