

君津中央病院

織本匠構造設計研究所
中澤昭伸



同
荒井英光



1. はじめに

本建物は、千葉県君津市にある君津駅と木更津駅のほぼ中央に建設中の地上10階、塔屋1階、地下1階の高さ52.15mの総合病院である。本敷地は南関東地震を引き起こした活断層の近くに位置し(図-2参照)、また、近い将来地震発生が懸念される東京湾直下型地震、及び国府津-松田-神縄断層のすぐ近隣に位置する事を考え合わせると、本建物の耐用年限中にマグニチュード7~8クラスの地震を1~2度遭遇する確率は極めて高いと考えられる。本病院は君津市、木更津市を中心に4市の利用する総合病院であり、大地震時においても建物ばかりでなく、建物内の医療器具、諸設備をほとんど無被害に納め、医療活動を平常通りに行えるという目的として免震構造を採用することとなった。



図-1 建物外観パース

2. 建物概要

建設地：千葉県木更津市櫻井1014他

建築主：君津郡市中央病院組合

一般設計：株式会社 丹下健三・都市・建築設計
研究所

構造設計：株式会社 織本匠構造設計研究所

主用途：病院

建築面積：8,716.5 m²

延床面積：52,171.9 m²

階数：地下1階、地上10階、塔屋1階

軒高：44.25 m

最高高さ：52.15 m

基準階：階高4.0 m

基礎：ベタ基礎

免震構法：地下1階床下免震による基礎免震、

天然ゴム系積層ゴム支承、直動転がりローラー支承、免震U型ダンパー(天然ゴムとの一体型)及びオイルダンパーを用いた免震構造

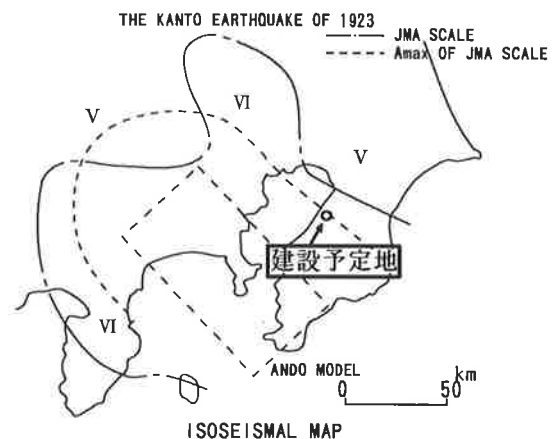


図-2 建物位置図

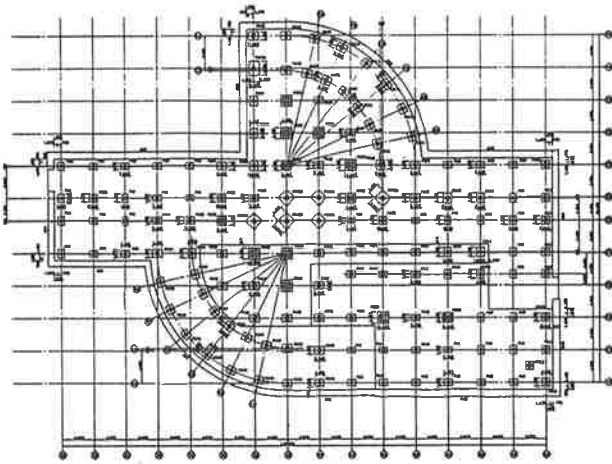
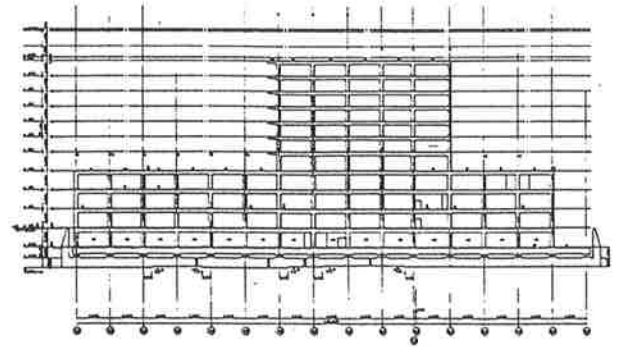


