

# プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性 (13)

## —耐アルカリ性を向上させた新 AGFRP 緊張材—

Properties of Fiber Reinforced Plastic Rods for Prestressing Tendons of Concrete (13)

—New Alkali-Resistant Aramid-Glass Fiber Reinforced Plastic (AGFRP) Rods—

魚 本 健 人\*・西 村 次 男\*・加 藤 佳 孝\*

Taketo UOMOTO, Tsugio NISHIMURA and Yoshitaka KATO

### 1. は じ め に

コンクリート構造物の補強材である鉄筋や高張力鋼の代替品として利用される各種繊維（アラミド繊維，ガラス繊維，炭素繊維）を用いた FRP ロッドは，高強度，高耐食性，軽量，非磁性体等の特徴を有することから，コンクリート構造物の補強材などへの適用が注目されている。しかし，このような新しい材料をコンクリート用補強材として使用するためには，鋼材の場合と同様に，力学的特性や耐化学薬品性などについて十分把握する必要がある。このことについては多くの研究が進められている。すでに筆者らは，各種 FRP ロッドの力学的特性のみならず耐アルカリ性，耐天候性について実験的に検討し，その結果を報告している<sup>1)~3)</sup>。

一般に，アラミド繊維や炭素繊維の場合は耐化学薬品性に優れ問題になることは非常に少ないが，ガラス繊維についてはアルカリによって耐久性が著しく低下することが知られている<sup>4)</sup>。

そこで本研究では，高アルカリ環境下でも高耐久性を有すると思われるアラミド繊維とガラス繊維からなる新しい FRP ロッド（AGFRP）を開発し，従来一般に使用されている各種 FRP ロッド（AFRP ロッド，GFRP ロッドおよび CFRP ロッド）との力学的特性について比較検討したものである。また，引張強度試験とは別に，アルカリ溶液で劣化促進させた AGFRP ロッド断面のアルカリ分布状態を電子線マイクロ分析装置（EPMA）を用いて測定し，ロッドへのアルカリの浸透を明らかにした。

### 2. 実 験 概 要

実験に使用した FRP ロッドの材料特性を表 1 および表 2 に示す。表 1 は従来使用されている FRP ロッドであり，

\*東京大学生産技術研究所 第 5 部

アラミド繊維（AFRP ロッド），ガラス繊維（GFRP ロッド），カーボン繊維（CFRP ロッド）の 3 種類で，繊維混入率（Vf）は 55% である。また，表 2 には新たに開発した二層構造の AGFRP ロッドを示した。AGFRP ロッドは，ロッド外層部にアラミド繊維と芯部にガラス繊維を配置し，繊維混入率 30.5：36.3%，23.4：42.4%，19.1：48.4% の 3 種類で，繊維混入率（Vf）が約 66% となるように作製したロッドである。いずれの FRP ロッドも 6 mm の丸棒状で一方向に強化されたものである。なお，ガラス繊維の直径は GFRP ロッドは 12.77 $\mu$ m，AGFRP ロッドは 23 $\mu$ m のものを使用した。また，AGFRP ロッドの表層面にはアラミド繊維を螺旋状に巻き付けてある。ただし，ロッドのマトリックスはいずれもビニルエステル樹脂である。

写真 1 にアルカリ溶液に浸漬した AGFRP ロッド浸漬試験体の一例を示す。本体の寸法は 10×10×20cm で，耐化学薬品性に優れている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（10cm×2）はアルカリの影響を受けないようにした。

浸漬条件は，温度を 40°C および 60°C の環境下で，アルカリ溶液としては 1.0 mol/l の水酸化ナトリウム溶液を用い，材令はロッドによって異なるが 30 日間，60 日間，90 日間および 120 日間とした。また，AFRP ロッドおよび CFRP ロッドについてはガラス繊維を用いたロッドよりも厳しい条件として 40°C の環境下で 2.0 mol/l の水酸化ナトリウム溶液に浸漬したものについても検討を行った。ロッドの引張試験は，小林らが<sup>5)</sup>開発した 2 つ割りチャックを用い，変位制御型オートグラフ（10 ton）で行った。なお，引張試験は 1 条件で 10 本～19 本の試験体について実施し，載荷試験長を 40cm，載荷速度は 5 mm/min とした。

