

GFRP引抜成形材の耐アルカリ性に関する 屋外暴露および浸漬試験

櫻庭 浩樹¹・西崎 到²・宇佐美 惣³・石田 雅博⁴

¹正会員 土木研究所 先端材料資源研究センター 研究員 (〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6)

E-mail:hiro-sakura@pwri.go.jp

²正会員 土木研究所 先端材料資源研究センター 上席研究員 (同上)

E-mail:nisizaki@pwri.go.jp

³非会員 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 元主任研究員 (同上)

E-mail o-usami@pwri.go.jp

⁴正会員 土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 上席研究員 (同上)

E-mail: ishida@pwri.go.jp

FRPとコンクリートを組み合わせた構造では、コンクリートとの接触面でアルカリ作用によってFRPが劣化する可能性があるため、FRPの耐アルカリ性を確認することが重要である。本研究では、GFRP引抜成形材について、コンクリートと接触した状態で供用される場合の劣化挙動の検討を目的として、モルタルを充填した供試体を作製し、屋外暴露試験およびアルカリ浸漬試験を行った。屋外暴露試験の結果、約半年から11ヶ月の暴露で引張強度の低下傾向が確認され、GFRP引抜成形材とコンクリートが接触する場合には対策が必要な場合があることを示した。また、アルカリによるGFRPの劣化を簡易なモデルを用いて検討し、浸漬試験の結果から、屋外暴露試験における引張強度の低下傾向を概ね再現できることを示した。

Key Words : pultruded GFRP, alkali resistance, outdoor exposure test, immersion test

1. はじめに

繊維強化プラスチック (FRP) をコンクリート構造物に適用するためには、コンクリートの高アルカリ環境に対する耐久性が求められる。コンクリート構造物に用いられるFRPの代表的な形状としては、ロッドとシートがある。既往の研究では、FRPロッドをコンクリート用補強材として使用するために、FRPに用いる各種繊維の耐アルカリ性について検討し、劣化メカニズムや劣化の予測方法を示している¹⁾。文献2)では、FRPロッドについて、耐アルカリ試験方法を提案している。FRPロッドを用いてPCはりを作製し、その長期耐久性を検討した事例もある³⁾。FRPシートについては、コンクリート構造物の補修・補強を目的として広く使用されており、文献4)において、FRPシートの耐アルカリ試験方法が提案されている。炭素繊維シート (CFRPシート) をコンクリートに巻立てた供試体を屋外に暴露し、耐久性を検討した事例もある⁵⁾。

一方、近年では、FRPロッドやシートだけでなく、FRP成形材も土木構造物材料として適用され始めており、

歩道橋への適用技術の構築⁶⁾や基礎的なデータの蓄積⁷⁾も進められている。FRP成形材の中でも、ガラス繊維強化プラスチック (GFRP) 引抜成形材は、比較的大断面での製作が可能ことやFRPの中ではガラス繊維が安価であることなどの理由から適用事例が多くなっている。さらに、GFRP引抜成形材を道路橋歩道部の拡幅床板として適用するための検討も行われている⁸⁾。この検討では、GFRP引抜成形材の床版部を充填コンクリートとアンカーボルトによって固定する構造を提案している。よって、今後、GFRP引抜成形材とコンクリートを組み合わせた構造が適用されていく可能性があると考えられる。このような場合、GFRP引抜成形材はコンクリートによるアルカリ作用を受けて劣化する恐れがあるため、その耐アルカリ性を確認することが重要である。

本研究では、GFRP引抜成形材について、アルカリによるGFRP引抜成形材の劣化挙動を検討することを目的として、屋外暴露試験および屋内でのアルカリ浸漬試験を実施するとともに、アルカリによるGFRPの劣化を簡易にモデル化した方法を用いて、屋外暴露試験と浸漬試験の関係を考察した。

2. GFRP引抜成形材の屋外暴露および浸漬試験

(1) 供試体

図-1には、供試体の概要を示す。供試体は、図-1 a)に示すGFRP引抜成形材を用いて、図-1 b), c)に示す、モルタル充填無しおよびモルタル充填有りとした。なお、図-1に示す寸法は公称値である。GFRP引抜成形材は、母材が不飽和ポリエステル樹脂のものをを用いた。モルタルの配合は表-1に示すものとし、養生は気中で28日以上とした。供試体の外面には、図-1に示すように、屋外暴露試験において紫外線による劣化を防ぐため、フッ素樹脂系の上塗り（標準塗布量 0.12kg/m^2 、標準膜厚 $30\mu\text{m}$ ）を塗布し、塗布後7日以上養生した。なお、同一条件とするため、アルカリ浸漬試験に用いる供試体にも上塗りを同様に塗布した。

