

繊維強化複合材料製プレストレストコンクリート用 緊張材の開発研究 (そのII)

Study on Fiber Reinforced Plastics Tendons for Prestressed Concrete (Part II)

小 林 一 輔*・趙 力 采*・西 村 次 男*

Kazusuke KOBAYASHI, Ryokche CHO and Tsugio NISHIMURA

1. は し が き

筆者らは、近年問題となっている海洋環境下のプレストレストコンクリート構造物の緊張材（高張力鋼）の塩分腐食による劣化の抜本的な防食策として、高張力鋼とほぼ同等の引張耐力をとりあげ、これを実用化するための種々の検討を行って来ている。

第1報¹⁾では、FRPが一方方向にのみ強化されているため、これに引張力を加えた場合、つかみ治具部分で圧縮およびせん断応力により破断しやすいという問題点を検討し、2つ割りクサビと外筒管からなる圧縮摩擦型チャックを開発した。さらに、このチャックを使用して、ガラス繊維、アラミド繊維および炭素繊維を用いて、ブルルーション法により製造した3種のFRPロッドの引張特性の温度依存性ならびに常温(20°C)でのリラクセーション試験を実施した。その結果、いずれのFRPロッドも現在の高張力鋼とほぼ同等以上の引張耐力を有することを確かめるとともに、常温での純リラクセーション率が約14%であることを報告している。

本報告では、気温ならびに日射等による温度上昇を想定した環境温度60°CでのFRPロッドのリラクセーション試験およびポストテンション部材に適用した場合の有効プレストレストと見掛けのリラクセーション率をPC鋼線を用いた場合と比較検討した結果を報告する。

2. 高温時におけるリラクセーション

2.1 実験方法

本実験で使用したFRPロッドはアラミド繊維を容積百分率で63.5%および70%使用し、ブルルーション法によって製造した直径が約6mmのAFRPロッドであり、マトリックスはアクリルエポキシ樹脂である。また、PC鋼線は直径が約5mmで、降伏応力が176kg/mm²、10hourリラクセーション値が1.3%のJISG 3536規格品である。なお、AFRPロッドとPC鋼線の引張強度、弾性係数等の諸元は表-1に示すとおりであり、AFRP

ロッドの場合、繊維量と環境温度により引張強度が相違する。

リラクセーション試験は環境温度を60±2°Cとし、AFRPロッドの初期荷重は表-1に示す2種の繊維量でそれぞれ60°Cにおける最大引張荷重の70%、80%および90%に相当する荷重として、各2本づつ実施した。試験機のつかみ装置間の距離は300mm(直径の50倍)とし、引張荷重の変化はリラクセーション試験装置に内蔵されたロードセルによって検出し、一定時間ごとに自動記録した。写真-1は恒温室内に設置した架台に載せた状態

表-1 AFRPロッドとPC鋼線の諸元

種 別	直径 (mm)	引張強度 (kg/mm ²)		ヤング率 (kg/mm ²)
		20°C	60°C	
AFRP	Vf=63.5%	152	132	4100
	Vf=70%	173	150	
PC鋼線	4.97	192		20000

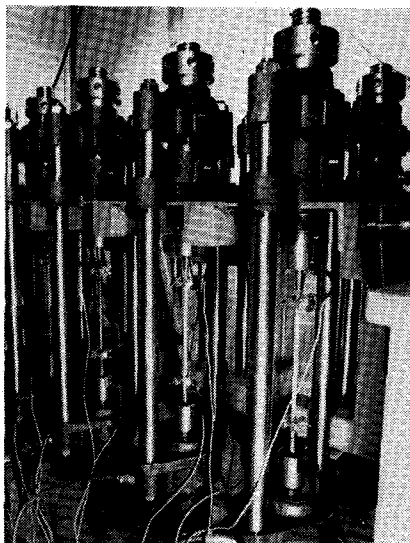


写真-1 リラクセーション試験状況

* 東京大学生産技術研究所 第5部

研究速報

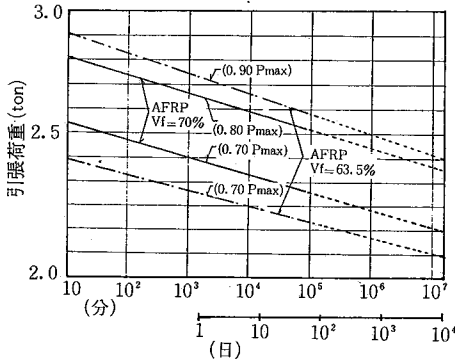


図-1 AFRP ロッドのリラクセーション試験による引張荷重と時間との関係 (60°C)

