

H鋼を挿入したPC電車線柱の倒壊防止工法

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○酒井 大央 室野 剛隆
(株) ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 西村 隆義
東日本旅客鉄道(株) 正会員 築嶋 大輔

1. はじめに 2011年の東北地方太平洋沖地震において、多数のPC電化柱の折損が見られ、その復旧作業が列車運行停止期間に少なからず影響を与えた。これに対し、電化柱の地震時挙動に関する研究が推進され(例えば1)多くの知見が得られている。また、2012年には土木構造物の耐震設計標準2)が改訂されている。これらを反映し、2014年に電化柱の耐震設計指針3)が改訂され、新設される電化柱の耐震性能の向上が図られている。

一方、設計年代の古い既存の電化柱には耐震性能が劣るものもある。それらに対する耐震補強として、鉄道総研では、(i)電化柱の耐力や変形性能を向上させる対策、(ii)電化柱の応答を抑制する対策、(iii)危機耐性2)の向上を目的に電化柱の倒壊を防止する対策、の3つの視点から、具体的な工法の開発が進められている。ここでは、上記(iii)に該当する倒壊防止工法の有効性を解析的に検証した結果を報告する。

2. 倒壊防止工法の概要 危機耐性とは、想定以上の地震に対しても、構造物またはシステムとして破滅的な状況に陥ることを防止する性能である2)。電化柱に対しては、想定以上の地震により折損したとしても、車両との衝突だけは最低限防止する性能と言い換えることができる。ここで提案する工法は、電化柱の内部にH鋼等の芯材を挿入し基部をモルタル等で固定する工法である(図1)。本工法は、電化柱自体の耐力が大きく変化しないため、電化柱基礎(土木構造物)への影響は少ない。その上で、想定以上の地震により電化柱が損傷した場合には、芯材が電化柱を支持し倒壊を防止する。

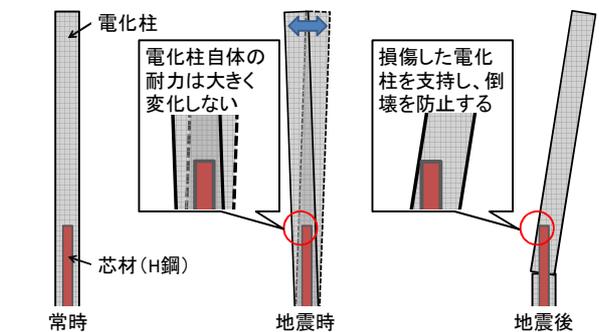


図1 倒壊防止工法

3. 解析モデル 一般的に用いられているPC電化柱10-40-N11BにH鋼H150×7×10を挿入することを想定しモデル化し検証を行った(図2)。

(1)電化柱のモデル化 自重は節点に分布させ、基部は剛結とした。PC部材の非線形特性は振動台実験の結果を踏まえた逆行型バイリニアとした4)。ブラケットは剛な線形部材とした。腕金、がいしの荷重は電化柱上端部(図2:W0)に持たせた。ブラケットの自重はブラケット端部(図2:W1)に持たせた。

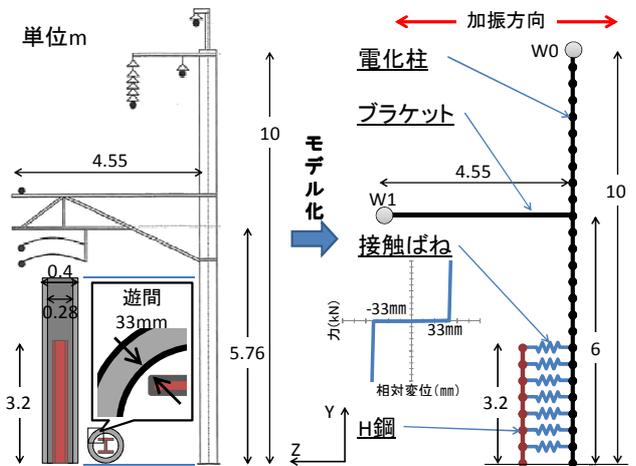


図2 電化柱およびH鋼のモデル化

(2)H鋼のモデル化 自重は節点に分布させ、基部は剛結とした。電化柱とH鋼の間には、遊間を考慮して相対変位が33mm以下で剛になる接触バネを設けた。H鋼の非線形特性は、全塑性モーメントを折れ点とするバイリニアとした。電化柱は50m間隔に9本並べ架空線で繋いでいる(図3)。

