

電車線路設備の耐震性向上対策検討

○ [電] 西 健太郎 [電] 多胡 正章 (東日本旅客鉄道)

[電] 大浦 泰 [電] 藤井 保和 (ジェイアール総研電気システム)

[電] 網干 光雄 (鉄道総合技術研究所)

The consideration of improvement for earthquake-resistant catenary equipment

○ Kentaro Nishi, Masaaki Tago, (East Japan railway company)

Yasushi Oura, Yasukazu Fujii, (JR Soken Electric Consulting Co., Ltd.)

Mitsuo Aboshi, (Railway Technical Research Institute)

A big earthquake of magnitude 7.2 happened in August 2005, its epicenter was off the coast of Miyagi prefecture, and the auxiliary wire was broken without damage of the pole. In order to clarify catenary vibration at the time of medium earthquake outbreak, the simulation of the catenary vibration in three directions was performed, using natural frequencies of the structure, the pole and the catenary. From the results improvement for earthquake-resistant catenary equipment was considered.

キーワード：耐震性，電車線路設備，シミュレーション，固有周期

Key Words : Earthquake-resistant, Catenary equipment, Simulation, Natural frequency

1. はじめに

平成17年8月に宮城県沖を震源とする強い地震により、新幹線の補助ちょう架線が2箇所断線し、走行列車のパンタグラフが損傷する事象が生じた。これまでに電車線路設備の耐震設計は、電車線路設備耐震設計指針⁽¹⁾に準じて検討が行われており、本指針では、大規模地震により支持物が倒壊しないような検討が主になされている。一方、今回の地震では新幹線の支持物や土木構造物の損壊がない中で、電車線路設備の被害が突出した。

今後、中規模程度の地震における電車線路設備の耐震性を向上させる観点から、本地震での電車線の動的挙動を明らかにする必要がある。そこで、高架橋、支持物、電車線の固有周期を算出した上で、実地震波形を用いた3次元方向のシミュレーションを行い、地震時の電車線の動揺量を算出した。その結果被害発生要因は、電車線の上下および左右方向の振動が過大であったことが明らかになった。この結果を踏まえ、地震時に電車線の動揺量を抑制する観点から、電車線路設備の耐震性向上対策を検討した。

2. 事象の概要

2.1 地震発生概要 (気象庁発表)

地震発生日時：平成17年8月16日11時46分

震源：北緯38度09分、東経142度17分、深さ約42km

マグニチュード：7.2

2.2 電車線被害概要

本地震により、新幹線では土木構造物および電車線路支持物の損壊がなかったものの福島～白石蔵王間において、補助ちょう架線が2箇所断線し、付近の電車線金具と当該箇所を通過した列車のパンタグラフに損傷が発生した。

当該箇所の被害状況の分析より、図1に示すように地震発生時に当該箇所の電車線において、上下および左右方向の過大な振動が発生したため、通過列車の非常制動中に、トロリ線とちょう架線の間、パンタグラフが割り込み補助ちょう架線が巻き込まれ、断線したものと想定された。

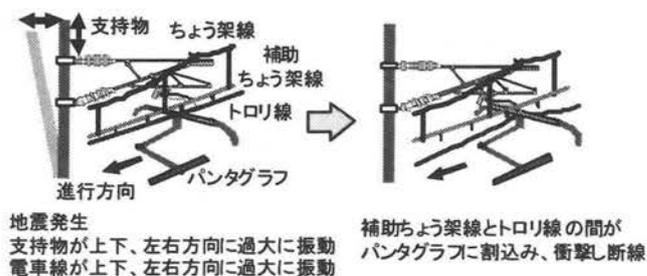


図1 電車線路設備の被害進行状況

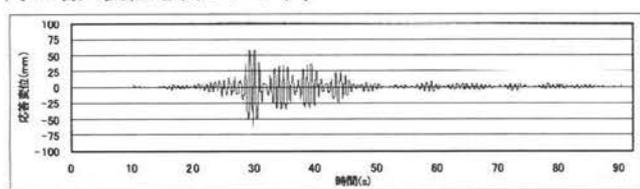
3. 地震発生時の電車線の動的解析

地震時の電車線の動的挙動を解析するために、固有周期

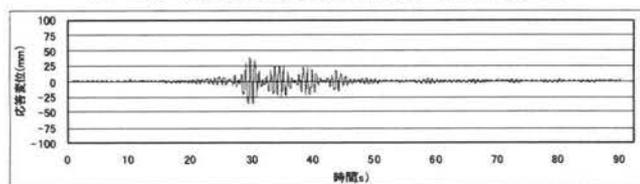
を求めた上で構造物および支持物の振動を解析し、その上で電車線の振動解析を行った。

