

プレストレストコンクリート用 FRP 緊張材の特性 (10)

—内陸および海洋環境下に暴露した各種 FRP ロッドの引張特性—

Properties of Fiber Reinforced Plastic Rods for Prestressing Tendons of Concrete (10)

—Tensile Property of FRP Rods Exposed in Inland and Marine Environment—

魚 本 健 人*・西 村 次 男*

Taketo UOMOTO and Tsugio NISHIMURA

1. はじめに

コンクリート用補強材として用いられる繊維補強プラスチック (FRP) ロッドは、一般的に鋼材のような塩分による腐食を生じないことからコンクリート構造物の耐久性を著しく増加させる補強材料として期待されている。また、高強度、高耐食性、軽量、非磁性等の特徴を有することから、建設分野における利用の可能性があり、種々の検討が成されている。特に、この FRP ロッドをプレストレストコンクリート用緊張材またはコンクリート構造物用補強材として用いるための研究が精力的に行われ、FRP ロッドの適用性について検討が加えられている。

筆者らは、各種繊維を用いた各種 FRP ロッドの弾塑性特性、引張強度特性、引張強度と試験本数との関係、耐アルカリ性、疲労性状等について検討を加えてすでに報告している^{1)~3)}。一方、各種 FRP ロッドの自然環境化に於ける耐候性 (実環境暴露試験) に関する研究報告はあまり見られず、検討を要する課題である。

そこで本研究は、アラミド繊維、ガラス繊維、炭素繊維で一方強化された繊維強化プラスチックロッド (それぞれ AFRP ロッド、GFRP ロッド、CFRP ロッドと略記する) を取り上げ、日本コンクリート工学協会 (JCI) で提案されている、暴露試験の環境区分に関する基準 (案)⁴⁾ に準じ、塩分、紫外線、乾湿の繰り返しならびに温度変化などが異なる自然環境下において暴露し、環境条件が各種 FRP ロッドの引張強度に及ぼす影響について明らかにすることを目的としたものである。

2. 実験概要

実験に使用した FRP ロッドの補強繊維は、アラミド繊維、ガラス繊維、カーボン繊維の3種類であり繊維混入率

*東京大学生産技術研究所 第5部

(Vf) はいずれも66%である。また、マトリックスは全てビニルエステル樹脂が用いられている。いずれの FRP ロッドも一方強化された直径 6 mm の丸棒状である。

自然環境下での暴露試験では、写真 1 (a) に示す静岡県伊東市の伊豆海洋公園暴露試験場 (JCI-SC7 の区分 A) 「飛沫帯、あるいはこれに準ずる環境条件」(試験体に直接海水が接するなどして、外部から常に塩化物イオンおよび酸素の供給があるような環境条件におかれた場所。例えば暴露試験場が海上に位置し、常に試験体に波しぶきがかかる場合、あるいは、干満の影響で試験体が海中に没したり、完全に海上に現れたりするような繰返しを受ける場合) と、写真 1 (b) に示す千葉市の千葉実験所での内陸部暴露試験場 (JCI-SC7 の区分 D) 「内陸部、あるいはこれに準ずる環境条件」(試験体が潮風などの外部環境条件による影響が少ない場所、あるいは影響を与えない場所に置かれる場所) の2ヶ所で暴露試験を実施した。暴露期間はそれぞれ6ヶ月、1年、3年とし、一条件につきいずれのロッドも6本ずつ暴露した。なお、海洋暴露 (3年間) した供試体については、電子線マイクロ分析装置 (EPMA) によってロッド内部に塩分が浸透しているか否かについて測定を行った。

引張試験は、土木学会の「連続繊維補強材の引張試験方法 (案)」に基づいて実施し、定着具は小林らが開発した2つ割りチャック⁵⁾を用いた。試験は変位制御型試験機 (オートグラフ: 10 ton) を用い、載荷速度は 5 mm/min とし室温 22±1°C で行った。また各条件とも3本ずつ、ロッド中央部の表面に普通ワイヤーストレインゲージ (長さ 2 mm) を貼付し、ひずみを測定した。

