

|       |
|-------|
| 鉄道一般  |
| 車両    |
| 施設    |
| 電気    |
| 運転・輸送 |
| 防災    |
| 環境    |
| 人間科学  |
| 浮上式鉄道 |

# 鉄道橋りょう上の電線が 損傷する要因を解明する

鉄道橋りょう上では、列車通過時の振動により電柱や架線などの電車線路設備が大きく振動し、電線が損傷することがあります。しかしながら、橋りょうによって損傷発生状況が異なることが明らかとなり、列車通過時に橋りょう振動が電車線路設備に与える影響を解明して、対策要否の判定基準を明確化することが求められていました。そこで、列車通過時に橋りょう上の電線が損傷する要因を解明するとともに、電車線路設備損傷に対する対策要否の判定フローと対策手法を開発しましたので、その内容を紹介します。



**常本 瑞樹**  
Mizuki Tsunemoto  
電力技術研究部  
電車線構造研究室  
主任研究員



**松岡 弘大**  
Kodai Matsuoka  
鉄道力学研究部  
構造力学研究室  
副主任研究員



**後藤 恵一**  
Keiichi Goto  
鉄道力学研究部  
構造力学研究室  
主任研究員



**薄 広歩**  
Hiromu Susuki  
前 電力技術研究部  
集電管理研究室  
研究員



**以倉 慶子**  
Kyoko Ikura  
前 電力技術研究部  
電車線構造研究室  
研究員

## はじめに

鉄道橋りょう上における電車線路設備の電線が損傷する事例としては、おもに地震時や列車通過時の振動によるものが考えられます。地震時の損傷は、橋りょうや電柱、電線が振動して、電線に大きな荷重が生じるために発生します。地震時の電線を含めた電車線路設備の耐震性向上については、さまざまな検討が行われています<sup>1)</sup>。一方、列車通過時の損傷は、地震時よりも電線に生じる荷重は小さいものの、電線破断などが発生します。このような箇所では、電柱が大きく振動していることが多いため、電柱に対して支線や振動抑制部材などの振動低減対策が施されていました<sup>2)3)</sup>。しかしながら、どのような条件で列車通過時に電線の損傷が発生するのが不明でした。

そこで、列車通過時に橋りょう上の電線が損傷する要因を解明するとともに、対策要否判定基準を明確化した内容を紹介します。

## 列車通過時の橋りょう振動が 電車線路設備に与える影響

図1に示すように、列車が橋りょう

を通過する際に、橋りょうの桁は列車荷重によってたわみます。これにともない、橋りょうの桁に建植された電柱と、電柱に支持された電線や金具が振動します。橋りょうの桁のたわみによって、図2に示すように、桁端付近に建植されている電柱は線路方向に振動します。また、橋りょうの桁の上下振動が大きくなる桁中央付近に建植されている電柱は、上下方向に振動するだけでなく、架線などの質量が線路内側にあるため線路直角方向にも振動します。図3に示すように、橋りょうの桁に励起される振動では、車両長および列車速度に依存する振動数成分のたわみが卓越します。この橋りょうの桁の周期的なたわみによって、電柱基礎部から電柱や電線、金具などの電車線路設備にも周期的な振動が励起されます。一方、列車通過時における橋りょうの桁のたわみは、常時の走行安全性および乗り心地に対して限界値<sup>4)</sup>が定められていますが、電車線路設備の損傷は考慮されていません。したがって、電車線路設備の損傷を発生させないための電柱振動の目安値を定め、その大きさに応じて対策を行う必要があります。

