レールと車輪の接触状態が軌道回路の短絡に及ぼす影響*

(第2報, 走行輪軸の短絡抵抗の測定手法および結果)

若林 雄介^{*1}, 田中 伸治^{*2}, 中川 大輔^{*3}平間 淳司^{*4}, 永瀬 和彦^{*4}Influence of Contact Condition between Rails and Wheels
upon Track Circuit Shunting(2nd Report, Measuring Methods and Results of Track Circuit Shunting
Resistance of Running Train's Wheelset)Yusuke WAKABAYASHI^{*5}, Nobuharu TANAKA, Daisuke NAKAGAWA,
Junji HIRAMA and Kazuhiko NAGASE^{*5} Department of Mechanical System Engineering, Kanazawa Institute of Technology,
7-1 Ohgigaoka, Nonoichi-machi, Ishikawa-gun, Ishikawa, 921-8501 Japan

As the applied voltage to the wheelset on a track circuit fluctuates according to the distance between the track circuit's sending end and the train's position, it is very difficult to investigate the shunting resistance by the running train's wheelset. The authors proposed an experimental model test track circuit to keep the applied voltage to the wheelset on the track circuit constant. On the proposed track circuit, the shunting current flowing in the axle was measured so as to investigate the shunting resistance of the running wheelset. As the results, the behavior of the shunting current in the running wheelset was made clear with the shunting resistance of the single running wheelset. However, when the twin wheelsets shunted the circuit, the fluctuation of the shunting current of the wheelset was too significant to determine the shunting resistance.

Key Words: Railway, Railway Signal, Track Circuit, Wheel, Rail

1. はじめに

鉄道車両の在線を検知して信号や踏切等を制御する際に使用される軌道回路は、車両が在線しているにも関わらず左右レール間が短絡されない「短絡不良」現象が極めてまれに発生する。短絡不良はレール踏面の錆、レール上の砂、油脂等⁽¹⁾のレール車輪間の夾雑物や車輪踏面の粗さ、輪重が深く関与するとされてきた⁽²⁾⁽³⁾。しかし、短絡不良現象は、これらの諸因子が複雑に関与するため、短絡不良への関与の度合を評価する研究はなされていない。

第1報⁽³⁾では、軌道短絡に関与すると考えられる諸因子の短絡不良への関与の度合いを評価するために、車輪およびレールの踏面の粗さ、輪重および錆などの夾雑物が短絡に及ぼす影響について、停止した状態の下ではあるが、模型の輪軸を用いてレールと車輪との間の接触状態と軌道の短絡抵抗の関係について定量評価を行った。しかしながら、実際の列車による軌道の

短絡、つまり列車走行時の短絡抵抗は、走行中の輪軸に印加される電圧が変動し、また複数の輪軸が軌道回路中に存在する場合の各輪軸に印加される電圧も異なると考えられるため、今まで走行中の短絡抵抗を連続的にかつ複数の輪軸を個別に測定することはできなかった。

著者らは、上記問題の解決のために、軌道回路上の在線位置のいかんによらず一定の電圧を輪軸に印加できる新しい概念の実験用軌道回路を提案するとともに、縮尺 1/5 の実験用軌道回路を試作した結果、走行中の列車に一定の電圧を印加できることを確認した。さらに、各輪軸に流れる電流を直接測定することのできる測定装置を取付けた縮尺 1/5 の実験用台車を試作し、この軌道回路を用い、走行中における複数軸をもつ台車の短絡抵抗値について、各軸の短絡電流の挙動から精密に測定した。その結果、走行中の各輪軸の短絡抵抗値をある程度であるが測定できることを確認した。また、実験用軌道回路内において二つの輪軸が存在し、かつ走行している場合においてノイズによるものとは異なる激しい短絡電流の変動を確認した。

2. 実験に供した軌道回路

2.1 一般的な軌道回路における印加電圧 走行

* 原稿受付 2002 年 1 月 11 日。

^{*1} 正員, 金沢工業大学大学院(〒921-8501 石川県石川郡野々市町扇が丘 7-1) 兼 東日本旅客鉄道(株)。^{*2} 前金沢工業大学大学院(現日本圧着端子製造(株))。^{*3} 学生員, 金沢工業大学大学院。^{*4} 正員, 金沢工業大学。