表-2には、供試体の種類を示す。本研究では、供試体を室内に保管した場合、屋外に暴露した場合およびアルカリ水溶液に浸漬した場合を検討した。

(2) 屋外暴露試験

屋外暴露試験は、茨城県つくば市に位置する屋外暴露場（以下、つくば暴露場）において、モルタルを充填した供試体を用いて実施した。2015年8月13日に開始し、183日および333日経過した時点で供試体を回収した。

図-2には、つくば暴露場における供試体の暴露方法を示す。雨掛りの影響を検討するため、既存の歩道橋の桁下に設置した場合（雨掛り少）と雨掛りを直接受ける場合（雨掛り有）を設定した。供試体は、鉄筋コンクリート製のU字溝の上に設置したGFRP製グレーチングの上に固定した。地面からの供試体までの距離は、約20cmである。図-3には、つくば暴露試験場の最寄りの気象観測地点（つくば市館野）での測定された気温と降水量を示す。なお、2015年8月～2016年7月の期間の平均気温は 15.0°C であった。

(3) アルカリ浸漬試験

アルカリ浸漬試験には、モルタル充填無しの供試体を使用した。アルカリ水溶液は、文献2)を参考に、12Lのイオン交換水に、水酸化カルシウム24g、水酸化ナトリウム120gおよび水酸化カリウム168gを溶解させたものとし、このアルカリ水溶液に供試体3体を浸漬させた。なお、GFRP引抜成形材1体の体積は、約 0.45L である。作製したアルカリ水溶液をガラス電極法によってpHを測定した結果、 26.5°C でpH13.4であった。これを水のイオン積に基づいて、水酸化物イオン濃度に換算すれば、 0.222mol/L となる。

アルカリ浸漬試験では、表-2のNo.7～No.11の条件を用いた。No.7,8,9では、浸漬温度を 20°C として、浸漬期間

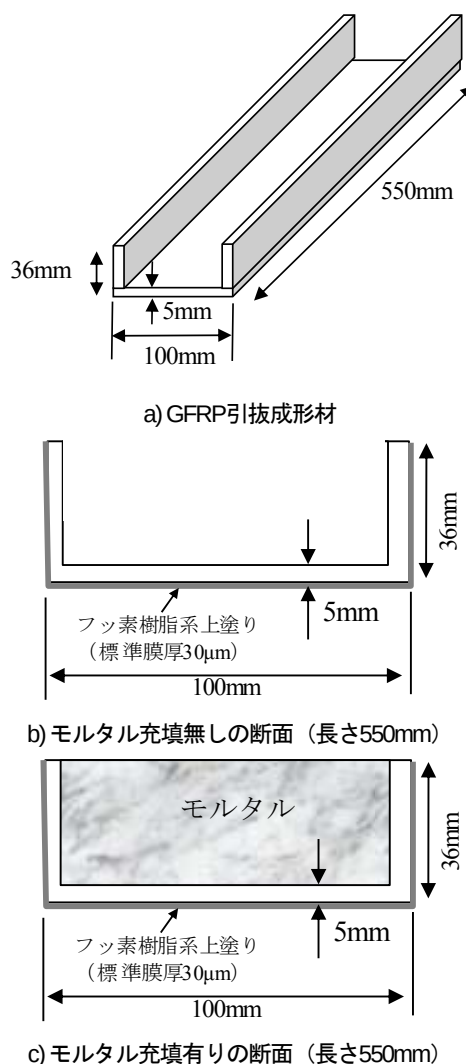


図-1 供試体の概要

表-1 モルタルの配合

水セメント比 (%)	水	セメント	けい砂 (kg/m^3)	
	(kg/m^3)	(kg/m^3)	4号	7号
50	254	509	1221	305

※けい砂の平均粒径：4号 0.75mm, 7号 0.19mm

表-2 供試体の種類

No.	種類	モルタル充填	浸漬, 暴露期間 (日)	温度 ($^\circ\text{C}$)	雨掛り
1	室内	無	-	20	-
2	保管	有	-	20	-
3	屋外暴露	有	183	図-3a)	少
4			333		
5			183		有
6			333		
7	アルカリ浸漬	無	31	20	-
8			59	20	-
9			91	20	-
10			31	40	-
11			31	60	-

