

プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(6)

—アルカリによる強度低下とバラツキ—

Properties of Fiber Reinforced Plastic Rods for Prestressing Tendons of Concrete (6)

—Decreasing and Variation of Strength by the influence of Aykali—

魚 本 健 人*・西 村 次 男*・宮 崎 太*

Taketo UOMOTO, Tsugio NISHIMURA and Futoshi MIYAZAKI

1. はじめに

近年、建設分野において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、繊維補強プラスチック材 (FRP ロッドと略す) を利用する新しい試みに関する研究が進められている。すでに筆者らは、各種 FRP ロッドおよびそれらを構成する各種繊維の力学的特性等について前報で報告している^{1)~4)}。

FRP ロッドをコンクリート構造物の補強材として利用するためには、FRP ロッドの力学的特性のみならず耐久性についても評価し、設計に反映させることが大切である。

FRP ロッドは、コンクリート中に埋設されるため、極度のアルカリ環境下におかれることになる。したがって、50年以上も使用される土木構造物の場合には、構造物の耐久性を考える上で、FRP ロッドの耐アルカリ性について明らかにする必要がある。しかし、現段階において、FRP ロッドの高アルカリ環境下における耐久性について十分な研究報告が得られておらず、その評価について定量的な指標が要求されている。

そこで本研究では、FRP ロッドの耐アルカリ性を明らかにすることを最終的な目的とし、まずその構成材料であるガラス繊維、アラミド繊維、カーボン繊維およびビニルエステル樹脂のマトリックスをアルカリ溶液に浸漬し、所要日数経過後、静的引張試験を実施し、アルカリ環境下における強度変化とバラツキについて検討したものである。

2. 実 験 概 要

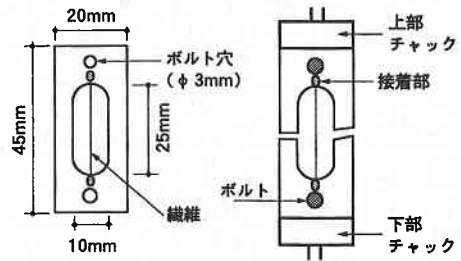
実験に用いた繊維は、ガラス繊維、アラミド繊維、カーボン繊維の3種類とした。また、マトリックスは、それぞれのロッドに使用されるビニルエステル樹脂のもの3種類とした。表1に浸漬前の各種繊維およびマトリックスの材料特性^{1), 2)}を示す。

*東京大学生産技術研究所 第5部

表1 各種繊維およびマトリックスの材料特性

繊維の種類	ガラス繊維 T. ガラス RST 110PA-535	アラミド繊維 アラミド テクノーラ	カーボン繊維 カーボン T300B 600-50B
直径 (μm)	12.77	12.15	6.68
引張強度 (kg/mm ²)	251	389	335
標準偏差 (kg/mm ²)	87	38	52
変動係数 (%)	34.7	9.2	15.5
弾性係数 (kg/mm ²)	8551	8355	22730
マトリックスの種類	* R-802	R-802	H-600

* 充填材として炭酸カルシウムを10%添加



各種繊維の試験体

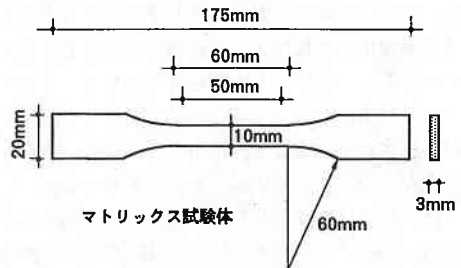


図1 試験体詳細図

各材料の浸漬条件は、アルカリによる劣化を促進させる目的で、40°Cの環境下でガラス繊維を1 mol/l、アラミド、カーボン繊維を2 mol/lの水酸化ナトリウム溶液に、またマトリックスについてはすべて1 mol/lの水酸化ナトリウム溶液に浸漬し、その浸漬期間を1, 4, 7, 14, 21, 28, 56日とした。

図1に各種繊維およびマトリックスの試験体の詳細を示す。各種繊維については、浸漬後の試験体を各種繊維

1 本ずつのモノフィラメントとし、JIS-R-7601に従った試験用紙にセットし、変位制御オートグラフ (5 kg) を用い静的引張試験を行った。なお、引張試験は1条件で50~60本の試験体について実施し、载荷速度は0.5mm/minとした。また、マトリックスはJIS-K-7113に従った1号形試験片とし、変位制御型オートグラフ (10ton) で静的引張試験を行った。なお、引張試験は1条件で10本の試験体について実施し、载荷速度は2 mm/minとした。

