

## 第 I 部門 GFRP 部材のせん断強度および変形能の評価

神戸大学工学部 学生員 ○新居大知  
神戸大学院工学研究科 正会員 橋本国太郎

**1.序論** FRP とは、Fiber Reinforce Polymer の略語で、繊維で強化されたプラスチック材料であり、複合材料の 1 つである。FRP は、高強度・高剛性の繊維と、比較的軽量のプラスチックを複合化することで、軽くて高強度・高剛性という特徴を有する。その特徴を活かして、近年ではインフラ構造物への適用なども進んでいる。FRP には、繊維が部材軸方向に入っている 1 方向材と、部材軸直角方向にも入っている 2 方向材がある<sup>1)</sup>。FRP は、せん断力を受けた時のせん断力や変形能についての十分な知見は得られておらず、また、既往の研究<sup>2)</sup>では、2 方向材についての検討は行われていない。そこで、本研究では、1 方向材および 2 方向材の GFRP 部材から切り出された試験片を用いて実験を行い、GFRP 部材のせん断強度および変形能の評価方法について検討する。

**2.45° 方向引張試験によるせん断強度および変形能の評価** 図 1 のように切り出した試験片を用いて、JIS K 7019 に準拠した引張試験を実施した。1 方向材と 2 方向材で同様の試験を行った。以下の表 1 に試験結果をまとめた。なお、試験片の変位は直接測定できなかったため、以下全ての試験において、試験の載荷ストロークの値を補正し、その値を試験片変位と仮定した。

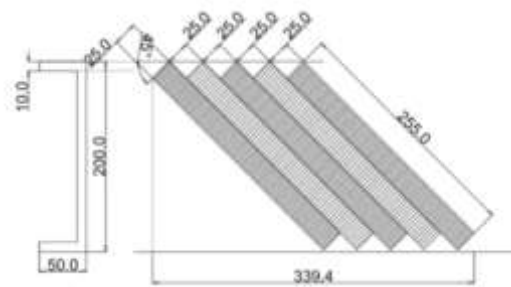


図 1 JIS K 7019 準拠の試験片の採取位置

表 1 45° 方向引張試験結果 ( ( ) 内の値は変動係数)

|       | せん断強度<br>(MPa) | せん断弾性係数<br>(GPa) | ひずみ<br>(μ)   | 弾性伸び<br>(mm) | 塑性伸び<br>(mm) | 変位<br>(mm)  |
|-------|----------------|------------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| 1 方向材 | 44.78(0.056)   | 3.66(0.018)      | 18198(0.047) | 6.61(0.064)  | 0.25(0.10)   | 7.62(0.206) |
| 2 方向材 | 49.66(0.021)   | 4.732(0.048)     | 26574(0.19)  | 3.91(0.18)   | 2.57(0.072)  | 6.48(0.12)  |

1 方向材と 2 方向材の結果を比較すると、せん断強度およびせん断弾性係数は、ともに 2 方向材の方が大きく評価された。この要因としては、1 方向材は繊維が部材軸方向のみに入っているのに対し、2 方向材は部材軸直角方向にも入っているため、内部で荷重を受け持つ繊維がより多く複合しているため、強度が強くなると考えられる。

また、2 方向材は塑性状態でも変位は伸びたが、1 方向材はほとんど伸びなかった。この要因としては、繊維が単純な配向の 1 方向材は弾性限界と破断点がほとんど一致するが、複雑な配向の 2 方向材はより高い強度を示し、塑性状態での伸びが大きくなったと考えられる。

**3.V ノッチビーム法試験によるせん断強度および変形能の評価** 図 2 のように部材軸方向 (0° 方向)、および部材軸直角方向 (90° 方向) に切り出した 2 種類の試験片を用いて、ASTM D 5379 に準拠したクーボン試験を実施した。1 方向材と 2 方向材で同様の試験を行った。以下の表 2 に試験結果をまとめた。



図 2 V ノッチビーム法試験における試験片の採取位置

表 2 V ノッチビーム法試験結果 ( ) 内の値は変動係数

|             | せん断強度<br>(MPa) | せん断弾性係数<br>(GPa) | ひずみ<br>( $\mu$ ) | 弾性伸び<br>(mm) | 塑性伸び<br>(mm) | 変位<br>(mm)  |
|-------------|----------------|------------------|------------------|--------------|--------------|-------------|
| 0° (1 方向材)  | 56.43(0.039)   | 3.330(0.074)     | 22040(0.096)     | 0.67(0.070)  | 0.68(0.20)   | 1.35(0.090) |
| 90° (1 方向材) | 51.99(0.079)   | 3.117(0.11)      | 21844(0.20)      | 0.87(0.13)   | 0.085(0.54)  | 0.96(0.15)  |
| 0° (2 方向材)  | 52.03(0.045)   | 3.440(0.067)     | 40475(0.092)     | 0.49(0.059)  | 0.36(0.15)   | 0.85(0.042) |
| 90° (2 方向材) | 53.88(0.036)   | 3.464(0.019)     | 49386(0.090)     | 0.52(0.049)  | 0.46(0.12)   | 0.98(0.062) |

1 方向材の 0° 方向と 90° 方向で比較すると、せん断強度は 0° 方向の方が大きく評価された。この要因としては、90° 方向はせん断力の載荷方向に対して平行に繊維が入っており、荷重を受け持つ繊維は存在せず、破壊に至りやすいからであると考えられる。また、塑性状態での伸びは、0° 方向は弾性状態での伸びとほとんど同程度であったが、90° 方向はほとんど 0 に近い値となった。このことから、90° 方向のように荷重を受け持つ繊維が存在しない場合、弾性限界と破断点はほとんど一致することが分かった。

2 方向材の 0° 方向と 90° 方向で比較すると、せん断強度とせん断弾性係数はほとんど同程度であった。この要因としては、1 方向材と違い、2 方向材の場合切り出す方向によらず繊維がせん断力の載荷方向に対して平行、直角のどちらにも入っており、荷重を受け持つ繊維の条件がほとんど同じであるためと考えられる。一方で、塑性状態での伸びを比較すると、90° 方向の方が大きく評価された。90° 方向の場合、荷重を受け持つ繊維は部材の短手方向の繊維であり、このことから、部材の短手方向の繊維の方が長手方向の繊維に比べ変形に弱い可能性や、短手方向と長手方向で繊維の配向量に差がある可能性が考えられる。

1 方向材と 2 方向材の 0° 方向で比較すると、せん断強度は 1 方向材の方が大きく評価されたが、せん断弾性係数は同程度であった。このことから、せん断力の載荷方向に対して平行に入った繊維によって、せん断強度は小さく評価されることが分かった。

1 方向材と 2 方向材の 90° 方向で比較すると、せん断強度は同程度であったが、せん断弾性係数は 2 方向材の方が大きく評価された。このことから、せん断力の載荷方向に対して直角に入った繊維によって、せん断弾性係数は大きく評価されることが分かった。

**4.結論および今後の課題** 2 章の引張試験では 2 方向材の方がせん断強度は大きく評価されたが、3 章のせん断試験では 1 方向材の方がせん断強度は大きくなる場合もあった。今後、部材試験を実施し、その結果と比較してそれぞれのクーポン試験の妥当性を評価する必要があると考えられる。

#### 参考文献

コロナ社：基礎からわかる FRP—繊維強化プラスチックの基礎から実用まで—強化プラスチック協会 編，pp.1-3.2016.4.  
石井佑弥，飯田卓弥，中村一史，古谷嘉康，中井裕司，西田雅之：GFRP 溝形材のせん断耐力の評価方法に関する実験的検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.73，No.5，2017.