

送電鉄塔の地震時挙動に及ぼす脚部の境界条件の影響評価

熊本大学 工学部環境システム工学科

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

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

現在の実社会では、ライフラインの一つである電力供給は生活を営む上で必要不可欠である。電力供給システムは、発電施設、送電施設、変電施設から構成されており、全施設が機能することで電力供給の実現が図られる。従って、安定的な電力供給を行うために、システムの機能維持は重要な課題である。特に、基幹線に位置する送電鉄塔の損傷は、社会的な影響が大きい。

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されている。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ている。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、対象鉄塔が片継脚であることなどに着目し、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、鉄塔基部が常時の4点支持から3点支持の状態になることが考えられ、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。地震国日本においても、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、4点支持の場合と最も不利な条件として3点支持の場合との二場合の境界条件を設定し、鉄塔脚部の境界条件の差異による固有周期・固有振動モード、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220kV懸垂型山形鋼鉄塔（2回線）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。さらに、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。モデル化の概念は、架渉線直角方向、および鉛直方向は腕金に接続したバネを介して質量を付加し、架渉線方向は質量を腕金に直結する。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。

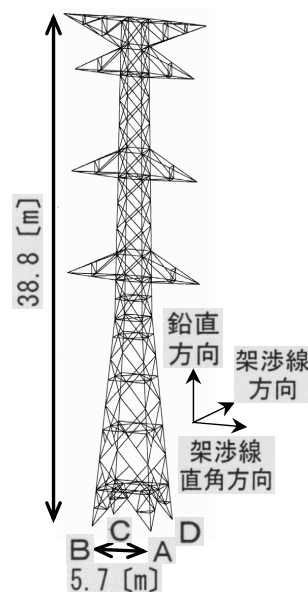


図1 懸垂型山形鋼鉄塔

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

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

ここに、 T_1 ：1次固有周期、 L ：径間長（ $L=(\text{若番側の径間長}+\text{老番側の径間長})\div 2$ ）、 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。

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として、鉄塔と基礎は剛性差や質量差が大きいことから、鉄塔基部は完全固定とした。また、本研究では基礎の不同沈下による最も危険側の影響を議論するため、3点支持の場合における不支持の1点は非拘束節点として設定した。

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、入力地震動は兵庫県南部地震時に観測された地盤種別の異なる実地震波 (3 波) を使用した。

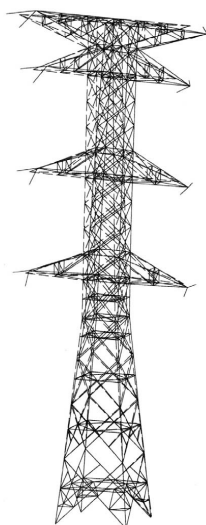
3. 境界条件の差異による解析結果の比較

3. 1. 支持条件の不利化に伴う構造特性の変化

固有値解析によって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、一例として 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	3 点支持
架渉線直角 方向	架渉線	1 次	5.845	5.852
		2 次	0.504	0.547
	鉄塔	1 次	0.143	0.158
架渉線方向	鉄塔	1 次	0.728	0.850
		2 次	0.187	0.209
鉛直方向	鉄塔	1 次	0.057	0.061



架渉線直角方向 1 次モード

図 2 固有振動モード図

架渉線方向の固有周期に着目すると、境界条件の変化によって、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 割低下していることが分かる。

一方、架渉線の固有周期に関しては、1% 以下の変化にとどまっている。このことから、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、J R 西日本鷹取駅構内地盤上 E W 成分波 (II 種地盤・最大加速度 666 [gal]) を架渉線方向に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、3 点支持の場合は約 2800 [gal] と 4 点支持の場合よりも大きな値を示した。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] 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。さらに、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両モデルで比較する。最大圧縮軸力の結果を図 4 に示す。4 点支持の場合、支柱材を構成する全部材が座屈軸力以下の値を示す結果が得られた。一方の 3 点支持の場合、最大圧縮軸力が 4 点支持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。

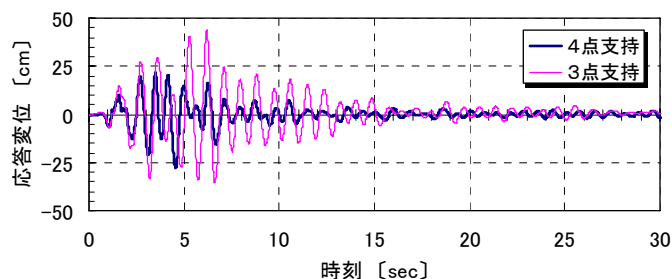


図 3 鉄塔頂部の時刻歴応答変位

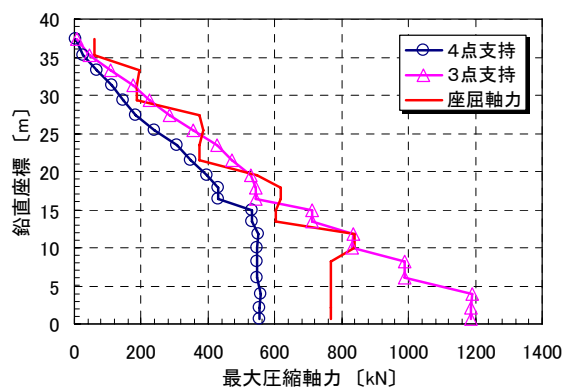


図 4 最大圧縮軸力の鉛直分布

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周期・固有振動モード、および動的特性の違いを比較し、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、鉄塔基部が 3 点支持となることは、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。