

## 入力エネルギーによる擬似モード制御システムの性能評価 その1 D.M.量に対する性能の把握

### Evaluating the performance of Pseudo Mode Control System by input energy Part1: Grasp of the performance for the quantity of D.M.

玉木龍<sup>3</sup>, 石丸辰治<sup>1</sup>, 古橋剛<sup>2</sup>, 登坂遼太郎<sup>3</sup>, 野村大輔<sup>4</sup>

\*Ryu Tamaki<sup>3</sup>, Shinji Ishimaru<sup>1</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>2</sup>, Ryotaro Tosaka<sup>3</sup>, Daisuke Nomura<sup>4</sup>

In this paper, it is clarified that a relationship of the performance and quantity of D.M. to added to a building from the viewpoint of total input energy. In addition, after that it is shown that the theoretical background which came to suggest a partial mode control system.

#### 1.1 はじめに

今日の制震建物の設計では、粘性ダンパーや弾塑性ダンパーを取り付けることによる、運動方程式の減衰項、剛性項の調整により設計が行われている。しかし、近年質量項を調整することのできるダイナミックマスタダンパー(以降 D.M.)が古橋・石丸らにより提案され、注目を集めている。これは、構造物の振動モードを調整することができるデバイスであり、高次モードの刺激関数をゼロ化する制御(以降モード制御)システムの構築が可能となる。

またモード制御システムの手法の 1 つとして、擬似モード制御システムが提案されているが、これは数層に D.M.を設置し、2 次～数次のモードを擬似的に制御するシステムである。また、擬似モード制御システムは工学的判断に基づき D.M.量を調整できるシステムであるが、D.M.量と性能の関係性が明確に把握されていないのが現状であり、改良の余地があるといえる。

そこでその 1 では、地震動により建築物に入力されるエネルギーを性能の判断材料として、擬似モード制御システムにおける D.M.量と性能の関係性について明らかにし、その 2 以降で示す新たなモード制御手法の理論の根幹を示していく。

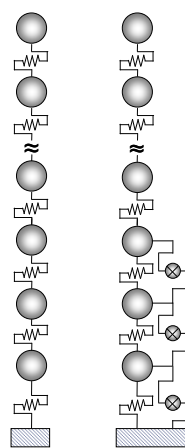
#### 1.2 モード制御システムにおけるエネルギー評価

まず、総入力エネルギーの計算方法を述べる。D.M.を含むエネルギーの釣合式は(1-1)式で表される。これは左辺の項より運動エネルギー、消散エネルギー、弾性変形エネルギー、入力エネルギーとなる。このとき、最終的な入力エネルギーが総入力エネルギーとなる。

$$\int_0^t \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} dt + \int_0^t \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{C} \dot{\mathbf{x}} dt + \int_0^t \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{K} \mathbf{x} dt = - \int_0^t \dot{\mathbf{x}}^T \mathbf{M} \ddot{\mathbf{y}} dt \quad (1-1)$$

本報では質点モデルを作成し、(1-1)式を用い非制震モデルと擬似モード制御モデルのエネルギー量の比較

を行う。Figure1-1, Table1-1, Table1-2 にモデル諸元及び固有値解析結果を示す。



a)非制震 b)擬似モード制御  
Figure1-1 Model

Table1-1 Model parameter

FL	質量 (ton)	減衰係数 (kN·s/m)	初期剛性 (kN/m)	擬似モード制御 D.M.量(ton)
10	1000	4000	800000	-
9	1000	4000	800000	-
8	1000	4000	800000	-
7	1000	4250	850000	-
6	1000	4250	850000	-
5	1000	4250	850000	-
4	1000	4500	900000	-
3	1000	4500	900000	2856
2	1000	4500	900000	6123
1	1000	4500	900000	9688