表1 各種FRPロッドの材料特性

	AFRPロッド	GFRPロッド	CFRPロッド
繊維直径 (μm)	12.15	12.77	6.68
FRPロッドの直径(mm)	φ6mm	φ6mm	φ6mm
繊維の種類	アラミド テクノラ	E-ガラス RST 110PA-535	カーボン T300B 600-50B
繊維の引張強度(kgf/mm <sup>2</sup> )	310	300	350
マトリックスの種類	ビニルエステル樹脂	ビニルエステル樹脂	ビニルエステル樹脂
繊維の混入率 Vf (%)	55	55	55
ロッドの引張強度(kgf/mm <sup>2</sup> )	169	169	134

表2 二層構造 (AGFRPロッド) の材料特性

	AGFRP-6	AGFRP-7	AGFRP-8
アラミド(テクノラ)繊維直径 (μm)	12.15	12.15	12.15
ガラス(E-ガラス)繊維直径 (μm)	23	23	23
AGFRPロッドの直径(mm)	φ6mm	φ6mm	φ6mm
アラミド繊維混入率 Vf (%)	30.5	23.4	19.1
E-ガラス繊維混入率 Vf (%)	36.3	42.4	48.4
繊維混入率合計 Vf (%)	66.8	65.8	67.5
外層アラミド部厚さ (mm)	0.79	0.59	0.46
ロッドの引張強度(kgf/mm <sup>2</sup> )	141.8	138.3	134.9

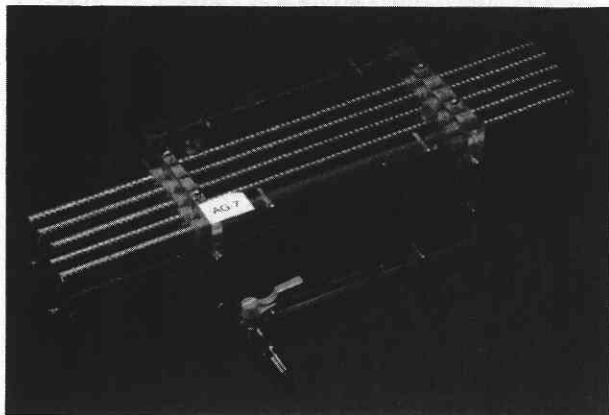


写真1 AGFRPロッドの耐アルカリ性試験装置

### 3. 実験結果および考察

図1は、AFRP、GFRPおよびCFRPロッドの浸漬前および温度40°Cの1.0 mol/lの水酸化ナトリウム溶液(GFRPロッド)、2.0 mol/lの水酸化ナトリウム溶液(AFRPロッド、CFRPロッド)に30日間および90日間浸漬後の静的引張強度の関係を示したものである。この図より、GFRPロッドは、浸漬前の強度と比較するとNaOH溶液浸漬後の引張強度は浸漬材令30日間で約45%以上、浸漬材令90日間では約70%近くの大規模な強度低下が見られる。このことから明らかなようにGFRPロッドは、アルカリ

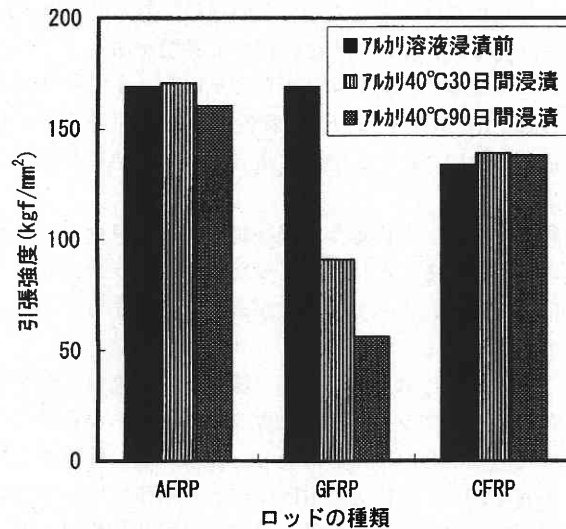


図1 各種FRPロッドのアルカリ溶液浸漬前後の引張強度

によって劣化することが認められる。一方、AFRPロッドおよびCFRPロッドは、NaOH溶液の2倍のアルカリ濃度で劣化促進試験したにも関わらず強度低下は認められず耐アルカリ性に優れていることが明らかとなった。