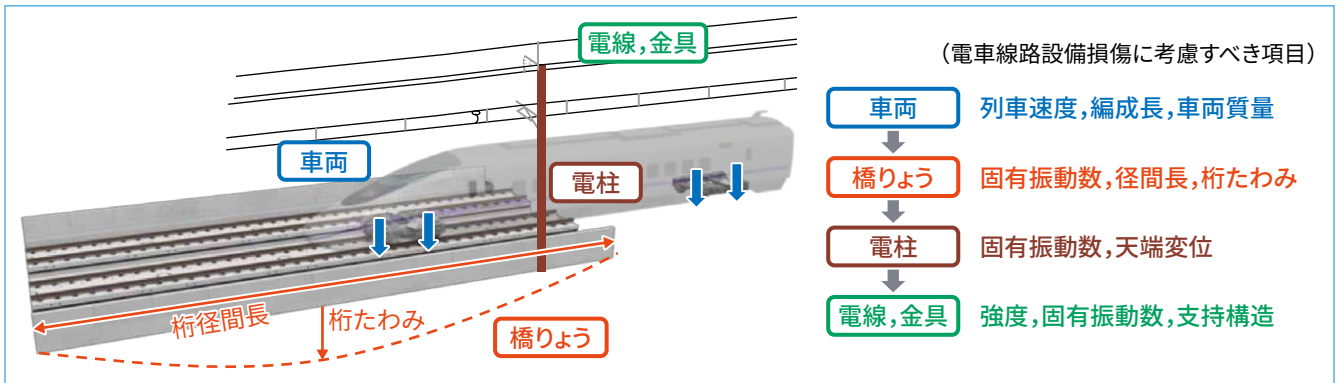


図1 列車通過時の橋りょう振動が電車線路設備に与える影響の概要図

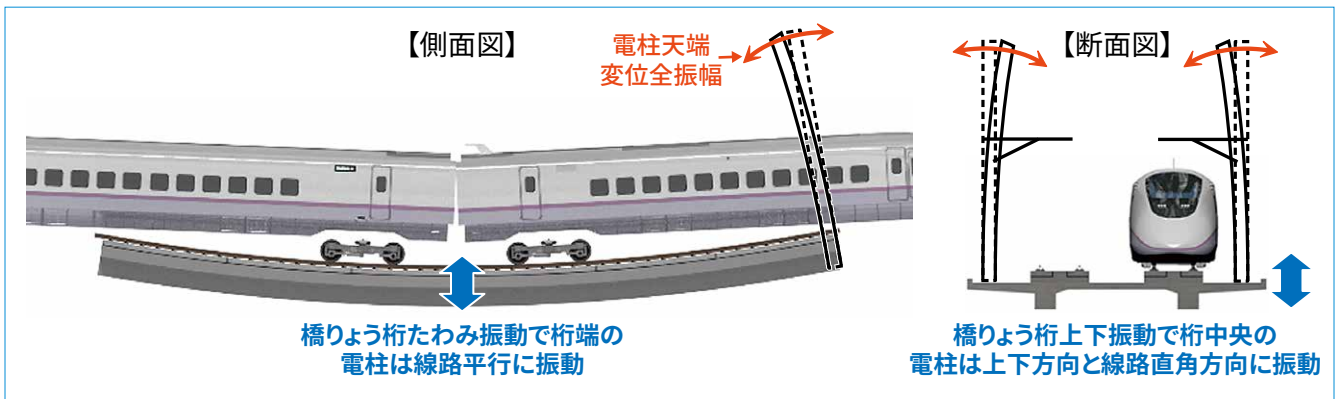


図2 列車通過時における橋りょう上の電柱振動

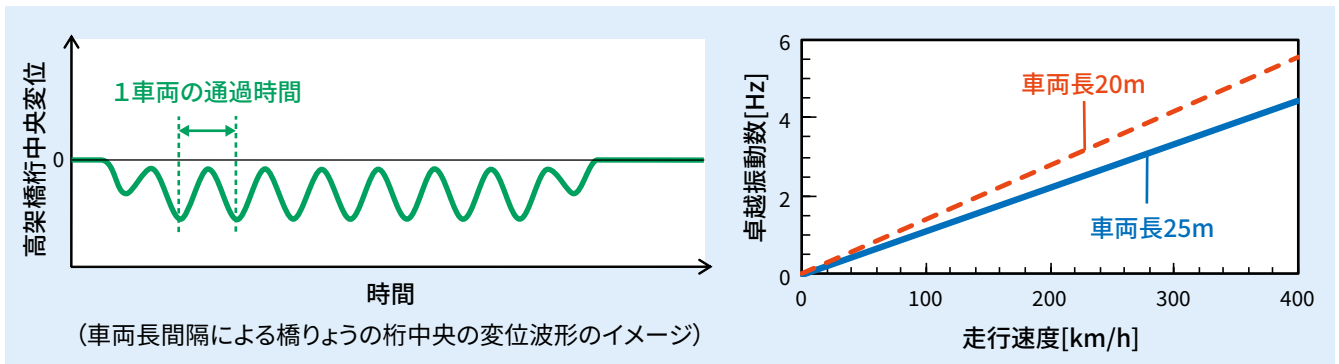


図3 列車速度と橋りょうの桁中央変位の卓越振動数の関係

設備損傷の対策要否については、ボルトなど金具の摩滅に関して電柱天端（電柱の最上部）変位全振幅を20mm以下とする目安値をすでに提案しています<sup>5)</sup>。これは、電柱天端変位全振幅がこの値以下であれば、摩滅厚さがめっき厚さ以内になると想定されることから定めた値です。しかしながら、電線の損傷事象については、橋りょう・電柱振動が電線類に与える影響が明らかになっていないため、対策要否判定

