

C\_MK 型 TMD システムの応答性能に関する基礎的研究

STUDY ON SEISMIC PERFORMANCE OF C\_MK TYPE TUNED DYNAMIC MASS SYSTEM

○山下直城<sup>1</sup>, 秦一平<sup>2</sup>, 郭鈞桓<sup>3</sup>, 阿久戸信宏<sup>2</sup>

\*Naoki Yamashita<sup>1</sup>, Ippei Hata<sup>2</sup>, Kuo Chumhuan<sup>3</sup>, Nobuhiro Akuto<sup>2</sup>

Abstract: This paper proposes a response control study using a M-CK type and C\_MK type tuned dynamic mass system that is following the concept of TMD. Look for the optimum attenuation in the M-CK type and C\_MK type tuned dynamic mass system and show the effectiveness by the complex eigenvalue analysis.

1. はじめに

現在, 超高層建物の改修において同調質量ダンパー(以降, TMD)<sup>[1]</sup>が利用されている事例が多い. その理由は, TMD システムの付加質量を給水タンクなどを利用して大きくすることが可能となり, 省スペースで施工範囲が屋上であることから, 改修事例が多くなった. ただし, 対象建物の性能を正確に知ることが必要であり, 施工時の建物に対する TMD の周期調整が難しい点が課題である. そこで, 本研究では, TMD の長所を活かしつつ, その欠点を改善するため, D.M.同調システムを組み合わせた新しい制振システムの提案と, その効果の検証を目的とする.

2. M-CK 型 TMD システムの提案

既往の研究<sup>[2]</sup>では, ダイナミック・マスと粘性減衰, ばね剛性を用いた M-CK 型 D.M.同調システムについての最適設計式及び設計法が示されている. 本研究では, 構造物の最頂部に長周期の層を設け, その層間に M-CK 型システムを導入する制振システムである.

Fig.1 に示す M-CK 型の最適同調式を(1)式, 最適減衰式を(2)式に示す. ここで,  $c_d = \infty$  の状態の固有周期を  $T_\infty$ , 非制振時の固有周期を  $T_0$ , 主系 1 次モード, D.M モードの周期を  $T_{0,1}$ ,  $T_{0,2}$  にて表している.

$$T_\infty = \frac{T_{0,1}T_{0,2}}{T_0} \quad (1) \quad h_{opt} \cong 0.5 \sqrt{\frac{(T_\infty/T_0)^2 \cdot ((T_\infty/T_0)^2 - 1)}{2}} \quad (2)$$

Table1 に解析モデルの非制振時の諸元と固有値解析結果を示す. 建物総重量に対する付加層質量の比である質量比を  $\mu$  とし, 付加層質量に対する D.M の比を  $\gamma$  と定義する. ここで,  $\gamma = 1$ ,  $\gamma = 10$  の検討例を示す. 付加層の固有周期は 3.0(s), 質量比  $\mu = 3$  [%] と設定し, 最適設計式より決定した M-CK 型 TMD の諸元および複素固有値解析結果を Table2, Table3, 従来型 TMD 装置の結果を Table4 に示す. 非制振モデルに対して M-CK 型 TMD は, 付与層の TMD モードと D.M.モードが

増えて, D.M.モードは 1 次モードと同調しているため, 減衰定数が大きくなっているが, TMD モードの減衰定数がほぼないことが確認される. 次に,  $\mu$  及び  $\gamma$  を変更し, 最適減衰式による目標減衰定数の関係を Fig.2 に示す. M-CK 型 TMD が得られる減衰定数は従来型 TMD と同程度であることが確認できる.

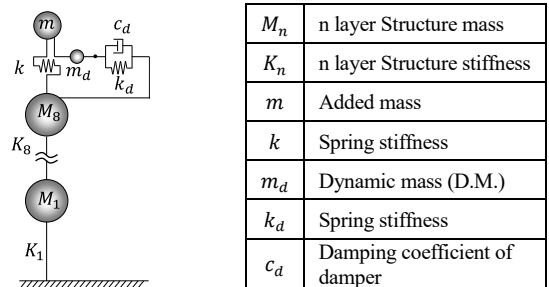


Fig.1 8-DOF model with the M-CK system

Table1 Parameters and Natural period of the 8-DOF model

| FL | M (ton) | K (kN/m) | FL | M (ton) | K (kN/m) | Mode | Period (s) |
|----|---------|----------|----|---------|----------|------|------------|
| 8  | 1.0     | 678.8    | 4  | 0.9     | 1139.0   | 1st  | 1.054      |
| 7  | 0.9     | 804.2    | 3  | 0.9     | 1192.1   | 2nd  | 0.381      |
| 6  | 0.9     | 921.5    | 2  | 1.0     | 1324.4   | 3rd  | 0.235      |
| 5  | 1.0     | 1059.6   | 1  | 1.1     | 701.7    | 4th  | 0.171      |

