

# 66 kV ゴムテープモールド絶縁型接続部 (RMJ) の実線路初納入

## First Supply of Rubber Mold Joints for 66-kV XLPE Cables to a Practical Transmission Line

栗原 弘明 <sup>*</sup> Hiroaki Kurihara	後藤 伸一 <sup>*</sup> Shin-ichi Gotoh	足立 潔美 <sup>*</sup> Kiyomi Adachi	品川 展行 <sup>*</sup> Nobuyuki Shinagawa
田中 悟 <sup>*2</sup> Satoru Tanaka	中野 孝男 <sup>*2</sup> Takao Nakano	佐久間 進 <sup>*3</sup> Susumu Sakuma	織田 博士 <sup>*4</sup> Hiroshi Oda
角 芳夫 <sup>*4</sup> Yoshio Kaku	小岩 保典 <sup>*5</sup> Yasunori Koiwa		

概要 66 kV用CVケーブル用接続部としては、補強絶縁層に絶縁ゴムテープを積層させるテープ巻き絶縁型接続部 (TJ) が一般的である。ただし、2000 mm<sup>2</sup>以上のいわゆる大導体のケーブルに対しては、ポリエチレン製テープを巻き付けケーブル絶縁体と加熱融着させたテープ巻きモールド絶縁型接続部 (TMJ) を採用してきた。TMJはコンパクトで良好な絶縁特性を有する一方で、ケーブル接続現場では厳格な品質管理と膨大な施工時間を必要としていた。我々は、これに代わり施工が簡便で施工時間を大幅に削減したゴムテープモールド絶縁型接続部 (Rubber Mold Joint) を開発し、実線路に納入した。

### 1. 緒言

66-kV CVケーブル用接続部としてはエチレンプロピレンゴムテープ (以下EPゴムテープ) を機械巻きして補強絶縁層を形成するテープ巻き絶縁型接続部 (TJ) が広く使用されている。ただし、ケーブル導体サイズが大きき場合 (2000 mm<sup>2</sup>以上) には、熱挙動を懸念してケーブルと補強絶縁体との一体化が求められている。このため従来ケーブルと同組成のポリエチレンテープをケーブルに加熱融着させた補強絶縁層を持つ、テープ巻きモールド型接続部 (TMJ) を使用してきた。ケーブルと同じ補強絶縁層を持つTMJは性能が優れておりコンパクトに設計できる反面、モールド作業には工場並の施工管理と膨大な施工時間が必要とされている。都市部でのマンホール作業の場合には道路占有時間が限られている場合が多く、時間内に作業を終了させることが必要不可欠であり、より短時間で施工できる接続部は開発命題であった。

これに対し我々は、従来から多くの実績があるゴムテープを積層させる方式の接続部に改良を加えることによって特性向上が期待できることに着目し、施工の簡便化と施工時間の短縮を実現可能にしたゴムテープモールド絶縁型接続部 (Rubber Mold Joint) を開発し、東京電力株式会社殿に納入した。

### 2. 開発経緯

#### 2.1 154 kV用接続部の開発

OFケーブルに代わりメンテナンスフリーのCVケーブルが超高压線路の主役となって久しいが、既設のOFケーブル用管路を流用しCVケーブル化する場合がある。またそれと同時に容量を増大するニーズがあり、従来800 mm<sup>2</sup>用のOFケーブル管路に1800 mm<sup>2</sup>のCVケーブルを3条布設するコンパクトCVケーブルの開発研究が開始された<sup>1)~2)</sup>。既設管路に収納するためにケーブル絶縁厚は17 mmから15 mmに低減する必要があり、これに伴う接続部の補強絶縁体立ち上がり部の電位傾度 (以下ストレス) 増大に対応する接続部の開発も同時に必要となった。このなかで狭隘な管路マンホールで短時間で施工できる低コスト型接続部としてRMJ (社内開発名称は、コンパクトゴム絶縁型接続部:Compact Rubber Insulated Joint) が選択された。