E-mail: yusuke_wakabayashi@jreast.co.jp

中の個々の輪軸とレールとの電気的な接触抵抗の挙動を連続的に調べるために、短絡抵抗に影響を及ぼすレール上の砂や錆、油脂などの夾雑物や輪重、踏面の粗さ等のさまざまな因子について調査するには、輪軸への印加電圧を一定に保つ必要がある。

一般的な軌道回路では、隣接する両端の軌道との間を絶縁し、一端に外部電源、他端にリレー等の負荷を接続した閉回路であるため、列車の輪軸への印加電圧は外部電源の接続された地点である送電端からの距離や輪軸の短絡抵抗の大きさによって変動する。また、複数の輪軸が軌道回路内に存在する場合、それぞれの輪軸は送電端からの距離や流れる電流の違いから、印加される電圧が非常に複雑に変化するため電気的な条件を一定に保つことができない。

2・2 新たに提案した実験用軌道回路 著者らは、走行中の輪軸による短絡の挙動を正確に測定するために、走行中の列車が軌道回路のどの位置であっても一定の電圧を台車輪軸に印加して、同一条件のもとで各輪軸の短絡抵抗を測定することのできる新たな概念の軌道回路を提案した。

提案した軌道回路は図1に示すように、一方のレールの一端を送電端、他方のレールの他端を受電端として、その間に外部電源を接続する。通常の軌道回路は送電端から列車までの距離の変化に応じレールの抵抗も変化する。ところが、この実験用軌道回路では送電端から台車までの距離と台車から受電端までの距離の和は常に一定となることから、流れる電流が一定ならばレールのもつ電気抵抗による電圧降下は一定となり、列車の走行位置による影響を受けることなく一定の電圧を輪軸に印加することができる。

2・3 実験用軌道回路の検証実験 提案した実験用軌道回路で、印加電圧が変動するのは軌道回路に流れる電流が変化した場合である。そこで、実際の軌道

の1/5スケールで長さ約5mの測定用軌道と、その前後に加速用、減速用軌道を設置し、二軸台車を走行させた場合の軌道に流れる電流の変化を測定した。なお、レールについては、同スケールで同じ素材のレールがないため、6kg軽レール(JIS E 1103)を用いた。

軌道回路には低電圧で高出力の直流安定化電源を用いて、先に示した実験用軌道回路を構成するとともに、電源電圧を測定するための電圧計および電源からの出力電流を測定するためのクロズループ型電流センサを取付けた。

図2は台車を約2km/hで走行させたときの外部電源の出力電圧および出力電流の挙動である。図2より、出力電圧は3.7Vで一定である。また、出力電流は39.0Aに対して1.0A程度のわずかな変動はあるものの、変動は微小であることから、レールおよび導線の電圧降下はほぼ一定と考えられる。出力電圧、レールおよび導線の電圧降下に変動がないことから、列車に印加される電圧は一定とみなすことができる。

3. 短絡抵抗値の算出方法

3・1 短絡抵抗値の算出 図3に二軸台車の各輪軸が同一形状で W の電気抵抗を有し、台車から絶縁され、かつ実験用軌道回路上の図示上に在線した場合の等価回路図を示す。

図3中 R_0 は図示導線の電気抵抗、 R_1, R_2, R_3 はレールの図示部位の電気抵抗、 S_1, S_2 は導線のレールとの接続部の電気抵抗、 $r_{1a}, r_{1b}, r_{2a}, r_{2b}$ はレール・車輪間の接触による電気抵抗である。電源電圧を V 、図示各部に流れる電流をそれぞれ i_1, i_2, i_3 とすると、キルヒホッフの法則により、この並列回路は以下の式で表すことができる。

$$\begin{aligned} (r_{1a} + r_{1b} + W + R_3) i_2 \\ = V - (R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2) i_1 \cdots \cdots (1) \\ (r_{2a} + r_{2b} + W + R_3) i_3 \end{aligned}$$

Fig. 1 Conceptual scheme of a measuring circuit

Fig. 2 Behavior of the circuit current and power supply voltage

Fig. 3 Circuit model for a track circuit upon a new conception

$$= V - (R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2) i_1 \dots \dots \dots (2)$$

輪軸自体の電気抵抗も含む各輪軸による短絡抵抗を r_1, r_2 とすると,

$$\begin{aligned} r_1 &= r_{1a} + r_{1b} + W \\ &= \frac{V - (R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2) i_1}{i_2} - R_3 \end{aligned} \dots \dots \dots (3)$$

$$\begin{aligned} r_2 &= r_{2a} + r_{2b} + W \\ &= \frac{V - (R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2) i_1}{i_3} - R_3 \end{aligned} \dots \dots \dots (4)$$

