

合理化した施工方法による275-kV PJの納入

Supply of Prefabricated Joints for 275-kV XLPE Cables Employing Rationalized Jointing Procedures

安部俊介*
Shunsuke Abe

角 芳夫*²
Yoshio Kaku

横溝 直*²
Sunao Yokomizo

品川展行*³
Nobuyuki Shinagawa

後藤伸一*³
Shin-ichi Gotoh

栗原弘明*³
Hiroaki Kurihara

河野英昭*⁴
Hideaki Kawano

概要 エポキシユニット型プレハブジョイント(PJ)は近年CVケーブルの超高圧線路にも適用されてきており、既に275 kV級では関西電力(株)殿小曾根支線、九州電力(株)殿西福岡赤坂線で実線路で使用されている。これら線路におけるPJ組立てでは、ヒューマンエラーの排除と施工品質の安定化を目的に開発された機械化工法が適用されたが、一方で当初開発品はハンドリングが悪いという問題があり、現地施工時間を多く費やしていた。筆者らは、現地施工時間の短縮、コスト低減を目的にPJ組立て工法の合理化を検討し、機械のコンパクト化とハンドリングの容易性、ケーブル表面検査方法、環境管理を見直し、この機械化工法を実線路に適用し、施工時間の大幅短縮等の成果を得て、無事工事を終了した。

1. はじめに

CVケーブルは汎用化の一途をたどっているが、近年154 kV ~ 500 kV級の超高圧長距離線路にも適用されるようになってきている。これら長距離線路には中間接続部が必須であり1981年にはテープ巻き型モールドジョイント(TMJ)を適用した154 kV線路が完成し、1989年には押し出し型モールドジョイント(EMJ)を適用した275 kV線路が完成しており、1999年には500 kV実線路にEMJが適用され完成している。これらMJはケーブルに最も近似した製品を目標に開発され、補強絶縁部のXLPEを現場でモールドするために性能が優れている反面、連続施工時間が長かつ複雑な施工管理が必要という特徴を有している。また近年、道路事情等で施工時間が制約されるとともに、事故時の早期復旧の必要性より施工時間短縮化が強く要請されていた。これらの問題を解消すべく開発されたのがPJであり、PJは主絶縁部品をはじめほとんどの部品が、十分品質管理された工場であらかじめ製造、検査された部品を施工現場で組み立てるだけで完成できるという特徴を有している。1990年にはこのPJを適用した154 kV線路が完成している。その後275 kV級PJが開発され、同時にヒューマンエラーの排除と施工品質の安定化を目的とした機械化工法を開発し、1995年には関西電力(株)殿小曾根支線275 kVに、1997年には九州電力(株)殿西福岡赤坂線220 kVにこの工法採用したPJを

納入した。筆者らはこの機械化工法の施工品質は維持しつつ、現地施工時間の更なる短縮とコスト低減を目的とした機械化工法の検討を行い、外導削り機の改良やケーブル表面検査方法等を見直した。このたび関西電力(株)殿三宮線においてこの機械化工法を採用し、1999年に無事納入した。また、ケーブル接続作業では、PJ施工時間を大幅に短縮することができた。本報ではこの275-kV PJ機械化工法の実線路納入の概要について報告する。

表1 三宮線の概要
Outline of Sannomiya line

線路名	三宮線	
号線	2号線	3号線
区間	自:神戸変電所No.3TW 至:三宮変電所	
電圧	275 kV	
回線数	2回線	
恒長	架空送電線: 0.6 km 地中線送電線: 7.9 km	
送電容量	380 MW/CCT	
ケーブル	管路区間: CSZV 1 × 1500 mm ² 1 × 2000 mm ² 同洞区間: CSZV-F 1 × 2000 mm ²	
接続	IJ 48組 NJ 18組 NNJ 24組 EB-A 6組 EB-G 6組	

