

FRP 用ガラス繊維の疲労特性に関する研究

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 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¹⁾。しかし、FRP ロッドや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 用繊維であるガラス繊維の疲労破壊試験を行い、その特性を把握すると共に、既に報告しているクリープ特性²⁾との比較検討を行うことで、ガラス繊維の疲労破壊回数の推定を試みた。

2. 実験概要

2.1 試験体について

実験に使用した試験体は、全て繊維長 25 mm の繊維単体とし、JISR7602 に基づく試験用紙に張り付けて使用した。図-1 に試験体の概要を示す。

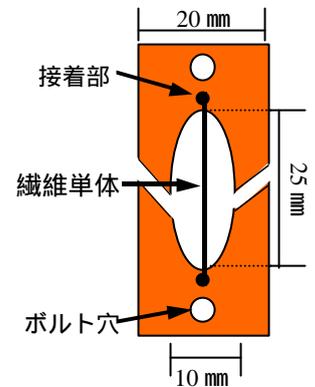


図-1 試験体概要

2.2 試験方法及び試験条件について

本研究で検討を行ったガラス繊維の物性を表 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）を用いて一定応力を载荷した後、振幅を設定し実施した。平均载荷応力比は 60% ~ 80%、応力振幅比は 20% ~ 40% の範囲を設定し、各条件において 10 ~ 20 本程度行った。なお、諸試験条件については既往の研究と同様な設定³⁾を用いた。

2.3 試験結果及び考察

疲労試験における試験結果を図-2 に示す。なお、同図中の実線は各条件における破壊確率 50% の推移を、矢印は上限回数に達しても破壊しなかったものを示している。同図より、いずれの条件においても破壊回数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おり、疲労の影響が認められる。

表-1 ガラス繊維の物性

直径 (μ)	12.77
平均強度 (MPa)	2460
標準偏差 (MPa)	853
弾性係数 (Gpa)	94

3. 疲労破壊のモデル化

各条件におけるばらつきを考慮し、破壊確率理論による定量化を行った。ガラス繊維の疲労特性は、ワイブル理論を拡張することにより、その適用が可能であることは既に報告している³⁾。以下に詳細を示す。

ワイブル分布において、疲労により t_f 時間後に繊維が破壊する確率は(1)式によって表される。

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

また環数 n_f は、ワイブルの最弱環理論において疲労破壊する可能性のある環の数であり(2)式で示される。

$$n_f = (t_0 /)^m \quad (2)$$

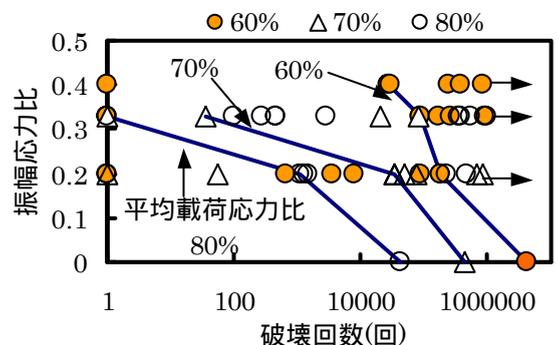


図-2 疲労破壊試験結果

キーワード FRP ガラス繊維 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 (099) 285-8480

ここで、 m 、 n_f 、 n_c ：ワイブル定数、

t_0 ：固有時間（ここでは、1000 hours）

ここで、疲労による破壊現象は、主に平均載荷応力比と振幅応力比の二つの要因が複合的に作用したものと考える。そこで、(3)式に示すように疲労における環数 n_f は、平均載荷応力比のみによって決まる環数 n_{ave} （すなわち持続荷重によるクリープ破壊における環数 n_c と同等）と、そのときの振幅応力比によって決まる環数 n_{amp} の和として表現できるものとした。

$$n_f = n_{Ave} + n_{amp} = n_c + n_{amp} \quad (3)$$

なお、(3)式におけるクリープにおける環数 n_c と載荷応力比の関係は、既往の研究結果²⁾より(4)式により表されることが分かっている。

$$n_c = 3.59 \cdot \left(\frac{\sigma_{app}}{\sigma_f} \right)^{2.56} \quad (4)$$

