高電圧 OF ケーブル用プレハブ形接続箱の研究

Development of Prefabricated Joints for High Voltage Oil-filled Cable

川藤勇次郎*
Yûjirê Katê

兄 文 : Fumiya Numajiri

大都市における用地難および道路交通事情から送電系統を構成する各種要素の寸法縮小化,施工時間短縮化が要求されている。高電圧ケーブル用接続箱もその中の一つであり,各方面でこの種の研究が行なわれてきている。われわれはさらに,熟練者によらなくとも性能の安定した製品が得られることを条件の一つに加え,新しい形の接続箱の開発研究を行なった。開発対象は66 kV 以上の普通,給油および油止接続箱とし,いずれも主要部分はあらかじめ工場内で製作しておく構造をもち,プレハブ形接続箱と呼べるものである。本論文では新しい66 kV 接続箱の開発研究の考え方について述べ,さらに,基礎実験を経て開発された接続箱が寸法的に小形であり,施工時間が短いうえ,性能もじゅうぶんであるという結論をうるに至った経過を述べている。

1. 緒 言

都市内部への電力供給は逐次地中ケーブルによって行なわれるすう勢になってきており、近い将来、超高圧地中ケーブル系統の都内導入も実現される状況にある。数百mを越える地中ケーブル系統は一般に中間での接続が必要であり、この超高圧系統都内導入に備えて、日立電線株式会社でも昭和38年から昭和40年にかけて東京電力株式会社と共同で275kVOFケーブル用普通接続箱および油止接続箱の開発を行ない、良好な電気的性能を有する接続方式を完成することができた(1)。

OFケーブルはせいぜい数百mが輸送ならびに布設上の限界条長であるから、数 km 以上に及ぶケーブル系統では非常に多くの中間接続が必要になる。工事の効率化ならびに接続の信頼性向上の面から、これら多数の接続を短時間に、かつ、さほどの熟練度を必要としないで行なうことは今後の電力流通近代化上非常に重要であろう。

このような見地から、われわれは数年前から66kV以上のOFケーブル接続箱のプレハブ化のテーマをかかげて研究を行なってきた。ここに66kV級に関するこれまでの研究の概要を述べる。

2. 接続箱に対する諸要求

2.1 接続箱の種類と統一化

OFケーブル線路に用いられている直線状接続箱には普通接続箱, 絶縁接続箱および油止接続箱の3種がある。このうち, 普通接続箱と絶縁接続箱は内部絶縁構成が同一でシース側が一部異なるのみである。この二つの接続箱はケーブルを長距離連続にするためのものである。一方, 油止接続箱はケーブルの給油区間を分離するためのもので, これによって左右のケーブルの油は完全に分離され, 別々に給油を受けることになる。

さらに、ケーブル系統の拡充に伴って、最近、ケーブル線路の中間部分でも油を給油する必要が生じてきている。この給油はもちろん中間にある接続箱で行なわれる。油止接続箱はこの目的に使用できるけれども、給油のみで給油区間の分離が不必要な場合には専用の給油接続箱を用いるほうが経済的である。3心ケーブルならば接地側に油通路があるので普通接続箱と同様のものでよいが、単心ケーブルでは導体中心に油通路があるので高電圧部への給油になり、経済的な新接続箱の開発が有用になる。

さて、これら4種の接続箱を新しい観点から考察してみよう。管理効率の面からいえば中間接続の種類は極力少ないほうがよい。そのためにはケーブルサイズによらない接続箱の開発が肝要である。

しかも、これら4種の接続箱をも2種以下にできれば保守上のメリットは非常に大きい。経済性を重視すれば、一応、現時点の理想として単心ケーブル、3心ケーブルとも普通兼給油接続箱と油止接続箱の2種に分けて開発するのが妥当であろう。ケーブルサイズ全部に共通のものとするかどうかは開発結果によるものとする。

2.2 接続箱に対する要求

新形接続箱に対する要求の第一は寸法縮小である。都市の過密化はマンホール場所獲得を困難にし、建設費も上昇している。マンホールの幅および高さは作業空間の点から決められるので、長さの低減がコスト低下の要因であり、この意味からは接続箱の長さの縮小が特に必要であり、接続箱胴径の縮小は急務ではない。

