

1604 循環電流による電食問題について

Problem of Electrolytic Corrosion by Circulation Current

正 [電] 近間大志 宮口浩一 正 [電] 久保 吏 衣笠潤一

吉森秀典 正 [電] 石井 順 (西日本旅客鉄道株式会社)

Hiroshi Chikama, Hirokazu Miyaguchi, Tsukasa Kubo, Junichi Kinugasa

Hidekuni Yoshimori, Jun Ishii

West Japan Railway Company. 2-4-24, Shibata, Kita-Ku, Osaka City

Recently, the environment which surrounds the contact line equipment had been changing owing to increasing of train and collected current. Generally, it is thought that circulation current also becomes large with increase of collected current. Consequently, the increase brings many troubles with equipment of conventional line: for instance, electricity corrosion and dissolution of hanger, messenger wire. We investigated the circulation current and studied the measure methods to prevent accident.

Keyword: Electrolytic Corrosion, Circulation Current, Over Head Contact Line

1. はじめに

近年、電車本数の増加や列車速度の向上、電車のハイパワー化、パンタグラフすり板材質のカーボン化など、電車線設備を取り巻く環境が大きく変わってきている。一方、電車線設備に関しては、き電吊架線の導入、トロリ線の材質の変更、張力向上などが変更されているが、大部分については、基本的に大きく変化はしていない。

そうした状況の中で、電食によるハンガの脱落や吊架線の素線切れなどの設備故障が頻発するようになってきた。循環電流による電食の問題は、以前から議論されてきているが⁽¹⁾⁽²⁾、今後、設備の長寿命化、メンテナンスフリー化を進める上で、現在の環境条件に見合った効果的な対策や保全管理方法を、再度検討する必要であると考えられる。今回、電食の発生した箇所で、架線の電流分布を調査・シミュレーションを行い、循環電流状況と電食対策について検討した。

2. 電食現象について

ハンガの循環電流による電食は、微小アークによる溶損によって引き起こされる。電位差が2.5V以上になると微小アークが接触界面で発生し、溶損が進行する⁽³⁾。一般的に電食を防ぐためには、電位差を2.5V以下まで低減するようにMTコネクタを設備すればよいと考えられている。しかしながら、MTコネクタの経年による抵抗の増大や集電電流の増加によって、トロリ線吊架線間での電位差増大、金具への分流増大が予想され、電食が発生する危険があると考えられる。

3. 循環電流のシミュレーション

循環電流の計算は、過去にも行われている⁽⁴⁾。しかしながら、電車線路の電気回路構成は、網目状に入り組んでいる

ため、多数の連立1次方程式を解く必要があり、余り一般的ではない。そこで、各現場において循環電流の検討や、対策の効果を検討するため、汎用ソフトを用いた表計算による、比較的簡便な循環電流計算ファイルを作成した。計算モデルをFig.1に示す。変電所からパンタグラフの存在するき電分岐間までは、遠方負荷による電流計算を行い、パンタグラフの有るき電分岐間では、各部材に流れる電流を計算する。表計算ソフトの機能を用いて繰り返し計算することにより、各ループにおける関係式が成立する最適な電流値を求める事が出来る。各部材における抵抗値を設定することにより、コネクタの設置による効果や、抵抗値の変化・絶縁化による電流変化を簡単に検討できる。実設備での電流測定値による比較も行った。

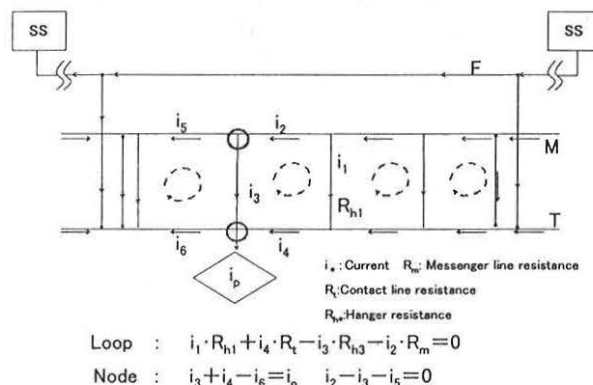


Fig.1 The model of current distribution estimation.

