

振動を用いた簡便な電柱基礎の健全度診断技術の開発

広島大学大学院工学研究科 学生会員 ○生頼 直樹
 広島大学大学院工学研究科 正会員 一井 康二

1. はじめに

現在、日本には電力柱のみで 2000 万本以上¹⁾の電柱が存在し、その電柱および電柱地盤の点検は目視によって行われている。しかし目視点検では支持地盤の状態までは把握できず、劣化を見逃してしまう恐れがある。そこで目視に頼らない電柱基礎の点検手法の開発が求められている。さらに対象となる電柱の数が膨大であるため、迅速に点検を実施可能な手法が必要とされている。

本研究では、電柱基礎の状態や電柱の剛性に依存する指標である固有振動数の変化から、電柱基礎の健全度診断を簡便に実施する手法、および基準を提案することを目的とする。そのために、まず力学モデルを用いて地盤劣化と固有振動数の関係について検討を行い、地盤劣化に対応する固有振動数の変化が計測機において検出可能なレベルであるかについて検討を行った。次に、従来の振動計は野外計測には不向きであるため、新たに MEMS 加速度センサを搭載した iPod を振動計測機として用いた簡便な振動計測手法の開発について検討を行った。最後に、実際の計測結果とモデル解析の結果をもとに、健全度診断指標について提案を行った。

2. 電柱の固有振動数と劣化の関係

計算を行うにあたり、本研究では電柱は地表面より下の部分は無視できると仮定し、地盤に剛結している片持ち梁としてモデル化を行った。また、この地表面で固定された状態を健全であると考え、しかし電柱基礎には降雨などの影響により、電柱と支持地盤の間に隙間やゆるみが発生することが考えられる。こうした隙間やゆるみが生じた地盤層は水平支持能力を失ったことに等しく、見かけ上根入れ長さが減少したことに等しい。本研究ではこれを劣化であると定義し、固有振動数の変化から検出することを目的とする。図-1 に根入れ損失のイメージを示す。

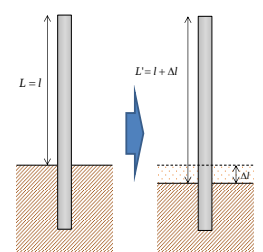
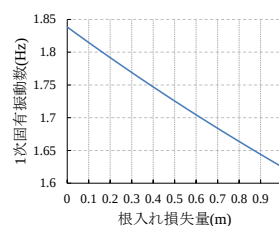
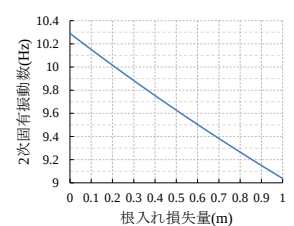


図-1 根入れ損失

固有振動数の算出は、連続体の近似的な固有振動数算出法のひとつである Rayleigh-Ritz 法により行った。固有振動数と根入れ損失 Δl の関係は、柱長 l に加えて自由振動する長さが根入れ損失量 Δl だけ増加するとして計算した。図-2、図-3 に結果を示す。これらの図より、現実的に測定可能な 0.1Hz の固有振動数の変化は 1 次固有振動の場合は 0.3m、2 次固有振動の場合は 0.1m の根入れの変化に対応することがわかった。またこれらの値は現実的に生じ得ると考えられるレベルである。以上より、固有振動数の変化から根入れ損失を検出できる可能性が示された。

図-2 根入れ損失と
1次固有振動数の関係図-3 根入れ損失と
2次固有振動数の関係

3. 振動計測手法

本研究では、簡便な計測機器として iPod を用いることを検討した。従来の振動計のように電源ユニットや A/D コンバーター等の周辺機器を必要とするため、煩雑であり、野外計測には不向きである。一方 iPod は内部に小型の加速度計を内蔵しており、内部電源で駆動し、iPod 単体で振動計測を行うことが可能である。したがって簡便に振動を計測できる手法となることが期待できる。ただし、iPod は振動計測を目的として設計されていないため、その振動計測性能に関しては試験によって検証を行う必要がある。

そこで計測対象振動数となる 1~10Hz の範囲において、iPod が十分な振動計測性能を有しているかを実験に

キーワード 衝撃振動試験, MEMS 加速度センサ, 電柱基礎, 健全度診断

連絡先 〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1-4-1 広島大学工学研究科地盤工学研究室 TEL 082-424-7783

