

I - 255

電車線柱の耐震補強 ～実験とシミュレーション～

（財）鉄道総合技術研究所 正会員○下村 勝

同 上 正会員 西村昭彦

東海旅客鉄道株式会社 宮崎俊宣

同 上 日向 哲

1. はじめに

過去の地震において、高架橋上のPC電柱が折損した被害が多数報告されており、この原因は、構造物と電柱の共振によることが分かっている¹⁾。電柱の折損は、列車の走行安全に多大な支障をきたすため、地震時の電柱の共振防止は重要な問題である。

そこで本報では、高架橋とPC電柱の共振が懸念されている新幹線回送線の一部区間について、調査を行い検討した対策を報告する。調査として、電柱及び高架橋に対して衝撃振動試験²⁾を実施し、各々の固有振動数を把握し、耐震評価を行なった。また、対策として8角柱鋼材で電柱を補強し、再度、衝撃振動試験を実施・解析した結果から、鋼材寸法の決定を行った。

2. 衝撃振動試験とその結果

衝撃振動試験は、重さ30kgf程度の重錘で構造物を打撃し、その応答をフーリエ解析して固有振動数を求める試験で、今回、ラーメン高架橋とPC電柱及び補強後のPC電柱に対し本試験を実施した。なお、電柱の試験は掛針による打撃とし、また振動モードを把握する必要から、電柱への振動加速度計の設置は天端から下端の間3～5測点とした。試験の結果得られた実測固有振動数を表1に示す。

3. 固有値解析

固有値解析に用いる振動モデルは、図1に示すように、電柱を多質点系モデルに置き換えて行った。解析は、電柱下端の剪断バネ K_s 、回転バネ K_r 、部材剛性 EI の値を変化させながら、衝撃振動試験の結果得られた実測固有振動数と振動モードが説明できるまで、数値シミュレーションを行った。解析の結果得られた電柱のバネ定数・曲げ剛性を表2に、補強に用いた8角柱鋼材の曲げ剛性の計算値と解析値を表3に示す。

電柱の曲げ剛性のシミュレート倍率が、何れも1.3程度と大きいのが、これは架線等の張力による拘束を、モデル上無視して解析した結果と考えられる。また門形柱は、ラーメン構造としてモデル化し、ビームと電柱締結部の評価は、ビーム端部の剛性を落としてシミュレートした。

また、8角柱鋼材（図2参照）の曲げ剛性が、等価な鋼管で計算した値の6割程度となった主たる原因は、2分割した鋼材のボルト締結部の影響と推定される。

表1. 試験結果

形 式	種 別	実測固有振動数
単 独 柱	8T7.5	3.4 Hz
単 独 柱	9T12.0	2.7 Hz
門 形 柱	8T7.5 & 9T9.0	2.7 Hz
単独柱[補強]	8T7.5	3.9 Hz
高 架 橋	—	2.0～2.3 Hz

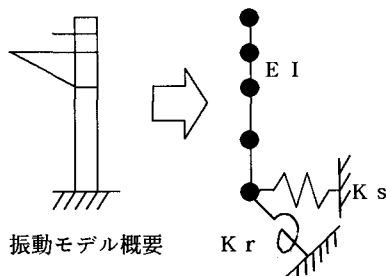


図1. 振動モデル概要

表2. 解析の結果得られたバネ定数・曲げ剛性

形式	種別	回転バネ tfm/rad	剪断バネ tf/m	曲げ剛性 tfm ²
単独柱	8T7.5	1.00E+4	1.00E+10	3.41E+03 (1.35倍)
単独柱	9T12.0	1.00E+4	1.00E+10	5.79E+03 (1.29倍)
門形柱	8T7.5	1.00E+4	1.00E+10	3.41E+03 (1.35倍)
	9T9.0	1.00E+4	1.00E+10	5.48E+03 (1.29倍)