* 電力事業部 地中線技術部 施工技術課

*² 電力事業部 地中線技術部 保全課

*³ 電力事業部 電力技術部 第二技術課

*⁴ 電力事業部 地中線部 大阪地中線事務所

ルート																	
変電所 MH名	三宮	DX04	到達立坑	C305	C304	C303	C302	C301	CX37	CX36	CX35	CX34	CX33	CX32	CX31	CX40	神戸 No.3 TW
接続種	EBG	NNJ	IJ	NNJ	NNJ	IJ	NNJ	NJ	IJ	IJ	NJ	IJ	IJ	NJ	IJ	IJ	EBA
区間長 (m)	560	500	408	304	356	257	535	568	659	542	542	661	542	542	497	442	
工区	第2工区 (約2,920 M×2回線) 古河電工施工区								第1工区 (約5,000 M×2回線)								
ケーブル種別	CSZV-F 2,000 mm ²		CSZV 2,000 mm ²		CSZV 1500 mm ²								CSZV-F 1,500 mm ²				

図1 三宮線の線路構成
Cable system of Sannomiya line

表2 ケーブルの構造表
Construction table of cable

公称電圧	kV	275	
線芯数	-	1	
公称断面積	mm ²	1500	2000
導体		分割圧縮円形	
形状	-	分割圧縮円形	
外径	mm	46.6	53.8
内部半導電層厚さ	mm	2.0	
絶縁体厚さ	mm	23.0	
絶縁体外径	mm	96.6	103.8
外部半導電層厚さ	mm	1.0	
クッション層厚さ	mm	1.0	
ワイヤー径×本数	約mm×本	2.0×80	
押さえテープ厚さ	約mm	3.0	
ステンレス被			
片側クリアランス	約mm	0.5	
厚さ	約mm	0.8	
防食層厚さ	mm	5.0	
ケーブル外径	約mm	132	142
概算重量	約kg/m	30	35
直流最大導体抵抗	/km	0.0124	0.00933
静電容量	μF/km	0.23	0.26
絶縁抵抗 (絶縁体) (20)	M・km	3000	2500
絶縁抵抗 (普通防食層) (20)	M・km	10	10
絶縁抵抗 (高難燃防食層) (20)	M・km	-	1

2. 線路概要

三宮線は神戸市中心部（三宮）及び周辺地域の電力需要増加対策として新設された三宮変電所に電力供給する重要線路であり、電圧275 kVの架空並びに地中線の併用線路である。線路概要は表1及び図1に示すとおりである。

当社は図1に示すようにC301人孔から三宮変電所までの

表3 接続箱の特性
Properties of PJ

項目	性能
開閉インパルス耐電圧	±925 kV・3回
雷インパルス耐電圧	±1590 kV・3回
商用周波長時間耐電圧	610 kV・12時間
部分放電	第1ステップ: 220 kV 5 pC以下 第2ステップ: 310 kV 30 pC以下 第3ステップ: 220 kv 5 pC以下
直流耐電圧	-500 kV・1時間
シース雷インパルス耐電圧 (常温)	
遮蔽層-大地	-50 kV・3回
遮蔽層間-大地	-50 kV・3回

2.92 km区間7スパン2回線で、C301～C304及びC304～DX03までの管路区間に275 kVステンレス被CVケーブル（CSZV）それぞれ1×1500 mm²、1×2000 mm²を、DX03～三宮変電所までの同洞区間に防災シース仕様のCSZV-F 1×2000 mm²を総合計約6.0 kmと中間接続部としてPJを42相（C301～DX-04、IJ 12相、NJ 30相）、三宮変電所に終端接続部として完全乾式型EB-Gを6相納入施工した。この275 kV用完全乾式EB-Gは関西電力（株）殿へは初納入である。

3. ケーブルの構造.

ケーブルの構造は、小曾根支線と同様、厚さ23 mmのステンレス被ケーブルであり、その構造は表2に示すとおりである。

4. PJの構造と性能

4.1 形状寸法

三宮線新設工事に先立ち、275 kV用としては世界初のプレハブ型接続箱の線路となる小曾根支線（関西電力（株）殿）へも納入しており、ケーブル導体サイズも1500 mm²では同一、2000 m²でも外径が大きく変わらないことから外觀形状寸法はそれと同一仕様でまとめている（図2）。プレハブ型接続箱は、

