

2 3号館（免震校舎）の構造設計

常木康弘*¹、大熊武司*²、吉田和彦*¹

（*¹：日建設計 東京 構造設計室、*²：神奈川大学工学部建築学科）

1. はじめに

神奈川大学では、創立 70 周年記念事業の一環として、横浜キャンパスの再開発が計画された。再開発では、阪神・淡路大震災（1995 年 1 月）を踏まえて、施設の耐震性向上が強く打ち出され、耐震診断が実施された。その結果、本部棟である 1 号館と工学部の講義棟、研究棟の一部である 3 号館・4 号館が建て替えられることになった。建て替えに当たっては、1 号館については CFT 柱を用いた耐震型構法が採用され、3・4 号館については、それらを 1 棟にまとめて 23 号館とし、免震構法が採用された。両棟は昨年 3 月末に完成したが、幸い後述する TEDCOM プロジェクトの一環として地震・風観測体制が整えられている。そこで、この振動観測に資するために両棟がほぼ完成した段階で、両棟について振動実験が実施された。ここでは、免震棟である 23 号館の構造設計概要について報告する。

2. 23号館（免震校舎）建築概要

建築面積：2,221.00m² 延床面積：20,856.00m²

階 数：地下 2 階 地上 8 階 塔屋 2 階

主 用 途：研究室・実験室 講義室 書庫

構造種別：鉄筋コンクリート造

地下 1 階と地下 2 階の間に免震層を
設けた中間層免震構造

最後部高さ：GL.+39.25m 軒高：GL.+30.05m

基準階階高：3.70m 免震層階高：2.30m

基礎：鉄筋コンクリート造べた基礎（GL.-15.35m）

免震部材：天然ゴム系積層ゴムアイソレータ

鉛ダンパー、鋼棒ループダンパー

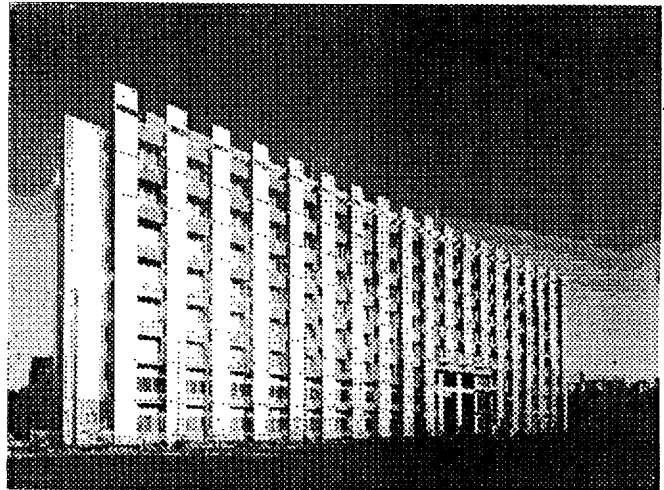


写真 1. 23号館（免震校舎）全景

3. 構造概要

3.1 構造計画概要

本建物は、大地震時に人命保護に留まらず建物機能を維持し、貴重な研究資産、危険な実験材料、高価な機器の被害を低減させる目的で免震構造を採用した。免震層設置位置は、地下 1 階の教室採光のために必要となるドライエリアが、免震層の可動量を確保するスペースとの兼用を図れること、また免震層下部にあたる地下 2 階の主な用途が機械室、図書館書庫であり、機能的にも耐震壁を多く配置し、上部構造の基礎として十分な剛性、耐力を持たせることが可能であることから、地下 2 階と地下 1 階床の間に設けた。

3.2 上部・下部構造の設計

免震構造を採用することにより、上部建物に入力される地震動は大きく低減され、通常の構造計画なら鉄骨鉄

筋コンクリート構造となる本建物を鉄筋コンクリート構造にて計画した。免震層上部建物は、免震構造の利点を最大限に利用し、計画自由度の高い純ラーメン構造を採用した。また、12.7m程度と比較的長いスパンの梁をプレストレスト鉄筋コンクリート梁とすること

