(30) GFRP材料の機械的特性に対する熱サイクル時間の影響

岡井 大樹¹・橋本 国太郎²・林 厳³

¹学生会員 神戸大学大学院学生 工学研究科市民工学専攻(〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1) E-mail:214t113t@stu.kobe-u.ac.jp

²正会員 神戸大学大学院准教授 工学研究科市民工学専攻(〒657-8501神戸市灘区六甲台町1-1) E-mail:hashimoto@person.kobe-u.ac.jp

³正会員 大阪市立大学大学院助教 工学研究科都市系専攻(〒558-8585大阪市住吉区杉本3-3-138) E-mail: hayashi-g@osaka-cu.ac.jp

FRPとは、繊維と樹脂を用いた高強度・高剛性・耐食性などの特徴を持つ複合材料である.既往の研究 から不飽和ポリエステルを用いたGFRPに対し、-5~40℃(1サイクル14時間)の熱サイクルを70回以上与 えると曲げ強度および引張強度が減少することが示されているが、この熱を与える時間に関する規定は存 在しない.そこで、本研究では、熱サイクル試験を行う際の熱付与時間に着目し、不飽和ポリエステル樹 脂を用いたGFRPの一方向材と二方向材を対象に、1サイクルの時間を変化させた熱サイクル試験を行った. その後、引張試験と曲げ試験を行い、熱サイクル試験の熱付与時間による対象材料の機械的性質の変化と 原因を解明することを目的としている.その結果、試験前に乾燥処理をしない場合は、引張・曲げともに 熱付与時間による機械的性質変化の影響はあまり見られず、乾燥処理をした場合、強度に影響を与える可 能性があることがわかった.

Key Words : GFRP, thermal cycle time, tensile strength, flexural strength

1. はじめに

FRPとは、F:fber(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、ガラス繊維や炭素繊維などの繊維強化材 により、不飽和ポリエステル樹脂やエポキシ樹脂などの マトリックス樹脂を補強し、樹脂単独に比べ強度や弾性 係数を著しく向上させた複合材料である.FRPの特徴と しては、軽量かつ高強度・高剛性であること、錆びにく く耐食性にも優れていること、材料特性を自由に変える ことができ、施工性が優れていることなどが挙げられる ^D.

しかし、耐食性に優れているとはいえ、紫外線や水分 によって材料劣化が生じることがある.さらに、既往の 研究³から、FRP材料は図-1のように40℃で6時間、-5℃ で6時間、加熱と冷却で1時間ずつ、計14時間の熱付与サ イクルを70サイクル、120サイクル、190サイクルとサイ クル数を増やすと、図-2に示すように曲げ強度・引張強 度が小さくなることが示されている.これは、線膨張係 数の差による凍結融解の繰り返しによる繊維と樹脂の付 着関係が劣化したことによるものと述べられている³. この既往の研究では、樹脂に不飽和ポリエステル樹脂も しくはビニルエステル樹脂を、繊維にガラス繊維を用い ており、不飽和ポリエステル樹脂を用いたFRPの方が強 度低下率が大きいことが示されている.なお、線膨張係 数の差は少しの変動はあるが文献3)では、参考として、 ガラス繊維が6.61×10⁶(^°C)、不飽和ポリエステル樹脂が 5.14×10⁵(^°C)という結果が示されており、約8倍の差が あることがわかる.

しかし、この既往の温度変化を与える方法³では1サイ クルに14時間と多くの時間がかかることや、1サイクル に作用させる時間をどのように決めたのかが不明確であ る.その他にもこのような実験を行った既往の研究⁴⁹⁹ は多くなされているが、試験前後における試験体の乾燥 処理の有無、時間の与え方や熱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、このような熱サイクル付与試験 を行う際の熱付与の時間、および試験前後の乾燥処理に 着目し、ガラス繊維と不飽和ポリエステル樹脂を用いた FRPの一方向材および二方向材に対し、熱サイクル付与 試験を行った後、引張試験および曲げ試験を行い、熱サ イクル付与試験の熱付与時間による対象材料の機械的性



図-1 先行研究の1サイクルの時間配分2)

質変化の原因の解明を目的にしている.なお、乾燥処理 の影響に関しては、曲げ試験のみを対象に行った.

