

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2. 複合制震の振動試験

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

Part.2 The vibration table test of the system tuned dynamic mass system combined MC-K and M-CK

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

* Aiki Kuribayashi⁴, Ippei Hata¹, Nobuhiro Akuto¹, Chunhuan Kuo²
Tatsuya Ichikawa³, Yuki Kawaguchi³, Ryouta Motonishi⁴, Yuji Kura⁴

Abstract: This paper shows the outline and results of vibration experiments conducted to verify the damping performance in the three patterns of the vibration damping mechanism that combines the two tuned dynamic mass systems and the two systems shown in the previous report. Moreover, in the vibration test, a contraction model assuming a skyscraper is targeted, and a sine wave or a seismic wave is used as an input at the time of vibration.

1. はじめに

前報その1では、モード同調制御を用いた MC-K 型と M-CK 型が、同調モード以外の特定のモードにも副次的な減衰付与効果がある事を解析的に示した。更にそれらを併用させた複合制震を提案し、減衰性能を解析により確認した。本報では、上記の理論および複合制震の性能を検証することを目的として、超高層建築物を想定した縮約試験体^[1]による振動試験を行う。

2. 試験体概要

Fig.2-1 に 8 層せん断モデル試験体(以降、試験体)および制震システム配置層の立面図を示す。試験体は超高層建築物を想定し、1 次モードの固有周期が 3 秒となるよう各層間にコイルばねを配置している。Table2-1 に試験体諸元および固有値結果、Fig.2-2 に制震装置の配置図を示す。MC-K 型では、並列に配置した D.M. とオイルダンパーに対して直列にコイルばねを設置する。M-CK 型では、並列に配置したコイルばねとオイルダンパーに対して直列に D.M. を設置する。なお、試験体の制約上、M-CK 型の配置においては取付部材を配置している。

Table2-2 に試験ケースおよび制震装置の諸元を示す。装置の設置層は、1, 2 層目とし、試験①, ②では MC-K 型, M-CK 型をそれぞれ単体で使用した際の制震効果を確認する。試験③では両システムを複合することで得られる制震効果を確認し、試験①, ②と結果を比較する。各試験ケースにおける複素固有値解析結果(内部減衰を除く)を Table2-3 に示す。なお、試験体製作の制約上、その1で示した最適設計諸元と異なっている。

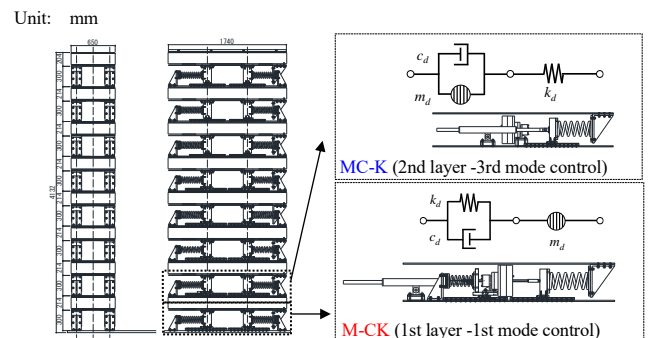


Fig.2-1 Elevation of 8-layer shear model

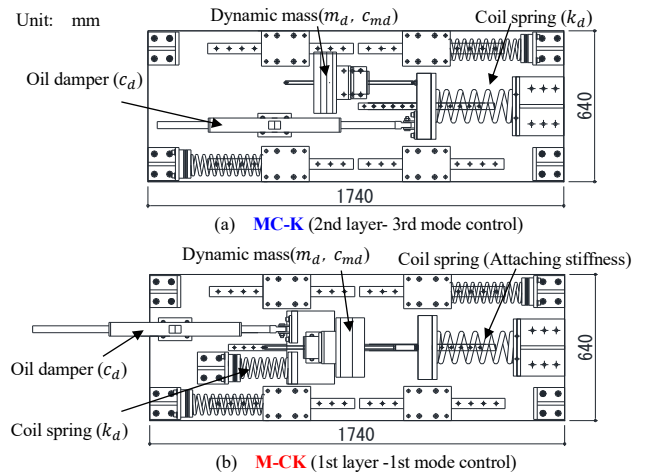


Fig.2-2 Seismic control devices Layout of MC-K and M-CK type

Table2-1 Parameters and natural periods of the Non-seismic model

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

3. 正弦波加振試験

正弦波入力により行った加振試験の試験条件および評価方法を示す。加振周期は0.30秒~4.50秒の範囲に設定し、レーザー変位計を用いて振動台と各層の変位を計測した。計測結果から各層の相対変位応答倍率を算出することで理論値との対応、および制震システムによる制震効果を確認する。

Fig.2-3 に各試験体の正弦波加振試験結果を示す。実線は設計時の解析値、マーカーは試験値を表している。行った全ての試験において、解析値と試験値は概ね良い対応をしている。