要求の第二は施工時間の短縮である。この目標は部品のプレハブ リケーションによってのみ達成される。第三はなんといっても信頼 度であろう。新形にすることによって性能の低下は許されないし, すべての面で安定でなければならない。このためにも絶縁の主要部 の工場完成が必要である。

3. 新形接続箱開発に対する基礎的研究

3.1 開発上の要点

開発に当たって従来の接続箱の施工時間を調査した結果,長い時間を占める作業は次の三つであった。

- (i) 導体接続圧縮スリーブの整形
- (ii) ケーブル絶縁体のステッピング
- (iii) シースと接続箱銅管の鉛工 これらの作業を省略するための方策は
- (a) 導体スリーブ上を電界シールド電極金具でおおう。
- (b) 絶縁主要部は工場製作とする。
- (c) 鉛工の代わりに機械的封止金具を使用する。

の三つである。電界シールド電極を取り付ければ少なくとも金属電極の厚みだけ接続箱胴径は太くなるが、長さの縮小が図れるであろうし、全体の部品のプレハブ化によって現場施工による信頼度の低下が防止できる。(c)の完成は接続箱にとって画期的なものであるが、鉛工を除くいかなる方法もシースと銅管を合金層を介して金属的に一体とすることはできないことに注目しておかなければならない。したがって、第一段階としては封止金具は一時的なものと考え、時期をみて最終的に鉛工して完成させることを考えるほうがよいであろう。その意味からは接続箱改良の第二段階の目標は長期寿命の裏付をもった完全無鉛工方式の確立である。

以上を総合して一口にいえることは接続箱部品の完全プレハブ化であり、これが管理効率向上、保守省力化ならびに信頼度向上につながるものである。

^{*} 日立電線株式会社研究所

^{**} 日立電線株式会社研究所 工学博士

H

3.2 新形接続箱開発に関する基礎実験

プレハブ形接続箱の基本となるシールド電極の効果を 調査するため、基礎実験として図1に示す構造の接続部 絶縁について電気特性試験を行なった。シールド電極は 一般に導体スリーブをおおうに足る1個のもので構成さ れるが、将来の変形も考慮して2個に分割した。電極の 突き合わせ部分での絶縁破壊も予想されたからである。

通常,接続部の設計上考えられている因子はシールド 電極上の絶縁厚さと電極先端-ストレスコーン立上り部 分間の長さの二つである。ここではシールド電極の表面 電位傾度がいくらに取れるかに関心があるので、後者の 長さ方向のクリープ長を固定して、絶縁体最大外径 100 mm と 120 mm の 2 水準について実験した。

表1は交流長時間およびインパルス破壊試験の結果を示したもの である。破壊点は図2に示されるとおりで、No.3を除いてシール ド電極のだいたいの絶縁耐力が示されていると考えられよう。外径 を 120 mm にしても破壊電圧はたかだか数万ボルト上昇するのみ で、この形式の接続部の電気的耐力はシールド電極部の絶縁が主体 となってきいていると考えてよい。電極表面の破壊電位傾度は、安 全をみて, 交流で 16~17 kV/mm, インパルスで 33~34 kV/mm と考えられる。インパルス比(インパルスと交流の破壊電圧の比)は 約2で、ケーブル本体の $2.6\sim2.7$ に比べて小さい。これは接続部自 体の一般的特性ではあるが、特にシールド電極付近の絶縁構造に起 因する。

このような絶縁構造においては外層の広幅油浸紙の巻径を増加し てもそれに見合った破壊電圧の上昇が期待できないという根本的問 題があって、電気性能の飛躍には(1)シールド電極外径増加による 電極表面電位傾度の低下と(2)電極絶縁の強化が重要である。

