

同調 D.M. システムを有する構造物設計法に関する研究 その 1 特徴的な性質を持つ入力地震動の設定

A study on design method for structure with tuned dynamic mass systems

Part1: Setting of input ground motion with the characteristic properties

土田 堯章⁴, 石丸 辰治¹, 古橋 剛², 郭 垣鈞³, 押山 育未⁴, 稀代 康平⁴

*Takaaki Tsuchida⁴, Shinji Ishimaru¹, Takeshi Furuhashi², Kuo Chunhuan³, Ikumi Oshiyama⁴, Kouhei Kitai⁴

Establishment of the dynamic design method of a high-rise building is required against a characteristic earthquake motion like a long-period ground motion or a directive pulse earthquake motion. However, the design is difficult in case of using only the conventional devices.

On the other hand, two design methods of the vibration control system "Tuned Dynamic Mass System" which use the dynamic mass are proposed by Ishimaru and others. These have the high vibration control performance.

This research shows that the design of the high-rise structure which can resist a characteristic ground motion by compounding these two design methods is possible. In the part 1, input ground motion's with characteristic properties are set up.

1.1 はじめに

近年, 2011 年東北地方太平洋沖地震で問題となった長周期地震動や, 2007 年新潟県中越沖地震で観測された指向性パルス地震動の様な, 特徴的な性質を持つ地震動に対する動的設計法の確立が求められている. 通常, 実際に動的設計で用いられている制震デバイスのみで得られる減衰定数は数%程度であり, 震度 7 対応の設計は困難であるとの指摘がある.

一方, 近年, 従来不可能であった質量項の調整を可能にする「D.M. (ダイナミック・マス)」^[1]が開発された. 石丸らにより D.M.を用いた制震システム「同調 D.M.システム」の制震設計法が 2 つ提案されている.

D.M.モードの発生によるモード同調制御の方法^[2]

D.M.モードの発生による擬似モード制御の方法^[3]

これらを背景として, 本論文は, . の方法を複合して用いることで, 継続時間の長い長周期地震動や指向性パルス地震動に対応できる超高層構造物の設計が可能であることと, その妥当性について示す.

1.2 フレームモデル概要

本研究では大阪府咲洲庁舎短辺方向の 1 次固有周期 6.5 秒を参考に Figure1-1 に示すフレームモデルを作成した. 階高は 4m, 1 スパン 8m, 3 スパンのフレームである. 各節点の質量は外柱 32ton, 内柱 64ton, 1 層当り 192ton としている. Table1-1, 1-2 に設定部材断面及び固有値解析結果を示す.

1.3 入力地震動について

本研究で用いる入力地震動として, 長周期地震動及び指向性パルス地震動の 2 タイプを設定している.

Table1-1 Element section

柱	1000×1000×30~ 1000×1000×60
梁	H900×300×20×34~H1000×400×20×40

Table1-2 Complex eigenvalue analysis

モード	T(s)	h
1	6.50	0.01
2	1.99	0.01
3	1.07	0.02
4	0.74	0.02
5	0.56	0.03
6	0.46	0.03
7	0.45	0.03
8	0.37	0.04
9	0.31	0.05
10	0.27	0.06

レリー減衰で 1 次, 2 次モードに 1% の減衰を与えている。

T: 固有周期,
h: 粘性減衰定数

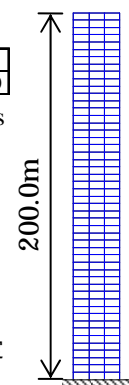


Figure1-1 Model diagram

1.3.1 長周期模擬地震動

本研究では, 「都庁第一本庁舎・第二本庁舎における長周期地震動対策への取組」^[4]を参考に長周期模擬地震動を作成した. Figure1-2 に目標速度応答スペクトル及び包絡関数を示す. 位相特性の与え方は, (1) 大阪府咲洲庁舎で観測された長周期地震動^[5]の位相を用いる方法(以下, 咲洲位相波), (2) 一樣乱数を用いて包絡関数を乗じる方法とした(以下, 乱数位相波). Figure1-3 に作成した長周期模擬地震動の加速度波形及び応答スペクトルを示す. ${}_pS_v$ は擬似速度応答スペクトルを表し, ${}_pS_{v,5}$ などの添え字は粘性減衰定数 $h_0 = 0.05$ を表す.

