

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—

Properties of Fiber Reinforced Plastic Rods for Prestressing Tendons of Concrete (11)

—Computational Model for Deterioration of Aramid Fiber by Ultraviolet Rays—

山口明伸*・西村次男*・魚本健人*

Toshinobu YAMAGUCHI, Tsugio NISHIMURA and Taketo UOMOTO

1. はじめに

コンクリート用補強材として用いられる繊維補強プラスチック (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, 建設分野における利用の可能性があり種々の検討が成されている. 著者らはこれまでに, 各種繊維とそれを用いた各種ロッドの力学的特性, 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^{1)~3)}.

前報では, アラミド繊維, ガラス繊維, カーボン繊維で一方強化された 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³⁾. 高分子材料であるアラミド繊維は, 分子結合内に結晶部分と非結晶部分が存在するため紫外線により結合能力の低い非結晶部分が何らかの影響を受け, 繊維内に欠陥部分を生じている可能性が高いと考えられる. そこで本研究では, アラミド繊維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報告すると共に紫外線により劣化したアラミド繊維の強度を推定することを試みた.

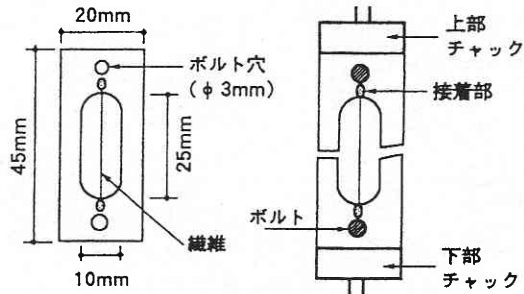
2. 実験概要

実験に使用したアラミド繊維 (テクノーラ) の促進試験前の材料特性, および試験条件を表 1 に示す. 紫外線照射時間は 10, 50, 100, 500 時間とした. 試料は図 1 のように繊維 1 本ずつのモノフェラメントとして紫外線照射を行い, 各照射時間終了後, 変位制御型オートグラフ (5 kgf) を用いて室温 (20±3℃) で試験を行った. また, 測定項目は破断荷重 (gf) と伸び量 (mm) である. 試験本数はいずれの条件も 20~30 本とし, クロスヘッドスピードを 0.5mm/min とした.

*東京大学生産技術研究所 第 5 部

表 1 アラミド繊維の材料特性と紫外線照射条件

直径 (μm)	強度 (kgf/mm ²)	S.D.	C.O.V.
12.2	389	36	0.092
放射照度 (W/m ²)		照射時間 (hours)	
56		10, 50, 100, 500	



各種繊維の試験体

図 1 試験体概要図

3. 実験結果および考察

表 2 に静的引張試験によって得られた各照射時間ごとの繊維強度, 標準偏差, および変動係数を示す. また, 図 2, 3 に各照射時間ごとの繊維強度の確率密度分布および累積分布で示した. 紫外線照射時間が増加するに従い, アラミド繊維の強度は徐々に低下し照射時間 500 時間では約 50% 程度低下し, 変動係数は徐々に増加することがわかる.

表 2 静的引張試験結果

特性	0 時間	10 時間	50 時間	100 時間	500 時間
平均強度 (kgf/mm ²)	341	289	239	227	174
S.D. (kgf/mm ²)	51	36	40	44	43
C.O.V.	0.150	0.123	0.167	0.195	0.245

