

長周期地震動に対する超高層建物の制震設計  
その 2. D.M.同調システムを用いた超高層建物の制震設計

Response Control Design of High-rise Buildings against Long-Period Earthquake Ground Motion  
Part2. Response Control Design of High-rise Buildings by Tuned Dynamic Mass System

○郭鈞桓<sup>3</sup>, 古橋剛<sup>2</sup>, 石丸辰治<sup>1</sup>, 笠原俊<sup>4</sup>

\*Chunhuan Kou<sup>3</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>2</sup>, Shinji Ishimaru<sup>1</sup>, Shun Kasahara<sup>4</sup>

In this paper, the structure of narrow side of the Osaka Sakishima government building is modeled to a 50-story frame model. Using the simple design method for Tuned Dynamic Mass System to exam that the response control effect over the created long-period simulated earthquake motion.

2.1 はじめに

その 1 では、東北地方太平洋沖地震による長周期地震動の分析及び建物の被害について示してきた。本報では、実際に大阪府咲洲庁舎で観測された長周期地震動を用いて長周期模擬地震動を作成する。また、大阪府咲洲庁舎の短辺方向(1次固有周期: 6.5 秒)を参考として 50 層フレームモデルを作成し、D.M.同調システムの簡易設計法を用いて、制震設計を行い、本報で作成した長周期模擬地震動に対する制震効果を検討する。

2.2 長周期地震動の作成

既往の研究<sup>[4]</sup>より水平 2 方向入力時において一番揺れやすい方向の地震動は、NS-EW 平面上、応答スペクトルの最大値における地震動であると考えられる。本報では、地震動の設定について、NS-EW 平面における変位応答スペクトルが最大となる方向の地震動の位相及び乱数位相を用いて、Figure2-1 に示した目標速度応答スペクトルを満足するように、長周期模擬地震動を作成する。Figure2-2, 2-3 にその 1 で示した咲洲波を用いて作成した長周期模擬地震動を示す。

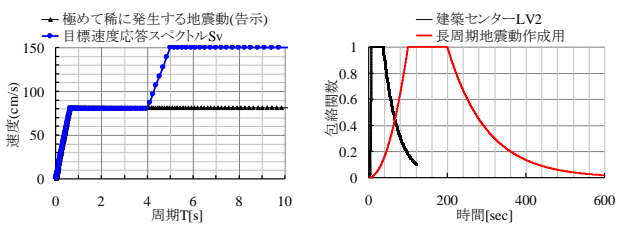


Figure2-1 Velocity Response Spectrum and Envelope Function

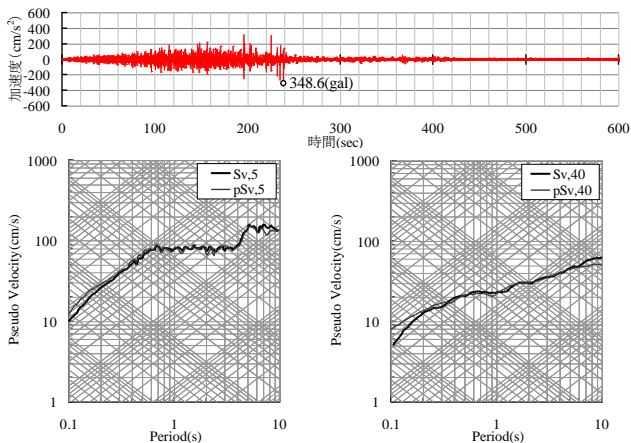


Figure2-2 Simulated Earthquake Motion(Sakishima-phase)

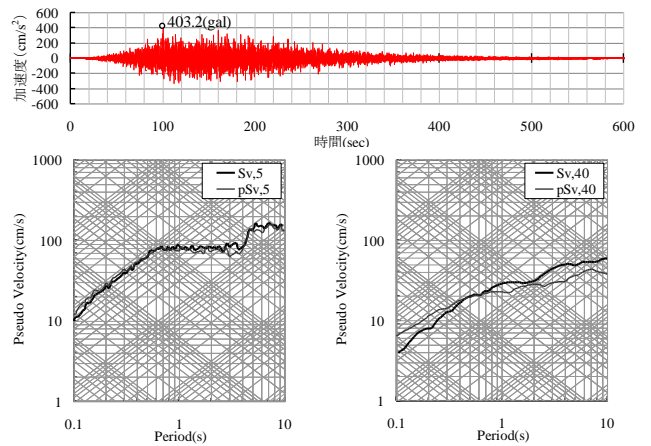


Figure2-3 Simulated Earthquake Motion(Random-phase)

