

モード制御法の簡易的設計手法の提案 A Study on Simple Design Method about Mode Control System

○韓維宜³ 津田優心² 古橋剛¹
*Weiyi Han³ Yujin Tsuda² Takeshi Furuhasi¹

This research proposes a seismic design method using dynamic mass damper. However, there is a few situations using D.M. in the world. In this research, the proposed is simple design method about mode control system, and confirm its effectiveness.

1 はじめに

本研究はダイナミック・マス・ダンパー(以降 D.M.)を用いた制震設計法を提案するものである(Figure1).

D.M.とは軸方向変位を回転運動に変換することで慣性質量効果を得られるデバイスであり,これによって従来にはない応答制御の概念による構造設計が可能となった.固有モードを調整できるという性質から定点理論による D.M.同調システムや高次モードをゼロ化するモード制御法^[1]などが提案されている.

しかし,D.M.を扱える技術者は少なく設計例も数少ない状況にあると考えている.そこで,本研究ではモード制御法の簡易的設計手法の提案をし,その有効性の確認を行う.

2 モード制御対象の条件

2-1 モデルの概要

本研究に用いる検討モデルは Figure2-2-1,Table2-2-1 に示す 1 次固有周期 1s~4s,10 質点から 40 質点のせん断型モデルである.質量は各層も 1000ton であり,剛性はせん断型モデルを用いるので全体曲げ変形を考慮して 5:3 の台形分布となるように設定している.なお,検討モデルの構造減衰は剛性比例型で 1 次モードに 2%付与している.

これらの検討モデルに対して層数の約 50%まで D.M.を設置し,2 次モードから順に部分モード制御を行う(Table2-1-2).例として 1 次固有周期 1s model の各層の D.M.量とそのモデルの D.M.総数量を記載している.以上の手順より作成した計 120 のモデルに対して時刻歴応答解析を行い,応答の確認をする.

2-2 入力地震動

入力地震動は設計でよく用いられる 3 波の他,パルス性地震動,長周期地震動を 2 波ずつ加えた計 7 波を用いる(Figure2-2-1).なお,最大速度を 50cm/s に基準化している.

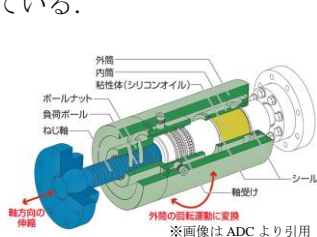


Figure1 Dynamic Mass



Figure2-1-1 mass model

Table2-1-1 Basic model's mass and rigidity

a) T=1s model		b-1)15particle		b-2)20 particle	
FL	初期剛性 (kN/mm)	FL	初期剛性 (kN/mm)	FL	初期剛性 (kN/mm)
10	1200	15	600	20	1050
9	1200	14	600	19	1050
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	1600	3	900	3	1575
2	1600	2	900	2	1575
1	2000	1	1000	1	1750

c-1)20 particle		c-2)25 particle		c-3)30 particle	
FL	初期剛性 (kN/mm)	FL	初期剛性 (kN/mm)	FL	初期剛性 (kN/mm)
20	525	25	825	30	1200
19	525	24	825	29	1200
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	788	3	1238	3	1800
2	788	2	1238	2	1800
1	875	1	1375	1	2000

d-1)30 particle		d-2)35 particle		d-3)40 particle	
FL	初期剛性 (kN/mm)	FL	初期剛性 (kN/mm)	FL	初期剛性 (kN/mm)
30	675	35	900	40	1155
29	675	34	900	39	1155
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
3	1013	3	1350	3	1733
2	1013	2	1350	2	1733
1	1125	1	1500	1	1925

※質量は一律 1000ton

Table2-1-2 The number of model and the stratum setting D.M.