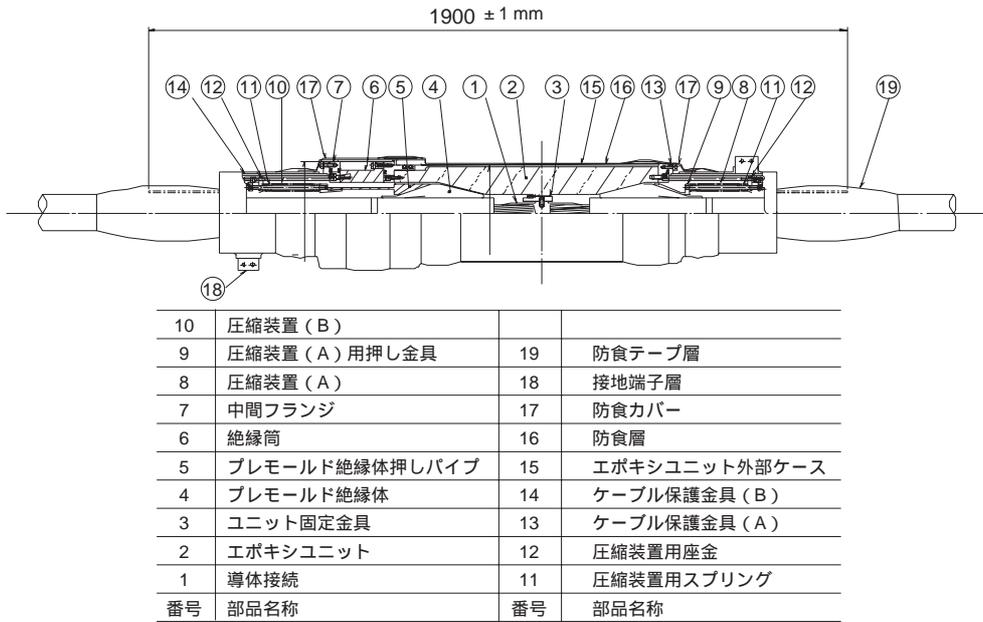


図2 275-kV PJの構造寸法
Prefabricated joint of 275-kV XLPE cable

終端接続箱と同じようにプレモールド絶縁体をはじめとする付属品内径を若干変更することで、ケーブル径の変化に対応することが可能である。本三宮線のようにケーブルのサイズが異なっても（若しくは異径接続箱であっても）ある範囲内で同じ外観寸法内に収納することができる。

4.2 電気特性

小曾根支線納入前に長期性能を含む諸特性の検証が充分に行われた。ケーブル導体サイズアップ（2000 mm²）に伴うプレモールド絶縁体立上り部の電位傾度（以下ストレス）増加は、ストレス比で約3%弱にとどまっている。性能確認のための初期試験（及び破壊試験）結果も良好であった。

表4 自走式外導削り機の仕様
Specification of outer semi-con shield removing machine

切削方式	扱い方式
切削基準	ケーブル外導表面より一定厚で削る
仕上がり表面粗さ	約17 μm (鏡面処理後は3 μm以下)
寸法	420 × 350 × 450 (mm)
重量	約19 kg (本体)
作業時間 (1端末)	約55分 (セット調整, 撤去含む)

5. PJ組立て工法の合理化

5.1 自走式外導削り機の開発

専用機械によるケーブル外部半導電層の除去作業はヒューマンエラーの防止の観点より小曾根支線建設時から採用してきた。小曾根支線で使用した外導削り機は寸法、重量とも非常に大きく専用の架台を必要とする構造であり、また切削方式の構造によりケーブルにセットし調整する作業が困難であり、1日の作業でケーブル2端末の処理が限界であった。これらの作業上の難点を一掃し、コンパクトで軽量、かつ専用架台を必要としない構造（自走式）でケーブルへのセット調整作業が極めて容易な外導削り機の開発に成功し、三宮線に使用した。（写真1）

自走式外導削り機を使用した結果、外導削り作業時間は従来の1/2以下となり、また外導削り以降の作業スペースに影響を与えていた専用架台を同作業時に設置する必要がなくなったこ



写真1 自走式外導削り機
Removing outer semi-con shield by machine

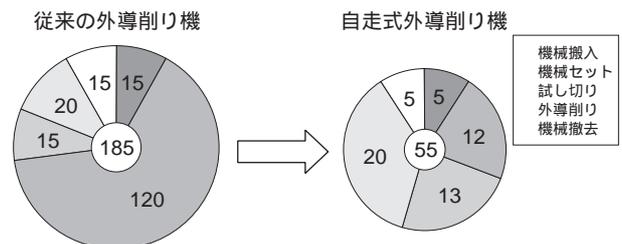


図3 外導削り作業時間
Time schedule of removing outer semi-con shield

とで、従来各相作業であった次工程の外導モールドが3相同時作業可能となった。更に本機は、終端接続部での垂直方向の上下どちらの向きの外導削りにも対応できる。(表4)

