# 3705 電車線架設精度と集電性能

正 [機] [電] 〇常本 瑞樹 正 [機] [電] 網干 光雄 (鉄道総合技術研究所)

### Installation Accuracy and Current Collection Performance

Mizuki TSUNEMOTO, Mitsuo ABOSHI, Railway Technical Research Institute

It is assumable that installation accuracy of overhead contact line has the great effect on current collection performance. However, there is no concrete improvement index to Shinkansen high-speed operation in recent years. In this paper, in order to examine the improvement index about installation accuracy for high-speed stability current collection, the actual condition of installation accuracy was investigated from the contact wire irregularity measurement result on Shinkansen. Moreover, dynamic-characteristic evaluation based on a contact wire irregularity measurement result was performed, and correlation of installation accuracy and current collection performance was considered.

Keywords: electric railway, overhead contact line, contact wire, current collection, installation accuracy, strain, contact force

# 1. はじめに

架線・パンタグラフ系の接触力変動の特徴として、① 径間周期運動によるもの<sup>(1)</sup>、②ハンガ間隔周期運動によ るもの<sup>(2)</sup>、③トロリ線凹凸によるもの<sup>(3)</sup>などがある.こ のうち、前2者についてはこれまでの研究によってその 機構がほぼ明らかとなり、新幹線高速運転に対する改善 指標が示されている.また、トロリ線凹凸のうち、波状 摩耗についてはその形成理論<sup>(4)</sup>がほぼ明確になり対策が 実施されている.一方、「架設精度」(または「架設誤差」) については、接触性能に与える影響が比較的大きいにも かかわらず、現在は径間勾配が規定されているのみで、 近年の300km/hを越える新幹線高速運転に対する具体的 な指標が示されていない.

架設精度が接触性能に与える影響については、実際の 架設精度の形態がさまざまであることから、理論解析の みによって導出することは困難と考えられる.また、ト ロリ線凹凸の良否を判定する方法として、電車線-パンタ グラフ走行シミュレーションによる動特性評価法<sup>(5)</sup>があ るが、現時点では最も高精度で診断できるものの評価に 手間を要し現場では適用しにくいという課題がある.そ こで本論文では、高速安定集電を実現する架設精度に関 する改善指標を検討するため、新幹線におけるトロリ線 凹凸測定結果より、電車線架設精度の実態を調査した. また、トロリ線凹凸測定結果に基づいた動特性評価を行 い、電車線架設精度と集電特性の相関について考察した.

#### 2. 新幹線における架設精度調査

過去にトロリ線凹凸測定器<sup>(3)</sup>で測定した新幹線高速走 行区間のデータ,7線区,計59ドラム(ドラムとは,両 端の引き留め間の一連の電車線を指す<sup>(6)</sup>)について,径間 勾配,ハンガ点トロリ線高さ,ハンガ位置やハンガ間隔 などの架設誤差の実態を調査した.

図1に,調査結果例として,あるドラムのトロリ線ハ ンガ位置の架設誤差(径間長とハンガ数から計算した理 想値と測定値の差)を示す.横軸はドラム内の第1支持点 からの距離であり,電柱位置における支持点は縦線で示 している.列車走行方向は左から右である.架設誤差は 最大で約±1m であることがわかる.

図2に、線区ごとの径間勾配、ハンガ位置の相対度数 分布を比較して示す.線区によって架設誤差の度合が異 なることがわかる.径間勾配は鉄道に関する技術基準の 解釈基準の±3%以内に収まっている.



Fig.1 Survey results of installation accuracy : hunger position



[No.09-65] 日本機械学会第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集〔2009-12.2~4. 東京〕

#### 3. 動特性評価法による架設精度の評価

3.1 シミュレーション条件

(1) パンタグラフ

以下の記す2つのパンタグラフとする.両パンタグラフとも揚力は300km/hで50Nとした.

・新幹線 700 系パンタグラフ(TPS301) 走行速度は
270km/h および 300km/h とした.

・多分割すり板パンタグラフ(PS9038) 走行速度は 300km/h および 320km/h とした.

(2) 電車線

電車線はトロリ線凹凸測定箇所と同様の条件(線種・張 カ)とした.

(3) 走行区間

明かり区間とした.

## 3.2 評価対象の架設精度

評価した架設精度について以下に述べる.

