

FRP 用アラミド繊維の疲労特性に関する研究

鹿児島大学大学院	学生員	○末満	直幸
鹿児島大学大学院	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

近年、コンクリート構造物中の補強用鋼材の腐食が問題となっており、その対策の一手法として高耐食性、高強度、軽量、非磁性などの特徴を有する繊維強化プラスチック (FRP) ロッドを、緊張材または補強材の代替品として使用するための検討が行われている。しかし、FRP ロッド及びその構成材料である繊維の時間依存的な特性(主にクリープ及び疲労特性等)については、未だ十分に解明されておらず、実構造物に適用する際、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肝要となる。そこで本研究では、FRP 用繊維のうちアラミド繊維の疲労破壊試験を行い、その特性を把握すると共に、その特性のモデル化を試みた。

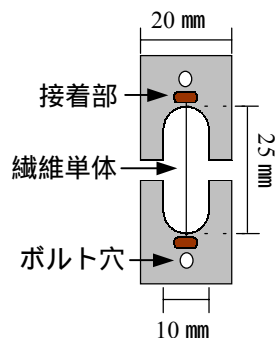


図-1 試験体概要

2. 試験概要

2.1 試験体概要

試験体は、JISR7602 に従った試験用紙に、繊維長 25 mmの繊維単体を貼り付けたものを使用した。試験体概要を図-1 に示す。また、本試験で用いた、アラミド繊維の物性を表-1 に示す。

表-1 アラミド繊維の物性

直径 (μm)	12.15
平均引張強度 (MPa)	3812
標準偏差 (MPa)	353
弾性係数 (GPa)	82

2.2 試験方法及び試験条件

試験は、室温下(23±3)において、電磁力式小材料試験機マイクロサーボ(最大容量 10N)を使用し、所定の平均応力まで荷重を静的に載荷後、振幅設定を行い、疲労破壊時までの繰り返し回数を記録した。試験条件を表-2 に示す。ここでの平均載荷応力比及び振幅応力比は、平均引張強度に対する荷重比とした。また、周波数は全て 1.5Hz、一定応力までの載荷速度は 0.1～0.2N/sec、上限回数は 100 万回とした。

表-2 試験条件

平均載荷 応力比	振幅 応力比	試験総数 (本)
0.6	0.4	10
	0.6	
0.7	0.23	11
	0.4	

2.3 試験結果及び考察

試験結果を図-2 に示す。同図から分かるように、平均載荷応力比または振幅応力比が増加するに従い、破壊時の繰り返し回数が減少していることから、疲労の影響が認められる。しかし、静的に破壊または 1 回で破壊するものから、上限回数に達しても破壊しないものまでと、破壊時の繰り返し回数に大きなばらつきが認められた。

3. 疲労破壊のモデル化

次に、各条件における破壊時の繰り返し回数のばらつきを考慮し、破壊確率理論を用いて定量化を試みた。これまでに FRP 用繊維のうち、ガラス繊維については、疲労破壊特性のモデル化²⁾³⁾が報告されており、本研究では、アラミド繊維の疲労破壊特性について同手法の適用を試みた。

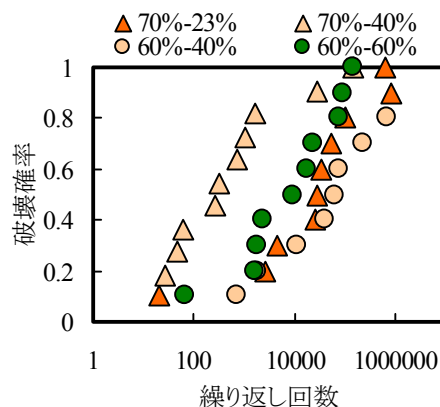


図-2 疲労破壊試験の結果

キ・ワ・ド

FRP アラミド繊維 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、アラミド繊維の疲労破壊特性は、拡張したワイブルの最弱環理論の適用が可能であることは既に報告されている²⁾。以下に、その詳細を示す。

ワイブルの最弱環理論において、 t_f 時間後に繊維が破壊する確率 $F(t_f)$ は、(1)式のように表される。

$$F(t_f) = 1 - \exp \{ - (t_f / \alpha)^m \} \quad (1)$$

また、 t_f 時間後に破壊の対象となる環数 n_f は(2)式で表される。

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

ここで、 α 、 m ：ワイブル定数、 t_0 ：固有時間（1000 hours）

ここで、疲労による破壊現象は、主に平均載荷応力と振幅応力の二つの要因が複合的に作用したものであると考えると、環数 n_f は、(3)式に示すように、平均載荷応力比によって決まる環数 n_{ave} （クリープ破壊における環数 n_c と同義）と、振幅応力比によって決まる環数 n_{amp} の和として表現することができる。

