

鉄塔構造物の縮約試験体を用いた振動台実験に関する基礎研究

SR モデルを用いたシミュレーション解析による検討

Study on Shaking Table Experiments Using Specimens of Steel Tower Structures

Study by simulation analysis using SR model

○澁澤明歩¹, 秦一平², 郭鈞桓³, 阿久戸信宏²Akiho Shibusawa¹, *Ippei Hata², Chunhuan Kuo³, Nobuhiro Akuto²

Abstract: In this paper, shaking table experiments were conducted on scaled specimen of steel tower structure. Simulation analysis was conducted based on the experimental results obtained and compared. The analytical model is the SR model, which is scaled down from a 3D model of the same scale as the test body. The validity of the SR model was confirmed by comparison with experimental results.

1. はじめに

これまでの鉄塔構造物の設計において風荷重が支配的であり、地震荷重に対しては十分な耐力を保持していると考えられていた。しかし、建設電気技術協会の「新潟県中越沖地震における電気通信施設被災状況調査報告」^[1]や野島の「阪神・淡路大震災における電力・ガス施設の被害と復旧」^[2]によると兵庫県南部地震などの近年に発生した大地震において、柱脚部や鉄塔部材に被害を受けた例が多くあり、鉄塔構造物の地震対策の必要性が高まっている。

筆者らは、既往研究^[3]において100m級の鉄塔構造物の制震システムとして提案されている鉛直シアリンクシステムを配置した縮約試験体を用いて動的性能確認試験を実施し、その応答低減効果から制震性能について確認している。この研究で、原構造の塔状構造物を縮約した立体モデルおよび試験体の整合性を確認した。しかし、振動台実験を実施するにあたって実応答を模擬した結果が得られる反面、コストや労力を要することにおいては欠点であるといえる。

そこで本研究では、鉄塔構造物を対象に実応答を簡便に再現可能なリアルタイムオンライン応答試験を実施することを見据えて、振動台実験試験体の立体モデルを1質点系に置換したSRモデルを用いてシミュレーション解析を行った。振動台実験結果との比較検討により縮約したSRモデルの妥当性について考察する。

2. 振動台実験概要

試験体概要図を Fig.1 に示す。試験体は高さ120[m]根開き25[m]の鉄塔構造物を模擬し、鉄塔構造物の下層部を縮約した2層モデルとした。縮約スケールは約1/7である。下層部に4基の制震システム(C型・MC型)

を配置して試験を実施する。また、試験体中心部を軸とする軸回転柱を設け、かつ、1層目の支柱材をコイルばねとすることでロッキング振動を模擬することが可能な試験体である。

Fig.2 に非制震およびC型とMC型の正弦波加振試験を実施し、得られた試験体の動的性能を示す。また、立体モデルを用いた理論値の結果を実線で併せて示す。振動台実験の試験体の動的性能が立体モデルと良い対応を示していることが確認できる。

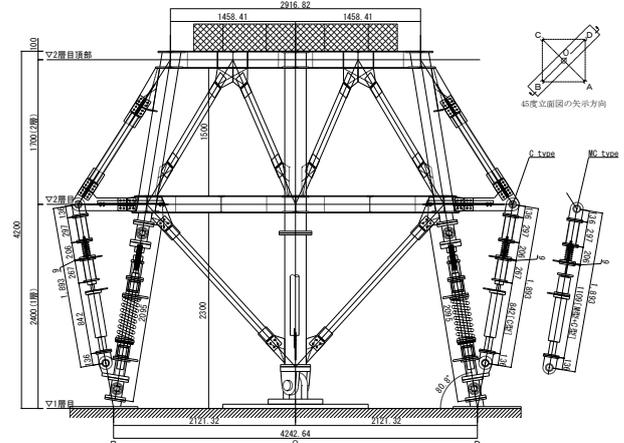


Fig.1 Test setup

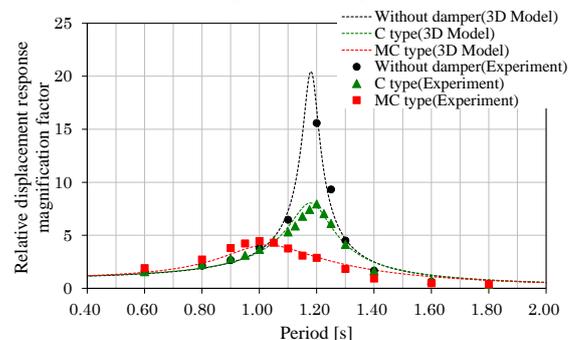


Fig.2 Relative displacement response magnification factor of without damper, C type and MC type

3. シミュレーション解析モデル概要

本検討では、振動台実験結果との比較検討に試験体を同スケールでモデル化した立体モデルと、立体モデルを縮約した質点系モデル（以下、「SRモデル」）の2種類を用いる。なお、立体モデルは2章で示したように試験体と良い対応を示していることを確認している。

SRモデルはFig.3に示すモデルの釣り合い条件より(1)式から(6)式を用いてSRモデルの回転剛性 k_R を決定する。なお、本研究では、質量 $m = 10.62$ [ton]、高さ $H = 4.1$ [m]、値開き $l = 2.12$ [m]、支柱軸剛性 $k_s = 520$ [kN/m]とする。立体モデルとSRモデルの複素固有値解析結果をTable1に示す。各モデルの結果が良い対応を示していることが確認できる。