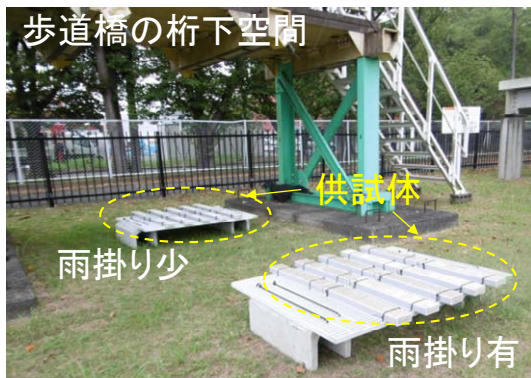
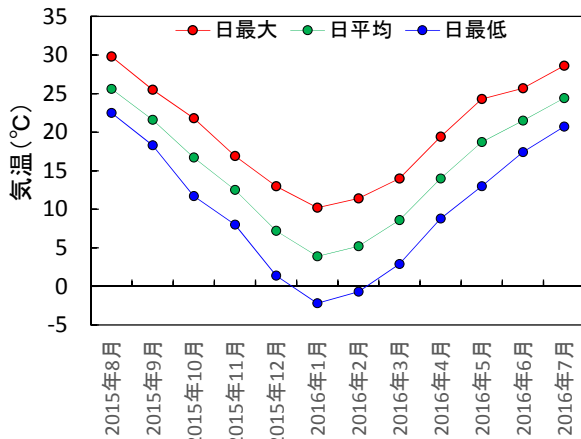
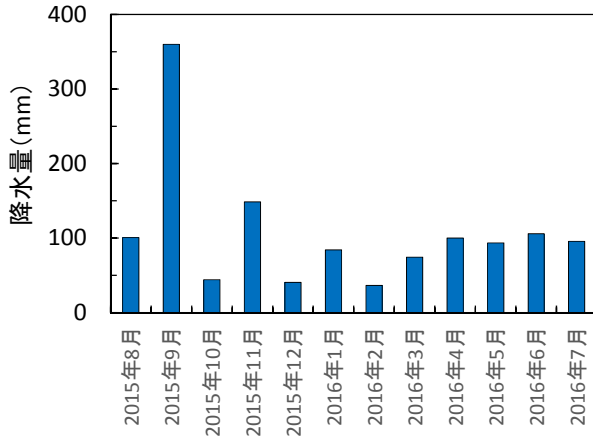


図-2 つくば暴露場における供試体の暴露



a) 気温



b) 降水量

図-3 暴露期間中のつくば（館野）の気温および降水量

をそれぞれ31, 59, 91日とした。No.10, 11では、浸漬期間を31日として、浸漬温度をそれぞれ40, 60°Cとした。

(4) 引張試験

引張試験は、室内保管ならびに屋外暴露および浸漬試験後の供試体からクーボン試験片を切り出し、JIS K 7164に従って行った。試験片は、図-4に示すタイプ3とし、全長 250mm、幅 25mm となるように、図-5 のように4本の試験片を切り出した。タブは、材質をアルミニ

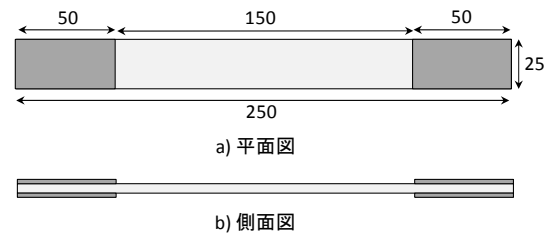


図-4 引張試験片の寸法（単位：mm）

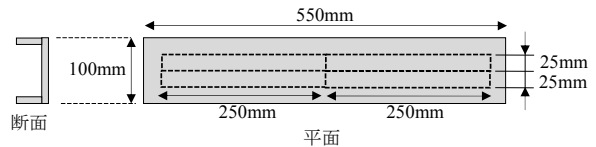


図-5 供試体からの引張試験片の切出し方法（試験片数4本）

ウムとし、長さ50mm、板厚2mmのものを、試験片の両端部にエポキシ系接着剤を用いて貼り付け、試験片中央部には1軸ひずみゲージを貼り付けた。測定項目は、引張強度、引張弾性係数とした。試験片の数は4本とし、平均値、標準偏差および変動係数を算定した。