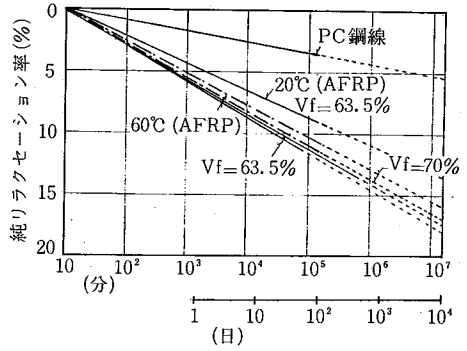


図-2 AFRP ロッドの純リラクセーション率と時間との関係 (60°C)

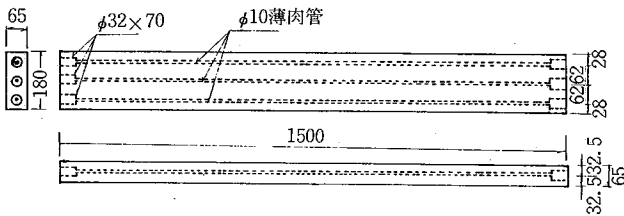


図-3 実験に用いたポストテンション方式用コンクリート試験体

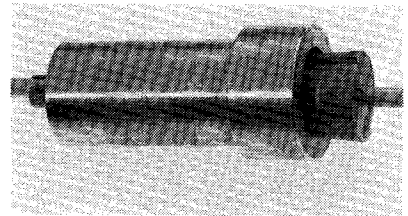


写真-2 FRP ロッド用チャック

の各リラクセーション試験装置を示したものである。

2.2 試験結果

図-1 および図-2 は 60°C条件下において最大引張耐力の70%から90%の初期荷重をかけた AFRP の約3ヶ月間のリラクセーション試験から得られた引張荷重と時間 (対数表示) および純リラクセーション率と時間との関係である。

これらの図から明らかなように、60°Cの場合でも AFRP ロッドの引張荷重と時間 (対数表示) との関係はいずれも直線関係になる。前報の常温時の場合と同様に、この関係が30年後までも成立すると仮定した場合のリラクセーション率の推定値は AFRP の場合約17%である。常温時の場合と比較すると、図-2 に一例を示したように、常温時の場合63.5%の AFRP ロッドの常温時 (20°C) でのリラクセーション率が約14%であるのに対して60°Cの場合の値は約17%とやや大きな値となっている。また、繊維量が70%に比し63.5%の AFRP ロッドのリラクセーション率がやや大きい値を示している。これらの結果より、アラミド繊維は温度範囲が20°Cから60°Cではほぼ安定したリラクセーション特性を示しているが、引張特性と同様に温度依存性を有していることが明らかである。なお、繊維量の影響に関しては繊維量の小さいものほどマトリックスである合成樹脂の量が多

く、温度の影響を受けやすいためと考えられる。

一方、図-2 に比較対象として、PC 鋼線の60°Cにおける結果を示したが、常温時の場合と同様に AFRP に比し非常に小さい値であった。

3. FRP ロッドの見掛けのリラクセーション率

3.1 実験方法

FRP ロッドの見掛けのリラクセーション率を求めるため、表-1 に示す諸元の AFRP ロッドと PC 鋼線を用いたポストテンション部材による比較実験を行った。

応力導入用コンクリート試験体は図-3 に示すような6.5×18.0 cm 断面で、長さ150 cm の寸法であり、一試験体当たり3本の緊張材を緊張できるようにした。なお、試験体製作に用いたコンクリートの配合は、材令28日における圧縮強度が400 kg/cm²以上となるように定めた。

