

連続繊維補強材によるコンクリート構造物の補強

アラミドFRPロッド

技術資料

ITBS研究会

1. はじめに

アラミド FRP ロッドとは、高機能繊維であるアラミド繊維（商品名：ケブラー®、テクノーラ®）に樹脂を含浸し硬化させた棒状の材料（AFRP：Aramid Fiber Reinforced Plastic）であり、コンクリート補強用の鉄筋やプレストレス緊張材の代替材料として開発されたものである。高引張強度・軽い・錆びない等従来の鉄筋にない優れた特性を持っている。また、非電導性・非帯磁性・電波透過性等、電気・磁気特性をコントロールすることも可能である。このため、AFRP ロッドを補強筋として用いることによりコンクリート構造物の耐久性や電気・磁気特性を改善することができる。

棒状の AFRP ロッドには写真 1.1 に示すようにケブラー®を組紐状に編み、エポキシ樹脂を含浸、硬化させた製品（以下、ケブラー®ロッドと呼ぶ。）と写真 1.2 に示すテクノーラ®にビニルエステル樹脂を含浸させ、引抜成形した製品（以下、テクノーラ®ロッドと呼ぶ。）の 2 種類がある。

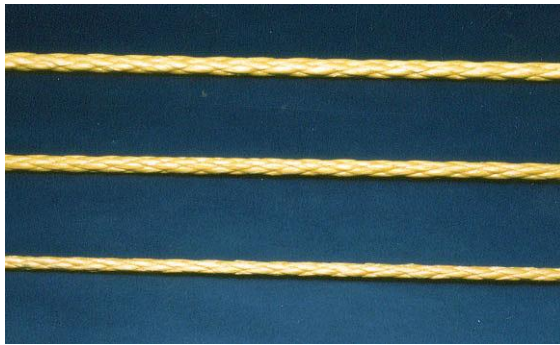


写真 1.1 ケブラー®ロッド



写真 1.2 テクノーラ®ロッド

アラミド繊維は分子構造的には衣料用ナイロンと同じ仲間に属し、正式にはパラ系全芳香族ポリアミド繊維と呼ばれている。アラミド繊維は高強度・高弾性率で優れた寸法安定性を有している。また、耐衝撃性や耐切削性にも優れ、かつ高い耐熱性・耐炎性・耐薬品性を有している。しかも、有機繊維特有のしなやかさを有しているため、繊維そのものとしてのみならず、コンポジット補強用繊維としても広く使用されている。繊維の状態で使用される用途としてタイヤなどのゴム資材の補強、ロープ・コード、手袋や消防服などの防護衣料などがある。また、複合材料として使用される用途として、光ファイバーケーブルのテンションメンバー、航空機部材などがある。さらに、短繊維の用途として電子基板材料、ブレーキ材料やフェルトなどがある。このように、各種産業用素材として、実に広く用いられてきた。この結果として、アラミド繊維はいわゆる高機能繊維として全世界で最も多く生産され、使用されている。

2. AFRP ロッドの種類と規格

2.1 ケブラー®ロッド

表 2.1 ケブラー®ロッドの標準仕様

呼び名	3mm	5mm	7mm	9mm	11mm	13mm	15mm
公称直径 (mm)	2.7	5.7	7.8	9.3	11.0	13.7	15.7
公称断面積 (mm ²)	5.7	25.5	47.8	67.9	95	147	193
単位重量 (g/m)	6.4	32	58	84	115	173	226
保証耐力 (kN)	7.8	32	60	85	112	172	225
ヤング係数 (GPa)	68.6						
破断伸び (%)	1.6						

表 2.2 ケブラー®繊維の材料特性

密度 (g/m ³)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (GPa)	破断伸び (%)
1.45	3,000	112.4	2.4

2.2 テクノー®ラロッド

表 2.3 テクノーラ®ロッドの標準仕様

呼び名	3mm	6mm	7.4mm	10mm	13mm
公称直径 (mm)	3.23	6.43	7.88	10.7	13.1
公称断面積 (mm ²)	8.2	32.5	48.8	90.1	135
単位重量 (g/m)	10.1	41.6	64.0	112.0	171.0
保証耐力 (kN)	14.3	56.9	81.4	136.0	205.0
ヤング係数 (GPa)	53				
破断伸び (%)	3.6				

表 2.4 テクノーラ®繊維の材料特性

密度 (g/m ³)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (GPa)	破断伸び (%)
1.39	3,430	73.0	3.7