浸漬もしくは屋外暴露前後のGFRP引張強度は、式(1)および式(2)で与えられる。

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{S_0} = \frac{P_0}{Bd} \quad (1)$$

$$\sigma_t = \frac{P_t}{S_0} = \frac{P_t}{Bd} \quad (2)$$

ここに、 σ_0 ：浸漬もしくは屋外暴露前の GFRP 引張強度、 σ_t ：浸漬もしくは屋外暴露後の GFRP 引張強度、 P_0 ：浸漬もしくは屋外暴露前の GFRP 最大引張荷重、 P_t ：浸漬もしくは屋外暴露後の GFRP 最大引張荷重、 S_0 ：試験片断面積、 B ：試験片の幅、 d ：試験片の板厚

直応力 σ は、式(3)から算定した。

$$\sigma = \frac{P}{Bd} \quad (3)$$

ここに、 P ：荷重

引張弾性係数 E は、式(4)より算定した。

$$E = \frac{\sigma_a - \sigma_b}{\varepsilon_a - \varepsilon_b} \quad (4)$$

ここに、 σ_a ：ひずみ 2500 μ 時の直応力、 σ_b ：ひずみ 500 μ 時の直応力、 ε_a ：2500 μ 、 ε_b ：500 μ

3. 屋外暴露試験および浸漬試験の結果と考察

(1) 屋外暴露試験

図-6には、屋外暴露試験後の供試体の引張弾性係数を示す。引張弾性係数の平均値は26.0～28.8GPaの範囲、変

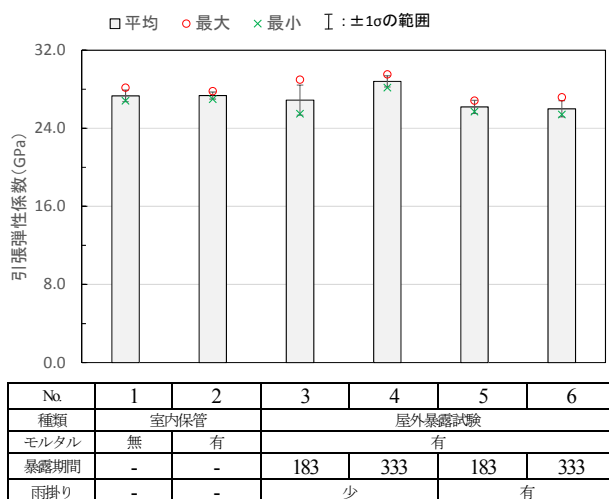


図-6 屋外暴露後の供試体の引張弾性係数

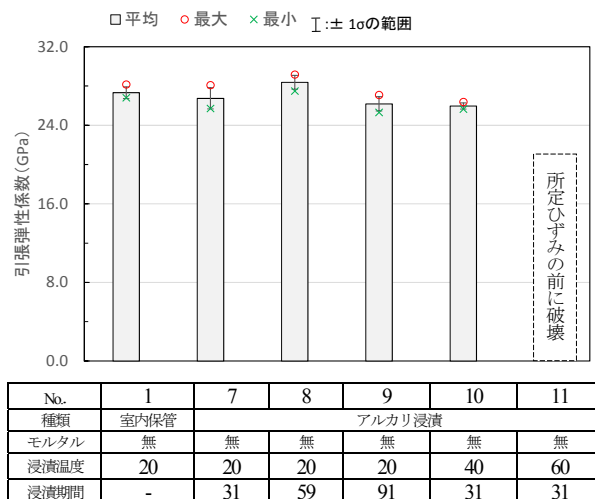


図-8 アルカリ浸漬試験後の供試体の引張弾性係数

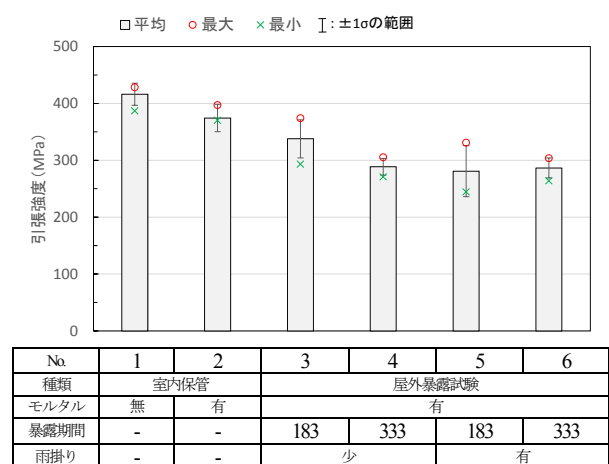


図-7 屋外暴露後の供試体の引張強度

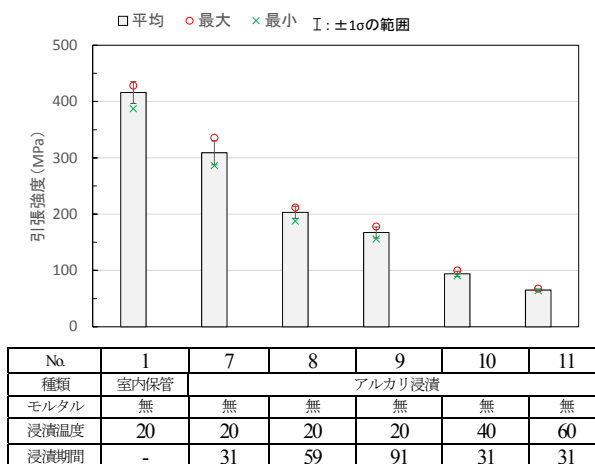


図-9 アルカリ浸漬試験後の供試体の引張強度

動係数は1.3～5.8%の範囲である。供試体No.1の引張弾性係数の平均値を基準として各供試体のそれとの比を計算すれば、0.95～1.05の範囲となる。

図-7には、屋外暴露後の供試体の引張強度を示す。引張強度の平均値は281～416MPaの範囲、変動係数は4.7～16.0%の範囲である。なお、供試体No.5については、1本の試験片が破損したため、試験片3体のデータである。供試体No.1の引張強度の平均値を基準として各供試体のそれとの比を計算すれば、0.68～0.90の範囲となる。供試体No.2は、GFRP引抜成形材にモルタルを充填し、その後20℃の室内で保管していたものであるが、No.1と比較してやや引張強度が低下している。供試体No.3,4およびNo.5,6は、それぞれ、雨掛り少および有の場合であるが、暴露期間333日時点では同程度の値を示している。

