

送電鉄塔の耐震性評価に関する一検討

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

わが国の送電鉄塔の設計では、支配的な荷重が風荷重であるとされており、特殊な支持物においてのみ地震荷重が風荷重を上回ることがあるとして耐震設計が行われている。しかしながら、1999年には台湾で集集地震が発生し、鉄塔の倒壊が多数報告された。これを受け、既往の研究¹⁾では、送電鉄塔の耐震性評価の重要性が指摘されており、鉄塔倒壊の一因として地震時の振動により部材の一部が座屈したことが挙げられている。また、鉄塔の設計では、鉄塔がトラス構造であることから、部材応力は主に軸力による評価がなされている。こうした背景を踏まえると、鉄塔の耐震性向上を図る上で、鉄塔の倒壊につながる部材の座屈に影響を及ぼす圧縮側の軸力評価は重要と考えられる。そこで、本研究ではわが国で一般的に採用されている鉄塔の一つである山形鋼鉄塔を対象に、耐震性向上を図るための基礎的検討として、入力地震動の違いによる動的応答特性の差異を無次元化軸力²⁾により評価し、地震時の振動により座屈に至る可能性を有する部材（危険箇所）の特定を試みた。

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

本研究では、わが国の一般的な山形鋼送電鉄塔の構造図を基にモデル化を行った。対象構造物となる鉄塔は片継脚（継脚長 4.0 [m]）の 220 [kV] 懸垂型山形鋼鉄塔であり、解析モデルの構造図を図 1 に示す。図中の A~D は、支柱材の位置を表している。また、同様の懸垂型鉄塔が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。

また、本研究では既往の研究¹⁾を参考に、架渉線の影響を考慮した鉄塔単体モデルを構築した。なお、架渉線直角方向と鉛直方向に接続した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。また、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 ($L = (\text{若番側の径間長} + \text{老番側の径間長}) \div 2$)、 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。

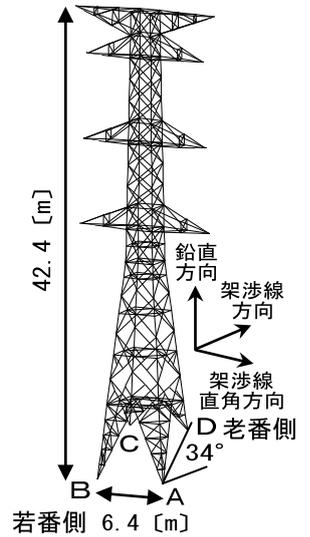


図 1 懸垂型山形鋼鉄塔

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	26,500 [N/条]	想定張力	49,000 [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から、鉄塔基部は完全固定支持とし、地震動を鉄塔基部へ直接入力した。

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、鉄塔の減衰は、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、架渉線方向に単一で入力した。

3. 解析結果の比較

3. 1. 固有振動特性の把握

固有値解析により得られた架渉線と鉄塔の固有振動数を表 2 に、架渉線方向の固有振動モード図を図 2 に示す。

表2 固有振動数 [Hz]

モード		固有振動数	有効質量比
架渉線直角方向	架渉線	1次	0.171
		2次	6.711
	鉄塔	1次	1.934
架渉線方向	鉄塔	1次	1.333
		2次	5.155
鉛直方向	鉄塔	1次	16.949

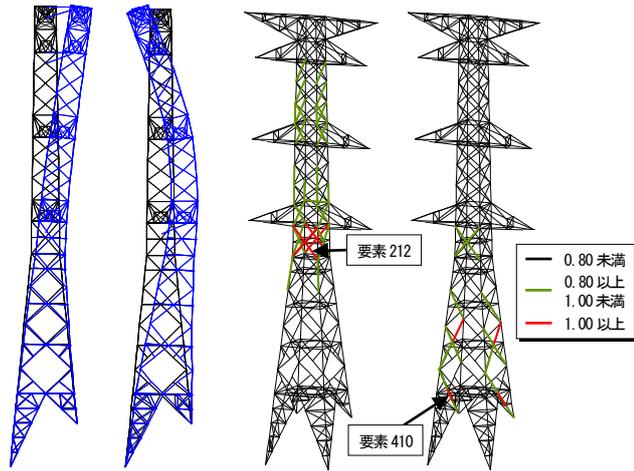


図2 振動モード図 図3 無次元化軸力の比較

表2の有効質量比に着目すると、架渉線直角方向の2次モードまでのそれは、架渉線の1次モードも含めて累積で66 [%]であり、架渉線方向では、累積で89 [%]である。

