

## 制震装置の性能条件に着目した送電鉄塔の耐震性向上に関する研究

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 坂本 夏葵 香川高等専門学校 賛助会員 小山 頼輝  
 香川高等専門学校 賛助会員 香川 雅裕

### 1. はじめに

我が国の送電鉄塔は、従来から風荷重を主な外力として設計されている。しかしながら、1999年に台湾で発生した集集地震では、日本の設計基準より厳しい条件で設計された鉄塔が多数倒壊し、国内でも1995年の兵庫県南部地震や2011年の東北地方太平洋沖地震、2016年の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、地震に対する鉄塔の安全性は、電力の安定供給の観点からも重要な課題である。また、これまでに鉄塔脚部の支持条件に着目した耐震性向上に関する研究がなされてきた一方で、鉄塔と地震動の共振現象に対して、鉄塔の減衰性を高める方法で耐震性向上を検討した事例は少ない。

そこで、本研究では、制震装置である同調質量ダンパー (Tuned Mass Damper, 以下 TMD と称す) を鉄塔へ適用することで、鉄塔の減衰化を図る。また、本装置の性能条件である同調比を変更することにより、制震装置の性能条件が鉄塔の動的応答特性へ与える影響について、解析的に検討した。

### 2. 解析モデルと解析条件

検討対象の鉄塔は、我が国で一般的に採用されている懸垂型山形鋼鉄塔とした。図-1に概要図を示す。TMDのモデル化に当たっては、質量比2%とし、チューニングする周期を鉄塔の架渉線方向の1次固有周期で線形のもを仮定した。TMDの設置位置は、1次2次の振動モードを考慮して、腕金中段部に振り子式のTMDを2体設置した(図-2)。

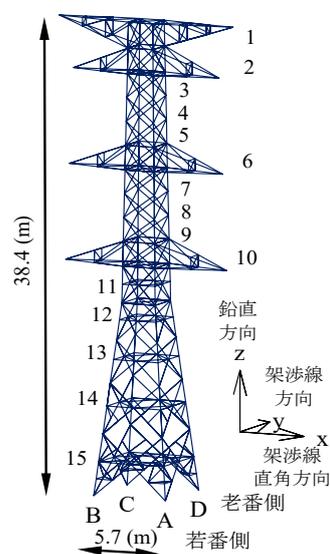


図-1 懸垂型山形鋼鉄塔

入力地震動は、2018年北海道胆振東部地震において観測された強震記録(以下、追分NSと称す)とし、架渉線方向に入力する。

解析手法に関しては、Subspace法による固有値解析、及びNewmark $\beta$

法( $\beta=0.25$ )による直接積分法を適用した動的解析を行った。動的解析の積分時間間隔は、0.002秒とした。更に、主要モードを基に、過大な減衰を示さないようにRayleigh減衰を定義した。

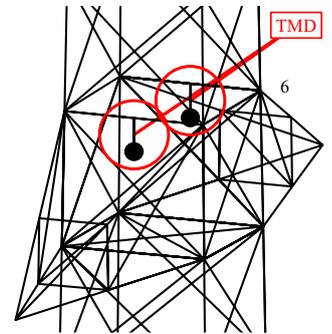


図-2 制震装置の設置図

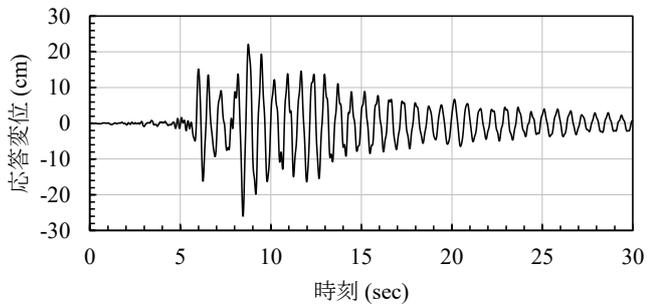
### 3. 動的解析結果

本研究では、非制震時とTMDによる制震対策を施した送電鉄塔モデルに対して、地震波を架渉線方向に入力した時の鉄塔塔頂部の最大応答変位に着目して制震効果について検証する。

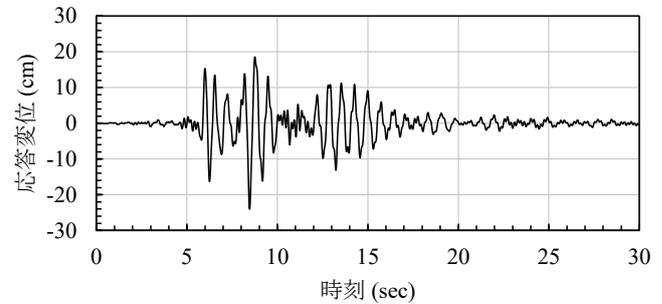
追分NSを架渉線方向に入力した際に、鉄塔頂部の最大応答変位、及び非制震モデルに対する制震モデルの応答低減率を表-1に示す。表-1より、同調比が0.9から1.1の1割程度の範囲を示すTMDで、鉄塔頂部の応答を約1割程度低減できる。但し、同調比が2割以上変化した場合、応答低減率が低い。同調比0.8から1.2までの応答変位時刻歴を図-3に示す。図-3より、同調比1.0のケースがTMDによる制震効果が高い。また、同調比0.9や1.1のケースにおいても、最大応答値を示した後の応答低減効果について確認できる。検討対象の鉄塔モデルに対しては、TMDの同調比が1割程度の範囲内で変動した場合においても、約1割の応答低減効果が発揮されることを確認した。一方で、同調比が1割以上変化した場合であっても、一部で応答増加がみられるものの、応答増大率は数%程度であるため、TMDが過大な応答増加を示すような負の効果をもたらす可能性は低いと考えられる。

