# 110kV CV ケーブル用 工場拡径・常温収縮型中間接続部(CSJ)の開発 Development of Cold-Shrinkable Joints for 110kV XLPE Cables



概 要 高圧CVケーブル用中間接続部の新たな方式として,ワンピースのゴムブロック型ジョイン ド(RBJ)が開発され,その適用が電圧階級,採用国ともに急速に拡大している。我々は,優れた施工性・ 管理の簡便性を特徴とするRBJにシリコーンゴムを適用することにより,新たに工場拡径・常温収縮方 式という新たな機能を付与した工場拡径・常温収縮型中間接続部(CSJ)の開発に成功した。更に, 110kV級CSJについて,IEC840規格に基づくタイプテストを第三者機関立会いのもとで実施し,外 装構造の水没試験を含めたすべての項目について規格をクリアした。

# 1. 緒言

高圧 CV ケーブル用中間接続部には,押出しモールド型 (EMJ),プレハブ型 PMJ),テープ巻きモールド型 TMJ),テー ブ巻き型 TJ 等,様々な種類の構造が適用されている。これら にくわえて,近年,ゴムモールド技術の著しい進歩により,施工 性に優れたワンピースのゴムブロック型ジョイント(RBJ)が開 発され,この適用が電圧階級,採用国ともに急速に拡大しつつあ る。現在のRBJの主流はエチレンプロピレンゴム(EPゴム)製 である。

一方,高耐熱,低応力緩和,永久伸び小),低硬度等多くの点で EPゴムよりも優れているシリコーンゴムの機械的特性の向上は 近年めざましいものがある。このことは,シリコーンゴムのケー ブル付属品への適用の可能性を広げている。

我々はこの可能性に着目し、シリコーンゴムを用いて初めて 可能となる工場拡径方式を採用した常温収縮型ジョイントの超 高圧CVケーブル用ジョイントへの適用研究にいち早く取り組 み、このたび、施工性を従来のRBJよりも更に著しく改善した、 110kV工場拡径・常温収縮型ジョイント(CSJ:Cold Shrinkable Joint)を開発した。



\* 研究開発本部 千葉研究所 電力機器研究室

# 図1 CSJの組立て概略図

Assembly procedure for cold shrinkable joints

<sup>\*2</sup> 機器・配電事業部 シリコーン製品開発チーム

<sup>\*3</sup> 研究開発本部 平塚研究所 第二開発室

<sup>\*4</sup> 電力事業部 電力技術部 第二技術課

<sup>\*5</sup> 機器・配電事業部 品質保証部 第一品質保証課

2. 工場拡径・常温収縮型ジョイント(CSJ)

開発したCSJの施工性は画期的に簡易になった。ワンピース のゴムユニットは,工場にて拡径され,拡径保持材スパイラル コア)により拡径状態に保持されて,ジョイント施工現場に出荷 される。現場では熱を使わずに,図1に示すように,スパイラル コアを引き抜くだけでゴムユニットの収縮・組立てが完了する。 ゴムユニットを組み立てる際に,従来のRBJで必要であった拡 径及び収縮用工具は全く必要としない。

更に,収縮前のCSJのゴムユニットは,通常,ケーブル・シー ス外径よりも大きい内径に拡径・保持されているため,ケーブル の接続作業時にケーブル・シースを剥ぎ取る長さは最小限で済 む。

このような工場拡径方式を採用した常温収縮型ジョイントは, 配電用付属品(直線接続部・終端接続部)等に既に適用されてい る技術であり,当社でも既に商品化が進んでいるものの,66kV 級以上の電圧階級への商品展開は,世界初となる。

#### 3. 材料検討

3.1 機械特性

シリコーンゴムは,長い間,引き裂き力が低いという問題点を 抱えていた。しかし,近年の技術的な進歩に伴い,高い引き裂き 力を有するシリコーンゴムが開発されるに至った。更にシリコー ンゴムは,その温度特性,弾性率,永久伸び特性の物性面におい て,EPゴムに比較して優れた特性を有する。特に永久伸び特性 は,工場拡径方式の常温収縮技術をワンピース・プレモールド型 ジョイントに適用するうえで,最も重要な要素のひとつである。 更に,加硫前は液状であるシリコーンゴムは,成形性についても





表1 絶縁性シリコーンゴムの物性値 Material properties of silicone rubber

項目	シリコーンゴム	EPゴム
引張伸び率	790%	750%
破断強度	10 MPa	9.3 MPa
硬度(JIS-A)	34	60
引き裂き強さ(JIS-A)	21.5 N/mm	11.8 N/mm
永久伸び 100%伸張	2.6%	32.4%

