

22-kV CVケーブル用常温収縮式直線接続部の開発

Development of Cold Shrinkable Straight-Through Joint for 22-kV XLPE Cables

武井 秀夫^{*}

Hideo Takei

望月 一寿^{*}

Kazutoshi Mochizuki

横須賀 孝一^{*}

Koichi Yokosuka

高橋 幸三^{*2}

Kouzou Takahashi

高岡 功^{*2}

Isao Takaoka

田代 豊明^{*3}

Toyoaki Tashiro

河原 秀夫^{*4}

Hideo Kawahara

羽根 良成^{*2}

Yoshinari Hane

概 要 昨今の電力配電事情において接続部の低コスト化，作業性向上，作業時間短縮，狭隘箇所への適用等の要求が高まっている。

筆者らはこうした諸状況を踏まえ，22-kV CVケーブル用直線接続部に的を絞り，常温収縮式直線接続部を開発した。開発品は初期評価及び長期評価試験を通して十分な特性が得られ，かつ，作業性改善を実現することができた。

1. 緒言

電力会社で使用している22-kV CVケーブル用直線接続部は，電力用規格に規定される差込式直線接続部，プレハブ式直線接続部，テープ巻式直線接続部の3種類がおおむね使用されている。しかしながら，昨今の電力事情において低コスト化，作業性向上，作業時間短縮，狭隘箇所への適用等といった要求が高まり開発が急務となった。

こうした要求を踏まえ，古河電工では東京電力株式会社と共同研究で，前記課題を解決可能な常温収縮式直線接続部の開発を進めてきた。要求特性はもちろんのこと作業性改善を含め，満足できる製品が完成したのでここに報告する。

2. 新型直線接続部の設計

2.1 目標仕様

目標仕様を表1に示す。本開発品は，特別高圧（11 kV～275 kV）架橋ポリエチレンケーブル及び接続部の高電圧試験方法：JEC-3408-1997や電力用規格（1998）が制定，改訂される以前より開発に着手していたため，旧規格（JEC-209及び旧電力用規格）を開発仕様の主眼におき，新規格にも対応可能な目標仕様とした。

また，組立て工法においては作業スキルをできるだけ不要とし火器使用や挿入力調節といった現場施工の改善を図るべく，現場収縮による常温収縮工法を採用し，熟練度が不要で作業が容易なものとした。本開発品の構造を図1に示す。

表1 目標仕様
Target specification

項 目		目標特性
商用周波電圧部分放電		17 kVで10 pC以下
商用周波長時間耐電圧		57 kV/3時間
雷インパルス	常温	－230 kV/3回
耐電圧	高温	±165 kV/3回
直流耐電圧		－64 kV/1時間
温度上昇		105°C/3時間×3回
短絡電流通過		24 kA/2秒
水密性		外水圧で98 kPa×1時間
長期課通電	気中	27 kV課電，導体温度90°C 8 h; ON－16 h; OFF /1サイクル×30
	水中	気中と同一条件で接続部を 水中に浸漬
組立作業性		熟練度不要，作業が容易

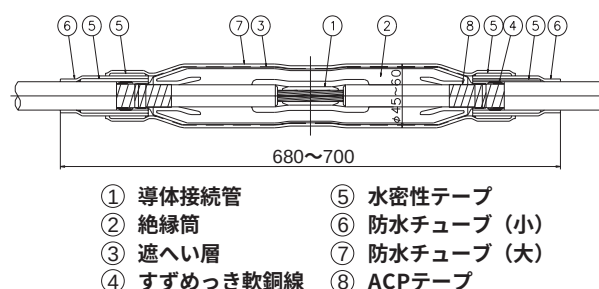


図1 常温収縮式直線接続部
Cold-shrinkable straight-through joint

^{*} 東京電力株式会社

^{*2} 機器・配電事業部 シリコン製品開発チーム

^{*3} 機器・配電事業部 製造部 生産技術課

^{*4} 機器・配電事業部 配電技術部 第二技術課

2.2 設計

2.2.1 組立て方式

スキルレス、火器レス、接続作業時間の短縮等の作業性向上や狹隘箇所への適用を目的として、主絶縁部及び防水保護層について常温収縮方式を採用する。

本接続部は、工場にて拡張され、インナーコア（拡張保持材）により拡張状態に保持され出荷される。現場では熱や挿入力を不要にし、インナーコアを引き抜くだけで接続部の収縮・組立てが完了する方式とし、拡張及び収縮における専用工具を不要とした。