3. 付着特性

3.1 ケブラー®ロッド

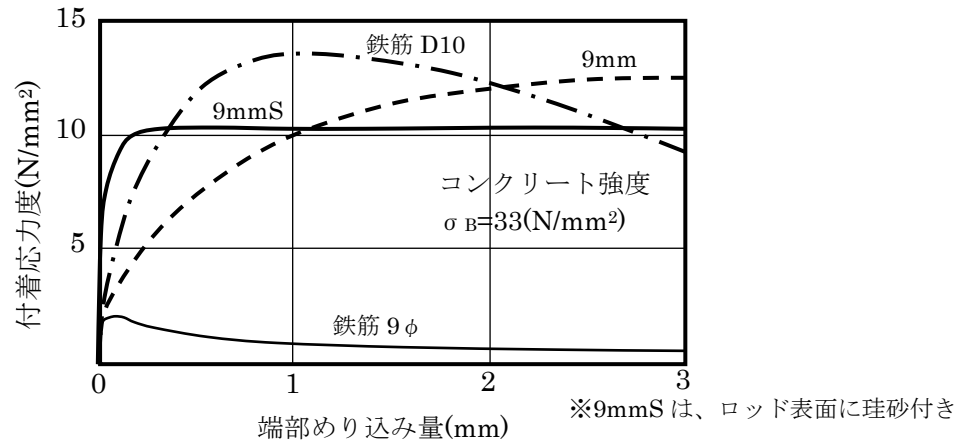






図 3.1 付着特性

3.2 テクノラー®ロッド

表3.1 「テクノラー®ロッド」のコンクリート付着力

	AFRPロッド (1本)	AFRPロッド (3本分散)	AFRPロッド (3本収束)	P C 鋼より線 (1×7)
自由端すべり量	応力 N/cm ²			
0.05mm	1176	1372	1411	402
0.10mm	1323	1411	1460	421
0.25mm	1431	1529	1539	431
最大付着応力	1499	1558	1646	578
形状				
試験体規格	1 φ 6 mm	3 φ 6 mm	3 φ 6 mm	1 φ 12.4mm
表面積 cm ²	28	85	71	154
供試体長 cm	15	15	15	30

4. 曲げ加工部の引張強度

4.1 ケブラー®ロッド

表 4.1 供試体の種類

No.	径	種類	曲げ内直径 D(mm)
1	8mm	アラミド	32
2	6mm	アラミド	24
3	8mm	アラミド	24
4	10mm	アラミド	24
5	6mm	アラミド	24
6	8mm	炭素	32