の目安値はありませんでした。そこで、電柱および橋りょうの振動特性を明らかにしたうえで、この振動が電線類の損傷に与える影響を検討しました。

### 橋りょう上の電柱振動応答

まず、橋りょうと電柱からなる振動モデルを構築し、有限要素法により解析した結果、たわみや加速度の解析値が営業線における実測値とおおむね一致することを確認しました<sup>6)</sup>。そこで、

この振動モデルを用いて、電柱建植位置が列車通過時の電柱振動に与える影響を評価しました。その結果、図4に示すように、橋りょうの桁の径間長によらず、桁端建植の場合に電柱天端変位全振幅が大きくなることがわかりました。なお、これらの電柱天端変位全振幅が最大となるのは、車両長および列車速度から定まる卓越振動数（図3右）が、電柱の固有振動数と一致した場合であることも確認しました（図5）。

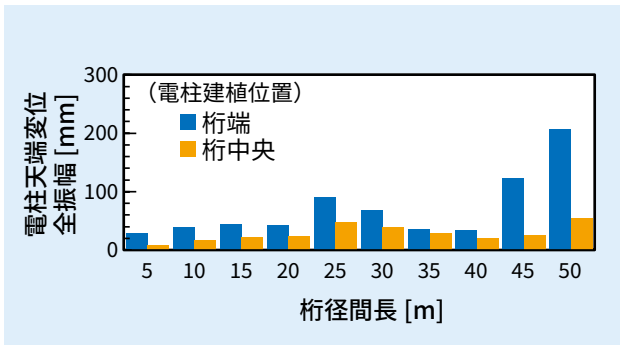


図4 電柱の建植位置が天端変位全振幅に及ぼす影響 (走行速度400km/hまで計算した最大値)

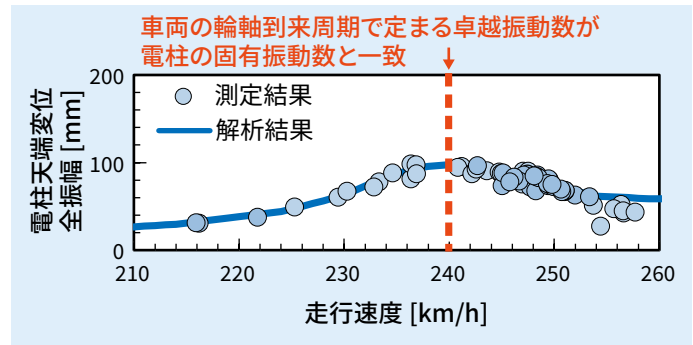


図5 列車走行速度と電柱天端変位全振幅の関係 (桁径間長22.1mの例)

