

6600 V CV ケーブル用新型端末の開発

Development of Cold Shrinkable Termination for 6600 V XLPE Cable

酒井幸一*
Koichi Sakai

棟方弘志*
Hiroshi Munakata

桜井裕士*²
Hiroshi Sakurai

木村貴史*³
Atsushi Kimura

朝倉俊一*⁴
Syun'ichi Asakura

山田 清*³
Kiyoshi Yamada

芹沢 徹*³
Toru Serizawa

羽根良成*⁵
Yoshinari Hane

概要 従来の6600 V CV ケーブル用差込み式端末には、重汚損地区用の耐塩形端末、一般地区用の屋外形端末の2種類があり、それぞれ汚損度に応じて適用区域が定められている。しかし、磁器製の耐塩形端末には、重く取扱い性が悪いといった欠点があり、EPゴム製の屋外形端末には、誤って重汚損地区で使用した場合には絶縁破壊を起こすといった問題があった。また、両者とも差込み式のため、ケーブルの挿入不足に起因する破壊事故もこれまでにわずかではあるが発生している。

筆者らはこうした背景を踏まえ、6600 V CV ケーブル用端末を対象に、組立て作業性に優れ、施工不良による事故を未然に防ぎ、さらには一般地区、重汚損地区の区別なく使用できるシリコンゴム製の新型端末を開発した。

1. はじめに

従来の6600 V CV ケーブル用差込み式端末には、磁器製の耐塩形端末とEPゴム製の屋外形端末の2種類がある。現在使用されている差込み式端末の例を図1に示す。これらは汚損度に応じて適用区域が定められており、通常、重汚損地区には耐塩形端末、それ以外の一般地区には屋外形端末が使用されている。しかし、耐塩形端末は磁器製であるため、耐汚損特性に優れている反面、重く取扱い性が悪いといった欠点があり、屋外形端末はEPゴム製であるため、選定を誤って重汚損地区で使用した場合には絶縁破壊を起こすといった問題があった。また、両者とも差込み式のため、ケーブルの挿入不足に起因する破壊事故も件数こそ少なくなっているものの未だに発生している状況にある。

筆者らはこうした背景を踏まえ、6600 V CV ケーブル用の新型端末の開発に着手、その結果、端末組立て作業性に優れ、施工不良による事故を未然に防ぎ、さらには一般地区、重汚損地区の区別なく使用できるシリコンゴム製の新型端末を開発した。本論文では、この新型端末の研究開発の概要について述べる。

2. 新型端末の設計

2.1 目標仕様

目標仕様を表1に示す。今回の開発品は、一般地区、重汚損

地区の区別なく使用することを目標としたため、諸性能は現行の耐塩形端末に準じて設定した。また、組立て作業性についても熟練度を必要とする作業を改善すると共に、ケーブルの挿入不足等による施工不良を抑制することを目標とした。

今回、筆者らは以上の目標仕様を満足する新型端末の開発に成功した。その外観を写真1に示す。

本開発品の設計上の特徴を次項にて説明する。

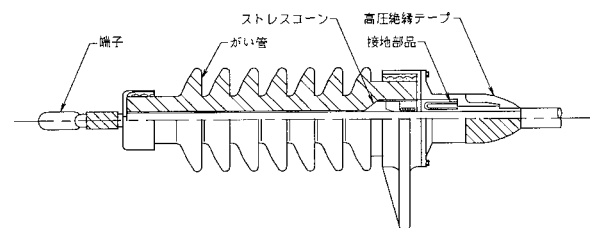


図1 差込式端末（耐塩形端末）
Pothead type slip-on termination

表1 目標仕様
Target specification

項目		目標特性
初期特性	商用周波部分放電	6.9 kVで10 pC以下
	商用周波耐電圧	35 kV 1時間
	雷インパルス耐電圧	-95 kV 3回
	気密性	49 kPa 24時間
耐汚損特性	注水閃絡電圧	17 kV以上
	汚損閃絡電圧	0.35 mg/cm ² で7.2 kV以上
組立作業性		熟練度不要 施工不良の抑制