シースとしてφ10 mm の薄肉黄銅管を試験体板厚の中心に3本配置し、両端部に緊張および定着用チャック外筒管 (写真-2) が挿入できるように、φ32×70 mm の中空部を確保できる薄肉黄銅管を配置した後、コンクリートを打設した。AFRP ロッド用2本と PC 鋼線用1本の合計3試験体を作製し、屋外で材令3週まで湿布養生を行い、その後空中放置した。コンクリートの圧縮強度とヤング率の材令との関係を示したものが図-4 である。

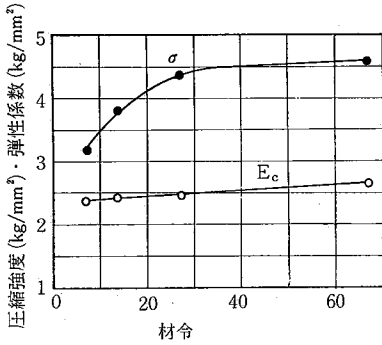


図-4 使用したコンクリートの圧縮強度、弾性係数と材令との関係

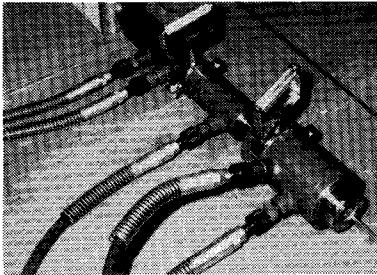


写真-3 FRP ロッド緊張および定着用センターホールジャッキ

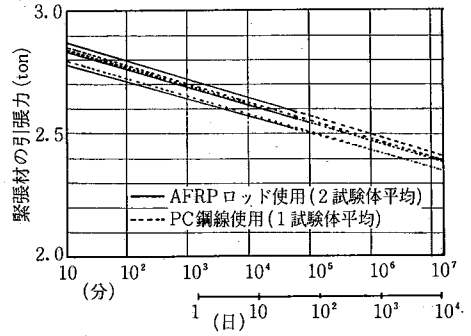


図-5 AFRP ロッドおよびPC 鋼線を用いた場合の緊張材引張荷重と時間との関係

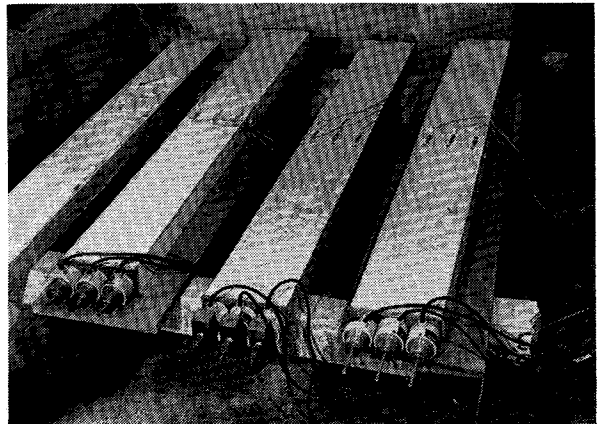


写真-4 屋外試験状況

プレストレスの導入は、材令 28 日で圧縮強度が 440 kg/cm²、ヤング率が 249,000 kg/cm²の時点で、プレストレスによるコンクリートの応力度が 70~80 kg/cm²の範囲に入ることを目標として実施した。緊張および定着作業は、AFRP ロッドの場合、緊張側に試験体断面と同一の寸法で厚さ 12 mm の鋼板を配し、3 個の緊張用孔(径 32 mm の円孔)に緊張用チャックを装填し、写真-3 に示すセンターホールジャッキで所定の緊張力を与えた後、定着用チャックの内部コアを押込んで定着した。PC 鋼線の場合は、緊張および定着用チャックとも同一の二つ割チャックを使用して同様な手順で行った。荷重の変化はセンターホール型ロードセルによって検出し、一定時間毎に測定した。写真-4 は屋外試験状況を示したものである。

3.2 試験結果

図-5 は、プレストレス導入後 7 カ月間の結果に基づく AFRP ロッドおよび PC 鋼線を緊張材として用いたポストテンション PC 試験体における緊張材の引張力の減少を示したものである。なお、この引張力の減少には

