

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	2078 振動台実験を模擬する起振機を用いた多層フレーム簡易振動実験手法の提案：その2 ランダム波加振時の線形・非線形モデルに対する検討(構造)
Title	
著者(和文)	宮澤 和也, 石田琢志, 佐藤 大樹, 佐々木和彦, 北村春幸, 宮崎充, 吉江慶祐, 石井正人, 藤田隆史
Authors	Takushi ISHIDA, daiki sato, Kazuhiko Sasaki, Haruyuki Kitamura, Mitsuru MIYAZAKI, Takafumi FUJITA
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集 I, , No. 79,
Citation(English)	, , No. 79,
発行日 / Pub. date	2009, 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: <a href="http://ci.nii.ac.jp/naid/110007453931">http://ci.nii.ac.jp/naid/110007453931</a>

# 振動台実験を模擬する起振機を用いた多層フレーム簡易振動実験手法の提案 その2 ランダム波加振時の線形・非線形モデルに対する検討

構造—振動

準会員 ○ 宮澤和也<sup>\*1</sup> 正会員 石田琢志<sup>\*1</sup> 同 佐藤大樹<sup>\*1</sup>  
同 佐々木和彦<sup>\*2</sup> 同 北村春幸<sup>\*1</sup> 同 宮崎充<sup>\*2</sup>  
同 吉江慶祐<sup>\*3</sup> 同 石井正人<sup>\*3</sup> 同 藤田隆史<sup>\*4</sup>

起振機実験 振動台実験 理論式

制振構造 履歴ダンパー 粘性ダンパー

## 1. はじめに

本報その1では、正弦波加振時応答の再現性の検討を行った。本報その2では、Liner、HD、VDモデルを対象としたランダム波加振時における振動台の応答を再現するのに必要な最適起振力の算出方法および最適起振機設置階の提案について述べ、その再現性の精度を時刻歴応答解析により検証する。

## 2. 起振機におけるランダム波加振の再現性の検討

はじめに本章では、振動台加振時の*i*層（起振機設置階）相対変位の時刻歴波形を起振機加振波とした場合の、起振機加振での振動台ランダム波加振の再現性について述べる。その概要について図1に示す。その際、本章では最大起振力*F*は試行錯誤で決定している。図2はLinerモデルにおいて振動台加振波はKOBE20（本報その1参照）、起振機設置階を11Fとし、起振機加振波は、振動台加振時の11Fにおける相対変位時刻歴波形を、最大起振力*F*=0.77kNとなる時刻歴波形とした時の高さ方向における最大値分布の比較である。図3は同様の加振での相対変位時刻歴波形の比較である。詳しい考察は4章に行うが、相対変位応答において精度良く再現できることが確認された。また、6、8F設置時でも同様にある程度の再現性を有することが確認された。なお、振動台加振時の相対速度、絶対加速度の時刻歴波形を入力した検討も行ったが、図2、3のような精度での再現は不可能であったことを追記しておく。

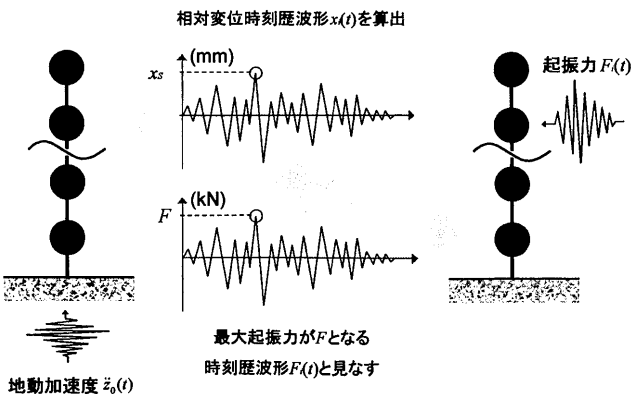


図1 起振機入力波の概要

3章では、応答を再現する際に試行錯誤的になってしまう最大起振力*F*（以後、最適起振力*F*）の算出方法について述べる。

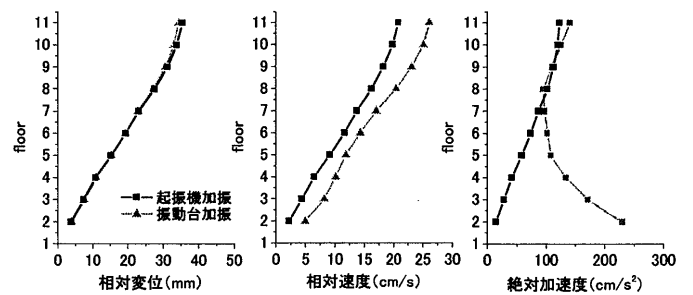


図2 Linerモデル最大値応答比較 (KOBE20、11F加振)