図-3 免震層床伏図



Y 7 通 軸組図

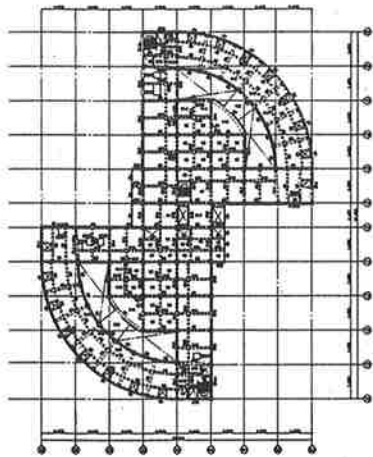
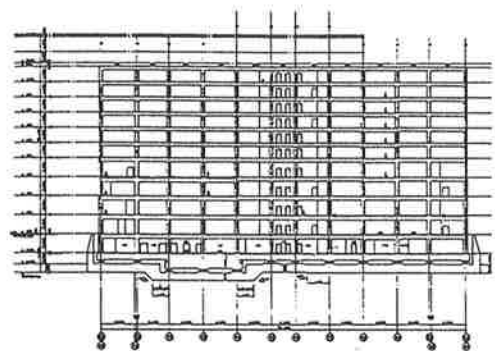


図-4 基準階床伏図



X 9 通 軸組図

図-5 軸組図

3. 構造計画

本建物の平面形状は建物中央部の9 m×9 mのグリッドの平面から上下右斜め方向に半径36.0mの1/4円を2つ持つラーメン構造である(図-4参照)。その両側に5階以下の低層階が広がっていく。低層部は9 m×9 m、9 m×15.4 mが基本グリッドであり、建物全体として長辺方向(X方向)144m、短辺方向(Y方向)96mの建物である。

上部構造の構造種別及び構造形式は、免震構造に相応しい耐力と剛性を確保する為に、鉄筋コンクリート造ラーメン構造(地下階のみ鉄筋コンクリート造耐力壁付きラーメン構造)とする(図-5参照)。

採用した免震構法は、より高い耐震安全性を確保することを目的として、基礎部と地下1階床下の間に免震層を設け、支承部材として各柱下に天然ゴム系積層ゴム支承、直動転がりローラー支承(摩擦係数 $\mu=0.005$)を設置し、減衰部材として免震U型ダンパーを天然ゴム系積層ゴム支承に一体型として取り付け、又、周期特性を損なうことなく免震装置の水平変位を制御する目的でオイルダンパーを採用し、耐震性能の非常に優れた複合型免震構法を採用する(図-6参照)。

基礎形式はN値20以上の砂質シルト層(下総層群)を支持層とする直接基礎(マットスラブによるベタ基礎)とする。一部支持層に到達できない部分についてはラップルコンクリートを用いる。

4. 設計方針

4-1 免震層の設計方針

1) 固有周期の設定

免震層の復元力特性はバイリニア型とする。免震装置が動き出すまでの弾性剛性を周期1.5秒程度とし、地盤の卓越周期0.27~0.38秒から十分離れたものとする。免震U型ダンパーの降伏後は、直動転がりローラー支承を採用することで免震周期（接線周期）を周期5.5秒程度となるよう十分な長周期化をはかる。

2) 免震装置の降伏せん断力及び減衰効果

大地震時における最大応答加速度を極力低減することを第1目的とし、免震装置の長周期化を計ると共に、降伏耐力が全建物重量の0.35~0.40程度となるよう、免震U型ダンパーを配置する。また、安全余裕度検討時の免震層の最大水平変位を極力小さくする目的で、オイルダンパーを採用する。オイルダンパーの減衰力をX・Y方向共上部構造の応答に影響を与えない範囲で使用し、600~800ton・fとする。

3) 免震装置の配置

地震時に免震層が動き始めてから最大変位に達するまでの間、免震層にねじれを生じさせないように偏心を極力小さくなるように、免震U型ダンパーを建物外周部に天然ゴム系積層ゴム支承と一体型として配置すると共に、直動転がりローラー支承を建物中心部に近い場所に配置し、免震層のねじれ剛性を損なうことのないようにする。オイルダンパーは建物外周部のX・Y方向に各4ヶ所バランス良く配置する。

