

275 kV OF/CV 異種接続部の開発

Development of Transition Joint for 275 kV Oil-filled Cable and XLPE Cable

松倉 豊 桑木亮仙
Yutaka MATSUKURA Akihisa KUWAKI

新井敦宏 小森博文 土屋信一
Atsuhiko ARAI Hirofumi KOMORI Shinichi TSUCHIYA

275 kV OF ケーブル長距離送電線路は現在でも主要幹線として使用されている。長距離線路の交換は主要幹線であることから長期の停止を取ることができず、工期が限られてしまう。そのため、長距離線路の一部の OF ケーブルを CV ケーブルと交換、CV ケーブルと接続する異種接続部が必要となる。今後の需要を見込み、異種接続部（以下 SJ と称す）の開発を行なった。今回開発した SJ は施工の容易さを確保でき、製品性能の安定化が図れ、現地施工工数の低減ができた。

275 kV OF cable long distance circuit is still used as the main circuit. The exchange of the long distance circuits cannot take long-term stop since it is the main circuit, and the term of works is limited. Therefore, part of Oil-filled cable of the long distance circuit is exchanged for the CV cable, and Transition joint connected with the CV cable is needed. Transition joint is developed. (Hereafter, it is called SJ) the demand in the future.

Developed SJ is able to secure the easiness of construction, attempt the stabilization of the product performance, and decrease the assembly process.

1. はじめに

SJ（異種接続部）は 154 kV 級まで実績はあるが、今後需要が見込まれる 275 kV 級 SJ の開発をすすめてきた。275 kV 用では高ストレスでの使用でも耐え得るように最適設計を行い、製品寸法を縮小化させ、工期を短縮するため構造を改良した。主要絶縁体はエポキシユニット、エポキシベアリングで構成される構造となっている。

以下に SJ の設計内容、構造、施工、試験結果について報告する。

2. 目標性能

2.1 絶縁性能

目標絶縁性能は 275 kV OF/CV 異種接続部の最新の仕様に準拠し、CV ケーブル側は表 1、OF ケーブル側は表 2 の通りとした。CV ケーブル側の構造は 275 kV PMJ（ブレハブ接続部）と同構造となっていて、その耐圧値に耐える性能を有する。

適用するケーブル導体サイズは、2000 mm² 以下とした。

2.2 寸法

寸法は既設 275 kV OF ケーブル用接続部の寸法と同等と

なる寸法とし、保護管外径 φ360、全長は 2200 mm とした。

表 1 目標性能（CV ケーブル側）

試験項目	目標性能
商用周波耐電圧	525 kV・1 時間
部分放電特性	300 kV 10 分間 (5 pC 以下)
雷インパルス耐電圧	±1445 kV 3 回 (常温)

表 2 目標性能（OF ケーブル側）

試験項目	目標性能
商用周波耐電圧	510 kV・3 時間
部分放電特性	300 kV 10 分間 (5 pC 以下)
雷インパルス耐電圧	±1155 kV 3 回 (高温)

3. 基本設計

下記に開発した 275 kV SJ の基本設計を示す。

1) 部品の共用化

CV 側の設計は適用する材料を含めて、275 kV PMJ と部品を共用化している。

2) 施工の品質確保・簡略化

OF 絶縁油付着を抑制するため、エポキシユニットを CV 側に挿入する工法とし、品質を確保した。

OF 側補強絶縁紙の成形作業を簡略化した。

3) 工場内組立実施

工場内で予め組立を実施することにより、現地での組立工数の低減化および組立環境の安定化を図った。

4. 設計

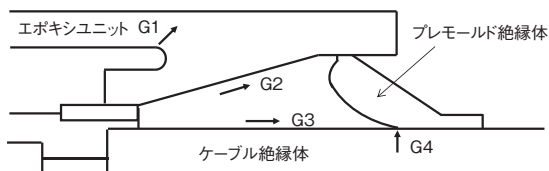
4.1 絶縁設計

絶縁設計は CV ケーブル側、OF ケーブル側それぞれ電界解析を実施し、CV ケーブル側と OF ケーブル側との絶縁協調を考慮し、最適設計により各部の電界強度（ストレス）が最小となるよう、エポキシユニット他の形状と寸法を決定した。

4.1.1 CV ケーブル側の絶縁設計

図 1 に CV 側の各部の電界が最適設計となるような電界解析位置、図 2 に CV 側等電位分布図、表 3 に計算結果を示す。

CV 側の商用周波（AC）、雷インパルス（Imp.）設計ストレスは、同一構造の 275 kV PMJ の耐圧値を基に電界解析を行って、上記のストレスは 275 kV SJ および PMJ として使用に十分耐える値である。