となる。よって、回路全体に流れる電流 i_1 、および当該車軸に流れる電流 i_2 または i_3 のいずれか一方を計測することにより理論的には走行中の短絡抵抗 r_1, r_2 を連続して求めることができる。

3.2 実験用軌道回路における固定抵抗値 先に示した式(3)および(4)から輪軸による短絡抵抗 r_1, r_2 を求めるためには、あらかじめ $R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2$ および R_3 の値を求める必要があるが、これらの値は微小であり、それぞれを個別に測定することは困難である。そこで、 $R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2$ の値を求めるために、送電端から受電端までの距離を変えずに受電端を送電端と同じレールに接続し直して、図4に示すような1本のレールで構成される抵抗値測定用回路を構成した。そして、この回路に印加した電流と電源電圧からこの回路の抵抗値を求めるための実験を行った。なお、測定にあたり導線の接続場所を変更することによって、導線接続部の電気抵抗 S_1 または S_2 の値が導線取付けの際のボルト締め付け力やその他の要因により変化する可能性があるが、その詳細については3.3節にて示す。

実験装置を十分に暖機して安定した状態で測定を行った結果、抵抗値測定用回路に印加した電圧が3.70

Fig. 4 Circuit model for the measurement of the static resistance

V のとき、回路に流れる電流は42.2 Aを示し、 $(R_0 + R_1 + R_2 + S_1 + S_2) + R_3$ の値として87.7 mΩを得た。

なお、 R_3 の値は、本実験で使用した6 kg 軽レールと50 kgN レール(JIS E 1101)がほぼ同様な素材であることから、抵抗率も同様であるとみなし、50 kgN レールの既値である抵抗値⁽⁴⁾と6 kg 軽レールと50 kgN レールの断面比、台車の軸距(420 mm)から算出し、 R_3 の値として115 μΩを得た。

3.3 導線接続部の電気抵抗

3.3.1 導線接続部の電気抵抗測定回路 3.2節において測定した軌道回路の抵抗値を用いて輪軸の短絡抵抗値を求めるためには、導線の接続場所を変更しても導線接続部の電気抵抗 S_1, S_2 の値が同じである必要がある。そこで、短絡実験に用いるのと同様なレールおよび配線と直流の安定化電源を用いてホイートストンブリッジ回路の原理を応用した実験回路を構成し、レールへ導線を接続する際の締め付け強さや接続場所による違いと導線接続部の電気抵抗の変化との関係を調べた。

図5は実験回路の構成を示した等価回路の回路図である。図5に示すように、電源 V から軌道回路へ電圧を印加するための導線とレールとの接触点をC、ブリッジ回路の電圧を測定するためのレール上の接点をDとE、レール両端と導線との接続部をAとB、各接続部からの導線と電源からの導線の接続点をFとする。すると、C-D、C-E、D-F、E-F間の抵抗はホイートストンブリッジ回路を構成する図示のような四つの抵抗 R_a, R_b, R_c, R_d と同様の回路を構成することから、各抵抗の微小な変化を正確に検出することができる。

3.3.2 導線接続部抵抗の測定原理 図5に示す

実験回路において、抵抗 R_a, R_b の比と抵抗 R_c, R_d の比が等しい場合、D-E 間の電圧は零となる。このとき C-D 間および C-E 間を等距離とし、 $R_a = R_b$ とすれば、 $R_c = R_d$ となる。B 点の導線を付け直し、導線接続部の電気抵抗が変化したとすると、ホイートストンブリッジ回路のバランスが崩れ、D-E 間に電位差が生じる。この状態において、図 6 に示すように、C-D 間および C-E 間の間隔を変えずにレール上を L だけ図示方向に移動させたときに D-E 間の電位差が零となったとすると、D-F 間では距離 L 移動した分だけ電気抵抗が増加し、E-F 間では同じだけ減少したことによってブリッジ回路のバランスが保たれたと考えられる。このことから、B 点の電気抵抗の増加量を x 、レール単位長さ当たり抵抗値を s とすると、電気抵抗は

D-F 間で $L \cdot s$ 増加し、E-F 間では導線の付け直しに伴う x の増加と $L \cdot s$ の減少とが併せて生じ、 $R_c = R_d$ となったと考えられる。したがって、B 点の電気抵抗の増加量 x は $x = 2 \cdot L \cdot s$ なる式から求めることができる。

