

東急建設株式会社

○正会員 宮崎 太

東京大学生産技術研究所

正会員 魚本健人

同 上

正会員 西村次男

1. はじめに

連続繊維または短繊維補強コンクリートに用いられるガラス繊維は、コンクリート中のアルカリ成分によって劣化する可能性が非常に高いことが知られている。これは、ガラス繊維の SiO_2 成分がコンクリート中のアルカリ成分と反応し、アルカリ反応生成物を形成するためだと考えられる。しかし、この反応を微視的にとらえ、定量化する手法について未だ論ぜられていないのが現状である。

本報告は、アルカリ溶液に浸漬したガラス繊維を走査電子顕微鏡によって観察し、アルカリによるガラス繊維の劣化性状を明らかにするとともに、その劣化を定量化するための一手法を提案するものである。

2. 実験概要

アルカリによるガラス繊維の劣化を促進させる目的で、浸漬溶液 (NaOH) の濃度を 1mol/l とし、 40°C の恒温槽で保管した。また、浸漬日数は $1, 4, 7, 14, 21, 28$ 日とし、浸漬経過後、走査電子顕微鏡にて観察した。尚、本研究では、浸漬したガラス繊維の静的引張試験を実施し、アルカリによるガラス繊維の強度変化についても確認した。図1にその試験概要を示すが、浸漬後のガラス繊維は繊維1本ずつのモノフィラメントとし、長さ 25mm となる試験用紙にセットし引張試験機 (5kgf オートグラフ) で実施した。載荷速度は 5mm/min とし、各浸漬日数毎に $50\sim 60$ 本試験を行なった。

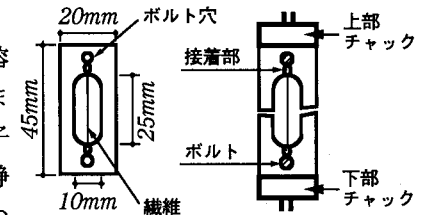


図1 繊維引張試験概要

3. 解析モデル

アルカリがガラス繊維の表面から内部方向へ、図2に示すように均一に進行するものと仮定し、その速度がアルカリの拡散によって支配されるものとする。その支配方程式を次式に示す。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) + F(x, y, t; C) \quad (1)$$

また、ガラス繊維の断面が円形であることより、(1)式を(2)式に示すように極座標系に変換することが可能となる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial C}{\partial r} \right) + F(r, t; C) \quad (2)$$

t : 時間(hr) r : 繊維中心からの未反応量(cm)

C : 繊維表面のアルカリ濃度(mol/l) D : 拡散係数(cm^2/hr) F : アルカリの消費を伴う反応

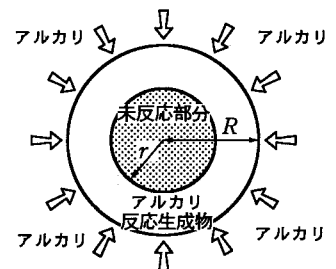


図2 アルカリ反応モデル

(2)式における関数 F の反応速度は無限大であるので、アルカリの消費速度も無限大である。したがって拡散により繊維に進入したアルカリは、繊維中の SiO_2 成分と反応することにより一瞬に消費されることとなる。しかし、繊維のある部位において、アルカリは無限に消費されるのではなく、 SiO_2 成分が単位体積あたり消費し得るアルカリ量は、単位繊維中の SiO_2 量 (mol/l) にアルカリと SiO_2 の反応比を乗じた値

(有効消費アルカリ容量 $SI; \text{mol/l}$) が上限である。¹⁾したがって、解析は有効消費アルカリ容量の概念を取り入れ、繊維中心からの距離 (r) と時間 (t) に離散化して差分法を用いて行なった。

