22kV 遮水層付き CVT ケーブル対 22kVCV ケーブル用 直線接続部の開発

正員 岡 圭介 (東京電力株式会社) 正員 小泉 覚 (東京電力株式会社)

正員 村田 孝一 (東京電力株式会社) 正員 武井 秀夫 (東京電力株式会社)

正員 馬淵 裕之 (東京電力株式会社) 正員 河原 秀夫 (古河電気工業株式会社)

正員 藤井 茂 (古河電気工業株式会社) 正員 平野 順士 (古河電気工業株式会社)

Development of Water Impervious Straight Joint between 22kV Water Impervious XLPE Cable and 22kV XLPE Cable

Keisuke Oka, Member, Satoru Koizumi, Member

Kouichi Murata, Member, Hideo Takei, Member

Hiroyuki Mabuchi, Member (Tokyo Electric Power Co.)

Hideo Kawahara, Member, Shigeru Fujii, Member

Jyunji Hirano, Member (Furukawa Electric Co.Ltd)

An expansion of the applications for 22 kV equipment and facilities in underground power-distribution systems is expected in the near future when taking into consideration controls and restrictions on the construction of new transformer substations for power distribution and the effective use of existing conduit lines. Moreover, the possibility has arisen for reducing overall costs while maintaining reliability of present-day 22 kV XLPE cables and their joints based on the establishment of the Standard of the Japanese Electrotechnical Committee (JEC) 3408, "High voltage tests on cross-linked polyethylene insulated cables and their accessories for rated voltages from 11 kV up to 275 kV".

In this report, we will focus on the development of a water-impervious straight joint that can connect existing 22 kV XLPE cables with 22 kV XLPE cables having a water-impervious aluminum layer. The 22 kV XLPE cable having a water-impervious aluminum layer fulfills the cost-reduction objective while maintaining reliability by reducing the insulation thickness of the cable for operation in 22 kV systems, the applications of which are slated to expand in the near future. Now, with the development of this heterogeneous joint, 22 kV XLPE cables having a water-impervious aluminum layer can be applied in regions where existing 22 kV XLPE cables are laid. Because of this, it has become possible for 22 kV XLPE cables having a water-impervious aluminum layer and their corresponding joints to be put into service as standard equipment in all regions.

キーワード: CV ケーブル、遮水層、常温収縮

Keywords: XLPE cable, Water impervious layer, cold-shrinkable

1. まえがき

地中配電系統においては、配電用変電所の新設抑制、既設管路の有効活用の観点から22kV設備の適用拡大が今後予想される。また、JEC (電気規格調査会標準規格) 3408

「特別高圧 (11kV~275kV) 架橋ポリエチレンケーブルおよび接続部の高電圧試験法」⁽¹⁾の制定を踏まえると、現行22kVCVケーブルおよび接続部については総合的なコスト削減と信頼性維持の両立の可能性がある。

筆者らは、水トリー劣化の発生リスクを極小化すべく

アルミラミネートテープを用いた遮水層を付加し、絶縁体厚さを3.5mm（6kVケーブル並）まで低減した22kVCVケーブルおよびこれに対応した接続部の開発を行ってきた⁽²⁾。しかし、既設の22kVCVケーブル（絶縁厚は6mm）に22kV遮水層付きCVTケーブルを接続する場合、22kVCVケーブル側のケーブルシースを透過した水分が、接続部を介して22kV遮水層付きCVTケーブル側に浸入する恐れがある。

そこで22kV遮水層付きCVTケーブルを既設の22kVCVケーブルと接続するために浸水防止対策を施した直線接続部を開発したので報告する。

2. 開発品の性能

開発品の電气的目標性能は、22kV遮水層付きCVTケーブル用直線接続部と同じくJEC3408に準拠したが、全ケーブル系統に適用することを前提としてLIWV（機器の雷インパルス試験電圧値の最大値）を95kVとした。このため、雷インパルス耐電圧値はLIWV×（温度係数1.25）×（裕度1.1）より±135kVとなる。

