

第 I 部門

GFRP 材料の機械的性質に対する温度サイクル時間の影響

神戸大学工学部

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

1.序論 FRP とは、F: fiber(繊維), R: reinforced(強化), P: polymer(ポリマー)の略語で繊維強化プラスチックのことを指し、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。既往の研究から FRP 材料は図-1 のような温度付与を 70 サイクル与えると曲げ強度及び引張強度が小さくなることを示されている¹⁾。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 の一方向材と二方向材を使用する。

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¹⁾、温度サイクルの時間を 3 パターン取り、温度変化を与えていない場合も含め計 4 パターンの試験を行う。4 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) ②8 時間 (40°C : 3 時間, -5°C : 3 時間, 加熱 1 時間, 冷却 : 1 時間) ③3 時間 (40°C : 0.5 時間, -5°C : 0.5 時間, 加熱 1 時間, 冷却 : 1 時間) ④0 時間

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 $30\sim 45^{\circ}$ 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 温度付与試験はパターン②(8h)とパターン①(14h)の試験中に恒温器内部に水たまりが発生した。この原因は実験開始時に内部に存在した水蒸気が結露したためであり、その際に、GFRP 内部に含まれていた水分量も減少していると考えられる。

図-2 より、一方向材の引張強度はパターン④: $395.4(\text{N}/\text{mm}^2)$, ③: $373.8(\text{N}/\text{mm}^2)$, ②: $386.2(\text{N}/\text{mm}^2)$, ①: $395.5(\text{N}/\text{mm}^2)$ となった。平均値にはばらつきが出たもののパターンごとの最大値と最小値を加味するとあまり変化が見られなかった。この結果は、ガラス繊維は内部の水分量が多くなると強度が低下することがわかっている²⁾ので、温度サイクル付与試験による試験片内部の水分量の減少によって強度が増加する現象と、樹脂と繊維の線膨張係数の差が約 10 倍あることから、70 サイクルの温度変化のうちに樹脂と繊維の付着関係が劣化し強度が減少する現象の二つが同時に起こっているためと推察できる。平均弾性係数はパターン④: $25.1(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ③: $28.1(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ②: $28.3(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ①: $25.8(\text{kN}/\text{mm}^2)$ となった。パターン④(0h)からパターン②(8h)までは増加傾向が見えたものの、パターン①(14h)は明らかに低い数値が出た。この原因についてはこれからの実験を踏まえて解明していく。

図-2 より、二方向材の引張強度はパターン④: $365.7(\text{N}/\text{mm}^2)$, ③: $364.5(\text{N}/\text{mm}^2)$, ②: $374.3(\text{N}/\text{mm}^2)$, ①: $372.3(\text{N}/\text{mm}^2)$ であるが、パターンごとの最大値と最小値を加味するとあまり変化が見られなかった。この原因は一方向材で述べたものと同じと推察できる。引張弾性係数はパターン④: $27.3(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ③: $27.3(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ②: $27.6(\text{kN}/\text{mm}^2)$, ①: $28.1(\text{kN}/\text{mm}^2)$ となった。温度付与時間を長くするほど微量な増加傾向にあることがわかった。これは温度付与を長くするほど試験片が乾燥し、試験片内部の水分量が減ったためと考えられる。

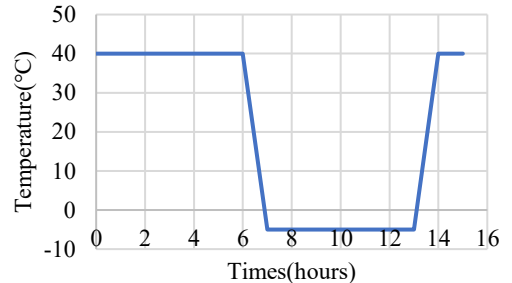
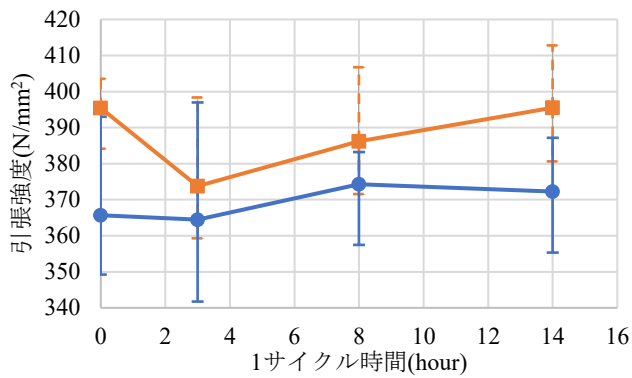
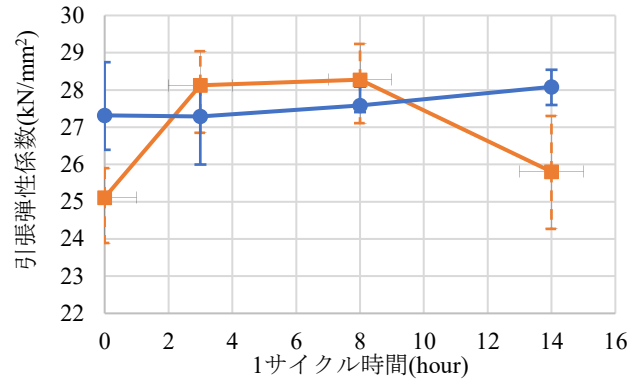


