T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech Research Repository

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実験手法の提案：その3 解析による実験手法の妥当性の検証(構造)
Title	
著者(和文)	涌本 雄介, 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	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. 361-364
Citation(English)	, Vol. 80, , pp. 361-364
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/110008729974

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

Architectural Institute of Japan

2052

2009年度日本建築学会
関東支部研究報告集

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実験手法の提案
その３　解析による実験手法の妥当性の検証

構造－振動

準会員 ○ 涌本雄介[*1]　〃 石田琢志[*1]　正会員 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]

制振実験　振動実験　起振機実験
動的加振　履歴ダンパー　粘性ダンパー

1.　はじめに

本格的な性能設計時代を迎え，実建物の耐震性能把握を目的とした加振実験の実施に対する要求が高まりつつある[1)]。概して，制振ダンパーを設置した実験物の耐震性能は，ある限定された条件下での部材実験結果を反映した数値解析により外挿して把握しているに過ぎない。制振構造の更なる発展を望めば，制御性能や信頼性を実験的に検証し，数値解析との差異がどの程度であるかを明確に把握する必要がある。そこで，建築構造物の強震下における動的挙動を把握し，耐震性能を評価するための１つの方法として，振動台を利用して実際に地震動を構造物に入力する振動台実験が挙げられる。しかし，実建物に対して振動台実験は適用できないため，地震応答観測によりその耐震性能を把握しているのが現状であるが，偶発的に起こる地震に対しては，繰り返しての検証や計画的な検証を行うことが出来ない[2)]。これに対し，起振機を用いた加振実験が古くから行われている。しかし，これらの多くが正弦波による定常加振実験であり，ランダム波加振を対象とした報告は数少ない[3),4)]。

著者らによる研究[5)]では，多層制振フレームにおいて，起振機を用いてある１階のみを加振することで振動台加振実験より得られるランダム波加振時応答を模擬できる簡易実験手法を提案した。その際，入力波には振動台加振時応答の相対変位時刻歴波形が用いられた。本報その３では，入力波に振動台加振時応答の相対速度時刻歴波形を用い，振動台加振および起振機加振における応答結果を比較する。更に，２つの手法における起振機加振時応答による振動台加振時応答の再現性を比較および検証する。

2.　解析概要

2.1　解析モデルの概要

本解析は，図１に示す試験体を想定し，モデル化する。主架構は10 質点系の等価せん断型モデルとする。構造減衰はレーリー型であり，１次で 1.1%，２次で 2.4%とする。全層に履歴ダンパーを付与した HHH モデル，全層に粘性ダンパーを付与した VVV モデルに加え，1～6 層に履歴ダンパーを付与し、7～10 層に粘性ダンパーを付与してダンパーを併用した HHV モデルの全３モデルを用いる。履歴ダンパーは完全弾塑性の履歴性状とし，剛性はフレーム剛性の８倍と定義する。粘性ダンパーは非線形粘性，線形剛性を持つ Kelvin モデルとする。ダンパーの取り付け角度は 37.8°の勾配で，図１に示すようにブレース形式に交互にダンパーを配置することを想定してモデル化を行う。図１は例として８階加振時の解析モデルの概要を図示する。各層のダンパー量分布および各ダンパーの詳細は，文献５を参照されたい。

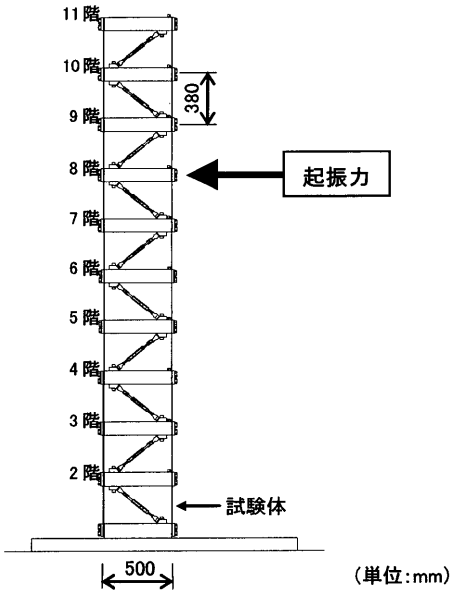


図１　解析モデルの概要

2.2　解析地震波の概要

本解析に用いる地震波は，位相特性 HACHINOHE EW, JMA KOBE NS および TOMAKOMAI NS の告示波３波について，いずれのモデルにおいても弾性 1 次固有周期が速度応答スペクトルの一定の領域に入るように時間軸を 1/4 に圧縮し，コーナー周期 Tc = 0.16 s とした模擬地震動とする。作成した３波の模擬地震動の速度

