

FRP 絶縁アームの屋外暴露試験 による試験結果について

衣 川 三 郎

1 ま え が き

近年の電力需用は増加の一途をたどり、送電電力増大の必要が生じてきた。その対策の一つとして現在の送電線路の電圧を昇圧することが考えられるが、これを現用の鉄塔のまま実現するにはがいし増結による電線と鉄塔間のクリアランスの不足の問題を処理しなければならない。

これに対し送電線路の鉄塔部材の一部に鋼材と置換できるような機械的強度をもった電気絶縁材料を使用することができれば問題の解決ができ、したがって現用線路の電圧格上げが経済的に行なえることとなり、また、新線路建設の場合にも経済的な設計を行なうことができるものと考えられる。

米国においては既に 34.5kV 送電線路の片回線を 69kV に昇圧するため、34.5kV 用鉄塔の中アーム吊材をガラス繊維強化プラスチック（以下 FRP と称す）製アーム吊材で置き換えて 69kV に対するクリアランス不足の問題を処理し昇圧を実施した例がある。

高抗張力絶縁アームに関する研究は昭和 36 年 6 月電気学会関西支部電気共同研究会に依頼し、高抗張力絶縁材料の開発分科会にて実施したものであり、本分科会は現用の鉄塔寸法のままで送電電圧を昇圧するため鉄塔構成の一部を FRP で置き換える問題に関連して、まず FRP の機械的強度および樹脂の特性などについての資料調査を行ない、続いて合成樹脂としてエポキシ樹脂を用いて試料を作成しその電氣的、機械的および化学的的特性についての基礎的実験研究を行ない、その結果実用しうる見通しを得た。

したがって、当研究所としては実用化に先だって S、M 両社の試作品を 関電和歌山支店の鉄塔に取り付けの上、耐候性による経年変化を実際に調査するため、屋外暴露試験を実施した。

本文には試作品についての各種特性ならびに暴露試験 1 年、2 年後の諸特性試験を行なったので、これらの試験結果について報告する。

2 試 験

2.1 工場における特性試験

昭和 37 年 5 月 関電技術研究所では S、M 両社に FRP 絶縁アームを試作依頼した。試作品については関電の暫定規格（案）に基づいて次の試験項目で試験を行なった。

2.1.1 機械的試験

- (1) 引張強度
- (2) 曲げ強度
- (3) 疲労強度
- (4) 座屈強さ

2.1.2 電氣的試験

- (1) 耐電圧
- (2) 絶縁抵抗
- (3) 誘電率
- (4) 誘電正接
- (5) 耐アーク性

2.1.3 物理的試験

- (1) 耐焰性
- (2) 吸水性

(3) 冷熱繰り返しの影響

2.1.4 化学的試験

(1) 等価耐候性

(2) 耐薬品性

2.2 暴露試験

基礎的実験研究の結果からみて、送電電圧昇圧のための鉄塔部材用高抗張力絶縁材料としてFRPは極めて有用であり、実用しうる見通しを得たので関電では実用に先だってS、M両社の試作品を和歌山支店管内の遊休線路において、屋外暴露試験を実施した。

2.2.1 絶縁アーム取付個所

和歌山支店黒江配電線坂田線（30kV設計、3kVで充電使用）

No. 36号鉄塔（S社の試作品）

No. 34号鉄塔（M社の試作品を取付）中、下アーム用吊材として各8本取り付けの上、暴露試験を実施した

2.2.2 使用開始

昭和38年1月12日

2.2.3 試験および調査方法

(1) 暴露試験目標期間 8年間

(2) 調査方法

A, 1ヶ月に1回次の項目について調査

イ, 絶縁アームの色, 表面の変化

ロ, クラックの発生状況

B, 1年毎に特性試験を行なう

（経年変化特性試験）

2.2.4 現在までの状況（昭和40年4月現在）

昭和38年10月調査した結果では、M社試作品のものが試作当時よりも色が濃く茶褐色に変色しており端子部分には多少さびを生じていた。暴露試験2年を経過した試料について昭和40年1月に調査したところでは、S、M両社の試作品共全般にガラス繊維が表面に現われてきた。これは所謂、エポキシ樹脂の経年変化による風化に起因するものと考えられる。