G1: エポキシユニットの高圧埋込電極端部
G2: エポキシユニットとプレモールド絶縁体の界面方向
G3: プレモールド絶縁体とケーブル絶縁体
G4: プレモールド絶縁体のスロープ立上り部

図 1 275 kV SJ の CV 側各部の電界解析位置

表 3 SJ CV 側の各部のストレス

部位	(kV/mm)			
	商用周波設計ストレス (525 kV)	裕度	雷インパルス設計ストレス (1445 kV)	裕度
G1	16.0	1.4	43.9	1.3
G2	4.8	1.7	13.3	2.0
G3	3.6	1.7	9.9	2.4
G4	17.3	1.5	47.6	1.2

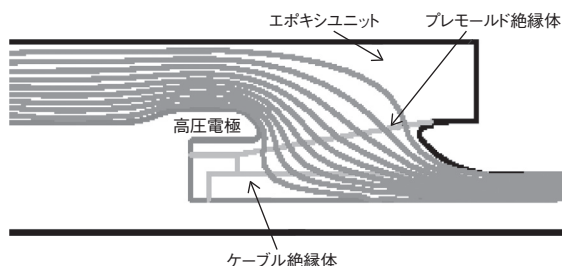
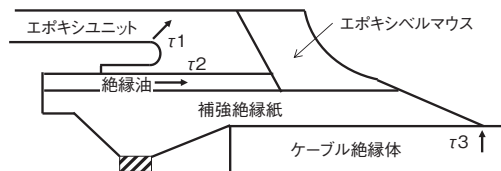


図 2 275 kV SJ CV 側の等電位分布図

4.1.2 OF ケーブル側の絶縁設計

図 3 に電界解析した OF 側各部のストレス位置、表 4 に計算結果を示す。

OF 側の設計ストレスは 275 kV OF ケーブル付属品の耐電圧値をもとに算出した。



r1: エポキシユニットの高圧埋込電極端部
r2: エポキシユニットと絶縁油の界面方向
r3: スロープ立上り部

図 3 275 kV SJ の OF 側各部の電界解析位置

表 4 SJ OF 側の各部のストレス

部位	(kV/mm)			
	商用周波設計ストレス (350 kV)	裕度	雷インパルス設計ストレス (1260 kV)	裕度
r1	10.0	2.1	36.1	1.6
r2	1.7	2.4	6.1	1.7
r3	14.6	1.7	52.6	1.2

5. 構造

5.1 275 kV OF/CV SJ の構造

今回開発した 275 kV OF/CV SJ の構造を図 4 に示す。

保護管外径は $\phi 360$ mm、全長は 2200 mm とし、既設マンホールへの収納が可能となる寸法となっている。

絶縁筒は OF 側に配置し、220 ~ 275 kV OF ケーブル接続部として実績のある部品を使用し、共通部品化した。

5.2 工場内組立

154 kV 用 SJ ではエポキシユニットを単独で搬入し、防湿環境下での組立を実施している。

275 kV CV ケーブル用接続部においては、主絶縁部が露出する工程での異物付着を防ぐため、クリーン環境での作業を実施してきた。

275 kV SJ においても CV ケーブル側の組立は同様にクリーン環境下での作業が要求される。そのため、エポキシユニット保護金具と固定金具を、工場内で予め組立することにした。これにより、主要絶縁体へ異物が付着することなく、クリーン環境下での組立が可能となった。

