621. 315. 616. 96-418. 22-408. 2:668. 395. 742 U.D.C. 621. 315. 687. 1: [621. 315. 211. 2:678. 742. 2]

ゴムプラスチックケーブル接続用 粘着性絶縁テープの開発と応用 **Electrical Properties of XLPE Cable Joint Employing Newly Developed Insulating Tape**

Of all methods of cable splicing the tape-wrapping method is most widely used for synthetic-insulated cables because of simplicity of fabrication and economy.

This paper describes various properties of a newly developed insulating tape together with its application to XLPE cable joints. It is recognized that the initial properties of the medium voltage XLPE cable joint employing this tape are generally superior to those of joints using conventional insulating tapes. Joints using this tape showed larger resistance in accelerated aging tests confirming its improved properties.

Consideration on the special design of cable joints utilizing this new tape and reinforcing spacer is also discussed.

関 开 康 雄*	Yasuo	Sekii
佐藤祈美男**	Kimio	Satô
池上直美**	Naomi	Ikegam

言

架橋ポリエチレンケーブルはすでに20~30kV系統を中心に 多量に使用されており、60kV系統への導入も漸次計画されつ つある。プラスチック絶縁電力ケーブルは油浸紙絶縁ケーブ ルに比べて布設, 取扱いが簡単であることをひとつの特色と しているが、ケーブル使用量の増大に伴い、接続部などのケ ーブル付属品工事の省力化がますます要請されてきている。 架橋ポリエチレンケーブルの接続作業の方法には.

(a) 自己融着性テープなどによる絶縁テープ巻き法

(b) 照射ポリエチレンテープによるモールド法

(c) プレハブ形接続箱の利用⁽¹⁾

など各種の方法があるが,最も広く利用されているのは絶縁 テープ巻き法であり、低電圧ケーブルはもとより、アメリカ では138kVケーブルへの適用例さえ報告されている⁽²⁾。

筆者らは現在最も広く利用されているこの絶縁テープ巻き 法の接続作業時間を短縮するため,新たな絶縁テープの開発 を進めた。その結果,従来から用いられている自己融着性絶 縁テープに比べ、 電気特性にすぐれ作業時間を短縮できる粘 着性の絶縁テープを得た。本論文ではこの新たに開発した絶 縁テープの諸特性について述べるとともに、22kV架橋ポリエ チレンケーブル接続部への適用結果について報告する。

開発テープの概要

今回開発したテープは良好な電気特性を失わずに工事の省 力化を実現させるため、テープの構成を図1に示すようなは り合せ構造とし、従来の自己融着性テープが有したセパレー タを廃した。主絶縁は低密度ポリエチレンフィルムより成っ ているため電気特性はきわめて良好であり、同時にこのフィ ルムがセパレータの役割をも果たしている。また、接着層も

各種絶縁テープの諸特性 開発テープを含む4種の絶縁テープ 表し の寸法,物理特性,電気特性などを示している。

Table I Physical and Electrical Properties of Various Kinds of Insulating Tape

特	テ 作	- プ	A 開発テープ	A [′] 開発当初の 試作テープ	B 既存類似品	C 自己融着性 絶縁テープ (ハイボン2号)
Л	す え	(mm)	0.52	0.51	0.53	0.5
¢	Ē	(mm)	19	19	20	19
物	引張り強さ	常態	0.47	0.48	0.49	0.3
理	(kg/mm^2)	加熱後	0.46	0.39	0.39	
特	伸び	常態	420	610	510	690
性	(%)	加熱後	490	530	500	
Rt	= -++ ,1++	常温	良好	良好	良好	良好
P	」 小 1主	高温	良好	良好	良好	良好
電	体積固有抵抗	$(\Omega \text{ cm})$	$3.2 imes 10^{16}$	2.4×10^{17}		2.5×10^{16}
気特性	交流絶績 (kV/mm	はははははははははははははははははははははははははははははははははは	38.5	43.3	36.3	33.6

注:* 12.5 ø球対球電極使用



テープの断面構造 义 | 低密度ポリエチレンフィルムを主絶縁とし,

ポリエチレンを主体とするポリオレフィン混合物から成って おり、電気特性をそこなうことのないように配慮されている。 表1はこのテープ(テープA,以下略称)の物理特性その