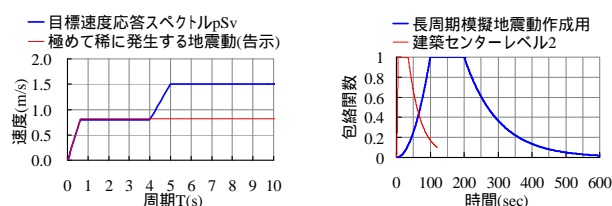


Figure1-2 Target response spectrum and envelope function

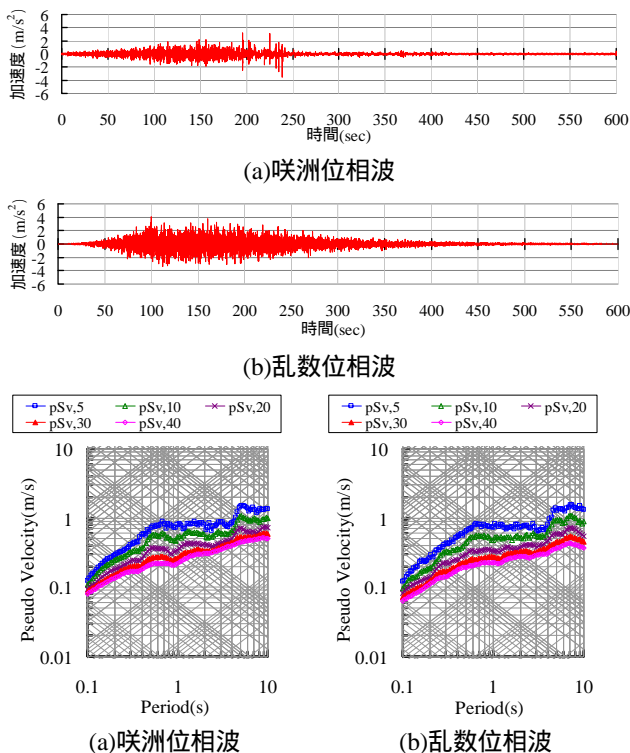


Figure1-3 Grand motion waveforms and response spectra

1.3.2 指向性パルス地震動

本研究では指向性パルス地震動に対する超高層構造物の振動形状を把握するために、時刻歴応答解析による応答確認を行う。Figure1-4 に本研究で用いる指向性パルス地震動の加速度波形及び応答スペクトルを示す。

