

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	履歴減衰型と粘性減衰型制振部材を併用する制振構造に関する研究 -位相差に着目した制振効果の検証-
Title	
著者(和文)	小川薫, 佐藤大樹, 北村春幸, 佐々木和彦, 宮崎充, 藤田隆史, 吉江慶祐, 石井正人
Authors	daiki sato, Haruyuki Kitamura, Kazuhiko Sasaki, Mitsuru MIYAZAKI, Takafumi FUJITA
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2, , pp. 491-492
Citation(English)	, B-2, , pp. 491-492
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/110007978689

履歴減衰型と粘性減衰型制振部材を併用する制振構造に関する研究
一位相差に着目した制振効果の検証一

正会員 ○ 小川 薫*¹ 佐藤大樹*² 北村春幸*² 佐々木和彦*³
同 宮崎 充*³ 藤田隆史*⁴ 吉江慶祐*⁵ 石井正人*⁵

履歴減衰型制振部材 粘性減衰型制振部材 位相差
複素モーダル解析 複素パネ 複素減衰モデル

1. はじめに

筆者らの一部が、主架構の下層部に履歴減衰型制振部材(HD)を、上層部に粘性減衰型制振部材(VD)を併用配置することで、優れた制振効果が発揮されることを実験的に検証している¹⁾。既往の研究¹⁾では、併用することによる全体曲げ変形の抑制を一因として推定したが、純せん断型試験体を用いた実験においても併用効果が認められた。併用効果の要素の一つとして、両制振部材の履歴特性の位相差による影響も考えられるが明確な検証がなされていない。そこで、本研究では既往の加振試験¹⁾を模擬できる純せん断型モデルを対象に両制振部材の複素減衰モデルを作成し、複素モーダル解析からHDとVDの最大減衰力の位相差が主架構に及ぼす影響に着目し、併用による応答低減効果の要因について検討する。

2. 検証解析モデルおよび入力地震動

解析モデルは図1に示す10層純せん断型モデルを用いる。図1に全重量 Mg 、主架構剛性 $k_{f,i}$ (i :層数)および制振部材剛性 $k_{d,i}$ を示す。HDは完全弾塑性ダンパー、VDは粘弾性ダンパーを用いておりKelvin-Voigtモデルでモデル化をおこなう。制振部材による減衰効果の検証に注目するため、主架構の減衰は無視する。両制振部材の設置には、HDは1層の降伏耐力 $F_{d,i}$ 、VDは1層の粘性定数 $c_{d,i}$ の設定が必要であり、 $F_{d,i}$ は(1)式における第1層降伏せん断力係数 α_{y1} をパラメトリックに変化させ、VDは $c_{d,i}$ をパラメトリックに変化させた際の応答から決定する。

$$F_{d,i} = \frac{Mg \cdot \alpha_{y1}}{\cos \theta_d} \quad (1)$$

$\cos \theta_d$ ($\theta_d = 36.9^\circ$)は制振部材をブレース形式で設置する際の角度であり既往の研究¹⁾に基づく。各層 $F_{d,i}$ 、 $c_{d,i}$ は、図2に示す理想分布に従い決定する。検証モデルは全3モデルとし、全層HDを配置したHHH、全層VDを配置したVVV、下層から6:4の割合でHDとVDを併用したHHVである。本研究では全層制振部材の吸収エネルギー量の総和に着目しており $F_{d,i} = 1.48(\text{kN})$ 、 $c_{d,i} = 60(\text{kN} \cdot \text{s}/\text{m})$ でHHHとVVVが等価になることから $F_{d,i} = 1.48$ 、 $c_{d,i} = 60$ をHHH、HHV、VVVの設定値とした。

