

床免震機能を持つ制振システムの開発研究

Development Study of a Vibration Control System with Floor Isolation Function

○野口日和¹, 秦一平², 郭鈞桓³, 阿久戸信宏²

* Hiyori Noguchi¹, Ippei Hata², Kuo Chumhuan³, Nobuhiro Akuto²

This study evaluates the seismic response of the main structure and floor isolation layers using time history analysis, with a floor-isolation vibration control system installed on multiple floors. Results show that placing the system on upper floors improves structural response reduction, but increases the response of the isolation layers

1. はじめに

近年、オフィスビルなどでは、レイアウトの自由度が高いことから、大スパンや無柱の空間が採用されることが増えている。また、コロナ禍による働き方改革により、人が集う場所として使用されていた空間が、サーバーームなどの電子機器を扱う空間へと用途を変更するケースが増えている。これに伴い、床免震を用いて地震に対する安全性を新たに高めるエリアが増加する傾向にあり、建物自身の耐震性能も問われている。これに対し、昨年度までの研究^[1]において D.M.同調型 TMD, および層と床免震層に設置する直付け D.M. を複合した制振システムを構築し、かつ床免震効果を可能にする床免震機能付き制振システム（以下、提案システム）が提案された。なお、昨年度までの研究で提案システムを各層に設置した多質点系モデルへの検討はされていない。

そこで本研究では提案システムを主構造に複数層配置した場合の解析検討を目的としている。

2. 検討モデルの概要および設計方法

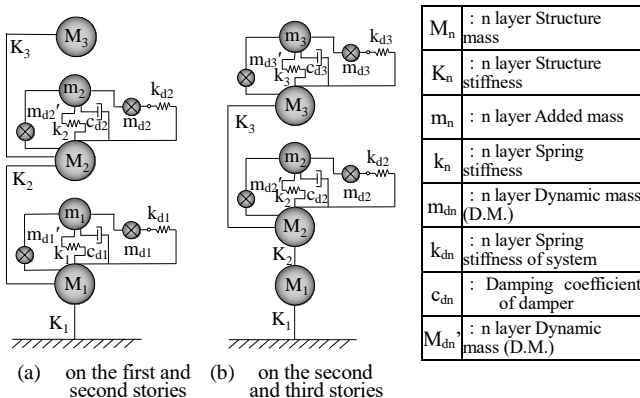


Fig.1 3-DOF model with floor isolated seismic control systemd

Fig.1 に解析モデルのモデル図を示す。

本検討では主構造の1層目および2層目に提案システムを配置した場合と、2層目および3層目に配置した場合の2ケースを対象とし、さらに質量比 $\mu = 5\%$,

$\mu = 10\%$, $\mu = 20\%$ の条件を組み合わせた計6ケースの検討を実施した。

次に、提案システムの諸元設定方法について示す。本検討では、はじめに既往研究^[1]に示された同調設定式を用いる。同調設定式を(1)式に示す。複素固有値解析を用いて、(1)式を満足するように同調 D.M. (m_d) および同調ばね剛性 (k_d) を決定する。次に、床応答加速度及び床層間変形を低減するために、直付け D.M.を用いて、既往研究^[1]により入力低減率 $\eta = m/(m + m_d)$ が 0.8~0.9 の範囲に直付け D.M.を決定する。それにより、床免震層の絶対加速度が低減し、適切な制振効果が得られる。以上を踏まえ、本検討では入力低減率を 0.85 と設定し、直付け D.M.の値を決定した。また、付加減衰 (c_d) は 1.5 (kN・s/m)とした。

$$T_0 = \sqrt{T_{0,1} T_{0,D.M.} \sqrt{\frac{2+\mu}{2}}} \quad (1)$$

μ : mass ratio (= m/M)	T_0 : Design period of the floor isolation layer
$T_{0,1}$: Fundamental mode period of the main system at $c_d=0$	$T_{0,D.M.}$: Period of the mode tuned to the main system at $c_d=0$ (D.M. mode)

