

プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性 (15)

紫外線促進試験による FRP ロッドの劣化性状

Properties of Fiber Reinforced Plastic Rods for Prestressing Tendons of Concrete (15)
 -Deterioration of FRP Rods Accelerated by Ultraviolet Rays-

山口 明 伸*・西 村 次 男*・加 藤 佳 孝*・魚 本 健 人*
 Toshinobu YAMAGUCHI, Tsugio NISHIMURA, Yoshitaka KATO and Taketo UOMOTO

1. は じ め に

AFRP ロッド (アラミド繊維), GFRP ロッド (ガラス繊維), CFRP ロッド (カーボン繊維) で一方向強化された FRP ロッドを自然環境で暴露した場合, 特にアラミド繊維を用いた FRP ロッドの強度低下が大きく, その原因が紫外線劣化である可能性が高いことを報告した¹⁾. この劣化現象を実験的に確認するため, まず, 各種繊維の紫外線照射促進試験を行いその結果を報告した²⁾. その結果から, 特にアラミド繊維の場合には, ワイブルの weakest-link 理論を用いることによって強度低下の予測が可能であることが確かめられた³⁾.

本研究では, FRP ロッド全体の紫外線照射促進試験を行い, ロッドとしての紫外線による劣化性状を実験的に検討することを目的とし, 前述の予測手法をロッドに適用することを試みた.

2. 実 験 概 要

実験に使用した FRP ロッドの繊維は, 表 1 の材料特性に示すようにアラミド繊維 (AFRP ロッド), ガラス繊維 (GFRP ロッド) およびカーボン繊維 (CFRP ロッド) の 3 種類である. なお, 表中の繊維直径, 繊維の引張強度およびロッドの引張強度は, 100本の平均値である⁴⁾. いずれの FRP ロッドも直径 6 mm の丸棒状で, 一方向強化されており, 繊維混入率 (V_f) は 55% である. 実験は写真 1 に示すような紫外線照射促進試験装置を用いて行った. 促進条件として, 室温 26°C, 湿度 52±2% で 102 分間の乾燥, 室温 26°C, 湿度 90±2% で 18 分間噴霧を 1 サイクルとして紫外線を照射した. なお, ランプは繊維およびマトリックスと同様にキセノンランプを用いている. 紫外線照射時間は 500, 1500, 2500 時間で放射照度 60 W/m² で行い, 1 時

*東京大学生産技術研究所 第 5 部

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
繊維の種類	アラミド繊維 HFY6000T-240	ガラス繊維 RST110PA-535	カーボン繊維 T300B6000-50B
繊維の直径 (μm)	12.15	12.77	6.68
繊維の含有率 (%)	55	55	55
マトリックスの種類	R-802	R-802	H-600
繊維の引張強度 (MPa)	3580	3210	3480
ロッドの引張強度 (MPa)	169	169	134
破断時の伸量 (%)	4.4	5.5	1.4



写真 1 紫外線照射促進試験装置

間当たりの紫外線照射量は繊維の促進試験と同様に約 0.2 MJ/m² (銚子における 6 月の平均放射照度) となる.

ロッドの引張試験は, 土木学会の「連続繊維補強材の引張試験方法 (試案)」に基づいて実施し, 定着具は小林らが開発した 2 つ割りチャック⁵⁾を用い, いずれの条件でも 20 本 (うち 3 本ひずみ測定) を行った. 試験は変位制御型試験機 (オートグラフ: 10 ton) を用い, 載荷速度を 5

研究速報
mm/分とした。試験は室温 (21±2°C) の範囲で行った。なお、繊維、マトリックスの紫外線促進試験および各種FRP ロッドの紫外線促進試験において、試験片両面の照射を同一とするために、それぞれ照射時間の半分の時間で試験片試料を反転させている。

3. 実験結果および考察

各種FRP ロッドの紫外線照射時間と引張強度の平均値、標準偏差、変動係数および弾性係数を表2にまとめて示す。図1、図2は、各種FRP ロッドの引張強度と紫外線照射時間の関係および弾性係数と紫外線照射時間の関係を示したものである。図1の結果より、紫外線照射後のCFRP ロッドは、紫外線照射時間が増大してもカーボン繊維同様に引張強度低下はほとんど変化がみられないことが分かる。GFRP ロッドは、紫外線照射500時間で約8% (131 MPa) 強度低下するが、その後照射時間を増加させても強度低下せず逆に若干ではあるが強度が増加する傾向となった。

