

# 横須賀駅周辺地区ケア付き高齢者住宅

織本匠構造設計研究所

同

中澤 昭伸

川上 俊二

大成建設

同

川村 東雄

篠崎 洋三

同

有山 伸之



## 1. はじめに

本建物は、JR横須賀線横須賀駅の西側に建設中の地上13階、塔屋1階、地下無しの高さ45.8mの高齢者のためのケア付き住宅である。ここでは、本敷地が南関東地震を引き起こした活断層の真上に位置すること（図-2参照）、また、近い将来地震発生が予測される国府津-松田-神縄断層のすぐ近隣に位置すること、そして、本建物の用途が高齢者のための福祉施設ということで、大地震時においても建物そのものばかりでなく、建物内の家具、什器、諸設備を無被害または軽微な被害に納め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：神奈川県横須賀市西逸見1丁目38-11他

建築主：神奈川県住宅供給公社

一般設計：株式会社 南條設計室

構造設計：株式会社 織本匠構造設計研究所

大成建設株式会社一級建築士事務所

主用途：ケア付高齢者住宅の共同住宅

建築面積：1,126㎡

延床面積：12,280㎡

階数：地下無し、地上13階、塔屋1階

軒高：40.9m

最高高さ：45.8m

基準階：階高 2.90m

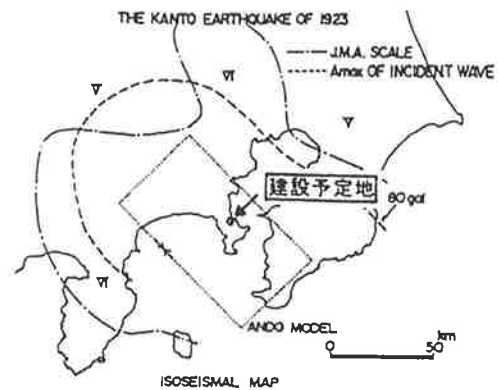


図-2 建物位置図

## 3. 構造計画

本建物の平面形状は18.6°傾いたくの字型（図-3参照）であり、断面形状はY方向（短辺方向）の地震時軸力の低減を図るために1～3階にかけて、スパンを9.5から16mまで広げた（図-5参照）。X方向（長辺方向）12スパン76m、Y方向（短辺方向）1スパン9.5～16.0mの北側中央部分に1スパン3.5～7.0mのコア部分（エレベーター、階段室等）が取り付く形となっている。

上部構造の構造種別は、X、Y方向共1～4階が鉄骨鉄筋コンクリート造、5階以上が鉄筋コンクリート造、構造形式はX方向が純ラーメン構造、Y方向が戸境壁を耐力壁とした耐力壁付きラーメン構造

