

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—

Properties of Fiber Reinforced Plastic Rods for Prestressing Tendons of Concrete (8)

—Dynamic Fatigue Behavior of Reinforced Plastics Rods—

魚本 健人*・西村 次男*

Taketo UOMOTO and Tsugio NISHIMURA

1. はじめに

この数年来、新素材の一つである FRP ロッドは、高強度で耐食性に優れ軽量でありまた非磁性体といった特徴を有し、土木および建築分野において特に注目されている。

これをプレストレストコンクリート用緊張材としてまたコンクリート構造物の補強材として、従来の鋼材の代替えとして用いるための研究開発が活発に進められている。すでに、筆者らは各種 FRP ロッド(繊維混入率 Vf=66%)の引張強度特性、繊維と FRP ロッドとの関係、応力-ひずみ曲線、モンテカルロ法を用いた CFRP ロッドの理論強度の推定、引張強度と試験本数との関係、アルカリによる強度低下とバラツキおよびアルカリによるガラス繊維劣化のモデル化については前報で報告している^{1)~7)}。

そこで本研究は、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)を取り上げ、土木用補強材料として最も重要で基本的な特性である動的疲労およびクリープ特性に着目し、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(Vf)はそれぞれ 55%であり、6 mm 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。動的疲労試験の载荷条件は表-1 に示すとおりで、表中の平均引張強度は各種 FRP ロッド100本から求めたものである。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 400 mm とし荷重制御で、载荷速度は 3 Hz から 8 Hz、振幅応力は 50 kgf/mm² および 20 kgf/mm² について実施した。なお CFRP ロッドは振幅応力 50 kgf/mm² とした。動的疲労試験において繰り返し数が 200 万回到達したロッドについては、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。ひずみの測定は普通ゲージを用いロッド中央の表面にいずれも対称に 2 枚ずつ貼付した。またクリープ試験では、AFRP ロッドおよび GFRP ロッドに载荷応力比を 90~65% の範囲内で試験を行った。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⁸⁾を用いた。試験機は 10ton サーボバルサを用いて行った。

3. 実験結果と考察

3.1 FRP ロッド動的疲労の S-N 曲線

図 1 は各種 FRP ロッドの上限応力と繰り返し回数との関係から破壊確率 50% の値を S-N 曲線で示したのである。この図から明らかなように AFRP ロッドおよび GFRP ロッドでは同じ平均強度(表 1 参照)であるにも関わらず、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。一方、CFRP ロッドは他のロッドとは

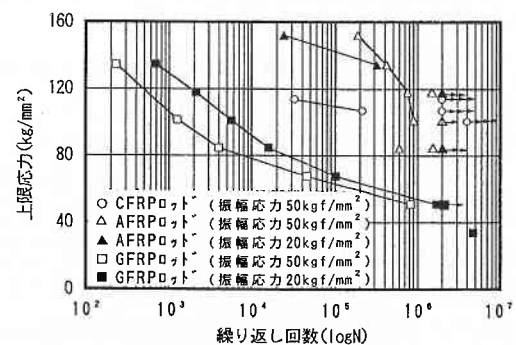


図 1 各種 FRP ロッドの S-N 曲線

*東京大学生産技術研究所 第 5 部

研究速報

表1 動的疲労試験の荷荷条件

	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	
	60	101	51	
	50	85	35	
	90	152	132	
80	135	115		
70	118	98		
60	101	81		
50	85	65		
40	68	18		
GFRPロッド 平均引張強度 (169kgf/mm ²)	80	135	85	50
	60	101	51	
	50	85	35	
	40	68	18	
	30	51	1	
	80	135	115	
70	118	98		
60	101	81		
50	85	65		
40	68	48		
30	51	31		
CFRPロッド 平均引張強度 (134kgf/mm ²)	85	114	64	50
	80	107	57	
	75	101	51	

※ 繊維混入率 Vf=55%

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も関わらず AFRP ロッドと同様に高い疲労強度を有し、AFRP ロッド、CFRP ロッド、GFRP ロッドの順番に疲労強度が高くなっている。また、ガラス繊維を用いたロッドでは振幅応力50 kgf/mm²の方が繰返し数は減少することが明らかとなった。

