

275 kV CVケーブル用完全乾式機器直結終端接続箱の納入

Supply of Dry Type Termination for 275 kV XLPE Cable

足立 潔美^{*}
Kiyomi Adachi

虎井 康男^{*}
Yasuo Torai

安部 俊介^{*2}
Shunsuke Abe

深野 伸一^{*3}
Shin-ichi Fukano

概要 275 kV CVケーブル用の終端接続箱は従来油浸式が一般的に使用されて来たが、油使用による保守等の問題、施工の面で見直しが迫られていた。複合ブレハブ絶縁の研究が進み、超高压での実績も増え、信頼性が向上したためこの技術を適用した絶縁油を使用しない完全乾式終端接続箱を開発し、東京電力株式会社殿の実線路に納入した。

また、この技術を応用し、変電設備の縮小化が図れる逆向きの終端接続箱の開発も行い、関西電力株式会社殿の実線路に納入することが出来た。この線路では軽量高性能外導削り機も開発し、上下可動方向では他社に先駆け、平滑で高性能なケーブル処理を実現した。

1. はじめに

CVケーブル用機器直結型終端接続箱は、66 kV～154 kV級においては複合ブレハブ絶縁構造を用いたいわゆる乾式構造が、275 kV級においてはシリコン絶縁油を使用した、いわゆる油浸絶縁方式が一般に使用されている。

油浸式終端接続箱は絶縁油を使用しているため付帯設備として油圧補償装置を具備する必要があり、保守と施工面から乾式終端接続箱の開発要求が高まってきた。一方、CVケーブル用としてエポキシユニットとゴムプレモールド絶縁体を用いたブレハブ絶縁構造による直線接続箱（PJ）の開発が500 kVまで進み、実線路でも275 kVまで高压化し、著しく信頼性が高まってきた。こうした背景から、この技術を用いた完全乾式終端接続箱の開発に着手し、SF₆ガス中終端接続箱（EB-G）及び油中終端接続箱（EB-O）を実線路に納入した。

これら実線路では、施工品質の安定化と時間短縮を目的とした「外導削り機」の適用（関西電力株式会社殿向）や、地下変電設備等のケーブルレイアウトから縮小化が図れる逆向き終端接続箱等、より多様化するニーズに対応し得る終端接続箱を開発、納入した。終端接続箱用に垂直方向切削が可能な「外導削り機」は、正立、逆向きにかかわらず良好な切削性能を有し、超高压では本邦初適用となっている。

また、本品を構成する主要絶縁部品については、新しく制定されたJEC 3408-1997¹⁾に規定される受入れ試験に基づき、工場での品質の確認を実施した。

ここでは、これら機器直結終端接続箱の設計、性能確認、納入までを紹介する。

2. 開発

2.1 目標仕様

2.1.1 形状、寸法

従来の油浸式終端接続箱との互換性を考慮した形状及び構造寸法とし、機器との取合い寸法標準に準拠した。

(1) ガス中終端接続箱

ガス中終端接続箱の構造を図1に示す。油浸式終端接続箱との互換性を考慮し、変電標準に示される機器との取合い寸法に準拠した。

(2) 油中終端接続箱

油中終端接続箱の構造を図2に示す。油浸式終端接続箱との

表1 完全乾式終端接続箱の主な構造寸法
Structure of dry type termination

EB-G	油浸式	完全乾式
碍管全長 (mm)	900 ± 4	900 ± 4
下部側全長 (mm)	1100 ± 100	710 ± 100
底板から導体引出棒先端 (mm)	1145 ± 15	1145 ± 15
底板穴径	φ 370	φ 370
アダプタ取付けピッチ	φ 465	φ 465
アダプタ取付けボルト	16-M16	16-M16
EB-O	油浸式	完全乾式
碍管全長 (mm)	1325 ± 25	900 ± 4
下部側全長 (mm)	1100 ± 100	715 ± 100
碍管下部から 導体引出棒先端 (mm)	1540 ± 40 1565 ± 40	1085 ± 40 1110 ± 40
底板穴径	φ 550	φ 550
アダプタ取付けピッチ	φ 700	φ 700
アダプタ取付けボルト	12-M16	12-M16

