

鉄道一般
車両
軌道
構造物
防災
電力
信号通信情報
材料
環境
人間科学
浮上式鉄道

地震時における電車線路の信頼性を向上する

電車線路（電車線柱および電車線などの電線）は、電車に電力を供給する重要な設備であり、地震時でも列車の通過に対して支障がないように、耐震設計が行われています。現在、電車線路の耐震設計は、主に電車線柱の強度を評価することにより行われています。しかし近年、地震時に高架橋などに顕著な被害がないにもかかわらず、電車線の断線や架線金具の破損など、電車線路に被害が発生して、列車運行が長時間休止する事例が増える傾向にあります。ここでは、電車線路の耐震設計について簡単に紹介するとともに、電車線路の設備全体として信頼性を向上させる具体的な対策案について紹介します。

電車線路の耐震設計

電車線柱には、電車に電力を供給する電車線の他に、き電線やAT保護線、およびこれらの電線を架設するための可動ブラケットや架線金具などが取り付けられています。この電車線柱が、地震により被害を受けると復旧に時間を要し、列車の運行に多大な影響を及ぼします。そのため、電車線路の耐震設計では、主に地震に対する電車線柱の強度を確認しています。過去の地震に対する電車線柱の被害の多くは、曲

げ変形による破壊であることがわかっています。そこで実際の耐震設計では、高架橋や橋梁などの構造物と電車線柱のそれぞれの固有振動数に応じた応答加速度を所定のスペクトル図から求め、加速度による慣性力を電車線柱や架線に静的に作用させた際に、電車線柱の根際に生じる曲げモーメントに対して強度の評価を行います（図1）。このように、電車線路の耐震設計では、電車線柱の曲げモーメントに対して強度を判定して、これに耐えられる電車線柱



