

エポキシ樹脂を用いた電力ケーブル用油止接続箱

The Oil Stop Joint Box with Epoxy Resin for the High Voltage Power Cables

依田文吉* 相田和男*
Bunkichi Yoda Kazuo Aita

今井敏雄* 常松甲子郎*
Toshio Imai Kōshiro Tsunematsu

内 容 梗 概

エポキシ樹脂を用いて 60 kV OF ケーブルと 20 kV SL ケーブルを接続する油止接続箱を昭和 35 年 12 月に九州電力株式会社（小倉市内）に納入した。

この新製品に対して製造上の諸問題を検討し各種の特殊試験を行ない完全に性能をは握ることができた。

これを基礎としてさらにこの種のエポキシ樹脂を高電圧ケーブル付属品に応用する目安を得ることができたのでその概要を報告する。

1. 緒 言

エポキシ樹脂は機械的、電気的性質および耐熱性、耐薬品性など電気絶縁材料としてすぐれた特性をもっているため広く電気機器、電線およびケーブルなどの付属品の一部に応用され著しい発展を示してきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

特に超高压電力ケーブル用付属品、たとえば各種の接続箱、分岐箱、終端箱などにエポキシ樹脂を適用した場合は従来から使われてきた油浸紙、がい子などの組み合わせより数多くの利点がある。

すなわち構造が簡単のため接続作業が容易であり、電気的特性が良好なため寸法が縮小され、そのうえ安全度が高く、また比較的安価なことである。

したがって、諸外国においては早くから実用研究が行なわれイタリーのピレリ社などでは 150 kV から 400 kV 級までの油止接続箱や終端箱に適用している⁽⁴⁾⁽⁵⁾。

一方国内においてもここ数年来活発な研究が行なわれ、すでに 60 kV 以上の各種接続箱の完成および次段階への開発が進められている⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

日立電線株式会社においても昭和 34 年にエポキシモールドによる各種接続素子（T 形分岐および Y 形分岐接続）の試作に着手し材料の選定、注型法の検討を行ない、実用化の目安を得ることができた。

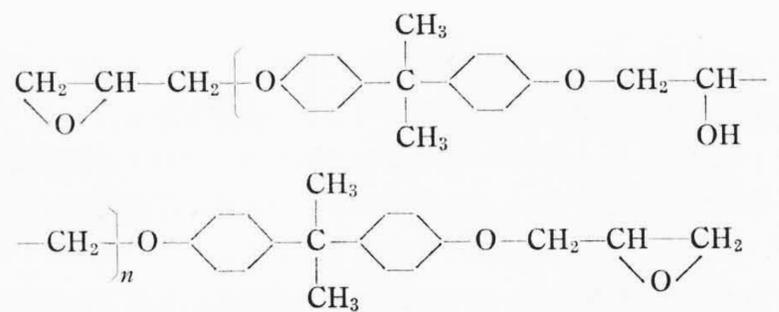
本論文はさきに、九州電力株式会社に納入した OF ケーブルと SL ケーブルを接続するエポキシ樹脂油止接続箱についての概要ならびに特に油止素子について行なった特殊試験結果について述べる。

2. エポキシ樹脂の概要

2.1 エポキシ樹脂

エポキシ樹脂（エトキシリン樹脂とも呼ぶ）は分子中にエポキシ結合 $\text{CH}_2-\text{CH}-$ を含む樹脂で、その種類は多いが一般にはエピクロロヒドリンとビスフェノール A（ジヒドロキシジフェニルプロパン）の縮合物が広く利用されている。

エピクロロヒドリンはプロピレンに塩素および水を反応させジクロロヒドリンとし、これをカ性ソーダで脱塩酸して作り、ビスフェノール A はフェノールとアセトンの縮合によって作られる。そしてエポキシ樹脂は次のような構造をもっている。



この樹脂は最初接着剤として開発されたものであるがその後機械的および電気的性質、また耐熱性、耐薬品性などがすぐれていることが認識され塗料、積層品および注型品などに利用されるようになった。

わが国に輸入されたのは昭和 27 年ごろでありほとんどが高分子量の塗料用樹脂であったが、昭和 32 年以降低分子量樹脂についても関心が高まり接着剤はもちろんのこと電気機器部品の埋込成形や、自動車関係の工具類などかなり需要が増大してきた。

しかし高電圧ケーブルの付属品類（接続箱および終端箱）に使われるようになったのは最近である。そしてエポキシ樹脂の特性上従来から使用されていた油、油浸紙およびがい子などにかわってまたは一部これらと併用しての需要が増加してきている。

これらの付属品に現用されているエポキシ樹脂はチバ社（スイス）のアラルダイトおよびシェルケミカル社（アメリカ）のエピコート、エボンなどである。これらの材料はアミン類、酸無水物などの硬化剤と反応させることによって熱硬化する。したがって目的に応じた性能を得るためには硬化剤、充てん剤など素材の組み合わせがきわめて重要なものとなってくる。