Table1 に主構造の諸元および複素固有値解析結果を示す。また、床免震層の諸元を Table2 に、各制振モデルの複素固有値解析結果を Table3 に示す。主構造の固有周期は1秒とし、1次モードの粘性減衰定数が1%となるように内部減衰を設定した。また、床免震層の固有周期は2秒とする。

Table1. Parameters of the analyzed model(3-DOF model)

Parameters of structure		Eigenvalue analysis results	
FL	M(ton)	T(s)	h
3rd	3.0	1.00	0.02
2nd	3.0	0.41	0.05
1st	3.0	0.26	0.08

Table2. Parameters of the analyzed model (floor isolated seismic control systemd)

μ	m(ton)	k(kN/m)	m_d (ton)	k_d (kN/m)
0.05	0.15	1.48	0.026	1.350
0.10	0.3	2.96	0.053	2.710
0.20	0.6	5.92	0.106	5.420

1 : 日大理工・院 (前)・建築 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・専任職員・建築

Table3. Complex eigenvalue analysis results of each vibration damping model

Case (a) on the first and second stories								
$\mu : 0.05$			$\mu : 0.1$			$\mu : 0.2$		
mode	T(s)	h	mode	T(s)	h	mode	T(s)	h
m ₂	2.07	0.17	m ₂	2.89	0.37	m ₂	3.22	0.17
m ₁	2.06	0.17	m ₁	2.88	0.37	m ₁	3.21	0.17
1	1.01	0.03	m ₄₂	1.55	0.34	m ₄₂	1.41	0.12
2	0.41	0.05	m ₄₁	1.53	0.32	m ₄₁	1.35	0.17
3	0.26	0.08	1	1.01	0.06	1	0.96	0.09
m ₄₂	2.31	1.23	2	0.41	0.06	2	0.42	0.06
m ₄₁	2.28	1.23	3	0.26	0.08	3	0.27	0.08

Case (b) on the second and third stories								
$\mu : 0.05$			$\mu : 0.1$			$\mu : 0.2$		
mode	T(s)	h	mode	T(s)	h	mode	T(s)	h
m ₃	2.07	0.17	m ₃	2.89	0.37	m ₃	3.22	0.17
m ₂	2.06	0.17	m ₂	2.88	0.37	m ₂	3.21	0.17
1	1.01	0.03	m ₄₃	1.55	0.34	m ₄₃	1.41	0.12
2	0.41	0.05	m ₄₂	1.53	0.32	m ₄₂	1.35	0.17
3	0.26	0.08	1	1.01	0.06	1	0.96	0.09
m ₄₃	2.31	1.23	2	0.41	0.06	2	0.42	0.06
m ₄₂	2.28	1.23	3	0.26	0.08	3	0.27	0.08

3. 時刻歴応答解析による検討

本検討では、前節で示した各制振モデルについて時刻歴応答解析を行い、床免震層の応答および構造体の制振効果を確認する。Fig.2には各制振モデルにおける主構造の時刻歴応答解析結果を示し、Fig.3には各モデルにおける床免震層の時刻歴応答解析結果を示す。なお、入力地震動には BCJ-L2 の 0.5 倍波を使用している。