図-1 既往の研究での温度サイクル

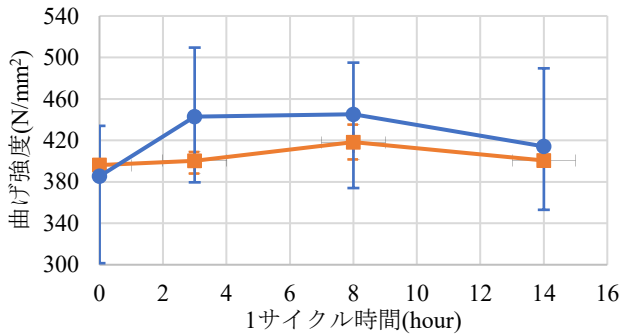


(a)引張強度

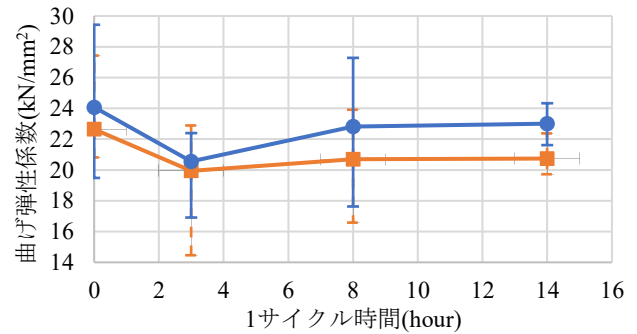


(b)引張弾性係数

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)



(a)曲げ強度



(b)曲げ弾性係数

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)

図-3 より、一方向材の曲げ強度はパターン④:396.2(N/mm²),③:400.2(N/mm²),②:418.3(N/mm²),①:400.6(N/mm²)であった。パターン④(0h)からパターン②(8h)までは増加傾向にあり、パターン①(14h)で強度が下がる結果となった。こちらも増加傾向は、温度サイクル付与試験による試験片内部の水分量の減少からガラス繊維の強度が上昇したことが原因と考えられ、減少の原因は14時間のサイクルを70回行ううちに起こる繊維と樹脂の付着関係の劣化だと推察できる。最大増加率は約5%であった。曲げ弾性係数はパターン④:22.6(kN/mm²),③:19.9(kN/mm²),②:20.7(kN/mm²),①:20.7(kN/mm²)となり、最大値と最小値を加味しても全体的に減少傾向が見られた。この原因は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④:385.3(N/mm²),③:442.8(N/mm²),②:445.2(N/mm²),①:414.2(N/mm²)となり、一方向材とほぼ同じ動向を示し、増加率は二方向材のほうが大きく約15%であった。この原因は一方向材と同じと考えられる。曲げ弾性係数はパターン④:24.1(kN/mm²),③:20.6(kN/mm²),②:22.8(kN/mm²),①:23.0(kN/mm²)となり、最大値・最小値を加味するとパターン③(3h)だけ低い数値が出たものの全体的に緩やかな減少傾向が見られた。

結論および今後の課題 引張強度は、先行研究で現れていたような強度の減少は一方向材、二方向材ともに見られず、データのばらつきが大きいことから最大値・最小値を加味すると温度サイクル付与に対する強度の変化はあまり見られない。また、引張弾性係数は、一方向材では温度付与8時間までは上昇傾向にあり、14時間では減少した。二方向材では全体的に緩やかな上昇傾向が見られた。曲げ強度は、強度の減少は見られないどころか、一方向材、二方向材ともに温度サイクル付与に対して全体的に上昇傾向が見られた。強度増加率は、一方向材は約5%、二方向材は約15%であり、二方向材のほうが数値の変動は大きいことが示された。また、曲げ弾性係数は、引張試験と比べるとばらつきが大きく、少しの減少傾向が見られた。今後の課題は、FRP内部の水分量を計測し、強度及び弾性率と内部に含まれる水分量の関係性を明らかにする必要がある。また、夏場の高温時には黒や茶系が塗装された構造物の表面温度が70℃近くまで上がるので、より温度差をつけた結果が変わるのかを検討する必要がある。

参考文献 1) 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. 2) 友澤 稔: ガラス中の水, NEW GLASS, pp.9-15, Vol.21, No.3, 2006.