2. 実験方法

(1) 試験体概要

本研究で使用した試験体は、不飽和ポリエステル樹脂 およびEガラスを用いたGFRPを使用した、なお、使用し たGFRPには炭酸カルシウムなどの充填剤は添加されて いない.

また、乾燥処理を行う曲げ試験体については、JIS K 7209¹⁰に準拠し、乾燥炉内で50~60°Cに設定して24時間 ごとに重量を計測し、約1mgの範囲で落ち着くまで乾燥 を実施した.この作業を熱サイクル付与試験の実施前と 実施後の二回行った.試験後に乾燥処理を行った理由と して、熱サイクル付与試験後に吸水による重量増加が若 干見られたため、その影響を除去するために行った.

乾燥処理の重量推移の例を図-3に示す.計測は全試験 体で行っているが、ここでは2体ずつの結果のみ示して いる.図-3より、重量減少率は一方向材は約0.4%、二方 向材は約0.1%の重量減少率であった.



図-2 サイクル数と強度(引張,曲げ)の関係²⁾

(2) 熱サイクル付与試験

熱サイクルを与える試験機はライトスペック恒温器 (espec社製:LU-113)を使用した.今回の実験では,恒 温槽内の温度を40℃に上げたのち,-5℃まで下げる工程 を1サイクルとして,その1サイクルの時間を変化させる ことによって弾性係数や強度などの機械的性質にどのよ うな影響を及ぼすのかを検討する.

そのために,文献1)を参考に,サイクル数は70サイク ルで固定し,熱サイクルの時間を3パターン考え,熱サ イクルを与えていないパターンも加えて,計4パターン で試験を行う.

熱付与1サイクルの合計時間(時間配分)は以下の4パ ターンをとり、パターンごとに曲げ試験・引張試験用を 一方向材、二方向材各5体ずつ(計20体ずつ)実施した.

- 14時間(-5℃:6時間, 40℃:6時間, 加熱:1時間, 冷却:1時間)
- ② 8時間(-5℃:3時間,40℃:3時間,加熱:1時間, 冷却:1時間)
- ③ 3時間(-5℃:30分,40℃:30分,加熱:1時間,冷却:1時間)
- ④ 0時間(常温保管)



図-3 乾燥処理時の重量推移の例

(3) 引張試験

熱付与4パターンそれぞれに試験体を5体ずつ用いて引 張試験を行った.試験方法は、FRP材の引張試験の基準 であるJISK 7164¹¹)に準拠した方法で行った.

本研究で使用した一方向材および二方向材の試験体寸 法を図-4と図-5に示す.図に示すように、ひずみゲージ は試験体中央の表裏に試験体の長手方向に対して0°に設 置し、試験機のつかみ部での破壊を防ぐために、厚さ 2mm、長さ50mmおよび幅25mmのアルミ板(タブ)を試験 体の両端の表裏に貼り付けた.また、アルミ板(タブ)の 端部には、急激な断面変化による応力の集中を軽減する ために30°~45°のテーパ(傾斜)をつけるように加工した.

引張試験には、万能試験機(島津製作所 AG-X plus, 250kN)を用い、荷重および試験機ストロークを記録し、 試験体中央の表裏に貼り付けた一軸ひずみゲージよりひ ずみを測定した.載荷速度はJIS K 7161¹²⁾に従って 1mm/minとする.

引張弾性係数はJIS K 7161よりひずみが500×10⁶から 2500×10⁶までの応力の回帰曲線の傾きの値としてExcelの SLOPE関数を用いて算定し,引張強度は式(1)から算定し た.

$$\sigma_t = \frac{P}{A_0} \tag{1}$$

ここで, σ_t : 引張強度(N/mm²), P: 引張荷重(N), A_0 : : 初期断面積(mm²)である.

(4)曲げ試験

熱付与4パターンそれぞれに試験体を5体ずつ用いて曲 げ試験を行った.試験方法は,FRP材の曲げ試験の基準 であるJIS K 7017¹³に準拠した方法で行った. なお,曲げ 試験に関しては、上述したように試験前後の乾燥の影響 を調べるため、追加で熱付与試験前に乾燥させた試験体 を用い熱付与3パターン(①,③および④)を実施し, 熱付与後も若干の水分量の増加が見られたため乾燥処理 を行った.

