

V-192

環境温度がGFRPロッドの耐アルカリ性に与える影響

東急建設（株）土木技術部 正会員 勝木 太
東京大学生産技術研究所 正会員 魚本健人

1. はじめに

GFRPロッドをコンクリート用補強材として利用するためには、コンクリート中が高アルカリ環境であることを考えると、耐アルカリ性について明らかにする必要がある。すでに筆者らはGFRPロッドへのアルカリの浸透をマクロ的に明らかにし、劣化促進されたGFRPロッドの強度低下を拡散律速理論を用いて定量的に評価した¹⁾。そこで本研究では、劣化速度に与える温度の影響について検討するとともにGFRPロッドへのアルカリの浸透をミクロ的に観察し、ロッド中の繊維がどのような劣化を生じているのか電子線マイクロアナライザー(EPMA)を用いて明らかにした。

表-1 GFRPロッドの物性と養生条件

2. 試験概要

表-1にGFRPロッドの物性と養生条件を示す。アルカリにはNaOH溶液(1N)を使用し、温度条件を40および60℃とした。浸漬期間は7～120日とし、浸漬日数経過後、デシケーターの中で乾燥させ、引張試験を実施した。また、定着具は小林らによって開発されたくさび型二つ割りチャックを使用し、ロッドの定着部には保護被膜を施した。なお、引張試験にはオートグラフ(10tf)を使用し、試験本数を1条件20本とした。

繊維の種類	Tガラス	溶液の種類	NaOH
マトリックス	ビニールエステル	濃度(N)	1.0
直径(mm)	6.0	温度(℃)	40, 60
強度(kgf/mm ²)	164	浸漬期間(日)	7, 30, 60, 90, 120

3. 実験結果

3.1 EPMA分析結果

図-1, 2にそれぞれ温度40℃および60℃で劣化促進させたロッド断面のNa分析結果を示す。温度60℃で60日間浸漬したロッドのNa浸透距離は、温度40℃で120日間浸漬したロッドのNa浸透距離とはほぼ等しく、温度が高いほどアルカリの浸透が早いことが分かる。即ち、ロッド内へのNa浸透速度は温度の影響により変化することが分かる。

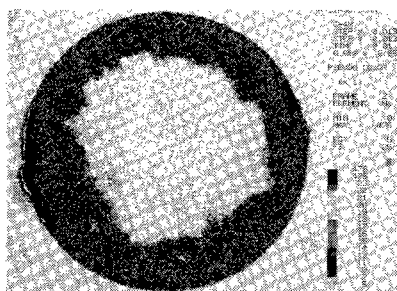


図-1 Na分析結果（温度40℃，期間120日）

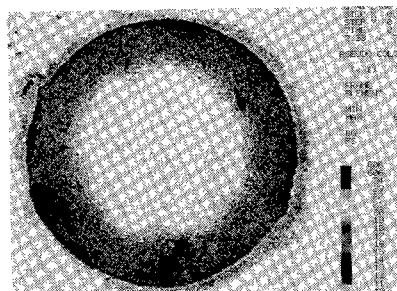


図-2 Na分析結果（温度60℃，期間60日）

図-3(a), (b)にはNaの浸透部分を拡大し、ミクロ的にAlおよびNaを分析した結果を示す。また、(c)には測定部分のSEM像を示す。ロッド中にNaが浸透した部分の繊維は明らかにアルカリによって浸食を受けていることがSEM像によって確認できる。これは図中(a)の劣化した部分のAlカウント数が中心部よりも少ないことから判断できる。また、(b)においてNaは繊維が劣化した部分に多く存在し、樹脂層にはNaが分布していないことから、ガラス繊維はOH基と反応することによって、繊維と樹脂の界面に拡散能力の高い経路を作り、OH基とNaは同時にその浸透経路を拡散してロッド内に浸透したと考えられる。したがって、Naが浸透した領域の繊維と樹脂の付着は期待できず、GFRPロッドは著しい強度低下を生じると考えられる。

