

軌道短絡現象解明のためのレール表面状態の評価方法の検討

○ [電] 福田 光芳 伴 巧 [機] 前橋 栄一 [電] 寺田 夏樹

[電] 藤田 浩由 [電] 遠山 喬 大和田厚祐 (鉄道総研)

A Study of Estimating Rail Surface to Quantify Electric Resistances
between Rail and Wheel○Mitsuyoshi FUKUDA, Takumi BAN, Eiichi MAEBASHI, Natsuki TERADA
Hiroyuki FUJITA, Takashi TOYAMA, Kosuke OWADA

When rails become rusty, the shunt resistance becomes higher, making it difficult for the track circuit to detect a train exactly. This is a problem of the rail-wheel contact system. To quantify electric resistances between rail and wheel, we developed a portable measurement system. We can estimate the condition of rail surface by measuring electric resistances between rail and test wheel. We also developed rail current measuring sensors for quantifying shunting resistance. In this paper, we explain function of these items.

キーワード：軌道回路，短絡不良，レール表面状態

Key Words：track circuit, shunting malfunction, rail surface

1. はじめに

確実な列車検知は運転保安の確保には必須の項目であり、実績のある軌道回路方式が多くの箇所で使用されている。しかし、軌道回路はレールを車輪で短絡させる構成とされていることから、錆等による短絡不良が発生しやすいという問題がある。車両の輪重、車輪踏面の表面状態の違い、錆などのレール表面状態などの各種条件が軌道回路の短絡に影響を与えることが確認されている¹⁾。しかし、現地でのレール表面状態の評価や列車走行時の短絡状態の評価が困難であるため、これらの条件の影響について、検証を行うことは困難であった。

そこで、レール表面評価用の可搬型の測定装置、列車走行時の短絡状態を評価するためのレール電流センサの開発を行った。ここでは、軌道短絡に影響を及ぼすレール表面状態等の要因について概要を説明したうえで、これらの測定装置を用いた研究の現状について報告する。

2. 短絡不良の現状

軌道回路とは、ある区間のレールを電気回路の一部として利用し、列車の輪軸でレール間が短絡された場合に、列車在線を検知するものである。軌道回路の種類は多岐にわ

たるが、共通の問題の一つに、レールと車輪の接触問題による短絡不良がある。短絡不良の場合、軌道リレーに入力される信号が十分に減衰しないため、列車が在線でもリレーが動作（スイッチ ON）し、列車在線を検知できなくなる。列車によるレール間の短絡状態が良好でない場合は、軌道リレーに入力される信号が十分に減衰しない。そこで、軌道リレーに入力される信号の大きさを監視することにより、短絡の良否を判断できる。この場合の軌道リレーに入

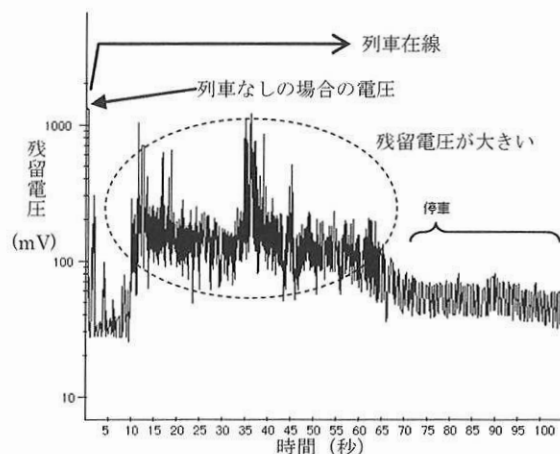


図 1 短絡が悪い状態の残留電圧測定例

力される電圧、または、受信端でのレール間電圧を残留電圧と呼んでいる。

短絡状態が良好でない場合の残留電圧の測定例を図 1 に示す。列車は横軸の 1 秒のあたりで軌道回路に進入しており、一旦は、残留電圧が小さくなるが、12 秒のあたりから残留電圧が大きな値を示している。この場合、軌道リレーは不正に動作することではなく、列車検知に問題はなかったが、残留電圧の大きさがある一定値以上大きくなると、列車が在線するにも関わらず、「列車なし」と誤った判定をしてしまう場合がある。

3. レール・車輪間の接触抵抗の測定

これまで、接触抵抗の測定を行うため、実車と同様の車輪とレールの接触状態を模擬できる「車輪／レール接触往復運動ユニット（以下、試験運動ユニットと呼ぶ）」を用いて試験を実施してきた¹⁾。試験運動ユニットは、1 つの車輪と 1 本のレールを任意の荷重をかけながら接触させ、車