Table1-2 Comparison of a eigenvalue

mode	非制震		擬似モード制御	
	T(s)	h	T(s)	h
1	1.42	0.02	1.47	0.02
2	0.48	0.04	0.67	0.03
3	0.30	0.07	0.55	0.04
4	0.21	0.09	0.42	0.05
5	0.17	0.11	0.30	0.07
6	0.15	0.13	0.21	0.09
7	0.13	0.15	0.16	0.12
8	0.12	0.16	0.13	0.15
9	0.11	0.17	0.12	0.16
10	0.11	0.18	0.11	0.17

Figure1-2, Figure1-3 に解析結果を示す。なお入力地震動は El Centro 1940 NS 及び TAFT 1952 EW とする。

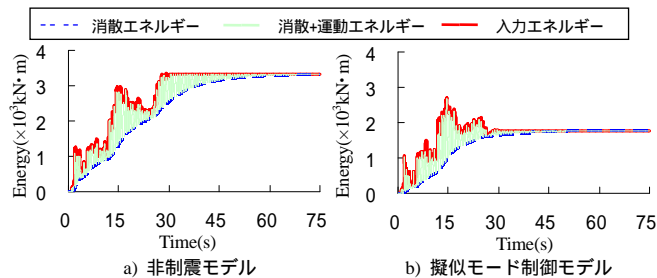


Figure1-2 Result of energy analysis (El Centro 1940 NS)

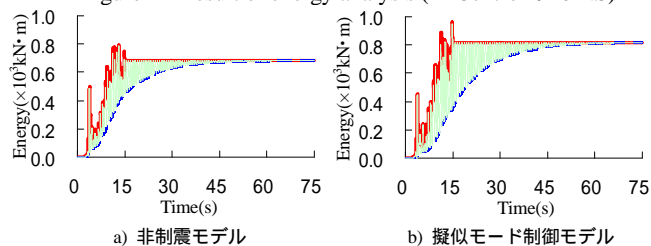


Figure1-3 Result of energy analysis (TAFT 1968 EW)

Figure1-2, Figure1-3 を見ると、El Centro 1940 NS で

は制震モデルの方が総入力エネルギーが小さくなっている．これに対し TAFT 1952 EW では制震モデルの方が総入力エネルギーが大きい．これは D.M. を付加したことにより固有周期が伸びた為、地震動によって異なった挙動を示していると考えられる．つまり地震動を用いた解析では、固有周期によりエネルギーの値が大きく左右されてしまう為、定性的な評価が難しくなるといえる．

そこで、固有周期によらない、制震システム本来の性能を評価する必要があるといえ、本報では、以降に示す設計用  $V_E$  スペクトルを用い、さらに検討を行う．

### 1.3 設計用 $V_E$ スペクトルを用いたエネルギー評価

秋山により提案される、固有周期に影響を受けない周期領域を持つ設計用  $V_E$  スペクトルを用いて、先に示したモデルの構造物全体のエネルギー及びモードごとのエネルギーを算出する．

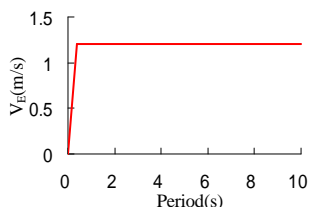


Figure1-4 Design  $V_E$  spectrum

$$E_j = \frac{1}{2} \hat{m}_j V_{Ej}^2 \quad (1-2)$$

$$E = \sum_{j=1}^n E_j \quad (1-3)$$

$E_j$ : モードごとのエネルギー

$\hat{m}_j$ : 有効質量

$V_{Ej}$ : エネルギー換算速度

E: 構造物全体のエネルギー

Table1-3 Input energy (kN · m)

mode	非制震	擬似モード制御	比率
1	6058.97	5684.83	0.94
2	684.34	11.26	0.02
3	124.82	27.39	0.22
4	30.89	45.31	1.47
5	10.58	8.13	0.77
6	4.16	6.63	1.59
7	1.89	2.41	1.28
8	0.80	0.89	1.12
9	0.33	0.29	0.90
10	0.21	0.10	0.49
全体	6916.98	5787.26	0.84

