

154 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の開発

Development of 154 kV Direct-molded Outdoor Termination

李 鋒
Feng LI

今西 晋
Shin IMANISHI

新井敦宏
Atsuhiko ARAI

伊藤一己
Kazumi ITO

ダイレクトモールド気中終端接続部は、主絶縁にエポキシ樹脂を使用してシリコンゴムの外被をかぶせた完全固体絶縁タイプの終端接続部である。今回、酸化亜鉛の電界緩和技術を適用し、従来の磁器がい管、絶縁油を使う気中終端接続部に比較して軽量・コンパクト化した 154 kV クラス重汚損用の気中終端接続部を開発した。開発品は東日本大震災以後に高まっている地震対策のニーズに応え、優れた耐震性、安全性も有する。また、各種電気試験、機械試験を実施し、JEC-3408 規格の要求性能を満足することも確認した。

Direct-molded outdoor termination is a completely solid insulator type product, which is achieved by the structure composed of epoxy resin as a main insulator and silicone rubber as an outer cover. In this time, compared with conventional design by using of porcelain tube and insulation oil, we developed a light-weight and compact 154 kV class outdoor termination for heavy pollution level by application of the electric field mitigation technology using ZnO material. To meet the increasing needs of seismic performance after the Great East Japan Earthquake, developed product also has excellent performance of earthquake resistance and safety. Furthermore, it was confirmed that new product satisfied with the requirement of JEC-3408 standard by various electric tests and mechanical tests.

1. はじめに

従来の 154 kV CV ケーブル用気中終端接続部は磁器がい管を使い、内部絶縁にはシリコン油などの絶縁油を注入していた。これらの部品組み立てを現地で行っていたため、工期短縮と工事の省力化が望まれていた。ダイレクトモールド気中終端接続部は主絶縁にエポキシ樹脂を使用し、シリコンゴムの外被をかぶせた完全固体絶縁タイプであり、絶縁油を使用しないことから軽量・コンパクトを実現した製品である。また、軽量・コンパクトであるが故に気中終端の固有振動数が地震の卓越振動数範囲 (0.5 ~ 10 Hz) よりも高く耐震性に優れていること、その構造から口開きが発生しないことなどから、東日本大震災以後ますます地震対策として脚光を浴びている。我々は既に 66/77 kV, 110 kV クラスの製品をラインナップしており^{1), 2)}、今回、154 kV クラスの気中終端を開発したので、ここに報告する。

2. 構造

重汚損用 154 kV ダイレクトモールド気中終端接続部と従来品の構造比較を図 1 に示す。主絶縁にエポキシ樹脂、外被にシリコンゴムを用いて完全固体絶縁構造としたこと、更に非線形材料—電圧・電流特性に非線形性を持つ材料—を電界緩和層として用いたことにより³⁾、従来の磁器がい管を使用した気中終端に比較して大幅な軽量・コンパ

クト化を実現した (表 1 参照)。

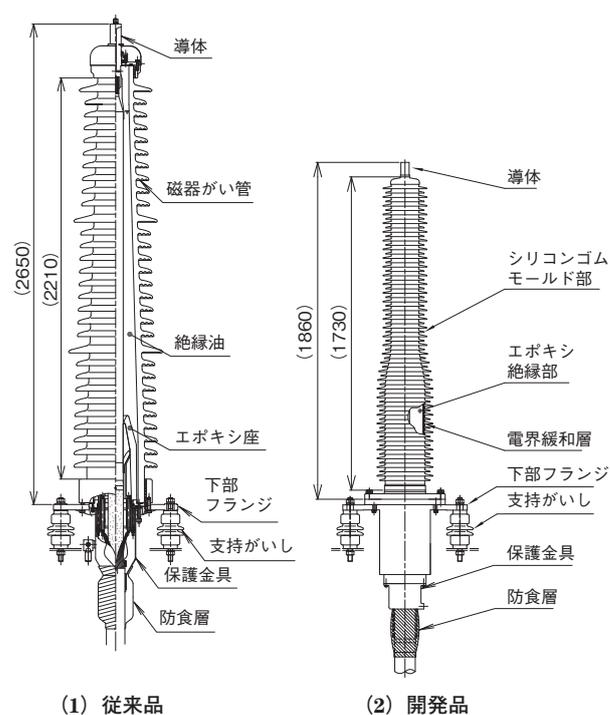


図 1 開発品と従来品の構造比較

表1 気中終端接続部の比較

項目	磁器がい管品 PC-227FR (重汚損)	開発品 (重汚損)
質量 (本体)	約 520 kg	約 140 kg
平均直径	320 mm	210 mm
全長	約 2650 mm	約 1860 mm

