

## M-CK 型 D. M. 同調システムを用いた免震建築物に関する基礎的研究 Study on seismic isolated buildings with M-CK type tuned dynamic mass system

○本西凌太<sup>3</sup>, 秦一平<sup>1</sup>, 阿久戸信宏<sup>1</sup>, 郭鈞桓<sup>2</sup>

\*Ryota Motonishi<sup>3</sup>, Ippei Hata<sup>1</sup>, Nobuhiro Akuto<sup>1</sup>, Chunhuan Kuo<sup>2</sup>

Abstract: This paper shows the trend of damping of a seismic isolated building with M-CK type tuned dynamic mass system installed in the seismic isolation layer. In addition, we confirm the response of the seismically isolated building with the system.

### 1. はじめに

近年、高層建築物に免震構造が採用される事例が多く存在する。しかし、高層免震建築物では、上部構造の1次固有周期が長いこと、免震周期に対する上部構造の1次固有周期の比（以下、「周期比」）を大きく設定することが難しい。また、免震建築物の減衰定数は1次モードにおいて、おおよそ20%程度であるが、高次モードへの減衰付与は小さい。そのため、満足した周期比が得られないことで高次モードが励起され、応答加速度の増大による居住性の悪化などが懸念される。

既往の研究<sup>[1]</sup>より、回転慣性質量を用いた M-CK 型 D.M. (ダイナミック・マス) 同調システムが制御モードに加えて、高次モードに副次的な減衰付与効果を有していることが実証されている。また、D.M.の質量効果によって、見かけの質量を増加させ、構造物の周期を伸ばすことが可能である。そのため、建築物にシステムを付加することによって高減衰化を実現することが可能である。

以上を踏まえ本論文では、周期比の小さい免震建築物に M-CK 型 D.M.同調システムを導入した場合の高次モードへの減衰付与の傾向および時刻歴応答解析による応答性能および応答低減効果の把握を目的とする。

### 2. 対象建築物諸元

対象建物は21層せん断質点系の基礎免震モデルとする。上部構造は、パッシブ制震構造設計・施工マニュアル<sup>[2]</sup>に示す来タイプ架構の20層鉄骨造建築物をせん断質点系に置換したパラメータを用いる。免震層質量は上部構造の1層から19層の平均値の1.5倍とし、免震層等価剛性については、周期比が1.00, 1.25, 1.50の3ケースを用いて比較・検討を行う。なお、本検討では免震支承材を天然ゴム系積層ゴムと仮定し、免震層に設置した D.M.同調システムによって減衰を付与する。Table2-1 および Table2-2 に免震化時のモデル諸元および固有値解析結果を示す。

### 3. 設計条件および D. M. 同調システムの最適諸元

既往の研究で示された最適設計式<sup>[1]</sup>を用いて免震層に設置する M-CK 型 D.M.同調システムの最適諸元を算出する。制御モードを1次モード、目標粘性減衰定数  $h_{opt}$  を 0.15, 0.20, 0.25 とした場合の各ケースの最適諸元を Table3-1 に示す。

各ケースの複素固有値解析結果および減衰付与の傾向を Table3-2, Fig.3-1 に示す。それぞれ、設定した目標粘性減衰定数  $h_{opt}$  を満足していることが確認できる。また、減衰付与の傾向については、周期比が小さいモデルほど高次モードへの減衰付与が大きく、 $h_{opt}$  の設定が高いケースでその傾向が顕著に現れていることが確認できる。

Table2-1 Specifications of the 21-layer model

FL	Mass (ton)	Stiffness (kN/m)	FL	Mass (ton)	Stiffness (kN/m)		
21	1882.4	612652.4	9	1471.9	1615606.7		
20	1422.0	700085.4	8	1473.9	1663862.3		
19	1438.3	819981.3	7	1473.9	1693948.0		
18	1438.3	892566.5	6	1477.7	1892755.1		
17	1459.2	1103628.5	5	1485.6	1949715.5		
16	1464.4	1138197.9	4	1496.2	2226558.7		
15	1464.4	1202985.1	3	1506.7	2333519.8		
14	1473.3	1268004.4	2	1552.2	1873066.6		
13	1477.9	1447078.4	Seismic isolation layer	2210.2	Period ratios	1.50	92709.4
12	1482.4	1474640.3				1.25	133501.5
11	1468.9	1501369.0				1.00	208596.1
10	1468.9	1525124.6					

