

送電鉄塔の地震時挙動に及ぼす幾何学的非線形の影響評価

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

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。これを受けて、既往研究では台湾の送電鉄塔の設計仕様が日本のものよりも若干厳しいにもかかわらず倒壊したことなどに着目し、鉄塔の耐震性評価の重要性を指摘している。また、今後は他の土木構造物に比べ鉄塔が縦長の構造物であること、あるいはケーブルの重量の増大化に伴い、ますますトップヘビーの構造物となることなどが勘案される。このような背景を踏まえると、今後は鉄塔の地震時挙動に与える影響として、塔体自身による幾何学的非線形（以下、幾何非線形と称す）の影響の解明が急務になると考えられる。

本研究では、わが国で一般的に採用されている送電鉄塔を対象として、幾何非線形を考慮しない場合と考慮した場合の2場合の解析条件を仮定し、条件の差異による鉄塔の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

本研究では、わが国で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（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。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、まず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

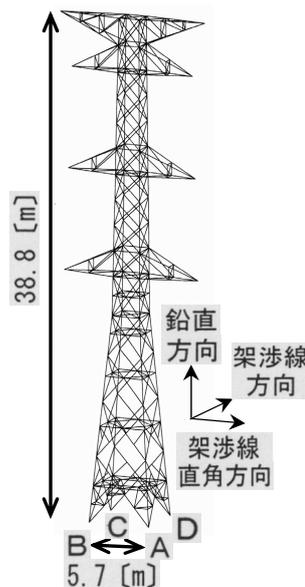


図1 懸垂型山形鋼鉄塔

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（ $L = (\text{若番側の径間長} + \text{老番側の径間長}) \div 2$ ）、 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とした。また、本研究では幾何非線形の影響を評価するため、平常時の4点支持モデルのみを用いて検証を行った。

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、入力地震動は最大加速度1000 [gal]、周期1.0 [sec]の正弦波を人為的に仮定し、架渉線直角方向、及び架渉線方向に単一で入力した。

3. 解析結果の比較

ここでは、幾何非線形の考慮による影響の有無を厳密に評価するため、正弦波（最大加速度1000 [gal]、周期1.0 [sec]）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。

図1に示す支柱材Aの塔頂節点に代表して、鉄塔頂部の応答加速度を比較すると、幾何非線形を考慮しない場合は

最大応答加速度が 4383 [gal] であり、幾何非線形を考慮した場合は 4390 [gal] という結果が得られた。幾何非線形を考慮することで最大応答加速度の若干の増加が確認されるものの、その変化は 1 [%] 以下にとどまっている。また、同様の節点に代表される鉄塔頂部の応答変位の時刻歴結果を図 2 に示す。鉄塔頂部の応答変位を比較すると、最大応答変位は幾何非線形を考慮しない場合が 65 [cm]、幾何非線形を考慮した場合は 66 [cm] であり、約 1 [%] 変化していることが確認される。

さらに、図 1 に示す支柱材 A、及び支柱材 D に発生した最大圧縮軸力の結果を幾何非線形の考慮の有無で場合分けして比較する。ここで、最大圧縮軸力の結果を図 3 に示す。支柱材 D の最下パネルの構成部材に着目すると、幾何非線形を考慮しない場合は 1101 [kN]、考慮した場合は 1125 [kN] という結果が得られた。よって、最大圧縮軸力は幾何非線形を考慮することにより、約 2 [%] 増加する結果となった。

最後に、支柱材 A の最下パネルの構成部材に作用する曲げモーメントの結果を幾何非線形の考慮の有無で比較する (図 4 参照)。鉄塔基部 (最下パネルの構成部材) に発生する部材 y 軸回りの最大曲げモーメントは、幾何非線形を考慮しない場合が 1734 [kN・mm] であるのに対して、幾何非線形を考慮した場合は 2300 [kN・mm] であることが確認された。故に、幾何非線形を考慮することにより、鉄塔基部に発生する最大曲げモーメントは約 3 割増加することが明らかとなった。同様に、部材 z 軸回りの最大曲げモーメン