・径間勾配

図3に示すように,径間両側の支持点トロリ線高さを 結んだ線の勾配.現在,架設基準として定められている. 走行方向に向かって上り勾配を正とした.

·径間勾配差

隣接する径間の勾配差. 走行方向に向かって「(前側の 径間勾配)-(後側の径間勾配)」とした.

・サグ

サグ量を両側の支持点トロリ線高さを結んだ線と径間 中央点のトロリ線高さの差として定義した場合に,サグ は「(サグ量)/(径間長)」とする.鉛直方向下に凸を正と した.

·支持点基線勾配

図3に示すように、支持点の両側の最も近いハンガ点 間のトロリ線高さを結んだ線の勾配.走行方向に向かっ て上り勾配を正とした.

·支持点曲率

支持点とその両側の最も近いハンガ点のトロリ線高さの3点の曲率.鉛直方向上に凸を正とした.

なお、架設精度調査ではハンガ位置についても対象と したが、集電性能評価項目との相関を個々のハンガにつ いて調べるのは困難であると考えられるため、ハンガ位 置は対象外とした.



Fig.3 Installation accuracy

#### 3.3 架設精度と集電性能評価項目の相関

シミュレーション結果より,架設精度と集電性能評価 項目の相関について評価した.図4に,評価結果例とし て支持点基線勾配と支持点ひずみの相関図を示す.図4 中には,最小自乗法で求めた回帰直線と相関係数を示す. また,回帰直線に対して計算値の分布が等しいとした場 合の上側90%信頼限界も示す.支持点基線勾配が負方向 に大きいほど,ひずみが大きくなっていることがわかる.

図5に、トロリ線凹凸測定を行った線区ごとに架設精 度と集電性能評価項目の相関係数を調べ、やや相関があ るとされる相関係数 0.2 以上の場合の数をまとめて示す. 凹凸測定を行った線区において,同一線区でも架線種別 が異なる場合については架線種別ごとに相関係数を求め ている.そのため,全9条件を評価している.架設精度 と比較する集電性能の評価項目は,①支持点に最も近い ハンガ点間の最大値,②径間内最大値,の2条件とした. 支持点に最も近いハンガ点間の最大値は,支持点押上量, ひずみ,接触力を評価した.径間内最大値は,ひずみ, 接触力,最大離線時間を評価した.径間内最大値につい ては,支持点基線勾配と支持点曲率は因果関係がないと 思われるので評価していない.また,最大離線時間につ いては,多分割すり板パンタグラフは今回の計算条件で は離線しない結果がほとんどであったため,700系パン タグラフのみ評価した.

図 5(a)~(c)より,支持点における架設精度と集電性能 評価項目の相関について,支持点基線勾配はすべての条 件で相関がある場合が多い.また,支持点曲率も比較的 相関がある場合が多い.集電性能評価項目のうち,支持 点押上量は支持点基線勾配と支持点曲率以外の架設精度 についても相関がある場合が多い.

図 5(d)~(f)より,径間における架設精度と集電性能評価項目の相関については、すべての架設精度が同程度の相関である.ひずみと接触力は、比較的架設精度と相関がある場合が多い.しかし、離線時間は架設精度と相関がみられない条件もある.

# 3.4 考察

図 6(a)に、支持点基線勾配とひずみの相関について、 700 系パンタグラフで 270km/h, 明かり区間の条件にお ける全線区の回帰直線を示す. 直線の y 切片の値はやや 差がみられるが、直線の傾きはどの条件の回帰直線もほ ぼ同じであることがわかる. y 切片の値は線種と張力な どの架線条件により異なると考えられる.図 6(b)に、支 持点基線勾配とひずみの相関について,700 系パンタグ ラフでトロリ線 GT-Sn170, 張力 19.6kN, 明かり区間の 条件における 270km/h と 300km/h の回帰直線を示す.直 線の y 切片は 300km/h のほうが 270km/h の条件よりも大 きいが、直線の傾きはどちらもほぼ同じであることがわ かる.他の架設精度と集電性能評価項目の相関について も、回帰直線のy切片の値は異なるが、傾きはほぼ同じ である結果が多くみられた. このような場合には、ある 条件で回帰直線の傾きが得られれば、直線のy切片の値 を変更することにより他条件の回帰直線をある程度推定 できる. y 切片の値については、各条件を理想架線で計 算した結果を比較することにより推定することが考えら れる.