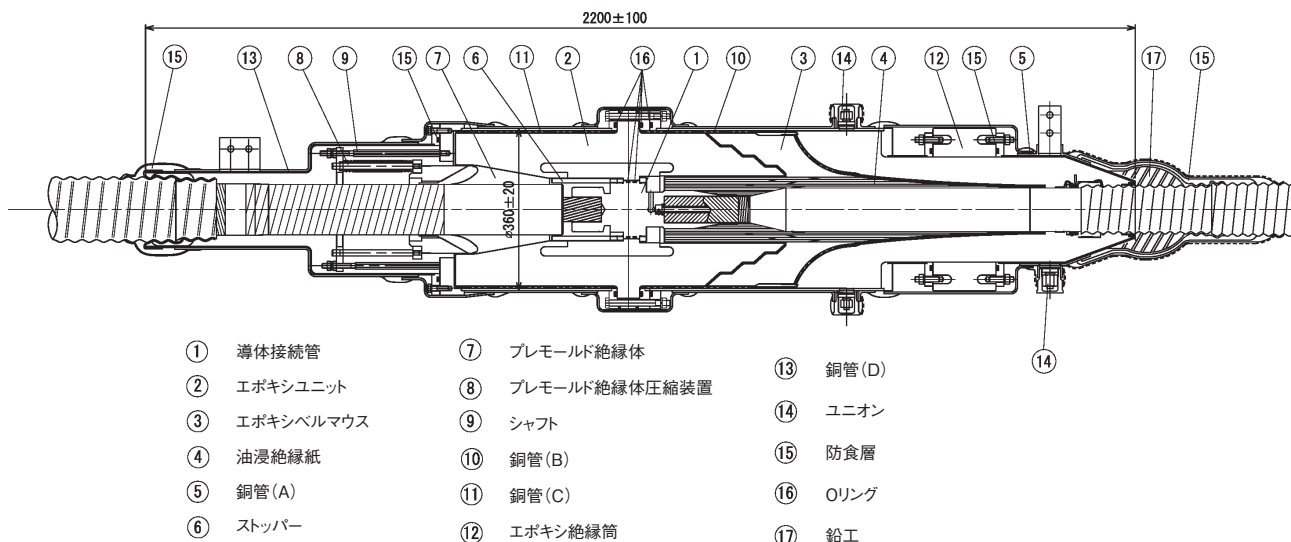


図4 275 kV OF/CV SJ 構造

6. 施工方法

6.1 ユニット挿入方向変更による品質信頼性の改善

275 kV SJにおいて、エポキシユニットをOF側に挿入する場合ユニットの内外面に絶縁油が付着しないような方策が必要である。

今回開発したSJはCV側にユニットを挿入することにより、275 kV用として必要とされるクリーン環境のもとで組立を行うことできる。

6.2 施工日数

施工日数は既設線路の停止時間を考慮し、21日/3相を基本に設定した。

7. 検証試験

開発したSJはJEC-3408「特別高圧(11 kV～275 kV)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」およびJEC-3401「OFケーブルの高電圧試験法」他に準ずる性能確認試験を行い、十分な性能を有することを確認した。

7.1 単体試験

表5に示す通り、主要絶縁体のエポキシユニット、エポキシベルマウス、プレモールド絶縁体の単体試験を実施し、必要な特性が得られていることを確認した。

表5 主要絶縁体の単体試験結果

試験項目	試験条件	結果
ヒートショック (エポキシユニット)	10～100℃・10回	良
部分放電試験 (エポキシユニット、 エポキシベルマウス、 プレモールド絶縁体)	AC 300 kV で部分放電発生せず	良

図5にエポキシユニット、プレモールド絶縁体の単体部分放電試験構造を示す。部分放電試験はエポキシユニット

に高圧電極を取り付け後保護金具を組み込み、CVケーブルにセットしたプレモールド絶縁体をプラグインタイプでエポキシユニットに組込む。

図6にエポキシベルマウスの単体部分放電試験構造を示す。

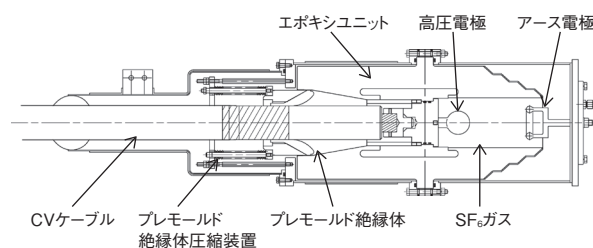


図5 単体部分放電試験 (エポキシユニット, プレモールド絶縁体)

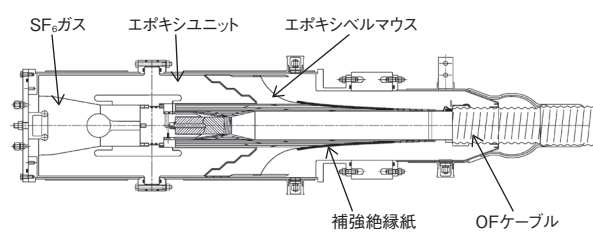


図6 単体部分放電試験 (エポキシベルマウス)

