

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  
その3 高層免震建築物における部分モード制御システム

Evaluating the performance of Pseudo Mode Control System by input energy  
Part3: Partial Mode Control System in a high-rise base-isolated building

○野村大輔<sup>4</sup>, 石丸辰治<sup>1</sup>, 古橋剛<sup>2</sup>, 登坂遼太郎<sup>3</sup>, 玉木龍<sup>3</sup>

\*Daisuke Nomura<sup>4</sup>, Shinji Ishimaru<sup>1</sup>, Takeshi Furuhashi<sup>2</sup>, Ryotaro Tosaka<sup>3</sup>, Ryu Tamaki<sup>3</sup>

In this paper, we show the effectiveness of the control design by performing a partial mode control design for a high-rise base-isolated building, with long period superstructure.

3.1 はじめに

前報では, 任意のモードを完全に制御できる設計法, 部分モード制御システムを示した.

現在, 我が国では高層建築物に対し免震構造を用いる設計事例が多く存在する. しかし, 高層建築物の様な固有周期が長い建物を免震構造とする場合, 地震動入力の際に好ましくない応答を示す恐れがある.

これは, 高次モードが地震応答, 特に絶対加速度応答に悪影響をもたらす為であり, 対策が必要である.

そこで本報では, 高層免震建築物を例に部分モード制御システムを適用する事で高次モードの制御を行い, 非制震時との地震応答を比較し部分モード制御システムの有効性を示す.

3.2 設計モデルの作成

設計モデルは Table3-1,3-2 及び Figure3-1a)に示す高層免震建築物とする. なお, 上部構造は 1 次固有周期 3.0(s), 部材減衰は剛性比例型で 1 次に 1%付与する. また, 免震の塑性周期  $T_f$  は 4.5(s)とし, 初期剛性は 2 次剛性の 10 倍, 降伏せん断力は重量の 3%とする.

Table3-1 Model parameter

FL	質量 (ton)	減衰係数 (kN・s/m)	初期剛性 (kN/m)
10	1500.0	1440.0	150000.0
9	1000.0	1488.0	155000.0
8	1000.0	1536.0	160000.0
7	1000.0	1584.0	165000.0
6	1000.0	1632.0	170000.0
5	1000.0	1680.0	175000.0
4	1000.0	1728.0	180000.0
3	1000.0	1776.0	185000.0
2	1000.0	1824.0	190000.0
1	1500.0	0.0	204702.9

Table3-2 Eigenvalue analysis (Superstructure)

	T(s)	h
1次	3.0082	0.0100
2次	1.0329	0.0292
3次	0.6266	0.0481
4次	0.4558	0.0662
5次	0.3648	0.0827
6次	0.3109	0.0970
7次	0.2776	0.1087
8次	0.2570	0.1174
9次	0.2422	0.1245

3.3 部分モード制御設計

上記の高層免震建築物に対して, 前報で示した部分モード制御システムを適用する.

部分モード制御システムの設計手順に従い, 理論式(取付け部材剛性考慮)を用いる事で, Table3-3 の D.M. 量及び取付け部材剛性が得られる.

なお本設計では, 取付け部材剛性は層剛性の 5 倍, 制御モード数は 3 つ, 制御モードは 2, 3, 4 次モードと設定している. また, D.M.(は Figure3-1b)の様に上部構造の下部 3 層に配置している.

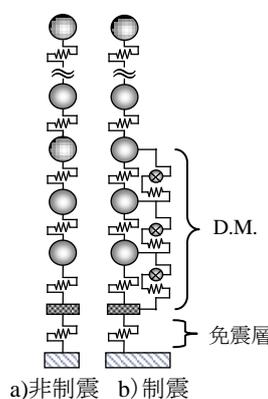


Figure3-1 Model

Table3-3 Damping device design

FL	D.M. (ton)	取付け部材剛性 (kN/m)
10	0.0	0.0
9	0.0	0.0
8	0.0	0.0
7	0.0	0.0
6	0.0	0.0
5	0.0	0.0
4	5325.5	900000.0
3	7461.7	925000.0
2	10108.1	950000.0
1	0.0	0.0

3.4 入力地震動

本設計では, 入力地震動として El Centro 1940 NS, JMA KOBE 1995 NS 及び柏崎で 2007 年に観測された新潟県中越沖地震の K-NET 波形 (以下 Kashiwazaki 2007 NS) を用いる. Figure3-2 に各地震動の擬似速度応答スペクトルを示す.

各地震動の特徴について述べる. まず, El Centro 1940 NS は, Figure3-2a)に示す様に短周期域に卓越している地震動である. その為, 高層免震建築物の様な 1 次固有周期の長い建築物において, 高次モードの影響が応答に顕著に表れると考えられる.

次に, JMA KOBE 1995 NS 及び Kashiwazaki 2007 NS は Figure3-2b),c)に示す様に指向性パルス地震動と呼ばれる周期 1~3(s)の成分が強い地震動であり, 高層免震建築物の高次モードに大きな影響を与えると考えられる. また, Figure3-2b),c)から分かる様に指向性パルス地震動は減衰を高くしても応答が低減しづらい周期領域が存在する. 即ち, 従来の減衰付加による制震設計では制震効果が期待できない場合がある.