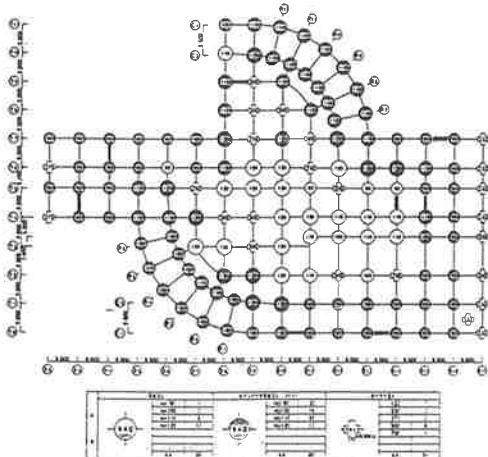


図-6 免震支承の配置図

4-2 建物及び免震装置の耐震性能目標

建物及び免震装置の耐震性能目標を表-1に、耐震性能グレードを表-2に示す。

表-1 耐震性能目標

		レベル1	レベル2	余裕度検討時
地震動のカテゴリ		C1	C2, C3	C3
耐震性能目標	上部構造	A	A	A
	免震装置	A	B	C
	下部(基礎)構造	A	A	A

表-2 耐震性能グレード

グレード	上部・基礎構造	免震部材
A	許容応力度以内	安定変形以内
B	弾性限耐力以内	性能保証変形以内
C	終局耐力以内	終局限界変形以内

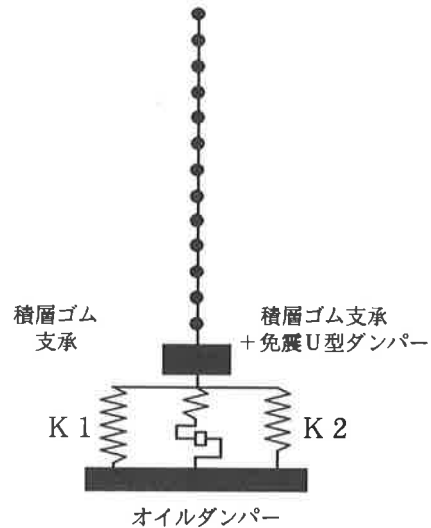


図-7 解析モデル図

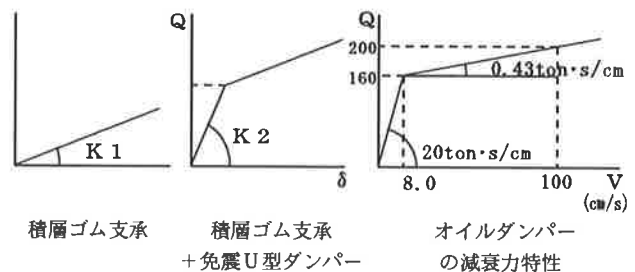


図-8 免震支承及びダンパーの復元力特性

5. 地震応答解析

5-1 解析モデル

本建物の解析モデルは、上部構造の11層に免震層の1層を加えた12質点モデルとし、基礎位置固定とする。各節点の自由度は、水平方向1自由度とし、各階のバネは等価せん断バネに置換した。図-7にその解析モデル図を示す。

1) 上部構造のモデル

純ラーメン構造である1階～10階の復元力特性は武田モデルとし、初期剛性 K_1 、第1折れ点耐力 Q_1 、第2折れ点耐力 Q_2 、及び第2、3分岐剛性を K_2 、 K_3 とし、それぞれの値は荷重増分解析結果より設定する。耐力壁付きラーメン構造である地下階は剛性、耐力共十分あるので、ひび割れによる剛性低下のみを考慮したバイリニアモデルとする。

2) 免震層のモデル

天然ゴム系積層ゴム支承は、弾性バネとし、免震U型ダンパーは降伏点を第1折れ点とするバイリニア型とし、履歴法則はノーマルタイプとする。直動転がりローラー支承の摩擦力は非常に小さいので無視する。オイルダンパーは減衰力と速度の関係がバイリニアである復元力特性とし、それぞれ3種類の復元力特性を並列としたモデルとする(図-8参照)。

3) 減衰定数

上部構造は、上部構造の1次振動数に対して $h = 3\%$ の瞬間剛性比例型とし、天然ゴム系積層ゴム支承、直動転がりローラー支承、また免震U型ダンパーは履歴減衰のみとする。

5-2 入力地震動

1) 地震応答解析には、表-4に示すように観測波のうち標準的な波形2波、長周期成分を含む波形を1波、模擬地震波としてBCJ-L1波、BCJ-L2波と地域特性を表す地震波1波を用いた。