一方、AFRP ロッドは、紫外線照射500時間で約11% (180 MPa) 強度低下、2500時間では約13% (216 MPa) となり、CFRP ロッドおよびGFRP ロッドとは異なり強度低下が大きく、紫外線による影響を最も受けやすいことが明らかとなった。表2より、いずれのロッドも引張強度の標準偏差は減少する傾向である。特にAFRP ロッドは、紫外線照射前の標準偏差148 MPaに対して、紫外線照射2500時間では標準偏差が30 MPaとなり大きく減少していることが分かる。これは、長時間紫外線照射されるとロッドが部分的に脆性的な材料に変化するために引張強度のばらつきが小さくなっているためであると考えられる。この傾向は、マトリックス試験結果と同様な傾向にある⁶⁾。

4. AFRP ロッドの劣化予測

ところで、本研究で使用しているFRP ロッド用各種繊維に関するこれまでの実験的検討により、特にアラミド繊維は紫外線による引張強度低下が著しいことが分かっており、すでに著者らは、ワイプルの weakest-link 理論に基づくアラミド繊維の強度低下予測手法を提案し、その適用性を確かめている^{2),3)}。図3に紫外線照射促進試験によるアラミド繊維の引張強度の経時変化を示す。図のように実験結果と解析結果は非常に良く対応しており、本予測手法が妥当なものであることが分かる。

したがって、この繊維の強度推定結果から、紫外線によるAFRP ロッドの強度低下を予測できると考えられる。ところが、アラミド繊維の場合1000時間後で50%以上強度低下するのに対して、AFRP ロッドの場合は2500時間後でも15%程度しか強度低下していない (図1、図3参照)。

表2 紫外線照射後のFRP ロッドの強度と弾性係数

種類	照射時間	0hour	500hour	1500hour	2500hour
		AFRP	1689	1507	1449
引張強度 (MPa)	AFRP	1689	1507	1449	1473
	標準偏差	148.4	13.0	36.4	30.1
	変動係数	0.09	0.01	0.03	0.02
GFRP	平均値	1690	1559	1662	1648
	標準偏差	85.3	67.4	79.7	72.6
	変動係数	0.05	0.04	0.05	0.04
CFRP	平均値	1335	1343	1360	1342
	標準偏差	112.0	71.1	122.9	89.0
	変動係数	0.08	0.05	0.09	0.07
弾性係数 (GPa)	AFRP	46	46	43	44
	GFRP	52	52	52	52
	CFRP	135	138	141	138
	平均値				