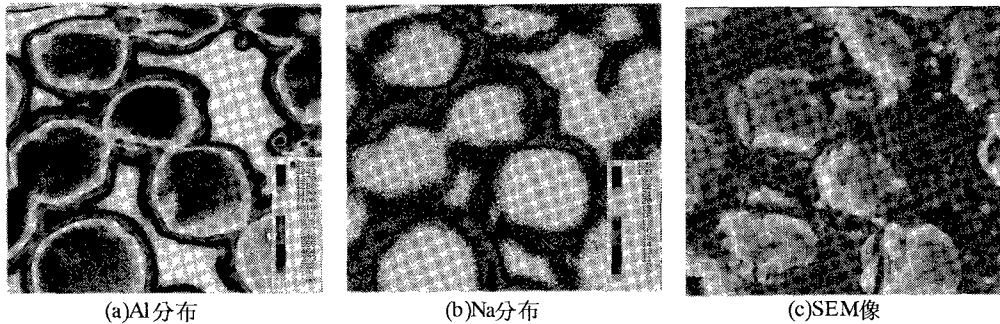


図-3 EPMA分析結果（ミクロ的観察）

3.2 引張試験結果

図-4に引張試験結果を示す。また、図中にはNaの浸透を一種の拡散現象と考え、ロッド内へのNa拡散をマクロ的に評価して求めた強度推定式(1)を用いて解析した結果も示す¹⁾。なお、解析に使用した拡散係数は図-1, 2から得られるNa浸透距離と浸漬時間をFickの反応速度式を簡略化した(2)式に代入して求めた。このようにして求めた拡散係数は $k(40^{\circ}\text{C})=2.8 \times 10^{-6}$ 、 $k(60^{\circ}\text{C})=7.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{hrs}$ である。図中の実験値と解析値はよく一致しており、マクロ的な評価ではあるがアルカリによるGFRPロッドの強度低下を十分推定できることが分かった。

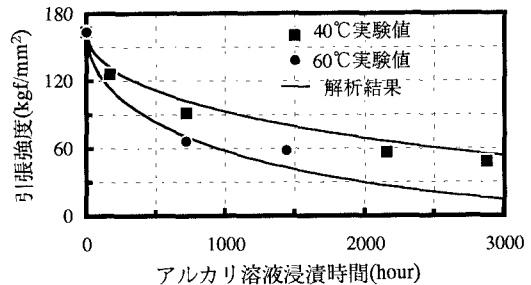


図-4 引張試験結果

$$\sigma_t = \left(1 - \frac{\sqrt{2 \cdot k \cdot C \cdot t}}{R_0}\right)^2 \cdot \sigma_0 \quad \dots \dots (1)$$

$$x = \sqrt{2 \cdot k \cdot C \cdot t} \quad \dots \dots (2)$$

$\sigma_{0,t}$: 引張強度(kgf/mm²)

k : 拡散係数 (cm²/hrs)

C : アルカリ濃度(N)

t : 浸漬時間(hrs)

R_0 : ロッド半径(cm)

x : 浸透距離(cm)

3.3 実環境下における劣化予測

Naの浸透速度が温度に依存することは前述した。一般に、反応速度の温度依存性について

ではアレニウスの実験式が用いられる。したがって、3.2で求めた温度40℃および60℃における拡散係数をもとに、アレニウス式を用いて温度20℃における拡散係数を求めると $k(20^{\circ}\text{C})=9.1 \times 10^{-7} \text{ mm}^2/\text{hrs}$ となる。また、コンクリート中のアルカリ濃度0.05N (pH=12.7)と仮定し、(1)式を用いて実際の環境下での強度推定を行った結果を表-1に示す。今回実験に使用したGFRPロッドは約15年で60%強度低下すると推定できる。

4. まとめ

- 1) アルカリは繊維と樹脂の界面を浸食しながらロッド内に浸透するために、繊維と樹脂の付着効果はほとんど期待できず強度は低下する。
- 2) GFRPロッドへのNa浸透速度は温度の影響を受ける。
- 3) マクロ的な評価ではあるが、アルカリの浸透を拡散問題に置き換えることで、アルカリによるGFRPロッドの強度低下を推定できる。

[謝辞]：本研究は、平成6年度吉田研究奨励賞を授賞して実施したものである。ここに謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 勝木、魚本：アルカリによるGFRPロッドの劣化性状、第49回土木学会年次学術講演集、1994,9