3. 実験結果と考察

表 1 に内陸部と海洋暴露下の年間気象条件を示す。また、図 1 に内陸部および海洋環境下における月平均気温の年間

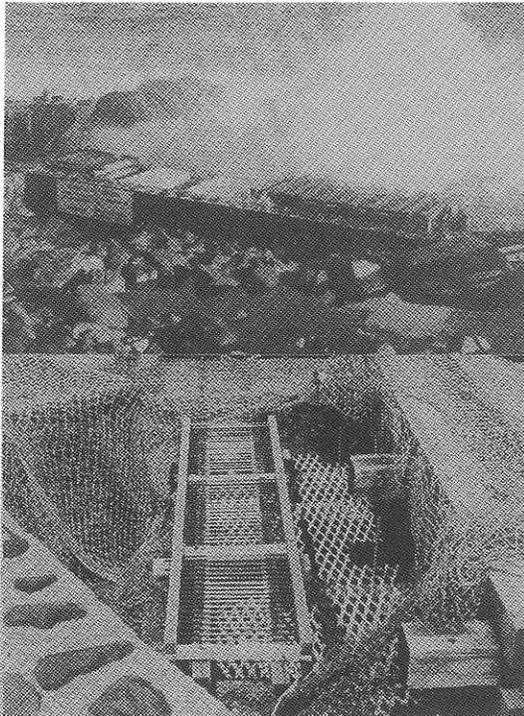


写真1(a) 伊豆海洋公園暴露試験場 (JCI-SC7の区分A)
—塩化物イオンや酸素の供給を受ける場所—

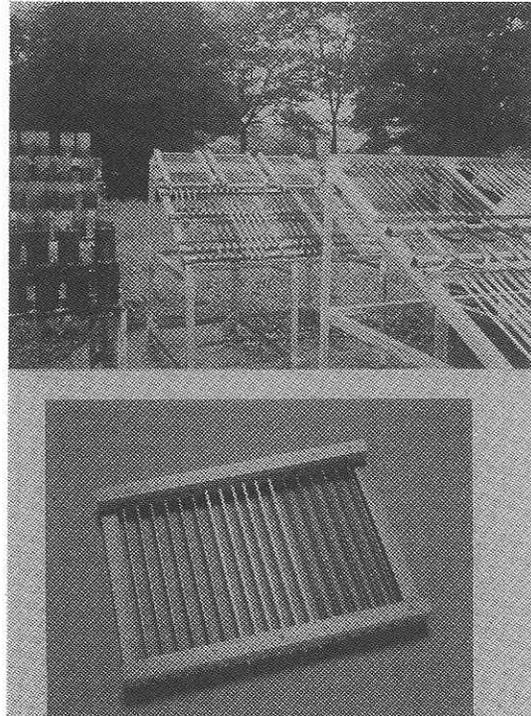


写真1(b) 内陸部暴露試験場 (JCI-SC7の区分D)
—潮風などによる影響がない場所— (千葉実験所)

表1 内陸部および海洋環境下の年間気象条件

	平均気温	平均湿度	年間降水量	年間日射時間
内陸部暴露場	15.4℃	69%	1600mm	1800 h
海洋暴露場	16.3℃	72%	2300mm	1700 h

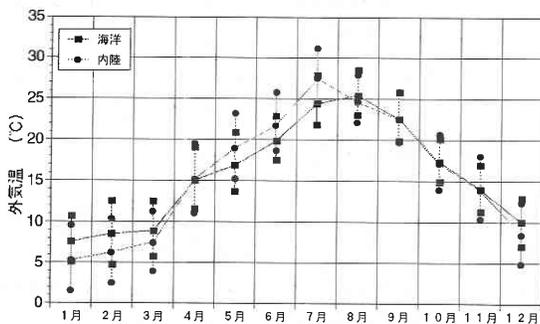


図1 内陸部と海洋環境下における月平均気温の年間推移 (1993年)

推移を示す。表1より、内陸部 (千葉実験所) および伊豆海洋暴露場では年間降水量を除くと、年間平均気温、湿度、および日射時間はさほどの差は見られない。しかし、図1の月平均気温の年間推移では夏期 (5月~7月) にかけて内陸部 (千葉実験所) の方が約2℃~4℃月平均気温が

高く、逆に冬季 (12月~3月) にかけて気温は約1℃~2℃低く、季節によって内陸部と海洋部では気温は逆転していることが分かる。

写真2に、3年間海洋暴露(a)および内陸部暴露(b)させたFRPロッドを示す。この写真より内陸部暴露(b)の供試体は風雨等に曝されたため表層の樹脂がとれロッド表面から繊維が飛び出していることが分かる。海洋暴露(a)では、内陸暴露と比べロッド表面に繊維はそれほど飛び出していない。この原因として、海洋暴露の場合には繊維および樹脂が波によって洗い流されたものと考えられる。また、海水飛沫を常時受けるためにロッド表面に塩分の付着が見られる。写真3(a), (b)は、海洋環境下 (3年間に暴露したFRPロッドを電子線マイクロ分析装置 (EPMA) によってClならびにNaの分析結果の一例を示したものである。この分析結果よりClならびにNaは、いずれのロッドにおいても内部への浸透はほとんど認められないことが明らかとなった。

図2は、内陸部暴露場 (千葉実験所) で暴露した各種FRPロッドの各暴露期間と引張強度との関係を示したものである。この図より、AFRPロッドは、暴露6ヶ月で約20%の強度低下となり長期暴露36ヶ月になるに従って強度低下は約30%に増大することが明らかとなった。また、

