

1301 新幹線長大トンネル内単巻変圧器省略に関する検討

Study to Omit an Auto Transformer in Shinkansen Long Tunnel

正〔電〕 ○安藤 政人（東日本旅客鉄道） 正〔電〕 尋田 伸幸（東日本旅客鉄道）

正〔電〕 日野 政巳（鉄道総合技術研究所） 非会員 小澤 吉樹（鉄道総合技術研究所）

Masato ANDO, East Japan Railway Company 2-0, Nisshin-cho, Kita-ku, Saitama City

Nobuyuki HIROTA, East Japan Railway Company

Masami HINO, Railway Technical Research Institute

Yoshiki OZAWA, Railway Technical Research Institute

It will be difficult to renew an auto transformer (AT) in Shinkansen long tunnel during maintenance time. We study a possibility to omit the AT from a viewpoint of rail potential and inductive interference on telecommunication line. When a test train ran, we measured rail potential and inductive voltage on telecommunication line in order to get fundamental data under two conditions. The one was normal status and the other was that an AT was disconnected. In addition, we calculated rail potential and inductive voltage, and we compared the calculated results with measured data. As a result, we found that it would be impossible to omit the AT because inductive voltage would exceed the restriction value.

Keyword: Shinkansen, Auto Transformer, Rail Potential, Inductive Interference

1. はじめに

東北・上越新幹線が開業から20年経過し、変電機器の更新期が近づいている。長大トンネルである上越新幹線榛名トンネル、中山トンネル、大清水トンネル内にある新榛名補助き電区分所、新高山補助き電区分所、新万太郎補助き電区分所の単巻変圧器(AT)は、作業用通路がない、作業時間帯が限られる等の理由により取替作業が難しい⁽¹⁾。

そこで長大トンネル内のATを省略することが実現可能かどうかをレール電位と通信誘導障害⁽²⁾⁽³⁾の観点から検証するため、JR東日本管内の新幹線で補助き電区分所のATを省略して、試験列車通過時のレール電位と通信線の誘導電圧を測定した。またレール電位、誘導電圧等をシミュレーションにより算出し、測定値との比較を行った。

今回の測定箇所は長大トンネル内ではないが、検討過程にて実施するシミュレーションの基礎データを得ることを目的として実施した。長大トンネル内のAT省略の可否に関しては、得られた基礎データを基にしたシミュレーションを行い、検討することとした。

2. 測定概要

2.1 測定箇所

測定を行った箇所の電系統をFig. 1に示す。Fig. 1に示す通り、レール電位測定はB補助き電区分所と隣接のAT保護線用接続線(CPW)間の上り線インピーダンスボンドで行い、通信線の誘導電圧測定は、B補助き電区分所近接の絶縁ハット内で、B補助き電区分所～C補助き電区分所間の通信線を使用して行った。なお、測定はB補助き電区分所の上り線ATを省略した場合を2日、通常状態を1日の2通りで行い、各日2本の上り線試験列車(列車1、列車2)を測定対象とした。また、B補助き電区分所の下り線ATは省略

せず、上下線レールを結ぶレールクロスボンドも通常のままとした。

2.2 測定項目

○負荷電流、等価妨害電流測定(A変電所)

A変電所にて、Fig. 1に示す区間の上下線のトロリ線電流、フィーダ線電流の合成電流の実効値をテストプラグより測定した。なお、当該区間はDき電区分所にて上下線のトロリ線、フィーダ線を結んでいるため、上下線の合成電流が負荷電流値となる。また、併せて等価妨害電流もA変電所にて測定した。

○AT吸い上げ電流測定(A変電所、B補助き電区分所)

今回の測定ではB補助き電区分所の下り線ATとレールクロスボンドは通常状態であったため、下り線ATによる電流吸い上げ効果を把握する必要があった。そこで、A変電所の2台のATとB補助き電区分所の下り線ATの吸い上げ電流の実効値をテストプラグより測定した。

○レール電位測定(インピーダンスボンド中性点)

Fig. 1に示す上り線インピーダンスボンドの中性点に、耐圧DC15kVのネオン電線を接続して高架下に垂らし、ネオン電線と接地間の電位の実効値を測定した。高架下の測定回路をFig. 2に示す。ネオン電線と接地極間に440V:110Vの変圧器(PT)を接続し、トランスデューサで実効値に変換した電圧をレコーダで記録した。なお、接地極は線路と垂直方向に約50m離れた箇所へ打ち込んだ電極棒を使用した。

