

IV-261 鉄まくらぎ用絶縁パッドの絶縁性に関する考察

日本信号株式会社
新日本製鐵株式会社

板倉栄治
大隅徹

飯野真一
正員○川村彰營

1. はじめに

鉄まくらぎは強度が高く衝撃に強く、耐久性に富み、軽量でしかも自由な寸法のもを製作でき、廃棄の際のリサイクルすら可能という多くの優れた特徴を持つ。一方、鉄まくらぎを用いて軌道回路を構成するためには性能の良い絶縁材の開発が大きな課題となる。筆者らはこのニーズに応えるべく、レール底部を包み込む新規な構造の絶縁パッドを開発した。開発に際して実験的考察を行い、絶縁設計の基準手法を確立したのでその概要を述べる。

まず、絶縁パッドの材質・形状・寸法等と汚損時の沿面抵抗との関係を知るために、絶縁材の①沿面距離、②沿面幅、③材質、④散水水质、⑤散水強度などを変えて沿面抵抗を測定した。その結果から一つの法則性を見出し、絶縁設計の基準データとなる基準沿面抵抗なるものを定めた。実際にその基準データを用いて絶縁パッドを設計・試作し、使用状態を想定した散水試験を実施し、本設計手法の一般性を確認した。

2. 抵抗の理論式

2-1 基本式

絶縁材表面に長方形の部分を取り、その沿面抵抗 $R(\Omega)$ を測定すると一般的に次の式が成立する。

$$R = (L/W) \cdot r \quad (1)$$

L : 電極間隔 (m)、 W : 電極幅 (m)、 r : 沿面抵抗率 (Ω)

2-2 沿面抵抗の合成

絶縁パッドの形状と沿面抵抗率とが与えられた場合、沿面全体の抵抗は次式によって求められる。

$$R_{pad} = \left\{ \sum_{i=1} W_i \left(\sum_{j=1} L_{Hj} \cdot r_{Hj} + \sum_{k=1} L_{Vj} \cdot r_{Vj} \right)^{-1} \right\}^{-1} \quad (2)$$

R_{pad} : 合成沿面抵抗 (Ω)、 r_{Hj} : 水平面の沿面抵抗率 (Ω)、 r_{Vj} : 鉛直面の沿面抵抗率 (Ω)

L_{Hj} : 水平沿面の長さ (m)、 L_{Vj} : 鉛直沿面の長さ (m)、 W_i : 1 区分沿面の幅 (m)、

i : 区分番号、 j, k : 区分内の沿面番号

3. 実験方法

3-1 試験片の材質および形状寸法

使用した試験片の材質を表. 1 に示す。試験材は表面に凹凸を設け水に濡れやすくした。

3-2 試験用電極と散水機構

図-1 に示すように 5mm 角ポリウレタン材の片面に細い銅線網を付着させた棒状の電極を用いた。散水は図-1 に示すように 2 本のノズルを束ねて噴霧器を構成した。また、噴霧量の基準値は強雨時の列車の運転規制事例を考慮して時雨量 50mm/h 相当にした。

3-3 水质

散水には水道水、0.1% 塩水、1.0% 塩水の 3 種類を用いた。電気伝導度の測定結果を表. 2 に示す。

4. 測定結果

4-1 試験 A (電極間距離の変化)

試験片 NO. 1、NO. 2 について水平面、鉛直面、および水平鉛直合成面に 0.1% 塩水を時雨量換算 50mm/h 噴霧したときの沿面抵抗を測定し、沿面抵抗率を下記のように算出した。図-2 は沿面抵抗をプロットした一例である。

NO. 1 → (水平面 25k Ω 、鉛直面 75k Ω)

NO. 2 → (水平面 20k Ω 、鉛直面 65k Ω)

表. 1 試験片の材質

番号	材 質	凹凸度
NO. 1	高密度ポリエチレン (HDPE)	2
NO. 2	同上 カボツ2% 添加	1 (粗)
NO. 3	ナイロン 6 (N6)	3
NO. 4	ポリプロピレン (PP)	2
NO. 5	ウレタンゴム (UR)	4 (滑)

表. 2 噴霧水の電気伝導度

種別	電気伝導度 ($\mu S/cm$)
水道水	247 (1.0)
0.1% 塩水	2180 (1/8.8)
1.0% 塩水	19600 (1/79.4)

* () 内は水道水を 1.0 としたときの各々の電気伝導度の比
* S は抵抗 (Ω) の逆数

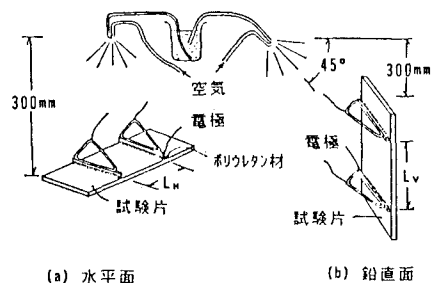


図-1 試験装置の構成

4-2 試験B（電極幅および電極間距離の変化）

試験片NO.1と同材質のものを用いて、電極幅と電極間距離を変えて水平沿面抵抗を測定した結果を図-3に示す。散水条件は試験Aと同様である。その結果、沿面抵抗は電極間距離に比例し、電極幅に反比例することがわかった。

