

## GFRP 構造物の設計法確立のための実験的研究

広島工業大学 正員 村中 昭典

広島工業大学 正員 皆田 理

中電技術コンサルタント(株) 正員 楠窪 剛

(株) 異設計コンサルタント 正員 石丸 勝

MH I リソリューションテクノロジーズ(株) 正員 梶本 勝也

## 1 研究目的

土木構造物の1つである橋梁の架け替え理由のほとんどが腐食に起因とするものであり、季節による環境の変化、海に囲まれ高温多湿の自然環境下にある我が国は土木構造物の置かれた環境は厳しい。そこで、軽量で腐食に強く、高温多湿の環境下で優れた耐久性を有し、施工が容易な GFRP 材料を橋梁に用いるための研究開発が実施されている。そこで本研究では GFRP 構造物の合理的な接合法及び設計法を確立することを目的とし、一連の試験結果に基づき、GFRP 部材のボルト接合の力学的挙動を把握して、その適用性について検討するものである。

## 2 各種試験の試験要領

表-1 に本研究に用いた GFRP 材及び使用鋼材の強度特性を示す。GFRP 材を用いて以下の4種類の試験を実施した。

2.1 GFRP ボルトのせん断試験：図-1 に GFRP ボルトせん断試験に用いた試験体の形状・寸法を示す。添接板は SM400 の鋼板を用いて、GFRP ボルト M20 を挿入しせん断試験を行う。試験結果から破壊荷重を計測し GFRP ボルトのせん断強度を求める。

2.2 GFRP 材料せん断試験：図-2 に GFRP 材料のせん断試験に用いた試験体の形状・寸法を示す。GFRP 母材にメッキボルトを挿入し、支圧破壊時の荷重を計測して、その時の GFRP 材料のせん断応力を求める。TYPE1 は縁端距離  $2d(e/d=2)$  のものを2体、TYPE2 は縁端距離  $4d(e/d=4)$  のものを2体、計4体について試験を行った。ボルトは F8T, M20 の高力ボルトを使用し設計軸力 (130KN) をトルクレンチで導入した。

2.3 主桁-横桁接合部の曲げ試験：図-3 に主桁-横桁接合部の曲げ試験体の形状・寸法を示す。本実験は GFRP 橋梁の主桁-横桁取り合い部の接合法について試験的検討を加えるものである。Type-A の試験体の継手部には、添接板に鋼板、ボルトにトルシア形高力ボルト (S10T, M20) を用い、ボルト軸力は設計軸力 165KN を導入した。Type-B の試験体の継手部には、添接板に GFRP 材、ボルトに FRP ボルト (M20) を使用し、接合面に接着剤を併用した。ボルト軸力は 11.77KN を導

表-1 GFRP 材及び鋼材の強度特性

|       | 密度<br>( $\text{g/cm}^3$ ) | 引張強度<br>( $\text{N/mm}^2$ ) | 弾性係数<br>( $\text{KN/mm}^2$ ) |
|-------|---------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| GFRP  | 1.7~2.0                   | 230~520                     | 15~30                        |
| SS400 | 7.85                      | 410                         | 210                          |

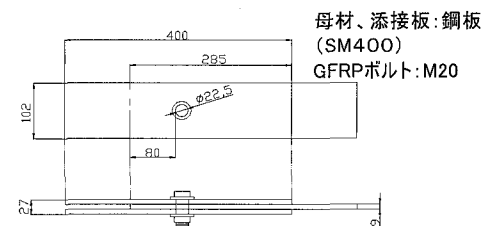


図-1 GFRP ボルトせん断試験の形状・寸法

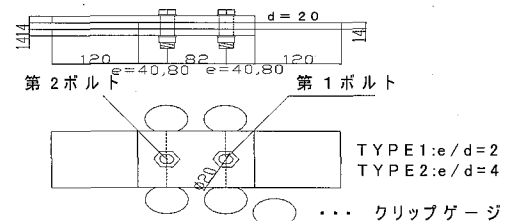


図-2 GFRP せん断試験の形状・寸法

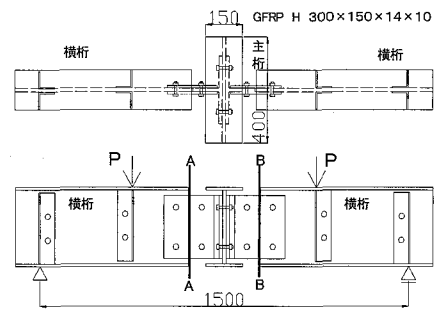


図-3 主桁-横桁接合部の桁曲げ試験体の形状・寸法 (Type-A)

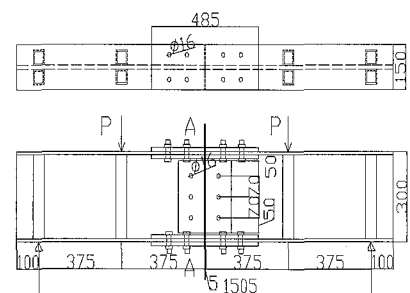


図-4 GFRP 支圧接合の試験体の形状・寸法

入した。

2. 4 GFRP 支圧接合部の曲げ試験：図－4に GFRP 支圧接合部の曲げ試験体の形状・寸法を示す。GFRP 単純 I 桁の継手部に支圧接合を用いた試験体を作製し載荷試験を行った。