図2は、耐アルカリ性に優れるアラミド繊維をロッド外層部に、芯部にガラス繊維を配置したAGFRPロッドで、浸漬前および温度40°Cおよび60°Cの1.0 mol/lの水酸化ナトリウム溶液に60日間浸漬した時の引張強度を示したも

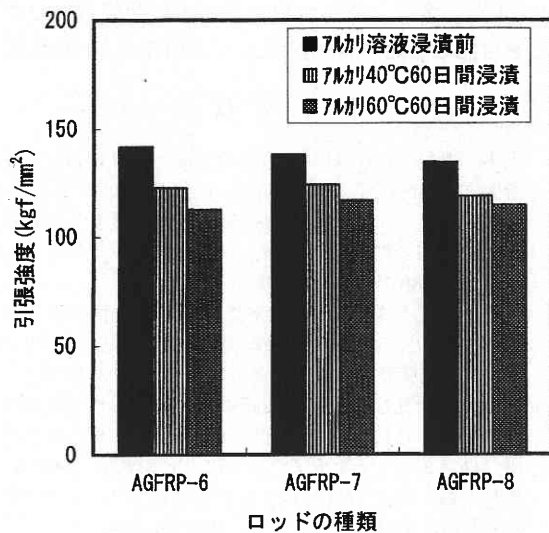


図2 AGFRP ロッドのアルカリ溶液浸漬前後の引張強度

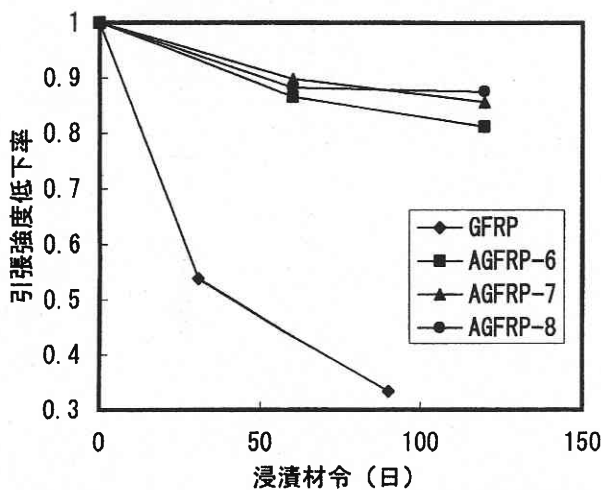
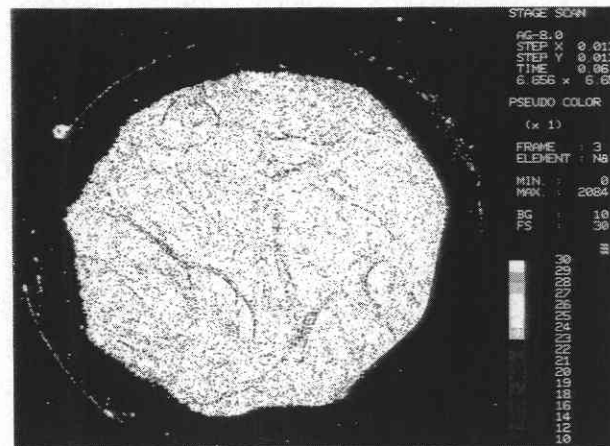


