U. D. C. 621.315.211.2 : 621.315.687

架空配電用6kV級ケーブルおよび付属品の検討

Development of Cable and Accessories for 6 kV Overhead Distribution

増岡信雄* Nobuo Masuoka　森屋克男* Katsuo Moriya
丸茂守忠* Moritada Marumo　熊谷竹男** Takeo Kumagai

要旨

6.6 kV 架空配電に関し，安全，美化，省力化の追求が試みられているが，装柱方式の改善を主眼として，これに使用するケーブルおよび付属品について検討し，試作を行なった。本報告では，一次側の6.6 kV 用に関して開発した高圧引下げケーブルおよび柱上変圧器，架空線への継ぎ込み接続部，さらに地中ケーブルの立上り接続部用の作業性，信頼性にすぐれたそう入式ケーブルヘッドについて報告する。

1. 緒　　言

6.6 kV 架空配電の問題として，装柱方式の改善が重要な課題である。電柱上には，高圧線，高圧引下げ線，変圧器，開閉器，保護機器，低圧線および低圧引込線が入り乱れている。これらの従来から行なわれている装柱例は図1（a）に示すとおりであるが，高圧引下げ線は絶縁電線が使用され，かつ，カットアウトおよび変圧器などへの継ぎ込みはすべて絶縁電線が使用されている。このため変台から上は充電部が露出されるケースが多く，高圧遮蔽(しゃへい)がないため保守点検上難点を生じ，安全上好ましくなく，美観をそこなうなどの行き詰りを感じさせる。この傾向は特に過密都市においては深刻な問題となっている。

これら問題に対しての基本的改善策として，以下の点があげられる。

（1） 高圧部の充電部を露出しない構造とし，安全性を高める。
（2） 保護機器を変圧器に内蔵し，装柱を簡素化する。
（3） 電柱からの直接引き込みを極力さけ，引込幹線として低圧側分岐回路をまとめる。

以上の改善案による装柱法を示すと図1（b）のようになる。高圧引下げ線はしゃへいを施したケーブルとし，さらに保護機器は変圧器上部に内蔵しているため高圧部の充電部露出はなくなる。また低圧側は引込幹線を使用するので，電柱まわりの入り乱れは解消されて，安全性が向上し，装柱の簡素化が図られる。

本報告では，これらの対策中，高圧線より変圧器までの高圧引下げケーブルおよびその接続部，ならびに地中ケーブルの電柱立上りケーブルヘッドについてその検討開発状況を述べる。

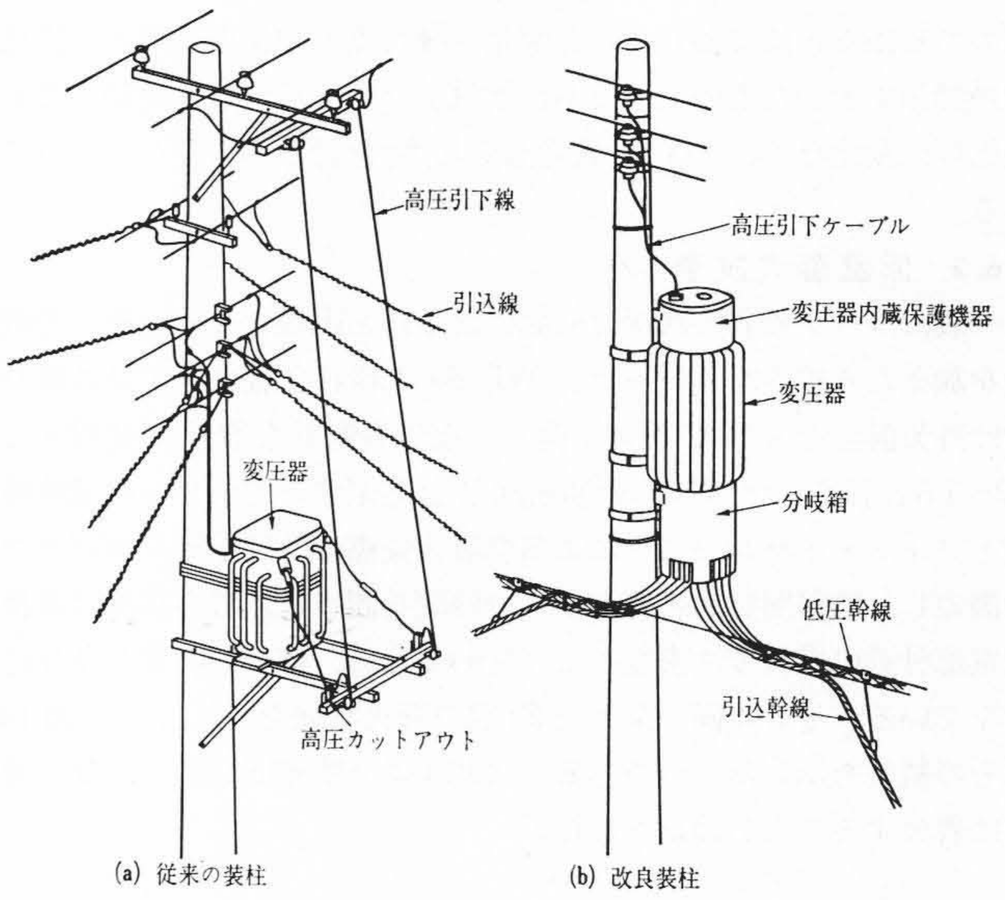


図1　装　柱　例　図

2. 高圧引下げケーブル

高圧引下げ線をしゃへい付きとすることにより，安全上非常に大きな効果が出るが，電柱上で使用される特殊事情から，特に適した高圧引下げケーブルの開発が必要である。

2.1 必要条件とその検討

安全上から完全にしゃへいできるケーブル構造であることは言うまでもないが，使用場所の特殊性と経済性より可能な限りしゃへい層の簡易化が必要である。この観点から以下のしゃへい層が考えられる。

