超高圧移動用CVケーブル及び附属品の開発

Development of Extra High Voltage Portable Cross Linked Polyethylene Cable and Accessories

移動用ケーブルは、77kV以下の回線で、停電対策及び緊急用給電線として使用されてきた。近年、超高圧変電所及び送電線の過負荷対策などにも使用されるようになり、110kVと187kV移動用架橋ポリエチレン絶縁ケーブル(以下、移動用ケーブルと略す)を開発した。

110kV用には蒸気架橋による充塡剤入り架橋ポリエチレンを、また187kV用にはガス架橋による純架橋ポリエチレンを採用した。これらのケーブルとコンデンサ分圧形ゴム モールド ケーブル ヘッドを試作して、初期特性を確認した結果、満足する値であることが証明された。ケーブルを収納するコンテナ及びドラムは、十分な機能をもっていることも確認できた。また、移動用ケーブルを使用する場合、特に配慮すべき事項と保守要領についても紹介した。

林 德郎* Hayashi Tokurô
高畑 章** Takahata Akira
能谷竹男** Kumagai Takeo
根本利三郎** Nemoto Risaburô
能倉豊彦** Kumakura Toyohiko

11 緒言

移動用ケーブルは77kV以下で多くの使用実績¹⁾があるが, 近年,超高圧変電所での給電効率を向上させる目的で使用されるようになった。日立電線株式会社が110kV及び187kV移動用ケーブルを開発,実用化した内容を紹介する。

110kV以上の移動用ケーブルには新しい技術が必要となる。 すなわち、ケーブルが太く、重くなるのでもはや人手による 取扱いが困難となり、クレーン車などの機械力によるケーブ ルの延線及びケーブル ヘッド(以下、CHと略す)の据付が必 要となる。機械力によるケーブルの布設及び収納方法をどう するかが開発の要点であるとともに、それに耐える超高圧ケ ーブル及びCHの開発が必要であった。

ここではケーブル ドラムを採用した110kV移動用ケーブルとケーブル コンテナを採用した187kV移動用ケーブルの2種類を紹介する。187kV移動用ケーブルは、ケーブルの外径を小さくする目的で、ガス架橋方式による電気特性の優れた絶縁体を採用することにより、絶縁体厚さを低減した点に特徴がある。

2 ケーブルの設計目標

移動用ケーブルを使用するとき、ケーブルは多くの繰返し曲げが与えられる。その多くは、延線と収納時である。移動用ケーブルは、繰返し屈曲に耐え、外傷を受けないように次の点で特殊な設計を行なっている。

(1) 導 体

導体は一般的な同心より線よりも素線径を細くして可とう 性を増した。

(2) シールド

シールドは恒久布設用ケーブルの銅テープ巻きシールドと 異なり、すず めっき軟銅線の編組シールドを使用して、繰返 し曲げ特性を向上させた。

(3) > - 2

シースはPVC(ポリ塩化ビニル)の上にカンバス テープを 横巻きしてシース補強とした。カンバス テープは熱処理によ りPVCシースと一体に接着させ、防水を兼ねて表面に滑剤 を施した。

2.1 絶縁材料と架橋方式

110kV移動用ケーブルの製作時点ではまだガス架橋方式が確立していなかったため蒸気架橋方式とした。このため絶縁体としては、恒久布設用154kVの開発段階で検討した絶縁体の中でいちばん経年劣化の少ない充塡剤入り架橋ポリエチレン²⁾を採用した。

一方で、187kVケーブルは新しく開発したガス架橋方式³⁾、コモン ヘッド押出方式を採用した。純架橋ポリエチレンは、ガス架橋方式により初期破壊特性だけでなく長期的に安定した絶縁性能を示すことから、絶縁体はこの純架橋ポリエチレンとした。

2.2 絶縁体厚さの決定

絶縁体厚さは初期目標性能値(表2参照)を設定し、次式に 従い雷インパルス及び交流の両面から検討して決めた。

(絶縁体厚さ)= $\frac{(目標性能値)}{(設計ストレス)}$ +(内部半導電層厚さ約1 mm)

110kVケーブルは、蒸気架橋方式によるケーブルのデータから、(1)雷インパルス設計ストレス45.5kV/mm、(2)交流設計ストレス17.15kV/mmとし、絶縁体厚さを19.0mmとした。

187kVケーブルは、ガス架橋方式によるケーブルのデータから、(3)雷インパルス設計ストレス55.0kV/mm、(4)交流設計ストレス27.0kV/mmとし、絶縁体厚さを22.0mmとした。

