耐塩用トンネル支持がいしのフィールド試験

○〔電〕松原　貴治〔電〕久保　喜昭〔電〕延原　隆良(西日本旅客鉄道株式会社)
仮屋　弘　　喜多　守幸(株式会社日本ネットワークサポート)

The effect of field test developed the support insulator using at tunnel leakage current resistant.

Takaharu Matsubara, Yoshiaki Kubo, Takayoshi Nobuhara (West Japan Railway Company)
Hiroshi Kariya, Moriyuki kita (Nihon Network Support Co. LTD.)

In tunnel near by sea , the insulator using at tunnel (250T) is damaged by leakage current , because salt by a sea breeze stic to the insulator. At DC1.5kV , The support insulator get rusty because of electrolytic corrosion. If the worst comes to the worst, the insulator crack because of expansion of rusty at pin. Suspension Pulley (one of the contact line`s parts) made of nylon is damaged by leakage current due to phenomenon of tracking.

We report still in progress the effect of benchmark test and field test that developed the insulator using at tunnel support restraint of leakage current and one`s crack.

キーワード:耐塩用がいし、ポリマーがいし、シリコーンゴム・コーティング、漏れ電流
Keyword: pollution type insulator, polymer insulator, silicone coating , leakage current

1．はじめに

海岸近くのトンネル内は、雨洗効果がなく、潮風が吹き込みやすい通り道のため、汚損環境が著しく悪い。現在使用しているトンネル用支持がいし（250T）は、がいし表面が汚損湿潤すると漏れ電流が流れやすくなる。

直流電車線路（DC1.5kV）の場合、漏れ電流が流れると、電食でがいしピン部に錆が発生し、錆の体積膨張により、がいし磁器部の割れが発生することがある。また、電車線金具で吊架線支持滑車等の有機絶縁材料は、この漏れ電流でトラッキング(炭化通路)現象を発生させている。

そこで筆者らは、漏れ電流及びがいし磁器部の割れを抑制する、耐塩用トンネル支持がいしの開発に取り組み、試作・定置試験を経てフィールド試験を行っているので報告する。

2．開発の概要

2.1 背景

当社の在来線において、トンネル内の電車線路は、トンネル壁と建築限界外の限られた空間内で支持している。電車線の最低高さである4400㎜を確保するためにトンネル内電車線路支持装置が用いられている。

海岸近くのトンネル内の特徴として、降雨による「雨洗効果」がないことから、がいし表面に汚損物が堆積しやすく、汚損環境が著しく悪い。また、トンネル内は風の通り道になりやすく、通過列車で汚損物が運ばれやすいため、海塩、漏水などが列車通過で拡散され、かつ、太陽光が届かないことから、いつも湿潤している。現在、トンネル内の支持がいしは、250 ㎜支持がいし(250T)が用いられている。このがいしは、ヒダの出っ張りが小さいことから、汚損物がつきやすい。

がいし表面が汚損湿潤すると、がいし表面に漏れ電流が流れる。すると、課電側のがいしピン部は陽極作用により電食を受け、がいしピン部のメッキ層がなくなると母材のピン（鋳鋼）に錆が発生し体積膨張することにより、がいし磁器部の割れ現象が発生する。

また、シンチレーション放電によるトラッキングの発生条件は、0.8～1mAと言われている(文献1)。従って、電車線金具の有機絶縁物は1mA以上継続でトラッキング現象が発生し、これを繰り返すと炭化が促進され絶縁性がなくなるとともに機能が失われる。

2.2 開発の目的

これらの課題を解決するために、がいし表面の漏れ電流を1mA以下に抑制し、かつ、がいし磁器部の割れを抑制する、耐塩用トンネル支持がいしを開発することにした。

2.3 開発の手段

がいし表面の漏れ電流を 1mA以下に抑制する方策として、がいし構造としては、深ヒダ構造（約

100㎜）と撥水性を期待するポリマー化、表面改質としては、シリコーン・コンパウンド塗布とシリコーンゴム・コーティングがある。また、がいし磁器部の割れを抑制する構造として、懸垂タイプのがいしピン部に亜鉛スリーブの装着と磁器部の中実形がある。

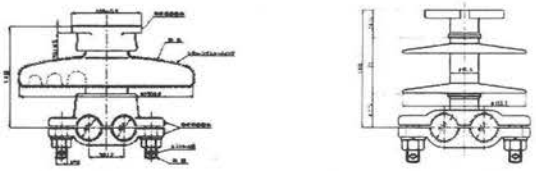
2.4 開発モデルの検討

各開発モデル（①～⑥）について、現行品（250T）と同等以上の性能を確保し、互換性、イニシャル及びランニング・コスト及び、がいし表面の漏れ電流を 1mA以下に抑制することを狙いとして検討した。