これに接着層をはり合わせた構造である。従来の自己融着性テープが有したセ パレータを廃した。

7

Fig. I Schematic Diagram of New Insulating Tape

* 日立電線株式会社研究所 ** 日立電線株式会社日高工場

他を開発当初の試作テープ(テープA')や,既存の類似テー プ(テープB),および従来用いられてきた自己融着性テープ (テープC)と比較した結果であるが,これらの諸特性値は 既存のテープ類の特性値とほぼ同等である。

8 開発テープの諸特性

接続用絶縁テープが具備すべき要件はテープ自身の電気特 性が良好であることに加えて、これを用いて構成したケーブ ル接続部が長期にわたって安定した性能を有することである。 開発テープの特徴を明らかにし、かつ上述の要件が満たされ るか否かに論及するため、その示す諸特性を調べ、既存の種 種のテープの特性と対比してみることにする。

3.1 絶縁破壊強度と誘電特性

図2は開発テープを含む4種の絶縁テープ(テープA, テー プC, テープD, テープE, うちテープD, テープEはEPR ベースの外国製自己融着性テープ)の絶縁破壊強度(インパ ルス破壊強度)の温度変化を示したものである。従来からあ る自己融着性テープC, ならびに今回開発したテープAはい ずれもポリエチレンベースの材料であり, 70℃付近から破壊 強度が低下するが, 90℃におけるテープAの破壊強度は80kV/ mmに達しており, 実用上この低下は問題ないと考えている。 低温領域(常温付近)では破壊強度が100kV/mmを越える値を 示し, EPRをベースポリマとするテープD, テープEに比べ



て格段に高い値を示している。

一方,図3はテープA,テープC,テープDの誘電特性で ある。誘電率,誘電正接ともにテープDとテープA,Cとで 著しく異なり,材質の差は明らかである。テープAの誘電正 接値は測定した温度範囲で0.05%以下であり,低損失材料と しての特徴が如実に表われている。

3.2 接着強度

8

開発テープの良否は接着層の示す特性に大半依存する。接着層の示す諸特性のうちで,接着強度が最も重要であり,構成した接続部の電気特性を支配すると考えられる。



図3 各種絶縁テープの誘電特性 3種の絶縁テープの誘電率,誘電 正接を示した。テープAには低損失材料としての特色が表われている。

Fig. 3 Dielectric Properties of Various Kinds of Insulating Tape

2枚のテープ片をとり, 接着層と絶縁層が互いに重なるようにはり着け(図4参照, はり着け部の長さ50mm),荷重1kgを加えて1時間放置後(室温, 90℃)の引張り強度を調べ, テープ単独の引張り強度と比較した。その結果を示したのが 図5である。開発テープAの常温における接着強度はテープ 自身の引張り強度に匹敵しており, 十分な接着力を有することがわかる。高温下(90℃)では接着強度がいくぶん低下する が, これは次に述べる接着層の流動性とも密接な関係がある。

3.3 接着層の流動性

ポリオレフィン混和物より成っている接着層は高温下で軟 化が進行し,巻回されたケーブル接続部をボイドレスにして 特性の向上に役立つが,流動性が大きいと接続部変形の原 因となる。したがって,接着層の流動特性の把握(はあく)は 重要である。

図6は架橋ボリエチレンケーブルの絶縁体上(外径30mm) にテープを巻回し(½重ね7層),室温(約15℃)に24時間放 置後および室温~80℃のヒートサイクル(高温8時間,室温 16時間)を5回繰り返した後にあらかじめ試料内に埋め込ん だ2枚の金属板A, Bの位置のずれを測定した結果である。

図2 各種絶縁テープの絶縁破壊強度(インパルス) 4種の絶縁 テープについてインパルス破壊強度(BDS)の温度特性を示したものである。開 発テープAは低温側でBDS最高である。高温側で低下するが実用上は問題ない。