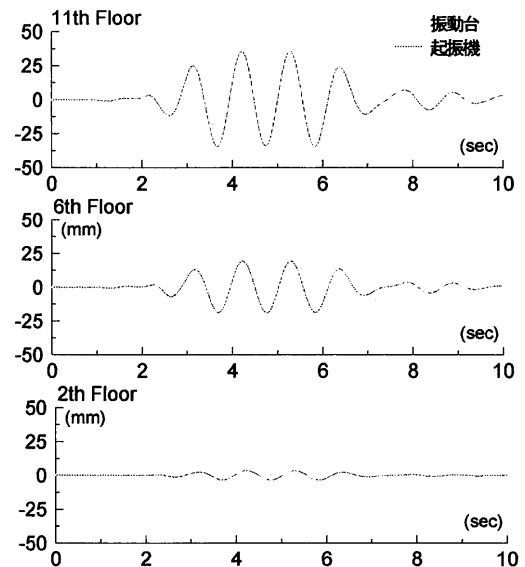


図3 Linerモデル相対変位比較 (KOBE20、11F加振)

## 3. 最適起振力算出手法

### 3.1 最適起振力算出手法の概要

本報その1では、正弦波加振時における線形性を利用した最適起振力の算出手法について述べた。本章では、その手法を応用したランダム波加振時での各モデルにおける、起振力算出手法を提案する。線形モデル同様、振動台加振時の最上階の最大相対変位 $x_s$ を用いて理論式（本報その1式(8)）により最大起振力 $F_0$ を算出する。その際、理論式に用いる円振動数 $p$ は、起振機を設置する*i*層の振動

台加振時の相対変位時刻歴波形をFFTしたフーリエ・スペクトルにより算出される卓越円振動数を用いる。また、HD、VDモデルにおいては等価線形化を行う必要がある。等価線形化はフレームとダンパーを合わせたシステムで行い、複素バネによる等価線形化法により $s, \omega_{eq}, h_{eq}$ を算出した<sup>1)</sup>。図4に $F_0$ 算出までの流れを示す。本報その1では、理論式から算出された $F_0$ と実際の最適起振力 $F$ との誤差を線形則により修正したが、非線形モデルにおいては次節のような修正手法を行った。

### 3.2 最適起振力 $F$ 算出フロー (非線形モデル)

非線形モデルでの誤差を修正するため下記の手法により最適起振力 $F$ を算出した。

- (1) 最大起振力 $F_0$ の波で起振機加振を行い、 $i$ 層の振動台加振時最大相対変位 $x_s(i)$ 、 $i$ 層の起振機加振時最大相対変位 $x_r(i)$ の比率に振動台加振時の変位分布を乗じたものの和 $R$ (本報その1式(12)参照)をプロットする(図5(a))。
- (2)  $F_0$ に $\alpha_1, \alpha_2$ を乗じた起振力 $F_1, F_2$ を求め、起振力が $F_1, F_2$ の2つの波で起振機加振を行う(図5(b))。 $\alpha_1, \alpha_2$ についてはこれまでの検討結果から0.5から1.5程度であることが確認されている。
- (3) (2)で得られた最大相対変位を用いて(1)同様に $R_1, R_2$ をプロットする(図5(a))。
- (4) この3点との誤差が最小となる近似直線を引き、 $R_x$ の値が1.0となる $F$ の値が最適起振力となる(図5(a))。

