

架線系設備の耐震性能向上対策

電力技術研究部 電車線構造研究室
主任研究員 原田 智

1. はじめに

高架橋などの土木構造物や電柱などの電車線支持物が、深刻な損傷を受けない中規模地震において、トロリ線や AT 保護線などの電線類が断線、またはハンガや曲線引金具などの架線金具が変形・折損するなど、電車線支持物を除いた架線系の設備が損傷し、半日から 1 日程度の輸送障害を引き起こすことがある。これらに対し、電車線路設備の個々の部材について強度協調を図り、効果的に被害を防止する対策が求められている。そこで、電車線路設備の被害調査や 3 次元運動解析シミュレーションを実施することにより、新幹線設備について中規模地震に対する弱点と考えられる箇所を抽出し、具体的な対策案について検討したので報告する。

2. 架線系設備の被害状況調査

地震時における電車線路設備の被害に関して実際の状況を把握するため、2000 年（平成 12 年）以降に発生した主な地震について被害の調査を行った。調査の結果明らかになった電車線路設備の被害状況を以下にまとめる。

- (1) コンクリート柱根際部の損傷，かごビームの垂下
- (2) パンタグラフの割り込みに伴う補助ちょう架線の断線
- (3) ハンガバーの変形・外れ，および曲線引金具の変形・折損
- (4) AT 保護線の断線，き電線・AT 保護線の懸垂がいしの磁器部破損
- (5) 自動張力調整装置の重錘支持部の変形
- (6) ほとんどが高架橋上で発生

これらの調査結果に対し、電車線支持物の被害によるものを除いた架線系設備（本稿では支持物を除く電線類や架線金具などの設備と定義）により生じた輸送障害の直接原因として、①ハンガバーの変形、②曲線引金具の折損、③AT 保護線の断線、④パンタグラフの割り込みなどの事象が挙げられる。

3. 電車線路の 3 次元運動シミュレーション

架線系設備の損傷要因を明らかにするため、電車線路設備の 3 次元運動（線路平行方向，線路直角方向，鉛直方向）を解析するシミュレーション手法を新たに構築し（図 1），地震被害の要因解析を実施した。本シミュレーションでは、電線類や架線金具，および電車線支持物を 3 次元でそれぞれモデル化し，地震変位を電柱基礎に入力して，その応答として各部に生じる応力や荷重を弾性域で計算している。解析の結果，前章で挙げた被害が，表 1 に示す要因によって生じることが明らかになった。

表 1 被害要因の解析結果

被害状況	被害要因
ハンガバー変形	電車線の振動による引張・圧縮荷重
曲線引金具折損	電車線の振動で引手アイ金具接続部に生じるモーメント
AT保護線断線	電線自体の振動により支持点付近に生じる曲げモーメント
パンタグラフ割り込み	電車線の振動による過大なトロリ線偏位

