

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

その2 弾塑性応答解析による偏心建物のねじれ低減効果について

○宗政 辰典*¹

堤 和敏*²

キーワード：屋上緑化 弾塑性応答解析 既存建築物 制震装置 ねじれ低減 ヒートアイランド

1. はじめに

既存建物の中には、セットバックしたり、耐震壁が偏在していたり偏心率の大きい建物が多数存在している。新耐震法以降の建物においては、必要保有水平耐力を割増することで対応がとられているが新耐震法以前の建物においては未対応であり、偏心を小さくし、耐力そのものを高める補修が必要である。しかし、建物内部での耐震補強は空間の使い勝手や補強工事期間中の補償の問題等であまり行われていないのが現状である。本研究室では、これらの問題を解決し、さらに地球環境問題にも貢献するものとして、制震装置付屋上庭園の研究を行っている¹⁾²⁾。

既報の研究では、レベル1地震に対する検討を弾性解析により行った。本研究の目的は、レベル2地震に対する検討を弾塑性解析により行い、偏心を有する建物に対して、屋上庭園部の重量を建物に固定せずマスダンパーとして利用することによる、ねじれ応答の低減効果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

対象とする建物は文献3の7階建のRC造建物を参考としたが、詳細な情報が不明な所は、独自にモデル化を行った。Y方向は耐震壁付きラーメン構造となっている。平面図を図1, 2、建物概観を図3に示す。解析はSS3⁴⁾により行った。また表1に偏心率 Re ・形状特性係数、表2に基礎の余裕軸力、表3に建物の各質点重量を示す。地震応答解析においては対象とする既存建築物を多柱列せん断型モデルとした。既存建築物のみのモデル(モデル1)を図4、既存建築物に屋上庭園を設置したモデル(モデル2)を図5に示す。今回はセットバックによる偏心が大きいY方向のみを解析の対象とした。

2-2. 既存建物のモデル化の方法

既存建物の復元力特性は、平面フレーム静的弾塑性解析ソフト SuperBuild/US2-改訂版⁴⁾により、Y方向の各フレームについて荷重増分解析を行い求めた。ラーメン構造となっているフレーム(図6)については武田モ

デル、耐震壁構造となっているフレーム(図7)については原点指向型モデルを用いた。用いた復元力特性モデルについて図8・9に示す。また、復元力特性の諸元を表4に示す。

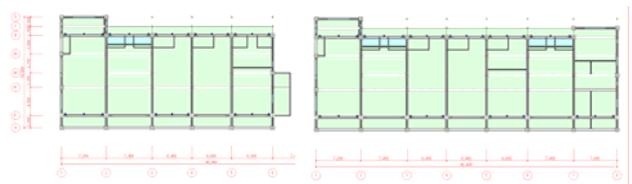


図1. 7F平面図

図2. 4F平面図

表1. 偏心率 Re 形状係数 Fe

階	Re	Fe	フレーム	余裕軸力(KN)
7	0.151	1.002	1	3698
6	0.169	1.064	2	1191
5	0.191	1.137	3	2004
4	0.326	1.5	4	1638
3	0.285	1.449	5	2880
2	0.258	1.359	6	1755
1	0.222	1.241	6	1755

表2. 基礎の余裕軸力

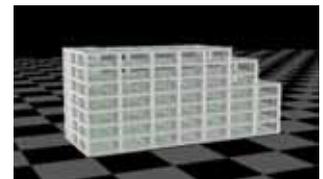


図3. 建物概観

表3. 建物重量(KN)

階数	1フレーム	2フレーム	3フレーム	4フレーム	5フレーム	6フレーム	7フレーム	8フレーム
7	778	1330	1239	1085	1169	932		
6	1067	1763	1640	1450	1573	1785	1060	
5	1065	1754	1582	1371	1485	1582	1174	
4	1065	1758	1631	1492	1547	1598	1752	942
3	1067	1760	1633	1498	1547	1598	1667	1040
2	1078	1803	1672	1484	1521	1587	1589	963
1	979	1684	1568	1416	1503	1590	1558	929