3.3.3 実験方法 実験では、導線接続点 A, B のボルト締め付けトルクを $3.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ で固定し、導線接続部 C と測定点 D, E を針状の端子を用いて C-D 間および C-E 間を常に 500 mm に保ったまま、出力電位差が零となるようにレールと接触させ、この状態を基準状態とした。次に A, B 点のどちらか片方ずつの締め付けトルクを $0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ (他端の締め付けトルクは $3.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ で固定) に減少および増加させ、基準状態に対する C, D および E 点の移動量を測定し電気抵抗の変動値を求めた。

3.3.4 実験結果 測定結果を図 7 に示す。図 7 より、締め付けトルクを増加させた場合、減少させた場合の違いや接続個所の違いによる差異はほとんど認められなかった。締め付けトルクによる抵抗値の変化は、締め付けトルクが増加するとともに減少し、およそ $2.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ 以上で安定するが、一定値(この場合 $4.0 \text{ N} \cdot \text{m}$)を超えると変動が大きくなる傾向が見られた。本実験回路の場合、締め付けトルクを $4.0 \text{ N} \cdot \text{m}$ としたとき最も安定し、抵抗値のばらつきはおよそ $5.5 \mu\Omega$ である。これは、最小の輪軸による短絡抵抗値を $0.1 \text{ m}\Omega$ と仮定した場合、 5.5% の誤差であり、短絡抵抗値の平均値が短絡安定状態の下で $10 \text{ m}\Omega$ 程度⁽⁵⁾ であると考えれば、この値は無視できる範囲であると考えられる。

Fig. 5 Equivalent Circuit to measure the electric resistance of the sending end

Fig. 6 Equivalent Circuit to measure the electric resistance of the sending end

Fig. 7 Relations between tightening torque of a bolt and the electric resistance of the sending end

4. 走行中の輪軸の短絡抵抗値

4.1 実験装置

4.1.1 短絡電流測定装置 3章で述べたように、走行中の輪軸に流れる短絡電流を測定することによって、各輪軸の短絡抵抗の挙動を把握することが可能になった。そこで、模型の実験台車を用いて、走行中の輪軸に流れる短絡電流の測定を行った。

走行中の輪軸は回転しているため、直接輪軸に流れる電流を測定することはできない。そこで、非接触で電流を測定することのできるクランプ式電流計で車軸をはさみ、車軸に流れる電流の測定を行った。測定に用いたクランプ式電流計は、軌道に流す電流が直流であることから、直流の測定が可能なクランプ式電流計(定格電流 2000 A DC、応答周波数 10 kHz)を車軸に取付けた。また、クランプ式電流計より出力される電圧はアナライジングレコーダ(横河電機製 AR 4400)を用いて記録した。

4.1.2 実験用軌道および台車 実験用軌道は、3章と同様に実際の軌道の 1/5 スケールで長さ約 5 m の軌道回路を有する測定区間およびその前後に加速用、減速区間を設置した。なお、レールについては、同スケールで同じ素材のレールがないため、6 kg 軽レール(JIS E 1103)を用いた。

軌道回路は高出力の直流安定化電源を用いて、先に示した実験用軌道回路を構成するとともに、電源電圧および電源からの出力電流を測定するための電圧計およびクローズループ型電流センサを取付けた。なお、レールへの配線の接続は、3章における実験結果から、あらかじめ接続部をやすりで研磨した後、導線の接続ボルトを 4.0 N・m のトルクで締め付けた。

実験用台車は、軸距 2100 mm の台車を 5 分の 1 に

縮小した台車であり、軸ばね等の緩衝装置はないが、車輪の浮き上がりや著しい輪重の変動を防ぐため、台車台枠全体がしなやかにたわむ構造とした。車輪も同様に 5 分の 1 に縮小した車輪であるが、車輪路面は実際の車両の路面とは異なりフランジの高さが高くレールから外れにくい形状のものである。二つの輪軸は短絡電流を正確に測定するため、各輪軸のジャーナル・ベアリングと台車との間を電氣的に完全に絶縁できる構造とし、進行方向先頭から 2 軸めにクランプ式電流計を取付けた。

