

愛知県土木部

(正) 吉田 真樹

近畿コンクリート工業㈱

(正) 岩本 勲

近畿大学環境科学研究所

(正) 川東 龍夫

京都大学工学部

(正) 服部 篤史、(正) 宮川 豊章

1. はじめに 近年、コンクリート中の鋼材腐食の一対策として、鋼材と同じメカニズムの腐食をしない連続繊維補強材を鋼材の代わりに利用する試みがなされている。FRPである連続繊維補強材は一般に高い耐久性を有すると言われるが、FRPはFRP特有の腐食を生じることも知られている。連続繊維補強材をコンクリートあるいはセメント系グラウト中で緊張材として使用することを想定し、代表的な連続繊維補強材の緊張荷重下でのアルカリ耐久性について実験的な検討を行った。本文はその一部を報告するものである。

2. 実験概要 棒材を所定の荷重レベルで緊張し、中央部分30cmをセメントと同様のアルカリ溶液に最長で約9000時間浸漬した。浸漬終了後、供試体を引き上げ電子顕微鏡等による供試体の観察、引張試験等により棒材の耐久性状に関する検討を行った。実験は以下の要因を適宜組み合わせで行った。

①環境：Ca(OH)₂、K(OH)、Na(OH)から成るセメント中の成分とほぼ同様の成分を持つ溶液（以下アルカリ溶液）中を標準とし、水道水中および気中も比較用として選んだ。②温度：標準として20℃、促進用として60℃の2種類。③緊張荷重：標準として0.65Pu（Pu：破断荷重）、比較用に0.04Pu、0.00Puの計3種類。

④棒材：Tアラミド繊維・ビニルエステル樹脂棒材（以下アラミドT棒材）、Kアラミド繊維・エポキシ樹脂棒材（以下アラミドK棒材）、PAN系炭素繊維・エポキシ樹脂棒材（以下炭素棒材）、ビニロン繊維・エポキシ樹脂棒材（以下ビニロン棒材）の計4種類。

3. 供試体観察 浸漬後引き上げた供試体の表面および断面をSEM、EPMAを用いて環境剤の浸入および棒材の腐食の傾向を調べた結果、アルカリ環境中では棒材表面から樹脂が溶出、減肉してゆく形の腐食と、環境剤がある程度棒材の内部に浸入して繊維-樹脂界面のき裂を伴いながら腐食層を形成する形の腐食があることが確認され、棒材の種類によって2つの腐食形態のうちどちらかが卓越していた。アラミドK棒材、炭素棒材は内部への浸入傾向は弱く表面からの樹脂溶出が顕著であった。

特に炭素繊維棒材の樹脂溶出は著しく、今回の浸漬では表面の異形加工部分が脱落し棒材本体にまで達する溶出が認められた（図1）。これに対し、アラミドT棒材、ビニロン棒材は繊維-樹脂界面のき裂を伴いながらある程度内部にまで腐食層が広がる傾向にあった。なお、アラミドT棒材では緊張荷重レベルが高いほどき裂および腐食層は棒材のより内部に浸入する傾向があった（図2、3）。また、ビニロン棒材は環境剤浸入の傾向が強く、き裂および変色を伴って腐食層はかなり内部にまで広がっていた（図4）。

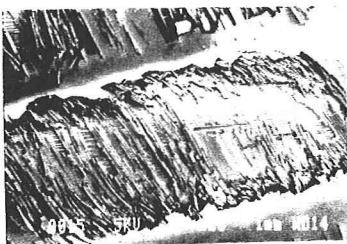


図1 炭素棒材の浸漬後表面（60℃アルカリ、0.00Pu、9000時間）

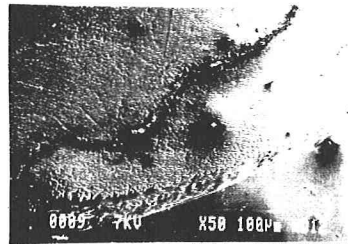


図2 アラミドT棒材の浸漬後断面（60℃アルカリ、0.65Pu、9000時間）



図3 アラミドT棒材の浸漬後断面（K分布、60℃アルカリ、0.65Pu、9000時間）

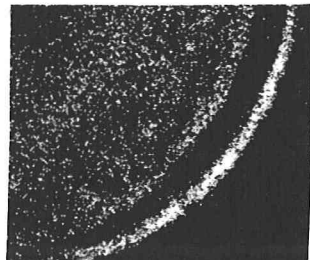


図4 ビニロン棒材の浸漬後断面（K分布、60℃アルカリ、0.65Pu、9000時間）

表1 引張試験結果の例：浸漬9000時間

環境条件	アラミド T		アラミド K		炭 素	
	引張強度 (GPa)/比	弾性係数 (GPa)/比	引張強度 (GPa)/比	弾性係数 (GPa)/比	引張強度 (GPa)/比	弾性係数 (GPa)/比
20℃気中、0.00Pu	1.96/1.00	55.1/1.00	1.41/1.00	64.3/1.00	1.97/1.00	155./1.00
60℃アルカリ溶液、0.00Pu	1.88/0.96	47.1/0.86	1.26/0.89	72.2/1.12	1.83/0.83	120./0.78
20℃アルカリ溶液、0.65Pu	1.94/0.99	58.5/1.06	1.44/1.02	64.7/1.01	2.00/1.02	151./0.98
60℃アルカリ溶液、0.65Pu	1.85/0.94	61.4/1.11	1.37/0.97	68.5/1.07	1.87/0.95	127./0.82