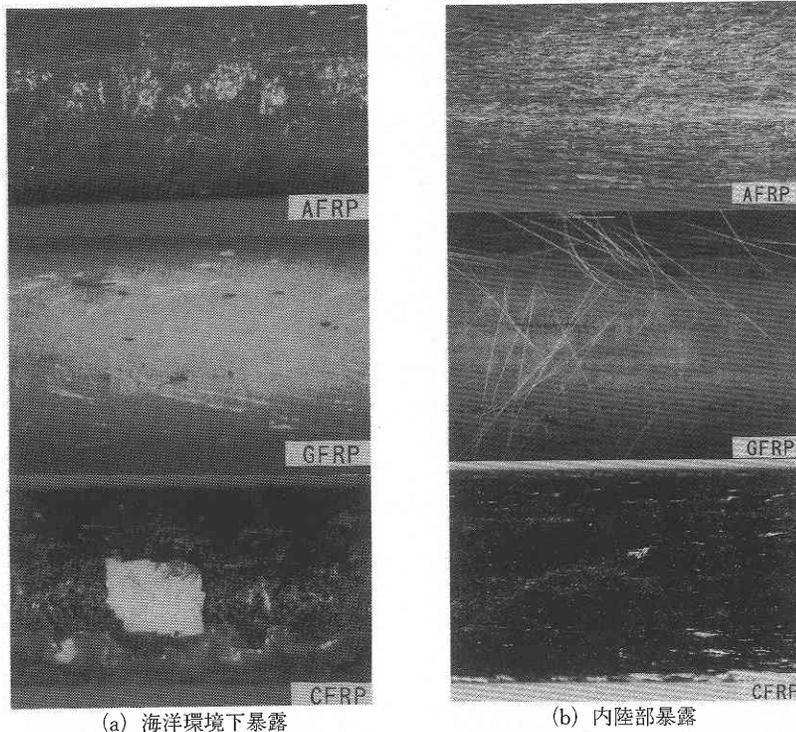


写真 2 (a),(b) 内陸部および海洋環境下暴露 3 年後の FRP ロッドの性状

GFRP ロッドでは、AFRP ロッドとは異なり暴露 12 カ月までは強度低下は認められない。しかし、長期暴露 36 カ月では約 19% 強度低下することが明らかになった。一方、CFRP ロッドでは暴露 6 カ月で約 16% 強度低下するが、その後の暴露においてほとんど変わらない強度となることが明らかとなった。

図 3 は、海洋暴露場（伊豆海洋公園）で暴露した各種 FRP ロッドの各暴露期間と引張強度との関係を示したものである。この図より、AFRP ロッドでは内陸部と同様に、暴露 6 カ月以降強度低下が見られ長期暴露 36 ヶ月では約 32% の強度低下となり内陸部より若干大きくなることが明らかとなった。この原因としては、塩分の浸透による劣化の影響ではなく高分子繊維からできているアラミド繊維の紫外線劣化によって強度低下したのと考えられる。また GFRP ロッドでは、AFRP ロッドとは異なり長期暴露 36 カ月で約 1% 程度の強度低下となり暴露開始強度とほぼ同程度で、暴露による強度低下はあまり認められないことが明らかとなった。

一方、CFRP ロッドは、暴露 12 カ月で約 9% 強度低下するものの内陸部暴露と比べ強度低下が少なく、その後の暴露においてはほぼ同等の強度を保っていることが明らかとなった。以上の結果をまとめると以下ようになる。

4. ま と め

各種 FRP ロッドを環境条件が異なった 2 つの自然環境下で暴露した結果、暴露環境が引張強度に及ぼす影響について明らかになった結果をまとめると以下ようになる。

1) 本実験では、海洋環境下で暴露したものよりも内陸部で暴露した方が、いずれの FRP ロッドも強度低下が顕著にみられた。

2) AFRP ロッドは、3 年間に内陸部暴露、海洋暴露のいずれも約 20%~32% の強度低下が見られる。その原因は紫外線による劣化が主であると考えられる。

3) GFRP ロッドは、内陸部暴露の場合暴露期間 3 年で強度低下することが明らかとなったが、海洋環境下の暴露ではほとんど強度低下を示さず、海洋環境下での劣化が認められないことが明らかとなった。

4) CFRP ロッドは、定着具における定着部の応力集中等によって強度のバラツキはあるものの、内陸部暴露の方が海洋環境下で暴露したよりも強度低下することが明らかとなった。