4. 現場設備での電流分布調査

4-1 ハンガ電食箇所

直流シンプル架線区間でのハンガ電食の発生した箇所において、架線電流分布の測定を行った。Fig. 2 に測定概要を示す。ハンガ及び支持点での電流は、左右のクランプメータで計測した電流値から差し引きして求めた。吊架線とトロリ線間に発生する電位差、トロリ線電流も同時に測定した。測定データは架線に軽量ロガーを設置して、記録した。

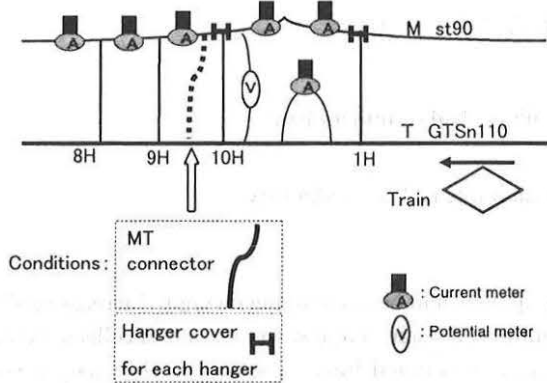


Fig.2 Schematic diagram of current distribution measurement.

パンタグラフ通過時のトロリ線と吊架線に発生する電位差とハンガ電流の測定結果を Fig. 3 に示す。MTコネクタの無い条件では、電位差がパンタグラフ通過時に 2.5V 以上あり、電食の発生する条件となっている。

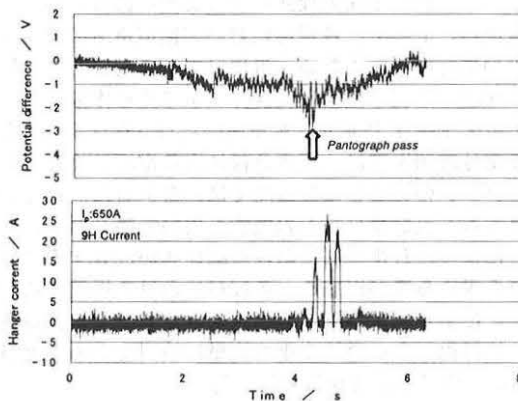


Fig.3 Result of hanger current with the pantograph passage.

パンタグラフ通過時、ハンガ電流が発生している。ハンガに流れる電流は、間欠的に変動しており、架線とハンガの振動によって、接触がON-OFFを繰り返していることが分かる。

Table1 Experimental condition

ConditionNo	MT-Connector	Hanger cover
1	×	×
2	○	×
3	○	○
4	×	○

MTコネクタの効果及びハンガカバーの影響を調査するため、MTコネク及びハンガカバーの取付取外を行い、発

生する電流・電位差の変化を調査した。き電分岐箇所のみMTコネクタを設置し、中間支持点のMTコネクタの取付取外を行った。ハンガカバーについては、き電分岐区間にある全てのハンガに取付取外を行った。試験条件を Table1 に示す。また、各条件において電流分布の計算シミュレーションも行った。その際、ハンガでの抵抗は 0.1Ω 、支持点での抵抗は 0.15Ω としている。MTコネクタが有る場合の、コネクタ抵抗は、 $500\mu\Omega$ としている。

ハンガ電流と集電電流の測定結果を Fig. 4 に示す。MTコネクタが有る場合には、ハンガに流れる電流は大幅に低下し、電食防止への効果が確認できる。図中の点線は、各条件における電流分布計算の結果である。若干のズレはあるが、比較的良く一致していると考えられる。この乖離の理由は、ハンガの接触状態が一定ではないためであると考えられる。

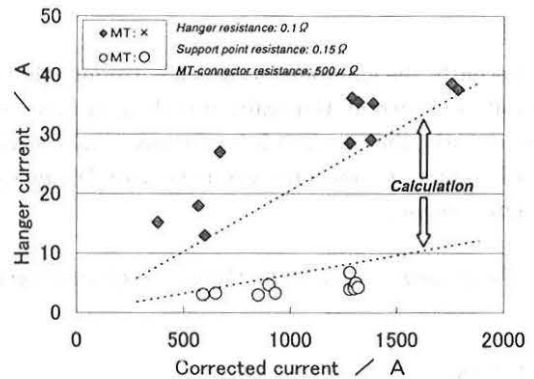


Fig.4 Relation of hanger current and corrected current.

