

# 耐食性絶縁水平パイプを用いた電車線支持装置の開発

白木 理倫\* 菅原 淳\* 松村 周\*  
池田 遼平\*\*

Development of Anti-Corrosive Supporting Equipment of OCL Using Insulated Horizontal Pipe

Tadanori USUKI Atsushi SUGAHARA Itaru MATSUMURA  
Ryohei IKEDA

The authors developed anti-corrosive supporting equipment for overhead contact lines using an insulated horizontal pipe with improved corrosion resistance. The supporting equipment can be used not only in narrow-sectional tunnels but also in open sections where it is desired to improve electrical insulation capability. This report outlines the details of the pipe developed, and the results of the bench test and the field test of the supporting equipment.

キーワード：絶縁水平パイプ，電車線支持装置，耐食性，狭小トンネル，耐滑り荷重

## 1. はじめに

非電化線区を電化する場合、建設時に架空電車線の設置スペースを考慮していない、いわゆる狭小トンネルに対応する特殊な電車線支持装置が必要になる。開業時期が古い海岸沿いの非電化線区には、短い狭小トンネルが点在することが多い。そのようなトンネルに設置される電車線支持装置は、絶縁を確保するための沿面距離に余裕を持たせることが困難である。一方で、こうしたトンネル内に設置される電車線支持装置は、海塩粒子を含んだ風の吹き込みやトンネル漏水による汚損を受けるにもかかわらず降雨による雨洗効果がなく、絶縁および腐食に関して非常に厳しい環境に置かれる。

今回開発した耐食性電車線支持装置は、従来の絶縁水平パイプに代え、新たに開発した耐食性絶縁水平パイプを適用することで従来よりも耐食性能を高めた電車線支持装置である。絶縁水平パイプは鋼の丸棒をFRPで被覆した構造であり、限られたスペースで絶縁のための沿面距離を確保している。この方式は、紀勢本線新宮～和

歌山間の電化（1978年供用開始）にあたって開発されたものである。その一例を図1に示す。しかしながら従来の絶縁水平パイプは、FRPの劣化により絶縁性能が低下する課題があった。そこで、新たにSheet Winding法を適用することで、FRPの劣化を抑え、腐食環境下でも表面に汚損物質が堆積しにくく絶縁性能の維持が可能な耐食性絶縁水平パイプを開発するとともに、これを適用した耐食性電車線支持装置を開発した。

## 2. 耐食性絶縁水平パイプの開発

絶縁水平パイプ自体の開発については文献1)にて報告済であるが、本稿で報告する電車線支持装置の重要な構成要素であるため、文献1)の一部を以下に再掲する。

「絶縁水平パイプの耐食性能を向上させるため、浮上式鉄道において地上コイル締結用ブッシュへの適用を目指して開発された耐久性の高いFRP筒形材を絶縁水平パイプに適用することとした。本FRP筒形材は、Sheet Winding法により製造されることが大きな特徴である。Sheet Winding法は、強化繊維（ガラス繊維やカーボン繊維）に樹脂を含ませたシート（プリプレグという）を金型（金属棒）に巻き付け、加熱成形してFRPパイプを製作するものである。積層回数や積層する材質、繊維の方向等をコントロールすることにより、さまざまな寸法、形状、特性のFRPパイプを製作することが可能である。本開発においてはまず1次試作を行い、その結果を踏まえ2次、3次試作を行い、構造を決定した。構造を図2に、仕様を表1に示す。課電暴露試験の結果を踏まえ、パイプの表面状態も良好で、漏れ電流測定を行い良好な結果を得た3次試作品を耐食性絶縁水平パイプの最終的な提案品とした。」