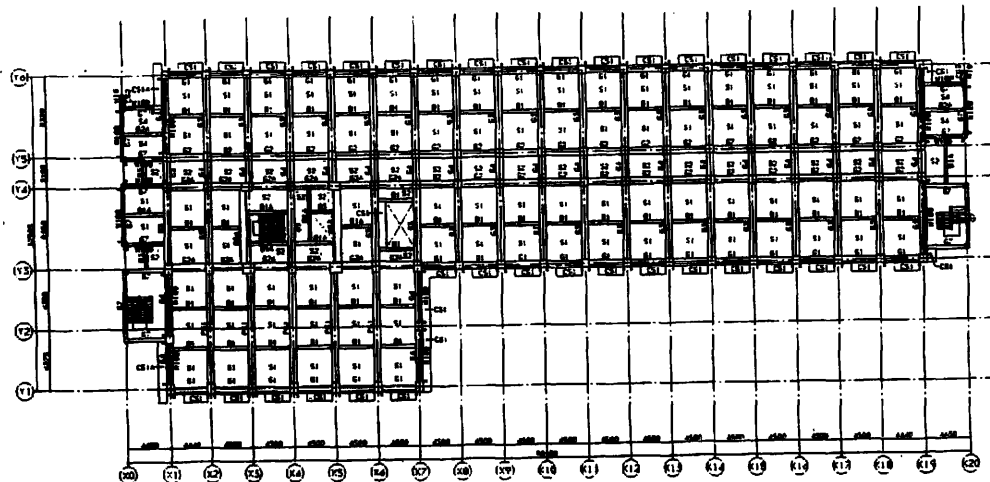


図-1 基準階伏図

により、計画に必要な空間を確保した。下部構造は、十分な耐震壁を配置した耐震壁付ラーメン構造とし、上部構造の基礎として十分な剛性・耐力を持たせた。上部及び下部構造の耐震クライテリアは、レベル2地震動（最大速度 50cm/s）に対して共に許容応力度以内（弾性設計）に留まることとした。

基礎構造は、鉄筋コンクリート造べた基礎とし、GL-14m付近より現れるN値50以上の相模層群砂礫層に直接支持（長期許容支持力 500KN/m²）させる計画としている。なお、基礎底以深約3m程度より、上総層群の土丹層が現れる地盤構成となっている。

3.3 免震部材、免震層の設計

免震部材は天然ゴム系積層ゴムアイソレータ（直径 600φ、800φ高面圧仕様）と、エネルギー吸収部材として鉛ダンパー（直径 180φ）と鋼棒ダンパー（SCM415、70φ）を用いた。免震層は、レベル2地震動時の応答変形が、積層ゴムの設計許容変形（30cm : 600φ）以下にとどめる設計とした。

積層ゴムの長期面圧は、15N/mm²程度以下（最大面圧 14.4 N/mm²、平均面圧 10.7N/mm²）とした。また、レベル2地震動時においては、0 N/mm²以上（最小 1.6）30 N/mm²以下（最大 18.1）となるようにし、積層ゴムに有害な引拔力が働かないようにした。また免震層でのねじれ変形を抑えるため、上部構