^{*} 電力事業部 電力技術部

^{*2} 電力事業部 地中線技術部

^{*3} 機器配電事業部 品質保証部

互換性を考慮し、基本的には変電標準に示される取合い寸法に準拠した。ただし、全長についてはプレハブ式による寸法としてコンパクト化した。

また、エポキシ罫管は66～154 kV級終端接続箱と同様に「ヒダ付き」とした。

(3) 油浸式終端接続箱との寸法比較

表1に油浸式終端接続箱との寸法比較を示す。

2.1.2 電気性能

所要性能を275 kV CVケーブル及びプレハブ型直線接続箱(PJ)に準拠し、表2のとおりに設定した。

2.1.3 機械性能

機械性能は、短絡電磁力、地震力、スプリング力を考慮し、表3のとおりに設定した。

2.2 設計

2.2.1 設計要素

本終端接続箱の絶縁構造は、取合い形状寸法の範囲で所要の性能を得る必要がある。取合いに定められたエポキシ罫管は275 kV PJのユニット外径と同等以上であり、275 kV PJの絶縁構造が採用できた。したがって、終端接続箱構造としての設計要素としては、機器設備との絶縁調和と、地震等により発生する曲げ応力に代表される機械性能が得られれば良いと考えた。

2.2.2 絶縁設計

過去の実績をもとに設計を行った。その電界解析結果を表4に、5%等電位線を図3及び図4に示す。

また、沿面特性のうちEB-Oについては、従来の油浸式(コンデンサコーン)に比べて沿面電界が高いことから、66～154 kV級終端接続箱との沿面特性との比較を行った。結果を表5に示す。

表4、表5に示す結果から、いずれも実績電界ストレス以下であり、問題ないことが確認された。

2.2.3 機械設計

本終端接続箱の機械特性として、表3に示す条件から罫管基部に発生する曲げ応力を算出し、許容値を満足することを確認した。また、実機罫管単体での所要の曲げ耐荷重を有することを確認した。

3. 実機評価

3.1 電気性能

実機を用いた電気試験の結果は良好で、初期性能・長期性能とも、所要性能を十分に満足することが分かった。

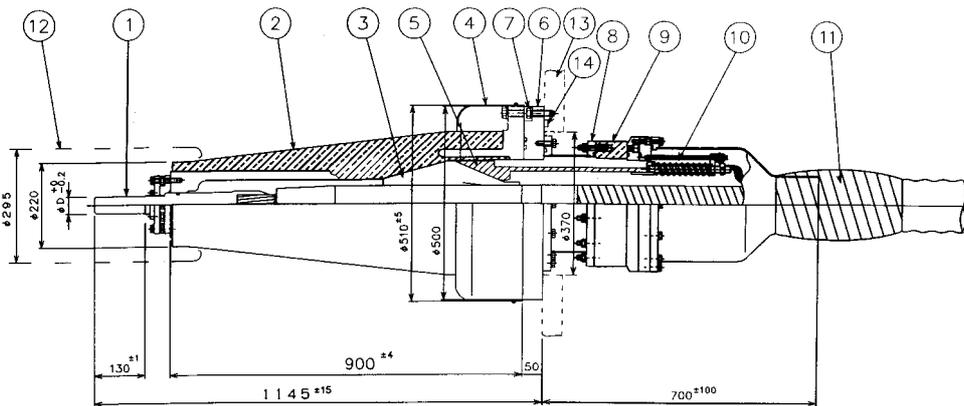


図1 EB-G構造
Structure of EB-G

14	機器底板用ガasket
13	機器底板
12	シールド
11	防水テープ層
10	ケーブル保護金具
9	絶縁筒
8	アダプタ
7	取付ボルト
6	取付金具
5	押しパイプ
4	下部シールド
3	プレモールド絶縁体
2	エポキシ罫管
1	導体引出棒
番号	部品名