4.2 実験方法 通常の状態に近い比較的良好なレール・車輪間の状態における軌道の短絡抵抗を測定するために、レールおよび車輪は 180 番の紙やすりで研磨し、アセトンを用いて脱脂した。また、実験台車には本実験台車の構造上積載可能な限界である質量 160 kg の重りを載せ、各輪重を 466 N とした。この輪重によって得るレール・車輪間の面圧は実際の車両のレール・車輪間の面圧に比べるとやや小さい。しかし、著者らが先に行った研究⁽³⁾⁽⁶⁾の結果から類推すると、この程度の輪重があれば、短絡抵抗値は実車と大きく変わらない値を確保できると判断した。

測定では、実験用台車を速度約 2 km/h で実験用軌道を加速区間から測定区間、減速区間へと順走および逆走させ、第 2 軸に流れる電流および回路全体の電圧、電流を測定し、走行しているときの各輪軸に流れる短絡電流の挙動を測定するとともに、3章において示した手法を用いて短絡抵抗を求めた。なお、第 1 軸の短絡電流については、回路全体に流れる電流から、第 2 軸に流れる電流量を引いたものを第 1 軸の短絡電流値とみなした。

4.3 実験結果および考察

4.3.1 短絡の状態 図 8 に台車を順走させた場

Fig. 8 Behavior of the short circuit current

合の第2軸の短絡電流および回路全体の電流の挙動を示す。なお、台車を逆走させた場合の結果も同様であったため、順走させた場合について考察する。

図示のとおり測定開始1.2秒後、第1軸めが軌道回路に進入すると回路全体に電流が流れる。次いで2.9秒後、2軸めが軌道回路に進入したことによりクランプ式電流計も電流を検知するが、軌道回路全体の電流に大きな変化はない。しかしながら、第2軸の短絡電流は激しく変動している。13.0秒後に第1軸が軌道回路から出ると第2軸の短絡電流と回路全体の電流は一致し、比較的安定した短絡電流が流れ、14秒付近で両軸ともに軌道回路を退出したことにより全電流および第2軸の電流ともに零となった。

図8から第2軸の短絡電流の挙動に着目すると、本来なら当該軸は軌道回路に進入する前は電流は流れないにもかかわらずノイズが原因と思われる $\pm 3\text{ A}$ 程度の電流を検知している。測定に用いたクランプ式電流計の測定用アームは車軸を挟む込むに十分な内径が必要のため、計測容量が 2000 A と非常に大きい。一方、短絡電流は最大でも 40 A 程度であることから、測定に十分なS/Nが確保できなかったことが原因であると推定される。このような問題により短絡電流を高い精度で測定することはできなかったが、これとは別の原因によると推定される高いレベルの激しい電流の変動を図示のように検知している。

このような激しい変動は実験のすべてで観測され、走行中に第2軸に流れる短絡電流が安定状態となることは皆無であった。一方、別の実験において台車を測定区間内でいったん停車させた場合には、このような激しい電流変動現象は瞬時に解消して短絡電流は安定した。さらに注目すべきは、このように第2軸の短絡電流が不安定状態にあったとしても、回路全体の電流

は第1軸のみによる短絡の時と同様に安定しており、回路全体の電流が大幅に減少する短絡不良現象は、すべての実験を通じて全く発生しなかった。この事実は、第2軸の短絡電流が不安定となる現象が両軸間の短絡抵抗に差異が生じたことにより起きたものであって、軌道回路全体の電流を大きく減少させるような大きな短絡不良が両軸同時には発生していないことを示す。つまり、一方の輪軸の短絡抵抗が大きく増加した場合には、他方の軸の短絡抵抗がそれを補う形で減少する現象が極めて短い周期で起きている可能性がある。

著者らは先に列車が本線の送電端付近通過時に個々の輪軸の短絡抵抗測定を試みた際、短絡が安定した状態にあったケースは電車の場合で全体データの約1割、ディーゼル動車の場合で約2割程度と極めて限られていた⁽⁶⁾。これらの事実から類推すると、走行時の輪軸による短絡抵抗は軌道回路が短絡不良には至らない範囲で、極めて短い周期で変動しているものと想定される。

