

論文 / 著書情報
Article / Book Information

| | |
|-------------------|--|
| 論題(和文) | 振動台実験を模擬する起振機を用いた多層制振フレームの簡易振動実験手法の提案：その4 動的加振を再現する慣性質量装置を用いた実験の考察(構造) |
| Title | |
| 著者(和文) | 添田幸平, 石田琢志, 佐藤 大樹, 北村春幸, 佐々木和彦, 宮崎充, 岩崎 雄一, 吉江慶祐, 石井正人 |
| Authors | Kohei Soeta, Takushi ISHIDA, daiki sato, Haruyuki Kitamura, Kazuhiko Sasaki, Mitsuru MIYAZAKI |
| 出典 / Citation | 日本建築学会関東支部研究報告集, Vol. 80, , pp. 365-368 |
| Citation(English) | , Vol. 80, , pp. 365-368 |
| 発行日 / Pub. date | 2010, 2 |
| rights | 日本建築学会 |
| rights | 本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである |
| relation | isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110008729975 |

振動台実験を模擬する起振機を用いた多層制振フレームの簡易振動実験手法の提案
その4 動的加振を再現する慣性質量装置を用いた実験の考察

構造-振動

準会員 ○ 添田幸平^{*1} 正会員 石田琢志^{*1} // 佐藤大樹^{*1}
// 北村春幸^{*1} // 佐々木和彦^{*2} // 宮崎充^{*2}
// 岩崎雄一^{*2} // 吉江慶祐^{*3} // 石井正人^{*3}

振動実験 動的加振 慣性質量装置
起振機 粘性ダンパー 摩擦ダンパー

1. はじめに

本報その3では、ランダム波加振時における振動台の応答を模擬するのに必要な最適起振力および最適起振機設置階の算出と、振動台応答の模擬精度を検証した。本報その4では、慣性質量装置を用いて動的加振を再現し、本報その3で提案された実験手法の有効性を検証する。

2. 実験概要

2.1 試験体及び制振部材

図1に10層試験体を示す。10層試験体の全層に粘性ダンパーを単独配置し弱非線形性を持つVVVモデル、各層に履歴ダンパーを単独配置し強非線形性を持つHHHモデル、さらに1-6層に履歴ダンパーを配置し、7-10層に粘性ダンパーを配置したHHVモデルの3タイプを用いる。主架構(ダンパー非設置時)の総重量は43.6kN、各階の平面構成は1000mm×500mm、階高は380mmである。柱材は1-3、4-6、7-11階で板厚の異なる3種類の板ばねを用い、床材については全階に厚さ100mmの鋼板を用いている。制振部材は取り付け角度 $\theta = 37.8^\circ$ の勾配でブレース形式に交互に配置し、ボルト締め付けによる面圧力で得られる摩擦力を減衰力とした摩擦ダンパーと、容器と可動板の隙間に生じる粘性体せん断抗力を減衰力とした粘性ダンパーをそれぞれ使用する。詳細は文献1)を参照して頂きたい。

2.2 慣性質量装置

本実験は試験フレーム内に錘を組み込むことができないため、図1に示すように試験体、加振装置となる変位制御アクチュエータ、加振力である慣性力を生み出す錘 ($M_m =$ 約4.3g) を直列に配列することで構成される。慣性質量装置の設置階は、実験装置の性能の限界より8階以上の階を加振するという条件の下、2次モードの節である8階と、全モードが励起される11階を選定した。

慣性質量を用いた加振実験において、慣性質量装置は自重を支持できる機構を持ち、水平力のみ試験フレームに伝達する機能が求められる。これを考慮し、錘をローラーにより支持する方式を採用す

る。試験フレームと慣性質量装置の接合部はロードセルとアクチュエータを介して両端を球面軸受で接合し、錘の慣性力を試験フレームに伝達する。アクチュエータ、アクチュエータ付近に接合された球面軸受および取り付け治具を含めた重量が52.4kgfであり、さらに、フレーム側ロードセルの重量が30.4kgfである。事前に行った解析シミュレーションでは、この重量を考慮し、試験体モデルの加振階にアクチュエータ付近重量の半分とフレーム側ロードセル重量を合わせた82.8kgfを加えている。