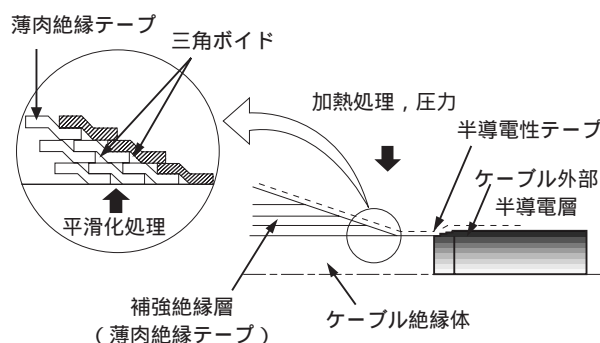


図1 三角ボイド  
Triangular voids between tape layers

<sup>\*</sup> 電力事業部 電力技術部 第二技術課

<sup>\*2</sup> 研究開発本部 千葉研究所 電力機器研究室

<sup>\*3</sup> 電力事業部 電力技術部 第一技術課

<sup>\*4</sup> 電力事業部 地中線技術部 施工技術課

<sup>\*5</sup> 電力事業部 地中線部 地中線課

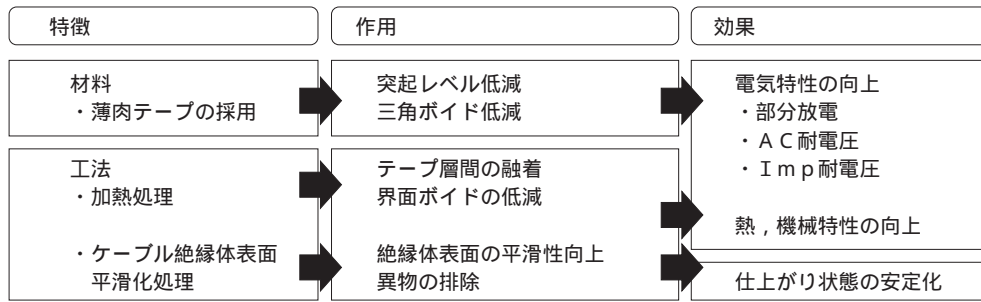


図2 RMJの開発要素  
Development elements of RMJ

2.2 開発要素

大導体サイズのケーブルの場合には補強絶縁体立ち上がり部のストレス ( $E_{min}$ ) が大きくなり、特にケーブル絶縁厚が薄い場合にはその増加に伴う部分放電発生等に対して注意を要する。

一般にテープを積層させて絶縁層を形成する接続部の場合には、そのテープ層間にできる三角ポイド (図1) が性能を支配する要因となる。この問題に対しては、圧力を加えることによるポイド抑制と薄肉テープの採用が有効な手段とされている。

大きな圧力を必要とする場合には、専用の加圧釜と圧力管理が必要となるが、ゴムテープを用いた接続部では押さえ巻き層と言われるテープ層を巻き重ねることで十分に効果が得られる。

また、図2に見るようにテープの厚さが三角ポイドの大きさを決定する要素であり、これまでのTJにも厚さ0.5 mmの絶縁テープを用いてきた。今回RMJにはテープ厚さ低減による更なるポイド縮小化の効果をねらい、厚さ0.25 mmの薄肉テープを開発しこれを補強絶縁層全層に採用した。半導電性テープの場合にも、その厚さがいわゆる導電性の突起となりうることから、同じく厚さ0.25 mmのテープを開発し採用している。

使用している絶縁ゴムテープにはもともと自己融着性があり時間経過とともにテープ相互の空隙は無くなっていく傾向にあるが、完全には一体化することはない。RMJでは加熱処理しテープ相互を軟化させることにより補強絶縁層を一体化させてテープ層間ポイドを著しく低減させる効果を狙っている。

表1 開発目標性能  
Objective electrical properties

項目	性能
長期課通電 または 商用周波耐電圧	65 kV(8 hr on, 16hr off/サイクル) 導体温度:常温 ~ 90 ×25サイクル 導体温度:常温 ~ 105 ×5サイクル または130 kV・1hr (導体温度常温)
雷インパルス耐電圧	± 485 kV・3回 (導体温度常温)
ケーブル遮蔽層間 絶縁部 雷インパルス耐電圧	- 40 kV・3回
防食層 雷インパルス耐電圧	- 40 kV・3回
水密性	98 kPa・1 hr