各モデルの最適起振力算出フローを図6に示す。

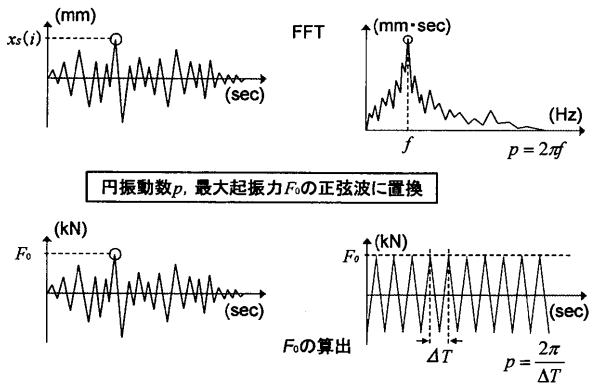


図4 円振動数 $p$ 、最大起振力 $F_0$ 算出フロー

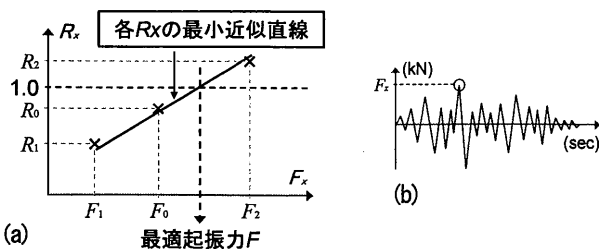


図5 最適起振力 $F$ 算出フロー

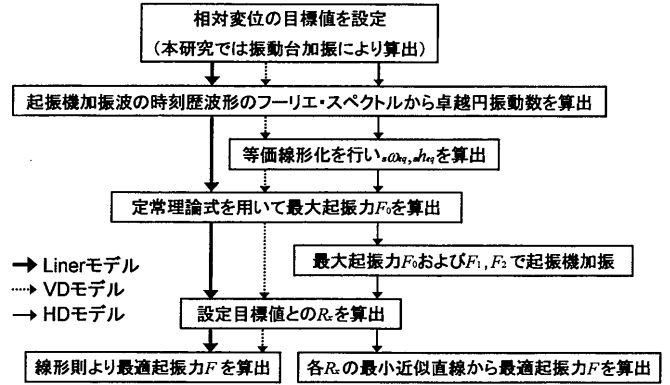


図6 線形・非線形モデル最適起振力算出フロー

## 4. Liner モデルにおける再現性の検討

### 4.1 最適起振機設置階の検討

3章の手法によって得られた最適起振力を用いて起振機加振を行い、最適起振機設置階を算出する。図7は本解析に用いた加振波全ケースにおける11、8、6、2Fに起振機を設置した場合の $R(i)$ の標準偏差 $R_{SD}$ とその平均値である $(R(i), R_{SD})$ は本報その1式(13a)、(14)参照)。また、図8に加振波全ケースの最適起振力を示す。最適起振機設置階については加振波の種類や大きさにより異なるため、現在までに定量化は出来ていない。そこで本研究では全加振波における $R_{SD}$ の平均が最も小さい値を示す設置階を各モデルにおける最適起振機設置階と定める。図7から、8、6Fとの差はわずかであるが、起振機設置階11F時の $R_{SD}$ の平均が最も低くなることが確認された。これより、最適起振機設置階を11Fとする。また、図8より11Fが最も小さな起振力で振動台加振時の応答を再現できることがわかる。

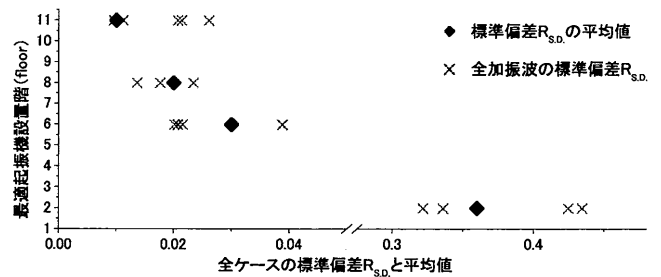


図7 起振機設置階と全加振波の標準偏差 $R_{SD}$ と平均値 (Liner モデル)