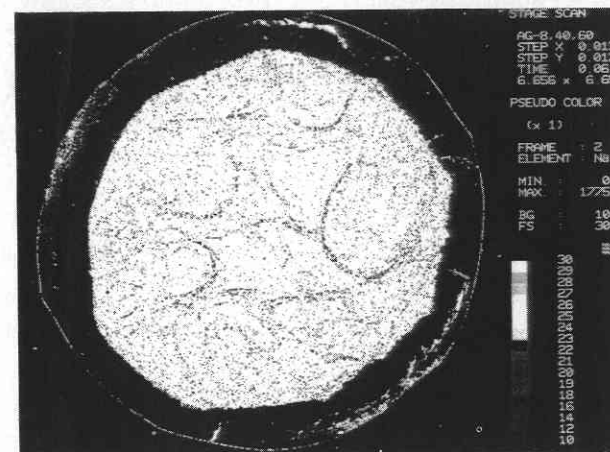
図3 GFRP ロッドとAGFRP ロッドのアルカリ溶液浸材令と引張強度低下率との関係 (40°C, NaOH 1.0mol/l)

のである。この図から明らかなようにAGFRP ロッドは、浸漬前の静的引張強度は、外層部に使用しているアラミド繊維の混入量を減少させると若干ではあるが(約3% (3.5 kgf/mm<sup>2</sup>) ~ 5% (7 kgf/mm<sup>2</sup>)) 強度低下が見られた。また、浸漬前の強度と40°Cおよび60°Cの環境下で1.0 mol/lの水酸化ナトリウム溶液に60日間浸漬後の強度を比較してみると、40°Cでは約10%~14%、60°Cでは約15%~20%の強度低下となった。

図3は、GFRP ロッドとAGFRP ロッドで温度40°Cの1.0 mol/l水酸化ナトリウム溶液に浸漬した結果を浸漬材令と引張強度低下率との関係で示したものである。GFRP



アルカリ溶液浸漬前



アルカリ溶液浸漬後

写真2 AGFRP ロッド断面のNa分布測定結果

ロッドは、浸漬材令わずか30日間で強度低下は約45%以上、浸漬材令90日になると約65%以上と大幅な強度低下となるのに対し、新たに開発した二層構造のAGFRP ロッドは浸漬材令120日間でも約18%程度の強度低下しか認められないことが明らかとなった。

以上のことから、新たに開発した二層構造のAGFRP ロッドは耐アルカリ性に対してGFRP ロッドより強度低下が少なく、高アルカリ環境下でも十分に耐久性を改善することが確認できた。今後は同一の繊維等で比較検討していく必要となる。

写真2に、浸漬前および40°CのNaOH溶液に60日間浸漬したAGFRP ロッド断面をEPMAを用いてNaを測定した結果を示す。写真の白い部分がNaのカウント領域である。浸漬前および浸漬後の測定結果より、40°Cの環境下で1.0 mol/lの水酸化ナトリウム溶液に浸漬しても外部

## 研究速報

からのNaの浸透はほとんど認められなかった。以上のことから、本研究で新たに開発したAGFRPロッドは、高アルカリ環境下でも耐久性に優れたロッドであるということができよう。

## 4. あ と が き

本報告では、高アルカリ環境下において耐久性に優れた特性を有するAGFRPロッドを開発し、従来一般に使用されている各種FRPロッドと比較検討した結果、新たに開発した二層構造のAGFRPロッドは、高アルカリ環境下においてGFRPロッドに比べ強度低下が少なく耐久性に優れていることが明らかとなり今後期待がもたれる。

## 謝 辞

本研究を実施するにあたり、平成7年度文部省科学研究費補助金（一般研究（A））課題番号074505022代表：魚本

健人）、また、帝人（株）の神吉正弥氏に御協力いただいたことを付記し感謝の意を表す。（1996年6月10日受理）

## 参 考 文 献

- 1) 魚本, 西村: FRPロッドの静的強度と弾性係数, 土木学会論文集, No. 472/V-20, pp 77-86, 1993. 8.
- 2) 勝木, 魚本: アラミド繊維の耐アルカリ性および耐酸性の評価方法に関する一考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 17, No. 1, 1995. 6.
- 3) 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 (10) 内陸および海洋環境下に暴露した各種FRPロッドの引張特性, 生産研究, Vol. 48, No. 3, 1996. 3.
- 4) 連続繊維研究小委員会: 連続繊維補強材の耐久性に関する考え方, 連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用, コンクリートライブラリー72, 土木学会, 1992. 4.
- 5) 小林一輔: FRP製プレストレストコンクリート緊張材用定着装置, 生研リーフレット, No. 158, 1987.