

境界条件の異なる送電鉄塔に対する同調質量ダンパーの有効性に関する研究

香川高等専門学校 正会員 ○松本 将之 香川高等専門学校 正会員 林 和彦
 香川高等専門学校 賛助会員 藤原 祐一朗 香川高等専門学校 賛助会員 横濱 諒

1. はじめに

我が国の送電鉄塔は、従来から風荷重による設計を基本としている。しかしながら、1999年に台湾で発生した集集地震では日本のものより設計基準の厳しい鉄塔が多数倒壊し、国内でも1995年兵庫県南部地震や2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震等の大規模地震によって鉄塔が倒壊する事例が多数報告されている。このため、今後は、地震に対する鉄塔の安全性が重要な課題である。これまでに報告されている鉄塔の地震被害は、地震時の基礎地盤の変状によるものと報告されている。こうした被害事例から、鉄塔の支持条件が地震時の鉄塔の健全性へ与える影響は大きい。

そこで、本研究では、平常時の4点支持から地震時の地盤の不同沈下により、3点支持に支持状態が変化することを想定し、2つの境界条件を仮定した。また、制震装置として、同調質量ダンパー（Tuned Mass Damper, 以下 TMD と称す）を鉄塔へ適用し、境界条件の相違による TMD の有効性について検討した。

2. 解析モデルと解析条件

2.1. 対象構造物と解析モデル

本研究では、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。対象構造物とした送電鉄塔は220kV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。解析モデルは、支柱材4本の脚の長さが等しい平脚鉄塔（節点数245、要素数672）である。ここに、図中のA～Dは支柱材の位置を、図中番号はパネル番号を表している。なお、3点支持モデルでは、支柱材Dを不支持とする。また、同様の鉄塔が直線状に連続して配置されているものと想定し、鉄塔間の径間長は若番側、老番側ともに350(m)と仮定する。対象の鉄塔は、等辺山形鋼を使用しており、支柱材、腹材、水平材、及びその他補助材の全部材を3次元はり要素の線形材料（ヤング率：205.9(GPa)、ポアソン比：0.3)としてモデル化を行った。また、減衰に関しては、沢辺らの無線鉄塔における加振実験に

より、振幅が小さい場合は1.7%、大きい場合は3.3～3.8%の減衰定数を示すことから、既往の研究では鉄塔の動的挙動を把握するために山形鋼鉄塔の減衰定数を2%と仮定している。これを踏まえ、本研究でも等辺山形鋼の部材要素の減衰定数を2%とする。また、架渉線の減衰定数に関しては、岩間らの電線の振動実験の結果から、本研究においても同様に0.4%と仮定した。なお、架渉線のモデル化は、既往研究においてモデル化の妥当性が検証されていることから、既往研究を基にモデル化を行った。

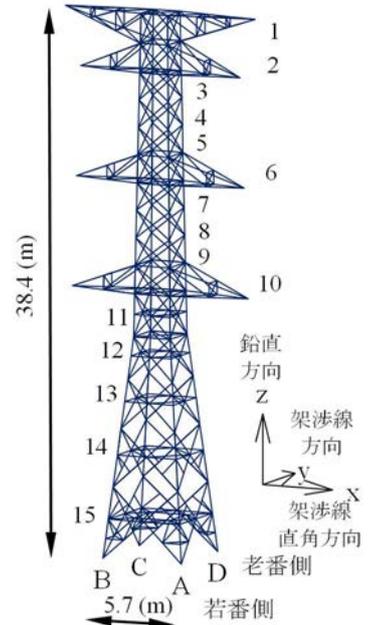


図-1 懸垂型山形鋼鉄塔

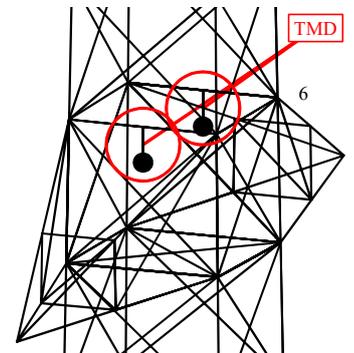


図-2 制震装置の設置図

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。固有値解析は、Subspace法を適用した。動的解析は、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、減衰タイプはRayleigh減衰とし、第一基準振動数と第二基準振動数の仮定は、過大な減衰を示さないように鉄塔1次の固有振動数と50(Hz)を採用した。入力地震動は、2016年熊本地震、2018年大阪府北部の地震(以下、大阪府北部地震と称す)、及び北海道胆振東部地震を使用し、架渉線方向に単一入力とした。