2) 地域特性を表す模擬地震波

本建物の建設地付近に影響を及ぼすであろう想定地震及び活断層データを基に、距離減衰式より工学的基盤での地震動特性を相対的な評価として比較すると、表-3のようになる。

表-3 建物に影響を及ぼすと推定される断層による影響度比較

想定地震・断層名	断層長さ L(km)	M	震央距離 Δ (km)	最大加速度 A_{max} (cm/s^2)	最大速度 V_{max} (cm/s)
南関東地震	93	7.9	48.6	326.3	32.34
神縄-国府津-松田断層	100	8.0	75.8	245.01	25.05
東京湾北縁断層	16	6.2	32.6	128.4	8.14
千葉県東方沖地震	20	6.7	46.5	143.8	10.43
鴨川低地断層帯	17	6.9	24.9	247.6	18.75

以上の結果より、本建物に最も影響を及ぼすと考えられる南関東地震を想定し、「本敷地で将来発生する最大級の地震動」として模擬地震動を作成した。また、作成した模擬地震動の持つエネルギーとはほぼ等価になるように上述した観測波3波についてはレベル1を30cm/s、レベル2を60cm/sに増幅させて使用した。

また、表-4に設計用入力地震動のMSAVDを示す。

表-4 設計用入力地震動のMSAVD一覧表

レベル	レベル1の地震動			レベル2の地震動			余裕度検討レベル		
実効周期の範囲	2.75 ~ 3.78			3.08 ~ 4.07			3.77		
カテゴリー	C1			C2, C3			C3		
地震動の修正係数 MSAVD	A_{max} (cm/s^2)	V_{max} (cm/s)	D_{max} (cm)	A_{max} (cm/s^2)	V_{max} (cm/s)	D_{max} (cm)	A_{max} (cm/s^2)	V_{max} (cm/s)	D_{max} (cm)
EL CENTRO 1940 NS	327	27	9	654	55	18	-	-	-
TAPT 1952 EW	317	24	10	634	48	20	-	-	-
BACHINQUE 1968 NS	226	21	12	451	42	25	-	-	-
BCJ L1 *1	311	35	24	-	-	-	-	-	-
BCJ L2 *2	-	-	-	410	47	31	-	-	-
君津波 *3	-	-	-	232	40	32	305	53	41

*1 日本建築センター波 BCJ-L1原波

*2 日本建築センター波 BCJ-L2原波、余裕度検討レベルはBCJ-L2原波を1.6倍したものの

*3 南関東地震を想定し、断層行列表を用いて小林、翠川の理論より推定される地震基盤入射波速度スペクトルを基に作成した模擬地震波

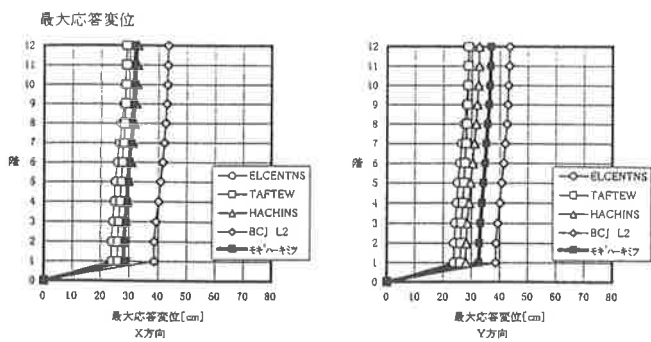
5-3 応答解析結果

1) 固有値解析結果より得られた、基礎固定時の建物の1次固有周期及び免震層のそれぞれの変形時の建物全体の1次固有周期を表-5に示す。

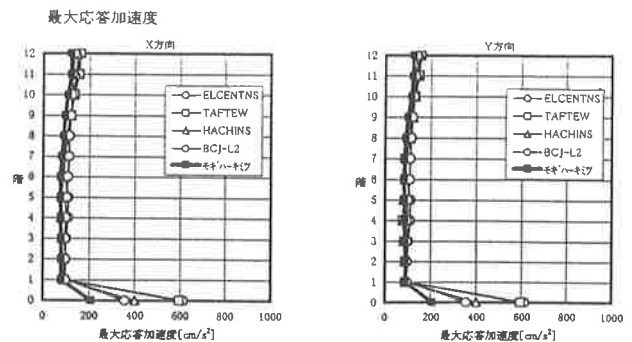
2) レベル2地震応答解析(バラツキ考慮)より得られたX、Y方向の最大応答層間変位及び最大応答加速度をそれぞれ図-9、図-10に示す。

