

(仮称) ナイスアーバン住吉町

田中 幸二
エイワ設計コンサルタント
(設計担当)

宮林 正史
同
(監理担当)

金野 寛
HKコンノ建築事務所

世良 信次
CERA建築構造設計

1 はじめに

共同住宅を強耐震構造または免震構造として開発している建築主は、高崎市に免震構造の高層共同住宅を計画した。大地震に対して安全な建物を提供する方針の一貫である。本報告は、その建物を平成12年告示2009号(以下、“告示”と略す)を用いて構造設計した概要を紹介する。本設計では、免震構造の設計計算方法として地盤が良好であることと、建物の平面・立面計画が割と対象的であり質点モデル化に無理のない建物であることなどから、告示による計算方法を採用した。また、審査手続きが従来の大匠認定を取得する方法より容易になったことも決定の大きな理由となった。



写真1 建物全景

2 建築概要

建物概要を以下に、写真1に建物の全景を、図1に基準階平面図を示す。

建設地	群馬県高崎市住吉町1丁目8-1,6
建築主	ナイス株式会社
設計	意匠 (株)エイワ設計コンサルタント
構造	HKコンノ建築事務所 (免震関係) CERA建築構造設計
設計監理	(株)エイワ設計コンサルタント
主要用途	共同住宅
建築面積	339.24m ² 、延床面積 3409.38m ²
階数	地下なし 地上14階 塔屋なし
軒高	42.18m、建物高さ 42.68m
基準階	階高2.96m (2~14階)



図1 基準階(3F-14F)平面図

3 構造計画概要

設計上の目的は、構造躯体の高い耐震性確保にあり、免震構造が採用された。以下には免震部分を中心に構造計画の概要を以下に示す。

1) 耐震性能目標

計画地の周辺には関東平野北西縁断層帯があり、全体が1つの区間として活動する場合、わずかな確率であるがマグニチュード7.1程度の地震が発生する可能性があると言われている。よって、極稀に発生する地震動を対象にした。また、告示計算では許容応力度設計が条件であることも含めて、本建物の耐震性能目標を表1のように設定し無損傷に保つことを設計目標とした。

表1 耐震性能目標

入力レベル	極稀に発生する地震
上部構造	許容応力度 以下
免震材料	設計限界変位 以下
基礎構造	許容応力度 以下

2) 告示計算の適合条件と構造計画

告示計算には、手続きの簡易化のメリットがあるが、いくつかの適用条件がある。さらに計画時に確認できる条件と計算結果として満たさなければならない条件があり、まずは、計画時にできる確認結果を表2にまとめて示す。

表2 告示の計画時の適用条件と設計条件

部位	適用条件	設計条件
上部構造	建物高さ 60m 以下	42.68m
免震材料	大臣認定取得品	認定品の選択
免震層の位置	基礎免震	基礎免震
地盤	第1種、または液状化のない第2種	第1種

3) 上部構造体の設計概要

主要構造体の骨組みを示す軸組図を図2に示す。上部構造体は、免震効果と規模から鉄筋コンクリート造とした。柱割りスパンはX方向に約6.8mの2スパン、Y方向に11mと7mの2スパンになっており、X,Y軸にほぼ対象な平面形状としている。各階高さは2階～14階まで2.96mで、骨組み断面の概要は以下のようにになっている。

