

剛体電車線のコスト低減と速度向上に向けた検討

電力技術研究部 電車線構造
主任研究員 清水 政利

1. はじめに

剛体電車線は摩耗管理等のメンテナンスを軽減できることやトンネル断面を縮小できる等の有利な特長がある。最近では、地下鉄以外のより高速な線区（在来線）でも剛体電車線の適用が期待されており、この場合、コストを低減しつつ速度向上に対応する必要がある。本講演では、速度向上時の基本的な集電特性の改善方法を述べるとともに、簡素化をねらいとしたカテナリ架線と剛体電車線間の新しい移行構造の概要、支持点間隔を拡大した場合の基本的な特性と問題点の検討結果等を紹介する。

2. 剛体電車線の集電特性改善

剛体電車線とパンタグラフ間に離線が発生すると、車両に対する電力供給の妨げとなるとともに、トロリ線やパンタグラフすり板の摩耗を進行させる。速度向上時に離線の原因となるのは、剛体電車線のしゅう動面に生じる凹凸である。基本的な凹凸は、支持点間における剛体電車線の自重によるたわみであり、主に断面形状及び質量から決まる。このため、従来の標準的な剛体電車線に比べて支持点間のたわみを60～70%程度に低減して集電特性を向上し、速度130km/h程度まで走行可能な特性を持った狭小トンネル用剛体電車線¹⁾が開発され、JR篠ノ井線で採用されている(図1)。

また、架設初期のしゅう動面には微小な凹凸が発生しており、特に高速時の離線の原因となっている。図2にたわみを低減した剛体電車線の離線発生形態を示す²⁾。パンタグラフの前後の舟体は、しゅう動面の微小な凹凸点で離線を繰り返しており、高速時にはこれらが拡大してパンタグラフ全体の離線に至る。これらの微小な凹凸は、把持ボルト間隔と伸直器ローラーの円周長に相当する波長の初期的な凹凸が主であり、伸直器を使用して縦巻きトロリ線を架設することにより顕著に発生する。この低減対策として、伸直器の使用が不要な横巻きトロリ線を架設することが有効である³⁾。

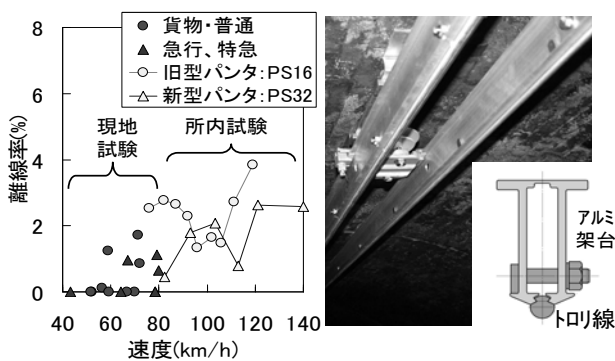


図1 狭小トンネル用剛体電車線の概観と離線特性

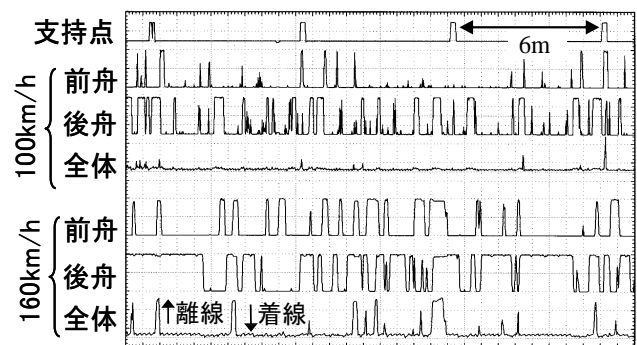


図2 剛体電車線の離線発生形態

図3に示すしゅう動面切削装置³⁾は、軌陸車等に搭載して切削用砥石をトロリ線に押し当て、連続的に凹凸を除去する装置で、初期的な微小凹凸の低減や波状摩耗の低減に効果がある。これらの凹凸低減対策により、高速時の離線率が大幅に低下し、速度160km/h程度までほぼ0%に抑制できる²⁾(図4)。

