

TMD を用いた送電鉄塔の耐震性向上に関する基礎的研究

熊本大学大学院 学生会員 ○松本 将之
熊本大学大学院 学生会員 會田 和摩

熊本大学大学院 正会員 葛西 昭
熊本大学大学院 正会員 松田 泰治
日本鉄塔工業株式会社 石田 伸幸

1. はじめに

現在、わが国の送電用鉄塔の設計は、風荷重を支配的な荷重として考慮しており、特殊な支持物のみ地震荷重が風荷重を上回るとして、震度法や動的応答解析により耐震設計が行われている。また、これまでに高圧・大容量の電力供給の必要性が高まるにつれ、塔体は大型化の傾向にある。そのような中で、1999年に台湾で集集地震が発生した。台湾の設計仕様は日本よりも若干厳しいにも関わらず、多数の倒壊被害が報告されている。更には、2011年3月に発生した東北地方太平洋沖地震の甚大な被害により、耐風性だけでなく耐震性評価の重要性も高まりつつある。

既往の研究では、基礎形式や支持物構造の非対称性といった観点から、耐震性向上に関する研究がなされてきた。本研究では、鉄塔の減衰性に着目し、耐震性向上の検討を行っていく。ここでは、同調質量ダンパー（以下 TMD と称す）を鉄塔に設置することにより、地震時の鉄塔の応答低減効果を把握した。

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。対象構造物となる送電鉄塔は 220 (kV) 懸垂型山形鋼鉄塔であり、解析モデルの構造図を図 2-1 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、図中の番号はパネル番号を表している。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。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。対象構造物は等辺山形鋼を使用した。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%、振幅が大きい場合は

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。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。

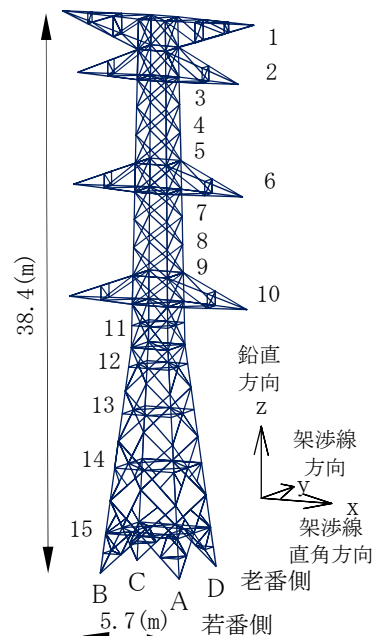


図 2-1 懸垂型山形鋼鉄塔

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。固有値解析の方法は、Subspace 法を適用した。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、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組み合わせは、過大な減衰を示さないように 1 次の固有振動数と 50 (Hz) の組み合わせを採用した。入力地震動は、兵庫県南部地震時に観測された JMAKOBE の NS 成分、及び TAKATORI の EW 成分の 2 波を使用した。

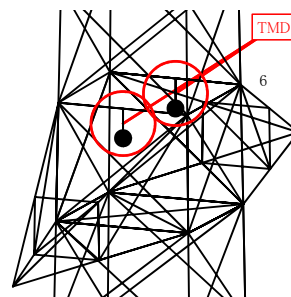


図 3-1 制震装置設置図

キーワード: 送電鉄塔, 固有値解析, 動的応答解析, 制震デバイス, 応答低減効果

連絡先: 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2 丁目 39 番 1 号 熊本大学大学院 自然科学研究科 TEL 096-342-3531 (代表)

