

第I部門 GFRP材のせん断挙動に関する実験的検討

神戸大学院工学研究科 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

東京都立大学院都市環境科学研究科 正会員 中村一史

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、非常に軽く腐食しないという特徴を活かして、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方向材等がある¹⁾。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²⁾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た実験および2方向材のGFRP部材の3点曲げ載荷試験を行い、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。以下の表1に試験結果をまとめた。なお、以下全てのクーポン試験において、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。

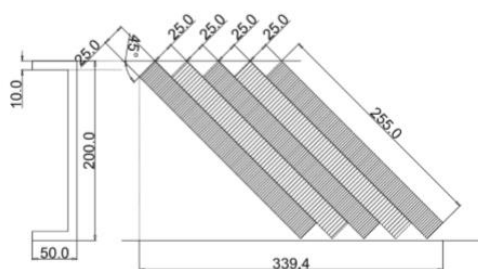


図1 JIS K 7019 準拠の試験片の採取位置

表1 45°方向引張試験結果 ()内の値は変動係数

| | せん断強度 (MPa) | せん断弾性係数 (GPa) | ひずみ (μ) | 弾性伸び (mm) | 塑性伸び (mm) | 変形能 (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 (0.21) |
| 2方向材 | 49.66 (0.021) | 4.73 (0.048) | 26574 (0.19) | 3.91 (0.18) | 2.57 (0.072) | 6.48 (0.12) |

表1より、せん断強度およびせん断弾性係数ともに2方向材の方が大きく評価された要因としては、2方向材は内部で荷重を受け持つ繊維がより多く複合しており、強度が強くなったためと考えられる。また、1方向材が塑性状態でほとんど伸びなかった要因としては、繊維の配向が複雑な2方向材はより高い強度を示すためと考えられる。

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に準拠したクーポン試験を実施した。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 (MPa) | せん断弾性係数 (GPa) | ひずみ (μ) | 弾性伸び (mm) | 塑性伸び (mm) | 変形能 (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) |

表 2 の 1 方向材の試験結果より、せん断力の荷重方向に対して繊維が平行に入っている場合、弾性限界と破断点はほとんど一致し塑性伸びがほとんどないことが分かった。また、2 方向材の試験結果より、0° 方向と 90° 方向を比較すると、せん断強度およびせん断弾性係数はほとんど同じ値を示したが、試験片の変位と塑性伸び量に関しては、90° 方向のほうが大きく評価された。

1 方向材と 2 方向材の試験結果を比較すると、せん断力の荷重方向に対して平行に入った繊維はせん断力に影響を及ぼし、せん断力の荷重方向に対して直角に入った繊維はせん断弾性係数や変形性能に影響を及ぼすことが分かった。

4.2 方向材の GFRP 部材の 3 点曲げ荷重試験によるせん断強度および変形能の評価

図 3 のように 2 方向材の GFRP 部材を用いて、3 点曲げ荷重試験を実施した。以下の表 3 に試験結果をまとめた。なお、せん断強度については既往の研究²⁾を参考にしながら、2 つの計算式から算出した。

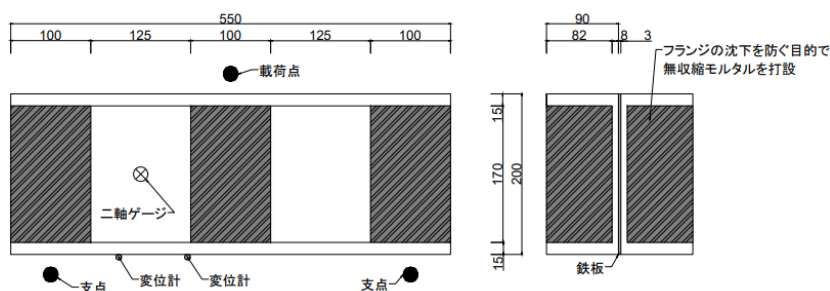


図 3 3 点曲げ荷重試験の試験体図

表 3 3 点曲げ荷重試験結果

| | せん断強度 1 ²⁾ (MPa) | せん断弾性係数 1 ²⁾ (GPa) | せん断強度 2 (MPa) | せん断弾性係数 2 (GPa) | 弾性伸び (mm) | 塑性伸び (mm) | 変形能 (mm) |
|-------|--------------------------------|----------------------------------|------------------|--------------------|--------------|--------------|-------------|
| 2 方向材 | 70.44 (0.065) | 4.48 (0.097) | 51.07 (0.065) | 3.25 (0.097) | 0.81 (0.28) | 3.30 (0.25) | 4.11 (0.20) |

既往の研究²⁾と同様に薄肉はりのせん断流解析に基づいてせん断強度 1 およびせん断弾性係数 1 を算出した場合、クーポン試験の結果と比較してかなり大きな値を示した。一方で、荷重を部材断面積で除してせん断強度 2 およびせん断弾性係数 2 を算出した結果、クーポン試験の結果と概ね近い値を示した。また、クーポン試験と同様に塑性状態で大きく伸びが観測された。

5. 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。また、4 章の 3 点曲げ荷重試験の結果から、GFRP 部材のせん断強度の算出式について検討する必要があると分かった。今後、1 方向材の部材試験を実施し、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とともに、せん断強度の算出式を確立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.

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.