

(115) 連続繊維緊張材の長期特性に関する研究

住友建設(株)大阪支店 正会員○ 安藤 直文
 川田建設(株)大阪支店 正会員 松川 治雄
 極東工業(株)技術本部 正会員 中田 順憲
 ドーピー建設工業(株)大阪支店 正会員 鈴木 亮介

1. はじめに

連続繊維緊張材は軽量、高強度、非磁性、非腐食性など様々な特徴を持った新しい構造材料である。このような材料を橋梁の補強材として用いる場合、引張応力度の限界値を決定するために重要な要因となる、材料の長期的基礎性状を明らかにしておく必要がある[1]。本研究では、クリープ破壊に関する長期特性を把握し、引張り強度の設計基準値を設定することを目的として、市販されている代表的な炭素系連続繊維緊張材(以下CFRPと略称)およびアラミド系(以下AFRPと略称)を対象としたクリープ破壊試験を実施し、クリープ破壊時間と載荷荷重との関係を検討した。

2. 実験概要

実験に使用した連続繊維緊張材の主要諸元を表-1に示す。供試体の定着には保証荷重を定める際に適用したのと同じ構造の付着型定着体を用いた。

表-1 連続繊維緊張材の諸元

緊張材	CFRP		AFRP	
繊維材	PAN系		パラ系	
繊維結合材	変形エポキシ樹脂		ビスフェノール型エポキシ樹脂	
形状	より線状		組み紐状	
呼び径	φ12.5	φ5	φ14.7	φ5
有効断面積	76 mm ²	10.1 mm ²	170.0 mm ²	21.0 mm ²
保証荷重	14.5 tf	1.8 tf	24.0 tf	3.2 tf

設定した載荷荷重は、各緊張材の静的引張り強度の平均

[2]

値に対する比(載荷荷重比)で示す。限られた実験期間でできるだけ多くの有効なデータを採取するため、1供試体の実験時間を24時間程度に制限し、その範囲でクリープ破壊すると考えられる載荷荷重比を設定し、1載荷荷重比につき10体程度の実験を行った。試験方法は、土木学会「連続繊維補強材のクリープ破壊試験方法(試案)」を準用し、室内常温にて、各載荷荷重比に対するクリープ破壊時間を測定した。[3][4][5]

表-2 クリープ破壊時間
(紙面の都合上一部のみ掲載)
AFRP φ15

載荷荷重比	破壊時間	備考
0.89	1.63	破壊
	4.70	〃
	6.05	〃
	10.50	〃
	11.50	〃
	12.55	〃
	24.00	打ち切り
	24.00	〃
	24.00	〃
0.93	0.40	破壊
	2.23	〃
	6.23	〃
	6.40	〃
	7.75	〃
	8.19	〃
	9.50	〃
	10.70	〃
	15.56	〃

3. 実験結果及び考察

(1) 実験結果

緊張材の径および載荷荷重比ごとの実験データ数を表-2, 3に示す。ここで、瞬時切れとは、載荷中に破断した供試体、すなわち静的引張り強度が低くクリープ破壊しなかった供試体を示す。打ち切りとは、計測時間中にクリープ破壊しなかった供試体で、クリープ破壊の時間的ばらつきにより計測できなかった供試体を示す。

(2) 生存確率とクリープ破壊時間

順序統計量の正規分布を採用した場合の生存確率とクリープ破壊時間の関係をAFRPについて図-1に、CFRPについて図-2に示す。ここで、生存確率とはクリープ破壊の時間軸上での分布を示し、グラフの勾配は生存確率の時間変化量であり、すなわち故障率を表す。[6] [7]

AFRPでは、生存確率とクリープ破壊時間 (Log T) との関係はほぼ直線に回帰できることから、生存確率は載荷時間の対数に対して正規分布すると言える。また、図-3より回帰直線の勾配は載荷応力比および径の差に依らず-0.6でほぼ一定であることから、クリープ破壊の時間的分布は載荷荷重比によらずほぼ同一であると言える。さらに、時間 (Log T) 上における各載荷荷重比のなす回帰直線は、載荷荷重比に比例して降順に並ぶので、クリープ破壊時間 (Log T) と載荷荷重比は比例することがわかる。ここで、径の異なるφ15とφ5を比較した場合、同一載荷荷重比で両者の回帰直線はほぼ重なる。従って、載荷荷重比をパラメーターとすれば、クリープ破壊特性には径の違いによる影響は小さいと考えられる。

同様にCFRPについて、生存確率とクリープ破壊時間の対数の関係がほぼ直線回帰できること、その勾配が載荷応力比および径の差に依らず-0.2程度ではほぼ一定であることから、各載荷荷重比に対するクリープ破壊時間の分布形はほぼ同一の正規分布であるといえる。しかし、其の供用年数に対してCFRPのクリープ破壊の時間的分布幅が非常に広いこと、また今回の実験における載荷荷重比の水準が高レベルで接近しすぎていることから、より低い載荷荷重比での実験結果を得た後、再検討する必要がある。