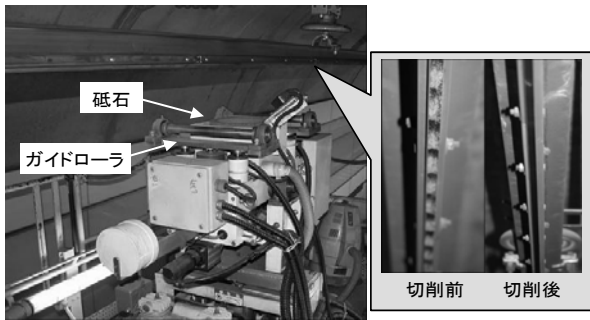


図3 しゅう動面切削装置と波状摩耗切削例

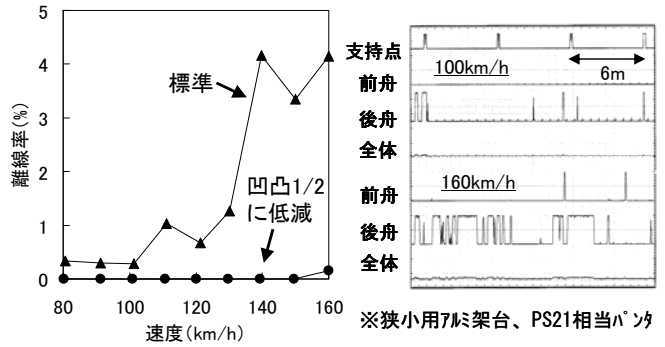


図4 凹凸低減による離線抑制効果

3. カテナリ架線と剛体電車線間の新しい移行構造⁴⁾

3.1 移行構造の現状と新構造の概要

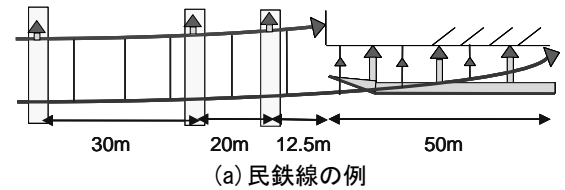
図5(a)は地下鉄や民鉄線などの標準的な構造例である。剛体電車線の採用を前提として開口部の断面が大きいトンネルが建設されているため、トンネル内部でカテナリ架線と剛体電車線の移行構造を設備することが可能であり、トンネル外の電車線支持物は比較的少なく済むが、設備長は50m程度である。図5(b)は、在来線の構造例である。山岳トンネルでは開口部の断面が小さいためトンネル外で30m程度の移行構造を構成する必要があり、電車線支持物が多く必要となってコストの増加を招いている。

新しく考案した移行構造の概要を図6に、集電試験装置での架設状況を図7に示す。図6(a)は引留型の移行構造であり、パンタグラフ移行時のトロリ線の急激な変形を抑制する応力緩和機構と短い剛体電車線を用いて、カテナリ架線と剛体電車線のトロリ線を一体化している。カテナリ架線はトンネル入り口の柱に引き留められ、剛体電車線とのオーバーラップを構成している。これにより、トンネル外の支持物を削減でき、設備長を10m程度に短くできる。

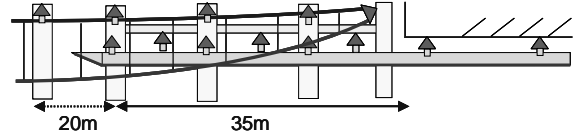
図6(b)は一体型の移行構造で、剛体電車線のトロリ線にカテナリ架線のものを用いるためトロリ線の引留構造を設ける必要がなく、引留型に比べても更に構造が簡素化される。この構造は、温度伸縮を吸収するためのエキスパンションジョイントを設ける必要がない200m程度以下のトンネルに適用できる。