本研究で使用した一方向材および二方向材の試験体寸 法は図-6と図-7に示す.ひずみゲージは試験体中央の裏 に,試験体の長手方向に対して0°に設置した.

試験には、万能試験機(島津製作所 AG-X 100kN)を 用い、荷重および試験機ストロークを記録し、試験体中 央裏に貼り付けた一軸ひずみゲージよりひずみを測定し た.載荷速度はJIS K 7017に従って、ISO14125¹⁴より 2mm/minにした.

曲げ弾性係数は,JIS K 7017ひずみが500×10⁶から 2500×10⁶までの応力の回帰曲線の傾きの値としてExcelの SLOPE関数を用いて算定し,曲げ強度は式(2)から算定し た.

$$\sigma_f = \frac{Me}{I} = \frac{3PL}{2hh^2} \tag{2}$$

ここで, *o*_f:曲げ応力(N/mm²), *M*:曲げモーメント(N・ mm), *e*:図心から縁までも距離(mm), *I*:断面二次モー メント(mm⁴), *P*:試験荷重(N), *L*:支点間距離(mm), *b*:試験板幅(mm), *h*:試験板高さ(mm)である.



3. 実験結果

(1) 引張試験結果

本節では、GFRP試験体(一方向材および二方向材) の引張に対する機械的性質が熱サイクルの時間にどのように影響するのか実験した結果を示す。

a) 一方向材

全パターンの引張試験の試験結果をまとめたものを 表-1に、サイクル時間と平均引張強度および平均引張弾 性係数の関係を図-8と図-9に示す.図-8と図-9のグラフ 中のエラーバーは、各パターンでの最大値と最小値を示 す.

平均引張強度は、パターン④は395.4 N/mm²、パターン ③は373.8 N/mm², パターン②は386.2 N/mm², パターン① は395.5 N/mm²となり、数値にばらつきが見られるが、図 -8に示したエラーバー(最大値~最小値)を加味すると, パターン③(1サイクル3時間)だけ少し小さい数値が出 たものの全体的に大きな変化は見られなかった、この強 度の変化は、ガラス自体は内部の水分量が多くなると強 度が低下するとの報告があるので¹⁵、熱サイクル付与試 験による試験体内部の水分量の減少によってガラス繊維 の強度が増加する現象と、先行研究2と同じように不飽 和ポリエステル樹脂とガラス繊維の膨張係数の差から樹 脂と繊維の付着関係の劣化による強度低下の現象の二つ が同時に起こっているためと推察できる.なお、文献7) から-30~30℃の温度変化で繊維樹脂間で約12 N/mm²の 内部応力が発生していることが示されており,熱サイク ル下ではこの応力が繰り返し作用していることになるた め、このような劣化現象が生じたと考えられる.

平均引張弾性係数は、パターン④は25.11 kN/mm²、パ ターン③は28.12 kN/mm²、パターン②は28.28 kN/mm²、パ ターン①は25.80 kN/mm²となった. 試験体内部の水分量 が熱サイクル付与試験により少なくなることによって、 全体的に増加傾向が見られると思ったが、パターン①

(1サイクル14時間)が明らかに低く出ていることがわ かる.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.

破壊状態の一例を図-10に示しているが、側面からみ ると最外層が大きく剥離しており、繊維が飛び散ってい

	平均引張強度	平均引張弾性係数
	(N/mm^2)	(kN/mm ²)
パターン④	395.4	25.11
パターン③	373.8	28.12
パターン2	386.2	28.28
パターン①	395.5	25.80

表-1 一方向材 引張試験結果

る様子が見られる.破断箇所は,試験区間で破断してい るものもあるが,つかみの部分で破壊しているものもあ った.しかし,計20体の試験結果から破断箇所と引張強 度の間には相関関係がないことがわかった.また,パタ ーンごとの破壊形態の違いは見られなかった.

b) 二方向材

全パターンの引張試験の試験結果をまとめたものを表 -2に、サイクル時間と平均引張強度および平均引張弾性 係数の関係を図-11と図-12に示す.図-11と図-12のグ ラフ中のエラーバーは、各パターンでの最大値と最小値 を示す.

平均引張強度は、パターン④は365.7 N/mm²、パターン ③は364.5 N/mm²、パターン②は374.3 N/mm²、パターン① は372.3 N/mm²となり、数値にばらつきが見られるが、図 -11に示したエラーバー(最大値~最小値)を加味する とあまり変化が見られないことがわかる.しかし、強度 の増減の原因は前項で述べた一方向材と同じ要因と推察 できる.

