

「軟弱地盤における 大型送電用鉄塔・基礎の地震観測と数値解析」

広中 了¹ 貝沼憲男¹ 田邊 成²

¹東京電力 (株) 電力技術研究所 (〒230 神奈川県横浜市鶴見区江崎町 4-1)
²東京電力 (株) 送変電建設本部 (〒100 東京都千代田区千代田 1-1-3)

本報告は、軟弱地盤に位置する大型鉄塔・基礎の地震観測・数値解析に関するものである。計測器は周辺地盤、基礎および鉄塔各部に加速度計を、杭各断面および鉄塔基部の部材にひずみ計を配置している。観測結果と数値解析の比較から、考慮すべき構造物と地盤の奥行き方向の幅を杭径の2～3 倍程度とすると、解析の比較的容易な2次元 FEM によっても鉄塔・基礎の挙動および杭ひずみを比較的良好に再現できた。また、地盤の 1 次振動モードに加えて2次振動モードを考慮した応答変位法により杭の発生断面力を比較的良好に評価できることを確認した。

Key Words : electric transmission tower, pile foundation, seismic observation, two-dimensional FEM, seismic deformation method

1. はじめに

筆者らは、平成4年から新潟県・柏崎において、大型送電用鉄塔・基礎の地震観測を実施してきている。本観測地点は軟弱地盤に位置しており、基礎形式は鉄塔各脚毎に4本合計16本の場所打ちコンクリート杭である。現在までに5つの地震が観測されているが、そのうち加速度レベルの大きな能登半島沖を震源とするM=6.6の地震(平成5年2月7日、震央距離 120km、震源深さ 30km、地表面最大加速度 51.8gal)について、その観測結果および数値解析との比較を示す。

2. 計器配置状況

計測器は、図-1 に示すように周辺地盤、基礎および鉄塔各部に加速度計を、杭各断面および鉄塔基部の部材にひずみ計を配置している。

3. 地盤・基礎・鉄塔の挙動

図-2 に観測結果から求めた各ポイント間の伝達関数を示す。観測結果からみた地盤、基礎および鉄塔の地震時挙動の概要を以下に示す。

(1)地盤・基礎応答

① 図-2(a),(b)からわかるように、基礎および地盤の伝達関数はほぼ同様であり、全体として基礎は地盤の動きに支配

されて挙動していることがうかがわれる。
② 図-2(c),(d)からわかるように、杭の曲げひずみは杭頭および GL-13m の杭中間部とも地盤の卓越振動数成分が卓越している。このことから基礎は地盤の動きに支配されていることがわかる。なお、杭中間部では地盤の2次振動数に相当する 2.8Hz 付近が支配的である。

