

千代田線北千住駅～町屋駅間軌道回路装置不正落下に対する調査

高橋 俊介* 武藤 奨 武田 竜来 鶴巻 熱粋 首藤 浩敏 (東京地下鉄)

Investigation of Track Circuit Failures between Kitasenju Station and Machiya Station on the Chiyoda Line
Shunsuke Takahashi*, Susumu Muto, Tatsuki Takeda, Atsuki Tsurumaki, Hirotooshi Shutou (Tokyo Metro Co.,Ltd.)

The train detection method of Tokyo Metro uses train detection. Management of the train detection distance (train detection reception level) is important because jointless track circuits are used to reduce running costs and ride comfort for customers. The train detection reception level fluctuates depending on the environment in the tunnel between Kitasenju Station and Machiya Station on the Chiyoda Line. Track circuit failures have occurred in the past. In this paper, we investigated the relationship between the environment in the tunnel and the train detector reception level.

キーワード：列車検知，軌道回路，TD 受信レベル
(train detection, track circuit, train detection reception level)

1. はじめに

鉄道の信号保安装置は、軌道回路による列車検知を基に関係列車または関係設備に必要な情報を伝えて列車運転の安全を確保するとともに運転能率の向上を果たしている。従って軌道回路はすべての信号施設の基本となる装置である。東京メトロの列車検知は TD (Train Detection) 信号を用いており、駅間ではお客様の乗り心地やランニングコスト抑制の観点から無絶縁軌道回路を採用している。そのため、TD 受信レベル (列車検知距離) の管理が重要となる。当社の千代田線北千住駅～町屋駅間は、トンネル内の環境変化により TD 受信レベルが変動しやすく、過去に TD 受信レベルの低下による軌道回路の不正落下が発生するまでに至っている。本稿ではトンネル内の環境の変化に伴う TD 受信レベルの関係性を調査したので報告する。

2. 東京メトロの列車検知方式について

〈2・1〉 TD 軌道回路 同じ軌道回路に ATC (Automatic Train Control : 自動列車制御装置) 用 AF (Audio Frequency : 可聴周波数) 波と重畳して、列車検知用として別の AF 波 (以下、TD 波) を送信する。TD 波は搬送波 10.8 kHz, 11.8 kHz, 13.3 kHz, 15.4 kHz, 16.8 kHz, 18.6 kHz の 6 波を変調された信号波として軌道回路に送信し、各軌道回路に設けた受信器で受信する。車軸短絡により受信器側にて TD 信号が「断」となり、列車の有無を検知

している。搬送波の 6 波は、ATC 信号とその高調波の影響を避けるため、ATC 用搬送波の 2 倍以上の周波数帯から選定している。隣接する軌道回路への影響を出来るだけ避けるため、軌道回路毎に効果的な周波数配置を行っている。

〈2・2〉 有・無絶縁軌道回路の特徴 有絶縁軌道回路と無絶縁軌道回路は、TD 送受信器の数の違いによる特徴がある。有絶縁軌道回路は、主に進路でこ及び転てつ機がある連動区間で、レール絶縁装置及びインピーダンスボンドが設備された箇所には設けられ、1 台の TD 送信器に対し、1 台の TD 受信器で構成される。一方、無絶縁軌道回路は進路でこ及び転てつ機がない自動区間にて 1 台の TD 送信器に対し 2 台の TD 受信器で構成される。2 軌道回路に 1 台の割合で使用し、2 軌道回路の中央部で送信した TD 波を前後軌道回路の末端部で受信することで列車検知を行う。無絶縁軌道回路はレール絶縁装置のほか、送信器 1 台分のユニットと送信ケーブル、インピーダンスボンドが不要である。そのためコストダウンを図れるだけでなく、保守の省力化と安全性アップが確保され、乗り心地の改善にも役立っている。レール絶縁装置がない特徴から軌道回路ごとの閉そくの境界が明確でないため、列車在線時は当該軌道回路の手前、数 m で TD 受信器のレベルが軌道回路落下点まで低下することにより、列車在線となる。列車非在線時は進出後、十数 m で TD 受信器のレベルが扛上点まで上昇して列車非在線となる。

