

温度変化とトロリ線摩耗が集電性能に与える影響の評価

電力技術研究部 電車線構造研究室

副主任研究員 常本 瑞樹

1. はじめに

電気鉄道の架空電車線（以下、架線）において、温度変化やトロリ線摩耗により架線が伸縮すると、架線張力とトロリ線高さは変化する。これらは架線とパンタグラフ間の接触性能（以下、集電性能）に影響するが、この影響について定量的な評価は行われていない。また、トンネル区間では、明かり区間よりもパンタグラフ対向風の風速が高く、パンタグラフ揚力が大きくなるため、トロリ線押上量・ひずみが悪化することが報告されている¹⁾が、トンネル内で考慮すべき温度変化は明確に定められていない。

そこで、新幹線の架線設備条件において、温度変化やトロリ線摩耗による架線伸縮時の架線張力とトロリ線高さの変化が集電性能に与える影響を検討するため、理論検討および動特性評価を実施した。また、トンネル内の温度特性を把握するため、現地測定および温熱環境シミュレーションを実施したので報告する。

2. 温度変化やトロリ線摩耗による架線張力とトロリ線高さ変化

温度変化やトロリ線摩耗による架線張力とトロリ線高さの変化を張力計算モデル²⁾により計算した。図1に、新幹線用コンパウンド架線における引留箇所概略を示す。引留箇所には自動張力調整装置とヨークが取り付けられている。自動張力調整装置は、架線伸縮に応じて可動し、その変位により張力が変化する。また、一般に各線条は異なる材質・断面積の線種が用いられており、架線伸縮量の差によりヨークが傾斜し、1号ヨークではトロリ線と補助ちょう架線、2号ヨークでは代用トロリ線とちょう架線の張力比が変化する。よって、架線伸縮時は、各線条の張力が釣り合う位置に自動張力調整装置の変位とヨークの傾斜が変化する事となる。図2および表1に、自動張力調整装置の張力特性および計算条件をそれぞれ示す。自動張力調整装置は、明かり区間では滑車式（WTB）、トンネル区間はトンネル用ばね式（TTB）とする。

図3に、温度変化やトロリ線摩耗による架線伸縮時のトロリ線張力計算結果を示す。トロリ線張力は、温度が高いほど小さく、標準張力に対して明かり区間で80～112%程度、トンネル区間で79～111%程度である。また、トロリ線が摩耗した場合にトロリ線張力は低下する傾向がみら

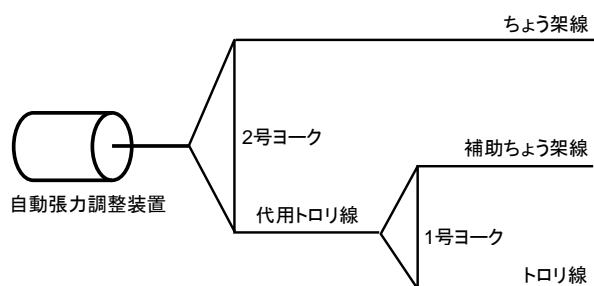


図1 引留箇所概略

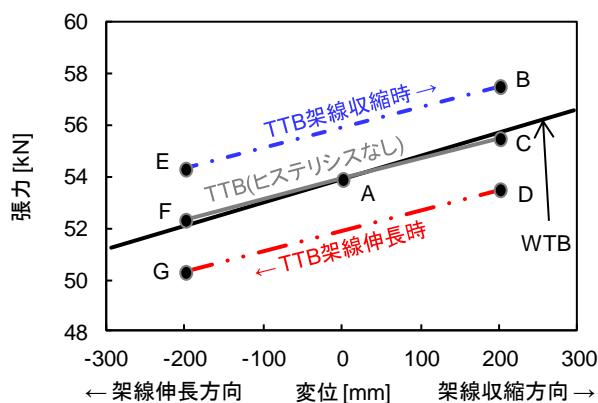


図2 自動張力調整装置の張力特性

れる。これは、トロリ線の弾性伸びによりヨークが傾斜するためである。

図4に、温度変化やトロリ線摩耗による架線伸縮時のトロリ線高さ計算結果を示す。TTBの張力特性は温度上昇時と低下時でヒステリシスを生じるため、最低温度と最高温度のそれぞれについて、初期状態からのトロリ線高さ変化が大きい条件を示している（最低