2.3 経年変化特性試験

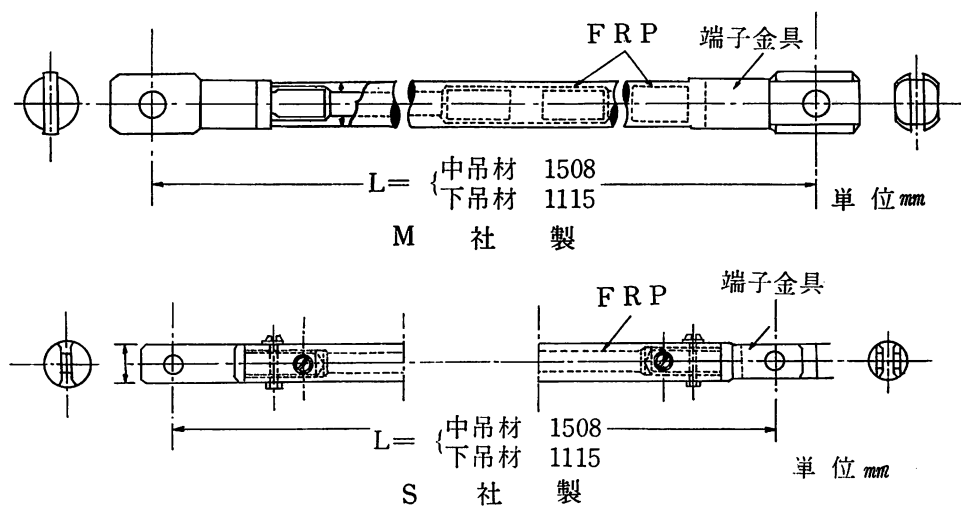
2.3.1 1年後のアームについて

(1) 試験項目

イ, 表面塩分付着量

ロ, 重量測定

ハ, 引張強度



第1図 供試品概略図

(2) 供試品

FRP絶縁アーム（中吊材用）両社各2本

社名 長さ 外径 内径

S社 1508 42 24

M社 1508 34 20（単位mm）

FRP絶縁アーム（中吊材用）各4本

（S，M両社）

□，破壊試験用

FRP絶縁アーム（下吊材用）各2本

（S，M両社）

2.3.2 2年後のアームについて

(1) 試験項目

イ，表面塩分付着量の測定……非破壊試験

ロ，重量測定……………◇◇

ハ，引張破壊強度

ニ，絶縁破壊電圧（貫層，沿層共）

ホ，絶縁抵抗……………破壊試験

ヘ，誘電率および誘電正接

ト，耐アーク性

チ，漏洩電流電圧特性

(2) 供試品

イ，非破壊試験用

3 試験方法および試験結果

3.1 工場における特性試験

最初には，試作品受入時において電氣的，機械的，物理化学的諸特性を調査するための試験を行なった。

3.2 経年変化特性試験

FRP絶縁アームの機械的，電氣的特性における変化の状態を調査するため1年，2年後の2回にわたって諸特性試験を行なった。

試験結果は第1～第2表に示す。

第1表 暴露試験1年後の特性試験結果

| 項目 | S社 | | M社 | | 備考 |
|------------------|-------------|--|-------------|-----------------------|----------------------------|
| 塩分付着量 (mg/cm) | 試料 No. 1 | ★ 2.81×10 ⁻¹ ★★ 1.31×10 ⁻¹ | 試料 No. 1 | 1.15×10 ⁻¹ | ★ 重量分析法（S社） ★★ 炎光分析法（◇） |
| | ◇ No. 2 | 1.56×10 ⁻¹ 0.95×10 ⁻¹ | ◇ No. 2 | 1.15×10 ⁻¹ | |
| 重量 (kg/本) | 試料 No. 1 | 3.92 | 試料 No. 1 | 3.397 | |
| | ◇ No. 2 | 3.81 | ◇ No. 2 | 3.390 | |
| 引張強度 (kg) | 試料 No. 1 | 2,500kg 1分間OK | 試料 No. 1 | 2,500kg 1分間OK | |
| | ◇ No. 2 | 同 上 | ◇ No. 2 | 同 上 | |

(注) 塩分付着量の測定方法

(1) 重量分析法

アーム洗浄液を500ccに濃縮し，硝酸2～3滴を加え煮沸しない程度に緩やかに温める。これに硝酸銀を加え塩化銀の沈殿を生成させ，しばらくおいて沈殿熟成後ガラス炉過器で炉しとり洗滌乾燥後重量を測り，塩化銀の重量よりMac1分を換算する。

