

制震デバイスによる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。しかし、1999年に台湾で集集地震が発生し、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た。更に、2011年3月の東北地方太平洋沖地震、2016年4月の平成28年熊本地震（以下、熊本地震と称す）での甚大な被害により、耐震性評価の重要性も高まりつつある。

既往研究では、基礎形式や支持物の構造特性等の観点から耐震性向上が検討されてきた。本研究では、まず熊本地震による耐震性評価を行った。次に、鉄塔の減衰性に着目し耐震性向上を検討した。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。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。

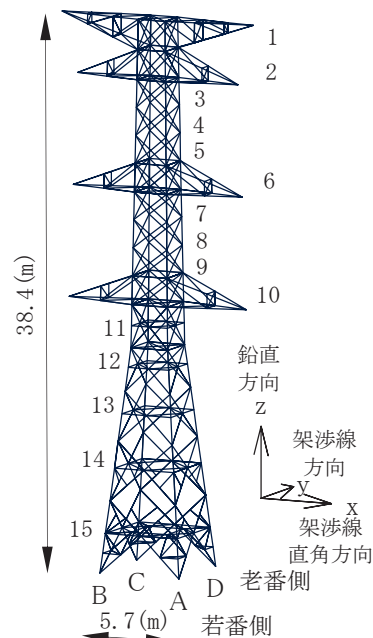


図2-1 懸垂型山形鋼鉄塔

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、熊本地震時に熊本県内で観測された最大加速度の上位3地点、2成分の計6波を使用し、架渉線方向入力とした。

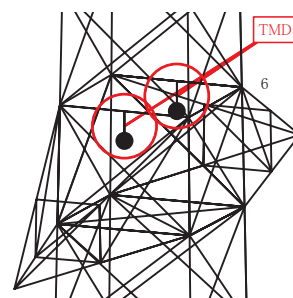


図3-1 制震装置設置図

キーワード:平成28年熊本地震, 送電鉄塔, 固有値解析, 動的解析, 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)

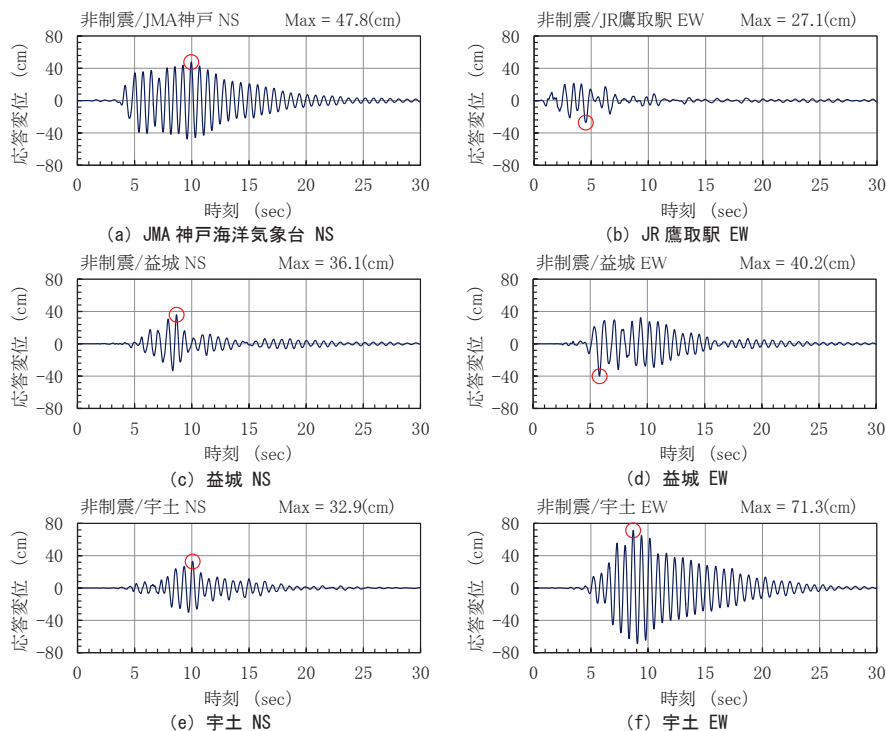


図 3-2 鉄塔頂部の応答変位時刻歴 (非制震モデル)