2.2.2 常温収縮の考え方

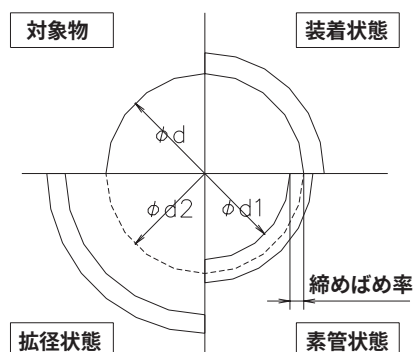
本常温収縮製品は、工場拡張によりインナーコア（拡張保持材）で拡張・保持された状態を現場収縮させ、電気特性はもちろん機械特性などの要求特性を満足させる必要がある。常温収縮の考え方を図2に示す。

製品特性を大きく左右するものとして、対象物に装着した状態での締めばめ率（=嵌合面圧）がある。また、接続作業性の点からは拡張状態における対象物とのクリアランスを確保しておく必要があり、材料物性とのバランスが必須となる。これらの組合せ条件をうまく使い分けることで、適用ケーブルサイズの共用化が図れ、絶縁筒の適用種別を削減できる。また、スペーサーレス化が可能となり部品削減によるコスト低減にも寄与する。

2.2.3 材料

(1) 絶縁筒

常温収縮方式においては、拡張保持期間や現場施工後の長期性能保証の観点から、材料の応力緩和特性（永久伸び）と温度依存性が設計上の大きなポイントとなる。現在、接続部に用いられている材料の主流はエチレンプロピレンゴム（EPゴム）であるが、シリコンゴムはEPゴムと比較してこれらの機械的物性が優れており、常温収縮製品に適した材料であると判断し、主要絶縁部である絶縁筒に採用することとした。



- φd: 対象物外径
 ケーブル絶縁体外径または、ケーブル仕上り外径
 φd1: 素管径（嵌合面圧）
 対象物に対し必要面圧を確保した内径寸法
 φd2: 拡張後チューブ内径（拡張保持状態）
 素管を押し広げ通過クリアランスを確保した内径

図2 常温収縮式の考え方
 Concept of cold-shrinkable tube

(2) 防水保護層

本接続部の設置場所として完全冠水状態を前提とする必要がある。シリコンゴムは撥水性は高いものの冠水状態における水分透過性に関してはEPゴムと比較し劣っており、本接続部の防水保護層にはEPゴムを採用することとした。

2.3 絶縁筒の詳細設計

2.3.1 電界設計

絶縁筒の設計寸法は、図3に示す絶縁設計各部位のストレスを電界解析にて最適化することで決定した。

τ1; 内部半導電層平坦部ストレス

τ2; 内部半導電層先端部ストレス

τ3; XLPE/ゴム界面沿層方向ストレス

τ4; 外部半導電層立上がり部のストレス

これらのストレスバランスを最適化した形状での電界解析結果を図4に示す。

2.3.2 面圧設計

内部圧力規定は、ケーブル最大温度差 105 deg（-15℃～90℃）を想定し、かつケーブルの膨張を無視してボイルシャルルの法則により計算した値 0.38 kgf/cm² に安全を見込んで 0.5 kgf/cm² と算定し、30年経過後においても接続界面が浮かない内部圧力=界面面圧を確保する設計とした。

表2 絶縁性シリコンゴムの物性
 Material properties of silicone rubber

項 目	シリコンゴム	EPゴム
切断時伸び	790 %	750 %
引張強さ	10 MPa	9.3 MPa
硬さ（JIS-A）	34	60
引裂強さ（JIS-A）	21.5 N/mm	11.8 N/mm
引張永久ひずみ（100%伸張）	2.6 %	32.4 %
絶縁破壊の強さ	20 kV/mm	20 kV/mm