2.2 電力ケーブル付属品への応用例

ここではエポキシ樹脂が高電圧ケーブルの付属品にどのように適用されているかを考察する。

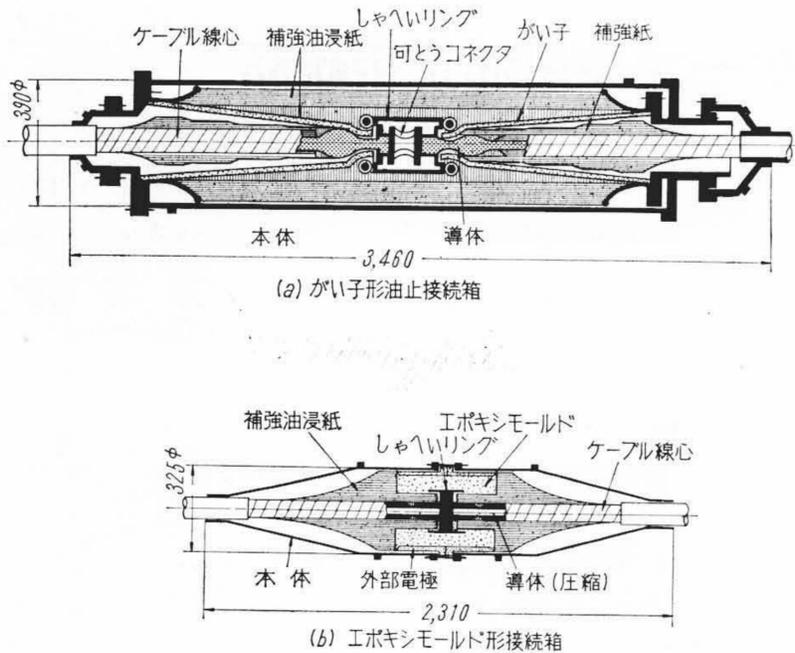
まず 1953 年イタリーのピレリ社が研究に着手し 1956 年には 132 kV、154 kV 級の OF ケーブルに対してエポキシ樹脂を用いた普通接続箱および油止接続箱を試作した⁽⁴⁾。

また 1957 年には 230 kV 油止接続箱が完成され、さらに 1958 年には 400 kV 油止接続箱の試作結果が発表されている⁽⁵⁾。ピレリ社において開発されたこのエポキシ樹脂油止素子を用いた 230 kV 単心 OF ケーブル用油止接続箱と 1949 年ごろ試作したがい子形接続箱との比較を第 1 図に示す。

第 1 図の上側は従来の油浸紙およびがい子を用いた場合であり下側がエポキシ樹脂を用いた新設計によるものである。

がい子形ではケーブルの含浸油を完全に隔離するために截頭円すい状のがい管が使われているがこれがもろく、機械的なひずみに弱

* 日立電線株式会社電線工場



第 1 図 230 kV 単心 OF ケーブル用油止接続箱の比較

いので可とうコネクタで接続しなければならない。このコネクタ部を電氣的に遮へいするために遮へいリングが必要となる。

そして図示したとおりがい管および遮へいリングの上に補強油浸紙が巻かれている。さらがい管内のケーブル端には絶縁紙を巻き付け、できるだけ内部を満たすようにしている。

一方エポキシ樹脂を用いた方式にすると機械的に強固であるばかりでなく非常に構造が簡単となり作業も容易である。すなわちエポキシ樹脂で成型した部分が油の隔壁となりその内に接続部の電氣的遮へい用の電極を埋め込み、導体は圧縮スリーブで接続されるので従来の接続箱よりもかなり小さくなる。

さらがい子形のように両端で外部銅管を接続するかわりに中央において成形品と一緒にボルト締めする結果接続箱の寸法は 3,460 mm から 2,310 mm に縮小している。

一方わが国においては昭和 33 年に古河社が 60 kV OF ケーブル用油止接続箱の試作を報告したのを契機として各社において活発な研究が行なわれ⁽⁶⁾、最近では 140~270 kV 級 OF ケーブル用接続箱の試作も行なわれている⁽⁸⁾⁽⁹⁾。

3. 油止接続素子の試作

3.1 樹脂の選定

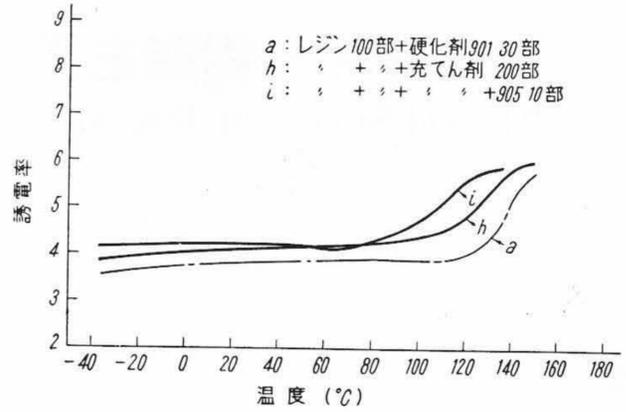
今までに試作した T 分岐、Y 分岐接続素子などの製造にあたってエポキシ樹脂に必要な条件は

- (1) ポットライフが長く、低粘度で注型が容易であること。
- (2) 成形品はケーブル導体と密着した状態で使用されるので温度変化による膨張収縮の程度がなるべく銅棒に近いこと。
- (3) 電氣的にすぐれておりまた機械的に強じんであること。

したがってまず市販されているエポキシ樹脂の特性および注型品としての使用実績などの調査を行ない、その結果チバ社のアラルダイトキャストイングレジンを選り上記の条件を満足するような充てん剤や硬化剤の組み合わせの検討を行なった。

実験は 20 mmφ の試験管内に 12 mmφ の銅棒を配置し、それに硬化剤および充てん剤を組み合わせたエポキシ樹脂をそう入して所定の温度で硬化させ、きれつの発生、分散状態および硬化物の耐冷熱性などを調べた。

