

FRP 構造接合部の光ファイバセンシング

豊橋技術科学大学 正会員 山田 聖志
 同上 正会員 中澤 博之
 福井ファイバーテック 正会員 小宮 巖

1. 序論

橋梁などの社会資本の老朽化・再構築の問題は近い将来の主要な課題と考えられ、財政面並びに地球環境保全などの制約を克服する画期的な材料・構造システムの開発が望まれている¹⁾。筆者らはFRP橋梁に関する文献1の第4章「接合」を分担執筆するに当たり、重ね継手部の引張荷重実験²⁾を行い、ボルトの締付けによる摩擦力が接合部耐力上昇に寄与する可能性を示した。本研究では、ボルト径及びボルトの締付けトルクを実験変数とし、摩擦力の効果に関するより詳細な実験的分析を行う。その際、FRP母材に埋め込んだブラック回折格子(FBG)型の光ファイバセンシングを実施することで、摩擦・すべり・接触という応力伝達様式の変化を伴う非線形性と局所性の著しい接合部破壊性状を、より詳細に分析・理解できることを示す。

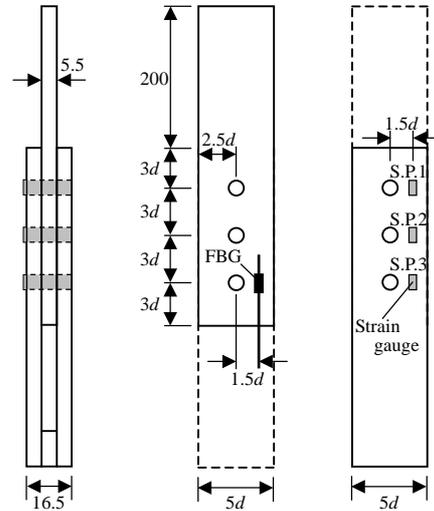


図1 試験体形状

2. 実験方法

試験体は図1に示すように、ガラス繊維を用いた引抜成形FRP箱型断面材から部材軸方向に帯板に切り出した母材を、同じ材料の2枚の添え板でボルトを介して挟んだ重ね継手接合としている。実験変数はボルト径 d ($=6, 10, 14\text{mm}$)、ボルトの締め付けトルク T とし、試験体名を、例えばB062002のように書き、最初の数字の2桁はボルト径(mm)、次の2桁はボルトの締め付けトルク(Nm)、最後の数字は実験を行った順に付した番号を表している。ただし、 $T=0$ のB060001~03、B100001~04、B140001~03では、接合面にグリースを施して指締めとした。

試験体寸法は、文献2の成果を基に最大荷重時に支圧破壊となるように、円孔径 d を基準に決定している。試験体B100004、B104504のボルト孔中央から $1.5d$ だけ離れたFRP母材表面(図1)に、文献3と同様なV形溝を彫り、FBGセンサをエポキシ接着剤で敷設した。

3. 実験結果および考察

実験から得られた各試験体の最大荷重の平均値を表1に示す。図2は各試験体全ての最大荷重を、締め付けトルクを変数としてプロットしたものである。縦軸の値は、最大荷重を円孔の断面欠損を考慮した母材引張破断耐力で除した比率(継手効率)で示している。板厚と円孔径の比 d/t が1.1のB06-seriesでは、ボルト張力の増加に伴い最大荷重は増加の傾向にあり、B062001~03ではB060001~03の1.66倍に上昇している。一方、 d/t が2.5のB45-seriesでは、B141501~03で最大耐力は1.3倍程度上昇しているが、更にボルト張力を増加させても最大荷重の増加は顕著ではない。写真1にB10-seriesの最終破壊状況を示す。B100001~04では、ボルト間ではせん

表1 最大荷重の平均値

	\bar{P}_{\max} (kN)		\bar{P}_{\max} (kN)		\bar{P}_{\max} (kN)
B060001~03	19.5	B100001~04	29.8	B140001~03	40.8
B061001~03	25.2	B101501~03	44.9	B141501~03	52.9
B061501~03	30.6	B103001~03	45.1	B143001~03	52.3
B062001~03	32.3	B104501~04	51.9	B144501~03	55.8