7.2 初期試験

表6に示す通り、275 kV SJの初期試験を実施し、必要な特性が得られていることを確認した。

表6 275 kV SJ 初期試験結果

試験項目	条件	結果
商用周波耐電圧	510 kV・3時間	良
雷インパルス耐電圧	±1155 kV・3回 (高温)	良

7.3 長期課通電試験（6ヶ月開発試験）

275 kV SJ は課通電試験を実施する際、CV ケーブル側の規定導体温度およびOF ケーブル側の規定導体温度いずれも満足している必要がある。CV 側、OF 側の必要ヒートサイクル条件をまとめると表7の通りとなる。

表7 275 kV SJ 長期課通電試験ヒートサイクル条件

	常時導体許容温度 (150 サイクル)	短時間導体許容温度 (30 サイクル)
CV ケーブル	90℃以上となる時間が 2時間以上	最高到達温度 105℃以上かつ 90℃となる時間が2時間以上
OF ケーブル	85℃以上となる時間が 2時間以上	最高到達温度 95℃以上かつ 85℃となる時間が2時間以上

表8に示す通り、6ヶ月課通電試験を実施し、必要な特性を有していることを確認した。

図7に6ヶ月課通電試験線路の回路、図8に試験線路の写真、図9に275kV SJ の外観を示す。

表8 275 kV SJ 長期課通電試験結果

課電条件	230 kV	良
ヒートサイクル数	8時間オン/16時間オフ 常時導体許容ヒートサイクル 159 サイクル 短時間導体許容ヒートサイクル 30 サイクル	

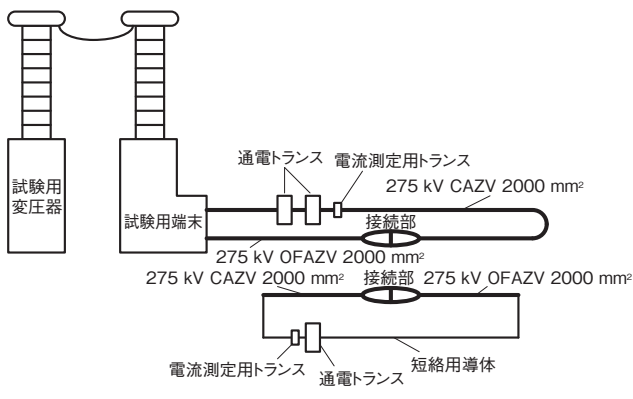


図7 長期課通電試験回路



図8 長期課通電試験線路全体

表9に示す通り、6ヶ月課通電試験後の残存性能試験を実施し、必要な特性を有していることを確認した。

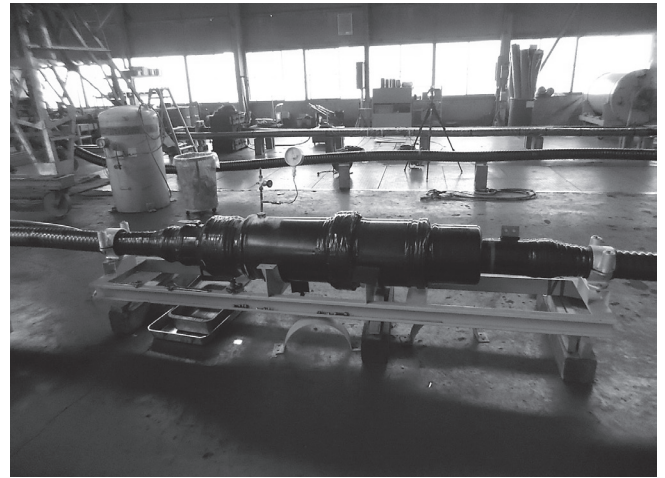


図9 275 kV SJ 外観

表9 275 kV SJ 残存性能試験結果

試験項目	条件	結果
雷インパルス耐電圧	±1155 kV・3回 (高温)	良
商用周波耐電圧	330 kV・10分間	良

7.4 地絡試験

7.4.1 目的

275 kV 線路の地絡時のエネルギーは大きく、地絡時に保護管が飛散するので、安全確保のため保護管にスリット部を設け、内圧上昇を降下させる構造とした。

7.4.2 試験概要

今回開発した275 kV SJ の地絡時放圧制御特性を確認するため、SJ のCV 側と同構造である275 kV 絶縁接続部（プレモールド型、PMJ）を代表として地絡試験を実施した。結果を以下に記載する。

地絡試験はスロープ立上り部の貫通破壊を模擬し、放圧制御方向で放圧できているかを高速度カメラの撮影データで確認した。（1秒間に1000コマ撮影）

7.4.3 試験試料

付 属 品：275 kV PMJ

ケ ー ブ ル：275 kV CAZV 2000 mm²

試 料 数：4 試料 地絡点 2 種類 (n=2)