導体公称断面積 (mm ²)	各部の寸法 (mm)	
	D	
800～2000	44	
2500	60	

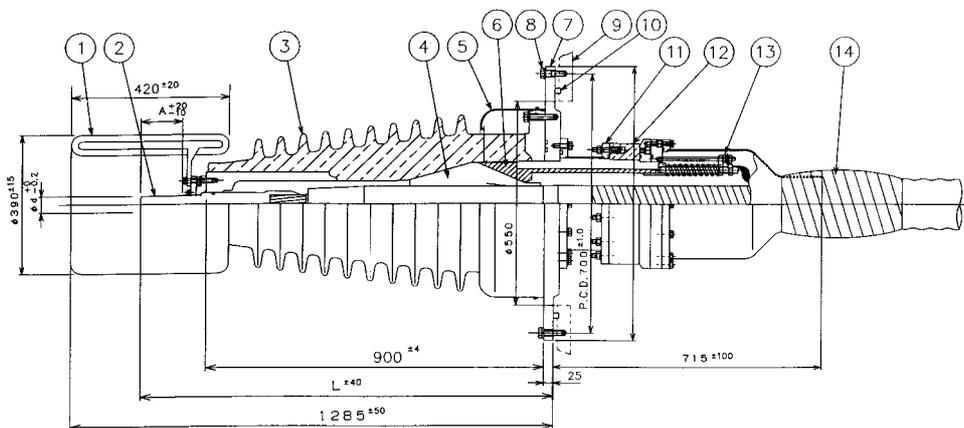


図2 EB-O構造
Structure of EB-O

14	防水テープ層
13	ケーブル保護金具
12	絶縁筒
11	アダプタ
10	機器底板用パッキング
9	機器底板
8	取付ボルト
7	取付金具
6	押しパイプ
5	下部シールド
4	プレモールド絶縁体
3	エポキシ罫管
2	導体引出棒
1	シールドリング
番号	部品名

導体公称断面積 (mm ²)	各部の寸法 (mm)		
	A	L	d
1000以下	85	1085	45
1200～2000	110	1110	60

3.1.1 初期性能

初期性能は、所要性能を満足することを確認した。更に破壊試験による限界性能把握を行い、表2に示す所要性能に対して商用周波電圧では910～960 kV、雷インパルス電圧では2195 kVで破壊せず、規格値の1.4～1.5倍の充分な初期特性が得られた。

本結果については表6に示す。

表2 所要性能
Objective electrical properties

項目	性能
雷インパルス耐電圧	± 1445 kV・3回 ^{注1} - 1590 kV・3回 ^{注2}
商用周波長時間耐電圧	525 kV・1時間 ^{注1} 610 kV・12時間 ^{注2}
遮蔽層間絶縁部 雷インパルス耐電圧	- 55 kV・3回 ^{注1} - 50 kV・3回 ^{注2}
商用周波部分放電 ^{注2}	1st: 220 kV・5 pC以下 2nd: 310 kV・30 pC以下 3rd: 220 kV・5 pC以下

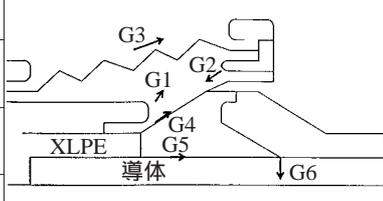
注1: A電力殿 所要性能
注2: B電力殿 所要性能

表3 所要性能（エポキシ碍管機械性能）
Objective mechanical properties of epoxy insulation

項目	性能
ヒートショック	10・60分 100・60分 ^{注1} 0・60分 100・60分 ^{注2} 10サイクル
商用周波部分放電	300 kV・10分 ^{注1} 220 kV・10分 ^{注2} 検出感度5 pC以下
曲げ耐荷重	11.8 [kN]