TJでは、ケーブル外部半導電層剥き出し後の絶縁体表面にエメリークロス紙による手仕上げを施していた。本RMJでは、仕上がり表面状態の安定化と作業自体による異物発生防止の目的から、熱収縮性チューブの平滑化された内面を転写する工法を採用している。

3. 66-kV RMJの開発目標の設定

3.1 電気特性

JEC-3408-1997に従う性能を有することとした (表1)。

3.2 絶縁設計

RMJはTJと同じ構造を持つため、図3に示す絶縁設計各部位に注意すればよい。その絶縁設計各部位に対し豊富な154 kV用の試験データから、設計ストレスを表2のように設定した。

設計ストレスは、各部位の最低破壊値に対して10%の裕度を見込んだ値に設定した。 $\tau_2$  ストレス部の補強絶縁厚さは、154 kVから得たストレスより厚さ効果がないものとして決定しており安全側である。規定電圧時のストレスは、いずれも設計ストレスを大きく下回っており、十分に裕度を持っていることがわかる。

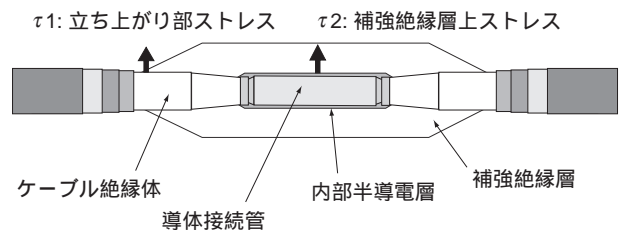


図3 絶縁設計要素  
Elements for insulation design

表2 各部のストレス  
Design stress of elements

部位	$\tau_1$	$\tau_2$
	立ち上がり部 $E_{min}$	補強絶縁層上 $E_{mean}$
AC	設計ストレス	17.0
	130 kV時のストレス	11.6
Imp	設計ストレス	64.0
	485 kV時のストレス	42.0

(kV/mm)

### 3.3 ボイド低減条件

TMJではポリエチレンテープの架橋反応を目的とした加熱であるのに対し、RMJではEPゴムテープを軟化させボイドを低減させることができる温度と時間が得られればよい。ただし、そのための加熱条件と押さえ巻き層によって得られる圧力の条件は、施工時間の効率化及び接続部の大きさとのバランスを取りながら最適に選定しておく必要がある。押さえ巻き層及び加熱条件の設計にあたっては図4に示す温度とボイド径の相関等を検証し、これらを実設計に反映している。なお、これにより組み立てた実機RMJの補強絶縁体中に存在するボイドはいずれも理論計算に基づく有害レベル未満である。ストレスの最も厳しい補強絶縁層立ち上がり部 (写真1~2:ケーブル絶縁層と補強絶縁層の断面写真) では、ボイド等がほぼ消失している。後述する部分放電特性の向上からも設計が必要十分な条件を満たしていることを確認できる。

### 3.4 形状寸法

開発したRMJの構造寸法は、同じ規格枠内の接続部であるTMJと同等以下の寸法を目標とし図5のとおりとした。TMJの銅管外径はRMJより若干コンパクトであるが、絶縁筒部外径では同等、全長では約100 mm短縮を実現した。なお、ケーブルサイズでは1ランク下に位置する1600 mm<sup>2</sup>クラスのTJに比べても、外径・全長とも縮小化を実現している。

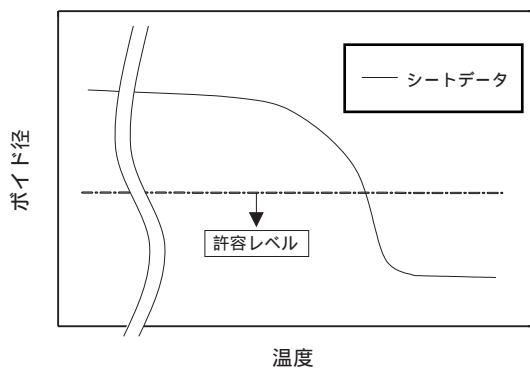


図4 ボイド低減のための温度条件  
Temperature conditions for void reduction

## 4. 性能評価

### 4.1 電気性能の評価

RMJの開発コンセプトの一つはテープ層間のボイド低減である。これは、諸電気性能の向上に見ることができる。図6、図7に商用周波耐電圧 (AC) 及び雷インパルス耐電圧 (Imp) の初期性能試験結果を示す。TJ (1981 ~ 1992年のデータ)<sup>4)</sup>