NII-Electronic Library Service

応答スペクトルを Sv=10, 20 cm/s の2つのレベルに設定し，計6波の模擬地震動により解析を行う。表1に解析地震波の諸元を示す。なお，表中の ${}_et_0$ は文献6の手法により求めた実効継続時間である。

表1 解析地震波の諸元

位相特性	Sv (cm/s)	加振波名称	実効継続時間 ${}_et_0$(s)	最大加速度 (cm/s2)
HACHINOHE EW	10	HACHI10	25.74	146.13
	20	HACHI20		292.26
JMA KOBE NS	10	KOBE10	4.64	195.56
	20	KOBE20		391.12
TOMAKOMAI NS	10	TOMA10	27.44	182.31
	20	TOMA20		364.62

3. 振動実験手法の概要

3.1 起振機加振波の概要

文献5において，起振機加振波を算出する際は，振動台加振で得られた i 階（起振機設置階）の相対変位時刻歴波形を用いていた。本報では，相対速度時刻歴波形を用いることとする。

3.2 評価方法

文献5では，最大相対変位における起振機加振による振動台加振時応答の再現性に主眼を置いて評価を行っていた。本報では，最大層間変位応答の再現性に主眼を置くことにする。その際，文献5に従い，以下に示す式を用いて検証を行う。算出手法の詳細については，文献5を参照されたい。

$$R=\sum_{i=1}^{N}R'_i\cdot\gamma_i \tag{1}$$

$$R'_i=\frac{x_{V,i}}{x_{S,i}}\quad,\quad \gamma_i=\frac{x_{S,i}}{\sum_{i=1}^{N}x_{S,i}} \tag{2a,b}$$

ここで，$x_{S,i}$ ，$x_{V,i}$ はそれぞれ振動台，起振機加振時の i 階の最大層間変位応答，N は質点数である。（文献5の手法では，$x_{S,i}$ ，$x_{V,i}$ はそれぞれ振動台，起振機加振時の i 階の最大相対変位応答であるが，本報では，最大層間変位応答となる。）再現性評価値 R=1.0 となる際の起振力を最適起振力と定める。尚，起振機加振波に相対速度時刻歴波形または相対変位時刻歴波形を用いることによる差異の考察を目的とするため，本報では相対変位時刻歴波形を用いた起振機加振入力波においても層間変位応答の再現性（式(1)～(3)を用いた検討）により評価する。

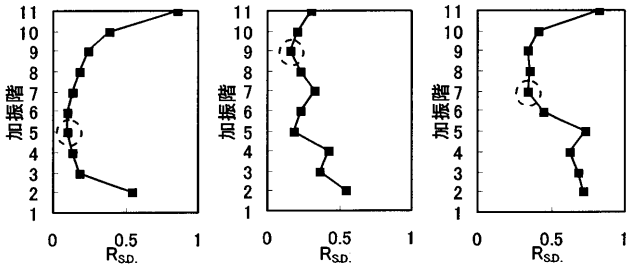
次に，最も層間変位応答の再現性の高くなる起振機設置階（以後，最適起振機設置階と称す）を，以下の式から算定する。

$$R_{S.D.}=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[R'_i-1.0\right]^2} \tag{3}$$

$R_{SD.}$(式(3)で算出)の最小値をとる階を最適起振機設置階と定義できる。以上2つの評価式を用いることにより検証する。

4. 最適起振機設置階の検討

図2 (a)～(c)に振動台加振波 HACHI10 を対象とした時の，VVV・HHH・HHV モデルにおける起振機設置階と $R_{SD.}$ の関係を示す。図中の円は最適起振機設置階を示す。図2(a)～(c)から，各モデルにより $R_{SD.}$ の分布形状は異なり，VVV モデルは5階，HHH モデルは9階，HHV モデルは7階でそれぞれ極小値（最適起振機設置階）をとることがわかる。VVV モデルでは，上層および下層で $R_{SD.}$ の値が大きく，ばらつきがあるため再現性の良い階と悪い階が存在すると言える。これに対し，HHH モデルでは全層 R_{SD} の値が安定的であり，2階と4階で他に比べて $R_{SD.}$ の値が大きいが，どこの階に起振機をおいても同程度の再現性が得られると言える。HHV モデルは VVV，HHH モデルに比べて $R_{SD.}$ の値が大きく，再現性が劣ることがうかがい知れる。紙幅の都合上図示していないが，R_{SD} の分布形状はモデルや入力波形によっても異なることが確認されている。そのため，最適起振機設置階の定式化は文献5と同様，今後の検討課題である。表2は，本報その3の手法，および文献5の手法により検証された本研究の解析モデルにおける最適起振機設置階を示す。