2.3 ケーブルの構造

ケーブルの構造を**表1**に示す。

B ケーブルの性能

3.1 電気特性

- (1) ケーブルの電気試験結果を表2に示す。
- (2) 187kV用ケーブルは、ねじり試験(試料長さ10m、張力875kg、ねじり360度)と屈曲試験⁵⁾(マンドレル径800mm、屈曲回数200回)をそれぞれの試料で行なった。試験前後の部分放電電圧と誘電正接を測定した結果、特性の差異は認められなかった。

^{*} 四国電力株式会社工務部発変電課 ** 日立電線株式会社日高工場

表 I II0kV及びI87kV CVケーブル構造表 単心移動用ケーブルの 構造を示し、I87kVケーブルは、製造方法の改善により絶縁厚さが低減できた。 両者の外径がほぼ等しい。

公	.00	称	電		圧	(kV)	110	187
導	公	称	断	面	積	(mm ²)	325	250
体	構				成	(本/mm)	127/1.8	127/1.6
P	外			47.55	径	(mm)	23.4	20.8
架	橋ポ	リエ	チレン	絶縁	体厚	(mm)	19.0	22.0
外	部	半	導 電	層	厚	(mm)	1.25	1.25
シ	-	ル	ド厚	さ	(約)	(mm)	0.65	0.65
シ-	- ス厚	き (含	含カンバ	ステ	ープ)	(mm)	5.0	5.0
仕	上	ŋ	外	径	(約)	(mm)	77	80
				V=0 110 0				

表 3 移動用ケーブルの部品構成内容 布設方法により部品構成内容 が異なってくる。

項目	II0kV	187kV
布設方式	地上布設,架空布設	地上布設
ケーブル ユニット	500m× 3 条	100m×3条
СН	6 組み	6 組み
ケーブル コンテナ	金属ドラム:3個	角形コンテナ: 3個
	・ドラム架台	・ターン テーブル
	(可逆制動付)	· C H 台車
布設用機材	・大形ホイール	• 延線ころ
	・シーブ	
	・延線ころ	
C H 架台	2 基(三相形)	6 基(相分離形)

4 附属品の構造と性能

附属品は,布設方法,運搬方法,収納方法などの条件により内容が異なってくる。

表3は110kV及び187kV移動用ケーブルの部品構成を示したものである。主要部品の詳細を次に示す。

4.1 ケーブルヘッド(CH)

(1) 絶縁補強

CHは過去のデータ $^{6),7)}$ をもとに設計、製作したものであり、その構造、寸法を図1に示す。

CHの詳細な仕様は表4に示すとおりである。

CHはケーブルの両端にあらかじめ取付加工をしておき、使用場所で直ちに課電できることが大きな長所である。反面、運搬及び布設時に取り扱いにくいという短所もある。この対策として耐衝撃性に優れ、軽量、かつ小形なコンデンサ分圧形ブチルゴム モールド方式を採用した。

(a) 交流及び雷インパルス電圧に対する設計

CHはケーブル導体上にコンデンサ電極を同心円筒状〔図 1(c)〕に配置し、各段を一定間隔(クリープ)ずらして、長さ方向と円周方向の電界分布を均一にした構造である。コンデンサはくは、半導電性架橋ポリエチレン テープを使用し、はく間の絶縁体には、架橋ポリエチレン テープを使用した。はく間絶縁体の絶縁破壊強度は、交流で、 9^6 ~11

表 4 CHの仕様 ゴム モールドCH長さ, 直径とも記録的なものである。

I	頁		目	IIOkV	187kV
有 対	閃	絡	長 (mm)	990	1,870
表面	漏洩	距	離 (mm)	2,050	3,820
コンデン	ノサ クリ	リープロ	距離 (mm)	20	30
雨覆		枚	数	23	39
つ	ば		径	240	330
胴			径	180	260

kV/段を採用した。雷インパルス破壊強度はCHの外部表面条件によって左右されるので、はく段数は交流設計の面から決定された。

交流破壊目標値とコンデンサはく段数及び雷インパルス 値と閃絡距離は次により決定した。

(i) 初期交流破壞電圧目標值

目標値は対地最高電圧に温度係数と劣化係数を乗じて、110kV用CHは290kVとし、コンデンサはく段数は32段(9kV/段)とした。その後製作した187kV用CHは、外径縮小

