

複素固有値解析を介した D.M.同調システムの簡易設計法  
その 5. 多層フレーム系への適用

A Simple Design Method for Tuned Dynamic Mass System by Complex Eigenvalue Analysis  
Part5 Application to Multilayered Plane Frame System

○郭鈞桓<sup>3</sup>, 石丸辰治<sup>1</sup>, 秦一平<sup>2</sup>, 古橋剛<sup>2</sup>, 三上淳治<sup>1</sup>

\*Chunhuan Kou<sup>3</sup>, Shinji Ishimaru<sup>1</sup>, Ippei Hata<sup>2</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>2</sup>, Junji Mikami<sup>1</sup>

In this paper, "Law of geometric mean", to the 2-dimensional frame model is examined whether not only the first mode but also the higher mode can be stood up. It is reported on the method of controlling one mode and the method that a multi mode controls with multi Tuned Dynamic Mass System according to the design example.

5.1 はじめに

その 1 からその 4 では、相乗平均則の関係が、多質点系においても十分成立することを示してきた。本報では、多層平面フレーム系に対しても、相乗平均則の関係が 1 次モードのみではなく高次モードにも成り立つことを解析的に確認する。

5.2 対象フレームモデル概要

Figure5-1 に示すフレーム系に対して相対変位応答倍率に対する最適設計を行う。モデルは、幅 16[m]、高さ 44[m]の 11 層 2 スパンであり、質量は各層 200[ton]と設定している。非制震時の固有周期は 1.51[sec]である。このフレーム系に D.M.同調システムとして、トグル機構を介して D.M.とオイルダンパーを設置する。なお、同一性能のトグル機構を 0-2 層間と 2-4 層間で設置するものとする。設計は 2 パターン行い、1 次モードを制御する場合をモデル 1、1 次モードと 2 次モードを同時に制御する場合をモデル 2 とする。Table5-1 には各モデルの D.M.同調システムの配置位置と、制御対象としたモードを示す。また、設計手順はその 4 で示したとおりである。

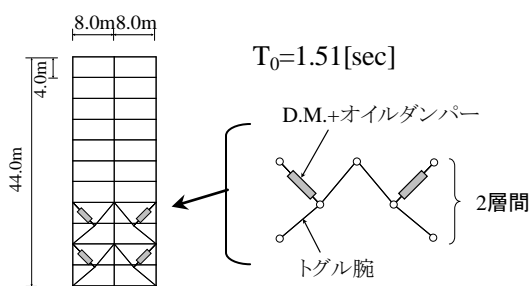


Figure5-1 11 layer frame model

Table5-1 Arrangement position and object mode of Tuned Dynamic Mass System

配置位置	制御対象モード	
	モデル1	モデル2
2-4層間	1次モード	2次モード
0-2層間	1次モード	1次モード

5.3 相対変位応答倍率

設計したモデル 1、モデル 2 の D.M.同調システムのパラメータを Table5-2 に示す。モデル 2 では 1 次モードを制御するのに 220[ton]であったのに対し、2 次モードでは 10[ton]程度でよいことが分かる。また、減衰係数も 1 次モードを最適設計する場合の半分程度になっている。

なお、D.M.の収束計算ではモデル 1 の場合には、複素固有値計算で、1 次と 3 次の固有周期を  $T_{0,1}$ 、 $T_{0,2}$  として計算している。これは 2 次モードの刺激関数が極めて小さく、無視できるからである。モデル 2 で、原系の 2 次モードを制御する際には、複素固有値解析の 4 次及び 5 次の固有周期を  $T_{0,3}$ 、 $T_{0,4}$  として計算をしている。これも 3 次の刺激関数が極めて小さく、応答として無視できるからである。