* 東日本旅客鉄道株式会社

*² 機器・配電事業部 技術開発部 配電開発課

*³ 機器・配電事業部 技術開発部 機器技術開発課

*⁴ 平塚研究所 第2開発室

*⁵ 機器・配電事業部 配電技術部

2.2 詳細設計

2.2.1 材料

開発品を重汚損地区で使用するからには、従来の耐塩形端末の重量が重く取扱いが悪いといった欠点を改良する必要がある。そこで、開発品の主絶縁には耐汚損特性に優れたシリコンゴムを採用することとした。その結果、質量は耐塩形端末本体の約 5kg から約 1kg へと軽量化を図ることができた。

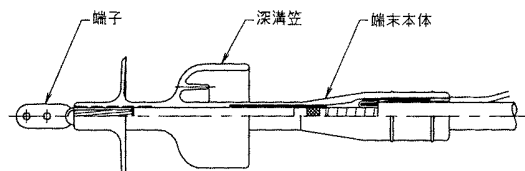


写真 1 常温収縮式端末開発品
Newly developed cold shrinkable termination

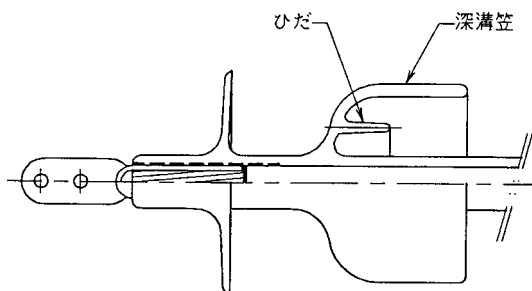


図 2 ひだ形状
Shed shape

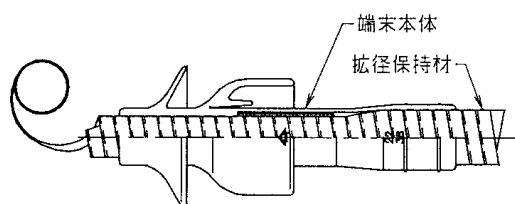


写真 2 拡径状態
Expanded state

2.2.2 外観形状

上述のように絶縁ゴムを重汚損地区に適用することから、形状面からも汚損特性を確保する必要がある。そこで、本品には、図 2 に示すように、水平笠に加え深溝形の笠を採用した。また、外観上のコンパクト化を図りつつ、必要な表面漏洩距離を確保するために深溝笠内部にひだを設けた。

このように、材料及び外観形状について耐汚損特性に配慮することにより、表 2 (後述) に示すように従来の耐塩形端末と同等の耐汚損特性を得ることができた。

2.2.3 組立て方式

組立て方式としては常温収縮式を採用した。常温収縮式とは、写真 2 のように製品内径を予めケーブルの取付け箇所の外径よりも数倍拡径した状態で保持しておき、これをケーブル上の所定の取付け位置で開放することによって取り付けるものである。この方式を採用することにより、差込み式端末のケーブルへの挿入力を省略することが可能となった。

2.2.4 電界緩和方式

常温収縮式を採用する場合、端末本体を拡径する必要があるため、その肉厚は、極力薄い方が望ましい。しかし、従来のストレスコーンによる幾何学的電界緩和方式では、少なくともその部分の肉厚は厚くなってしまう。そこで、本品には、図 3 に示すように高誘電率材料からなる電界緩和層による電界緩和方式を採用した。そうすることによって、端末本体の肉厚を薄くすることが可能となった。

2.2.5 ケーブル挿入不足の改善

上述のように、これまでの差込み式端末の場合、ケーブルの挿入不足に起因する破壊事故も件数こそ少なくなっているものの未だに発生している。その一因として、従来の差込み式端末の端子は端末本体と一体成形されており、端末本体にケーブルを完全に挿入したとの推定の下に端子を圧縮しなければならない