()内は公称値からのシミュレート倍率

表3. 解析の結果得られた鋼材の曲げ剛性

計算値 tfm ²	解析値 tfm ²
4.61E+03	2.64E+03

4. 耐震補強の考え方

地震が発生し、構造物の振動が大きくなり、躯体にクラック等が発生すると、構造物の剛性が低下するため構造物の固有振動数は低下する。構造物上に電柱がある場合、電柱の固有振動数が構造物の固有振動数より十分高ければ共振する可能性が無いと考えられるため、風荷重による設計で十分安全である。しかし電柱の固有振動数が構造物の固有振動数付近、またはやや低い場合には、共振する可能性があるため、何らかの対策が必要である。対策としては、①鋼管で補強し電柱の固有振動数を上げる、②鋼管砂詰め基礎により電柱の減衰定数を大きくする、の2つが考えられるが、②は既設の構造物に用いるには困難である。そこで①の方法で対応することとした。

今回、衝撃振動試験を実施した高架橋の固有振動数は2.0～2.3 Hz程度であり、電柱の固有振動数は8 m単独柱が3.4 Hz、9 m単独柱及び門柱が2.7 Hzであった。したがって8 m単独柱は共振の可能性は無いため補強は必要ないと判断できる。また、9 m単独柱及び門柱は、構造物の固有振動数に近い共振の可能性があり、8角柱の補強鋼材を用いて電柱の固有振動数を3.0 Hz程度に上げる対策を取ることとした。これは、電柱及び高架橋の固有振動数のばらつきが1～2割程度あると考えたためである。

5. 補強鋼材による対策

まず固有値解析の結果得られた8角柱鋼材の剛性を用いて、補強高さをパラメータとして補強後の電柱の固有振動数を求めた。次いで参考のため、鋼管モルタル詰めによる補強を想定し、計算で求まる曲げ剛性を用いて補強後の電柱の固有振動数を求めた。想定した鋼管は、①肉厚6 mm（内径406 mm、外径418 mm）、②肉厚10 mm（内径400 mm、外径420 mm）の2種類とした。

以上の解析結果を図3～4に示す。また各々の補強鋼材について、補強に必要な寸法を表4に示す。

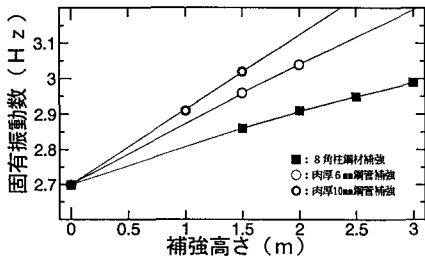


図3. 単独柱（9T12.0）の補強効果

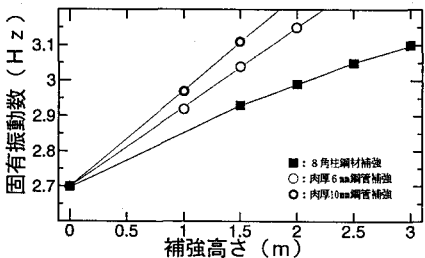


図4. 門形柱（8T7.5&9T9.0）の補強効果

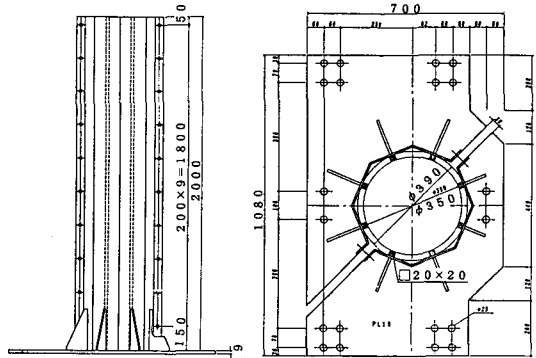


図2. 8角柱鋼材の形状・寸法

表4. 補強鋼材の必要寸法総括表

形式	種別	8角柱 鋼材	肉厚6 mm鋼管	肉厚10 mm鋼管
単独柱	8T7.5	補強の必要無し		
単独柱	9T12.0	3.1 m	1.8 m	1.4 m
門形柱	8T7.5&9T9.0	2.1 m	1.4 m	1.1 m

6. おわりに

既設コンクリート電柱の耐震評価を行うにあたっては、まず、構造物と電柱両方の固有振動数を把握することが必要であり、衝撃振動試験はそのための一手法として有効である。また固有値解析により補強効果が計算できるため、今後、電柱の耐震補強設計の一手法として活用してゆきたい。

参考文献

- 1) 西村 他：電車線柱の耐震設計について：JREA（1981 VOL.24）
- 2) 西村：衝撃振動試験による基礎構造物の健全度診断：第8回日本地震工学シンポジウム（1990）