屋外暴露後の供試体の外観については、一部で表面が黄色に変色するものがあったものの、肉眼で観察できるほどの割れは確認されなかった。

以上より、引張弾性係数の場合は供試体No.1と比較して同程度であったが、引張強度の場合はモルタルの充填

および屋外暴露により、引張強度が低下する傾向が確認された。これは、最弱リンク説により説明できるものと推察される⁹⁾。すなわち、モルタルのアルカリによってガラス繊維が劣化して微細な欠陥が生じ、その最弱部によってGFRPの引張強度が決定されるためと考えられる。また、本研究で用いたGFRPの樹脂には、不飽和ポリエステル樹脂であり、アルカリ作用によってこれが加水分解して劣化した影響もあると考えられる¹⁰⁾。引張弾性係数の場合、引張弾性係数を算定するひずみの範囲500～2500 μ に対応する引張応力は13～68MPa（ひずみに引張弾性係数の平均値を生じて算定）であり、最弱部が破壊する前のひずみの範囲であるため、モルタルの充填および屋外暴露による影響が小さかったと考えられる。

(2) アルカリ浸漬試験

図-8には、アルカリ浸漬試験後の供試体の引張弾性係数を示す。引張弾性係数の平均値は26.0～28.4GPaの範囲、変動係数は1.3～4.0%の範囲である。供試体No.1の引張弾性係数の平均値を基準として各供試体のそれとの比を

計算すれば、0.95～1.04の範囲となる。なお、供試体No.11については、ひずみが2500 μ に達する前に破壊したため、引張弾性係数は得られなかった。

図-9には、アルカリ浸漬試験後の供試体の引張強度を示す。引張強度の平均値は65.2～416MPaの範囲、変動係数は2.7～6.9%の範囲である。供試体No.1の引張強度の平均値を基準として各供試体のそれとの比を計算すれば、0.16～0.74の範囲となる。供試体No.7,8,9は、浸漬温度を20℃とし、浸漬期間をそれぞれ、31日、59日、91日としたものであるが、浸漬期間の増加により引張強度が低下していることがわかる。供試体No.7,10,11は浸漬期間が31日で、浸漬温度をそれぞれ、20℃、40℃および60℃としたものであるが、浸漬温度が高い程、引張強度が低下することが確認される。

浸漬試験後の供試体の外観については、一部で表面が黄色に変色するものがあり、供試体No.11では肉眼で確認できる大きさの割れが生じていた。

以上より、屋外暴露試験の場合と同様に、引張弾性係数の場合は供試体No.1と比較して同程度であったが、引張強度の場合はアルカリ水溶液への浸漬により、引張強度が低下する傾向が確認された。よって、GFRP引抜成形材がアルカリ作用を受ける場合には、引張強度の低下を防ぐための対策が必要な場合があると考えられる。

