

# FRP ロッド用繊維の疲労特性に関する基礎的研究

鹿児島大学工学部 学生員 用皆 大輔  
 鹿児島大学工学部 正会員 山口 明伸  
 鹿児島大学工学部 正会員 上原 尚也  
 鹿児島大学工学部 正会員 松本 進

## 1. はじめに

繊維強化プラスチック (FRP) ロッドは、高強度、高耐食性、軽量、非磁性などの特徴を有する事から、特にコンクリート構造物用緊張材または補強材として利用する為の研究が精力的に行われている<sup>1)</sup>。しかし、FRP ロッドあるいはその構成材料である繊維のクリープ特性や疲労特性等の時間依存的特性については未だ十分ではなく、実構造物への適用に際しては安全性や経済性の観点から、これらの特性を的確に把握しておくことが望まれる。そこで、本研究ではFRP用繊維のうち、アラミド繊維およびガラス繊維の疲労試験を行い、その疲労破壊特性を把握すると共に、既に報告している各繊維のクリープ特性との比較検討も行った<sup>2)</sup>。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体概要

実験に使用した試験体は、繊維 1 本ずつのモノフィラメントとし、JISR7602 に基づく試験用紙に張り付けた試験体を用いた。図-1 に試験体の概要を示す。

### 2.2 試験方法

本実験で検討を行った繊維の物性を表 1 に示す。試験は電磁力式小材料試験機マイクロサーボ (最大容量 10N) を用いて、繊維長 25 mmの繊維を対象に行った。なお、一定載荷応力までの載荷速度は 0.1 ~ 0.2N / sec とした。な

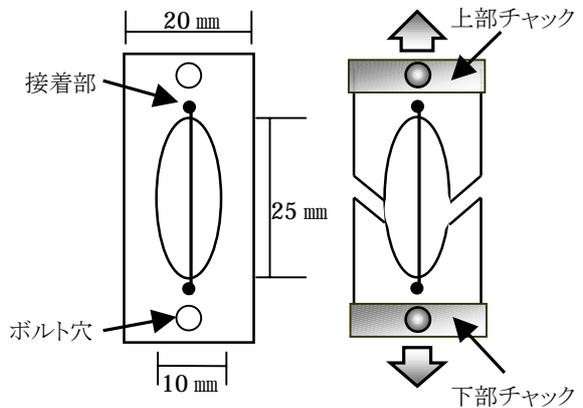


図-1 試験体概要

お、平均載荷応力比および振幅応力比は、いずれも静的引張試験における平均引張強度に対する比を示している。表-2 に載荷応力比と試験体数を示す。

表-1 ガラス繊維の物性

種類	直径 (μ)	繊維長 (mm)	平均強度 (MPa)	標準偏差 (MPa)	弾性係数 (GPa)
ガラス	12.77	25	2460	853	94
アラミド	12.15	25	3812	353	86

## 3. 実験結果及び考察

図-2 に各繊維の疲労試験の結果を示す。

いずれの載荷条件の場合も、破壊までの繰り返し回数 of のばらつきが大きいものの、概ねの傾向として振幅応力が増加するに従って、繰り返し回数が減少していることが分かる。なお、図中に示した応力振幅比 0 のデータは、既往の研究における各繊維のクリープ試験の実験式 ((1) (2) 式) に基づく平均応力比 0.7 におけるクリープ破壊時間を、載荷周波数を考慮した疲労繰り返し回数に換算したものである<sup>2)</sup>。

表-2 疲労試験における実験条件

種類	平均載荷 応力比	振幅 応力比	試験体数 (本)	周波数 (Hz)
ガラス	0.7	0.2	6	1.5
		0.33	10	
アラミド		0.23	10	

$$y = 0.056 \ln(t) + 0.91 \quad (\text{ガラス繊維}) \quad (1)$$

$$y = 0.025 \ln(t) + 0.78 \quad (\text{アラミド繊維}) \quad (2)$$

キーワード FRP 繊維 疲労 クリープ ワイブル理論

連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1丁目 21-40 TEL (099) 285-8480

表-3 ワイブル定数と対象結合部数

種類	振幅応力比	m	$\alpha$	n
ガラス	0	0.250	270741.5	0.223
	0.2	0.437	69.189	3.310
	0.33	0.1895	1.807	3.213
アラミド	0	0.205	31142.8	0.398
	0.23	0.3271	13.77	4.062

また、図-3 は、各繊維の疲労破壊確率が 50%となる場合の  
 載荷繰り返し回数を載荷時間で表し、クリープ破壊の実験式  
 ((1) (2) 式) と比較した結果である。データ数が十分では  
 ないものの、平均載荷応力は等しいにも関わらず、応力振幅の  
 増加に伴いクリープのみによる破壊時間よりも早く破壊に至っ  
 ており、疲労の影響が認められる。クリープ破壊の実験式と応  
 力振幅比 0.2 程度における疲労破壊時間を比較すると、アラミ  
 ド繊維に比べてガラス繊維の方が疲労の影響を受けやすいこと  
 が推察される。ここで、応力振幅による影響をより詳細に検討  
 するため、ガラス繊維およびアラミド繊維の生存確率をワイ  
 ブル理論に基づいて定式化することを試みた。ワイブル分布にお  
 ける t 時間後に繊維が破壊する確率は(3)式によって表される。