3.2 走行試験結果

表1の条件で新しい移行構造を研究所内の集電試験装置に架設して集電特性を確認した。図8に引留型、図9に一体型の架設状況を示す。これらの移行

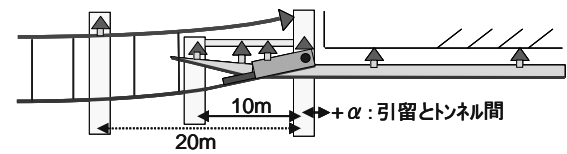


(a) 民鉄線の例



(b) 在来線トンネルの例

図5 従来の移行構造



(a) 引留型



(b) 一体型

図6 新しい移行構造

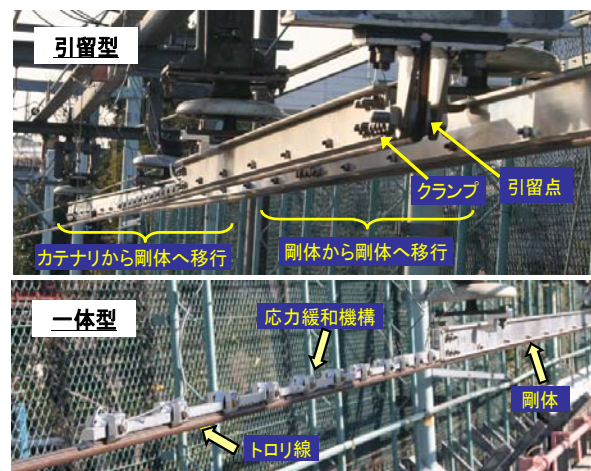


図7 集電試験装置への架設状況

部の高さ構成は、パンタグラフ通過時の押し上げを考慮して剛体電車線の基準高さよりカテナリ架線を 20~30mm 低く設定した。表 2 に走行試験における確認項目、図 10 にひずみとトロリ線押し上げの測定位置を示す。押し上げの目安値は移行部分の高低差である 30mm とし、ひずみの目安値はトロリ線や部材の疲労限度から決めたものである。

表 1 試験条件

カテナリ架線	ちょう架線: St135 張力: 19.6kN トロリ線: GTM-Sn170 張力: 19.6, 14.7kN
剛体電車線	狭小トンネル用剛体電車線 ¹⁾ 径間長 5m シングル方式
パンタグラフ	PS32 押し力 64N なびき、反なびき走行 速度 80~160km/h

表 2 試験における確認項目

確認項目	目安値
最大離線時間	20ms 以下
トロリ線ひずみ	500 μ 以下
緩和部材ひずみ	1600 μ 以下
トロリ線押し上げ	30mm 程度以下

引留型の測定最大値を図 11 に示す。押し上げは概ね 20mm 程度であり、パンタグラフが剛体先端部に衝撃することなく円滑な移行が行われている。全ての測定値は速度 130km/h まで目安値以下であり、速度に対する増加傾向も小さい。このことから、引留型の移行構造は速度 130km/h 域での実用化に対して十分な性能を持っていると言える。

一体型における入り口側の測定最大値を図 12 に示す。離線時間はトロリ線張力 14.7kN の条件で速度 130km/h まで 20ms 以下であるが、これ以上の速度では増加傾向が大きかった。トロリ線押し上げは引留型と同様に 20~30mm 程度で、トロリ線や部材のひずみも制限値以下である。出口側では離線は殆ど発生せず、トロリ線ひずみは 50 μ 程度、部材ひずみは 100 μ 以下であり、速度 160km/h まで全く問題なかった (図 13)。

以上の結果から、引留型の移行構造は 130km/h 程度まで走行が可能であると考えられる。また、一体型の移行構造は、入り口側での速度に対する離線の増加傾向が大きいため、余裕を見込んだ速度 (100km/h 程度) で走行することが望ましい。