4. 66 kV 級単心ケーブル用プレハブ形普通 および給油接続箱の試作

4.1 試作接続箱の構造と特長

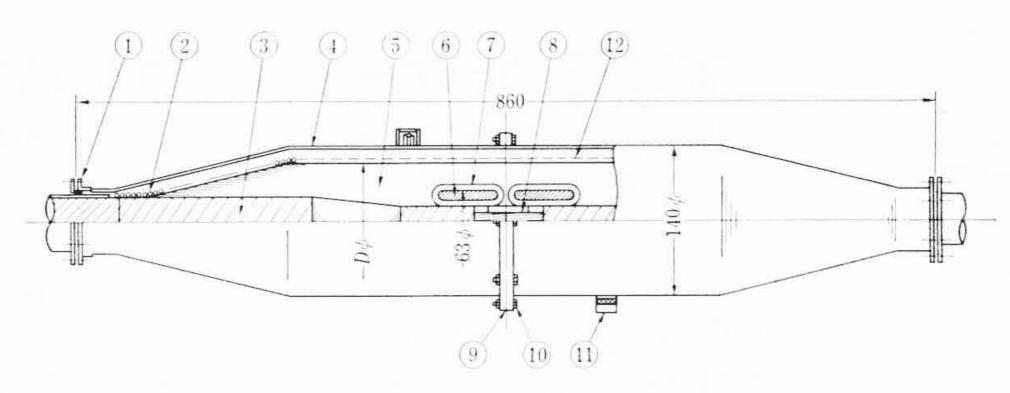
以上の基礎実験と種類の統一およびプレハブ化の趣旨 に基づいて図3に示す66kV級単心ケーブル用接続箱を 試作した。これは普通接続箱であって、しかも、給油接 続箱に直ちに転用可能な接続箱である。

現用の普通接続箱と異なる点は次のとおりである。

- (1) シールド電極金具⑬が用いられている。絶縁被 覆された電極は絶縁筒上にセットされ, しかも 外層に広幅油浸紙(4)が巻かれ、図3の太線部分 は一体となってスリーブ上にそう入される。
- (2) ケーブルコアのステッピングあるいはペンシリ ングは行なわれていない。
- 広幅油浸紙⑩は工場で成形され,外部遮蔽(しゃ へい)板は一体になっている。
- (4) ケーブルシース側には成形されたストレスコー ンがあり、ケーブルコアに広幅油浸紙⑦の調整 層を介してセットされる。
- (5) (A) 部は油空げきのままか、クレープ紙が適当に充てんさ れる。給油接続箱でクレープ紙充てんの場合は耐油性チュ ーブを埋め込んで油通路とする。油通路の有無のみが給油 接続箱と普通接続箱の違いである。なお、この油通路の油 流抵抗は 66 kV 単心 OF ケーブルの約 20 cm に相当する 値であり、実用上なんら問題はない。

4.2 電 気 性 能

図3の構造の66kV級プレハブ形接続箱の破壊試験結果を表2に



- 銅管機械的封止
- ストレスコーン
- 4 銅
- シールド電極絶縁体
- (10) 締付ボルト

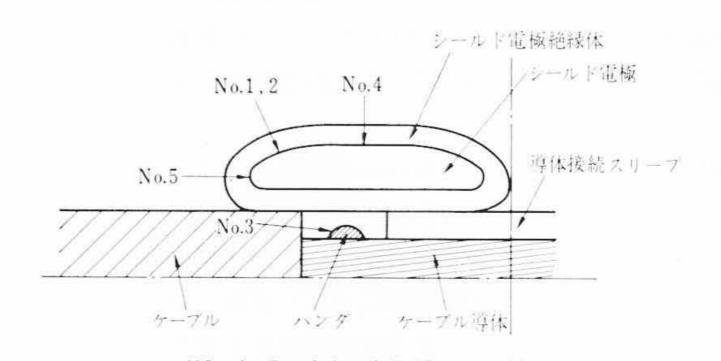
- ⑤ 補強油浸紙 シールド電極
- (11) コネクタ (12) シールド板

基礎実験用接続箱

破壊試験結果

No.	絶縁外径 D	印加電圧種類	破壊電圧	電極表面電位傾度
1	100	交 流	320 kV/10 分	22.1 kV/mm
2	100 mm	インパルス	640 kV / 1 回日	44. 2 kV/mm
3		交 流	340 kV/10 時間	16.8 kV/mm
4	120 mm		680 kV / 2 🖂 🖯	33.6 kV/mm
5		インパルス	780 kV / 3 回日	38.5 kV/mm