- 梁サイズ：700×800mm～450×700mm、600×1500mm (1階床梁)
- 柱サイズ：900×900mm～700×900mm、

鉄筋：SD32 (SD390)～SD25 (SD345)、STP,HOOP D13

コンクリート強度 F_c ：33～27N/mm²

また、耐力壁は、X軸中央のX2フレームとY軸中央のY2フレームにできるだけ残し、また、Y方向のロングスパンの梁には、束柱を設け水平剛性の確保を計った。

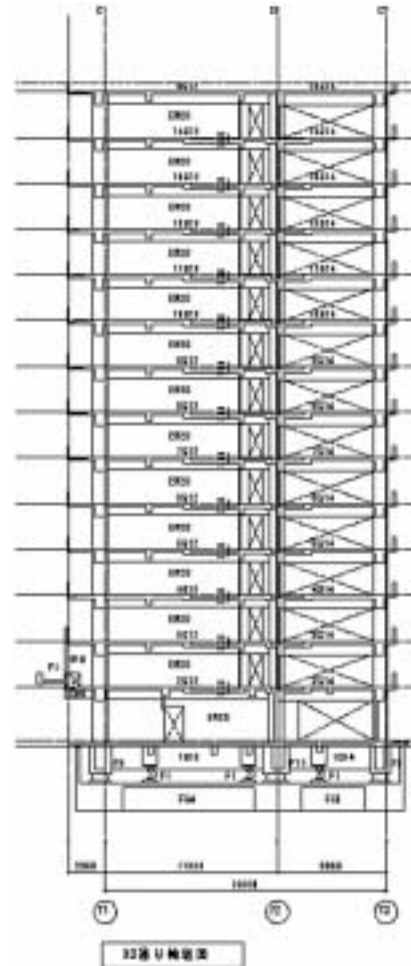


図2 X2軸-軸組図

この構造計画によって、

- ・各階の偏心率を規定値以内に収め、ねじれ振動を抑える計画とした。
- ・各階の剛性率を規定値以内に収め、上下方向の剛性分布の均衡を計っている。
- ・耐力壁は、免震材料に引き抜きが生じない程度で残し、水平剛性を高めることで全階が剛体に近い挙動を示し、免震効果が全階に有効的に発揮するようにしている。
- ・1階床梁のサイズを上げ、高い剛性を確保することで、免震材料のP- δ 効果による付加モーメ

ントに抵抗し、免震材料に有害な変形が生じないようにしている。

4) 免震層の設計概要

免震材料の選択は、免震層の偏心をできるだけ少なくすることと免震周期を長くすることを目標に、各柱心の位置に高面圧仕様の天然ゴム系積層ゴムを配置し、長周期化を計り、外付けダンパーを用いて偏心を抑えた。また、積層ゴムの大きさは長期面圧が基準面圧以内になるように設定し、大変形による座屈をさけるために2次形状係数を5.0程度とした。ダンパーは、強風時に免震層の変形を抑え、揺れによる居住性の悪化を防ぐために初期剛性の高い鉛ダンパーを設計風荷重に抵抗できる数量を採用し、さらに1.6倍の大規模な暴風時にはやや免震層の降伏を許容するとし、鋼棒ダンパーを追加した。免震層は、どちらの風荷重も地震荷重に比べかなり低くなっており、風荷重には安定し、やや大きな中小地震時には免震効果が有効に作用する設計となっている。

ダンパーの配置は、偏心の調整の役割から、ほぼ平面上対象な配置とし、さらにねじれ剛性を高めるために建物周辺に配置している。鉛ダンパーは製品高さの関係上、大梁の脇に接続し、鋼棒ダンパーは1階床梁と地中梁の間に設置している。

本建物に採用した免震材料および免震層設計の諸元を表3に、また免震材料の写真を写真2と配置を図3に示す。また、これら免震材料の復元力特性を足しあわせた免震層の復元力特性を図4に、さらに、等価粘性減衰定数と水平変位の関係を図5に示す。この復元力カーブの塑性剛性から算定される免震周期 T_p は、5.08 (s)となっており長周期化を実現している。