2.3 D.M.同調システムを用いた制震設計

本報の制震設計においては、石丸らが提案した D.M.同調システムの簡易設計法<sup>[2]</sup>を用いて、2.2 で設定した長周期模擬地震動を対象として、層間変形角を 1/100 以内に納めることを目標としている。

D.M.同調システムの設計法の基本となる「相乗平均則」(2-2)式を満足することで、定点理論に基づく最適同調が簡易にできる。また、減衰性能は「付加剛比」(2-1), (2-3)式により簡単に判断できることができる。

$$\kappa_k = \left(\frac{T_0}{T_\infty}\right)^2 - 1 \quad (2-1)$$

$$T_\infty = \sqrt{T_{0.1} T_{0.2}} : \text{相対変位の最適同調式} \quad (2-2)$$

ここで、

- $T_\infty$ : 減衰係数  $c_d$  が  $\infty$  時の構造物の 1 次モードの周期
- $T_0$ : 非制震時の構造物の 1 次モードの周期
- $T_{0.1}$ : 減衰係数  $c_d$  が 0 時の構造物の 1 次モードの周期
- $T_{0.2}$ : 減衰係数  $c_d$  が 0 時の構造物の 2 次モードの周期

$$h_1 = h_2 \approx (0.5 \sim 0.6) \sqrt{\frac{\kappa_k}{2 + \kappa_k}} : \text{最適粘性減衰定数} \quad (2-3)$$

Figure2-4 に示すフレームモデルに対して相対変位応答倍率に対する D.M.同調システムの簡易設計法を行う。非制震モデルは、幅 24[m]、高さ 200[m]の 50 層 3 スパンであり、質量は各層 192[ton]と設定している。非制震時の 1 次固有周期は 6.50[sec]であり、剛性比例減衰として  $h_1=1\%$ を与えている。Table 2-1 に非制震モデルの固有値結果を示す。

1 : 株式会社 i2S2 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・院・建築 4 : 日大理工・学部・建築

Table 2-1 Eigenvalue of 50 story frame model

モード	T(s)	h	$\eta^{\wedge}$
1	6.50	0.01	1.00
2	1.99	0.03	1.00
3	1.07	0.06	1.00
4	0.74	0.09	1.00
5	0.56	0.12	1.00

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、制震設計は2パターン行き、1次モードを制御する場合をモデル1、1次及び2次モードを同時に制御する場合をモデル2とする。Table2-2 にモデル1、2のD.M.同調システムの配置位置と、制御するモードを示す。Table2-3には各制震モデルが必要となるデバイスのパラメータを示す。また、Table 2-4に制震モデルの固有値結果を示す。(剛性比例減衰として  $h_1=1\%$  を与えている)

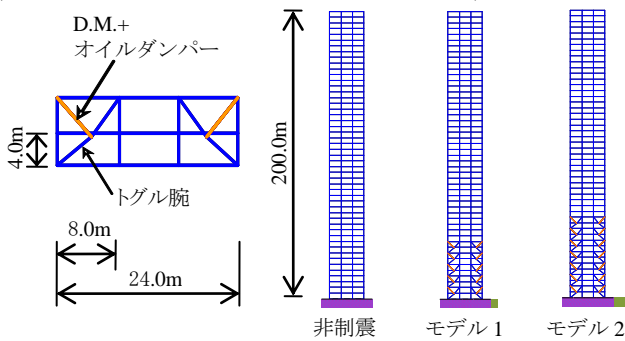


Figure2-4 50 story frame model

Table 2-2 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
0-10層間	1次モード	1次モード
10-14層間	-	2次モード

Table 2-3 Parameter of Tuned Dynamic Mass System

モデル	モデル1	モデル2	
D.M.[ton]	4850	4850	
	10-14層間	-	
cd[kN·s/m]	2900	2900	
	10-14層間	780	
固有周期[sec]	$T_{0,1}(T_{0,3})$	7.30	7.30(1.89)
	$T_{0,2}(T_{0,4})$	5.07	5.07(1.35)
	$T_{\infty,1}(T_{\infty,2})$	6.07	6.07(1.60)
$T_{\infty}(2-2)$ 式	6.08	6.08(1.60)	
粘性減衰定数	$h_1(h_3)$	0.13	0.13(0.13)
	$h_2(h_4)$	0.14	0.14(0.13)
最適粘性減衰定数h(2-3)式	0.13	0.13(0.13)	