Table5-2 Parameter of Tuned Dynamic Mass System

モデル	モデル1		モデル2	
	DM[ton]	$c_d$ [kNs/m]	固有周期 [sec]	$T_{\infty}$ (1-12)式
DM[ton]	2-4層間	130.0	10.0	
	0-2層間	130.0	220.0	
$c_d$ [kNs/m]	2-4層間	740.0	300.0	
	0-2層間	740.0	700.0	
固有周期 [sec]	$T_{0,1}(T_{0,3})$	1.710	1.708(0.456)	
	$T_{0,2}(T_{0,4})$	0.881	1.098(0.258)	
	$T_{\infty,1}(T_{\infty,2})$	1.228	1.372(0.345)	
$T_{\infty}$ (1-12)式		1.227	1.370(0.343)	
$T_{\infty}$ (1-12)/ $T_{\infty}$		1.000	0.999(0.994)	
粘性減衰定数	$h_1(h_3)$	0.225	0.156(0.211)	
	$h_2(h_4)$	0.225	0.160(0.251)	
最適粘性減衰定数h (1-14)式		0.226	0.154(0.216)	

Table5-3 Eigenvalue of model1

モード	T	$\omega$	h	$\eta$
1	1.571	3.998	0.225	0.781
2	1.002	6.270	0.438	0.021
3	0.953	6.593	0.225	0.417
4	0.664	9.465	0.299	0.004
5	0.472	13.316	0.213	0.004
6	0.330	19.044	0.013	0.923

Table5-4 Eigenvalue of model2

モード	T	$\omega$	h	$\eta$
1	1.623	3.870	0.180	0.687
2	1.150	5.464	0.168	0.361
3	0.640	9.822	0.167	0.002
4	0.398	15.804	0.228	0.847
5	0.271	23.196	0.243	0.309
6	0.186	33.770	0.088	0.936

Table5-3, 5-4 にはモデル 1 とモデル 2 の最適設計時

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

の固有値を示す。モデル 1 の固有値を見ると、前述したように 2 次モード、4 次モード、5 次モードの  $\eta$  の値が小さくなっており、応答には影響の小さいモードとなっている。したがって設計として意味のあるのは、Table5-3 の 1 次、3 次、6 次モードである。1 次モードの同調を目的としているので 6 次モード（実質は 3 次モード）の粘性減衰定数は 0.013 と極めて小さくなっているのが分かる。

モデル 2 の固有値を見ると、1 次モードと 2 次モードの粘性減衰定数が近く、4 次モードと 5 次モードの粘性減衰定数が 0.23 と近くになっており、高次モードが制御されているのが分かる。

Figure5-2 には、モデル 1 とモデル 2 の相対変位応答倍率を示す。内部減衰は、剛性比例型で 1% を考慮している。(a) がモデル 1 であり、(b) がモデル 2 である。(a) の図中の  $cd$  は、0-2 層間、2-4 層間の値であり、(b) の  $cd$  は、2-4 層間の値である。モデル 1 の応答倍率を見ると、1 次モードの定点の高さが揃っており、かつ定点が応答倍率の最大となっていることから、最適設計ができていることが分かる。モデル 2 の応答倍率を見ても、1 次モードに対する最適設計ができていることが確認できる。さらに、2 次モードの応答を制御できていることが分かる。

