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)	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1 解析諸元および簡易振動実験手法の概要
Title	
著者(和文)	石田琢志, 佐藤大樹, 佐々木和彦, 宮澤和也, 北村春幸, 宮崎充, 吉江慶祐, 石井正人
Authors	Takushi ISHIDA, Daiki Sato, Kazuhiko Sasaki, Haruyuki Kitamura, Mitsuru MIYAZAKI
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, , pp. 633-634
Citation(English)	, B-2, , pp. 633-634
発行日 / Pub. date	2009, 8
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/110007978760

Powered by T2R2 (Tokyo Institute Research Repository)

Architectural Institute of Japan

21317

日本建築学会大会学術講演梗概集
（東北） 2009年 8 月

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 1　解析諸元および簡易振動実験手法の概要

正会員 ○石田　琢志[*1]　佐藤　大樹[*1]　佐々木　和彦[*2]
宮澤　和也[*3]　北村　春幸[*1]　宮崎　充[*2]
吉江　慶祐[*4]　石井　正人[*4]　藤田　隆史[*5]

簡易振動実験　起振機実験　振動台実験
パッシブ制振構造　履歴ダンパー　粘性ダンパー

1.　はじめに

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[1)]．しかしながら，この振動台実験には，実施に多大な経費や労力を要することや，振動台の容量制限により実施できる施設が限られてしまうといった問題点も存在する．一方，起振機を用いた実験では，正弦波加振により構造物の振動特性を評価する研究が数多く行われているが[例えば2)]，地震外乱下での構造物の動的挙動の再現を試みた報告はされていない．そこで，本報は，パッシブ型の制振構造物を対象として，振動台加振により得られるランダム波加振時応答を，1 つの起振機を用いて再現する簡易振動実験手法の提案を行う．

2.　解析概要

2.1　解析モデルの概要

本解析には，ダンパー付与を想定し，主架構の 1 次構造減衰を剛性比例型減衰で $_f h_1$ = 10 % としたLinearモデル，全層に履歴ダンパーを付与したHDモデル，および全層に粘性ダンパーを付与したVDモデルの全 3 モデルを用いる．なお，HD, VDモデルに関しては主架構の構造減衰 $_f h$ = 0 % とする．主架構のモデル化は，文献 3 の 10 層（11F）フレーム試験体に従い，質量は等分布，剛性は 3 段階分布（図 1）とし，せん断バネは弾性領域となる 10 質点系等価せん断型として作成する．ダンパー付与モデルは，取付角度= 37.2° の勾配で，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 2 に各解析モデルの概略図示す．また，各モデルの弾性 1 次固有周期 T_1はLinearモデルが 1.07 s，HDモデルが 0.36 s，VDモデルが 0.97 s である．

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応答スペクトルをSv = 10, 20, 40 cm/sの 3 つのレベルに設定し，計 9 波の模擬地震動により解析を行う[3)]．表 1 に解析地震波の諸元を示す．なお，表中の$_e t_0$は文献 4 の手法により求めた実効継続時間である．

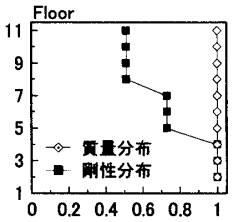

図 1.　質量・剛性分布

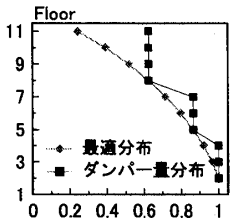

図 3.　ダンパー量分布

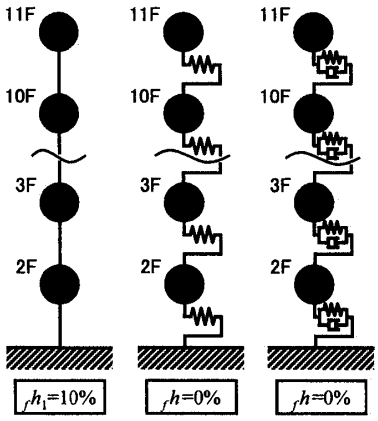

図 2.　解析モデル概略図

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 $_e t_0$ (s)	最大加速度 (cm/s^2)
HACHINOHE EW	10	HACHI10	25.74	146.13
	20	HACHI20		292.26
	40	HACHI40		584.52
JMA KOBE NS	10	KOBE10	4.64	195.56
	20	KOBE20		391.12
	40	KOBE40		782.24
TOMAKOMAI NS	10	TOMA10	27.44	182.31
	20	TOMA20		364.62
	40	TOMA40		729.24

各層のダンパー量分布は，Ai 分布に基づく各層の設計用層せん断力を第 1 層で基準化した比率（最適分布）を用いて，せん断バネの剛性分布と同様，1 ~ 3，4 ~ 6，7 ~ 10 層で異なる値をとる 3 段階とし，図 3 に示す．また，履歴ダンパーは，2 次剛性を持たない完全弾塑性モデル，粘性ダンパーは，線形剛性，線形剛性を持つ Kelvin モデルとして，それぞれモデル化する．各ダンパーの詳細については，文献 3 を参照されたい．

Proposal for Simplified Shaking Test Method for Passively Controlled Multi Story Frame Model by using Vibration Generator
Part 1.　Analysis Parameters and Summary of Simplified Shaking Test Method

ISHIDA Takushi, SATO Daiki, SASAKI Kazuhiko
MIYAZAWA Kazuya, KITAMURA Haruyuki, MIYAZAKI Mitsuru
YOSHIE Keisuke, ISHII Masato, FUJITA Takafumi

