

常時微動観測に基づく PC 電化柱の振動特性把握のための基礎的検討

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 和田 一範, 杉山 佑樹, 名波 健吾, 坂井 公俊
(株) ジェイアール総研エンジニアリング 正会員 獅子目 修一 (株) テス 正会員 白井 勝

1. はじめに 2011 年東北地方太平洋沖地震やその余震である 2021 年 2 月に福島県沖で発生した地震等では、鉄道高架橋上の PC 電化柱に折損等の被害が生じた。高架橋上の電化柱の地震時挙動は、高架橋との相互作用によって生じるため、その評価には電化柱と高架橋の固有振動数の比率が重要な要素となる¹⁾。ここで電化柱の固有振動数を実測評価する場合は、頂部の応答波形を利用することが多い^{例えば2)}が、計測の手間を考えると高所作業車等が無くてもアクセスできる柱基部付近の計測のみで評価できることが望ましい。また、PC 電化柱は構造が単純であるため、多点観測を行うことで高次モードも含めた振動特性が評価できる可能性があるが、そのような基礎的な検討事例は見られない。

そこで、本稿では基礎形式の異なる 2 本の PC 電化柱で多点の微動計測を実施し、高次モードも含めた振動特性評価を試みた。また、計測手間を考えた検討として、柱基部付近のみの微動観測結果を用いた評価や非接触振動測定システム U ドップラー³⁾を用いた評価も併せて実施した。

2. 振動計測概要 計測対象の電化柱を図 1 に示す。鉄道総研構内にある PC 電化柱 A, B (型番 11-40-N11B) を計測した。電化柱 A は砂詰基礎、電化柱 B はモルタル基礎である。また、両電化柱とも架線やブラケットといった設備は付帯していない。微動計は、高さ方向に 3 点、自然地盤 1 点の計 4 点に設置した。計測位置は表 1 に示すように、高さ位置を変化させて各電化柱で 2 パターン計測した。計測のサンプリング周波数は 200Hz、1 パターンの計測時間は 20 分とした。

微動観測結果は、次の手順で整理した。まず、水平 2 成分の時刻歴波形データを 20.48 秒 (4096 個) ごとに分割した後、各データのパワースペクトルを評価し、ノイズの小さい、即ちパワースペクトルが小さいデータ群を 20 区間選定した。次に選定した波形データ群に FDD 法⁴⁾を適用することで、電化柱の固有振動数と固有モードを評価した。また、選定した波形データ群の各水平成分について自然地盤と各電化柱位置のフーリエ振幅比を評価した。さらに、電化柱 A については、設置パターン 1 の位置にターゲットを設置し、微動による電化柱の振動する速度を U ドップラー³⁾で計測して固有振動数を評価した (図 2)。

3. 振動特性評価結果 各電化柱について、設置パターン 1 の微動観測結果に FDD 法を適用して得られる 1 次特異値分布の評価結果を図 3 に示す。これは、2. で述べた 20 区間の各波形データから算定される 1 次特異値の平均値とした。本図より、約 3Hz、約 15Hz、約 50Hz において 1 次特異値が卓越しており、これらが 1~3 次固有振動数と推定される。次に、図 3 の各卓越振動数において推定される固有モードを図 4 に示す。モード推定においては、各設置パターンで共通した設置箇所である柱頂部の振幅比を 1 とすることで、両設置パターンでのモード推定結果を

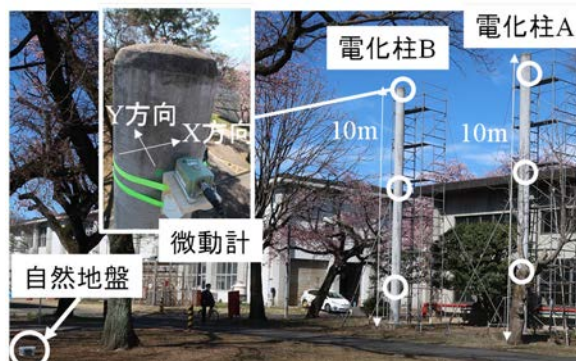


図 1 計測対象の電化柱

表 1 計測位置

設置パターン	設置高さ (地上より)	
	電化柱A	電化柱B
1	1.50m	1.49m
	4.92m	5.06m
	9.75m	9.89m
2	3.55m	3.55m
	6.96m	6.87m
	9.75m	9.89m

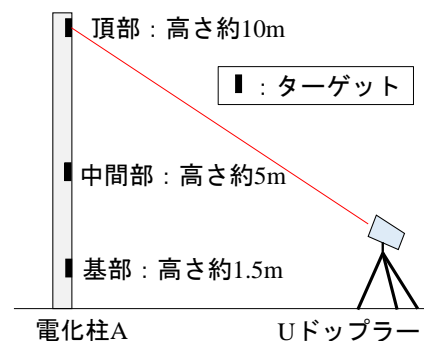


図 2 U ドップラーによる計測概要

キーワード PC 電化柱, 微動観測, FDD 法, 振動特性, U ドップラー

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 鉄道地震工学研究センター TEL 042-573-7336

重ね描いた。また、断面諸元や質量分布が一様な片持ち梁の固有モードの理論解を併せて示す。本図より、1、2次モードについてはFDD法による推定結果が理論解を良好に再現できており、各電化柱が片持ち梁の挙動をしていることがわかる。一方で、3次モードは振幅比の正負の対応関係は理論解と一致しているが、振幅比の大きさの乖離は大きい。ただし、実測で評価された3次モードが電化柱A、Bで類似している点と、3次の固有振動数と考えられる約50Hz付近で1次特異値の卓越が明瞭に確認できる(図3)点を踏まえると、実測結果は現実の3次モードを適切に表現しており、対象とした電化柱は理論解とは多少異なる振動となっている可能性も考えられる。

