

## 同調質量ダンパーを有する多質点縮小模型の耐震性評価

香川高等専門学校 正会員 ○松本 将之 同 賛助会員 塩田 将都 同 賛助会員 山本 夕葉  
同 正会員 林 和彦 同 正会員 長谷川 雄基

### 1. はじめに

我が国の送電鉄塔は、耐風設計を基本としているが、過去に台湾集集地震や兵庫県南部地震、熊本地震等、国内外における大規模地震において、多数の地震被害が報告されてきた。都市生活を支える電力の安定供給の為、鉄塔を初めとする電力施設の機能維持は、重要な課題である。これまでに、制震装置による鉄塔の耐震対策に関する解析的検討がなされている。又、既往の研究により、鉄塔実構造物への制震装置の適用を図る為、任意の固有振動数を有する多層の縮小模型が構築されている。そこで、本研究では、縮小模型に対して、同調質量ダンパー (Tuned Mass Damper, 以下、TMD と称す) を適用し、模型の動的応答特性を比較、評価する。

### 2. 対象構造物と模型の強制振動実験

#### 2.1. 対象構造物と固有振動特性

本検討では、我が国で一般的な 220kV 懸垂型山形鋼鉄塔を対象に、1/50 スケールの等価模型構造物を構築した。主要モードの再現性を考慮し、5 層の塔体とした。検討対象の実構造物と模型構造物の概要を図 1 に示す。なお、模型構造物の固有振動特性は、実構造物の主要モードと一致するようにモデル化している。模型の主要な振動モード図を図 2 に示す。

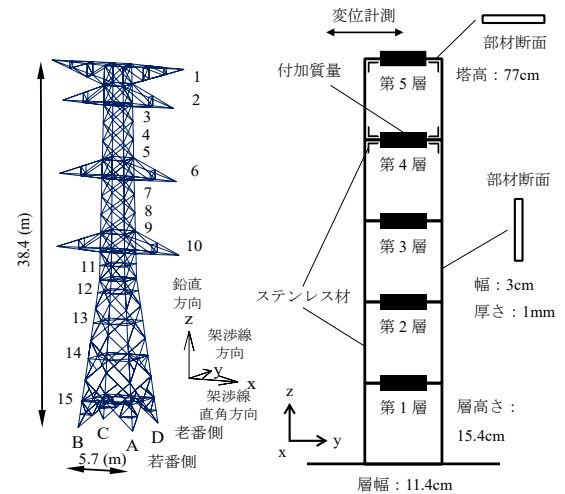


図 1 実構造物と模型構造物

#### 2.2. 強制振動実験と耐震性評価の流れ

本検討では、実構造物と等価な模型構造物に対して、強制振動実験を行い、模型の動的応答特性を把握、評価した。以下に、振動台実験と耐震性評価の流れを示す。

##### [1] 模型構造物 (非制震モデル) の構築

図 1 に示すとおり、既往研究に基づき、構造物の剛性を固定し、各層の付加質量を調整する事で、実構造物と固有周期、及び振動モードが等価な振動系となる模型構造物を構築した。

##### [2] 非制震モデルの固有振動特性の評価

非制震モデルに対して、解析モデルによる固有値解析、及び模型モデルによる自由振動実験を通して、検討対象である模型の固有周期 (1 次 2 次) と固有振動モードを把握した。

##### [3] TMD の性能条件・設置条件の検討

固有値解析、及び自由振動実験の結果を考慮し、同調、設置が容易に可能な振り子式の TMD の性能条件 (固有周期による)、及び設置条件 (固有振動モードによる) を検討した。

##### [4] TMD を有する模型構造物 (制震モデル) の構築

非制震モデルに対し、橋梁分野の実績を考慮した質量比の異なる TMD を設置した制震モデルを構築した。

##### [5] 非制震・制震モデルの動的応答特性の把握と耐震性評価

非制震/制震モデルに対して、2 種の正弦波を入力し、模型の動的応答特性を把握するとともに、TMD による耐震性評価を行う。又、より応答低減効果を示す TMD の性能条件、及び設置条件を探索、提言する。

