

ダンパーを用いた鉄道電車線柱の制震対策（その2：振動台実験による制震効果検証）

(財)鉄道総合技術研究所 正会員 ○豊岡 亮洋・坂井 公俊・室野 剛隆
 (株)大林組 正会員 江尻 譲嗣・渡辺 哲
 オイレス工業(株) 正会員 田中 剛・横川 英彰

1. 目的

過去の大規模地震において、電車線柱の損傷が多数報告されている。特に、高架橋上の電柱が高架橋の振動と共振した場合、非常に大きな振動が生じ、折損に至る可能性がある。そこで、鉄道電柱の耐震性能向上を目的としたダンパー装置を開発し、その制震効果を振動台実験により検証した。

2. 実験概要

提案した地震対策ダンパーの効果を検証するため、(株)大林組技術研究所の三次元大型振動台を用い、実規模電柱を用いた振動台実験を行った。実験は、図1および図2に示すように、振動台上に実規模電柱（高さ10m、φ400mm、重量18.2kN、PC筋12-φ10.7：以下、無対策電柱）およびこれにダンパー対策を行った電柱（以下、制震対策電柱）を設置して1方向同時加振を行い、両者の加速度および変位応答を比較することでダンパーの制震効果を検証した。架線や架線金具の影響はその重量のみを考慮することとし、高さ7mの位置に5kNのカウンターウェイトを設置することで考慮した。

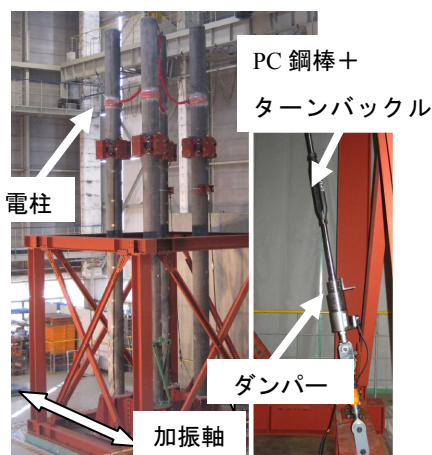


図1 実験概要

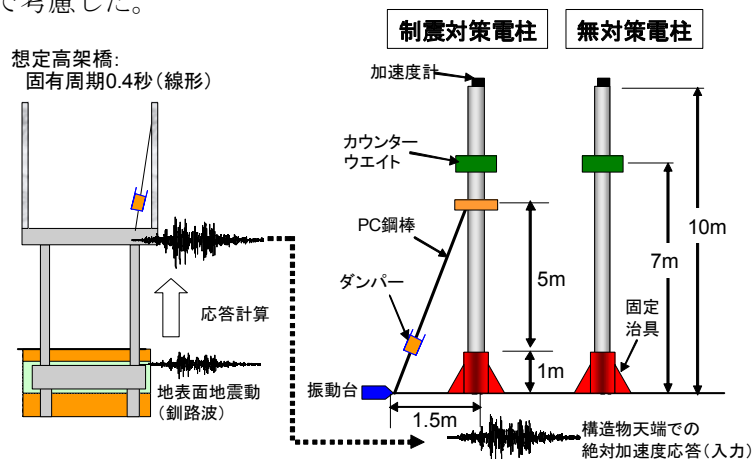


図2 実験供試体および加振概要

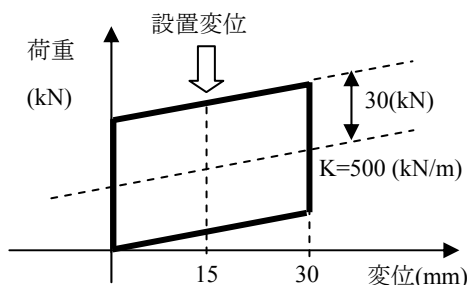


図3 使用したダンパーの特性

ダンパーの特性は、事前のパラメータ解析により電柱基部の応答曲率を最小化する諸元を求め、製作性等を加味して図3の条件で設計・製作を行った。このダンパーを、図1のようにPC鋼棒を介して電柱および振動台と接続した。本ダンパーは一方方向のみに荷重を発揮するため、ターンバックルにより図3の設置変位まで予変位を与えて設置し、正負両変位に対して荷重を発揮させた。

これらの電柱に対し、加速度を漸増させた地震波加振試験を行い、無対策電柱が塑性域に達する状態でのダンパーの効果を検証した。振動台への入力には釧路海洋気象台記録NS成分（以下、釧路波）を用いたが、高架橋上における電柱挙動を模擬するため、次項で述べる自由振動試験を参考に、無対策電柱の一次固有周期に近い固有周期0.4秒の1自由度線形構造物に地震波を入力して応答解析を行い、得られた天端の絶対加速度を振動台への入力とした（図2）。また、計測はダンパーの荷重および変位、電柱頂部および振動台上での加速度を中心に測定した。

キーワード 鉄道電車線柱・制震対策・ダンパー・振動台実験

連絡先 〒185-8540 東京都分寺市光町 2-8-38 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 TEL:042-573-7394