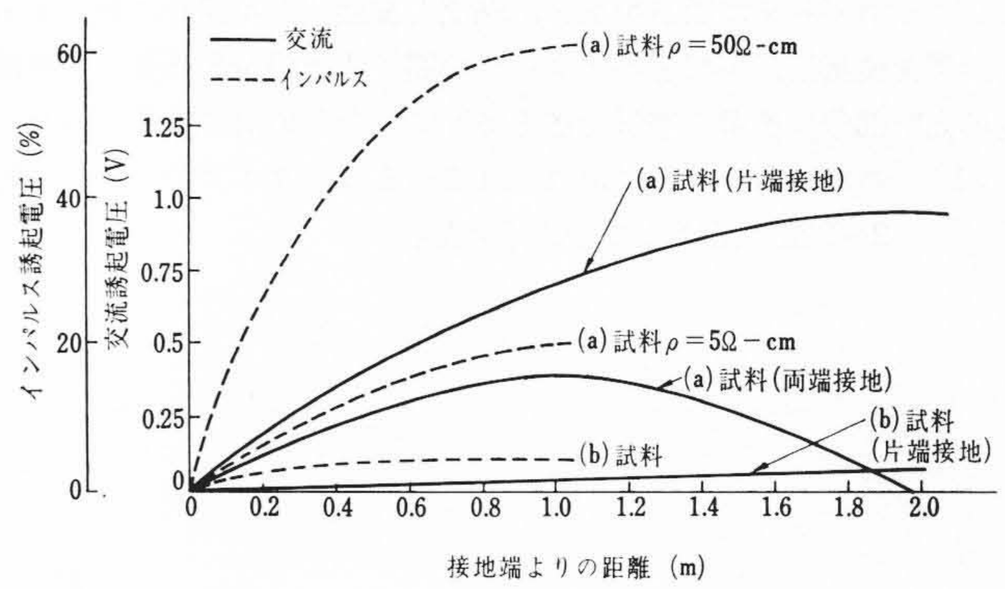


図2　ケーブルシースの誘起電圧

（a） 半導電性シースにして，しゃへい層を兼ねる。
（b） 半導電性シースと埋込金属線を併用する。
（c） 金属テープ巻きしゃへいとシースを別個に用いる。

この3種類のしゃへい層を有する5.5 mm² 架橋ポリエチレン絶縁ケーブル（絶縁厚さ3.8 mm）について，しゃへい層の一端を接地し，導体に交流およびインパルスを課電したとき，接地点からの距離と，その点のケーブル表面誘起電圧の関係を求めた。図2はその

* 日立電線株式会社日高工場
** 日立電線株式会社研究所

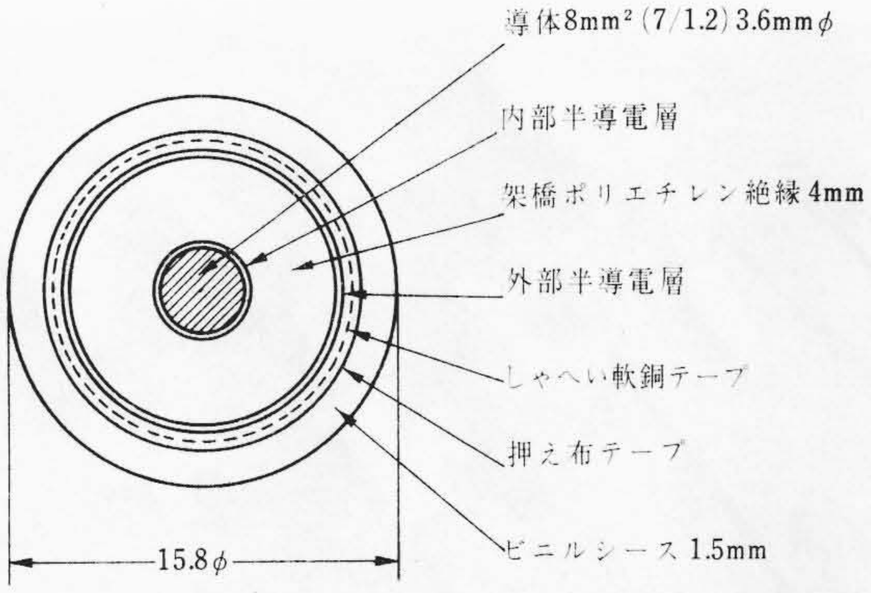


図3　高圧引下げケーブルの構造

表1　高圧引下げケーブルの特性

項　　目	特　　性
コロナ開始電圧*	9.6~11 kV
交流破壊電圧	70~80 kV
インパルス破壊電圧	220~240 kV

* ケーブル10倍径で30回往復屈曲後で変化なし。

結果を示したものである。交流に対する誘起電圧は，半導電性シースのみの片端接地でも，1.0V以下で安全上全く問題ない。また，不完全接地による発熱も懸念されるので，虫ピンを半導電性シースに点接触または線接触させて，接地電流および温度上昇を測定したが，全く問題なく発熱しないことを確認した。次にインパルス印加時の誘起電圧は，導電性シースのみの場合，接地端1mの点で約50%もの電圧が発生する。この電圧は導電性シースの固有抵抗を1けた低下させても20%は発生する。一方，金属しゃへい体を有する場合はほとんど完全に防止できる。以上の検討結果より，交流に対してのしゃへい効果は導電性シースでも良いが，インパルスに対しては，金属体のしゃへいが必要であることが判明した。