原田 智
Satoshi Harada
電力技術研究部
電車線構造研究室
主任研究員
【専門分野】パンタグラフ・電車線の相互作用



常本 瑞樹
Mizuki Tsunemoto
電力技術研究部
電車線構造研究室
副主任研究員
【専門分野】パンタグラフ・電車線の相互作用

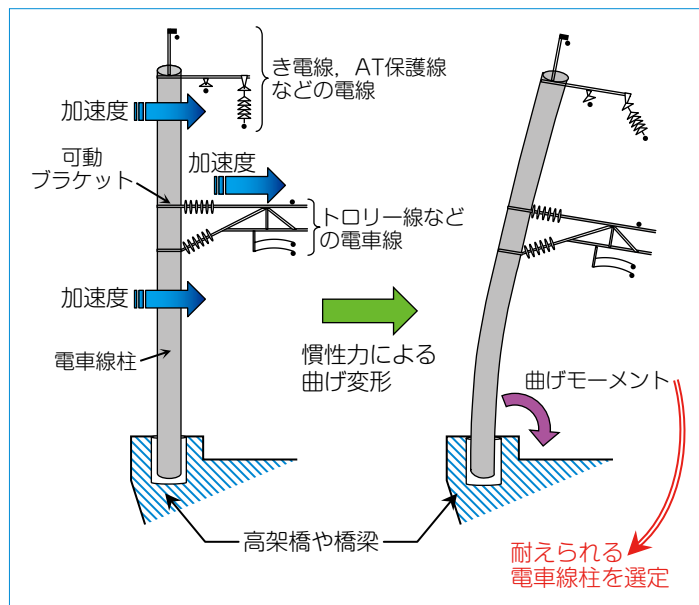


図1 電車線路の耐震設計のイメージ

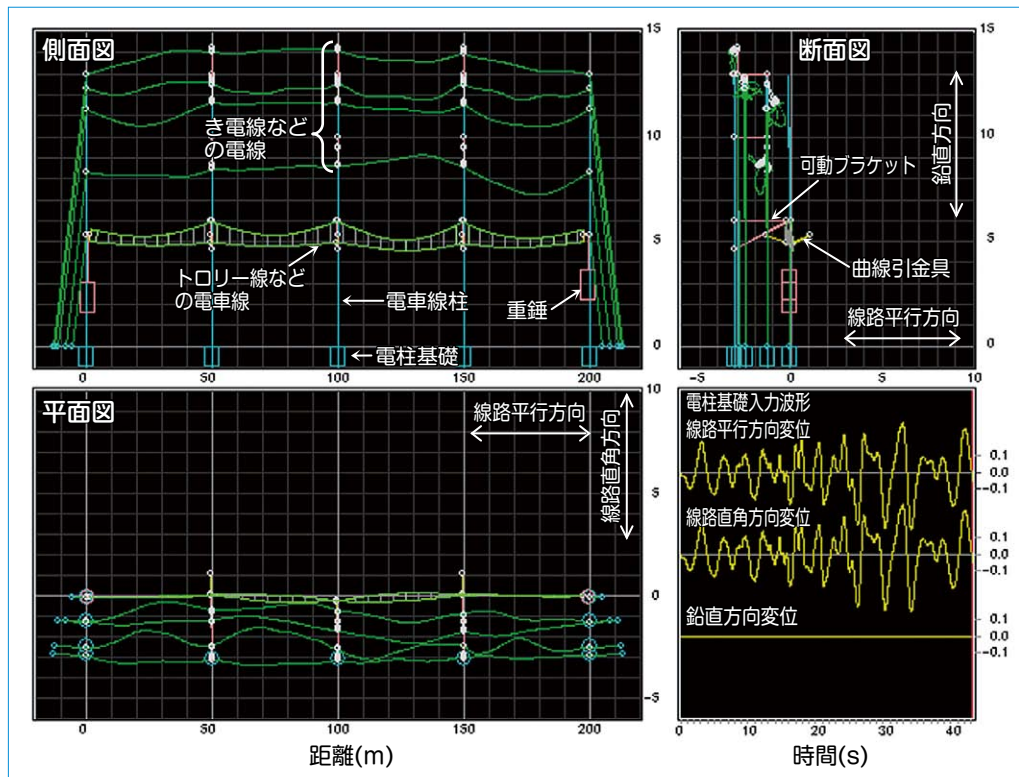


図2 電車線路の3次元運動シミュレーション (表示例)

を選定していますが、トロリー線などの電車線やそれらを支持する架線金具などに対する強度の判定は、今まで行っていませんでした。

地震による電車線路の被害状況

近年発生した地震に対する新幹線の電車線路についての被害を調査しました。その被害状況をまとめると、以下のようになります。

- ①電車線路の被害は、主に高架橋上で発生している。
- ②電車線柱の被害は、主にコンクリート柱根際部の損傷、および折損である。
- ③電車線の被害は、電車線の振動が過大になり、パンタグラフがトロリー線から外れ、断線が生じる場合がある。
- ④架線金具の被害は、主にハンガーバーの変形・外れ、および曲線引金具の変形・折損である。
- ⑤き電線などの電線の被害は、AT

保護線の断線が比較的多い。また、き電線やAT保護線を支持している懸垂がいの磁器部に破損が生じている。

電車線柱の折損は、L2地震動(☞参照)に相当する大規模地震で主に発生しますが、ハンガーバーの変形や曲線引金具の折損は、それよりも小さなL1地震動(☞参照)に相当する中規模地震でも発生しています。これらの架線金具の損傷でも、半日程度にわたって列車が運休する場合があります。このような地震被害を防止して、列車運行の信頼性を向上させるためには、電車線柱の他に、電車線やき電線などの電線、ハンガーや曲線引金具などの架線金具についても、耐震性の向上が必要になります。

☞ L1 地震動, L2 地震動

高架橋や橋梁などの構造物の耐震設計に用いる地震動を示し、L1地震動に対して構造物は損傷せず、補修が不要となるように設計されます。L2地震動は、L1地震動よりも大きな地震動で、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震などに相当し、この地震動に対して構造物は倒壊しないように設計されます。

電車線路の損傷要因

3次元運動シミュレーション

電車線、AT保護線などの電線や、ハンガーなどの架線金具の耐震性を効果的に向上させるためには、これらのどの部分をどの程度強化あるいは補強するのかを決める必要があります。その手段として、電車線路の3次元運動を解析するシミュレーションを構築しました¹⁾。図2に電車線路の3次元運動シミュレーションの表示例を示します。本シミュレーションでは、電線や架線金具、および電車線柱などを3次元でモデル化し、地震による変位を電柱基礎に入力することにより、各部に生じる応力や荷重を弾性域で求めることができます。

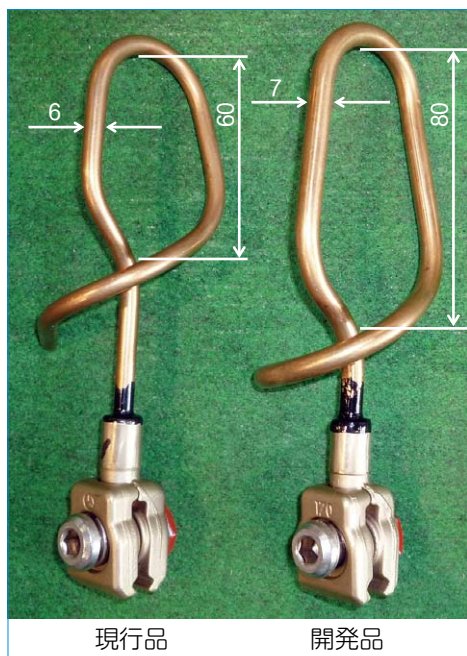


図3 ハンガーの強度向上



図4 曲線引金具の強度向上

電線・架線金具の損傷要因

電車線路の3次元運動シミュレーションを用いて、L1地震動に相当する変位を電柱基礎に入力し、ハンガー、曲線引金具やAT保護線にどの程度の荷重が作用して損傷するかを調べました。その結果を以下に示します。