4. アルカリ作用によるGFRPの劣化予測方法

本章では、既往の研究で提案されているガラス繊維単体のアルカリ劣化予測モデル¹⁾を基に、GFRPのアルカリによる劣化を簡易的に予測する方法を検討する。具体的には、本来、アルカリ水溶液とGFRPの反応速度、アルカリ浸透部の引張強度などを考慮したモデルとする必要があるが、以下のような仮定を設け、簡易なモデルでの検討を行うこととした。

- アルカリとGFRPの反応速度は考慮しない
- アルカリが浸透した部分の引張強度は0とする
- アルカリ未浸透部の引張強度は、浸漬もしくは屋外暴露前の引張強度と同等とする
- 繊維、樹脂および繊維－樹脂の界面は個別に取り扱わず、一様な断面とする
- GFRP表面の水酸化物イオン濃度は一定とする

上述の仮定を基に、GFRPへのアルカリ浸透速度は、式(5)により表現されるものとする。

$$\frac{dx}{dt} = k \frac{C}{x} \quad (5)$$

ここに、 x ：アルカリ浸透深さ（mm）、 t ：浸漬もしくは屋外暴露期間（day）、 k ：アルカリ浸透係数（mm²/day/(mol/L)）、 C ：水酸化物イオン濃度（mol/L）

式(5)を、時間 $t=0$ でGFRP表面からのアルカリ浸透深さ $x=0$ の初期条件を与えて両辺を積分すれば、式(6)が得られる。

$$x = \sqrt{2kCt} \quad (6)$$

さらに、アルカリが浸透していない部分の引張強度が、浸漬もしくは屋外暴露前の引張強度と同等であると仮定すれば式(7),(8)が得られる。

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{S_0} = \frac{P_t}{S_t} \quad (7)$$

$$\sigma_t = \sigma_0 \frac{S_t}{S_0} \quad (8)$$

ここに、 S_t ：アルカリ未浸透部のGFRP断面積（mm²）であり、 S_0 は式(9)で与えられる。

$$S_t = B(d - x) \quad (9)$$

式(8)に式(6),(9)を代入すれば、式(10)が得られる。

$$\sigma_t = \sigma_0 \left(1 - \frac{\sqrt{2kCt}}{d} \right) \quad (10)$$

GFRP表面の水酸化物イオン濃度は大きく低下しないものとして、初期水酸化物イオン濃度は一定と仮定し、浸漬もしくは屋外暴露前後のGFRP引張強度が既知であれば、式(10)において、アルカリ浸透係数 k のみが未知数となる。本研究では、浸漬試験前後の引張試験で得られたGFRP引張強度を用い、最小2乗法によって未知数であるアルカリ浸透係数を決定した。ただし、アルカリ浸透係数は温度に依存することに留意する必要がある。

式(11)を浸漬もしくは屋外暴露期間 t について解けば、任意の値まで引張強度が低下する期間の算定式となる。

$$t_d = \left(1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_0} \right)^2 \frac{d^2}{2kC} \quad (11)$$

ここに、 t_d ：劣化期間（day）

次に、式(12)に示す強度低下率 α を定義し、式(11)に代入すれば式(13)が得られる。

$$\alpha = 1 - \frac{\sigma_t}{\sigma_0} \quad (12)$$

$$t_d = \frac{(\alpha d)^2}{2kC} \quad (13)$$

式(13)より、アルカリ浸透係数 k 、板厚 d 、水酸化物イオン濃度 C が既知であれば、任意の強度低下率に至るまでの劣化期間を算定できることが分かる。

さらに、アルカリ浸透係数および強度低下率が同一の条件下において、水酸化物イオン濃度が C_A と C_B の場合の劣化期間を考え、その比を取れば式(14)が得られる。

$$\frac{t_d^A}{t_d^B} = \frac{C_B}{C_A} \quad (14)$$

ここに、 t_d^A ：水酸化物イオン濃度 C_A の場合の劣化期間（day）、 t_d^B ：水酸化物イオン濃度 C_B の場合の劣化期間（day）

式(14)より、劣化期間の比は、水酸化物イオン濃度の

比で表されることが分かる。また、アルカリ浸透係数および強度低下率が同一条件の場合、水酸化物イオン濃度の比および一方の劣化期間が既知となれば、もう一方の劣化期間を予測できることを示している。