Fig.4 Correlation of slope and strain of supporting point (TPS301, 300km/h, Open, HCC, GT-CSD170, 19.6kN)







(b) TPS301, 270km/h & 300km/h, Open, GT-Sn170, 19.6kN Fig.6 Comparison of regression line

#### 4. 集電性能評価基準を満足する架設精度

前章より,集電性能の評価項目と相関の強い架設精度 があるという結果が得られた.このことから,集電性能 と相関の強い架設精度は,その箇所の集電性能を悪化さ せる原因となる可能性がある.そこで,集電性能評価基 準を満たす架設精度の許容値について評価した.

# 4.1 集電性能の評価基準

集電性能の評価項目としては、従来の「支持点のトロ リ線押上量」、「トロリ線ひずみ」、「離線」に加えて、「接 触力」を考える.各評価項目の評価基準について以下に 述べる.

(1) 支持点のトロリ線押上量

支持点のトロリ線押上量は、パンタグラフが曲線引金 具に衝突しないための許容量であり、従来から 100mm としてきた.本研究でもこの値を踏襲することとする. (2) トロリ線ひずみ

トロリ線ひずみについては、通過パンタ数 10<sup>7</sup> 回でも 疲労破断しない目安値として設定されており、従来から 500µとしてきた.しかし近年における新幹線の速度向上 に伴い、しばしばこの目安値を超える値が観測されるよ うになってきた.このため、使用しているトロリ線の S-N 曲線を前提に目安値を新たに設定することも行われてい る.しかし本研究では、できるだけ一般化した形で架設 精度を策定したいと考えている.ただし、トロリ線ひず みの発生形態として、曲線引金具、コネクタ箇所等の硬 点性箇所と、ハンガ間の非硬点性箇所の2 種類があるこ とが報告されている<sup>(7)</sup>.したがって、支持点箇所の曲線 引金具やコネクタ箇所で観測されるひずみに関しては従 来の 500µとし、その他の箇所は参考文献<sup>(7)</sup>を参照して、 評価基準を 50%増しの 750µとして設定する.

#### (3) 離線

従来からの目安値として,新幹線では離線率10%が用 いられている.しかし離線率での評価はある程度の長い 区間で評価するものであり,架設精度という言わば局部 的な評価には適していない.そこで,最大離線時間とし て設定する.

最大離線時間としては、従来の直流モータ、MG タイ プの車両では1回の最大離線時間は200ms以下が目安と されている.またインバータタイプの場合、10~20ms 程度とされている<sup>(8)</sup>.新幹線の場合、パンタグラフ間が 高圧母線で接続されていることから、離線最大時間につ いては明確な目安値は設定されていない.強いて言えば、 切替セクション通過時の切替時間 300ms を超えないとい うのが一応の目安としてある.しかし、今後 300km/h を 超えて走行する場合を考えると、また JR 東日本の計画 のように、併結編成各1個パンタグラフで高圧母線がな い場合を考えると、離線時のアーク音の関係から制約さ れるべきと考えられるが、現状では適切な目安値はない.

·図7に示すように、理想架線(高張力へビーコンパウン ド架線;トロリ線GT-Sn170,張力19.6kN)でシミュレー ションを行うと、700系パンタグラフの場合、340km/h で最大離線時間は10ms程度である.ここでは評価基準 として50msとして設定する.やや余裕が大きいようで はあるが、理想架線でも満足できない評価基準では意味 がない.

#### (4) 接触力

接触力の目安値に関しては、これまでなかった.考え られるのは、トロリ線ひずみとの関連が強い<sup>(9)</sup>ので、こ の観点から接触力最大値を制限することが考えられる. しかし、ひずみに関しては上記のひずみの評価基準で直 接評価するので、ここではトロリ線摩耗に与える影響を 考える.

摩耗試験結果によると、200km/h で無通電、すり板押 付力 50N の場合の寸法摩耗率は 5μm/10<sup>4</sup> である<sup>(10)</sup>. トロ リ線 GT-Sn170, 張力 19.6kN の条件の許容摩耗断面積を 考慮して,年間通過パンタグラフ数 10 万パンタ、トロリ 線張替周期を 10 年以上と設定すると,許容される最大接 触力は,894N と算出される.ここでは余裕をもって 500N として設定する.