インパルス試験……500 kV/3 回+10 kV/3 回昇圧



(No. 1~5 は表1の実験 No. を示す) 図2 シールド電極付近の破壊口

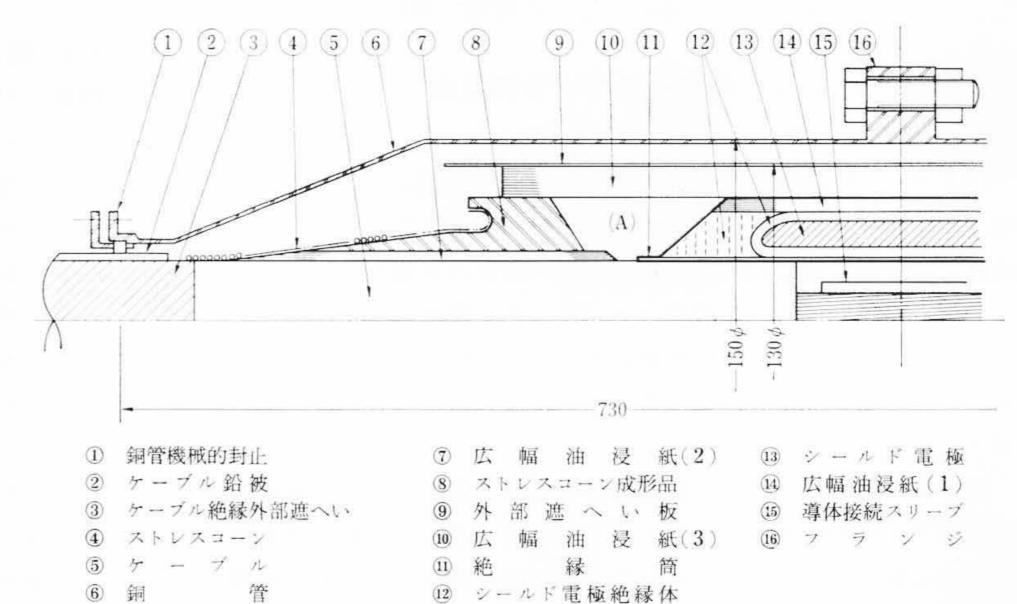


図3 66 kV 単心ケーブル用接続箱

示す。表2は試験結果を最終的に取りまとめたもので、(A)部をク レープ紙充てん、油腔(こう)のままおよび絶縁チューブそう入クレ ープ紙充てんの三つに分類して記してある。後二者は給油接続箱と してのものである。

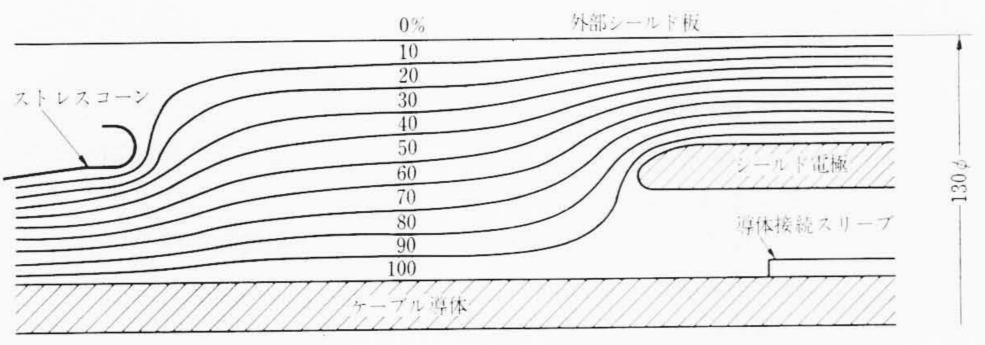
このプレハブ形接続箱の設計は、3.の基礎実験より、シールド電 極表面の破壊電位傾度がインパルス 600 kV に対して 32 kV/mm になるように考慮されている。図4は電界解析による電位分布の一 例であるが、シールド電極端部の半径方向の電界がシース側ストレ

