

新幹線高架橋上の電車線柱の TMD による震動制御効果の連成系地震応答解析による分析

東京大学大学院 学生会員 飯島 怜, 正会員 ○水谷 司, 学生会員 武田 智信
 東日本旅客鉄道(株) 正会員 佐々木 崇人
 東京大学大学院 正会員 蘇 迪, 正会員 長山智則

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震において、東北新幹線高架橋上の PC 製電車線柱が広域にわたり多数折損・傾斜し、復旧に多くの時間を要した。新幹線の迅速な復旧および電車線柱の走行車両への衝突による二次災害防止に向けた対策は急務であるが、電車線柱には高架橋を介して地震動が伝達されるため応答評価は容易ではない。一方、電車線柱は規格品で種類が限られ、特に多数使用されてきた PC 柱は規格化された対策を広範囲に適用できる。ゆえに、耐震性能をより正確に評価して地震対策を十分検討することが重要である。現在、東日本旅客鉄道等の事業者は高靱性化補強¹⁾や鋼製ビームによる門型化を実施している。電車線柱の倒壊を防ぎ、走行中の新幹線の車体への衝突を防ぐことを最大の目的としている。早期復旧には、これに加えて損傷自体も軽微であると望ましい。本研究では、新幹線高架橋上の PC 製電車線柱の耐震性能を評価するために、調整桁や電車線・電線による結合を反映させたモデルを構築して連成系地震応答解析をおこない、TMD を利用した制震対策と現行対策を機能性、経済性、施工性などから多角的に比較検討する。

2. 連成系モデルの概要

高架橋 4 ブロックを調整桁で連続させ、各高架橋ブロックに 1 対の電車線柱を建植し、隣接する電車線柱を電車線・電線で連結した三次元骨組みモデルを構築した(図 1 図 2)。一般的な新幹線高架橋である 1 層 4 径間 RC ラーメン高架橋を対象とし、曲げ損傷による非線形性を RC 用のテトラリニア型の履歴特性をもつ材端ばねモデルで再現した。電車線柱は PC 柱の単独柱を対象とし、ブラケットなどの金属部材は剛材として剛結させた。PC 柱の非線形特性梁には逆行型バイリニアの履歴特性を用いた。電車線柱基礎はモルタル基礎およびアンカー基礎については高架橋と電車線柱を剛結させた。砂詰基礎については砂が詰められた範囲には 0.05 m 間隔でバイリニアスリップ型の非線形特性をもつ砂ばねを、モルタルヒューズで覆われる表面にはギャップ型の非線形特性をもつモルタルヒューズばねを配置した。電車線柱の高架橋遮音壁への衝突を考慮するために、遮音壁と電車線柱の距離が接近すると大きな水平力が働く遮音壁衝突ばねを配置した。調整桁は 4 主桁の RC 桁を対象とした。調整桁と高架橋ブロックの結合は、片端は固定端として剛結させ、もう一端は可動端として遊間±0.05 m の衝突ばねを配置した。電車線・電線はヘビーコンパウンドカタナリを対象とした。電車線柱と電車線・電線を一体とみなして多質点系に置換し、梁要素と電車線・電線に加わる張力を再現するばねでモデル化した。

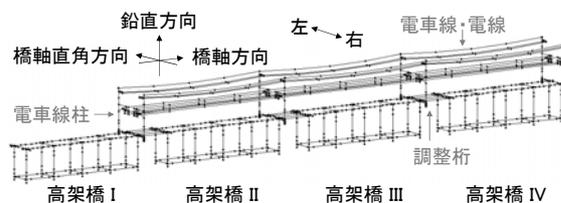


図 1 連成系モデルの概要

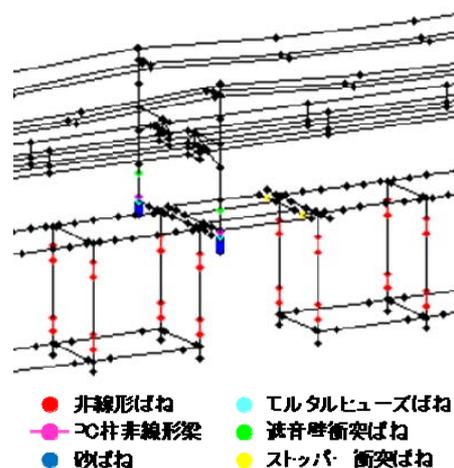


図 2 連成系モデル(高架橋 II・III 付近拡大)

3. 地震応答解析による電車線柱の TMD による制震効果の分析

地震応答解析では、仙台で観測された東北地方太平洋沖地震、鷹取で観測された兵庫県南部地震、小千谷で観測された新潟県中越地震の入力地震動とした。TMD は質量、ばね、ダンパーにより制振効果を発揮し、主振

キーワード 電車線柱 TMD 震動制御 連成系地震応答解析 新幹線高架橋 東北地方太平洋沖地震

連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7 丁目 3-1 東京大学本郷キャンパス TEL03-5841-6099