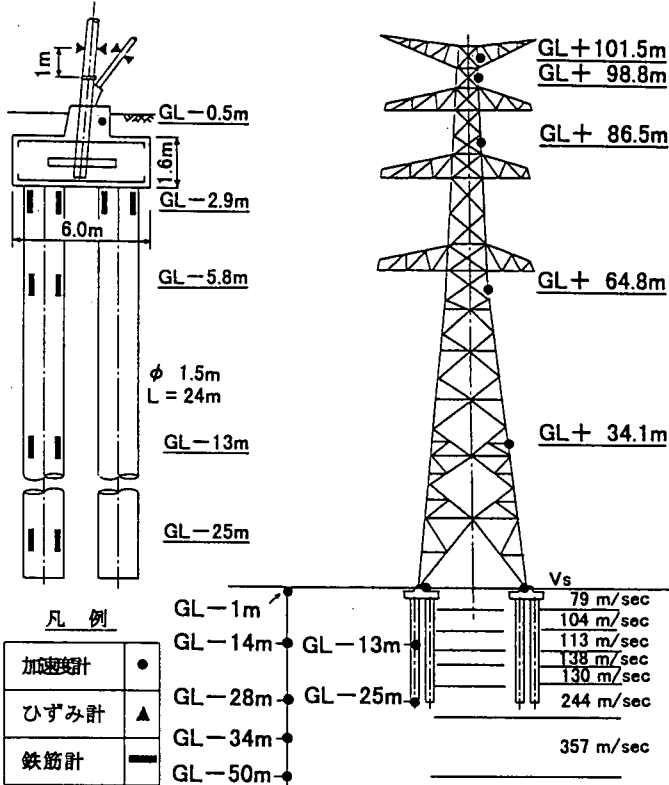


図-1 計器配置状況

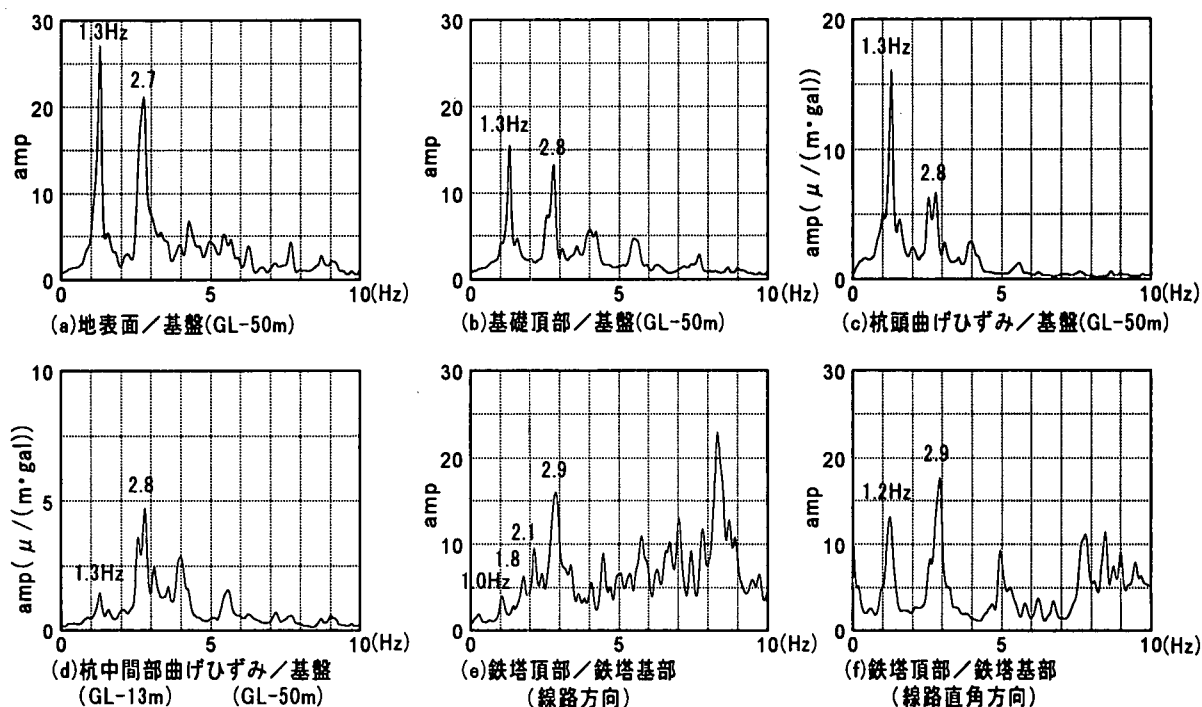


図-2 伝達関数 (Parzen window 0.2Hz)

(2) 鉄塔応答

図-2(e),(f)からわかるように、鉄塔の固有振動数は、線路方向で1次は1.0Hz、1.8 Hz および 2.1Hz、2次は 2.9Hz 付近に存在する。また、線路直角方向では、1次は 1.2Hz 付近、2次は 2.9Hz 付近に存在する。線路方向で1次振動モードが2つ以上出現するのは架渉線や隣接鉄塔の振動の影響によるものと考えられる¹⁾。

4. 観測結果と2次元 FEM 解析結果の比較

線路直角方向断面について、2次元 FEM (解析プログラム「super-FLUSH」)により観測結果をシミュレートした。解析モデルを図-3 に示す。地盤物性値はPS検層結果をもとに設定し、GL-50m 地点の観測波をモデル基盤に入力した。なお、加速度レベルが小さいため、シミュレーションは弾性解析とし、地盤の減衰定数は 2%とした。また、鉄塔の減衰定数は観測波のパワー・スペクトルから推定した 2%を採用した。結果の概要を以下に示す。

① 2次元 FEM 解析では、地盤・基礎・鉄塔の物性値は構造物奥行き方向に一定であるとの仮定が必要となる。ここでは、考慮すべき構造物の奥行き幅を 6m(奥行き方向杭全体の幅:杭径 1.5m×杭本数 4)、12m、18m、54m と変化させた解析をおこない、構造物主要部位の最大応答および伝達関数について観測値と比較した。図-4 に鉄塔・基礎頂部加速度、杭頭曲げ・軸ひずみの最大応答値について各解析値と観測値の比を示す。