表-5 建物の1次固有周期

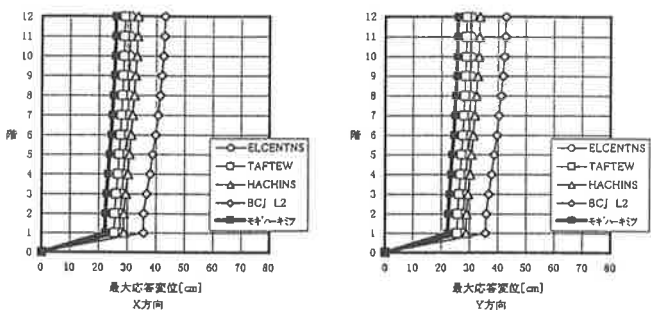
		X方向	Y方向	ねじれ
微小振幅時固有周期 (すべり発生前)	$\gamma = 10\%$	1.215	1.323	0.986
レベル1時固有周期 (すべり発生後)	$\gamma = 100\%$	3.917	3.927	3.451
レベル2時固有周期 (すべり発生後)	$\gamma = 200\%$	4.266	4.278	3.802
安全余裕度検討時固有周期 (すべり発生後)	$\gamma = 300\%$	4.406	4.420	3.946



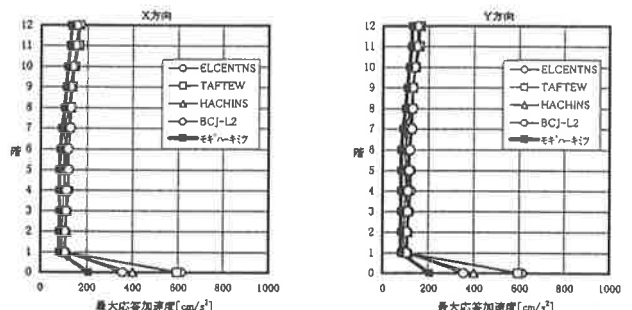
レベル2応答(標準状態)



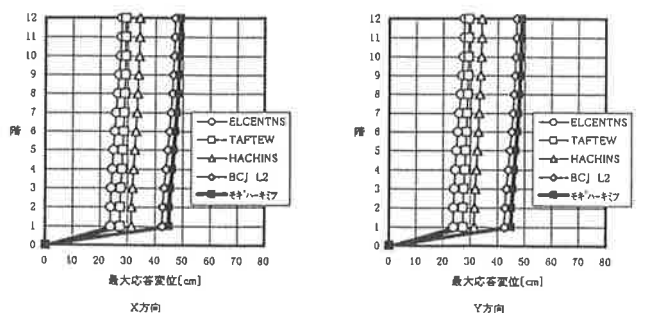
レベル2応答(標準状態)



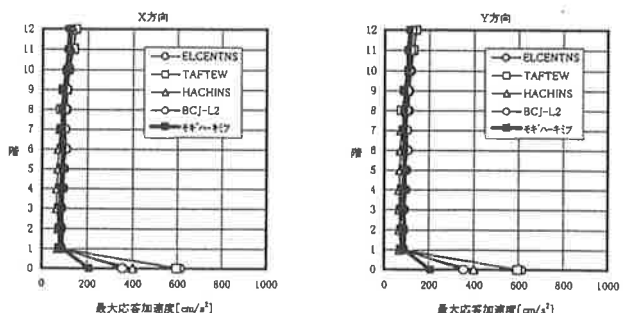
レベル2応答(+バラツキ)



レベル2応答(+バラツキ)



レベル2応答(-バラツキ)



レベル2応答(-バラツキ)

図-9 最大応答層間変位

図-10 最大応答加速度

5-4 免震装置の引抜に関する検討

レベル2地震動時及び安全余裕度検討時について、水平動によって生じる上部構造のOTM（転倒モーメント）による軸変動と上下動による軸変動を個々に算出（レベル2地震動時:0.3G、安全余裕度検討時:0.4G）し、重ね合わせる方法により検討する。OTMによる軸変動は、各方向の動的解析結果と設計応力時のOTMの比率により求め、その比率を設計応力時の軸力に乗じたものとする。表-6に各免震支承のうち、最大面圧、最小面圧の変動結果を示す。

