

D.M.を用いた連結制震に関する基礎的研究  
その 3. 性能図表を用いた多質点系の最適設計

Fundamental Study on Coupled Vibration Control System with Dynamic Mass Damper  
Part3 Optimal Design of Multi Degree of Freedom System by Performance Chart

○押山育未<sup>5</sup>, 古橋剛<sup>2</sup>, 石丸辰治<sup>1</sup>, 油野球子<sup>3</sup>, 荻野瑛<sup>4</sup>

\*Ikumi Oshiyama<sup>5</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>2</sup>, Shinji Ishimaru<sup>1</sup>, Mariko Aburano<sup>3</sup>, Akira Ogino<sup>4</sup>

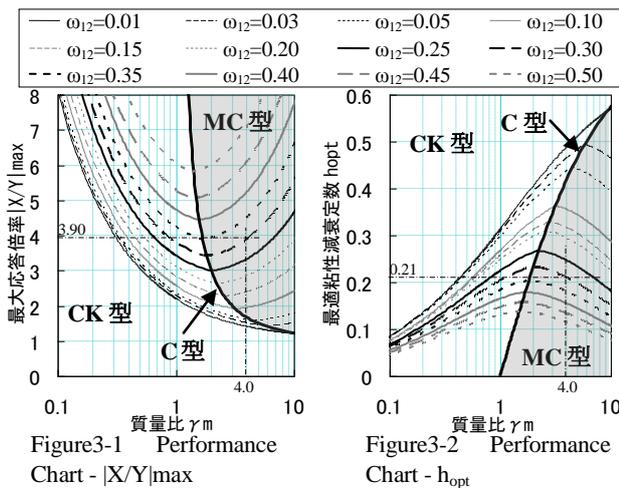
In part 3, create the performance chart of optimal design. And, check that based theory has shown so far can be applied to multi degree of freedom system, with showing the design example.

3.1 はじめに

その 1, その 2 では, 基本系 MC 型における最適設計式及び各連結モデルの適用範囲を示した. また, 取り付け部剛性を考慮したモデルの検討を行い, 性能確認のための振動実験について示した. その 3 では, 最適設計時の性能評価図表を作成し, これまで示してきた基本系における理論が, 多質点系にも応用できることを, 設計例を示しながら確認する.

2.2 最適設計時の性能評価図表

その 1, Figure1-1 で示した基本系 MC 型の最大制震性能について検討する (内部減衰については考慮しない). その 1 では最適設計時における応答倍率の最大値を(1-18)式より, 減衰定数  $h_{opt}$  を(1-20)式より表している. 最適設計時に得られる制震性能は, 対象とする両棟の構造体パラメータより決定される. ここから, (1-18),(1-20)式を用いて Figure3-1,3-2 に示すような性能図表を作成した. 網掛部分が MC 型, その他が CK 型の適用範囲である.



制震を用いた最適設計を行う. モデルの諸元は Table3-1 に示す通りである. また, 内部減衰については剛性比例型で, 主副系それぞれの 1 次モードに対し 1%と設定している.

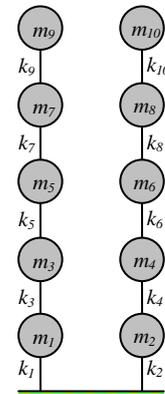


Figure3-3 Study model

Table3-1 Model parameter (without control)

FL	主系		副系		非制震時		
	質量 [ton]	剛性 [kN·s/m]	質量 [ton]	剛性 [kN·s/m]	モード	主系	副系
5	10.0	4000.0	40.0	5000.0	1	0.98	1.78
4	10.0	4000.0	40.0	5000.0	2	0.35	0.64
3	10.0	5000.0	40.0	6000.0	3	0.22	0.40
2	10.0	5000.0	40.0	6000.0	4	0.18	0.32
1	10.0	6000.0	40.0	7000.0	5	0.15	0.27

最適設計の手順を Figure3-4 に示す.