次に，ケーブルのたわみ性であるが，一般に取扱い上からは，たわみ性に富んだほうが良好で装柱作業性にすぐれている。反面，後述する高圧支持がい子および変圧器直結ケーブルヘッドへの着脱作業性(抜き差し)からは，たわみの少ない腰の強いものが望ましい。このように相反する必要条件があるが，たわみ性はともかく，ケーブルヘッドへの着脱作業不可能なものは問題であり，この観点からたわみ特性を調査した。試料は6kV 1×5.5 mm² EPゴム絶縁クロロプレンシースおよび架橋ポリエチレン(充てん剤入り)絶縁クロロプレンシースの2種類で，試料の一端を固定して水平保持し，荷重を加えた場合のたわみ量を測定した。その結果，同一荷重に対し，架橋ポリエチレンはEPゴムの約40%であり，剛性の点から架橋ポリエチレンが好ましい。

2.2　構　　造

しゃへい効果および装柱作業性からの絶縁体材質について重点的に検討したが，導体サイズは，変圧器容量(異容量V結線50+125 kVA)から一次電流は30A足らずで5.5 mm²でもじゅうぶんであるが，ケーブルヘッドへの抜き差し作業性からさらに剛性を必要とし8 mm²とした。絶縁体は剛性の点から架橋ポリエチレン(充てん剤入り)とし，4mm厚さに被覆することにした。しゃへい層は，前項で検討したとおりインパルスの誘起電圧の問題および地絡故障時の接地リレー動作の点より金属しゃへい付き構造としケーブルヘッドへの接続の際，接地のとり方およびケーブル製造上から銅テープ開き巻きとした。シースは美観上スカイグレー色のビニル被覆とした。

以上のケーブル構造，寸法は**図3**に示すとおりである。

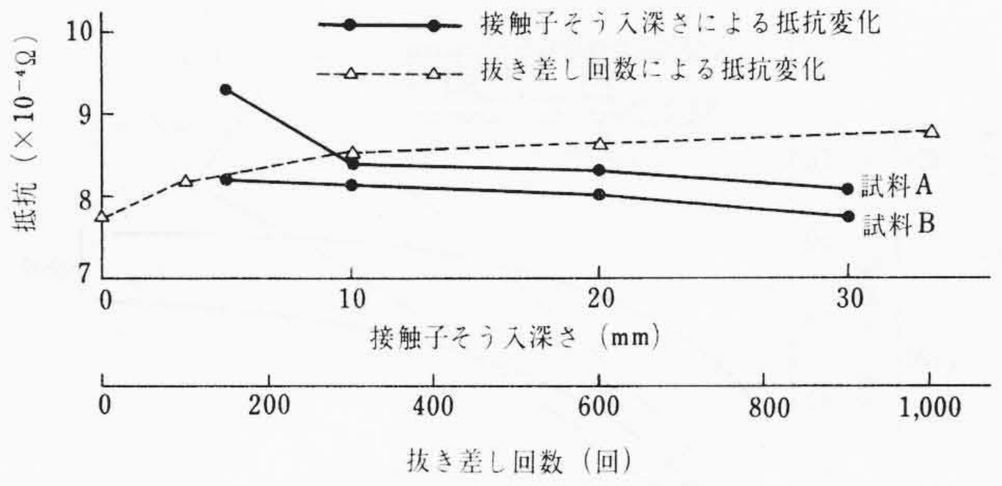


図4　導体接触子の抵抗変化

2.3　特　　性

図3に示したケーブル試作品の電気特性は**表1**に示すとおりである。コロナ特性，交流破壊，インパルス破壊ともじゅうぶんな値を示し，屈曲によるコロナレベルの低下もなく問題はない。

3.　高圧引下げケーブル用ケーブルヘッド

高圧引下げ線のしゃへい付ケーブル化に伴い，ケーブル両端には必然的にケーブルヘッドが必要になる。このケーブルヘッドとしては，従来のケーブル用では，構造寸法上，作業上問題であり，架空配電用にふさわしいものの開発が必要である。その種類としては，高圧線を支持兼用させた架空線側ケーブルヘッドおよび変圧器に直結接続する変圧器側ケーブルヘッドの2種類となる。

3.1　必要条件とその検討

ケーブルヘッドの試作に先だち基礎的な問題点を検討した。

まず，導体の接続法であるが，現地作業を極力簡易化するために，ケーブルの接続は着脱可能なプラグイン方式が望ましいと考えられ，このため導体接続は，雄雌の接触子によって行なう必要がある。この接触子について，接触部直径6 mmφ黄銅製の試料によってそう入長さおよび抜き差し回数による抵抗の変化を測定した。その結果は**図4**に示すとおりで，ケーブル接続の際のそう入長さの不均一および着脱回数によっての影響はほとんどないことを確かめた。また絶縁上がい子内にコンパウンドが存在した場合の接触抵抗も調べたが，抵抗の増大は見られなかった。さらに，ケーブル導体が90℃になる電流を3h—ON，3h—OFFのヒートサイクルを30回繰り返したが，接触子の抵抗変化および異常発熱はなく，本方式でじゅうぶん使用できる見通しを得た。

次に，絶縁方式であるが，段むきしたケーブルをケーブルヘッド内に差し込むのみで接続できるいわゆるそう入式ケーブルヘッドにするための絶縁方式として，防水も考慮し内そう形，外そう形の2方式を考えた。

