

66 kV 複合がい管 気中終端接続部の初適用

First Application of 66 kV Rated Outdoor Termination with Composite Hollow Insulator for XLPE Cable

後藤 毅志*
Takeshi Goto

堀 芳勝*
Yoshikatsu Hori

浅川 正人*
Masato Asakawa

末次 将寛*2
Masahiro Suetsugu

米村 徳偉*3
Tokui Yonemura

概要 複合がい管は磁器碍管と比べ、軽量、耐汚損性、防爆性、作業性など多くのメリットを有する。鉄塔上における分岐用としてケーブル気中終端接続部を設置する場合に、これらの利点を活(い)かして、複合がい管の導入が検討されている。

今回東京電力と古河電工が共同で開発した66 kV級の複合がい管気中終端接続部を、国内のケーブル用気中終端接続部としては、初めて東京電力 生浜線おいはまに適用した。

本稿では、66 kV複合がい管気中終端接続部の仕様性能の考え方、開発試験・評価結果、及び生浜線への納入仕様などについて報告する。

1. はじめに

今日まで屋外における電気絶縁材料には、長年にわたる実績から磁器が多く使われている。

ここ20年ほどの間の、シリコンゴム(SiR)など高分子絶縁材料の特性改善に伴い、相間スペーサや耐張がいしに軽量、高機械強度、耐汚損性という特長を持つ、複合がいしの適用が拡大している。

更に近年、ガス絶縁機器のブッシングにも複合がい管の適用が進んでいる。

複合がい管の主な構造は、機械強度に優れるFRP円筒の外側に耐候性、電気絶縁性能に優れるSiR外被・笠(かさ)を被覆し、FRPの両端には金具が強固に装着されている、というものである。

複合がい管は磁器碍管に比較して、軽量、耐汚損性、防爆性、組立て時の作業性など多くのメリットを有している。これらの特長は、鉄塔上にケーブル気中終端接続部(以下EB-Aと略記)を設置する場合により活かされるため、複合がい管の導入が積極的に検討されている。

本報告では、複合がい管を用いたEB-Aの開発における、モデル汚損試験、開発仕様、開発・評価試験結果、初導入品の仕様などの概要を紹介する。

2. 複合がい管

複合がい管は、シリコンがい管、高分子がい管、ポリマーがい管などとも呼ばれる。多くの場合、フィラメントワインディング(FW)法により製造されたエポキシ系のFRP円筒に、SiRの外被・笠を被覆し、円筒の両端に金具を接着した構造となっている。機械的強度はFRPが、耐候性及び外部絶縁性能はSiRが担っている。FW法によるFRPは特に耐内圧強度に優れ、SiRは撥水(はっすい)性と低分子量成分(LMW)の効果によって耐汚損性に優れる。単体質量は、その構成要素からもわかるように、磁器碍管の20~30%程度と軽量である。

近年複合がい管は、欧米において変電用のガス遮断器用ブッシングへの適用が盛んになっている。

3. 複合がい管EB-Aの開発/SiR汚損試験

東京電力と古河電工では、これらの特長をもつ複合がい管をEB-Aへと適用すべく、種々の研究を実施した¹⁾。

複合がい管の特長の一つはその耐汚損性能にあるが、現状では

- ・実線路への適用実績がまだ少なく、フィールドデータが十分に得られていない。
- ・現在行われている人工汚損試験法は、もともと磁器碍管評価用として開発されたもので、複合がい管(及び外被であるSiR)の特長を活かされた状態で評価が行われているかという点で疑問の余地が多い。

という指摘もある。

我々は開発試験のなかで、SiRの撥水性を活かしながら汚損物の付着量をコントロールする人工汚損試験を、円筒モデル試

* 東京電力株式会社

*2 電力事業部 電力技術部

*3 環境・エネルギー研究所 エネルギー伝送研究部

料を用いて行い、SiRの汚損時耐電圧特性に、

- ・磁器碍管同様、汚損耐電圧特性に外径効果がある
- ・汚損耐電圧特性は、試料表面の等価塩分付着密度 (ESDD) 上昇とともに低下するが、1.0 mg/cm²を超えると、それ以上低下しなくなる

