

# プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(9)

## —GFRP ロッドの疲労特性に及ぼす平均応力と応力振幅の影響—

Properties of Fiber Reinforced Plastic Rods for Prestressing Tendons of Concrete (9)

—Effect of Mean Stress and Stress Amplitude on Fatigue Properties of Glass Fiber Reinforced Plastic Rods—

魚本 健人\*・大賀 宏行\*・西村 次男\*

Taketo UOMOTO, Hiroyuki OHGA and Tsugio NISHIMURA

### 1. はじめに

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。特に、この FRP ロッドをプレストレストコンクリート用緊張材またはコンクリート構造物用補強材として用いるための研究が精力的に行われ、FRP ロッドの適用性について検討が加えられている。筆者らも各種繊維を用いたロッドの弾塑性的特性、破壊性状、耐アルカリ性、疲労性状等について検討を加えており<sup>1)~8)</sup>、疲労性状に関しては、繊維の種類の影響や疲労を受けた FRP ロッドの強度特性について検討を加えている。

そこで本研究は、ガラス繊維を用いた一方向強化プラスチックロッド (GFRP) の疲労特性に及ぼす平均応力と応力振幅の影響について検討することを目的としたものである。

### 2. 実験概要

ガラス繊維混入率55%で、一方向に強化された6mmの丸棒 FRP ロッドを用いた。マトリックスとしてビニルエステル樹脂を用いた。載荷試験長は400mmとし、最大荷重10tonのサーボパルサにより応力制御による疲労試験を行った。載荷条件は、上限応力を静的引張強度の20~80%とし、応力振幅を10~100kgf/mm<sup>2</sup>と変化させ疲労試験を行った。試験本数は各条件10本づつとした。また、比較のため GFRP ロッドのクリープ試験も同じ寸法の試験体を用いて行った。

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 GFRP ロッドの疲労性状

図1は、GFRP ロッドの応力振幅と疲労繰返し回数の関係を示す。上限応力を静的引張強度 (169kgf/mm<sup>2</sup>) の20% (33.8kgf/mm<sup>2</sup>) から80% (135.2kgf/mm<sup>2</sup>) まで10%毎に変化させ、各上限応力毎に応力振幅を10から100kgf/mm<sup>2</sup>まで変化させ疲労試験を行った。上限応力の増大とともに疲労繰返し回数は低下し、さらに応力振幅の増大により疲労繰返し回数はほぼ直線的に低下している。

GFRP ロッドの平均応力と疲労繰返し回数の関係を図2に示すが、図1で述べたように応力振幅ごとに疲労繰返し回数は異なるものの、平均応力の増加とともに疲労繰返し回数は低下している。応力振幅が低減するに従い平均応力の低減による疲労繰返し回数の増大の割合は大きくなっている。また、図1と比較すると、疲労特性に及ぼす影響は応力振幅より平均応力の方が大きくなっている。