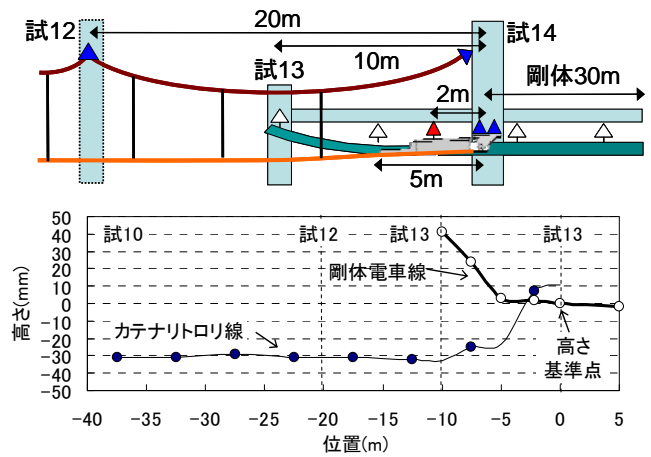


図 8 引留型の架設状況と高さ構成

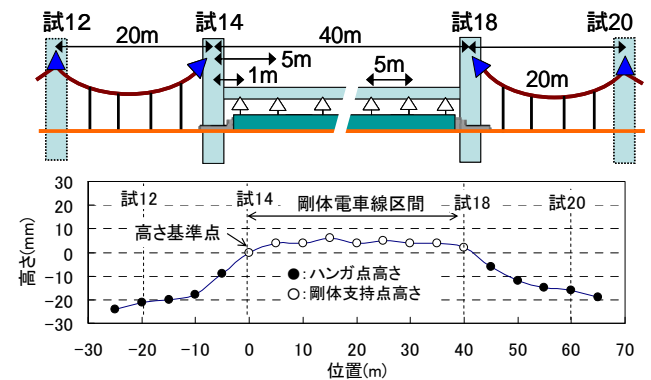


図 9 一体型の架設状況と高さ構成

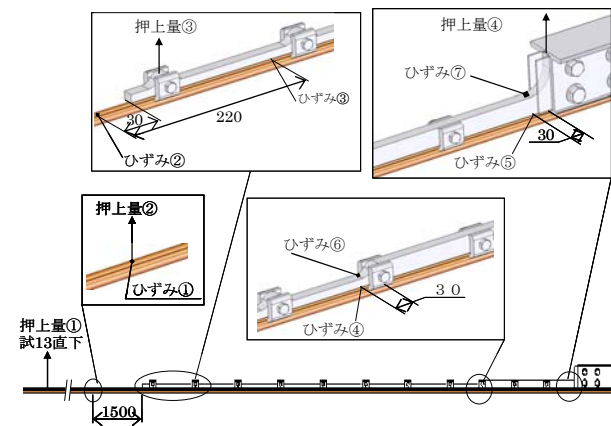


図 10 測定位置概要

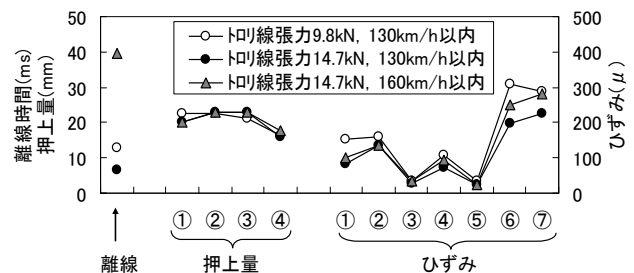


図 11 引留型の測定最大値

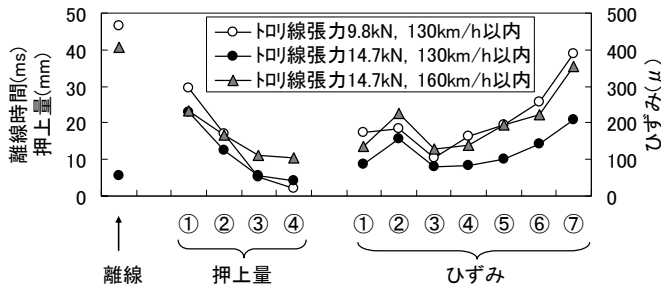


図 12 一体型（入口側）の測定最大値

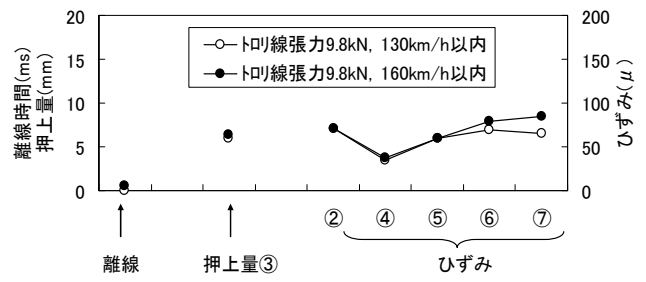


図 13 一体型（出口側）の測定最大値

4. 支持点間隔拡大時の架設状態と集電特性

支持点間隔拡大時の集電特性を確認するため、表 3 の条件で集電試験装置による走行試験を行った。架設条件は、①現状と同じ支持点間隔 5m で架設した場合、②支持点間隔 5m で架設した後に支持点を 1 個毎に外して 10m とした場合、③始めから支持点間隔 10m で架設した場合、の 3 条件である。支持点間のたわみは、条件①、②の場合には、両端固定の梁として計算した理論値（それぞれ 1.2mm、15mm）と同程度であったが、条件③では、理論値（条件②と同じ 15mm）より大きい 25mm が測定された。これは、架台の接続部が屈曲する等の工法上の問題が生じるためであると考えられる。

図 14 に離線率測定結果を示す。たわみが理論値より大きい架設条件③では、速度 90km/h 以上で目安値である 5% を大幅に超えている。表 4 に、速度 130km/h までの離線以外の測定結果（条件③）を示す。これらを参考に架台の振動試験を行ったが異状は認められなかった。また、架台のひずみは部材の疲労限度より十分低く、支持点に発生する動的な荷重も、静的荷重の 50% 程度であった。