\*比率=擬似モード制御/非制震

Table1-3 に設計用  $V_E$  スペクトルを用いた総入力エネルギーの算出結果を示す．この結果から、擬似モード制御モデルは非制震モデルに比べ、低次モードのエネルギーが大幅に低減し、2次、3次モードのエネルギーに関しては、ほぼ制御されていることがわかる．その為、構造物全体においても、擬似モード制御モデルが 16% 程度小さい値となっている．つまり、設計用  $V_E$  スペクトルを用いることで、擬似モード制御システム本来の性能を評価し、有効性を証明できるといえる．

### 1.4 擬似モード制御システムにおける D.M. 量と性能

また、設計用  $V_E$  スペクトルを用いて、擬似モード制御システムの D.M. 量に対する性能の関係性を把握する．Table1-4、Table1-5 及び Figure1-5 に示すモデルの第 1 層に設置した D.M. により擬似モード制御システムを構築し、D.M. 量を増加させた時の構造物への入力エネルギーを確認する．なお、取付け部材の剛性は無視するものとする．

Table1-4 Model parameter

FL	質量 (ton)	初期剛性 (kN/m)
3	100	10000
2	100	12500
1	100	15000

Table1-5 Eigenvalue

mode	固有周期 (s)
1	1.22
2	0.47
3	0.32

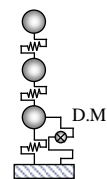


Figure1-5 Model

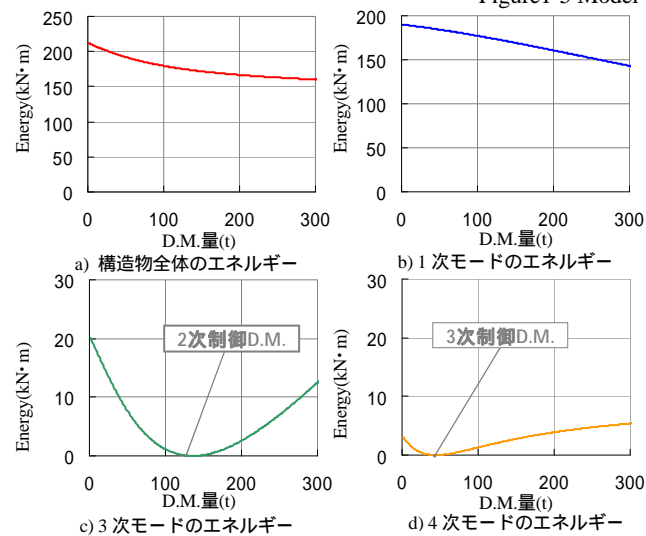


Figure1-6 Relations of quantity of D.M. and the performance

Figure1-6 に検討結果を示す．まず、Figure1-6 a) b) より構造物全体のエネルギーと 1 次モードのエネルギーは D.M. 量が多いほど低減することがわかる．これらは、D.M. の付加により得られる入力低減効果が大きくなる為である．また Figure1-6 c), d) より 2 次モード及び 3 次モードのエネルギーにおいては、擬似的ではなく完全にエネルギーをゼロ化する D.M. 量が存在することがわかる．従って、特定の高次モードのエネルギーを制御する設計を行うのであれば、D.M. 量は Figure1-6 c) d) に示すような D.M. 量に適しているといえる．またこのように、D.M. 量と性能の関係性は、擬似モード制御システムにおける D.M. 量を決定するための指標となるといえる．

### 1.5 まとめ

設計用  $V_E$  スペクトルを用いて得られる総入力エネルギーにより、擬似モード制御システム本来の性能を評価できることを示した．また、総入力エネルギーを性能の判断材料とすることで、擬似モード制御システムにおける、付加する D.M. 量に対する性能を把握した．

### 1.6 参考文献

- [1] 石丸辰治:「応答性能に基づく「対震設計」入門」彰国社
- [2] 石丸辰治, 秦一平, 古橋剛:「擬似モード制御による 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 661 号, pp.509-517, 2011.3
- [3] 秋山宏:「エネルギーの釣合に基づく建築物の対震設計」技法堂出版