温度は図2のD点、最高温度は図2のE点）。図4より、摩耗進行時のトロリ線高さは、明かり区間とトンネル区間のどちらも残存直径が小さいほど全体的に上昇する。標準温度における新線（直径15.49mm）条件と残存直径12.5mm条件の支持点トロリ線高さの差は、明かり区間で25mm程度、トンネル区間で30mm程度である。同様に径間中央のトロリ線高さの差は、明かり区間で40mm程度、トンネル区間で50mm程度である。また、温度変化時のトロリ線高さは、明かり区間ではほとんど変化がみられないのに対して、トンネル区間では温度が高いほど全体的に上昇する。これは、自動張力調整装置の張力特性のヒステリシス考慮の有無と2号ヨーク寸法の影響によるものである。トンネル区間において、残存直径12.5mmで最高温度の条件は、新線で標準温度の条件に対するトロリ線高さの差が最も大きく、トロリ線高さは支持点で40mm程度上昇する。

表1 計算条件

区間		明かり	トンネル
ちょう架線 (標準張力)		St180 (24.5kN)	
補助ちょう架線 (標準張力)		PH150 (9.8kN)	
トロリ線 (標準張力)		GT-Sn170 (19.6kN)	
径間長 [m]		50	45
自動張力調整装置	形式	WTB	TTB
	張力変動率 [%]	5	3
	可動長 [mm]	588	400
温度 [°C]		10 ± 30	10 ± 20