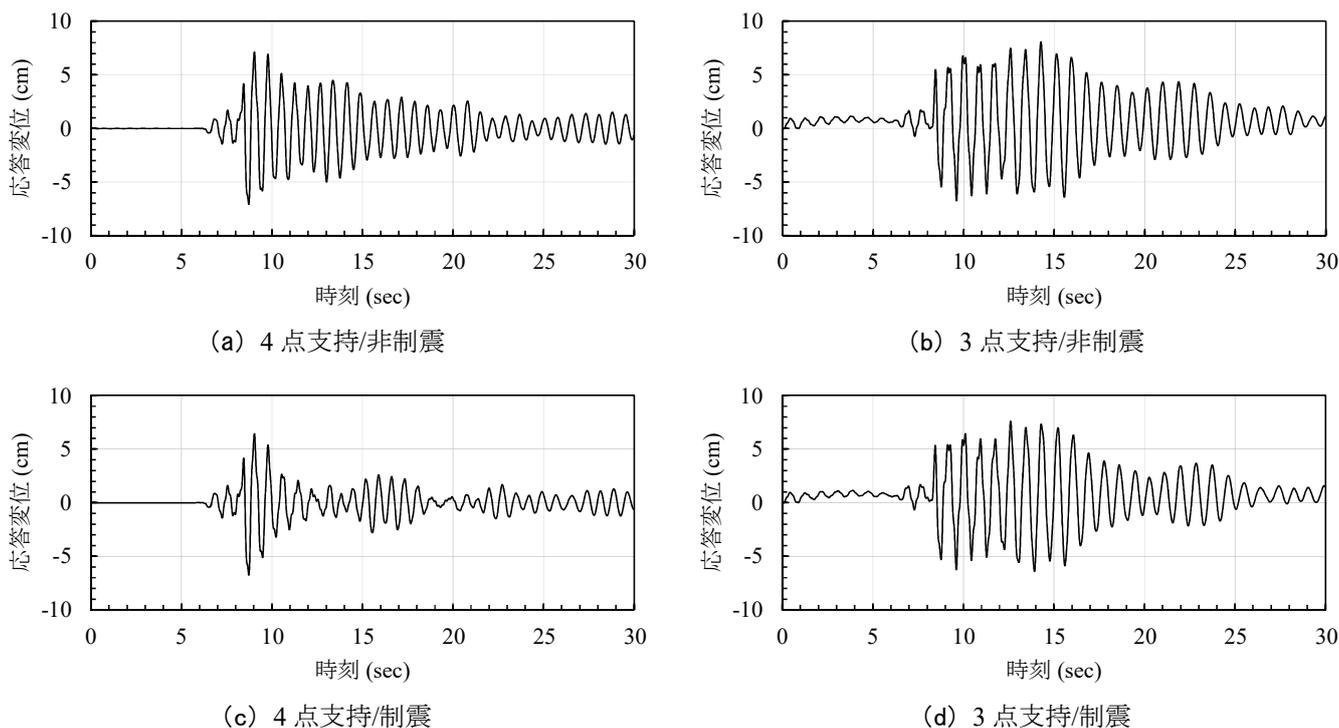


図-3 鉄塔頂部の応答変位時刻歴（大阪北部地震/架渉線方向）

3. 地震応答解析

3.1. TMDの検討

TMDの質量比は、鉄塔全質量の2%として検討を行った。TMDの取り付け位置は、図-2に示すとおり、鉄塔の1次2次の振動モードを考慮して腕金部の中段とし、振り子式のTMDを2体設置した。また、TMDに関しては、境界条件の異なる両モデルに対しても、一般的に用いられる鉄塔の4点支持モデルの1次モードの振動数に同調させた線形のものを検討した。

3.2. 地震応答解析結果

大阪府北部地震を入力したケースについて、鉄塔頂部の応答変位の時刻歴を図-3に示す。大阪府北部地震による解析の結果、4点支持から3点支持への境界条件の変化により、13%程度の応答増大が確認できる。また、一般的には地震に対してTMDの制震効果は限られているが、今回検討に用いた鉄塔に対しては、4点支持のケースで5%程度の応答低減効果が認められる。更に、3点支持のケースでは、TMDの適用により、最大6%程度の低減効果が確認できる。また、応答時刻歴より、4点支持、3点支持のいずれのケースも、非制震モデルに対して制震モデルの応答が早期に収束していることが確認できる。

4. 結論

境界条件の異なる送電鉄塔を対象に、過去の大規模地震に基づく耐震性評価を行った。次に、TMDを活用した地震時の応答低減効果に関して解析的に検討した。その結果、境界条件が4点支持と3点支持のいずれのケースに対しても、鉄塔へのTMDの設置により、一定の応答低減効果が確認できた。今後はTMDの仮定条件に関して詳細な検討を行い、更なる鉄塔の耐震性向上を図る予定である。

謝辞

本研究では、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET/KiK-net）において公開されている強震記録を使用させて頂きました。ここに、記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松本将之, 葛西昭, 松田泰治, 石田伸幸: 同調質量ダンパーの適用による送電鉄塔の耐震性向上に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), vol.74, No.4 (地震工学論文集第 37 巻), pp.I_617-I_629, 2018.