- 表2 試料形状・試験諸条件一覧
  - Electrical test conditions for silicone rubber

有効部絶縁厚	150 ~ 200 µ m
試料雰囲気	絶縁オイル中

EPゴムに比較して極めて優れている。

開発した常温収縮型ジョイントに適用したシリコーンゴムの 物性値を,従来のジョイント用ゴム材料であるEPゴムとの比較 と合わせ,表1に示す。

3.2 電気的特性

シリコーンゴムの耐電圧特性を測るため,図2に示す構造の リセスシートを用いた,耐電圧試験を実施した。高圧電極に,端 部をR形状に処理し,周囲をエポキシ樹脂で被覆した棒電極を 用いることにより,コロナ・フリーにて試験を実施した。試料形 状や試験諸条件を表2に示す。

3.2.1 試験条件

シリコーンゴムの耐電圧特性は,以下の試験条件に従って測 定した。全試料について破壊点近傍の断面を顕微鏡観察し,絶縁 部厚みを測り,それぞれの破壊ストレスを算出した。

AC破壊試験

開始電圧 ; 6kV/10分 ステップ電圧; 1kV/10分

測定温度 ; 室温 , 90 , 105

測定試料数 : 各温度 n=5 以上

インパルス破壊試験

インパルス破壊試験は,正極性のみ又は負極性のみで両極 性データをとった。

- 開始電圧 ;+又は-14kV/3回
- ステップ電圧: + 又は 1kV/3回
- 測定温度 ; 室温 , 90 , 105
- 測定試料数 ;各温度 n=5 以上
- 3.2.2 試験結果
- AC 破壊試験(図3)

シリコーンゴムのAC破壊ストレスに,105 までの範囲にお いて,温度依存性は見られない。

インパルス破壊試験(図4)

シリコーンゴムのインパルス破壊ストレスに,極性による違いは見られない。しかしながら,AC破壊ストレスには見られなかった温度依存性が,正負極いずれの極性においても確認された。ただし,温度係数はいずれも約1.1(室温/105)と小さい(XLPEでは1.2)



図3 シリコーンゴムのAC破壊ストレスの温度依存性 Temperature dependence of AC break down stress for silicone rubber

#### 3.3 寿命検証試験

シリコーンゴムのV-t試験を実施した。試料形状は,AC破壊 試験及びインパルス破壊試験と同じとした。(図5)

5ヶ月以上に及ぶ長期試験の結果,シリコーンゴムの寿命指数 nは17以上であることが判明した。

以上のデータから,本シリコーンゴムは,高圧CVケーブル付 属品用材料として,十分な耐電圧特性・長期特性を有しているこ とが確認された。

# 4. ゴムユニットの設計

### 4.1 電界設計

CSJのゴムユニットの設計寸法は,以下に示す絶縁設計各部 位 図6)のストレスを電界解析にて最適化することにより決定 した。

- 1;内導層平坦部ストレス
- 2;内導層電極先端部ストレス
- 3 ;XLPE/ゴム界面沿層方向ストレス
- 4;外導立ち上がり部ストレス

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7に示す。





stress for silicone rubber





# 4.2 面圧設計

ワンピース・プレモールド型のゴムユニットを適用した CSJ では,異種材料により形成される界面は,ゴムユニット内面と ケーブル絶縁体表面の1種類だけとなる。そこで,図8及び9に 示す2つの界面モデル試料を用い,4.1章に示した 3及び 4 部における界面面圧と,破壊ストレスの関係を求めることによ



図 6 ゴムユニットの構造と絶縁設計部位 Electrical design for rubber molded sleeve



図7 ゴムユニットの電界解析結果 Result of electric field calculation for designing rubber molded sleeve



図8 外導立ち上がり部モデル試料における電界 Electrical stress on sample setup modeling the edge of stress relief cone



図9 XLPE/ゴム界面部モデル試料における電界 Electrical stress on sample setup modeling the interface between XLPE and silicone rubber

り, CSJゴムユニット/XLPE界面の設計面圧を最適化した。

界面モデルでは、実機でのストレス分布を模擬した形状を採 択しているほか、シリコーンゴム・シートとXLPEシートとの 界面にかかる面圧を変化させた状態で、電気試験を実施できる。