商用周波電圧部分放電については、既設の22kVCVケーブル（絶縁厚は6mm）のスペックである旧規格（JEC209⁽³⁾）を採用している。

表1 目標性能

Table 1. Target performance

項目	目標性能
商用周波電圧部分放電	17kV・10pC以下（JEC209準拠）
商用周波耐電圧	45kV・1時間
雷インパルス耐電圧	±135kV・3回（LIWV=95kV）
長期課通電（気中）	JEC209 27kV課電、導体温度90℃ 8時間on、16時間off、30サイクル
	JEC3408 20kV課電、導体温度90℃ 8時間on、16時間off、180サイクル
水密性	外圧98kPa・1時間で内部に水の進入がないこと（遮水構造を設けること）
遮水性能	平均透湿度 1×10^{-7} [g・cm/(cm ² ・day・mmHg)] 以下

注1) 透湿度規定値は、30年間以上絶縁体中の相対湿度を50%以下に抑える透湿度を要求性能として計算した結果を用いている。⁽³⁾

開発品の長期性能を確認するために旧規格（JEC209⁽⁴⁾）に準拠した30日間および新規格（JEC3408）に準拠した180日間の長期課通電試験を行い評価することとした。

また、22kVCVケーブルから22kV遮水層付きCVTケーブルへの水分透過量については、接続部を透過した水分がケーブルに影響を与えるという考え方から、66kV以上のCVケーブルにて実績のある鉛ラミネートテープの値（透湿度規定値： 1×10^{-7} [g・cm/(cm²・day・mmHg)] 以下、30年間以上絶縁体中の相対湿度を50%以下に抑える透湿度を要求性能として計算した値⁽⁴⁾）を目標値とすることとした。

3. 接続部の設計

〈3.1〉基本構造の検討 22kV遮水層付きCVTケーブルと22kVCVケーブルを接続する直線接続部の基本構造としては、22kV遮水層付きCVTケーブル用直線接続部の構造を踏襲し、「常温収縮式絶縁筒+アルミ遮水熱収縮チューブ方式」とした。アルミ遮水熱収縮チューブ構造を図1に示す。

図1 アルミ遮水熱収縮チューブ断面

Fig 1. Cross section of water impervious shrinkable tube comprising an aluminum polyethylene laminated sheet

絶縁体厚さを低減することにより絶縁体上ストレス（Gmin）が高くなる。これより遮水層付きCVTケーブル側の部分放電対策が必要となり、その方策としては22kV遮水層付きCVTケーブル用直線接続部において採用した「導電ペイント+外部半導電層（フリーストリッピングタイプ）ペンシリング処理」を踏襲した。ただし、既設の22kVCVケーブル側については、部分放電対策は必要ないので、従来处理のACPテープ巻きのみとした。各々の処理方法を表2に示す。

表2 部分放電処理方法

Table 2. Method of partial discharge management

	処理方法	外導端部	ACPテープ
	概要図		
遮水層付きケーブル側	部分放電発生電圧	17kV 以上	
	処理方法	外導端部	導電ペイント+ACPテープ+ペンシリング処理
		先端部	導電塗料先端出し
	概要図		
	部分放電発生電圧	30kV 以上	

注1) ACPテープ：Adhesive Semi-Conductive Cross-linked

Polyethyleneテープ

注2) 部分放電の測定については、ケーブル中央部に当該部位を設け、両端末にも同様の部分放電処理を施し、感度1pCにて測定。

絶縁筒の材質には永久伸び特性の優れたシリコンゴムを使用しており、ケーブル適用サイズの共用範囲を広く取ることが可能であるが、22kV遮水層付きCVTケーブルと22kVCVケーブルはサイズが同じでも絶縁体外径が異なることからあらためて絶縁筒適用範囲の整理を行った。絶縁筒適用にあたってのケーブル絶縁体上の界面面圧については、22kV遮水層付きCVTケーブル用直線接続部と同様の面圧設計を行っており、初期における必要面圧はゴム材の永久伸び特性と使用期間から算出でき、30年後においても設計面圧を確保するよう面圧設定を行った。具体的には、「拡張保管期間1年間での永久伸び特性+ケーブル装着後寿命30年間での永久伸び特性」においても30年後設計面圧以上となるよう設計を行っている（図2参照）。面圧の設定値は以下の通りである。

