

# 制震装置付き屋上庭園設置による既存建物の剛性率改善効果に関する研究

その2  $F_s$  が 1.2 必要なピロティ建物の場合

○相場 元樹\*<sup>1</sup>  
堤 和敏\*<sup>2</sup>

キーワード：屋上緑化 耐震改修 既存建築物 剛性率 ピロティ

## 1. はじめに

阪神淡路大震災では、ピロティ式の建物の被害が多く発生し、その耐震性が問題視されている。しかし、改修工事を行うには空間の使い勝手が悪くなることや多額の費用がかかる等の理由で耐震補強があまり行われていない建物が多く存在している。

本研究では、既存建物に対して積層ゴムを介したマスダンパーとして屋上庭園を利用し、地震時の建物への入力エネルギーを相殺させること、また同時に都市部でのヒートアイランドなどの地球環境問題に貢献するための構造システムの提案を行っている<sup>1)2)3)4)5)6)</sup>。

本研究の目的は、ピロティを持ち剛性率補正係数  $F_s$  が 1.2 の既存建物を対象に多質点系モデルとして最下階の層間変位の低減効果の観点から、制震装置付き屋上庭園による耐震改修の実現可能性について検討することである。

## 2. 解析モデルとパラメータ

### 2-1. 建物概要モデル化の方法

既存建物は文献7の地上5階の鉄筋コンクリート造建物を参考としたが、詳細な情報が不明だった部分については独自にモデル化を行った。なお、本研究では初期段階として剛性率補正係数  $F_s$  が 1.2 の建物のみを対象とした。伏図、軸組図、構造パースを図1~3に、建物概要を表1に示す。

### 2-2. モデル化の方法

対象とする建物の設計図面から建物の柱、梁などの部材データを入手し、一貫構造計算ソフトSS3<sup>8)</sup>により断面検定及び荷重増分解析を行い、建物のスケルトンカーブを求めた。なお、今回は偏心のないX方向のみを対象とした。

地震応答解析モデルとして既存建物は5質点の多質点系モデル、屋上庭園をもつ既存建物は最上部に屋上庭園部分をマスダンパーとして付加した6質点の多質点系モデルとし、図4に示す。

モデルは表3に示す3種類とし、新耐震前が必要保有水平耐力を割増していない既存建物をモデル1とし、モデル2を新耐震後の保有水平耐力が必要保有水平耐力を満たすように設定したモデルとした。モデル3をモデル1の既存建物に屋上庭園を設置したモデルとした。

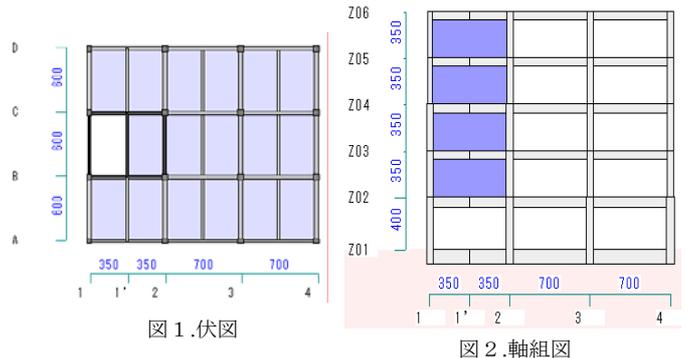


図1.伏図

図2.軸組図

表1.建物概要

階数	地上5階(地下なし)	
延床面積 (m <sup>2</sup> )	1785.0	
基準階面積 (m <sup>2</sup> )	378.0	
軒高さ (m)	18.0	
構造種別	鉄筋コンクリート造	
架構形式	最下階：純ラーメン構造 基準階：耐震壁付きラーメン構造	
基礎	直接基礎(独立基礎)	
建設場所	東京近辺(第2種地盤)	