Fig. 2 Dielectric Strength of Various Kinds of Insulating Tape

縦軸の表示は(*l-l₀*)/*l*×100となっているが、ここで*l₀はずれを* 生ずる前のAB間の間隔、*l*は流動後の間隔である。前述の理 由でこのずれは極力小さいことが望ましい。この実験の結果 は、開発当初の試作テープ(A')やその改良品(A")に比べ、 開発テープAは接着層の流動性が大幅に改良されていること を示しており、既存の類似テープBに比べてもすぐれている







(b) テーブ自身の引張り強度を測定するときの試料

接着強度測定試料 区 4 接着強度を測定した試料の構成と寸法である。

Fig. 4 Configuration of Specimen



各種テープの流動特性 図 6 開発テープを含む5種の絶縁テープを 用い、接着層の流動性を測定した結果である。開発テープの改良の跡がうかが われる。

Fig. 6 Fluidity of Various Kinds of Insulating Tape



図7に示すように鉛筆削りした6.6kV架橋ポリエチレンケ ーブル絶縁体(絶縁体厚さ4mm,導体寸法150mm²)上にケー ブルとほぼ同径の接続部モデルを構成し、室温に24時間放置 後および室温~90℃のヒートサイクル(加温4時間,除熱4 時間)を20サイクル加えた後の交流絶縁耐力を求めた。結果 は図7に示すとおりであり、開発テープAは従来の自己融着 性テープCや既存の類似テープBに比べて全く遜色がない絶 縁耐力を有しており,むしろ良好である。開発当初の試作テ ープA'を用いた試料ではヒートサイクル後, 接着層の流出が 著しかったが, 接着層に改良を加えた開発テープにはそのよ うな形跡は見られなかった。



各種テープの接着強度 図 5 接着強度の測定結果である。テープA の接着強度は常温ではテープ自身の引張り強度に匹敵する。また、高温の引張 り強度は若干低下する。

Fig. 5 Adhesion of Three Types of Insulating Tape

- ことがわかる。ちなみに、自己融着性テープCでは電極間の ずれがほとんど生じない。
- 3.4 接続部モデルの絶縁耐力

3.1~3.3に述べたとおり、開発テープの諸特性は良好で、 従来から用いられてきた自己融着性テープに比べて全く遜色

4 開発テープの架橋ポリエチレンケーブル

接続部への応用

既存の絶縁テープと対比しつつ開発テープの諸特性につい て述べた。このテープの絶縁材料としての最終的な良否はケ ーブル接続部への適用結果によって定まる。ケーブル用接続 材料としての適否を判定するため,開発テープを用いて実用

9



表 2 22kV絶縁テープ巻き接続部の諸特性 開発テープを含む4種 のテープを用いて構成した22kV架橋ポリエチレンケーブル接続部の電気試験の 結果を示している。開発テープを用いた接続部はヒートサイクル終了後にも良 好な結果を示す。

Table 2 Electrical Properties of 22kV Tape-wrapped XLPE Cable Joint

4	テレーディング	7°	А	A'	В	С
尚:日04	誘電正接	(%)	0.04	0.04	0.05	0.06
時間放	部分放電開始 (kV)	電圧	30以上	30以上	18~30	28
置後の	交 流 破 壊 (kV)	電圧	105	105	85~105	120
特性	インパルス 電圧 (破壊 kV)	460	520	480~600	380
	誘電 正接	a *	0.04	0.04	0.04	
ヒート	(%)	b *	0.03	0.03	0.03	0.05
サイク	部分放電開	a *	15	30以上	20	
ル50サ	始電圧(kV)	b *	30以上	30以上	30以上	40以上
イクル	交流破壊電	a *	80	75	84	
終了後	圧 (kV)	b *	105	85	95	60~70
の特性	接 続 部 形 状 変	の 1と	若干のし わ発生	しわの発 生著しい	しわの発 生あり	若干のし わ発生

(2) 架橋ポリエチレンケーブル接続部

b:特殊な半導体テープを用いた構造

トサイクルを経過した後には絶縁破壊電圧が低下する。この うち最も低下の著しかったのは自己融着性テープCより成る

• 前血放直及

10

● ヒートサイクル後

図7 各種テープを用いた接続部モデルの絶縁破壊電圧 開発 テープを含む5種の絶縁テープを用い,モデル接続部の交流絶縁破壊電圧を求 めた結果である。絶縁破壊強度は他テープに比べて遜色がない。