表-1 鉄塔頂部最大変位の応答低減率

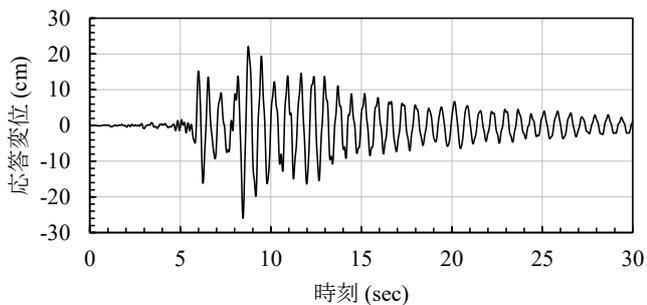
| モデル       | 非制震  | 制震 / 同調比 $\gamma$ |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |
|-----------|------|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           |      | $\gamma=0.5$      | $\gamma=0.6$ | $\gamma=0.7$ | $\gamma=0.8$ | $\gamma=0.9$ | $\gamma=1.0$ | $\gamma=1.1$ | $\gamma=1.2$ | $\gamma=1.3$ | $\gamma=1.4$ | $\gamma=1.5$ |
| 最大変位 (cm) | 27.1 | 26.9              | 26.7         | 26.3         | 26.0         | 24.6         | 24.0         | 25.9         | 28.1         | 27.9         | 27.2         | 27.4         |
| 低減率 (%)   | -    | 0.8               | 1.8          | 3.2          | 4.3          | 9.3          | 11.6         | 4.5          | -3.4         | -2.8         | -0.1         | -1.0         |



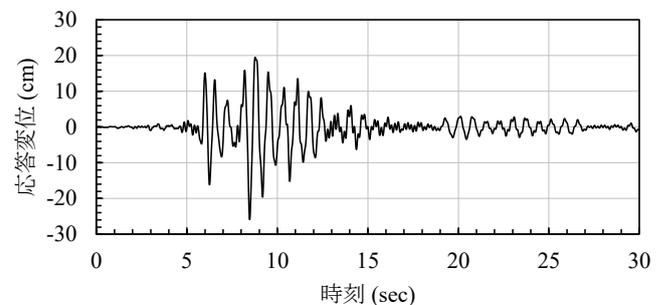
(a) 非制震



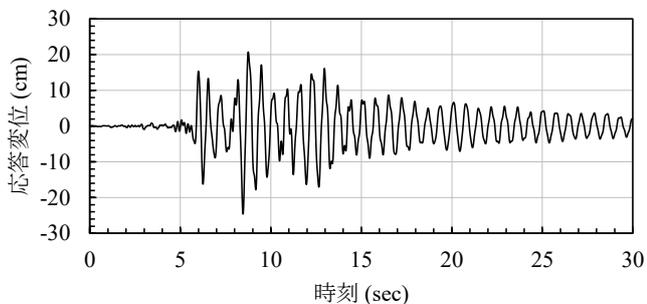
(d) 制震/同調比 1.0



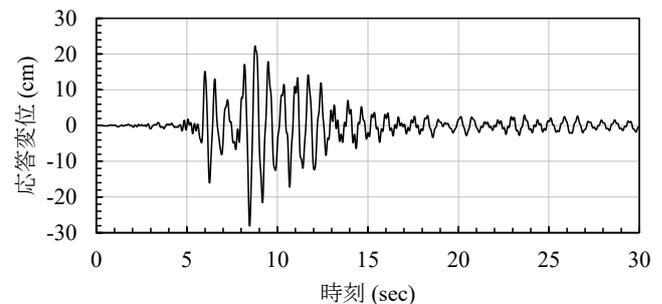
(b) 制震/同調比 0.8



(e) 制震/同調比 1.1



(c) 制震/同調比 0.9



(f) 制震/同調比 1.2

図-3 鉄塔頂部応答変位 (追分 NS)

#### 4. 結論

送電鉄塔に TMD を設置することで、鉄塔の減衰性を高め、TMD の性能条件として、同調比を変化させた場合の応答低減効果について検証した。本検討では、北海道胆振東部地震に対して、鉄塔の 1 次固有周期に同調させた TMD が約 1 割程度の制震効果を示すことを確認した。また、同調比が 1 割程度の範囲内の変化であれば、鉄塔の最大応答を約 1 割程度低減できることが明らかとなった。

#### 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。