①漏れ電流抑制－がいし構造－深ヒダ構造
②漏れ電流抑制－がいし構造－ポリマー化
③漏れ電流抑制－表面改質－シリコーン・コンパウンド塗布
④漏れ電流抑制－表面改質－シリコーンゴム・コーティング
⑤がいし割れの抑制－がいし構造－懸垂タイプのがいしピン部に亜鉛スリーブの装着
⑥がいし割れの抑制－がいし構造－磁器を中実形

その結果、図 3 の「がいし構造の中実形＋表面改質のシリコーンゴム・コーティング」及び「シリコーンゴムを用いたポリマーがいし」の２者が適していることが判明した。

しかし、両者とも、雨洗効果の無いトンネル内で使用実績がないため、外被材の基礎試験を行い両者の優劣を調べることにした。



磁器中実がいし+ｼﾘｺｰﾝｺﾞﾑ･ｺｰﾃｨﾝｸﾞ　ポリマがいし（ｼﾘｺｰﾝｺﾞﾑ）

図１　開発モデル

３．外被材基礎試験

3.1 塩水注水における漏れ電流測定試験

形状要素および外被材の優位差をみるため、運転電圧の条件（DC1500V= AC1060V）で塩水（海水濃度の 3%）を吹き付けて、漏れ電流を測定した。

3.2 塩水注水における漏れ電流測定試験結果

新品の漏れ電流測定試験結果から、磁器がいし＋シリコーンゴム・コーティングとポリマーがいしは両者とも撥水性もあり、漏れ電流も 0.01mA 以下で期待値の１mA 以下であった。また、磁器がいしのみで表面処理をしていないものは、漏れ電流が 30mA で、シリコーンゴムに優位性がある。

表１　新品の漏れ電流測定試験結果

試料	漏れ電流	外観
磁器がいし＋ｼﾘｺｰﾝｺﾞﾑ･ｺｰﾃｨﾝｸﾞ	0.01mA	撥水性あり
磁器がいしのみ（表面処理なし）	30mA	撥水性なし
ポリマーがいし	0.00mA	撥水性あり

人工加速劣化試験終了品（3000h 後）を洗浄した後、再度、漏れ電流測定試験をした。両者を比較すると、ポリマーがいしの方が漏れ電流も小さく外被の撥水性も良い。

表２人工加速劣化試験終了品の漏れ電流測定試験結果

試料	漏れ電流	外観
磁器がいし＋ｼﾘｺｰﾝｺﾞﾑ･ｺｰﾃｨﾝｸﾞ	0.06mA	撥水性あり
ポリマーがいし	0.01mA	撥水性あり

3.3 外被材の人工加速劣化試験

IEC61109「公称電圧 1000V を超える交流送電用有機がいし－定義、試験方法、受入基準」の 5.3「ハウジングのトラッキング・エロージョン試験」を参照し、課電電圧 8.5kV（34.6 ㎜/kV）、試験時間 3000h で外被材の人工加速劣化試験を行った。

3.4 外被材の人工加速劣化試験結果

磁器がいし＋シリコーンゴム・コーティングは、1000h を過ぎるころから、がいし下面ピン周りの撥水性が失われた。2000h を過ぎると、漏れ電流も 1mA を超えた。ポリマーがいしは、胴部に劣化の兆候があるものの、3000h 後も撥水性は確認できた。また漏れ電流も時間の経過に伴い増加傾向にはあるものの、3000h 後でも 0.84mA と 1mA 以下であった。両者を比較すると、3000h 後では、ポリマーがいしの方が撥水性もあり、漏れ電流も 1mA 以下であったので、外被材としての優位性が確認できた。

表３　人工加速劣化試験結果

		磁器がいし＋ｼﾘｺｰﾝｺﾞﾑ･ｺｰﾃｨﾝｸﾞ	ポリマーがいし（ｼﾘｺｰﾝｺﾞﾑ）
1000h	漏れ電流	0.67mA	0.20mA
	外観等	撥水性なし、劣化兆候あり	撥水性あり、胴部劣化兆候あり
2000h	漏れ電流	1.20mA	0.58mA
	外観等	撥水性なし、劣化兆候あり	撥水性あり、胴部劣化兆候あり
3000h	漏れ電流	1.33mA	0.84mA
	外観等	撥水性なし、劣化あり	撥水性あり、胴部劣化兆候あり

４．開発モデルの選定・試作

外被材基礎試験の結果より、開発モデルはポリマーがいし（シリコーンゴム）の方が優れており、これを選定し試作を行った。

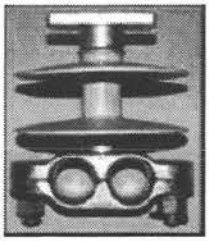


図２　試作した耐塩用トンネル支持がいし(P250T-S)