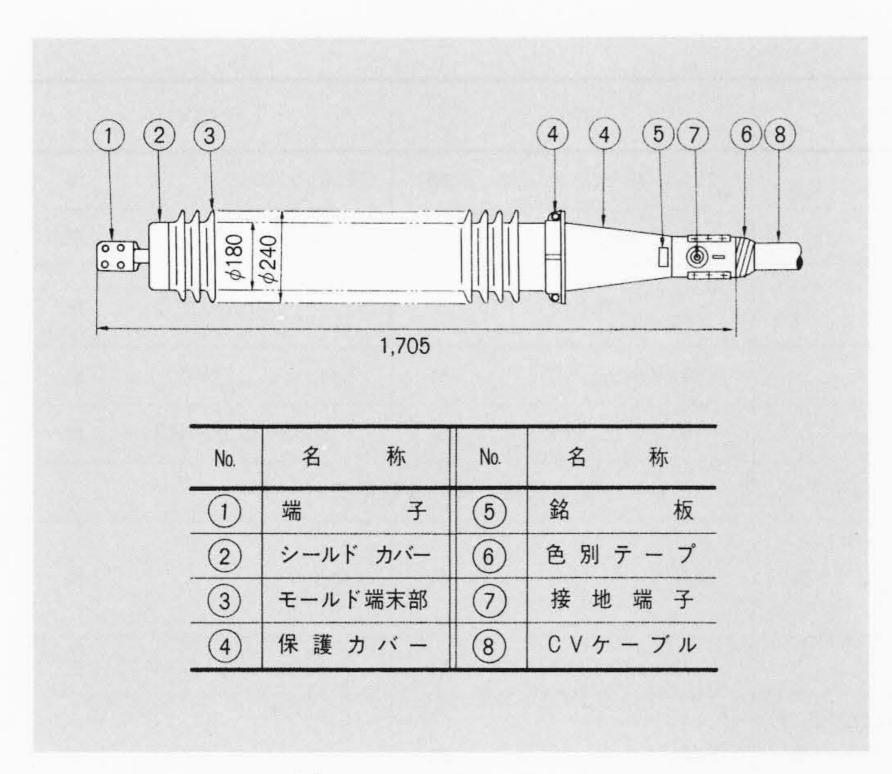
表 2 ケーブルの性能試験結果 このクラスの特性としては満足な結果である。

	ケーブル		ブル	110	kV	I 8 7 kV		
	項		目	目 標 性 能	結 果	目 標 性 能	結 果	
絶	縁	抵	抗(MΩ/km20°C)	3,000以上	17,500	4,500以上	11,500	
静	電	容	量(μF/km20°C)	0.20以下	0.175	0.13以下	0.125	
誘	電	Œ	接(%/20°C)	63.5kV 127kV } 0.3以下	0.20	108 kV 215 kV $\}$ 0.1以下	0.019	
部	分 放	電電	圧(kV/pc)	90/30	良	215/30	良	
交》	流長時間	引破 壊 t (サンフ	電 圧(kV) プル)	299以上*	450	547以上4)***	666	
雷~	インパル	ス 破壊で	電 圧(kV) プル)	787以上**	980	1,134以上4)***	1,500	

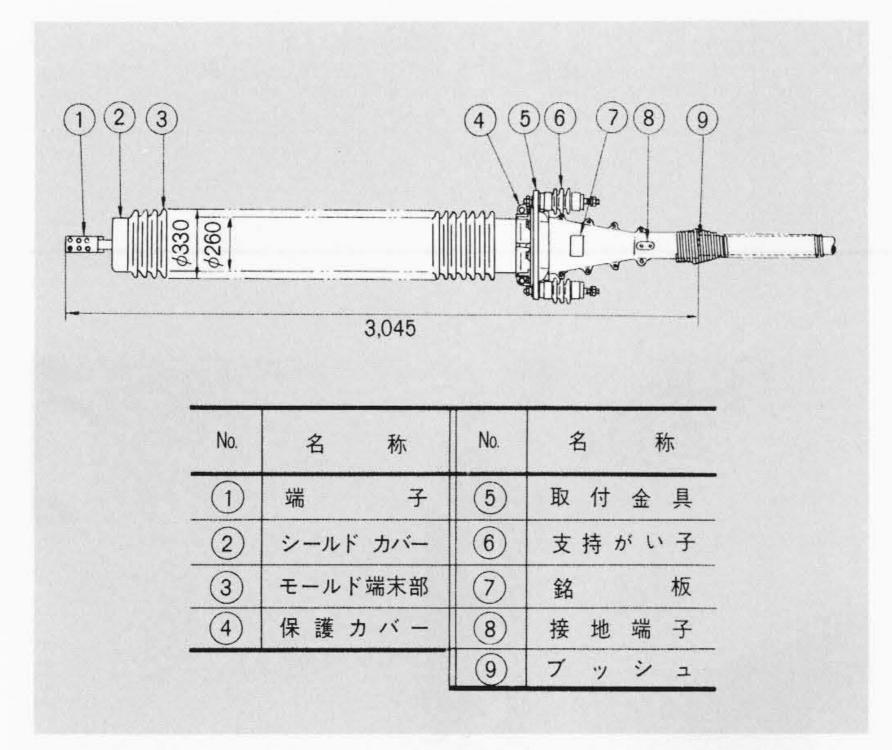
注:* 交流長時間破壞電圧目標性能=(対地最高電圧)×K(K: 温度劣化係数4.5)