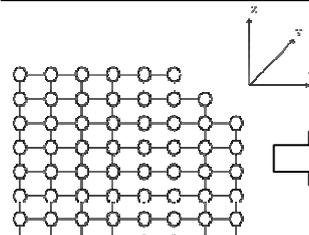


図4. 既存建物のみのモデル(モデル1)

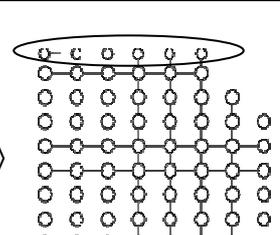


図5. 屋上庭園を付加したモデル(モデル2)



図6. ラーメンフレーム

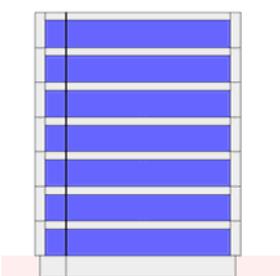


図7. 耐震壁フレーム

2-3. 制震装置の配置

制震部材は積層ゴムと鉛ダンパーを用いた。今回は積層ゴム支承のサイズ、屋上庭園部分の重量を変えて21通りの解析を行った。それぞれの解析ケースを表5に示す。また制震部材の配置に関しては各フレームで同一とし積層ゴム支承を計24個、鉛ダンパーを計12個配置した。図10に制震部材の配置図を示す。ここで、 α_m は既存建物重量に対する屋上庭園部分の重量比、 α_t は既存建物固有周期に対する屋上庭園部分の周期比である

2-4. 解析条件の設定

本研究では、2次設計を対象にしたため入力地震動はレベル2とした。既存建物部分は弾塑性モデルとし、減衰は剛性比例型、減衰定数は0.03とした。屋上庭園部分の復元力特性は鉛ダンパーと積層ゴムからなるバイリニアモデルを用いた。復元力特性を図11に示す。

2-5. 地震波・層間回転角について

地震波は、EL CENTRO NS、TAFT EW、HACHINOHE NSの観測地震波、レベル2模擬地震波の4波を用いた。観測地震波についてはレベル2(50KINE)に相当するように最大加速度を基準化した。模擬地震波は模擬地震波作成プログラムARTEQ[®]で作成し、ターゲットスペクトルは平成12年度建設省告示第1461号に基づき、位相は乱数で与えた。時刻歴応答解析には、3次元フレーム汎用解析プログラムRESP-F3T[®]を用いる。時刻歴応答解析の結果より、Y方向についてモデル1とモデル2の最大層間変位、最大層間回転角を比較し、制震装置付き屋上庭園が偏心率の改善策として有効であるかどうか検討する。ここで層間回転角は下式(1)で定義する。

$$\theta = \delta / L \quad \dots(1)$$

ここで、

θ : 層間回転角

δ : 1フレームの層間変位と6フレーム(4層目の場合は8フレーム)の層間変位の差(cm)