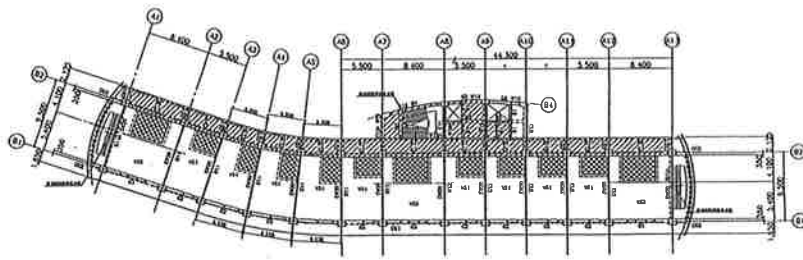


図-3 基準階床伏図

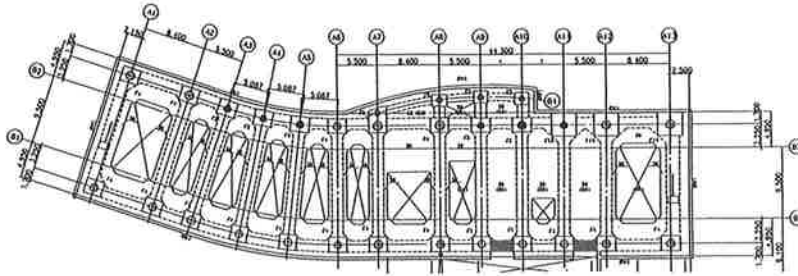


図-4 免震層床伏図

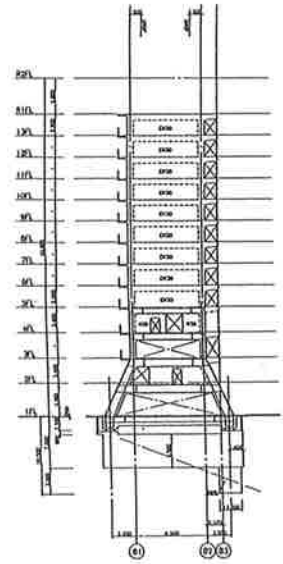


図-5 軸組図

(1～4階が部分的にピロティ)とする。

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、基礎部と1階床の間に免震層を設け、各柱下に天然ゴム系積層ゴム支承、弾性すべり支承(すべり摩擦係数 $\mu=0.12$ 及び $\mu=0.03$ )を設置し(図-6参照)、予測する大地震時での免震部材の水平変位の耐震性能を上げるため、オイルダンパーを使用した複合型免震構法とする。

基礎形式は、N値50以上の土丹層(三浦層群逗子シルト岩層)を支持層とする直接基礎であり、一部支持層の深い所では深礎杭及びラップルコンクリートを用いる。

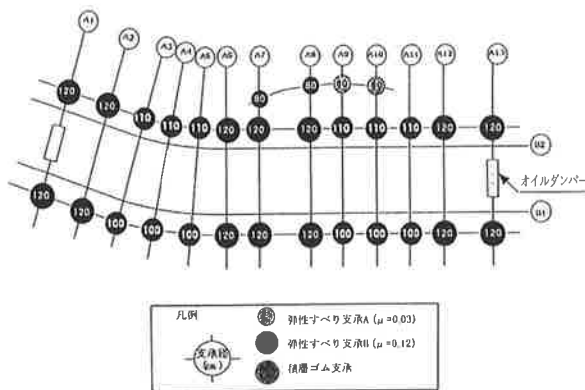


図-6 免震部材配置図

## 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。すべりが発生するまでの弾性剛性を周期2.0秒程度とし、地盤の卓越周期0.55～0.70秒から十分離れたものとする。全弾性すべり支承がすべり発生以後は、免震周期で周期5秒程度を目標として十分な長周期化をはかる。

#### 2) すべり発生せん断力

摩擦減衰を有効に働かせ、かつ、高い応答低減効果を得ることを目標とし、弾性すべり支承の重量分担割合を0.40～0.45程度とする。

#### 3) 免震部材の配置

免震層におけるすべり発生前後での偏心が極力小さくなるようにし、弾性すべり支承は地震時水平力による支承鉛直反力の合計が、極力小さくなるように配置する。また、安全余裕度検討時の免震層の最大水平変位を耐震性能目標値(50cm)以下となるように、オイルダンパーを採用する。オイルダンパーの位置は地震動の位相差によるねじれの影響を極力小さくなるように、建物の両妻面に配置する。

4.2 建物及び免震部材の耐震性能目標

建物及び免震部材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
地震動のカテゴリー		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>
耐震性能目標	上部構造	A	B	B
	免震部材	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

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13層に免震層の1層を加えた14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。

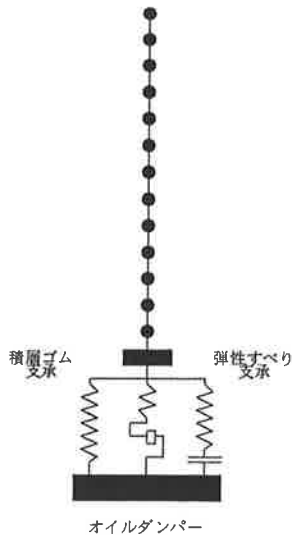


図-7 解析モデル図

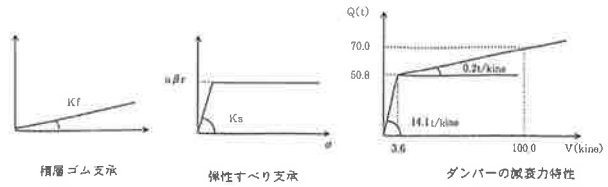


図-8 免震支承及びダンパーの復元力特性

1) 上部構造のモデル

純ラーメン構造であるX方向の復元力特性は武田モデルとし、初期剛性K1、第1折れ点耐力Q1、第2折れ点耐力Q2、及び第2、3分枝剛性をK2、K3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Y方向は剛性、耐力共十分あるので弾性とした。

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、弾性すべり支承A ( $\mu=0.03$ )、B ( $\mu=0.12$ ) は、ゴムを表す弾性バネとすべりを表す剛塑性バネの直列とする復元力特性とする。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。

