

# 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)

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

小林 一 輔\*・趙 力采\*  
Kazusuke KOBAYASHI and Ryokche CHO

## 1. は し が き

この数年来、海岸などの海洋環境下に配置されている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が問題となっている。この緊張材の腐食が鉄筋コンクリート部材における鉄筋の場合と基本的に異なる点は、鋼材自体の降伏点が著しく高いこと(通常 150 kg/mm<sup>2</sup> 程度)と、これに常時 80~90 kg/mm<sup>2</sup> の引張応力度を与えているために、応力腐食割れによって破断を招きやすい点にあり、プレストレストコンクリート部材の崩壊につながる危険性が高いという点である。

本研究は塩分環境下に建設されるプレストレストコンクリート構造物の抜本的な防食策として、現在の高張力鋼とほぼ同等の引張耐力を有する緊張材を、FRP 製緊張材におきかえる方法を取りあげ、これを実用化するために必要な検討を行おうとするものである。今回は各種の繊維を用いてつくった FRP ロッドの温度依存性ならびにリラクセーション試験の中間結果(10 ヶ月)について報告する。

## 2. 緊張材として FRP を用いることの利点と問題点

高張力鋼の代わりに一方強化 FRP をプレストレストコンクリート用緊張材に用いることの利点は、防食性にすぐれているので腐食環境下においてもコンクリートの被覆厚さを特別に大きくする必要がなく、また FRP 自体の比重が鋼材の 1/6 程度であるため、部材の軽量化を図り得ることである。さらに FRP のヤング率は鋼材の約 1/4 程度であるため、応力損失も著しく小さくて済むというメリットがある。

このため緊張材として FRP を用いることを目的とした研究は、1950 年から 60 年代にわたり、米国・英国およびソ連などにおいて行われているが、FRP に引張荷重を継続して加えた場合、複合体中の個々の繊維に生ずる引

張応力度が一様でないために、時間の経過とともに引張荷重が低下する現象、すなわち、“静的疲労”の壁にさざぎられて研究は中断状態になっていた。しかし、近年になって、等断面の FRP 製品を一定の張力を加えつつ集束・成形・強化せしめる Pultrusion 方法が開発され、上記の静的疲労による荷重低下は大幅に改善される見通しが得られた。

緊張材として高張力鋼の代わりに FRP を用いる場合のもう一つのネックは、緊張ならびに定着方法の問題である。FRP は一方方向のみ強化されているので、これを高張力鋼のチャックを用いて緊張した場合、引張応力と同時に横方向の圧縮応力とこれにともなってせん断応力を発生し、途中で破壊するのである。このため FRP ロッドの緊張ならびに定着装置についても従来からいくつかの提案が行われているが、実用に供し得るようなものは開発されていない。

そこで、本研究でもこの問題について検討を行い、ほぼ実用に供し得るような装置を開発した。

## 3. 使用材料

本実験では、ガラス繊維、アラミド繊維および炭素繊維をそれぞれ容積百分率で 65% 使用した 3 種の FRP ロッド (以下、それぞれ GFRP, AFRP および CFRP と記す) を使用した。なお、各ロッドの直径は約 6 mm であり、マトリックスはアクリルエポキシ樹脂である。表-1 に繊維素材および FRP ロッドの引張強度、弾性係数等の諸元を示す。

## 4. 緊張および定着装置の検討

緊張および定着装置に関しては、これまでに種々の工夫がなされているが、代表的なものとしてはクリープの非常に小さい接着剤で、金属性の定着パイプ中にロッドを固結する接着型グリップ<sup>1)</sup>(図-1 参照)や、PC 鋼線に用いられているようなクサビと外とう管による圧縮摩擦型グリップなどがある。前者は相当に長い定着長さを要