地 絡 点：スロープ立上り部（縁切り側、非縁切り側）

放圧制御方向と反対側に地絡点を設けた。

7.4.4 試験条件

試 験 電 流：50 kA（3 サイクル後実効値）

地 絡 時 間：0.07 秒

最大波高値：50 kA × √2 以上

7.4.5 試験回路

地絡試験回路を図10に示す。

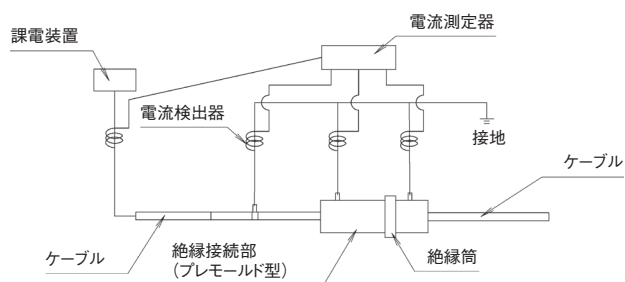


図 10 地絡試験回路図

参考文献

- 1) 新井 敦宏 他：「275 kV CV ケーブル用プレハブ接続部の開発」, 昭和電線レビュー, 第 43 巻第 2 号 (1993)
- 2) 松倉 豊 他：「275 kV 級 CV 用乾式ガス中終端接続部の開発」, 昭和電線レビュー, 第 46 巻第 1 号 (1996)

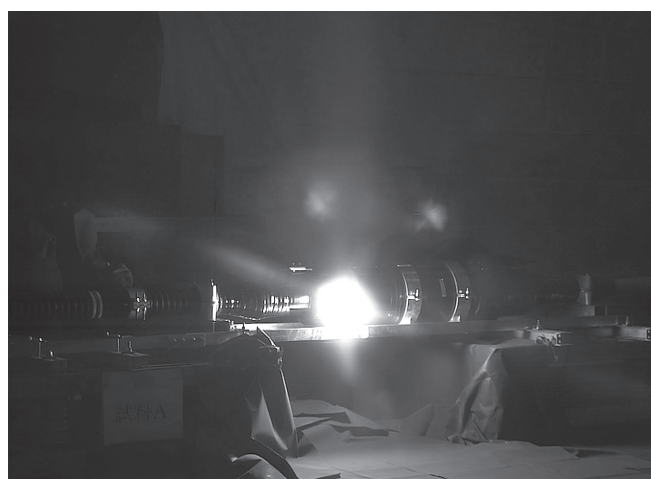
7.4.6 試験結果

4 試料ともに目的の通り、地絡点と反対側に設けた保護管のスリット部での圧力放出制御ができ、判定基準を満足した。

表 10 に試験データを、図 11 に試験状況を示す。

表 10 地絡試験時のデータ

試料番号			試料 A	試料 B	試料 C	試料 D
アークパワー	第 1 半波最大値	MW	262	303	170	157
アークエネルギー	全通電時間	MJ	5.70	5.63	5.98	3.96



地絡点と反対側（手前側）の放圧制御側でアークが見え始めている。

図 11 地絡試験状況（高速度カメラ撮影）

8. ま と め

今回開発した異種接続部はエポキシユニットを CV ケーブル側に挿入することにより、CV ケーブル側および OF ケーブル側双方とも、接続部の特性を確保するために必要なクリーンな作業環境確保が容易となった。

施工方法の容易さを確保できたため製品性能の安定化が図れ、275 kV 級接続部として必要な要求特性を満足することができた。

さらに工場内作業での事前組立の実施により、現地施工工数の低減により、組立日数も低減できた。

今後は現地の工数を低減できるよう、さらなる改良を模索していく次第である。

昭和電線ケーブルシステム(株)

松倉 豊 (まつくら ゆたか)

電力システムユニット 電力機器部 技術課 主査

電力用機器の設計・開発に従事

昭和電線ホールディングス(株)

桑木 亮仙 (くわき あきひさ)

品質環境管理統括部 主幹

昭和電線ケーブルシステム(株)

新井 敦宏 (あらい あつひろ)

電力機器事業開発プロジェクト 主幹

電力用機器の設計・開発に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

小森 博文 (こもり ひろふみ)

電力システムユニット 地中線施工部長

電力用機器の施工関係に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

土屋 信一 (つちや しんいち)

電力システムユニット 技師長

電力用機器・ケーブル全般に従事