カーボン繊維を使用したロッドでは、あまり高い応力までかける事が出来ない欠点があるにも関わらず、上限応力を若干下げると繰返し数は急激に増大することが明らかとなった。一方、アラミド繊維を使用したロッドは、いちばん高い疲労強度を示しているにも関わらず繰返し数が100万回近辺で急激に減少する傾向がみられる。また、振幅応力を見るとガラス繊維を使用したロッドの場合とは異なり振幅応力20 kgf/mm²の方が場合によっては強度が低下する現象が見られる。なぜこのような現象が生じたのか、一つとして考えられるのは、動的疲労が上限と下限の中間の応力を一定にうける一種のクリーブ現象であるとするれば、アラミド繊維の場合には疲労破壊よりもクリーブ破壊が先行したことによるものと考えられる。

図2は、AFRP ロッドおよびGFRP ロッドの荷荷応力と荷荷時間との関係について示したものである。

この図よりいずれのロッドも約110 kgf/mm²以上でクリーブ破壊することが明らかとなった。また、動的疲労の結果より横軸を荷荷持続時間、縦軸を荷荷応力に置き換えて比較した結果を図3および図4に示す。ただし、動的疲労の荷荷応力とは上限応力と下限応力の中間値である。

図3より、AFRP ロッドは動的疲労試験の振幅応力20 kgf/mm²の場合クリーブ破壊の領域に、50 kgf/mm²では

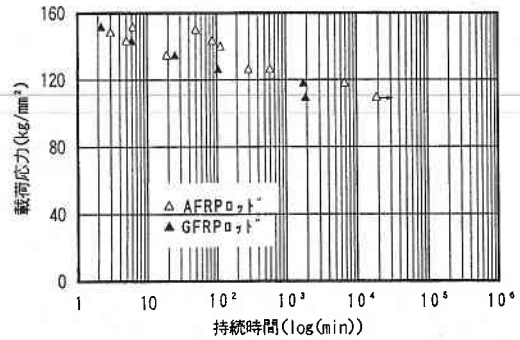


図2 クリーブ破壊時の荷荷応力と荷荷時間との関係

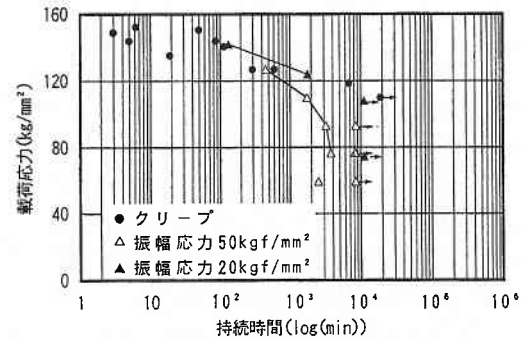


図3 AFRP ロッドのクリーブ破壊と疲労破壊の比較

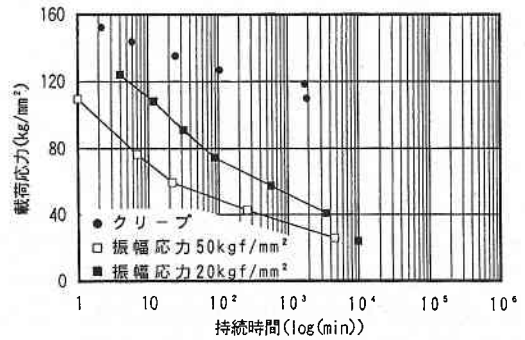


図4 GFRP ロッドのクリーブ破壊と疲労破壊の比較

疲労破壊の領域に入っていることが明らかである。

これらの結果より定着治具等の問題もあるが AFRP ロッドでは、振幅応力20 kgf/mm²の場合にはクリーブ破壊、振幅応力50 kgf/mm²ではクリーブ破壊ではなく疲労破壊したものと考えられる。また、図4はAFRP ロッドと同様にGFRP ロッドについて示したものである。この図より、クリーブ破壊の領域とは必ずしもラップしておらず、本実験では動的破壊したものであると考えられる。しかし、繰返し速度を極端に遅くすればクリーブ破壊の領域に移行するものと考えられる。