これらの結果を第 1 表に示す。F レジン系樹脂は一般に低粘度で注型しやすい利点をもつが充てん剤を配合しないものは硬化時に大部分きれつを発生している。一方 B レジン系樹脂は粘度がやや高いが充てん剤を含まないものでもきれつは発生しない。



第 2 図 充てん剤の配合量と衝撃強さの関係

第 1 表 エポキシ樹脂の硬化過程の状態と耐冷熱性

試 番	レジン + 硬化剤	混 合 割 合 (部)			硬化過程の状態	冷熱特性
		レジン	硬化剤	充てん剤		
1	F+902	100	65	なし	硬化中にき裂発生	—
2	F+972	100	27	なし	良	良
3	F+905	100	100	なし	銅との密着不良	良
4	F+912	100	125	なし	き裂発生	—
5	B+901	100	30	なし	良	良
6	B+901	100	30	200	良	良
7	B+901	100	30	300	硬化前はペースト状	良
8	B+901	100	30	400	粘度高く注形困難	良
9	B+901	100	30	ガラス 100	充てん剤沈降	良
10	B+903	100	30	200	良	良

第 2 表 充てん剤の配合量と線膨張係数の関係

試 番	組 成 (重量, 部)			線膨張係数 (°C ⁻¹)
	B レジン	硬 903	石 英 粉	
No.1	100	30	0	6.6×10 ⁻⁵
No.2	100	30	100	4.7×10 ⁻⁵
No.3	100	30	200	3.6×10 ⁻⁵

第 3 表 エポキシ樹脂の諸特性

項 目	測 定 値
比 重	1.69
衝 撃 強 さ (シャルピ kg·m/cm ²)	1.4
線 膨 張 係 数 (°C ⁻¹)	3.6×10 ⁻⁵
誘 電 正 接 (%) (常温)	1.0
誘 電 率 (常温)	4.0
体 積 抵 抗 率 (Ω/cm ³)	2.8×10 ¹⁵
絶 縁 耐 力 (kV/mm)	35*

注 * は推定

充てん剤を配合する目的は膨張係数を小さくし、かつ価格を低減させることであるがレジン 100 部に対する充てん剤の配合による線膨張係数の変化を示すと第 2 表のとおりになる。

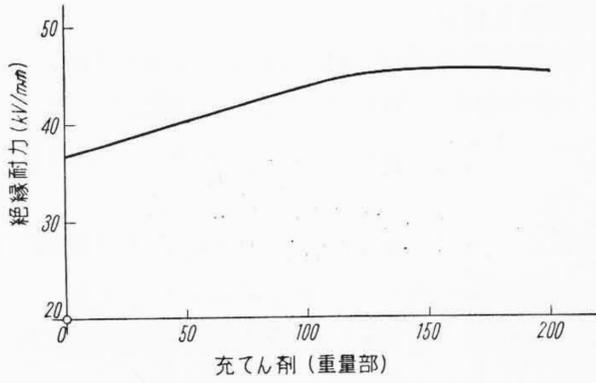
また衝撃強さとの関係を示すと第 2 図となる。すなわち充てん剤を増すほど線膨張係数は減少し衝撃強さも低下する。したがって注型時の作業性を考慮するとレジン 100 部に対し充てん剤 (石英粉を使用) 200 部程度が限界と考えられる。

この組み合わせによるエポキシ樹脂の機械的電氣的特性を測定した結果を第 3 表に示す。また充てん剤を変化させた場合の絶縁耐力の変化、誘電率—温度特性をチバ社で測定した結果は第 3~4 図のとおりである。

この結果によれば充てん剤を増すと絶縁耐力は多少増加するが、誘電率の高温特性は悪くなっている。これらの検討結果より 20 kV 油止素子の試作を開始した。

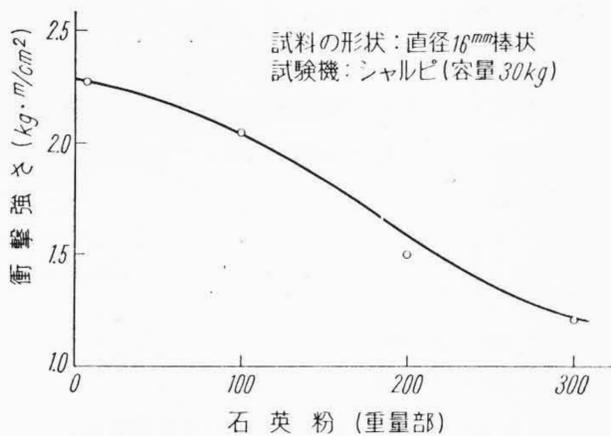
3.2 試作品の概要

60 kV 3×200 mm² OF ケーブルと 20 kV 3×250 mm² SL ケーブルを接続する (20 kV に絶縁設計した) 油止素子の構造は第 5 図に示すとおりであり中央に油止めを併用した遮へいリング (銅) を設け導



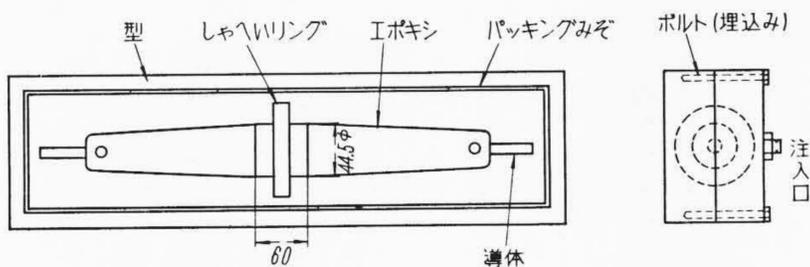
(チバ社で測定)