GFRP ロッドの疲労繰返し回数と応力振幅および平均応力の関係を図3に示す。上述のように応力振幅および

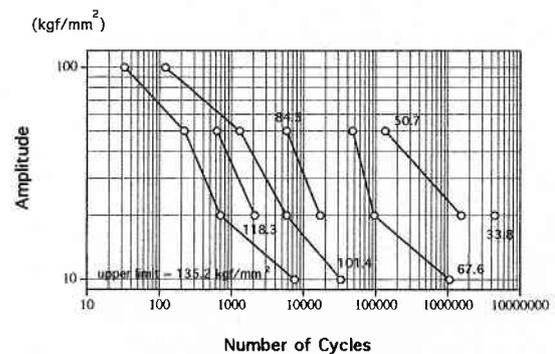


図1 疲労強度に及ぼす応力振幅の影響

\*東京大学生産技術研究所 第5部

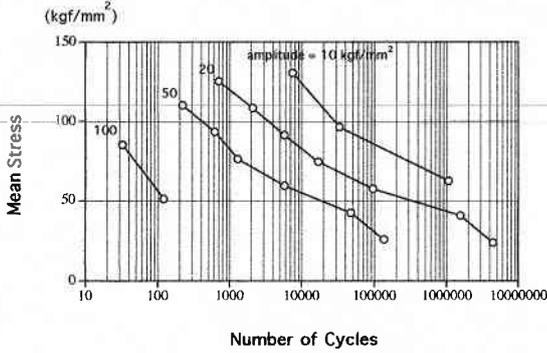


図2 疲労強度に及ぼす平均応力の影響

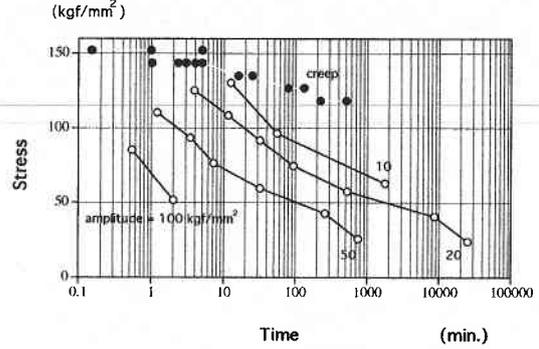


図4 クリープ破壊に及ぼす持続荷重応力の影響

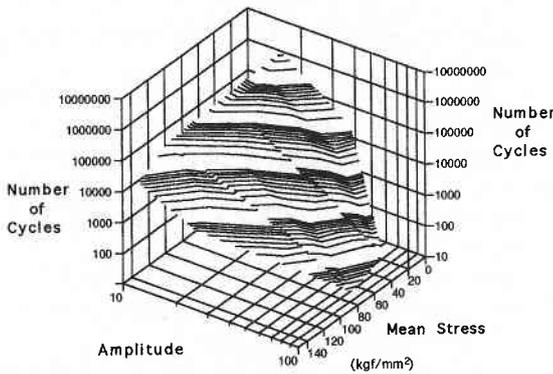


図3 応力振幅および平均応力と疲労繰り返し回数の関係

平均応力の増大とともに疲労繰り返し回数は低下することから、3者の関係はほぼ平面で表されている。

### 3.2 GFRPロッドの疲労性状の評価

クリープ試験の荷重応力と荷重持続時間の関係を図4(図中●)に示す。図中には疲労試験における平均応力と繰り返し回数を荷重持続時間に換算したものの関係も同時に示す(図中○)。クリープ試験においても、荷重応力の増加とともに破壊までの荷重持続時間は低下しているが、低下する割合は少なく、疲労試験の結果に比べ同一荷重応力において荷重持続時間が增大している。特に、応力振幅が大きい場合にその差は顕著となっている。このことから、3.1で述べた破壊性状は、クリープと疲労の組み合わせた破壊と考えられ、疲労試験における応力振幅を低減させることにより、疲労破壊からクリープ破壊へと移行していくものと考えられる。