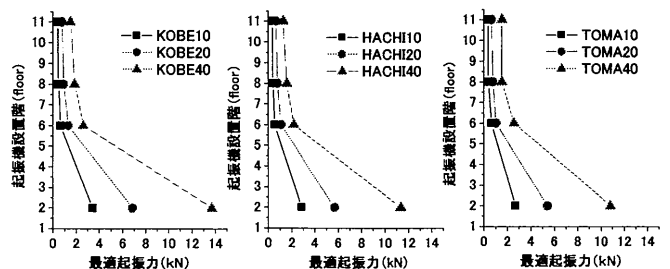


図8 起振機設置階と全加振波の最適起振力 (Liner モデル)

## 4.2 応答比較

振動台加振波 KOBE20、起振機設置階 11F（最適起振力 0.77kN）とした時の応答比較を以下に示す。

図 2（2 章参照）は高さ方向における相対変位、相対速度、絶対加速度の最大値応答の分布である。相対変位においては精度良く再現できている。相対速度においては若干の差異は見られるが、傾向を捉えている。また、絶対加速度においては再現できていないことがわかる。以上のことから相対変位以外の項目については精度良く再現することが難しいということが確認された。図 3（2 章参照）には相対変位における時刻歴波形を示す。加振方法の違いにより多少の位相差はあるが、傾向と最大値を捉えていることが確認できた。

## 5. HD モデルにおける再現性の検討

### 5.1 最適起振機設置階の検討

3 章の手法によって得られた最適起振力を用いて起振機加振を行い、最適起振機設置階を算出する。図 9 は本解析に用いた加振波全ケースにおける 11、8、6、2F に起振機を設置した場合の  $R(i)$  の標準偏差  $R_{SD}$  とその平均値である。図 10 に全加振波の最適起振力を示す。図 9 から Liner モデルとは異なり、6F の平均値が最も小さいことがわかるが、図 10 では Liner モデル同様に上層階の起振力が低いことがわかる。全加振波の検討結果からダンパーの塑性が少ないモデルならば、Liner モデル同様に 11F に起振機を設置する方が誤差は少なくなるが、中間階の標準偏差の差が少なくなるため中間階でも十分に再現可能であることを確認している。よって、HD モデルにおいて最適起振機設置階は 6 階とする。確認のためにダンパーの降伏耐力やエネルギー吸収量を変化させて検討を行ったが、上記と同様の結果が得られている。少ない検討結果ではあるが、最適起振機設置階に影響を与える原因としてダンパーのエネルギー吸収量や塑性率などが考えられる。しかし、その理論的背景については現在検討中である。

### 5.2 応答比較

振動台加振波 KOBE20、起振機設置階 6F（最適起振力 3.73kN）とした時の応答比較を以下に示す。

図 11 は高さ方向における相対変位、相対速度、絶対加速度の最大値応答の分布である。相対変位においては中間階と上層階で若干の誤差はあるが、ある程度の再現性を有している。相対速度、絶対加速度においては Liner モデル同様に精度良く再現できていないことがわかる。図 12 には相対変位における時刻歴波形を示す。Liner モデル同様に加振方法の違いにより多少の位相差はあるが、傾向および最大値は捉えていて再現できていると言える。

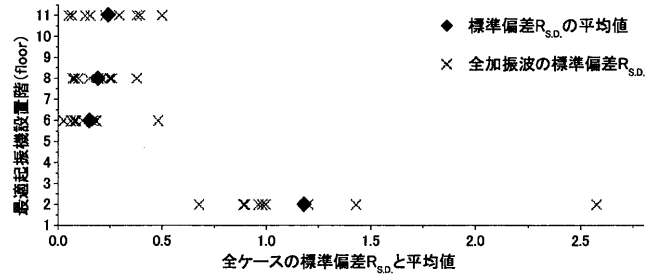


図 9 起振機設置階と全加振波の標準偏差  $R_{SD}$  と平均値 (HD モデル)

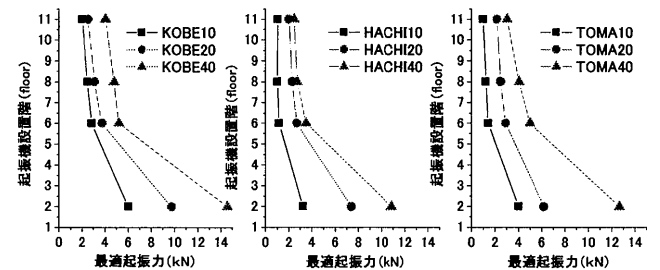


図 10 起振機設置階と全加振波の最適起振力 (HD モデル)