５．定置試験

試作した耐塩用トンネル支持がいし(P250T-S)について、定置試験を行った。定置試験結果は、全ての試験項目について仕様を十分満足しており、良好な結果が得られた。

表４　基本性能試験結果

試験項目		性能	試験結果	判定
構造・寸法(全高)		148±5 mm	147.8 mm	良
商用周波注水耐電圧		22kV-1分間	ﾌﾗｯｼｵｰﾊﾞ無	良
商用周波注水FO電圧		(参考)	33.5kV	—
雷インパルス耐電圧		80kV	ﾌﾗｯｼｵｰﾊﾞ無	良
50%雷ｲﾝﾊﾟﾙｽFO電圧		(参考)	117.5kV	—
引張耐荷重		3.3kN-1分間	破壊無し	良
引張破壊荷重		10kN以上	39kN	良
曲げ破壊荷重	線路直角	5 kN以上	10.3kN	良
	線路平行		13.0kN	良
表面漏れ距離		290 mm以上	296.2 mm	良
亜鉛めっき	上ｷｬｯﾌﾟ	500g/m²以上	706g/m²	良
	下ｷｬｯﾌﾟ		698g/m²	良
	線押え		706g/m²	良
	ﾅｯﾄ	350g/m²以上	504g/m²	良
塩水注水における漏れ電流測定		漏れ電流 1mA以下	0.01mA	良

６．現地(フィールド)取付

定置試験も良好な結果が得られたので、当社内でフィールド試験を行うために現地(フィールド)取付を行った。取付け場所は、当社内の中でも塩害の著しい和歌山県串本地区の、紀勢線　和深構内　西平トンネルに８箇所(がいし総数16個)取り付けた。

現地取付けは、既設のがいし取付用ベース金具は再用とし、がいし以下トンネル内電車線路支持装置を構成するすべてを取替えた。

取付けについては、全高寸法を148±5 mmと現行のトンネル支持がいし(250T)と同じ設計値としたので、架線の高さ等変更すること無く取り付けることができた。また、現行品(250T)の磁器がいし重量は約6.1 kgに対し、今回開発品(P250T-S)したポリマーがいし重量は約 2.6 kgと磁器がいしの半分以下となり作業性も改善され、トンネル支持装置を含む取替時間も約20%短縮することができた。

７．フィールド試験

フィールド試験は、各がいしにおいて、目視点検、撥水性調査、等価塩分付着密度測定(ESDD)を定期的に行うこととした。今回、取付半年後の結果を示すこととする。

表５　フィールド試験調査表

	周期	西平トンネル							
	(年)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
目視点検	1/4	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
撥水性調査	1/2					◎			
等価塩分付着密度測定	1/2	○		○					○
	1.0	○							○
	1.5				○			○	
	2.0		○		○			○	

◎はがいし２個、○はがいし１個

7.1 目視点検

目視点検は、今回開発品(P250T-S)のポリマーがいし及びトンネル内電車線路支持装置を含め行った。

目視点検項目として、がいし金属部の取付状態の良否、腐食・汚損・電食の有無、ボルト及びナット類の腐食・損傷・弛緩・脱落の有無、メッキ及び塗装の良否、がいし外被部の亀裂損傷の有無、漏水・ツララ等による支障の有無、トンネル内電車線路支持装置の水平主パイプ及び支持金具等の取付状態の良否、腐食・汚損・電食の有無、ボルト及びナット類の腐食・損傷・弛緩・脱落の有無について行った。

目視点検結果として、がいし金属部の表面に白錆が付着しているものの、取付状態等良好であった。がいし外被部の表面は、施工時に比べ汚れて湿潤していたが、裂け目及びエロージョン(導電性のない質量減少を伴う侵食)等は無く、良好であった。また、トンネル内電車線路支持装置の水平主パイプ(FRP)にトラッキング等は発生していなく、曲線引金具等の劣化も認められず、良好であった。

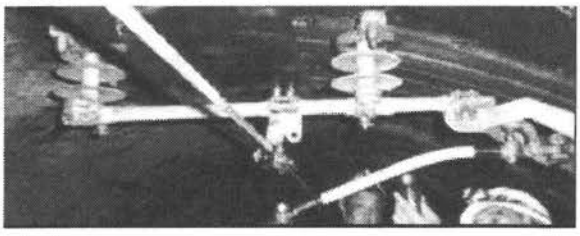


図３　目視点検

7.2 撥水性調査

がいし外被部に、霧吹きにより霧を吹き付け、その状態をＳＴＲＩ法で評価した。ＳＴＲＩ法では、撥水性が十分あるＨＣ１からＨＣ６まで６クラスに分かれている。

撥水性調査結果として、がいし外被の笠上は、ＨＣ５からＨＣ６の間にあり撥水性が低下していたが、がいし外被の笠下は、ＨＣ１からＨＣ２で、笠上に比べ撥水性の低下が少ないことが分かった。