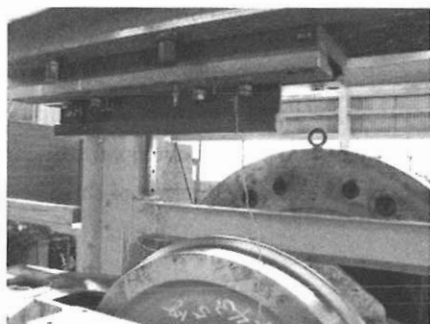


図 2 試験運動ユニットのレール及び車輪

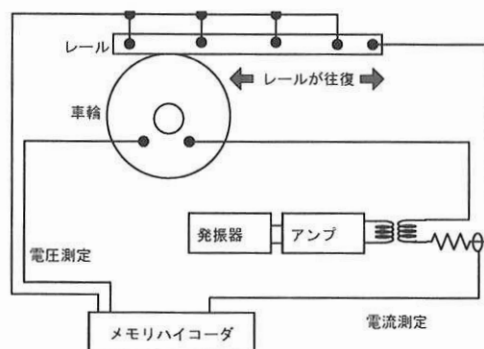


図 3 接触抵抗測定回路

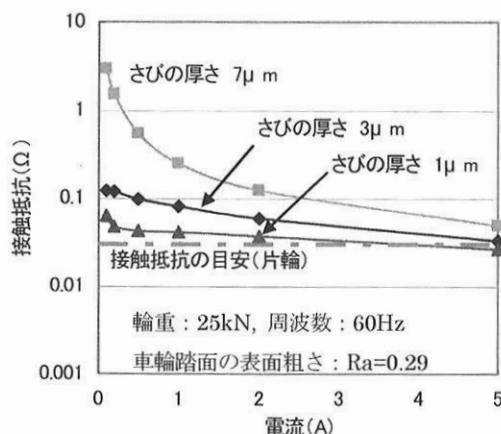


図 4 錆の厚さと接触抵抗の関係の例

輪を転がしながら片道 50cm 程度の往復運動ができる。試験運動ユニットの車輪とレールの様子を図 2、測定回路を図 3 に示す。図 2 を見てわかるとおり、車輪が下側に設置され、上からレールを押し付ける構造になっている。輪重、車輪踏面の表面粗さ、さびの厚さ、電流などを変化させて試験を実施し、条件ごとの接触抵抗を求めている。試験結果の例を図 4 に示す。図 4 は、輪重 25kN、車輪踏面の表面粗さ $Ra=0.29$ 、周波数 60Hz の条件で、さびの厚さ及び電流の大きさを变化させた場合の結果である。さびが厚くなるほど接触抵抗が大きくなること、電流を大きくすると徐々に接触抵抗が小さくなることなどがわかる。

一方、これらの結果を現場に適用する場合、レールの表面状態を同定することが難しく、また、走行列車の短絡抵抗を輪軸単位で測定することができないため、適用結果を評価することが困難であった。そこで、レールの表面状態を同定する方法及び輪軸単位で接触抵抗を測定する方法について検討を行った。

4. レール表面状態の評価

レール表面状態を表すパラメータとしては、さびの厚さを測定しているが、厚さの測定だけでレール表面状態を同定できるわけではない。現場のレールを図 2 の試験運動ユニットで測定すれば、既実施の試験結果と比較することが可能であるが、試験運動ユニットは移動することはできない。そこで、同様の原理で測定を行い、かつ、現場で測定可能な可搬型のレール表面状態測定装置を試作することとした。

レール表面状態測定装置は、レール・車輪間のクリープ力を測定するクリープテスト²⁾の構造を応用したもので、小型の試験輪をレールに一定の荷重で押しつけながら移動させる機構を持つ。装置内に測定用の信号発生源と電流・電圧測定機能を有し、試験運動ユニットと同様にレールと車輪間の接触抵抗を測定できるようにした。レール表面状態測定装置の機器構成及び外観を図 5、図 6 に示す。また、主な諸元を表 1 に示す。

試験輪の形状や大きさ及び荷重が実車輪と異なることか

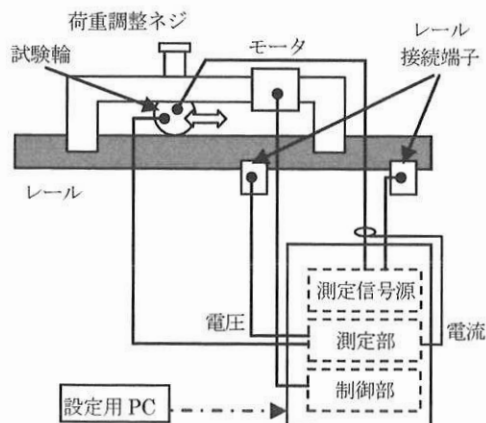


図 5 レール表面状態測定装置の構成

ら、レール表面状態測定装置で測定された抵抗値と、実際の車輪とレールの接触抵抗の値は一致しないので、試験運動ユニットとレール表面状態測定装置で同じレールを用いて測定を実施して対応関係を明確化することとした。現場でレール表面状態測定装置を用いてレールの測定を行うことにより、その結果と対応する試験運動ユニットの結果(図4のような接触抵抗の特性)を選択し、他の要因とあわせて評価を行うことが可能となる。