〈2・3〉 TD 軌道回路と ATC 信号の関係性 有絶縁軌道回路では、進路を構成した際に ATC 信号が常時送信されている。一方無絶縁軌道回路では、列車の在線状態を条件として、軌道回路が落下した際に ATC 信号を送信する踏込送信式が採用されている。踏込送信式では軌道回路が落下後、ATC 信号を送信するまでの切替タイムラグがある。そのため、ある軌道回路(2T)に進入する 1 つ手前の軌道回路(1T)で ATC 信号を送信する必要がある。東京メトロでは上記を列車検知距離と呼び、社内基準等により 5 m~8 m 以内に調整する必要がある (図 1 参照)。

3. 軌道回路状態監視及び千代田線の特異箇所

〈3・1〉 信号保守情報処理装置の概要・機能 東京メトロでは、軌道回路をはじめとする信号保安設備 (ATC/TD 装置、電子連動装置等) の状態監視を行う信号保守情報処理装置を設置している。信号保安設備の動作状態を常時監視し、異常を検知した際に総合指令所および信号保安設備を保守する現業区 (以下、信通区) にある表示端末に異常を知らせ、故障を記録する。障害発生時には、表示端末で信号保安設備のリアルタイム状態を閲覧し、発生前後の状態情報の再現などにより、障害原因の特定を行う。信号機器室および現場間の送受信状態を信号保守情報処理装置に信号 LAN を通じて常時送信し、その内容は表示端末にて閲覧する。主な機能は 3 つある。

1 つ目は、信号保安装置の状態情報をリアルタイムで閲覧する機能である。信号保安設備からの情報は、常に信号保守情報処理装置に伝送され、信号機器室内の各装置の状態情報を信通区に設置した表示端末にて遠隔閲覧可能である。表示端末で閲覧可能なデータの 1 つに ATC 装置及び TD 装置の送受信レベルがある。

2 つ目は、各装置の状態情報を再現する機能である。信号保守情報処理装置の処理部が自動的に保存したデータを表示端末で選択、読み込み、リアルタイムで表示した状態情報を再現可能である。故障原因追究のため、一定数の再現データを別領域に保存することが可能である。

3 つ目は、故障記録のためのしきい値設定機能である。信号保守情報処理装置で取得する送受信レベルが異常値となった場合に、警報を表示させるための基準となるしきい値を設定することが可能である。しきい値は上限及び下限を設定し、現在の信号保安設備の状態情報がしきい値上限あるいは下限を超過したことを検出した場合に警報として記録する (図 2 参照)。

信号保守情報処理装置のデータ取得の主な仕様を示す。

- (1) データ取得間隔は 500 ms
- (2) レベル情報保存期間は 1 か月間であり、以降は古い順に上書き保存
- (3) 信号保守情報処理装置の処理部で保存
- (4) データは信号保守情報処理装置でのみ閲覧可

信号保安装置は二重系で運用しているため、常用系が故障しても常用系と同等の機能を持つ予備系が動作し、列車の

運行を支障させない構造となっている。軌道回路においても機器室の各装置 (TD 送受信架など) は二重系となっているが、現場側では一重系となっているため、現場側で故障が発生してしまうと、列車運行に支障をきたす。現場側は、レールにボンドを取付け、TD 信号を送信する。当該軌道回路末端にあるボンドを経由して、受信した TD 信号を機器室にある TD 受信器に入力されるレベルにより列車在線状態を監視している。これらを考慮すると、軌道回路の伝送経路である信号ケーブルやレールの劣化状態や、道床状態など多くのトンネル内の環境によってレールに流れる TD 信