#### 4.2 架設精度の許容値

表1に,集電性能評価基準値を満足する架設精度の許容値を示す。条件は700系パンタグラフで300km/h,トロリ線GT-Sn170,張力19.6kN,明かり区間である。架設精度の許容値は,架設精度と集電性能評価項目の相関についての回帰直線において,集電性能評価項目の値が基準値のときの架設精度の値とした。回帰直線は上側90%信頼限界の値を用いた。また表1には,架設精度調査結果の平均値と標準偏差も示した。正規分布の場合には、「(平均値)±3×(標準偏差)」の範囲に99.7%が収まる。架設精度の許容値は、いずれもこの範囲よりも大きい。 それゆえこの条件で許容される架設精度の値は、現状設備の架設精度に対して保守上困難な値ではないと思われる。



Fig.7 Contact loss time: TPS301 Open 50m GT-Sn170

Table 1	Acceptable	value	of installation	accuracy
(TPS30	1 300km/h	Onen	GT-CSD170	19 6kN)

	Assessable	Survey results	
Installation accuracy	value	Ave.	Standard deviation
Span slope [‰]	-1.98~	0.00	0.27
Difference of span slope [‰]	-5.18~21.6	0.00	0.45
Supporting point slope [‰]	-3.42~	-0.11	0.63
Sup. point curvature [1/m ×10 <sup>-3</sup> ]	-2.86~14.1	-0.36	0.28
Sag [‰]	-1.05~0.96	-0.10	0.10

#### 5. まとめ

電車線の架設精度に関する改善指標を検討するため、 トロリ線凹凸測定結果に基づいた動特性評価を行った. また,集電性能評価基準を満足する架設精度の許容値を 設定し評価した.主な結果は以下の通りである.

- (1) 径間勾配,径間勾配差,支持点基線勾配,支持点曲率,サグは集電性能評価項目と相関がある場合が多い。
- (2) 現状の運転速度において、集電性能評価基準を満足 する架設精度の許容値は、現状設備の架設精度に対 して保守上困難な値ではないと思われる。

#### 6. おわりに

今後300km/hを超える運転を予定している線区につい ても架設精度調査を行い,架設精度と集電性能評価項目 の相関について評価する予定である.また,集電性能評 価項目の基準値についても検討を進めていく.トンネル 区間は明かり区間と集電性能が異なると考えられること から,別途検討が必要であると考えられる.これらの結 果および現場での扱いやすさなどを考慮して,架設精度 の改善指標すなわち「架設基準」を策定したいと考えて いる.

#### 参考文献

- 網干光雄:弾性支床弦モデルによる架線・パンタグ ラフ系の径間周期運動解析,日本機械学会論文誌(C 編), Vol.75, No.755, pp.1950-1956, 2009.
- 網干光雄, 真鍋克士: 架線・パンタグラフの接触力 変動解析, 鉄道総研報告, Vol.13, No.7, pp.7-12, 1999.
- 網干光雄:架空電車線の凹凸精密測定とその評価法,電気学会論文誌 D 編, Vol.124, No.9, pp.871-877, 2004.
- 真鍋克士:トロリ線波状摩耗の発生機構に関する 動力学的解析、日本機械学会論文誌 C 編, Vol.66, No.642, pp.454-459, 2000.
- 5) 網干光雄:動特性計算による架空電車線凹凸の評 価法,電気学会論文誌 D 編, Vol.126, No.7, pp.983-988, 2006.
- 鉄道総合技術研究所編:第2版 鉄道技術用語辞典, 丸善,2006.
- 網干光雄, 常本瑞樹:高速走行時のトロリ線ひずみ 評価, J-RAIL2009 論文集, 2009.
- 8) 鉄道総合技術研究所編:電車線とパンタグラフの 特性,研友社,1993.
- 網干光雄:パンタグラフ接触力によるトロリ線ひ ずみ推定法, J-RAIL2007 論文集, pp.63-66, 2007.
- 青木純久,福原邦夫,長沢広樹:金属すり板・トロ リ線の材質組合せが摩耗特性におよぼす影響,鉄道 総研報告, Vol.9, No.6, pp.31-36, 1995.