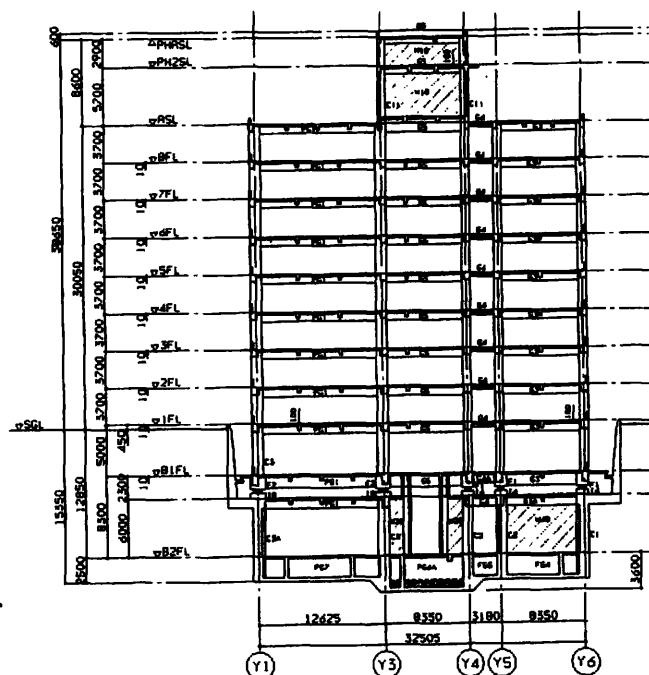


図-2 軸組図

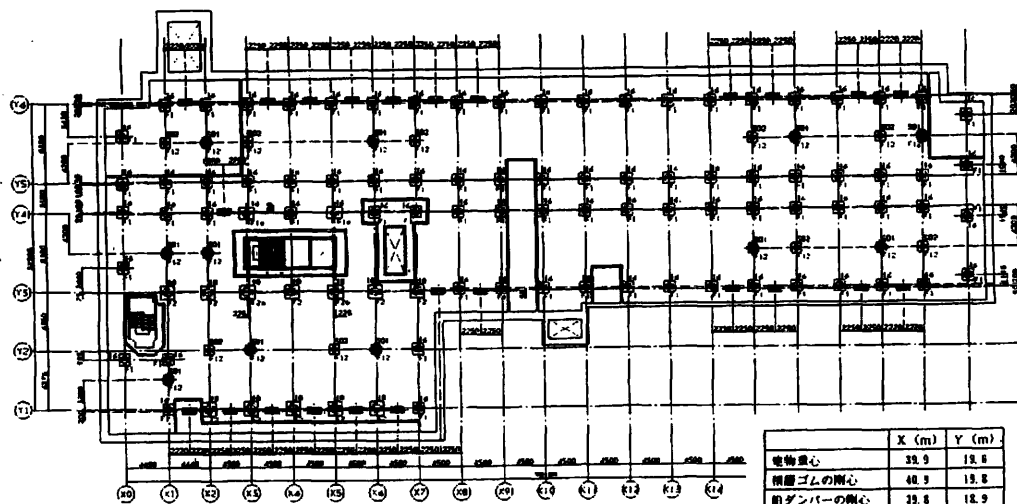


図-3 免震部材配置図

	X (m)	Y (m)
建物重心	22.9	18.8
積層ゴムの剛心	22.9	18.8
鉛ダンパーの剛心	22.9	18.8
鋼棒ダンパーの剛心	22.9	18.8
免震層の剛心	22.9	18.8

X0通りとY1通りの交点を原点とする。

造の重心と免震部材の剛心が一致するように免震部材を配置した。なお、風荷重（再現期間100年）に対しては、ダンパーは降伏しない設計とした。

4. 設計性能の確認

4.1 振動応答解析モデル

本建物の振動応答解析に用いたモデルは、各階重心位置に1個の質点を設けた（計10質点）等価せん断型モデルとし、免震層は、積層ゴムの復元力をLinear、鉛ダンパー・鋼棒ダンパーの復元力をBi-Linearに設定し、免震層全体でNormal Tri-Linearの復元力特性（図-4）を設定した。本振動モデルによる固有周期を表1に示す。

4.2 レベル2地震動応答結果

検討用地震動波形については、観測地震動3波（最大速度50cm/sec）と長周期領域での速度応答スペクトルが $S_v=100\text{cm/sec}$ ($\eta=5\%$)となるような設計用模擬地震動（ART.WAVE 474）の合わせて4波を採用した（表-2）。レベル2地震動時に、上部・下部構造共に許容応力度以内に留まり、免震層の最大変形は、約25cm程度であり、耐震設計クライテリアを満足する事を確認している。表-3にレベル2地震動時応答結果一覧表、図-5に最大層せん断力図および最大層間変形図を示す。

4.3 レベル2地震動時床応答加速度

レベル2地震動時における上部構造の床応答加速度について、長辺方向入力時における応答結果を表-4に示す。研究室や実験室等がある各階における応答加速度は、最大でも200gal以下となっている。最大応答加速度は、R階（屋上）で229galを示し、入力地震動（TAFT EW 500gal）の46%程度の割合となっている。短辺方向入力時についても、同様の結果が得られている。