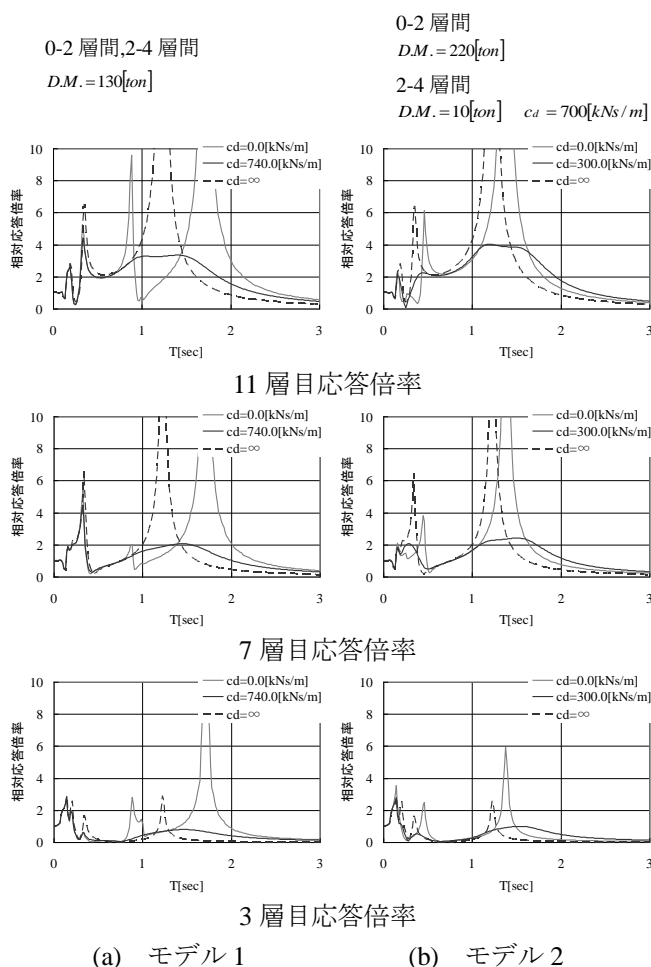


Figure5-2 Resonance curve of the relative response displacement

### 5.4 地震応答解析

ここでは、具体的な数値を把握するためにモデル 1 及びモデル 2 に対して BCJ-L2 波に対する地震応答解析を行った。Figure5-3 の(a)に絶対加速度、(b)に層間変形を示す。非制震モデルと比較して 1/3 近くに減少しているのが分かる。高次モードまで同調させたモデル 2 では絶対加速度も、モデル 1 より減少しているが、層間変形は若干上昇している。

Table5-5, 5-6 に D.M.同調システム部分の応答解析結果が載せてある。モデル 1 の場合は、0-2 層間、2-4 層間にほぼ同量のダンパー抵抗力となっているが、モデル 2 では 0-2 層間の値が大きくなっている。しかし要求される抵抗力の最大値は 776.2[kN]で、容量としては小さなものといえよう。ただしトグル腕の作用軸力は最大 4133[kN]であり、それなりの断面積を付与しておかなければならないことが分かる。

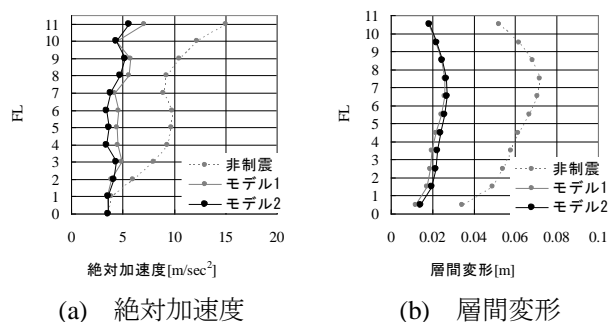


Figure5-3 Result of response analysis(BCJ-L2)

Table5-5 Result of response analysis of damper to BCJ-L2 wave

ダンパー部応答	モデル1		モデル2	
	0-2層間	2-4層間	0-2層間	2-4層間
相対加速度[m/sec <sup>2</sup> ]	3.028	3.239	2.961	10.172
速度[m/sec]	0.458	0.549	0.603	0.727
変形[m]	0.122	0.141	0.152	0.145
作用力[kN]	D.M. (A)	393.6	421.0	651.3
	粘性ダンパー(B)	338.9	406.6	422.2
$\sqrt{A^2+B^2}$	519.4	585.3	776.2	240.7

Table5-6 Response analysis result of toggle arm to BCJ-L2 wave

		トグル腕部材軸応力[kN]	
		モデル1	モデル2
2-4層間	上腕	3420.9	1330.6
	下腕	3407.0	1328.0
0-2層間	上腕	3191.1	4133.7
	下腕	3177.6	4115.0

### 5.5 まとめ

多層平面フレーム系に対して最適設計を行い、本論文で提案する設計手法はフレーム系に対しても十分適用可能であることを示した。また、複数の D.M.同調システムを用いて 1 つのモードを制御する場合と多次モードを制御する場合の設計例を示した。

#### 【参考文献】

- 1) 石丸辰治：対震設計の方法 ダイナミックデザインへの誘い、建築技術、2008.7
- 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、第 75 巻 第 652 号、2010.6