第3図 充てん剤の混合比と絶縁耐力の関係



(チバ社で測定)

第4図 誘電率—温度特性



第5図 20 kV 油止接続素子の寸法および型



第6図 油止素子

体と一括してエポキシ樹脂でモールドしている。この素子の最大外径は 44.5 mmφ、全長は 620 mm であり、20 kV 用の素子としてはかなり電氣的に裕度のあるものである。

エポキシ樹脂による注型法は 20 kV 用 T 分岐および Y 分岐接続素子などの試作で確立した加工法によって行なった。これらの注型に際しては高粘度でありポットライフが短いことおよび熱収縮作用などのため種々の困難があったが、数多くの実験を行ない、独自の改良を加えて完成させることができた。

この際、特に高電圧ケーブル付属品としてその性能を左右するボイドの抑制に努力を注いだ。第 6 図に完成した油止素子を示す。以上の試作結果から九州電力株式会社に納入する油止素子の製造を行なった。

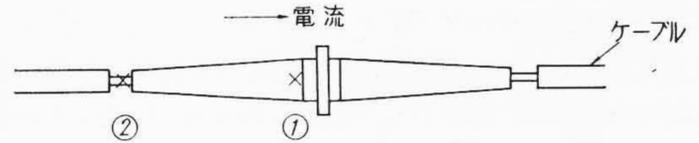
4. 油止素子の諸特性

4.1 一般電気特性

油止素子の完成品について繰り返し冷熱試験、誘電正接、交流長時間破壊試験などの一般電気特性とさらに短絡、ボイド、振動などの特殊試験を行ないその性能をは握した。

第4表 通電による冷熱試験

回数	温度 (°C)		備考
	①	②	
1	123	99.6	通電電流 1,400A 大気 14~16°C 3時間通電 自然冷却
2	120	98.0	
⋮	⋮	⋮	
10	124	98.0	
11	123	100	3時間通電 水冷 (13°C)
⋮	⋮	⋮	
15	120	98	



4.1.1 繰り返し冷熱試験

エポキシ樹脂を導体に直接モールドする場合は線膨張係数の差によるき裂の発生が大きな問題となる。すなわち冷熱時のエポキシ樹脂の異常が事故発生の原因となる。

油止素子の導体に通電、遮断を繰り返し冷熱試験を行なった。また、T分岐接続素子については通電方式ではなく恒温槽中で 130°C、3時間の加熱を行ないその後 16°C の水中で急冷し (合計 10 回) 異常のないことを確かめた。

温度測定は油止素子の中央部導体表面および導体露出 (端) 部に熱電対を取り付けその熱起電力を直読した。また通電に際しては接続部の局部加熱を防ぐために特殊な接続スリーブを作り 500 mm² のブチルゴムケーブルを接続した。

以上の結果を第 4 表に示す。1,400 A の電流を 3 時間通電し、定常状態になってから、電流を遮断する方式で冷熱回数 10 回までは自然冷却を行ない、10 回以降は 13°C の水中で強制冷却した。表示したとおり、導体温度 125~100°C の温度分布において 15 回まで冷熱試験を行なったが異常は認められなかった。

また油止素子より多少寸法は異なるが (小さい) T 分岐および Y 分岐素子では導体温度 170°C、34 回まで試験し、異常のない結果を得ている。なおエポキシ樹脂のシートで 220°C を連続 50 日間加熱しても破壊電圧はさほど低下しない報告がみられる⁽¹⁰⁾。以上の結果を総合するとエポキシ樹脂を用いた接続素子は実用上問題なくすぐれた耐熱性を示しているといえる。

4.1.2 交流長時間破壊強度

次に交流長時間破壊電圧を測定したが、エポキシ樹脂の絶縁耐力はかなりすぐれているのでモールド部で破壊させるのは困難であった。交流強度に対してはむしろ接続部の補強の検討が残された課題となる。

試験は最初油止素子だけについて行ない、両端に 20 kV 3×250 mm² SL ケーブルを接続して、交流電圧を 60 kV/6 時間印加したのちさらに 10 kV/6 時間の割合で昇圧した。その一例を示すと次のとおりである。

試料 No. 1 60 kV/6 時間—10 kV/6 時間上昇—90 kV/5 分
接続部せん絡

No. 2 60 kV/6 時間—10 kV/6 時間上昇—90 kV/10 分
接続部せん絡

試料 No. 2 は 3 心一括して正規の油止接続箱として 60 kV OF ケーブルおよび 20 kV SL ケーブルを接続して行なったものである。結果は 90 kV で破壊しており破壊箇所はいずれも接続部におけるエポキシ表面と補強絶縁紙間のせん絡であった。

破壊時にはかなりの電流が流れて補強紙そのほかは炭化しているのに対しエポキシ部は全然異常なかった。

以上のように交流破壊試験ではいずれもエポキシ自体の破壊でないで真の絶縁耐力を求めることはできなかったが20kV系統では問題なく十分使用できる結果が得られた。なお絶縁耐力は35kV/mm以上あるものと推定される⁽⁷⁾。

4.1.3 インパルス強度

インパルス試験も交流試験と同様に20kV SL ケーブルを接続して200kV/3回より10kV/3回の割合で電圧を上昇させて400kV/2回目で接続部においてせん絡した。他の試料も同程度の破壊電圧である。

また誘電正接は60kV OF ケーブルおよび20kV SL ケーブルを正規に接続して使用電圧で測定を行なった結果(常温)各線心とも0.8~0.9%程度であった。なおP. Nowak⁽¹¹⁾氏はエポキシ樹脂の誘電正接として0.7%程度の値を発表している。