5. 解析結果および考察

図-10には、引張強度と浸漬もしくは屋外暴露期間の関係を示す。図では、浸漬温度20℃で浸漬期間31日、59日および91日とした供試体（No.7～9）の引張強度ならびに屋外に183日と333日暴露した供試体（No.3～6）の引張強度を示している。また、供試体No.7～9の引張強度を式(10)に代入し、最小二乗法によりアルカリ浸透係数を算定した結果、 $0.229 \text{ mm}^2/\text{day}/(\text{mol/L})$ が得られた。このアルカリ浸透係数を用い、水酸化物イオン濃度を、 0.0158 mol/L 、 0.0398 mol/L および 0.222 mol/L として、式(10)により引張強度も算定した結果も合わせて示す。なお、 0.0158 mol/L 、 0.0398 mol/L は、屋外暴露後の供試体の引張強度に合うように設定した値であり、 0.222 mol/L はアルカリ浸漬試験に用いたアルカリ水溶液の値である。

屋外暴露試験による引張強度と式(10)による算定結果と比較すると、それらは、水酸化物イオン濃度 $0.0158 \text{ mol/L} \sim 0.0398 \text{ mol/L}$ の算定結果の範囲内にあることが分かる。よって、屋外暴露試験は、アルカリ水溶液の水酸化物イオン濃度を $0.0158 \text{ mol/L} \sim 0.0398 \text{ mol/L}$ とした20℃での浸漬試験に相当するものと考えられる。この水酸化物イオン濃度は、25℃でのpHに換算すると、 $\text{pH}12.2 \sim 12.6$ であり、一般的なコンクリートにおけるpHである12～13の範囲¹¹⁾にある。

図-11には、式(13)を用いて 0.0158 、 0.0398 、 0.222 mol/L として劣化期間を算定した結果を示す。図より、任意の強度低下率において劣化期間を算定できることおよび水酸化物イオン濃度が大きくなれば劣化期間が短くなることが確認される。また、表-3には、式(14)を用いて算定した水酸化物イオン濃度が異なる場合の劣化期間の比を示す。 0.222 mol/L を基準として、 0.0158 、 0.0398 mol/L とした場合は、それぞれ、14.0および5.6となった。これは、ある強度低下率に至るまで、 0.222 mol/L の場合と比較して5.6～14.0倍の劣化期間を要することを意味する。屋外暴露試験の結果は、 $0.0158 \sim 0.0398 \text{ mol/L}$ とした算定値の範囲内にあったことから、 0.222 mol/L のアルカリ水溶液を用いた浸漬試験と屋外暴露試験の劣化期間の比は5.6～14.0の範囲であると考えられる。この結果より、アルカリ浸漬試験から、屋外暴露試験の結果を予測できることが示唆される。ただし、本研究で用いたモデルは、4章で示した仮定に基づいたものであるため、今後、モデルの詳細な検証と修正が必要と考える。

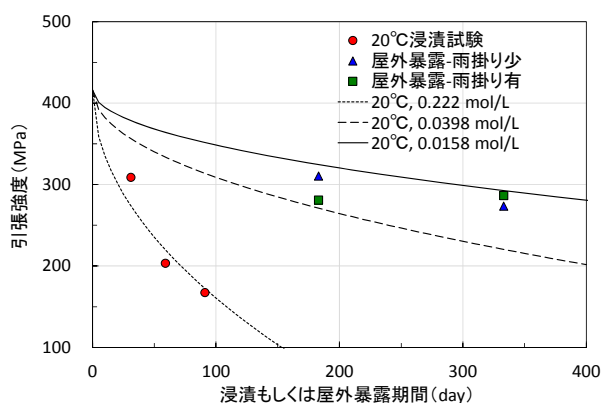


図-10 引張強度と浸漬もしくは屋外暴露期間の関係

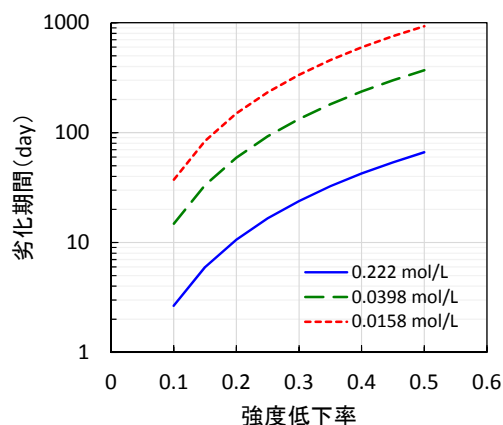


図-11 劣化期間と強度低下率の関係

表-3 水酸化物イオン濃度が異なる場合の劣化期間の比

	0.0158 mol/L	0.0398 mol/L
0.222mol/Lでの劣化期間を基準とした場合	14.0	5.6

6. まとめ

本研究では、GFRP引抜成形材およびそれにモルタルを充填した供試体を用いて、屋外暴露試験およびアルカリ浸漬試験を実施し、GFRP引抜成形材の耐アルカリ性を検討した。以下に本研究で得られた知見をまとめる。