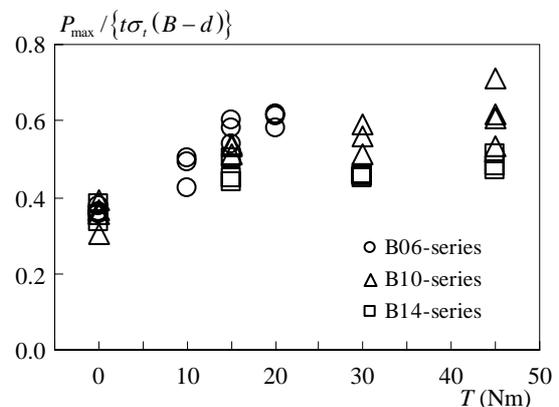


図2 継手効率と締め付けトルクの関係

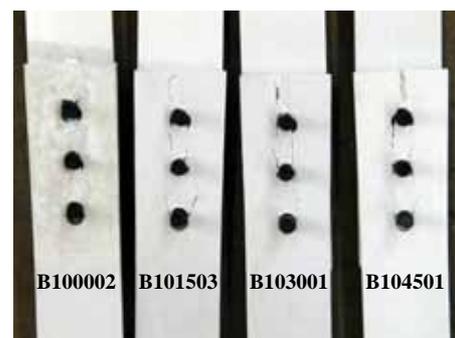


写真1 最終破壊状況 (B10-series)

キーワード 引抜成形FRP, ボルト接合部, 光ファイバセンシング, FBGセンサ, 光パワースペクトル
 連絡先 〒441-8580 愛知県豊橋市天伯町雲雀ヶ丘1-1 建設工学系 TEL 0532-44-6849

断抜け破壊が、端あきでは引き裂きとせん断抜けの複合破壊が生じた。B101501~03, B103001~03, B104501~03 試験体では、ボルト間ではせん断抜け破壊が、端あきでは引き裂き破壊となった。

図3に荷重・変位曲線を示す。各試験体とも、ボルト張力を導入していない場合には、荷重開始時に1.5~2mm程度のすべりが生じている。一方、ボルト張力を導入した場合には、荷重開始時のすべりはほとんど認められていない。荷重初期の勾配は大きくなっており、荷重初期の接合部剛性は向上していることがわかる。ボルト張力の増加に伴い、すべりが生じる荷重レベルが上昇している。また、B14-seriesのすべりが生じる荷重レベルがB10-seriesに比して小さくなっているが、これは d/t の大きさに関係しているものと考えられる。すべりが生じた以降の勾配は、ボルト張力を導入していない試験体と同程度となっていることから、主としてボルトの支圧によって荷重伝達されていることがわかる。

図4に波長測定より得られた荷重と歪の関係を示し、図5は波形測定より得られた各荷重レベルでの光パワースペクトルの例である。ここで、波長測定および波形測定に用いた計測システムは文献3と同様である。図4では、添板に貼付した歪ゲージとの比較のため、 $P=0$ のブラッグ波長を基準としている。ボルト接合する際にポアソン効果によって生ずる歪³⁾はB100004では 10μ 程度、B104504では 313μ 程度であった。図4に示すように、FBGセンサから得られた歪は、歪ゲージ（測定点S.P.2、図1参照）の歪とほぼ等しくなっている。図5より、B100004の試験体では、破壊に至るまでスペクトル形状に大きな変化は生じておらず、FBGセンサ近傍にはトランスバースクラックに関連した内部損傷¹⁾は生じていないと

考えられる。一方、B104504の試験体では、荷重・変位曲線にすべりが生じた荷重レベル（35kN）程度でスペクトル形状は変化し始めている。これらの結果から、B100004では、ボルトの支圧によってボルト孔周りの局所的な損傷によって破壊に至り、B104504では、ボルト張力が導入されることによって摩擦力が働き、FRP母材全体で応力を負担したために、FBGセンサの近傍にも内部損傷が生じたものと考えられる。

4. 結論

本研究は、FRPボルト接合における摩擦の効果を明らかにするために、ボルト径及びボルトの締付けトルクを実験変数とし重ね継手接合部の引張荷重実験を行った。結果として、(1)ボルト径と板厚の比 d/t が1.1, 1.8の場合には、ボルト張力の増加に伴い、最大耐力および接合部剛性は上昇するが、 d/t が2.5では、接合部剛性は上昇するものの、最大耐力はボルト張力が増加してもほとんど上昇しない。(2)光ファイバセンシングより、ボルト張力を導入することで、母材に摩擦力が働き、ボルト孔周りの極めて局所的な損傷を抑制することで、母材全体での損傷の蓄積によって破壊に至ることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 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) 山田聖志, 中澤博之：連続引抜成形繊維補強ポリマー接合部の母材破壊性状, 構造工学論文集, 土木学会, Vol. 48A, pp.11-18, 2002.
- 3) 山田聖志, 中澤博之, 小宮巖：光ファイバセンサを用いたFRP母材の損傷モニタリング, 土木学会第58回年次学術講演会論文集, 第1部, pp.1401-1402, 2003.