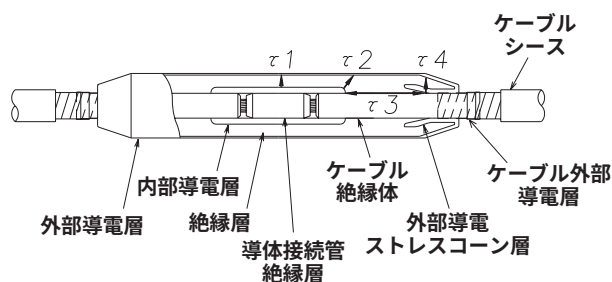


図3 絶縁筒の構造と絶縁設計部位
 Electrical design for splice body



図4 絶縁筒の電界解析結果
 Result of electric field calculation for designing splice body

計算式

内圧を受ける両端開放円筒とし次式にて求める。

$$P = \frac{(b^2 - a^2)}{(1 - \nu)a^2 + (1 + \nu)b^2} \times \frac{\delta}{a} \cdot E$$

P ; 界面圧力

a ; 素管内径

b ; 素管外径

ν ; ポアソン比

δ ; 締めばめ直径差

E ; 縦弾性係数

2.4 インナーコア設計

絶縁筒及び防水保護層は、拡張（押し広げた）状態で保持・保管され、現場収縮で専用工具を用いなくても容易に組立てが可能な構造でなければならない。

これらは、常温収縮方式を採用するに当たり重要な役割を果たす部材である。

2.4.1 材料

インナーコアは、拡張保持・保管及び収縮作業性に直接影響を与える重要な要素部材であるが、一方では作業が完了すると廃棄物になる部材でもある。したがって、材料には拡張物を保持するのに適した強度を有し、かつ、リサイクル可能なポリプロピレン又はポリエチレンを用いた。

2.4.2 インナーコア強度

インナーコアを設計するに当たり、拡張物の必要拡張径（又は倍率）での圧力を把握し機械的強度を確保しておく必要がある。

拡張物の発生内圧フープストレスを求め、インナーコアの支持強度との対比により決定した。

フープストレス算出

$$\sigma_{\theta} = \text{モジュラス} \times \text{延伸率} (\%)$$

拡張物の発生内圧計算

$$P_a = \frac{(k^2 - 1)}{(k^2 + 1)} \times \sigma_{\theta}$$

$$k = b_e / a_e$$

a_e ; 拡張後内径

b_e ; 拡張後外径

P_a ; 発生圧力

a_e と b_e は拡張後の値であり、拡張後の b は対象物の素管と同一面積になるよう計算で求める。

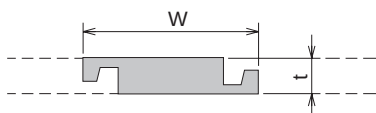


図5 インナーコアの断面形状
Cross section of core ribbon

インナーコアの支持強度計算

$$P = \frac{2 \times t \times \sigma_{pp} / S}{D}$$

t ; コア材厚

σ_{pp} ; コア材質の降伏応力

S ; 安全率

D ; コア材の内径

2.4.3 インナーコア形状

インナーコアは、溶着強度について最適化を図った凹凸形状（図5）の帯状成形体をパイプ状（図6）に成形したものとし、拡張状態で保持・保管されるのに耐え、かつ、現場収縮時に専用工具を用いなくても容易に解くことが可能なものとした。

3. 拡張技術

工場拡張方式を確立するため、拡張対象ユニットを拡張し、インナーコア上に乗せかえる拡張装置を開発した。低抵抗タイプの拡張装置を用いることにより、対象ユニットに損傷を与えることなく、容易に拡張することが可能になった。（写真1、2）

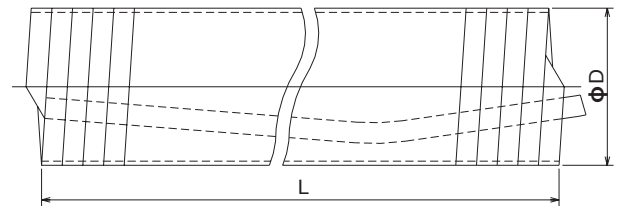


図6 インナーコアの成形形状
Inner core



写真1 絶縁筒（右）および防水保護チューブ（左）の素管状態
Original state of splice body and waterproof tube



写真2 絶縁筒（右）および防水保護チューブ（左）の拡張状態
Expanded state of splice body and waterproof tube

4. 接続部固定装置

接続部固定装置の長さについては、マンホール等の支持金具の取付けピッチより現行の受皿と同一長さとした。

ケーブル把持は、接続部本体が常温収縮式となっていることから接続部外径がケーブルサイズごとに異なるため、3心一括で固定する方式を採用した。

また、接続部保護のため樹脂製カバーを設けた。(図7)