Table 2-4 Eigenvalue of model1 and model2

(a)モデル1

モード	T(s)	h	$\eta^{\wedge}$
1	6.86	0.14	0.73
2	5.43	0.16	0.22
3	1.70	0.05	0.97
4	0.93	0.08	0.99
5	0.64	0.11	0.99

(b)モデル2

モード	T(s)	h	$\eta^{\wedge}$
1	6.89	0.15	0.71
2	5.42	0.16	0.25
3	1.80	0.16	0.69
4	1.42	0.18	0.22
5	0.88	0.09	0.95

## 2.4 地震応答解析

ここでは、制震効果を把握するために非制震モデル、モデル1及びモデル2に対して長周期模擬地震動(2波)及びBCJ-L2波に対する地震応答解析を行った。

Figure2-5の(a)に絶対加速度、(b)に層変形、及び(c)に層間変形角を示す。非制震モデルと比較すると、モ

デル1では層変位と層間変形角が大幅低減されていることが分かる。1, 2次モードを同調させたモデル2では層変位と層間変形角だけではなく、モデル1より絶対対加速度においても、低減していることがわかる。

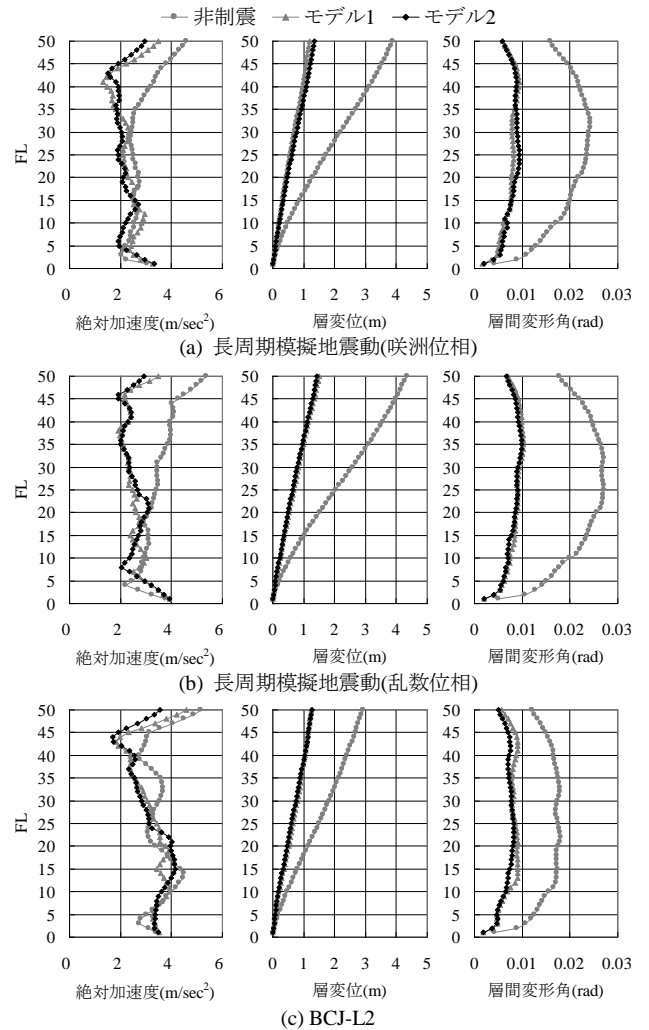


Figure2-5 Result of response analysis

## 2.5 まとめ

本報では実際に大阪府咲洲庁舎で観測された長周期地震動を用いて、設定した目標速度応答スペクトルを満足するように長周期模擬地震動を作成した。また、大阪府咲洲庁舎の短辺方向を50層フレームモデルにモデル化し、D.M.同調システムの簡易設計法を用いて、制震設計を行い、作成した長周期模擬地震動及びBCJ-L2波に対する制震効果を示した。

### 【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
- [3] 大阪府 総務部: 咲洲庁舎の安全性等についての検証結果, 2011.5
- [4] 北村春幸: 性能設計のための建築振動解析入門第二版, 彰国社, 2009.4