L: 層のX方向建物幅(cm) とする。

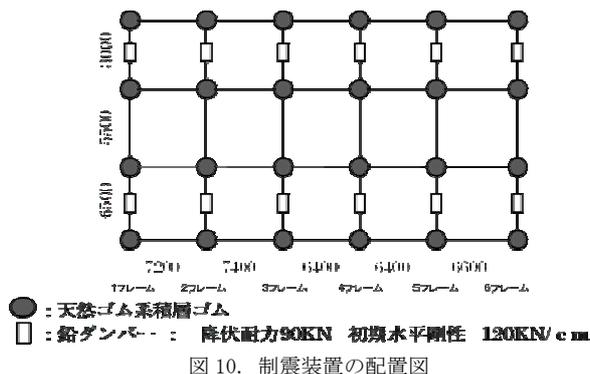


図10. 制震装置の配置図

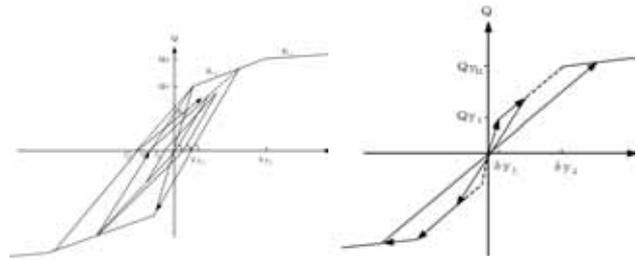


図8. 武田モデル

図9. 原点指向型モデル

表4. 復元力特性諸元

	K初期剛性	Qv1	2	Qv2	3	
101フレーム 武田	7F	7816	229	0.672	423	0.001
	6F	11365	508	0.234	813	0.001
	5F	12974	1100	0.032	1208	0.001
	4F	14022	1024	0.038	1473	0.001
	3F	15087	966	0.053	1740	0.001
	2F	16873	1382	0.051	1987	0.001
1F	26529	1378	0.069	2206	0.001	
102フレーム 原点指向型	7F	27910	1535	0.001		
	6F	45400	2633	0.001		
	5F	56813	3693	0.001		
	4F	69023	4210	0.001		
	3F	82084	4925	0.001		
	2F	101540	5585	0.001		
1F	116616	6997	0.001			
103フレーム 原点指向型	7F	23544	1413	0.001		
	6F	38043	2283	0.001		
	5F	48425	3390	0.001		
	4F	59782	3707	0.001		
	3F	72567	4499	0.001		
	2F	92044	4878	0.001		
1F	108515	6793	0.001			
104フレーム 原点指向型	7F	23490	1409	0.001		
	6F	38879	2333	0.001		
	5F	49687	2981	0.001		
	4F	61624	3697	0.001		
	3F	75060	4504	0.001		
	2F	95532	4777	0.001		
1F	116407	6170	0.001			
105フレーム 原点指向型	7F	23832	1430	0.001		
	6F	38240	2294	0.001		
	5F	48458	3150	0.001		
	4F	59651	3877	0.001		
	3F	72390	4343	0.001		
	2F	91920	5056	0.001		
1F	108375	6286	0.001			
106フレーム 原点指向型	7F	16915	1015	0.001		
	6F	31161	2493	0.001		
	5F	49470	3463	0.001		
	4F	60355	3923	0.001		
	3F	72929	4376	0.001		
	2F	92297	5076	0.001		
1F	108826	6530	0.001			
107フレーム 原点指向型	6F	26609	1597	0.001		
	5F	37427	2807	0.001		
	4F	65508	4258	0.001		
	3F	78903	5129	0.001		
	2F	98368	5902	0.001		
	1F	112919	6775	0.001		
108フレーム 原点指向型	4F	46633	5130	-0.001		
	3F	59309	10082	-0.002		
	2F	65873	13175	-0.004		
	1F	66936	16734	0.005		

表5. 解析条件

○屋上庭園部分

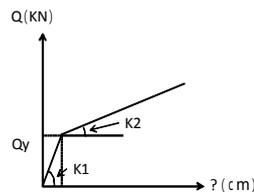


図11. バイリニアモデル (標準モデル)

Qy: 鉛ダンパーの降伏耐力 (kN)
K1: 積層ゴム+鉛ダンパーの水平剛性 (kN/cm)
K2: 積層ゴムの水平剛性 (kN/cm)

屋上庭園部分重量 (kN)	積層ゴムの径 (mm)	積層ゴムの水平剛性 (kN/cm)	t (屋上庭園部分の既存建物に対する周期比)
5500 (m.0.075)	600	10.4	5.74
	700	12	5.35
	800	13.7	5.01
	900	15.6	4.69
	1000	17.2	4.47
	1200	20.8	4.06
4000 (m.0.054)	1400	24.3	3.76
	600	10.4	4.90
	700	12	4.56
	800	13.7	4.27
	900	15.6	4.00
	1000	17.2	3.81
2500 (m.0.034)	1200	20.8	3.46
	1400	24.3	3.21
	600	10.4	3.87
	700	12	3.61
	800	13.7	3.37
	900	15.6	3.16
2500 (m.0.034)	1000	17.2	3.01
	1200	20.8	2.74
	1400	24.3	2.53