入力地震動はHACHINOHE EWの位相特性をもつ、告

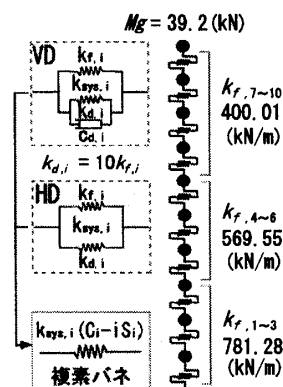


図1 解析モデル・解析諸元

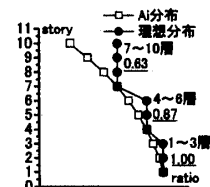


図2 制振部材の理想分布

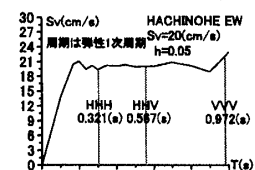


図3 速度応答スペクトル

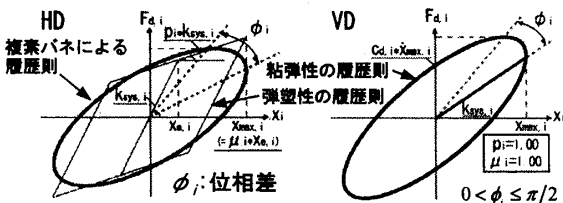


図4 HD,VD付与システムの位相と履歴

示の速度応答スペクトルと相似形に $S_v = 20 \text{ cm/s}$ となる模擬地震動を用いており、3モデルの弾性固有周期が、速度応答スペクトル一定の領域に入るように、告示波の時間軸を1/4に圧縮している(図3)。また、最大加速度 100 cm/s^2 、振動数 $f = 1.3, 5 \text{ Hz}$ と異なる正弦波3波も検証をおこなう。

3. 複素減衰モデルの作成

主架構にHD, VDを付与したシステムは複素パネを用いて表すと以下のようなになる(図4)。

$$k_{eq,i} = k_{ys,i} (C_i - iS_i) \quad (2)$$

$k_{eq,i}$:複素パネによる等価剛性、 $k_{ys,i} = k_{f,i} + k_{d,i}$ であり C_i 、 S_i を決定することで複素パネ化される。HD付与システムの場合、既往の研究²⁾から(4)、(5)式で算出することができる。

$$\theta = \cos^{-1} \left(1 - \frac{2}{\mu} \right) \quad (3)$$

$$C_i = \frac{1}{\pi} (1 - p_i) \left(\theta_i - \frac{1}{2} \sin 2\theta_i \right) + p_i, \quad S_i = -\frac{1}{\pi} (1 - p_i) \sin^2 \theta_i \quad (4), (5)$$

p_i は各層バイリニア係数、 μ は各層塑性率である。一方VD付与システムでは、(6)、(7)式で算出される。

$$C_i = 1.0, \quad S_i = \frac{-c_{d,i} \cdot \omega_{eq}}{k_{ys,i}} \quad (6), (7)$$

ω_{eq} は等価固有円振動数である。 μ_i を弾塑性応答解析、 ω_{eq} を複素固有値解析から算出し複素減衰モデルを作成する。

4. 履歴減衰系の複素減衰モデルへの置換の妥当性

複素減衰モデルを用いて履歴減衰系の応答値を推定する。本報では層せん断力応答波形に関する検証をおこなう。ところで、システム全体の層せん断力 $Q_{sys,i}$ は以下の式で示される。

$$Q_{sys,i} = k_{eq,i}(x_i - x_{i-1}) + c_{d,i}(\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) \quad (8)$$

各層の相対変形 x_i および相対速度 $\dot{x}_i$ は、複素固有値解析で算出された刺激関数に基準座標を乗じて算定されており、1次から3次モードまでの重ね合わせで応答値が算定できるものとしている。図5は弾塑性応答解析で算出した層せん断力時刻歴波形との比較である。応答値に若干の誤差が見受けられるものの同位相で振動していることが読み取れる。相対変形および相対速度に関しても応答値、位相とも概ね一致することが確認できた。この結果を踏まえ、本研究では複素モーダル解析で履歴減衰系の弾塑性応答解析の結果をシミュレートできるものとしている。

5. 制振部材の位相差が主架構に与える影響

位相差が主架構に与える影響を検証する。主架構負担力 $Q_{f,i}$ は以下の式で表せる。

$$Q_{f,i} = k_{f,i}(x_i - x_{i-1}) \quad (9)$$

したがって、制振部材減衰力 $Q_{d,i}$ は(8)、(9)式を用いと、

$$Q_{d,i} = Q_{sys,i} - Q_{f,i} = (k_{eq,i} - k_{f,i})(x_i - x_{i-1}) + c_{d,i}(\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) \quad (10)$$

となる。(8)~(10)式を展開すると、一般的に負担力 Q_i は a_i 、 b_i を任意の定数とし、変形の基準座標 q^* を用いて(11)式の形で示される。

$$Q_i = (a_i \pm ib_i) \cdot q^* = \sqrt{a_i^2 + b_i^2} (\cos \phi_i \pm \sin \phi_i) \cdot q^*, \quad \phi_i = \tan^{-1} \phi_i \quad (11)$$