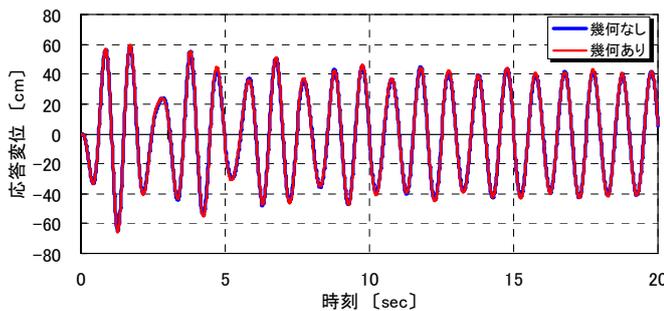


図 2 鉄塔頂部の時刻歴応答変位

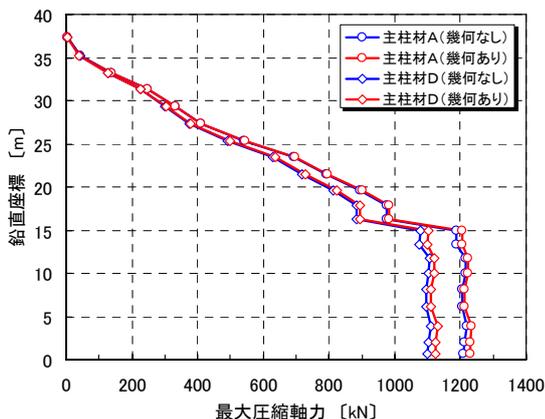
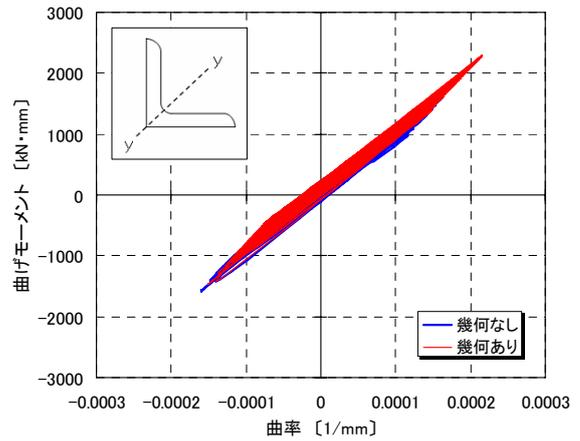
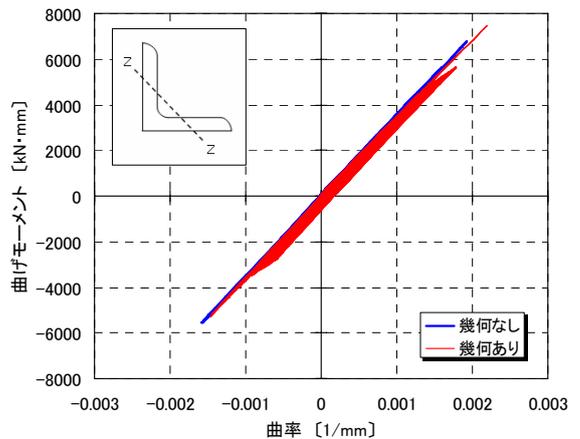


図 3 最大圧縮軸力の鉛直分布



(a) 部材 y 軸回りの曲げモーメント履歴



(b) 部材 z 軸回りの曲げモーメント履歴

図 4 鉄塔基部の曲げモーメント

トは、幾何非線形を考慮しない場合が 6759 [kN・mm]、幾何非線形を考慮した場合は 7477 [kN・mm] であり、幾何非線形の考慮により、最大曲げモーメントが約 1 割増加することが確認された。

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、幾何非線形の考慮の有無による動的特性の違いを比較することで、幾何学的非線形性が及ぼす鉄塔の地震時挙動への影響を検討した。

その結果、地震時における鉄塔の健全性を検討する上で、幾何非線形の影響を考慮することにより、安全側の評価が可能となることが明らかとなった。また、トップヘビーの構造物である鉄塔の地震時挙動を把握するに当たり、幾何学的非線形の考慮の有効性が確認された。

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.