^{**} 雷インパル破壊電圧目標性能 $=(B|L) \times K_1 \times K_2$ (K_1 :温度係数1.3, K_2 :劣化係数1.1)

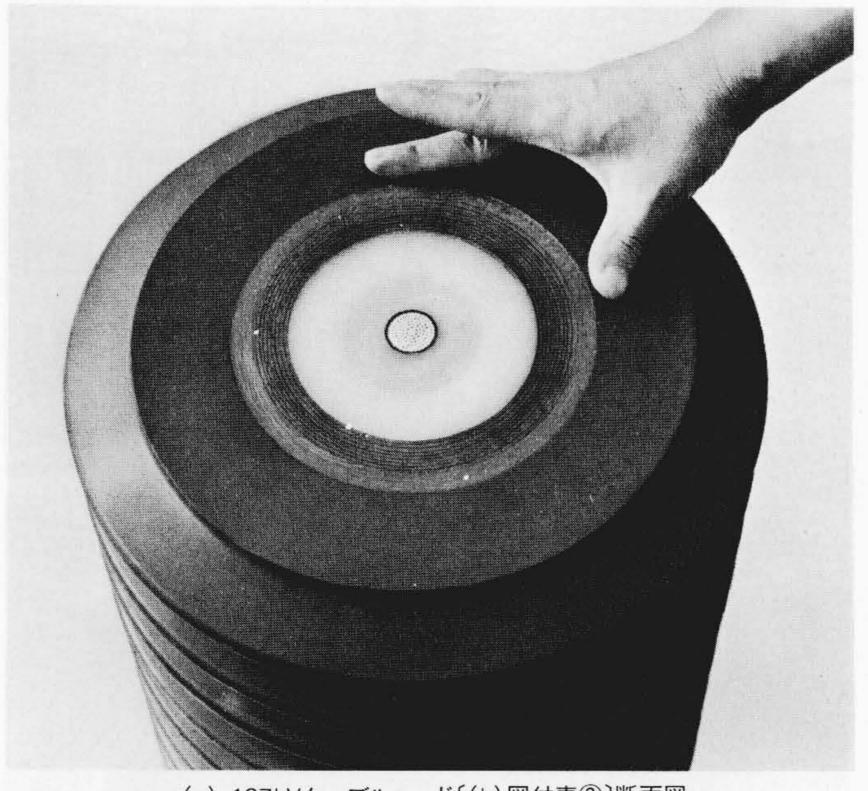
^{***} 電気学会高電圧試験法専門委員会R.P.T.分科会推奨案に準じて決めた値



(a) 110kV ケーブルヘッド



(b) 187kV ケーブルヘッド



(c) 187kVケーブルヘッド〔(b) 図付表③〕断面図

図 I CHの構造 モールド端末部の断面にコンデンサはく段が見られる

を図るためCHを形成する絶縁テープ巻き技術と加硫技術を改善して、はく間絶縁強度を高く設定できるようになり目標値500kVに対してはく段数は45段(11kV/段)とした。

(ii) 初期雷インパルス破壊電圧目標値

目標値はBIL値(基準インパルス絶縁強度)に対してどの程度の安全をみるかによって決定される。現在、一般的に繰返し課電、熱劣化などの裕度は20%としており、それぞれBIL値の120%とした。ゴム モールドの沿面関絡強度は0.70mm/kVとした。必要な有効関絡長は、110kVで942mm(660kV/0.70mm/kV)、187kVで1,285mm(900kV/0.70mm/kV)以上あればよい。

(b) 汚損設計

汚損設計は、等価塩分付着量0.05~0.20mg/cm²の範囲で、対地最高電圧に接地係数(1.3)を考慮し、これに耐えられるものとした。また、実際の汚損量は66kVクラスのゴム モールドCHを海岸地区に2箇月間放置して、0.02mg/cm²のと0.025mg/cm²の実測値を得ており、汚損量の設定範囲は妥当と言える。平滑な仕上り面の汚損表面耐圧値は23~26mm/kV³)である。110kV級以上のCHは形状、重量ともに大となりゴム成形用金型の温度管理が困難であった。温度を適性にするため金型の部分加熱も必要であった。更にゴム加硫時で金型内のゴム膨張、収縮量が大きく、目標とする平滑面を得るための適性作業条件(未加硫ゴム量、加硫温度、加硫時間)の確立に多くの予備検討を行なわなければならなかった。