4. 実験結果

写真1は、アルカリ溶液に1、14、28日浸漬したガラス繊維を、走査電子顕微鏡 (SEM) によって撮影したものである。写真から明らかなように、既に浸漬日数1日のガラス繊維の表面にはアルカリ反応生成物が生じ、浸漬日数が増すごとにその量は増加し、アルカリと未反応の部分の面積が減少していることが確認できる。また、アルカリ反応層の状況から、アルカリはガラス繊維表面から均一に内部方向へ進行していると判断される。以上の結果より、前述した図2のアルカリ反応モデルの妥当性が確認された。

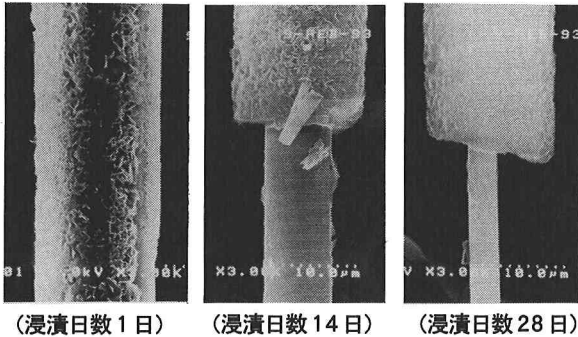


写真1 ガラス繊維の劣化状況 (×3000)

また、図3にSEMによって測定した未反応部分の直径と浸漬日数の関係を、図4には静的引張試験より得られた繊維強度と浸漬日数の関係を示す。図4に示す各浸漬日数毎の繊維強度は、50~60本試験を行った結果の平均値である。また、繊維強度は試験で測定される繊維破断荷重を浸漬前の繊維断面積で除した値である。²⁾尚、両図に計算値を併せて示すが、計算値は前述した(2)式から各浸漬日数毎の未反応部分の半径 r を算出し、

未反応部分の繊維強度は浸漬前の強度と同等であると仮定して算定した。ただし、(2)式の計算条件として差分係数0.49、アルカリ消費容量 $SI=1.3\text{mol/l}$ を与えるものとする。実験値の繊維強度は、浸漬日数が増加するにしたがって明らかに低下していることが確認できる。また、計算値と実験および実験値とは非常に近似していることから、アルカリの進行速度を拡散則によって予測し、ガラス繊維の強度低下を推定できることが明らかとなった。

5. まとめ

アルカリによるガラス繊維の強度低下は、アルカリが繊維内部へ進行しアルカリ反応生成物を生じるために起こるものであり、その進行を拡散則で評価することによって定量的に推定できることを明らかにした。本研究の成果は、GFRPやGRCの耐アルカリ性を定量化するための基本になるものと考えている。

【参考文献】

- 1) 小山、矢島、古澤、魚本：アルカリ・シリカ反応のモデル化における拡散係数の取り扱い、第20回土木学会関東支部技術発表会講演概要集、1993.3
- 2) 秋山、迫田、宮崎、魚本：FRPロッドの耐アルカリ性に関する基礎研究、第20回土木学会関東支部技術発表会講演概要集、1993.3

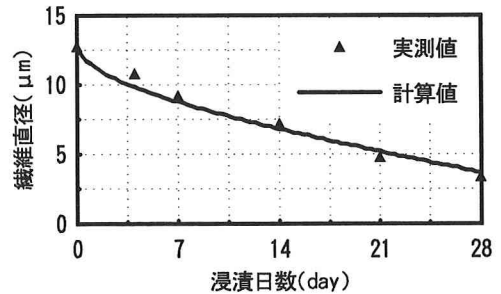


図3 繊維直径と浸漬日数の関係

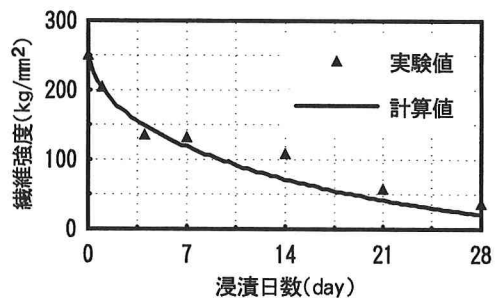


図4 繊維強度と浸漬日数の関係