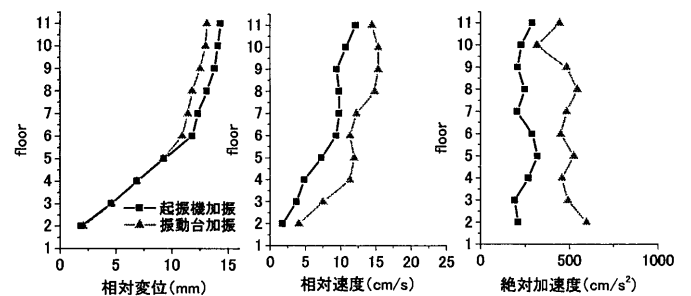


図 11 HD モデル最大値応答比較 (KOBE20、6F 加振)

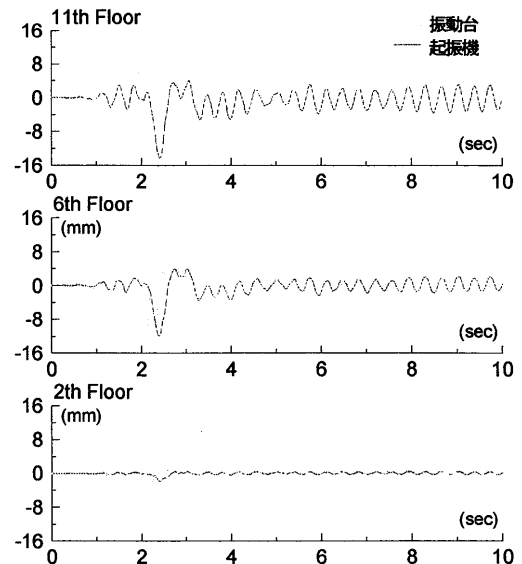


図 12 HD モデル相対変位比較 (KOBE20、6F 加振)

## 6. VD モデルにおける再現性の検討

### 6.1 VD モデル最適起振機設置階の検討

3 章の手法によって得られた最適起振力を用いて数値解析を行い、最適起振機設置階を算出する。図 13 は本解析に用いた加振波全ケ

ースにおける 11、8、6、2F に起振機を設置した場合の  $R(i)$  の標準偏差  $R_{SD}$  とその平均値である。図 14 に全加振波の最適起振力を示す。VD モデルでは標準偏差の平均値は、中間階から上層階にかけてほぼ同様の値を示している。このことから Liner モデル同様に起振力の少ない 11 階を最適起振機設置階とする。

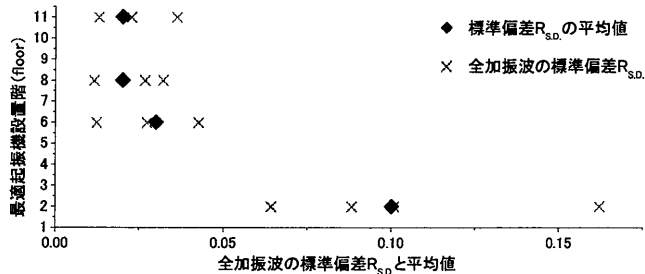


図 13 起振機設置階と全加振波の標準偏差  $R_{SD}$  と平均値 (VD モデル)

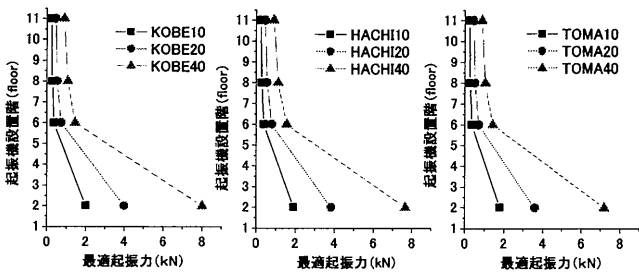


図 14 起振機設置階と全加振波の最適起振力 (VD モデル)