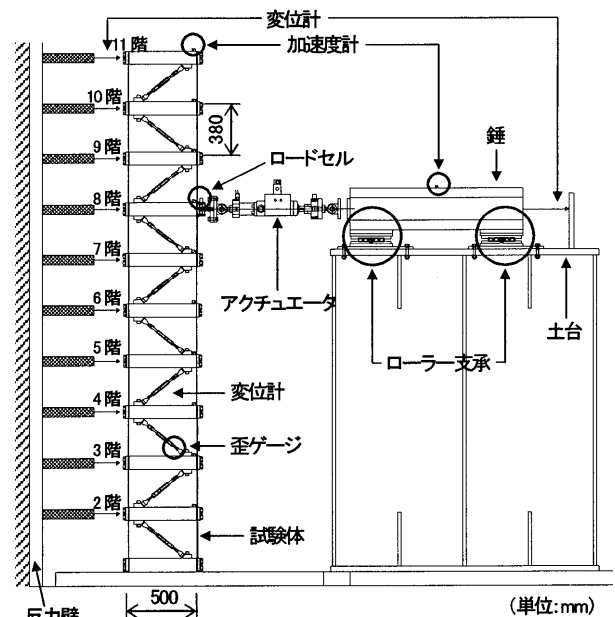


図1 実験システムの概要

表1 計測システム

| 計測項目 | 計測機器 | 計測場所 |
|---------|-----------|----------------|
| 各階絶対加速度 | サーボ型速度計 | 2~11F |
| 各階絶対変位 | 接触型変位計 | 2~11F |
| 加振力 | ロードセル | 錘, フレーム側接合部 |
| 錘絶対加速度 | 歪ゲージ式加速度計 | 錘 |
| 錘絶対変位 | 接触型変位計 | 錘 |
| ダンパー変位 | 接触型変位計 | 1~10層 |
| ダンパー荷重 | 歪ゲージ | 1~10層 |
| ダンパー温度 | 温度計 | 1~10層 |

2.3 計測項目

本実験装置における計測システム(計測項目, 計測機器および計測場所)を表1にまとめる。これらのデータのサンプリング周波数は1000 Hzとし, 実験後0.1~30 Hzの範囲でバンドパスフィルタをかけノイズ除去を行う。

3. 目標加振力を再現するアクチュエータ変位の算出

ここでは, 本報その3の手法より算出した振動台加振時応答を模擬する加振力 $_{sp}F(t)$ (以後, 目標加振力と称す)を再現するためのアクチュエータ変位 $x_{A0}(t)$ の算出方法を図2を用いて説明する。振動台加振波はHACHI10, HACHI20, KOBE10, KOBE20, TOMA10, TOMA20の6波を用いる。

まず, アクチュエータ変位 $x_{A0}(t)$ は錘の動きだけでなく試験体の動きも考慮する必要がある, 次式に示すように錘の絶対変位 $x_m(t)$ と加振塔の絶対変位 $x_i(t)$ との差分から算出する。

$$x_{A0}(t) = x_m(t) - x_i(t) \tag{1a}$$

$$x_m(t) = \iint ({}_{igt}F(t) / M_M) dt dt \tag{1b}$$

しかし, $x_{A0}(t)$ を用いて加振実験を行っても, 錘を支えるローラーに生じる摩擦, さらに試験体と錘との相互作用を無視しているため, 目標加振力を再現することはできない。そこで, 次の操作を行うことでこれらの影響を改善する。

加振実験で計測された加振力 $_{sp}F(t)$ (以後, 計測加振力と称す)とアクチュエータ変位 ${}_{sp}x_A(t)$ から伝達関数 $H(\omega)$ を算出する。この伝達関数 $H(\omega)$ を用いて再度 $x_A(t)$ を算出し, 式(2)に示す再現誤差 E_r ²⁾が20%未満になるまで収斂作業を行った。

$$E_r = \frac{\sum ({}_{rsp}F(\omega) - {}_{igt}F(\omega))^2}{\sum {}_{igt}F^2(\omega)} \times 100 \tag{2}$$