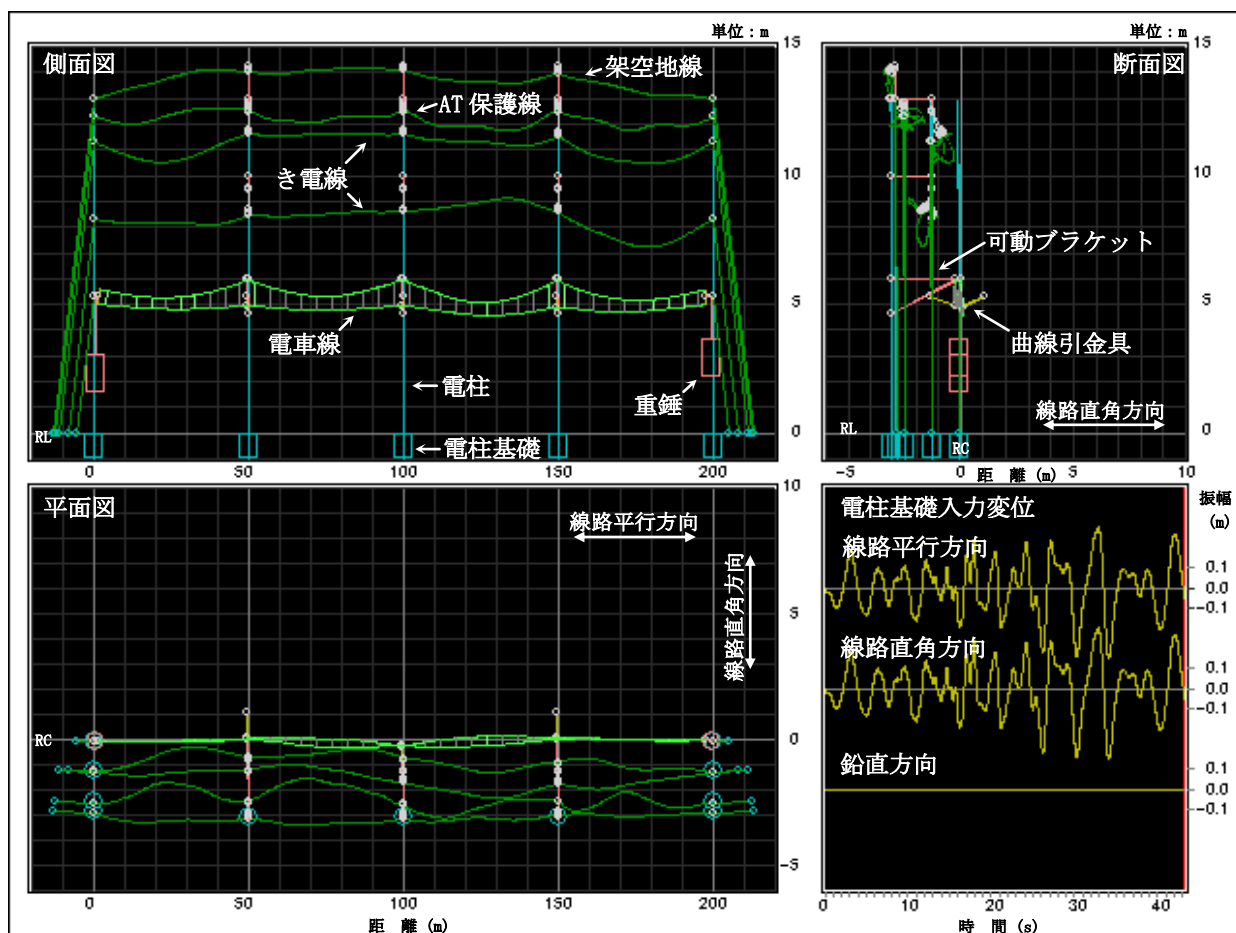


図1 電車線路の3次元運動シミュレーションの表示画面 (例)

4. 架線系設備の耐震目標

架線系設備の被害対策案を検討するにあたり、被害状況の調査および被害要因の解析結果を考慮し、架線系設備の耐震目標を表2の通りとした。本検討で対象としているL1地震動に相当する中規模地震に対しては、土木構造物に被害はほとんどなく、補修の必要もないため、速やかな運転再開を達成すべき目標とした。具体的には、電線類の断線および架線金具の破損がなく、かつパンタグラフの電車線への割り込みがないことを目標とした。ただし、ヘビーコンパウンド架線のドロップおよびシングル架線のハンガについては、地震時に圧縮変形(座屈)が生じても、徐行による運転再開は可能であると考えられるため、これらの変形は許容し、耐震目標の対象から除外することとした。

表2 架線系設備の耐震目標

地震動	架線系設備の耐震目標	土木構造物の状況
中規模地震 (L1地震動相当)	<ul style="list-style-type: none"> 速やかな運転再開 架線系の断線なし 架線金具の破損なし パンタグラフ割り込みなし 	<ul style="list-style-type: none"> 補修を必要とせずに機能を保持でき、かつ過大な変位を生じない

5. 架線系設備の被害対策案の検討

5.1 ハンガの強度向上

地震時にハンガバーが変形すると、電車線(ちょう架線, または補助ちょう架線)から外れ、パンタグラフ割り込みを誘発することがある。そこで、ハンガバーの径を現行の6mmから7mmにすることで強度の向上を図り、かつハンガバーのループを60mmから80mmに拡大することにより、圧縮荷重に対する変形を抑制する形状を提案した。図2にハンガの現行品と改良案を示す。