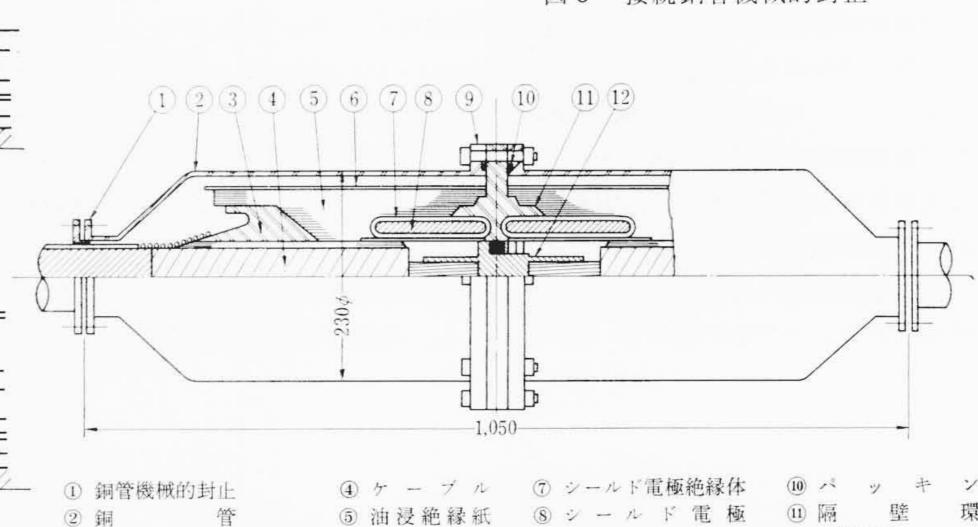
表 2 66 kV プレハブ形普通および給油接続箱の性能

No.	(A) 部の絶縁方式	印加電圧種類	破壊電圧	電極表面電位傾度	適 用	
1 クレープ 紙充てん	クレーブ	交 流	300 kV/1時間	15.8 kV/mm	並 不放約約	
	紙充てん	インパルス	630 kV / 2 回目	33.6 kV/mm	普通接続箱	
2 油 腔		交 流	220 kV/15 分	11.6 kV/mm	6A 34. 157. 6 ± 55.	
	2	油腔	インパルス	540 kV / 1 回目	28.6 kV/mm	給油接続箱
3 2 2 -			交 流	320 kV/10 分O. K.	16.8 kV/mm	6A. M. Lety 6± 8/2
	クレーブ 紙充てん	インパルス	600 kV/3回O.K.	31.6 kV/mm	給油接続箱	

	0%	外部シールド板	
	10		
	20		
レスコーン	30		
7//	40		
	50		グシールド電極 ///
	60		1/1/1/1/1/1/1///
	70		
	80		導体接続スリーブ
	90		

66 kV 接続箱内絶縁体部の電位分布





シールド電極

図5 66 kV 普通および給油接続箱の破壊経路

(b) (A) 部油絶縁の破壊径路

(a) (A) 部クレープ紙絶縁の破壊径路

スコーン先端の位置によって大きく影響されることが認められた。

表2の実験の破壊経路は大略的には図5の二つに分類され,(A) 部がクレープ紙絶縁か否かによって分けられていることは興味深 い。(A)部がクレープ紙で充てんされることにより、破壊電圧は交 流の場合約40%上昇する。

表2の結果は66kV級としては十二分の性能となっている。ちな みに表3に現用の66kV級普通接続箱の寸法と希望性能を示した が、図3の構造の接続箱は銅管内径150 mm Ø, 長さ730 mm で、径 は大きいが長さはかなり縮小されている。

4.3 機械的封止金具と施工時間

接続銅管端部の機械的封止金具は図6に示す種類のもので、これ らは鉛被ケーブルに適用される。鉛被を直接パッキンで加圧すると 長期的には鉛被のクリープ変形が生じるので, (a)のものは最終的 には後刻鉛工を行なって長期の安定を図らなければならない。(b) はこれを避けた形式のものであるが、最適な構造についてはなおじ ゅうぶんの検討が必要である。