なお, 実験で用いるアクチュエータの追従性能は20Hzが限界であったため, 式(2)を0~20Hzの間で評価した。

収斂後の8階加振における計測加振力と, 目標加振力のフーリエ振幅スペクトルおよび時刻歴を比較して図3に示す。収斂後における計測加振力は, 主要部分で大きな誤差がみられず, 十分な精度で目標加振力を再現できているといえる。以上より, 本手法で算出したアクチュエータ変位は, 弱非線形性を持つVVVモデル, 強非線形性をもつHHH, および両方の性質を持つHHVモデルのいずれのモデルにおいても, 十分な精度で目標加振力を再現できた。さらに8および11階加振でも, HACHI20以外の加振波でも同様の精度が得られた。

4. 実験結果

8, 11階加振での層間変位, ダンパーによるエネルギー吸収量 W_D について, 事前に行った解析シミュレーションによる8, 11階加振

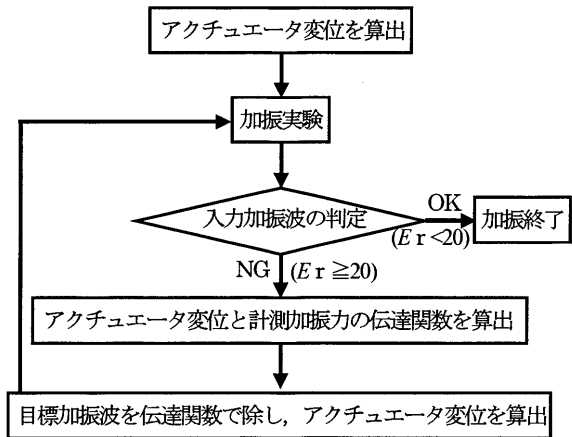


図2 アクチュエータ変位の決定フロー

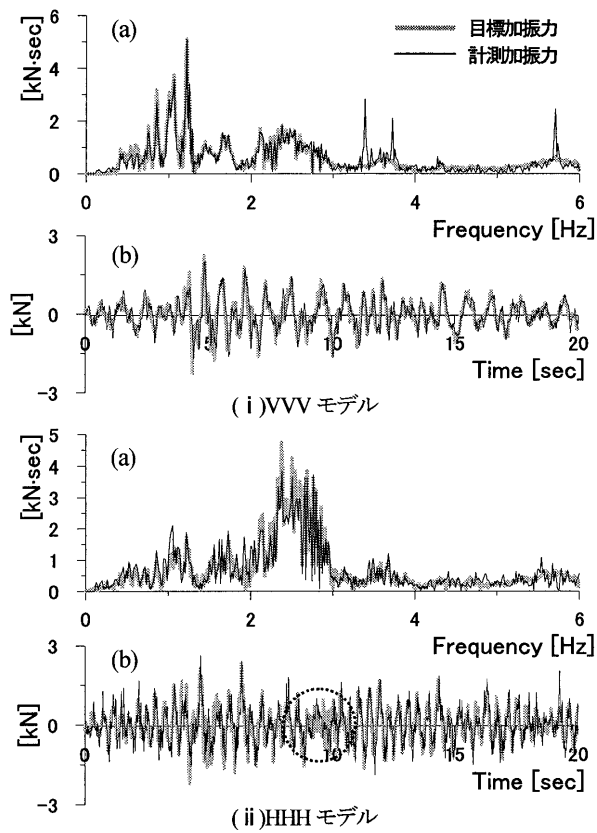


図3 収斂後の入力加振力におけるフーリエ振幅スペクトルと時刻歴(0~20 sec)の比較(加振波: HACHI20)

時応答(以後, 目標応答と称す)と実験で計測された計測応答とを比較する。以後示す応答は, 全て振動台加振波HACHI20における各モデルの加振時応答である。

4.1 高さ方向における最大値応答

高さ方向における最大層間変位応答の比較を図4に, ダンパーによるエネルギー吸収量 W_D の比較を図5に示す。図4に示すように, 最大層間変位応答では, VVVモデルにおいては10層を除いて計測応答が目標応答を上回り, HHHおよびHHVモデルでは層によっ