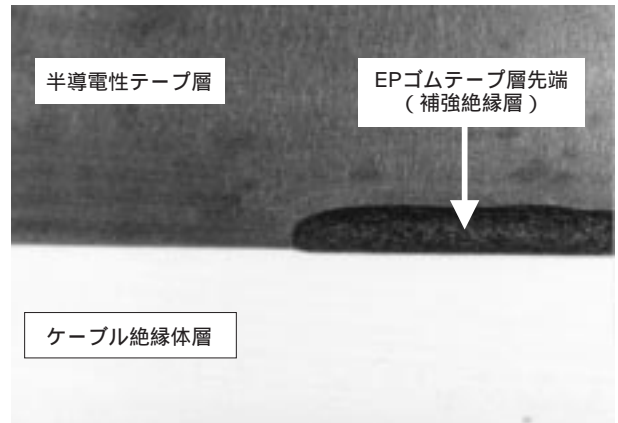


写真1 解体後のゴム絶縁層断面 (その1)  
Cross-section of insulation rubber layer No.1

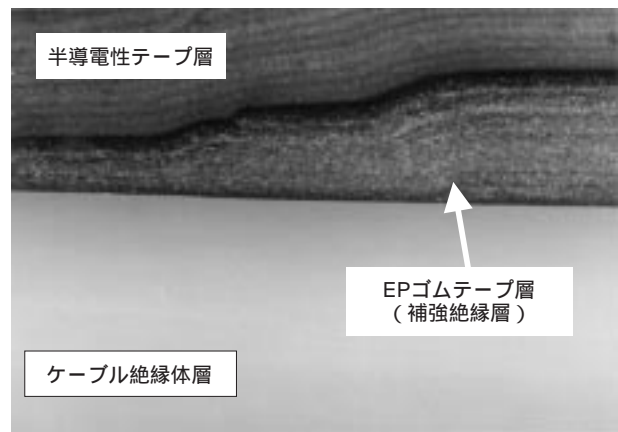
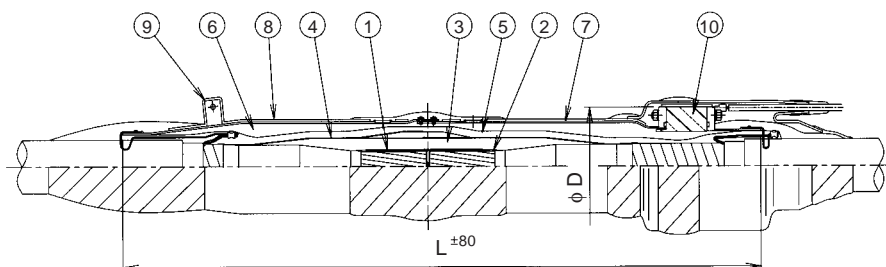


写真2 解体後のゴム絶縁層断面 (その2)  
Cross-section of insulation rubber layer No.2



5	押さえテープ層	10	絶縁筒
4	遮蔽テープ層	9	接地端子座
3	絶縁テープ層	8	防食層
2	半導電テープ層	7	保護管
1	導体接続管	6	防水混和物
番号	部品名称	番号	部品名称

導体 サイズ (mm <sup>2</sup> )	各部の寸法 (mm)	
	L	D
2000	1300	210
2500	1300	210

図5 66 kV RMJの構造寸法  
Rubber mold joint for 66-kV XLPE cable

表3 構造および施工方法の比較  
Comparison of RMJ and TMJ in structure and jointing method

項目	接続種	RMJ		TMJ	
	材料/工法	特徴/効果		材料/工法	特徴/効果
構造	導体接続	圧縮		圧縮	
	内部半導電層	薄肉ゴム 半導電テープ	三層一体加熱 三層を一体で加熱することで加熱回数を効率化。	ポリエチレン 半導電テープ	モールド
	補強絶縁層	薄肉ゴム 絶縁テープ		ポリエチレン 絶縁テープ	二層一体 加熱
	外部半導電層	薄肉ゴム 半導電テープ		半導電熱収縮 チューブ	
施工(加熱)	加圧方法	押さえ巻き層	押さえ巻きテープ層による圧力で充分。	専用金型+ガス加圧 (785 kPa)	反応生成物のポイド化を防ぐために大きな圧力を必要とする。
	加熱温度	120~130	加熱温度が低く時間も短い。	175~240	架橋(化学)反応を目的としており厳密な温度管理が必要。冷却時にも圧力管理を必要とする。
	加熱時間	約5時間		約9時間以上	
	冷却工程	自然放置		圧力管理	