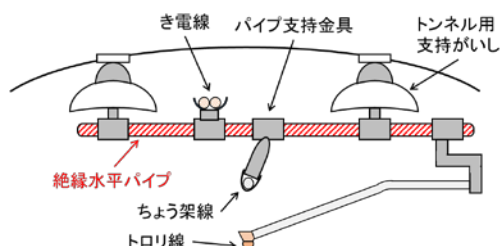


図1 絶縁水平パイプを用いた狭小トンネル用電車線支持装置の例

\* 電力技術研究部 集電管理研究室

\*\* 浮上式鉄道技術研究部 電磁システム研究室

特集：電力技術

3. 耐食性電車線支持装置の性能確認試験

耐食性電車線支持装置には、絶縁水平パイプの3次試作品を用いることとし、電車線支持装置としての性能確認の定置試験を実施した。試験では、従来の絶縁水平パイプの要求仕様を満たすことを確認することとしたが、耐滑り荷重に関する仕様が存在しなかったため、仕様値を検討の上で耐食性電車線支持装置の構造を決定した。その上で試作品を製作して、その性能確認試験を実施した。

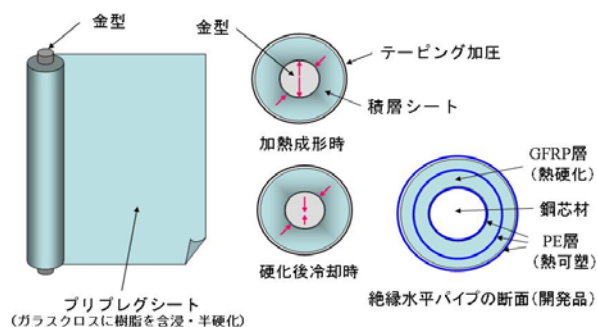


図2 試作絶縁水平パイプ提案品の構造<sup>1)</sup>

3.1 耐滑り荷重仕様値の検討

在来線用可動ブラケットの設計では、トロリ線およびちょう架線の標準張力の1.2倍を最大張力とし、最大張力に基づき横張力の設計荷重を求めている。耐食性絶縁水平パイプの設計荷重算定にあたってはこれに準じた。なお、風圧荷重は甲種とした。

耐食性絶縁水平パイプの耐滑り荷重(仕様値)を決定するにあたり、3つのモデルケースを検討した。ケース1および2は、従来の絶縁水平パイプが導入されている線区のトンネル区間を想定し、ケース3は一般的な明かり区間を想定した。3つのモデルケースについて、それぞれ電車線による横方向荷重、き電線による横方向荷重を検討した結果、ケース1の横方向荷重は8.0kN、ケース2は6.4kN、ケース3は5.6kNとなった。そのうち最大の横方向荷重であったケース1の8.0kNを、パイプと支持金具間の耐滑り荷重の仕様値とした。

3.2 耐食性電車線支持装置の要求性能

開発する電車線支持装置の要求性能を表2に示す。耐滑り荷重は3.1節の検討結果によるもので、それ以外は従来の絶縁水平パイプの仕様値に準じた。

表1 試作した絶縁水平パイプの仕様<sup>1)</sup>

		1次試作品	2次試作品	3次試作品
寸法		φ 34mm × 長さ 1010mm		
製法		Sheet Winding 法		
成構層	心材	一般構造用圧延鋼材 (SS400)		
	内層	GFRP	PE	PE
	↓	PE	GFRP	GFRP
	↓		PE	PE
	↓		GFRP	GFRP
外層		PE	PE	
最外層処理	2次硬化処理	PE層のみ	硬化前のパイプにシュリンク処理(同時加工)後、シュリンクチューブ除去	
端部処理	エポキシ系接着剤による封止	GFRP円柱とエポキシ系接着剤による封止	GFRP円柱とエポキシ系接着剤による封止	
色	群青色	薄緑色	薄緑色	
試作のねらい	絶縁水平パイプ製作へのSheet Winding法の適用検討	最内層と中間層にもPE層を配置し心材への遮水性強化	硬化前のテーピングによる凹凸を減らすため、熱収縮チューブによる一体成型の適用	

表2 耐食性電車線支持装置の要求性能

項目	仕様値	試験方法
機械特性	把持力	8.0kNの引張荷重で支持金具が滑らないこと
	曲げ剛性	368N/mm以上
物理特性	耐水性	芯材と補強材の海面に水分が浸入しないこと
	耐ヒートサイクル	
電気特性	耐電圧	2.25kV以上