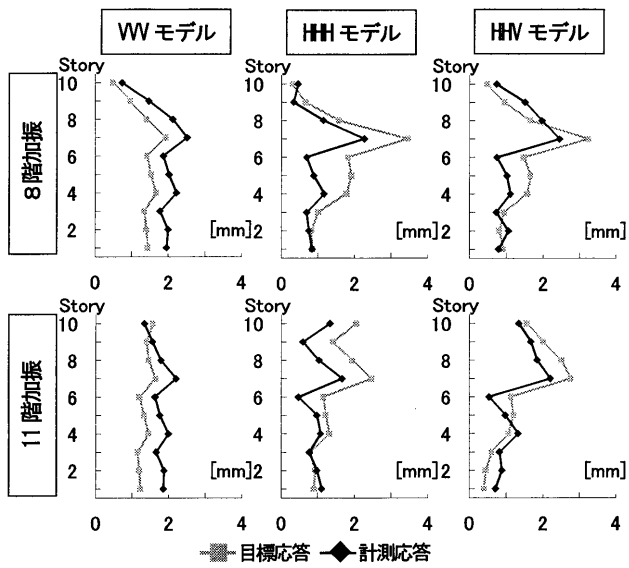


図4 最大層間変位応答の高さ方向による比較

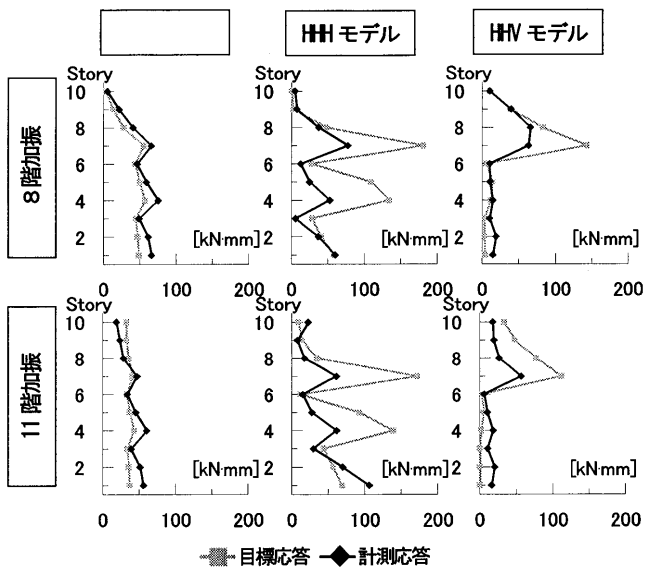


図5 ダンパーによるエネルギー吸収量の高さ方向による比較

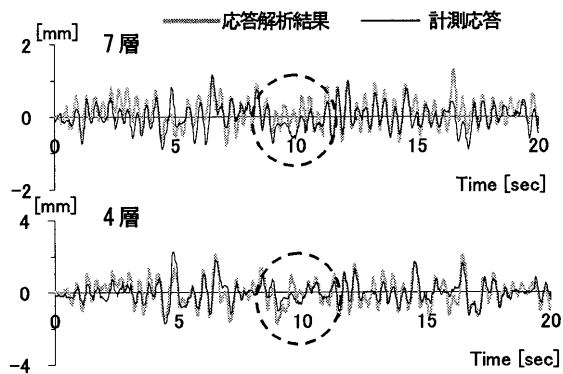


図7 計測加振力を用いた応答解析結果 (0~20sec)
(HHモデル8階加振)