Table2-2 Eigenvalues of 21-layer model

Mode	Period ratios			Superstructure
	1.00	1.25	1.50	
	Period(s)			
1st	3.36	3.81	4.31	2.46
2nd	1.19	1.25	1.29	0.92
3rd	0.69	0.71	0.72	0.57
4th	0.48	0.48	0.48	0.41

Table3-1 Analysis model optimum parameters

Period ratios	$h_{opt}$	$m_d$ (ton)	$c_d$ (kN·s/m)	$k_d$ (kN/m)
1.50	0.25	19982.6	19632.5	34592.4
	0.20	14255.6	12100.8	26209.7
	0.15	8936.7	6134.7	17372.8
1.25	0.25	24483.3	30061.6	57119.6
	0.20	17657.5	18319.9	43254.5
	0.15	11207.2	9183.8	28657.7
1.00	0.25	33891.9	57972.6	112077.0
	0.20	24912.8	34087.6	84799.7
	0.15	16169.8	16673.2	56140.3

1: 日大理工・教員・建築 2: 日大理工・任期制職員・建築 3: 日大理工・院(前)・建築

Table3-2 Complex eigenvalue analysis results of 21-layer model

$h_{opt}$	Period ratios	1.00		1.25		1.50	
		Period (s)	h	Period (s)	h	Period (s)	h
0.25	1st	4.33	0.11	5.02	0.12	5.74	0.12
	D.M.	2.73	0.25	3.19	0.25	3.64	0.25
	2nd	1.05	0.18	1.20	0.13	1.26	0.09
	3rd	0.65	0.18	0.70	0.08	0.71	0.05
0.20	1st	4.16	0.10	4.79	0.11	5.46	0.11
	D.M.	2.88	0.20	3.29	0.20	3.74	0.20
	2nd	1.12	0.11	1.21	0.08	1.27	0.06
	3rd	0.68	0.09	0.70	0.05	0.71	0.03
0.15	1st	3.98	0.09	4.55	0.09	5.16	0.09
	D.M.	2.99	0.15	3.39	0.15	3.83	0.15
	2nd	1.15	0.06	1.23	0.04	1.28	0.03
	3rd	0.68	0.04	0.70	0.02	0.71	0.02

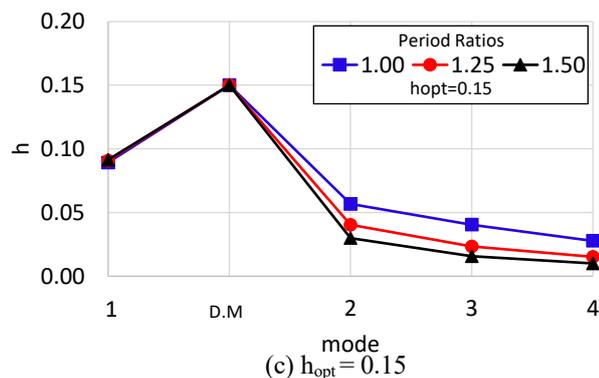
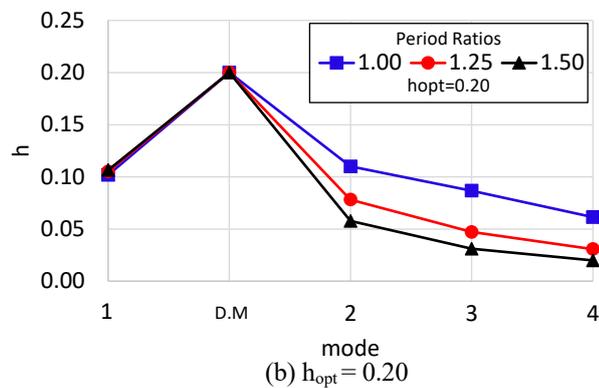
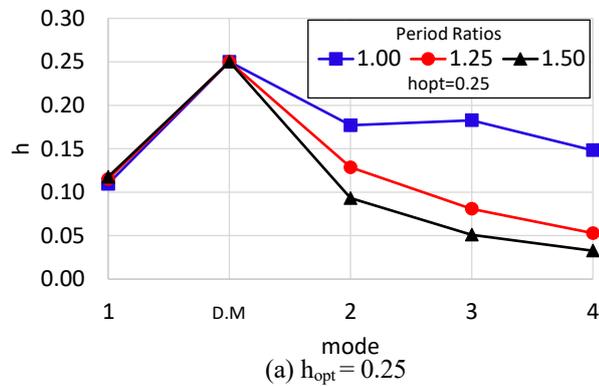