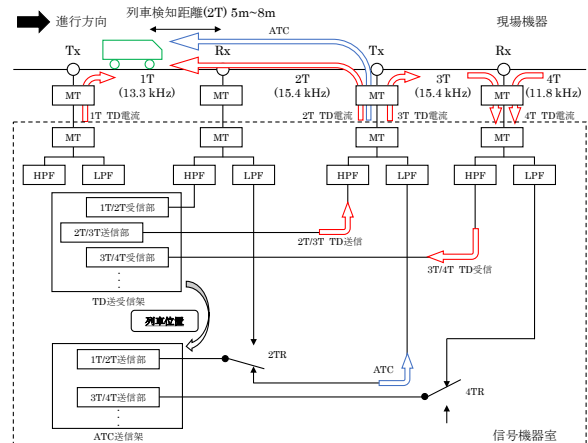


図 1 ATC/TD 装置のシステム構成及び動作概要
Fig. 1. System configuration diagram of and operation outline of ATC/TD equipment.

線路名	区間	装置名	送受信レベル	異常値	状態	備考
1-4	上野	48T	25.5	28.2	48.6	正常
		49T	30	32.8	36.2	正常
		50T	35	37.8	40.2	正常
		51T	40	42.8	45.2	正常
		52T	45	47.8	50.2	正常
		53T	50	52.8	55.2	正常
	下野	44T	20	22.8	26.2	正常
		45T	25	27.8	31.2	正常
		46T	30	32.8	36.2	正常
		47T	35	37.8	41.2	正常
		48T	40	42.8	46.2	正常
		49T	45	47.8	51.2	正常

図 2 信号保守情報処理装置の受信レベル閲覧画面
Fig. 2. The train detection reception level viewing screen of signalling management information processing equipment.

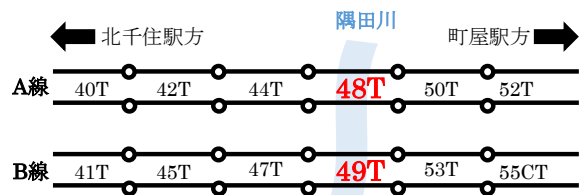


図 3 軌道回路 48T, 49T と隅田川との位置関係図
Fig. 3. Location of track circuit 48T and 49T and Sumida River.

号が影響を受けやすいことが分かる。

〈3・2〉 千代田線特異箇所 信号保守情報処理装置にて TD 受信レベルのしきい値を超過していた場合は、警報として故障履歴に残るため、定期的に端末を確認することで保守している。信通区では TD 受信レベルのしきい値を高頻度で超過する箇所を特異箇所と定めている。千代田線では北千住駅～町屋駅間の町屋駅方面（以下、A 線）軌道回路 48T と、北千住駅方面（以下、B 線）軌道回路 49T である。48T・49T は「雨天時」に TD 受信レベルのしきい値を超過する傾向が経験的に分かっている。また過去に軌道回路 49T において軌道関係の保守を行う工務区が高圧洗浄によるレール清掃作業を実施中、TD 受信レベルが低下し、列車が非在線にも関わらず、在線状態となってしまった事例が発生している。

上記軌道回路 48T 及び 49T のトンネル内の環境の特徴について以下に示す。

- (1) 地上部には隅田川が流れている（図 3 参照）。
- (2) 隅田川の影響で漏水が激しく、道床状態やレールの錆が劣悪である。
- (3) 隅田川直下のトンネルは高低差があり軌道回路 48T・49T は谷部に該当し、漏水が貯まりやすい。

4. 在線検知の受信レベルに関する調査

前節にも記載の通り、北千住駅～町屋駅間の A 線軌道回路 48T 及び B 線軌道回路 49T は雨天時に TD 受信レベルが低下することが経験則でしか確認されていないため、外気温・湿度とトンネル内の温湿度の関係性を調査する必要がある。