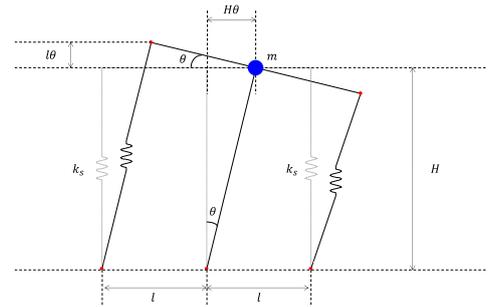


Fig.3 Target SR model

Table1 Eigenvalue analysis results

Mode	Eigen period [s] (Without damper)	
	3D model	SR model
1	1.175	1.179

$$\sum M_0 = 0 \rightarrow mH^2\ddot{\theta} + 2k_s l^2 \theta = 0 \quad (1)$$

$$\omega = \sqrt{(2k_s l^2)/(mH^2)} \quad (2)$$

$$T = 2\pi \sqrt{m / \left(\frac{2k_s l^2}{H^2}\right)} \quad (3) \quad T = 2\pi \sqrt{m / \left(\frac{k_R}{H^2}\right)} \quad (4)$$

$$k_R = 2k_s l^2 \quad (5) \quad K = 1 / \left(\frac{1}{k_s} + \frac{H^2}{k_R}\right) \quad (6)$$

ω : Natural circular frequency
 K : Equivalent stiffness [kN/m] T : Natural period [s]

4. 実験結果及びシミュレーション解析結果の比較

実験およびシミュレーション解析に用いた入力地震動は告示波 (Case1) とサイト波 (Case2) を用いる。

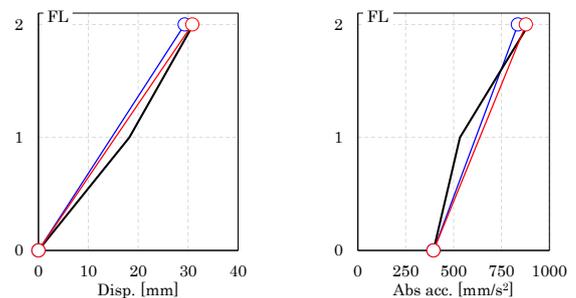
Fig.4およびFig.5にCase1の非制震、C型、MC型の応答結果の比較を示す。振動台実験 (凡例: Test) と立体モデル (凡例: 3D Model)、質点系モデル (凡例: SR Model) のシミュレーション解析結果が良い対応を示していることが確認できる。

5. まとめ

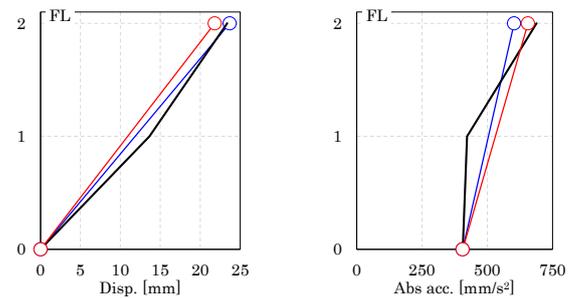
実大の鉄塔構造物を模擬した振動台実験と立体モデル、SRモデルとの比較検討を行った。本報で得られた知見を以下に示す。

- ・ ロッキング振動が卓越する鉄塔構造物においては、非制震の場合、振動台実験、立体モデル、質点系モデルで良い対応を示すことを確認した。
- ・ 地震波入力加振による振動台実験においては、非定常振動による摩擦等の減衰特性の変化、ダンパー部分の入力変位の相違等によってシミュレーション解析との若干の応答差が発生したと考えられる。
- ・ 本研究で示したSRモデルを用いてリアルタイムオンライン応答試験を実施し、有効性を確認する。

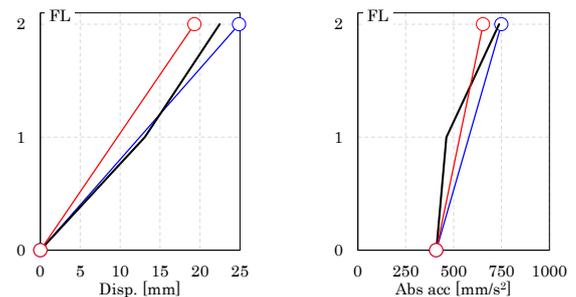
— 3D model ○ Experiment ○ SR model



(a) Without damper

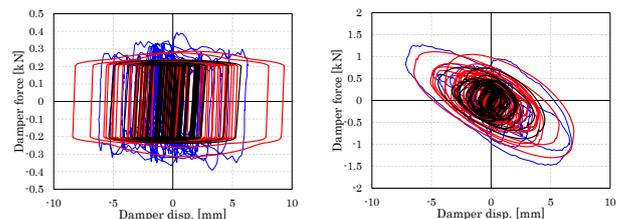


(b) C type



(c) MC type

Fig.4 Response result (Case1)



C type

MC type

Fig.5 Damping characteristics of dampers (Case1)

参考文献

[1] 新潟中越地震における電気通信施設被災状況調査, 報告書団法人 建設電気技術協会, 1941
 [2] 野島: 阪神・淡路大震災における電力・ガス施設の被害と復旧, 安全工学, 31巻, 1号, pp.50-56, 1996
 [3] 河内ら, 他5名: 鉛直シアリンクシステムを用いた制震改修に関する研究, 日本大学理工学部学術講演会予稿集, B-13, pp.29-30, 2020