○常時誘導縦電圧、誘導雑音縦電圧、誘導雑音電圧測定(B補助き電区分所近接の絶縁ハット)

Fig. 1のB補助き電区分所～C補助き電区分所間の無装荷回線2対を使用して、B補助き電区分所近接の絶縁ハット

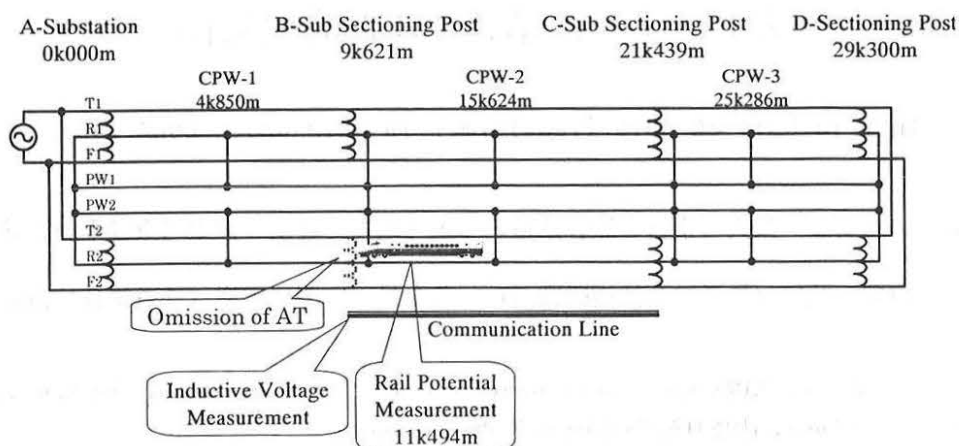


Fig. 1 Feeding Circuit

Table 1. Results of Rail Potential Measurement and Calculation

AT 条件	測定 または シミュ レーシ ョン	A 変電所			B 補助き電区分所		レール 電位 (V)	レール 漏れ抵抗 ($\Omega \cdot \text{km}$)	記 事
		I (A)	I_{A1} (A)	I_{A2} (A)	I_{B1} (A)	I_{B2} (A)			
上りなし	測定	130	20	22	22	—	35		1 日目：霧
		130	21	24	24	—	47		2 日目：晴
	シミュ レーシ ョン	130	23	23	23	—	62	50	
		130	24	24	22	—	45	10	
上下あり	測定	130	4	4	6	80	36		3 日目：雨のち曇
	シミュ レーシ ョン	130	4	4	6	87	49	50	
		130	5	5	6	87	41	10	
上下なし	シミュ レーシ ョン	130	30	30	—	—	65	50	参考値
		130	30	30	—	—	46	10	参考値

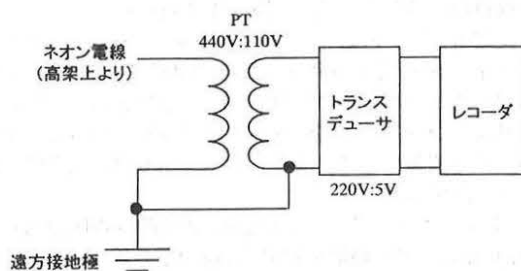


Fig. 2 Circuit for Rail Potential Measurement

にて測定した。供試回線の端末処理は C 補助き電区分所に行い、1 対は 1 本にまとめて保安器用アースに接地し、もう 1 対は 600 Ω の抵抗で終端した。接地した回線では常時誘導縦電圧、誘導雑音縦電圧を、抵抗で終端した回線では誘導雑音電圧を測定した。

3. 測定結果とシミュレーション結果

3.1 レール電位

列車がレール電位測定点を通過した時の、通信誘導電圧以外の測定結果とシミュレーション結果を Table 1 に示す。I は A 変電所の上下線負荷電流の合成値を、 I_{A1} 、 I_{A2} は A 変電所の AT の吸い上げ電流を、 I_{B1} 、 I_{B2} は B 補助き電区分所の AT の吸い上げ電流を示している。また、測定初日に列車 1

がレール電位測定点を通過した際の負荷電流値が 130A であったため、他日の測定とシミュレーションによるレール電位は負荷電流を 130A に換算した場合の数値となっている。

シミュレーションは交流き電回路解析プログラム⁽⁴⁾を用いて、測定と同区間の条件で行った。なお、B 補助き電区分所の上下 AT を省略した場合のシミュレーションも参考に併せて行った。また、レール漏れ抵抗値は 50 ($\Omega \cdot \text{km}$) と 10 ($\Omega \cdot \text{km}$) の 2 通りとした。