試験①では、MC-K型による制御対象とした3次モードだけでなく、2次モードにおいても応答を低減する傾向が確認できる。一方、試験②では、M-CK型による制御対象とした1次モードだけでなく、2次、3次モードにおいても応答を低減する傾向が確認できる。試験③では、複合させたM-CK型とMC-K型によって、幅広い周期帯で応答倍率を大幅に低減していることが見られる。特に、制御対象としていない2次モードの応答倍率を非制震時に比べて80%程度低減していることから、複合制震の有効性が示された。

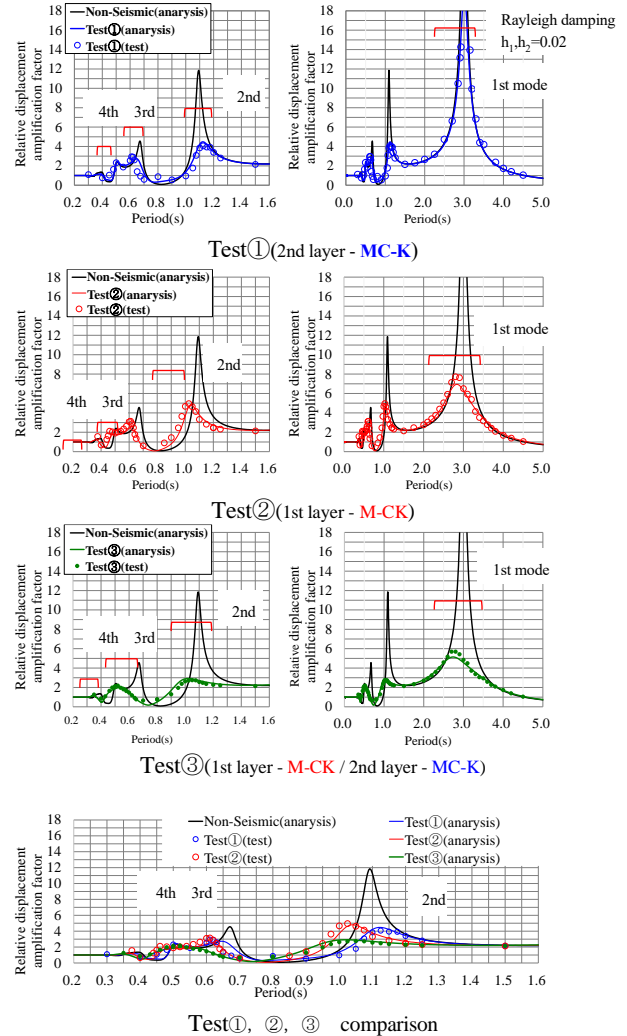


Fig.2-3 Amplification factors of analysis models(8th layer)

Table2-2 Analysis model optimum parameters

Test	Layer	System type	Control target	D.M.		c_d (kN·s/m)	k_d (kN/m)	Attaching stiffness (kN/m)
				m_d (ton)	c_{md} (kN·s/m)			
①	2	MC-K	3rd	1.5	8.5	-	542.6	-
	1	-	-	-	-	-	-	-
②	2	-	-	-	-	-	-	-
	1	M-CK	1st	18.0	8.5	30.0	106.8	1,248.8
③	2	MC-K	3rd	0.8	8.5	21.5	542.6	-
	1	M-CK	1st	18.0	8.5	30.0	106.8	1,248.8

※ c_{md} : D.M.装置の内部摩擦による等価減衰係数

Table2-3 Complex eigenvalue analysis results of optimum damping

Test①(2nd layer - MC-K)

Mode	Period(s)	h
1st	3.012	0.007
2nd	1.117	0.024
3rd	0.696	0.066
D.M.3rd	0.633	0.064
4th	0.497	0.000
5th	0.403	0.001

Test②(1st layer - M-CK)

mode	Period(s)	h
1st	2.350	0.193
D.M.1st	2.852	0.099
2nd	1.026	0.033
3rd	0.629	0.028
4th	0.463	0.020
5th	0.382	0.015

Test③(1st layer - M-CK / 2nd layer - MC-K)

Mode	Period(s)	h
1st	3.400	0.92
D.M.1st	2.763	0.140
2nd	0.966	0.097
3rd	0.578	0.100
D.M.3rd	0.447	0.275
4th	0.415	0.057
5th	0.345	0.027

m : structure mass
 k : structure stiffness
 m_d : dynamic mass
 c_d : damping coefficient
 c_{md} : D.M. internal damping
 k_d : spring stiffness
 h : viscos damping ratios

4. まとめ

本報では、試験体を用いた複合制震の振動試験結果を示した。試験結果から、MC-K型を用いた高次モード同調制御では低次モードに、M-CK型を用いた1次モード同調制御では、高次モードに副次的な減衰付与効果があることを示した。更に、MC-K型とM-CK型の2つの制震システムを併用させる複合制震の場合、各システムを単体で用いた時よりも、幅広い周期帯において応答低減効果が見られる等の、高い制震効果を得ていることが検証された。

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