

|        |
|--------|
| 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  |

# 電車線柱の耐震技術

電車線路は電車に電力を供給する設備ですが、地震時における列車の通過に対して安全性を確保するために耐震設計がなされています。電車線路の耐震設計では、主に電柱の強度を評価することで安全性を確保しますが、鉄道の高架橋や橋りょうなどの耐震設計標準が改訂されたことに伴い、電車線路設備耐震設計指針が平成25年3月に新しく改訂されました。本稿では、電車線路の耐震設計の変遷や基本的な考え方を紹介するとともに、実際の地震被害や耐震技術について紹介します。

## 電車線路設備耐震設計の変遷

トrolley線などの電線類や架線金具、これらを支える電柱などの支持物を含めて電車線路といいます。電車線路は、電線類に生じる風圧荷重や、電線の張力などに耐えることができるように、「鉄道に関する技術上の基準を定める省令」において規定されています。1978年の宮城県沖地震までは、この風圧荷重や張力に耐えられるように電車線路の設計を行ってきましたが、同地震の際に建設中の東北新幹線で電柱が折損して倒壊するなどの被害が生じました。これを機に電車線路の設計にも耐震設計が取り入れられ、1982年に電車線路設備耐震設計指針（以下、耐震指針）が策定されました。この耐震指針では、高架橋や電柱などの揺れやすさの特性に応じて、電車線路に生じる応答加速度を変化させる「修正震度法」の考え方を取り入れました。

高架橋上に設置される電車線路の耐震設計は、高架橋の耐震設計と密接な関係があります。高架橋や橋りょうなどの耐震設計の基準となる「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計標準）」（以下、耐震標準）は、1995年の兵庫

県南部地震で道路橋などのインフラが壊滅的な被害を受けたため、1999年に発刊されました。この耐震標準では、「発生する可能性はほとんどないが、極めて大きな地震動」に対して、高架橋などの損傷は許容するが倒壊は防止する設計法が取り入れられ、大きな変更となりました。これに合わせ、耐震指針も同時期に改訂されました<sup>1)</sup>。

1999年に改訂・発刊された耐震標準ですが、国際標準に適合するため、また2011年の東北地方太平洋沖地震を含めて、地震関連の研究の大きな進展で得られた新しい知見を盛り込むため改訂されることになり、2012年9月に改訂・耐震標準が発刊されました<sup>2)</sup>。この耐震標準の改訂作業に並行して電車線路についても耐震指針の改訂を進め、2013年3月に新しい耐震指針を発刊しました<sup>3)</sup>。

## 地震による電車線路の被害

前項では電車線路の耐震設計の変遷について述べましたが、ここでは地震による電車線路の被害について主な事例を紹介します。地震により電柱が揺らされると、電柱は主に曲げ変形を生



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



清水 政利  
Masatoshi Shimizu  
電力技術研究部  
電車線構造研究室  
室長  
[専門分野] パンタグラフ、電車線の相互作用



図1 電柱の根元の損傷

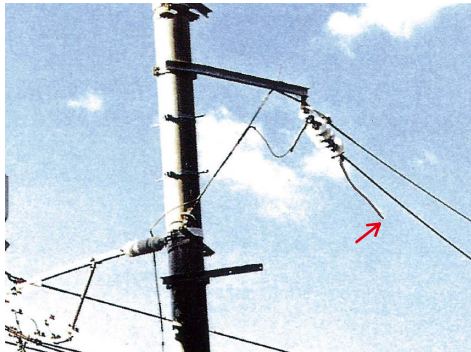


図2 支持点付近のき電線の断線

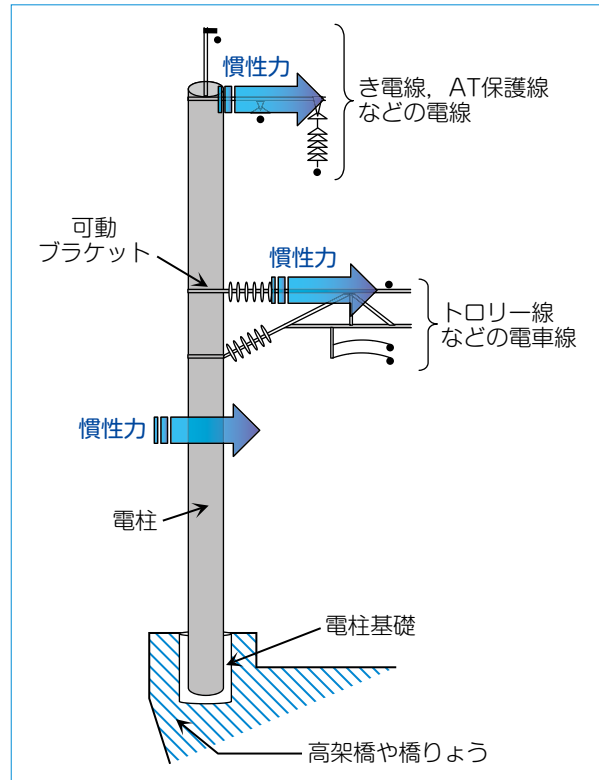


図3 電車線路に作用する慣性力(新幹線の高架橋の例)