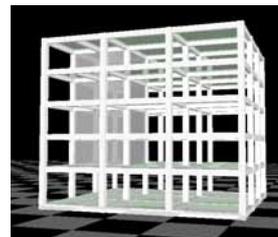


図3.構造パース

表2.復元力特性諸元

(a)モデル1

層数	高さ[cm]	初期剛性 [kN/cm]	Qc [kN]	2	Qy [kN]
5	350	6818	1500	0.079	2300
4	350	15384	4000	0.087	6200
3	350	26153	6800	0.086	11600
2	350	38400	9600	0.073	16500
1	400	10000	2000	0.100	3700

(b)モデル2

層数	高さ[cm]	初期剛性 [kN/cm]	Qc [kN]	2	Qy [kN]
5	350	7391	1700	0.101	2800
4	350	17142	4800	0.093	7700
3	350	25925	7000	0.102	12900
2	350	35769	9300	0.076	15700
1	400	12963	3500	0.129	7400

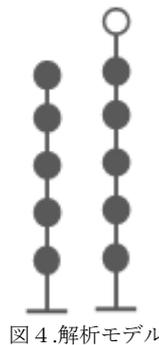


図4.解析モデル

表3.モデル一覧

モデル1	新耐震前既存不適格建物
モデル2	新耐震後の適格建物
モデル3	モデル1 + 屋上庭園

### 2-3. 解析条件の設定

モデル1とモデル2は荷重増分解析の結果から得られた骨格曲線より、図5(a)に示すトリリニアの武田モデルに置換する。モデル1とモデル2の復元力特性諸元を表2に、モデル2の各層の骨格曲線を図6に示す。

屋上庭園部は、図5(b)に示すバイリニアの標準モデルに置換し、以下のように定義する。

- ・質量  $w = \alpha m \times W$  [kN]
- ・積層ゴムに対するマス部分固有周期  $T' = \alpha t \times T$  [s]
- ・初期剛性  $K2 = ((2\pi/T')^2 \times w / 980) / \beta$  [kN/cm]
- ・ $Qy' = \alpha 3 \times w$  [kN]
- ・ $\Delta y' = Qy' / K2$  [cm]

ここで  $\alpha m$  は既存建物に対するマス部分の質量比、 $\alpha t$  は既存建物に対するマス部分の周期比、 $\alpha 3$  はマス部分の質量に対する耐力比、 $\beta$  はマス部分剛性に対する積層ゴムの剛性比率である。

質量比は基礎の余裕軸力を算出し、余裕軸力を設置可能な範囲としている。本建物は独立基礎であるため、地盤の長期許容応力度 (300kN/m<sup>2</sup>) から各基礎断面より算出した長期の接地圧を差し引いた値に基礎断面積を乗じて、余裕軸力を算出している。屋上庭園部のパラメータの値を表4に示す。

### 2-4. 地震波の設定

応答解析は振動解析プログラム RESP-M/II<sup>9)</sup>により行った。入力地震動は観測地震波3波 (EL CENTORO NS、HACHINOHE EW、JMA KOBE NS) とそれぞれの位相特性をもつ模擬地震波3波 (ART EL、ART HACHI、ART KOBE) を採用した。そして、それぞれの地震波をモデル2に入力した時の応答が1層の層間変形角 1/100 (1層の層間変位が 4cm) になるように基準化した波と、塑性率が1になるように基準化した波を解析用の地震波として設定した。このように基準化した理由は、新耐震法で保障している安全性は静的レベルであり、動的レベルでの安全性については述べられていないので、本報では動的レベルの安全性として上記の仮定を採用した。各地震波の最大加速度を表5に、モデル1にそれぞれの地震波を入力したときの最大応答変位を図7に示す。

### 3. パラメータ解析結果

図8~9、図11~12は制震装置のパラメータを変えたことによるモデル1とモデル3の1層の層間変位と層せん断力の比を低減効果(%)として表したものである。

#### 3-1. 塑性率1に規準化した波に対して

図8は低減効果とマス部分の周期比との関係をプロットしたものである。図8(a)より、1層変位は周期比1.0から3.0の範囲でパラメータによっては大きな低減効果を示した。一方、周期比1.0ではパラメータによっては最