5.2 曲線引金具の強度向上

地震被害調査、および電車線路の3次元運動シミュレーションを用いた被害要因解析により、アルミパイプと引手アイ金具との圧縮接続部が電車線の上下振動により破損し、曲線引金具が折損することがあると判明した。地震時に曲線引金具が折損すると、当該箇所には列車が進入してパンタグラフを破損させ、さらには電車線の断線を誘発する可能性が高くなる。そこで、曲線引金具の強度を向上させるため、圧縮接続部の断面形状を見直し、2段階の圧縮接続方式について検討した。曲線引金具の圧縮接続部を図3に示す。この改良案の破壊荷重は、現行品と比較して約8倍に増加することが強度試験によって確認されている。

なお改良案は、現行品と比較してパンタ点での等価質量が約10%増加するが、これに伴う集電性能の低下はほぼないことを架線・パンタグラフシミュレーションで確認している。

5.3 き電線・AT 保護線の断線対策

(1) 補強巻線

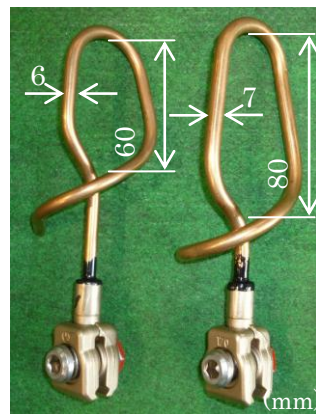
き電線やAT保護線は、電柱の比較的高い位置に架設されているため、地震時に振動振幅が大きくなる傾向があり、支持点近傍で過大な曲げ応力が生じ、断線する可能性がある。この曲げ応力を緩和するため、支持点を中央とした約2m間を補強巻線で覆う対策について検討した。

補強対象となるき電線やAT保護線には硬アルミより線が用いられているため、補強巻線はアルミ覆鋼線とし、その曲げ剛性は補強対象のより線に対して約7倍とした。この補強巻線を硬アルミより線 HAL150 に用いた場合の曲げ応力緩和効果について確認した試験結果を図4に示す。この結果から、HAL150 に生じる曲げ応力は、補強巻線を用いることにより約1/3に緩和できることを確認した。

(2) 2点支持金具

前述の補強巻線と同様に、硬アルミより線に生じる曲げ応力を緩和する支持構造として、2点支持金具について検討した。現状、き電線やAT保護線は1点で支持された構造になっているが、2点支持構造に変更することにより、地震時に生じる曲げ応力の低減が可能になると考えられる。2点支持構造の支持間隔についての解析結果を図5に示す。この結果から、より線に作用する荷重の間隔を0.5m(図5におけるLを0.25m)とすることにより、曲げモーメントが1点支持構造(L=0m)の約1/2になることがわかる。

なお本試作品については、より線把持部のすべり試験および強度試験を行い、所期の性能を有することを確認している。



現行品 改良案

図2 ハンガの強度向上



図3 曲線引金具の強度向上

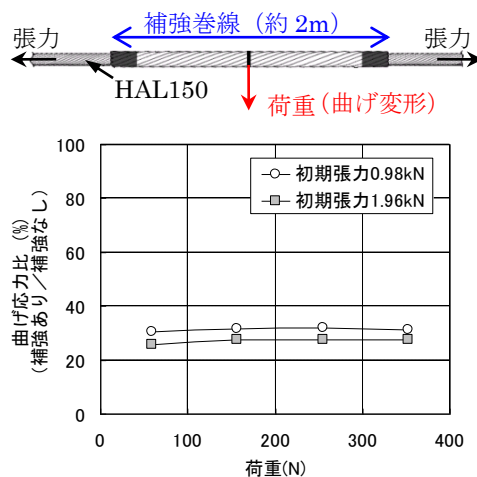


図4 補強巻線の曲げ応力緩和効果

5.4 支持物の門形化

エアセクション付近等のき電線が2回線架設されている単独柱の装柱では、電柱の高さが13~14m程度になるため、電車線、き電線やAT保護線等の振動、および電柱根際の曲げモーメントが地震時に過大になる傾向がある。複線区間で上下線に電柱がある場合には、上下線の電柱を固定ビームで結合して門形化し、支持物全体系としての剛性を高めて振動を抑制する対策案が考えられる。支持物の門形化について装柱の一例を図6に示す。

