

立命館大学理工学部 学生会員 ○小川 真生
立命館大学大学院理工学研究科 学生会員 志村 彩
立命館大学理工学部 フェロー 岡本 享久

1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート（以下、UFC）は混入した繊維がひび割れ面を架橋することで引張力を抑制する。最終的には繊維がひび割れ面から引抜け、破断を伴って破壊に至る特徴がある。近年、施工性の優れた有機繊維を土木構造物に有効活用することが検討されているが、疲労特性に関する研究事例はわずかである。そこで、本研究では、異なる3種類の有機繊維を用いた UFC 部材が繰返し荷重を受けた場合における耐疲労性能の比較検討および疲労破壊と繊維の破壊形式の関係を考察した。

2. 実験概要

圧縮試験、静的曲げ試験および引張軟化曲線の推定によりコンクリートの引張強度を算出し、各 UFC の物性を把握した後、動的曲げ試験（以下、疲労試験）を行った。さらに、供試体破断面を観察することによって、応力比の違いにおける繊維の破壊形式の変化を定量的に示した。

2.1 材料

混入繊維はポリプロピレン(PP)、アラミド(AR)、ポリビニルアルコール(PVA)の3種類とした。混入率(vol.%)は、それぞれ2.0、0.8、3.0である。PPとARはコンクリートの引張強度が同程度になるように定め、PVAは実用化されている配合に基づいて混入率を決定した。PP、ARおよびPVAの配合表をそれぞれ表-1および表-2に示す。

2.2 供試体

圧縮試験にはφ100×200mmの円柱供試体、静的曲げ試験および疲労試験には100×100×400mmの角柱供試体を用いた。角柱供試体はJCI-S-002-2003に準じて、図-1に示すように、供試体底部の中央に高さ30mmのノッチを施した。ひび割れ肩口開口変位(CMOD)の測定には、容量5mmのクリップ型変位計を使用した。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮試験

圧縮強度の平均値はPP:166.6N/mm²、AR:172.7N/mm²、PVA:189.0N/mm²となった。圧縮強度には繊維の混入量やマトリクスの緻密さが影響していると考えられる。

表-1 示方配合(PPおよびAR)

水	シリカ フューム セメント	単位量(kg/m ³)				繊維種 (長さ30mm)
		砂	高性能 減水剤	消泡剤	繊維 (vol.%)	
185	1333	990	25	25	18	PP
		1022			11	AR

表-2 示方配合(PVA)

水	単位量(kg/m ³)		
	UFC標準 配合粉体	高性能 減水剤	PVA (繊維長15mm)
178	2231	32	39

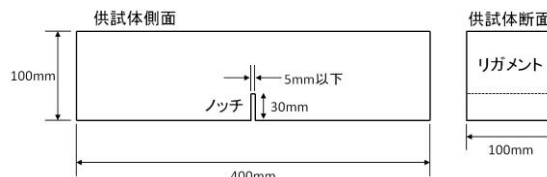


図-1 供試体概略図

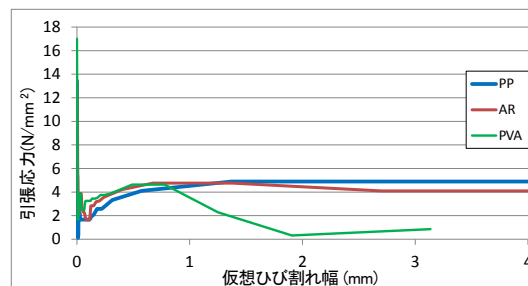


図-2 引張軟化曲線

3.2 静的曲げ試験

PP、AR、PVAの供試体をそれぞれ4体ずつ静的曲げ試験を行った。試験結果は得られた最大荷重を、切欠きを除いた高さ70mmの断面の断面係数で除して見かけ上の曲げ強度として評価した¹⁾。その結果、静的曲げ強度の4体平均値 f_m はPP:14.8N/mm²、AR:16.3N/mm²、PVA:12.9N/mm²となった。静的曲げ強度には、繊維の弾性係数、混入量および長さが関係していると考えられる。

3.3 引張軟化曲線の推定

3.2より得られた荷重-CMODの関係から逆解析を行い、図-2に示すように引張軟化曲線を推定した。マトリクスの軟化開始点となる引張強度はPP:13.4N/mm²、AR:13.5N/mm²、PVA:17.0N/mm²となった。また、ひび割れ発生後における最大引張応力はいずれも4.7~4.9N/mm²であり同程度となった。PVAはPPとARより繊維長が短