### 3 実験結果および考察

3. 1 GFRP ボルトのせん断試験：表－2 にせん断試験結果を示す。GFRP 材の引張強度及びせん断強度は高力ボルトのそれらに比して、それぞれ 1/10、及び 1/5 である。GFRP ボルトは高力ボルトと異なりせん断強度の方が高い特徴を有している。これは繊維方向が関係していると考えられる。また、せん断強度は引張強度の 1.4 倍という結果が得られた。GFRP ボルトに大きな軸力が導入できないことを考えれば、GFRP ボルトの支圧接合法も有効な工法の 1 つとして考えられる。

3. 2 GFRP せん断試験：表－3 に端抜け時の荷重とその時の GFRP 材のせん断破壊応力を示す。GFRP 材の破壊はボルトの端抜けによって生じ、繊維方向に向かって表面の層がはがれていた。本試験結果から縁端距離 2d から 4d にした場合では TYPE1 と TYPE2 の平均で端抜け時の荷重が 31%上昇した。GFRP 材のせん断応力  $\tau_B$  を算定すると、TYPE1 と TYPE2 の平均で 68(N/mm<sup>2</sup>)となる。一般に鋼材料の場合、そのせん断破壊応力  $\tau_B$  は  $\sigma_B/\sqrt{3}$  で求められる。GFRP の引張強度は 393(N/mm<sup>2</sup>)ということが分かっているため、この式に当てはめて換算すると  $\tau_B=\sigma_B/\sqrt{3}$  という結果が得られた。

3. 3 主桁－横桁接合部の曲げ試験：図－5 に添接板の応力分布図 (Type-A) を示す。図に見られるように測定値と理論値はほぼ一致している。従って、Type-A の試験では、添接板に鋼板を用いる場合には従来どおりの鋼対鋼の接合同様の設計で十分であることが分かった。Type-B の試験では、継手部の添接板に GFRP 材を用いた場合、従来の鋼対鋼の接合同様の継手部では GFRP の繊維方向と直角方向 (層間剥離が生ずる方向) に引張荷重が作用し、GFRP 材の層間剥離が生じるので、継手部を GFRP 材で行う場合には、特殊な継手方法を考える必要があることがわかった。

3. 4 GFRP 支圧接合部の曲げ試験：図－6 に試験体中央部の GFRP 支圧接合部の応力分布図を示す。設計計算上では 800KN ほどで破壊するが、実験では接合部は破壊されずに 400KN 前後で I 桁のフランジとウェブの境目に亀裂が生じた。破壊は支点部腹板のせん断破壊によって生じ、せん断応力は  $\tau_B=52.71(\text{N/mm}^2)$ となった。

4 まとめ 本研究で得られた主な結論を挙げると次のとおりである。

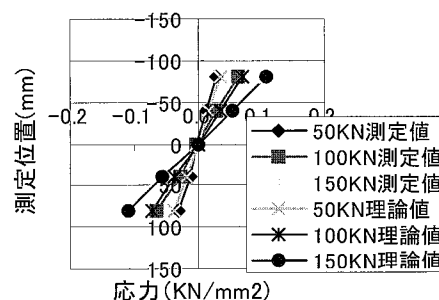
- ・Mises の降伏理論より鋼材のせん断強度は引張強度の  $1/\sqrt{3}$  となるが、GFRP ボルト及び GFRP 材料の場合はそれぞれ 1.4 倍、 $1/\sqrt{33}$  倍と算定された。
- ・GFRP 材のせん断応力  $\tau_B$  を算定すると本研究では 68 及び 52.7(N/mm<sup>2</sup>)となり、材料の均一性がないことを考慮して安全率を 3.0 とするならば、設計計算は  $\tau_B=17(\text{N/mm}^2)$ 程度で考えると良い。
- ・添接板に鋼板を用いる場合は通常の鋼板の設計と同様で問題ないと考えられるが、継手部を GFRP 材で行う場合には、GFRP 材の層間剥離が生じないような特殊な継手方法を考える必要がある。

表－2 せん断試験結果

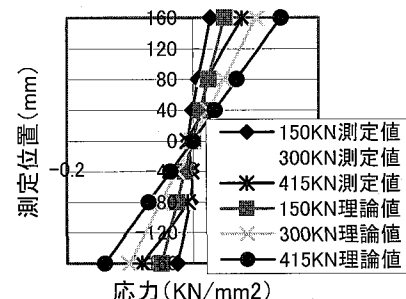
|         | せん断強度<br>$\tau_s(\text{N/mm}^2)$ | 引張強度<br>$\sigma_s(\text{N/mm}^2)$ |
|---------|----------------------------------|-----------------------------------|
| GFRPボルト | 107                              | 75                                |
| 高力ボルト   | 565                              | 980                               |

表－3 端抜け時の荷重とせん断応力

| 試験体    | NO.1       |                                  | NO.2       |                                  |
|--------|------------|----------------------------------|------------|----------------------------------|
|        | 荷重<br>P(N) | せん断応力<br>$\tau_B(\text{N/mm}^2)$ | 荷重<br>P(N) | せん断応力<br>$\tau_B(\text{N/mm}^2)$ |
| TYPE 1 | 234612     | 68.68                            | 233534     | 68.365                           |
| TYPE 2 | 318892     | 70.302                           | 292.33     | 64.448                           |



図－5 断面 A-A、B-B の応力分布図 (Type-A)



図－6 GFRP 支圧接合の応力分布図