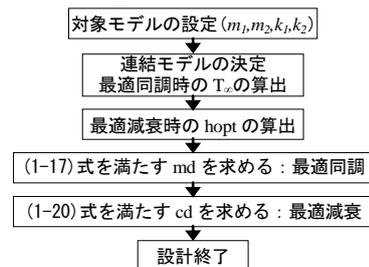


Figure3-4 Flowchart of Optimal design

まず, 非制震時の複素固有値解析から求めた有効質量, 有効剛性から, 対象モデルを主副系それぞれ等価基本系に置き換える. 等価基本系の諸元を Table3-2 に示す. 質量比, 及び剛性比から, その 2, Figure2-2 の適用範囲図を用いると, MC 型の適用範囲であることが分かる. さらに, Figure3-1, 3-2 から, 最適設計時の最大性能が読み取れる. ここでは, ダンパーの変形量を大きく取れる最上層を連結するように決定し, Figure3-4 の手順に従ってダンパーのパラメータを決定する. この時の振動特性とパラメータを Table3-3 に示す. Table3-3 より,  $md=9.50(\text{ton})$ の時に, 最適同調式の

3.3 多質点系への拡張

基本系モデルで検討した最適設計式や性能予測が, 多質点系にも応用できる事を確認する. 例として Figure3-3 に示す両棟 5 質点系のモデルに対して, 連結

1 : (株)i2S2 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 清水建設(株) 4 : (株)織本構造設計 5 : 日大理工・院・建築

値が 1.474 となっており, Table3-2 の  $T_{\infty}$  を満たしていることが分かる. また, Table3-3 の最適減衰式の値も Table3-2 の  $h_{opt}=0.21$  とほぼ同値であり,  $cd=100(kN \cdot s/m)$  が最適減衰係数であると言える.

Table3-2 Parameter of Equivalent basic system

主系	m1	42.40	主系	k1	1760.00
副系	m2	171.00	副系	k2	2120.00
質量比 $\gamma_m$	4.03	剛性比 $\mu_k$	1.20		
振動数比 $\omega_{12}$	0.30	$T_{\infty}$	1.474		
予測性能					
最大応答倍率 $X/Y_{max}$					3.9
最適粘性減衰定数 $h_{opt}$					0.21

Table3-3 Parameter when the Optimal design

最適同調時パラメータ( $cd=0$ )		
cd=0時	T01	1.8762
固有周期	T02	1.1316
[s]	同調式	1.474
D.M.量md[ton]		
9.50		
最適減衰時パラメータ(md=9.5)		
減衰定数	h1	0.164
	h2	0.250
	減衰式	0.21
減衰係数cd[kN·s/m]	100.00	

最適設計時の複素固有値解析結果を Table3-4 に, 刺激関数を Figure3-5 に示す. また, 最適設計時応答倍率曲線を Figure3-6 に示す. Figure3-6 より, 主副系の 1 次モードに対して最適設計がなされている事が分かる.

Table3-4 Result of eigenvalue analysis

	固有周期[s]	粘性減衰定数[h]
1次	1.699	0.174
2次	1.227	0.259
3次	0.657	0.040
4次	0.414	0.062
5次	0.380	0.045
6次	0.320	0.056
7次	0.273	0.065
8次	0.230	0.050

設計は構造規模の大きい副系に対してのみ行う. また制震装置は下部 1 層に配置するものとし, 1 次モードに対して最適設計を行う. なお制震装置の取り付け部剛性は層剛性に対して 3 倍とする.

「D.M.同調システムの簡易設計法」<sup>2)</sup>に倣い, 層間ダンパーによって副系を最適設計した時のダンパー量を Table3-5 に, 複素固有値解析結果を Table3-6 に示す. なお比較として, 連結制震の最適設計時ダンパー量も同時に示している. また, 地震応答解析結果を Figure3-7 に示す. なお入力地震動は BCJ-L2 波とした.

Table3-6 より, D.M.同調システムと比較して, 連結制震システムは, ダンパーの総量を格段に抑えられている事が分かる. また, Figure3-7 を見ると, 連結制震によって, 副系において, D.M.同調システムに劣らない制震性能が発揮できており, 絶対加速度においては, 連結制震の方が応答制御効果が高い事が伺える.

