

東京大学生産技術研究所 正会員 西村次男

東京大学生産技術研究所 正会員 魚本健人

1. はじめに

本研究は、FRPロッドとしてアラミド繊維、ガラス繊維、カーボン繊維を用いた一方向強化プラスチックロッド（それぞれAFRPロッド、GFRPロッド、CFRPロッドと略記する）を構造材料としての基本的な特性である強度特性や疲労特性等を明らかにすることが大切である。すでに引張強度特性や弾性係数については報告^{1)・2)}したが、動的疲労特性についての報告はあまりみられない。そこで、これらのFRP緊張材をプレストレストコンクリート用緊張材として利用するために最も重要で基本的な特性である疲労特性に着目し、疲労限界がどこにあるのかまた使用する繊維によってどのように異なっているのかを明らかにすることを目的としたものである。

2. 実験概要

実験に用いたFRPロッドの繊維混入率はそれぞれ $V_f=55\%$ であり、6mmの丸棒状で一方向に強化されたものである。またマトリックスはすべてビニルエステル樹脂である。表-1に動的疲労試験の载荷条件を示す。表中の上限応力は各種FRPロッド100本の平均引張強度から求めたもので、AFRPロッドおよびGFRPロッドの試験本数は、上限応力ごとにそれぞれ10本とし、CFRPロッドについては5本とした。試験片の長さは、いずれのFRPロッドも400mmとし荷重制御で、载荷速度は3Hzから5Hz、振幅応力は 50kgf/mm^2 とした。なおGFRPロッドでは振幅応力 20kgf/mm^2 についても実施した。疲労試験において繰返し数が200万回到達したロッドに於いては、静的引張試験を行い200万回疲労後の残留強度とひずみを測定した。ひずみの測定はロッドの中央部に2枚対象に貼付し普通ゲージで行った。なお、FRPロッドの定着具は、小林らが開発した2つ割りチャック³⁾を用いた。

表-1 動的疲労試験の载荷条件

	応力比 (%)	上限応力 (kgf/mm^2)	下限応力 (kgf/mm^2)	応力振幅 (kgf/mm^2)
AFRPロッド 平均引張強度 (169kgf/mm^2)	90	152	102	50
	80	135	85	
	70	118	68	
GFRPロッド 平均引張強度 (169kgf/mm^2)	80	135	115	20
	70	118	98	
	60	101	81	
	50	85	65	50
	40	68	48	
	60	101	51	
	50	85	35	
	40	68	18	
CFRPロッド 平均引張強度 (134kgf/mm^2)	85	114	64	50
	80	107	57	

※ 繊維混入率 $V_f=55\%$

3. 実験結果と考察

図-1は各種FRPロッドの上限応力と繰返し回数との関係から破壊確率50%の値をS-N曲線で示したものである。この図から明らかなように振幅応力 50kgf/mm^2 の場合、AFRPロッドおよびGFRPロッドでは同じ平均引張強度（表-1参照）に関わらず、AFRPロッドの方がGFRPロッドに比べ非常に高い疲労強度を有していることが明らかとなった。一方、CFRPロッドは他のロッドとは異なり平均引張強度が低くバラツキも大きいため疲労試験の設定を行うのが非常に困難であるに関わらず、AFRPロッドと同様に高い疲労強度を有していることが明らかとなった。次に振幅応力 20kgf/mm^2 と 50kgf/mm^2 のGFRPロッドでは、上限応力約 134kgf/mm^2 から約 68kgf/mm^2 までの間はほぼ直線で表すことができ、振幅応力を増大さ

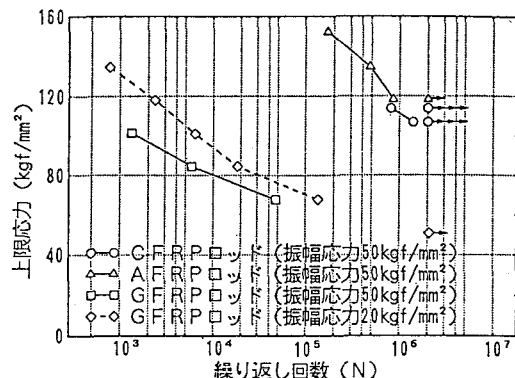


図-1 FRPロッドの上限応力と繰返し数との関係

せてもほぼ同様な傾きで繰り返し回数は減少することが明らかとなった。これらの結果よりデータ数は少なく疲労限界は明らかでないが、上限応力と繰り返し数との関係から200万回における疲労強度を推察するとGFRPロッドでは約40kgf/mm²～50kgf/mm²となるのに対して、AFRPロッドおよびCFRPロッドでは約90kgf/mm²～100kgf/mm²程度となり、GFRPロッドに比べ高い疲労強度を有していることが推察される。