(a) VVV モデル　(b) HHH モデ　(c) HHV モデル

図2 R_{SD} の比較

表2 最適起振機設置階

	本手法			文献5 手法		
モデル	VVV	HHH	HHV	VVV	HHH	HHV
最適起振機設置階	5F	9F	7F	8F	11F	9F

5. 応答比較

前章で算定された振動台加振波 HACHI10 における各モデルの最適起振機設置階加振時での最大層間変位，最大層せん断力応答，ダンパーのエネルギー吸収量の応答比較から，本報その3で提案する手法と文献5で提案される手法を比較する。図3～7では，(a), (b), (c)にそれぞれ本報その3の手法により算出された VVV, HHH, HHV モデルの応答を示し，(d), (e), (f)に文献5の手法により算出された VVV，HHH，HHV モデルの応答を示す。

NII-Electronic Library Service

5.1 層間変位応答の比較

図 3 に各モデルにおける最大層間変位応答の比較を示す。図 3 (a)～(f)より，本報で提案される手法の方が全てのモデルにおいて，起振機加振時（Vibration Generator）における振動台加振時（Shaking Table）の最大層間変位応答を精度良く再現していることがうかがい知れる。特に，本手法では各モデルとも 6 階以上の応答の再現性が良いことが分かる。図 3 (f)より，起振機加振波に相対変位時刻歴波形を用いた HHV モデルにおける起振機加振では，10 階，9 階および 6 階の再現性は非常に良いが 8 階，7 階，1 階などでは再現性が悪く，階によりばらつきがある。

例として，各モデルにおける最適起振階加振時の 8 階の振動台および起振機加振時の層間変位時刻歴応答を図 4 に示す。図 4 (a), (c)より，本手法では，VVV モデルおよび HHV モデルはそれぞれ波形の傾向を捉えていることが言える。図 4 (b)より，HHH モデルに関しては，10～20 秒の間で再現性が特に悪く，その他でも振幅や波形の傾向をつかめているとは言えない。文献 5 の手法における VVV モデルでは，波形の位相や傾向は捉えているものの，振幅の大きさの合いが悪く，再現性が良いとは言えない。図 4 (e),(f)より，文献 5 の手法における HHH モデルと HHV モデルとも振幅最大値や波形の傾向を捉えられておらず，再現性が悪いことがわかる。