3. 特 長

開発した 154 kV ダイレクトモールド気中終端接続部は次の特長を有している。

①完全乾式化

エポキシ絶縁部の表面にシリコンゴムを直接モールドした固体絶縁構造の完全乾式の気中終端接続部である。絶縁油やガスを使用しないことから、メンテナンス性向上と環境調和を実現し、現場にて特別な設備を使用しなくても、水平、斜め、逆さ取付け等自由な設置形態が可能である。

②プラグイン化

あらかじめ工場で組み立てた本体材料（がい管部）に接続材料を差し込むだけで接続できるプラグイン構造を採用したことから、信頼性が向上し、現地での組立工程が簡略化できる。また新しいタイプの接触子を使用することで、大サイズケーブル用通電性能を確保できる。

③軽量・コンパクト化

がい管部は磁器ではなく、ポリマー材料を適用し、軽量化することで、重機を使用せずに組み立てが可能となり、取り扱いが容易で作業性が大幅に向上する。更に、エポキシ絶縁部の外層に非線形材料を適用して電界を緩和することより、コンパクトサイズで高い絶縁性能を実現した。

④汚損性能

磁器がい管品と同様の設計思想で平均直径を細くすることにより、コンパクト化しても従来の重汚損用磁器がい管品と同等の汚損性能を有する。

⑤耐震性能

軽量・コンパクト化により、気中終端本体の固有振動数が地震の卓越振動数範囲（0.5～10 Hz）よりも高く耐震性に優れる。

4. 設 計

4.1 電界設計

154 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の気中部において、構造上電界が高くなるのは気中部下部の遮へい金具近傍である。内部導体と遮へい金具の位置・形状、エポキシ絶縁部外径を最適化することで遮へい金具近傍の内部電界を抑えるとともに、シリコンゴム外被表面の電界を下げて運転電圧時にコロナ放電が発生しないよう各部の構造を決定した。

また、気中部下部のエポキシとシリコン外被の間には、非線形材料（酸化亜鉛）を用いた電界緩和層を設けている（図1参照）。電界緩和層の電界-電流特性（図2）の通り、設定電界以上になると電流が流れてその場所の電界を一定に保とうとする特性を持つ³⁾。このように電界緩和層は高電界の領域で電界抑制効果を持つ。過電圧時や雷サージ進入時などの異常時の過大な電圧が終端接続部に印加された場合には、気中部下部の高電界となる部分の電界を抑制するため、終端の気中部全長をコンパクト化できる。

電界緩和層の動作電界を超える電圧が印加された場合の等電位線分布を図3に示す。(1)は電界緩和層がない場合で、下部遮へい金具先端近傍の外被表面の等電位線が密になっている。これに対し、電界緩和層がある(2)では電界抑制効果により外被表面の等電位線が疎になっていることがわかる。