図6に $Q_{f,i}$ と $Q_{d,i}$ の位相差 ϕ_i を、図7に $Q_{sys,i}$ に対する $Q_{d,i}$ の割合を示す。 $Q_{f,i}$ と $Q_{d,i}$ の間の位相差 ϕ_i が低減する程、 $Q_{d,i}$ の負担率は大きくなる事が分かる。同時に $Q_{d,i}$ の位相差 ϕ_i は、 $k_{d,i}$ が低下する層で上昇する動きが見える。VVV に関しては、 $Q_{f,i}$ と $Q_{d,i}$ の間の位相差 ϕ_i は概ね全層で一定の関係が伺え、 $Q_{d,i}$ の負担率も一定に作用することが分かる。HHH、HHV に関しては、入力が高振動数になる程、位相差 ϕ_i が低減しており一方、負担率は増大する傾向が見られる。図8は $Q_{f,i}$ 最大値と最大値発生時に生じる $Q_{d,i}$ との比率を示す。HHH は上層に向かう程比率が上昇しており、VVV は概ね全層で一律である。HHV はVD併用の上層で比率が負になっており、減衰力 $Q_{d,i}$ がシステム全体の負担力を抑制する方向に働くとして推測される。これより、 $Q_{f,i}$ と $Q_{d,i}$ の位相差 ϕ_i と先の比率には相関性があると考えられる。

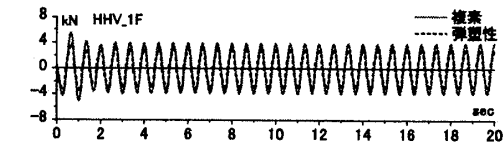


図5 層せん断力時刻歴応答比較 ($f=3.0\text{Hz}$)

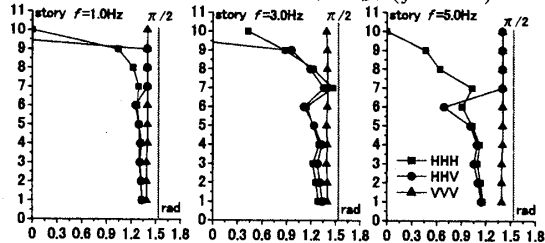


図6 $Q_{f,i}$ と $Q_{d,i}$ の間の位相差 ϕ_i

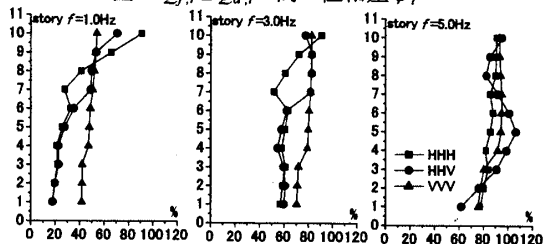


図7 $Q_{sys,i}$ に対する $Q_{d,i}$ の負担率 (%)

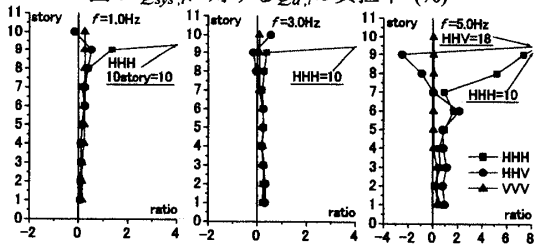


図8 $Q_{f,i}$ 最大値とその時刻に発生する $Q_{d,i}$ との比率

6. まとめ

- HHH は $Q_{f,i}$ と $Q_{d,i}$ の位相差 ϕ_i と $Q_{sys,i}$ に対する $Q_{d,i}$ の負担率および $Q_{f,i}$ 最大力発生時に生じる $Q_{d,i}$ との比率に相関性があり、 ϕ_i が低減する程 $Q_{d,i}$ 負担率・比率も上昇する。
- 図8より HHV の減衰力 $Q_{d,i}$ がシステム全体の負担力を抑制する方向に働いており、併用する事で制振部材が主架構の負担力を低減させる方向に機能する。特に $f=3.0\text{Hz}$ 時に位相差 ϕ_i の上昇と共に顕著に表れている。
- $Q_{d,i}$ の負担率は全体的に VD が大きいものの、入力波の振動数成分が大きくなると、HD 負担率の上昇率が VD よりも顕著に表れてくる。

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および株式会社 i2S2、日本大学理工学部対震研究室作成の複素モーダル i2S2 を使用いたしました。ここに感謝の意を示します。

参考文献

- 石田琢志他：履歴減衰型・粘性減衰型制振部材を併用配置した10層フレームの応答特性(1~3) 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.545-550, 2008.9
- 石丸辰治他：パッシブ型制振構造物の等価線形化による応答解析法 日本建築学会構造系論文集 第542号 91-98, 2001年4月
- 石丸辰治：応答性能に基づく「対震設計」入門、彰国社、2004

*1 ㈱アール・アイ・エー (元東京理科大学大学院)

*2 東京理科大学

*3 オイレス工業㈱

*4 東京大学生産技術研究所

*5 ㈱日建設計

*1 RIA Ltd,

*2 Tokyo Univ. of Science

*3 Oiles Corporation

*4 Institute of Industrial Science, Tokyo Univ.

*5 NIKKEN SEKKEI Ltd.