3. パラメータ解析結果

3-1. 最大変位・最大層間回転角の低減効果

計 21Case の解析を行い最上階である 7F, 偏心率が最も大きい 4F の最大層間回転角について調べた結果、重量 5500KN・積層ゴム 600φ のとき最も低減効果が大きい傾向が見られた。(表 6)このときのねじれ応答の低減について調べるため、1 フレームと 6 フレームの変位差をプロットしたグラフを図 12 に示す。時刻はモデル 1、モデル 2 において 1 フレームの 7 層目の絶対変位が最大となった時刻で全層の変位をプロットし、比較を行った。

また、地震波・階ごとの最大層間回転角の低減率について表 7 に、低減効果の大きかった 2F~5F におけるモデル 1 とモデル 2 の比較を行った最大層間回転角の比較を行ったグラフを図 13~16 に示す。

3-2. 最大層せん断力の低減効果

各フレーム、各階における最大層せん断力についてもモデル 1 とモデル 2 において比較を行った。表 8 に示す。

表 6. 7F と 4F の最大層間回転角の平均

重量	積層ゴム	7Fと4Fの最大層間回転角の平均				
		ELCEN	TAFT	HACHI	ART L2	4波の平均
重量 5500KN	600	59%	44%	74%	84%	65%
	700	69%	46%	75%	107%	74%
	800	128%	48%	77%	183%	109%
	900	279%	50%	78%	330%	184%
	1000	234%	51%	82%	452%	205%
	1200	1006%	76%	81%	621%	446%
重量 4000KN	1400	1719%	118%	86%	751%	668%
	600	76%	61%	77%	73%	72%
	700	87%	62%	80%	75%	76%
	800	92%	62%	86%	81%	80%
	900	102%	63%	82%	87%	83%
	1000	112%	65%	82%	93%	88%
重量 2500KN	1200	132%	82%	82%	141%	109%
	1400	241%	175%	87%	347%	212%
	600	65%	67%	78%	86%	74%
	700	65%	68%	77%	88%	75%
	800	65%	69%	78%	91%	76%
	900	65%	70%	79%	95%	77%
重量 2500KN	1000	65%	76%	79%	99%	80%
	1200	64%	101%	79%	188%	108%
重量 2500KN	1400	64%	148%	78%	865%	289%

表 7. 最大層間回転角の低減率

	ELCEN	TAFT	HACHI	ART L2	average
7F	93%	69%	82%	134%	94%
6F	30%	18%	57%	48%	38%
5F	17%	7%	61%	23%	27%
4F	18%	13%	46%	24%	25%
3F	18%	17%	44%	27%	27%
2F	19%	20%	49%	28%	29%
1F	27%	31%	52%	75%	46%