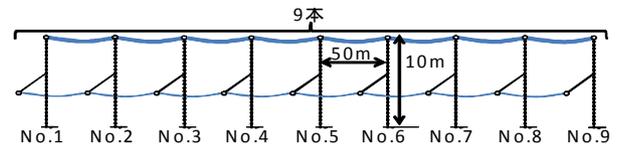


図3 架空線で繋がれた電化柱のモデル

(3)架空線のモデル化 架空線と電化柱の相互作用を再現するには非常に複雑なモデル化が必要になるが、ここでは、隣接構造物からの影響を考慮することを目的とし、簡易にモデル化している。架空地線、保護線、き電線は電化柱上端部(図2:W0)に支持させた。ちょう架線、補助ちょう架線、トロリ線は1本のケーブルとして、ブラケット端部(図2:W1)に支持させた。ブラケット端部と架空線の接続部はピン結合とした。節点分割は1スパンを30分割した。軸力のみを考慮する棒要素を用い、軸直交方向の剛性については幾何剛性により考慮した。

キーワード 電車線柱, PC電化柱, 耐震補強, 地震応答解析, 架空線, 東北地方太平洋沖地震

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (公財)鉄道総合技術研究所 耐震構造 TEL 042-573-7394

実際は、接続部の破壊や回転、摩擦などにより入力が低減されるが、このモデルでは、その効果を考慮しておらず、架空線の影響を過大に評価したモデルとなっている。

4. 解析による有効性の検証 電化柱が健全な状態において本震が作用することで基部が破壊され、その後、基部が破壊された状態において余震が作用し倒壊防止工法が機能する、というシナリオを想定した。このシナリオのもと、入力地震動を設定し、各ケースの応答を比較した。本震を想定した地震動は、L2sPC II (G3 地盤)²⁾が作用する高架橋(表 1)上面の波形とした。余震を想定した地震動は、L2sPC II (G3 地盤)の振幅を 0.7 倍した波が作用する高架橋上面の波形とした。なお、本震、余震ともに、高架橋のロッキングの影響を考慮し²⁾、振幅を 1.2 倍して入力している。

基部が健全な状態の解析は、図 4 に示す無対策のケース(ケース 1)、図 5 に示すH鋼を挿入したケース(ケース 2)の 2 ケースで実施した。非線形動的解析の結果を図 6 に示す。数値に差はあるものの、両ケースともに、基部の曲げモーメントが電化柱の曲げ耐力を上回っているが、ケース 2 は、電化柱とH鋼が接触することで、H鋼が電化柱の断面力の一部を負担していることがわかる。

基部が健全な状態の解析で、両ケースとも基部の曲げモーメントが電化柱の曲げ耐力を上回り、基部が破壊されていることが確認された。そこで、ケース 1、ケース 2 それぞれの基部が破壊したケース 1'(図 7)、ケース 2'(図 8)の解析を実施した。なお、電化柱基部の破壊状態は、電化柱基部の要素 2 つの剛性を 1/100 に低下させることで表現した。この際、剛性を低下させるのは、検討対象である電化柱 No.5 のみとした。つまり、対象以外の電化柱が健全であり、電化柱 No.5 にとって厳しい状態を模擬している。非線形動的解析の結果を図 9 に示す。電化柱が 8° 以上傾斜するとアームが車両限界を支障し、車両と接触する可能性が生じる。このとき、電化柱上端から 5m の位置の水平変位が 700mm 程度である。ケース 1'では、上端から 5m 位置の水平変位が、1m に達するほど傾斜している。一方、ケース 2'では同位置の水平変位が 400mm 程度であり、H鋼が電化柱を支持することによる、変位の抑制効果が顕著に現れており、倒壊を防止している。