### 3.3 性能確認試験

#### 3.3.1 絶縁水平パイプ支持金具の耐滑り荷重試験

耐食性絶縁水平パイプを支持するにあたり、パイプ表面に絶縁性能や耐食性低下のきっかけとなり得る傷をつけないこと、パイプ～支持金具間の摩擦係数を大きくすることによって所定の耐滑り荷重を確保することを目的として、耐食性絶縁水平パイプ支持金具の内面にクロロブレンゴム系溶剤形接着剤でクロロブレンゴム（厚さ1mm）を貼り付けた構造を提案した。試作した金具の構成を図3に示す。また、これまでは金具取付のためのM12用ナット締付の際にトルク管理が行われていなかったが、パイプ～金具間にクロロブレンゴムを挿入したことにより、締付度合いのばらつきが懸念されることから、T系列の標準締付トルクである42N・mで締め付けることとした。なお、開発した電車線支持装置では耐食性絶縁水平パイプを金具2個で支持することとし、締付トルクを規定したことから、金具1個あたり4kNの滑り荷重に安定して耐える金具の製作を目指した。

金具の耐滑り荷重試験時の支持金具部の様子を図4に示す。試作した金具は、安定して4kNの耐滑り荷重を保持することを確認した。

#### 3.3.2 静荷重試験

650mmの間隔で支持する耐食性絶縁水平パイプの中心に、試験荷重0.69kNを載荷した時のパイプの曲げ剛性が368N/m以上であることを確認する。その後、2倍



図3 試作絶縁水平パイプ提案品の構造



図4 耐滑り荷重試験（支持金具部拡大）

の試験荷重1.37kNを載荷し、パイプ表面に著しい凹凸、ひび、欠け、ゆがみ、縮み、層ふくれ、変色等の欠陥がないことを目視により確認する。今回試験に供したパイプの長さは800mmである。

試験の結果、図5に示すように所期の剛性を有していることを確認した。また、試験後の試料表面に異状がないことを確認した。

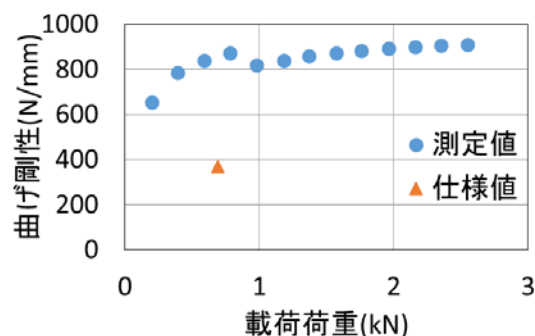


図5 静荷重試験結果

#### 3.3.3 煮沸試験

絶縁水平パイプを90～100℃の1%食塩水中に入れ、100時間浸漬する。試験後、端部シール材に剥離等の異常の有無を目視で確認する。その後、パイプを浸透液（0.1%のフクシン液）の中に20分間浸漬後、浸透液から取り出し、パイプの片端を100mm長さに切断後、長手方向に半割して芯材と補強材との界面に浸透液が浸透していないか目視で確認する。

試験の結果、芯材と補強材との界面への浸透液の浸透がないことを確認した。また、図6に示すように、端部に異状がないことを確認した。

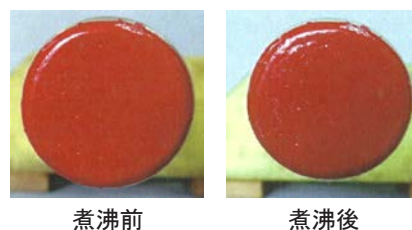


図6 煮沸試験前後の端部の状況

#### 3.3.4 冷熱サイクル試験

絶縁水平パイプに対し、-20℃を2時間保持→2時間かけて80度まで昇温→80℃を2時間保持→2時間かけて-20度まで降温→-20℃を2時間保持→・・・のサイクルを3回繰り返す。試験後、端部シール材における剥離等の異常の有無を目視で確認する。その後、パイプを浸透液（0.1%のフクシン液）の中に20分間浸漬後、浸透液から取り出す。次に試料の片端を100mm長さに切断後、長手方向に半割して芯材と補強材との界面への浸

