

D. M. を付加した制震構造物の入力エネルギー特性の把握

Study on characteristics of earthquake energy input to a structure with Dynamic Mass(D.M.)

○ 玉木龍³, 古橋剛², 石丸辰治¹, 藤田雄一郎³

Ryu Tamaki³, Takeshi Furuhashi², Shinji Ishimaru¹, Yuichiro Fujita³

In this paper, the earthquake energy input to a structure with Dynamic Mass(D.M.) is analyzed and its characteristics are studied. First, three analyzed models are made. Second, two seismic waves such as BCJ-L2 and El-Centro 1940 NS are inputted to each models. So, responses and energies of each models are analyzed. Third, we compare the analysis results of each models and examine the influence to each structures.

1. はじめに

既往の研究^{[1][2]}により D.M. (動的慣性質量)を付加した構造物の地震時の応答特性の把握が進んでおり、D.M.が構造物の応答制御に対して有効であることが示されている。しかし、D.M.を付加した際の構造物に入力されるエネルギー特性については、未だ解明されていない点が多いのが現状である。

そこで本報では D.M.を付加した制震モデルを作成し、非制震時に比べ応答値やエネルギーがどのように変化するか解析し考察する。

2. 解析モデル

解析するモデルは 5 質点せん断型モデルとし、非制震モデル、非制震に付加減衰を直列バネを用いて構造物に並列に配置したモデルを C 型、非制震に D.M.同調システムを付加したモデルを MC 型とする。また C 型、MC 型ともに石丸・秦・古橋らの簡易設計法^{[1][2]}を用いた最適設計を行っている。Figure-1 にモデル図を示す。

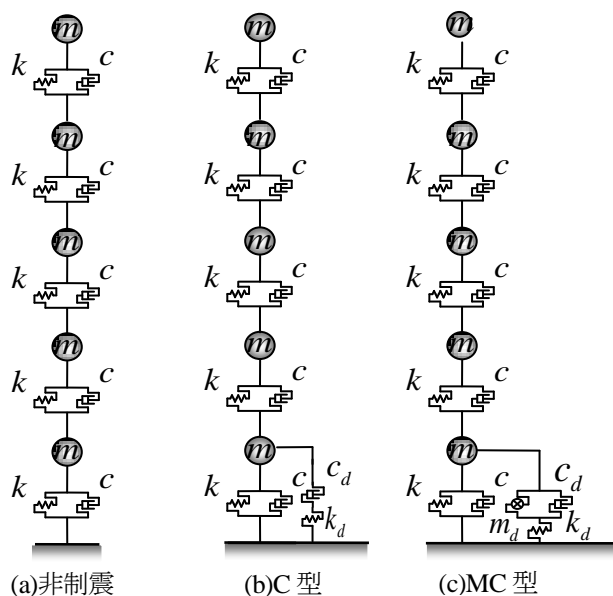


Figure-1 Diagram each of the three model

各モデルの諸元を Table-1 に示す。なお、取り付け部剛性 \$k_d\$ は主架構の剛性 \$k\$ の 5 倍とし、減衰係数 \$c\$ は非制震時の 1 次の粘性減衰定数 \$h_0\$ が 0.01 となるよう剛性比例で設定する。また、各モデルの固有値を Table-2 に示す。

Table-1 Model parameter

非制震			C型の付加装置			MC型の付加装置		
質量 (ton)	減衰係数 (kN·s/m)	剛性 (kN/m)	D.M.量 (ton)	減衰係数 (kN·s/m)	取り付け部剛性 (kN/m)	D.M.量 (ton)	減衰係数 (kN·s/m)	取り付け部剛性 (kN/m)
100	157	50000	0	0	0	0	0	0
100	157	50000	0	0	0	0	0	0
100	157	50000	0	0	0	0	0	0
100	157	50000	0	0	0	0	0	0
100	157	50000	0	3600	250000	650	4500	250000

Table-2 Comparison of a eigenvalue

	固有周期 T(s)			粘性減衰定数		
	非制震	C型	MC型	非制震	C型	MC型
1次	0.99	0.96	1.04	0.01	0.08	0.20
2次	0.34	0.30	0.67	0.03	0.11	0.21
3次	0.21	0.19	0.28	0.05	0.09	0.04
4次	0.17	0.15	0.19	0.06	0.08	0.05
5次	0.15	0.13	0.15	0.07	0.42	0.06
6次			0.10			0.03

3. 振動方程式とエネルギー釣合式

多質点系の振動方程式は、

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = -Mi\ddot{y} \quad (1)$$

(1)式で表現される。\$M, C, K\$ はそれぞれ質量、減衰、剛性マトリックス、\$x\$ は変位ベクトル、\$y\$ は地動変位、\$i\$ は入力ベクトルを表す。

秋山が提案したエネルギー釣合式^[3]は(1)式の両辺に応答速度を乗じ、地震の作用時間 \$t\$ で積分したもので、

$$\int_0^t \dot{x}^T M \ddot{x} dt + \int_0^t \dot{x}^T C \dot{x} dt + \int_0^t \dot{x}^T K x dt = - \int_0^t \dot{x}^T M i \ddot{y} dt \quad (2)$$

(2)式で表現される。秋山は(2)式の右辺を入力エネルギーと呼んでいる。(2)式の入力エネルギーの項より、構造物を入力エネルギーは応答速度に大きく依存すると考えられる。