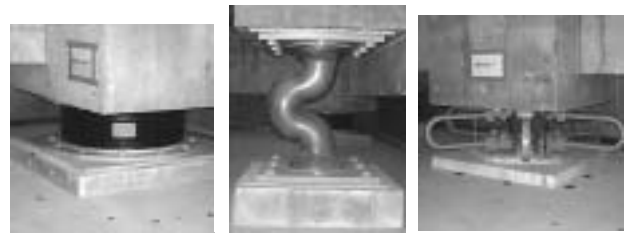


写真2 積層ゴム、鉛ダンパー、鋼棒ダンパー

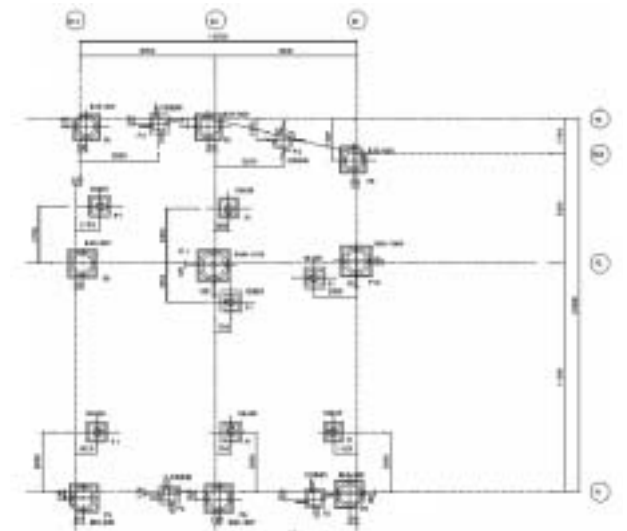


図3 免震材料配置図

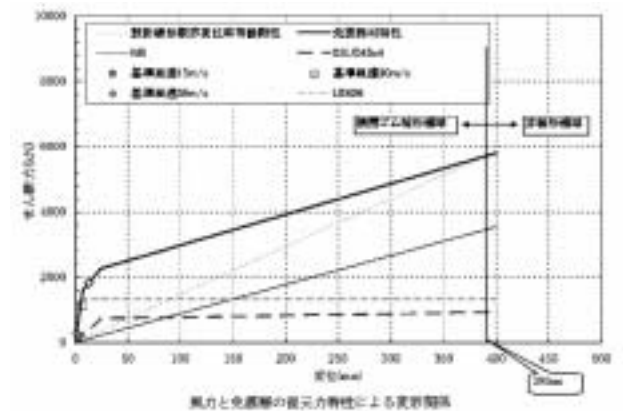


図4 免震層の復元力特性スケルトンカーブ

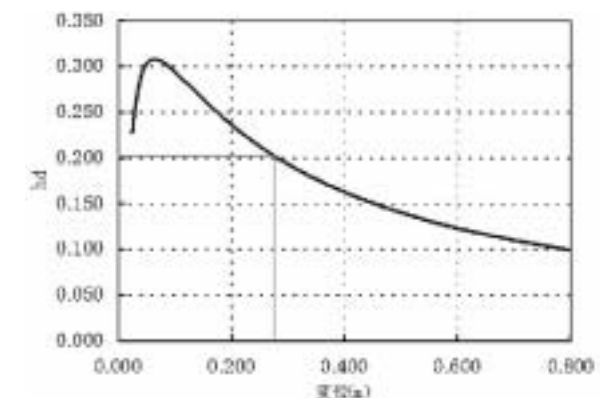


図5 免震層の減衰特性

表3 免震層設計の諸元

		地震時総重量	73800 (kN)
風荷重		設計風時 (Vo=30m/s, X方向)	1126 (kN)
		暴風時 (Vo=38m/s, X方向)	1800 (kN)
	免震層せん断力係数	設計風時	0.015
		暴風時	0.024
		免震層の降伏せん断力係数	0.025
免震材料	積層ゴム	R35-800 -6 mmx26 層 G3.5	3 基
		R40-900 -6.8mmx26 層 G4.0	4 基
		R40-1000-7.5mmx26 層 G4.0	1 基
		R40-1100-8.3mmx26 層 G4.0	1 基
	鉛ダンパー	U2426 鉛径 240mm	4 基
鋼棒ダンパー	SSUD 45x4 □45mm 4本	7 基	

5) 基礎構造の設計概要

地盤は、地盤調査結果を表4に示すとおり、GL-2.0m以深の地層から玉石混じりの砂礫が構成する第1種地盤である。比較的浅いGL-8.0m程度からS波速度は400m/s以上を示し、GL-10m以深を工学的基盤とした。