内そう形はゴムモールドストレスコーンを套(とう)管内にそう入し圧着面で絶縁をもたせる方式で，これは地中配電用ケーブル接続部に多用されている[1]。本方式の特徴は，ゴムストレスコーンの圧着面で絶縁するので長さを比較的短くすることができるが，反面，套管直径が太く，圧着面の加工が必要で部品も多く高価になりがちである。外そう形は，套管下部の周囲にゴムストレスコーンをかぶせる方式で，ケーブルしゃへい体端の電界緩和と防水とを兼ねたゴムストレスコーンにしたものである。なお套管内およびケーブル絶縁体表面の内部せん絡に対しては空気絶縁でじゅうぶんな初期電気特性が得られるが，長期の使用に際しヒートサイクルによる結露やトラッキング的表面浸食の問題を多分に含んでいる。このため套管内にあらかじめ絶縁コンパウンドを注入しておくことにより解決されるものと考える。このコンパウンド中のケーブル表面せん絡電圧特性を調べるために，コンパウンドを充てんした絶縁筒内にケーブ

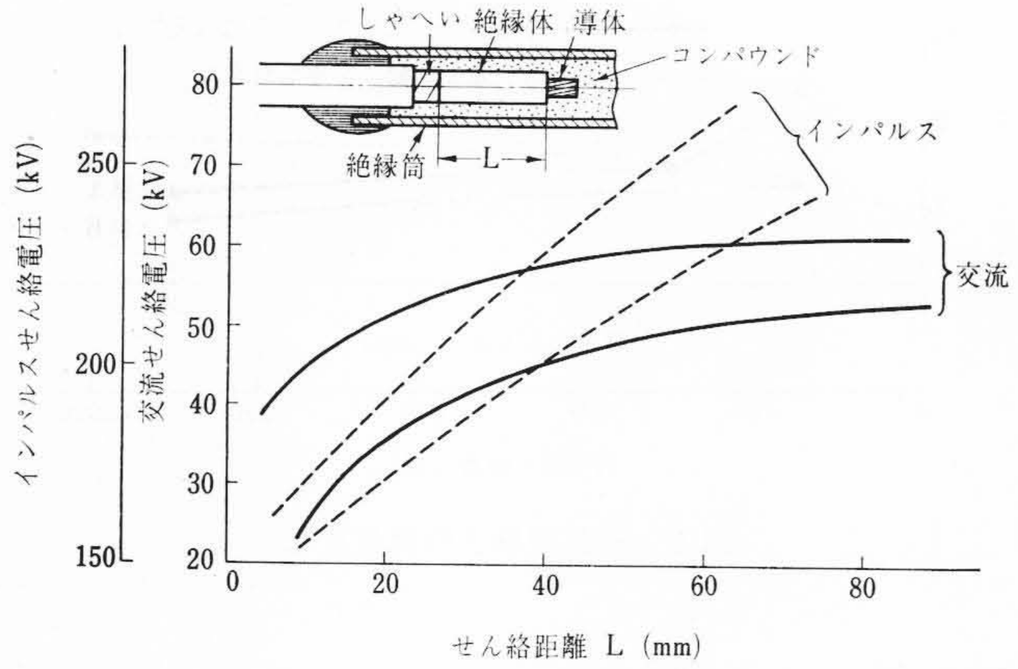


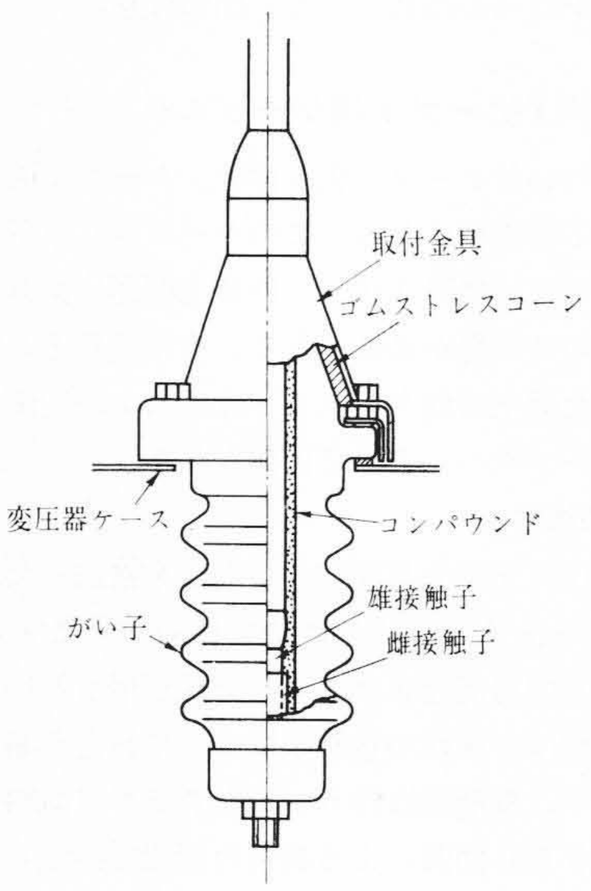
図5　絶縁コンパウンド中のせん絡特性

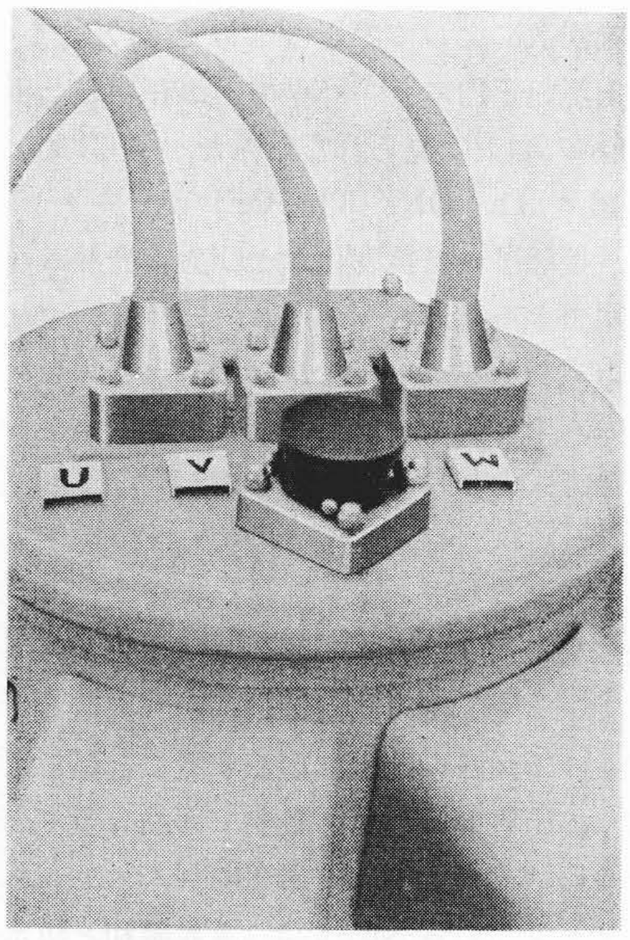
左より：　架空線側外そう形，架空線側内そう形，
変圧器側外そう形，変圧器側内そう形

図6　高圧引下げケーブル用各種ケーブルヘッド

表2　高圧引下げケーブル用ケーブルヘッドの特性

試験項目		特性	破壊場所	備考
コロナ特性		開始電圧 10.5～16 (kV)	——	測定感度　3 (PC)
AC長耐	表面せん絡	45 (kV)	表面せん絡	17 kV/10分→30 kV/30分 +5 kV/30分 ステップアップ法
	油中破壊	60～90 (kV)	ケーブル部 ストレスコーン部	
インパルス耐圧	表面せん絡	75～85 (kV)	表面せん絡	60 kV/3回+5 kV/3回 ステップアップ法，極性導体⊕
	油中破壊	190～220 (kV)	ケーブル部	
短絡特性	電流	第1波 2 kAP-20Hz	異常なし	短絡時の導体温度上昇約230℃，短絡前後のコロナレベルの変化なし
	AC長耐	70 (kV)	ケーブル部	