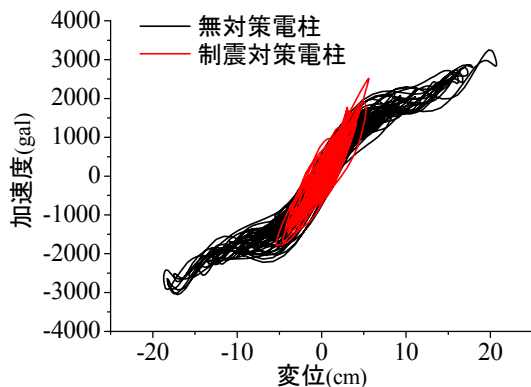


図4 電柱頂部絶対加速度～変位応答比較

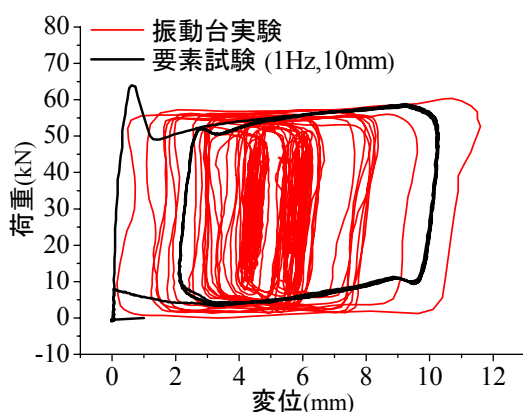


図5 ダンパー荷重－変位履歴比較

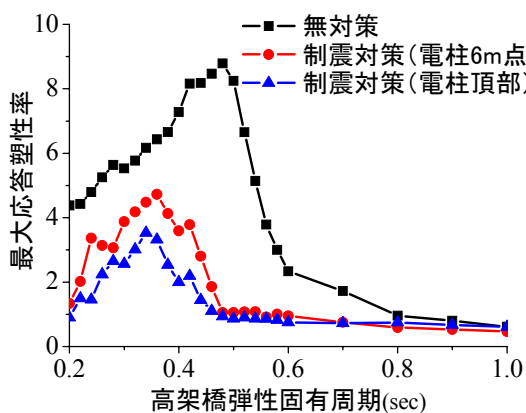


図6 高架橋の固有周期と電柱基部の最大応答塑性率の関係

3. 実験結果および制震効果の検証

まず自由振動試験により電柱の振動特性を求めたところ、無対策電柱は固有振動数 3.08Hz、減衰 0.6%、制震対策電柱ではそれぞれ 3.94Hz、0.3%であり、電柱自体の減衰性能は非常に小さいことが分かる。

次に、地震波加振試験の一例として、釧路波 932gal（地表面レベルで 300gal 相当）のケースに着目し、無対策およびダンパー対策電柱について、電柱頂部の絶対加速度と電柱頂部～振動台の相対変位の関係を比較したものを図4に示す。相対変位は電柱頂部と振動台上との相対加速度を積分して求めた。この図から、無対策電柱は塑性化による剛性の低下が観察され、頂部で 20cm 近い最大変位を生じている。また、電柱の履歴応答は原点指向に近い性状を示しているが、これは電柱内に配置された PC 筋の剛性により復元力が与えられているためと考えられる。このことから、今回対象とした電柱では電柱自体の減衰性および塑性化時のエネルギー吸収性能のいずれも小さく、大規模地震時には大きな損傷を受ける可能性がある。

これに対し制震対策電柱では変位が無対策電柱の約 25%に抑制され、剛性低下も限定的であることが分かる。図5には、実験で測定したダンパーの荷重－変位関係を、周波数 1Hz、最大変位 10mm で行った要素試験の結果と比較して示す。この図から、ダンパーは要素試験の結果と同様の履歴性状を示しており、安定したエネルギー吸収が行われていることが分かる。

ただし、制震対策電柱と無対策電柱の固有振動数が 1Hz 近く異なっているため、高架橋と制震対策電柱の固有周期が異なることによる非共振化の方が、ダンパーのエネルギー吸収よりも応答低減に影響している可能性もある。この場合高架橋の固有振動数が異なると応答が増大する可能性もある。そこで、釧路波の地表面最大加速度を 300gal で固定し、高架橋の固有周期を変化させて電柱の動的解析を行い、電柱への入力地震動の卓越周期とダンパーのエネルギー吸収の関係を検討した。電柱は、図4の実験結果をもとに非線形梁要素でモデル化し、ダンパー

は図3のモデルを用いた。図6には、電柱基部曲率の最大応答塑性率の比較を示す。電柱へのダンパー取り付け位置は、実験と同じ 6m 点としたもの、および電柱頂部とした2ケースについて行った。この図から、ダンパーの付加減衰の効果により広帯域で応答が低減していることが分かる。制震対策電柱では 0.3 秒付近でピークが生じているが、取り付け位置 6m の場合、無対策電柱と比較して最大応答が約 27%低減している。また、電柱頂部に取り付けた場合、ダンパーに作用する変位が大きくなり、より応答が低減することが分かる。電柱に作用する地震動の卓越周期は、地震動や高架橋振動特性等に依存するため一般には事前に精度よく把握できないが、ダンパー対策によればこうした場合もエネルギー吸収により制震効果を得ることが可能と考えられる。

4. まとめ

鉄道電柱の制震対策として開発したダンパーの特性を実規模電柱を用いた振動台実験により検証し、提案する機構によりダンパーのエネルギー吸収により電柱頂部の最大変位を大幅に低減可能であることを確認した。