トロリ線と吊架線に発生する電位差の実測結果を Fig. 5、支持点に流れる電流の実測結果を Fig. 6 に示す。ここで、図中の実線は、各条件における計算結果である。

ハンガカバーが有る場合に、ハンガによる導通がなくなるため、発生電位差が大きくなる。MTコネクタ・ハンガカバーが無い場合には、発生する電位差が 2.5V を超えているため、微小アークによる電食が発生したと考えられる。また、MTコネクタが有る場合でも、集電電流が増大していくと電位差が増大し、微小アークが発生して電食が発生すると思われる。計算による結果であるが、実測値に比べ比較的よく一致していると考えられる。

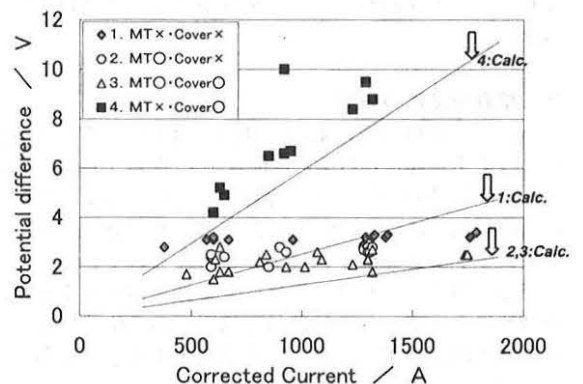


Fig.5 Potential difference between messenger line:St90 and contact line:Cu110.

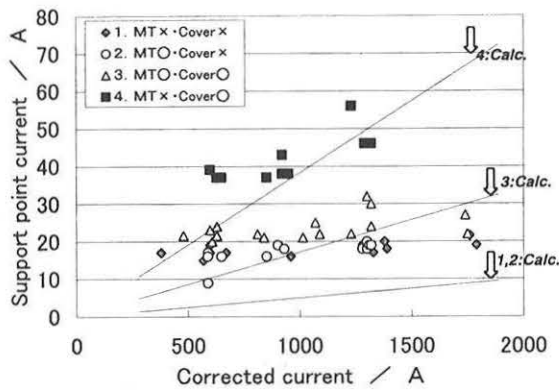


Fig.6 Relation of support point current and corrected current.

また、支持点での電流も集電電流の増大に伴い大きくなる。ハンガカバーを設置した場合には、電位差も大きく、支持点には数十A以上の電流が流れるため、電食による吊架線の素線切れが懸念される。したがって、ハンガカバーを使用する場合は、必ず支持点近傍にMTコネクタが必要であることが分かる。

Fig.6でハンガカバーが無い場合に、実測値とシミュレーションの乖離が大きいのは、パンタグラフ通過による架線・金具の振動によりハンガ・支持点箇所、接触抵抗が変化するためであると考えられる。

4-2 吊架線素線切れ発生箇所

支持点部分の吊架線素線切れが発生した箇所における測定結果をFig.7に示す。2パンタ2000A程度の電気機関車通過時のデータである。支持点に160A程度の大きな電流が流れている。素線切れした箇所はいずれもMTコネクタが設置されていなく、支持点に電流が集中したためと考えられる。この際、見積もられる支持点での抵抗値は0.01Ωと、一般的な箇所と比べて、一桁低い値であった。素線切れのため、添え線を行っていたことと、雨天による影響の可能性が考えられる。

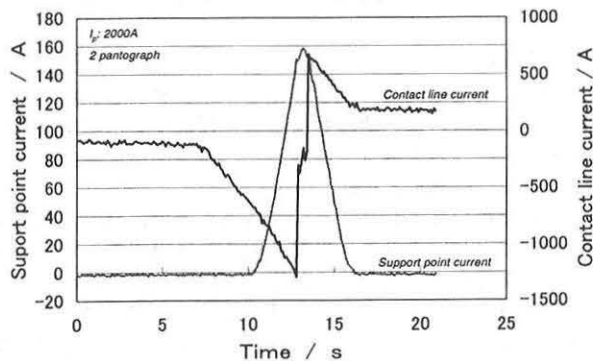


Fig.7 Support point current at messenger line corrosion part.

5. パンタグラフ数による違い

一般的に、電車線路の電流容量や変電所容量を見積もるために、トロリ線の発熱や、列車負荷による電圧降下などのシミュレーションを行っている。しかし、列車の一編成での負荷電流量についての検討は行わが、パンタグラフ数による違いについては検討していない。近年では、速度向上に伴う離線低減、保守コスト削減のため、パンタグラフ

数の少ない車両が走行している。しかも、ハイパワー化のため、集電電流も増加する傾向にある。電車線路の各部材に流れる電流分布は、パンタグラフの集電電流により増加するため、循環電流も増大すると考えられる。