4.2 油止接続素子の特殊試験

4.2.1 ボイド含有試験

次に特殊試験として含有ボイドの測定を行なった。エポキシ樹脂モールド品は硬化剤の昇華のためにボイドが発生しやすく、それが電氣的性能を大きく左右する。したがって完成品に対してはボイドの含有を検討する必要がある。

第7図に示す油槽中で油止素子の導体に高圧を印加しコロナ開始電圧を測定した。外部電極はエポキシ表面に導電性塗料および鉛テープを巻いて構成した。コロナは45kV(使用電圧の約4倍)までは発生しなかったが、それ以上では高圧端子より外部放電して測定できなかった。なお第7図に示すボイド検出器の精度を確認するためにモデルボイドをエポキシ表面に作り大きさとコロナ開始電圧および放電電荷量の関係を測定して校正した。

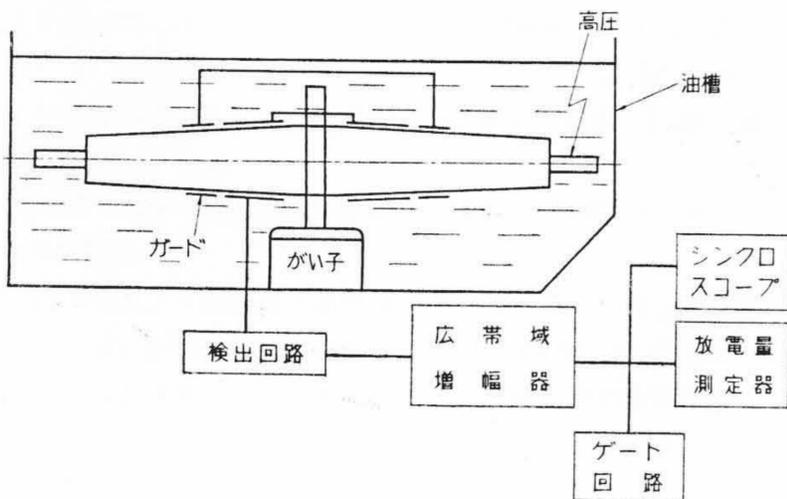
このボイド試験は納入品の全数にわたって行なった。

4.2.2 短絡実験

エポキシ樹脂は耐熱性がすぐれていて冷熱試験においても満足する結果を得たが系統の短絡時における急激な温度変化に対してはどのようになるか問題である。したがってこの短絡電流による影響をみるため主として過渡的の温度の測定を中心にして繰り返し試験を行なった。

短絡実験は第8図に示す2,000kVA大電流発生装置を使用し油止素子だけについて行なった。短絡時の導体温度は中央部に熱電対をそう入し、また電磁オシログラフで電流-電圧波形を撮影し抵抗法によって算出するようにした。

まず紙ケーブルの定格温度が80°Cになる電流を通電し素子の導体温度を80°Cとしたのち約40,000A(瞬時波高値)の大電流を1秒間通電した。第5表に試験条件を示す。導体温度は抵抗法では誘導による誤差が大きくなるため結局熱電対の放冷曲線より延長して求めた。なお短絡電流が比較的小さい場合には熱電対法を用いたが、70°Cに対して抵抗法で求めたものは70.8°Cとなり、こ



第7図 ボイド検出器ダイアグラム

の方法の信頼性を確認した。

表示した最大短絡電流40,200 Apeak, 28,400 Aeff, 1秒(周波数50 c/s)で導体温度は80°Cより190°C程度になった。この条件で素子が冷却したのち、繰り返し10回試験を行なったが別段異常はなかった。

この190°Cという値は紙ケーブルの短絡定格(170°C 1秒)以上⁽²⁾であり短絡現象に対しても安全であるといえる。

なお短絡時の機械力に対しては後述する破壊試験においてかなりの強度をもつことから問題ないと推測できる。

4.2.3 振動試験

各種の高電圧ケーブル用付属品として使用する場合には振動疲労に対する強度も検討しておく必要がある。第9図に示すような振動試験装置を作製し、中央および一端を完全に固定し、他端に100V 50 c/sで動作する振動器を取り付けた。

振動偏位の測定には圧接式振動計を使用した。第6表に示したとおり振動頭部における最大振幅は50μであり中央部は3μ程度である。周波数は

$$f = \frac{g}{0.00314 \times \mu} \dots\dots\dots (1)$$

g: 加速度

μ: 振 幅

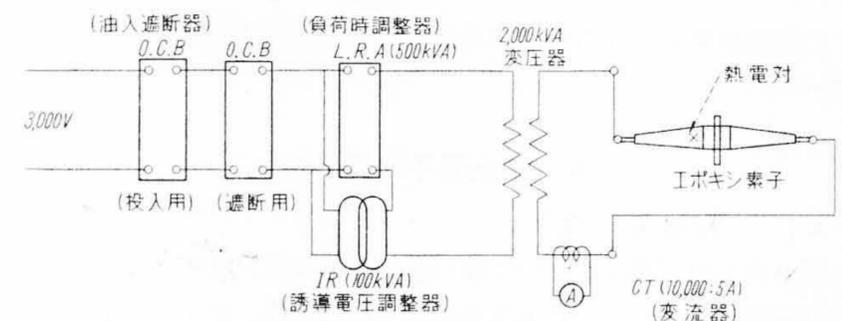
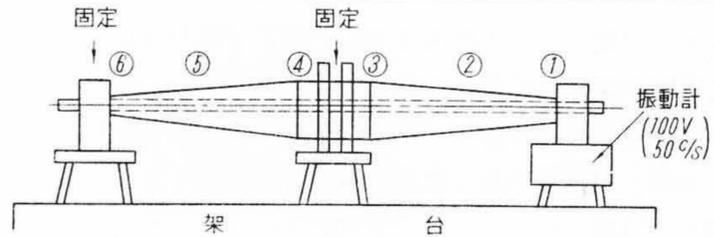
(1)式から求めると測定場所①においては100 c/s, ②において