図より、鉄塔および基礎の加速度は各奥行き幅で有意な差はないが、杭頭曲げおよび軸ひずみは奥行き幅 12m～

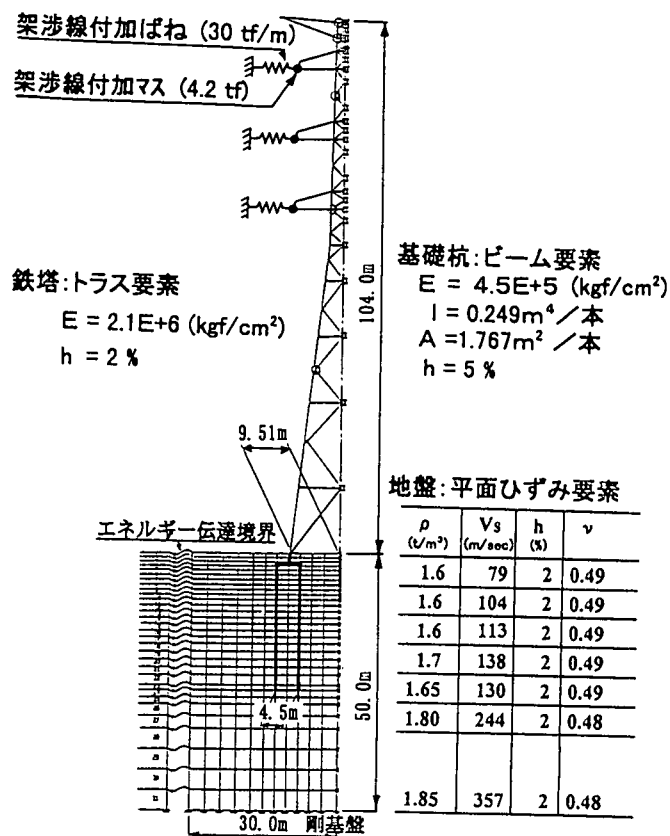
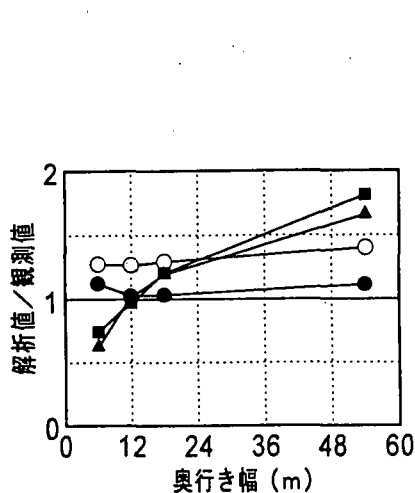
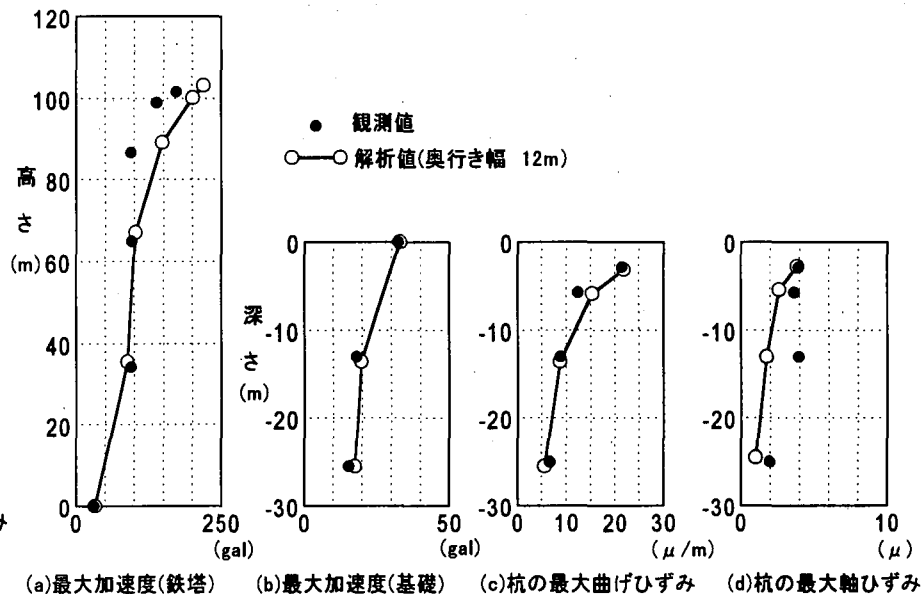