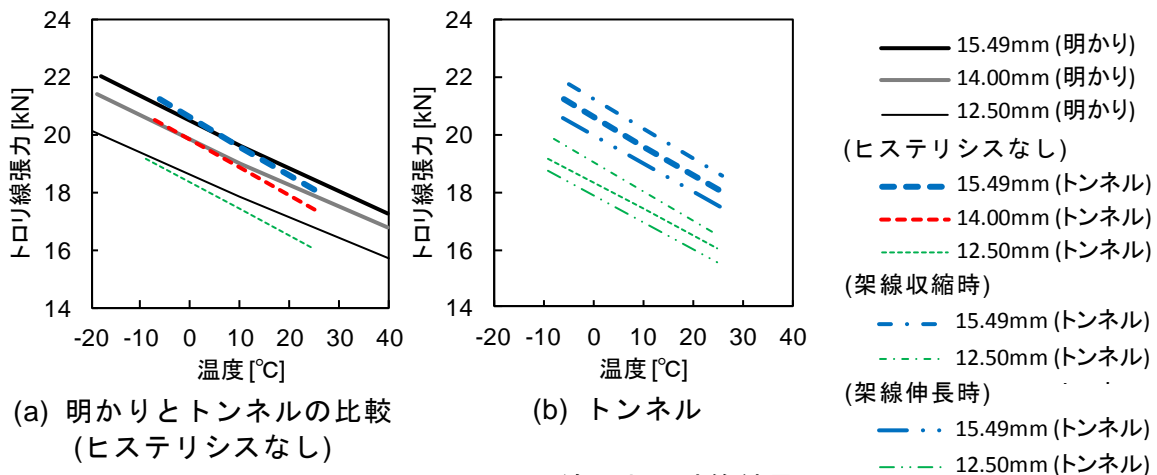


図3 トロリ線張力の計算結果

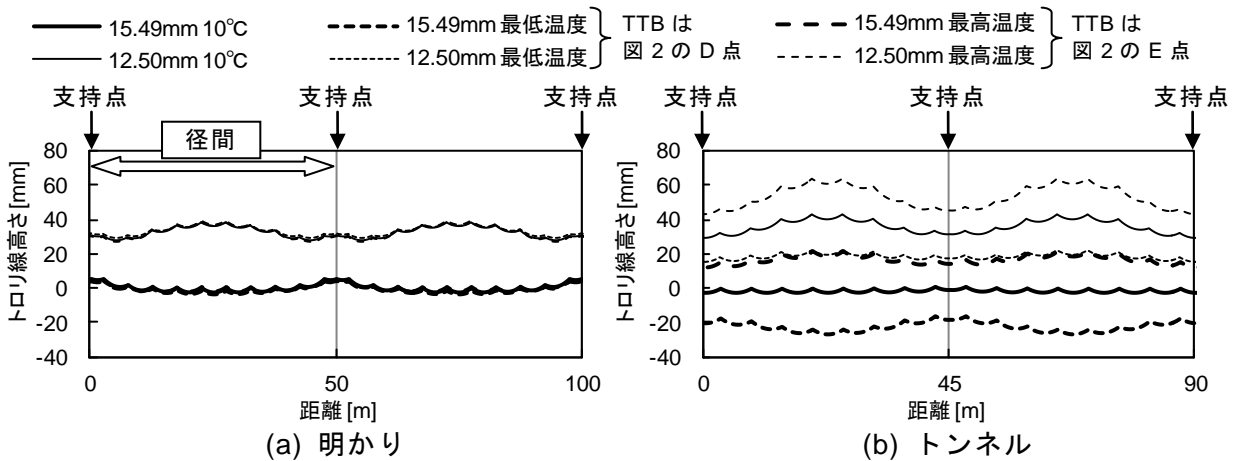


図4 トロリ線高さ

3. 架線-パンタグラフシミュレーションによる動特性評価

温度変化やトロリ線摩耗による状態変化が集電性能に与える影響を評価するため、架線-パンタグラフシミュレーションを実施した。架線は表 1 に示した新幹線用架線であり、トロリ線高さは図 4 に示したようになる。パンタグラフは多分割すり板を用いた形式とした。

図 5 に、トロリ線の支持点押上量の速度特性計算結果を示す。TTB の張力特性はヒステリシスを生じるため、最低温度と最高温度のそれぞれについて、押上量の値が大きい条件を示している（最低温度は図 2 の D 点、最高温度は図 2 の G 点）。図 5 より、温度変化時のトロリ線押上量は、温度が高いほど大きく、最高温度と標準温度の場合で最大 25 mm 程度の差がある。また、摩耗進行によるトロリ線押上量の差は最大でも 5 mm 程度であり、摩耗条件による差はほとんど認められなかった。また、トロリ線の支持点ひずみについても温度上昇時に悪化する傾向がみられた。