30年後面圧 $\geq$ 現場施工時と実運転時のケーブル導体温度差により生じる可能性のある内部圧力値
組立時最高面圧 $\leq$ プレハブ接続部（従来製品）で実績のある絶縁界面におけるスプリング圧縮面圧値

図2 面圧の考え方

Fig 2. Concept of interfacial pressure

面圧設計を行った結果、表3に示すとおり、現シリーズの絶縁筒のみでは必要面圧を確保できないサイズ組合せが4サイズ存在し、その4サイズの組合せについては、絶縁体外径の細い側（22kV遮水層付きCVTケーブル側）にスペーサーを設けることにより（図3参照）、界面面圧を確保する構造とした。上記4サイズ以外の組合せについては、絶縁筒をケーブル絶縁体上に収縮させるだけで必要な界面面圧を確保することができる。

〈3.2〉浸水防止構造の検討 22kVCVケーブル側から22kV遮水層付きCVTケーブル側への水分透過経路については、主に次の3経路（図4参照）が考えられる。

- ① ケーブルシースを透過してシース下を水走る経路（平編組線を介して遮水層付きケーブル側へ浸入）
- ② ケーブル絶縁体内を長手方向に透過する経路
- ③ ケーブル絶縁体を透過して導体内を水走る経路

表3 絶縁筒の適用範囲

Table 3. Application range of splice housing

	mm ²	現行ケーブル (t6)				
		150	200	250	325	400
遮水層付ケーブル (t3.5)	150	○	○	△		
	200	○	○	○	△	
	250	○	○	○	△	△
	325		○	○	○	○
	400			○	○	○
	500				○	○
	630					○

注) ○：絶縁筒のみで面圧確保可能なサイズ組合せ

△：絶縁筒のみでは面圧確保できないサイズ組合せ

図3 スペーサー構造

Fig 3. Construction of adaptor

図4 透水経路

Fig 4. Course of water vapor permeation

そこでこれらの透過経路に対し、隔壁付きスリーブ（導体内水走りを防止する構造で海底ケーブル用接続部で実績有り）およびシーリングテープ（66kVクラスでの遮水収縮チューブ用粘着材として実績有り）を付加することにより22kVCVケーブル側からの水分の透過を防止する直線接続部構造を考案した。

シーリングテープは22kVCVケーブルの外部半導電層上およびスリーブ両脇の導体露出部分に巻き付けることにより、浸水防止効果が期待できる。

直線接続部構造を図5、図6に示す。

〈3.3〉浸水防止対策の効果算出 上記の各透過経路に対し、浸水防止対策の有効性を確認するため、各パーツの透湿度を用いて机上計算での算出を試みた。

各パーツの透湿度実測値は以下の通りである。単位は全て $[g \cdot cm / (cm^2 \cdot day \cdot mmHg)]$ である。

- ・ ケーブルシース : 9.4×10^{-5}
- ・ ケーブル絶縁体 : 1.8×10^{-5}
- ・ シーリングテープ : 1.5×10^{-7}

図5 22kV遮水層付きCVTケーブル対22kVVCVケーブル用直線接続部（スペーサなし）

Fig 5. Water impervious straight joint without adaptor for 22kV water impervious XLPE cable and 22kV XLPE cable

図6 22kV遮水層付きCVTケーブル対22kVVCVケーブル用直線接続部（スペーサあり）

Fig 6. Water impervious straight joint with adaptor for 22kV water impervious XLPE cable and 22kV XLPE cable

(1) ケーブルシース透過水分量

22kVVCVケーブルの外部半導電層上でのシーリングテープ（標準品厚さ0.1cm）対策により22kVVCVケーブルのシース下浸水は単位断面積・単位長さ当たりに換算して、約1/2,500に抑えられる。算出にあたっては、シース外径が大きいほど透水量も多くなるため最大サイズである400mm²にて計算を実施した。