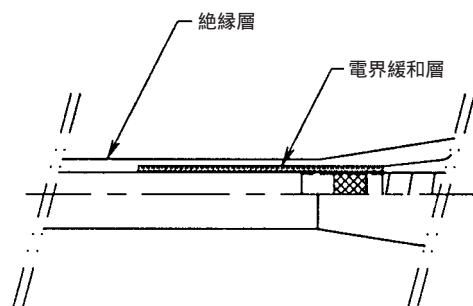


図 3 電界緩和方式
Type of stress control

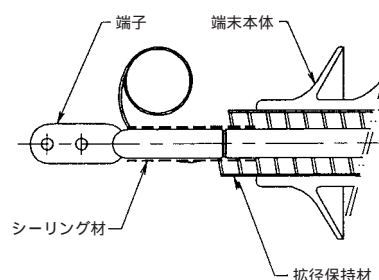


図 4 端子と端末本体の別体化
Separating terminal lug from termination housing

ことが挙げられる。そこで、今回の開発品では、図4に示すように、端末本体と端子を別体とすることとした。端子を別体とすることにより、確実に端子に導体を挿入し、圧縮接続したことを確認した上で次の作業に移ることが可能となり、従来のようなケーブルの挿入不足による事故の要因を排除することができた。

2.2.6 サイズ共用化

また、端子と端末本体を別体としたことに加え、先述のように端末本体の内径を予めケーブル絶縁体の数倍に拡張、保持する方式を採用したことにより、1種類の端末本体で複数のケーブルサイズに適用することが可能となった。本開発品の場合は、1種類の端末本体で2種類のケーブルサイズに適用可能、即ち22mm²と38mm²、60mm²と100mm²を共用とすることとした。

2.2.7 組立て作業性の改善

図5のように、接地処理はコイルバネを使用することにより半田付け不要の構造とした。防水処理についても端末本体とケーブルシース界面、端末本体と端子の界面にそれぞれシーリング材を介在させて防水性能を確保する構造とすることにより、従来のテープ巻きによる防水処理を省略した。

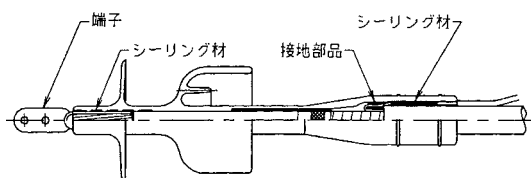
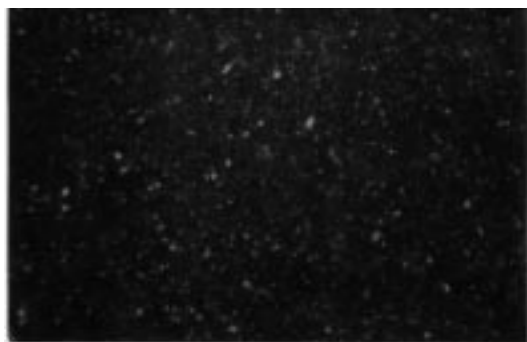


図5 接地及び防水処理
Grounding and waterproofing method



(a) 原品



(b) 500時間経過後

写真3 耐オゾン試験後の試験片の表面状態
Specimen surface after ozone resistance test

3. 評価

今回の開発品は重汚損地区での適用を前提としているので、組立て品による評価の他に材料そのものの耐候性、耐トラッキング性についての評価も行った。

3.1 材料評価

本品に限らず、屋外で使用される端末はオゾンや日光、そして風雨に曝される。表面が湿潤すると周知の現象である微小放電が発生する。よって、開発品に使用するシリコンゴムについて、以下に示す加速試験によって材料自身の耐候性及び耐トラッキング性を評価した。

3.1.1 耐オゾン性試験

空気中に含まれているオゾン量は通常1～5pphm程度である¹⁾。しかし、汚損条件下では微小放電により、更に多くのオゾンが発生する。そこで、今回は、オゾン濃度150ppmと高く設定した以外はJIS K 6301に準じ、試験温度40℃の雰囲気中で試験片を50%伸長させた状態に保持し、クラックの有無等、表面状態の観察を行った。