じます。地震による揺れが大きく、電柱の強度を上回る曲げ変形が生じると、根元付近で電柱が損傷します。電車線路では電柱としてコンクリート柱が多く用いられており、大地震では根元付近のコンクリートが剥離して内部の鉄筋が露出するなどの損傷が生じることがあります(図1)。このような損傷が生じると、電柱の強度が急激に低下して電線類などの荷重を支えることができなくなり、電柱が折損して倒壊してしまうこともあります。

また地震により電柱が揺らされると、電柱に支持されている電線類も大きく揺らされ、き電線などに用いられるより線が、支持点付近で断線することがあります(図2)。このような断線被害は、図1に示す電柱の損傷が生じるような地震より小さな地震(後述するL1地震動相当の地震)でも生じることがあります。耐震指針では後述するとおり、電柱の倒壊防止を主な目的としており、電線類の断線については現在の

ところ耐震指針の対象としていません。

### 耐震指針の基本的な考え方

#### 耐震指針で想定する地震動

耐震指針の基本的な考え方を紹介します。まず設計で想定する地震動については、高架橋など鉄道構造物の耐震設計では、次の2つの地震動を考慮します。

- ・L1地震動：建設地点で設計耐用期間内に数回程度発生する確率を有する地震動
- ・L2地震動：建設地点で想定される最大級の地震動

高架橋などの耐震設計では、L1地震動に対して損傷ないように設計され、L2地震動に対して損傷は許容するが崩壊を防止するように設計されます。

一方、電車線路の耐震設計ではL2地震動のみが考慮され、電柱が損傷して倒壊するなどして列車の走行空間を支障することを防止して、安全を確保するように設計することが基本的な考え方になっています。なおL2地震動

は、海溝型地震を想定した「スペクトルⅠ」と内陸活断層による地震を想定した「スペクトルⅡ」に分類されます。電車線路の耐震設計では、スペクトルⅠとスペクトルⅡの地震動に対して電柱に作用する応答加速度を比較して、大きい方の応答加速度を採用するように後述する加速度応答スペクトルを算定しています。

#### 電柱に作用する地震荷重

地震により電柱が揺らされると、揺れに伴い加速度が生じ、電車線路には慣性力が作用します(図3)。電柱はトロリー線などの電線類のほか、電線類を支持するための腕金や可動ブラケット、がいしなどの架線金具が取り付けられています。したがって地震時に電柱には、電柱自体の慣性力による荷重のほか、電線類や架線金具の慣性力による荷重も作用することになります。この電車線路に生じる慣性力は、電車線路が設置されている鉄道構造物(高架橋や橋りょう、盛土など)の振動特

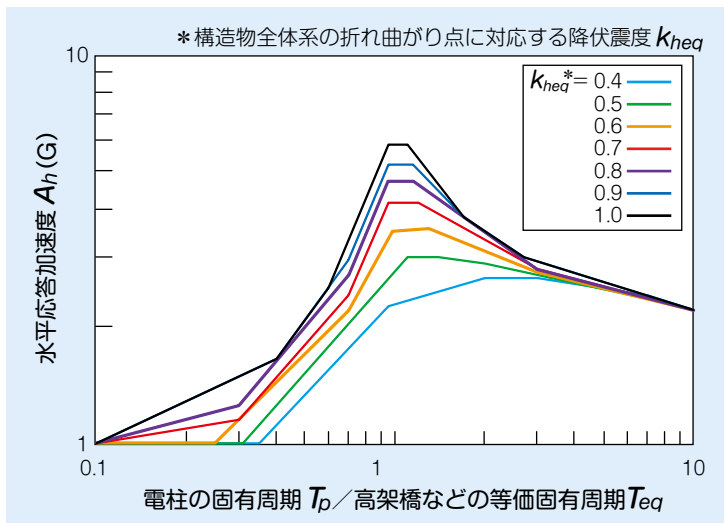


図4 加速度応答スペクトルの一例  
(高架橋上, G3地盤, コンクリート柱)