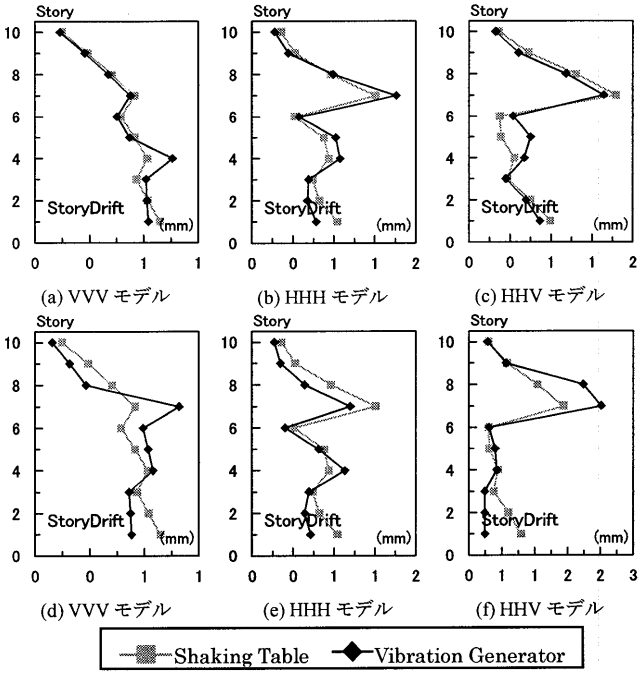


図 3 最大層間変位応答の高さ方向による比較
(a)～(c) 本手法 ， (d)～(f) 文献 5 手法

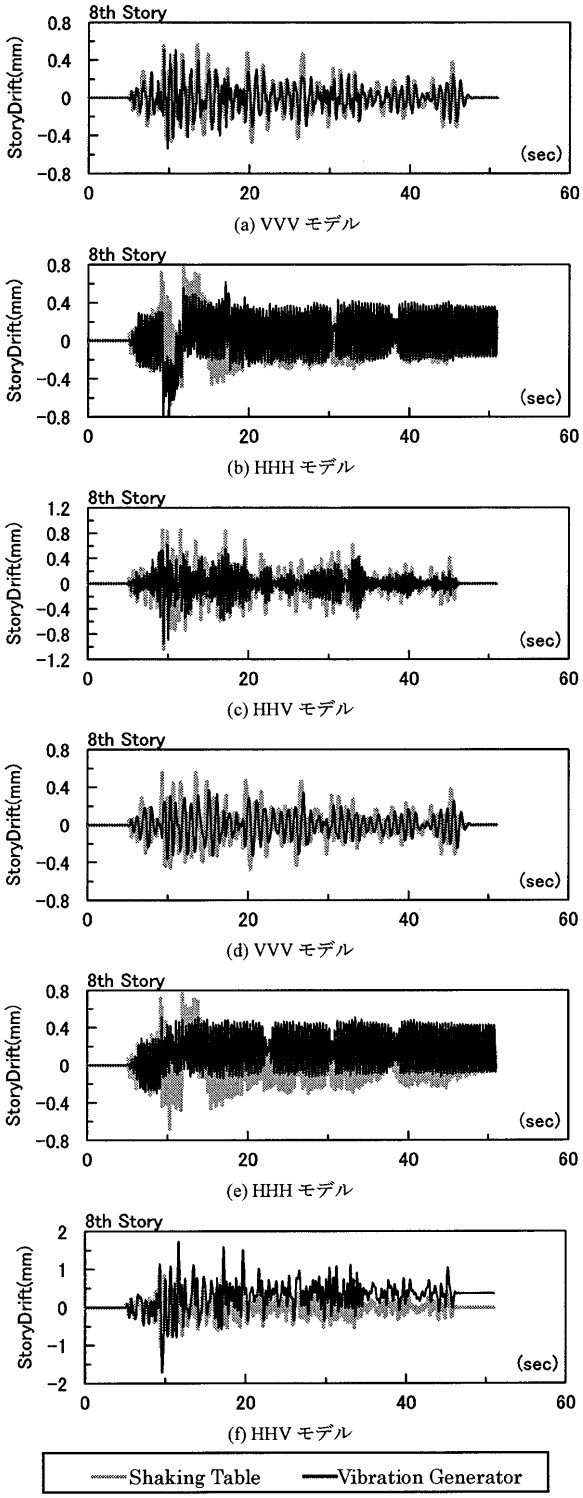


図 4 層間変位の時刻歴応答による比較
(a)～(c) 本手法 ， (d)～(f) 文献 5 手法

5.2 層せん断力応答の比較

図 5 に各モデルにおける最大層せん断力応答の比較を示す。図 5 (a)～(f)より，各モデルにおいて本手法の方が文献 5 の手法に比べ，再現性が良いことが見てとれる。特に本手法では，HHH モデルおよび HHV モデルの再現性が良く，VVV モデルにおいても下層部で応答の差異

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

が見られるものの上層部の精度は良く，十分な再現性を得られる。一方で，文献 5 の手法では，HHH モデルの再現性は本手法と同程度の再現性を得られるが，他のモデルでは再現性が悪くなり，VVV モデルでは下層階において大きな応答差異が存在する。VVV モデルおよびHHV モデルでは，7 階以下最大層せん断力応答があまり変わらず，振動台応答の傾向と異なる傾向が見られる。