(2) 炎光分光分析法

予め食塩水標準液を準備し，炎光分光器でNaの濃度に対応した検量曲線（輝度—電流）を作る。次にアーム洗浄液を標準液と同様に炎光分光器にかけ，Ma濃度を測定しMac1分を換算する。

(3) 比濁法

予め各種濃度の食塩水標準溶液を作っておく。この標準溶液50ccに稀硫酸2～3滴を加えて酸性とし，こ

れに 10%硝酸銀溶液 5cc を加える。液は白濁し、その濁度は含まれる食塩の量による。

アーム洗液の一部をとり、標準液をつくった場合と同じ割合に稀硝酸および硝酸銀溶液を加え、液を白濁させる。これを前記標準液と濁度を比較して溶液に含まれる塩化物の量を知る。

第 2.1 表 暴露試験 2 年後の特性試験結果

| 項 目 | S 社 | | M 社 | | 備 考 |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|---|
| 1. 非破壊試験 | ★ ★★ | | | | ★ 重量分析法 (S社) ★★ 炎光分光分析法 (〃) ★★★ J I S K O 1 0 1 工業用水試験法 (M社) |
| (1) 表面塩分付着量 (mg/cm) | No. 1 4.05×10^{-3} | 4.79×10^{-3} | No. 1 5.87×10^{-5} | | |
| | No. 2 3.02×10^{-3} | 3.80×10^{-3} | No. 2 5.87×10^{-5} | | |
| | No. 3 2×10^{-3} | 1.27×10^{-3} | No. 3 4.72×10^{-5} | | |
| | No. 4 3.69×10^{-3} | 3.94×10^{-3} | No. 4 3.50×10^{-5} | | |
| | 平均値 3.19×10^{-3} | | 平均値 4.99×10^{-5} | | |
| | 平均値 3.45×10^{-3} | | | | |
| (2) 重量測定 (kg) | No. 1 3.926 | | No. 1 3.411 | | 重 量 (金具付) kg/1本の値 |
| | No. 2 3.861 | | No. 2 3.385 | | |
| | No. 3 2.840 | | No. 3 3.387 | | |
| | No. 4 3.920 | | No. 4 3.395 | | |
| 2. 破壊試験 | | | | | |
| (1) 引張破壊強度 (kg) | No. 5 11.580 | | No. 5 6.830 | | 破壊箇所: 端子金具のネジ込み 部が剥離 |
| | No. 8 11.040 | | No. 8 7.200 | | |
| (2) 絶縁破壊電圧 (kv) | 貫層 | 沿層 | 貫層 | 沿層 | 貫層 J I S K—6911 5.10.3 (積層管) 沿層 J I S K—6911 5.11.3 (積層管) |
| | 破壊電圧(kv) (kv/mm) | 破壊電圧(kv) | 破壊電圧(kv) | 破壊電圧(kv) | |
| | 26.2 13.1 | 57.0 0 | 26.0 13.0 | 38.0 | |
| | 30.4 15.2 | 62.0 0 | 29.6 14.8 | 38.2 | |
| | 30.8 15.4 | 57.0 0 | 23.0 11.5 | 35.2 | |
| | 29.3 14.7 | 67.0 0 | 35.0 17.5 | 32.0 | |
| | 27.9 13.9 | 48.0 | 平均値28.4 14.2 | 平均値 35.9 | |
| | 30.4 13.2 | 58.2 | | | |
| | 28.4 14.2 | | | | |
| | 平均値29.1 15.5 | 平均値58.2kv | | | |
| (3) 絶縁抵抗 (Ω) | 0.4×10^{12} | | 1.8×10^{11} | | J I S K—6911 5.12.3 |
| | 〃 | | 3.5×10^{12} | | |
| | 2×10^{11} | | 3.2×10^{12} | | |
| | 0.4×10^{12} | | 1.0×10^{12} | | |
| | 平均値 | 0.35×10^{12} | 平均値 | 2.11×10^{12} | |