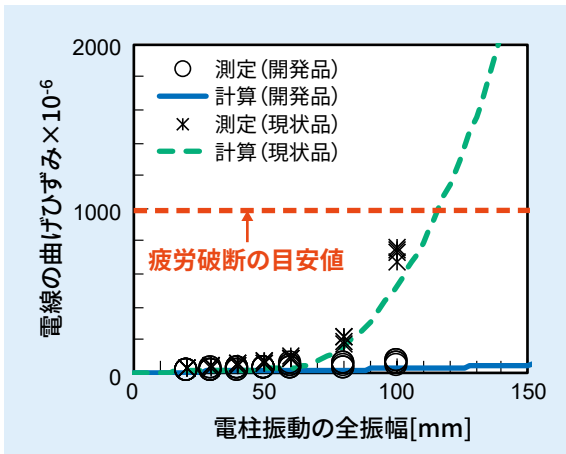


図6 振動試験結果：架空地線St55の例

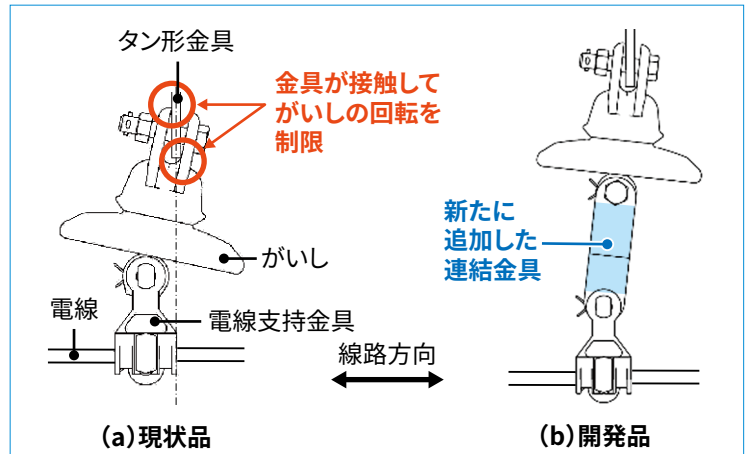


図7 電線支持構造：架空地線St55の例

したがって、電柱天端変位全振幅の最大値に関して検討する場合、この卓越振動数と電柱の固有振動数に着目すればよいことがわかります。

### 電柱振動が電線へ与える影響

電線の損傷事例は、電柱天端変位全振幅が金具の摩滅に対する目安値である20mmよりも大きい箇所が発生しています。電柱天端変位全振幅がどの程度の大きさになると電線の損傷が発生するのかを明らかにするため、電線の振動試験や疲労試験を行い、電柱振動が電線へ与える影響を評価しました。図6に電柱上部にある電線の例として、架空地線St55の振動測定結果を示します。現状品支持構造の測定結果より、電柱天端変位全振幅が大きいほど電線ひずみも増加する傾向であることがわかります。また、電柱天端変位全振幅

が50mm程度より大きくなると、電線ひずみが急激に増加しています。これは、現状品では電柱天端変位全振幅が大きくなるとがいしを支持するタン形金具とがいし上部が接触して、がいしの回転が制限されることが影響していると考えられます(図7(a))。すなわち、電柱振動ががいしの回転を制限しない範囲であれば、がいしの回転によって電柱振動時に電線に大きなひずみが加わることはありませんが、がいしの回転が制限されると、電線に曲げ変形が加わって非常に大きなひずみが発生します。これにより電線に過大なひずみが発生して、疲労破断が発生すると考えられます。そこで、電柱振動の全振幅と電線ひずみの関係を明らかにして、電線ひずみを低減する構造を検討するため、電線と支持金具の運動について計算モデル<sup>7)</sup>を構築して測定

値と比較した結果、図6に破線で示すように良好に一致していることを確認しました。

電柱が橋りょうの桁と共振している場合は、支線や振動抑制部材によって電柱の固有振動数を変えることで、天端変位全振幅を現状の半分以下に低減できると考えられます<sup>2)3)</sup>。しかしながら、前述の解析結果(図4)では電柱天端変位全振幅は最大で200mm程度の場合もあり、この場合には支線や振動抑制部材の対策だけでは不十分な場合があると想定されます。そこで構築した計算モデルを用いて、電線振動によるがいしの回転を抑制し、タン形金具との接触を防止できる構造を提案しました(図7(b))。試験の結果、開発品は振動試験において電柱天端変位全振幅100mm程度までがいしの回転が制限されず、ひずみの値も問題ないこと

