

V-452

GFRP ロッドの耐アルカリ性評価に関する基礎研究

東急建設株式会社

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

ガラス繊維を樹脂によって成形した GFRP ロッドは、ガラス繊維自身の耐アルカリ性に問題がある¹⁾が、樹脂が繊維の保護材となることから、アルカリによって劣化する可能性が非常に低いと考えられる。しかし、繊維を取り巻く樹脂は数 μm 以下と非常に薄い¹⁾ために、ロッド中のガラス繊維がアルカリの影響を全く受けないとは言い難い。そこで本研究では、GFRP ロッドのアルカリによる劣化促進試験を実施し、アルカリ溶液に浸漬したロッド断面のアルカリの分布状態を電子線マイクロアナライザー (EPMA) を用いて測定し、ロッドへのアルカリの進行を明らかにした。また、ロッドの強度特性の変化について明らかにするとともに、EPMA の測定結果を基にアルカリによる劣化の進行を定量化するための一手法を提案した。

2. 実験概要

写真-1 に GFRP ロッドの浸漬装置本体を示す。本体の寸法は $10 \times 10 \times 20\text{cm}$ とし、1 ケースで 20 本のロッドの浸漬試験が可能となる。本体にはアクリル板を使用し、ロッドおよびアルカリ溶液挿入口にはシリコン栓を利用して密閉した。また、ロッドの浸漬は静的引張試験において引張区間 (20cm) となる部分のみとし、定着部分 ($10\text{cm} \times 2$) はアルカリの影響を受けないようにした。また、静的引張試験は荷重制御型オートグラフ (10tf) で行い、載荷速度は 5.0mm/min とした。表-1 に GFRP ロッドの材料特性²⁾ および養生条件を示す。アルカリ溶液から取り出したロッドは、蒸留水で洗浄後 1 日間デシケータの中で乾燥させた。

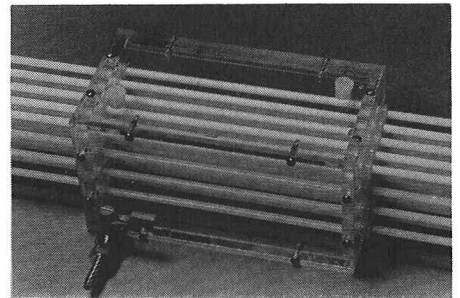


写真-1 浸漬試験装置

表-1 GFRPロッドの物性と養生条件

繊維の種類	Tガラス	溶液の種類	NaOH
マトリックス	ビニルエステル樹脂	濃度(mol/l)	1.0
直径(mm)	3.0	温度(°C)	40
強度(kgf/mm ²)	164	養生期間(day)	7, 30, 90, 120

3. アルカリによる GFRP ロッドの劣化性状

EPMA によって、3 カ月間浸漬したロッド断面の Na を検出した結果を写真-2 に示す。写真中の白い部分が Na 濃度である。既報の結果¹⁾によるとガラス繊維はアルカリによって劣化し強度低下を起こすことから、EPMA によって Na が検出された部分の繊維は劣化していると考えられる。そこで、写真-3 にロッドの破断状況を、図-1 に荷重と変位の関係の一例を示す。アルカリ溶液に浸漬したロッドの破壊性状は、まずアルカリによって劣化したと考えられる部分の破断が生じ一瞬荷重の低下が起こり、その後再度荷重が付加され破断に至る。このことから、アルカリ溶液に浸漬したロッドの破断強度は、アルカリの影響を受けていない健全な部分（写真-2 の黒い部分）によって評価される。以上のことから、ロッド断面へのアルカリの浸透を予測し、アルカリの影響を受けていない部分の面積を推定すれば、劣化したロッドの強度を定量化できると考えられる。そこで、フィックの拡散方程式を簡略化した一次元モ