(i) 110kVケーブル用CHの表面漏洩距離

汚損閃絡目標値は、 $86kV(110kV/\sqrt{3}\times1.15/1.1\times1.3)$ とし、必要な表面漏洩距離は $2,064mm(86kV\times24mm/kV)$ を決定した。

(ii) 187kVケーブル用CHの表面漏洩距離
 同様にして汚損閃絡目標値を147kVとし、漏洩距離は
 3,820mm(147kV×26mm/kV)と決定した。

4.2 ケーブル コンテナ

ケーブルは、特殊な金属ドラム、又は角形のコンテナに巻いて使用場所へ運搬される。ケーブルは使用時にコンテナから引き出され、使用後のケーブルはコンテナに巻き込んで保管するので、軽量、かつ小形であることが要求される。超高圧ケーブルの場合、コンテナの大きさは、CHを収納するスペースによって決定されることが多い。

ケーブル コンテナの代表例として、図2にコンテナとケーブル収納状況を示した。ケーブル コンテナの附属品として表3に示したように、ドラムには、延線と巻込み用に回転機構をもった特殊架台を必要とし、コンテナには、大形ターンテーブルが必要となる。

4.3 ケーブルヘッドの試験結果

(1) 初期特性

CHの試験は、わく試験と特殊試験について実施した。その結果を表5に示す。試験は、布設及び回収作業時に遭遇すると予想される要素についても検討した。図3、4は187kV CHの汚損試験状況及び汚損特性を示す。試験の結果、設計目標値に対して良好な値であることが実証できた。

(2) 長期実負荷試験

110kVのケーブル及びCHは, 実使用開始後7年余も経過したものもあり, 現在何ら異常のないことが確認され, 今後の運転に備えられている。

187kVのケーブル及びCHはAEIC(Association of Edison Illuminating Companies)規格に準拠した試験条件で、次のような劣化促進試験を開始した。

表 5 CHの試験結果 特殊試験の結果も良好であった。

	項目	試 験 方 法	110 kV	187 kV
b	部分放電電圧試験		90 kV/30 PC 良	215 kV/30 pc 良
<	交流耐電圧試験		140kV/10分間 良	215kV/10分間 良
試験	誘電正接試験	常温20°C	63.5kV 127kV $\left. 0.3\%以下 \right.$ 良	108 kV 215 kV $\Big\}$ 0.1%以下 良
	交流長時間破壊電圧試験	IOkV/I 時間昇圧	290 kV 以上(外閃) 良	530 k V 以上(外閃) 良
	雷インパルス破壊電圧試験	20 kV/3 回 昇圧	720kV以上(外閃) 良	I,200kV以上(外閃) 良
	落 下 試 験	終端部を水平にして、1.5mの高さから落下	誘電正接, 部分放	電電圧とも変化なし
試	屈 曲 試 験	ケーブル外径の10倍の直径を持つマンドレルを用いて、200サイクルの曲げを行ない ⁵⁾ 、誘電正接、部分放電電圧を測定	変化なし良	変化なし良
料	汚損耐電圧試験	導価塩分付着量 – 耐電圧	0.05 mg/cm ² 63.5 kV 良	0.06 mg/cm ² I47 kV 良
式	曲(げ 試験	C Hを垂直に取り付けて先端部の移動量70~ 80 mm(荷重120~140 kg) 5 サイクル 加えた後 の部分放電電圧	90 kV/30 pc 良	
験	ヒート サイクル試験	導体温度:90°C, 8 h ON, 4 h OFF 20サイクル 部分放電電圧,誘電正接の変化を測定	良	良
	シールド温度上昇試験	通電電流 525A, 条長500 m ケーブル中心間隔240 mm 両端接地	2.6°C	

第1段階:162kV, (187kV/√3×1.5)課電, 導体温度90

°C×21日間

第2段階:216kV, (187kV/√3×2.0)課電, 導体温度105

°C×21日間

測定項目は,対地電圧, 162kV及び216kVでの誘電正接と部分放電電圧であり,現在,定期的に測定している。

5 応用例

5.1 使用実績

過去約15年余の納入実績をまとめて**表 6**に示す。この中には、最も普及している6.6kVは省略した。同表では、66~77kVクラスが最も多く、主に変電所の定期点検用として使わ

