# 電車線柱に着目した鉄道高架橋の動的非線形解析による耐震性能評価

東京大学	正会員	○横田	祐起
東京大学	正会員	水谷	司

# 1. 背景と目的

東北地方太平洋沖地震において東北新幹線高架橋に被害が生じた.高架橋本体の損傷は比較的軽微であったに も関わらず,高架橋上に設置された電車線柱が多数損傷したため(図1),新幹線の運行が長期間に渡り妨げられた <sup>1)</sup>.このことから,付属物である電車線柱であっても被害が生じた場合には鉄道運行システムの大規模な麻痺につ ながる恐れがあるため,その耐震性能を的確に把握しておく必要がある.そこで,本研究では高架橋,電車線柱 それぞれの骨組モデルを用いた動的非線形解析により高架橋上の電車線柱が損傷を受け易い地震動の特性や電車 線柱の基礎形式による損傷度合いの差異について検討することを目的とした.

## 2. 高架橋および電車線柱のモデル

本研究では仙台市にある一層ラーメン構造の東北新幹線南長町高架橋 R14 ブロックを解析対象とし,図面および計算書からその高架橋の3次元骨組モデルを構築した(図2).材料非線形を考慮するための部材モデルは材端ばねモデル<sup>2)</sup>を用い,図中に赤で示す塑性ヒンジの発生が見込まれる柱の上部 1D~2D および柱の下部 1D~2D の位置に非線形ばねを挿入し,塑性ヒンジ発生の効果を設置したばねに集約して表現することで少ない要素数での非線形解析を可能にした.復元力特性モデルは図3に示す耐震標準記載の履歴特性<sup>3)</sup>を用いた.

電車線柱モデルは参考文献 4)記載の図面および計算書を参考にしてモデル化した(図 4). PC 柱の復元力特性は実物大 PC 柱の加振実験結果をもとに図 5 に示す逆行型を採用した.また,基礎形式は一般的な形式である砂基礎とアンカー基礎をモデル化した.砂基礎は図 4 に示すように,基礎部に 5cm 間隔で配置した集中ばねでモデル化し,その復元力特性に関するパラメータ(図 6)は東日本旅客鉄道構造技術センターの行った砂基礎を有する電車線柱の振動台実験結果をもとに同定した.アンカー基礎は基礎部を剛体要素とした.

### 3. 動的非線形解析

高架橋本体の質量に対して電車線柱の質量は数百分の一程度であり連成の影響が小さいと考えられるため、本研究では高架橋-電車線柱の分離モデルを用いた.まず、地震動を高架橋モデルに入力し、図2に青で示す電車線柱の設置位置に相当する節点での加速度応答を当研究室で開発した3次元骨組解析プログラムにより算出し、それを構造計画研究所の商用ソフト RESP-T によって構築した図4の電車線柱の基部に入力して解析を行った.入力 波には2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震時に仙台、郡山、福島で観測された K-NET の地震波<sup>5)</sup>、



連絡先 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻 03-5841-1146

入力波	高架橋の損傷		電車線柱の損傷 (※のケースでは実現象で比較的多くの損傷被害あり)		
			柱基部での最大曲げモーメント(kN・m)		損傷程度
	損傷程度	早期復旧の可否	砂基礎	アンカー基礎	(基礎形式ごとに検討)
K-NET 仙台	せん断損傷の発生	不可	292.0	314.4	砂,アンカーともに <mark>破壊</mark> ( <b>※</b> )
K-NET 仙台 0.8 倍	鉄筋の降伏	न	213.5	256.0	アンカー基礎のみ <mark>破壊</mark>
K-NET 郡山	鉄筋の降伏	न्	272.1	399.1	砂,アンカーともに破壊 ( <mark>※</mark> )
K-NET 福島	曲げひび割れ	ন্	120.9	213.4	砂、アンカーともに破壊に到らない
鷹取	せん断損傷の発生	不可	147.3	185.3	砂、アンカーともに破壊に到らない
ポートアイランド	せん断損傷の発生	不可	143.8	168.2	砂、アンカーともに破壊に到らない

表 1:高架橋および電車線柱の解析結果



さらに、現在電車線柱の設計地震動として用いられている兵庫県南 部地震時にポートアイランドで観測された地震動および同地震の鷹 取で観測された地震動の EW,NS,UD の3成分を用いた.

表-1 に各ケースでの高架橋および電車線柱の解析結果を示す.実 現象で電車線柱の損傷が見られた仙台および郡山,損傷の少な かった福島での電車線柱の損傷状況が各々の地点で観測された地震

図 7:高架橋天端での加速度のスペクトル 動を用いたケースの解析結果と一致した.このことから,各地域での 電車線柱の損傷を構築したモデルで概ね再現できたといえる.また,仙台で観測された地震波の振幅を 0.8 倍して 入力した場合にはアンカー基礎の場合のみ電車線柱が損傷する結果となり,地震動によっては砂基礎の方が損傷 が軽微になり得ることが示された.兵庫県南部地震の地震動を用いた 2 ケースではいずれのケースでも基礎形式 によらず破壊に到らないという結果となり,設計地震動に対して電車線柱は安全であることが確認された.

# 4. 高架橋天端での加速度応答値のスペクトル特性と電車線柱の損傷の関係

電車線柱が損傷し易い入力のスペクトル特性を把握するため,各ケースの高架橋天端での橋軸直角方向の加速 度応答値のスペクトルを比較した(図7).電車線柱の固有モードのうち橋軸直角方向の振動モードである1次モー ドの固有周期は約0.5秒であり,非線形化して長周期化しても1.0秒程度である.図7より,電車線柱が損傷する 結果となった K-NET 仙台, K-NET 郡山では上記の周期帯でスペクトルが大きいが,損傷しない結果となった他の ケースでは同周期帯でのスペクトルが小さい.このことは,設計地震動(ポートアイランド)は電車線柱に対して影 響力が小さい地震動であることを示し,電車線柱用の設計地震動の再検討の必要性を示唆している.

### 5. まとめ

本研究では、高架橋および電車線柱の骨組モデルを用いた動的非線形解析により、東北地方太平洋沖地震時の 電車線柱の被害を再現した.また砂基礎のアンカー基礎に対する優位性をシミュレーション上で示した.さらに、 現行の設計地震動は電車線柱に損傷を与える可能性が小さく、設計地震動の再検討の必要性があることを示した.

# 謝辞

本研究では、JR 東日本構造技術センターの皆様に提供いただいた実験データおよび高架橋の図面・計算書を利 用させて頂きました.ここに記して,感謝の意を表します.

### 参考文献

1) 東日本旅客鉄道:STRUCTURAL ENGINEERING DATA, No.37, pp.96-137, 2011.

- 2) M.F.Giberson: The Response of Nonlinear Multi-story Structures Subjected to Earthquake Excitation, doctoral thesis presented to California Institute of Technology, 1967.
- 3) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準·同解説—耐震設計, pp.288-291, 丸善出版, 2012.
- 4) 電力設備耐震調査研究委員会:電車線路設備耐震設計指針(案)・同解説及びその適用例, pp.32-34, 1997.
- 5) 防災科学技術研究所ホームページ(閲覧日: 2014.03.20): http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/