

送電鉄塔の地震時挙動に及ぼす鉄塔脚部の境界条件の影響評価

熊本大学大学院 自然科学研究科 学生会員 ○松本 将之
 熊本大学大学院 自然科学研究科 正会員 松田 泰治
 日本鉄塔工業株式会社 技術部 正会員 岡 延夫
 日本鉄塔工業株式会社 技術部 石田 伸幸

1. はじめに

わが国の送電用鉄塔の設計は、過去の台風による被害経験を受け、支配的な荷重として風荷重を考慮する必要があると考えられている。また、今後は高電圧で大容量の電力を送電する必要性から塔体が大型化する傾向にある。しかしながら、1999年には台湾で集集地震が発生し、送電鉄塔の倒壊が多数報告された。既往研究では、台湾の送電鉄塔の設計仕様が日本よりも若干厳しいにもかかわらず倒壊したこと等に着目し、耐震性評価の重要性を指摘している。特に、地震時に地盤の不同沈下が生じた場合、鉄塔基部が平常時の4点支持から3点支持の状態に変化することが考えられ、支持構造の非対称性により、部材に作用する応力の偏りを招く。台湾の対策事例としては、逆T字型基礎からつなぎ梁基礎へと基礎形式を変更する不同沈下の対策が講じられている。わが国においても、同様の被害を受ける可能性は否定できない。

本研究では、わが国で採用されている送電鉄塔を対象に、耐震性能向上を検討するための基礎的検討として、鉄塔脚部の境界条件の差異による固有振動特性、および動的特性の変化を明らかにした。

2. 解析モデルと解析条件

2. 1. 対象構造物と解析モデルの構築

本研究は、わが国で一般的に採用されている送電鉄塔の構造図を基にモデル化を行った。対象構造物となる送電鉄塔は平脚の220[kV]懸垂型山形鋼鉄塔(鉄塔の総重量約12[ton])であり、解析モデルの構造図を図1に示す。また、同様の懸垂型鉄塔がほぼ直線状に配置された状態を想定し、鉄塔間の径間長は若番側、老番側ともに350[m]と仮定した。更に、支柱材等の全部材を3次元線形はり要素としてモデル化を行った。

本研究では、架渉線の影響を考慮した鉄塔単体モデルを構築した。架渉線のモデル化は、既往研究¹⁾を参考に

した。なお、架渉線置換バネのバネ定数は、弦の振動方程式から1次固有周期を求め(式(1))、1質点系の固有周期に関する方程式(式(2))から算出した。ここで、架渉線の諸元を表1に示す。

$$T_1 = 2L\sqrt{\frac{\rho}{S}} \quad (1)$$

$$k = \left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2 \cdot m \quad (2)$$

ここに、 T_1 :1次固有周期、 L :径間長(L =(若番側の径間長+老番側の径間長) $\div 2$)、 ρ :架渉線の単位長さ質量、 S :初期の想定張力、 k :架渉線置換バネのバネ定数、 m :架渉線+(金具・碍子)の質量である。

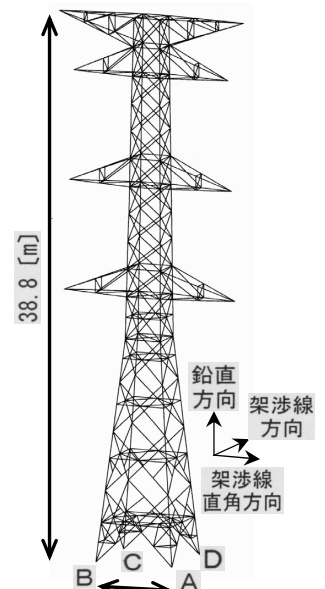


図1 懸垂型山形鋼鉄塔

表1 架渉線の諸元

地線		電力線	
条数	2 [条/基]	導体数	1 [条/相]
単位質量	1.015 [kg/m]	単位質量	2.678 [kg/m]
想定張力	26500 [N/条]	想定張力	49000 [N/条]
金具質量	50 [kg/支持点]	碍子質量	250 [kg/支持点]

2. 2. 解析条件の概要

鉄塔基部の境界条件は、鉄塔と基礎は剛性差や質量差が大きいこと、また基礎的検討であることから完全固定とした。また、地盤の不同沈下による危険側の影響を議論するため、3点支持モデルにおける不支持の1点(支柱材Dの最下点)は非拘束節点と仮定した。更に、地盤を置換したバネ(バネ定数 5.0×10^7 [N/m]、減衰定数0.1)を鉛直方向、および水平方向に与えて不支持点の影響を検討した。なお、バネ定数の決定に当たっては、固有値

キーワード: 送電鉄塔, 不同沈下, 固有値解析, 動的応答解析, 座屈

連絡先: 〒860-8555 熊本県熊本市黒髪2丁目39番1号 熊本大学大学院 自然科学研究科 TEL 096-344-2111 (代表)

解析により得られた4点支持モデルと3点支持モデルの中間的な固有周期となるバネ定数を人為的に仮定した。

動的解析の方法は、Newmark β 法 ($\beta=0.25$) による直接積分法を適用し、積分時間間隔は0.002 [sec] とした。また、鉄塔の減衰モデルとして、固有値解析による卓越モードよりレイリー減衰を定義した。入力地震動は、兵庫県南部地震時に観測された実地震動を使用した。