Fig. 7 Breakdown Voltage of Model Joint Constructed with Various Kinds of Insulating Tape

構造の22kV架橋ポリエチレンケーブル接続部を構成し、その 電気的諸特性について調べた。

4.1 開発テープを用いた22kV架橋ポリエチレンケーブル 接続部の電気特性

開発テープを含む4種の絶縁テープ(テープA, テープA', テープB, テープC)を用いて標準構造の22kV架橋ポリエチ レンケーブル接続部(図8(a),(b))を構成し,室温放置24時 間後および導体温度が室温~90°Cのヒートサイクル(導体通 電5時間,通電しゃ断4時間)を50サイクル経過後の電気的 特性(誘電正接,部分放電開始電圧,絶縁破壊電圧など)を 求めた。その結果を要約して示すと**表2**のようになる。

いずれのテープを用いた接続部も初期における電気的特性 は良好で、22kV級接続部として十分な性能を有するが、ヒー 接続部であった。テープA, テープA', テープBより成るものは巻回後に絶縁層と接着層が互いに積層されるためにヒートサイクルに対しては安定である。ただ, この3種のテープは高温下で接着層が流出することによるしわの発生を避け得ず, ヒートサイクル経過後に絶縁破壊電圧が低下するのはもっぱらこの理由によると考えられる。接着層の流動性の小さい開発テープAを用いた場合にはこのしわの発生は軽微で,特に,特殊な半導電性テープを外部遮蔽(しゃへい)テープとして用いた接続部構造(図8(b))ではヒートサイクル50サイクル経過後にも絶縁破壊電圧の低下が認められなかった。

4.2 開発テープを用いた接続部の長期信頼性

開発テープを用いて構成した22kVケーブル接続部の試験結 果より,架橋ボリエチレンケーブルは接続用絶縁材料として 十分使用可能なことがわかったが,その信頼性をさらに確認 するために接続部の水密性試験と長期の課電通電試験を実施 した。プラスチックケーブル用の接続部には通常金属製の外 被が用いられるが,簡略化した構造のものはこれを省略して 防水用保護テープを巻回するのみである。このような場合を 想定し,金属製外被のない接続部(図8の構造,最外層は粘 着性ポリ塩化ビニルテープで処理)を鉄製容器内に収納し, 浸水加圧(水圧1kg/cm²)下でヒートサイクルを繰り返し(導



図 8 接続部の構造 22kV CVケーブルの標準的絶縁テープ巻き接続部構造である。 Fig. 8 Construction Detail of XLPE Cable Joint

体温度90℃になるように設定),経時的に特性変化を観察した。 ヒートサイクルの過程での特性変化はなく、30サイクルの通 電加熱サイクルを経過した後に実施した試験の結果は下記の とおりである。解体調査の結果でも、絶縁層内への浸水の痕 跡(こんせき)はなく、劣悪な環境下でも十分使用に耐えると 判断される。

ヒートサイクル経過後に確認した接続部の特性は,

(a) 部分放電開始電圧: 40kV以上

- (b) 誘電正接 : 0.08%
- (c) 交流破壊電圧 : 90kV

一方,これと並行して,長期の信頼性を把握するために, 昭和46年1月より屋外長期課電試験場において運転状態を模 擬しての長期課電通電試験を開始し,現在なお実施中である。 その試験条件を列挙すれば次のとおりとなる。

- (a) 課電電圧:40kV (定格電圧の1.82倍,常時対地電圧の 3.15倍)
- (b) 通電電流:400A
- (c) 1 通電サイクル: 8 時間 on ~ 16 時間 off