1次固有周期 (s)	質点数	D.M.設置層	モデル数
1	10	0~5	6
	15	0~7	8
2	20	0~10	11
	20	0~10	11
3	25	0~12	13
	30	0~15	16
	30	0~15	16
4	35	0~17	18
	40	0~20	21
	40	0~20	21
			計120

設置階数	D.M.量 (ton)			
5				4152.7
4			6261.8	7040.7
3		7956.9	8684.7	9744.8
2	9807.7	10569.6	11606.8	12766.1
1	14767.2	15754.7	17164.7	18616.7
総数量	14767.2	25562.4	35691.2	45169.9
53821.0				

(Ex.) The model(1sec) and D.M. quantity

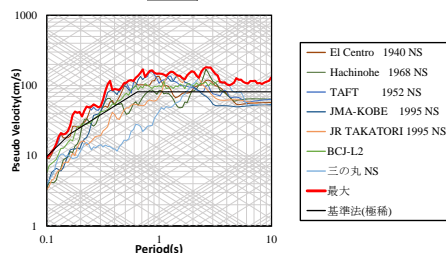


Figure2-2-1 ground motion spectra (V_{max}=50cm/s,

2-3 検討手順

本研究における検討手順は以下の通りである.

- ① 検討モデルに対して 2-2 で示した 7 つの地震波を入力し,時刻歴応答解析を行うことによって,絶対加速度応答と層変位応答を算出する.
- ② 地震波ごとの結果から各層の最大絶対加速度応答値を算出し,その各層の平均値 A を求める(2-3-1).
- ③ ②より求めた平均値を同様の手順より算出された非制震の平均で割ることで非制震に対する割合値

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 三井住友建設株式会社
3 : 日大理工・院・建築

α を求めることで応答低減率を確認する(2-3-2).層変位に対しては制震の最上層最大変位を非制震と割ることとする.

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (2-3-1) \quad \alpha = \frac{A_{\text{制震}}}{A_{\text{非制震}}} \left(\frac{X_{\text{制震}}}{X_{\text{非制震}}} \right) \quad (2-3-2)$$

a_i : i 層の絶対加速度応答 n : 質点数 A : 絶対加速度応答平均値
 X : 最上層最大変位 α : 非制震に対する割合値

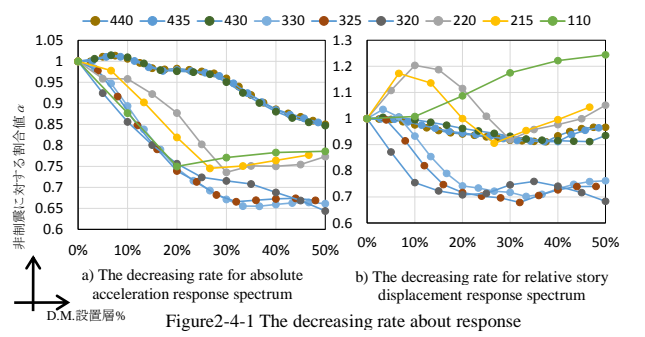
ここで言葉の定義をする.検討モデルの周期と質点数を取り出し,下記の Table2-2-1 ように呼称している.

Table2-2-1 Model name corresponding to cycle and mass point

周期T(s)	1	2	2	3	3	3	4	4	4
モデルの質点数	10	15	20	20	25	30	35	40	45
呼び名称	110	215	220	320	325	330	430	435	440

2-4 検討結果

検討モデルの結果は Figure2-4-1 に示す.縦軸は 2-3 で示した式で算出した非制震に対する割合値 α であり,横軸は D.M.設置パーセンテージである.つまり,モード制御による応答低減率がわかる図である.凡例には 2-3 で定義した周期と質点数の番号となっている.図よりモード制御の数を増やしていくと絶対加速度応答が低減していることがわかる.また,この結果より低減効果は総質点数の 30% までモード制御を行ったときであり,それ以上する必要がないと言える.ここで,1 次固有周期 4s モデルに着目するとあまり低減効果が得られていない.