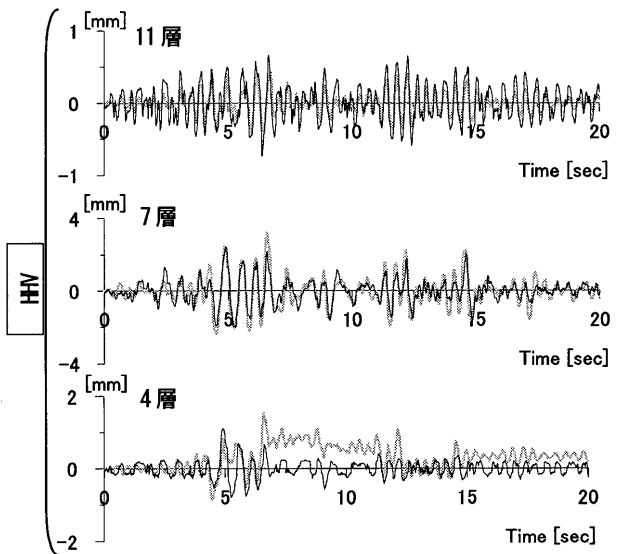
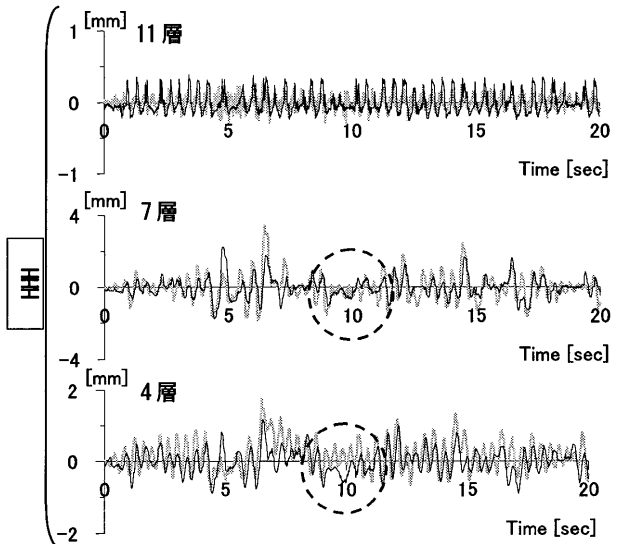
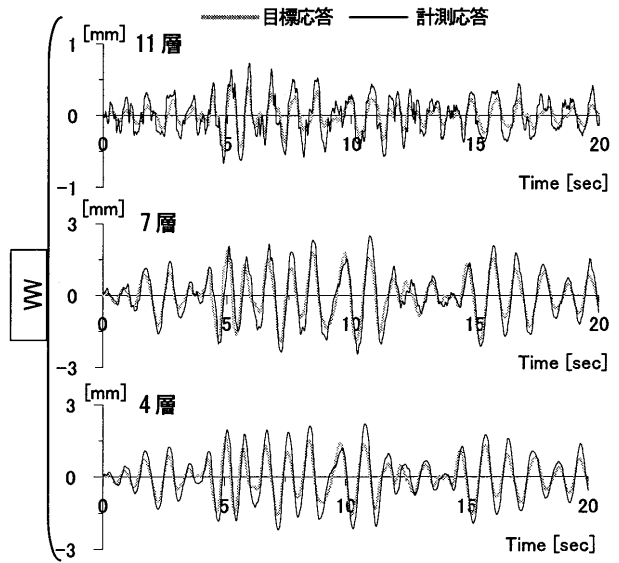


図6 層間変位時刻歴 (0~20sec)(HACHI20)

て誤差にばらつきがあるが、いずれのモデルにおいても、計測応答は目標応答の傾向を十分に捉えている。図5に示すように、ダンパーによるエネルギー吸収量においても、各モデルで最大層間変位応答と似た傾向を持ち、目標応答の傾向を捉えている。高さ方向における最大層間変位応答、およびダンパーによるエネルギー吸収量は HACHI20 以外の加振波でも同様の傾向が得られた。

4.2 層間変位時刻歴波形とダンパーの履歴曲線

4.1 節で示した層間変位各層の誤差を時刻歴で見えていく。8 階加振における 4, 7, 10 層の層間変位時刻歴波形の比較を図5に示す。時間軸は主要動部分を含む 0-20 sec とする。VVV モデルにおいては、4, 7, 10 層全ての層で目標応答を再現できている。HHH モデルでは VVV モデルに比べ再現性が低い。特に4層においては 10 sec 付近で位相ずれが生じていて、図3の計測加振力でも 10 sec 付近で位相ずれが生じている。この加振力を用いて応答解析を行った結果を図7に示す。図7に示すように、計測加振力を用いても位相のずれは改善されないことから、履歴ダンパーのモデル化の精度に原因があると考えられる。