試験にはすべて(a)の封止金具が用いられたが、真空度はすべて 2/100 mmHg 以下に保たれ、くり返しの使用に耐えた。

施工時間は、(a)のものを用いて、導体スリーブ取り付けから真

普通接続箱の希望性能

		寸 法 (mm)		希望破壞電圧値 (kV)	
電圧階級	適用サイズ	銅管内径	銅管長	交 流	インバルス
	600 mm ² 以下	110	960	940 950	540~600
66~77 kV	800 mm ² 以上	120	960	$240 \sim 250$	540~600
154 kV	800 mm ² 以下	160	1,450	400	1,050~1,100

差込み金具 (a)

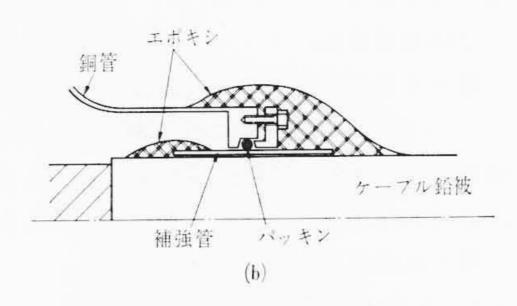
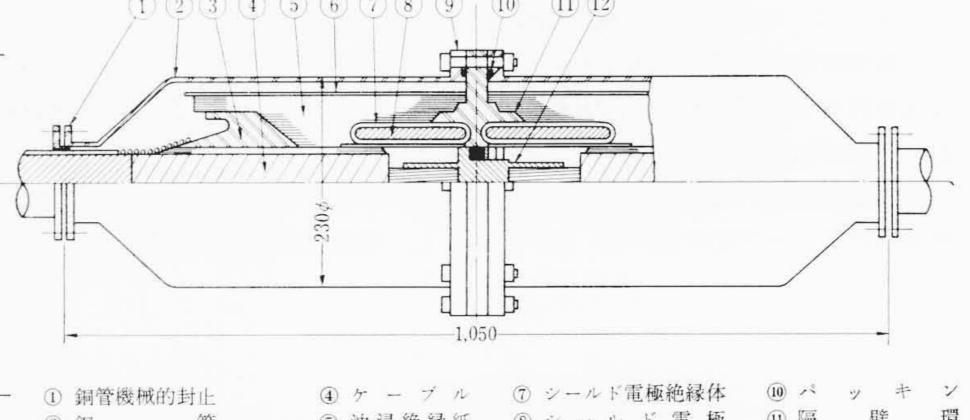


図6 接続銅管機械的封止



⑥ 外部遮へい板 ⑨ 鋼 管 フ ラ ン ジ ③ ストレスコーン成形品

(11) 層 ⑫ 導体接続スリーブ

図7 66 kV 単心ケーブル用新形油止接続箱

空引開始まで約2時間であり、大幅な時間短縮ができた。

5. 66 kV 級単心ケーブル用新形油止接続箱の試作

5.1 試作接続箱の構造と特長

試作した油止接続箱はがい管を使用しないもので, その構造は図 7に示すとおりである。

導体スリーブを圧縮したのち, スリーブ中央のフランジに油を分 離するための隔壁環を取り付ける。この隔壁環は固体絶縁体ででき ている。隔壁環の表面に沿ったクリープ破壊を防止するため、導体 スリーブ上に隔壁環に密着してシルード電極金具を取り付ける。こ の金具にはある厚さの絶縁が施されている。その他は4.の普通接続 箱と同じである。

現用のがいし形油止接続箱との差は,新形はケーブルコアにかぶ せられるがい管がないため接続箱の長さが大幅に縮小される,とい うことでつくされる。ただ、隔壁環の沿面クリープ長を確保するた めどうしても接続箱の外径が大きくなる。