| 項 目 | S 社 | | | | M 社 | | | 備 考 |
|-----------------------------------|--------------|-------|------|-----------|--------------|-------|-------|------------------------------------|
| (4) 誘電正接 (%) | 1.79 | | | | 2.67 | | | J I S K—6911 5.14.2 1 MC |
| | 2.91 | | | | 2.89 | | | |
| | 2.13 | | | | | | | |
| | 2.01 | | | | 平均値 | 2.78 | | |
| | 平均値 | 2.21 | | | | | | |
| (5) 誘電率 | 5.32 | | | | 5.08 | | | J I S K—6911 5.14.2 1 MC |
| | 5.44 | | | | 4.93 | | | |
| | 5.78 | | | | | | | |
| | 5.74 | | | | 平均値 | 5.01 | | |
| | 平均値 | 5.57 | | | | | | |
| (6) 耐アーク性 | 耐アーク時間 (秒) | | | | 耐アーク時間 (秒) | | | J I S—K—6911 |
| | 127 | | | | 9.4 | | | |
| | 75 | | | | 15.0 | | | |
| | 123 | | | | 11.2 | | | |
| | 123 | | | | 5.0 | | | |
| | 126 | | | | 平均値 | 11.2 | | |
| | 126 | | | | | | | |
| | 平均値 | 117 | | | | | | |
| (7) 漏洩電流 電圧特性 (電極間隔 300 mm) | 交流 漏洩電流 (mA) | | | | 直流 漏洩電流 (mA) | | | |
| | 電 圧 (kv) | No. 5 | | No. 8 | 電 圧 (kv) | No. 5 | No. 8 | |
| | 80 | 56 | | — | | | | |
| | 75 | 50 | | 48 | | | | |
| | 70 | 42 | | 42 | 70 | 56 | 65 | |
| | 65 | 37 | | 38 | | | | |
| | 60 | 32 | | 32 | 60 | 44 | 52 | |
| | 55 | 28 | | 27 | | | | |
| | 50 | 23.0 | 21.5 | 23.0 21.0 | 50 | 33 | 38 | |
| | 45 | 13.3 | | 17.0 | | | | |
| | 40 | 13.5 | | 12.8 | 40 | 24 | 27 | |
| | 35 | 10.0 | | 10.5 | | | | |
| | 30 | 8.0 | | 8.5 | 30 | 17 | 20 | |
| 25 | 6.0 | | 6.8 | | | | | |
| 20 | 4.0 | | 4.5 | 20 | 10 | 12 | | |

| | | | | | | |
|--|----|-----|-----|----|---|---|
| | 15 | 2.0 | 3.5 | | | |
| | 10 | — | 2.0 | 10 | 5 | 5 |
| | 5 | | | | | |

3.2.1 1年後の試験

1年後には表面塩分付着量、重量の測定、引張強度の試験について行なった。

塩分付着量の測定は重量分析法ならびに炎光分析法（S社）J I S—K0101工業水試験法（M社）で行なった。

試料は両社共2本（中吊材用）だけについて試験したのであるが、塩分付着量は極く微量であった。

重量測定には8kgの自動秤（S社）、または8kgの台秤（M社）を用いた。

両社試作品の重量は製造方法、外径などがかなり相違しているため大分異なった値を示している。

3.2.2 2年後の試験

(1) 非破壊試験

a. 塩分付着量の測定

1年後に測定した時と同一の方法で行なった。測定結果からは1年後の測定値よりは両社共4倍程度の増加を示しているが、何れも問題にならぬ程微量なものであった。

b. 重量の測定

5kgの上皿天秤（S社）8kgの台秤（M社）を用いてそれぞれ gram 単位迄測定した。

測定の結果、重量は1年後に比べて殆んど変化しなかった。

(2) 破壊試験

a. 引張り破壊強度

引張破壊試験は横型200ton 抗張力試験機（S社）、島津製、50ton アームスラー（M社）を用いて測定した。

試作品当時（昭和37年受入時）の値と略々同一の破壊値を示している。

今回の試験から考えて、FRP絶縁棒の引張り強度は十分なものといえる。

b. 絶縁破壊電圧

貫層絶縁破壊電圧試験の測定は試料の内側に水銀を注ぎ、外側に錫箔を張り電極として均等電界の状態を破壊させた。

つぎに沿層絶縁破壊電圧試験の測定は試料の2個の穴にテーパピン（J I S B 1352）を押込んで電極とし、均等電界の状態を破壊させた。

これらの試験はすべて絶縁油中で行なった。

c. 絶縁抵抗

水銀を2つの穴に注入して電極としD.C 500Vを1分間充電した後、シェーリング・ブリッジ（S社）、または横河製（RM—211型）超絶縁計（M社）を用いて測定した。