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、弾性すべり支承のゴムはすべる前は免震層の1次振動数に対して $h=7\%$ の瞬間剛性比例型とし、すべった後は減衰は考慮しない。また、天然ゴム系積層ゴム支承の減衰は考慮しない。

5.2 入力地震動

1) 地震応答解析には、表-4に示すように標準的な波形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・活断層	M	最短断層距離 (km)	震源深さ (km)	最大振幅	
				加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	速度 (cm/s)
東海地震	7.6	150	41	64	13
神奈川県西部地震 (国府津・松田断層)	7.0	50	12	86	12
	7.7	50	20	169	30
	8.4	50	20	263	64
南関東地震	7.9	10	14	484	89
北武断層	6.6	5	5	397	40

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35cm/s、レベル2を70cm/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MS<sub>AVD</sub>を示す。

表-4 設計用入力地震動のMS<sub>AVD</sub>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	2.38~2.51			3.04~3.38			3.49~3.50		
カテゴリ	C <sub>1</sub>			C <sub>2</sub>			C <sub>3</sub>		
地震動の修正 ピーク・パラメータ ・スペクトルMS <sub>AVD</sub>	A <sub>max</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	V <sub>max</sub> (cm/s)	D <sub>max</sub> (cm)	A <sub>max</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	V <sub>max</sub> (cm/s)	D <sub>max</sub> (cm)	A <sub>max</sub> (cm/s <sup>2</sup> )	V <sub>max</sub> (cm/s)	D <sub>max</sub> (cm)
EL CENTRO 1940 NS	380	32	10.5	760	64	21.1			
TAFT 1952 EV	370	28	11.6	740	56	23.2			
HACHINOHE 1968 NS	270	24	14.7	530	49	29.4	1060	80	33.1
CENTER L1 *1	230	21	14.6						
CENTER L2 *2				410	47	31.2			
MOGI *3				830	71	29.6			

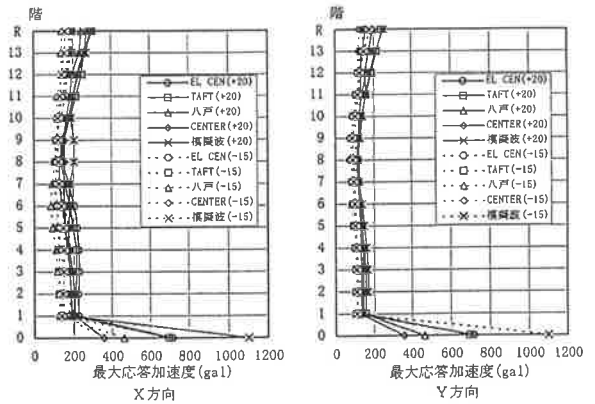
\*1 日本建築センター波 BCJ-L1原波  
 \*2 日本建築センター波 BCJ-L2原波  
 \*3 南関東地震を想定し、断層モデルを用いて小林、翠川の理論より推定される地震基盤入射波速度スペクトルを基に作成した模擬地震動。

5.3 応答解析結果

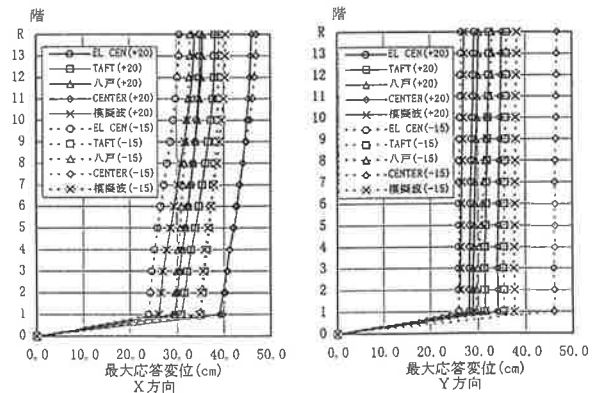
- 固有値解析結果より得られた、基礎固定時の建物の1次固有周期及び免震層のそれぞれの変形時の建物全体の1次固有周期を表-5に示す。
- レベル2地震応答解析(バラツキ考慮)より得られたX、Y方向の最大応答層間変位及び最大応答加速度を図-9に示す。

表-5 建物の1次固有周期

	X方向	Y方向
上部構造のみ	0.959	0.526
微小振幅時	2.168	2.031
レベル1時	3.993	3.925
レベル2時	4.152	4.086
安全余裕度検討時	4.206	4.142



レベル2応答(バラツキ)



レベル2応答(バラツキ)

図-9 レベル2応答(バラツキ)

