

粘性ダンパーを用いた送電鉄塔の耐震性向上に関する研究

熊本大学 工学部社会環境工学科 学生会員 ○大原 良隆
熊本大学 大学院自然科学研究科 正会員 松田 泰治

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、震度法により耐震設計が行われている。また今後は、高圧・大容量の電力供給の必要性が高まっており、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。さらには、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。一般的に、構造物に減衰効果を付与することが可能な粘性ダンパーを用いて、鉄塔の地震時挙動の変化を把握した。

2. 解析モデルと解析条件

2. 1. 対象構造物と解析モデル

本研究で用いる対象構造物は、わが国で一般的に採用されている山形鋼鉄塔で、220[kV] 懸垂型山形鋼鉄塔（鉄塔の総重量約 12 [ton]）を用いた。解析モデルは送電鉄塔の構造図を基にモデル化を行い、架渉線の影響を考慮した鉄塔単体モデルを構築した。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。更に、主柱材等の全部材を 3 次元線形はり要素としてモデル化を行った。粘性ダンパーは図 1 に示すように抵抗力和速度の関係でモデル化した。ダンパーの抵抗力は、非線形区間では式

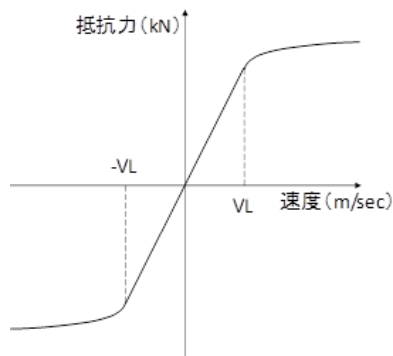


図 1 抵抗力-速度の関係

(1)、線形区間では式(2)で表される。本研究では、実務設計において実績のある $\alpha = 0.1$ を用い、速度は 1.0m/sec として検討を行った。

$$F = C1 \times V^\alpha \quad \dots(1) \quad (V < -VL, VL < V)$$

$$F = C3 \times V \quad \dots(2) \quad (-VL < V < VL)$$

F: 減衰抵抗力、C1: 基準速度 V の時の粘性減衰係数、C3: 線形区間の勾配、V: 速度、 α : 各ダンパーの性能に応じた指数、VL: 線形区間

2. 2. 解析条件の概要

本研究の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、有効質量比の累積を以って必要次数までの計算を行う。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、過大の粘性減衰を示さないように 1 次の固有振動数と 50Hz 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 成分を使用した。

3. 地震応答解析

3. 1. 粘性ダンパーの設置箇所の検討

固有値解析において鉄塔のモードを確認したところ、1 次モードでは図 2 に示すようにベンド点を境にベンド点上部が大きく揺れていることが確認された。このことから、ベンド点付近に減衰を付与することで、鉄塔全体の応答変位の抑制が期待できると考えられる。図 3 に示すように、粘性ダンパーの設置箇所を 3 ケース想定し、設置箇所はベンド点付近とした。粘性ダンパーの粘性減衰係数は、各モデルとも同じ値とした。