注1: A電力殿 所要性能
注2: B電力殿 所要性能

表4 各部の電界ストレス
Working stress of element

記号	部位	各部の電界ストレス [kV/mm]						評価部位
		AC			Imp			
		乾式 EB-G	乾式 EB-O	PJ	乾式 EB-G	乾式 EB-O	PJ	
G1	エポキシ碍管 高压側埋込電極先端	2.6	3.0	5.9	16.9	20.1	39.2	
G2	エポキシ碍管 接地側埋込電極先端	2.2	2.1	-	14.9	13.7	-	
G3	EB-G:ガス界面 EB-O:絶縁油界面	0.9	0.7	-	6.1	4.6	-	
G4	エポキシ-ゴム界面	1.2	1.1	1.4	8.1	7.0	9.5	
G5	XLPE-ゴム界面	1.0	0.9	0.9	6.6	6.0	5.7	
G6	立ち上がり (XLPE)	5.4	5.4	5.4	35.5	35.5	35.5	

【評価電圧】 AC: 275/√3, Imp: 1050 kV
ケーブル: 275 kV 1 × 2500 mm² (t=23)

3.1.2 長期性能

本終端接続箱の開発においては、同時期に開発されたPJの基礎検討等により、終端接続箱構成材料に対し劣化指数n=15を設計値として採用出来ることが確認されたが、長期性能確認に当たっては、従来より採用してきた劣化指数n=9の評価と劣化指数n=15の評価をそれぞれ実施した。

(1) 長期課通電試験（その1）

必要な長期性能を有することを確認するため、工場において長期課通電試験を実施した。電圧加速により、経年劣化指数n=9で等価寿命30年相当の試験に耐え充分な性能を有することを確認出来た。

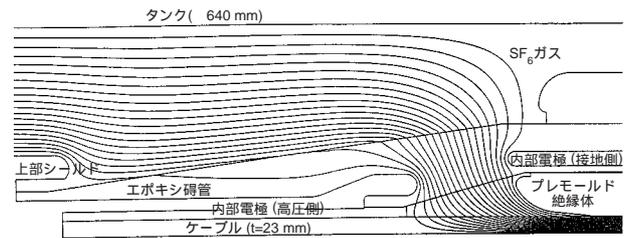


図3 乾式EB-G 5%等電位線図
Equipotential line of electrical field of dry type gas immersed termination

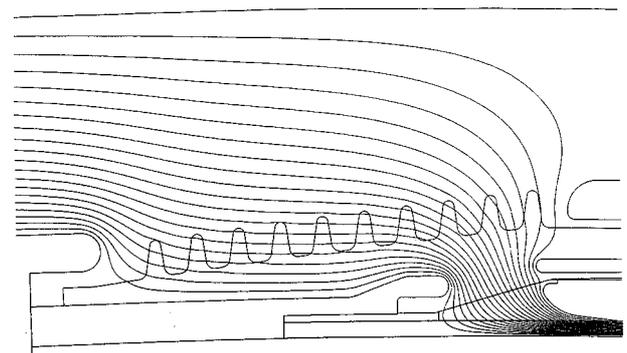


図4 乾式EB-O 5%等電位線図
Equipotential line of electrical field of dry type oil immersed termination

(2) 長期課通電試験(その2)

(財)電力中央研究所 横須賀試験場において、同時期に開発されたPJの長期課通電試験の端末として供試し、電圧加速により、経年劣化指数n=15で等価寿命30年相当の試験に耐え十分な性能を有していることを確認した。

(1)(2)の試験条件と結果について、表7,表8に示す。

3.2 機械性能

終端接続箱を構成するエポキシ碍管単体を用い、機械性能を検証した。

ヒートショック試験及びその後の部分放電試験において、良好な性能を確認できた。また、ヒートショック試験後の引張り及び曲げ耐荷重試験においても、規格値を満足する良好な結果を確認できた。また、曲げ試験については破壊まで実施し、規格値に対し19.6 [kN]破壊せずと、十分な性能を有することが確認された。