- ①現行のハンガーは、トロリー線などの電車線の振動により、破壊荷重に対して約1.3倍の引張荷重を受けて、ハンガーバーが変形する。
- ②現行の曲線引金具は電車線の上下振動によって、アルミパイプと引手アイ金具との接続箇所に、設計値に対して約4.6倍のモーメントを受けて折損する。
- ③現行のAT保護線はそれ自体が振動することによって、破断に対して約1.5倍の曲げモーメントを支持点付近に受けて断線する。

これらの解析結果にもとづき、対策となる架線金具などを開発しました。

電線・架線金具の耐震性向上

ハンガーの強度向上

ハンガーバーが変形すると、トロ

リー線がちょう架線や補助ちょう架線から外れて線路直角方向の振動が大きくなり、パンタグラフの割込みを誘発することがあります。そこで、ハンガーバーの太さを現行の6mmから7mmにして強度の向上を図り、かつループ部の長さを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のハンガーを開発しました。ハンガーの現行品と開発品を図3に示します。開発品の引張荷重は、現行品に対して1.5倍以上を示し、耐震性の向上を確認しました²⁾。

曲線引金具の強度向上

曲線引金具が折損した箇所に列車が進入するとパンタグラフを破損させ、さらに電車線の断線を誘発する可能性が高くなります。そこで、曲線引金具の強度を向上させるため、接続箇所の断面形状を見直して、2段階の圧縮接続方式とした曲線引金具を開発しました(現行品は1段階の圧縮接続方式)。曲線引金具の現行品と開発品を図4に示します。開発品の破壊荷重は、現行品と比較して約8倍に増加しており、開発品の耐震性向上を確認しました²⁾。

AT保護線の断線対策

(1) 補強巻線

き電線やAT保護線は、電車線柱の比較的高い箇所に架設されるため、地震時の振動が大きくなる傾向があり、支持点付近において比較的大きな曲げ応力が生じることがあります。特にAT保護線はき電線よりも細い電線を用いているため、断線する可能性がより高くなっています。そこで、この曲げ応力を緩和するため、支持点を中心とした約2mを補強巻線で覆う対策について検討しました。

AT保護線には硬アルミより線が用いられているため、異種金属の接触腐食による影響を考慮して、補強巻線の材料はアルミ覆鋼線としました。また、補強対象の電線に対して補強巻線の剛性を過大にすると、補強巻線の両端付近に曲げ応力が集中してしまうため、補強巻線の剛性を補強対象の電線に対して7倍程度にしました。この補強巻線を硬アルミより線HAL150に取り付けた試験体について、曲げ変形を与えた試験結果を図5に示します。補強巻線を施すことにより、HAL150に