基礎構造は、GL-4.2mのレベルを基礎底とした直接基礎とし地中梁サイズを2,400~3,000mmx1,800mmとし、免震材料の付加モーメントを十分に負担できる剛性を確保している。

表4 地盤調査結果

層	地層年代	土質	層厚 d(m)	深度 H(m)	平均N値 N	密度 ρ (t/m ³)	S波速度 Vs(m/s)	せん断剛性 G0 (kN/m ²)
第四紀	沖積世	埋土・玉石混り砂礫	2.00	2.0	10~50	1.80	220	87100
	沖積世	玉石混り砂礫	3.00	5.0	>50	2.00	310	192000
	沖積世	玉石混り砂礫	3.90	8.9	17~50	2.10	640	860000
	沖積世	粘土混り砂礫・玉石混り砂礫	7.10	16.0	>50	2.10	580	706000
設計地下水位			GL-3.0 m ~ -4.0 m					
基礎深さ			平均地盤面 -4.2 m					
液状化の有無			無					
地盤耐力			直接基礎 長期 500kN/m ² 、短期 1000kN/m ²					

4 地震応答解析

1) 入力地震動の加速度応答スペクトル

告示では、入力地震動を基礎底レベルの加速度応答スペクトルで表し、告示第1457号第一号の方法で算定した結果を図6に示す。なお、地盤の卓越周期はT1=0.078(s)、T2=0.026(s)、波動インピーダンス $\alpha=0.94$ となっている。今回は、第1種地盤で硬質な地層であり工学的基盤がかなり浅い地盤条件であったため、地震波の増幅はほとんど見られない。

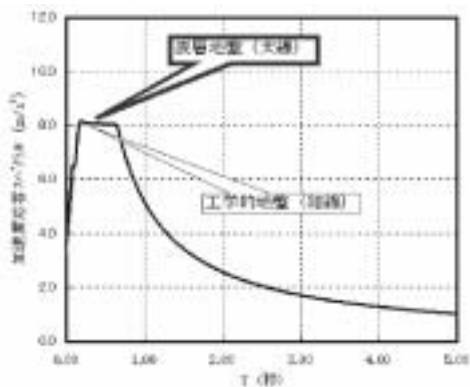


図6 設計用地震動の加速度応答スペクトル

2) 免震層の応答解析結果

ここでは、上記の加速度応答スペクトルで設定した地震動に対し免震層の変形を求める。この図6のスペクトルに建物質量を乗じて免震層の層せん断力に換算すると応答層せん断力スペクトルとなる。このスペクトルと図4に示す免震層の復元力スケルトンカーブを重ね、免震材料の水平基準変形(面圧 $\sigma_0/3$ 時の限界変形、 σ_0 :鉛直基準強度)から設定した設計限界変位からの釣合い状態を収束させ応答変位を求めた。その関係を図7に示す。

その結果、免震材料の標準状態では、

- ・免震層の基準変位：0.25m
- ・免震層の応答変位：0.28m
- ・免震層の必要水平クリアランス：0.48m
- ・免震層の地震層せん断力係数：0.07

となる。

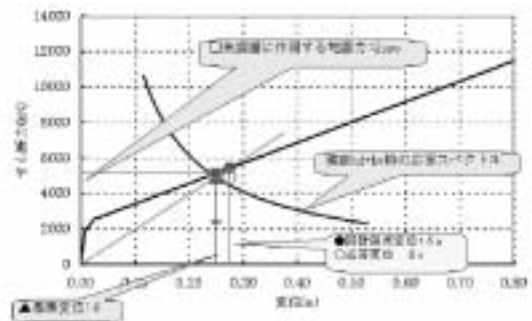


図7 免震層の基準変位と収束変位関係

3) 上部構造の応答と構造設計

上部構造の地震応答は、免震層の地震層せん断力係数を基準としてAi分布で増幅させたものになる。ただし、免震材料のばらつき特性をプラス側の状態で考慮している。また、計画地の断層分布などを考慮し設計せん断力係数は、さらに20%程度割り増ししている。その結果を図8に示す。主フレーム断面は、この層せん断力に対して許容応力度以下としている。