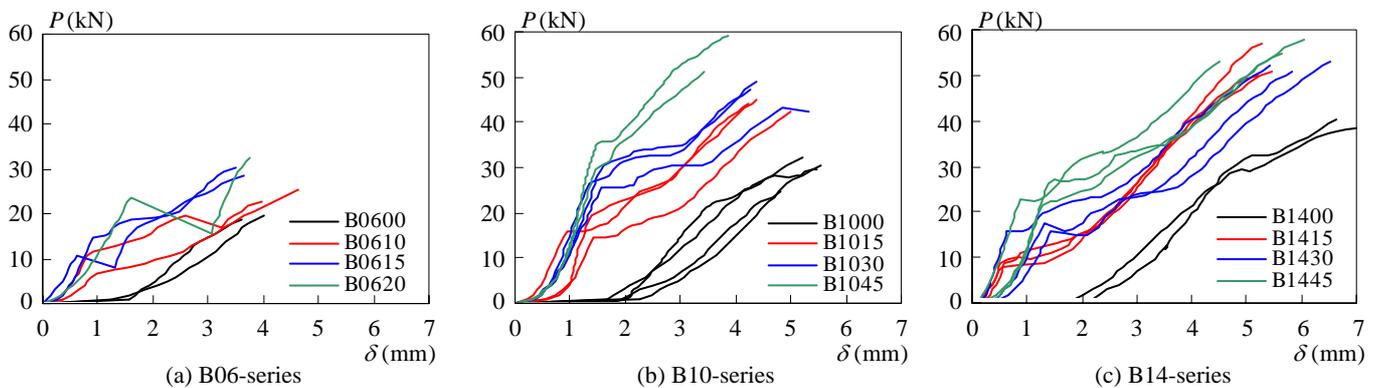


図3 荷重・変位曲線

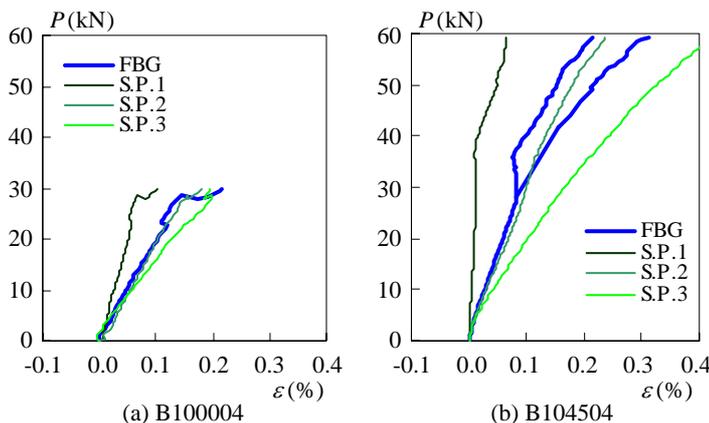


図4 波長測定から得られた荷重・歪曲線

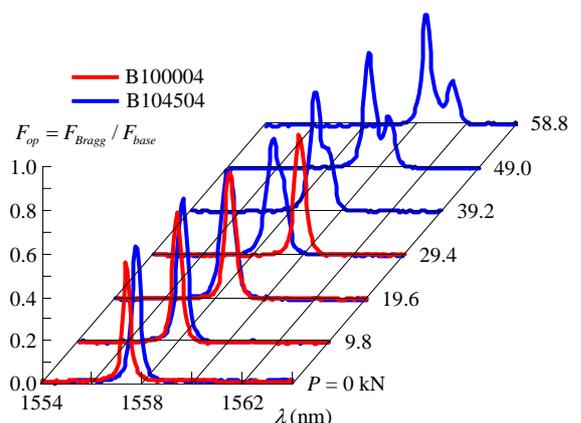


図5 光パワースペクトル