3.2 200万回疲労後の残留強度

図5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 6 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 51 kgf/mm^2 , 振幅応力 20 kgf/mm^2) は、平均引張強度 169 kgf/mm^2 に対して 200 万回疲労後の残留強度は約 117 kgf/mm^2 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とともに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 118 kgf/mm^2 , 振幅応力 50 kgf/mm^2) は、平均引張強度 169 kgf/mm^2 に対し残留強度は約 141 kgf/mm^2 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っている。CFRP (応力比 80%, 上限応力 107 kgf/mm^2 , 振幅応力 50 kgf/mm^2) は、平均引張強度 134 kgf/mm^2 に対し残留強度の低下はあまり認められずほぼ同じ値となった。

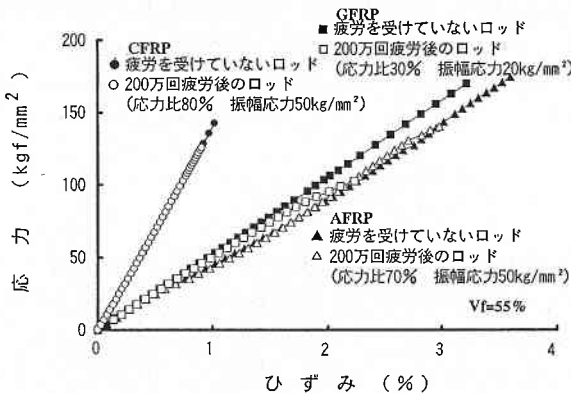


図 5 FRP ロッドの応力ひずみ曲線

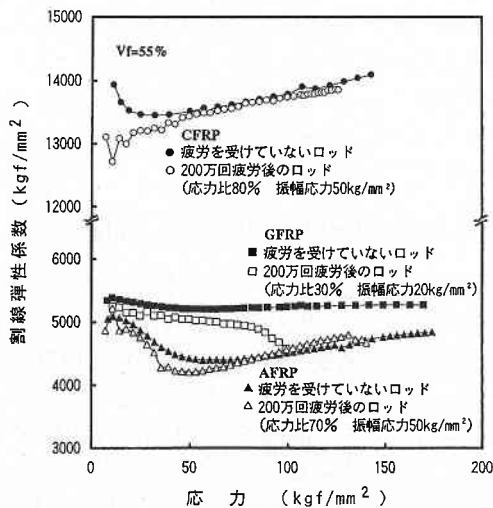


図 6 FRP ロッドの弾性係数と応力との関係

また、割線弾性係数では低い応力レベル (約 40 kgf/mm^2 まで) で多少の違いが認められるものの、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

本報告では、実験で使用した定着具の影響等を含めた実験結果をまとめると次のとおりとなる。

- 1) 各種 FRP ロッドの動的疲労限界は明らかではないが、疲労強度から見ると AFRP ロッド > CFRP ロッド > GFRP ロッドの順になることが明らかとなった。しかし、AFRP ロッドは、動的繰返し数が 100 万回近辺から疲労強度が急激に低下する傾向となる。
- 2) AFRP ロッドおよび GFRP ロッドは、疲労破壊において 2 つの破壊形態、すなわち高応力 (約 100 kg/mm^2 以上) レベルではクリープ破壊が存在し、それ以下では動的疲労による疲労破壊が存在す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。

謝 辞

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) によった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芝浦工業大学卒論生久野悟郎君に感謝の意を表す。
(1993年10月5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), 生産研究, 第42巻, 第5号, 1990. 5.
- 2) 魚本, ホドホド: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(2), 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), 生産研究, 第42巻, 第5号, 1991. 5.
- 4) ホドホド, 魚本: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(4), 生産研究, 第44巻, 第4号, 1992. 4.
- 5) 魚本, 西村, ホドホド: プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性(5), 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), 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), 生産研究, 第45巻, 第95号, 1993. 9.
- 8) 小林一輔: FRP 製プレ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.