現在、試験運動ユニットとの比較を行うために、試験用にさびを生成した 0.75m のレールを用いて、レール表面状態測定装置による測定・調整を実施している。塩水を用いて過剰にさびを生成させた場合の測定例を図7に示す。今後は、より現実的な厚さのさびについて測定を進める計画である。

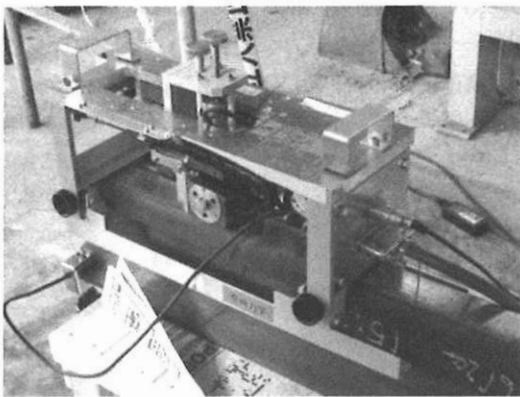


図6 レール表面状態測定装置の外観

表1 レール表面状態測定装置の主な諸元

項目	性能
荷重	10N~200N
電流	2A
周波数	60Hz, 1500Hz
サンプリング周波数	10kHz
測定範囲	0.1m

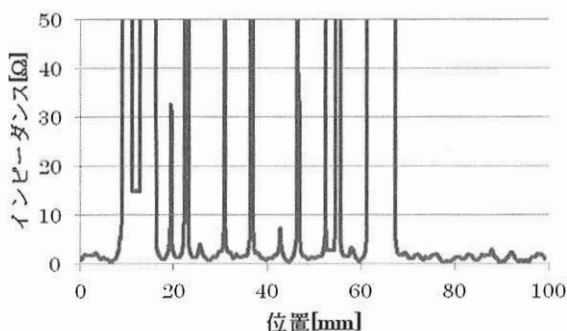


図7 レール表面状態測定装置の測定例

5. 短絡状態の評価

レール表面状態装置や試験運動ユニットを用いて測定した結果から接触抵抗を求め、列車の短絡抵抗を推定するこ

とができるようになるが、この推定値を活用するためには実際の走行列車の短絡抵抗との比較による検証が必要になる。しかし、走行している列車の短絡状態を直接測定することはできない。そこで、軌道回路の特定箇所ではレール間を様々な抵抗値で短絡し、その時の残留電圧を測定しておくことで、残留電圧から列車の等価的な短絡抵抗を算出している。軌道回路境界では、列車の先頭や後尾の輪軸あるいは台車単位での短絡抵抗を測定できるが、中間車両の短絡抵抗や軌道回路の中間位置での短絡抵抗を測定することはできない。

輪軸単位での短絡抵抗を測定して、レール表面状態測定装置と試験運動ユニットの試験結果を検証することを目的とし、列車走行時のレール電流変化を測定できるレール電流センサを開発した。レール電流センサは、図8に示すようにレールの底部に取り付ける構造のコイルであり、レールに流れる電流に対応した電圧を誘起する。左右のレールにレール電流センサを取付け、左右レールの軌道回路電流が加算される向きに接続することで、帰線電流を打ち消しながら測定することができる。輪軸通過時のレール電流(軌道回路電流)の変化を測定することで、当該輪軸に流れる電流を求めることができる。この時のレール間電圧を同時に測定することにより、当該輪軸の短絡抵抗を算出することができる。

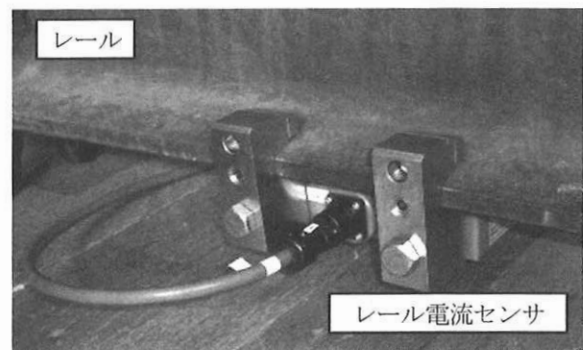


図8 レール電流センサの取付状態

レール電流センサの機能を確認するために、鉄道総研構内の試験線を用いて、車両走行時の軌道回路電流の変化を測定した。試験時のレール電流センサの仮設位置を図9に示す。2組のレール電流センサを設置するとともに、近傍に車軸検知器を設置して位置確認用のマーカーとした。2組のレール電流センサは手前側から CH1、CH2 とした。各輪軸は、「車軸検知器」→「CH1」→「CH2」の順で通過することになる。また、受信端はインピーダンスボンドを介して軌道リレーに接続した。