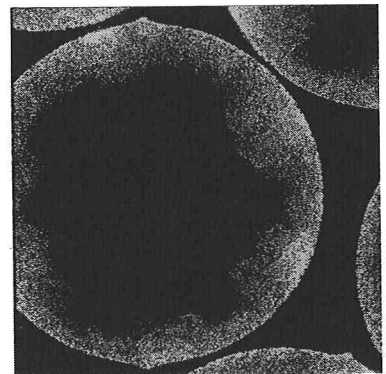


写真-2 ロッド断面のNa検出結果

デル式（1式）を利用し、ロッドへのアルカリの浸透を予測した。（1式）中の拡散係数 k は、写真-2で Na が検出されていない部分の面積を円の面積に換算して半径を算出し、（1式）を用いて求めた。このようにして求めた拡散係数は、 $2.8 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{hr}$ である。尚、Tガラス繊維の拡散係数は $9.98 \times 10^{-9} \text{ cm}^2/\text{hr}$ であった。また、ロッドの強度変化は Na が進行していない部分の強度のみで評価されるとし、さらにその強度は浸漬していないロッドの強度と同等であると仮定（2式）し計算した。最終的に得られる計算式を（3式）に示す。

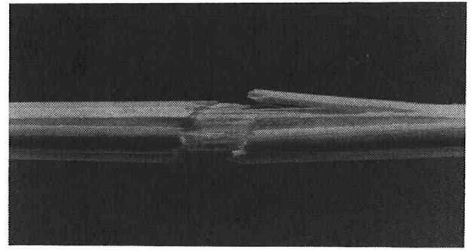


写真-3 GFRPロッドの破断状況

$$x = \sqrt{2 \cdot k \cdot c \cdot t} \quad \dots\dots (1)$$

$$\sigma_0 = \frac{P_0}{S_0} = \frac{P_t}{S_t} \quad \dots\dots (2)$$

$$\sigma_t = \left(1 - \frac{\sqrt{2 \cdot k \cdot c \cdot t}}{R_0}\right)^2 \cdot \sigma_0 \quad \dots\dots (3)$$

ここで、
 σ_0 ：浸漬前の強度(kgf/mm²)
 σ_t ：浸漬日数 t 日の強度(kgf/mm²)
 P_0 ：浸漬前の破断荷重(kgf)
 P_t ：浸漬日数 t 日の破断荷重(kgf)
 S_0 ：ロッドの断面積(mm²)
 S_t ：アルカリの影響を受けていないロッドの断面積(mm²)
 R_0 ：ロッドの直径(mm)
 C ：アルカリ濃度(mol/l)
 k ：拡散係数(mm²/hr)
 x ：一次元浸透距離(mm)

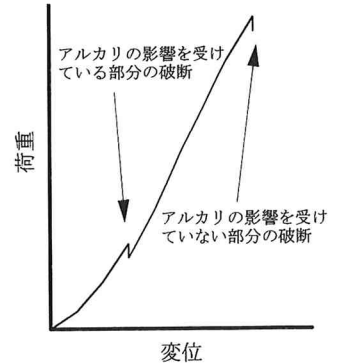


図-1 GFRPロッドの荷重－変位曲線

4. 実験結果および考察

図-2に静的引張試験結果を示す。浸漬日数ごとの実験値は、試験本数20本の平均値である。また、図中には（3式）を用いて計算した結果も示す。計算結果は3ヶ月間浸漬したロッド1本のEPMAの結果から算定した拡散係数を用いたものであるため、実験値を完全に評価することはできなかった。しかし、本概要で提案した計算手法を用いて、ほぼロッドの強度低下を推定できると判断される。

5. まとめ

本研究の目的は、アルカリによるGFRPロッドの劣化性状を明らかにするとともに、ロッドの耐アルカリ性を定量化することであった。以下にその結論をまとめる。

- 1) EPMAの結果から、マトリックスにビニルエステル樹脂を用いたGFRPロッドの場合にも、ガラス繊維と同様、アルカリが浸透することが明らかとなった。これは、繊維の保護膜となる樹脂が数 μm 以下と非常に薄いため、アルカリによる劣化の進行を抑えるには、保護膜の層を厚くする必要がある。
- 2) アルカリ溶液に浸漬したロッドの破断は、劣化した部分の破断が先行し、その後劣化していない部分の破断が生じる。
- 3) GFRPロッドへのアルカリの進行速度を拡散律速理論によって評価することで、ロッドの強度低下を定量化できる。これは、マクロ的にみればガラス繊維1本とほぼ同様な考え方¹⁾で評価できるものである。

【参考文献】

- 1) 魚本、勝木：各種繊維の耐アルカリ性の評価法に関する基礎研究、JSCE論文集、No.490/V-23、1994.5
- 2) 魚本、西村：プレストレストコンクリート用FRP緊張材の特性(1)、生産研究、42巻5号、1990.5