3. 解析結果の比較

3. 1. 境界条件の差異による固有振動特性の変化

固有値解析により得られた架渉線直角方向、架渉線方向の1次と2次の固有周期、および鉛直方向の1次の固有周期を表2に示し、3点支持の場合の架渉線直角方向1次の固有振動モード図を図2に示す。

表2 固有周期の比較 [sec]

モード			モデル		
			4点支持	地盤バネ	3点支持
架渉線直角 方向	架渉線	1次	5.845	5.847	5.852
		鉄塔	1次	0.504	0.522
	鉄塔	2次	0.143	0.149	0.158
		架渉線方向	鉄塔	1次	0.728
架渉線方向	鉄塔	2次	0.187	0.196	0.209
		鉛直方向	鉄塔	1次	0.057

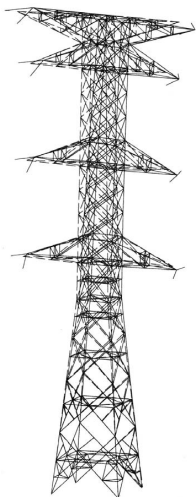


図2 固有振動モード図

鉄塔の架渉線方向の固有周期は、境界条件が3点支持となることにより、約1割の長周期化が生じている。従って、鉄塔の剛性は見かけ上約2割低下していると考えられる。

一方、架渉線の固有周期は、境界条件の変化により1 [%] 以下の変化にとどまっている。これより、境界条件の差異が架渉線の固有周期に与える影響は小さいと考えられる。

3. 2. 鉄塔基部の境界条件が動的特性に与える影響

ここでは、JR西日本鷹取駅構内地盤上EW成分波(II種地盤・最大加速度666 [gal])を架渉線方向に単一入力した場合の動的解析の結果を示す。鉄塔頂部の応答加速度を比較すると、4点支持の場合は最大応答加速度が約2000 [gal]であり、地盤バネ適用モデルでは約2300 [gal]、

3点支持の場合は約2800 [gal]と支持構造の変化に伴い、大きな値を示す傾向にあることが明らかとなった。また、鉄塔頂部の時刻歴応答変位の結果を図3に示す。鉄塔頂部の応答変位を比較すると、最大応答変位は4点支持の場合の28 [cm]、地盤バネ適用モデルの場合の30 [cm]に比して、3点支持の場合が44 [cm]と大きな変位を生じている。更に、図1の不支持点Dの対角線に位置する支柱材Bに発生した最大圧縮軸力の結果を図4に示す。4点支持、および地盤バネ適用モデルの場合は、支柱材を構成する全部材において座屈軸力以下の値を示している。一方の3点支持の場合、最大圧縮軸力が4点支持、および地盤バネ適用モデルに比して増大しており、部材の一部に座屈軸力を上回る値を示すことが確認された。

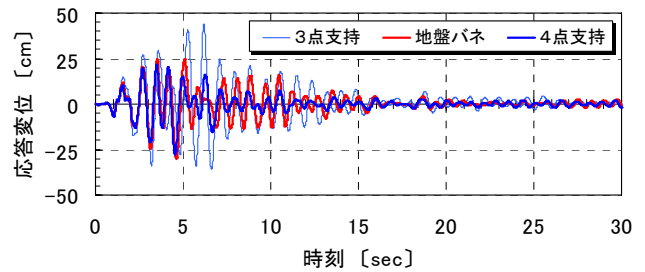


図3 鉄塔頂部の時刻歴応答変位

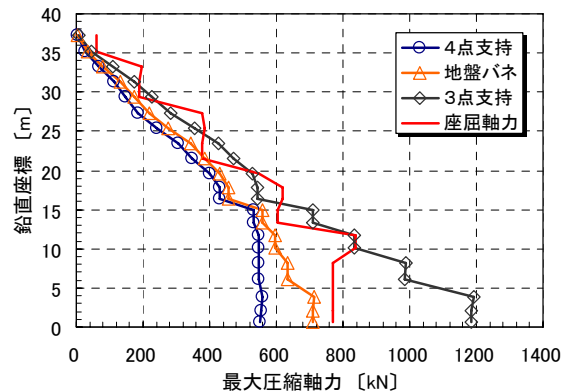


図4 最大圧縮軸力の鉛直分布

4. おわりに

本研究では、架渉線の影響を考慮した鉄塔単体モデルを構築し、鉄塔脚部の境界条件の差異による固有振動特性、および動的特性の違いを比較し、脚部の境界条件の差異が鉄塔の地震時挙動に及ぼす影響を把握した。

その結果、地盤の不同沈下により鉄塔基部の支持構造が変化することは、地震時の鉄塔の健全性に大きな影響を及ぼすことが示された。

参考文献

1) 松田泰治, 大塚久哲, 池田征司, 宇野州彦: 台湾集集地震により倒壊した超高压送電鉄塔の被害原因の解明と耐震性向上に関する研究, 土木学会論文集, No.801/I-73, pp.51-68, 2005.10.