NII-Electronic Library Service

Architectural Institute of Japan

3. 簡易振動実験手法の概要

3.1 起振機加振波の概要

本手法の起振機加振には，振動台加振で得られた i 階（起振機設置階）の相対速度時刻歴波形を用い，その際必要となる起振力の算出法については 3.3 節で後述する．

3.2 評価方法

最大層間変位応答の再現度に主眼を置き，起振機加振による振動台加振時応答の再現性を評価する．その際，以下に示す式を用いて検証を行う．

$$R=\sum_{i=1}^{N}R'(i)\cdot\gamma(i) \tag{1}$$

$$R'(i)=\frac{x_V(i)}{x_S(i)}\ ,\quad \gamma(i)=\frac{x_S(i)}{\sum_{i=1}^{N}x_S(i)} \tag{2a, b}$$

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である．振動台加振時に算出される最大層間変位分布率$\gamma(i)$を$R'(i)$に乗ずることで，応答が大きくなる階に重みを置いた評価が可能となる．これより，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義する．

次に，最も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，各起振機設置階における$R'(i)$のばらつき（式(3)算出）から算定する．

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

これより，$R_{S.D.}$が最も小さくなる時の起振機設置階を最適起振機設置階と定める．以上の 2 つの評価式を用いることにより，振動台加振時挙動の再現性が最も高くなる起振力および起振機設置階の検討を行う．

3.3 最適起振力算出法

本節では，調和振動に対する定常応答の応答倍率理論式[5]（以下，理論式と称す）を適用した，最適起振力の簡易算出法について述べる．その際，調和外力の円振動数は，起振機加振波を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とする．

ある質点だけに調和外力が作用する際の多質点系運動方程式から，起振機加振時における各階の最大相対変位応答$\{{}_Rx_v\}$は次式で求めることができる．

$$\{{}_Rx_V\}=\sum_{s=1}^{N}\{{}_su\}\left[\frac{1}{{}_s\omega^2-p^2+i2{}_sh_s\omega\cdot p}\cdot\frac{{}_su_r}{{}_sm}\right]F \tag{4}$$

$${}_su_r=\{{}_su\}^T\cdot\{\bar{f}\} \tag{5}$$

$\{{}_su\}$：s 次の固有ベクトル，p：調和外力の円振動数
${}_s\omega$：モデルのs次固有円振動数，${}_sm$：s次の広義質量
${}_sh$：s次のモード減衰定数，F：正弦波の最大起振力
$\{\bar{f}\}$：起振機設置階が 1，それ以外は 0 となるベクトル

振動台と起振機加振時の 2 階の相対変位（層間変位）応答が同値の時，式(4)は次式で表すことができる．

$$F_0=\frac{x_S(2)}{\sum_{s=1}^{10}{}_su(2)\left[\frac{1}{{}_s\omega^2-p^2+i2{}_sh_s\omega\cdot p}\cdot\frac{{}_su_r}{{}_sm}\right]} \tag{6}$$

この式 (6) を用いて起振機加振波の最大起振力F_0の概算を行うのだが，非線形および非比例減衰システムのHD, VDモデルにおいては等価線形化を行い，等価減衰定数を算出する必要がある．等価線形化は主架構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[5]を適用する．また，HDモデルの振動モードは，最大変形時を考慮するため主架構のみでの剛性を用いた固有値解析から算出する．一方，VDモデルはダンパーと主架構を合わせたシステム剛性を用いている．

算出されたF_0と最適起振力F_bの誤差は，Linear, VDモデルは線形性を利用し，非線形性を有するHDモデルは，はさみ打ち法によりそれぞれ修正を行う．各モデルにおける最適起振力算出フローを図 4 に示す．

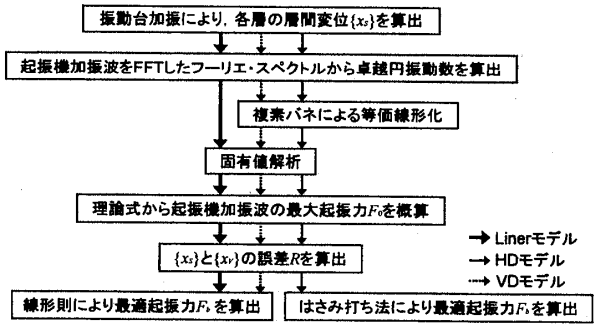

図 4. 最適起振力算出フロー

4. まとめ

本報その 1 では，解析諸元および簡易振動実験手法の概要について述べた．本報その 2 では，各モデルにおける振動台と起振機加振時の応答比較を行い，本実験手法の妥当性を検証する．

参考文献

1) 境有紀，徳井紀子，真田靖士，山内成人，中埜良昭，諏訪田晴彦，福山洋：超縮小模型を用いた鉄筋コンクリート構造の簡易振動実験手法の開発，日本建築学会構造系論文集，NO.584，PP.147-152，2004.10
2) 青木保夫，菊地敏男，文永奎，沈堅貞，山本俊雄，荏本孝久：小型起振機を用いた構造物の振動特性の推定に関する研究　その 1-2，学術講演梗概集，B-2分冊，PP.545-548，2007
3) 小川薫，佐藤大樹，佐々木和彦，宮崎充，北村春幸，藤田隆史，吉江慶祐，石井正人：10 層フレーム加振試験による履歴減衰型・粘性減衰型制振部材併用時の応答特性に関する研究　その 1-3，研究報告集，NO.78，pp.137-148，2008
4) 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
5) 柴田明徳：最新耐震構造解析，森北出版，2006

*1 東京理科大学　*2 オイレス工業
*3 旭化成ホームズ　*4 日建設計
*5 東京大学名誉教授

*1 Tokyo Univ. of Science　*2 Oiles Corporation
*3 Asahi Kasei Homes Corporation　*4 NIKKEN SEKKEI Ltd.
*5 Professor Emeritus at the Univ. of Tokyo

NII-Electronic Library Service