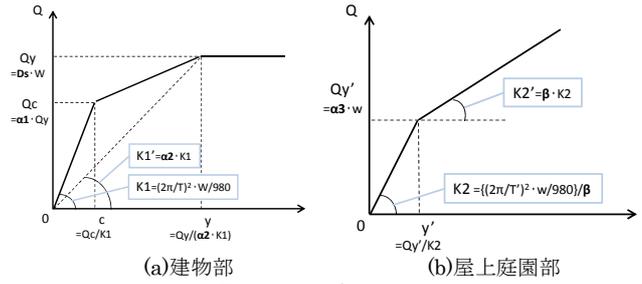


図5.骨格曲線の定義

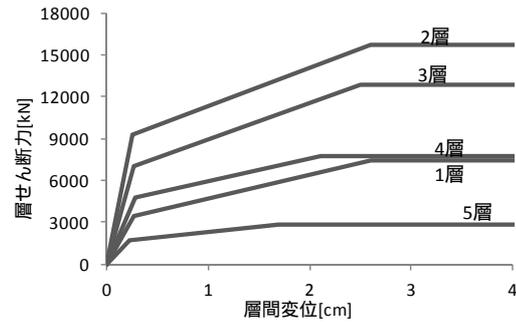


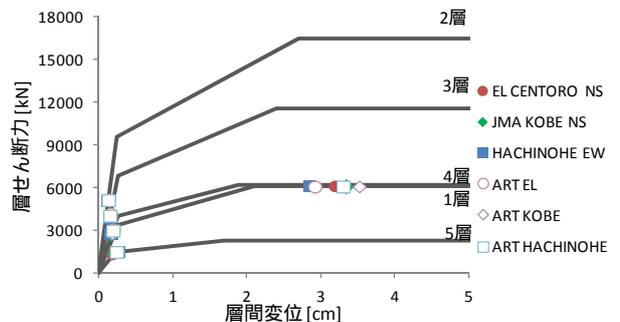
図6.モデル2の各層の骨格曲線

表4.パラメータの値

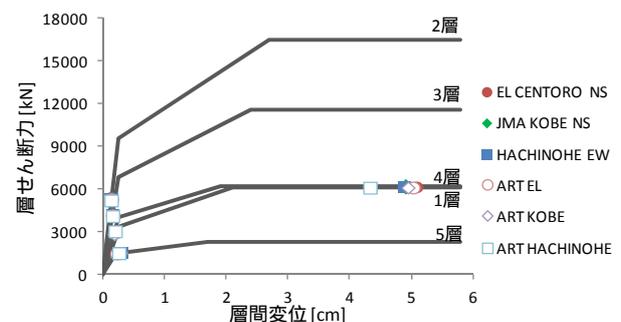
パラメータ	最小値	最大値	刻み
m (マス部分の質量比)	0.05	0.3	0.05
t (マス部分の周期比)	0.5	5.5	0.5
3 (マス部分の耐力比)	0.05	0.50	0.05
(積層ゴムの剛性比率)	0.04	0.10	0.02

表5.各地震波の最大加速度

地震波名	最大加速度 [cm/s <sup>2</sup> ]	
	1/100	塑性率1
EL CENTORO NS	418	363
ART EL	517	389
JMA KOBE NS	355	307
ART KOBE	455	408
HACHINOHE NS	520	398
ART HACHI	447	377



(a)塑性率1に規準化した地震波



(b)層間変形角 1/100に規準化した地震波

図7.モデル1の各層の最大応答変位

も逆効果が大きく、周期比を大きくするほど逆効果は小さくなる。また、図8 (b)より、1層せん断力は周期比 2.0 で最も大きな低減効果を示すパラメータがあった。

図9はそれぞれの周期比で低減効果の最も大きかった質量比 0.30 に対しての低減効果と積層ゴムの剛性比率との関係を、質量に対する耐力比  $\alpha_3$  によって色分けしたものである。剛性比率  $\beta$  による影響は周期比  $\alpha_t$  を大きくするほど小さくなる。耐力比  $\alpha_3$  による影響は周期比  $\alpha_t$  が 2.0 以下で大きくなる。1層の層間変位の低減効果は周期比 2.0、質量比 0.30、耐力比 0.10、剛性比率 0.10 のときに最も大きくなり、6波を平均して 28.4%の低減を示した。図10はそのパラメータでの各層の最大応答変位を示したものである。モデル1の応答と比較すると全ての地震波で応答値が低減した。ただし、5層において応答値の増大が見られたが、塑性化には到っていない。