3.1 構造物および支持物の振動解析

地震時の高架橋の土木構造物と支持物の振動を解析するために、鉄道構造物等設計施工標準・同解説 耐震設計⁽²⁾に基づき、有限要素法によりこれらの固有周期の解析を行った。その上で、被害箇所にもっとも近い防災科学技術研究所強震ネットワーク (K-NET) の測定地点 FKS002 の振動波形を入力し、構造物および支持物の振動を算出した。地震時に電車線路設備の被害が最も早く発生したと想定される箇所の支持物のちょう架線支持高さにおける線路直角方向と上下方向の応答変位の算出結果を図2に示す。これらの結果をもとに、当該箇所および他の2支持点における上下・線路直角・線路方向の3次元の変位を算出した。各方向の最大変位を表1に示す。



(a) ちょう架線支持位置の線路直角方向変位



(b) ちょう架線支持位置の上下方向変位
図2 被害発生箇所の支持物の応答変位

表1 支持点における最大変位

| 支持点 | 上下方向 | 線路直角方向 | 線路方向 |
|------|------|--------|------|
| NO.1 | 39mm | 61mm | 53mm |
| NO.2 | 55mm | 82mm | 49mm |
| NO.3 | 66mm | 68mm | 38mm |

3.2 電車線の振動シミュレーション

電車線の振動挙動を解析するために、電車線の3次元運動モデル⁽³⁾に、前項で求めた支持点の応答変位を入力し、シミュレーションを行った。解析を行った3支持点におけるトロリ線の最大張力および線路直角方向の最大変位の結果を表2に示す。

表2 地震時のトロリ線の動的挙動算出結果

| 支持点 | 最大変位 | 最大張力 |
|------|------|------|
| NO.1 | 0.9m | 39kN |
| NO.2 | 0.3m | 30kN |
| NO.3 | 1.9m | 41kN |

これらの結果より、パンタグラフの有効幅である約0.6mを超過するトロリ線の変位が発生したことが確認された。

また自動張力調整装置の振動により、電車線張力が規定張力から増大あるいは減少していること、場所により補助ちょう架線とトロリ線の上下位置が逆転している結果が得られた。これらのシミュレーション結果より、図1の被害進行状況の推測がほぼ妥当であることが確認された。ここで、支持点 NO.1 における高架橋、支持物、電車線の固有振動数を分析し、表3に結果を示す。この結果、これらの固有振動数の差が僅かであり、電車線路設備に地震時に共振による過大な振動が発生したことが考えられる。なお、本解析手法は、今後の電車線路設備の耐震対策を検討する上で有効な手法になると考えられる。

表3 固有振動数分析結果

| 設備 | 高架橋 | 支持物 | 電車線 |
|-------|-------|-------|-------|
| 固有振動数 | 1.3Hz | 1.5Hz | 1.3Hz |

4. 電車線路設備の耐震性向上対策

電車線路設備の地震時の振動を抑制させる観点から、設備の共振現象を抑制することが有効な対策であると考えられる。そのために、高架橋、支持物、電車線の固有振動数を変更あるいは振動を抑制することが考えられるが、高架橋の固有振動数を変更するのは大規模な改修が必要となる。ここで、検討した対策を以下に示す。

- (1) 支持物の長さの変更
- (2) コンクリート柱から鋼管柱への変更
- (3) 上下線間のビームの設置
- (4) 線条の線密度および張力の変更
- (5) ばね式自動張力調整装置への変更
- (6) 支持物に制振装置を設置

5. まとめ

平成17年8月に発生した宮城県沖地震時に補助ちょう架線が断線した際の電車線の動的挙動を明らかにするために、高架橋、支持物、電車線路の固有振動を算出した上で、地震波形を用いて電車線の3次元方向のシミュレーションを行った。その結果、被害の要因は地震発生時に電車線に発生した過大な振動であることが、明らかになった。また地震発生時の電車線の共振現象を抑えるために、電車線路設備の固有振動数を変更する方策を提言した。

参考文献

- (1) 電力設備耐震性調査研究会：「電車線路設備耐震設計指針 (案)・同解説及びその適用例」, 1997
- (2) 鉄道総研編：「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」, 丸善, 1999
- (3) 網干光雄、大浦泰：「地震時における電車線路の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, III-179~III-182, 2008