図8に示す外導立ち上がり部モデルでは,絶縁シートの中央 部分に一体成形されている導電ゴムが,ゴムユニットのストレ ス・コーンの立ち上がりと同じ角度を形成しており,ストレス分 布は実機の外導立ち上がり部分と同様になる。

一方,図9に示すXLPE/ゴム界面モデルでは,絶縁シートの 外周にストレス・コーン,中央に内導電極が一体成形されてい る。

いずれのモデル試料においても,界面に発生する面圧は,ゴム 若しくはXLPEシートの上部にセットされる,エポキシ治具高 圧電極を内包)の上部から押さえつけられる荷重により,任意の 値に調整される。

更に実機サイズレベルでも,以下に示す構造のモデル試料を 用いた検証を実施した。図10に示すモデルでは,外導立ち上が り部分の破壊ストレス,図11に示すモデルではゴムとXLPE界 面の破壊ストレス,それぞれの面圧依存性を,外径の異なるケー ブルを適用することにより求めた。結果として,設計値を下回る 0.4kgf/cm<sup>2</sup>でも,必要十分な耐電圧特性を有することを確認し た。

以上のモデル及び実機サイズでの検討の結果,工場拡径方式 を採用したCSJの面圧を図12に示すコンセプトのもとに設計



図 10 外導立ち上がり部モデルの構造図 Model sample to evaluate the effect of surface

pressure on breakdown voltage at the edge of stress cone



図 11 XLPE/ゴム界面部モデルの構造図 Model sample to evaluate the effect of surface pressure on breakdown voltage at the interface between XLPE and SiR



図 12 ゴムユニットの設計面圧の概念図 Design concept of interfacial pressure between XLPE cable and rubber molded sleeve

し,30年後の保証値を0.5kg/cm<sup>2</sup>とすることとした。

ここでは,ケーブル・シースをかわせるだけの拡径状態での一 定の保管期間,更に,一定の締めばめ率でケーブル絶縁体周上に 装着された拡径状態の実使用期間30年間,それぞれの間に起こ るゴムの応力緩和に伴う面圧低下を見込んでいる。材料試験の 結果,シリコーンゴムを用いたCSJでは,前記した界面モデル の結果から導き出した設計面圧0.5kgf/cm<sup>2</sup>を,十分な裕度を 持って満足できることが判明した。よって本CSJは,30年後も 十分な電気的性能を有することが保証できる。

5. ゴムユニットの拡径技術

5.1 スパイラル型拡径保持材の設計

ケーブル上への装着作業を容易にするため,開発した常温収 縮型ジョイントのゴムユニットは,工場にてプラスチック製の ひもをかみ合わせた状態でスパイラル状に組み上げた,拡径保 持材上に拡径した状態にて出荷される。

こうして形成された拡径保持材は,ゴムユニットを拡径状態 にて保管している間に形状を維持し続けているだけでなく,引 き抜き工具等を用いることなく,適度な引き抜き力にて勘合面 がはずれ,ゴムユニットを常温にて収縮させる。これらを実現可 能とするため,我々は,ひも材形状並びに勘合部形状を工夫し, 勘合部分の接着強度についても最適化を図った。

5.2 拡径装置の開発

工場拡径方式を確立するため,ゴムユニットを拡径し,スパイ ラル型拡径保持材上に乗せかえる拡径装置を開発した。低抵抗 タイプの本拡径装置を用いることにより,ゴムユニットに損傷 を与えること無く,容易に拡径することが可能となった。

## 6. 施工性検証

あらかじめ拡径し,ケーブルシース上に素通ししてあるゴム ユニットを,段剥ぎして導体を圧縮接続したケーブル上に移動 し,スパイラル型拡径保持材を引き抜くことによりゴムユニッ トを常温にてケーブル上に収縮・形成した。同作業に要した施工 時間は,2名で10分以内である。工場拡径方式の適用により,従 来のワンピース型ジョイントに必要とされた,現地における拡 径作業を省略することが可能なため,組立ては画期的に簡易に なった。(写真1~3)