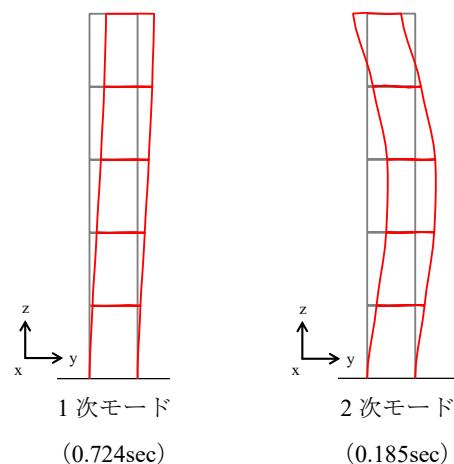


図 2 模型の主要モード図

### 3. 強制振動実験に基づく模型の動的応答特性

本研究では、制震ダンパーとして、非制震モデルの1次固有周期をターゲットした振り子式TMDを検討した。ダンパーの性能条件としては、重錘の質量比を模型の1%、2%、4%でパラメトリックに変更し、振り子の部材長さを調整する事でチューニングを行った。又、ダンパーの設置位置は、固有値解析による主要な振動モードを基に、塔頂部である5層目に設置した。更に、模型への入力加速度は、1次固有周期の成分を含む正弦波（以下、正弦波1次と称す）と2次固有周期の成分を含む正弦波を設定し、実鉄塔における架渉線方向（図1の座標系におけるy軸方向）へ単一入力とした。正弦波1次を入力したケースに関して、塔頂部の最大応答加速度、及び最大応答変位について、非制震モデルと制震モデルで比較したものを表1、及び表2に示す。非制震モデルに対して、制震モデル質量比1%、及び2%のケースで、最大応答が1割から2割程度低減されている。又、応答時刻歴波形のフーリエ振幅を比較すると、1次固有周期近傍の周期帯の応答が減少している。質量比4%のケースでは、応答増大となっているが、ダンパーの付加質量増に起因し、全体構造系の固有周期が変化した事による影響が大きいと考えられる。更に、制震モデルの質量比2%について、固有振動モード図を図3に示す。1次モードは、模型とダンパーが同位相で共振している事が確認できる。この事は、非制震、及び制震モデルの振動実験による応答時刻歴波形の周波数解析結果の比較により、実験時の応答として、ダンパーが模型に共振し、模型の減衰性が向上している点を確認している。従って、強制振動実験により、本模型には、質量比2%程度の性能を有するダンパーが1次の振動に対して有効に機能する事が確認できた。

表1 塔頂部の最大応答加速度と応答低減率

頂部 最大応答加速度		非制震	制震		
			質量比1%	質量比2%	質量比4%
最大入力加速度	(gal)	399	260	544	344
最大応答加速度	(gal)	271	158	298	264
応答倍率(応答/入力)	(-)	1	0.895	0.807	1.130
応答低減率	(%)	-	10.5	19.3	-13.0
フーリエ振幅	(gal・sec)	2325.5	619.8	337.8	13.0
フーリエ振幅倍率	(-)	1	0.409	0.107	0.651

表2 塔頂部の最大応答変位と応答低減率

頂部 最大応答変位		非制震	制震		
			質量比1%	質量比2%	質量比4%
最大入力加速度	(gal)	399	260	544	344
最大応答変位	(cm)	3.60	1.74	3.02	2.82
応答倍率(応答/入力)	(-)	1	0.741	0.616	0.911
応答低減率	(%)	-	25.9	38.4	8.9
フーリエ振幅	(cm・sec)	49.6	17.4	31.8	22.3
フーリエ振幅倍率	(-)	1	0.537	0.471	0.522

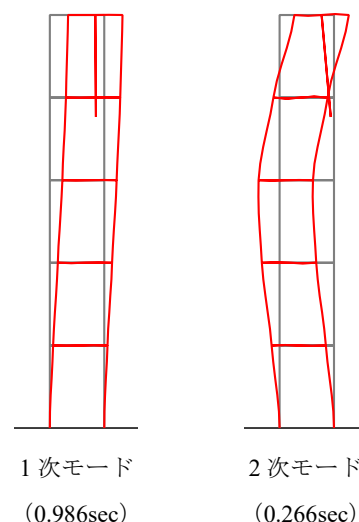


図3 制震モデル（質量比2%）の固有振動モード図

### 4. まとめ

- [1] 本検討に用いた塔状模型に対して、1次固有周期にチューニングした質量比2%程度のTMDを模型へ適用した場合、主系である模型の動的応答に関して、一定の応答低減効果を示す事が確認できた。
- [2] 本検討に用いた模型に対して、1次固有周期にチューニングしたTMDを適用する事で、模型への入力加速度の振動数特性が変化した場合でも、1次固有周期近傍の応答を低減する事が可能であり、最大応答に関しても、大幅な応答増大とは成らない事を確認した。

### 参考文献

松本 将之, 天野 唯翔, 林 和彦, 長谷川 雄基: 振動台実験のための任意の固有振動数を有する多質点縮小模型の構築方法, 令和4年度土木学会四国支部技術研究発表会講演概要集, jsce7-154-2021, 2022年。