これによる作業時間短縮効果もあり、PJ組立て作業の作業効率が大幅にアップした。(図3)

5.2 絶縁体表面検査方法の見直し

PJはそれを構成する主な部品を工場であらかじめ製造、検査し、施工現場ではこれらの部品を組み立てるだけで必要な絶縁性能をもつ接続部が形成される。このため施工面ではケーブル及び各部品の界面形状の適正を確保すること、異物を入れない管理とそれを見出し、排除することが重要となる。小曾根支線では将来の500 kV用PJの実用化を見越して、ケーブル絶縁体の傷、異物の検出作業は、CCDカメラを搭載した自動表面検査装置で行っていた。しかし今回三宮線では、傷、異物の検出レベルを見直し、275 kV線路として、適正でかつ余裕がある管理値を設定し、これを見出せる検査手法として、押し出し型モールドジョイント(EMJ)の表面検査でも実績のある平行光線を使用する表面検査方法を適用した。(写真2)また本表

面検査方法の適用に当たっては、平行光線を使用して目視で検出できる傷、異物の大きさの限界を把握する実験を行い、三宮線での管理値(傷: 160 μ m, 異物: 200 μ m)が確実に検出できることを確認した。

5.3 組立て環境の見直し

マンホール人孔内における界面形成作業時の環境を図4に示す。クリーンルームの設置とその管理は、外導モールド、組立ての重要な作業工程(界面形成作業)とし、管理値はクラス30万以下とした。外導削り作業以降の前記工程以外は、サブルーム内作業と位置づけ、湿度管理のみとし、組立て環境の合理化を図った。従来の組立て環境は3層におよぶクリーン管理を行っていたが、前記のとおり管理異物の大きさを、275-kV PJに適正な値に見直したことで、クリーンルーム内への異物持込み防止に重点をおいたことで、今回の組立て環境が適用できた。

5.4 鏡面処理の合理化

500-kV PJの適正化検討が進み、加熱工程と表面粗さの関係の見解が得られてきたことで、三宮線では、従来外導削り後に実施していた鏡面処理(ケーブル絶縁体表面の平滑化)を次工