Fig.8に、パンタグラフ数によるハンガ電流の実測値の比較を示す。207系近郊通勤電車での結果である。編成により2パンタグラフ車と3パンタグラフ車がある。編成トータルでの電流は、ほぼ同じであるが、2パンタ編成では、1パンタグラフ当たりの集電電流は1500Aを超えている。Fig.8に示すように、2パンタグラフの方が、明らかにハンガに流れる電流は大きくなっている。この測定したハンガは、循環電流が大きいため、吊架線と溶着状態にあったため、非常に大きな電流が流れていた。

電車線路での循環電流量については、1パンタグラフ当たりの集電電流で検討する必要がある。循環電流を防止するためには、電気車性能の変化に合わせて、適切な処置をする必要がある。

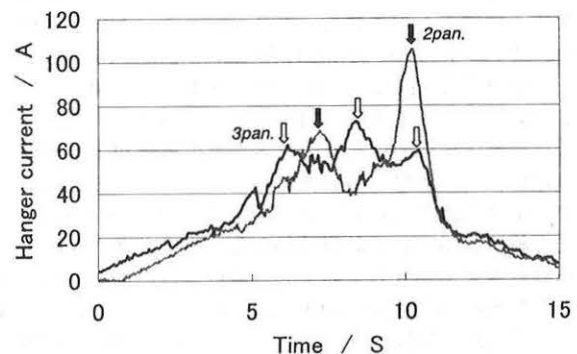


Fig.8 Hanger current owing to the difference in the number of pantographs.

6. 循環電流による電食防止対策の検討

先にも述べたが、電位差が2.5V以上になると微小アークが発生し、溶損による電食が発生する。Fig.9にMTコネクタ・ハンガカバーの有無による発生電位差の計算結果を示す。集電電流は1500A、トロリ線は70%摩耗状態、各支持点は絶縁、MTコネクタでの抵抗は500μΩ、ハンガでの抵抗は0.1Ωとしてシミュレーションを行った。

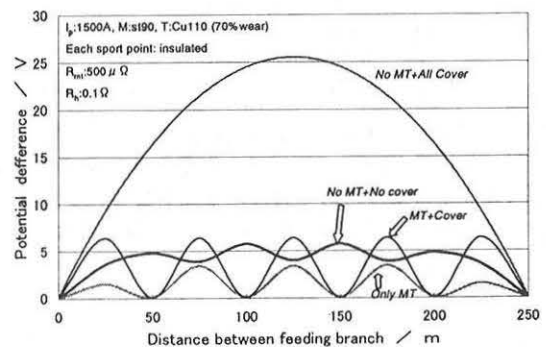


Fig.9 Effect of MT-Connector and hanger cover.

1パンタグラフ当たりの集電電流が1500Aの場合は、各支持点にMTコネクタを設置しても、中間のハンガ地点で

電位差が2.5Vを超えてしまうため、電食が発生すると考えられる。ハイパワーの電車が走行する区間では、全ハンガにカバーをする必要がある。

また、カバー無しで、MTコネクタ有無による比較をすると、支持点中間での電位差が接近している。これは、MTコネクタによる電位差低減効果が1スパンに及ばないことを示している。したがって、MTコネクタのみで、電食対策をする方法は、1スパンに2個以上のコネクタが必要となるため、合理的ではない。したがって、この様なハイパワーの電車が走行する区間では、ハンガカバーと支持点の絶縁化が対策として適切であると考えられる。

今回の測定を基に、力行区間での集電電流による計算値により、電位差2.5V以上になる電分岐区間について、ハンガカバー・絶縁曲引・吊架線絶縁支持の対策を行うこととした。

7. MTコネクタ抵抗増大による影響について

MTコネクタの抵抗増大による、トロリ線・吊架線間に発生する電位差への影響を、シミュレーションにより検討した。MTコネクタ中間の電位差の計算結果をFig. 10に示す。先述の結果と同様に、集電電流が1500Aの場合には、MTの抵抗によらず2.5V以上電位差が発生している。

ここで興味深いのは、MTコネクタの抵抗が1mΩ以下では電位差への効果が殆ど変わらないことである。通常、MTコネクタ箇所での健全な抵抗値は0.1mΩ～0.5mΩと考えられている。この計算結果から、MTコネクタ抵抗が1mΩ程度まで増大していても、電位差への影響は少ないことが分かる。集電電流が1000A程度の場合は、電位差2.5V以下に保つためには、MTコネクタの抵抗を10mΩ程度以下に保持しておけば良いことが分かる。