図４　撥水性（笠下）

7.3 等価塩分付着密度測定

がいし外被表面の汚損物をふき取り、等価塩分付着密度測定を行った。

測定方法は、がいし外被部に付着した塩分採取は、次の通りである。水洗用ビーカーに蒸留水を入れ、この水でがいし外被表面の付着物を溶解させながら、筆またはガーゼで拭き取る。次に、洗浄作業が終了した後、筆またはガーゼに含まれる塩分も十分汚損液中で溶解させ、汚損液を十分攪拌させた後、電導計にて導電率を測定する。下記の式（文献2）により、等価塩分付着密度を求める。

$Y = A \times (5.044 \times 10^{-4} \times \sigma 25)^{1.03} / S$

Ｙ：等価塩分付着密度（mg/ｃ㎡）

Ａ：蒸留水容量（cc）

σ25：25℃の時の導電率（μS/cm）

Ｓ：がいしの表面積（ｃ㎡）

等価塩分付着密度測定の結果として、３箇所実施したが、白浜方出口の塩分付着密度が若干多く0.112mg/ｃ㎡、新宮方出口（0.089mg/ｃ㎡）及び中央付近（0.091mg/ｃ㎡）共、ほぼ同等の塩分付着密度であった。

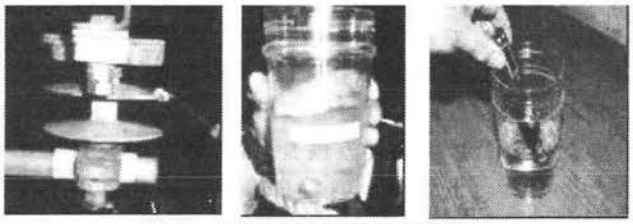


図５　等価塩分付着密度測定

7.4 定印霧中試験

現地で調査した等価塩分付着密度を試験がいしに付与し、現地での漏れ電流を推定し、運転電圧の条件で漏れ電流 1mA 以下であることを、定印霧中試験にて確認した。

試験方法として、試験がいしに汚損液を付着させ乾燥させたのち霧室に搬入し、電圧印加後、霧を発生させ、漏れ電流を測定した。

試験条件

汚損液　との粉 40g/ℓ と塩（0.112mg/ｃ㎡）

印加電圧　AC1,060V（DC1500/√2）

測定時間　漏れ電流ピーク発生後、汚損液が流されるまで（60分）

霧発生方法　蒸発霧とスプレーガンによる清水霧の混合

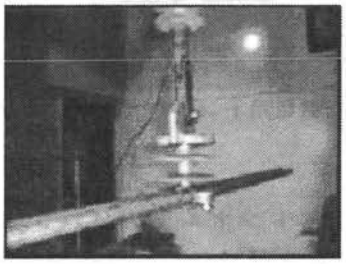


図６　定印霧中試験

定印霧中試験の結果として、今回開発品（P250T-S）のポリマーがいしのベース漏れ電流の最大値は 0.08 mA で、目安値である 1 mA 以下を大きくクリアしている。また、磁器がいし（250T）で同様の汚損度におけるベース漏れ電流の最大値は、18.22 mA となり、目安値である 1 mA の約 18 倍であった。

表６　定印霧中試験結果

	P250T-S	250T
汚損度（mg/ｃ㎡）	0.11	
漏れ電流（mA）	0.08	18.22
ピーク発生時間（分）	50	10
撥水性	有	無

６．まとめ

これまで筆者らは、漏れ電流及びがいし磁器部の割れを抑制する、耐塩用トンネル支持がいしの開発に取り組み、開発モデルの検討から外被材基礎試験を実施し、開発モデルを選定しポリマーがいし（シリコーンゴム）の製作、定置試験、フィールド試験を行ってきた。今回、約半年後の結果であるが、当初の期待通り漏れ電流を非常に小さい値に抑制することができた。今後も、フィールド試験を進めていき、開発品の検証を行い、電車線設備の安全性・保全性・経済性の向上に努めていく所存である。

参　考　文　献

1)「架空配電線のﾄﾗｯｷﾝｸﾞ劣化」S55.12.1 古河電気工業株式会社

2)「電気協同研究会」第51巻3号

3)松原、石井、仮屋、喜多「耐塩用トンネル支持がいしの開発」平成19年電気学会全国大会 E102-A3

4)松原、石井、仮屋、喜多「耐塩用トンネル支持がいしの開発」第44回鉄道ｻｲﾊﾞﾈ・ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ

5)松原、延原、石井、仮屋、喜多「耐塩用トンネル支持がいしの開発」第14回鉄道技術連合ｼﾝﾎﾟｼﾞｳﾑ(J-RAIL2007)

6)松原、延原、仮屋、喜多「耐塩用トンネル支持がいしの開発」平成20年電気学会全国大会