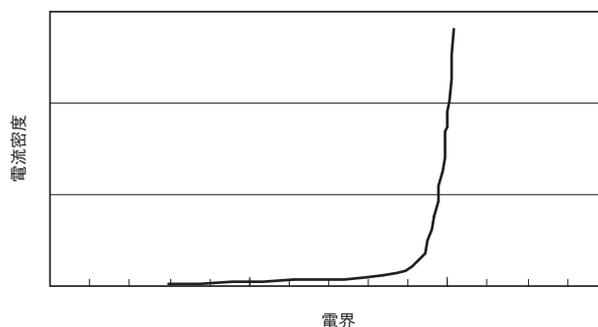


図2 電界緩和層の非線形電界-電流特性

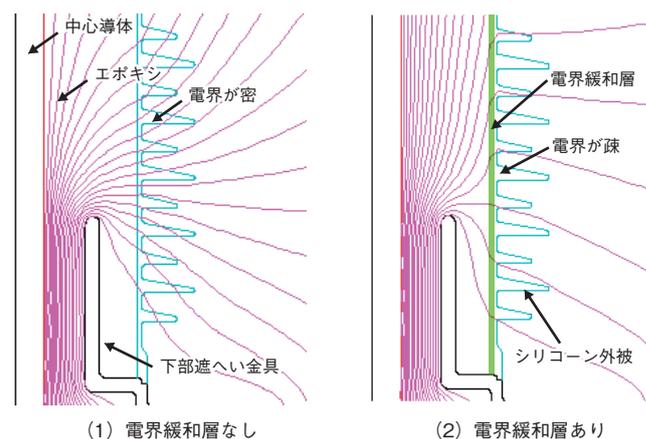


図3 等電位分布図

4.2 汚損設計

外被に使用しているシリコンゴムは、撥水性を有することから一般的に汚損性能に優れるといわれている。しかしながら、ダイレクトモールドブッシングでは、臨海部など急速汚損の発生する環境で撥水性が有効に作用しない可能性⁴⁾を考慮して、磁器がいし・がい管の汚損設計を踏襲し、

その設計基準曲線⁴⁾から重汚損に必要な表面漏洩距離を計算し、気中部高さを決定した。

従来の気中終端部は電界緩和のためのストレスコーン、エポキシ座などががい管内部にあることから、がい管直径が大きくなる。一方、ダイレクトモールド気中終端接続部のストレスコーン部はがい管の外部に配置させているため、がい管の平均直径を小さくでき、更に、非線形材料を電界緩和層として用いたことにより、短い漏洩距離で対応可能となる。計算した汚損設計曲線⁵⁾を図4に示す。154 kVクラスの場合、汚損耐電圧目標値は161 kV (JEC-5202)であるが、図4より重汚損（等価塩分付着密度：0.12 mg/cm²）の汚損耐電圧値が161 kV以上を満足していることがわかる。

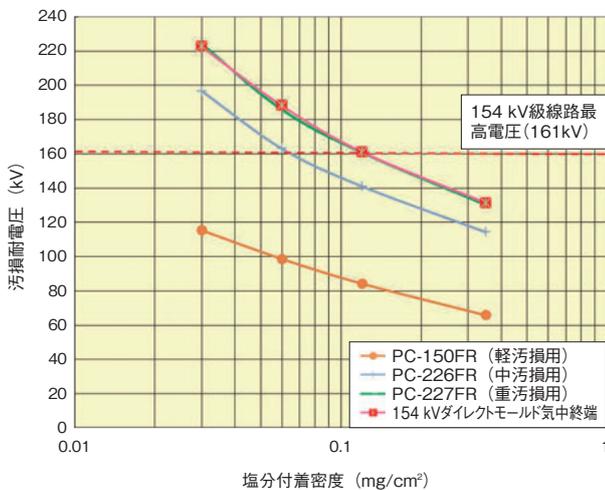


図4 汚損設計曲線

4.3 接続部設計

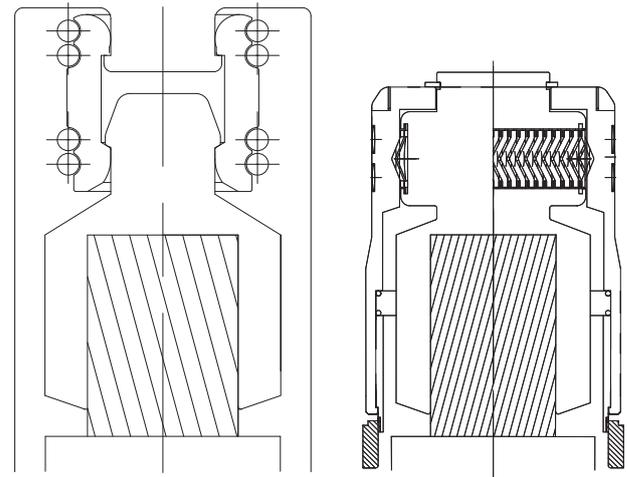
ケーブル接続口側の設計は、既存のスマートガス中終端接続部の設計⁶⁾を踏襲した上、従来のチュリップコンタクタープラグイン構造から大サイズケーブルの挿抜が容易なマルチバンド接触子を利用する新プラグ構造を採用した。従来構造の固定部と通電部を共用することによる通電の不安定および挿抜し難い問題に対し、新構造は通電部と固定部を分離することで組立工場の操作性および大電流にての通電安定性を向上させた（図5）。更に、新型マルチバンド接触子の適用により、大サイズケーブル導体を圧縮する時の曲がりを吸収することもでき、現地組立の信頼性も確保した。

