

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

香川高等専門学校 正会員 ○松本 将之 香川高等専門学校 賛助会員 天野 唯翔
香川高等専門学校 正会員 林 和彦 香川高等専門学校 正会員 長谷川 雄基

1. はじめに

従来から耐風設計した送電鉄塔は、十分な耐震性能を有するとの認識が一般的であった。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も基準の厳しい鉄塔が多数倒壊した。又、国内においても、大規模地震による送電施設の被害が多発している。この為、今後は地震に対する鉄塔の安全性確保が重要課題である。これまでに、実構造物の固有振動特性や制震装置を用いた耐震対策が解析的に検討されている。そこで、本研究では、実構造物に対する制震装置の有効性を検討する前段として、振動台を用いた模型の耐震対策を検討する為、任意の固有振動数を有する多層の縮小模型を構築する方法について提案する。

2. 対象構造物と模型の振動実験

2.1. 対象構造物と固有振動特性

220kV 懸垂型山形鋼鉄塔（日本標準）を対象構造物として、1/50 スケールの模型構造物を作製した。高次の振動の再現性を含め、1次2次モードを再現する目的で5層塔体とした。検討の対象構造物の概要を図1に示す。模型構造物の固有周期は、実鉄塔の固有値解析より、得られた主要モード（1次2次）の固有周期を目標値とする。固有振動モードを図2に示す。

2.2. 振動実験に基づく模型構築の流れ

以下の流れで目標の振動特性を有する模型構築を行う。

- [1] 比較対象となる基準模型の5層の質量配分を決定し、その質量条件を満たす模型を付加質量の調整により作製する。
- [2] 1次モードを初期強制変位として自由振動実験を行い、応答変位を計測する。時刻歴に関して、フーリエスペクトルを求め、卓越振動数の分析を基に、1次固有周期を決定する。
- [3] 1次固有周期に関して、模型の固有周期と目標値との誤差が3%以内であれば、次ステップへ進み、許容範囲外であれば、1質点系の固有周期の式より、質量配分を補正する。
- [4] 2次モードを初期強制変位として自由振動実験を実施し、応答変位の波形解析により、2次固有周期を決定する。
- [5] 2次固有周期に関して、模型の固有周期と目標値との誤差が3%以内であれば、模型の完成とし、許容範囲外であれば、2次モードより3層目の質量配分を補正する。更に、再度[2]の1次モードの精度検証へ戻り、繰り返し実験を行う。

2.3. データ間隔と分解能

分析データの精度を高める為、要求する周波数データ間隔や分解能を設定し、この精度に必要な計測時の時刻歴波形の取得条件を決定した。計測条件は、時間間隔 $\Delta t=0.002\text{sec}$ 、及びデータ数 $n=20000$ 点とした。従って、波形解析後のデータの精度は、周波数間隔 $\Delta f=0.015\text{Hz}$ 、及びナイキスト周波数 $f_{nyq}=250\text{Hz}$ となる。