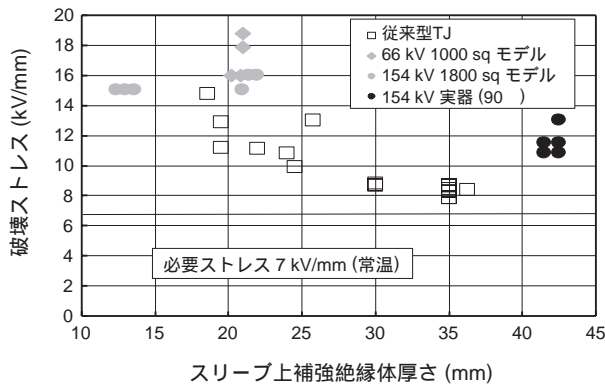


図6 商用周波耐電圧特性  
AC withstand voltage characteristics

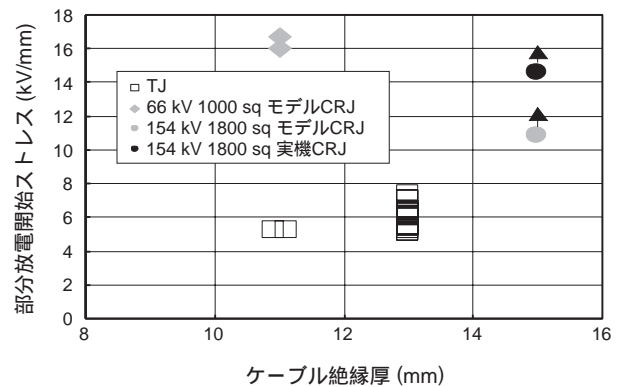


図8 部分放電特性  
Partial discharge characteristics

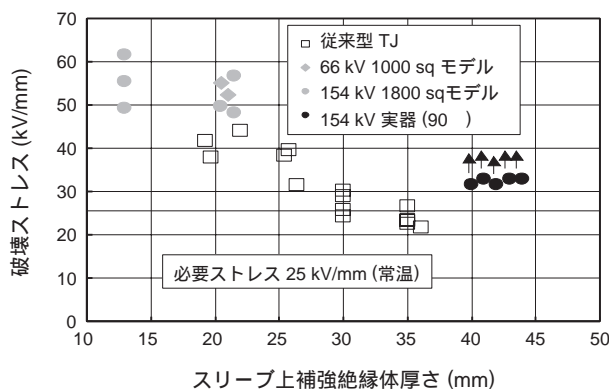


図7 雷インパルス耐電圧特性  
Impulse withstand voltage characteristics

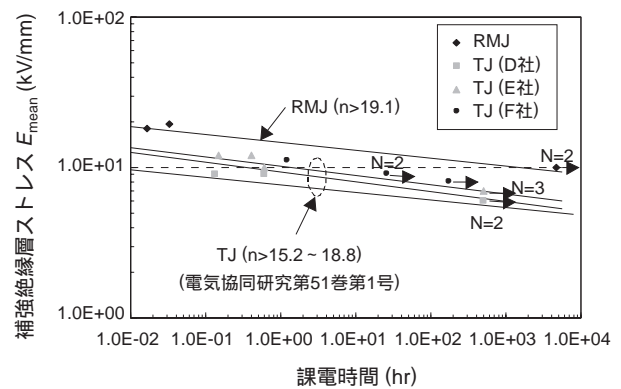


図9 V-t特性  
V-t characteristics

の特性はばらつきが大きく、そのなかで規格値を満足できないものもあるのに対し、RMJでは安定して規格値をクリアできている。同じくTJとRMJを比較した部分放電特性を図8に示す。TJと比較して約20%部分放電開始電圧が向上しており、テープ層間ポイド低減の効果が現れている。長期的性能試験(図9)でも良好な結果が得られており、寿命指数n=15が採用できることがわかる。