動系振幅の応答倍率を最小にする条件として最適同調および最適減衰がある。本研究では、池田ら²⁾が提案した減衰を有する主振動系に対する TMD の設計法を利用した。ただし、大規模地震の制震を対象とする場合、最適同調は電車線柱の塑性化による固有振動数低下を考慮する必要がある。地震応答解析の結果、電車線柱の伝達倍率の振動数のピークが固有値解析より低かった。そこで、TMD の固有振動数と制震効果の関係を調べるために、固有振動数の異なる TMD を連成系モデルの電車線柱天端に適用して地震応答解析を実施したところ、理論値の固有振動数の約 0.85 倍で電車線柱地際にかかる曲げモーメントが最も低減できることが分かった。よって、この固有振動数をもち電車線柱に対する質量比 6% の TMD を最適値とし、現行対策との比較対象とした。

4. 電車線柱の地震対策の多角的比較

連成系モデルに TMD 同様、現行対策である高靱性化補強と門型化をそれぞれ適用し、各地震動を入力して地震応答解析を行なった。解析結果、および機能、費用、施工時間、施工技術、空間的制約、メンテナンス性について結果を表 1 に記す。無対策では終局に至るケースがあった一方で、いずれの対策も十分な効果を発揮した。特に、損傷制御機能、費用、施工に優れた TMD は 3 種の対策のなかでもっとも汎用性が高く、空間的制約に応じて地震対策を選ぶ必要はあるが電車線柱基礎形式によらず有効であった。TMD は点検費用が発生するものの、低費用で施工時間も短いため点検が不利となる理由とはいえず、地震対策として TMD は有効である。

表 1 電車線柱地震対策（高靱性化補強，門型化，TMD）の多角的比較

| 検討項目 | | 高靱性化補強 | 門型化 | TMD |
|---------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------|
| 機能 ^{※1} | 変位制御 ^{※2} | 砂詰め：0.25 m～0.34 m | 砂詰め：0.16 m～0.20 m | 砂詰め：0.15 m～0.23 m |
| | | 剛結：0.06 m～0.07 m | 剛結：0.09 m～0.11 m | 剛結：0.07 m～0.10 m |
| | 損傷制御 ^{※3} | 砂詰め：53 %～88 % | 砂詰め：52 %～61 % | 砂詰め：47 %～71 % |
| | | 剛結：61 %～63 % | 剛結：73 %～93 % | 剛結：57 %～81 % |
| 費用比率 ^{※4} (材料費+施工費) | | 1.0 | 1.0 | 0.5 ^{※5} |
| 施工 | 時間 | 3日 | 1日～2日 | 1日未満 ^{※5} |
| | 技術 | 要試験施工 | 既往技術 | 容易 ^{※5} |
| 空間的制約 | | 遮音壁との狭隘箇所 | 門型化の対の必要性 | 腕金との兼合 |
| メンテナンス性 | | メンテナンスフリー | メンテナンスフリー | メンテナンスフリー 定期点検 ^{※5} |

※1 各対策を適用した連成系モデルの地震応答解析（高架橋II・III左右の電車線柱）に基づく。

※2 電柱が傾斜した際に、最初に車両に接触するトロリ線高さにおける電車線柱基部との相対変位最大値。

※3 電車線柱地際における終局曲げモーメントに対する地際最大曲げモーメント (M_{max}/M_u)。終局 (100 %) を下回ることが最低条件。小さいほど望ましい。

※4 費用比率は既存対策手法である高靱性化補強と門型化の費用で正規化した値を示す。

※5 コンパクト制振装置³⁾およびマルチタイプTMD⁴⁾の商品情報に基づく。

100 kg未満のTMDを重機を持ち込まずに保守用車等を用いて軌道内から設置すること想定。

5. まとめ

新幹線高架橋上のPC製電車線柱の耐震性能をより精度よく評価するために連成系モデルを構築した。また、TMDを利用した制震対策と現行対策である高靱性化補強と門型化について、地震応答解析および多角的な比較検討をおこない、地震対策としてのTMDの有効性を示した。

参考文献

- 1) 築嶋大輔，佐々木崇人，草野英明：狭隘箇所におけるコンクリート柱（電車線用）の耐震補強工法，土木学会年次学術講演会，2014.9
- 2) 池田健，五百井俊宏：減衰を有する振動系の動吸振器について，The Japan Society of Mechanical Engineers，43巻369号，pp.1707-1715，1977.
- 3) 中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京株式会社 技術開発 構造物 コンパクト制振装置 パンフレット (<http://www.c-nexco-het.jp/product/pdf/product04.pdf> (最終閲覧日 2015.03.30))
- 4) ジオテック株式会社 商品・サービス マルチタイプ TMD (制振装置) (<https://www.jiban.co.jp/service/etc/tmd/index.htm> (最終閲覧日 2015.03.30))