写真2 平行光線によるケーブル表面検査
Inspection of cable surface



写真3 PJ組上がり状況
View of PJ on site

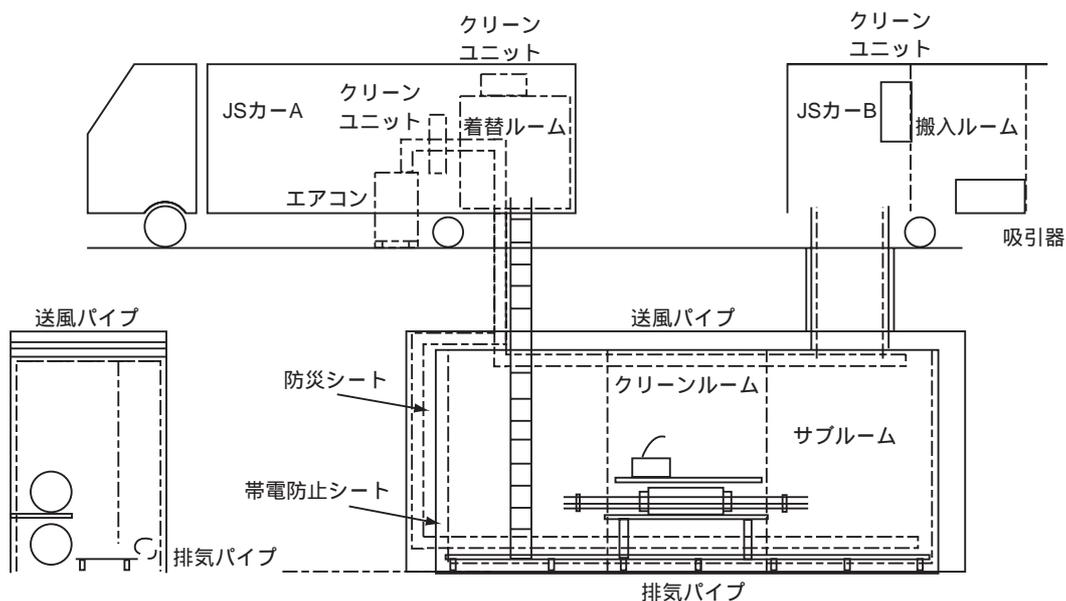


図4 組立環境の構造
Structure of clean room at job site

表5 施工工程の比較
Comparison of jointing procedure

工程	作業内容	従来工法(1回線)	合理化工法(1回線)	三宮線(2回線同時施工)
	準備作業	-	-	1日(6相一括)
1	ケーブル曲取り	1日(3相一括)	1日(3相一括)	2日(6相一括)
2	ケーブル仮切断 防食層剥ぎ取り	1日(3相一括)	1日(3相一括)	1日(6相一括)
3	ケーブル直出し	1日(3相一括)	1日(3相一括)	2日(6相一括)
4	サブルーム設置	2日(3相一括)	1日(3相一括)	2日(6相一括)
5	外導削り ケーブル本切断	3日(1相/日)	2日(3相一括)	3日(6相一括)
6	クリーンルーム設置 鏡面処理 絶縁体表面検査	3日(1相/日)	-	-
7	クリーンルーム設置 絶縁体表面検査 外導モールド	3日(1相/日)	3日(3相一括)	4日(6相一括)
8	組立用架台設置 IIスリーブ圧縮 NJ遮蔽処理 組立準備	3日(1相/日)	3日(1相/日)	6日(1相/日)
9	クリーンルーム設置 組立	3日(1相/日)	3日(1相/日)	6日(1相/日)
10	スプリング設定 防食処理	3日(1相/日)	1日(3相一括)	2日(6相一括)
11	資機材搬出 付帯作業	2日(1相/日)	1日(3相一括)	3日(6相一括)
	計	25日	17日	32日

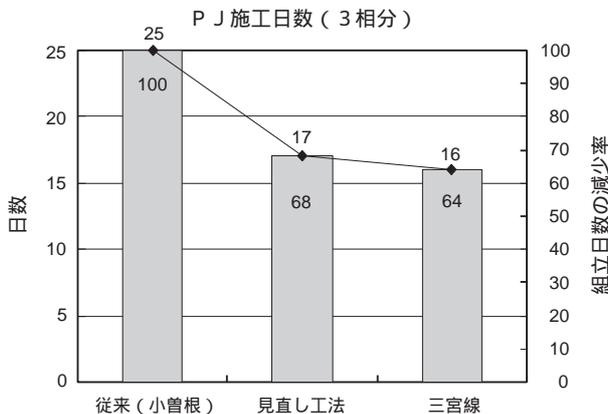


図5 275-kV PJ施工日数の比較
Comparison of jointing cost for 275-kV PJ

程の外導モールドと兼ねる工法とし、作業の効率化を図った。
この結果、3日/回線の作業時間短縮が実現できた。

6. 合理化工法によるPJ施工日数

前記したPJ施工方法の合理化により、従来工法に比べ、8日の施工日数の短縮が可能となった。

従来工法と比較した合理化工法の作業日数及び三宮線での実績(標準マンホール)を表5に示す。また三宮線は2回線同一人孔の施工であったため、これの効果もあり、外導削り及び外

導モールドで更に1日ずつ作業日数短縮が実現でき、実質的には16日/回線(標準マンホール人孔作業)のPJ施工が達成できた。なお、PJの組上がり状況は写真3に示すとおりである。

7. おわりに

関西電力(株)殿小曽根支線での275-kV PJ建設を初めに、九州電力(株)殿西福岡赤坂線220-kV PJの納入を経て、これらの経験を踏襲した275-kV PJ合理化工法を適用し、今回三宮線275-kV PJを納入した。三宮線で適用したPJ組立て工法は、PJ開発当初の目的である、施工時間が短かつ施工管理が容易な中間接続箱としてのメリットに大きく近づくものであり、安定した施工品質を維持できる工法であったと考える。

最後に本275-kV PJ合理化工法の開発並びに本線路の建設にあたり御指導、御協力を多分に頂いた関西電力(株)殿及び社内関係各位に深く感謝申し上げる次第です。

参考文献

- 1) 藤井, 神野他: 154kV CVケーブル用プレハブ接続箱の開発, No.84, (平成10年7月)
- 2) 福原, 中林他: 275kV プレハブジョイントの実線路納入No.97 (平成7年7月)