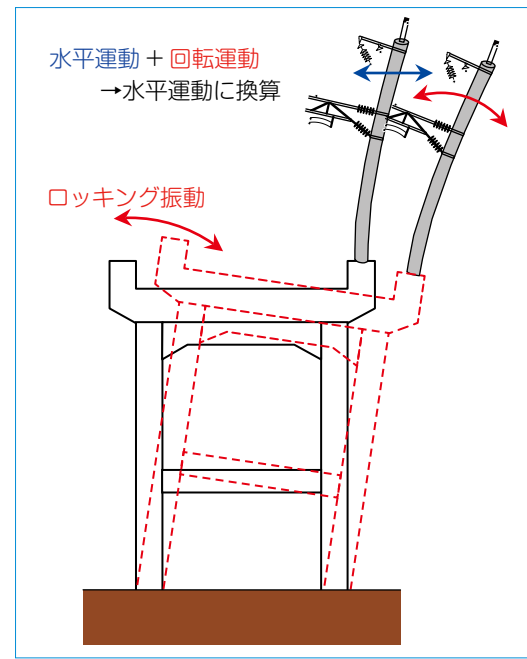


図5 高架橋のロッキング振動

性により異なります。それに対し、種々の鉄道構造物の振動特性を考慮した加速度応答スペクトル(図4)が算定されており、電柱に作用する地震荷重(地震応答加速度による慣性力)を算出する際に用いられます。

### 耐震指針の主な改訂内容

電車線路の耐震性をより正確に評価するため、耐震指針では主に以下の内容が改められました。

#### 電柱の固有周期の補正

電柱に作用する地震荷重は、電柱が設置されている鉄道構造物の振動特性によって異なりますが、電柱自体の振動特性によっても異なります。

電柱の地震荷重に影響を与える要因としては、主に電柱の固有周期の変化があります。電柱の固有周期は、電柱の種類や長さなどで一意に算出することができますが、電線類などの重量や地震時にコンクリート柱にひびが入ることなどの影響によって変化します。そこで、算出した固有周期を1.1~1.5倍にするなどして補正し、電柱の固有周期に一定の幅を設けて、加速度応答スペクトルから最大の応答加速度を算

定するようにしました。

#### ロッキング振動の影響

これまでの電車線路の耐震設計では、高架橋や橋りょうなどの鉄道構造物について水平運動のみを考慮していました。しかし、実際の地震による電柱の被害を詳細に解析すると、高架橋などの回転運動(ロッキング振動)が電柱の被害に大きな影響を与えることがわかりました<sup>4)</sup>。なお、この回転運動の大きさは、鉄道構造物の構造形式などにより異なることがわかっています。

そこで耐震指針では、高架橋などの回転運動が与える影響を電車線路に作用する水平応答加速度に換算する補正方法について、鉄道構造物の主な構造形式ごとに示しました。この簡易な補正方法を用いることにより、電柱の強度を評価します。

#### 電車線路の耐震技術

電車線路の耐震技術として、電柱と電線類について主な例を紹介します。

##### 電柱の鋼管柱化

電車線路のコンクリート柱は、図1

のような損傷が生じると強度が急激に低下し、折損して倒壊する恐れがあります。それに対して鋼管を利用した鋼管柱は保守性や経済性が多少劣りますが、同じ強度を持つコンクリート柱と比較して軽いため地震時に作用する慣性力が小さくなり、耐震設計では有利になります。また、コンクリート柱は高架橋などのコンクリート構造物に近い固有周期を持つことから共振によって地震荷重が大きくなりやすいのですが、鋼管柱の固有周期はそれらと離れていることが多く、高架橋などと共振しにくくなっています。これらの特長により兵庫県南部地震以降では、高架橋に設置される電柱に鋼管柱を採用することが多くなっています。

##### き電線・AT保護線の断線対策

電柱の上端に設置されている電線類であるき電線やAT保護線は、地震時の振動が大きくなりやすいため、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わかっています<sup>5)</sup>。特にAT保護線はき電線よりも細いより線を使用しているため、断線する可能