透湿度は単位断面積・単位長さ当たりの数字として表されるので、外部半導電層上に巻くシーリングテープ（厚さ0.1cm、長さ5cm）部の断面積・長さ当たりに換算すると（分子は断面積、分母は長さ）

$$\frac{3.14 \times \left\{ (4.01/2)^2 - (3.81/2)^2 \right\}}{5} \times 1.5 \times 10^{-7} = 3.7 \times 10^{-8}$$

この値をケーブルシース透湿度と比較すると約1/2,500に透湿度が抑えられることになる。

ここでケーブル絶縁体外径（400mm²）：3.81cm
シーリングテープ外径：4.01cm

(2) ケーブル絶縁体透過水分量（厚さ方向）

(1) 項と同様に単位断面積・単位長さ当たりに換算し、22kVVCVケーブルの絶縁体厚さ方向はケーブルシースと比較すると約1/13の透過量になる。さらにスリーブ端のシーリングテープにより約1/190に抑えられる。

(3) ケーブル絶縁体透過水分量（軸方向）

(1) 項と同様に単位長さ当たりに換算し、22kVVCVケーブルの絶縁体軸方向はケーブルシースと比較すると約1/1,000の透過量になる。さらにスリーブ端のシーリングテープにより、約1/3.7に抑えられる。

以上より22kVVCVケーブルのシース透過水分量を22kV遮水層付きCVTケーブル側への透湿度に換算すると、次式のようになる。これは22kVVCVケーブルのシースを透過した水分量が3経路に上記透過量比率に比例して分配されたと仮定して算出している。

$$\begin{aligned} & \frac{(11,987/13,000/2,500 + 1,000/13,000/190)}{\text{①} \quad \text{②}} \\ & + \frac{13/13,000/3.7}{\text{③}} \times 9.4 \times 10^{-5} = 9.8 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

上式の下線部が図4に示す各経路に分配される比率になり（シース透過量を1とすると、②方向への透過比率が1/13、③方向への透過比率が1/1,000であるため、分母が13×1,000=13,000となる）、さらにその分配比率に各対策によって抑えられる比率を掛け合わせることで算出している。

この値は透湿度規定値 $1 \times 10^{-7} [g \cdot cm / (cm^2 \cdot day \cdot mmHg)]$ を満足する。したがって3.2項に示す対策が効果のあることが予想される。

4. 評価結果

〈4.1〉初期特性 開発品の初期特性は、全て目標性能を満足することを確認した。初期性能試験ならびに限界性能把握のために行った破壊試験の結果を表4に示す。評価サイズは、22kV 遮水層付き CVT ケーブル 250mm² 対 22kVVCV ケーブル 400mm² である。

〈4.2〉長期特性 開発品の長期性能を確認するため、長期課通電試験を行った試験結果を表5に示す。

本試験期間中、絶縁破壊などの異常は認められず、長期に渡り良好な特性を有することが確認できた。また、本試験後に残存性能を調べるために商用周波電圧部分放電試験、商用周波耐電圧・破壊試験、雷インパルス耐電

圧・破壊試験を実施した。表 5 に示すように、長期試験後も初期特性（表 4）と変わらないことが確認できた。

評価サイズは、22kV 遮水層付き CVT ケーブル 250mm² 対 22kVCV ケーブル 400mm² である。

表 4 初期性能試験および破壊試験結果

Table 4.Results of initial test and breakdown test

項 目	要求性能	試験結果
商用周波電圧部分放電	17kV・で 10pC 以下	発生 22.8~26.5kV
商用周波電圧耐電圧	45kV・1 時間	良
商用周波電圧破壊	10kV・1 時間ステップアップ	135~145kV
雷インパルス耐電圧	±135kV・3 回 (LIWV=95kV)	良
雷インパルス破壊	10kV・3 回ステップアップ	~395kV
水密試験	外圧 98kPa・1 時間で内部に水の進入がないこと	良