第5表 短絡試験条件

条件 回数	短絡電流 (A)		時 間 (s)	導体温度 (°C)	大気温 (°C)
	波高値	実効値			
1	39,350	27,800	0.98	170	13
2	39,600	28,000	1.00	173	13
3	39,600	28,000	1.00	173	12.5
4	37,500	26,500	1.00	165	10
5	40,200	28,400	0.97	192	10
6	39,600	28,000	0.97	190	13
7	39,600	28,000	1.00	190	15
8	38,200	27,000	1.00	195	15
9	37,900	26,800	0.98	175	15
10	37,900	26,800	0.98	180	14

第6表 振 動 条 件

測定位置 結 果	各 部 の 偏 位					
	①	②	③	④	⑤	⑥
振 幅 (μ)	50	28	3	2	1	0.5
加 速 度 (mm/s)	15.7	13.2	1.8	1.22	1.22	1
f (c/s)	100	150	200	200	400	600



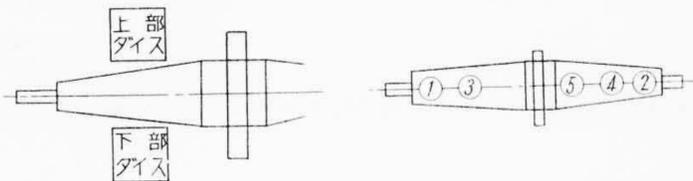
第8図 短絡実験回路

は 150 c/s である。

これらの条件で連続 20 日間試験したが何の変化もなかった。

第 7 表 圧縮破壊試験

試料	破壊位置				
	①	②	③	④	⑤
No.1	6,150	7,650	9,020	9,550	9,860



この 50μ の値はケーブル直結変圧器などに使用された場合を仮想して選定したものである。

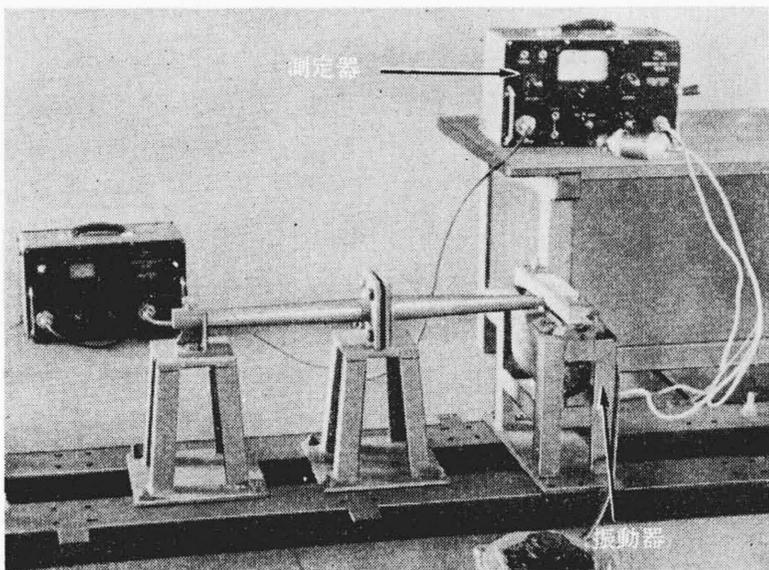
4.2.4 圧縮破壊試験

ここでは油止素子がどの程度の機械的強度を持っているかを知るため万能圧縮機で静荷重を加え破壊試験を行なった。

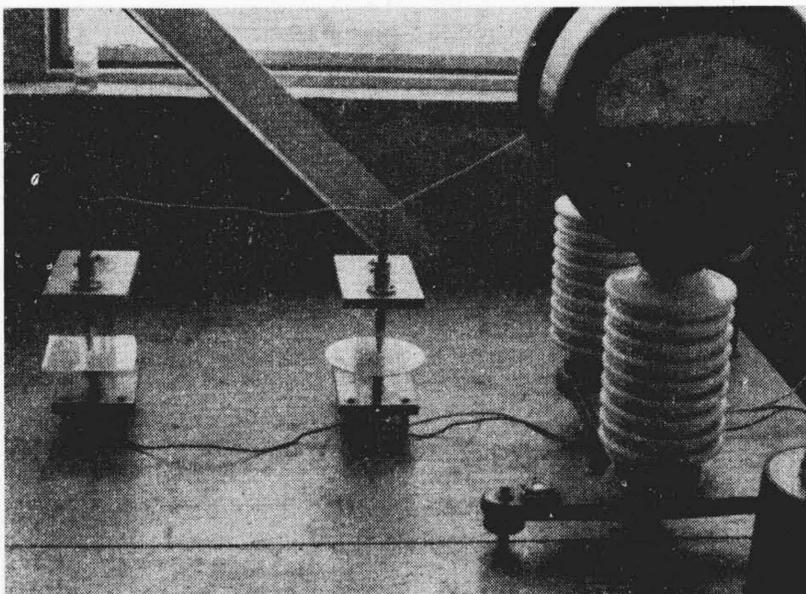
エポキシ素子が第 7 表に示す円すい形になっているため荷重は局部的にしか加わらずかなりバラツキを示しているが表示した 6,000~10,000 kg 程度の破壊強度をもっていることがわかった。