続いて、各電化柱の設置パターン1について、自然地盤に対する柱頂部および柱基部付近のフーリエ振幅比(20区間の各波形データ(X成分)の平均値)を図5に示す。図中にはFDD法により推定した卓越振動数を破線で示している。本図を見ると、図3と同様に約3Hzでフーリエ振幅比が卓越していること、この卓越は柱基部の結果でも把握可能であることがわかる。また、一般には砂詰基礎(電化柱A)の減衰の方が大きいと考えられるが、電化柱A、Bのフーリエ振幅比のピーク値は同程度であり、微動レベルでは基礎形式による減衰の差異は見られないことがわかる。さらに、Uドップラーで評価した電化柱Aのフーリエ振幅比を図6に示す。図中にはFDD法により推定した卓越振動数も破線で示しているが、Uドップラーにおいても1次固有振動数を明瞭に把握できるとともに、頂部の振動を計測することで、2次モードも確認できる可能性があることが分かる。

4. おわりに 本稿では付帯設備の無いPC電化柱について、多点の常時微動計測およびUドップラーでの計測を実施し、振動特性を評価した。その結果、多点で常時微動観測することで電化柱の基礎形式に依らずに1~3次の固有振動数および固有モードが推定可能であることが確認された。また、柱基部付近と自然地盤の微動観測データだけを利用した分析や、柱基部付近のターゲットを利用したUドップラーでの計測結果においても1次固有振動数を適切に評価することがわかった。なお、本稿は付帯設備の無いPC電化柱に対する計測であるため、付帯設備による影響は今後検討する必要がある。

参考文献 1) 加藤ら：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，pp.17-22，2012。
 2) 菅間ら：列車通過に伴う電車線柱振動の抑制対策，電気学会産業応用部門大会講演論文集，pp.183-186，2012。3) 上半文昭：構造物診断用非接触振動測定システム「Uドップラー」の開発，鉄道総研報告，Vol.21，No.12，pp.17-22，2007。4) Brincker, R., Zhang, L. and Anderson, P.: Modal Identification from Ambient Response Using Frequency Domain Decomposition, *Proceedings of 18th International Modal Analysis Conference*, San Antonio, Texas, pp.625-630, 2000

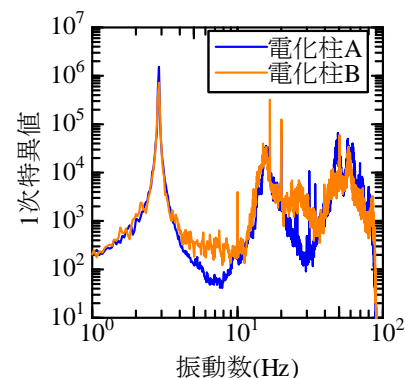
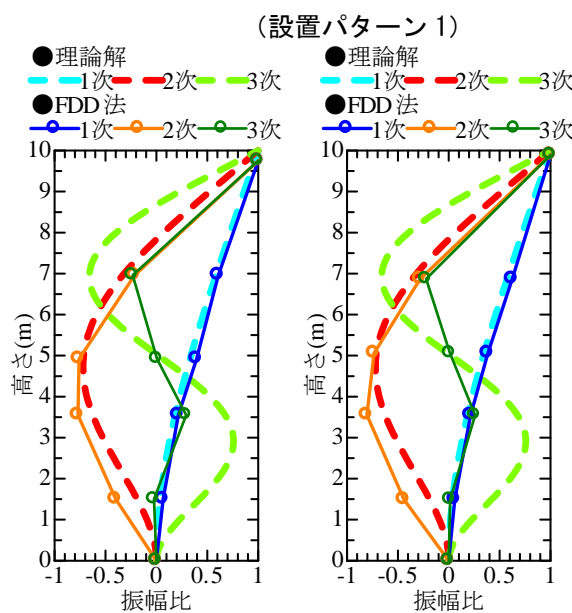


図3 1次特異値分布の評価結果



(a) 電化柱A (b) 電化柱B

図4 固有モードの推定結果

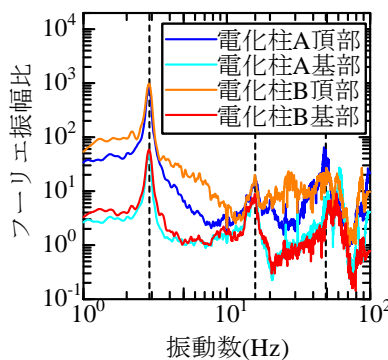


図5 自然地盤に対するフーリエ振幅比の評価結果

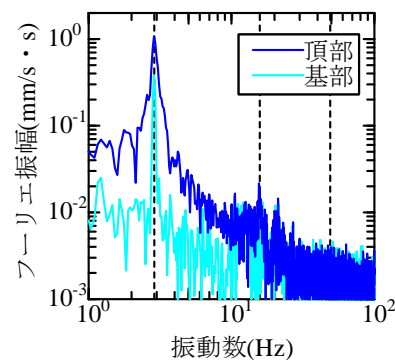


図6 Uドップラーによる固有振動数評価結果(電化柱A)