4.4 ねじれを考慮した解析

上部構造は、偏心率が最大で0.05程度と小さく、ほとんどねじれない架構形状となっている。また免震層の剛心と建物重心を一致させているため、基本的にねじれ振動をおこさない設計としている。

このように設計としてはねじれの少ない配慮がなされているが、今後の地震観測データの検証のため、ねじれを考慮した立体解析を行った。解析モデルは、上部構造は地震荷重による各架構毎、各層毎

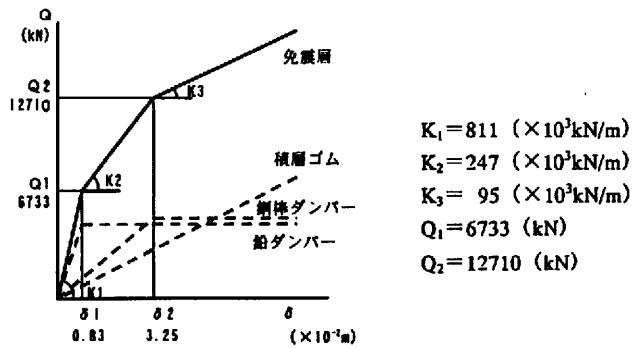


図-4 免震層の復元力特性

表-1 固有周期

	方向	1次	2次	3次
上部構造	長辺	0.79	0.28	0.17
	短辺	0.86	0.31	0.19
積層ゴムとダンパーを考慮した場合	長辺	1.40	0.40	0.22
	短辺	1.43	0.44	0.24
積層ゴムのみを考慮した場合	長辺	3.59	0.44	0.22
	短辺	3.60	0.49	0.25

表-2 検討用地震動

地震動波形名称	年 月 日	成分	記録最大加速度 (gal)	レベル2 加速度 (gal)	解析時間 (秒)
EL CENTRO CALIF.	1940. 5. 18	NS	340.9	490	40.0
TAFT CALIF.	1952. 7. 21	EW	175.9	500	40.0
HACHINOHE	1968. 5. 16	NS	226.3	334	40.0
ART WAVE 474	—	—	—	282	40.0

表-3 レベル2地震動時応答結果一覧表

		入力地震波	応答結果		耐震設計 クライテリア
			X方向	Y方向	
免震層	最大相対変形 (cm)	EL CENTRO NS	19.94	20.27	30 cm
		TAFT EW	21.37	21.15	
		HACHINOHE NS			
		ART WAVE 474	24.03	23.11	
上部構造	最下階(B1階) 最大層せん断力係数	EL CENTRO NS	0.104	0.097	0.14 以下
		TAFT EW	0.103	0.104	
		HACHINOHE NS	0.114	0.121	
		ART WAVE 474			
	最上階(8階) 最大層せん断力係数	EL CENTRO NS	0.196		0.30 以下
		TAFT EW		0.218	
		HACHINOHE NS	0.213	0.197	
		ART WAVE 474	0.177	0.203	
	最大層間変形角	EL CENTRO NS	1/1129 (B1F)	1/ 974 (3F)	1/400 以下
		TAFT EW	1/1136 (B1F)	1/1045 (4F)	
		HACHINOHE NS	1/1020 (B1F)	1/ 796 (3F)	
		ART WAVE 474			
	B1階位置 最大転倒モーメント (t・m)	EL CENTRO NS	60300	61900	90300 (t・m) 以下
		TAFT EW	63100	56500	
		HACHINOHE NS	66900	76300	
		ART WAVE 474			

の層せん断力を層間変位で除した剛性を等価せん断剛性として、各フレームの平面的位置に対応して配置した擬似立体モデルを作成し、免震部材については、積層ゴムは弾性せん断ばねとし、ダンパーはMSS(Multiple Shear Spring)モデルとした。図-6に重心と最外周架構の最大応答変形について示す。また比較的ねじれによる変形のでやすい短辺方向荷重時における重心位置および最外周架構の変形の時刻歴応答図を図-7に示す。重心位置での変形と最外周架構の変形の差はわずか3%前後とねじれによる影響は非常に小さいことを確認した。