Table 1 の測定結果より、B 補助き電区分所の上り線 AT を省略した場合のレール電位は、1 日目が霧で 35V、2 日目が晴で 47V であり、3 日目の上下 AT がある場合は、雨のち曇で 36V であった。1 日目と 3 日目のレール電位を比較すると、AT 状態に関わらずほぼ等しい値となっている。今回はレール漏れ抵抗を測定していないため明確な理由は不明であるが、1 日目は測定中継続して霧がかかっていたためレールが湿潤状態になり、その影響でレール電位が低くなったことが予想される。

シミュレーション結果では、レール漏れ抵抗の違いにより、各電流値はほとんど変わらないが、レール電位はレール漏れ抵抗に大きく依存することが確認できた。

また Table 1 において、測定結果とシミュレーション結果を比較すると、各電流値については、ほぼ等しくなることが確認できた。レール電位については、当該箇所のレール漏れ抵抗を実測していないため正確な判断はできないが、レール漏れ抵抗を 10 ($\Omega \cdot \text{km}$) と低めに設定して計算した結

果 (Table 1 の網掛部) に近い値となった。

今回の測定箇所はトンネル外の高架区間であり、長大トンネル内は漏水等により測定箇所と同等以下のレール漏れ抵抗であると予想される。従って、シミュレーションで長大トンネル内のレール電位を検証する場合は、レール漏れ抵抗を $10(\Omega \cdot \text{km})$ と設定するのが妥当であると考えられる。

3.2 通信誘導電圧

Fig. 1 の B 補助き電区分所～C 補助き電区分所間の無装荷回線を使用して、B 補助き電区分所近接の絶縁ハットにて常時誘導縦電圧 (Ve)、誘導雑音縦電圧 (Ven)、誘導雑音電圧 (Vn) を測定した。今回の試験対象列車であった上りの 2 列車が測定区間を通過した時の A 変電所で測定した負荷電流 (Ip) と合わせて、各最大値を Table 2 に示す。また等価妨害電流 (Jp) は測定環境雑音の関係から測定不能であったが、一部測定可能であった下り列車の結果から概ね 5A 程度と推測された。さらに、電圧の制限値⁽⁵⁾⁽⁶⁾ (国鉄と電電公社で結んだ協定による値及び国際電信電話諮問委員会 (CCITT) による値) も併せて示す。

また、今回の測定では、B 補助き電区分所の上り線 AT のみの省略であったことから、上下 AT を省略した場合の当該区間における通信誘導の拡大率を予測した結果を Table 3 に示す。シミュレーションでは負荷位置に関わらず負荷電流を 430A (実測最大値)、妨害電流を 5A 一定とした。なお微小線間に発生する誘導雑音電圧をシミュレーションで模

擬することができないため、誘導雑音縦電圧で拡大率を算出し、その値を誘導雑音電圧の拡大率として適用するものとした。

4. レール電位と通信誘導電圧の予測最大値

4.1 レール電位の予測最大値

榛名トンネル、中山トンネル、大清水トンネル内の上下 AT を省略した場合のレール電位をシミュレーションにより算出した。列車条件は、AT を省略した箇所と隣接の CPW 間で、最大電流値 920A (30kV 系、2 編成併結相当) の車両がすれ違う条件を適用した。レール漏れ抵抗は、測定値とシミュレーション値との比較で妥当であると考えられた $10(\Omega \cdot \text{km})$ とし、トンネル内 AT を省略した場合、隣接ポストの AT1 台が脱落した場合、隣接ポストに上下タイ設備を付けた場合の 3 パターンで計算した。シミュレーション結果を Table 4 に示す。なお、大清水トンネルは AT を省略する補助き電区分所の両隣が変電所、き電区分所のため、既に上下タイとなっている。

シミュレーション結果より、レール電位は AT を省略しても、目安値である 400V⁽⁷⁾ を超えることはなく、特に問題となる値ではないことが分かった。

4.2 通信誘導電圧の予測最大値

Table 3 に示したように、上下 AT を省略した場合、厳しく見て常時誘導縦電圧は約 2.5 倍、誘導雑音電圧は約 4 倍

Table 2. Maximum Measurement Values

測定項目	上下 AT あり		AT2 なし		記 事
	列車 1	列車 2	列車 1	列車 2	
負荷電流 (Ip)	433(A)	433(A)	449(A)	452(A)	
常時誘導縦電圧 (Ve)	14.9(V)	14.9(V)	12.3(V)	11.7(V)	制限値 60V (国鉄、CCITT)
誘導雑音縦電圧 (Ven)	0.62(V)	0.63(V)	0.66(V)	0.66(V)	
誘導雑音電圧 (Vn)	0.35(mV)	0.41(mV)	0.54(mV)	0.52(mV)	制限値 1mV (国鉄)、0.5mV (CCITT)