5. 施工性検証(表3, 写真3)

最も多く使用されている現行の差込式直線接続部の作業時間と比較した場合、本開発品は17～28%の時間短縮が図れた。

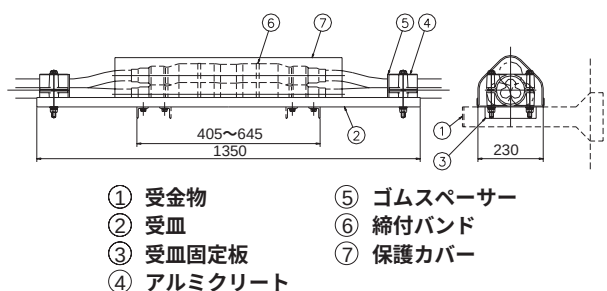


図7 接続部固定装置
Fixing equipment of joint

表3 作業時間と必要接続処理長
Time and necessary length for installation

接続部の種類	作業時間	処理長
差込式直線接続部	180～210分	2500 mm
常温収縮式直線接続部	150分	2000 mm



写真3 絶縁筒の収縮現場
Assembly of cold-shrinkable joint on cable

また、部品点数の削減と接続工法（手順）の改善により、差込式直線接続部の約80%の作業スペースで組立てが可能になった。

6. 性能評価

6.1 初期性能

開発品の初期性能結果を表4に示す。

いずれも目標性能を満足する結果が得られた。IEC規格を考慮した高温による雷インパルス耐電圧試験においても常温と遜色ない結果が得られた。

また、温度上昇試験及び短絡電流通過試験終了後の試料で商用周波長時間耐電圧試験、雷インパルス耐電圧試験を行い特性

表4 初期評価結果
Results of Initial Test

項目	結果
商用周波電圧部分放電	発生せず (発生電圧27.5～39.0 kV) (消滅電圧23.0～32.5 kV)
商用周波長時間耐電圧	良 (97～147 kV)
雷インパルス耐電圧	常温 良 (－310～－420 kV)
	高温 良 (－420 kV)
直流耐電圧	良
温度上昇	良
短絡電流通過	良
水密性	良

※ () 内は、実測値ならびに破壊値を示す。

表5 長期評価結果
Results of load cycles Test

項目	結果
30サイクル後	気中 良 (AC; 97 kV) (Imp; －340 kV)
	水中(常温) 良 (AC; 137 kV) (Imp; －370 kV)
180サイクル後	温水中(60℃) 良 (AC; 107～167 kV) (Imp; －290～－500 kV)