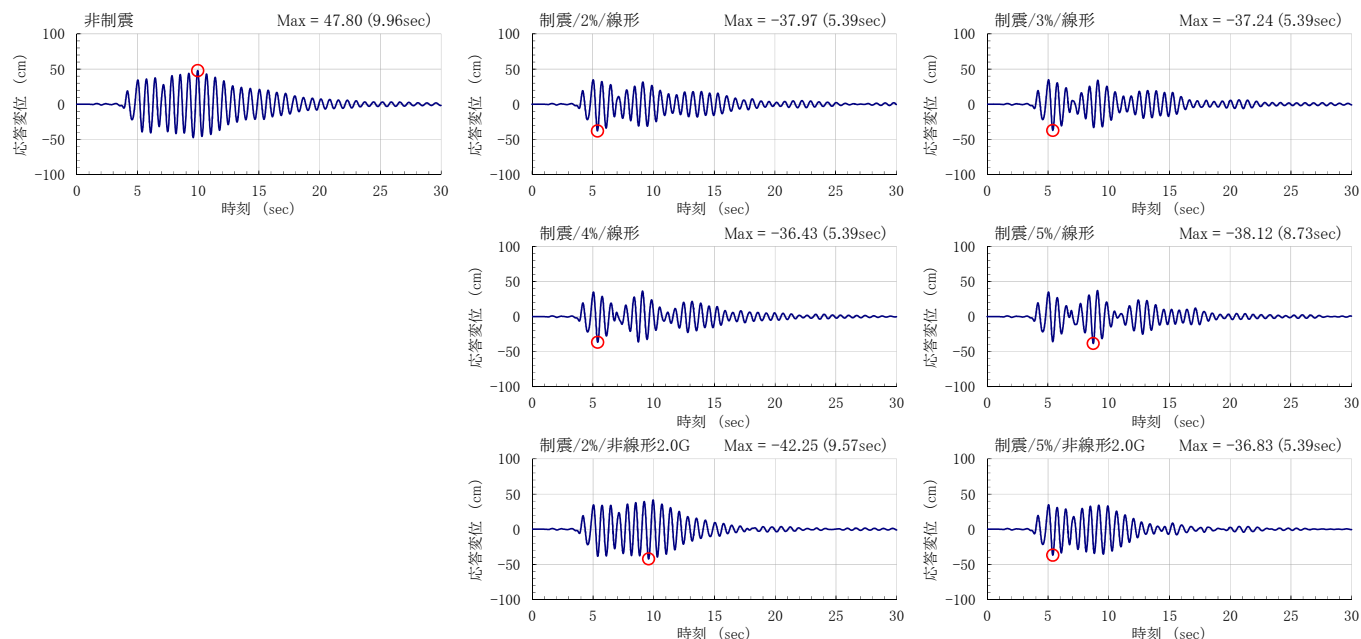


図 3-2 頂部応答変位時刻歴結果 (JMAKOB NS)

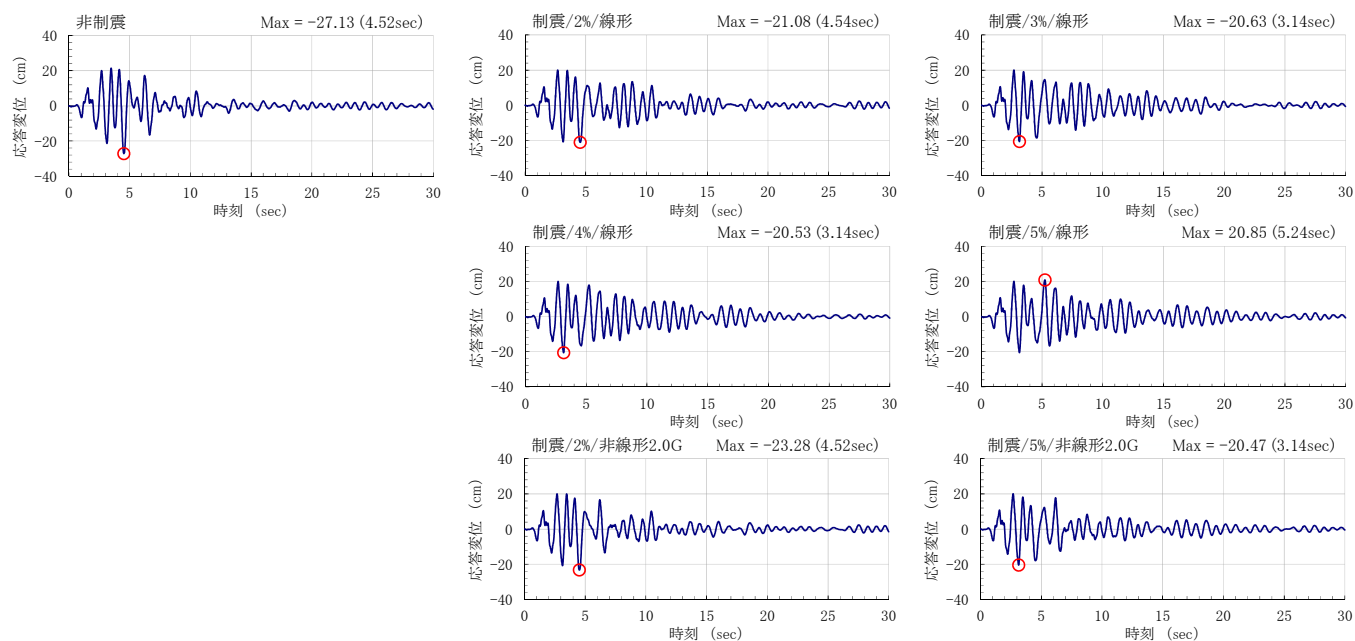


図 3-3 頂部応答変位時刻歴結果 (TAKATORI EW)

3. 地震応答解析

3.1. TMD 制震装置の設置箇所の検討

本検討では、TMD の質量比を鉄塔全質量の 2% から 5% までパラメトリックに変化させて検討を行った。なお、TMD の取り付け位置は、図 3-1 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 を設置した。また、TMD に関しては一般的に用いられる送電鉄塔の 1 次モードの振動数に同調させた線形のもの、弾性時の振動数は線形のものと同様とし、鉄塔の加速度が 2G 程度になると降伏して弾塑性挙動を呈するタイプのものを検討した。

3.2. 地震応答解析結果

地震動の入力方向を架渉線方向とし、鉄塔頂部の応

答変位の時刻歴を入力地震動ごとに図 3-2、及び図 3-3 に示す。一般的には地震に対して TMD の効果は限られているが、今回検討に用いた 2 波の入力地震動に対してはいずれのケースにおいても変位で 20~25% 程度の低減効果が認められる。非線形性を考慮した場合、質量比 2% で変位は 10~15% 程度の低減効果、質量比 5% で変位は 20~25% 程度の低減効果が認められる。

4. まとめ

送電鉄塔を対象に 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を行った。鉄塔に TMD を設置することにより一定の応答低減効果が確認された。今後は TMD の設置位置、TMD の非線形特性に関して詳細な検討を行い、送電鉄塔の耐震性向上を図る。