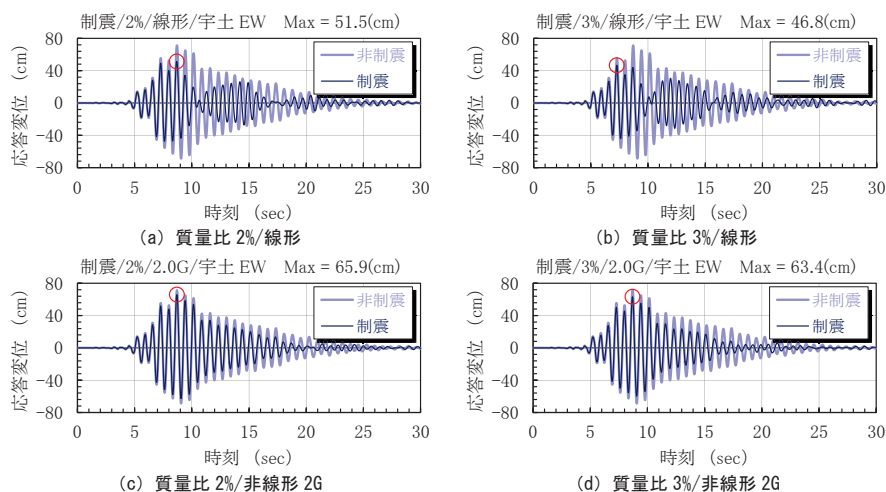


図 3-3 鉄塔頂部の応答変位時刻歴 (制震モデル/宇土 EW)

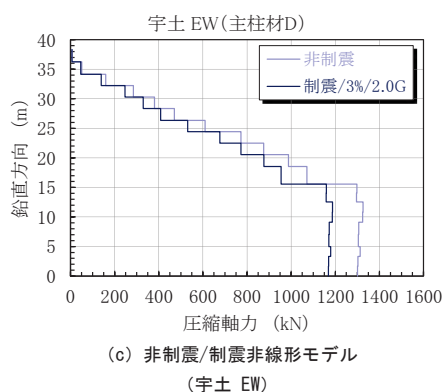
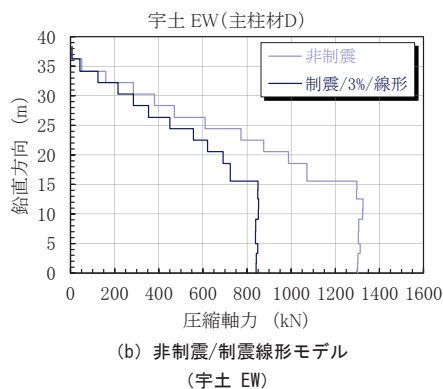
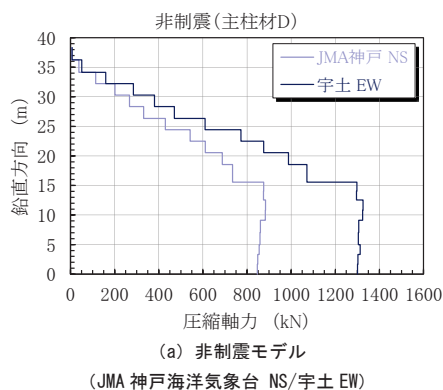


図 3-4 主柱材の最大圧縮軸力鉛直分布

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%、3%と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 2 体設置した。また、TMD に関しては、一般的に用いられる鉄塔の 1 次モードの振動数に同調させた線形のものとして、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 1G~3G 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

鉄塔頂部の応答変位の時刻歴を図 3-2、及び図 3-3 に、主柱材の最大圧縮軸力を図 3-4 に示す。熊本地震によ

る解析の結果、兵庫県南部地震時と同等以上を示している。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、今回検討に用いた入力地震動の中でも特に宇土 EW のケースについて、変位で最大 30%程度の低減効果が認められる。非線形性を考慮した場合、10~15%程度の低減効果が確認できる。更に、主柱材の最大圧縮軸力に関して、質量比 3%の線形のケースで 35%程度、非線形で 10%程度の低減効果が認められる。

4. まとめ

送電鉄塔を対象に熊本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。鉄塔への TMD の設置により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、鉄塔の耐震性向上を図る。