（改　良　形）

図7　変圧器側ケーブルヘッド構造および取付状況

ルをそう入した試料についてせん絡特性を求めた。その結果は図5に示すとおりである。すなわち，套管内部の絶縁強度をAC 40 kV，$I_{mp.}$ 80 kV 以上を目標にしても，コンパウンド中の有効せん絡距離はせいぜい30 mm 以上あれば満足できるものと推定される。

3.2 構　造

高圧線と高圧引下げケーブルを接続する架空線側ケーブルヘッドは，高圧線支持がい子と高圧引下げケーブルのケーブルヘッドとを兼用させることにより，大幅に装柱の単純化が図られる。また変圧器側ケーブルヘッドの充電部を露出しないように，変圧器に直結接続する構造が望ましい。また套管としては，汚損特性，高圧線支持の強度上から磁器がい子を用いた。以上の基本構造および前項で述べた内そう形，外そう形の合計4種類について一次試作を行なった。図6は各種ケーブルヘッドの試作品を示したものである。

これら試作品のうち，変圧器側ケーブルヘッドは，変圧器に取り付けた外観が好ましくなく，寸法縮小も兼ねて再検討した。また，装柱において，高圧線と変圧器との取付位置を一定にすれば，高圧引下げケーブルの条長が一定となり，これを変圧器に付属させれば，現地作業は，架空線側ケーブルヘッドへの接続だけで済むことになる。以上を考慮して，外そう形のゴムストレスコーンと取付金具とをケーブルに一体モールドして寸法縮小および外観の向上を図った。またがい子は変圧器にあらかじめ取り付けておき，モールドしたケーブルをがい子にそう着して変圧器に付属するようにした。この変圧器側改良形ケーブルヘッドの構造を示したのが図7である。なお変圧器に固定する方法として，高圧線への接続時，負荷バランスを考慮して固定金具を変圧器からはずすことにより容易にケーブル相順の変更が可能である。

3.3 特　性

試作した各種ケーブルヘッドの初期電気特性を表2に示す。交流長耐，インパルス破壊ともに6.6 kV 用としてはじゅうぶんである。またケーブル導体温度90℃になる電流を3 h—ON, 3 h—OFF の30回断続試験を行ない，コロナ開始電圧および最大放電電荷量の経時変化およびヒートサイクル後の交流長耐を調べたが不変であった。

さらに水密試験としてケーブルヘッド全体を水中に浸漬(せき)