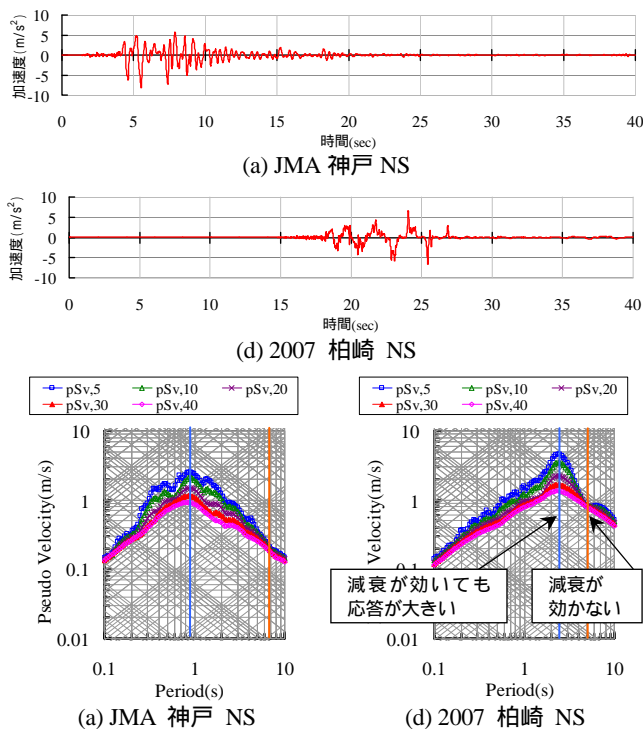


Figure1-4 Grand motion waveforms and response spectra

1.4 同調D.M.システムを用いた設計法

同調 D.M.システムとは、Figure1-5 に示したシステムのことであり、D.M.とばねを直列にすることで新たな振動モード(D.M モード)が生じる特徴を持つ。現在、石丸らより、同調 D.M.システムの設計法として、モード同調制御法、擬似モード制御法の 2 種類が提案されている。

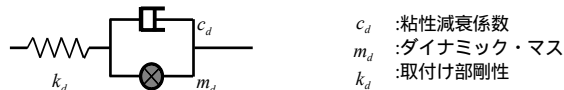


Figure1-5 Tuned Dynamic Mass System

モード同調制御法について簡単に述べる。モード同調制御法の基本となる「相乗平均則」(1-2)式を満足するように、D.M.量を決定し、さらに付加剛比 k を用いて(1-3)式から容易に減衰定数を求められる。

$${}_j\kappa_k = \left(\frac{T_0}{T_j} \right)^2 - 1 \quad ; j \text{ 次モードの付加剛比} \quad (1-1)$$

$$T_\infty = \sqrt{T_{0,j} T_{0,j+1}} \quad ; j \text{ 次モード最適同調式} \quad (1-2)$$

T_0 : 制震装置が付加されていない時、構造物の j 次モードの周期

T_j : 粘性減衰係数 $c_d=f$ 時、構造物の j 次モードの周期

$T_{0,j}$: 粘性減衰係数 $c_d=0$ 時、構造物の j 次モードの周期

$T_{0,j+1}$: 粘性減衰係数 $c_d=0$ 時、構造物の $j+1$ 次モードの周期

$$h_j \approx (0.5 \sim 0.6) \sqrt{\frac{{}_j\kappa_k}{2 + {}_j\kappa_k}} \quad ; j \text{ 次モードの目標粘性減衰定数 (同調 D.M.システムを用いた場合)} \quad (1-3)$$

次に 擬似モード制御法について簡単に述べる。外乱の分配ベクトル η の値を任意の 1 次モード形 $\hat{\eta}$ となるように設定し、(1-4)式によって D.M.の量を算出する。

$$\begin{Bmatrix} m'_1 \\ m'_{i-1} \\ \vdots \\ m'_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} (\hat{\eta}_1 - \hat{\eta}_{i-1}) & & & \\ & -(\hat{\eta}_1 - \hat{\eta}_{i-1}) & & \\ & & \ddots & \\ & & & (\hat{\eta}_2 - \hat{\eta}_1) \\ & & & & -(\hat{\eta}_2 - \hat{\eta}_1) & \hat{\eta}_1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} m_i(1 - \hat{\eta}_1) \\ m_{i-1}(1 - \hat{\eta}_{i-1}) \\ \vdots \\ m_i(1 - \hat{\eta}_1) \end{Bmatrix} \quad (1-4)$$

ここで、 m_i : i 層の質量、 m'_i : i 層に必要な D.M.の量

1.5 まとめ

その 2 では、その 1 で示した地震波及び設計方法を用いてフレームモデルを対象に設計を行い、解析的に有用性を示す。

【参考文献】

- [1]古橋剛, 石丸辰治: 慣性接続要素による多質点振動系の応答制御, 日本建築学会構造系論文集 第 601 号, pp.83-90, 2006.3
- [2]石丸辰治, 秦一平, 三上淳治, 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集 第 654 号, pp.1455-1464, 2010.6
- [3]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集 第 661 号, pp. 509-517, 2011.3
- [4]東京都財務局: 「都庁第一本庁舎・第二本庁舎における長周期地震動対策への取組」, 2011.5
- [5]独立行政法人建築研究所 <http://www.kenken.go.jp/>