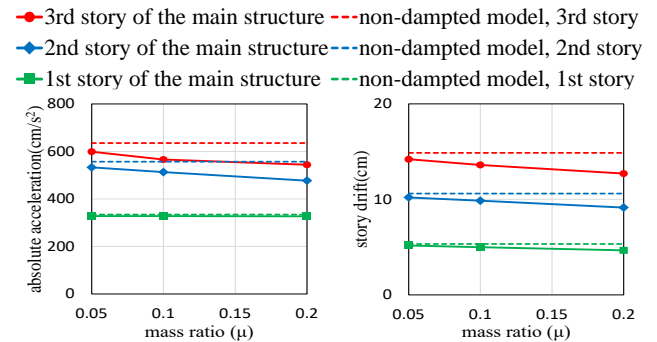
Fig.2 の主構造の応答については、質量比の増加に伴い絶対加速度および層間変形が低減している。提案システムの配置が Case(a)のときより Case(b)の方が主構造の応答がより低減する傾向を示した。一方、Fig.3 の床免震層の応答検討より、質量比が大きくなるにつれて絶対加速度は小さくなるものの、層間変形は増大する結果が得られた。また、設置層の違いによる床免震層の応答を比較すると、層間変形には大きな差が見られなかったが、絶対加速度は Case(b)の方が大きくなることを確認された。

4. まとめ

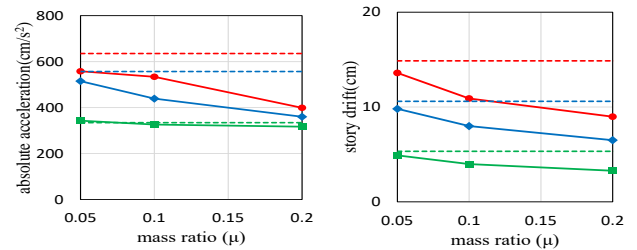
本報では、昨年度提案された床免震機能付き制振システムを複数階に設置した際の性能を解析的に評価した。その結果、質量比が増えると主構造の絶対加速度、層間変形がともに低減すること、提案システムを上階に設置した場合のほうが応答低減効果が顕著であることが示された。

一方で床免震層の応答については、質量比が増えると絶対加速度は小さくなるものの層間変形は増大すること、提案システムを上階に設置した場合、層間変形に大きな差はみられなかったが絶対加速度が大きくなることを示された。

つまり提案システムを上階に配置することで高い応答低減効果を発揮する一方で、床免震層の絶対加速度が増加し床免震効果が低減することが示された。

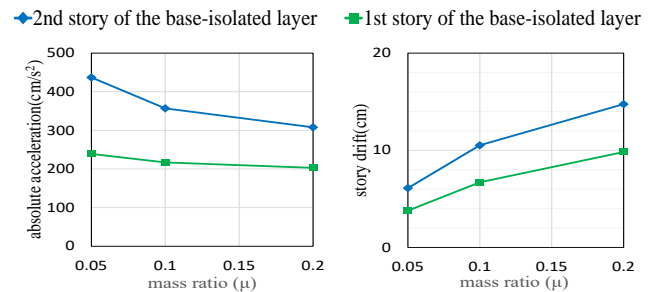


Case (a) Floor seismic isolation on the first and second stories

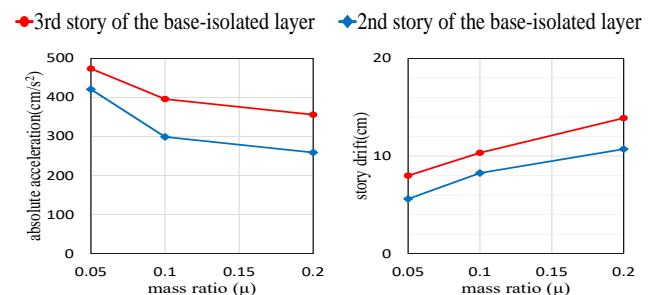


Case (b) Floor seismic isolation on the second and third stories

Fig.2 Time history analysis results (Main Structure)



Case (a) Floor seismic isolation on the first and second stories



Case (b) Floor seismic isolation on the second and third stories

Fig.3 Time history analysis results (Floor seismic isolation)

5. 参考文献

[1]野口日和, 秦一平, 郭鈞桓, 阿久戸信宏, 浅野颯太他:「床免震機能を持つ制振システムの開発に関する基礎的研究(その1~その2)」, 日本建築学会大会学術梗概集, pp.575~580, 2025.9