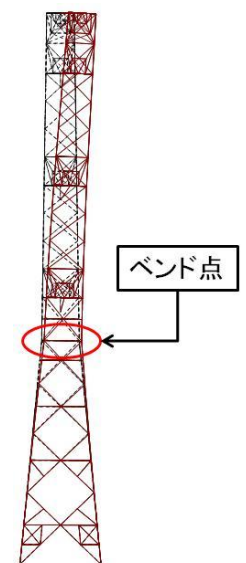


図 2 1 次モード図

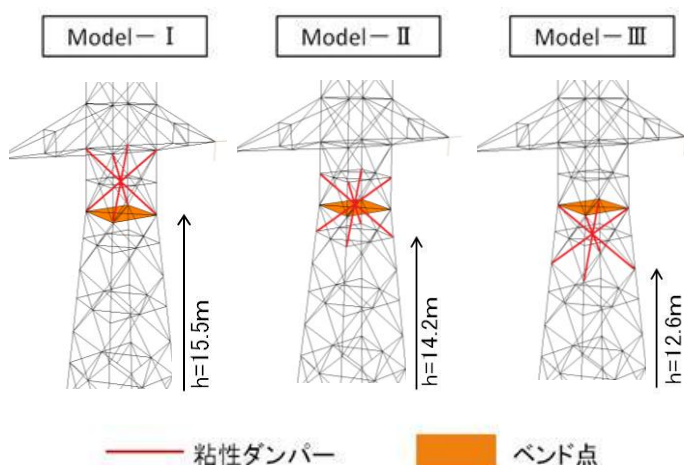


図3 粘性ダンパー設置箇所

3. 2. 地震応答解析結果

粘性ダンパーを設置していないモデル(以下、ダンパーなしモデル)と粘性ダンパーを設置したモデルで地震時応答解析を行い、地震時挙動の比較を行う。Model-I はベンド点よりも上部、Model-II はベンド点よりも下部、Model-III はベンド点を跨ぐように粘性ダンパーを設置した。ダンパーなしモデルに対して、入力地震波を架渉線方向に入力したところ、支柱材頂部の架渉線方向の最大応答変位は 46.1cm であった。粘性ダンパーを設置した各モデルで上記と同様に地震応答解析を行い、地震時挙動の把握を行った。支柱材頂部の架渉線方向の最大応答変位、応答変位の低減量、応答変位の低減率を表 2 に示す。Model-I、Model-II、Model-III の各モデルは、ダンパーなしモデルの最大応答変位に対して、27.3cm、27.6cm、2.1cm の低減量が見受けられ、それぞれ 40.8%、40.1%、95.4%まで応答が低減していることが認められた。また、支柱材頂部における架渉線方向の時刻歴応答変位を図 4 に示す。Model-III の最大応答変位についてはダンパーなしモデルと大きな差異は見られないが、変位の収束については早い段階で抑制されていることが見受けられる。Model-I、Model-II は各時刻における応答変位が抑制されており、変位の収束については、ダンパーなしモデルよりも早い時刻で収束していることが確認される。また、4 本のうち 1 本の支柱材の最大圧縮軸力の鉛直分布を図 5 に示す。図 5 に示す許容軸力とは部材の圧縮強度のこ

表 2 粘性ダンパーを取り付けたモデルの最大応答変位

	最大変位[cm]	低減量[cm]	低減率
ダンパーなしモデル	46.1	—	—
Model-I	18.8	27.3	40.8[%]
Model-II	18.5	27.6	40.1[%]
Model-III	44.0	2.1	95.4[%]

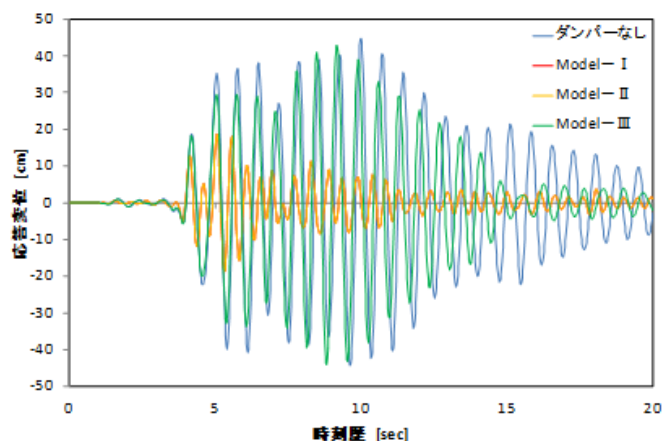


図 4 各モデルにおける時刻歴応答変位

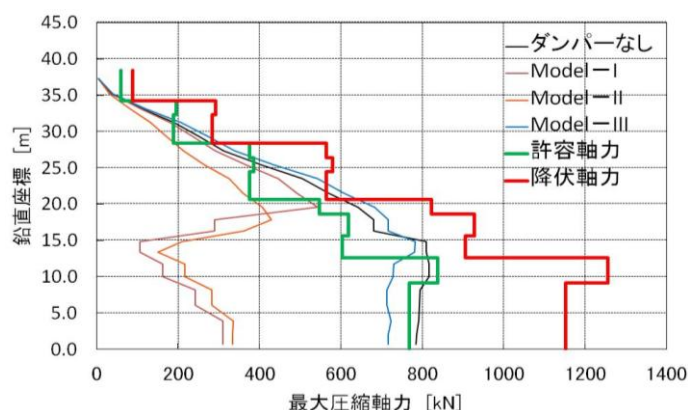


図 5 最大圧縮軸力の鉛直分布

とであり、降伏軸力は許容軸力に安全率 1.5 を乗じたものである。Model-I、Model-II とともに、最大圧縮軸力は許容軸力を下回る部材が多いことが見受けられる。特に粘性ダンパーを設置したベンド点付近では、圧縮軸力が大きく減少している。Model-III に関しては、Model-I、Model-II と同様、粘性ダンパーを設置した付近では圧縮軸力が減少しているが、全体的にダンパーなしモデルと大きな差異は見られなかった。ほとんどの部材で許容軸力を上回っており、降伏軸力を上回る部材も存在することが確認された。

4. まとめ

本研究では送電鉄塔の固有振動特性を確認し、粘性ダンパーの設置箇所の差異による地震時挙動の違いを比較することで、より適した粘性ダンパーの設置条件を把握した。その結果、鉄塔のベンド点付近に粘性ダンパーを設置することにより、鉄塔の応答を低減することができることが明らかとなった。一方、ベンド点より下部に設置する方法では、減衰効果が期待できないことが明らかとなった。