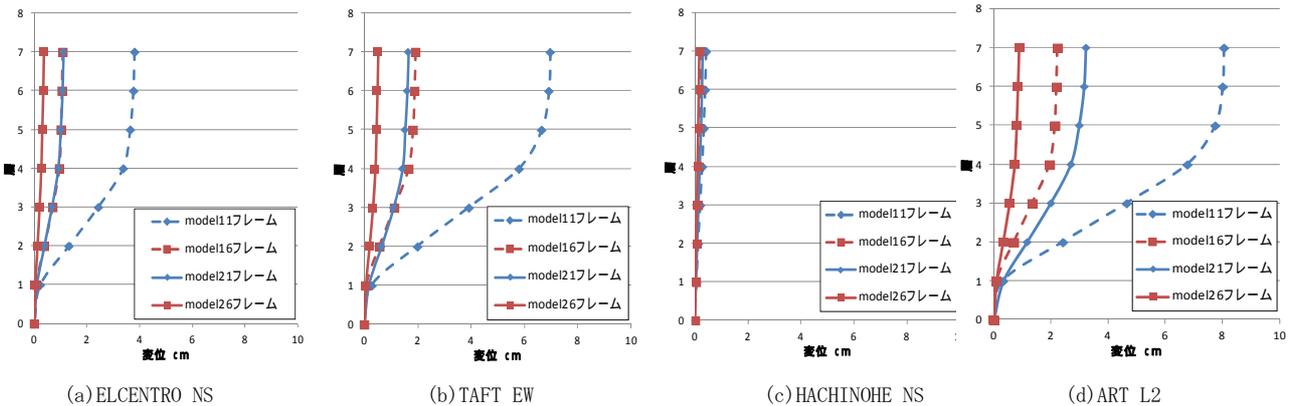


図 12. モデル 1 とモデル 2 における 1 フレームと 6 フレームの変位差

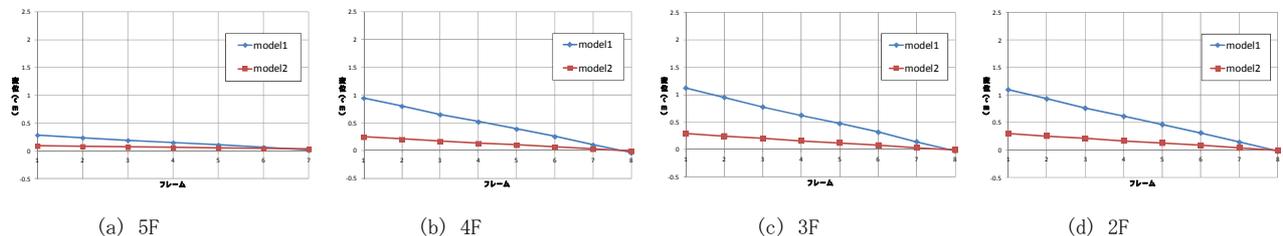


図 13. モデル 1 とモデル 2 における最大層間回転角 ELCENTRO_NS

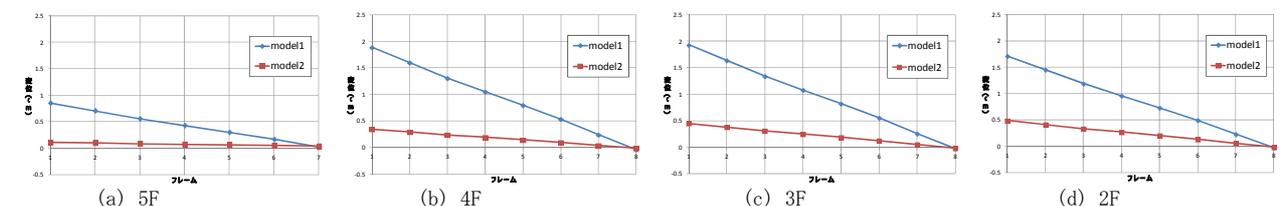


図 14. モデル 1 とモデル 2 における最大層間回転角 TAFT_EW

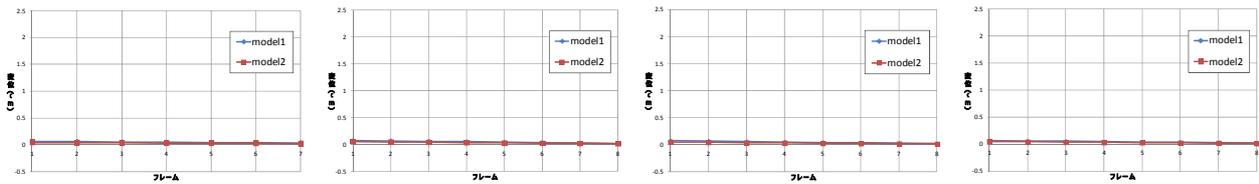


図 15. モデル 1 とモデル 2 における最大層間回転角 HACHINOHE_NS

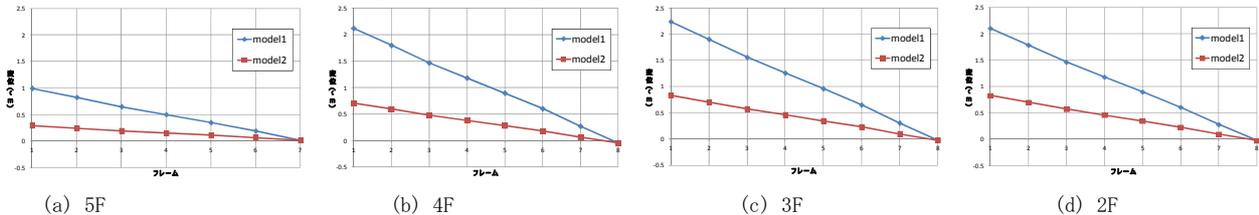


図 16. モデル 1 とモデル 2 における最大層間回転角 ART_L2

表 8. 最大層せん断力の低減率

(a) ELCENTRO NS									(b) TAFT EW								
ELCEN	1	2	3	4	5	6	7	8 average	TAFT	1	2	3	4	5	6	7	8 average
7F	95%	93%	93%	93%	93%	93%		94%	7F	79%	74%	74%	74%	75%	75%		75%
6F	75%	100%	98%	90%	82%	95%	113%	93%	6F	77%	93%	93%	94%	83%	64%	92%	85%
5F	93%	100%	100%	100%	91%	78%	112%	96%	5F	91%	99%	99%	99%	94%	71%	99%	93%
4F	76%	99%	99%	99%	100%	99%	50%	84%	4F	79%	98%	99%	99%	99%	99%	62%	83%
3F	66%	99%	99%	99%	99%	100%	62%	85%	3F	73%	98%	99%	99%	99%	99%	83%	87%
2F	79%	99%	99%	99%	99%	100%	74%	89%	2F	86%	98%	98%	99%	99%	99%	95%	91%
1F	86%	100%	100%	100%	100%	80%	92%	95%	1F	83%	100%	100%	100%	100%	99%	77%	97%

(c) HACHINOHE NS									(d) ART L2								
HACHI	1	2	3	4	5	6	7	8 average	ART L2	1	2	3	4	5	6	7	8 average
7F	89%	86%	86%	86%	86%	87%		87%	7F	112%	105%	112%	111%	109%	108%		109%
6F	81%	73%	73%	73%	74%	74%	75%	75%	6F	100%	100%	100%	100%	100%	82%	101%	98%