ストレスコーン、圧縮装置および保護金具などの接続材料は当社従来のスマートガス中終端、移動用終端に使われる接続材料と共通設計することで、移動用ケーブルの共用化や緊急時の部品対応が容易になった。

5. 検証試験

5.1 電気試験

開発品は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」に基



(1) 当社従来構造

(2) 開発品構造

図5 プラグイン構造比較

づいて絶縁抵抗試験、商用周波乾燥耐電圧試験、雷インパルス乾燥耐電圧試験および曲げ耐荷重試験を実施した。また、固体絶縁としての健全性を確認するために、200 kVまでの部分放電試験を実施した。試験の状況を図6に示す。試験結果はいずれも良好であった。更に、開発品の長期安定性を確認するため、6ヶ月間長期課通電試験も実施した（図7）。

5.2 曲げ耐荷重試験

開発品の気中エポキシがい管はJEC-5202規格に基づいて、曲げ耐荷重試験を実施した。終端先端に3600 N・1分間の荷重を印加後、外観及び部分放電試験（200 kV・10分）にて異常のないことを確認した。試験の状況を図8に示す。検証試験結果は表2の一覧表にまとめて示す。

表2 検証試験結果

項目	要求特性	結果
外観・寸法検査	異常なきこと	良
絶縁抵抗試験	2000 MΩ以上	良
部分放電試験（参考）	200 kVにて発生しないこと（感度：5 pC以内）	良
商用周波乾燥耐電圧試験	295 kV 1時間	良
雷インパルス乾燥耐電圧試験	気中絶縁部： ±900 kV 各3回	良
	固体絶縁部： ±1035 kV 各3回	良
直流耐電圧試験	425 kV 1時間	良
曲げ耐荷重試験	下部フランジを固定し、気中側ブッシング先端に対して垂直方向に3600 Nの荷重を1分間加え、異常のないこと	良
長期試験	AC130 kV×183サイクル、8時間ON、16時間OFF、常時導体許容温度90℃、短時間導体許容温度105℃	良

6. まとめ

乾式化、軽量・コンパクト化を目指し、エポキシ主絶縁とシリコンゴム外被を用いた完全固体絶縁構造の154 kVダイレクトモールド気中終端接続部を開発し、JEC-3408



図6 部分放電試験

の規格で規定している各種特性を満足していることを確認した。

本終端接続部を適用することより、組立時間の短縮、耐震性とメンテナンス性の向上が実現できる。またすでに電力会社で採用されているスマートガス中終端接続部の接続材料と完全互換性があるため、緊急時の部品供給も容易になっている。本製品が電力の安定供給に寄与することを期待する。

参考文献

- 1) 戸谷 敦, 田中 敦, 他:「66/77 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の開発」, 平成 16 年電気学会全国大会, No.7-138 (2004)
- 2) 新館 均, 足立和久, 他:「110/132 kV ダイレクトモールド気中終端接続部の開発」, 平成 18 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.127, pp.4-1-4-2 (2006)
- 3) 品川潤一, 足立和久, 他:「非線形材料を使用した気中ブッシングの検討」, 平成 19 年電気学会全国大会, No.7-128 (2007)
- 4) 畔柳, 他:「送電用高分子がいしの急速汚損時の塩分付着特性と霧中耐電圧特性」, 電力中央研究所報告, H08018 (1999)
- 5) 「変電設備の耐塩設計」, 電気協同研究, 第 35 巻, 第 3 号 (1979)
- 6) 高安央也, 瀬間信幸, 他:「IEC 規格準拠 123/170 kV スマート終端接続部の開発」, 平成 19 年電気学会電力・エネルギー部門大会, 129 (2007)



図7 長期課通電試験



図8 曲げ耐荷重試験

昭和電線ケーブルシステム(株)

李 鋒 (り ほう)

電力機器技術部 主査

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

今西 晋 (いまにし しん)

電力機器技術部 主査

電力ケーブル接続部の開発・拡販に従事

昭和電線ケーブルシステム(株)

新井 敦宏 (あらい あつひろ)

電力機器技術部

昭和電線ケーブルシステム(株)

伊藤 一己 (いとう かずみ)

技術開発センター長