5. おわりに 架空線で繋がれた高架橋上の PC 電化柱を対象に、倒壊防止工法の有効性を解析的に検証した。解析結果から、本工法が倒壊防止に有効であると確認できた。

参考文献：1)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, pp17-22, 2012。 2)国土交通省鉄道局監修，鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説(耐震設計)，2012。 3)鉄道総合技術研究所：電車線路設備耐震設計指針・同解説，2014。 4)坂井公俊，加藤尚，室野剛隆，原田智，清水政利，青木佑輔：大規模地震時の電車線柱の応答値算定のための非線形特性のモデル化，地震工学研究発表会講演論文集，第 33 回，2013。

表 1 高架橋諸元

固有周期	降伏震度	減衰	履歴曲線
0.40	0.8	0.1	Cloughモデル

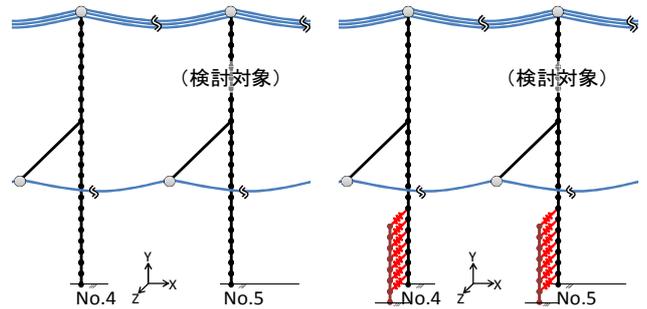


図 4 ケース 1

図 5 ケース 2

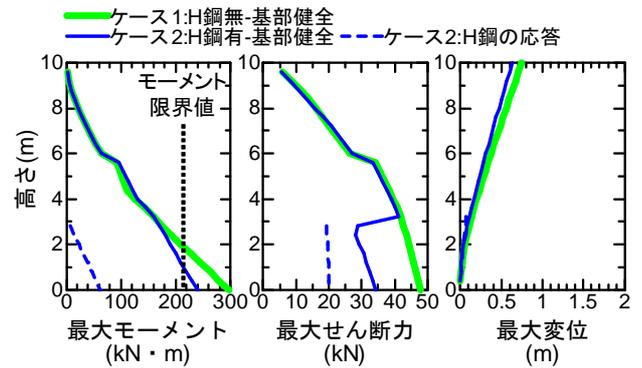


図 6 断面力分布図, 変位分布図(基部健全)

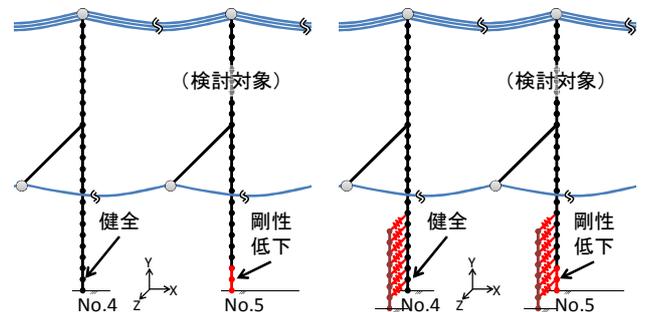


図 7 ケース 1'

図 8 ケース 2'

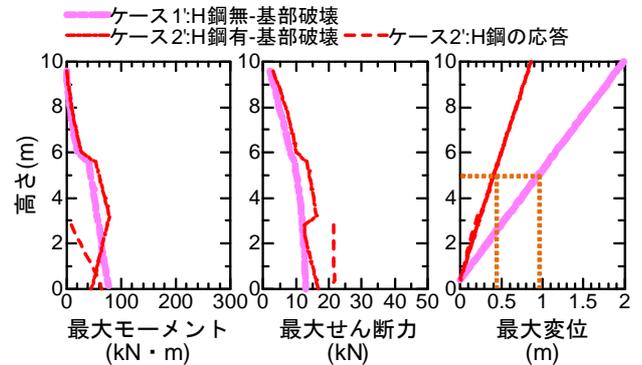


図 9 断面力分布, 最大変位分布(基部破壊)