

MC-K 型および M-CK 型 D. M. 同調システムによる複合制震に関する基礎的研究

その 1. D. M. 同調システムの特徴および制震効果

A basic study on the vibration control system combined MC-K and M-CK configured tuned dynamic mass system

Part.1 The performance Feature of tuned dynamic mass system

○本西凌太<sup>4</sup>, 秦一平<sup>1</sup>, 阿久戸信宏<sup>1</sup>, 郭鈞桓<sup>2</sup>  
市川達也<sup>3</sup>, 川口雄暉<sup>3</sup>, 栗林愛季<sup>4</sup>, 倉祐嗣<sup>4</sup>

\* Ryouta Motonishi<sup>4</sup>, Ippei Hata<sup>1</sup>, Nobuhiro Akuto<sup>1</sup>, Chunhuan Kuo<sup>2</sup>  
Tatsuya Ichikawa<sup>3</sup>, Yuki Kawaguchi<sup>3</sup>, Aiki Kuribayashi<sup>4</sup>, Yuji Kura<sup>4</sup>

Abstract: This paper proposes a more efficient seismic control mechanism by arranging combine two seismic control systems proposed from previous studies. In this report, we introduce two types of tuned dynamic mass system which exist as previous research called "MC-K type" and "M-CK type" that use mode tuning control. We show the features and confirmed the trend of additional attenuation about each of them by consideration using Multi-mass model. Then we propose combined vibration control system and show its effectiveness.

1. はじめに

既往の研究<sup>[1][2]</sup>では、モード同調制御を用いる D.M. 同調システムは、MC-K 型および M-CK 型が提案されている。MC-K 型では超高層建築物を対象として1次モード同調制御を行った場合、応答変位を大幅に低減することが可能である。しかし、高次モードには減衰が付与されないため、高次モードの影響を大きく受ける応答加速度の低減は困難である。一方、M-CK 型では同調した1次モードのみならず高次モードにも粘性減衰が付与されるため、変位と加速度を同時に低減することが可能である。

しかし、D.M.同調システムの同調モード以外のモード(以降、「非同調モード」)への減衰付与の特徴とその傾向は明らかになっていない。

以上を踏まえ本報では、非同調モードへの減衰付与の傾向を把握するために数値解析を用いて検討を行う。また、両システムを併用した複合制震を提案し、その有用性を示すことを目的とする。その2では複合制震を用いた振動試験の概要とその結果を示す。その3では複合制震を用いた設計例を示し、実大建築物への適用性を確認する。

2. D.M.同調システムについて

解析モデルは1次モードの固有周期を3秒とした8層せん断質点系モデルを用いる。Table1-1 にモデル諸元および非制震時の固有値結果を示す。同調システムはMC-K 型および M-CK 型、同調モードは1次、3次モードとした計4ケースの比較・検討を行う。Fig.1-1

に解析モデルを示す。各次モードの目標粘性減衰定数は $h_{j,D.M.} = 0.10$ とした( $j$ はモード次数)。

ここで、MC-K 型および M-CK 型の最適諸元は、既往の研究で示された最適設計式および簡易設計法<sup>[1][2]</sup>より算出する。Fig.1-2 に粘性減衰定数付与の傾向および共振曲線を示す。なお、共振曲線の作成においては、解析モデルの内部減衰は、レーリー減衰 $h_1, h_2=0.02$ とする。粘性減衰定数とモード次数の関係から、MC-K 型および M-CK 型の各解析モデルは、目標粘性減衰定数 $h_{j,D.M.}$ が0.10程度になっている。また、MC-K 型では3次モード制御した場合、低次モードに粘性減衰を与える傾向が見られる。一方、M-CK 型では3次モード制御した場合、高次モードに粘性減衰が付与されるが、低次モードには付与されないことが確認できる。共振曲線の応答倍率からも、高次モード制御した場合、MC-K 型による低次モードの応答低減効果が確認できる。

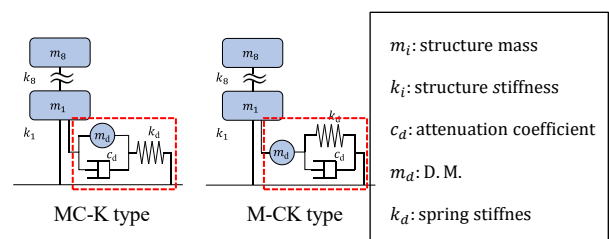


Fig.1-1 Analysis model

Table1-1 Specifications and eigenvalues of the 8-layer model

F	Mass (ton)	Stiffness (kN/m)	FL	Mass (ton)	Stiffness (kN/m)	Mode	Period(s)
L						1st	3.000
8	1.1	79.5	4	1.0	127.1	2nd	1.090
7	1.0	91.2	3	1.0	136.8	3rd	0.674
6	1.0	105.5	2	1.0	145.4	4th	0.497
5	1.0	113.0	1	1.0	157.3	5th	0.407