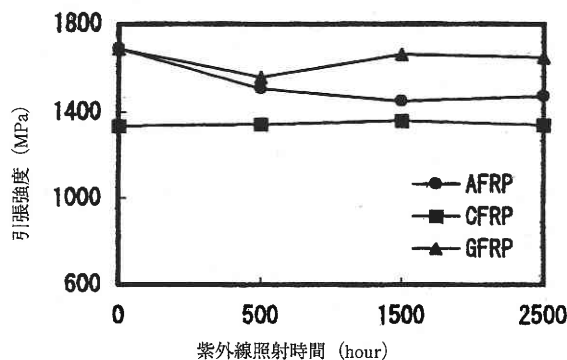


図1 紫外線照射時間とFRP ロッドの引張強度

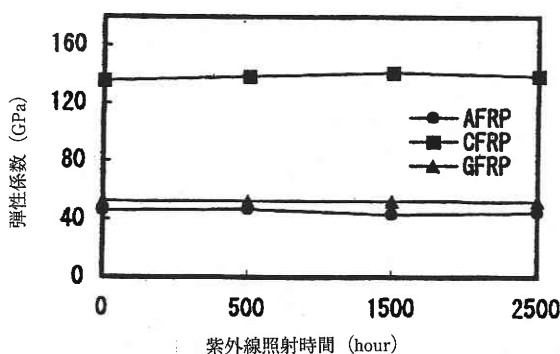


図2 紫外線照射時間とFRP ロッドの弾性係数

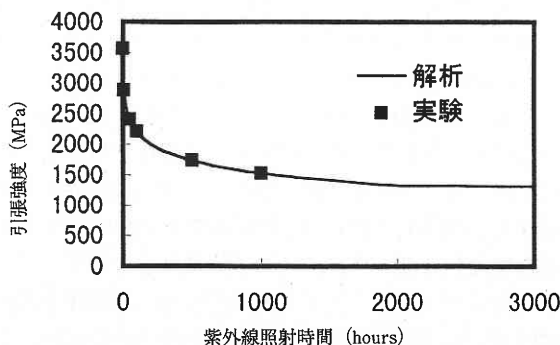


図3 紫外線照射時間とアラミド繊維の引張強度

つまり、ロッドにした場合は、繊維単体の場合よりも紫外線による劣化が少なくなっており、解析による繊維の強度低下率から直接ロッドの強度低下率を推定することはできない。これは、紫外線がエポキシ樹脂から成るマトリックスを透過できる厚さに限界があるためで、ロッド内部の全てのアラミド繊維が紫外線により劣化するのではなく、限られた表層部分の繊維が紫外線により劣化していると考えられる。つまり、紫外線による劣化の場合はその劣化範囲が照射時間に依存しないと考えることができる。したがって、全繊維量のうちロッド表層部の劣化範囲に存在する繊維量の割合を α とすると、 t 時間照射後の FRP ロッドの強度は

$$\sigma_r(t) = \sigma_f(t) \alpha V_f + \sigma_{f0} (1 - \alpha) V_f + \sigma_m (1 - V_f) \quad (1)$$

となる。ここで、 $\sigma_r(t)$ 、 $\sigma(t)$ はそれぞれ t 時間後の AFRP ロッドとアラミド繊維の強度、 σ_m はマトリックスの強度、 V_f は繊維混入率、 σ_{f0} は紫外線照射前のアラミド繊維の強度を示す。AFRP ロッドの実験結果から式 (1) を用いて繊維損傷割合は α を算出すると、いずれの照射時間においてもその割合はほぼ等しく約 0.22 となる。これを深さに換算すると、紫外線による繊維の劣化はロッド表面から約 0.35 mm までの範囲で生じていることを表している。この損傷割合 α を用いて、AFRP ロッドの紫外線による強度低下率を推定した結果を図 4 に示す。図のように実験と解析の強度低下率は非常に良く対応していることが分かる。

5. ま と め

一方向繊維強化プラスチックロッドの紫外線による劣化性状を促進試験により実験的に検討した結果をまとめると以下ようになる。

- (1) CFRP ロッドは、紫外線による劣化は余り認められなかった。
- (2) GFRP ロッドは、CFRP ロッドとは異なり紫外線照射初期の段階において紫外線の影響を受け強度低下するがその後の強度はほぼ一定となることが明らかとなった。
- (3) AFRP ロッドは GFRP ロッドと同様な傾向を示す。しかし、GFRP ロッドに比べ強度低下が大きく紫外線の影響を最も受けることが明らかとなった。
- (4) AFRP ロッド、GFRP ロッドは紫外線による影響を受けてロッドが硬くて脆い材料に変化していくことが明らかとなった。

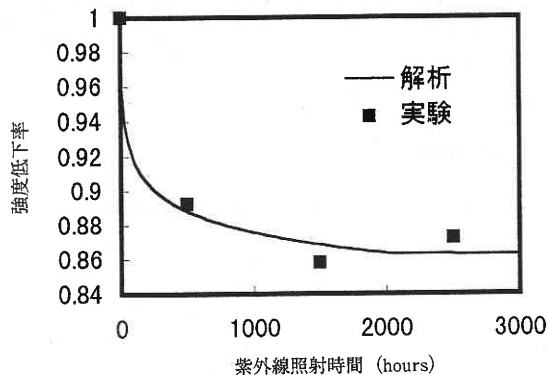


図4 AFRP ロッドの強度低下率

(5) AFRP ロッドの場合、紫外線による強度低下は表層付近の一定範囲に存在するアラミド繊維の強度低下によるものであり、その部分における繊維の強度低下を考慮することにより AFRP ロッドの強度低下を推定できると考えられる。

謝 辞

本研究費の一部は平成 8 年度科学研究費一般研究 A (課題番号 07405022, 代表研究者: 魚本健人) によるものであることを付記する。また、本研究をまとめるにあたり、実験に協力して頂いた芝浦工業大学福島孝亮君に感謝の意を表します。
(1997年 2月10日受理)

参 考 文 献

- 1) 山口, 西村, 魚本: 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, 第 48 巻, 第 3 号, 1996. 3.
- 2) 山口, 西村, 魚本: 紫外線による各種繊維の劣化現象の評価方法に関する基礎研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol 18, No. 1, 1996. 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 (11) 紫外線によるアラミド繊維劣化のモデル化, 生産研究, 第 48 巻, 第 5 号, 1996. 5.
- 4) H. HODHOD-T. UOMOTO: Experimental Model for Ideal Tensile Failure of FRP Rods, コンクリート工学年次論文報告集, 第 13 巻 1 号 (1991. 6).
- 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.
- 6) 西村, 加藤, 山口, 魚本: 紫外線促進試験による FRP ロッドの劣化性状に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, 投稿中