#### 4.2 異径接続部

線路形態によっては、接続部両側で異なる導体サイズのケーブルを接続する異径接続部が必要となる場合がある。今回も800 mm<sup>2</sup>対2000 mm<sup>2</sup>の異径接続部で初期性能試験を実施し仕様を満足している。現地で補強絶縁層を形成するタイプの接続部は、比較的異径への対応が容易であり、ケーブル導体と補強絶縁体の径差を電界が集中しないように滑らかにスローブ状に

表4 施工工程の比較例  
Comparison of RMJ and TMJ jointing procedures

日数	RMJ	TMJ
1	足場組立	足場組立
2	準備作業	準備作業
3	ケーブル曲取り	ケーブル曲取り
4	ケーブル直出し	ケーブル直出し
5	素線絶縁皮膜除去	素線絶縁皮膜除去
6	素線絶縁皮膜除去	素線絶縁皮膜除去
7	ペンシリング, 平滑化处理	ペンシリング
8	導体圧縮, テープ巻, 加熱準備 (A相)	導体圧縮, 内導モールド (A相)
9	導体圧縮, テープ巻, 加熱準備 (B相)	テープ巻, 架橋準備 (A相)
10	導体圧縮, テープ巻, 加熱準備 (C相)	架橋 (A相)
11	加熱	解体 (A相), 導体圧縮, 内導モールド (B相)
12	保護管組立	テープ巻, 架橋準備 (B相)
13	付帯工事	架橋 (B相)
14	片づけ, 足場撤去	解体 (B相), 導体圧縮, 内導モールド (C相)
15	-	テープ巻, 架橋準備 (C相)
16	-	架橋 (C相)
17	-	解体 (C相), X線撮影
18	-	保護管組立
19	-	付帯工事
20	-	片づけ, 足場撤去

表5 施工時間の比較例  
Comparison of RMJ and TMJ jointing times

接続種	施工時間 (hr) /3相	比率
RMJ	1050	58
TMJ	1810	100

注) 2500 mm<sup>2</sup> IJを例にした。

接続すればよい。桜ヶ丘落合線においても最大差で1600 mm<sup>2</sup> 対2500 mm<sup>2</sup>の接続部があり, 問題なく施工終了している。

### 5. 施工効率化

#### 5.1 構造及び工法

RMJは従来のTJと同等の構造であることは前述したが, このゴムテープを用いたことと, 新たに従来に比べ半分の厚さのテープを採用したことで, 施工の効率化が実現している。

表3に示すようにRMJは内部半導電層及び外部半導電層にも厚さ0.25 mmのゴムテープを用いている。これにより, テープを巻き付け後の形状不整 (=突起) レベルを低減することが可能となり, 内部半導電層・補強絶縁層・外部半導電層を巻き重ねたあとで, 三層同時に加熱することができる。これに対しTMJでは, 後工程である補強絶縁層の高温・高圧の加熱工程に耐えるために内導層単独でモールド成型を行う必要がある。

表6 価格比率例  
Comparison of RMJ and TMJ in cost

接続種	価格比率
TMJ	100
RMJ	82

注) 2500 mm<sup>2</sup> IJを例にした。



写真3 テープ巻き工程  
Taping process

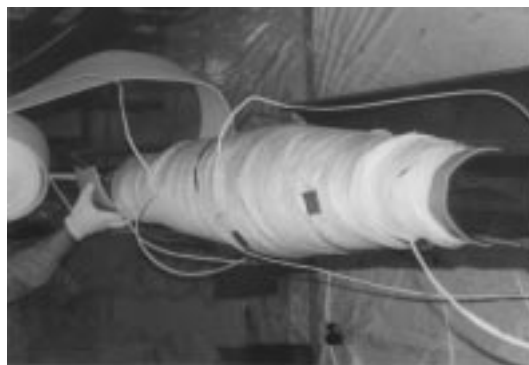


写真4 加熱工程  
Heating process



写真5 RMJ組立て状況  
View of RMJ on site

TMJでは補強絶縁層にケーブルと同組成のポリエチレン材料を用い, 材料の融点を超える温度で加熱することでケーブル絶縁体と一体化させており, 厳密な温度管理を行っている。またこのとき, ポリエチレン材料の架橋反応の二次生成物(水分)がボイド化することを防ぐ目的で高い圧力を加えるため, 専用の機材も必要であるなど, 施工が煩雑であった。RMJではゴムテープを軟化させてテープ層間の三角ボイドを低減させるこ