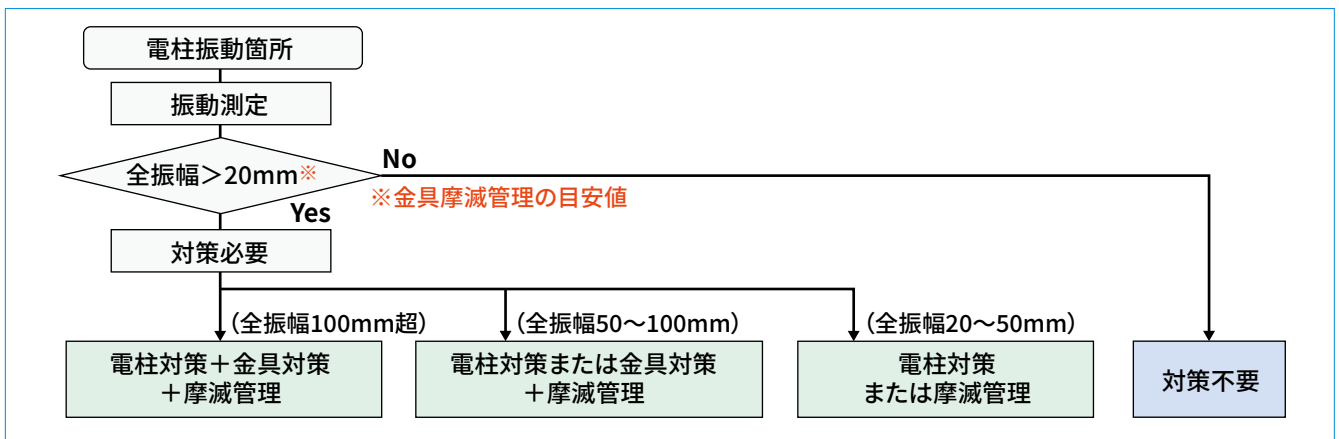


図8 電柱振動に対する対策要否判定フロー

を確認しています(図6)。このように、電柱天端変位全振幅が200mm程度の場合でも、電柱の支線や振動抑制部材に加えて、この開発品を取り付けることにより、電線の損傷を防止可能です。

### 電柱振動に対する対策要否判定フロー

以上の成果より、列車通過時の橋りょう振動による電車線路設備損傷防止のため、電柱振動に対する対策要否判定フロー(図8)を提案しました<sup>8)</sup>。対策要否判定は、まず電柱が振動している箇所で行う列車通過時の電柱天端変位振動測定を行います。その結果、電柱天端変位全振幅が金具の摩滅管理が不要な20mm以下の場合には対策不要となり、電柱天端変位全振幅が20mmを超える場合は対策を実施します。

対策の狙いは、電線疲労破断を防止することと、金具の損傷防止や摩滅抑制のためにがいしの回転が制限されない状態とすることです。電線疲労破断や金具摩滅は電柱振動に起因するものであることから、電柱振動を低減する対策(電柱対策)を優先して実施します。この電柱対策を行っても電柱天端変位全振幅ががいしの回転が制限されない範囲内(電柱天端変位全振幅50mm以内)にできない場合は、電柱対策に加えて電線ひずみを低減する金

具対策を実施します。まとめると、以下のようになります。

- 電柱天端変位全振幅が100mmを超える場合：電柱対策だけでは電柱天端変位全振幅が50mm以上となるおそれがあるため、金具対策もあわせて実施します。
- 電柱天端変位全振幅50~100mmの場合：電柱対策により電柱天端変位全振幅を50mm以下にすることが優先ですが、場合によっては施工や費用を考慮して、電柱対策の代わりに金具対策を実施して、がいしの回転が制限されない範囲とすることも可能です。
- 電柱天端変位全振幅50mm以下の場合：電線疲労破断やがいしの

回転が制限される恐れはないため、電柱対策を実施して電柱振動を低減するか、または対策をせず金具の摩滅管理を実施します。

### おわりに

列車通過時に橋りょう上の電線が損傷する要因を解明するとともに、損傷対策として対策金具を新規に開発し、対策要否判定フローを作成しました。なお、現在は電柱に顕著な振動が発生していない箇所においても、速度向上などによって振動が顕在化する可能性もあるため、留意が必要です。

今後も列車通過時や地震時における電車線路設備の損傷防止・低減手法について検討を進めて参ります。[RRR]

### 文献

- 1) 網干光雄, 常本瑞樹, 甘利智: 地震時における電車線路の動特性解析と耐震性向上方策, 日本機械学会論文集(C編), Vol.78, No.789, pp.166-180, 2012
- 2) 常本瑞樹, 網干光雄, 清水政利, 久須美俊一: 電車線柱の剛性増加による振動抑制の検討, 平成21年電気学会産業応用部門大会論文集, 3-4, 2009
- 3) 粕谷英利: 北陸新幹線振動箇所における電化柱の影響について, 電気学会研究会資料, TER-16-23, pp.13-18, 2016
- 4) 鉄道総合技術研究所編: 鉄道構造物等設計標準・解説(変位制限), 丸善出版, 2006
- 5) 以倉慶子, 早坂高雅, 清水政利, 諏訪和徳: 電車線柱振動による電車線設備への影響の検討, 電気学会研究会資料, TER-18-066, pp.25-30, 2018
- 6) 松岡弘大, 徳永宗正, 常本瑞樹, 以倉慶子: 列車通過時の橋梁上電柱振動に関する研究, J-RAIL2018, No.1513, 2018
- 7) 常本瑞樹, 佐藤修平, 清水政利: 電柱振動時における線条応力の評価と低減対策検討, J-RAIL2019, No.S7-1-5, 2019
- 8) 常本瑞樹, 松岡弘大, 後藤恵一, 薄広歩, 以倉慶子: 列車通過時の高架橋振動による電車線路設備損傷の低減対策, 鉄道総研報告, Vol.34, No.9, pp.35-40, 2020