従って、高層免震建築物において、短周期域卓越地震動や指向性パルス地震動等を考慮すると、高次モードを制御する設計が必要となる。

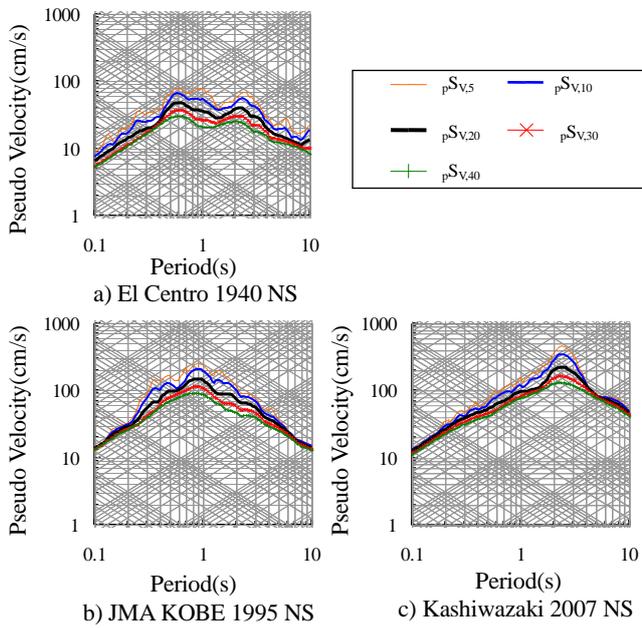


Figure3-2 Response spectrum

### 3.5 時刻歴応答解析結果の比較

El Centro 1940 NS, JMA KOBE 1995 NS, Kashiwazaki 2007 NS, の 3 波を入力地震動として、非制震時及び部分モード制御システムによる制震時の時刻歴応答解析結果である Figure3-3~Figure3-5 を比較する。

非制震時の時刻歴応答解析結果を検討する。非制震時では、どの地震動においても絶対加速度応答が大きく、層によって応答が大きく異なっている為、高次モードの影響を強く受けている事が分かる。また、Figure3-3,3-4 では、層変位応答においても高次モードの影響を受け、建物上部が大きく揺れている事が分かる。つまり高層免震建築物は、特に短周期域卓越地震動や指向性パルス地震動において、高次モードの影響を強く受け、好ましくない応答が生じる場合があると言える。

制震時の時刻歴応答解析結果について検討する。部分モード制御システムにより 2 次~4 次モードを制御した為、絶対加速度応答や層変位応答において、各層で応答差の少ない 1 次モード系に近い形となっている事が分かる。また、絶対加速度応答においては非制震時と比べて大幅に応答低減している事が分かる。

部分モード制御システムは高次モードの影響を強く受ける高層免震建築物において、短周期卓越地震動や指向性パルス地震動など好ましくない応答を示す地震動に対し、高い制震性能を発揮する有効な設計法であると言える。

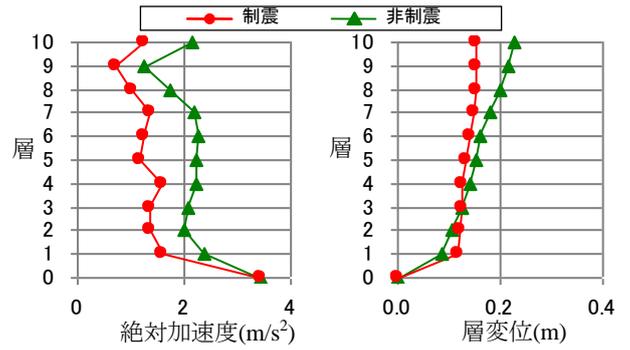


Figure3-3 Time history response analysis (El Centro 1940 NS)

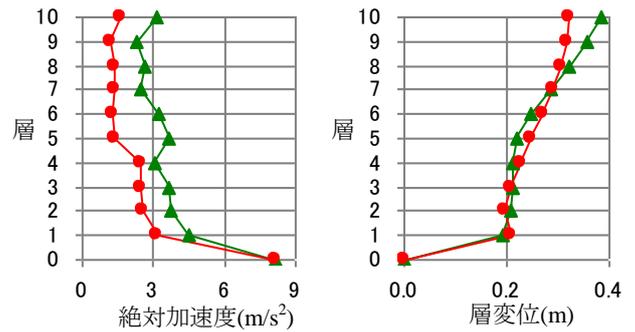


Figure3-4 Time history response analysis (JMA KOBE 1995 NS)

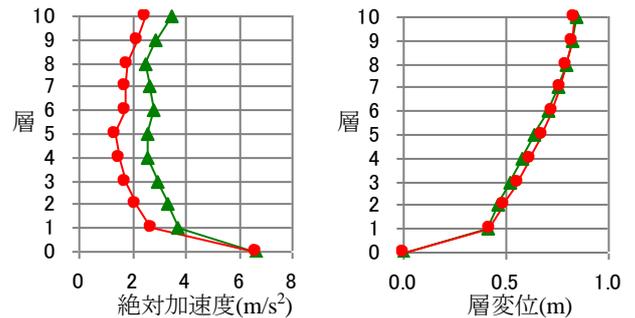


Figure3-5 Time history response analysis (Kashiwazaki 2007 NS)

### 3.6 まとめ

前報にて部分モード制御システムの原理及び設計方法を示した。また本報では、一般的な高層免震建築物を設計対象として、部分モード制御システムを適用した。その際、短周期域卓越地震動と指向性パルス地震動により非制震時と制震時の時刻歴応答解析結果を比較し、部分モード制御システムの有効性を示した。

### 3.7 参考文献

- [1] 古橋剛, 石丸辰治:「慣性接続要素によるモード分離」, 日本建築学会構造系論文集, 第 576 号, pp.55-62, 2004.2
- [2] 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
- [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