調査期間は、2022 年 6 月 28 日～7 月 14 日に設定、0 時から 23 時まで 1 時間ごとのデータを採用した。外気温・湿度は、東京都東京地方における気象庁のデータの平均気温及び平均湿度を参照した。トンネル内温湿度については、現場の MT 箱の中に温湿度計 (T and D, Thermo Recorder おんどとり, TR-72wf, TR-73U) を設置し、1 時間ごとの温度と湿度のデータを測定し、比較を行った（図 4 参照）。図 4 からトンネル内の温湿度の変化量は小さいことがわかる。しかし、気象庁データの変化とトンネル内の温湿度のデータが同じ傾向にあることが確認できるため、気象庁データとトンネル内の温湿度について相関係数を用いて算出した（表 1 参照）。温度に関しては、A 線が強い正の相関、B 線が正の相関を確認した。湿度に関しては、A 線、B 線共に正の相関があるため、外気温・湿度とトンネル内の温湿度には関係性があることが明らかになった。トンネル内の環境について一部例外はあるが、常にトンネル換気を実施している。しかし、図 4、表 1 からトンネル内は、温度と湿度の影響を受けていることが明らかになった。

次にトンネル内の温湿度と A 線軌道回路 48T、B 線軌道回路 49T のデータを測定し、比較を行った（図 5、図 6 参照）。鉄道運行を支障させないことが大前提であるため、TD 受信レベルがしきい値を超過している場合は、その都度信

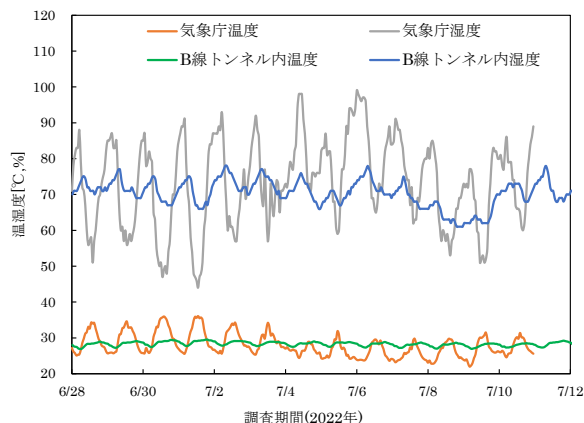


図 4 気象庁とトンネル内温度・湿度の比較

Fig. 4. Comparison of temperature and humidity in the tunnel with the Japan Meteorological Agency.

表 1 気象庁とトンネル内の温湿度の相関係数

Table 1. Correlation coefficient between the Japan Meteorological Agency and the temperature and humidity in the tunnel.

	A 線(48T)	B 線(49T)
温度	0.76	0.57
湿度	0.62	0.52

号機器室側の TD 受信器の抵抗を変えることで、TD 受信レベルがしきい値内に収まるように調整している（グラフ内の「換算前」に該当）。調査期間内で TD 受信架の抵抗を変えた箇所に関しては、取得したデータに対して変化させた抵抗分を換算することで抵抗を変化させなかった時の本来の TD 受信レベルの変動を見ている（グラフ内の「換算後」に該当）。図 6 においてグラフ内で一部データが空白の箇所が存在するが、夜間作業時間帯（1:00～4:00）において保守用車を用いた作業が 49T 及び周辺軌道回路で行われているため、TD 受信レベルが低くなり、本来のデータから逸脱することからデータを削除している。

A 線軌道回路 48T と B 線軌道回路 49T の TD 受信レベルとトンネル内の温湿度について相関係数を用いて算出した（表 2 参照）。表 2 より温度と TD 受信レベルは関係性が見られない一方で、湿度と TD 受信レベルは負の相関関係があることが分かる。

以上のことから、雨天時に TD 受信レベルが下がるという経験則から数値的根拠として確認することが出来た。48T における TD 受信レベルの換算後データに着目すると、しきい値を超過するケースは少ないが、しきい値の上限・下限値付近の TD 受信レベルは、東京メトロが定めている列車検知距離の調整範囲を超えている。TD 受信レベルが上限値を上回ると、列車検知距離が短くなる。その結果、軌道回路 48T に進入してから ATC 信号を送信するまでにタイムラグ

が発生するため、瞬間的な無信号状態が発生して列車の非常ブレーキが動作しまう可能性がある。また TD 受信レベルが下限値を下回ると、列車検知距離が長くなる。その結果、列車検知距離が社内基準である 8m を超過する可能性があり、そのまま 48T 軌道回路落下レベルを下回った場合は、48T 軌道回路が落下して在線状態となり列車の運行に支障する。