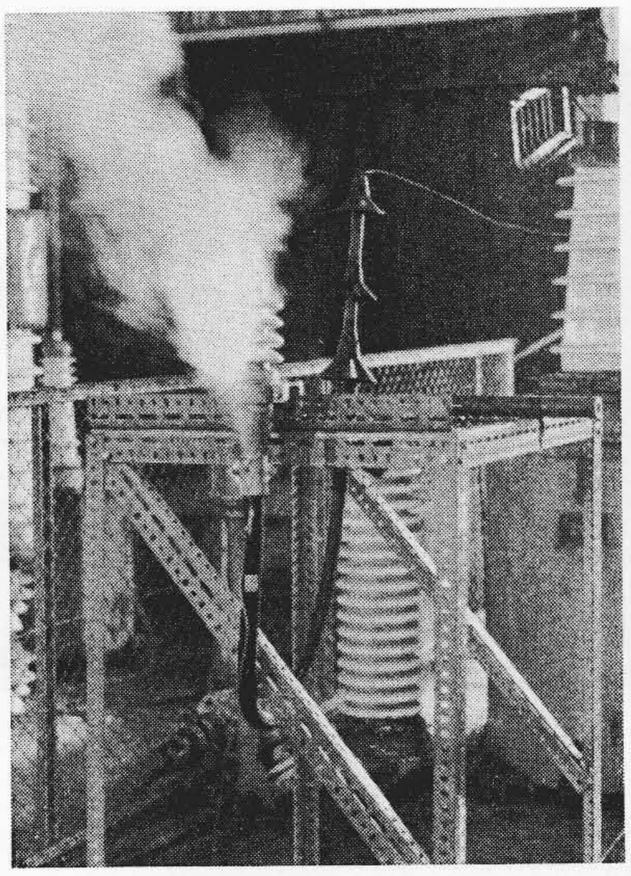


図8　等価霧中法による
汚損せん絡電圧試験状況

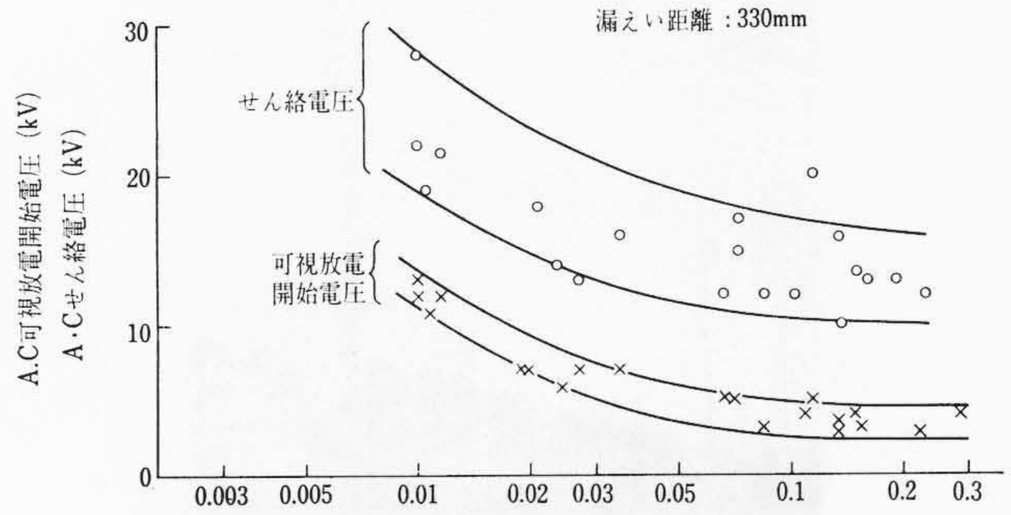


図9　塩分付着量によるせん絡電圧特性

し，通電ヒートサイクルを行ない，絶縁抵抗，交流耐圧，コロナレベル，直流漏えい電流を測定したが，異常は認められなかった。

長期実負荷試験も続行しており，課電電圧対地15kV（連続），導体温度が85～95℃になるような電流を8h—ON，16h—OFF/d通電の過酷な試験を行なっているが，課電時間4,500hの現在なんら異常は発生していない。

4. 立上りケーブル用ケーブルヘッド

架空配電線への給電，道路横断個所あるいは高圧分岐用として6.6kV地中ケーブルが使用される。この地中ケーブルの電柱立上り部ケーブルヘッドについても試作検討している。

4.1 必要条件とその検討

既に6.6kV，CVケーブル用ケーブルヘッドの小形省力化が進められ，ゴムモールドそう入形ケーブルヘッドが多用されつつある[2]。しかし汚損地域では，がい子形ケーブルヘッドが使用されているのが現状であり，耐塩害用として，ゴムモールドそう入式ケーブルヘッドと同様な作業で行なえる，がい子そう入式ケーブルヘッドを開発する必要がある。本ケーブルヘッドは高圧引下げケーブル用に比べ，高圧の給電および分岐接続用の主回路のため絶縁協調上，耐塩害およびより安定した特性を満たし，かつ通電電流が大である。

4.1.1 汚損特性

前述のように，特に汚損に対しての試作品であり，汚損特性について，以下のとおり検討を加えた。

表3　連続噴霧法による汚損試験結果

吹付け方面	塩分付着量	交流せん絡電圧	瞬間最大漏えい電流	定状漏えい電流
上方45度	約 0.23 mg/cm²	10～11 kV	184 mA	26～40 mA
下方45度	約 0.28 mg/cm²	11～13 kV	276 mA	34～84 mA

（1）　等価霧中法による汚損試験

汚損液をスプレーガンにより吹き付け，2kV/s連続昇圧により，交流可視放電開始電圧および交流せん絡電圧を求めた。その試験状況および結果は**図8，9**に示すとおりである。

さらに配電系統で重要視される漏えい電流も測定した。これはせん絡させずに4kV（6.9kV/$\sqrt{3}$）課電時の交流漏えい電流を測定したが，課電直後最大電流（約130～200mA）が数秒間流れ，一部乾燥帯ができてその後は約1mAの微少な定常電流に落ち着くことを確認した。

（2）　塩水噴霧法による汚損試験

NaCl 100g，との粉40g，蒸留水1lの混合液をスプレーガンにより連続噴霧（水平成分0.2mm/min）し，せん絡電圧および漏えい電流を求めた。この結果は**表3**に示すとおりである。この試験は連続噴霧する特殊な汚損試験であり，特に4kV課電時の定常電流は大きく変動する。