表 5 長期性能試験および破壊試験結果

Table 5.Results of cyclic aging test

項 目	要求性能	試験結果
長期課通電試験 (30 日試験)	27kV 課電、導体温度 90℃ 8 時間 on、16 時間 off、30 サイクル	良
長期課通電試験後	商用周波電圧部分放電	17kV・10 分間で 10pC 以下 発生 24.5kV
	商用周波電圧耐電圧	57kV・1 時間 良
	商用周波電圧破壊	10kV・1 時間ステップアップ 157~167kV
	雷インパルス耐電圧	±135kV・3 回 (LIWV=95kV) 良
	雷インパルス破壊	10kV・3 回ステップアップ ~485kV
長期課通電試験 (180 日試験)	20kV 課電、導体温度 90℃ 8 時間 on、16 時間 off、180 サイクル	良
長期課通電試験後	商用周波電圧部分放電	17kV・10 分間で 10pC 以下 発生 26.7kV
	商用周波電圧耐電圧	25kV・10 分 良
	商用周波電圧破壊	10kV・1 時間ステップアップ 145~165kV
	雷インパルス耐電圧	±135kV・3 回 (LIWV=95kV) 良
	雷インパルス破壊	10kV・3 回ステップアップ ~485kV

〔4.3〕 浸水防止対策の性能評価試験 透湿度の測定に当たり一般的には試料内部に吸湿剤（シリカゲル）を封入し、その吸湿剤の質量変化（透過水分量に相当する）を測定することにより透湿度に換算を行う。しかし本製品では、一般ケーブルから遮水ケーブル側へ透水した水分量を測定する必要があるため、実機組立品で評価を行わざるを得ず、試料内部に吸湿剤を封入しての評価試験が行えない。そこで浸水防止対策の評価方法として、遮水ケーブル単体の時と一般ケーブルに接続したときの遮水ケーブル絶縁体水分量を比較することにより、本製品における遮水ケーブル側への透過水分量を推定し、透

湿度を求める方法を考案した。

具体的には、組上がった直線接続部および比較対象としての遮水ケーブル単体を 60℃温水中に 30 日間、90 日間、180 日間浸漬させ、図 7 に示す位置のケーブル絶縁体水分量をカールフィッシャー法にて測定する（誤差は経験的に±5%程度）。

図 7 水分量測定箇所

Fig 7.Points of measure of moisture permeation

ケーブル絶縁体は各温度での飽和水分量が決まっているため（60℃にて 140ppm 程度）、透過した水分量が全て絶縁体に吸収されるわけではない。そこで比較対象として浸漬させた遮水ケーブル単体の絶縁体水分量実測値（ $8.4 \times 10^{-6} \text{g}$ ）と遮水ケーブルの透湿度から計算で求まる透過水分量（ $1.1 \times 10^{-3} \text{g}$ ）の比を算出し、絶縁体に吸収された割合を求める。次に試験試料において実測した絶縁体水分量（ $1.2 \times 10^{-5} \text{g}$ ）にこの比率を乗ずることにより絶縁体に吸収されない分も含めた実際の透過水分量の推定（ $1.6 \times 10^{-3} \text{g}$ ）を行い透湿度に換算した。（）内数字は例として 30 日後の 22kV 遮水層付き CVT ケーブル側データ（平均値）であり、透湿度は単位長さ当たりの絶縁体水分量、遮水層断面積、日数、飽和水蒸気圧から求めることができる。

この結果、算出した透湿度は、表6に示す通り、透湿度規定値： $1 \times 10^{-7} [\text{g} \cdot \text{cm}/(\text{cm}^2 \cdot \text{day} \cdot \text{mmHg})]$ を満足しており、22kV遮水層付き CVT ケーブルと 22kVCV ケーブルの接続した場合においても、遮水層付き CVT ケーブル側への浸水が抑えられることが確認できた。

表 6 透湿度試験結果

Table 6.Results of water vapor permeation test

浸漬日数	透湿度 [g・cm/(cm ² ・day・mmHg)]
30 日	1.23×10^{-8}
90 日	1.08×10^{-8}
180 日	1.13×10^{-8}