Table2 Optimal design of M-CK system  $\gamma = 1$

| Parameters of TMD system |            | Parameters of M-CK system |                |              | Mode | Period (s) | $h$   |
|--------------------------|------------|---------------------------|----------------|--------------|------|------------|-------|
| $m$ (ton)                | $k$ (kN/m) | $m_d$ (ton)               | $c_d$ (kN·m/s) | $k_d$ (kN/m) | TMD  | 4.397      | 0.002 |
| 0.23                     | 1.0        | 0.23                      | 0.15           | 3.7          | 1st  | 1.141      | 0.049 |
|                          |            |                           |                |              | D.M. | 0.987      | 0.059 |
|                          |            |                           |                |              | 2nd  | 0.381      | 0.002 |
|                          |            |                           |                |              | 3rd  | 0.235      | 0.001 |

Table3 Optimal design of M-CK system  $\gamma = 10$

| Parameters of TMD system |            | Parameters of M-CK system |                |              | Mode | Period (s) | $h$   |
|--------------------------|------------|---------------------------|----------------|--------------|------|------------|-------|
| $m$ (ton)                | $k$ (kN/m) | $m_d$ (ton)               | $c_d$ (kN·m/s) | $k_d$ (kN/m) | TMD  | 10.596     | 0.002 |
| 0.23                     | 1.0        | 2.3                       | 0.36           | 6.3          | 1st  | 1.168      | 0.063 |
|                          |            |                           |                |              | D.M. | 0.976      | 0.084 |
|                          |            |                           |                |              | 2nd  | 0.380      | 0.004 |
|                          |            |                           |                |              | 3rd  | 0.235      | 0.002 |

Table4 Optimal design of TMD system

| Parameters of TMD system |              |                | Mode                             | Period (s) | $h$   |
|--------------------------|--------------|----------------|----------------------------------|------------|-------|
| $m_d$ (ton)              | $k_d$ (kN/m) | $c_d$ (kN·m/s) | 1st <td>1.18</td> <td>0.071</td> | 1.18       | 0.071 |
| 0.23                     | 7.6          | 0.41           | TMD                              | 0.98       | 0.085 |
|                          |              |                | 2nd                              | 0.38       | 0.004 |
|                          |              |                | 3rd                              | 0.23       | 0.002 |
|                          |              |                | 4th                              | 0.17       | 0.001 |

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 (技手補)・建築

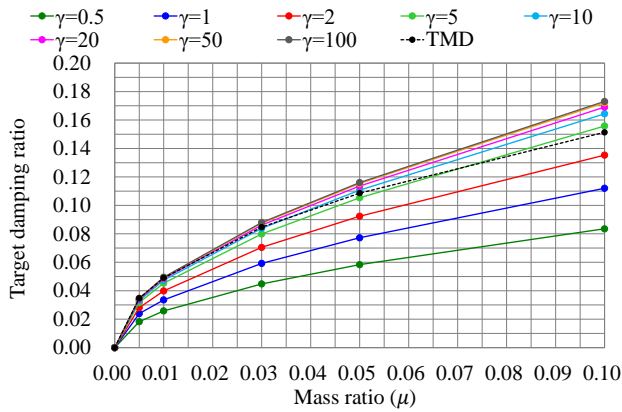
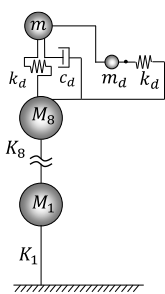


Fig.2 Target damping ratio

### 3. C\_MK 型 TMD システムの提案

本章では、2章で示した M-CK 型 TMD システムと比較して、システム内の配置構成を変更した制振システムを提案する。提案するモデル図を Fig.3 に示す。制振システムの構成は、付加層にダッシュポッド単体とダイナミックマスとばね剛性を直列に接続したものをそれぞれ層間に設置したモデルを提案する。本章のシステムを「C\_MK 型」と呼称する。M-CK 型と同様に構造物の最頂部に周期の長い層を構成し、層間に C\_MK 型を導入する。付加層の固有周期は 3.0(s),  $\mu = 3[\%]$  と設定した。

ここで、M-CK 型の最適設計式を用いて決定した、C\_MK 型の  $\gamma = 1$ ,  $\gamma = 10$  における諸元、複素固有値解析結果および 8 層目共振曲線を Table5, Table6, Fig.4 にそれぞれ示す。Fig.4 により M-CK 型は  $\gamma = 1$ ,  $\gamma = 10$  共に定点理論に基づき、適切な減衰が付与できていることが確認出来る。しかし、C\_MK 型では  $\gamma = 1$  の場合、C\_MK 型の応答倍率の高さがずれることが見受けられるものの、 $\gamma = 10$  において、C\_MK 型は M-CK 型と同等に応答倍率が最適化されていることが確認できる。このことから、C\_MK 型システムに M-CK 型の最適設計式を適用する際、 $\gamma > 10$  において近似式として使用可能であると考えられる。さらに、M-CK 型と比較し付加層の TMD モードへの減衰付与が大きく増加していることが確認できる。



|       |                               |
|-------|-------------------------------|
| $M_n$ | n layer Structure mass        |
| $K_n$ | n layer Structure stiffness   |
| $m$   | Added mass                    |
| $k$   | Spring stiffness              |
| $m_d$ | Dynamic mass (D.M.)           |
| $k_d$ | Spring stiffness              |
| $c_d$ | Damping coefficient of damper |