\* 東京大学生産技術研究所 第 5 部

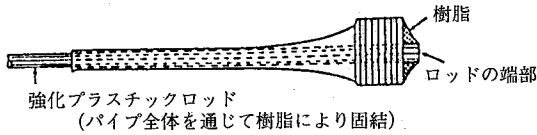


図 1 接着型グリップの 1 例<sup>1)</sup>

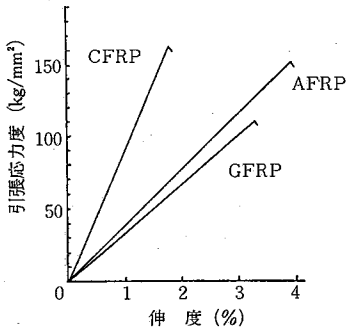


図 2 各種 FRP ロッドの引張応力-ひずみ曲線

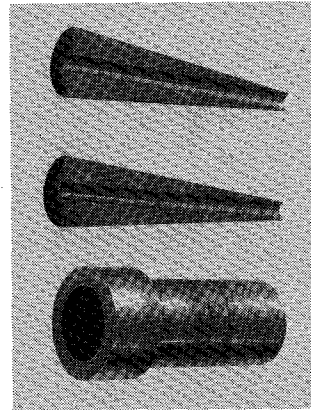


写真 1 開発した圧縮摩擦型グリップ(2つ割リクサビと外とう管)

するのみでなく、長期載荷時のロッドと定着パイプ先端部付近からの漸進的な剥離などが問題となる。一方、後者の方法でロッド自体の引張強度(理論値)の約 93%に相当する引張応力に耐えるものが得られた報告もある。<sup>1)</sup>

本実験では、後者すなわち圧縮摩擦型グリップによる方法を検討した。写真-1 は本研究で開発したクサビと外とう管を示したものであり、写真-2 は FRP ロッドを装填した状態を示したものであるが、2つ割りのクサビの先端部は外とう管から 2 cm 突出した状態となり、グリップ先端部でロッドが破壊するのを防いでいる。

また、写真-3 は緊張用に開発した写真-1 のクサビを内蔵したセンターホールジャッキによる FRP ロッドの緊張作業状況を示したものであり、検討した緊張および定着装置が FRP ロッドのプレストレスングに適用可能なことが確かめられた。

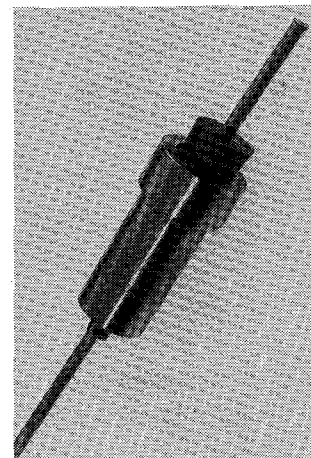


写真 2 FRP ロッドの装填状況

### 5. FRP ロッドの引張特性の温度依存性

本報告では環境温度を  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $0^{\circ}\text{C}$ ,  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  および  $60^{\circ}\text{C}$  の 5 段階に変化させ、3 種の FRP ロッドの引張特性におよぼす温度依存性を検討した。試験は写真-4 に示すような変位制御型引張試験機に恒温槽を設置して行った。図-2 は常温 ( $20^{\circ}\text{C}$ ) での 3 種の FRP ロッドの引張応力-ひずみ曲線を示したものであるが、破断時の伸びは AFRP (3.8%), GFRP (3.3%) および CFRP (1.7%) の順に小さく、いずれも破断時までほぼ直線的であることがわかる。繊維素材の破断時伸びはアラミド繊維が 4.2%、ガラス