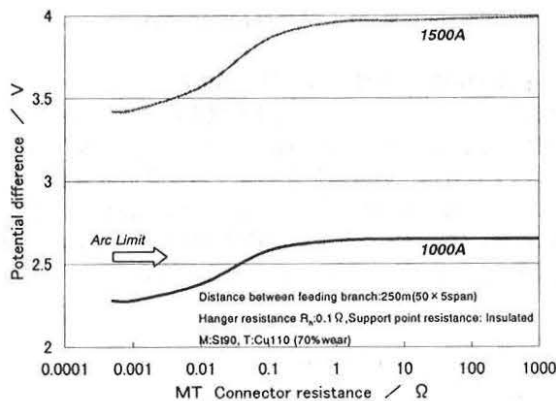


Fig. 10 Effect of MT-Connector resistance for potential.

次に、MTコネクタの抵抗の支持点電流への影響について検討した結果をFig. 11に示す。MTコネクタは第一ハンガから径間中央よりに取り付けた状態を模擬して計算した。支持点抵抗は0.15Ω、ハンガ抵抗は、導通仮定時は0.1Ω、カバー仮定時は1000Ωとした。

計算結果から、カバー取付時は、ハンガに分流していた電流が支持点に集中するため、カバー無しの結果に比べて、大きな値を示す。また、いずれの条件でも、MTコネクタ抵抗が1mΩ以下の場合には、支持点電流の低減効果が変わらない。また、MTコネクタ抵抗値が10mΩ以上になると、支持点電流が大幅に増大している。この傾向は、先の電位差への影響と同様であり、MTコネクタでの抵抗許容値は、概ね1mΩ程度と推測される。

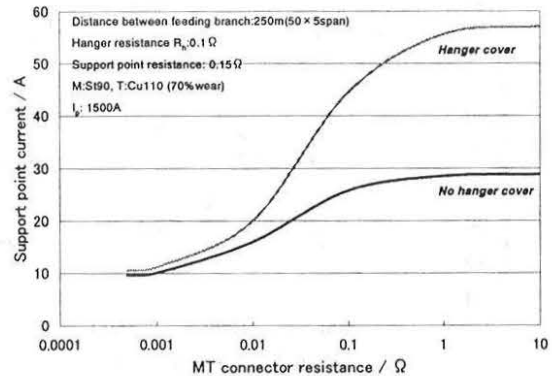


Fig. 11 Effect of MT-Connector resistance for support point current.

Fig. 12にMTコネクタの抵抗値の測定値結果を示す。経年により抵抗が増大し、劣化していることが分かる。古くなるほど、バラつきが大きくなり、結果として、支持点・ハンガでの循環電流が増大し、電食が進行する可能性がある。劣化傾向から、概ね5年程度で1mΩを超えることが予想されるので、MTコネクタの効果を健全に維持するためには、5年程度の周期で検査する必要があると考えられる。

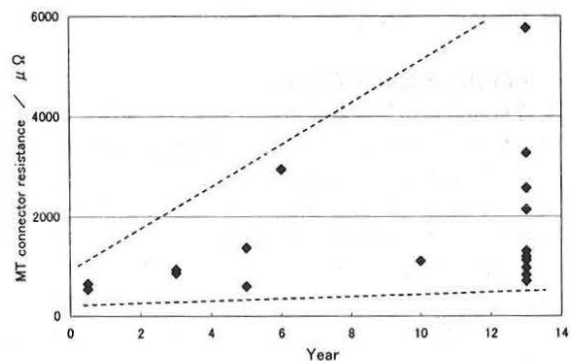


Fig. 12 Degradation of MT-Connector resistance.

7. まとめ

近年、集電電流量の大きい電車やパンタグラフ数の変化など、電車線の電気的な負荷増大に起因する循環電流の増加・状況について調査・検討した。電車線路を電気回路として再度、見直すと共に、

電流分布シミュレーションを行うことで、MTコネクタやハンガカバーの効果・影響を明らかに出来た。また、ハンガ・支持点での電食防止対策について、効果的に対策範囲を検討することが出来た。基本的には、許容以上の集電電流箇所では絶縁化、それ以外は、MTコネクタでの対策としている。

これ以外に、循環電流の元となる吊架線電流そのものを低下させる方法として、抵抗率の低いトロリ線や絶縁吊架線⁽³⁾などの方法も考えられる。

参考文献

- 1) 谷口 重一: 電気鉄道 Vol. 38, P14, 1984
- 2) 祥雲 武治: 電気鉄道 Vol. 37, P13, 1983
- 3) 貴志 俊英: JREA Vol. 46 No7, P14, 2003