4.1.2 絶縁方式の検討

がい子内にケーブルをそう入してケーブルヘッドを構成するため，かたいがい子とケーブル絶縁体との間にできる空げきの絶縁方式を検討した。一般にケーブルヘッドの絶縁破壊は吸湿に起因する場合が多いので，ケーブル導体に水道水を浸水させ，ケーブルヘッド内の特性を調べた。試験はがい子内にコンパウンドを充てんしたものと，充てんしないものの2種類について浸水したケーブルを組み立て，導体温度90℃になる電流を8時間通電し，絶縁抵抗の変化を調べ，完全冷却後交流長耐を行なった。その結果，いずれも絶縁抵抗の時間的変化はなく，AC長耐も初期値と変わりなかった。しかしAC長耐における破壊経路は，コンパウンド無しの場合すべて内部空げきを沿面破壊し，コンパウンド有りの場合，ストレスコーン立上り部のケーブル絶縁体を貫通破壊している。破壊値そのものの差はないが，この点長期実負荷試験などによって，その差が見られるのではないかと考える。

4.2 構　　造

6.6kV 150mm² CVケーブル用として試作したケーブルヘッドの構造は**図10，11**に示すとおりである。基本的には3.で述べた外そう形であるが，がい子上部に金属パイプ状キャップを設け，がい子内に絶縁コンパウンドを充てんしておき，がい子下部には，絶縁および導電性ゴムとから成るゴムストレスコーンを装着しておき，その上に金属カバーをかぶせた構造である。

接続作業は，ケーブルを段むきし，ゴムストレスコーン下部よりケーブルをそう入し，がい子内の余分なコンパウンドを上部キャップよりオーバフローさせる。ケーブルそう入後，端子を上部キャップに装着し，ケーブル導体とともに一括圧縮接続し作業を完了する。

4.3 特　　性

接続作業性の向上を図るためがい子そう入形ケーブルヘッドの開発を行なったが，ケーブル段むきを含め一相分の作業時間は約20～30分と非常に短い時間で行なうことができた。**表4**は初期電気特性であるが，AC長耐，インパルス破壊ともに6.6kV用としてはじゅうぶんな値を示し，また浸入ヒートサイクル試験も行なったが異常がなかった。

さらに，長期実負荷試験として，課電電圧対地20kV（連続），ケー

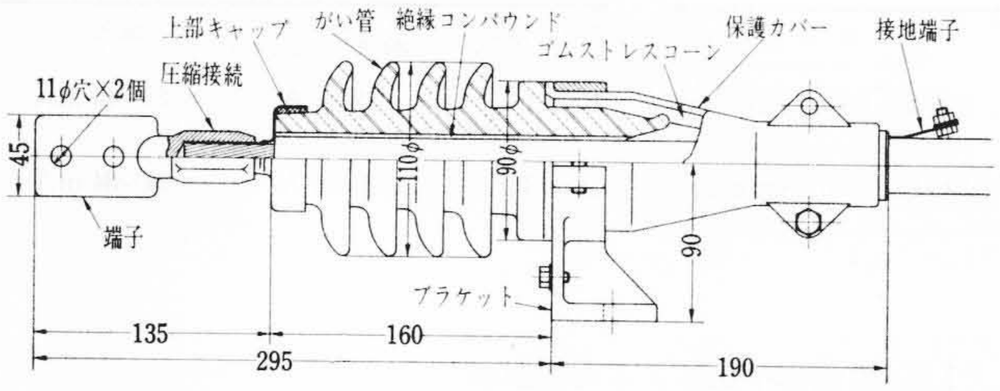


図 10　がい子そう入形ケーブルヘッド構造図

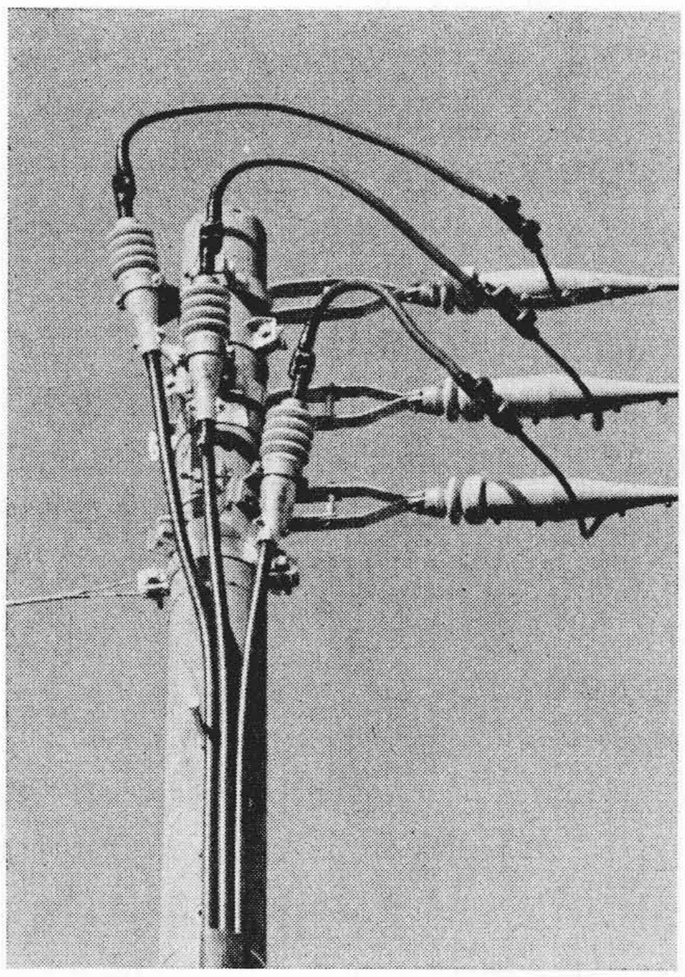


図 11　がい子そう入形ケーブルヘッド取付状況

表 4　がい子そう入形ケーブルヘッドの特性

項　　目	特　　性
交流長耐	表面せん絡　65～ 75 kV
	油中破壊　65～ 95 kV
インパルス耐圧	表面せん絡　130～145 kV
	油中破壊　220～250 kV
コロナ開始電圧	12 kV 以上
浸水ヒートサイクル試験	コロナ，メグ，AC耐圧変化なし
作業時間（ケーブル段むき含む）	約 20～30 分