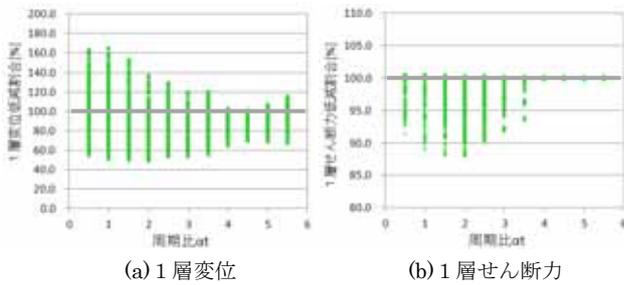


図8.低減効果と周期比との関係

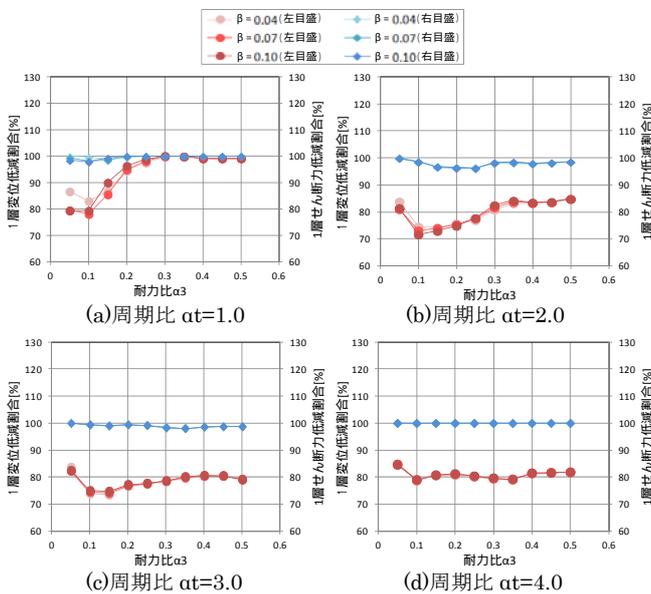


図9.耐力比  $\alpha_3$  と剛性比率  $\beta$  による低減効果

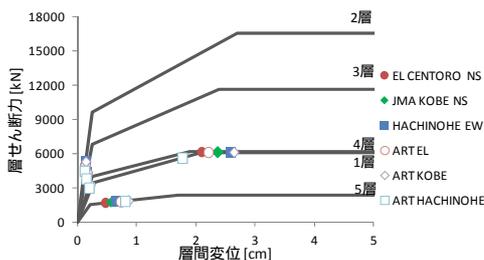


図10.  $\alpha_t=2.0$ 、 $\alpha_m=0.30$ 、 $\alpha_3=0.10$ 、 $\beta=0.10$

### 3-2. 層間変形角 1/100 に規準化した波に対して

図11 (a)より、1層変位は周期比 1.5 から 3.0 の範囲で大きな低減効果を示すパラメータが存在する。一方、周期比 1.0 で最も逆効果が大きく、周期比を大きくするほど逆効果は小さくなる。また、図11 (b)より、1層せん断力は周期比 2.0 で最も大きな低減効果を示した。

図12より、1層の層せん断力の低減効果は塑性化が進んでいるためわずかなものとなった。1層の層間変位の低減効果は周期比 3.0、質量比 0.30、耐力比 0.15、剛性比率 0.10 のときに最も大きくなり、6波を平均して 30.6%の低減を示した。図13はそのパラメータでの各層の最大応答変位を示したものである。モデル1の応答と比較すると全ての地震波で応答値が低減した。また、HACHINOHE EW波で最大応答変位 4.0cmを示したが、それ以外の地震波では層間変形角 1/100 を下回った。ただし、5層において応答値の増大が見られたが、塑性化には到っていない。