4. 形式試験

4.1 EB-G, EB-O構造

長期試験を含む完全乾式終端接続箱の開発を終え、275 kV構内連絡線への実線路適用に当たり、試料組立てによるEB-G(倒立型含む)、EB-Oの形式試験を図1及び図2に示す構造にて実施した。なお、倒立型は正立型と同一構造であるが、施工方法及び管理は、倒立独自の工法を新たに開発し適用した。

4.2 形式試験内容

EB-G, EB-Oの代表的な形式試験内容とその結果について以下に示す。試験条件が異なるためAタイプ(EB-G, EB-O)を

表5 EB-O沿面電界ストレス
Epoxy surface stress of EB-O

記号	部 位	乾式 EBO 電界ストレス [kV/mm]		
		AC		
G3	EB-O絶縁油 界面	275 kV EB-O	77 kV EB-O	154 kV EB-O
		0.7	0.71	0.66
Imp				
275 kV EB-O		77 kV EB-O	154 kV EB-O	
		4.6	6.3	5.5

- 【評価電圧】・275 kV: AC 275/√3, Imp 1050 kV
 ケーブル: 275 kV 1 × 2500 mm² (t=23)
 ・154 kV: AC 154/√3, Imp 750 kV
 ケーブル: 154 kV 1 × 200 mm² (t=23)
 ・77 kV: AC 77/√3, Imp 350 kV
 ケーブル: 77 kV 1 × 2000 mm² (t=13)

表6 初期破壊性能
Breakdown voltage of dry type termination

試料番号	種別	試験結果		サイズ (mm ²)
		破壊電圧	破壊場所	
1	EB-G	960 kV・8分	エポキシ-ゴム界面	2500
2	EB-G	910 kV・8分	試験用端末	2500
3	EB-O	- 2195 kV・3回	破壊せず	2000

表9, Bタイプ(正立, 倒立型 EB-G)を表10に示すものとする。

いずれのタイプについてもすべての試験項目において良好な結果が得られた。

5. 受入れ試験

工場出荷時に受入れ試験として、エポキシ製品はヒートショックと部分放電試験を、プレモールド絶縁体はX線検査並びに部分放電試験を、圧縮装置については単体と組合せの状態ですプリング力特性試験を全数実施し、単体部品の品質を確認した。

6. 施工方法

施工方法については、従来のPJ工法に基づくものとなる。その中で外導削り工法については、ガラス削り+ペーパー仕上げ+鏡面仕上げと外導削り機+鏡面仕上げによる2つの工法が挙げられる。今回、納入した線路ではおのおのの工法を採用した。

EB-G, EB-Oへの外導削り機適用にあたっては、PJのケーブル水平配置に対して縦型配置となるため、従来の水平方向のみならず上下方向にも可動できる軽量で高性能な外導削り機を開発した。これを適用することにより、鏡面処理前にケーブル絶縁体表面は良好な平滑性を得ることが可能となった²⁾。本外導削り機は、倒立型の施工においても十分な性能を発揮し、作業

表7 工場内長期課通電試験
Test conditions of long term loading cycle tests

項 目	特性値	備 考
ケーブル仕様	2500 mm ² t=23	
終端接続箱種別	EB-G	
課電	電圧	320 kV
	期間	30日間
通電ヒートサイクル	温度期間	RT ~ 90 1サイクル/日 25日
		RT ~ 105 1サイクル/日 5日
結果	良	n=9で 30年相当

表8 長期課通電試験
Results of long term loading cycle tests

項 目	特性値	備 考
ケーブル仕様	2500 mm ² t=23	
終端接続箱種別	EB-G	
課電条件	電圧	245 kV
	期間	6ヶ月 *課電効率80%を考慮
課電結果	電圧	245 kV
	時間	3474.5時間
通電ヒートサイクル結果	温度期間	RT ~ 90 1サイクル/日 132日
		RT ~ 105 1サイクル/日 12日
		n=15で 31.6年相当

