

GFRP 材料の機械的性質に対する温度サイクル時間の影響

神戸大学院工学研究科 学生員 ○岡井 大樹
 神戸大学院工学研究科 正会員 橋本国太郎
 大阪公立大学院工学研究科 正会員 林 巖

1.序論 FRP とは、Fiber Reinforced Polymer の略語で、繊維強化材によりマトリックス樹脂を補強し、樹脂単独に比べ強度や弾性率を著しく向上させた複合材料である¹⁾。既往の研究からガラス繊維と使用した GFRP 材料は図-1 のような温度付与を 70 サイクル程度与えると曲げ強度及び引張強度が小さくなることが示されている²⁾。しかし、この方法では 1 サイクル 14 時間と多くの時間がかかることや 1 サイクルの時間をどのように決めたのかが不明確である。また、他にもこのような実験は多く行われているが時間や温度の与え方が各研究で違うため、統一的な評価方法が必要と考えられる。そこで、本研究では、温度付与の時間に着目し、温度サイクル付与時間による対象材料の機械的性質変化の解明を目的としている。試験片は不飽和ポリエステル樹脂 (UP) を用いた GFRP の主に繊維が部材軸方向のみに配向 (一方向材)、および部材軸・部材軸直角方向に配向 (二方向材) されている 2 種類の材料を使用する。

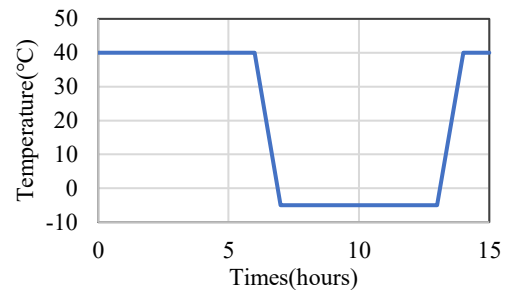


図-1 既往の研究での温度サイクル

2.実験方法 温度サイクル付与試験は、 -5°C ~ 40°C の温度変化を 70 サイクル繰り返し²⁾、温度サイクルの時間を 2 パターン取り、温度変化を与えていない場合も含め計 3 パターンの試験を行う。3 パターンの時間配分は以下に示す。
 ①14 時間 (40°C : 6 時間, -5°C : 6 時間, 加熱 : 1 時間, 冷却 : 1 時間) ②3 時間 (40°C : 0.5 時間, -5°C : 0.5 時間, 加熱 : 1 時間, 冷却 : 1 時間) ③0 時間 (常温保管)

また、試験体内部の水分量による影響を除去するため、温度サイクル付与試験の前後に JIS K 7209 に準拠し、 50 ~ 60°C の乾燥炉内で一定の重量になるまで乾燥処理を施した。

引張試験は JIS K 7164 に準拠した方法で、一方向材二方向材ともにパターンごとに 5 体ずつ引張試験を実施した。試験機つかみ部での破壊を防ぐために試験片両端にアルミ板をつけ、端部での応力集中を軽減するために 30 ~ 45° のテーパ (傾き) をつけた。

曲げ試験は JIS K 7017 に準拠した方法で、一方向材二方向材ともにパターンごとに 5 体ずつ曲げ試験を実施した。

3.実験結果 図-2 より、一方向材の引張強度はパターン③: $422.4(\text{N}/\text{mm}^2)$, ②: $419.4(\text{N}/\text{mm}^2)$, ①: $418.6(\text{N}/\text{mm}^2)$ となり、比較的安定していることがわかる。温度サイクル付与時間の違いによる若干の強度低下が示唆できるが、各パターンのばらつきを考慮すると、温度サイクル付与時間が引張強度に及ぼす影響は小さいと言える。平均弾性係数はパターン③: $30.58(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ②: $30.36(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ①: $29.30(\text{kN}/\text{mm}^2)$ となり、緩やかな低下傾向が見られた。この原因については今後、追加実験により解明していく。