3. 実験結果および考察

3.1 各種繊維の引張強度とばらつき

図2はガラス繊維における浸漬材令毎の破壊確率を示したもので、図3は繊維引張強度と破壊確率密度の関係をワイブル分布⁵⁾で示したものである。図中に示す繊維引張強度は浸漬材令毎の引張試験より得られた破壊荷重を浸漬前の繊維断面積で除した値である。

図2から明らかなように、浸漬材令が増えるに従い、繊維引張強度は低下している。すなわち、同じ破壊確率50%であっても、浸漬材令が0~28日の繊維引張強度は、それぞれ257, 194, 137, 132, 110, 53, 33kg/mm²となっている。また、図3に示すワイブル分布より、浸漬材令が増加するに従い、破壊確率密度が大きくなる傾向にあることが確認できる。しかし、浸漬材令が0~28日の変動係数は、34.6~42.7%の範囲であり、浸漬材令の違いによる変動係数にはさほど差が生じていない。した

がって、劣化によるデータのバラツキの変化はないものと考えられる。

図4, 図5にアラミド繊維およびカーボン繊維における浸漬材令毎の破壊確率を示す。浸漬材令0日と56日のアラミド繊維における破壊確率50%の繊維引張強度は、それぞれ374kg/mm²と349kg/mm²で、低下率は約7%であった。カーボン繊維についてはそれぞれ332kg/mm²と322kg/mm²で、その低下率は約3%となる。しかし、ガラス繊維では低下率が87% (破壊確率50%での浸漬材令0日と28日の繊維引張強度を基に算出)となり、アラミド繊維、カーボン繊維の耐アルカリ性はガラス繊維に比べ十分大きいことが明らかとなった。図6にアラミド繊維およびカーボン繊維における浸漬材令0日と56日の、繊維引張強度と破壊確率密度の関係をワイブル分布で示す。両者とも材令が増加すると破壊確率密度が低下する傾向にある。これはガラス繊維の場合

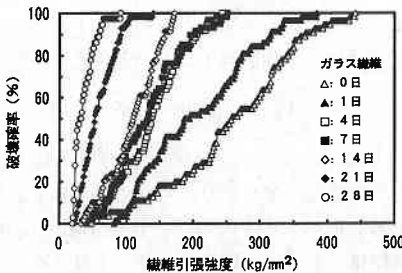


図2 ガラス繊維の引張強度と破壊確率の関係

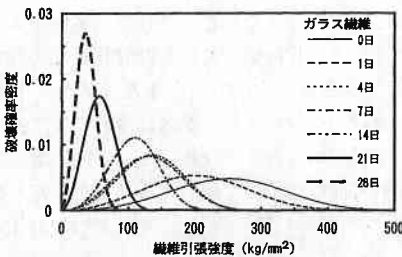


図3 ガラス繊維の破壊確率密度

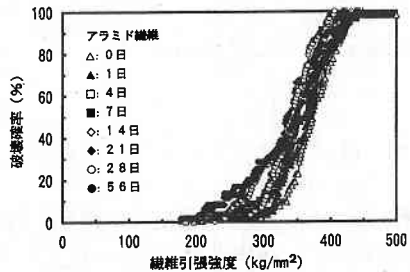


図4 アラミド繊維の引張強度と破壊確率の関係

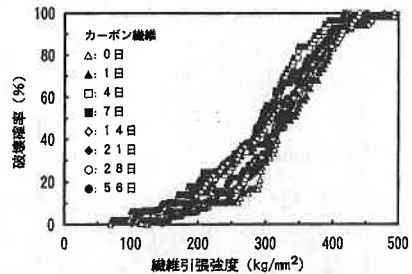


図5 カーボン繊維の引張強度と破壊確率の関係

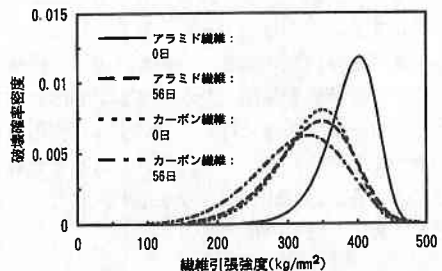


図6 アラミドおよびカーボン繊維の破壊確率密度

研 究 速 報

と異なり、アラミド繊維やカーボン繊維は、ガラス繊維とは異なったアルカリ反応形式を有するものと考えられる。

3.2 各種繊維の強度変化

図7に浸漬材令毎の繊維引張強度の平均値を示す。また、図中にはあわせて計算値(実線)を示す。計算値はアルカリが繊維の周りから均一に浸透するものとし、(1)式に示すフィックの拡散則に基づいて、アルカリの浸透距離を一次的に算出し、アルカリに浸されていない健全な部分の引張強度は浸漬前の繊維の強度と同等であると仮定する(2式)ことで、浸漬前の引張荷重から各浸漬材令時の引張荷重を求め、各浸漬材令時の引張強度を算定したものである。また、(3)式に最終的に得られる算定式を示す。

$$dx/dt = k \cdot c / x \quad (1)$$

$$\sigma_0 = P_0 / S_0 = P_t / S_t \quad (2)$$

$$\sigma_t = P_t / S_0 = (1 - \sqrt{2kct} / R_0)^2 \sigma_0 \quad (3)$$

ここで

σ_0, σ_t : 浸漬材令 0 および t 日での引張強度 (kg/mm²)