5. 地震観測記録

23号館の動的挙動観測装置は、工学的基盤と考えられる上総層群の地中および地表、免震層の上下階および3, 6, 8階等に加速度計等が設置され、地震・風観測体制が整備されており、現在までに十数個の観測データが記録されている。現在、この計測結果を基にした解析・検討、設計時における振動解析結果との検証等を行っている所である。

謝辞 この度の一連の振動実験の実施につきましては、大学当局、特にキャンパス再開発計画実施本部に多大な御協力を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉田和彦、大熊武司、常木康弘：神奈川大学23号館（免震棟）および新1号館の振動実験 その1、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.807-808、2001.9

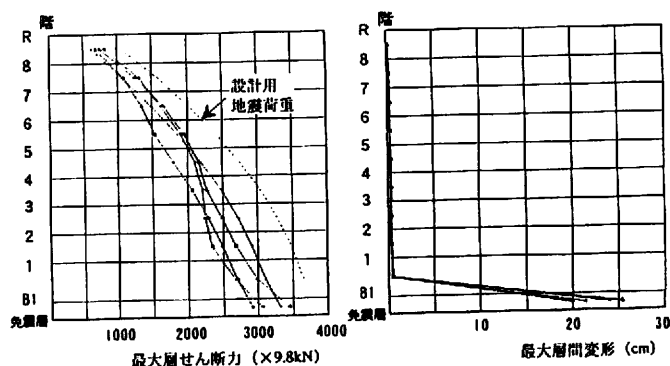


図-5 レベル2地震動時応答解析結果

表-4 レベル2地震動時の床応用最大加速度（長辺方向 gal）

階	EL CENTRO NS	TAFT EW	HACHINOHE NS	ART WAVE 474
R	192.7	229.2	209.4	173.5
8	153.9	180.9	185.6	165.2
7	132.2	144.9	151.3	152.3
6	116.7	113.9	118.7	137.9
5	107.5	108.3	116.7	124.5
4	103.9	112.3	118.1	113.6
3	105.4	126.0	123.1	123.1
2	118.9	142.8	138.6	133.5
1	129.0	165.4	150.7	142.4
B1	136.9	190.9	160.6	151.3

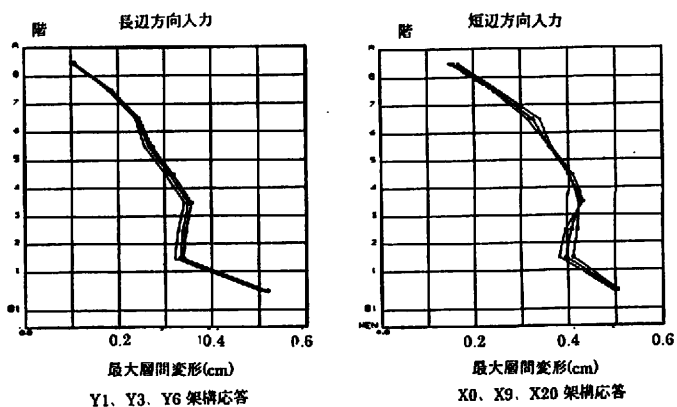


図-6 重心位置および最外周架構変形（レベル2、ねじれ考慮 最大層間変形）

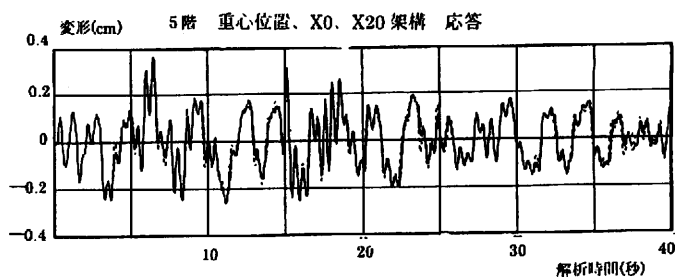


図-7 重心位置および最外周架構変形（レベル2、ねじれ考慮 時刻歴応答）