※ () 内は、破壊値を示す。

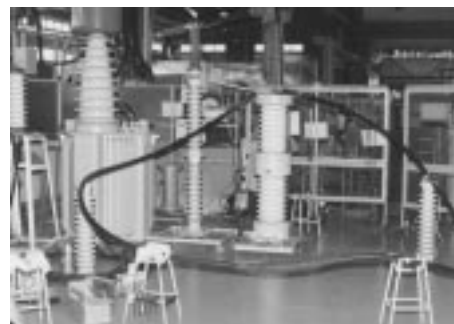


写真4 長期課通電試験実施状況
Photo of long-term test equipment

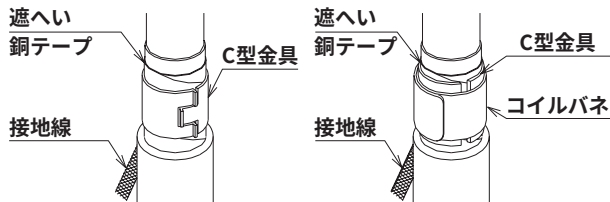


図8 ハンダレス接地構造
Construction of solder-less grounding devices

表6 評価内容
Test item of solder-less grounding device

評価項目	試験項目	試験内容
基本特性	接触抵抗測定	常時特性25サイクルごとに測定
	温度上昇試験	常時特性25サイクルごとに測定
常時特性	通電ヒート サイクル	ヒートサイクル条件
		導体温度90℃
		4 h; ON－4 h; OFF/サイクル
		通電サイクル条件
		シース循環電流; 16 A
事故時 特性	大電流 通過試験	1 h; ON－1 h; OFF/サイクル×500
		通電電流; 650 A
		2 s; ON－1 m; OFF/サイクル×3

表7 評価手順
Test procedure

評価項目	試験項目
常時特性	基本特性→常時特性
事故時特性	基本特性→事故時特性→常時特性

確認を行ったが、初期値と同等の破壊値が確認され、優れた性能を有していることを確認できた。

6.2 長期性能（表5、写真4）

従来の30サイクル気中放置による長期課通電評価に加え、30サイクル水中評価、6ヶ月間に渡る180サイクル温水中の過酷な長期課通電評価も合わせ確認を行い、良好な結果が得られた。引き続き残存特性として商用周波耐電圧試験、雷インパルス耐電圧試験を実施し、初期試験と同等の特性を有していることを確認できた。

7. 遮へい接続の検討と課題

7.1 ハンダレス構造と評価方法

完全火器レスと作業性向上のために、遮へい接続のハンダレス化について検討した。検討したハンダレス構造を図8に示す。また、評価試験内容を表6に、試験手順を表7に示す。

7.2 評価結果

ハンダレス構造2種類と従来工法のハンダ付及びケーブル遮へい層単体についても、新規ケーブルを用いて評価を実施した。

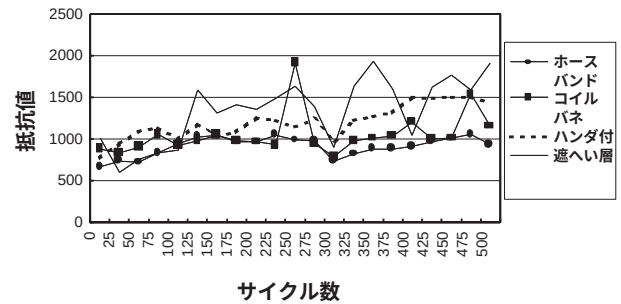


図9 常時特性試験結果
Test results for normal mode use

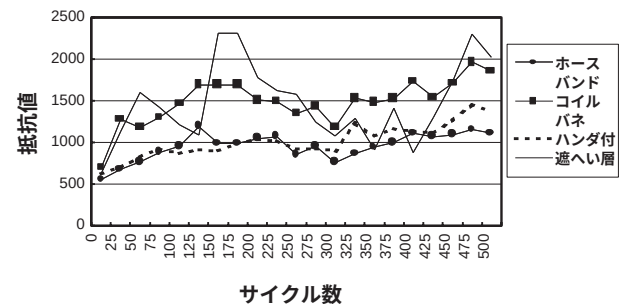


図10 事故時特性試験結果
Test results for failure mode use

常時特性試験、事故時特性試験共に抵抗値のバラツキは、遮へい層単体と比較しその差は少なく、良好な結果が得られている。（図9、10）

既設ケーブルについては、新規ケーブル同様の評価を実施し信頼性を確認することが必要である。

8. まとめ

22-kV CV ケーブル用の新型直線接続部として、目標性能を満足することはもとより、接続作業性に優れた工場拡張方式による常温収縮式直線接続部を開発し、以下を実現した。

- (1) 施工性の向上
- (2) 十分でかつ安定した電気性能
- (3) 作業時間の短縮
- (4) 接続スペースの縮小
- (5) 低コスト化

今後は、更に施工性を改善した遮へい層接続におけるハンダレス工法の採用に向け、既設ケーブル対応の検証を進め、信頼性の確保・向上を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 望月一寿, 横須賀孝一, 武井秀夫, 高橋幸三, 水元雄也; 22kV CV ケーブル用新型直線接続部の開発, 344, 平成11年度電気学会電力・エネルギー部門大会 (1999)