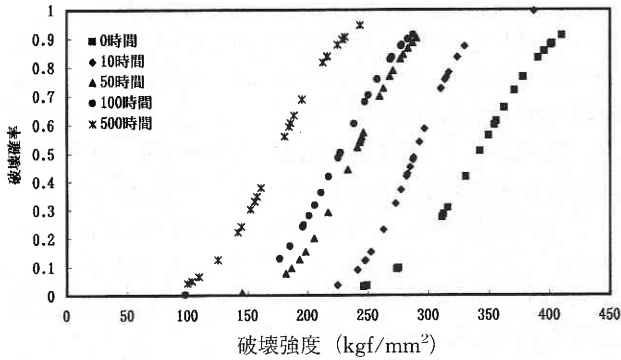


図2 繊維強度の頻度分布

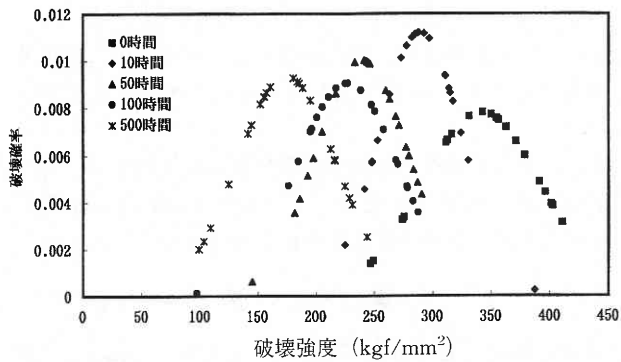


図3 繊維強度の破壊確率

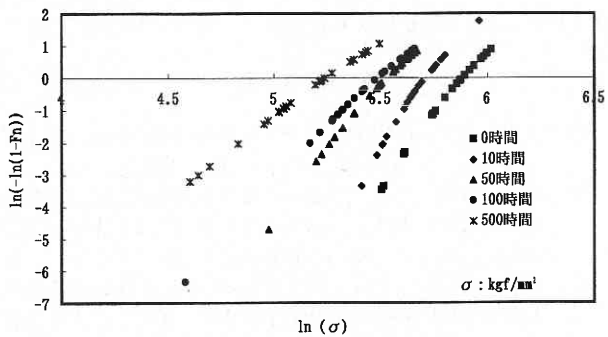


図4 照射時間ごとの繊維強度分布

4. 劣化した繊維の強度推定

アラミド繊維の破壊は繊維中に存在する欠陥を起点として発生し、繊維強度が繊維の平均的な性質ではなく繊維内に含まれる最大欠陥により支配されるために生じると考えられる。既に筆者らは、アラミド繊維のアルカリおよび酸性の溶液による劣化のメカニズムを定量化するために、材料の破壊を鎖の破断と考えたワイブルの weakest link 仮説⁴⁾を用いた強度推定方法を提案し、その適用性を確認している²⁾。そこで本研究では、紫外線による劣化現象に関

表3 ワイブル係数 m および α の計算結果

パラメータ	0時間	10時間	50時間	100時間	500時間
m	8.40	9.51	7.63	6.55	4.80
α	361	304	254	243	190

しても同様にワイブルの weakest link 仮説を用いて強度を推定することを試みた。この仮説によれば、ある荷重 X で一つの結合が破壊する確率を F、n 個の結合を持つ鎖の破壊確率を Fn とすると、n 個の結合のうちどれかが破壊しても鎖は破壊することから、n 個の結合を持つ鎖が破壊しない確率は $(1-F)^n$ は n 個の結合すべてが破壊しない確率 $(1-F)^n$ に等しい。

$$1-F_n = (1-F)^n \quad (1)$$

また、ワイブルは (1) 式中の F を試料内の結合点の応力 σ と最大応力 σ_0 との比として表した。

$$F = (\sigma / \sigma_0)^m \quad (2)$$

ここで、m: ワイブル係数

したがって、(2) を (1) 式に代入すれば、(3) 式が得られる。

$$1-F_n = (1 - (\sigma / \sigma_0)^m) \doteq \exp(-n(\sigma / \sigma_0)^m) \\ = \exp(-(\sigma / \alpha)^m) \quad (3)$$