P_0, P_t : 浸漬材令 0 および t 日での引張荷重 (kg)

S_0 : 浸漬材令 0 日での繊維断面積 (mm²)

S_t : 浸漬材令 t 日での健全な部分の繊維断面積 (mm²)

R_0 : 浸漬材令 0 日での繊維半径 (mm)

c : アルカリ濃度 (mol/l)

k : 拡散係数 (mm²/日)

t : 材令 (日)

x : 浸透距離 (mm)

ただし、拡散係数 k は実験定数であるため、本報告では、各浸漬材令毎の引張試験より得られた引張強度の平均値から最小 2 乗法によった算出した値を用いた。図7からも明らかなように、ガラス繊維の実験値と計算値とはよく一致しており、耐アルカリ性を十分計算値によって定量的に評価することが可能であると考えられる。なお、アラミド繊維とカーボン繊維についてはガラス繊維と同等の考え方で計算値を算出したが、アルカリ溶液がアラミド繊維とカーボン繊維に対し、どのような作用を及ぼしているかまだ明らかではなく、これはあくまでもガラス繊維における反応形式と同様な反応が生じているものと仮定して算定した参考値である。

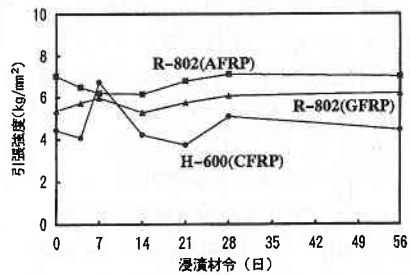


図7 各種繊維の引張強度と浸漬材令の関係

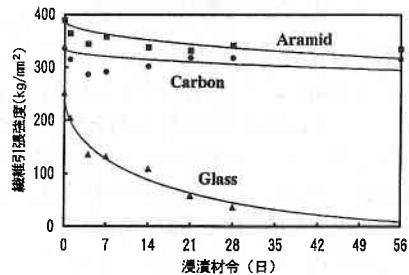


図8 マトリックスの引張強度と浸漬材令の関係

3.3 マトリックスの強度変化

図8に、各種マトリックスにおける浸漬材令毎の引張強度の平均値を示す。ここで、3種類のマトリックスに対して、浸漬材令 0 日と 56 日の引張強度を基に強度の低下率を算出すると、ガラス繊維用のものは -16%、アラミド繊維用のものは 0.1%、カーボン繊維用のものは -0.5% であった。これからも明らかなように、FRP ロッドに使用されるビニルエステル樹脂のマトリックスには、アルカリ溶液による強度低下はないと言える。

4. ま と め

本研究では、FRP ロッドが高アルカリ環境下におかれることを想定し、アルカリに対して最も厳しい条件を付加させる目的で、FRP ロッドを構成するガラス繊維、アラミド繊維、カーボン繊維およびマトリックスをアルカリ溶液に浸漬し、それらの耐アルカリ性について検討した。その結果、ガラス繊維はアルカリ溶液によって劣化することが明らかとなった。さらに、劣化による強度低下をフィックの拡散則を基にした計算式によって定量的に評価できることも示した。また、アラミド繊維、カーボン繊維およびマトリックスについては、劣化による強度低下は認められず、今後、さらに他の溶液中における劣化の可能性について検討することが必要となろう。

(1993年 1月26日受理)

参 考 文 献

- 1) 魚本, 西村: プレストレスコンクリート用 FRP 緊張材の特性(1), 第42巻 5号, 1990.5
- 2) 魚本, ホドホド: プレストレスコンクリート用 FRP 緊張材の特性(2), 第43巻 3号, 1991.3
- 3) 魚本, 西村: プレストレスコンクリート用 FRP 緊張材の特性(3), 第43巻 5号, 1991.5
- 4) ホドホド, 魚本: プレストレスコンクリート用 FRP 緊張材の特性(4), 第44巻 4号, 1992.4
- 5) Hodhod, Uomoto: EVALUATION OF TENSILE STRENGTH OF FRP WITH ALIGNED CONTINUOUS FIBER, ADVANCED COMPOSITE IN BRIDGES AND STRUCTURES, 1992