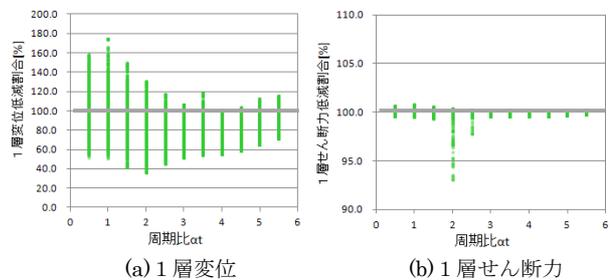


図11.低減効果と周期比との関係

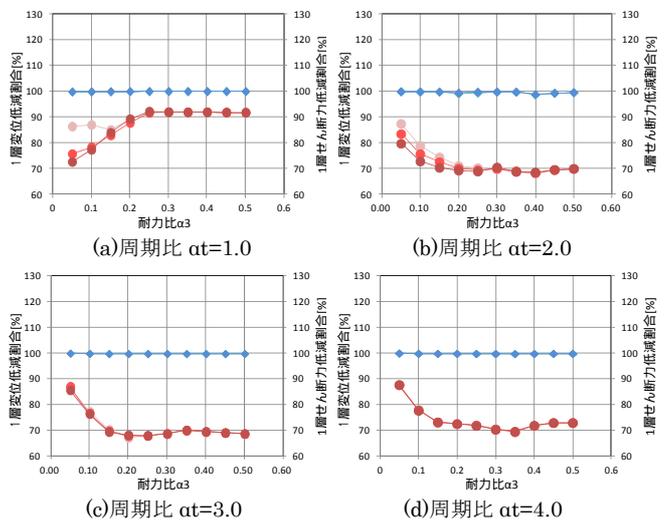


図12.耐力比  $\alpha_3$  と剛性比率  $\beta$  による低減効果

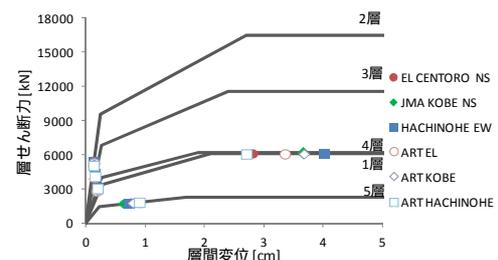


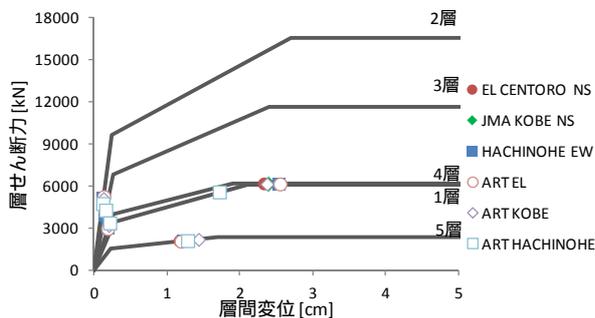
図13.  $\alpha_t=3.0$ 、 $\alpha_m=0.30$ 、 $\alpha_3=0.15$ 、 $\beta=0.10$

### 3-3. 適切な制震装置パラメータの考察

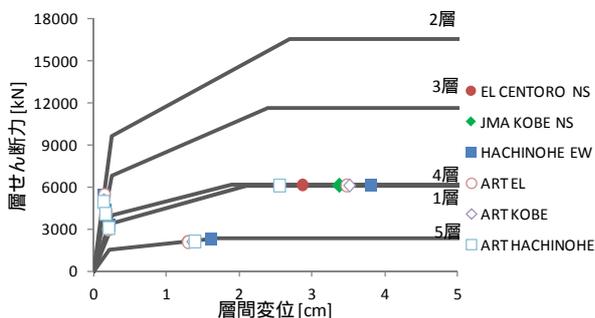
これまでのパラメータ解析より、周期比が 3.0 程度で、質量比は大きいほど低減効果が大きいことが分かった。そこで適切な制震装置パラメータを明らかにするため、さらに細かく周期比パラメータを設定し、解析した結果、両地震波を合わせて低減効果を示した制震装置パラメータは周期比 3.1、質量比 0.30、耐力比 0.2、剛性比率 0.08 のときであった。図 1 4 はそのパラメータでの各層の最大応答変位を、図 1 5 は各地震波での 1 層の最大層間変位を示したものである。図 1 5 から、モデル 3 の最大応答変位がモデル 2 よりも低減し、装置によって耐震補強しなくても現行の基準を満足できることが分かる。