$$\text{ただし、} \alpha = n^{-1/m} \sigma_0 \quad (4)$$

また、平均強度 σ_{ave} は (5) 式によって与えられる。

$$\sigma_{ave} = \alpha \Gamma(1+1/m) \quad (5)$$

そこで、(5) 式中の未知数である m および α の値を決定するために、(3) 式の両辺の対数を 2 度とると、

$$\ln(-\ln(1-F_n)) = m \ln(\sigma) - m \ln(\alpha) \quad (6)$$

$$\text{即ち、} Y = mX + b \quad (7)$$

となり、(6) 式は (7) 式のような一次式になる。したがって、未知数 m および α は直線式 (7) から求めることができる。

各紫外線照射時間ごとのアラミド繊維の強度試験結果を図4に示す。図のように各照射時間ともほぼ直線的な分布を示しており、照射時間が長くなるにしたがい分布は左へ移行していることから、繊維強度に及ぼす紫外線照射時間の影響を weakest link 理論により評価できると考えられる。図4の結果と (6) 式を用いて、各照射時間ごとのワイブル係数 m および α の値を算定した結果を表3に示す。m および α は照射時間が増加するに従い、m、α の値はともに減少することがわかる。また、照射時間を対数にとって示したものが図5、6であり、m、α の値が時間の対数に対してほぼ直線的に減少していることがわかる。したがって、もしこの関係が継続すると仮定すると図中併せて示した回帰式を用いて長期材令のワイブル係数 m および α の値を予測することが可能であり、それを用いて (5)

研究速報

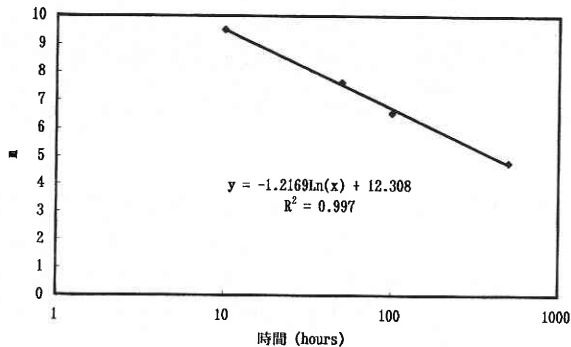


図5 照射時間と m の関係

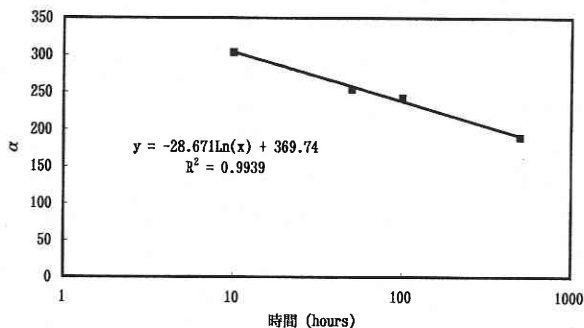


図6 照射時間と α の関係

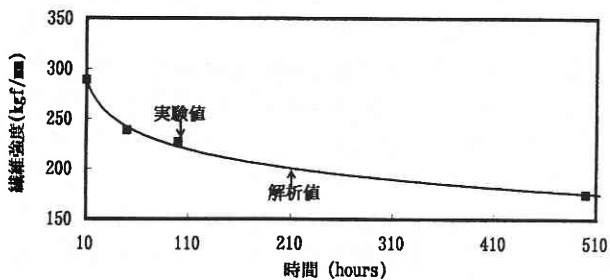


図7 繊維の強度推定

式により繊維強度を推定することが可能となる。

以上の結果を用いて、紫外線を照射したアラミド繊維の強度低下を推定した結果を図7に示す。強度低下の推定曲線は実験による実測値に非常に良く一致していることがわかる。したがって、アラミド繊維の強度低下をワイブルの weakest link 理論により評価できることが明らかとなった。また、東京における紫外線の平均年間日射量は73430 (Wh/m²) であり、本実験の約1300時間に相当することから、1年間の日照によりアラミド繊維の引張強度はほぼ50%程度低下することがわかる。

5. 結 論

本研究により、以下のことが明らかとなった。

- (1) アラミド繊維は、紫外線照射により繊維中に不規則に欠陥部分を生じ繊維の強度低下を引き起こすことがわかった。
- (2) アラミド繊維の紫外線照射による強度低下は、材料の破壊を鎖の破断と考えたワイブルの weakest link 理論により定量的に評価できることが明らかとなった。

謝 辞

本研究費の一部は平成7年度科学研究費 (一般A:代表魚本健人) 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金井建二君に感謝の意を表す。(1995年12月12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試案, 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, 生産研究投稿中.
- 4) Weibull: A Statistical Distribution Function of Wide Applicability, Journal of Applied Mechanics, Vol. 13, Sept. 1951, pp. 293-297.