平均引張弾性係数は、パターン④は27.31 kN/mm²、パ ターン③は27.29 kN/mm²、パターン②は27.59 kN/mm²、パ ターン①は28.08 kN/mm²となった.引張弾性係数は熱付 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 る.これは熱付与を長くするほど乾燥し、試験体内部の 水分量が減ったためと考えられる.

図-13より,破壊の様子は,側面からみると最外層が 剥離しており,破壊部での断面積が大きくなっているの がわかる.また,一方向材とは違い,ほとんどが試験区 間内で破壊が起こっている様子が見られた.一方向材と 同様に,破壊箇所と引張強度の間に相関関係がないこと は計20体の試験結果からわかる.また、こちらもパター ンごとの破壊形態の違いは見られなかった.

(2) 曲げ試験

本節では、GFRP試験体(一方向材,二方向材)の曲 げに対する機械的性質が熱サイクルの時間にどのように 影響するのか実験した結果を示す.また、含水量の影響 についても考察するため、乾燥処理を行った場合と行わ なかった場合の結果を比較し検討する.

表-2 二方向材 引張試験結果

	平均引張強度	平均引張弾性係数
	(N/mm^2)	(kN/mm ²)
パターン④	365.7	27.31
パターン③	364.5	27.29
パターン2	374.3	27.59
パターン①	372.3	28.08





a) 一方向材

乾燥処理を施していない全パターンの曲げ試験の試験 結果をまとめたものを表-3に、サイクル時間と平均曲げ 強度および平均曲げ弾性係数の関係を図-14と図-15に 示す.図-14と図-15のグラフ中のエラーバーは、各パ ターンでの最大値と最小値を示す.

平均曲げ強度は、パターン④は396.2 N/mm²、パターン ③は400.2 N/mm²、パターン②は418.3 N/mm²、パターン① は400.6 N/mm²となった.全体の強度の上昇率は5%ほど で、パターン②までは増加傾向にあり、パターン①で強 度が下がる結果となった.増加傾向は熱サイクル付与試 験により試験体内部の水分量が減少したことによるガラ ス繊維の強度増加が原因であると考えられ、減少傾向は 繊維と樹脂の線膨張係数の差から起こる繊維と樹脂の付 着劣化が原因と推察できる.

平均曲げ弾性係数は、パターン④は22.64 kN/mm²、パ ターン③は19.94 kN/mm²、パターン②は20.70 kN/mm²、パ ターン①は20.75 kN/mm²となり、図-15に示したエラーバ ー(最大値~最小値)を加味しても全体的に減少傾向に ある.

破壊状態の一例を図-16に示すが、上面中央付近では 圧縮部における座屈が見られ、側面からみると最下層が 剥離した様子が見える.下側では、中心から少しずれた ところで破断が起こっていることがわかる.これらは全 パターンに見られる様子であり、それぞれに違いは見ら れなかった.



図-16 破壊状態の一例

次に乾燥処理を施した場合,3パターン(パターン ④・③・①)の曲げ試験の試験結果をまとめたものを表 -4に、サイクル時間と平均曲げ強度および平均曲げ弾性 係数の関係を図-14と図-15に示す.

平均曲げ強度は、パターン④は433.2 N/mm²、パターン ③は404.9 N/mm², パターン①は419.1 N/mm²となり, パタ ーン④(0h)のばらつきが大きいものの、文献2)と同様に、 熱サイクルを与えると強度は最大7%程度低下した.こ れは線膨張係数の差から生まれる内部応力によって繊維 と樹脂の付着劣化が引き起こされることが原因と考えら れる. 乾燥処理していないものと比較すると、初期に乾 燥処理をすることで、水分が強度に及ぼす影響がなくな り、熱サイクルのみの影響が出ることで、曲げ強度の低 下が見られたと考えられる.この低下傾向は、文献2)と 同様であるが、低下量に関しては、文献2)の方が若干大 きい. これは、本研究では、熱サイクル試験時に吸水し た水分を、サイクル試験後にも乾燥させることで除去し たが、文献2)ではそのような処理を行っていないためと 考えられる. このようなFRP内部の水分量と曲げ強度の 関係性は、文献9)でも検討されており、FRP内部の水分 量が小さいほど強度が高くなることがわかっている.