4・3・2 短絡抵抗の挙動 図8に示すデータと式(3)、(4)とを用い、各輪軸による短絡抵抗値を求めた結果を図9に示す。図示のように両輪軸のうちの1輪軸のみで回路を短絡したときの短絡抵抗値は、輪軸自体の抵抗を含めおおむね $7\text{ m}\Omega$ 程度の値であることがわかる。この値は先の第1報で述べた値、すなわち、停止中の輪軸の短絡抵抗値が約 $5\text{ m}\Omega$ 程度であったのとは比べると若干高いものの、大きくは異ならない。しかし、2輪軸で軌道回路を短絡すると両輪軸の抵抗は大きく変動し、各輪軸の短絡抵抗値を特定するのは困難である。そこで、各輪軸による短絡抵抗の変化を推定してみた。本回路のうち、両輪軸の短絡抵抗と両輪軸間にあるレール抵抗 R_3 とを含む2輪軸の短絡抵抗

Fig. 9 Behavior of the track circuit shunting resistance shunted by twin axles

(合成抵抗)を r_0 とすれば

$$r_0 = (r_1 + R_3) \cdot (r_2 + R_3) / ((r_1 + R_3) + (r_2 + R_3)) \quad \dots\dots\dots (5)$$

R_3 は先に述べたように短絡抵抗 r_1, r_2 に比べて小さいので無視すれば、合成抵抗 r_0 は式(5)を変形して

$$r_0 = r_1 \cdot r_2 / (r_1 + r_2) \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。本回路の抵抗のうち、合成短絡抵抗 r_0 を除く抵抗は、3章2節で述べたように約 $88 \text{ m}\Omega$ である。本実験中、全体回路の電流は1輪軸による短絡あるいは2輪軸による短絡のいかに問わずほぼ 40 A 程度を維持し、電源電圧もほぼ一定の 3.7 V を維持した。したがって、2輪軸により短絡が行われている間の両輪軸の合成短絡抵抗 r_0 は、1輪軸により短絡が行われたときの値とほぼ同じ、すなわち、約 $7 \text{ m}\Omega$ 程度の値を持続したと想定される。すると、2輪軸により短絡が行われている間の各輪軸による短絡抵抗値 r_1, r_2 は、短絡合成抵抗 r_0 が約 $7 \text{ m}\Omega$ を維持する条件の下で相互に関連しながら変化していることになる。そこで、 r_0 を $7 \text{ m}\Omega$ 一定と見なしたとき、短絡抵抗値 r_1, r_2 相互の関係を式(6)から求めた結果を図10に示す。計算の条件は図中のとおりである。

図示のとおり各輪軸の短絡抵抗値は、一方の輪軸の短絡抵抗が低い値をとったときは、他方輪軸は高い値をとり、トレード・オフの関係にあることがわかる。しかし、レール車輪間の物理的な接触状態は、短絡抵抗値が安定していた1輪軸の場合とほぼ同じであるにもかかわらず、2輪軸で短絡している場合に限り、各輪軸の短絡抵抗値が急峻で、しかも、相互に図示のような値をとりながら、周期的な変化を起こすとは考え難い。また、輪軸単体の抵抗は極端に少ないと推定され、短絡抵抗の変動が短絡電流の分流を大きく変化さ

せる可能性があるが、1輪軸の場合の短絡抵抗値や前報⁽³⁾の実験結果などから短絡抵抗が極端な値をとることはなく、各輪軸の短絡抵抗の変化だけで短絡電流の激しい変動は起き得ないと考えられる。したがって、本回路は直流を電源とした回路であるにもかかわらず、回路が両軸で短絡されるときに両輪軸付近では、抵抗以外の成分、すなわち、容量および誘導成分が存在する状態が発生し、これによって、両輪軸間で共振現象が起きた可能性がある。

しかし、今回の実験では車軸に流れる短絡電流測定におけるS/N比の問題および車軸を流れる電流測定が一方の軸のみに留まったことなどから、共振現象の発生を確認するまでには至らなかった。この現象を確認することは、今後の研究課題である。また、本実験では直流の軌道回路での実験であるが、著者らは過去に、踏面上の夾雑物が少なく短絡が良好と推定される交流 50 Hz の軌道回路である中央線や、AF(可聴周波数)の軌道回路である京浜東北線等で、輪軸間に流れる軌道回路の電流を列車中間の車上に設置した軌道電流検知用受電器を用いて連続的に測定した。その結果によれば、これらの交流軌道回路でも輪軸間に流れる軌道電流が安定する事例は極めて少なく、多くの場合、本実験で得た結果と同様に極めて不安定であった⁽⁶⁾⁽⁷⁾。以上の事実から類推すると、本線で用いられているのと同じ交流軌道回路でも同様の現象が発生している可能性がある。なお、交流軌道回路で同様の実験を行うことも今後の研究課題である。