5) 海洋環境下での暴露実験より、ロッド内部への塩分浸透を電子線マイクロ分析装置 (EPMA) によって分析したが、いずれのロッドも塩分浸透は認められなかった。

環境条件の異なった暴露実験結果より、GFRP ロッド

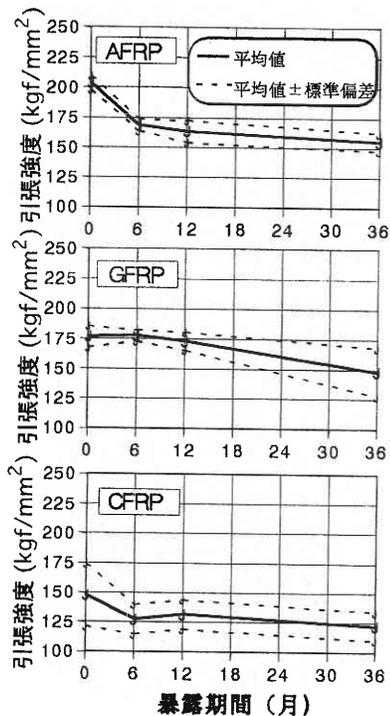


図2 内陸部暴露 (千葉実験所) の暴露期間と引張強度との関係

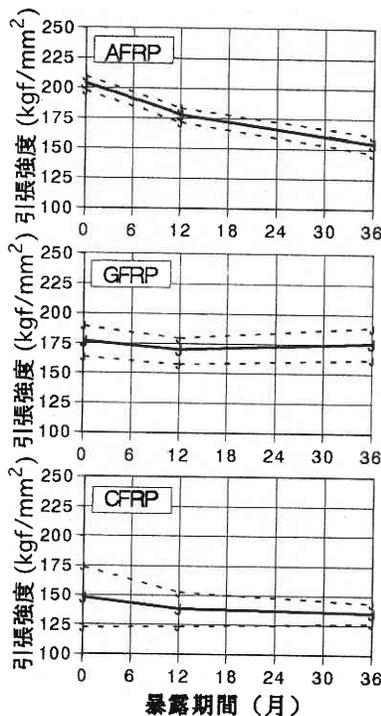


図3 海洋環境下暴露の暴露期間と引張強度との関係

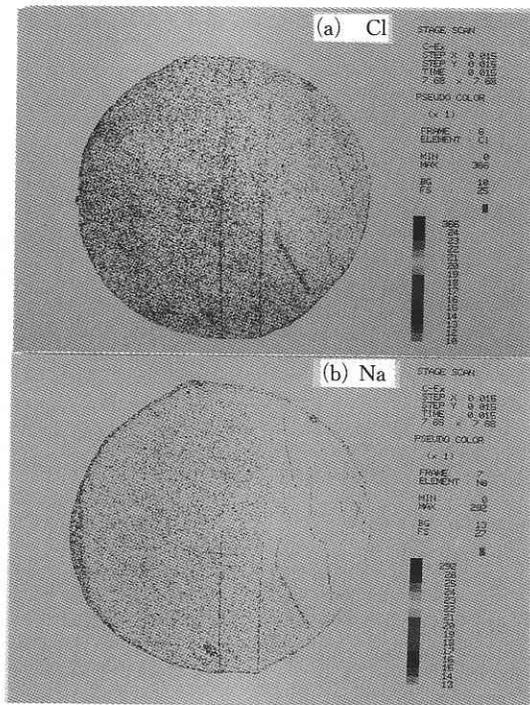


写真3 海洋環境下に3年間暴露したFRPロッドのEPMA分析結果の一例

の海洋暴露を除くと、内陸部および海洋環境下暴露においていずれのロッドも強度低下することが明らかとなった。

また、強度低下に影響する要因として紫外線による劣化、乾湿繰り返しによる低下あるいは温度変化等によって低下が生じたものと考えられるが、その機構については明らかにすることが出来なかった。今後は繊維およびマトリックスそれぞれについて詳細に検討していく必要がある。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、実験に協力して頂いた芝浦工業大学卒論生西井康人君に感謝の意を表す。

(1996年12月8日受理)

参 考 文 献

- 1) 魚本, 西村: FRP ロッドの静的強度と弾性係数, 土木学会論文集, No.472/V-20, pp77-86, 1993.8.
- 2) 西村, 大賀, 魚本: FRP ロッドの疲労強度に及ぼす応力振幅と平均応力の影響, 土木学会第49回年次学術講演会講演概要集第5部, 平成6年9月.
- 3) 魚本, 西村, 宮崎: プレストレストコンクリート用FRP緊張材の特性(6) アルカリによる強度低下とバラツキ, 生産研究, Vol45, No.5, 1993.5.
- 4) コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに基準(案): 社団法人 日本コンクリート工学協会, 1987.4.
- 5) 小林一輔: FRP 製プレストレストコンクリート緊張材用定着装置, 生研リーフレット, No.158, 1987.