d. 誘電正接および誘電率

試料の両面に錫箔電極を張り付けてシェーリング・ブリッジ（S社）、またはQメーター（M社）により測定した。

e. 耐アーク性

試料をアーク発生装置に水平に装着し、通風を遮断した後アークを発生させ試料が破壊し、アークが消滅した時までの時間を測定した。

f. 漏洩電流電圧特性試験

試料両端に錫箔電極を張り、片端を高電圧発生装置に、他の片端を交流微小電流計を通じて接地し表面の漏れ電流を測定した。

4 考 察

現在までに至る2年間の暴露試験では、考察のできる十分な段階ではないが一応2年後の試験結果から検討すると次のようなことが考えられる。

(1) 塩分付着量について

1日目よりも2日目の方が若干増加しているが、暴露試験の場所が海岸より約2km離れているため、何れも塩分付着量として極く微量な程度であった。

(2) 全重量について

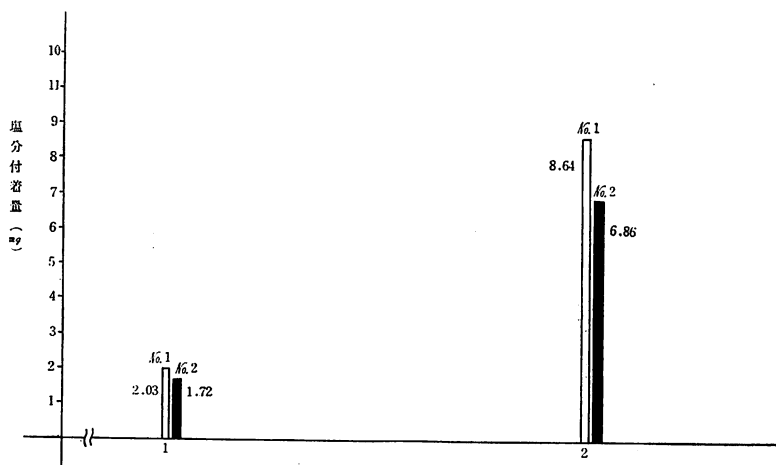
1年、2年後とでは殆んど変化しておらないので余り問題にならない。

(3) 吸水性について

厳密な測定が甚だ困難なため、本試験では吸水性自身についての測定は行なっておらぬので紫外線の影響を受けたエポキシ樹脂の重量変化がどの程度であったかは調査できなかった。

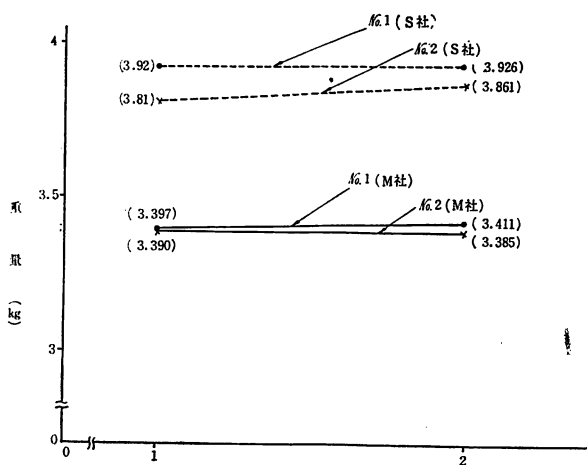
(4) 表面の状態

外部的観察からでは2年後の試料が1年後のものに比較して、両社共大部分に内部のガラス繊維がかなり表面化して来た。

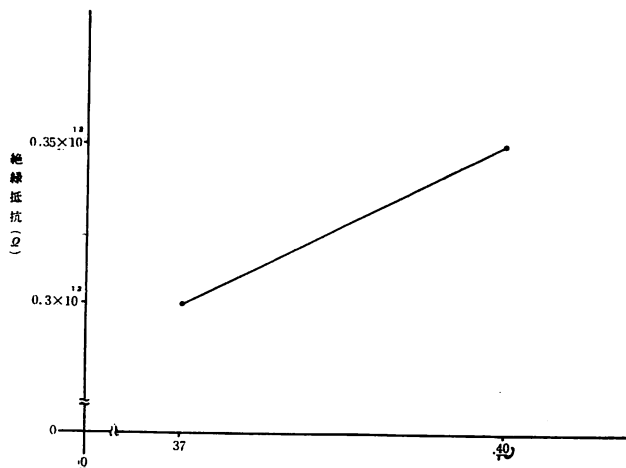


第2図 屋外暴露試験1. 2年後における塩分付着量変化 (S社資料)