5. 結 論

軌道回路短絡不良現象解明のために、著者らは走行中の個々の輪軸とレールとの電氣的接触の挙動を調べるに際して、現行の軌道回路は列車在線位置に応じ車両に印加される電圧が多様に変化する問題があることにかんがみ、列車の在線位置のいかにかわらず印加電圧を一定に保持できる軌道回路の構成について検討した結果、以下のようなことがわかった。

(1) 一方のレールの一端部と他方レールの他端部との間に軌道電流を印加する方式の軌道回路を導入することによって、列車在線位置のいかにかわらず印加電圧をほぼ一定に保ち得ることがわかった。

(2) 実軌道の1/5スケールの軌道と、高出力の直流安定化電源を導入した前記概念に基づく実験用軌道回路を構成し、当該回路上に実験用2軸台車を走行させ、軌道回路に流れる電流等を測定した結果、各輪軸の印加電圧は台車在線位置のいかにかわらずほぼ一定となることを確認した。

Fig. 10 Relation between the 1st. axle's track circuit shunting resistance and 2nd. axle's one

前記結果を踏まえ上記軌道回路上を二軸台車が走行した際に各輪軸の短絡抵抗を連続測定可能な方法等を提案するとともに、模型の二軸台車を走行させて実験を行った結果、以下のようなことがわかった。

(1) 実験用軌道回路全体の電気抵抗と、レール単位長さ当たりの電気抵抗が既値の場合には、輪軸に流れる短絡電流を測定することによって、走行中の二軸台車各輪軸の短絡抵抗を連続して計測し得ることがわかった。

(2) 前記実験を行うために軌道回路全体の電気抵抗を求めるに際し、回路を構成する要素の中で抵抗値が極めて低く、その値を特定することが困難なレールと導線との接続部の電気抵抗については、当該接続部の抵抗変化を等断面で単位長さ当たりの抵抗が等しいレールの抵抗変化に反映することが出来るホイートストンブリッジ回路を構成することによって、当該接続部の抵抗を高い精度で測定することができた。

(3) 前記の方法により回路全体の抵抗値が既知となった軌道回路について、レールと車輪踏面を清浄にした二軸台車を低速で走行させて短絡抵抗を測定した結果、一軸のみで軌道を短絡した状態の下における短絡抵抗はおおよそ $7\text{ m}\Omega$ 程度の値をとることがわかった。

(4) 実験用軌道回路内に2輪軸が走行している場合、回路全体で見た場合の短絡抵抗は1軸によるときの抵抗とほぼ同じ値をとっているが、両軸に分流する

短絡電流は激しく変動しており、両軸の間で共振現象が発生している可能性がある。

今後の課題として、短絡抵抗値の挙動を詳細に解明するためには、輪軸に流れる短絡電流の測定において十分な S/N 比を確保する必要がある。また、2輪軸が軌道回路内に進入した時のような激しく変動する短絡電流の挙動を測定するためには、測定に対し十分な応答性も確保し測定する必要がある。

最後に、本研究を遂行するに際し、実験等で協力を得た元金沢工業大学工学部学生の平岡隆一ならびに村杉正人の諸氏に対し、ここに感謝の意を表す。

文 献

- (1) 日経新聞, レールに油かすが付着—赤羽線の故障原因, (1977-5-19)第32924号, 1版(夕刊), 11.
- (2) R. Ford, Leaves and 'lost trains' Informed sorces, *Modern Railways*, 49-520 (1992), 16.
- (3) 永瀬和彦・野村俊明・平間淳司, レールと車輪の接触状態が軌道回路の短絡に及ぼす影響, 機論, 63-616, C (1997), 109-116.
- (4) 板倉栄治, 軌道回路, (1982), 245, 信号保安協会(東京).
- (5) 永瀬和彦・田村敏彦・阿部千歳, 列車走行時の輪軸による軌道短絡の実態, 電気学会全国大会, (1983), 994-995.
- (6) 永瀬和彦・平間淳司・野村俊明・有松学, 列車走行時の輪軸による軌道短絡の実態, 鉄道技術連合シンポジウム (J-RAIL'96), (1996), 11-14.
- (7) Nagase. K., An Investigation into inadequate train shunting sensitivity of track circuit, *Quarterly Reports*, 23-4 (1982), 166-169.