図-3 解析モデル

18m 程度の結果が観測値に近い結果となっていることがわかる。



○ ○ 鉄塔頂部加速度 ▲ ▲ 杭頭曲げひずみ
● ● 基礎頂部加速度 ■ ■ 杭頭軸ひずみ



(a)最大加速度(鉄塔) (b)最大加速度(基礎) (c)杭の最大曲げひずみ (d)杭の最大軸ひずみ

図-4 解析値と観測値の最大応答値の比

図-5 最大応答値分布図

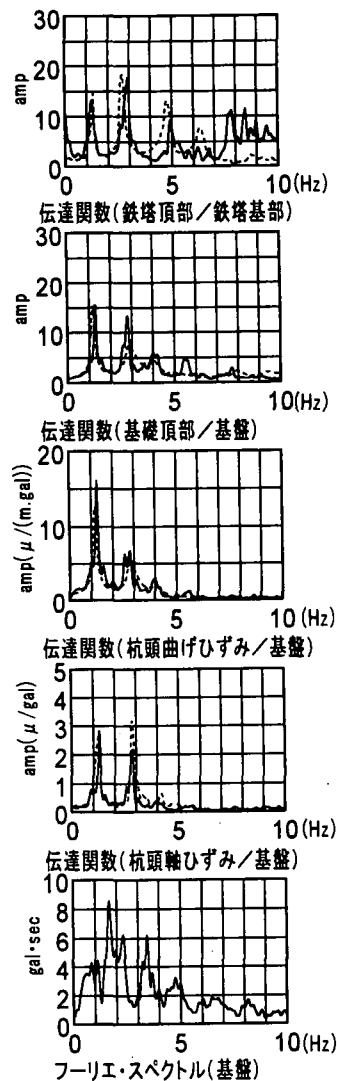
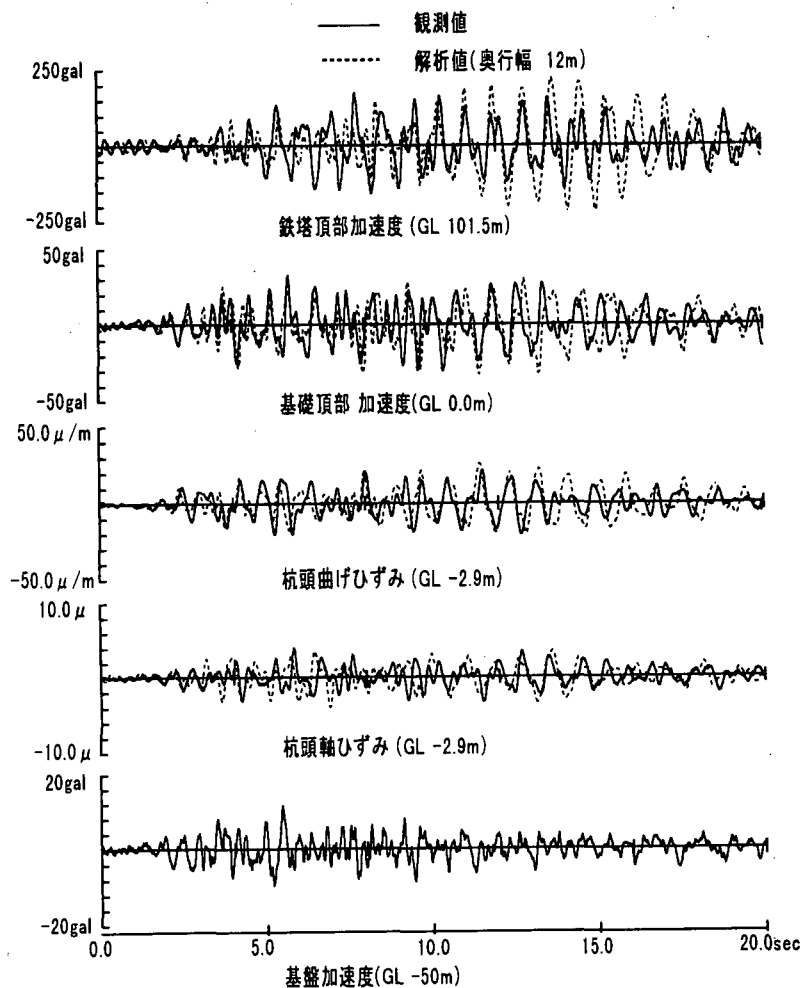