平均曲げ弾性係数は、パターン④は22.16 kN/mm²、パターン③は20.34 kN/mm²、パターン①は21.40 kN/mm²となり、最大値・最小値も加味するとあまり変化は見られなかった.この結果はすべてのパターンにおいて試験体を乾燥させ、含水量による影響をなくしたことに起因すると考える.また、弾性係数に関しては数値・挙動ともに乾燥処理を施していない場合と類似した結果となった.

破壊状態に関しては乾燥させていないものと同様であった.

b) 二方向材

乾燥処理を行っていない全パターンの曲げ試験の試験 結果をまとめたものを表-5に、サイクル時間と平均曲げ 強度および平均曲げ弾性係数の関係を図-17と図-18に 示す.図-17と図-18のグラフ中のエラーバーは、各パ ターンでの最大値と最小値を示す.

平均曲げ強度は,パターン④は385.3N/mm²,パターン ③は442.8 N/mm²,パターン②は445.2N/mm²,パターン① は414.2 N/mm²となった.一方向材とほぼ同じ動向を示し たが,増加率は二方向材のほうが大きく約15%であった. この原因は前項に記した一方向材と同じと推察できる.

平均曲げ弾性係数は、パターン④は24.08 kN/mm²、パ



(乾燥処理なし)

(c)パターン③

図-19 破壊状態の一例

ターン③は20.56 kN/mm²,パターン②は22.81 kN/mm²,パ ターン①は23.02 kN/mm²となった. 図3.3.12に示したエラ ーバー(最大値~最小値)を加味すると、パターン③だ け少し減少したものの一方向材と同様に緩やかな減少傾 向を示した.

表-5 二方向材 曲げ試験結果

破壊の様子は、図-19に示すように上面(圧縮側)は一方 向材と同様、座屈しており、側面も同様に、最下層の剥 離が見られたが、一方向材ほど破壊形態が露わにみられ なかった. 下面(引張側)では、数本のひび割れが見られ た. パターンごとの違いは見られず,同様の破壊形態に なった.

次に乾燥処理を施した場合、3パターン(パターン ④・③・①)の曲げ試験の試験結果をまとめたものを表 -6に、サイクル時間と平均曲げ強度および平均曲げ弾性 係数の関係を図-17と図-18に示す.

平均曲げ強度は、パターン④は402.8 N/mm²、パターン ③は390.5 N/mm²、パターン①は390.0 N/mm²となり、数値 にばらつきが見られるものの、熱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.また, 一方向材と同様にサイクル時間と曲げ強度の相関関係は 見られなかった. この強度低下の原因は一方向材と同じ

であると考えられる.

表-6 二方向材 曲げ試験結果

(乾燥処理あり)

平均曲げ弾性係数は、パターン④は28.06 kN/mm²、パ ターン③は25.37 kN/mm², パターン①は26.78 kN/mm²とな り、平均値的には減少傾向が見られたが、ばらつきが大 きくあまり変化は見られなかった.熱サイクル時間との 関係を見ると、乾燥処理なしの場合とほぼ同様の挙動を 示したが、一方向材とは違い乾燥処理を加えることで弾 性係数が平均的に上昇している. このことから二方向材 の方が含水量による影響を受けやすく、内部水分量を減 らすと弾性係数が増加することがわかる.

破壊状態に関しては乾燥させていないものと同様の傾 向であった.

4. まとめ

本研究では、Eガラスおよび不飽和ポリエステル樹脂 で製作されたGFRPが、-5~40℃の熱サイクル履歴を受 けたときの機械的性質の変化に対して、熱付与時間や試 験前後の乾燥処理の影響を実験的に検討した.得られた 結果を以下にまとめる.