茨城県つくば市の屋外暴露場でGFRP引抜成形材にモルタルを充填した供試体を用いて暴露試験を実施した結果、約11ヶ月の暴露によって、引張強度が約70%まで低下することを確認した。暴露試験では、供試体を既存の施設の下に設置して雨掛りが少ない場合と雨掛りを直接受ける場合を検討したが、約11ヶ月の暴露では、それらの引張強度の低下傾向は同程度であった。

アルカリ浸漬試験では、GFRP引抜成形材単体とした供試体をアルカリ水溶液に浸漬した。浸漬温度を20℃とした条件において、浸漬期間が増加するにつれて、引張

強度が低下することを確認した。また、浸漬温度を20℃,40℃, 60℃として約1ヶ月浸漬した結果、浸漬温度が高い程、引張強度が低下することを確認した。

アルカリ劣化予測モデルを用いて、アルカリ浸漬試験の結果からGFRPへのアルカリの浸透速度を決定する係数を算定し、引張強度と屋外暴露期間の関係を検討した。その結果、適切な水酸化物イオン濃度を設定することでアルカリ浸漬試験の結果から屋外暴露試験において引張強度が低下する挙動を概ね再現できることを示した。

謝辞：本研究は、文部科学省・科学技術振興機構によるCOIプログラム「革新材料による次世代インフラシステムの構築～安全・安心で地球と共存できる数世紀社会の実現～」により進められたものである。

参考文献

- 1) 魚本健人, 勝木太：各種繊維の耐アルカリ性の評価法に関する基礎研究, 土木学会論文集, No.490/V-23, pp.167-174, 1994.5.
- 2) 土木学会：連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物の設計・施工指針（案）, コンクリートライブラリ 88, pp.111-113, 141-142, 1996.
- 3) 渡部寛文, 中井裕司, 榎本剛, 魚本健人：FRP 緊張材を用いた PC はりの長期耐久性に関する検証試験,

- 第 4 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, pp.39-46, 2012.
- 4) 土木学会：連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針, コンクリートライブラリ 101, pp.108-114, 2000.
- 5) 富山禎仁, Pierre LABOSSIERE, Kenneth W. NEALE, Marc DEMERS, 西崎到：炭素繊維シート巻立て補強コンクリートの屋外耐久性に関する検討, pp.27-32, 第 4 回 FRP 複合構造・橋梁に関するシンポジウム, 2012.
- 6) 土木研究所：FRP を用いた橋梁の設計技術に関する共同研究報告書（Ⅱ）-FRP 歩道橋の適用性に関する検討-, 共同研究報告書第 360 号, 2007.
- 7) 土木学会：土木構造物用 FRP 部材の設計基礎データ, 複合構造レポート 11, 2014.
- 8) 角間恒, 岡田慎哉, 久保圭吾, 松井繁之：FRP を用いた道路橋歩道拡幅構造の耐荷特性に関する研究, 構造工学論文集, Vol.60A, pp.1150-1158, 2014.
- 9) 西村次男, 魚本健人, 加藤佳孝：各種溶液における繊維強度の温度依存性：コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.283-288, 1999.
- 10) 富山禎仁, 西崎到：接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性評価方法に関する検討, 土木学会論文集 A1（構造・地震工学）, Vol.72, No.5, II_46-II_55, 2016.
- 11) 小林一輔：コンクリートの炭酸化に関する研究, 土木学会論文集, No.433/V-15, pp.1-14, 1991.8.

OUTDOOR EXPOSURE AND IMMERSION TESTS ON THE ALKALI RESISTANCE OF PULTRUDED GFRP

Hiroki SAKURABA, Itaru NISHIZAKI, Osamu USAMI and Masahiro ISHIDA

This paper presents outdoor exposure and immersion tests on the alkali resistance of pultruded GFRP with in-filled mortar. An outdoor exposure test at Tsukuba exposure site shows that outdoor exposure from 6 to 11 months reduced the tensile strength of GFRP to about 70 % of the initial tensile strength. An alkali immersion test shows that the tensile strength of GFRP decreased as alkali immersion time increased. A prediction model for alkali action is used to discuss the relationship between the outdoor exposure and immersion tests, and calculated tensile strength by the model agrees well with the result of outdoor exposure test, which depends on the alkali concentration.