表-3 載荷応力比, 供試体数

	径	載荷 応力比	供試体数		
			瞬時切れ	破断	打切り
AFRP	φ15	0.93	0	9	0
		0.91	0	10	2
		0.89	0	9	3
		0.94	0	11	0
	φ5	0.91	0	12	0
		0.89	0	9	2
CFRP	φ12.5	0.83	0	15	0
		0.92	0	4	0
		0.91	0	3	0
	φ5	0.90	0	4	0
		1.04	13	7	0
		1.03	10	10	0
		1.01	8	8	4

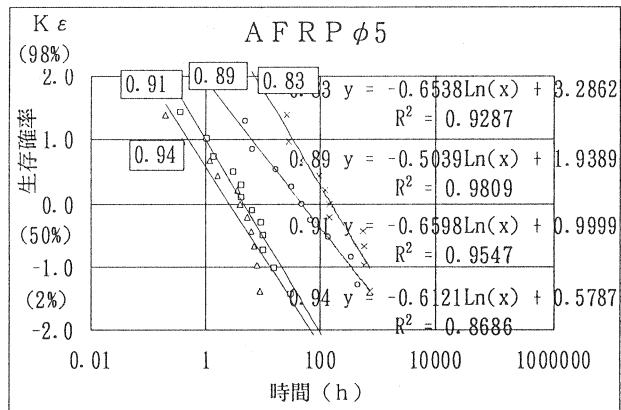
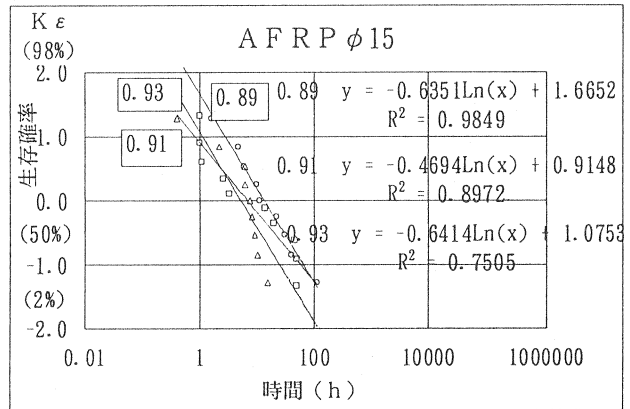


図-1 生存確率 (AFRP)

(3) 載荷応力比とクリープ破壊時間

載荷応力比とクリープ破壊時間との関係をAFRP, CFRPについて図-4に示す。

AFRPでは載荷荷重比とクリープ破壊時間 (Log T) との関係は, φ15, φ5ともほぼ同一の直線に回帰される。従って, 径の差によるクリープ破壊時間の違いはないものと考えられる。

CFRPではクリープ破壊の時間的分布が瞬時近傍から 1,000,000時間の範囲におよびAFRPに比べて非常に大きいこと, 本研究の高いレベルの載荷荷重比 (0.9P以上) では瞬時切れが多く, この結果のみで長期のクリープ破壊を論ずることは難しく, その下限値を推定することが困難である。しかし, 載荷荷重比とクリープ破壊時間のなす回帰直線の勾配が緩やかなため, 緊張力の設計基準値に与える影響はAFRPよりも少ない。

(4) クリープ破壊強度

本研究結果から, 緊張材の引張り強度の設計基準値設定の1要因であるクリープ破壊の限界値が推定できる。載荷荷重比とクリープ破壊時間とのなす回帰式より50年後の値を考えると, AFRPで0.66P (50%生存), 0.58P (98%生存), CFRPで0.79P (50%生存) となる。ここでPは静的平均強度である。