という傾向を見出した²⁾。

その結果、平均外径φ 260 mmの複合がい管(後述の66 kV複合がい管)の場合、ESDDが1.0 mg/cm²を越える場合でも、電圧1 kV当たりの必要漏れ距離は33.25 mm/kV以上あればよいという検討結果に至った。

66 kV複合がい管EB-Aの場合、汚損時耐電圧目標電圧69 kVより、必要漏れ距離として以下の値を得る。

$$33.25 \text{ mm/kV} \times 69 \text{ kV} = 2295 \text{ mm}$$

4. 複合がい管EB-Aの設計

複合がい管EB-Aの設計仕様は、既存の磁器碍管EB-A設計との整合性を考慮し、同様の考え方を基に決められた。

4.1 電気設計

初期電気性能及び長期課通電の要求性能は、JEC-3408³⁾とこれに基づく電力用規格A-263⁴⁾に準拠して定められた。

4.2 機械設計

がい管の曲げ機械特性は、運転中に想定される風圧荷重、内圧、地震力、短絡電磁力をもとに定められるが、複合がい管は磁器よりも質量が軽い為、がい管の自重が作用する地震力については負担が軽減される。

複合がい管は設計時に内部のFRPを適宜選択することにより、広く要求仕様に応じた機械強度を設定しうる。

FRPの機械強度は、想定最大曲げ荷重及び想定最大内圧力が、それぞれIEC-61462⁵⁾に記載のMML (Maximum mechanical load)、MSP (Maximum service pressure) を満足するように設定された。

4.3 耐汚損設計

耐汚損設計、すなわち複合がい管の表面漏れ距離については、前記円筒モデル試験の結果を用いると、どんなにESDDの高い地区においても、ESDD 1.0 mg/cm²の場合のデータを用いて漏れ距離の上限が設定できることになる。この考え方だと、重汚損以上 (ESDD 0.06 mg/cm²以上) の地域では、これまでの磁器碍管と比べて漏れ距離は20%以上短くなる。

表1 電気性能試験供試品の仕様
Specification of the tested terminations

	CVケーブル仕様			
	導体サイズ		絶縁厚	
66 kV	2000 mm ²		10 mm	
	複合がい管仕様			
	長さ(mm)	内径(mm)	漏れ距離(mm)	重量(kg)
66 kV用 試作品	1100	198	2390	17

しかしながら、現状では、

- ・円筒モデル試験と、実フィールドにおける長期耐汚損性能との関連性がまだ明確になっていないこと
- ・これまでの複合がい管を用いた機器の漏れ距離設計事例として、磁器碍管の漏れ距離設計と同等に設定する機会が多いこと

から、安全サイドの選択として以下のように漏れ距離設計手法を定めた。

- ・66 kV複合がい管EB-Aの漏れ距離は、基本的に磁器碍管の漏れ距離設計基準である電気協同研究第35巻第3号「変電設備の耐汚損設計」⁶⁾に則(のっと)り、定めることとした。
- ・ただし、円筒モデルで得られた漏れ距離短縮の可能性を活かし、実運転を今後の漏れ距離短縮のための実績とするべく、上記磁器設計よりも5%まで短い漏れ距離設計までを許容するものとした。

5. 複合がい管EB-Aの評価試験

評価試験は表1に示す、中汚損仕様 (ESDD: 0.06 mg/cm²未満) の設計に相当する試作EB-Aを用いて実施した。

5.1 初期電気試験、長期課通電試験

初期試験、6ヶ月長期課通電試験とも表2及び表3に示すとおり、試験結果は良好であった。

長期課通電試験は6ヶ月間、臨海工業地帯に所在する試験場において、海岸線から約10 mの場所にEB-Aを設置して行われた。印加電圧は66 kVのケーブル対地最高電圧の1.44倍であり、途中降雪も経験したが長期試験後の外被表面に劣化は見られず、長期試験後に表4の条件で行った残存性能評価試験もクリアした。