〔4.4〕 作業性 開発品の作業性検証を行い、22kV 遮水層付き CVT ケーブル用直線接続部と比べ遜色のない作業性であることが確認できた。

図 8～12 に開発品の作業状況および施工状態を示す。

図8 スリーブ圧縮状態
Fig 8. Compression of sleeve

図11 熱収縮作業状況
Fig 11. Work of heat-shrinkable tube

図9 絶縁筒収縮作業
Fig 9. Assembly of cold-shrinkable joint

図12 開発品施工状態
Fig 12. View of water impervious straight joint

図10 絶縁筒収縮状況
Fig 10. Assembly of cold-shrinkable joint

5. まとめ

今後適用拡大が予定される22kV系統において、ケーブル絶縁体厚さ低減によるコストダウンおよび信頼度の維持を目的とした22kV遮水層付きCVTケーブルと既設の22kVCVケーブルを接続する直線接続部の開発に成功した。

本接続部の開発により既設で22kVCVケーブルが布設されている地域についても今後は22kV遮水層付きCVTケーブルを適用していくことが可能となるため、22kV遮水層付きCVTケーブルおよびそれに対応する接続部を全ての地域において標準的に運用することが可能となる。

(平成13年8月28日受付、平成14年1月10日再受付)

文 献

- (1) JEC-3408「特別高圧 (11~275kV) 架橋ポリエチレンケーブルおよび接続部の高電圧試験法」(1997)
- (2) 馬淵 他：22kV 遮水層付き低減絶縁 CV ケーブルおよび接続部の開発、平成12年電気学会電力・エネルギー部門大会論文集分冊B、P368-369

- (3) 電気協同研究第 51 巻第 1 号「CV ケーブルおよび接続部の高電圧試験法」(1995)
 (4) JEC-209「特別高圧 (11~77kV) 架橋ポリエチレンケーブル用接続部の高電圧試験法」(1980)

岡 圭介

(正員) 昭和 17 年 11 月 3 日生。
 昭和 41 年 3 月神奈川大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月東京電力(株)入社。主として配電関係業務及び配電方式・接地方式に関わる研究に従事。現在、東京電力(株)理事配電部担任。

小泉 覚

(正員) 昭和 36 年 6 月 22 日生。
 昭和 62 年 3 月東京大学大学院電気工学専攻課程修了。同年 4 月東京電力(株)入社。主として配電機材開発に従事。現在、電力技術研究所配電グループに勤務。

村田 孝一

(正員) 昭和 37 年 11 月 5 日生。
 昭和 62 年 3 月慶應大学大学院電気工学専攻課程修了。同年 4 月東京電力(株)入社。主として配電機材開発に従事。現在、配電部配電技術グループに勤務。

武井 秀夫

(正員) 昭和 42 年 4 月 15 日生。
 平成 4 年 3 月東北大学大学院電子工学専攻課程修了。同年 4 月東京電力(株)入社。主として配電機材開発に従事。現在、配電部配電技術グループに勤務。

馬淵 裕之

(正員) 昭和 45 年 5 月 15 日生。
 平成 6 年 3 月埼玉大学工学部電子工学科卒業。同年 4 月東京電力(株)入社。主として配電機材開発に従事。現在、電力技術研究所配電グループに勤務。

河原 秀夫

(正員) 昭和 26 年 1 月 1 日生。
 昭和 44 年 3 月市立鶴見工業高等学校機械課卒業。同年 4 月古河電気工業(株)入社。主として配電機材開発に従事。現在、電力事業部技術部に勤務。

藤井 茂

(正員) 昭和 41 年 1 月 26 日生。
 昭和 63 年 3 月名古屋大学工学部原子核工学科卒業。同年 4 月古河電気工業(株)入社。主として配電機材開発に従事。現在、電力事業部技術部に勤務。

平野 順士

(正員) 昭和 46 年 6 月 26 日生。
 平成 8 年 3 月新潟大学大学院工学研究科機械システム工学専攻課程修了。同年 4 月古河電気工業(株)入社。主として配電機材開発に従事。現在、電力事業部技術部に勤務。