Table3-5 Result of eigenvalue analysis

	T[s]	h
1次	1.869	0.193
2次	1.329	0.199
3次	0.557	0.035
4次	0.359	0.048

Table3-6 Damper parameter for optimal design

	md[ton]	cd[kN·s/m]
D.M.同調システム	260	900
連結制震システム	9.5	100

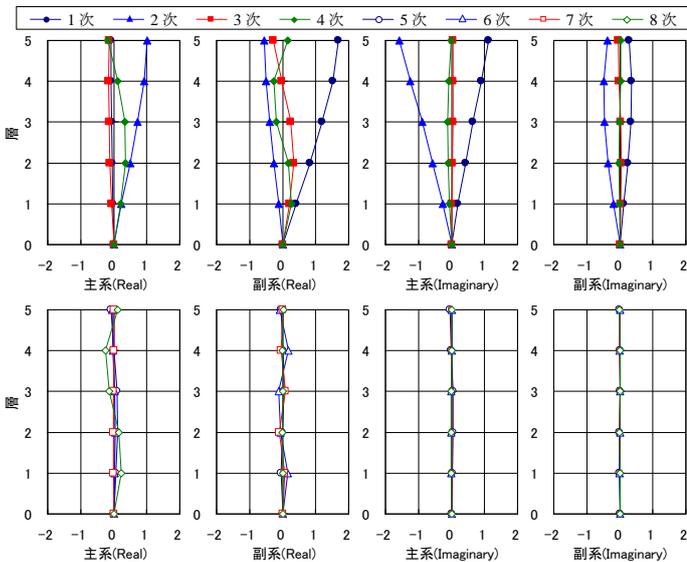


Figure3-5 Modal participation function

Table3-5 Result of eigenvalue analysis

	T[s]	h
1次	1.869	0.193
2次	1.329	0.199
3次	0.557	0.035
4次	0.359	0.048

Table3-6 Damper parameter for optimal design

	md[ton]	cd[kN·s/m]
D.M.同調システム	260	900
連結制震システム	9.5	100

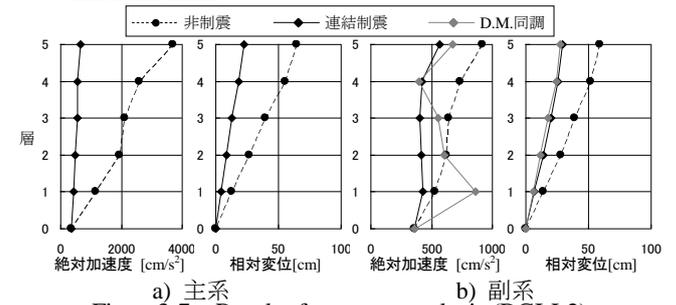


Figure3-7 Result of response analysis (BCJ-L2)

### 3.4 まとめ

基本系の最適設計時の性能評価図表を作成した. また, 性能評価図表と, 基本系における最適設計手法が, 多質点系の連結制震に対しても有効であることを示した. さらに, 層間ダンパーを用いた場合の設計法との比較を行い, 連結制震により, ダンパー量を格段に抑えた設計が可能であることを示した.

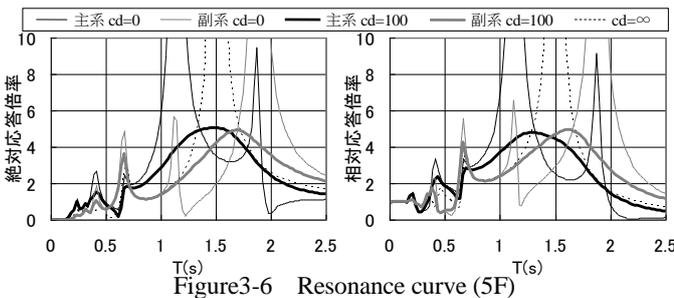


Figure3-6 Resonance curve (5F)

最後に, 層間ダンパーを用いた場合の設計法として, 石丸らによる「D.M.同調システムの簡易設計法」<sup>2)</sup>に倣った設計との比較を行う. なお層間ダンパーによる

### 謝辞

本研究を進めるにあたり, ご指導頂きました(株)2S2 技術顧問の石丸辰治先生, 日本大学理工学部助教の秦一平先生, 環境・防災都市共同研究センターの柳崎尚輝氏に, 感謝するとともに, 深くお礼申し上げます.

### 【参考文献】

- [1] 蔭山満: 定点理論による連結制振を対象としたパッシブ系の多モード最適制振の設計法に関する研究, 日本大学学位論文, 2005.12
- [2] 石丸辰治, 三上淳治, 秦一平, 古橋剛: 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, Vol.75, No.652, pp.1105-1112, 2010.6