- 引張試験より、最大値と最小値を加味すると、一方 向材と二方向材どちらも熱サイクル付与に対する引 張強度の変化はあまり見られなかった.ただし、若 干の強度の変化は見られ、この原因はFRP内部の水 分や熱付与による繊維と樹脂の付着劣化などの現象 が複合的に重なり合ったためと考えられる.
- 2) 引張弾性係数について、一方向材では短時間の熱付 与であれば上昇傾向にあったが、熱付与時間が長く なると他のものと比べて小さな値がとなった.二方 向材では全体的に緩やかな上昇傾向が見られた.
- 3) 曲げ試験に関して、乾燥処理を行っていない場合については、一方向材、二方向材ともに熱サイクル付与時間を増やすと曲げ強度は全体的に増加傾向が見られた。一方向材の強度増加率が約5%で二方向材の強度増加率は約15%であった。これは、FRP内部水分の減少による強度増加の影響が大きかったためと考えられる。
- 4) 乾燥処理を行い、内部に含まれる水分量の影響を省いた場合は一方向材、二方向材ともに熱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繊維と樹脂の付着劣化が考えられる.また、熱サイクル付与時間と曲げ強度の間に相関関係は見られなかった.
- 5) 曲げ弾性係数については乾燥処理の有無にかかわら ず,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.

今後の課題として,乾燥処理を施した場合の引張試験 を実施することや,焦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.

謝辞:本研究の実験では、神戸大学大学院技術職員の中 西智美氏および村瀬照寛氏にご協力いただいた.ここに 記して謝意を表す.

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.
- 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, No.116, pp.720-731, 2014.
- 3) 三輪 実,大沢 直志,安藤 嘉章,酒向 一彦:ガラ ス繊維—エポキシ樹脂および不飽和ポリエステル樹脂系 複合材料の熱膨張挙動に関する研究,繊維学会誌,pp.31-37, Vol. 36, No. 1, 1980.
- Dutta PK, Hui D: Low-temperature and freeze thaw durability of thick composites, Compos B Eng, Vol. 27, pp. 371-379, 1996.
- Karbhari VM, Rivera J, Zhang J: Low-temperature hygrothermal degradation of ambient cured E-glass/vinylester composites, J Appl Polym Sci, Vol. 86, pp. 2255-2260, 2002.
- Wu H, Fu G, Gibson R, Yan A, Warnemuende K, Anumandla V: Durability of FRP composite bridge deck materials under freeze-thaw and low temperature conditions: J Bridge Eng, Vol. 11, pp. 443-451, 2006.
- Li H, Xian G, Lin Q, Zhang H: Freeze-thaw resistance of unidirectionalfiber-reinforced epoxy composites: J Appl Polym Sci, Vol. 123, pp. 3781-3788, 2012.
- Di Ludovico M, Piscitelli F, Prota A, Lavorgna M, Mensitieri G, Manfredi G: Improved mechanical properties of CFRP laminates at elevated temperatures and freeze-thaw cycling: Constr Build Mater, Vol. 31, pp. 273-283, 2012.
- Aniskevich K, Korkhov V, Faitelsone J, Janson J: Mechanical properties of pultruded glass fiber reinforced plastic after freeze-thaw cycling: J Reinforced Plast Compos, Vol. 31, pp. 1554–1563, 2012.
- 10) JISK 7209: プラスチックー吸水率の求め方, 2000
- JISK 7164: プラスチックー引張特性の試験方法-第4部:
 等方性及び直交異方性繊維強化プラスチックの試験条件, 2005.
- 12) JISK 7161: プラスチックー引張特性の求め方-第1部:通則, 2014.
- JJS K 7017: 繊維強化プラスチックー曲げ特性の求め方, 1999.
- 14) ISO14125: Fiber-reinforced plastics composites-Determination of flexural properties, 1997.
- 15) 友澤 稔:ガラス中の水, NEW GLASS, pp.9-15, Vol.21, No.3, 2006.

(Received September 10, 2021)

EFFECT OF THERMAL CYCLE TIME ON THE MECHANICAL PROPATIES OF GFRP MATERIALS

Daiki OKAI and Kunitaro HASHIMOTO and Gen HAYASHI

FRP is a composite material made by mixing fiber such as glass with resin plastic to increase its strength. In this study, focusing on the temperature application time when performing the thermal cycle application test, the temperature cycle application test was conducted in which the time of one cycle was changed for GFRP using unsaturated polyester resin. After that, a tensile test and a flexural test are performed, and the purpose is to clarify the change in mechanical properties of the target material depending on the temperature application time and water content. As a result, it was found that tensile and bending properties were not affected much by the temperature application time in the case of non-drying treatment before the cyclic test, and that strength were affected by the thermal cycle in the case of drying treatment.