4.2.5 耐コロナ試験

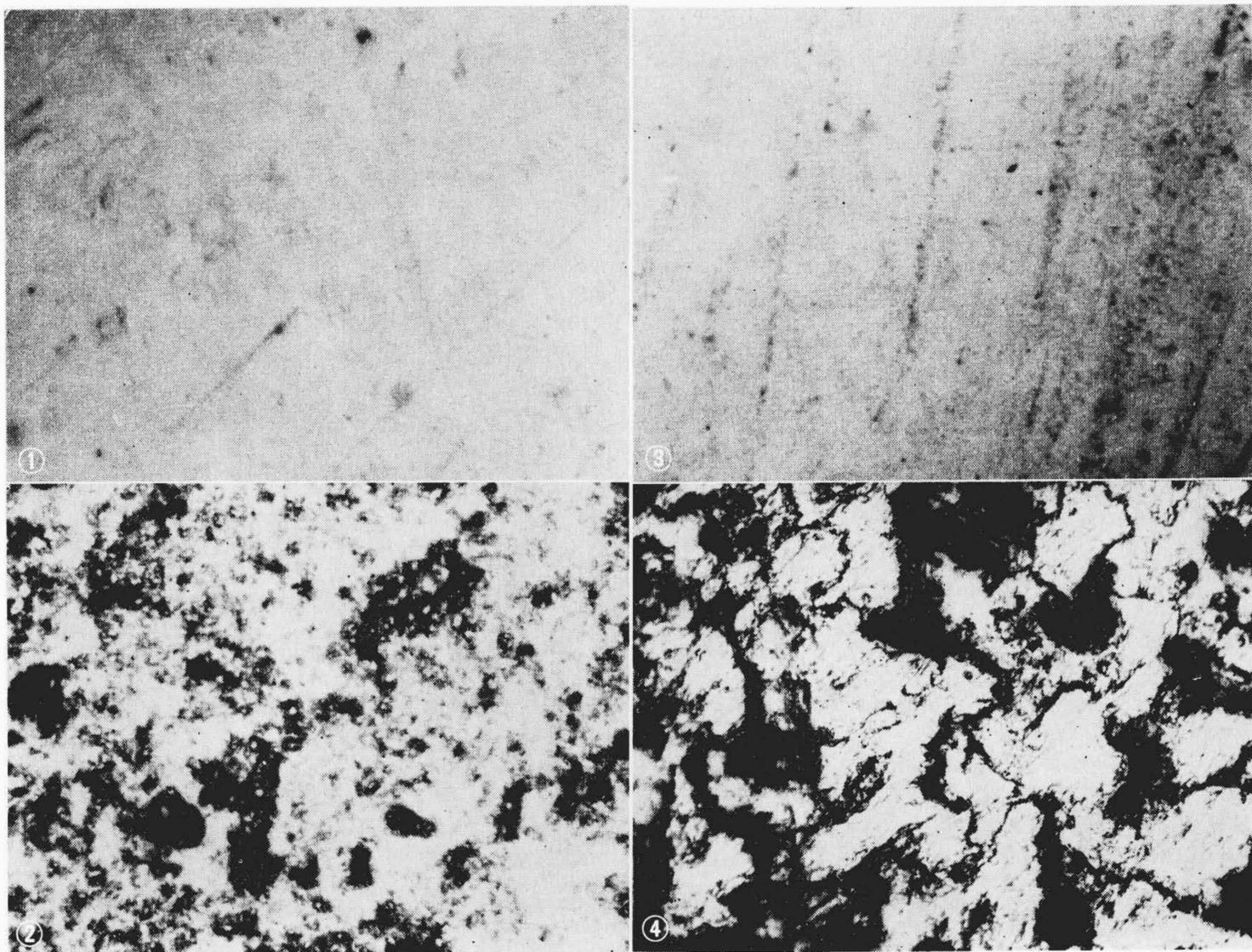
次にエポキシ樹脂の耐コロナ性をみるために厚さ 2.3 mm, 直径 100 mm のシートを作り第 10 図に示す平板電極 (D=50) 上に置き針端電極 (先端 R=1.5) に高電圧を印加して耐コロナ特性



第 9 図 振動試験装置



第 10 図 耐コロナ試験状況



① エポキシ板 (試験前) ③ エポキシ板 (試験後)
 ② ポリエチレン板 (試験前) ④ ポリエチレン板 (試験後)

(50 倍の顕微鏡写真, 透過光による)

第 11 図 コロナによる劣化状況

を観測した。

ギャップ 3 mm に対してコロナ開始電圧は 5 kV であったのでその 3 倍の電圧 (15 kV) を印加した。

なお同時に他の合成樹脂と比較するために 1.6 mm のポリエチレンシートにも同様の電圧を印加した。第 10 図の右がエポキシ板であり、左側がポリエチレン板である (ポリエチレンに対しても 15 kV を印加した)。

このときの放電電荷量を測定すると、

エポキシ板 $6 \times 10^{-4} \text{ Q/s}$

ポリエチレン板 $9 \times 10^{-4} \text{ Q/s}$

でありポリエチレン板のほうがやや大きい。この条件で連続 631 時間課電した結果エポキシ板はわずかに劣化が認められる程度であるのに対しポリエチレン板は著しく劣化していた。