特集：電力技術

透液の浸透有無を目視で確認する。なお、試料は煮沸試験を実施したものを使用した。

試験後、図7に示すように、浸透液が芯材と補強材の界面に浸透していないことを確認した。

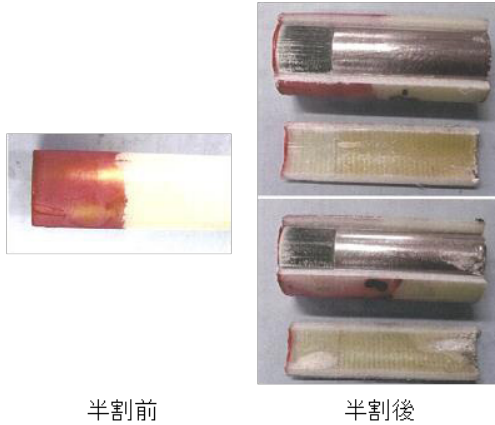


図7 冷熱サイクル試験後の芯材と補強材の界面の状況

3.3.5 耐電圧試験

乾燥した絶縁水平パイプ中央部に100mm間隔の電圧印加点を設ける。ここに試験電圧である直流または交流2.25kVをその50%から徐々に上昇させて加え、安定してから10分間印加電圧を保持できることを確認する。また、試験前後で絶縁抵抗計による絶縁抵抗を測定し、顕著な差がないことを確認する。

試験は交流電圧の印加を行い、その結果、交流2.25kVの印加を10分間保持できることを確認した。この時の漏れ電流は0.02mAであった。試験前後の絶縁抵抗値はどちらも無限大で、異常がないことを確認した。

4. 現地架設試験

4.1 試験状況

ある鉄道事業者において、通常は亜鉛めっき鋼製中空パイプを用いるところ、電車線路の循環電流対策として耐食性絶縁水平パイプを適用した電車線支持装置の適用が検討された。今回開発した耐食性電車線支持装置は、狭小トンネル用に開発したものであるが、検討された電車線支持装置と基本的な構造は変わらない。そこで、開発した耐食性電車線支持装置の性能検証のため、在来線直流区間5箇所（明かり区間）の支持点に試験架設を2017年8月に行った。本稿では、5箇所の支持点を柱A～Eと称する。現地架設試験の様子を図8に示す。柱Bのみだが、跨線橋下に位置する雨洗効果のない環境であり、その他は上空に支持装置を覆うような構造物がない、雨がかりのある環境である。

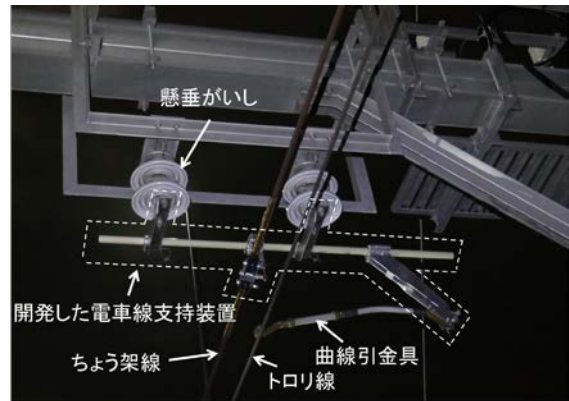


図8 現地架設試験の一例

4.2 現地追跡調査

追跡調査は計3回実施し、実施順に、追跡調査①、②、③と称する。

調査項目は、支持装置の外観調査、特に絶縁水平パイプ～ゴム～金具間のまくらぎ方向の滑り（位置ずれ）、および耐食性絶縁水平パイプを支持する2箇所のがいし支持金具間の絶縁抵抗測定である。絶縁抵抗計を用いて測定した絶縁抵抗測定箇所を図9に示す。全3回の追跡調査のすべてにおいて、耐食性絶縁水平パイプ表面が乾燥していたため、乾燥状態に加え、絶縁抵抗を測定する支持がいし間の絶縁水平パイプに霧吹きで水道水を噴霧して十分に湿らせた湿潤状態の2条件で測定を行った。ただし、絶縁抵抗測定は、絶縁水平パイプと支持がいしの間を絶縁して測定を行っていないため、絶縁水平パイプを支持するがいしの絶縁抵抗が並列に含まれている。