$$F(t) = 1 - \exp(-(t/\ )^m) \quad (3)$$

なお、F(t)は繊維が t 時間後に破壊する確率を、m および  
 はワイブル定数を示す。(3)式は両辺の対数を 2 度とること  
 により直線式となり、その傾きと y 切片からワイブル定数が求  
 められる。図-4 に各振幅応力比ごとの破断時間のワイブル分  
 布と近似式を示す。また、求められた定数、m および対象  
 結合部数 n の結果を表-3 に示す。ここで対象結合部数 n とは、  
 ワイブルの最弱環理論における破壊可能な環の数であり(4)式  
 で示される。

$$n = (t/\ )^m \quad (4)$$

表-3 に示すように、載荷応力振幅比の変化に伴い、対象結  
 合部数に関する n が大きく変動している。これは振幅応力比  
 の増加に伴い破壊可能な結合部数が増加することを示している。  
 さらに図-5 は、クリープ破壊と疲労破壊における対象結合数  
 を比較し、振幅応力による影響をクリープ載荷応力比の追加増  
 分に変換した結果を示したものである。平均載荷応力比が 0.7  
 の場合、ガラス繊維については、追加持続応力比よりも振幅応  
 力の影響が大きく、アラミド繊維については、両者の影響がほ  
 ぼ同等であることが分かり、FRP ロッドの場合<sup>2)</sup>と同様の疲  
 勞特性持つことが認められた。

**参考文献** 1)魚本、西村、山口、大賀：繊維補強プラスチックロッドの時間依  
 存的特性の評価 土木学会論文集No.599/V-40、15-22、1998.8  
 2)山口、西村、魚本、武若：繊維の破壊確率に立脚した FRP ロッドのクリープ  
 破壊シミュレーション、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.21、No.2、  
 pp.295-300、1999. 7

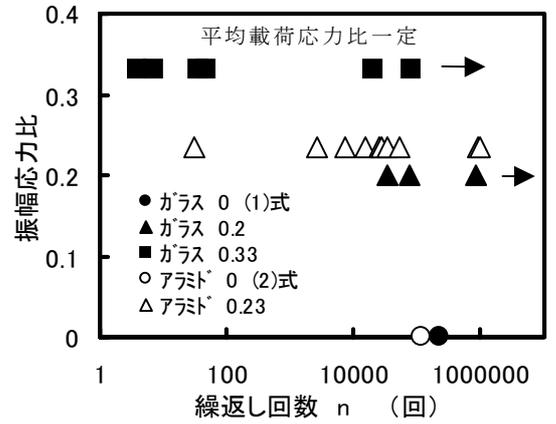


図-2 振幅応力比と破断時間

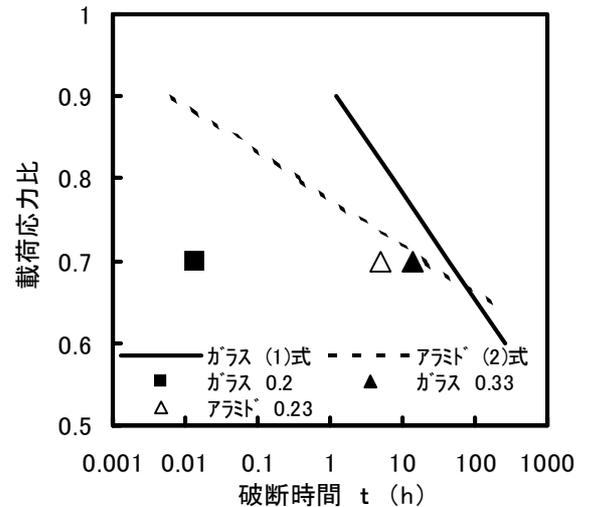


図-3 生存確率 50%における破断時間の変化

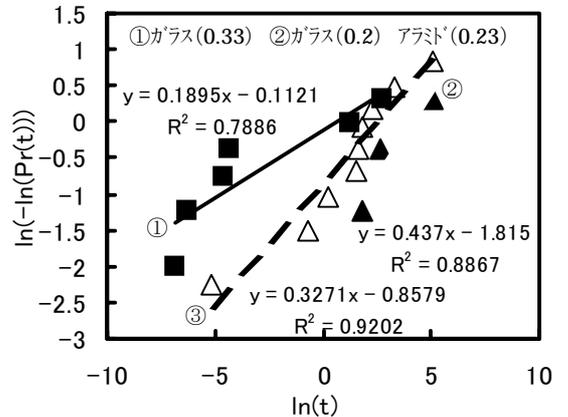


図-4 破断時間のワイブル分布

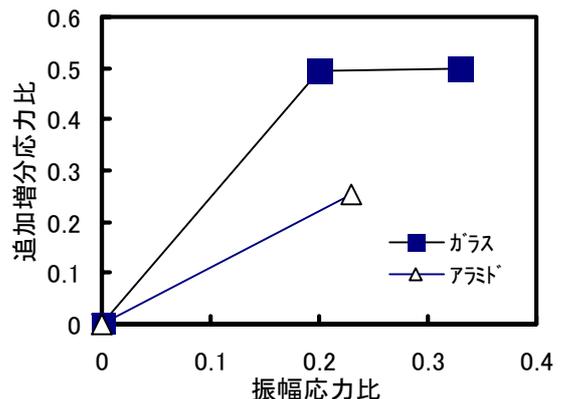


図-5 疲労の影響による実質応力比の増分