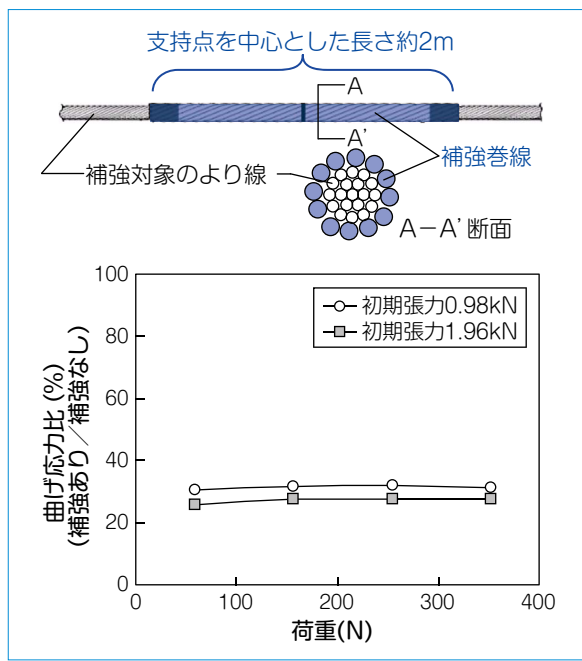


図6 補強巻線による断線防止

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が提案されています(図6)。AT保護線には硬アルミより線など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を採用しました。また、補強対象のより線に対して補強巻線の剛性を過大にすると、補強巻線の両端に曲げ応力が集中してその付近で断線してしまうため、補強対象のより線に対して補強巻線の剛性を約7倍にしました。この補強巻線を施すことにより、150mm<sup>2</sup>の硬アルミより線に生じる曲げ応力を約1/3に緩和できることを確認しています。

### 今後の展望

#### 電車線路の数値解析の深度化

現状の耐震指針では、電柱を線形モデルとして電車線路の強度などを評価しています。しかし実際の電柱は、地震荷重に対して非線形特性を有することがわかってきました<sup>6)</sup>。

図7に示すように、コンクリート柱ではひび割れ点以上の荷重が作用すると剛性が低下して、線形モデルと比較して変形量が大きくなります。ひび割れ点以降ではコンクリート柱の振動特性が変化して、高架橋などの鉄道構造物の振動特性によっては、コンクリート柱に生じる加速度や変位などの応答値が大きく変化すると考えられます。

また、電柱の上端に取り付けられている電線類などの挙動は、電柱の振動状態により大きな影響を受けるため、実際の現象をより正確に把握するには、電柱の非線形特性や電線類との相互作用などを考慮した詳細な数値解析を行う必要があります。今後は電線類も考慮して、電車線路の解析技術の深度化を図りたいと考えています。

#### 既存の電柱の耐震性向上

鋼管柱を用いることにより耐震性が向上すると述べましたが、高架橋上にある既存のコンクリート柱を鋼管柱に建て替えるには、多くの費用と時間を要します。そこで、既存の電柱の構造を大幅に変えることなく、強度の向上

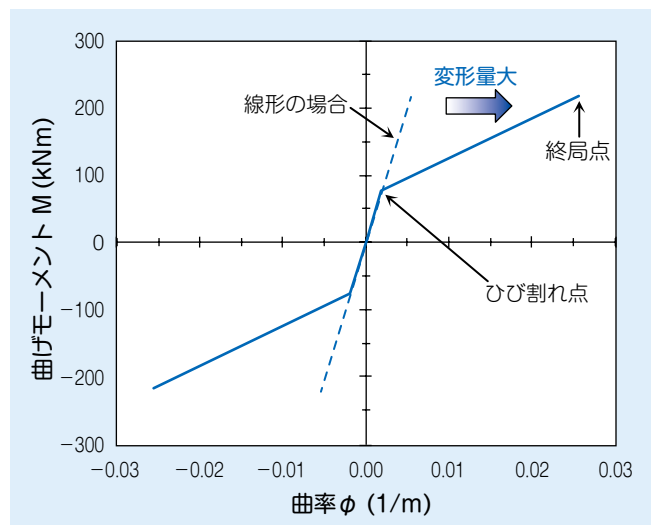


図7 電柱の非線形特性(コンクリート柱の曲げ変形の例)

や減衰の付与が可能な対策について、現在検討を進めています。これらの対策を複数検討し、現地の設備の実情に合った対策を今後提案していきます。

### おわりに

今後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) 清水政利, 澤田亮, 西村昭彦, 藤井保和: 電車線路設備の新しい耐震設計方法の開発, 鉄道総研報告, Vol.13, No.7, pp.31-36, 1999
- 2) 室野剛隆: 新しい耐震設計標準, RRR, Vol.70, No.3, pp.16-19, 2013
- 3) (公財) 鉄道総合技術研究所: 電車線路設備耐震設計指針・同解説, 2013
- 4) 加藤尚, 坂井公俊, 室野剛隆: 構造物-電車線柱一体モデルによる地震応答特性の評価, 鉄道総研報告, Vol.26, No.11, pp.17-22, 2012
- 5) 原田智, 他: 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) 青木佑輔, 他: PCおよび鋼製電車線柱の地震応答解析のための非線形特性のモデル化, 第16回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, 2013