(d) 布設状況:屋外地上布設および水そう内布設(外部浸水) 長期課電に伴う絶縁テープ巻き接続部の絶縁劣化が周知の 実験式 VⁿT=const に従うものと考え、開発テープがポリエ チレンを主とする材料であることを考慮してKreugerらによ って提唱されている9乗則⁽³⁾が適用できる(n=8-9と考える) と仮定すれば、定格電圧22kVの接続部に30年間の寿命保証を 与えるには、40kV課電下で60~90日の寿命の保持が必要であ る。試験開始より約1.5年を経過した昭和47年6月末日まで の長期課電通電試験の結果の概要は表3に示すとおりであり,

表3 22kV絶縁テープ巻き接続部の長期課電通電試験結果(架橋)

ポリエチレンケーブル) 開発テープと既存の自己融着性を用い て構成した架橋ポリエチレンケーブル接続部の長期負荷試験の結果を示したも ので新たに得たテープの信頼度が高いことがわかる。

Table 3 Results of Accelerated Aging Test on 22kV Tapewrapped XLPE Cable Joint

試料 No.	テープ	布設環境	布設前の履歴	運転状況(昭和47年6月末日) 現在)	
I	А	気中	なし	正 常 (4,500時間 162サイクル 経過)	
2		気中	"	布設後 3,291時間で絶縁 破壊(188サイクル後)	
3	<i>"</i> ,	水中	なし	正 常 (4,123時間 244サイクル 経過)	
4	"	気中	ヒートサイクル 30サイクル経過	" (")	
5	А	水中	ヒートサイクル 30サイクル経過	正 常 (4,123時間 244サイクル ^{経過})	
6	С	気中	なし	布設後26時間経過後に 絶縁破壊	
7	"	水中	なし	布設後 1.5時間経過後に 絶縁破壊(通電 サイクル後)	
8	<i>u</i>	気中	ヒートサイクル 30サイクル経過	布設後 506時間経過後に 絶縁破壊(通電54サイクル後)	
9	С	水中	ヒートサイクル 30サイクル径過	布設後45時間経過後に 絶縁破壊(通電2サイクル後)	



長期課電通電実験の実施状況 × 9 屋外長期課電試験場における試 験実施状況である。

Fig. 9 XLPE Cable Joints Under Accelerated Aging Testing

開発テープAを用いた接続部は試験開始後 3,291時間(188通 電サイクル)後に絶縁破壊したもの(試料No.2)を除いてい ずれも正常である。試験はなお実施中であるが、現在までに 得られたこの試験結果より、今回開発したテープは十分な信 頼性をもつものと判断される。図9は屋外試験の実施状況で ある。

4.3 開発テープを用いた接続部の特殊設計

ケーブルの絶縁設計に際しては前もって把握されている絶 縁材料の特徴が十分に考慮されるが、ケーブル付属品の構造 設計の際にも同様の考慮が払われなければならない。合理的 な裕度を見込んだ接続部の絶縁設計を行なううえで最も重要 なデータは接続部の径方向絶縁耐力である。図8に示した接 続部構造は22kV架橋ポリエチレンケーブル接続部として今日 実用に供されている標準的設計であるが、ストレスリリーフ コーンの立上り部分がこの構造の相対的弱点部であり、 絶縁 破壊は大半この部分で生ずる。接続部内で電界強度最大の点 がこの部分であり,残存する微少ボイドが絶縁破壊の発端と なるためと推定される。したがって、 接続部の特性を上昇さ せるにはこの部分の電気的補強が有効である。

11





接続部の構造 図10 (a)は通常の構造を、(b)はストレスリリーフコーンの立上り部に補強層を設けた構造を示す。 Fig. 10 Construction Detail of Two Kinds of XLPE Cable Joints

表4および図11は導体接続管上の絶縁体厚さを種々に定めた 2種の構造の異なる接続部(図10)の交流破壊電圧を求めた結 果である。これより,開発テープのみで構成した通常の構造 の接続部(図10(a))では接続管上の絶縁体外径Dが47mm, 60 mmの場合には接続部中央部が他に比べて過剰絶縁となること がわかる。これに対して、ストレスリリーフコーンの立上り 部分を補強した構造(図10(b))では外径同一でも絶縁破壊電 圧が上昇し、D=47mmの場合には絶縁破壊の経路も接続部中 央部に移行する。図10(b)は接続部全体の絶縁協調がとれた、 より合理的な構造と考えてよいであろう。