これらのことから、剛体電車線の支持点間隔を 10m 程度に拡大した場合、架台のひずみや支持点荷重の増大、ボルトの締め付けトルクの低下等の問題は少ないと考えられるが、架設工法により支持点間のたわみ量が増大し、離線特性に影響を与える可能性があると考えられる。

表 3 走行試験条件

剛体電車線	アルミ架台・トロリ線複合方式 ¹⁾ ツインタイプ 質量:4.49 kg/m 曲剛性: $6.3 \times 10^4 \text{ Nm}^2$
架設条件	①支持点間隔 5m で架設 ②支持点間隔 5m で架設後、10m に変更 ③支持点間隔 10m で架設
パンタグラフ	PS32（在来特急用反なびき）押上力 65N

表 4 離線以外の測定結果（架設条件③）

測定項目	測定最大値	判定の目安
架台上下変位	17.8mm（全振幅）	—
架台ひずみ	83 μ （片振幅）	1600 μ
支持点動荷重	443N（変動分）	静的荷重 880N

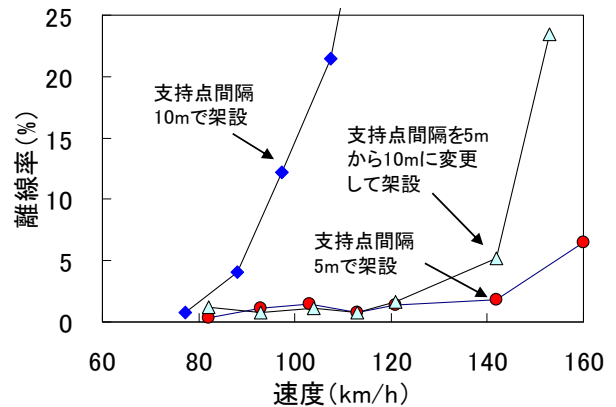


図 14 離線率測定結果

5. おわりに

剛体電車線の一般区間における特性改善方法は徐々にではあるが進展しており、今回紹介した新しい移行構造は、コスト面からも山岳トンネル等への剛体電車線の導入に寄与できると考えている。今後は、支持点間隔拡大時の最適な架設方法や振動特性の検討等を実施する予定である。

- 1) 萬代、他：在来線トンネル区間への剛体電車線の適用、鉄道総研報告、18巻6号、pp.5~10、2004
- 2) 清水、他：剛体電車線の離線低減方法の開発、鉄道総研報告、16巻6号、pp.33~38、2002
- 3) 清水、他：剛体電車線のしゅう動面凹凸低減による波状摩擦対策、鉄道総研報告、20巻9号、pp.35~40、2006
- 4) 清水、他：剛体電車線とカテナリ架線の新しい移行構造、鉄道総研報告、21巻10号、pp.29~34、2002