図-6 加速度・ひずみ波形と伝達関数

なお、各解析で、基盤に対する基礎頂部の伝達関数、鉄塔基部に対する鉄塔頂部の伝達関数の主要卓越振動数は同一であった。

② 奥行き幅を 12m とした場合の最大応答値分布ならびに時刻歴波形と伝達関数について、解析結果と観測値の比較

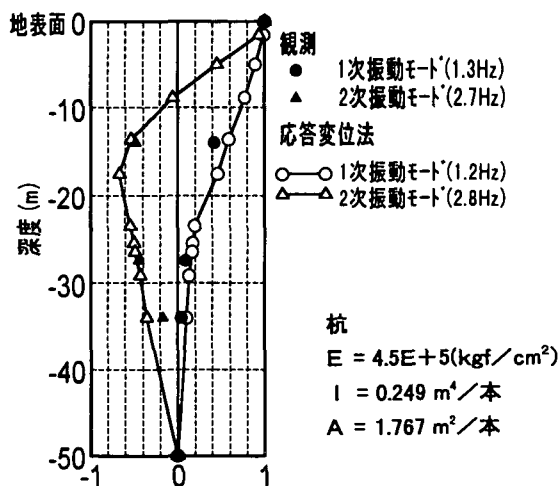


図-7 振動モード

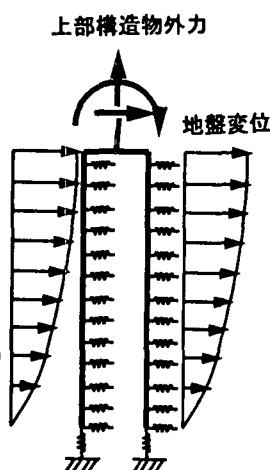


図-8 応答変位法計算モデル概念

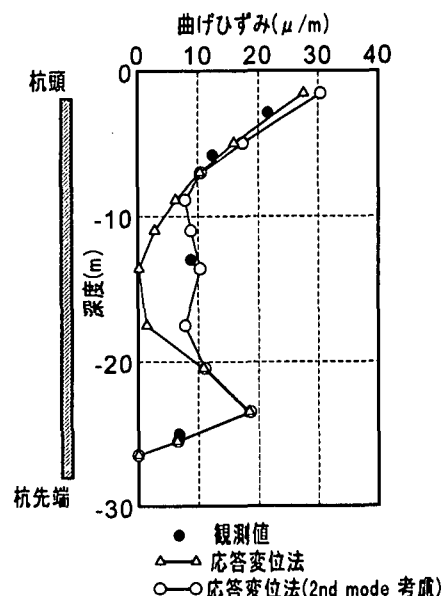


図-9 杭の曲げひずみ分布

5. 観測結果と応答変位法の比較

応答変位法の適用性をみるため、PS検層より地盤物性を設定し、GL-50m の観測波の応答スペクトル($\eta=2\%$)を用いて応答変位法により杭の曲げひずみを計算した。結果の概要を以下に示す。

(1) 地盤の振動特性

固有値解析より求めた地盤の振動モードおよび観測の振動モードを図-7 に示す。なお、振動モードは地表面振幅で正規化している。観測の振動モードは、GL-50m に対する地表面、GL-14m、GL-28m および GL-34m の各観測点の伝達関数より求めたものである。この図より、解析値は観測値に良く近似していることがわかる。

(2) 杭部の曲げひずみ

地盤変位に基づく外力は上記のモード解析から算定し、上部構造物の慣性力に起因する外力は鉄塔基部の部材ひずみ計から算定した。また、地盤ばね定数は道路橋示方書に準じて、次式から算定した。

$$k_H = k_{H0} \cdot \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-3/4}$$

$$k_{H0} = \frac{1}{30} \times 2 \times (1 + \nu) \cdot \rho \cdot V_s^2$$

を図-5 および図-6 に示す。最大応答値分布および伝達関数の主要卓越振動数は観測・解析で良く近似しており、取り扱いの容易な2次元 FEM により地盤、基礎、鉄塔の応答加速度および杭部の曲げ・軸ひずみとも比較的良好に観測結果を再現できることがわかる。

計算モデルの概念図および計算結果をそれぞれ図-8 および図-9 に示す。図-9 には、地盤変位に基づく外力として1次振動モードを考慮した場合と、地盤の1次振動モード以外に2乗和の平方根により2次振動モードも考慮²⁾した結果を示している。1次振動モードのみの場合は杭中間部で再現性が良くないが、地盤の2次振動モードも考慮すれば、計算の簡便な応答変位法により比較的良好に杭の曲げひずみを再現できることがわかる。

6. あとがき

以上、軟弱地盤における大型送電用鉄塔・基礎の地震観測と数値解析について示した。今後は、他の観測波も含め鉄塔・基礎の地震時挙動についてさらに詳細に整理・分析するとともに、2次元 FEM で考慮すべき構造物と地盤の奥行き方向の幅については鉄塔重量、基礎形状・寸法等をパラメータとした検討を予定している。

参考文献

- 1) 電力中央研究所報告 研究報告:385051「UHV赤城実規模試験線の動的試験」S.61.7
- 2) 西村昭彦・青木一二三「応答変位法による場所打ちコンクリートくいの設計」鉄道土木 Vol. 24 No2 1982