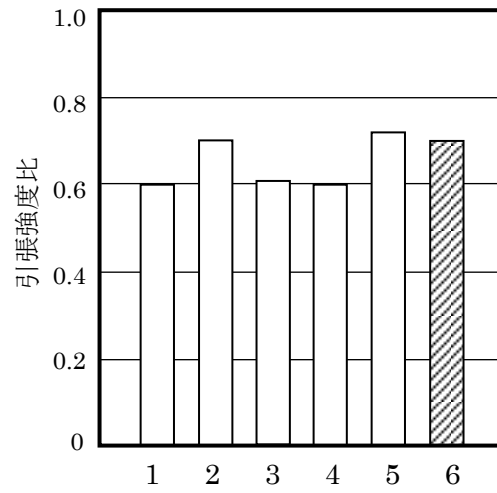


図 4.1 曲げ加工部の引張強度の平均

5. 耐熱性

5.1 ケブラー®ロッド

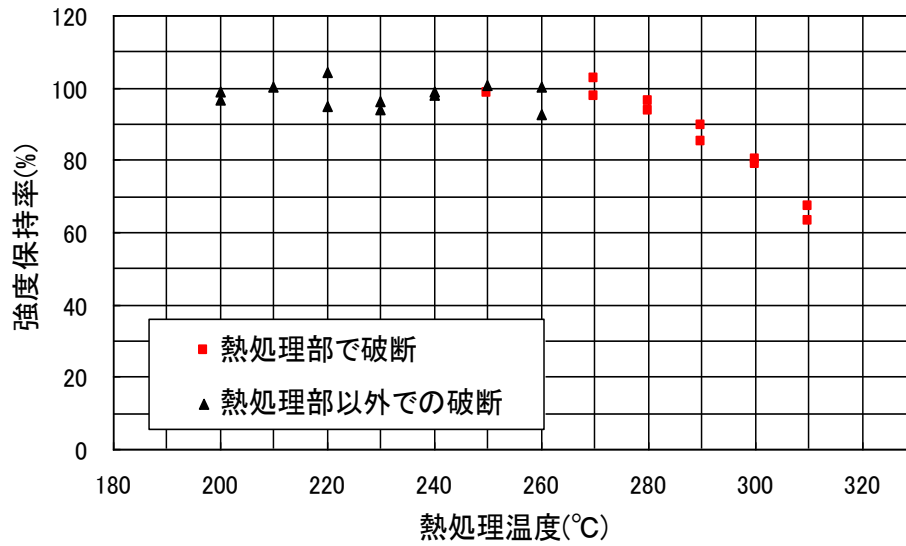


図 5.1 耐熱特性

5.2 テクノラ®ロッド

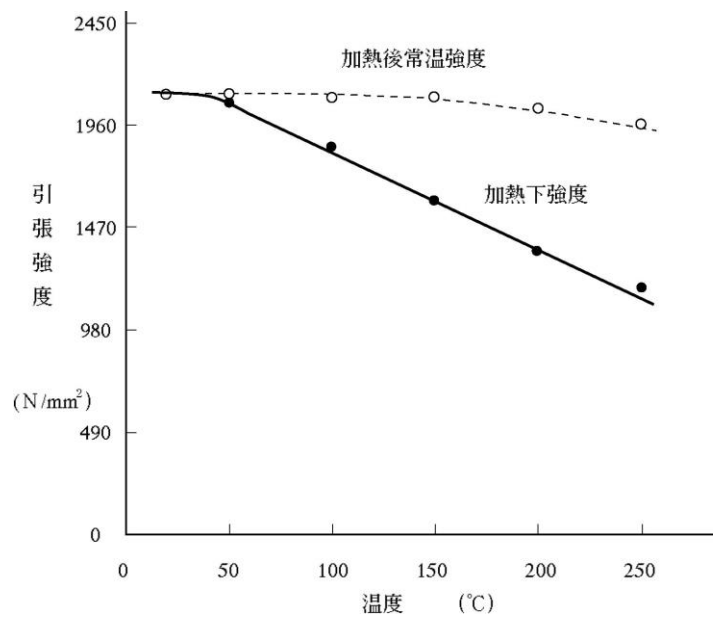


図 5.2 耐熱特性

6. 耐アルカリ性

6.1 ケブラー®ロッド

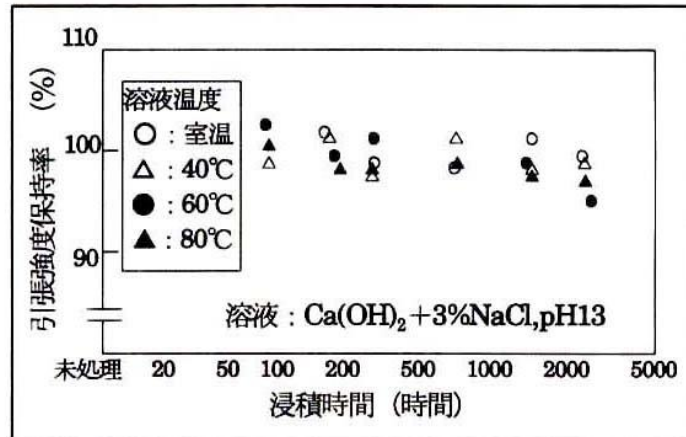


図 6.1 耐アルカリ

6.2 テクノラ®ロッド

表6.1 「テクノラ®ロッド」の耐水、耐アルカリ性

浸漬液	緊張力 (N/mm ²)	経時後の強力保持率(%)			
		40日	90日	200日	400日
水	0	92	102	100	100
海水	0	100	103	100	100
2g/l NaOH aq.	0	100	98	100	98
1g/l Ca(OH) ₂ //	938	100	99	101	—