- 建物を図-10に示すような模擬立体解析モデルに置換し、表-6に示す安全余裕度の検討地震動(TAFT EW波のレベル2時(70cm/s)の1.4倍として設定)を用いて、立体振動解析を行い、建物全体の安全余裕度を検討した。その応答解析結果を図-11に示す。

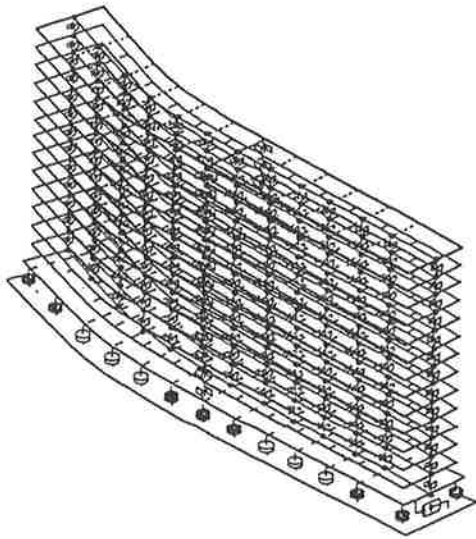


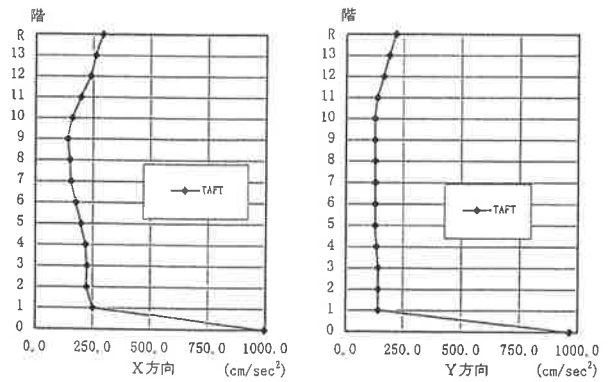
図-10 ねじれ振動解析モデル

表-6 安全余裕度の検討地震波

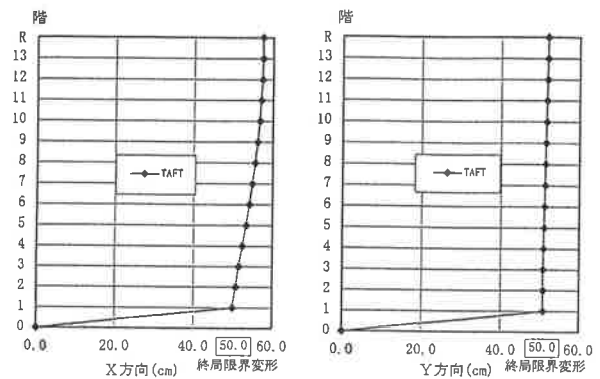
地震動のMS <sub>AVD</sub> (S <sub>AVD</sub> )	A <sub>max</sub> cm/s <sup>2</sup>	V <sub>max</sub> cm/s	D <sub>max</sub> cm	入力最大 加速度 cm/s <sup>2</sup>	継続 時間 (秒)	実効 周期
TAFT 1952EW	1060	80	33.1	879.8	54.4	3.50

#### 5.4 免震部材の引抜に関する検討

レベル2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による軸変動と上下動による軸変動を個々に算出し、時系列で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-7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。



最大応答加速度



最大応答変位

図-11 安全余裕度応答解析結果

表-7 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 <sup>2</sup> )	位置	面圧 (kg/cm <sup>2</sup> )
レベル 2	TAFT (EW+UD)	X方向	すべり 積層	A3/B1	152.9	A3/B2	37.2
				A8/B2	158.7	A1/B1	29.1
		Y方向	すべり 積層	A5/B1	159.0	A5/B1	35.6
				A8/B2	160.9	A6/B1	19.9
余裕度 検討	TAFT (EW+UD)	X方向	すべり 積層	A3/B1	169.7	A3/B2	21.9
				A8/B2	170.6	A1/B1	15.0
		Y方向	すべり 積層	A5/B1	176.2	A5/B1	18.4
				A8/B2	174.9	A6/B1	7.4

## 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35cm/s、レベル2で70cm/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、免震部材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50cm以下）しており、建物周辺のクリアランス60cmを確保している事を考え合わせると、免震部材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 $M=8.1$ 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弾性すべり支承に加え、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、免震部材の長周期化に対し、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。また、このように速度依存型の粘性系ダンパーを併用することにより、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部材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弾性すべり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。