5.2 電気的性能

ある程度は予想されたが, 隔壁環の形状の選択がむずかしくなか なか満足すべき試験結果が得られなかった。図8に示す破壊径路の

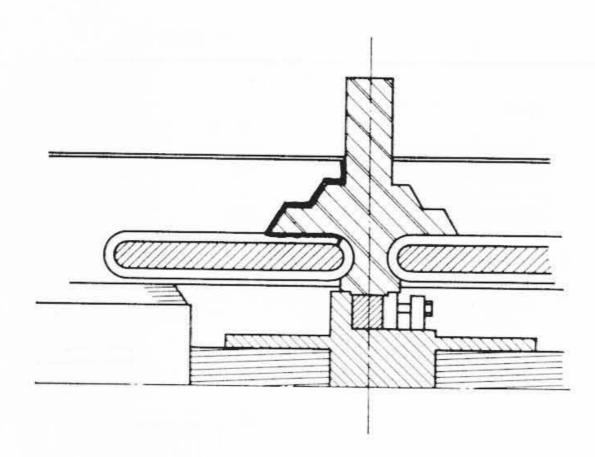


図8 油止接続箱の破壊経路

一例から明らかなように、破壊がシールド電極の端部で生ずるのではなく電界強度の非常に低いシールド電極の内部に回り込んでいることは隔壁環表面のクリープ破壊強度が非常に低いことを示している。種々考察の結果、(1)隔壁環の形状をある程度大きなものにすること、(2)隔壁環表面に沿う油膜を小さくすることの二つの方法が破壊電圧の上昇に積極的役割を果たすことが明らかになった。表4は最終的な電気的性能を示したものである。ケーブル本体の性能に同等の性能を有しているといえよう。

5.3 その他の問題

内部絶縁構造を除くすべての問題は普通接続箱と同一であるので、特に新形油止接続箱において考慮しなければならないことをあげると、(1) 絶縁構造の機械的強度と(2) 隔壁環沿面の電気的耐力の長期安定性の二つであろう。これらの問題はわれわれとしてまだ未検討のものであるので、引き続いて検討していくつもりであるが、技術的にはじゅうぶん解決できると考えている。

油止接続箱は内部絶縁構造がむずかしいために普通および給油接 続箱ほどプレハブ化が進んでいない。しかし、絶縁の主要部に成形

表 4	66 kV	新形油止接続箱の性能
20 1	OOK	利 /// (四 11.1女 NL 和 V) 1土 HE

印加竹	電圧和	重類	交	流	インパルス
破壊	電	圧	260 kV	O. K.	660 kV

(注) 課電方法は表1に同じ

された固体絶縁体を使用していることは一種のプレハブ化であると みなせる。また、油止接続箱は普通接続箱に比べて数がきわめて少 ないので、施工時間の短縮はさほど問題ではなく、この程度のプレ ハブ化でじゅうぶん実用できると考えている。

6. 結 言

以上,66 kV 級接続箱の種類の統一とプレハブ化について論じてきたが,電気的性能としてはじゅうぶん満足できる接続箱を開発できたと考えている。今後の問題として残されていることは,プレハブ形接続箱の長期寿命の保証,完全無鉛工接続箱の開発であって,特に後者は次の研究の大きなテーマとなるであろう。

66 kV 級プレハブ形接続箱の開発に当たって、われわれは導体の接続は圧縮で行なうことを第一前提として掲げた。大サイズケーブルでは熱伸縮による導体の大きな内部応力が接続箱に加わり、66 kV 級以上の系統では導体接続部の機械的耐力を現状より低下させることは許されないからである。

このような新形の接続箱の実用は今後の地中ケーブル系統の拡充に大きな利点を与えると考えられるが、その適用に当たってはユーザーとメーカーとの完全な協力が必要であることは言をまたない。

終わりに、この研究を遂行するに当たって実験に協力された日立 電線株式会社研究所のかたがたにお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

(1) 飯塚, 加藤, 井出, 小林, 沼尻: 日立評論 49, 563 (昭 42-5)

Vol. 51

日 立 評 論

No. 1

昭和43年度における日立技術の成果

——新年特集增大号——

本誌の新年号は、毎年「日立技術の成果」として、愛読者諸兄から多大のご好評をいただいております。 昭和44年の新年特集増大号 (Vol. 51, No. 1) も恒例により "昭和43年度における日立技術の成果"号として発行することになりました。

なにとぞ、ひきつづきご愛読くださいますようお願い申しあげます。