4. 引張試験結果 浸漬後の供試体の引張試験を行った結果、緊張・浸漬を受けたビニロン棒材において機械的性質に変化がみられた以外は大きな性能低下はなくほぼ良好な結果が得られた。しかし、若干ではあるが、破断強度は環境剤の浸入量および表面の溶出の量に対応して低下する傾向を示した。また、棒材の種類によっては、緊張によって弾性係数が上昇する傾向も見られた。引張強度および弾性係数の例を表1に示す（表中の値は供試体2～3本の平均値）。なお、別途行ったPCはり曲げ載荷試験の結果によれば、緊張・浸漬を受けた棒材を用いたはりのうちには、そうではないはりに比べてひびわれ分散性、じん性等において若干の性能の低下が認められるものがあった。

緊張・浸漬を受けなかったアラミドT棒材は、繊維－樹脂界面の接着力が比較的小さいことや表面加工部分の樹脂厚が比較的厚いことから、載荷直後からAEは頻繁に発生し、破断荷重の60%を過ぎた付近からAEの発生頻度は上昇し始め破断時に最大となった（図5）。AEの発生位置は分散し、破断時には損傷は全体に分布していた。これに対し緊張・浸漬した場合、AE発生はきわめて少なくなるものの、かなり早い時期から発生し始め、先行して受けた緊張荷重によるカイザー効果の発現は顕著ではなかった（図6）。AEの発生位置から見た場合、破断荷重の70%近傍で発生した損傷は、荷重が増加しても周囲に分散されることなく進行し、最後には大きな損傷となって破断に至った。

5. まとめ ①アルカリ溶液環境は連続繊維棒材を腐食させる要因であり、棒材からの樹脂の溶出、き裂および環境剤の浸入状況の程度と機械的性質の変化の様相は対応していた。②棒材内部にアルカリ溶液が浸入する腐食形態を持つものは、緊張荷重レベルが高いほど溶液の内部浸入の程度が強くなり、劣化に与える影響は大きくなる。

謝辞 本研究を遂行するにあたり、藤井學教授、井上晋助手（京都大学）から適切な助言をいただいた。実験にあたっては、六郷恵哲助教授（岐阜大学）、高木宣章助手（立命館大学）、石黒寛助手（大阪府立大学）、勝見武助手（京都大学）、酒井研二氏（関西電力㈱）、若手コンクリート研究会・新素材WGメンバーなど多数の方々からの御協力をいただいた。ここに記して謹んで謝意を表します。

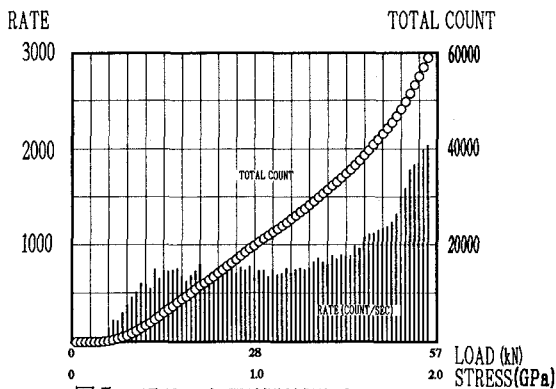


図5 アラミドT引張試験時のAE発生
（20℃気中、0.00Pu、9000時間）

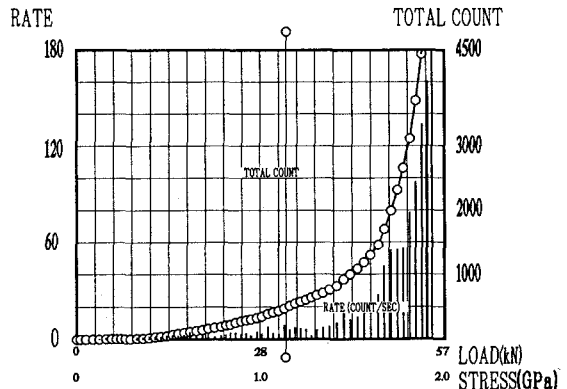


図6 アラミドT引張試験時のAE発生
（60℃アルカリ、0.65Pu、9000時間）