図 6 では 49T のしきい値上限値は 240 mV に対して、TD 受信レベルは 265 mV としきい値を大幅に超えている。現状として、TD 受信レベルがしきい値を超過していることを発見出来ていないことが分かる。また、信号保守情報処理装置はしきい値を超過すると警報表示は故障履歴に残るが、警報音等はない。そのためしきい値を超過した場合は警報音を鳴動させるなど、今後の改修案として検討していきたい。

5. おわりに

本稿を通じて、外気温・湿度と TD 受信レベルは負の相関関係があることが経験則から数値的根拠として確認することが出来た。図 6 に着目すると、しきい値が設定されておらず、TD 受信レベルの調整作業も行わなかった場合（換算後）、TD 受信レベルが最低値で 113 mV であり、千代田線の ATC/TD 装置の TD 受信器が列車在線状態と判断する TD 受信レベル（軌道回路落下レベル）は 75 mV であることから、列車が非在線にも関わらず、在線状態となる不正落下の状態が起きる可能性が多いにあり、しきい値と TD 受信レベルの重要性を再認識することが出来た。今回は無絶縁軌道回路に着目したが、今後は有絶縁軌道回路において、レール絶縁部に鉄粉等が付着し、TD 受信レベルがしきい値を超えない範囲で不安定になった場合の検出方法など検討していくことで、将来的に状態基準保全（Condition Based Maintenance : CBM）の概念を加えた保守体系への転換を視野に入れながら、今後の保守運営に活用していきたい。

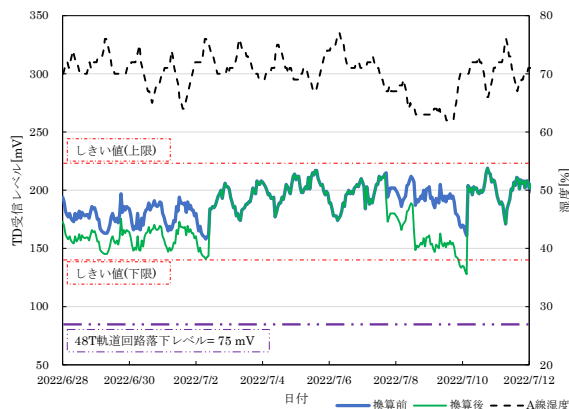


図 5 A 線軌道回路 48T の TD 受信レベル及びトンネル内湿度

Fig. 5. The train detection reception level of track circuit 48T and humidity in the tunnel.

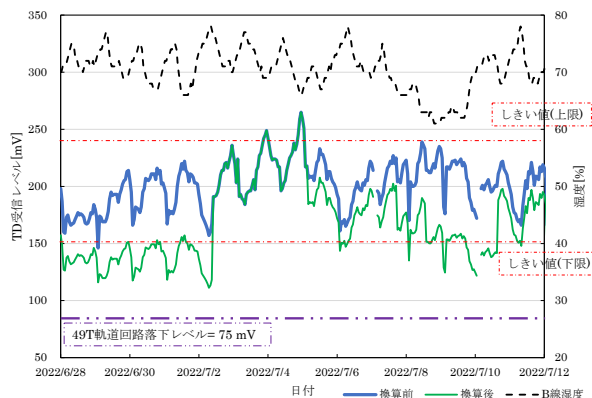


図 6 B 線軌道回路 49T の TD 受信レベル及びトンネル内湿度

Fig. 6. The train detection reception level of track circuit 49T and humidity in the tunnel.

表 2 軌道回路 48T 及び 49T の TD 受信レベルとトンネル内温度・湿度との相関係数

Table 2. Correlation coefficient between TD reception level of track circuits 48T and 49T and temperature/humidity in the tunnel.

	A 線(48T)	B 線(49T)
温度	0.07	0.31
湿度	-0.41	-0.67