4. まとめ

本研究から以下の知見を得た。

1) 平均荷重に対して約80から100%の載荷荷重比ではクリープ破壊が生じ, また, その破壊時間はばらつくため確率統計的な取り扱いが今後有効な手段と思われる。

2) AFRP, CFRPは, 生存確率の時間変化率 (故障率) は, 径および載荷応力比によらずほぼ同一の対数正規分布をなす。

3) AFRPは, 径の違いによるクリープ破壊時間の差はなくほぼ一定であり, 載荷荷重比とクリープ破壊時間の対数は比例する。

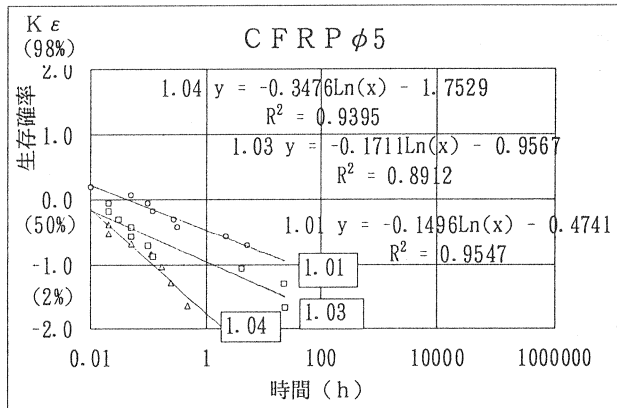
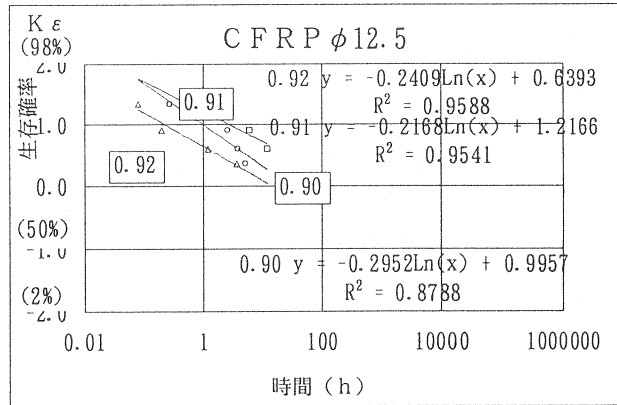


図-2 生存確率 (CFRP)

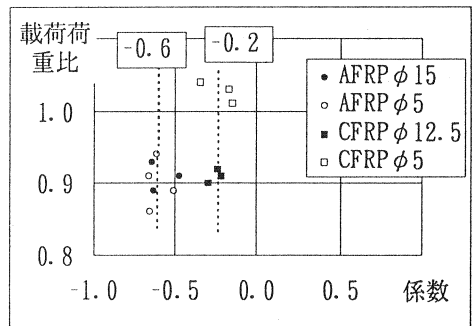


図-3 生存確率の勾配

4) CFRPは、AFRPよりもクリープ破壊の時間的分布が大きい。また、より高荷重域で生じる。

今後の課題として、今回の結果から推定される、実験可能な長期クリープ破壊に対応する載荷荷重比をより多くのデータの蓄積を行う必要がある。

以上の研究は、阪神高速道路公団「コンクリート構造物の耐久性に関する調査研究委員会」の研究業務の一環で行われたものであり、同委員会委員各位には多大な御指導を頂いた。また、東京製綱(株)ならびに神鋼鋼線工業(株)には供試体の提供や実験に多大な協力を頂いた。ここに記して謹んで謝意を表します。

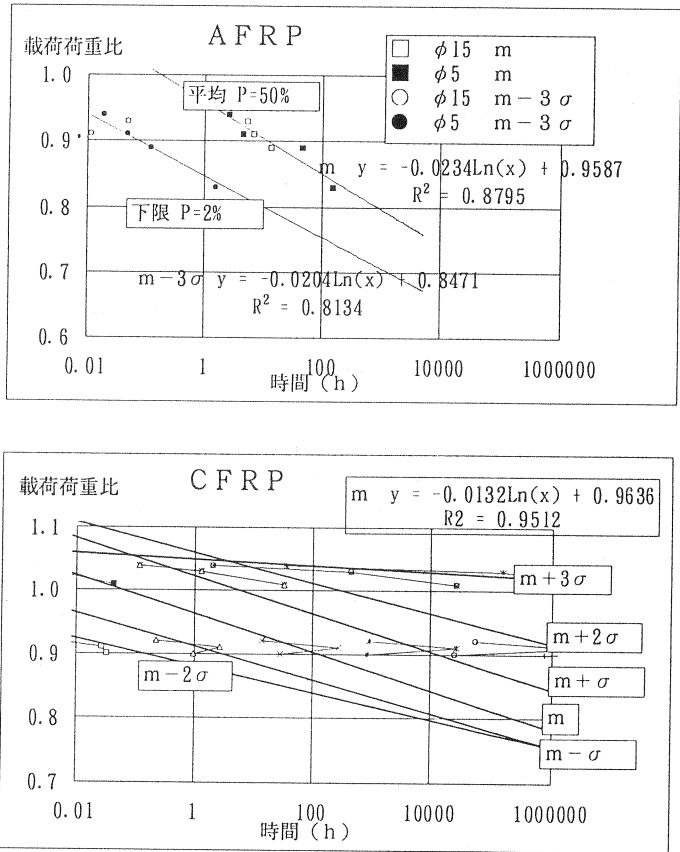


図-4 載荷荷重とクリープ破壊

【参考文献】

- [1] 西村ら：FRPロッドのクリープ破壊に関する基礎的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 17, No.1, 1995
- [2] PC構造物の補修・補強に関する検討業務報告書，阪神高速道路公団，1995. 3
- [3] 連続繊維補強材クリープ破壊試験方法（試案），土木学会コンクリート委員会資料
- [4] 連続繊維補強材のコンクリート構造物への適用，コンクリートライブラリー72，土木学会
- [5] コンクリート標準示方書，土木学会，平成8年
- [6] 井上ら：コンクリートの圧縮疲労特性と疲労強度の特性値に関する研究，土木学会論文集 No. 451/V17, pp59-67, 1992. 8
- [7] 塩見ら：日科連信頼性工学シリーズ4，1991. 8