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

このことを図に示すと、各要因とそれに対応する環数の関係の概念は、図-3 のように表す事が出来る。つまり、平均載荷応力による影響は、クリープの効果として平均載荷応力比と環数 n_c との関係式により決定され、振幅応力の影響は、それと環数 n_{amp} のみの関係式により決定される。その二つの関係式を組み合わせたものが結果として疲労破壊時の環数 n_f を決定していると考えることができる。

以上の(1)~(3)式を用いて、各条件における環数 n_f 、 n_c 及び n_{amp} を算出した結果を表-3 に示す。ここで、(3)式中の平均載荷応力の影響である環数 n_c については、既往の研究結果¹⁾より(4)式を用いた。

$$n_c = 20.9 \cdot (\sigma_{app} / \sigma_{ave})^{7.09} \quad (4)$$

ここで、 σ_{app} ：任意の載荷応力(MPa)、 σ_{ave} ：平均引張強度(MPa)

同表のデータから、環数 n_{amp} と振幅応力比の関係は、図-4 に示すような、平均載荷応力ごとに決まる単調増加関数として得られる。同図に示すように、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} は急激に増加している。このことは、平均載荷応力が増加するに従い、破壊に与える振幅応力の影響が大きくなることを示している。

以上を踏まえて、疲労破壊時の環数 n_f を推定し、(1)、(2)式を用いて各条件における疲労破壊時の繰返し回数の推定を試みた。その結果を図-5 に示す。同図に示したように、多少の誤差は認められるものの推定値は実験値とほぼ同様な傾向を示しており、このことから、本モデルを使用することにより、アラミド繊維の疲労破壊時の繰返し回数は、推定可能であるといえる。

<参考文献>

- 1) 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
- 2) 用皆らによる：FRP 用繊維の疲労特性に関する研究, 土木学会, 第 55 回, 年次学術講演会概要集, V-180, 2000
- 3) 用皆らによる：FRP 用ガラス繊維の疲労特性に関する研究, 土木学会, 第 56 回, 年次学術講演会概要集, V-224, 2001

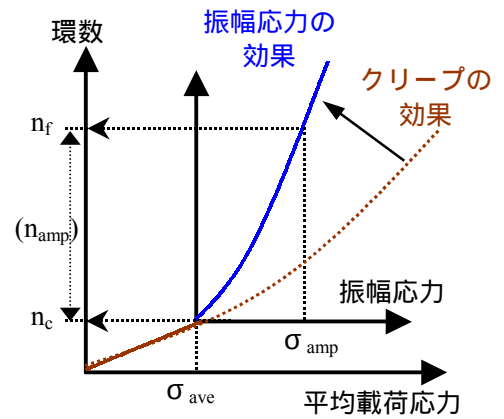


図-3 環数の関係の概念図

表-3 環数の算出結果

平均載荷 応力比	振幅 応力比	n_f	n_c	n_{amp}
0.6	0.4	3.86	0.56	3.30
	0.6	10.5		9.95
0.7	0.23	3.81	1.67	2.14
	0.4	22.4		20.73

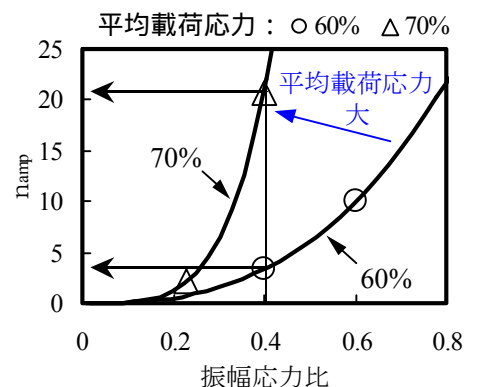


図-4 環数 n_{amp} と振幅応力比の関係

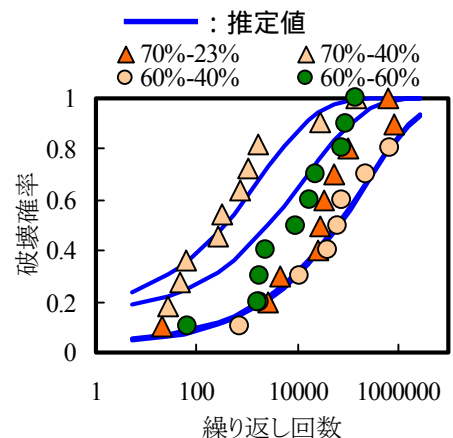


図-5 疲労破壊回数の推定結果