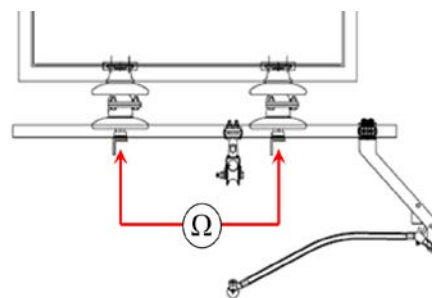


図9 追跡調査時の絶縁抵抗測定箇所

4.2.1 外観調査

追跡調査①において、柱Bおよび柱Cの絶縁水平パイプ表面に小さな傷を認めた。その様子を図10に示す。この傷は架設工事に伴うものか、架設期間中についたものか、発生原因を特定することはできなかった。ただし、その後の追跡調査において、傷の大きさや状態に変化がないことを確認した。また、全ての支持金具には、通常見られる亜鉛めっきの腐食以外の特筆すべき異常がないことを確認した。

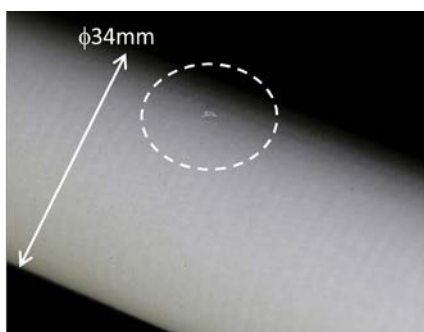


図10 絶縁水平パイプ表面の小さな傷(柱B)

#### 4.2.2 位置ずれ調査

位置ずれの調査の結果、追跡調査の範囲において、支持装置の各箇所的位置ずれは観察されず、まくらぎ方向の滑り荷重に対して十分耐えていることを確認した。

#### 4.2.3 絶縁抵抗測定

絶縁抵抗測定結果を表3に示す。絶縁抵抗が最も小さかったのは追跡調査③、柱Bの250MΩ(乾燥・湿潤とも)であった。耐食性絶縁水平パイプの開発時に塩害実験所で行った直流3000V加圧暴露試験時の最大漏れ電流は5mAであったが、パイプ表面に異常は認められなかった。この時の絶縁抵抗測定間隔0.5mにおける抵抗値は3000(V)/5(mA)=0.6(MΩ)である。今回試験架設した耐食性絶縁水平パイプを支持するがいしの間隔は最大で1.5mであるため、 $0.6(MΩ) \times (1.5(m)/0.5(m))=1.8(MΩ)$ を今回の測定条件における現地での絶縁抵抗目安値とした。開発した電車線支持装置取付時の絶縁抵抗は、乾燥状態300MΩ、湿潤状態250MΩであり、初期からの変化量が少ないことから、使用に伴う絶縁低下の影響は小さいと判断できる。また、今回の測定の範囲において最低でも250MΩと、目安値よりも2桁大きい絶縁抵抗値であるため、開発した耐食性電車線支持装置は追跡調査の期間において絶縁性能に異常がないことを確認した。

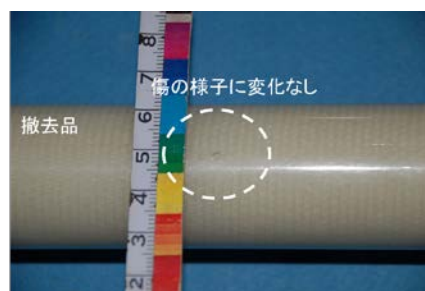
#### 4.3 撤去品調査

2018年1月に耐食性絶縁水平パイプを撤去し(暴露期間約半年)、詳細調査を行った。撤去したのは、全追跡調査において絶縁抵抗が最も小さく、さらに追跡調査①で耐食性絶縁水平パイプ表面に小さな傷を認めた柱B

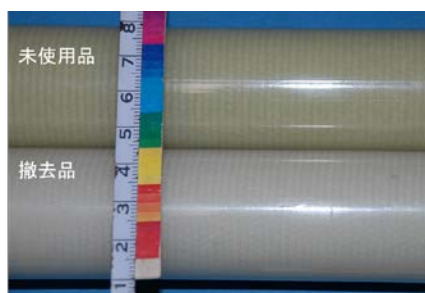
の1本である。調査項目は、外観調査および架設時にがいし支持金具が取付けられていた箇所間の絶縁抵抗測定(乾燥・湿潤)である。