よって検討した。実験は次の手順で行った。まず振動数(起振振動数)を任意に設定できる小型振動台を用いて、0.5~10Hz まで 0.5Hz 刻みで振動を iPod およびレーザー変位計で同時に計測する。そして計測結果を高速フーリエ変換することによって卓越振動数を求め、比較した。その結果、それぞれで得られた振動数はほぼ一致した。以上より、iPod は計測対象範囲において高精度に振動数を検出できていることがわかった。

次に、iPod を電柱に設置するための治具について検討を行った。本研究では iPod を工作用粘土に埋め込み、それらをバックルが付属したマジックテープで電柱に固定する方法を考案した。写真-1 に提案した治具による iPod 設置イメージを示す。提案した治具は迅速に設置・撤去が可能であり、さらに計測される振動に悪影響を与えないことを実験により確認した。



写真-1 iPod設置用治具

4. 電柱における振動計測結果

3 節で提案した手法の有用性を検証するため、実際の電柱において振動計測を実施した。計測では iPod を設置し、人力で電柱を打撃、生じた自由振動を計測する。そして、比較のため、レーザー変位計でも電柱の振動を計測した。そして、得られた両者の時刻歴波形を高速フーリエ変換し、卓越振動数を読み取った。図-4 に計測結果の例を示す。

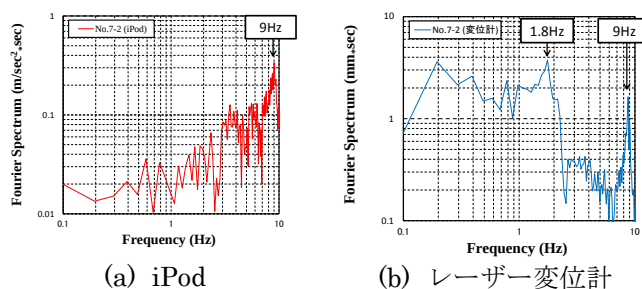


図-4 計測結果の例

図-4 において、レーザー変位計では固有振動数解析結果から 1 次固有振動数、2 次固有振動数に対応していると考えられる振動数が検出できたことがわかる。一方、iPod のデータを見ると、1 次固有振動数は検出できず、2 次固有振動数と考えられる振動数のみが検出できることがわかった。以上より、本研究で提案した手法により、1 次固有振動数は検出できないが、2 次固有振動数は検出可能であることがわかった。

5. 健全度診断基準の提案

本研究では健全な状態における基準固有振動数 μ に対して健全な範囲を α で与え、点検対象となる電柱において計測された固有振動数 f が(2)式

$$\mu - \alpha < f < \mu + \alpha \quad (2)$$

の範囲に収まった場合を健全と判断する健全度診断基準を提案する。なお、計測する固有振動数 f として、iPod で検出可能な 2 次固有振動数を用いる。

それぞれの指標の値の設定方法について述べる。まず、基準固有振動数は、電柱が建設された直後に計測によって得ることが望ましい。ここでは、設置後 2 年が経過した電柱を対象に、固有振動数を 1 週間に渡って計測し、その平均値を基準固有振動数とした。次に、健全度の閾値 α については $\alpha=0.1\text{Hz}$ を提案する。これは図-3 より、約 10cm の根入れ損失が発生した状況に等しい。図-5 に実際の計測で得られた固有振動数の変動と、閾値の関係を示す。また、計測で得られる固有振動数の変動が正規分布に従うと仮定した場合、1 週間に渡る固有振動数の変動の標準偏差が 0.033Hz であったことから、計測した固有振動数が健全な範囲の外にくる確率は 0.3%であると言える。よって $\alpha=0.1\text{Hz}$ と設定することによって異常を検出できると考えられる。

今後は、他の電柱においても固有振動数のモニタリングを実施し、健全度の閾値の妥当な値について検討を行う必要がある。また転倒安全率などの実務的な観点からも適切な設定方法について検討を行う必要がある。

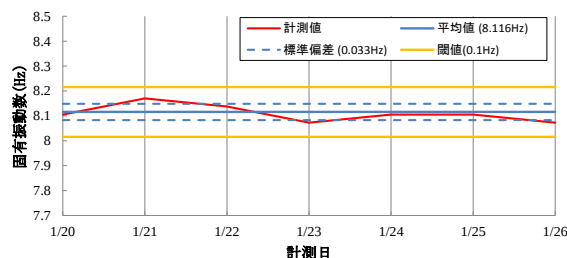


図-5 固有振動数の変動と閾値

参考文献

- 1) 電気事業連合会：電気の広場 電力統計情報 <http://www5.fepc.or.jp/tok-bin/kensaku.cgi>