写真3に試験前及び500時間経過後の試料の表面状態を示す。500時間経過後の試料表面にはクラック等の異常は特に認められなかった。

3.1.2 サンシャインウェザオ試験及び耐トラッキング性試験

ウェザオメーターを用いる試験は、紫外線を主体とする耐候性試験であり、光源の周囲に回転枠を配置し、その内面に試験片を取り付けて回転させるものである。

シリコンゴムの優れた耐汚損特性は、表面の撥水性を長年にわたって維持し、さらには微小放電によって撥水性を失っても速やかに回復する性質によるものであることがこれまでの研究で明らかになっている²⁾。この撥水性を評価するには接触角法が広く行われている。そこで、今回は照射時間を最大5000時間とし、その間数個ずつ試験片を取り出して試験片表面の接触角を測定した。また、IEC587 傾斜平板法により耐トラッキング性についても評価した。

図6に接触角の推移を、表2に耐トラッキング性試験の結果を示す。接触角については試験中に大きな変動はなく、その値も原品のものと大差ないことから、材料の撥水性は十分維持されているものと考えられる。また、耐トラッキング性試験についても、照射時間5000時間経過後の試験片でも原品同様合格していることから、耐トラッキング性も十分維持されていることが判った。

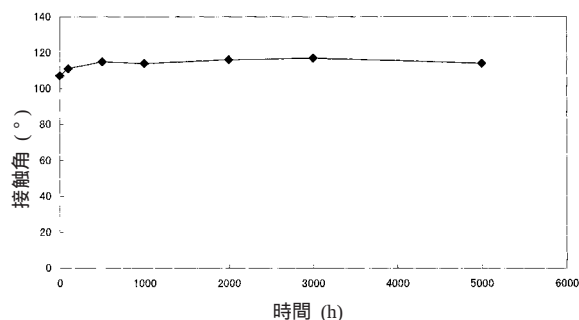


図6 サンシャインウェザオ試験に供した試験片表面の接触角の変化
Contact angles on specimen surfaces after sunshine weathering test

3.2 組立て品評価

上述の材料を用いて製作した製品を実使用と同じ状態に組み立て、初期特性、耐汚損特性について評価した。また、実際の使用条件下における長期性能を確認するために、重、中、軽汚損地区で実際の配電系統に試料を取り付け、実フィールドにおいて約 1 年間の屋外暴露試験を実施した。

3.2.1 初期及び耐汚損性能

開発品の初期性能は、共用サイズ全てにおいて目標性能を満足することを確認した。テープ巻き処理を省略してシーリング材を採用した防水構造にも特に異常は認められなかった。耐汚損特性についても耐塩形端末と同等以上の性能を有していることを確認した。評価結果を表 3 に示す。

表 2 耐トラッキング性試験結果 (IEC587)
Results of tracking resistant test (IEC587)

要求特性	試験電圧 (kV)	試験時間 (h)						
		原品	100	500	1000	2000	3000	5000
5個の試験片が 全て6時間破壊 せずに耐える こと	3.5	合格	合格	合格	合格	-	合格	合格
	4.5	合格	-	-	合格	-	合格	合格

判定条件: 高圧回路を 60 mA 以上の電圧が流れたとき、
または試料表面上下部電極から 25mm の位置に
付けたマークにトラックが達したとき

表 3 初期試験及び耐汚損試験結果
Result of initial test and anti-pollution test

項目		評価結果
初期特性	商用周波部分放電	発生せず
	商用周波耐電圧	良
	雷インパルス耐電圧	良
	気密性	良
耐汚損特性	注水閃絡電圧	良
	汚損閃絡電圧	良
組立作業性		良