また図-2 より、二方向材の引張強度はパターン③: $462.8(\text{N}/\text{mm}^2)$, ②: $463.5(\text{N}/\text{mm}^2)$, ①: $461.8(\text{N}/\text{mm}^2)$ となっており、いずれのパターンでも概ね同程度であり、温度付与及び温度サイクル付与時間の影響が小さいことがわかる。引張弾性係数はパターン③: $31.98(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ②: $32.02(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ①: $32.40(\text{kN}/\text{mm}^2)$ となり、温度サイクル付与時間が長くなると若干、弾性係数が上昇しているもののばらつきを考慮するとそれほど大きな変化は生じなかった。

図-3 より、一方向材の曲げ強度はパターン③: $433.2(\text{N}/\text{mm}^2)$, ②: $404.9(\text{N}/\text{mm}^2)$, ①: $419.1.6(\text{N}/\text{mm}^2)$ であった。パターン③(0h)とパターン②(3h)を比較すると、先行研究²⁾と同様に、温度サイクルを与えることで曲げ強度が 7%程度減少

キーワード FRP, 温度サイクル, 引張, 曲げ

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 1-1 神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻 TEL:078-803-6011

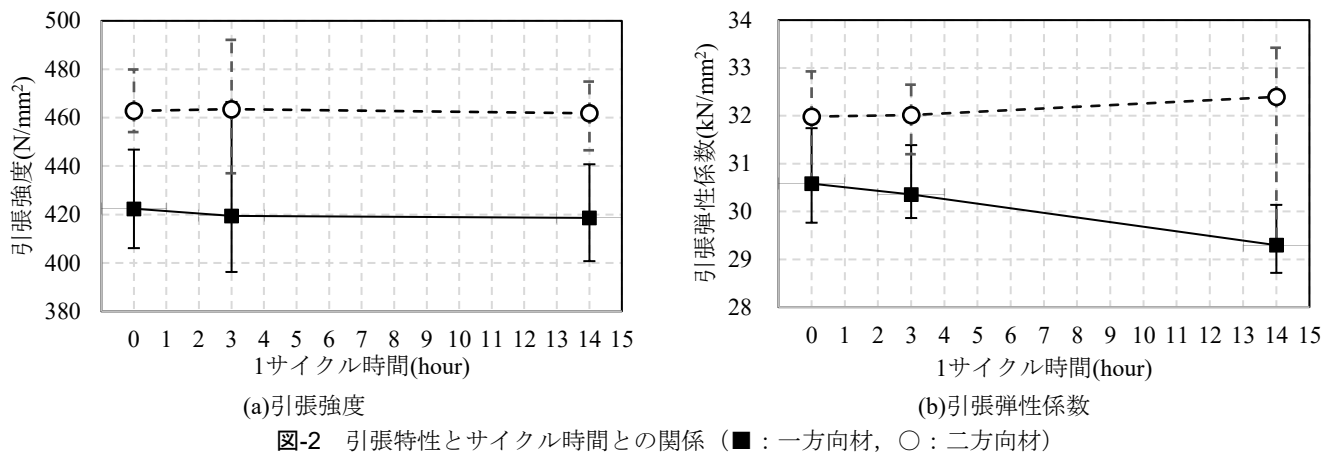


図-2 引張特性とサイクル時間との関係 (■：一方向材，○：二方向材)