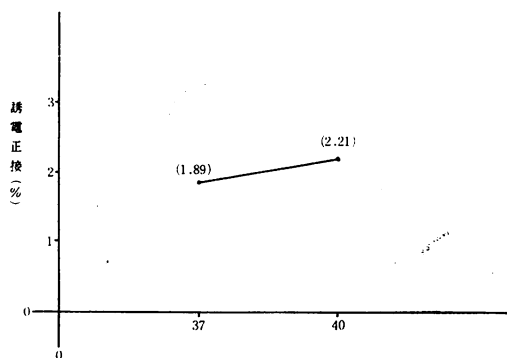
(注) 炎光分光分析法による測定結果を示す。



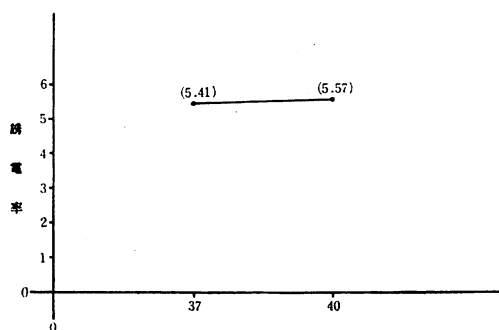
第3図 経年による重量変化 (S社, M社試作品)



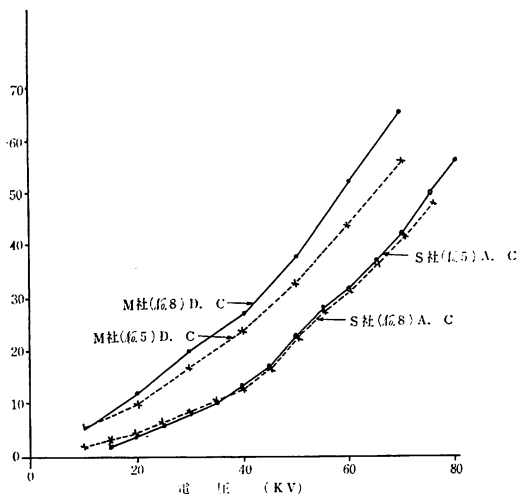
第4図 経年による絶縁抵抗変化 (S社)



第5図 経年による誘電正接変化 (S社)



第6図 経年による誘電率変化 (S社)



第7図 漏洩電流電圧特性

(5) 機械的特性

引張り破壊試験の結果は何れも金具の部分で切断し、その値は試作当初の値と殆んど変化なく略々同一の値を示しており、強度の点ではアーム用吊材として使用するには問題ないと考えられる。

(6) 耐アーク性

2年後のM社の測定値が試作当初に比較して非常に小さなデータを示しているのは、表面状態より考えるとチューブ部表面の風化による粗面化の為にガラス繊維の表面に塩分が付着し、その点で短絡したものと考えられる。重量、塩分付着量、電気的特性による経年変化は第2図～第7図に示すとおりである。

5 む す び

試験用試料としては出来るだけ多くのものを準備し、各種特性試験を実施することが望ましいが、試料の少数のため實際上明確な判定は難しい。

結論としては、今回行ってきた試験結果からでは耐アーク性について一部問題はあがあるがこれの向上については、コーティングの他の方法で一応解決が図られている。

高分子化合物の性質としては急に劣化が進むようなことではないと思われるので、現在の処実用化には支障ないものと考えられる。

耐候性については高分子材料は大体5年までの自然暴露試験では余り特別の変化は認められないが、5年以上の長年月の経過ではやはり、紫外線によるエポキシ樹脂の風化も目立ってあらわれるように考えられ、したがって少なくとも5年以上の暴露試験後の各種特性についての試験結果を十分検討しなければ厳密な意味のもとに、現段階ではFRP材の耐久性は結論づけないのではないかと考える。

終わりにのぞみ本研究は筆者が関西電力技術研究所に在職中に行なった研究の一部であり、試作ならびに各種特性試験全般にわたり御尽力頂いたS社研究部強電課、M社I製作所絶縁課の関係の方々に深く感謝する。

また、屋外暴露試験中、終始調査に当たった関電和歌山支店電路課関係の方々に深甚の謝意を表する次第である。

文 献

- (1) Electrical World, July 27, 1959. P. 69
- (2) 高分子材料の劣化 電気学会有機材料劣化専門委員会編
- (3) 日東技報 (強化プラスチック特集) 日東電気発行。
昭和40年1月, 第7巻, 第1号