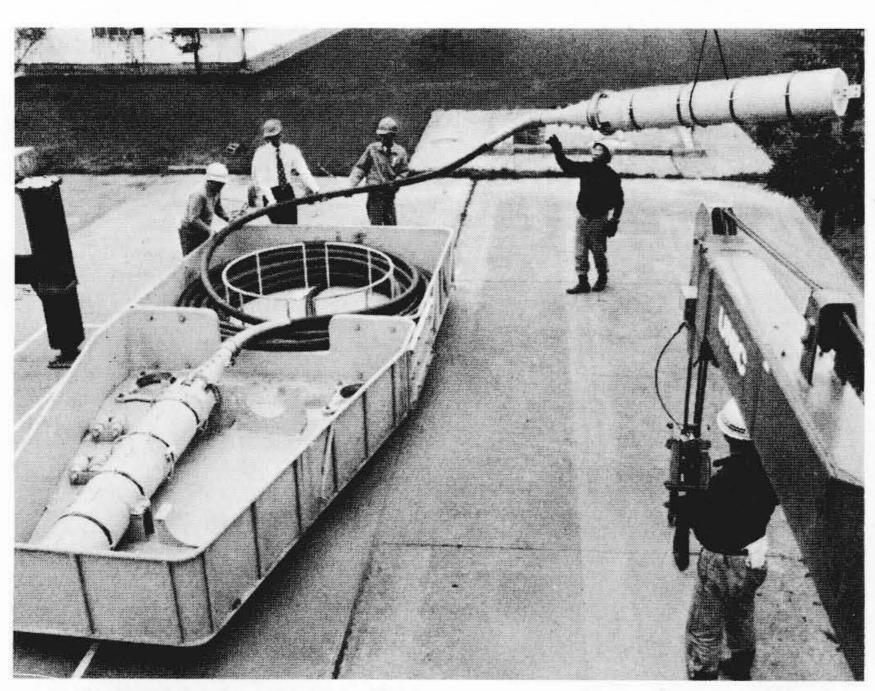


図 2 187kV コンテナ 終端部を収納するスペースは大きくなるが、作業は容易にできる。

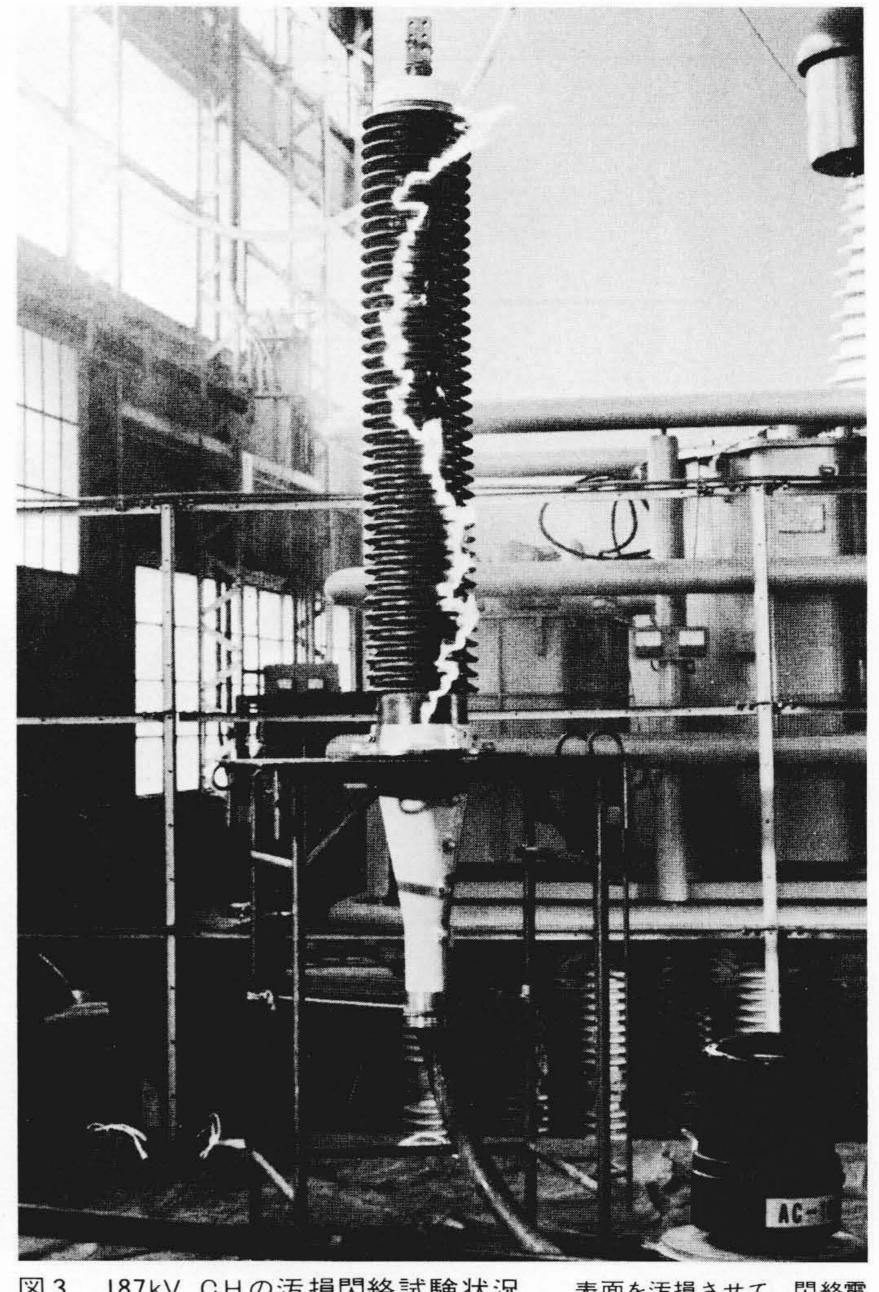


図3 187kV CHの汚損閃絡試験状況 表面を汚損させて, 閃絡電圧を測定する。

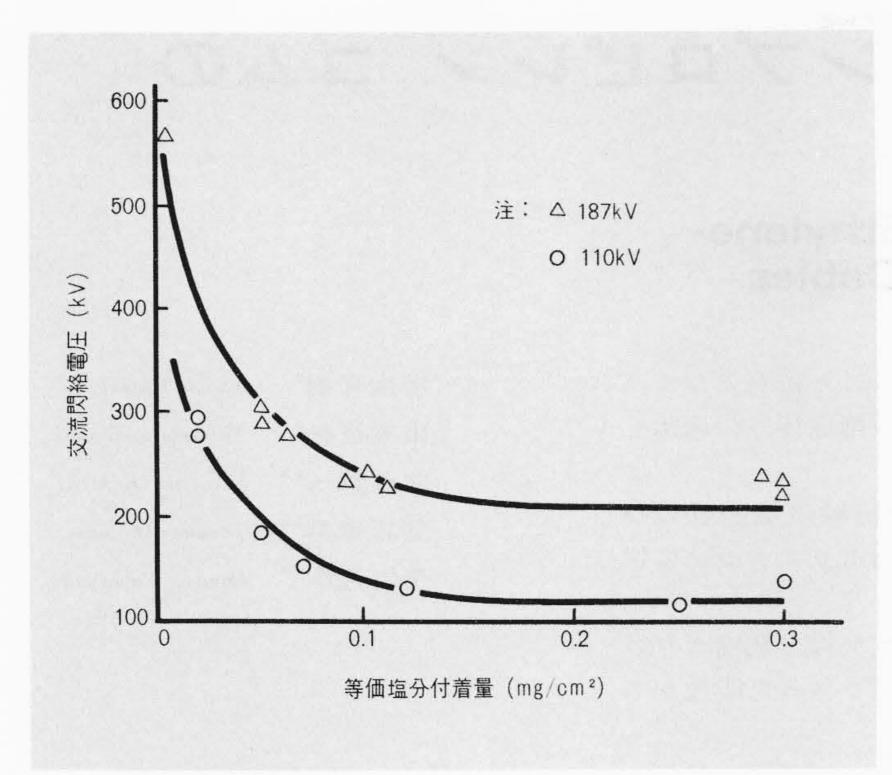


図 4 等価塩分付着量-閃絡電圧特性 対地電圧に対して、十分な 裕度がある。

表 6 移動用ケーブルの使用実績表 66~77kV移動用ケーブルの実績が最も多い。

電 圧(k)	V)		
項目	66~77	110	187
組 み 数(セット) 158	11	
ケーブル長さ(km)	19.8	10.3	0.4
C H(個)	948	66	8
コンテナ数(個)	474	33	4

れ,特殊な例としては,短期的スポット負荷に対しても適用 されている。

ケーブルは、固定用ケーブルと異なり過酷な取扱いを受けるが、使用実績の中で絶縁破壊事故は皆無である。しかし、接地不完全、接地取忘れによる通電支障が発生したことがあり、保守、管理の重要性を示唆している。