### 4. 結論

ピロティを有する  $F_s$  が 1.2 の 5 層鉄筋コンクリート構造既存建物において、制震装置付き屋上庭園を設置することで耐震補強しなくても制震装置の組み合わせによっては最下階の層間変位を 30% 程低減し、耐震補強効果と地球環境問題に貢献できることが確認できた。今後は  $F_s$  をパラメータとして、装置が有効となる  $F_s$  の範囲を明らかにする予定である。

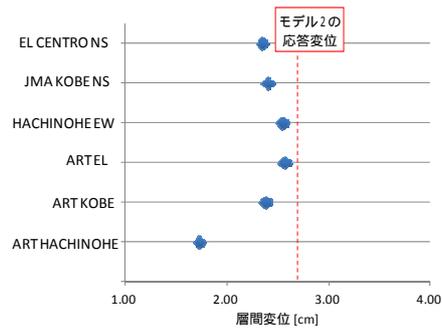


(a) 塑性率 1 に規準化した地震波

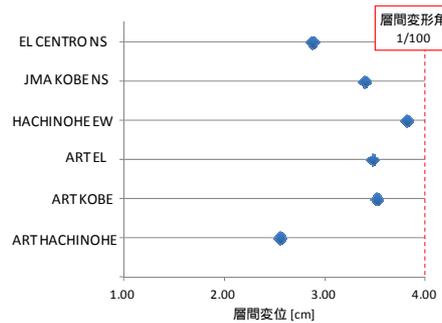


(b) 層間変形角 1/100 に規準化した地震波

図 1 4.  $at=3.1$ 、 $am=0.30$ 、 $a3=0.20$ 、 $\beta=0.08$



(a) 塑性率 1 に規準化した地震波



(b) 層間変形角 1/100 に規準化した地震波

図 1 5. 各地震波の 1 層の層間変位

### 謝辞

本研究は、平成 24 年度科学研究費補助金（基盤研究）(C)（課題番号 225101830）(代表者 堤和敏)の助成を受けた。

### [参考文献]

- 1) 相場元樹・堤和敏, 制震装置付き屋上庭園設置によるピロティを有する既存構造物の剛性率改善効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 2012 年 9 月, pp3-4
- 2) 宗政辰典・堤和敏, 制震装置付き屋上庭園設置による偏心建物のねじれ低減効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), 2012 年 9 月, pp5-6
- 3) 相場元樹・堤和敏, 制震装置付き屋上庭園設置による既存構造物への地震力の低減効果に関する研究, 第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2011 年 12 月, pp143-147
- 4) 宗政辰典・堤和敏, 制震装置付き屋上庭園設置による偏心建物のねじれ低減効果に関する研究, 第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, 2011 年 12 月, pp139-143
- 5) 相場元樹・堤和敏, 制震装置付き屋上庭園による既存構造物への地震力低減効果に関する研究 その 2 有効性の高い構造物の検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 2011 年 8 月, pp441-442
- 6) 宗政辰典・堤和敏, 制震装置付き屋上庭園による既存構造物への地震力低減効果に関する研究 その 1 低層既存建物の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 2011 年 8 月, pp439-441
- 7) 実務家のための建築物の耐震設計法 大崎順彦 コロナ社
- 8) 日本ユニオンシステム株式会社 Super build/SS3 解説書
- 9) 構造計画研究所 作成

\*1 芝浦工業大学大学院 大学院生

\*2 芝浦工業大学 教授・工博