コンクリートのクリープ、乾燥収縮ならびに緊張材のリラクセーションによるものが全て含まれていることになる。

この図から明らかのように、AFRP ロッドおよび PC 鋼線のいずれの場合にも、緊張材の引張荷重と対数で表示した時間とをほぼ直線で近似することができる。この関係が 30 年後まで成立すると仮定した場合の緊張材およびコンクリートのプレストレスの値を表-2 に示す。表-2 に示すように、30 年後に残留するプレストレスと初期プレストレスとの比、すなわち有効比は、PC 鋼線および AFRP ロッドを用いたいずれの場合も 0.84 である。一般に PC 鋼材を用いた場合、有効比はポストテンション方式で 0.85 程度であるといわれているが、本実験の結果もほぼ同じ値となっている。以上のことから、AFRP ロッドの場合にも PC 鋼線と同等の有効比となることが明らかである。

一方、本実験では、試験体のクリープおよび乾燥収縮による変形を別途求めてはいないので、この結果だけでは AFRP ロッドの見掛けのリラクセーション率を求め

研究速報

表-2 図-5の結果から求めた緊張材とコンクリートの応力度

種別	緊張材引張応力度 (kg/mm ²)		コンクリートプレストレス (kg/cm ²)		
	初期	30年後	初期	30年後	有効比
PC鋼線	144	121	74.5	62.3	0.84
AFRP ロッド	119	100	74.3	62.3	0.84

ることができない。そこで土木学会「プレストレストコンクリート標準示方書」(昭和53年制定)に示されている次式を用いて見掛けのリラクセーション率を求めた。

$$\Delta\sigma_p = \Delta\sigma_{pc} + \gamma \cdot \sigma_{pt}$$

ただし、 $\Delta\sigma_p$: 緊張材引張力の減少量

$\Delta\sigma_{pc}$: コンクリートのクリープおよび乾燥収縮による緊張材引張応力の減少量

γ : 緊張材の見掛けのリラクセーション率

なお、
$$\Delta\sigma_{pc} = \frac{n\phi(\sigma_{cd} + \sigma_{cpt}) + E_p \cdot \epsilon_{cs}}{1 + n(\sigma_{cpt}/\sigma_{pt}) \cdot (1 + \phi/2)}$$

ϕ : コンクリートのクリープ係数

σ_{cd} : 永久荷重によるコンクリートの応力度

σ_{cpt} : プレストレッシング直後のプレストレス

ϵ_{cs} : コンクリートの乾燥収縮度

σ_{pt} : プレストレッシング直後の緊張材の引張応力度

E_p : 緊張材のヤング率

E_c : コンクリートのヤング率

n : E_p/E_c

ここで、コンクリートのクリープ係数を2.0、乾燥収縮度を0.02%、コンクリートおよび緊張材のヤング率を実験値、永久荷重によるコンクリートの応力度を0、プレストレッシングの直後のプレストレスおよび緊張材の引張応力度を表-2の値として計算すると、次のようになる。

$$\gamma \text{ (AFRP ロッド)} = 13.3\%$$

$$\gamma \text{ (PC 鋼線)} = 5.9\%$$

この結果では、PC鋼線の場合には上記示方書に示された値(5%)よりやや大きな値となっている。また、AFRPロッドの場合にはかなり大きな値となり、純リラクセーション率(14%)とあまり変わらぬ値である。これは、AFRPロッドを緊張材として用いた場合にはコンクリートのクリープや乾燥収縮をほとんど考慮しなくもよいことを意味している。

以上の結果から明らかのように、PC鋼線にくらべAFRPロッドのようにヤング率が小さいFRPロッドを用いた場合、プレストレストコンクリート構造物を設計する場合の見掛けのリラクセーション率を純リラクセーション率と考えるとよいと考えられる。

終わりに、FRPロッドの試料を提供して頂いた帝人(株)ならびに緊張および定着装置の設計製作に御尽力頂いた東大生研試作工場の方々、とくに古屋七郎氏に深謝致します。

(1985年3月26日受理)

参考文献

1) 小林一輔, 趙力采: 繊維強化複合材料製プレストレストコンクリート用緊張材の開発研究(そのI), 生産研究, Vol. 36, No. 8, 1984. 8