ルート																
変電所 MH名	落合	多69	多68	多67	多66	多65	多64	多63	多62	多洞57	多洞56	多洞55	多洞54	多洞61	桜ヶ丘	
接続種	EBG	引通	NJ	NJ	IJ	IJ	NJ	IJ	IJ	NJ	IJ(T)	IJ	引通	引通	EBG	
区間長 (m)	130		355	565	490	465	580	530	515	480	670	450				
	5230 × 2回線															
ケーブル	2000 mm <sup>2</sup> (防災)		2000 mm <sup>2</sup>				2500 mm <sup>2</sup>			1600 mm <sup>2</sup>		2000 mm <sup>2</sup> (防災)				

図10 桜ヶ丘落合線の線路構成  
Cable system of the Sakuragaoka-Ochiai line

とが目的であり、加熱温度も低く短時間で充分である。

このように、電気特性向上の要素として採用した材料自体が施工性を向上させたと言える。

### 5.2 施工日数の短縮

RMJは、従来から実績のあるTJに新規材料の採用・施工方法・構造の改良を加えることにより施工時間を短縮することが可能となった。TMJと比較したRMJの施工工程を表4に示す。

RMJでは3相当り計14日で施工可能であり、施工日数ではTMJ比で約70%を達成している。RMJの加熱工程が3相同時に行っているのに対し、TMJでは内導モールド及び架橋等の加熱工程を個別に行っていることが特徴的に見てとれる。また、TMJの架橋工程には昼夜連続での作業も含まれており、これを1施工班当たりの総接続時間で比較すると表5のようにTMJ比で約58%となる。コストダウンもさることながら施工者の負荷軽減への効果も大きい。

実線路施工に当たっては、マンホール両壁面に配置された2回線を連続施工することで準備・片付け作業を効率化し、6相当り24日間で組立てを実施した。(写真3～5)

### 5.3 Value Engineering

効率化の時代の要求に従い、一定の品質性能を満たしたうえでコストダウンが可能となる製品への開発要求は大きい。本RMJは、接続方法の改良に始まり施工方法・施工時間の効率化へとつながる画期的な開発と言える。従来TMJとのコスト比率例を表6に示す。

## 6. 線路概要

桜ヶ丘落合線は、多摩ニュータウンの電力需要増加に対応する線路である。この線路概要図を図10に示す。ケーブル布設形態に対して許容電流に応じた最適サイズが選定されており、1600, 2000, 2500 mm<sup>2</sup>の組合せとなっている。なお、1600 mm<sup>2</sup>の接続部には従来通りTJが採用されている。

## 7. まとめ

多くの実績を持つTJに改良を加え、より安定した耐電圧特性を有する接続部を開発した。

超薄肉テープに加熱を施した新型接続部により、以下を実現した。

- 1) 現地施工時間の大幅な縮小
- 2) 耐電圧特性、部分放電開始電圧の向上
- 3) 現地施工機材の縮小、施工性の向上

最後に本RMJの開発並びに本線路建設にむけて御指導御鞭撻を頂きました東京電力株式会社の関係各位の皆様へ深く感謝申し上げる次第である。

## 参考文献

- 1) 松井俊哉, 中出雅彦:154kV コンパクトCVケーブルの開発研究, 平成10年度電力技術研究所報, 東京電力株式会社, (1999), 32
- 2) 田中悟, 栗原弘明, 松井俊哉, 中出雅彦:154kV コンパクトゴム絶縁型接続部の開発, 平成11年電気学会電力・エネルギー部門大会, 社団法人 電気学会, (1999), 337
- 3) 倉持太郎, 小林重之, 田中悟, 栗原弘明:66kV ゴムテープモールド型直線接続部(RMJ)の開発と実線路初適用, 日本電気協会第78回通常総会研究発表会論文集, 社団法人 日本電気協会, (1999), 70
- 4) 電気協同研究 第51巻 第1号, 社団法人 電気協同研究会, (1995)