2-5 モード制御対象の条件

低減効果が得られなかった 1 次固有周期 4s モデルに対して,さらに検討を行う.まず,図 2-5-1 に示すピークパラメータスペクトルは石丸により提案された各周期における地震動そのものの最大応答値を簡略的に示すことのできる図である.本研究に用いた地震動の各最大応答値を見ると固有周期 1.27s を境に周期が伸びるにつれて加速度応答が低減している.また,D.M.には周期伸長という特質があり,表 2-5-1 に示すように D.M.付与後の周期が伸びていることがわかる.つまり,モード制御対象の条件としては周期伸長を考慮すると固有周期 1.2s 以上のモードはモード制御する必要がなく,D.M.の特質である周期伸長することで絶対加速度応答を低減し,固有周期 1.2s 以下のモー

ドをモード制御で 0 化すれば良いと考えられる.

これらを適応した検討結果が表 2-5-2,図 2-5-2 である.表 2-5-2 は固有値解析結果及びモード制御に必要な D.M.量である.また,固有値解析結果より得た周期を基に応答スペクトルから割り出した加速度応答スペクトル値も記載している.非制震時(表 2-5-2 a))では加速度応答が 800cm/s^2 に対して,2 次モード以降を制御したモデル(表 2-5-2 b))では 8 次モードが 1000cm/s^2 となり悪化している.一方,モード制御対象の条件を適応したモデル(表 2-5-2 c))は 2 次モードが 650cm/s^2 と低減している.さらに,モード制御回数を上げることで必要 D.M.量が少なく,コストも削減できることがわかる.次に,図 2-5-2 は 1 次固有周期 4s モデルと追加検討後(s430)の絶対加速度応答低減率の比較である.結果より,高い低減効果が得られた.モード制御対象の条件を纏めると下記のとおりとなる.

- (A) 低減効果は総質点数の 30% まで D.M.を設置し,制御した時である.
- (B) 固有周期 1.2s 以下のモードをモード制御する.

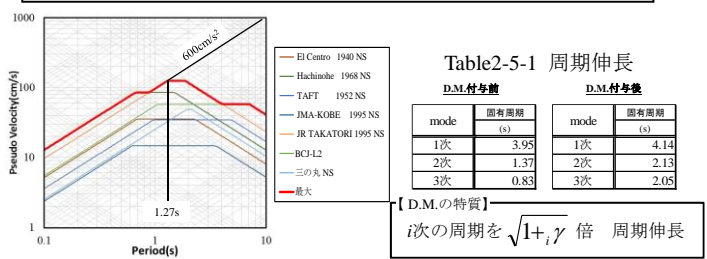
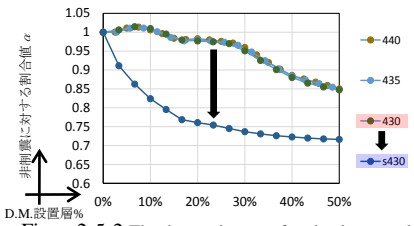


Figure2-5-1 peak parameter for spectrum

Table2-5-2 According to the result of characteristic value analysis (430 model)

a) No damping				b) Controlling since twice mode				c) Controlling since third mode			
mode	固有周期 (s)	絶対加速度 (cm/s^2)	有効質量 (ton)	mode	固有周期 (s)	絶対加速度 (cm/s^2)	有効質量 (ton)	mode	固有周期 (s)	絶対加速度 (cm/s^2)	有効質量 (ton)
1次	3.95	200	24200	1次	4.14	200	22300	1次	4.00	200	23800
2次	1.37	800	2950	2次	2.13		0	2次	1.52	650	1660
3次	0.83		1070	3次	2.05		0	3次	1.17		0
4次	0.60		541	4次	1.96		0	4次	1.11		0
5次	0.46		323	5次	1.87		0	5次	1.04		0
6次	0.38		206	6次	1.79		0	6次	0.98		0
7次	0.32		158	7次	1.72		0	7次	0.92		0
8次	0.28		114	8次	1.04	1000	961	8次	0.87		0



3 まとめ

本研究ではモード制御法の簡易的設計手法の提案をし,その有効性を確認した.モード制御対象の条件を定義し,応答低減率を示した.

【参考文献】

[1] 登坂遼太郎,古橋剛ら: 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用した超高層免震建築物の設計 日本建築学会構造工学論文集 Vol.60B 2014.3