1 : 株式会社 i2S2 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・学部・建築

4. 解析結果

4. 1 応答結果の比較

Figure-2 , Figure-3 の入力地震動は、それぞれ BCJ-L2, El-Centro1940 NS である。

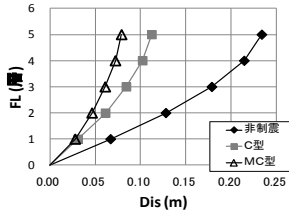
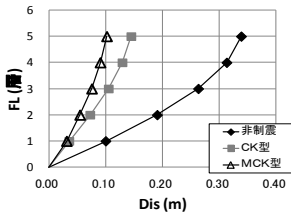
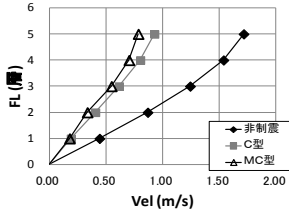
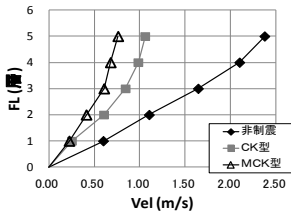
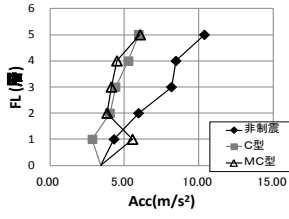
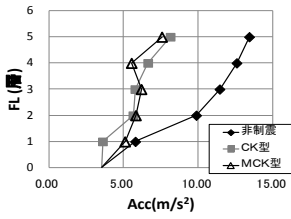


Figure-2 BCJ-L2

Figure-3 El-Centro1940 NS

Result of response analysis

Result of response analysis

Figure-2, Figure-3 から、C 型、MC 型ともに非制震と比べて応答値が著しく減少していることが分かる。また C 型と比較しても、MC 型の応答がより低減している。以上のことより、応答制御を目的とした場合、MC 型は優れた制御法であることが分かる。

4. 2 エネルギー量の比較

Figure-4 , Figure-5 の入力地震動は、それぞれ BCJ-L2, El-Centro1940 NS である。下図は各モデルの入力エネルギーEを、下図は各モデルの主架構(内部減衰)の吸収したエネルギーWhをそれぞれ示す。

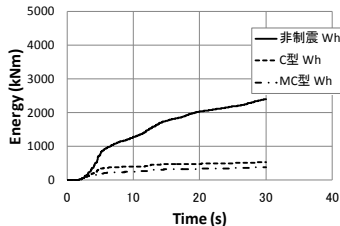
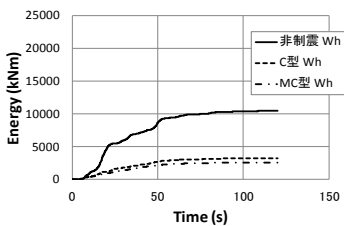
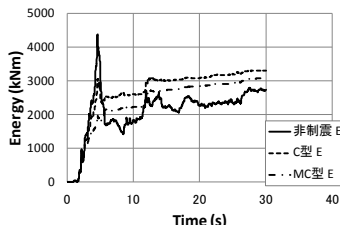
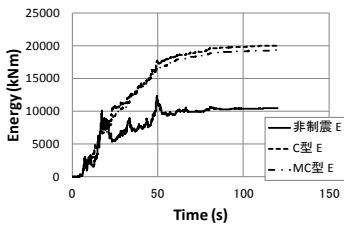


Figure-4 BCJ-L2

Figure-5 El-Centro1940 NS

Result of energy analysis

Result of energy analysis

(E : Input energy Wh : Energy absorbed by structure)

Figure-4, Figure-5 から、C 型、MC 型ともに非制震と比べて入力エネルギーが増加していることが分かる。しかしながら、非制震と比べ C 型、MC 型ともに主架構の吸収したエネルギーが大幅に減少している。

以上のことより、C 型、MC 型ともに入力エネルギーの抑制はできていないが、両制御法ともに主架構の吸収したエネルギーを抑制することができている。

また(2)式より構造物の入力エネルギーは応答速度に依存するとしたが、応答とエネルギーの解析結果の関係より、応答値の減少が入力エネルギーの減少に必ずしも直結するわけではないといえる。

しかし、構造物の応答と主架構の吸収したエネルギーについては、関係性があると考えられる。非制震と比べて C 型、MC 型ともに応答値が大幅に減少しており、同様に主架構の吸収したエネルギーも大幅に減少している。また非制震時の値からの減少度合いの割合は異なるが、C 型に比べて MC 型の方が応答値、主架構の吸収したエネルギーともに減少している。よって、構造物の応答を抑制することで、主架構の吸収したエネルギーを抑制することができると考えられる。

5. まとめ

解析結果と検討結果をまとめると、

- ①多質点系で検討することで、C 型に比べ MC 型の方が応答値、主架構の吸収したエネルギーともに抑制できることが分かった。
- ②構造物全体への入力エネルギー抑制することはできないが、主架構の吸収したエネルギーを抑制することはできる。
- ③主架構の吸収したエネルギーには構造物の応答が関係する。

今後の課題として挙げられることは、

- ①入力エネルギー増加原因の解明
- ②D.M.同調システム以外の D.M.を用いた構造物の応答制御法のエネルギー特性に関する検討
- ③各モード毎のエネルギー応答の算出などが挙げられる。

6. 参考文献

- [1] 石丸辰治, 三上淳治, 秦一平, 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, 第 75 巻, 第 654 号, 2010.8
- [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, 第 76 巻, 第 661 号, 2011.3
- [3] 秋山宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 技報堂出版, 1999.11