5F	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	74%	5F	97%	99%	100%	100%	100%	96%	106%	100%
4F	70%	77%	70%	71%	72%	73%	76%	73%	4F	91%	98%	98%	99%	99%	99%	100%	96%
3F	78%	78%	69%	70%	72%	73%	77%	75%	3F	90%	98%	98%	99%	99%	99%	100%	96%
2F	72%	77%	73%	73%	73%	74%	75%	74%	2F	99%	98%	98%	99%	99%	99%	100%	96%
1F	77%	74%	74%	74%	74%	75%	75%	75%	1F	102%	100%	100%	100%	100%	100%	106%	103%

4. 解析結果考察

1) 最大変位・最大層間回転角について

7F ではねじれ応答の大きな低減効果が見られず 4 波を平均した 7F の低減率は 6% となった。しかし、中間層 (2F~5F) において大きくねじれが低減される傾向がみられ、その結果、建物全体のねじれ応答は大幅に低減することができている。ART_L2(レベル 2 模擬地震波)において、7F の最大層間回転角の比率が 134% となっているが、建物全体の最大応答変位を見ると 7F の 1 フレームの絶対変位が 4cm 以上小さくなっていることが図 12 のグラフからわかる。

2) 最大層せん断力について

最大層せん断力について、4 波の中では HACHINOHE NS において最も大きな低減効果が得られ全層の平均した値は 76% となった。これは屋上庭園を設置していない model1 において、弾性域の応答におさまっていたため、制震装置によるエネルギー消費の多くがせん断力の低減に寄与したためと思われる。

5. 結論

全ての地震波において、建物全体のねじれ応答の低減効果が確認できた。このことより、レベル 2 地震に

対しても、制震装置付き屋上庭園がねじれ応答の低減に有効であることが示せた。

今後の課題としては、対象の建物を L 型の偏心建物として同様にパラメータ解析をし、制震装置付き屋上庭園の有効性、適用範囲について調べることである。

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) 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 P.139~142
- 2) 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 P.143~146
- 3) JSCA 版 RC 建築構造の設計 社団法人日本建築構造技術者協会 2010
- 4) 日本ユニオンシステム株式会社 Super build/SS3 解説書
- 5) 免震・制震構造の設計 日本建築学会 関東支部 2007
- 6) 構造計画研究所

*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