Fig.3 8-DOF model with the C\_MK system

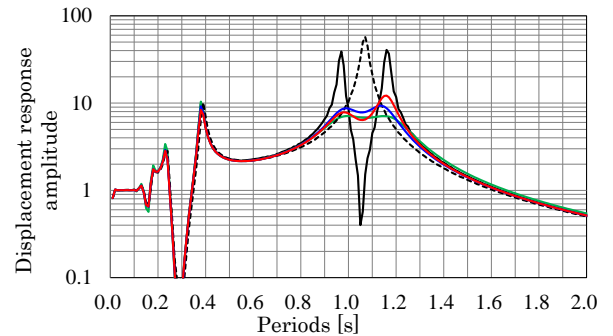
Table5 Optimal design of C-MK system  $\gamma = 1$

| Parameters of TMD system |            | Parameters of C MK system |                |              | Mode | Period (s) | $h$   |
|--------------------------|------------|---------------------------|----------------|--------------|------|------------|-------|
| $m$ (ton)                | $k$ (kN/m) | $m_d$ (ton)               | $c_d$ (kN·m/s) | $k_d$ (kN/m) |      |            |       |
| 0.23                     | 1.0        | 0.23                      | 0.41           | 3.7          | TMD  | 4.34       | 0.269 |
|                          |            |                           |                |              | 1st  | 1.16       | 0.028 |
|                          |            |                           |                |              | D.M. | 0.99       | 0.059 |
|                          |            |                           |                |              | 2nd  | 0.38       | 0.004 |
|                          |            |                           |                |              | 3rd  | 0.23       | 0.002 |

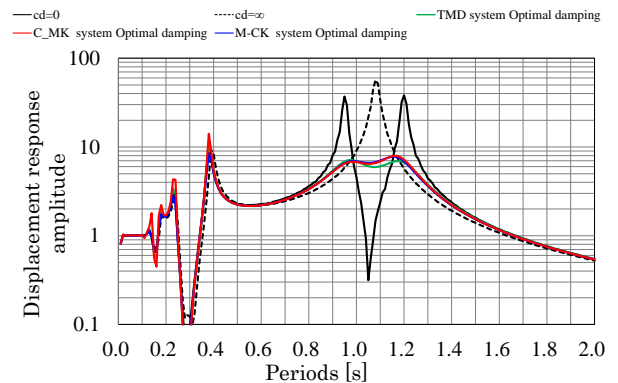
Table6 Optimal design of C-MK system  $\gamma = 10$

| Parameters of TMD system |            | Parameters of C MK system |                |              | Mode | Period (s) | $h$   |
|--------------------------|------------|---------------------------|----------------|--------------|------|------------|-------|
| $m$ (ton)                | $k$ (kN/m) | $m_d$ (ton)               | $c_d$ (kN·m/s) | $k_d$ (kN/m) |      |            |       |
| 0.23                     | 1.0        | 2.3                       | 0.41           | 6.3          | TMD  | 10.56      | 0.106 |
|                          |            |                           |                |              | 1st  | 1.17       | 0.059 |
|                          |            |                           |                |              | D.M. | 0.98       | 0.084 |
|                          |            |                           |                |              | 2nd  | 0.38       | 0.004 |
|                          |            |                           |                |              | 3rd  | 0.23       | 0.002 |

—cd=0      - - - - -cd=∞      — TMD system Optimal damping  
 — C\_MK system Optimal damping      — M-CK system Optimal damping



(a)  $\gamma = 1$



(b)  $\gamma = 10$

Fig.4 8th layer resonance curve

### 4. まとめ

本研究では、TMD 装置の基本概念を基に、M-CK 型および C\_MK 型 TMD システムを提案した。これらのシステムは、ダンパー部での調整のみで制振効果を実現できる為、TMD システムの同調調整が困難であるという従来の課題を解消可能であると考えられる。今後は、提案したシステムの応答低減効果を確認するため、振動実験を今後実施する予定である。

### 5. 参考文献

- [1] 背戸一登, 丸山晃市: 振動工学 解析から設計まで, 森北出版株式会社, 2002
- [2] 秦一平, 郭鈞桓, 阿久戸信宏 他: 「MC-K 型および M-CK 型 D.M.同調システムによる複合制振(震)の応答性能に関する研究」, 日本建築学会構造系論文集, 第 804 号, 2023.2