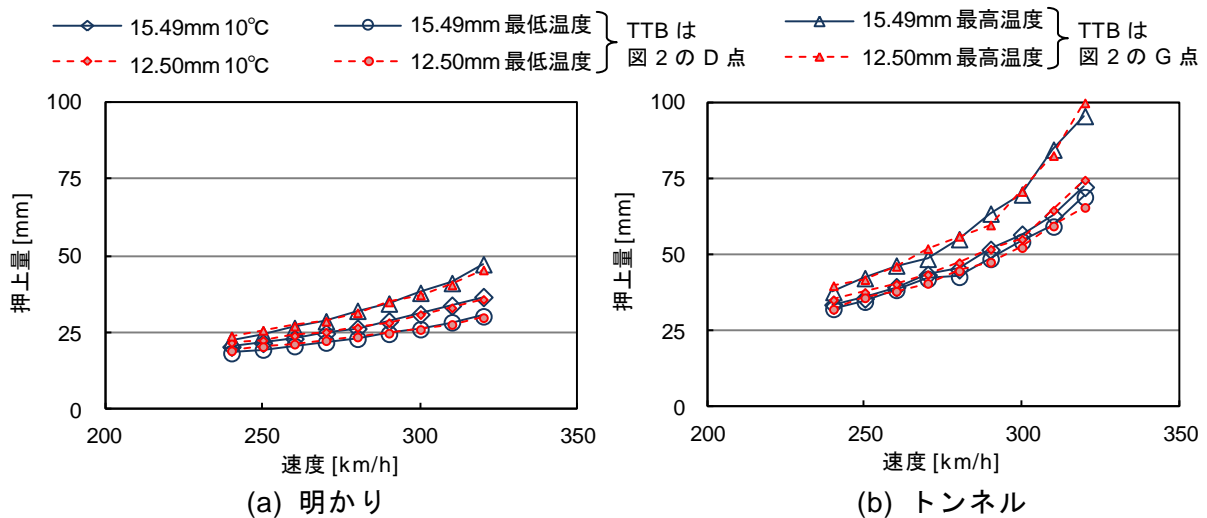


図 5 シミュレーション結果：支持点押上量

4. トンネル内の温度特性とその影響評価

トンネル内における温度特性を把握するため、年間を通してトンネル内温度の現地測定を実施した。また、トンネル内温熱環境シミュレーション³⁾の計算結果を現地測定結果と比較し、トンネル内の温度特性予測の可能性を検討した。

温度測定対象のトンネルは、全長約 10 km のトンネル A と全長約 2 km のトンネル B である。図 6 に示すように、温度測定器の設置間隔は、坑口付近は数十 m～数百 m、トンネル中央付近は 1 km 程度とした。トンネル A とトンネル B は同じ線区で 1 km ほどしか離れていないトンネルであり、外気温および列車走行の条件はほぼ同じと考えてよい。

図 7 に、トンネル内温度の日変化について、現地測定結果と温熱環境シミュレーションの計算結果を比較して示す。トンネル内は外部に比べて 1 日の温度変化は小さく、坑口から奥ほどその

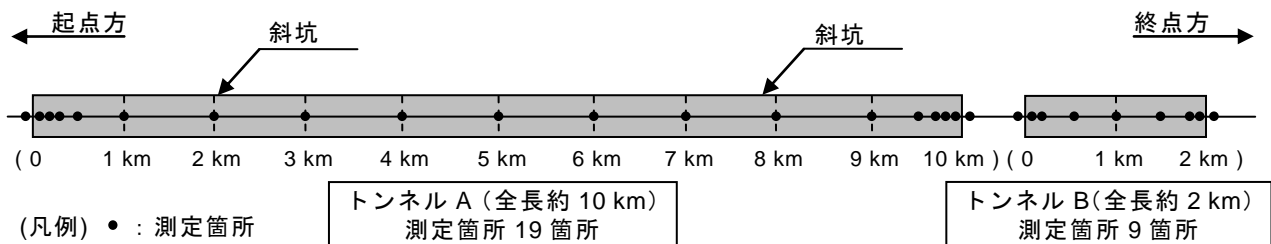


図 6 トンネル内温度測定箇所

変化が小さいことがわかる。また、計算結果は測定結果の傾向をよく表している。

図 8 に、各測定点に近い側の坑口からの距離（以下、坑口基準距離）と年間温度変化幅（最高値と最低値の差）の関係を示す。図より、坑口基準距離と年間温度変化幅の関係は、トンネル A とトンネル B でほぼ同じであり、トンネル長さの違いによる差はみられない。測定結果について最小二乗法により求めた指数関数の近似曲線は、測定結果の傾向をよく表している。これらは温熱環境シミュレーションの計算結果でも同様の傾向であったことから、温熱環境シミュレーションによるトンネル内温度特性予測が可能であると考えられる。