以上のことから、GFRPロッドの繰り返し荷重による破壊は、破壊までにGFRPロッドが吸収するエネルギー(W)を一定と仮定すると以下のように表される。

$$\sigma_m = 9.66 N^{-0.226} / \Delta \sigma$$

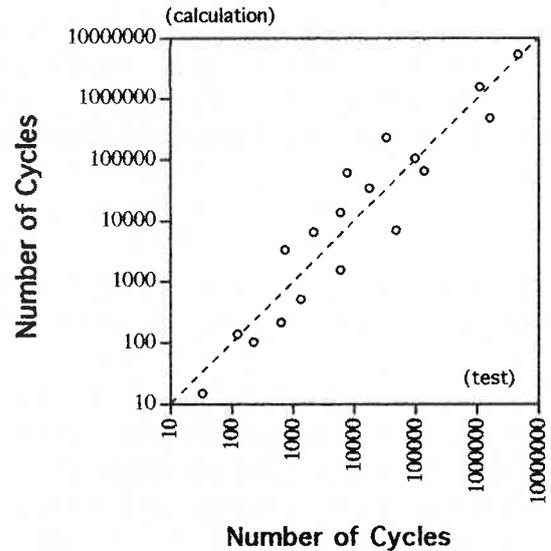


図5 疲労繰り返し回数の推定

$$W = W_i + \Delta W_f + \Delta W_c + \Delta W_t$$

- ここで、 $W_i$  : 疲労試験開始前に平均応力まで荷重した時の消費エネルギー
- $\Delta W_f$  : 繰り返し荷重によって生じる残留ひずみによる消費エネルギー
- $\Delta W_c$  : クリープによるひずみの増大によって消費されるエネルギー
- $\Delta W_t$  : 試験時に生じる温度変化によって消費されるエネルギー

本実験においては、荷重による温度変化はほとんど無いので  $\Delta W_t$  は無視できると考えられる。 $\Delta W_f$  と  $\Delta W_c$  は繰り返し荷重試験において漸次増加するひずみ ( $\Delta \epsilon$ ) に関係するが、 $\Delta \epsilon$  は応力振幅および平均応力に影響を受ける。

## 研究速報

さらに  $W_i$  は、疲労試験の平均応力まで初期に载荷したときに吸収されるエネルギーであることから、平均応力に依存する。

そこで、繰り返し回数と応力振幅および平均応力との関係を、実験的に以下のように仮定する。

$$\sigma_m = a \cdot N^b / \Delta\sigma$$

ここで、 $\sigma_m$  : 平均応力

$N$  : 繰り返し回数

$\Delta\sigma$  : 応力振幅

$a, b$  : 定数

実験結果を用い最小2乗法により定数を求めると、 $a=9.66$ ,  $b=-0.226$ , 相関係数 $-0.943$ となる。上式を用いた計算値と実験値との比較を図5に示す。上式より求めた計算値と実験値が良い相関を示していることから、上式を用いることにより平均応力および応力振幅を考慮して繰り返し回数を推定できる。

## 4. ま と め

GFRP ロッドの疲労強度に及ぼす平均応力と応力振幅の影響について、実験的に検討を加えた。本報告をまとめると以下ようになる。

- 1) GFRP ロッドの疲労繰り返し回数は、疲労試験における平均応力および応力振幅に影響を受け、平均応力および応力振幅の増大とともに疲労繰り返し回数は低下する。
- 2) 平均応力および応力振幅を考慮した実験式を用いることにより、GFRP ロッドの疲労繰り返し回数を推定する

ことができる。

なお、本研究の一部は平成5年度科学研究費補助金一般研究(B)(代表:魚本健人)によったものであることを付記する。(1994年3月11日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 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)—引張強度とバラツキ—, 生産研究, 第42巻, 第5号, 1990. 5
- 2) 魚本, ホッサム: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(2)—Behaviour of Fibers for FRP Rods Under Tensile Loading—, 生産研究, 第43巻, 第3号, 1991. 3
- 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(3)—応力-ひずみ曲線—, 生産研究, 第43巻, 第5号, 1991. 5
- 4) ホッサム, 魚本: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(4)—モンテカルロ法を用いた CFRP ロッドの理論強度の推定—, 生産研究, 第44巻, 第4号, 1992. 4
- 5) 魚本, 西村, ホッサム: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(5)—引張強度と試験本数—, 生産研究, 第44巻, 第8号, 1992. 8
- 6) 魚本, 西村, 宮崎: 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—, 生産研究, 第45巻, 第5号, 1993. 5
- 7) 魚本, 宮崎: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(7)—アルカリによるガラス繊維劣化のモデル化—, 生産研究, 第45巻, 第9号, 1993. 9
- 8) 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(8)—FRP ロッドの動的疲労特性—, 生産研究, 第46巻, 第1号, 1994. 1