### 6.2 応答比較

振動台加振波 KOBE20、起振機設置階 11F (最適起振力 0.44 kN) とした時の応答比較を以下に示す。

図 15 は高さ方向における相対変位、相対速度、絶対加速度の最大値応答の分布である。他のモデル同様に相対変位においては精度良く再現でき、絶対加速度においては再現性を有していないことがわかる。相対速度においては他のモデルと異なりある程度再現できることが確認された。図 16 には相対変位における時刻歴波形を示す。図 3、12 同様に加振方法の違いにより多少の位相差はあるが、傾向および最大値を捉え再現できている。全モデルの共通点として相対変位の応答の再現性を有していることが確認できたが、すべての項目を同時に再現する手法については現在検討中である。

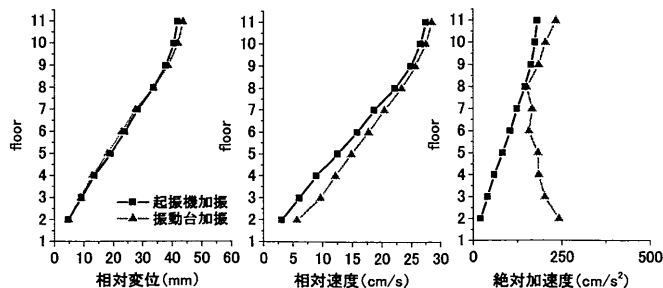


図 15 VD モデル最大値応答比較 (KOBE20、11F 加振)

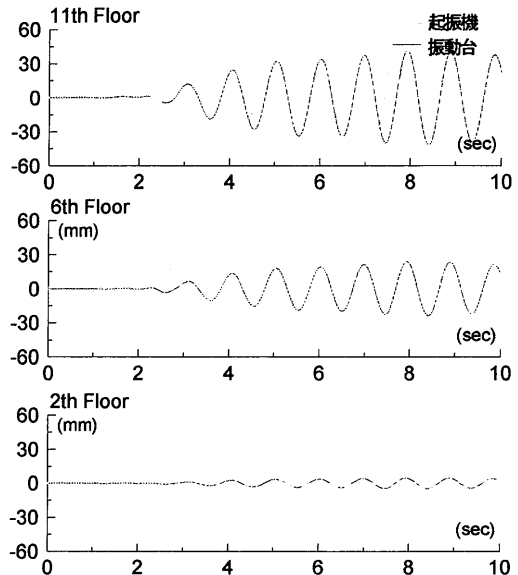


図 16 VD モデル相対変位比較 (KOBE20、11F 加振)

### 7. おわりに

本研究では、ランダム波加振時における振動台応答が起振機加振手法の提案を行うことにより、その再現性の検証を行った。さらに、起振機加振で再現するにあたり必要となる最適起振力算出手法および最適起振機設置階の算定方法について述べた。

今回検討したすべての加振波について下記と同様の結論が得られている。以下に結論を述べる。

- (1) 振動台加振時の相対変位波形に着目する事により、Liner、HD、VD モデルにおいて相対変位では、振動台加振の応答を精度よく再現出来ることを確認した。
- (2) しかし、Liner、HD、VD モデルにおいて絶対加速度など再現することが困難な項目があることを確認した。
- (3) Liner、HD、VD モデルでは、誤差の標準偏差を考慮することによりそれぞれ最適起振機設置階が異なり、起振力に関しては上層階に起振機を設置するにしたいが減少することが確認された。

本研究では数少ない検討例をもとに最適起振機設置階を検討したが、今後はダンパーのエネルギー吸収量など最適起振機設置階に与える影響について明らかにし、最適起振機設置階を定量化していく必要がある。また、履歴、粘性型ダンパーを併用したハイブリッド型についても再現性の検証を行っていく予定である。

### 謝辞

本研究を行うにあたり、東京工業大学笠井研究室の解析プログラムを使用しました。また、株式会社 i2S2 および日本大学理工学部対震構造研究室の複素固有値解析プログラムを使用しました。ここに記して感謝の意を示します。

### 参考文献

- 1) 石丸辰治：応答性能に基づく「対震設計」入門、彰国社、2004

\*1 東京理科大学      \*2 オイレス工業(株)  
\*3 (株) 日建設計      \*4 東京大学生産技術研究所 教授