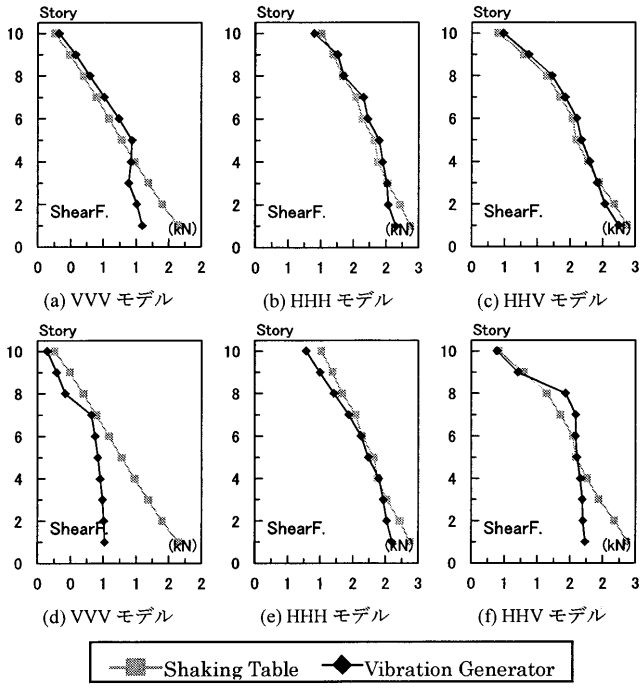


図 5 最大層せん断力応答の高さ方向による比較
(a)～(c) 本手法 ， (d)～(f) 文献 5 手法

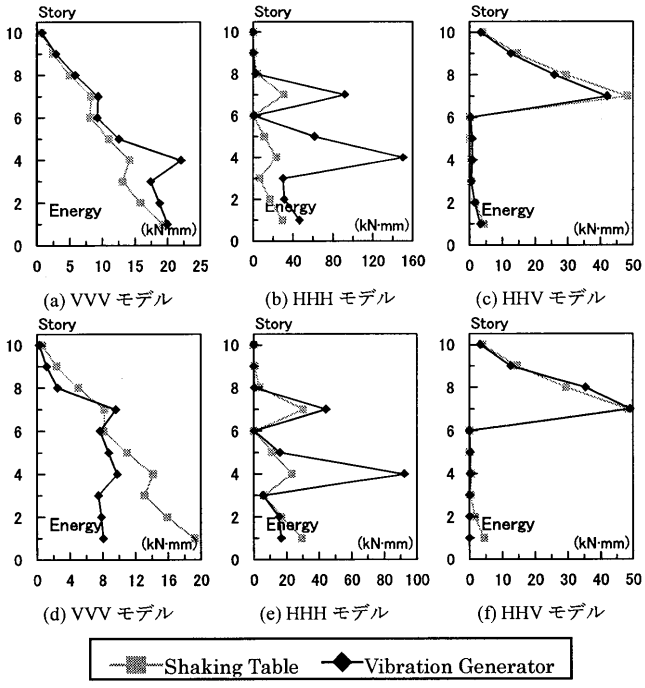


図 6 ダンパーのエネルギー吸収量の高さ方向による比較
(a)～(c) 本手法 ， (d)～(f) 文献 5 手法

5.3 ダンパーのエネルギー吸収量の比較

図6に各モデルにおけるダンパーのエネルギー吸収量の比較を示す。図6 (c),(f)より，HHV モデルではどちらの手法においても精度良くダンパーエネルギー吸収量を再現できると言える。図6 (a),(d)より，VVV モデルにおいて，本手法では 5 階以上における再現性が良く実験手法として推奨できる。一方，HHH モデルではどちらの手法においても 7 階と 4 階において起振機加振応答が大きく増大してしまい再現性が悪いことがわかる（図6 (b),(e)より）。

6. まとめ

本報その 3 で提案した実験手法について，時刻歴応答解析によって文献5 の手法との比較および検討を行い，以下に示す知見が得られた。

本報その 3 で提案する実験手法では，文献 5 にて提案された手法に比べ，起振機加振時の層間変位応答が各モデルとも最大値においても時刻歴波形においても精度良く振動台応答を再現できる。また，最大層せん断力においても各モデルにおいて十分な精度で振動台応答を再現できることが確認できる。ダンパーエネルギー吸収量においては，VVV モデルおよびHHV モデルでは精度良く再現できている。

以上により，1 つの起振機を用いて振動台加振時応答を再現する本実験手法において，起振機加振波に相対速度時刻歴波形を用いる本手法の優位性が確認できた。尚，前述の知見は，HACHI10 以外の加振波においても同様な知見を得られたことを追記しておく。

参考文献

1) 鈴木祥之,山本雅史：実大構造物の地震応答加振システムに関する研究，日本建築学会構造系論文集，No.514，pp105-110，1998 年 12 月
2) 奥田浩文,蔭山満,勝俣英雄：超高層建物を対象とした簡易加振装置の開発，日本建築学会大会学術講演梗概集（中国），pp175-176，2008 年 9 月
3) 山崎真司，永田敬雄，阿比留久徳，澤田昇次，原田秀秋，溜正俊：横浜ランドマークタワーに設置した制振装置（TAD）の性能，日本建築学会大会学術講演梗概集，B，pp.956-957，1994 年 9 月
4) 西村功，小堀鐸二，Masri，S.F：テンドンを用いたアクティブコントロールの実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，B，pp.1051-1052，1991 年 9 月
5) 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：振動台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，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-2，pp.635-636，2009 年 8 月
6) Trifunac, M.D. and Brady, A.G:A Study on Duration of Strong Earthquake Ground Motion., Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.65, No.3, pp.581-626, June 1975

*1 東京理科大学 *2 オイレス工業（株） *3 （株）日建建設

NII-Electronic Library Service