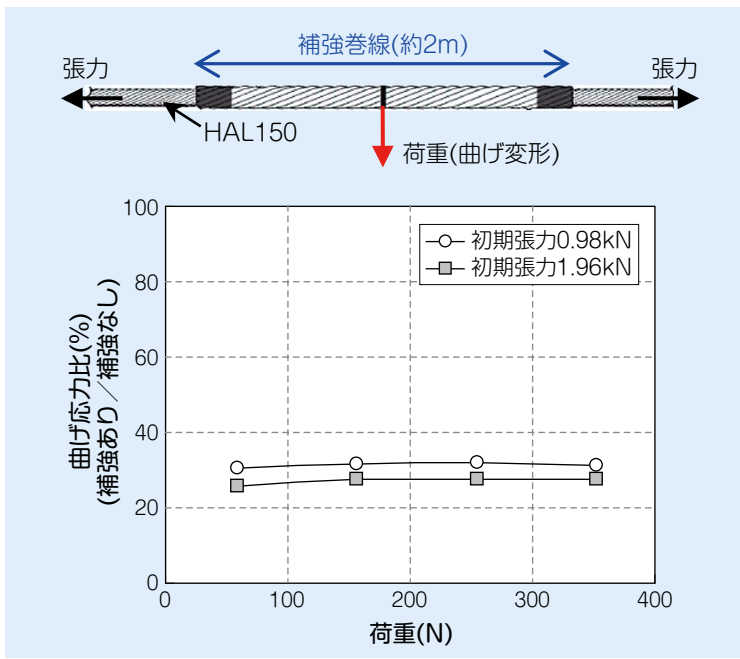


図5 補強巻線による曲げ応力の緩和

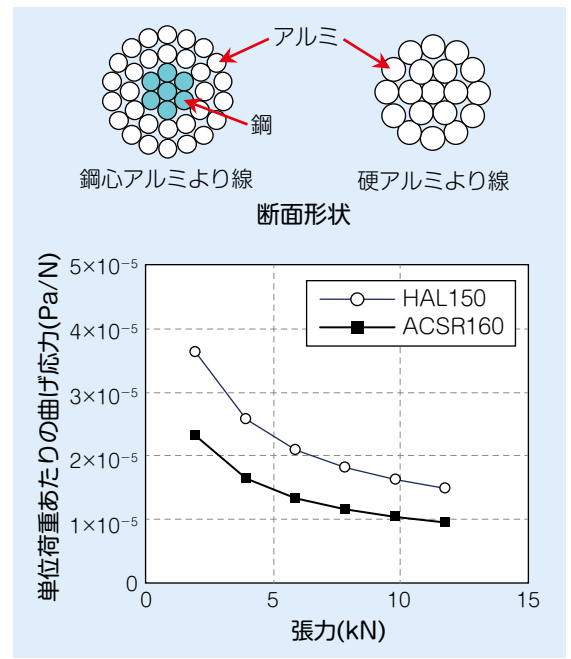


図6 鋼心アルミより線の曲げ応力

生じる曲げ応力を約1/3に緩和できることを確認しました。

(2) 鋼心アルミより線の採用

き電線やAT保護線の断線を防止するため、硬アルミより線の代わりに鋼心アルミより線を用いる対策が考えられます。鋼心アルミより線は、中心部に亜鉛めっき鋼より線を配置して、周囲をアルミより線で覆った電線で、硬アルミより線よりも強度が高いという特徴があります。図5の補強巻線の試験と同様に、張力と同時に曲げ変形をこれらのより線に加えた場合に、それぞれの外層線に生じる曲げ応力を計算した結果を図6に示します。図6は、硬アルミより線HAL150と鋼心アルミより線ACSR160に生じる曲げ応力を単位荷重あたりで示したものです。このように、ACSR160に張り替えることにより、同じ張力で架設したHAL150に対して、地震時に生じる曲げ応力を約60%に低減することが可能になると考えられます。

支持物の門形化

前述の架線金具や補強巻線などを組み合わせて用いることにより、電車線およびき電線やAT保護線などの電線の耐震性は向上します。しかし、より効果的に耐震性を高めるには、電車線柱自体の振動を抑制し、電線や架線金具の地震被害を防止することが望まれます。その一例として、支持物の門形化があります(図7)。上下線の電車線柱を固定ビームにより結合して門形化し、支持物全体系としての剛性を高め、地震による振動を抑制します。この対策は、図7のようなき電線が2回線架設されている電車線柱に対して特に有効で、また大規模地震に対する電車線柱の折損防止にも効果があります。

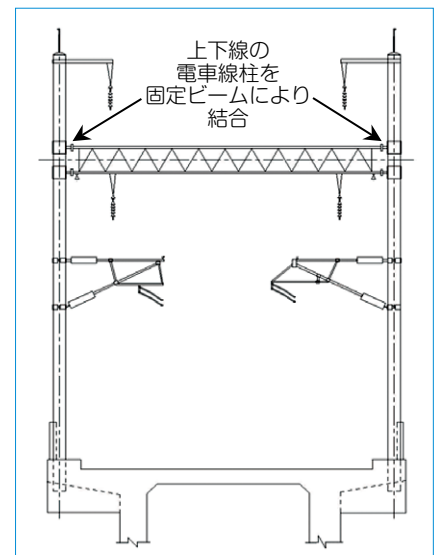


図7 支持物門形化の一例

おわりに

本稿では、中規模地震に対する電車線や架線金具の耐震対策を中心に紹介しました。今後、大規模地震に対しても電車線路の耐震性を高める研究を進め、地震に対して安全性・信頼性の高い鉄道を目指します。RRR

文献

- 1) 網干ほか：地震時における電車線路の運動シミュレーション手法，平成20年電気学会産業応用部門大会講演論文集，pp.Ⅲ-179-Ⅲ-182，2008.8
- 2) 原田ほか：中規模地震に対する架線系設備の耐震性能向上対策，鉄道総研報告，Vol.26，No.6，pp.29-34，2012.6