

合成繊維を用いた UHPFRC の高温環境下における力学特性

鹿島建設(株) 正会員 ○渡邊有寿 一宮利通 柳井修司

1. はじめに

超高性能繊維補強セメント系複合材料 (UHPFRC) の補強繊維には鋼繊維が用いられることが多いが、ひび割れ部に架橋している繊維が露出する場合、腐食環境によっては UHPFRC の力学性能が低下する恐れがあることに留意が必要である。一方、合成繊維は、鋼繊維のように腐食の恐れはないものの、長期的には酸化、加水分解、紫外線による劣化や、環境温度による材料特性の変化 (温度依存性) が考えられ、これらが UHPFRC の性能に影響を及ぼすことが懸念される。本研究では、各種環境条件におけるマトリクス内の合成繊維の変質や劣化が UHPFRC の力学特性に与える影響を検証することを主眼に、5 年超の高温暴露などの実験的検討を行った。

2. 実験概要

(1) 供試体の製作

本研究で対象とした合成繊維は、ポリプロピレン繊維 (PP) とアラミド繊維 (AF) の 2 種である。合成繊維を用いた UHPFRC の配合を表-1 に示す。マトリクスは市販のシリカフェームプレミックス結合材と山砂などで構成される水結合材比 14.9% の超高強度モルタルである。強度試験用に 40×40×160mm (曲げ)、φ50×100mm (圧縮) 供試体を作製し、90°C・48 時間の蒸気養生を行った。これらを 105°C の乾燥炉に表-2 に示す期間存置した後に強度試験に供した。

(2) 温度依存性による影響評価(実験 I)

まず乾燥炉に 1 ヶ月間存置した供試体を取り出し、写真-1 に示す電熱線内蔵のシートヒータで供試体温度を 70°C に保持しながら曲げ強度試験 (3 等分点載荷) を行った。比較として 20°C まで冷ました供試体も試験に供した。

(3) 長期的な高温暴露による影響評価(実験 II)

供試体を乾燥炉に長期間 (最長 5 年間) 存置した後、20°C に冷ましてから圧縮および曲げ強度試験に供した。

3. 試験結果

(1) 温度依存性(実験 I)

乾燥炉に 1 ヶ月間存置した後の曲げ試験結果を表-3 (左側) に示す。供試体温度を 20°C にした状態では、PP、AF 供試体ともに 1 ヶ月の高温暴露では力学特性に変化は見られなかった。一方で、供試体温度を 70°C に保持した試験では、AF は変化が見られなかったが、PP は強度・タフネスとともに低下した。考察のために PP の素線を 70°C に保持した状態で引張試験に供したところ、引張伸びは 40~50% 増加し、引張強度は 10~15% 低下していることが確認された。

合成繊維を用いた UHPFRC の力学特性は、繊維の種類と供用時の温度によってはその温度依存性に影響を受けるこ

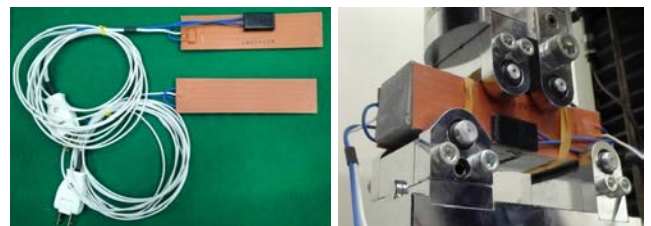


写真-1 シートヒータによる温度保持 (曲げ強度試験)

表-1 UHPFRC の配合

W/B (%)	Air (%)	単位量 (kg/m ³)					繊維 (kg/m ³) ①PP/②AF
		W 水	B 結合材	S 細骨材	SP 減水剤	DA 消泡剤	
14.9	3.0	195	1,309	914	28.8	0.65	①31.9 (3.5vol.%) ②27.8 (2.0vol.%)

W: 高性能減水剤の水分を含む

B: シリカフェームセメント, 密度 3.08g/cm³

S: 山砂, 表乾密度 2.62g/cm³

SP: 高性能減水剤, ポリカルボン酸系

①ポリプロピレン繊維

φ0.4mm, L20mm, 密度 0.91g/cm³

②アラミド繊維 (収束タイプ)

φ0.4mm, L30mm, 密度 1.39g/cm³

表-2 実験ケース (暴露条件)