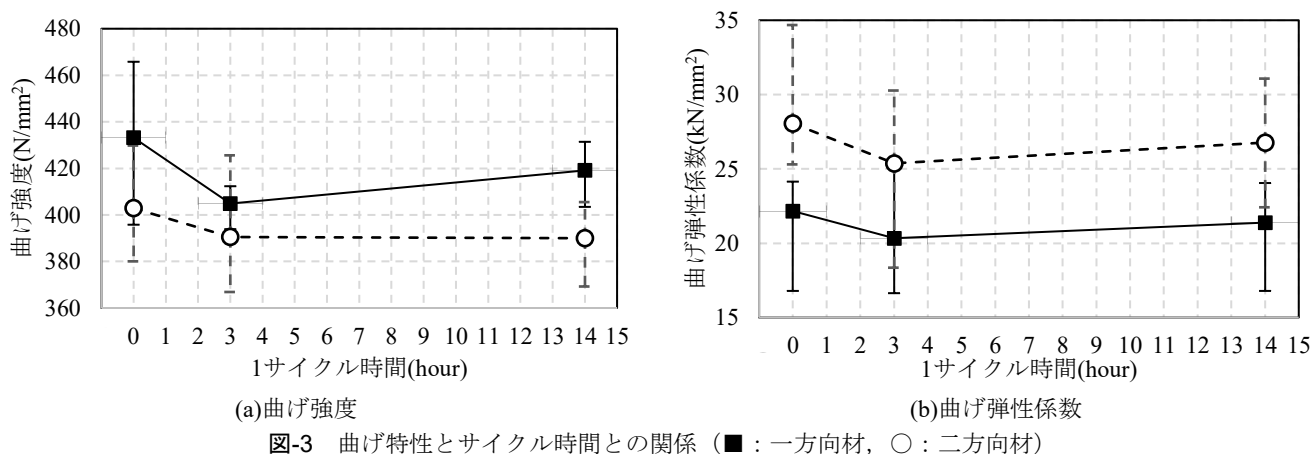


図-3 曲げ特性とサイクル時間との関係 (■：一方向材，○：二方向材)

した。この強度低下の原因は、繊維と樹脂の線膨張係数の差により起こる界面付着劣化が考えられる²⁾。また、温度サイクル時間と曲げ強度の間に相関性は見られなかった。曲げ弾性係数はパターン③:22.16(kN/mm^2)、②:20.34(kN/mm^2)、①:21.40(kN/mm^2)となり、温度サイクルを付与すると弾性係数が若干低下する傾向がみられた。こちらも強度と同様、繊維と樹脂の付着関係の劣化によるものと推察する。

二方向材の曲げ強度はパターン③:402.8(N/mm^2)、②:390.5(N/mm^2)、①:390.0(N/mm^2)となっており、温度サイクル付与により強度が最大で3%程度低下していることがわかる。曲げ弾性係数はパターン③:28.06 (kN/mm^2)、②:25.38(kN/mm^2)、①:26.78(kN/mm^2)となり、平均値はやや減少傾向がみられているものの、ばらつきが大きいため概ね同程度と判断される。

4.結論および今後の課題 各試験体の引張強度は、温度サイクル付与による強度変化がほとんど見られない、もしくはわずかの強度低下があった。このことから、引張強度と温度サイクル付与時間の相関性は小さいことがわかる。また、引張弾性係数についても温度サイクル付与による大きな変化は見られなかった。各試験体の曲げ強度は、温度サイクル付与による若干の強度低下が見られた。この原因は繊維と樹脂の線膨張係数の差により起こる界面付着劣化が考えられる。また、温度サイクル付与時間と曲げ強度の間に相関性は見られなかった。曲げ弾性係数は、一方向材、二方向材ともに引張試験と比べるとばらつきが大きく、若干の減少傾向が見られた。

引張特性と比べて曲げ特性の方が温度サイクル付与による強度低下が大きかった原因として、引張特性は繊維依存性が高いが、曲げ特性は繊維-マトリックス間への強い依存性を有しているためと考えられる。

今後は、FRP内の水分によって強度や弾性係数が変化する直接的な原因の解明、および黒やこげ茶系の表面色では、夏場に表面温度が気温より高温化するため、より高温域での実験を実施することなどが挙げられる。

参考文献 1) 一般社団法人強化プラスチック協会：基礎からわかるFRP，コロナ社，2016。2) Joao M. Sousa, Joao R. Correia, Susana Cabral-Fonseca, Antonio C. Diogo: Effects of thermal cycles on the mechanical response of pultruded GFRP profiles used in civil engineering applications, Composite Structures 116, pp.720-731, 2014.