ブルの許容電流を 8 h—ON，16 h—OFF/d 通電の過酷な試験を続行中である。なお，参考までにケーブル導体に浸水した試料や，がい子内にコンパウンドを充てんしないものの試料もいっしょに行なっている。

5. 結　　言

以上 6 kV 架空配電用高圧部に関するケーブルおよび各種ケーブルヘッドの試作品とその特性について述べたが，いずれも長期実負荷試験によって，今後特性の変化を調査続行する考えである。これらの試作品は，図 13 に示すように実際電柱を立て模擬装柱を行ないその作業性を検討している。

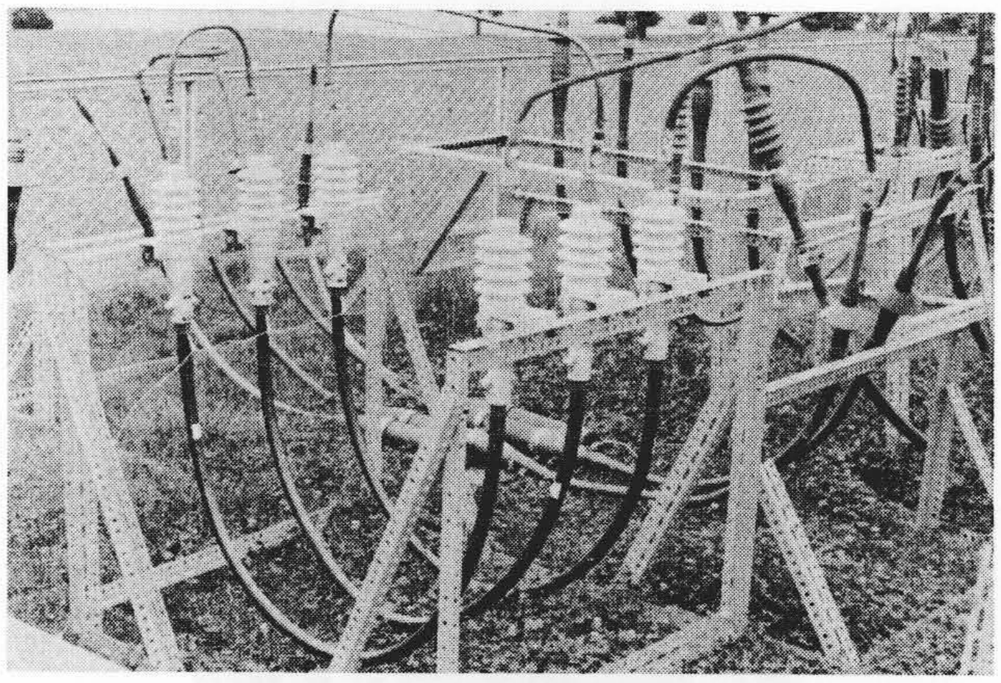


図 12　実負荷試験状況

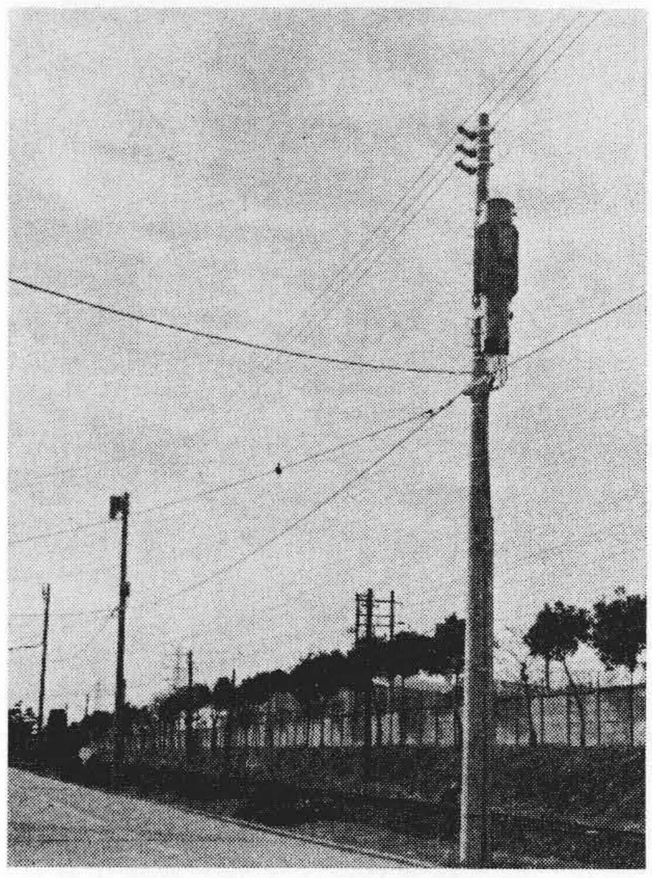


図 13　模 擬 装 柱

また，本報告では，高圧部関係のみにとどめたが，並行して，低圧分岐箱，低圧関係電線および架線金具などもあわせ試作検討している。なお今後の課題として，高圧線を従来の絶縁電線から，しゃへいのある架空ケーブル化への検討も今後進めていく考えである。

終わりに，本開発に当たり，全般的なご指導をいただいた東京電力株式会社の関係各位，また多大なご協力をいただいた日立製作所国分工場，亀戸工場の関係各位に深謝の意を表する。

参　考　文　献

（1）　水上ほか：　日立評論　50 周年記念 100（昭 43-12）
（2）　浜田ほか：　日立評論　51，49（昭 44-10）