3.2.2 長期特性

試験場所としては、重汚損地区では海岸線から 10m の所、中汚損地区ではトンネル内を選定した。前者は海水や潮風、後者はディーゼル車の排煙、砂塵、ブレーキの鉄粉に曝される上、雨洗効果のない、環境的には非常に厳しい場所である。また、軽汚損地区では駅構内の駐車場内を選定した。ここは、排気ガス、土埃等の影響を受ける場所である。試料設置状況の例を写真 4 ~ 6 に示す。試料は各場所に 4 本ずつ配置、定期的に 1 本ずつ撤去して各種評価を行った。

撤去後の試料の一例を写真 7 に示す。この試料は中汚損地区で暴露したもので、設置後 1 年後に撤去したものである。写真から判るように、表面にはエロージョンやトラッキング等による異常は認められなかった。他の試料についても、汚損環境の違いや撤去時期に関係なく、暴露試験中に外観上の異常は認められなかった。また、撤去後の各試料を表 4 に示した試験に供し、問題のないことも確認した。

さらに、撥水性の変化を調査するために、各撤去品について接触角の推移を調査した。その結果を図 7 に示す。汚損環境の違いに関係なく、接触角に著しい変化は認められなかったことから、シリコンゴムを採用した端末本体表面の撥水性は、試験期間中、維持されていたものと考えられる。

3.2.3 組立て作業性検証

組立て作業性については、従来の差込み式屋外形端末と比較することで検証を行った。

開発品では、防水テープ巻き処理等の熟練度を要する作業を省略した分、従来品に比べ作業時間を約 23% 短縮することができた。また、組立て作業自体も、熟練度を不要としたことに加え、差込み時の挿入力が不要になったことにより簡素化され、かつ、端子装着の際、確実に端子に導体を挿入し、圧縮接続したことを確認した上で次の作業に移ることが可能となり、従来の差込み式端末に見られたケーブルの挿入不足による事故の要因を排除することができることも確認した。



写真 4 屋外暴露試験（重汚損地区）
Outdoor exposure test
(heavy pollution area)



写真 5 屋外暴露試験（中汚損地区）
Outdoor exposure test
(medium pollution area)



写真 6 屋外暴露試験（軽汚損地区）
Outdoor exposure test
(light pollution area)



写真7 撤去品（中汚損地区:1年後）
Sample after one-year outdoor exposure
test in medium pollution area

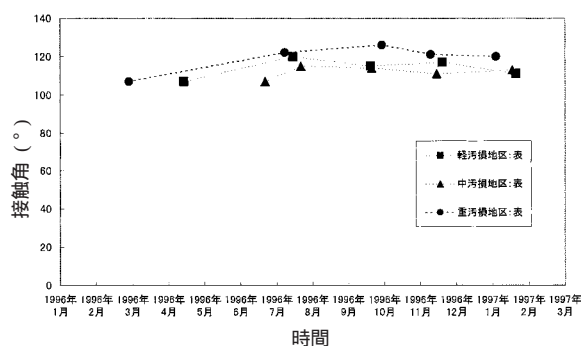


図7 各試験場所での接触角の変化
Contact angles on termination surfaces
tested at each site

表4 撤去後の試料の評価結果
Test results of terminations after outdoor
exposure aging on each site

項目		評価結果
外観		異常なし
商用周波部分放電		発生せず
商用周波耐電圧		良
雷インパルス耐電圧		良
漏洩電流測定 (DC10 kV課電)	乾燥状態	0.1 mA以下
	湿潤状態	0.1 mA以下

4. おわりに

今回、6600 V CV ケーブル用端末を対象に開発を行った結果、組立て作業性に優れ、施工不良による事故を未然に防ぎ、さらには一般地区、重汚損地区の区別なく使用できるシリコンゴム製の新型端末の開発に成功した。本製品は平成10年より、実線路に布設していく予定である。

参考文献

- 1) 西沢 仁:日本ゴム協会誌第49巻, 4 (1976), 327
- 2) 例えば R. S. Gorur, J. W. Chang, and O. G. Amburgey: IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5, No.4 (1990), 1923