ここで、 σ_{app} ：載荷応力（MPa）、 σ_f ：繊維の強度（MPa）

以上を踏まえ、(1)～(4)式を用いて疲労破壊試験の各条件における環数 n_f 、 n_c 及び n_{amp} を求めた結果を表-2 に示す。また、表のデータから、環数 n_{amp} と振幅応力比の関係は、平均載荷応力ごとに決まる単調増加関数として得られた。その概念図を図-3 に示す。図のように、同一振幅応力比であっても、平均載荷応力が大きくなると、環数 n_{amp} すなわち破壊に与える振幅応力比の影響が急激に増加することが分かる。

ここで、ある環数に対応する持続載荷応力を等価応力と定義すると、環数と等価応力の関係の概念は図-3 に示すように考えることができる。つまり、繊維の疲労破壊現象をワイブルの環数で表現すれば、クリープ応力比によって決まる環数 n_c に振幅応力比によって決まる環数 n_{amp} を加えることとなるが、これを等価応力で表現すれば、平均載荷応力 σ_c に振幅応力比の影響と等価な応力 σ_{app} を加えたことを意味しており、 σ_f の持続応力におけるクリープ破壊と同様に扱うことができる。

以上の結果を踏まえ、各条件におけるガラス繊維の疲労破壊回数の推定を試みた。疲労破壊回数の推定にあたって、平均載荷応力によるクリープ破壊時間については既往の研究結果における推定式²⁾を用いた。その結果を図-5 に示す。ここで、同図のプロット点は疲労試験における破壊確率 50%を示している。同図より、多少の誤差は認められるものの、推定値と実験値は概ね同様な傾向を示しており、本手法によりガラス繊維の疲労破壊回数の推定は可能であるといえる

表-2 環数の算出結果

平均載荷応力比	応力振幅比	n_f	n_c	n_{amp}
0.6	0.2	1.46	0.97	0.49
	0.33	2.01		1.04
	0.4	2.26		1.30
0.7	0.2	1.76	1.44	0.33
	0.33	2.12		0.69
0.8	0.2	4.65	2.03	1.12
	0.33	8.33		1.39

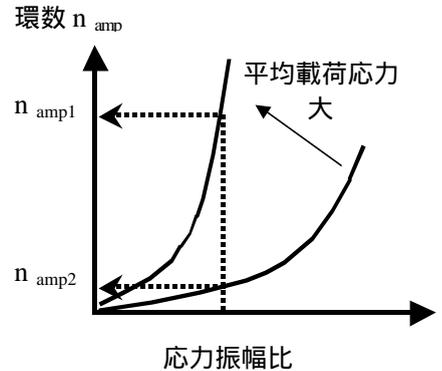


図-3 環数 n_{amp} と応力振幅比の関係の概念図

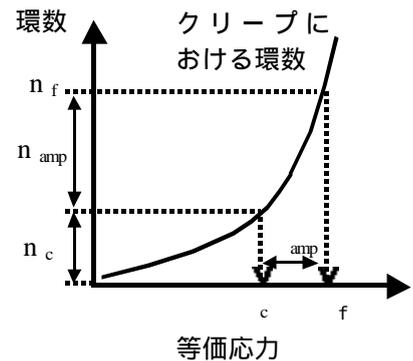


図-4 環数と等価応力の関係の概念図

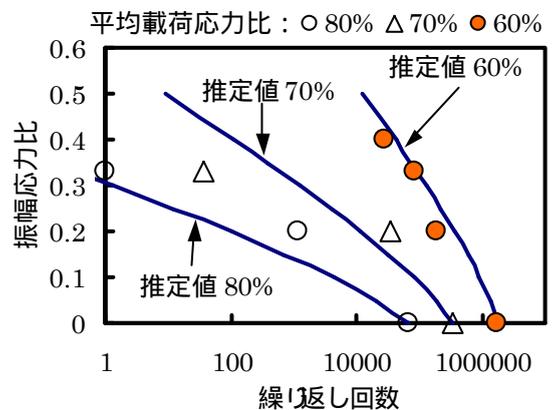


図-5 ガラス繊維の疲労破壊回数の予測

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 599/V 40、15-22、1998.8
- 2) 山口明伸：コンクリート補強用FRPロッドの紫外線劣化とクリープ破壊に関する研究、東京大学学位論文、1998
- 3) 用皆らによる：FRPロッド用繊維の疲労特性に関する基礎的研究、第55回年次学術講演会講演概要集、V-180