図13に,110kVCSJの保護管を含めた構造図を示す。



写真1 ゴムユニットの収縮現場 Assembly of cold shrinkable joint on bonded cable

- 84 -



写真2 ゴムユニットの収縮完了 Rubber unit shrunk onto the cable



写真3 組立が完了した 110kVCSJ Appearance of the completed 110kV CSJ



① 導体スリーブ
② ゴムユニット
③ 保護管
④ 防水コンパウンド
⑤ ボンディングワイヤー

導体サイズ	D	L
240-2000mm <sup>2</sup>	250mm	1300mm

図 13 110kV CSJの構造図 Structure of 110kV CSJ

#### 表3 適用したケーブル構造一覧 Summary of cable structure

電圧階級		110kV
導体サイズ		銅 400mm <sup>2</sup>
	厚み	17.5mm
ALPE船称14	外径	61mm
シース		アルミ・シース
山立边要共知	材料	PE
211 司1 仅 很 1 2 1 4 1	外径	89mm

#### 表4 試験条件並びに試験結果 Test condition and results

試験項目	要求特性	結果
	AC112kV / 10sec印加後,徐々に電圧を	
部分放電	96kVまで降下させ,室温にて部分放電	合格
試験	の発生の無きこと	
	課電電圧;AC64kV	
tan 試験	試験温度;導体温度95~100	合格
	規定値;0.001以下であること	
	課電電圧;128kV	
	H.C.温度;室温⇔95~100	
	(ヒーター8hrON/16hrOFF)	合格
91970	H.C.回数; 20cycles. 終了後,室温	
	ならびに高温の部分放電測定	
	課電電圧; ± 550kV /10回	
インパルス	導体温度(95~100)	<b>△</b> +⁄2
耐電圧	課電後,AC160kVを15min印加して破壊	白恰
	しないこと	



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

# 7. IEC タイプテスト

### 7.1 長期課通電/残存試験

20日間の長期課通電試験を含むIEC840規格に規定の条件に 基づくタイプテストを,第三者検査機関 DNV;デット・ノルス ケ・ベリタス社殿)の立会いのもとで実施し,開発した 110kVCSJの性能を検証した。表3に供試したケーブル構造を, 表4にそれぞれの項目の試験条件を,写真4及び図14に,試験 サーキットを示す。

長期課通電試験及びすべての残存試験をクリアし,十分な絶縁性能を有することが証明された。



図 14 長期課通電試験サーキット概略図 Test circuit for IEC long-term test

#### 表 5 水没試験条件

Water immersion and heat cycling test conditions

水深	ジョイント上端から水面まで1m以上
	低温;室温から10 以内
ヒート・サイクル温度	高温;導体最高温度の15~20 以下
	(保持時間5hr以上)
サイクル数	20サイクル

表6 水没・ヒート・サイクル後の残存性能試験条件 Electrical test conditions for residual performance test after water immersion and heat cycling

試験項目	要求特性	結果	
DC耐圧試験	課電電圧;20kV	<b>△+</b> ⁄2	
	課電時間;1min	口俗	
インパルス	±75kV / 10回(スリット間)	合格	
耐圧試験	±37.5kV / 10回(対地間)	合格	

7.2 水没・ヒート・サイクル試験

水没・ヒート・サイクル試験の試験条件並びに残存性能検証結 果を表5に示す。

水没・ヒート・サイクル試験を終了した試料について,撤去後 直ちに,表6の条件の試験により,残存性能(DC,インパルス 耐圧)を検証した。

試験は,IJスリット間並びに対地間の両方について実施し,十 分な耐圧性能を水没・ヒートサイクル後も有していることが証明 された。残存試験を実施した後,試料を解体した結果,水の浸入・ 内部の異常等の現象は全く認められなかった。

このことから,本CSJは直埋環境に対しても十分な構造・性能を有しているものと言える。

# 8. まとめ

シリコーンゴムを用いた,工場拡径タイプの110kVCVケー プル用常温収縮型ジョイントを開発し,IEC840タイプ・テスト に合格した。

世界初となる高圧CVケーブル用常温収縮型ジョイントの開 発により,以下を実現した。

- (1) 施工性の画期的な向上
- (2) 十分かつ安定した耐電圧性能
- (3) 現地における作業工程の短縮 対現地拡径方式)
- (4) 直埋等の過酷な条件下での性能安定性
- (5) ケーブル・シース剥ぎ取り長を含めた省スペース,小サ イズ化

今後は,更なる高電圧への展開についても検討を図っていく 予定である。

# 参考文献

- 野沢春樹,金井信之,小林正三,小野努,田中悟;作業性の向 上を目指した 66kVCV ケーブル用中間接続部の開発,460, 平成10年電気学会電力・エネルギー部門大会,(1998)
- Lequeux JM., Par, ogoamo B., Vallauri U.;First field experience and evolution of cold shrinkable MV joints, B.1.6., Jicable'95, (1995), 300