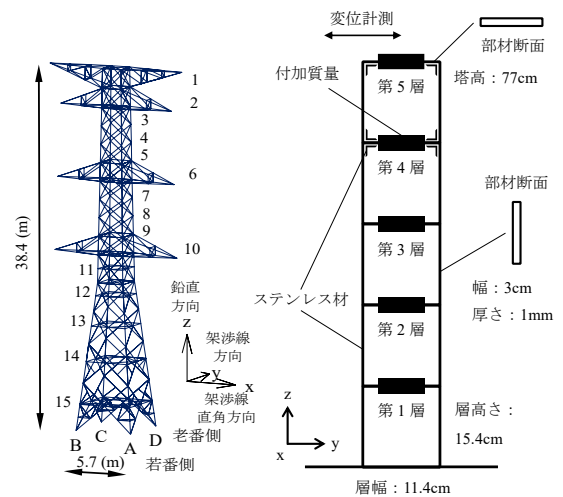


図1 実構造物と模型構造物

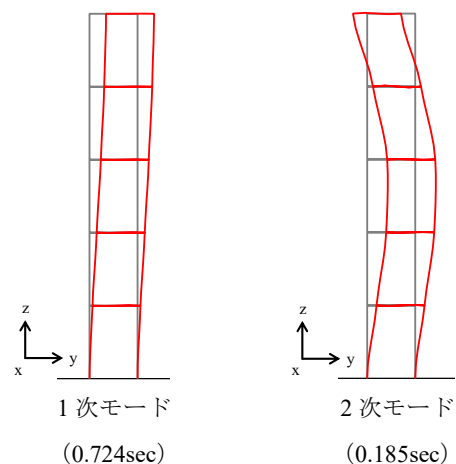


図2 主要モード図

3. 自由振動実験に基づく付加質量による模型構造物の構築

付加質量の調整により、5層の質量配分率を変化させて、模型の応答変位（頂部と中間部）を計測し、時刻歴の波形解析に基づいて卓越振動数を算出し、固有周期の把握を行った（図3）。実験1回目から3回目迄の質量配分、及び計測による固有周期と目標値の誤差率を表1に示す。実験1回目では、1次固有周期の誤差は許容値内だが、2次固有周期の誤差が短周期側に大きい。2回目では、2次固有周期の精度を高める為、3層目の質量を任意に増加させて、固有周期を計測した。塔体全質量が増加した為、1次モードの精度が低下している。3回目では、再度、1質点系の固有周期に関する式を適用し、1次モードの補正を行った。この結果、1次モードの高精度、且つ2次モードの誤差減少が確認できた。従って、主要モードの再現には、3層目の付加質量を線形補正し、1質点系の固有周期の式を用いて模型の質量条件を決定する方法が有効と考えられる。4回目、5回目に関して、図4に3層目質量を線形補正し（図中破線）、1次モード補正済みの実験結果を示す。1次2次の周期誤差は、いずれも許容範囲内の3%以下であり、目標の振動特性を有する模型が構築された。

表1 各実験ケースの付加質量と固有周期

【実験1回目】

層名 (層)	質量 (g)	配分率 (%)
5	3000	39.0
4	2800	36.4
3	1000	13.0
2	500	6.5
1	400	5.2
総質量	7700	100.0

次数 (次)	計測周期 (sec)	目標周期 (sec)	誤差率 (%)
1	0.745	0.724	2.8
2	0.169	0.185	-8.7

【実験2回目】

層名 (層)	質量 (g)	配分率 (%)
5	3000	38.0
4	2800	35.4
3	1200	15.2
2	500	6.3
1	400	5.1
総質量	7900	100.0

次数 (次)	計測周期 (sec)	目標周期 (sec)	誤差率 (%)
1	0.753	0.724	4.0
2	0.171	0.185	-7.5

【実験3回目】

層名 (層)	質量 (g)	配分率 (%)
5	2800	37.8
4	2600	35.1
3	1100	14.9
2	500	6.8
1	400	5.4
総質量	7400	100.0

次数 (次)	計測周期 (sec)	目標周期 (sec)	誤差率 (%)
1	0.728	0.724	0.6
2	0.171	0.185	-7.6

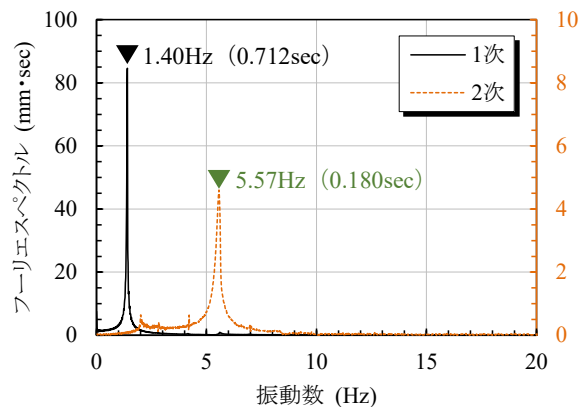


図3 頂部応答変位のフーリエスペクトル

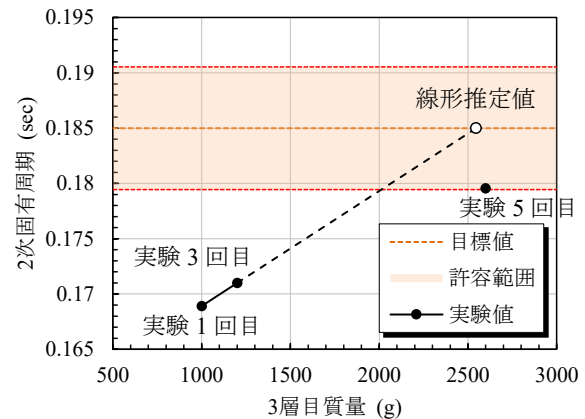


図4 3層付加質量と2次固有周期

4. まとめ

- [1] 1次モードの再現性に関して、1質点系の固有周期に関する式に基づき、付加質量の補正を行う事で、1次固有周期の誤差が許容値内に収まる結果となり、1次モードの再現性向上に同式が有効であることを確認した。
- [2] 主要モードの再現性に関して、1次固有周期の補正後、3層目の質量配分率を変化させ、再び1次固有周期に補正する事は、1次モードの再現性を高く維持し、且つ2次固有周期の目標値との誤差を減少させることを確認した。模型の構築方法として、3層目の付加質量の調整と1次モードの補正による方法が有効である。

参考文献

佐藤 貢一, 土本 耕司, 高木 政美, 長瀧 慶明: 構造モニタリングシステムの開発に向けた基礎的検討, 大成建設技術センター報, 第43号, pp.10-1-10-4, 2010年.