表2 初期電気性能試験の結果
Result of withstand voltage test for terminations

供試試料	66 kV用試作品
試験項目	
DC耐圧試験	- 167 kV・1hr：良好
AC耐圧試験	130 kV・1hr：良好
雷Imp耐圧試験	- 485 kV・3回：良好



写真1 66 kV複合がい管EB-A長期課通電風景
Long-term test of the 66 kV termination

表3 長期課通電試験の結果
Result of long-term test for terminations

供試試料	66 kV試作EB-A
項目	
課電電圧	55 kV
通電条件	ヒートサイクル ケーブル導体温度：90 ×150サイクル 105 ×30サイクル 通電：8時間ON / 16時間OFF
試験期間	6ヶ月
結果	良好

表4 長期課通電後の残存性能評価試験
Withstand voltage test after long-term test

供試試料	66 kV試作EB-A (長期試験後)
残存試験項目	
AC耐圧試験	75 kV・10分：良好
雷Imp耐圧試験	- 485 kV・3回：良好

5.2 単体屋外長期曝露（ばくろ）試験

6ヶ月長期課通電試験と同仕様の複合がい管を用いて、単体での屋外曝露課電試験も実施した。課電電圧は53 kV。試験の目的は、一部で懸念されている複合がい管内部への水分透過と外被状態の評価である。

複合がい管内部にシリコン油を充填（じゅうてん）し、定期的に採油・分析したところ、水分量の増加はみられたものの飽和傾向があり¹⁾、またその水準もEB-Aとしての絶縁性能に影響しないものであることを確認した。

外被の状態はSTRI法による撥水性評価を行い、3年以上経過後でHC1～HC2と性能低下は見られない。

以上の評価試験を経て、66 kV複合がい管EB-Aは充分実線路に適用可能であるという判断をするに至った。

6. 東京電力 生浜線への複合がい管EB-A初適用

千葉市中央区にある東京電力66 kV生浜線の1号鉄塔は、ESDD 0.12 mm/cm²の重汚損地区（東京電力の分類ではD地区）に所在する。同鉄塔からは導体サイズ800 mm²のケーブルが鉄塔分岐のEB-Aで引き出されていた。本来D地区ではB-

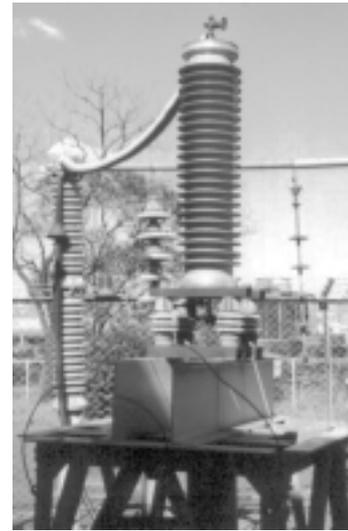


写真2 66 kV複合がい管の屋外長期曝露試験風景
Site of long-term outdoor exposure test

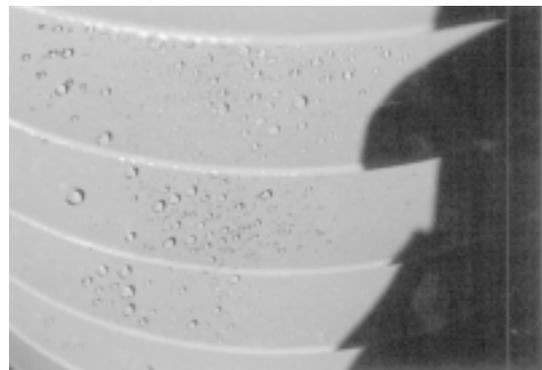
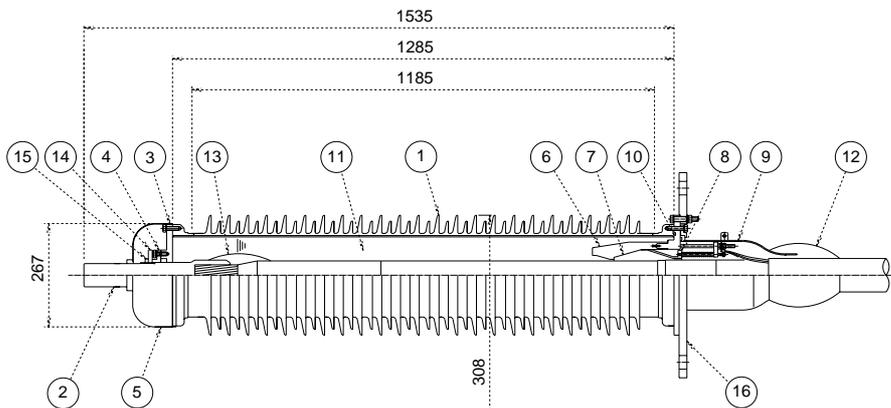