表-6 免震支承の最大面圧及び最小面圧

レベル	地震波	方向	支承	最大面圧		最小面圧	
				位置	面圧 (kg/cm ²)	位置	面圧 (kg/cm ²)
レベル2	TAFT (EW + UD)	X方向	積層	X9/Y0	168.3	X9/Y0	17.0
		Y方向	積層	X9/Y0	173.6	X9/Y0	19.8
余裕度検討	TAFT (EW + UD)	X方向	積層	X9/Y0	186.0	X9/Y0	9.2
		Y方向	積層	X9/Y0	190.6	X9/Y0	8.9

5-5 免震U型ダンパーの累積塑性エネルギー

レベル1、レベル2、余裕度検討レベル時の累積塑性エネルギーを図-11に示し、レベル2対応時の免震U型ダンパーの累積塑性エネルギーの余裕率を表-7に示す。

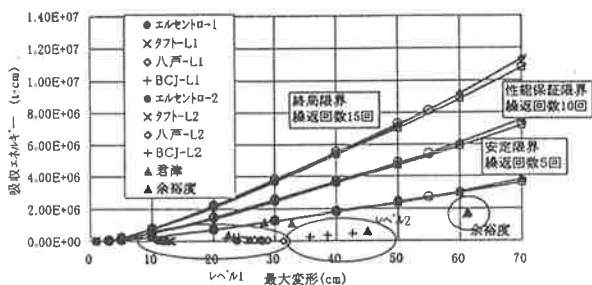


図-11 累積エネルギー図

表-7 累積塑性エネルギー（レベル2 応答時）

方向	アイソラータ	累積塑性エネルギー [tf・cm]			最大値	余裕率
		標準	+	-		
X	ELCENT	28402.0	27467.0	10915.0	28402.0	65.09
	TAFT	52122.0	61710.0	71982.0	71982.0	31.54
	八戸	29162.0	38475.0	9673.7	38475.0	59.01
	BCJ-L1	336400.0	217180.0	437700.0	437700.0	8.21
	君津波	1145800.0	368510.0	582110.0	1145800.0	2.17
Y	ELCENT	28554.0	26574.0	10889.0	28554.0	64.75
	TAFT	51897.0	65412.0	71947.0	71947.0	31.56
	八戸	29101.0	40523.0	9663.4	40523.0	56.03
	BCJ-L2	340650.0	223010.0	438280.0	438280.0	8.20
	君津波	1133010.0	367900.0	586690.0	1133010.0	2.48

6. まとめ

本建物の建設される地域周辺は、近い将来巨大な地震が発生する可能性の高い所と言われており、採用した地震動レベルもレベル1で30cm/s、レベル2で60cm/s、安全余裕度検討レベルで100cm/sと従来採用されてる地震動レベルと比べ、かなり大きなものとなっている。それぞれの地震動レベルに対し、建物の耐震性能目標を満足しており、耐震上、十分安全な建物となっている。また、免震装置の耐震性能目標を従来より高く設定（安全余裕度検討レベルで免震層の最大水平変位60cm以下：せん断ひずみ300%）しており、建物周辺のクリアランス70cmを確保している事を考え合わせると、免震装置の耐震性能を十分確保していると判断できる。

本建物に使用した模擬地震波は南関東地震（M=7.9）を想定して作成されたものであるが、最近、国府津-松田-神縄断層が動いた場合の最大想定される地震動としてM=8.0という考えもあり、本設計に用いた地震動レベルは妥当なものであり、耐震性能上も十分安全なものとする。

本建物には従来採用されている天然ゴム系積層ゴム支承と免震U型ダンパーとの一体型及び直動転がりローラー支承に加え、さらに耐震性能を上げるべく、オイルダンパーを併用したものである。オイルダンパー等の速度に依存する粘性系ダンパーは、免震装置の長周期化に対し、周期特性を変えずに免震層の最大応答水平変位を小さくするものであり、上部構造の応答に影響の無い範囲で使用することを提案するものである。この事は、同時に強風時の外乱による居住性の確保（今後の風の影響に対する動的な研究、提案がなされるものと期待）及び軟弱地盤での免震装置のさらなる長周期化に伴う最大応答変位の制御、そしてすべり摩擦係数の小さな支承との併用による、残留ひずみ（残留変形）の抑制に対し、非常に効果があるものとする。