4-3 試験C（絶縁材材質・散水水質の比較）

試験片NO.1, 3, 4, 5の水平面に水道水、塩水（0.1%, 1.0%）を噴霧したときの沿面抵抗率の比較を表. 3に示す。これらはHDPEに1.0%塩水を噴霧したときの沿面抵抗率を1.0として無次元化したものである。沿面抵抗率はウレタン、ナイロン6、HDPE、P. P.の順に大きく、この結果は表. 1に示す試験片の凹凸度と逆の関係にある。また、沿面抵抗率は水道水、0.1%塩水、1.0%塩水の順に大きく電気伝導度に反比例し、これら水質ごとの沿面抵抗率の比は表. 2に示す電気伝導度の比にほぼ一致した。

4-4 試験D（散水強度）

散水強度と沿面抵抗の関係を調べるために、試験片NO.1に時雨量換算30mm/hと105mm/hの2通りの0.1%塩水噴霧を行った。図-4に散水中の沿面抵抗の変化状況を示す。この結果、水平沿面抵抗率は30mm/hのとき35k Ω 、105mm/hのとき22k Ω となる。試験Aより噴霧量50mm/hで沿面抵抗率は25k Ω を得ており、これらの測定結果から散水強度Jと水平沿面抵抗率 r_H の関係は（3）式のようになる。

$$r_H = 135 J^{-0.41} \quad (3)$$

（3）式は時雨量の0.4乗に反比例して沿面抵抗率が低下することを意味する。

表. 3 絶縁材材質・散水水質の比較

区分	水質	HDPE	N6	PP	UR	平均値
水平面	水道水	60.0	77.7	55.6	88.9	70.5(64.1)
	0.1%塩水	6.7	11.1	6.7	11.1	8.9(8.0)
鉛直面	水道水	69.4	47.8	68.9	00.0	71.5(89.4)
	0.1%塩水	8.3	7.2	7.2	10.0	8.2(10.3)
	1.0%塩水	1.0	0.6	0.7	0.7	0.8(1.0)

* 平均値は HDPE、N6、PP、URの値の平均値

* 平均値の欄に示す（）内数字は、1.0%塩水を噴霧したときの平均値を1.0として無次元化したもの

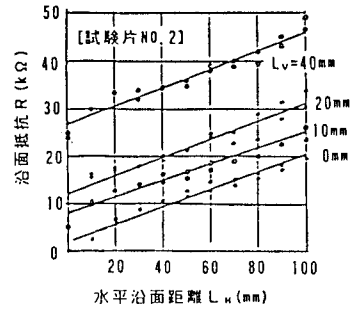


図-2 沿面抵抗プロット例

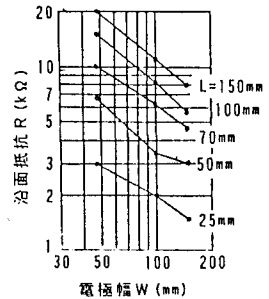


図-3 電極幅、電極間距離の変化

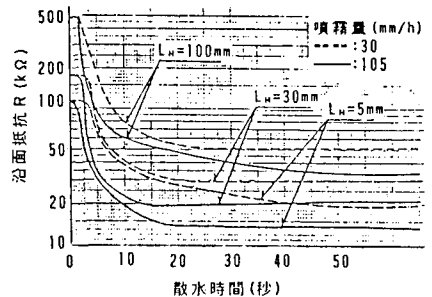


図-4 散水中の沿面抵抗の変化

5. 絶縁パッドの絶縁抵抗

カーボンを5%添加したHDPE（試験片NO.2）の50Nレール用絶縁パッドを試作して、実際のレール締結状態で0.1%塩水の散水試験を時雨量50mm/hにて実施した。沿面抵抗 $R_{\text{沿面}}$ の実測値は10k Ω で、沿面抵抗率を水平面20k Ω 、鉛直面65k Ω として式（2）により計算した値11k Ω とほぼ一致した。

6. 結論

本研究の成果は下記のように要約できる。

- ① 絶縁体の表面に水・塩水を噴霧した場合の沿面抵抗は、次のような律則性を有する。
 - a. 沿面抵抗率は沿面距離（電極間距離）に比例し、沿面幅に反比例する。
 - b. 散水強度が等しければ、沿面抵抗率は水の電気伝導度に反比例する。
 - c. 散水の電気伝導度が等しければ、沿面抵抗率は散水強度の約0.4乗に反比例する。
 - d. 絶縁体の表面の粗さが粗いものほど、沿面抵抗率が低くなる傾向がある。
- ② 上記の律則性を前提にして設計・試作した鉄まくらぎ用絶縁パッドについて散水試験を行い、設計手法の実用性を検証した。
- ③ 鉄まくらぎ用絶縁パッドを設計する場合は、特別に悪い環境で使用するもの以外は、前記の沿面抵抗を参考にして式（2）による計算を行えばよい。