図12は図10(b)をさらに一歩進めて、ストレスリリーフコー ンの立上り部分に絶縁ゴムより成る補強スペーサを配した設 計である。表5はこの接続部構造に開発テープを適用した場 合に得られた電気特性の概要を示したものであるが,表2に 示した試験データと対比すれば明らかなように、特性の向上 が十分認められる。この構造はプレハブ形接続箱に一歩近づ くものであり、すでに、22kV架橋ポリエチレンケーブル接続 部などに採用され、実用化が進められつつある。

ストレスリリーフコーン立上り部の補強効果 表 4 ストレスリ リーフコーン立上り部を補強した構造(I)と補強しない構造(II)の接続部の交 流破壊電圧を求めたもので補強の効果が明らかである。

Table 4 The Effect of Tape-wrapped Reinforcing Insulation Layer on Stress Relief Cone of Cable Joint



図12 補強スペーサを用いた接続部構造 ストレスリリーフコーン 立上り部に絶縁ゴムより成る補強スペーサを用いた点に特色がある。

Fig. 12 Construction of XLPE Cable Joint Employing Reinforcing Spacer

補強スペーサを用いた接続部の特性 図12に示した特殊設計 表 5 の接続部の電気試験の結果である。初期特性、ヒートサイクル経過後の特性と も通常の構造よりも良好である。

Table 5 Electrical Properties of Joint Employing Reinforcing Spacer

	初期特性	ヒートサイクル ⁽²⁾ 経 過 後 の 特 性
形分放電開始電圧(1)	45kV以上	45kV以上
き 流 破 壊 電 圧	110~130kV	90~130kV
インパルス破壊電圧	350 k V	410kV

NIa	接続部	各部の寸法		交流破壊電圧	始 緑 the /南 の 奴 Pg	
INO.	構 造	D, D'	L	(kV)	祀 脉 吸 弦 07 胜 昭	
1		39		75	導体スリーブ上	
2	(1)	47		90	ストレスリリーフコーン 立 上 り 部	
3		60		105	ストレスリリーフコーン 立 上 り 部	
4	(11)	47	100	105	導体スリーブ上	
5		57	130	115	ストレスリリーフコーン 立 上 り 部	



5 言 結

参考文献

新たに開発した粘着性絶縁テープの諸特性と応用例につい て述べた。この絶縁テープの特長を列挙すれば次のとおりで ある。

- $(\mathbf{1})$ 絶縁層と接着層をはり合わせた構造であり、絶縁層に低 密度ポリエチレンフィルムを用いているため電気特性が良 好である。
- (2) セパレータがなく、しかも巻回時の伸張度が小さいため、 接続作業時間を短縮でき,工事の省力化に役立つ。
- (3) このテープを用いて構成したケーブル接続部ではテープ の接着層と絶縁層が積層されるため負荷サイクルに対して 安定である。
- (4) 流動性の小さい接着層を採用しており、接続部の変形が 小さい。

本開発テープを22kV架橋ポリエチレンケーブル接続部に適 用した結果は良好で,長期間の使用に十分耐えうるものと考 えられる。今後はさらに応用範囲の拡大を図るうえでの問題 点について検討したいと考えている。

最後に種々ご指導,ご助言を賜わった日立電線株式会社日 高工場の依田部長,研究所の池田主任研究員ほか関係各位に 心よりお礼申し上げる次第である。

D/d (D'/d)ストレスリリーフコーン部の補強効果 × | | ストレスリリーフコ ーン部に補強のある場合とない場合の交流破壊電圧を求め D/d (D: 絶縁体外 径, d 導体外径)との関係として示した。補強の効果は明らかである。 Fig. II The Effect of Tape-wrapped Reinforcing Insulation layer on Stress Relief Cone of Cable Joint

12

(1) 增岡, 依田, 小林: OHM, 55(6), 30(昭43-5) "Technical Papers on Development and Installation of 138 (2)kV Cables for Test at EEI Waltz Mill" IEEE Summer Power Meeting Paper (July '71) (3) F. H. Kreuger : CIGRE Paper No. 201 (1966)