HHV モデルでは、粘性ダンパーを配置した7層では目標応答を再現できているが、履歴ダンパーを配置した4層では再現性が低い。

そこで、4層におけるダンパーの履歴曲線を図7に示す。履歴曲線を比較すると計測応答は目標応答を十分に再現できていない。ダンパーのモデル化の精度が低いことがわかる。実験で使用した粘性ダンパーには約 0.2 mm のがたが生じ、履歴ダンパーでは約 0.3 mm のがたを生じていた。目標応答を求めている解析モデルでは、がたを含めたスリップモデルにしていない。また計測応答との剛性の違いが見て取れる。図6の層間変位時刻歴応答波形において、小振幅で誤差が大きい要因として、がたによる影響であると考え。特に $S_v = 10 \text{ cm/sec}$ のレベルに設定した HACHI10, KOBE10 および TOMA10 では応答振幅が小さいため、がたの影響が相対的に大きい。

5. まとめ

多層フレームの震動大実験を模擬する事を目的として、慣性質量を用いた動的加振実験を行い、目標応答と実験結果を比較し、実験手法の有効性を検証した。得られた結果は以下の通りである。

- (1) 目標加振力を再現するアクチュエータ変位を、アクチュエータ変位と計測加振力との伝達関数より求める手法を提案した。いずれのモデル(全層に粘性ダンパーを配置した VVV モデル、全層に履歴ダンパーを配置した HHH、および下層部に履歴ダンパーを配置し、上層部に粘性ダンパーを配置した HHV モデル)においても、計測加振力は目標加振力を十分な精度で再

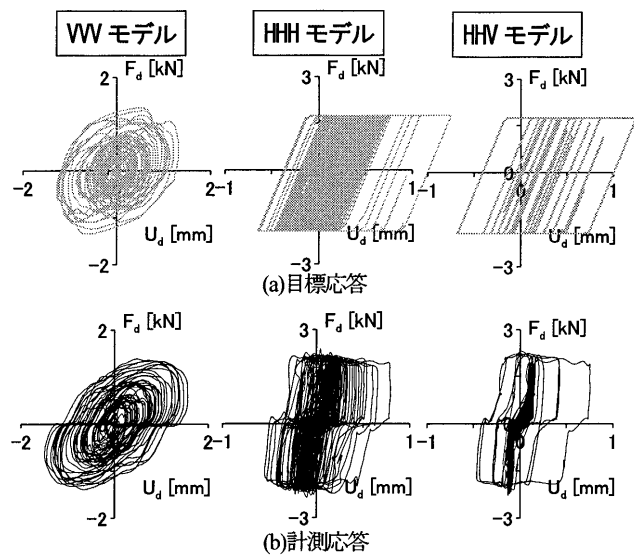


図9 各モデルにおける4層に設置したダンパーの履歴曲線

現できた。さらに、8, 11 階の両加振階においても、HACHI20 以外の加振波においても同様に目標加振力を十分な精度で再現できた。

- (2) 高さ方向における最大値応答の比較では、層間変位およびダンパーによるエネルギー吸収量ともに、計測応答が目標応答の傾向を捉えている。
- (3) 時刻歴応答波形およびダンパーの履歴曲線から、応答振幅の小さいところではダンパーにおけるモデル化の精度が悪く、目標応答との誤差が大きいが、VVV モデルにおいては目標応答を十分な精度で再現できている。

以上のことから、実験装置は試験体の動的応答を再現し、実験手法の有効性は示せた。

謝辞

本研究は、オイレス工業(株)の施設を使用し行ったものです。オイレス工業(株)の長田修一氏には貴重なご助言をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 石田琢志, 佐藤大樹, 北村春幸, 佐々木和彦, 宮崎充, 吉江慶祐, 石井正人, 藤田隆史: 履歴型・粘性型ダンパーをハイブリッドに配置した10層フレームの振動台実験, 構造工学論文集 Vol.55B, pp507-515, 2009.3
- 2) 梶原浩一, 佐藤栄児, 田川泰敬: 実大三次元震動破壊実験装置(E-ディフェンス)の加振性能と活用について, 運動と振動の制御シンポジウム講演論文集 No.9, pp313-316, 2005

*1 東京理科大学 *2 オイレス工業(株) *3 (株) 日建設計