Fig.3-1 Damping ratio for each mode

#### 4. 時刻歴応答解析

Table3-1 の諸元を免震層に設けた 21 層の基礎免震モデルを対象に時刻歴応答解析を行い、免震層にシステムを導入した場合の応答性状の確認を行う。入力地震動に日本建築センター模擬波 (BCJ-L2) を使用する。また、比較のため免震層に粘性ダンパーのみを用いて 15% の粘性減衰を付与した C 型モデルを併せて示す。

時刻歴応答解析結果を Fig.4-1 に示す。一部例外は存在するが、M-CK 型 D.M.同調システムによる減衰付与が大きくなるにつれて、応答が低減されていることが確認できる。また、C 型モデルと比較すると、システムを設置することで、応答加速度が大幅に低減されていることが確認できる。

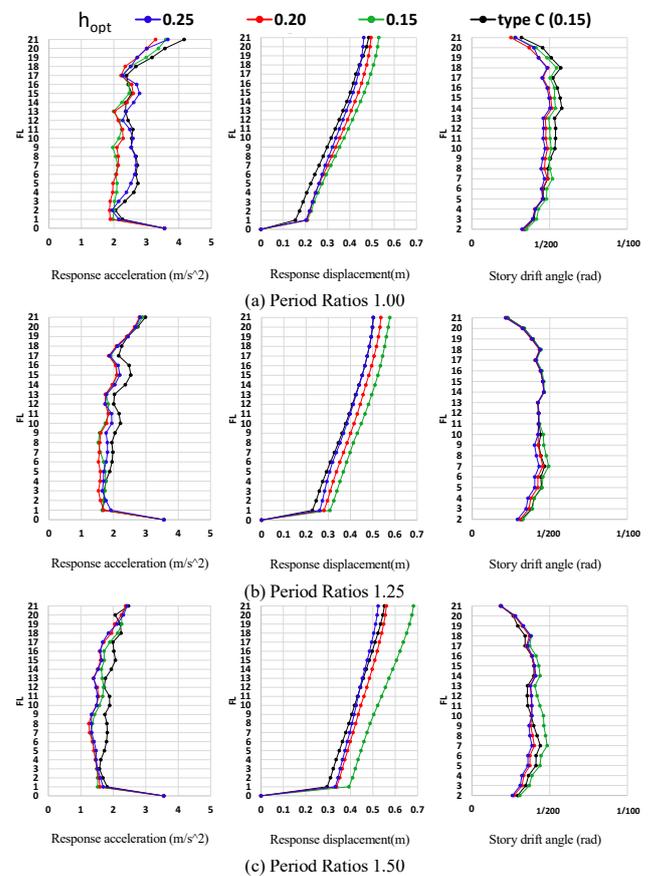


Fig.4-1 Maximum response value

#### 5. まとめ

本論文では免震建築物に M-CK 型 D.M.同調システムを設置した場合の減衰付与傾向を明らかにし、その際の地震応答性状を示した。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 21K04360 の助成を受けたものである。ここに感謝申し上げます。

#### 参考文献

- [1] 郭鈞桓, 秦一平, 宮島洋平 他: 「ばね-粘性減衰 (K-C) 並列型 D.M. 同調システムの応答性能に関する基礎的研究(その 1~その 5)」, 日本建築学会大会学術講演梗概集 2019(構造 II), 2019.9
- [2] パッシブ制振構造設計・施工マニュアル 第 3 版, (一社)日本免震構造協会, 2013. 11