いために繊維の引抜け、破断が速く進行し、引張応力の低下も速く進行したと考えられる。

3.4 動的曲げ試験

PP, AR および PVA 供試体の上限応力 $\sigma_{\max}$ は静的曲げ強度の平均値 f_m の 85%, 70%, 55%, 40% の 4 水準, 下限応力 $\sigma_{\min}$ は全て f_m の 10% として疲労試験を行った。また、供試体が破断しない場合の上限サイクル数を 200 万回とした。疲労試験の結果を縦軸に応力比 $S = (\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / (f_m - \sigma_{\min})$, 横軸に疲労寿命をとった S-N 線図として図-3 に示す。静的曲げ試験では PP と AR 供試体が同程度の性能を示していたが、疲労試験では、疲労限界が PP および PVA 供試体は $S=0.50$, AR 供試体は $S=0.33$ の場合であり、AR 供試体が最も低くなった。図-4 に応力比 $S=0.67$ におけるひび割れ幅 - サイクル数の関係を示す。各繊維種で同一の傾向を示したので、代表の 1 体を記載している。いずれの供試体もひび割れ発生後、サイクル数が増えるにつれてひび割れ幅が徐々に拡大し、繊維長の 10% 程度に達した時に、急激にひび割れ幅が拡大し、疲労破断に至った。これより、破断時のひび割れ幅は繊維長によると言える。

PP および AR 供試体破断面における繊維の破壊形式は、写真-1 に示すように、繊維の先端が原形を留めているものを「引抜け型」、繊維の先端がちぎれてほうき状になっているものを「破断型」とした。なお、PVA 供試体は、繊維がモノフィラメントであるために区別が困難であった。よって、今後検討する。繊維の破壊形式は、繊維とマトリクスの付着性能を示している。破断型の繊維はマトリクス界面における付着破壊であり、引抜け型の繊維はマトリクス界面からの付着劣化によって生じたものであると考えられる。図-5 に示す繊維の破壊形式の割合 - 応力比の関係により、PP と AR とともに応力比が増加するにつれて、引抜け型の繊維が増加する傾向にあった。AR の疲労限界が低くなった理由として、AR は集束繊維であったために樹脂の影響で繊維が解れて破断し、PP よりも早く架橋効果が発揮できなくなり、破断が進行したと考えられる。

4. まとめ

本研究により得られた結果を以下に示す。

(1) 静的曲げ試験において、PP と AR 供試体の引張強度と静的曲げ強度が同程度の性能を示した。しかし、疲労試験では AR 供試体の疲労限界が PP および PVA 供試体よりも下回った。

(2) 繊維の破壊形式において、応力比が増加するにつれて引抜け型の繊維の割合が増加した。また、PP 供試体よりも AR 供試体の方が破断型の繊維の割合が高くなった。理由として、繊維の形状が関係しており、AR は集束繊維であったために、樹脂の影響で繊維が解れ破断する繊維の割合が PP 供試体よりも増加したと考えられる。

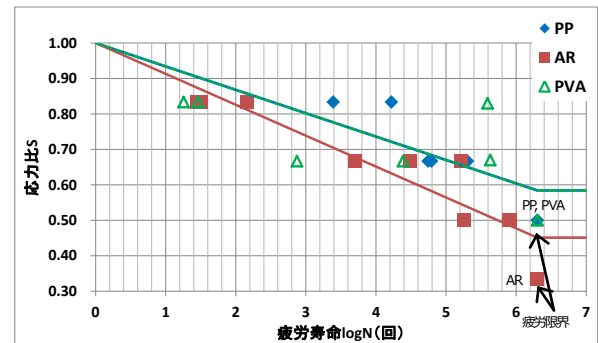


図-3 S-N 線図

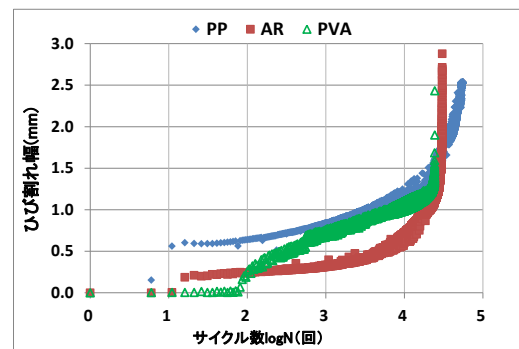


図-4 ひび割れ幅-サイクル数の関係



写真-1 繊維の破壊形式 (左 : PP, 右 : AR)

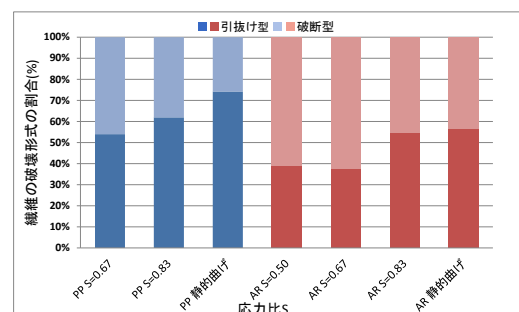


図-5 繊維の破壊形式の割合-応力比の関係

【参考文献】

1) 志村彩, 平川彩織, 稲熊唯史, 一柳昌志, 岡本享久 : 高強度繊維補強コンクリートのひび割れ発生後の引張疲労特性, 土木学会年次学術講演会, 5-258, 2014/9