3. 2. 動的応答特性の比較

兵庫県南部地震時に観測された神戸海洋気象台地盤上NS成分波(地震動I)、及びJR西日本鷹取駅構内地盤上EW成分波(地震動II)を架渉線方向の単一入力として動的解析を行い、構成部材に発生する軸力の比較を行った。

ここでは、部材に発生した最大圧縮軸力を降伏点对応の圧縮強度(座屈軸力)で除し、無次元化したものを無次元化軸力と定義する²⁾。入力地震動別に無次元化軸力を比較したものを図3に示す。座屈に至る可能性のある部材、すなわち軸力が1.00を超えている部材を特定すると、地震動Iではベント点上の腹材で1.16、一方の地震動IIでは最下パネル下の腹材で1.02であり、入力地震動の違いにより発生位置が異なる。また、いずれのケースにおいても支柱材に比べ細長比の大きな腹材が限界レベル(座屈軸力)に達している。更に、各々のケースで軸力が最大となった代表要素の軸力時刻歴を図4に示す。但し、引張側が正、圧縮側が負である。また、代表要素について軸力の時刻歴応答波

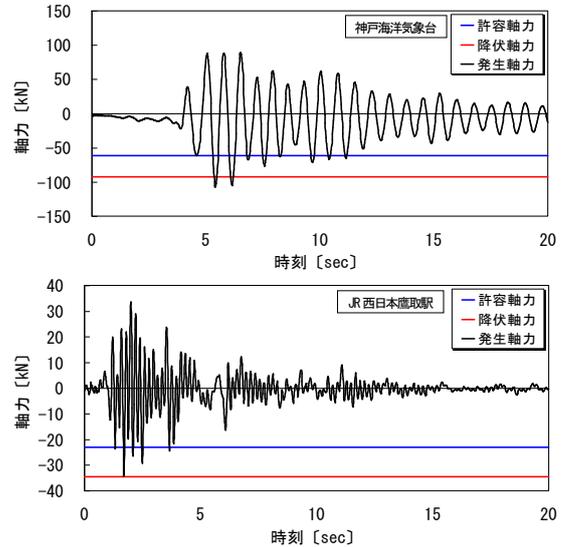


図4 軸力時刻歴(上図:要素212, 下図:要素410)

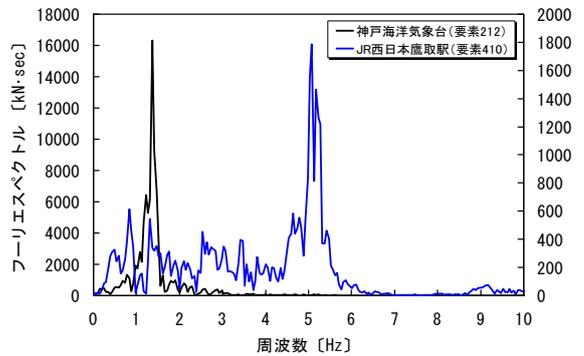


図5 軸力時刻歴波形のフーリエスペクトル (左軸:要素212, 右軸:要素410)

形を周波数解析した結果を図5に示す。図5と表2より、地震動Iを入力した場合の要素212は1.37 [Hz]で卓越しており、1次モードで振動していると考えられる。一方、地震動IIを入力した場合の要素410は5.08 [Hz]で卓越しており、2次モードの振動に支配されていると考えられる。

4. おわりに

本研究では、鉄塔の耐震性向上を図るための基礎的検討として、地震動の違いによる無次元化軸力の比較を行い、座屈する可能性のある部材の特定を行った。その結果、入力地震動の違いにより座屈し易い部材の発生箇所が異なり、細長比の大きな腹材において座屈が発生する可能性があることが明らかとなった。このことは、設計上注意が必要であり、地震時の鉄塔の健全性に影響を及ぼすと考えられる。

参考文献

- 1) 松田泰治, 大塚久哲, 池田征司, 宇野州彦: 台湾集地震により倒壊した超高圧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.
- 2) 松田泰治, 大塚久哲, 内田広明, 池田征司: 集集大地震により倒壊した超高圧送電鉄塔の耐震性に関する研究, 構造工学論文集, Vol.47A, 2001.3.