事前に CH1 の車軸検知器側で短絡器を用いて短絡を行い、 $0.01\Omega \sim 1\Omega$ 程度までの短絡時のレール電流センサ誘起電圧、軌道リレーの入力電圧、短絡位置でのレール間電圧及び短絡電流を測定した。これにより、レール電流センサの 1A あたりの誘起電圧を算出するとともに、軌道リ

一の電圧 (残留電圧) からレール間電圧を推定できるようにした。

2 両編成の試験車両を走行させた場合の結果を図 10 に示す。図 10 の上側は軌道リレーの電圧 (残留電圧) の変化を示し、下側はレール電流センサで測定したレール電流の変化であり、実線が CH1、点線が CH2 を示す。また、中段に車軸検知器の出力を示している。残留電圧の変化及び車軸検知器出力から列車の走行位置がわかる。

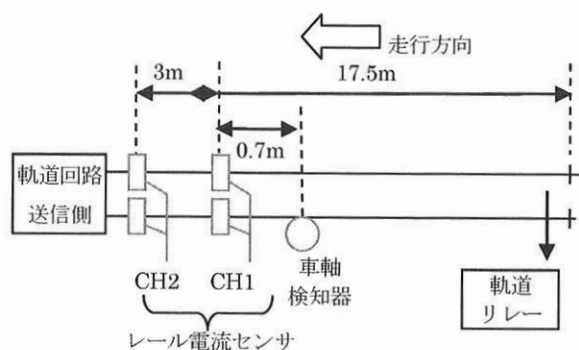


図 9 レール電流センサの仮設位置

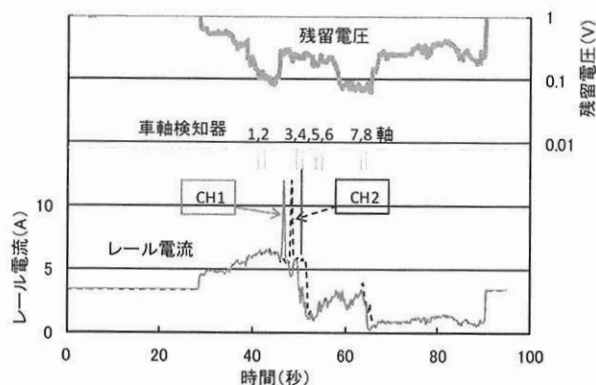


図 10 レール電流センサの測定例

1、2 軸目通過後、CH1、CH2 のレール電流が 15A を超えているが、車上制御機器からの直達ノイズの影響であり、レール電流の変化ではない。

CH1 と CH2 の電流に差がある場合は、2 組のレール電流センサの間で電流の変化があったことになる。逆に、2 つのレール電流センサの値に差がない場合は、レール電流センサの間で短絡電流が流れていないことになる。図 10 では、3、4 軸目及び 7、8 軸目（最終台車）が通過した時に電流差が発生しているが、1、2 軸目及び 5、6 軸目では差が発生していない。当該箇所通過時には、これらの軸に電流がほとんど流れていないことがわかる。なお、3、4 軸目及び 7、8 軸目の短絡抵抗は、レール電流センサの電流値の差と残留電圧から推定したレール間電圧を用いて計算すると、それぞれ 0.070Ω 、 0.033Ω となった。

以上より、レール電流センサを用いることにより、台車単位で短絡抵抗を測定可能であることがわかった。今回は 200ms 単位で解析を実施したが、より細かい時間で解析を行うことにより、輪軸単位での解析も可能と思われる。

なお、短絡電流が特定の軸に集中している現象については、別途解析を行う予定である。

6. おわりに

走行列車の短絡抵抗を推定できるようにすることを目的とし、レールと車輪の接触抵抗と様々な条件の関係について研究を進めてきている。その精度向上及び検証を目的として、レール表面状態測定装置とレール電流センサの開発を行った。今後、これらを用いて研究を進め、短絡不良対策の評価や新しい対策検討に適用できるようにしたい。

参考文献

- 1) 福田光芳, 板垣朋範, 寺田夏樹: 軌道回路の短絡不良要因と改善手法, 鉄道総研報告, Vol.21, No.11, pp.5-10, 2007
- 2) 土井久代, 宮本岳史, 西山幸夫, 大江晋太郎, 蒲地秀矢: 車輪/レール間クリープ力試験装置「クリープテスタ」の開発, 鉄道総研報告, Vol.23, No.2, pp.45-50, 2009