表9 試験内容と結果 (Aタイプ)
Test conditions and results (Type A)

試験項目	試験条件	結果
商用周波耐電圧 部分放電試験	300 kV 10分 5 pC以下 (常温)	良
商用周波長時間 耐電圧試験	525 kV 1時間 (常温)	良
雷インパルス 耐電圧試験	± 1445 kV 各3回 (常温)	良
ケーブル遮蔽層間 絶縁部雷インパルス 耐電圧試験 ¹	- 55 kV 3回 (常温)	良
気密試験	588 kPa・G 30分	良

¹ EB-Gのみ実施

*ケーブル仕様 2500 mm² t=23 (EB-G)
1400 mm² t=23 (EB-O)

表10 試験内容と結果 (Bタイプ)
Test conditions and results (Type B)

試験項目	試験条件	結果
開閉インパルス 耐電圧試験	± 925 kV 各3回 (常温)	良
直流耐電圧試験	- 500 kV 1時間 (常温)	良
部分放電試験	1st: 220 kV 1分 5 pC以下 2nd: 310 kV 1分 30 pC以下 3rd: 220 kV 1分 5 pC以下	良
商用周波長時間 耐電圧試験	610 kV 12時間 (常温)	良
同上破壊試験	50 kV 1時間 ステップ昇圧破壊まで	1160 kV 5分破壊
接続箱金属シース 間絶縁部雷インパ ルス耐電圧試験	- 50 kV 3回 (常温)	良
同上破壊試験	- 5 kV 3回昇圧 破壊まで	- 90 kV 1回目 破壊
雷インパルス 耐電圧試験	± 1590 kV 各3回 (常温)	良
同上破壊試験	- 50 kV 3回 昇圧破壊まで	- 2540 kV 1回目 破壊
耐圧力・気密試験	1080 kPa・G 30分	良

*ケーブル仕様 2000mm² t=23

性が極めて良好であることも確認した。

なお、外導削り機を使用しないガラス削りによる仕上げにおいても、ペーパー仕上げ後に鏡面処理を施すことで十分な性能を確保することができている。

7. 納入実績

275 kV完全乾式機器直結終端接続箱の実線路への納入実績は、表11に示すとおりである。

8. まとめ

275 kVPJの開発を経て、実線路に適用されている技術をもとに、終端接続箱についても従来の油浸式に替わる完全乾式終端接続箱を開発し、実線路へ納入した。正立型に加え、今回開発した倒立型は、変電所設備の縮小化にも寄与していくものであり、適用拡大が期待される。

最後に本線路の建設に当たり御指導、御協力頂いた東京電力(株)殿、関西電力(株)殿の関係者の皆様に深く謝意を表す。

参考文献

- 1) JEC 3408-1997: 「特別高圧 (11 kV ~ 275 kV) 架橋ポリエチレンケーブル及び接続箱の高電圧試験法」
- 2) 白井, 松村, 山下, 八木, 安部, 横溝: 「500 kV CVケーブル用乾式EB-Gの現地施工法検討」, 電気学会エネルギー部門大会, 平成11年8月, No336

表11 納入実績
Supply records

納入先	線路名	ケーブルサイズ	種別	外導削り機	納入量
東京電力(株)殿	千葉中央変電所	800 mm ² CAZV	正立EB-G		6相
東京電力(株)殿	千葉中央変電所	800 mm ² CAZV	正立EB-O		6相
関西電力(株)殿	三宮変電所	1000 mm ² CAZV	正立EB-G	適用	6相
関西電力(株)殿	三宮変電所	1000 mm ² CAZV	倒立EB-G	適用	6相
関西電力(株)殿	三宮線	2000 mm ² CSZV	正立EB-G	適用	6相