さらに引き続き 1,112 時間まで課電したが、その時の各試料の表面状態を顕微鏡写真で観測してみると第 11 図のようになっている (50 倍の透過光による)。

ポリエチレンはコロナによって表面が著しく劣化しており肉眼でも明確に凹凸状のトラッキングが観察できる。一方エポキシ板は 631 時間の時と同じようにコロナ劣化はあまり進展していない。

以上のことからエポキシ樹脂の耐コロナ性のすぐれた一端を知ることができたが、これはエポキシ樹脂の化学構造からの推定と一致している⁽¹³⁾。

5. 油止接続箱の布設概要

油止接続素子について諸特性を述べたが最後にこれを九州電力株式会社に納入した際の布設概要を述べる。

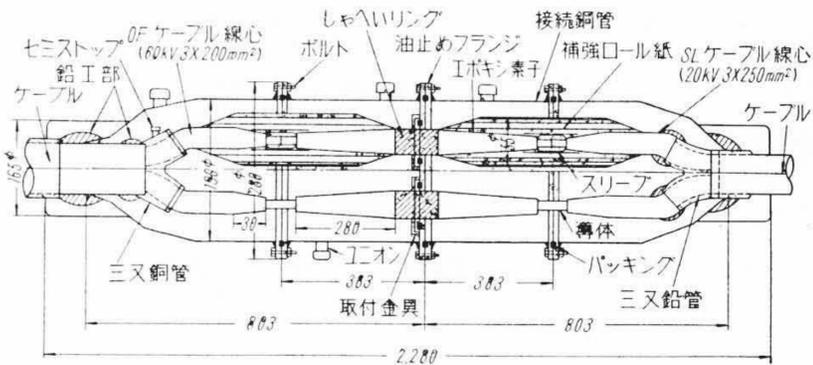
エポキシ樹脂を用いた油止接続箱は小倉市内の既設 20 kV SL ケーブルと新設の 60 kV OF ケーブルを接続するのに使用されたが、これは 20 kV 系統を近い将来において 60 kV に昇圧する計画に基いたものである。

エポキシ素子を用いた油止接続箱の構造を第 12 図に示す。エポキシ素子は中央に示す油止めフランジに取り付け両端にケーブルを接続し補強紙を巻き各側室を排気して混和物を充満させるというきわめて簡単なものである。

現地組み立てはきわめて良好に行なわれ真空度も上り、油止に対して特別な問題はなかった。そして昭和 35 年 12 月に送電が開始され現在も支障なく運転されている。

6. 結 言

エポキシ樹脂を用いた油止接続箱を製造し各種の試験を行なった



第 12 図 OF ケーブル対 SL ケーブル油止接続箱寸法

が、これらを要約すると次のとおりである。

- (1) 使用したエポキシ樹脂はアラルダイト B レジン 100 部、充てん剤 200 部、硬化剤 30 部である。
- (2) 製造に対する問題点は熱硬化性、高粘度、ボイドの発生熱収縮などであるが、数多くの試作を行ない、完全な製造条件をは握した。
- (3) 完成した油止エポキシ素子はボイドのないもので電氣的、熱的特性においても十分満足できるものであった。
- (4) 油止接続素子について種々の特殊試験を行ない (短絡, ボイド, 振動, 耐コロナ試験など) その性能をは握することができた。
- (5) この油止接続箱は昭和 35 年に九州電力株式会社に納入され現在も良好に運転されている。

終りにのぞみ終始ご指導いただいた九州電力株式会社送電課宮崎氏、山手氏、電線工場の関係各位に対し厚くお礼申しあげる。

参 考 文 献

- (1) F. Raupach: ETZ-B, 11, 70 (1959)
- (2) E. W. Bollmeien: TAIEE, 76, 874 (1957)
- (3) J. J. Rueckert, O. W. Lusby: TAIEE, 78, 983 (1959)
- (4) P. G. Priaroggia, G. Palandri: CIGRE, No. 215 (1956)
- (5) P. G. Priaroggia, N. Palmieri: CIGRE, No. 216 (1960)
- (6) 中野, 増田: 電気学会東京大会 No. 240 (昭 33-11)
- (7) 加賀谷, 秋山: 電気学会連合大会 No. 797 (昭 35-7)
- (8) 加賀谷, 鹿間, 吉田: 電気学会連合大会 No. 906 (昭 36-4)
- (9) 井上, 武井, 菊地: 同上 No. 909 (昭 36-4)
- (10) 堀内, 塚田: 電気学会東京大会 No. 125 (昭 35-11)
- (11) P. Nowak, F. Weber: ETZ-B, 10, 101 (1958)
- (12) 宮沢, 依田, 相田: 日立評論 39, 81 (昭 32-8)
- (13) 谷口: 高分子 8, 615 (1958)

Vol. 22

日 立 造 船 技 報

No. 3

- ◎超大型油送船の横強度に関する研究 (第 2 報, 実験結果の解析)
- ◎プロペラ後流の速度場について (第 2 報)
- ◎機械室用通風機の騒音について
- ◎YND 鋼の工作および溶接に関する研究
- ◎放電加工改良の基礎的研究 (II)

—加工作用の検討(その 2)—

- ◎鋼板の常温曲縁加工に対するショットプラスト加工の影響について
- ◎外径研削時間算定基準の研究
- ◎ドリル穴あけ上の諸問題について
- ◎重荷重, 極低速摩擦条件下における潤滑について
- ◎若戸大橋塔柱架設工事概要報告

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町