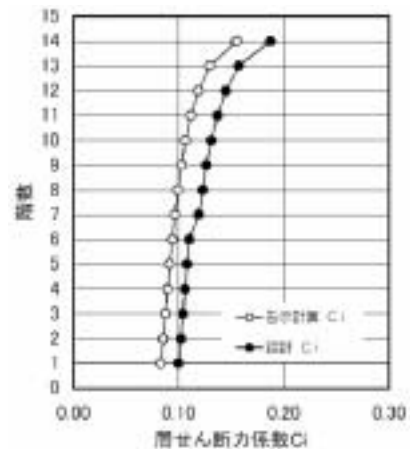


図8 応答層せん断力係数と設計層せん断力係数

4) 基礎構造の設計

基礎は、免震層の最大層せん断力 Q_{io} （プラス変動時）と付加モーメントに対し地中梁の許容応力度設計を行い、 Q_{io} と地下震度（令第88条第4項）の2倍の水平力に対し基礎底がすべり変位を生じないことを確認している。

5) 告示計算の適合条件と計算結果

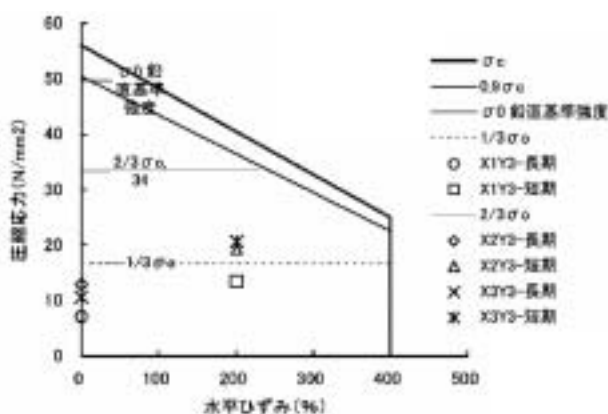
告示計算の結果として満たさなければならない条件の確認結果を表5にまとめて示す。

表5 告示の計画時の適用条件と設計条件

部位	適用条件	設計条件
上部構造	層間変形角 1/300 以下	X:1/786 Y:1/1819
免震材料	減衰材の負担せん断力 0.03 以上	0.031
免震層	接線周期 2.5 秒以上 偏心率 0.03 以下	4.43 秒 X:0.026, Y:0.01
水平 クリアランス	0.51 m 以上	0.6 m

5 免震材料の安全性の確認

免震層の最大変形時（免震材料のマイナス変動時）に地震時の支持荷重と上下震度0.3を考慮した面圧状態が各積層ゴムの使用可能範囲（面圧 $0 \sim 2x\sigma_0/3$ 以内、限界変位 $m\delta d$ 以下）であることを圧縮-変形限界性能曲線で確認している。図9に積層ゴムR35-800の結果を示す。



R35-800 圧縮-変形限界曲線

図9 積層ゴムR35-800の安全性確認結果

6 おわりに

告示による計算条件では、今までの設計経験の判断に比べややダンパーの性能が高くなっている。告示の背景にある免震層の水平クリアランス不足による擁壁との衝突を避けるための規定によるものであるが、この点に関しては免震性能を高めることや反する要因になるため、水平クリアランス量と連動した判断ができる余地がほしいところである。

今回は、近隣の断層分布、地震暦などから設計者判断により設計層せん断力係数を算定値よりやや大きくしている。告示による応答スペクトルが極稀に発生する地震の位置づけになっているものの、どの程度の地震が発生するか予期できないことが近年痛感される。この建物が地震にみまわれることなく役を果たすことが最適ではあるが、大地震時にはその性能を発揮し、居住者の安全を確保するものと信じる。

【参考文献】

免震建築物の技術基準解説及び計算例とその解説、編集 国土交通省住宅局建築指導課ほか、工学図書出版、平成13年5月