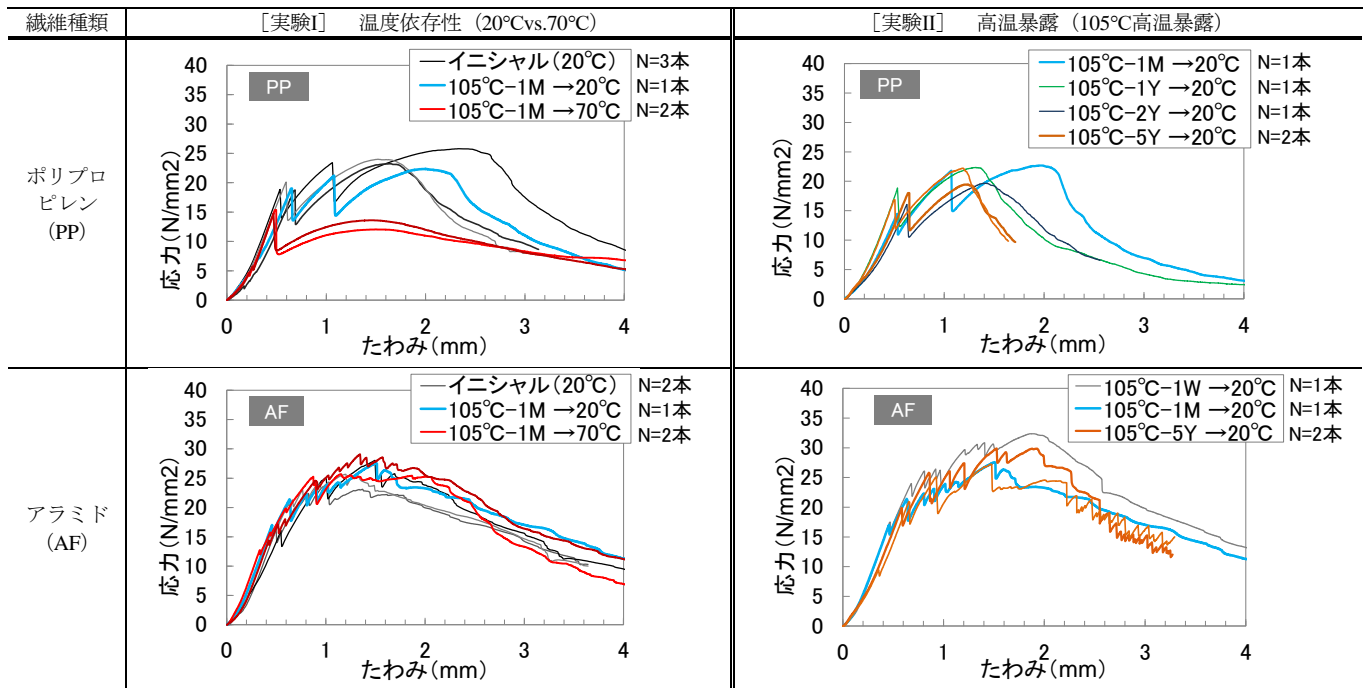
暴露期間	暴露温度 (°C)	試験時温度 (°C)	
		PP	AF
0 日	105	20	20
1 週間(1W)		—	20
1 ヶ月(1M)		20, 70*	20, 70*
1 年(1Y)		20	—
2 年(2Y)		20	—
5 年(5Y)		20	20

*: シートヒータによる加温・温度保持
→温度依存性の評価 (実験 I)

キーワード: UHPFRC, 合成繊維, 高温暴露, 温度依存性, 曲げ特性

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

表-3 温度依存性および高温暴露の影響（曲げ強度試験）



とが本実験により示された。

(2) 高温暴露(実験II)

曲げ強度試験に先立ち、それぞれの暴露期間で圧縮強度を確認した結果、蒸気養生直後（イニシャル値）から5年間で、PPは132N/mm²から171N/mm²、AFは146N/mm²から198N/mm²へと、およそ40~50N/mm²増進しており、高温乾燥条件においてもセメントの水和が進行していることが確認された。

UHPFRCはその緻密性から乾燥環境でも細孔中の水分が消失しにくく、未水和セメントが長期的に反応したと推察される。一方、断面にフェノールフタレインを噴霧すると全面的に呈色されたため（写真-2）、高温かつアルカリが繊維に作用している状態であった。

曲げ強度試験の結果を表-3（右側）に示す。PPは存置期間によらずピーク強度は明確に低下していないが、タフネスは低下する傾向を示した。考察のためにPPの素線を135°Cで約7ヶ月暴露し、引張強度の保持率を確認した。

これをアレニウス則よって105°C（本実験）と20°C（常温）の相当年に換算すると、105°C-5年時の保持率が85%程度まで低下していると推測され（図-1）、UHPFRCのタフネス低下の一因と考えられた。ただし、20°C換算では素線強度は100年以上保持されるため、常温環境ではUHPFRCの力学特性に与える影響は無視できるほど小さいと判断された。

AF供試体については力学特性に明確な変化は確認されなかった。AFは高温とアルカリ作用による加水分解²⁾による劣化が懸念されたが、モルタル内の繊維は健全であったと判断された。

4. おわりに

ポリプロピレン繊維（PP）とアラミド繊維（AF）を用いたUHPFRCについて、長期的に高温作用を与えてその影響を検証した。PPについては荷重が作用する時の環境温度が高いと繊維の温度依存性（軟化）が影響して曲げ靱性が小さくなるが、一般的な常温環境では長期的に健全性が保たれ、UHPFRCの力学特性にも影響がないことを確認した。また、AFについては、温度依存性もなく高温環境下でも長期間力学特性が保持されることを確認した。

参考文献

- 1) 岩井ら：高温暴露が短繊維補強セメント系材料の力学的性質に及ぼす影響，土木学会第70回年次学術講演会，pp.1261-1262，2015。
- 2) 西村ら：高温環境下における各種繊維の引張強度特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20，No.2，pp.265-270，1998。



写真-2 硬化体のアルカリ保持確認（フェノールフタレイン噴霧）

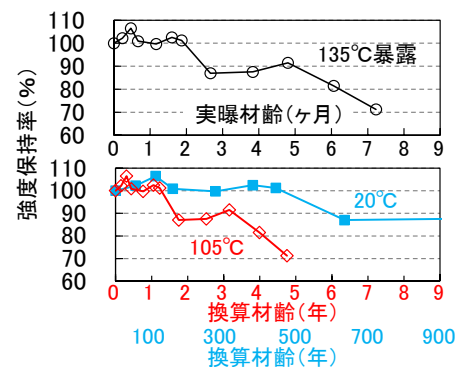


図-1 PP素線の強度保持率