図-2は200万回疲労後と疲労履歴を受けていない各種FRPロッドの応力とひずみとの関係を示したものである。また図-3に応力と割線弾性係数との関係を示す。これらの図から明らかなようにGFRPロッド（応力比30%、上限応力51kgf/mm²、振幅応力20kgf/mm²）は、平均引張強度169kgf/mm²に対して200万回疲労後の残留強度は約117kgf/mm²となり69%の値となった。また疲労履歴を受けていないロッドでは応力が增大しても弾性係数は一定であるのに対し200万回疲労を受けたロッドでは応力の増大にともない弾性係数は低下し破断に至る傾向となった。AFRPロッド（応力比70%、上限応力118kgf/mm²、振幅応力50kgf/mm²）は、平均引張強度169kgf/mm²に対し残留強度は約141kgf/mm²で83%の値となる。またひずみは破断直前から若干小さくなる傾向となることが分かる。CFRP（応力比80%、上限応力107kgf/mm²、振幅応力50kgf/mm²）は、平均引張強度134kgf/mm²に対し残留強度の低下は余り認められずほぼ同じ値となった。また割線弾性係数では低い応力レベル（約40kgf/mm²まで）では多少の違いが認められもののそれ以降は疲労履歴を受けていないロッドと同様な傾向となることが明らかとなった。

4. まとめ

(1) 振幅応力50kgf/mm²の場合、同じ上限応力でもAFRPロッドとCFRPロッドはGFRPロッドに比べ非常に高い疲労強度を持っていることが明らかとなった。

(2) 上限応力と繰り返し数との関係から200万回の疲労強度を推察するとGFRPロッドでは約40kgf/mm²～50kgf/mm²、AFRPロッドとCFRPロッドでは約90kgf/mm²～100kgf/mm²と考えられ、GFRPロッドよりも疲労強度に優れていることが明らかとなった。(3) 200万回疲労後の残留強度は、平均引張強度に比べAFRPロッドでは約83%、GFRPロッドでは約69%の残留強度が得られ、CFRPロッドについては平均強度とほぼ同程度となることが明らかとなった。

本研究費の一部は平成4年度科学研究費（一般(B)代表；魚本健人）によるものであることを付記する。また実験に協力していただいた千葉工業大学卒論生長谷川英樹君に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 西村、魚本：プレストレストコンクリート用FRP緊張材の応力-ひずみ曲線と弾性係数，土木学会第46回年次学術講演会概要集第5部 1991.9
- 2) 西村、木村、魚本：FRPロッドの引張強度と試験本数，土木学会第47回年次学術講演会概要集第5部 1992.9
- 3) 小林一輔：FRP製プレストレストコンクリート緊張材用定着装置，生研リーフレット，No. 158，1987

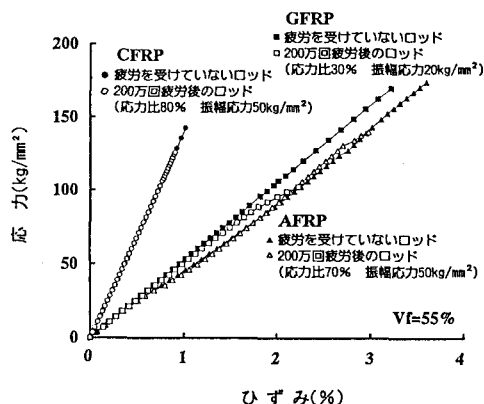


図-2 FRPロッドの応力とひずみとの関係

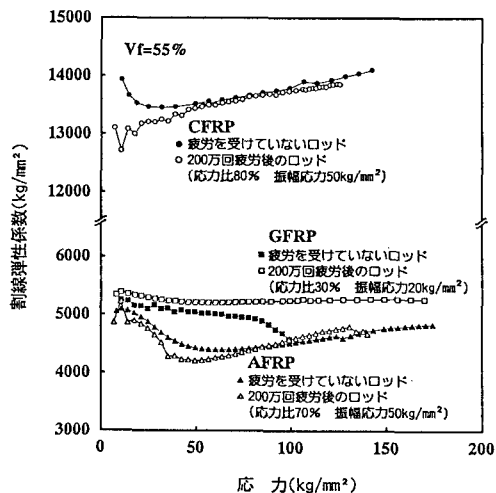


図-3 FRPロッドの弾性係数と応力との関係