Table 3. Estimated Expansion Rate of Inductive Voltage

項目	常時誘導縦電圧 (Ve)	誘導雑音縦電圧 (Ven)
上下 AT ありのシミュレーション値(①)	19.0(V)	0.385(V)
上下 AT なしのシミュレーション値(②)	42.9(V)	1.47(V)
上下 AT なしの誘導拡大率 (②/①)	2.3(倍)	3.8(倍)

Table 4. Estimated Maximum Rail Potential of Shinkansen Long Tunnel

シミュレーション条件	榛名トンネル	中山トンネル	大清水トンネル
上下 AT 省略	296(V)	248(V)	341(V)
上下 AT 省略+隣接 AT1 台脱落	309(V)	265(V)	—
上下 AT 省略+隣接 AT1 台脱落+隣接上下タイ	300(V)	254(V)	342(V)

に拡大することが予測される。この予測拡大率を用いて、最大電流値 920A (30kV 系、2 編成併結相当) の車両が走行した場合に、今回測定に使用した通信線に発生する通信誘導電圧を算出した結果を Table 5 に示す。その結果、上下 AT を省略して最大負荷の車両が走行した場合、常時誘導縦電圧、誘導雑音電圧は制限値を超えることが分かった。

Table 5. Estimated Maximum Inductive Voltage

	常時誘導縦電圧 (V _e)	誘導雑音電圧 (V _n)
上下 AT ありの シミュレーション値	31.6 (V)	0.81 (mV)
上下 AT なしの シミュレーション値	79.0 (V)	3.24 (mV)

5. まとめ

長大トンネル内の AT を省略することが実現可能かどうかを検証することを目的として、新幹線高速走行試験時に AT を省略してレール電位、通信誘導電圧を測定し、シミュレーションを行う上での基礎データを取得した。また得られた基礎データをもとに、レール電位、通信誘導電圧のシミュレーションを行った。

今回の測定及びシミュレーション結果より以下のことが分かった。

○長大トンネル内の AT を省略し、さらに隣接の AT1 台が脱落した場合においても、レール電位は目安値である 400V⁽⁷⁾ を超えず、問題とはならないことが分かった。

○通信誘導電圧は、今回の測定箇所では仮に上下 AT を省略し、最大負荷電流 920A の車両が走行した場合は、常時誘導縦電圧の制限値 60V、誘導雑音電圧の制限値 1mV⁽⁵⁾⁽⁶⁾ を超える恐れがある。

○AT 省略を目指す箇所は長大トンネル内であるため、AT を省略した場合においても部外通信線への影響は無視できると考えられるが、部内の上越新幹線用の通信線（日本テレコム株式会社殿所有）には制限値以上の通信誘導電圧が発生する恐れがある。

○基幹通信線としてメタルケーブルが使用されている以上は、長大トンネル内 AT 省略はできないと考えられる。しかし、将来、基幹通信線の光ケーブル化が完了し、短小なメタルケーブルしか残らない状況になれば AT 省略が可能になると予想される。

謝辞

今回の測定にあたり、通信線を貸与して頂いた日本テレコム株式会社、測定回路を仮設して頂いた東日本エンジニアリング株式会社の関係者には多大なるご協力を賜った。ここに深謝する。

参考文献

- (1) 安藤, 日野 「新幹線レール電位測定」, 平成 15 年電気学会産業応用部門大会, No. 3-211, 2003
- (2) 新井他 「AT 機能停止時の電力・通信誘導特性」, 鉄道技術研究所速報, No. 80-55, 1980
- (3) 渡辺他 「AT き電回路における AT 間隔延伸に関する検討」, 鉄道技術研究所速報, No. 81-132, 1981
- (4) 藤江 「AT き電回路電力特性プログラム (ATAC-P)」,

鉄道技術研究所速報, No. 82-67, 1982

(5) 持永 「電気鉄道工学」, エース出版, 1995

(6) 電気鉄道における教育調査専門委員会 「最新 電気鉄道工学」, コロナ社, 2000

(7) 渡辺, 持永 「レール電位とその抑制対策」, 鉄道技術研究所報告, No. 1090, 1978