#### 4.3.1 外観調査

外観調査結果を図11に示す。追跡調査①で認めた小さな傷に外観上の変化は認められなかった。また、未使用の耐食性絶縁水平パイプと比べ、パイプ表面のFRPが紫外線の影響を受け若干の変色が認められるものの、それ以外に大きな変状は認められなかった。



(a) 調査①で認めた小さな傷



(b) 未使用品と撤去品の外観比較

図11 撤去品外観調査

#### 4.3.2 絶縁抵抗測定

絶縁抵抗計で測定した、絶縁水平パイプ単体、測定間隔1.5mでの絶縁抵抗測定結果を表4に示す。比較のため、未使用の絶縁水平パイプの測定結果も併記する。その結果、絶縁水平パイプ自体の絶縁劣化は認められなかった。なお、現地から撤去した絶縁水平パイプ単体の絶縁抵抗が無大であったことから、表3柱Bの絶縁抵抗は、絶縁水平パイプだけではなく絶縁水平パイプを支持するがいしの絶縁抵抗の影響も受けたものと考えられる。

表3 追跡調査結果(絶縁抵抗測定)

絶縁水平パイプ	絶縁抵抗(乾燥)				絶縁抵抗(湿潤)			
	取付時 (2017/8/7翌)	追跡調査① (2017/9/28翌)	追跡調査② (2017/12/3翌)	追跡調査③ (2018/1/15翌)	取付時 (2017/8/7翌)	追跡調査① (2017/9/28翌)	追跡調査② (2017/12/3翌)	追跡調査③ (2018/1/15翌)
柱A	∞	∞	3000MΩ	700MΩ	∞	∞	2000MΩ	650MΩ
柱B	300MΩ	700MΩ	500MΩ	250MΩ	250MΩ	600MΩ	500MΩ	250MΩ
柱C	1400MΩ	∞	∞	2000MΩ	800MΩ	∞	∞	1600MΩ
柱D	2000MΩ	∞	2100MΩ	600MΩ	1800MΩ	∞	2100MΩ	500MΩ
柱E	1700MΩ	∞	1500MΩ	390MΩ	1300MΩ	∞	1400MΩ	390MΩ

※ x/y/z 翌とは、x年y月z日深夜を意味する

表4 絶縁抵抗測定結果

絶縁水平パイプ	絶縁抵抗	
	乾燥	湿潤
柱Bからの撤去品	∞	∞
未使用品	∞	∞

#### 4.4 開発品の現状

以上の現地試験により開発品に問題が無いことが確認されたため、柱Bを除く耐食性電車線支持装置は、そのまま本設備として使用している。また柱Bについても、撤去品の代わりに新たな耐食性絶縁水平パイプを取り付け、本設備としている。

### 5. おわりに

以前の研究開発において、浮上式鉄道の地上コイル締結用ブッシュへの適用を目指して開発された、耐食性の高いFRP筒形材を用いた耐食性絶縁水平パイプを開発した。今回はこの耐食性絶縁水平パイプを適用した耐食性電車線支持装置を新たに開発し、定置での性能確認試験および現地架設試験を行った。その結果は以下のとおりである。

- (1) 開発した耐食性絶縁水平パイプと、パイプとの接触面にクロロプレンゴムを貼りつけた支持金具と組み合わせることで、設定した耐滑り荷重の仕様を満たすことを定置試験により確認した。
- (2) 耐食性電車線支持装置を在来線直流区間へ試験架設し、約半年間の試験期間中に耐食性絶縁水平パイプを支持する金具の滑りや耐食性絶縁水平パイプの絶縁劣化は認められなかった。

以上のように、実用上問題となる異常がないことが確認できたため、本設備化して継続使用している。

### 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご協力をいただいた四国旅客鉄道株式会社、株式会社電業の関係各位に深く感謝し、紙面を借りて御礼申し上げます。

### 文献

- 1) 片山信一，白木理倫，松村周，鈴木正夫，太田聡：狭小トンネル用耐食性電車線支持物の開発，鉄道総研報告，Vol.26, No.6, pp.47-52, 2012