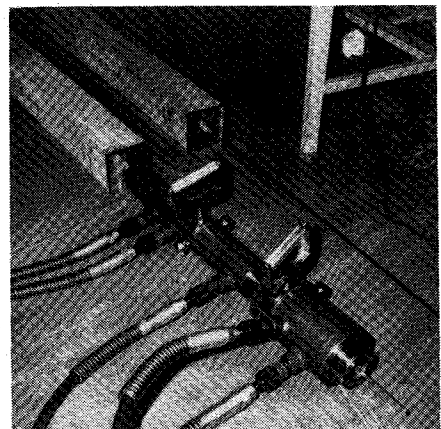


写真 3 試作したセンターホールジャッキによるプレストレスング状況

研 究 速 報

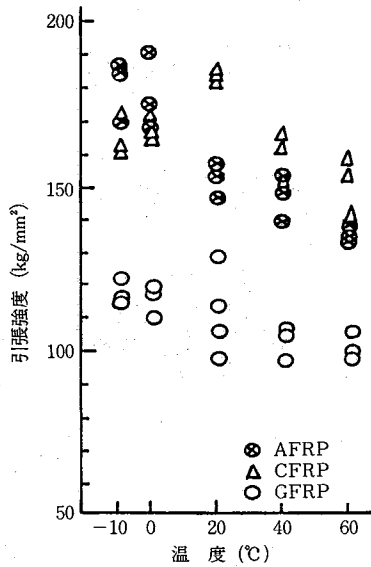


図 3 各種 FRP ロッドの引張強度の温度依存性

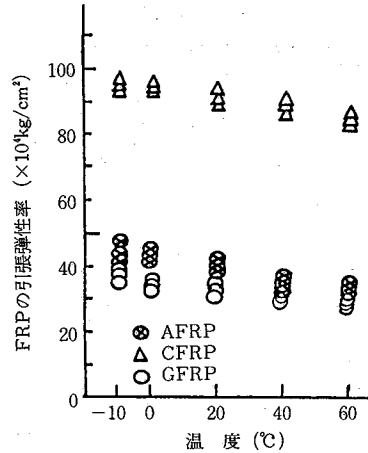


図 4 各種 FRP ロッドの弾性係数の温度依存性

表-1 繊維素材およびロッドの諸元

繊維の諸元				ロッドの諸元				
種別	直径(μ)	引張強度(kg/mm²)	弾性係数(kg/mm²)	種別	直径(mm)	比重	引張強度(kg/mm²)	弾性係数(kg/mm²)
ガラス繊維	15	150	7400	GFRP	5.60	2.03	114	3600
アラミド繊維	12	310	7500	AFRP	5.51	1.28	152	4100
炭素繊維	7	300	21500	CFRP	5.61	1.52	183	9260

繊維が4.0%ならびに炭素繊維が1.3%であり、FRP ロッドも繊維素材とほぼ同等の伸びを示していることがわかる。

一方、図-3は3種のFRPロッドの引張強度の温度依存性を示したものである。この図より明らかなことは、1)常温(20°C)における引張強度は、GFRPが114 kg/mm²、AFRPが152 kg/mm²ならびにCFRPが183 kg/mm²の順に強度が高く、後2者は160 kg/mm²の冷間引抜PC鋼材と同等以上の引張強度が得られていること、2)いずれのFRPロッドも環境温度が低くなるに従って、ほぼ直線的に引張強度が増大すること、などである。上記、1)の結果において、GFRPが最も低い値を示すのは表-1の繊維素材の引張強度からも明らかであるが、CFRPとAFRPの結果が繊維素材の引張強度の関係と一致しないのは以下の理由によるものと思われる。すなわち、アラミド繊維は炭素繊維に比し弾性係数が約1/3、言い換えれば同一強度に達するときの伸びは後者の3倍であるため、炭素繊維の場合に比し繊維とマトリックスである合成樹脂との付着特性の影響を大きく受けたことによるものと思われる。一方、2)の結果は、一般のFRP

における場合と同様に、引張特性の温度依存性が繊維よりもマトリックスである合成樹脂によって左右されることによる。

図-4は弾性係数の温度依存性を示したものであるが、この場合も引張強度における場合と同様に、いずれのFRPロッドも温度の低下と共に弾性係数が直線的に増大している。

6. FRP ロッドのリラクセーション

本報告では初期荷重を最大引張荷重の70%に相当する荷重として表-1に示した3種のFRPロッドのリラクセーション試験を実施した。試験時の温度は20±2°Cとし、試験機のつかみ装置間の距離は300 mm(直径の50倍)とした。引張荷重の変化はロードセルによって検出し、一定間隔ごとに自動記録した。写真-5は装置ならびに試験中のFRPロッドを示している。