写真3 がい管表面の撥水性レベル（HC1～HC2）
Hydrophobicity classification of the surface
(HC1 to HC2)

1054碍管を使用するが、鉄塔上にあつて洗浄などのメンテナンスが容易に行えないことから、超重汚損（同E地区）仕様のB-1454碍管が用いられていた。

同線路を増容量し、ケーブルを1600 mm²に引き換えるという機会に際し、ケーブル質量増による鉄塔腕金部への負担を軽減するために複合がい管EB-Aの適用が検討された。



16	取付金具
15	ロックナット
14	導体固定金具
13	シール用テープ層
12	防水テープ層
11	絶縁凝和物
10	Oリング
9	ケーブル保護金具
8	プレモールド絶縁体圧縮装置
7	プレモールド絶縁体
6	エボキシ座
5	上部覆
4	締付金具
3	上部金具
2	導体引出棒
1	複合がい管
符号	名称

図1 66 kV複合がい管EB-A 超重汚損仕様（CHI-66V1）
Outdoor termination with composite hollow insulator for very heavy pollution use

表5 66 kV 超重汚損仕様がい管の比較
Specification of 66 kV composite hollow insulator

66 kVがい管	複合がい管	磁器碍管
長さ (mm)	1285	1725
漏れ距離 (mm)	4150	4080
単体質量 (kg)	24	145
EB-A概算質量 (kg)	170	260
名称	CHI-66V1	B-1454

既存のB-1454碍管EB-Aの質量が約260 kgであるのに対し、CHI-66V1と名付けられた複合がい管EB-Aの適用により約170 kgという軽量化を達成した。CHI-66V1では外被に大小交互の笠形状を採用して、超重汚損相当の漏れ距離を持ちながら重汚損相当の磁器碍管B-1054よりコンパクトな全長を実現した。

国内で初採用となる66 kVの複合がい管EB-Aは、平成12年4月に本体工事が終了し、同6月から商用運転に供用されている。

7. おわりに

多くの優れた特質を有する複合がい管をEB-Aに適用するため、外被となるSiRの耐汚損性試験を行った。また、複合がい管の66 kV EB-Aへの適用基準について定め、試作EB-Aを用いて初期電気性能試験、6ヶ月長期性能を確認した。がい管への水分透過についても、EB-Aとしての性能に影響を及ぼさないことを確認した。

これらをもとに、国内では初の66 kV複合がい管EB-Aを東京電力 生浜線に採用した。

今後は154 kV EB-Aへの適用も予定されている。複合がい管EB-Aは、軽量や耐汚損性という特長を活かして、EB-A架台など付帯設備の簡素化・保守作業の低減も可能となるため、ますます適用が拡大されていくことが期待される。



写真4 66 kV 生浜線 1号鉄塔 (複合がい管EB-A)
66 kV Oihama line No.1 tower (Outdoor termination with composite hollow insulator)

参考文献

- 1) 後藤他:「154kV 塔上分岐用終端接続部の開発」(平成11年電気学会・エネルギー部門大会339)
- 2) Takeshi Goto et al., "Artificial Contamination Test of Silicone Rubber Cylindrical Models", Proceedings of The 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, (2000), p.272-275
- 3) JEC-3408-1997
- 4) 電力用規格A-263 (1998), 66・77kV CVケーブル用気中終端接続箱, 電気事業連合会
- 5) 61462 TR2 IEC:1998
- 6) 電気協同研究, 第35巻第3号, 「変電設備の耐汚損設計」, 電気協同研究会, 昭和54年9月, p.102