5.2 保守上の注意事項

(1) 磁性体との接近

移動用ケーブルは、取扱いの簡便さから単心ケーブルが多く使用される。単心ケーブルを緊急時に不特定な場所へ布設するとき、ケーブルのうず電流による磁性体の発熱、例えばメッセンジャー ワイヤ、ケーブル ハンガー、クリート、ケーブル貫通板などの発熱を常に監視する必要がある。

(2) 接地系統

単心ケーブルは、シールド循環貫流の損失とその他の弊害を避けるために片端接地とすることが多い。移動用ケーブルは、両端接地方式を推奨しているが、最終的には、使用場所での保護協調などの諸条件を勘案のうえ、いずれの方式にするか決定される。単心ケーブルを片端接地したときの問題点は、実例から次のものが挙げられる。

(a)非接地端に誘起されるシールド対地電位の人畜への危険, (b)接地線の不備,又は接地不良によるシールド対地電位の上昇,(c)開閉サージ発生時のシールド誘起電圧によるシースの 損傷

(3) 汚損対策

急激汚損,すなわち台風などに対する応急処置は,**CH表面にシリコーン**グリースを塗布して対処しており,極めて容易な保守方法と言える。シリコーン グリースの耐候寿命は約**1**年⁸⁾と言われている。

5.3 保守要領

ケーブルは撤去後,適切な試験を行ない,次の使用に備える必要がある。この試験として一般的な方法は,(1)外観調査,(2)絶縁抵抗,(3)交流,又は直流耐電圧,(4)部分放電電圧一電圧特性,(5)誘電正接⁹⁾などの試験がある。

保守方法の一例を紹介すると、使用開始数年を経過した66 kV移動用 CVケーブルについて次のような絶縁診断を実施している。(1)絶縁抵抗、(2)直流耐電圧(課電電圧:38kV、114 kV、151.8kV)、(3)直流部分放電電圧測定、測定電圧64.5kV(66 $kV/\sqrt{3}\times\sqrt{2}\times1.2$)でのノイズは現地最高感度 100 pc、(4)誘電正接一電圧特性(シェリング ブリッジ課電電圧:5 kV、10kV、15kV)を測定し、初期値との比較で特性の評価を行なっている。

6 結 言

- (1) 超高圧ケーブル用絶縁材料を使用して、110kV(絶縁厚19 mm)及び187kV(絶縁厚22mm)移動用ケーブルを納入した。ケーブル及びCHの電気特性は、目標値を満足する値であることが確認できた。
- (2) CHの特殊試験は、汚損-電圧特性、屈曲、頭部曲げ、 落下、ヒート サイクル試験について行なった結果、良好な 値であった。
- (3) ケーブル コンテナが大形になった場合, 取扱いは機械力によって安全で確実な作業ができることが確認できた。

本報告は、ケーブル、CH及びコンテナについて報告したが、このケーブルをシステムとして構成するとき、(1)ケーブルの長期寿命の確認、(2)CHの長期的耐候性の確認、(3)附属機材の耐久性の向上、(4)保護系統の協調などについてバランスのとれた機能が必要であり、今後の課題である。

終わりに、開発に際し御助言をいただいた四国電力株式会社及び日本鋼管株式会社の関係各位、並びに日立電線株式会社の関係者に対し深謝の意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 増岡, 吉岡ほか:「70kV1×100mm²移動用ケーブル」, 日立評論, 45, 23 (昭38-11)
- 2) 依田, 村木ほか:「154kV架橋ポリエチレンケーブルの開発」, 日立評論, 54, 365 (昭47)
- 3) 高橋, 池田ほか:「275kVガス架橋ポリエチレンケーブルの開発」, 日立評論, 57, 449 (昭50-5)
- 4) 電気学会技術報告, [I部], 第112号: 「特高圧(11~77kV)架 橋ポリエチレンケーブルの高電圧試験法に関する推奨案」 (昭59-6)
- 5) 電気事業連合会規格:「移動用電力ケーブル」, 8 (昭44-9)
- 6) 依田, 佐藤ほか:「70kV架橋ポリエチレンケーブルヘッド」, 日立評論, 46, 1169 (昭39-7)
- 7) 増岡, 森屋ほか:「移動用, バイパス用ケーブルおよび附属 品」, 日立評論, 47, 1806 (昭40-11)
- 8) 山本, 丸山:「シリコーンコンパウンドによるがいし類の絶縁 低下防止」, OHM, 57, (昭和35-8)
- 9) 北村, 目崎:「プラスチック電力ケーブルの絶縁診断」, 日立 評論, 51, 1136 (昭44-12)