6. 対策案の効果の確認

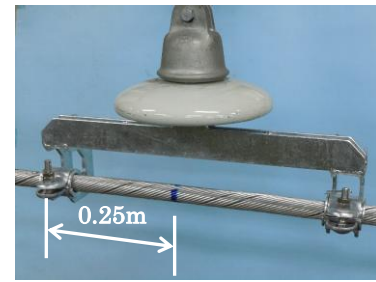
前述の対策案についてその効果を確認するため、電車線路の3次元運動シミュレーションを用いて応答値を算出し、各部の強度判定を行った。シミュレーションは、図6に示すき電線が2回線の装柱において、前述のハンガ、曲線引金具、き電線・AT保護線の断線対策、および支持物の門形化の各対策案を全て導入した条件の下で実施した。強度判定の結果を表3に示す。表3において網掛の箇所は、対策後に各部の応答値が許容値の70%未満になり、改善した項目を示している。

このように対策案の導入により、全ての項目で応答値が許容値以下になることから、中規模地震に対する架線系設備の耐震目標を達成する見通しが得られたと考える。

7. おわりに

中規模地震で発生する可能性がある曲線引金具の折損やAT保護線の断線など架線系設備の被害に対して、被害調査や新たに構築した3次元運動シミュレーション手法により、弱点箇所を明らかにし、その具体的な対策案を提案した。これらの対策案の導入により、中規模地震に対する架線系設備の耐震目標を達成できる見通しが得られたと考える。

なお大規模地震に対する対策は、従来から電車線路設備耐震設計指針で対応しているが、今後は、電柱の塑性域特性を考慮した合理的な耐震設計手法について検討を進めていく予定である。



2点支持金具

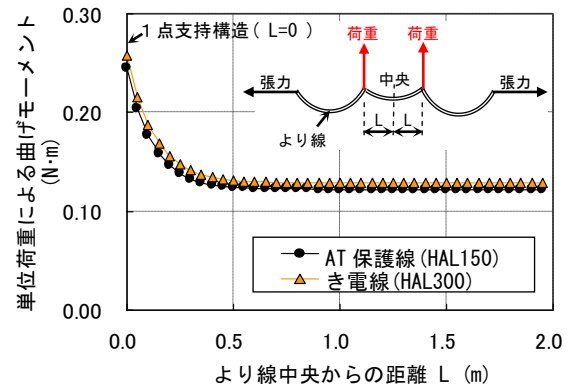


図5 2点支持構造による曲げモーメント低減

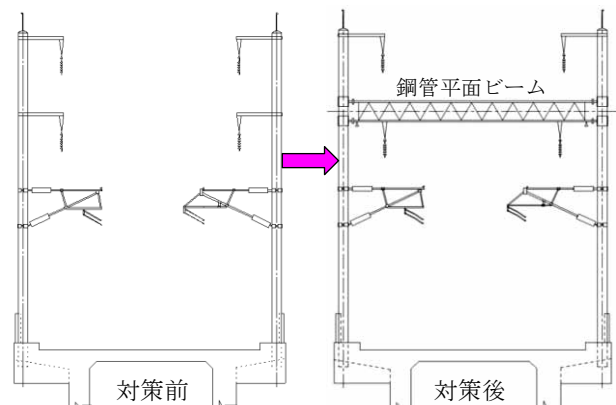


図6 支持物の門型化の一例

表3 対策案の効果の確認

架線系設備	評価項目	L1地震動に対する判定	
		対策前	対策後
トロリ線	張力	○	○
	偏位	×	○
ハンガ	軸力(引張)	○	○
	軸力(圧縮)	△	○
曲線引金具	軸力(引張)	○	○
	軸力(圧縮)	○	○
	上下モーメント	×	○
き電線1	張力	○	○
	曲げ応力	△	○
き電線2	張力	○	○
	曲げ応力	△	○
AT保護線	張力	×	○
	曲げ応力	×	○

○:許容値の70%未満, △:許容値の70%以上許容値未満, ×許容値以上