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 4: 日大理工・学部・建築

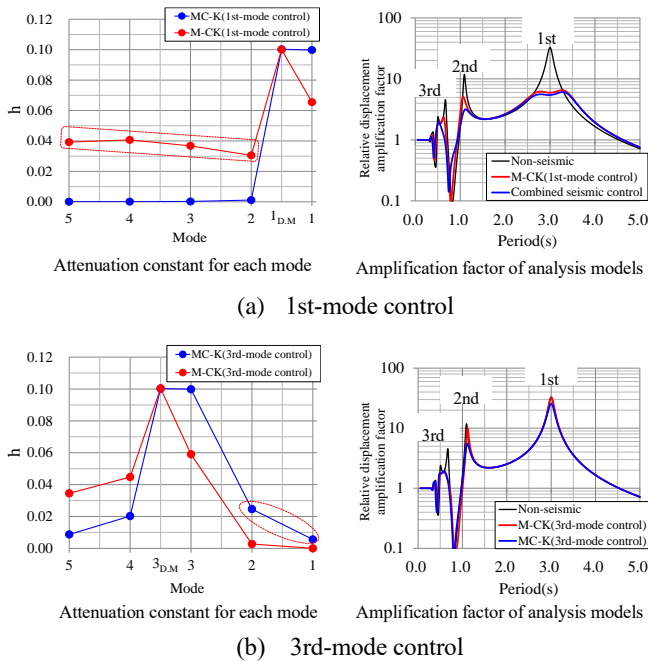


Fig.1-2 Amplification factor and relationship between attenuation constant and mode order

### 3. 複数モードのモード同調制御の設計

前章で示した D.M.同調システムの減衰付与の傾向を踏まえ、M-CK 型 1 次-MC-K 型 3 次同調制御の複合制震システムの設計を検討する。Table1-2 に解析モデル概要および制御モードを示す。1 層に 1 次モード、2 層に 3 次モードの同調制御でそれぞれの目標粘性減衰定数  $h_{j,D.M.} = 0.10$  と設定する。

Table1-3 に解析モデルの最適設計諸元を示す。ここで、MC-K 型と M-CK 型の最適諸元は、既往の研究で示された簡易設計法<sup>[1][2]</sup>より算出する。ただし、3 次モードの粘性減衰定数  $h_3$  は 1 次モード同調制御時より、更に 0.10 増加した値とする。Table1-4 に示す複素固有値解析結果から、最適減衰時の  $h_3$  は MC-K 型を用いることで 0.10 増加したことが確認できる。また、低次モードである 2 次モードの粘性減衰定数  $h_2$  も 0.05 程度増加していることが確認できる。

Fig.1-3 に最上層の共振曲線を示す。M-CK 型を単独で用いて建造物の 1 次モードに同調させるよりも、MC-K 型を併用した複合制震の方が全周期帯で応答倍率を低減している。特にその傾向は非同調モードの 2 次モードで顕著に表れている。これは高次モードに減衰を付与する M-CK 型と、低次モードに減衰を付与する MC-K 型の相乗効果によるものと考えられる。以上の結果から、異なる D.M.同調システムの複合による有用性と効率的な制震構造の可能性を解析的に示すことができた。

Table1-2 Analysis model overview and controlled mode

FL	Type	Tuning mode
2	MC-K	3rd
1	M-CK	1st

Table1-3 Optimal design specifications of the analysis model

Tuning mode	$h_j$ or $h_{j,D.M.}$	$\kappa_k$ or $\gamma_m$	$T_0$ (s)	$T_c$ (s)	$m_d$ (ton)	$c_d$ (kN·s/m)	$k_d$ (kN/m)
3rd	0.10	0.083	0.647	0.621	1.4	7.3	310.0
1st	0.10	0.074	3.000	3.111	11.0	12.7	59.4

※MC-K:  $j\kappa_k = (jT_0/jT_c)^2 - 1$ ,  $h_j \cong 0.5 \sqrt{j\kappa_k / (2 + j\kappa_k)}$   
 ※M-CK:  $j\gamma_m = (jT_c/jT_0)^2 - 1$ ,  $h_{j,D.M.} \cong 0.5 \sqrt{j\gamma_m (\gamma_m + 1) / 2}$   
 ( $j$ : mode number)

Table1-4 Complex eigenvalue analysis results (excluding internal attenuation)

(a) 1st-mode control			(b) 1st and 3rd-mode control		
Mode	Period(s)	h	Mode	Period(s)	H
1st	3.307	0.064	1st	3.320	0.068
D.M.1st	2.778	0.101	D.M.1st	2.764	0.109
2nd	1.093	0.021	2nd	1.084	0.070
3rd	0.723	0.000	3rd	0.701	0.100
D.M.3rd	0.534	0.059	D.M.3rd	0.568	0.281
4th	0.512	0.182	4th	0.506	0.071
5th	0.408	0.025	5th	0.406	0.027

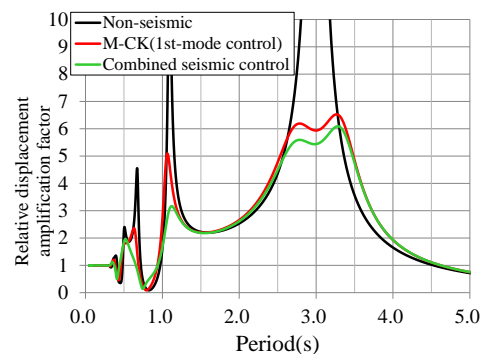


Fig.1-3 Amplification factor of analysis models (8th-layer)

### 4. まとめ

本報では、D.M.同調システムの特徴を示すと共に、多質点系モデルを用いた検討により、M-CK 型による高次モードの減衰付与、MC-K 型による低次モードの減衰付与の傾向および制震効果を確認した。さらに、上記 2 つのシステムを併用した複合制震を提案し、非同調モードに対して効率的に減衰を付与、また応答低減が可能であることを示した。

### 5. 参考文献

- 石丸辰治, 秦一平, 三上淳治, 公塚正行: 「付加剛比による D.M.同調システムの簡易設計法」, 日本建築学会構造系論文集, 第 75 巻, 第 654 号, 2010.8
- 郭鈞桓, 秦一平, 宮島洋平 他: 「ばね-粘性減衰 (K-C) 並列型 D.M.同調新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
- 石丸辰治: 「応答性能に基づく『対震設計』入門」, 彰国社, 2004