ロッド : φ 6 mm
 浸漬温度 : 60°C
 引張強度 : 鋼製楔、試験長300mm、常温

7. 耐候性

7.1 ケブラー®ロッド

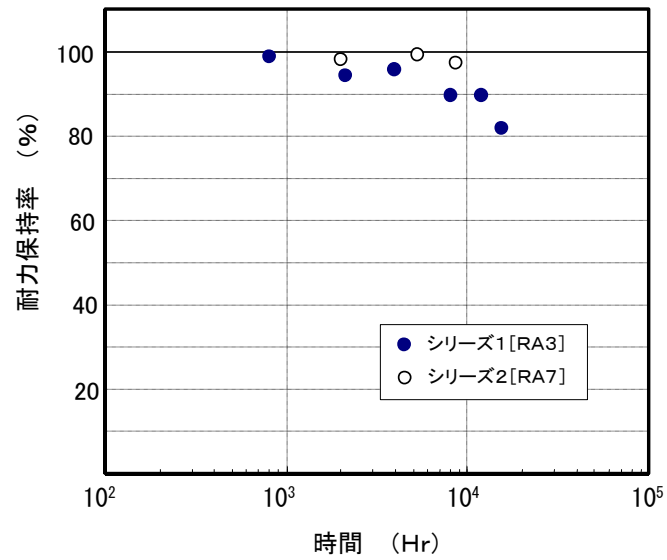


図 7.1 暴露時間と引張耐力保持率の関係

7.2 テクノラ®ロッド

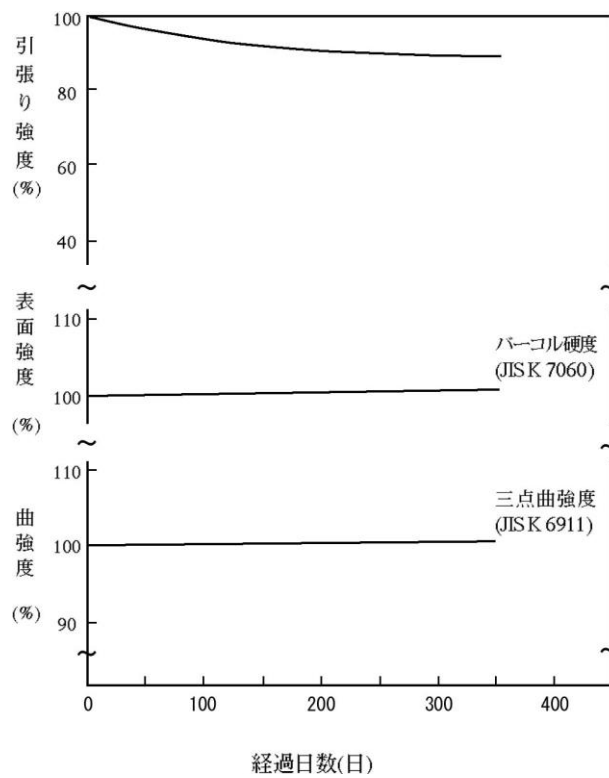


図 7.2 耐候性

8. その他の耐薬品性

表 8.1 耐薬品性試験結果

薬品名	重量変化率 (%)	引張強度保持率 (%)	薬品名	重量変化率 (%)	引張強度保持率 (%)
NaClO (5%)	-0.73	95	H ₂ SO ₄ (30%)	1.46	80
Ca(OH) ₂ (飽和)	-0.26	96	H ₂ SO ₄ (10%)	1.38	85
人工海水 (全体浸漬)	-0.10	100	トルエン	-0.36	96
			トリクレン	0.61	93
人工海水 (半分浸漬)	-0.20	93	ジメチル ホルムアミド	1.53	99
灯油	-0.09	93			

9. 電気抵抗

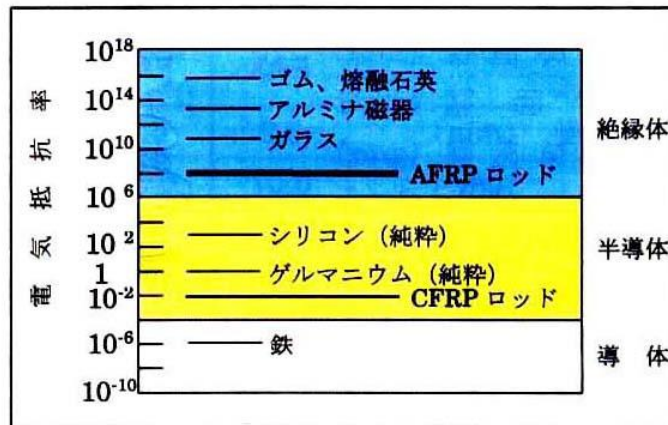


図 9.1 電気抵抗

表 9-1 電磁気特性

補強繊維	単位	アラミド	カーボン	ガラス	ビニロン
体積抵抗率	Log[Ω·cm]	>15.0	5.7	>15.0	14.2
絶縁破壊電圧	kV/mm	20.9	*	17.6	15.3
誘電率	—	3.9	*	5.1	5.0
電磁遮へい性	dB	0	45	0	0

Vf=50±5%

樹脂：エポキシ系

*) 電導性のため測定不可