図-5および図-6はそれぞれ3種のFRPロッドの約10カ月間のリラクセーション試験で得られた引張荷重と時間との関係およびリラクセーション率と時間との関係を示したものである。これらの図より、本実験に用い

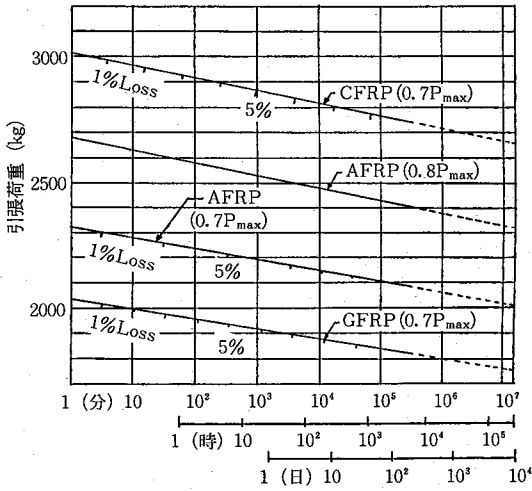


図 5 リラクゼーション試験による引張荷重と時間との関係

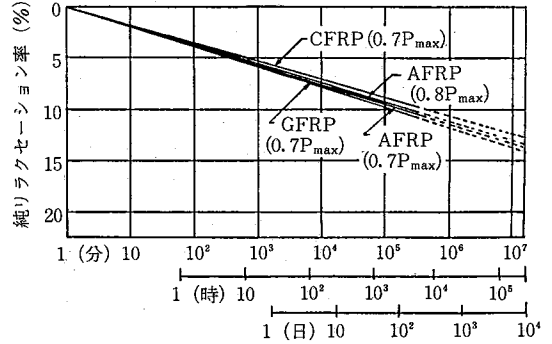


図 6 純リラクゼーション率と時間との関係

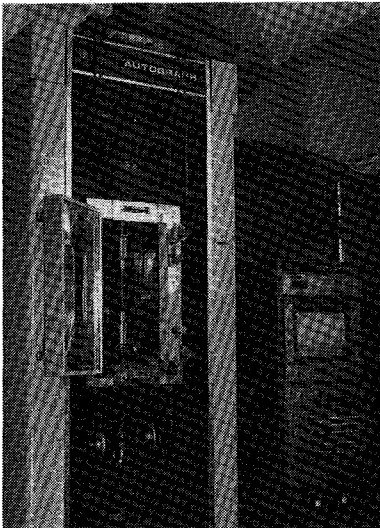


写真 4 引張特性の温度依存性試験装置

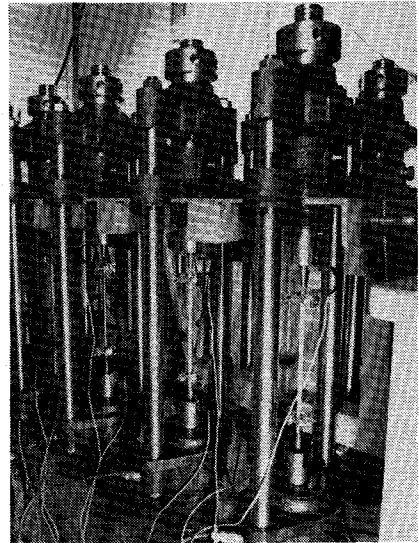


写真 5 リラクゼーション試験状況

た FRP ロッドの引張荷重と時間 (対数軸) との関係はいずれも直線関係となることならびに 30 年後までもこの関係が成立すると仮定した場合のリラクゼーション率の推定値はいずれの場合も約 14% 程度であることがわかる。この値は PC 鋼線とほぼ同程度であるが、PC 鋼棒に比べると約 2 倍となる。なお、現在 60°C における純リラクゼーション試験と有効リラクゼーション試験を実施中

であるので、後日報告したい。

終りに、FRP ロッドの資料を提供していただいた帝人 (株) に深謝いたします。 (1984 年 4 月 24 日受理)

参 考 文 献

- 1) N. F. Somes, Magazine of Concrete Research, vol. 15, No. 45, November 1963