図 9 に、坑口基準距離と年間温度変化測定結果の関係を示す。年間温度変化は、坑口から約 3 km までは坑口から離れるにつれて減少し、約 3 km より奥では距離に対する減少率が小さくなる傾向がみられる。このことから、坑口から約 3 km より奥では考慮する温度変化を明かり区間よりも小さくすることが可能であると考えられる。ただし、平均値がトンネル内部ほど高くなる傾向であることを考慮する必要がある。

5. まとめ

- (1) 温度変化やトロリ線摩耗による架線伸縮時の支持点トロリ線高さは最大で 40 mm 程度上昇するため、トロリ線押上量は目安値に対して余裕が小さくなる。
- (2) 温度上昇時には標準状態に比べて、集電性能の評価項目であるトロリ線押上量、ひずみが悪化する。
- (3) トンネル内の年間温度変化は、トンネルの奥ほど小さく、トンネル長さによらず坑口からの距離が影響する。
- (4) 温熱環境シミュレーションによるトンネル内温度の計算結果は年間を通して実施した現地測定結果の傾向をよく表していたことから、温熱環境シミュレーションによるトンネル内温度特性予測が可能であると考えられる。

参考文献

- (1) 清水，他：新幹線トンネル内の列車風が集電性能へ及ぼす影響，鉄道総研報告，Vol.27，No.8，2013
- (2) 井上，他：ヘビーコンパウンド架線における張力変動についての考察，J-RAIL2011，2011
- (3) 梶山：地下鉄道の温熱環境シミュレーション，鉄道総研報告，Vol.11，No.10，1997

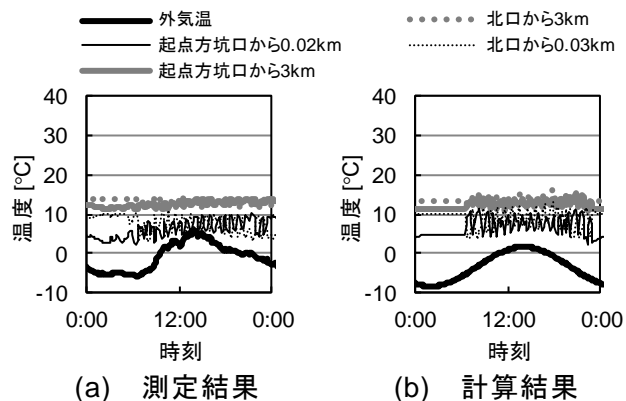


図 7 測定結果とシミュレーション計算結果の比較
日変化の例（2月，10分間平均値）

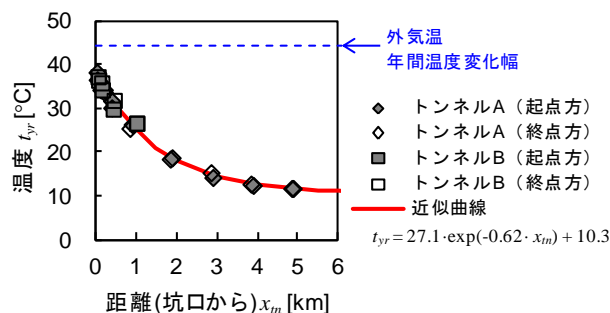


図 8 坑口基準距離と年間温度変化幅の関係
測定結果（10分間平均値）

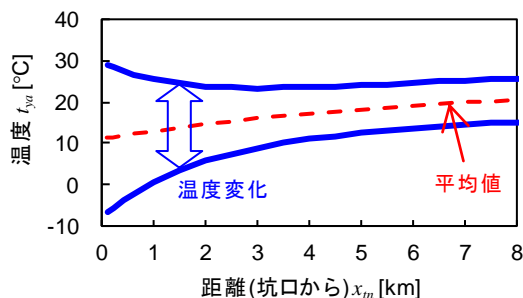


図 9 坑口基準距離と年間温度変化の関係