

安川電機みらい館



若原 知広
三菱地所設計



西倉 幾
同



太田 俊也
同

1 はじめに

安川電機みらい館は、福岡県北九州市に本社を置く安川電機の工場敷地内に建つ、同社の最先端技術を一一般の方々に広く紹介するための施設で、クライアントである安川電機100周年事業の一つとして計画された。

全景写真（写真1）のように、大きなね出しと各階平面を回転して配置する特徴のある形態であることと、来場者への安全・安心を提供するために免震構造を採用した。ここでは、免震建物の利点を生かした自由な建築計画として紹介する。



写真1 全景写真



写真2 鉄骨建て方時写真

2 建築計画概要

平面計画は、1階、2階を展示スペース、3階をセミナールームとする3層構成としている。平面形状が異なる各層を回転して積層した形をしており、各層の外壁の交点に柱を配置することで、展示スペースを無柱としている。

名 称：安川電機みらい館
建 設 地：福岡県北九州市
八幡西区黒崎城石
建 築 主：株式会社安川電機
設 計 監 理：株式会社三菱地所設計
施 工 者：清水建設株式会社
主 要 用 途：展示場
建 物 規 模：地上3階、塔屋1階
最 高 高 さ：21.05m
建 築 面 積：1233.03m²
延 床 面 積：2206.32m²

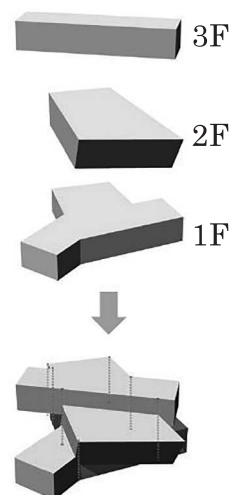


図1 ダイアグラム

3 構造概要

3.1 耐震目標

耐震目標を表1に示す。

建築主が敷地内工場で製作したロボット製品を展示し、子供から高齢者まで様々な来場者を想定した施設であるため、表1に示す建物全体の構造安全性とは別に、展示品の滑動が起こらないように、応答加速度 200cm/s^2 以下とすることを目標とした。

表1 耐震設計目標性能

地震レベル	レベル1	レベル2
	稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動
地上階	短期許容応力度以下 層間変形角 $\leq 1/400$	短期許容応力度以下 層間変形角 $\leq 1/200$
免震層	ゴム支承のせん断歪 100% 引張力を生じさせない	ゴム支承のせん断歪 250% 引張面圧 1.0N/mm^2 以内 許容圧縮面圧以内
基礎・杭	短期許容応力度以下	短期許容応力度以下

3.2 上部構造概要

構造種別は片持ち架構や複雑な形状に対応するためにS造とSRC造、RC造を複合的に用いた。

梁は、20mのロングスパンとなる展示場および、約15mの片持ち部はS造とし、梁成1000~1350mmのH形鋼（端部SN490B、中央部SM490A）を採用した。その他の部分は、建物全体の剛性確保のためにSRC造およびRC造を採用した。

柱はSRC造とし、内部鉄骨はクロスHを基本とし、複数方向から梁が取りつく柱（図2の○部）についてはSTKN490B材の円形鋼管を用いた。

鉄骨接合部のディテールやコンクリートの充填性を考慮して、一部の大梁をピン節合とした。

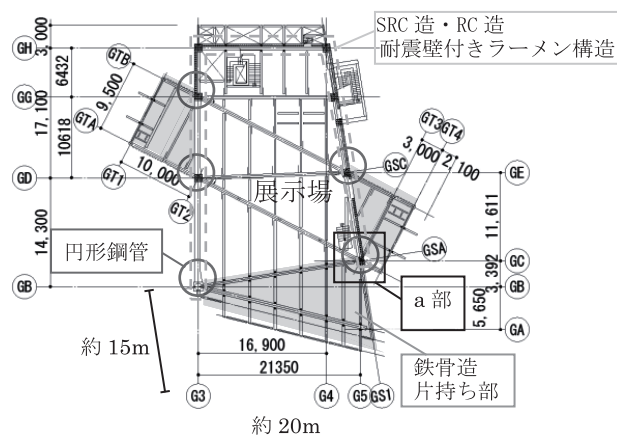


図2 3階伏図

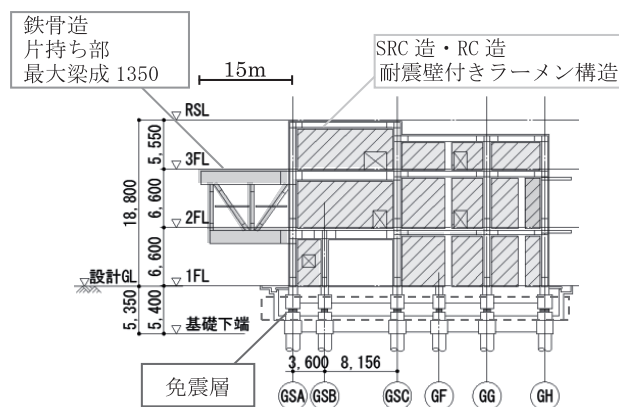


図3 GS1通り軸組図

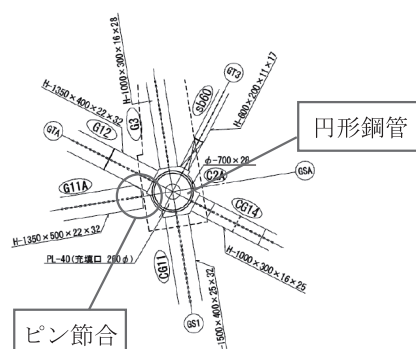
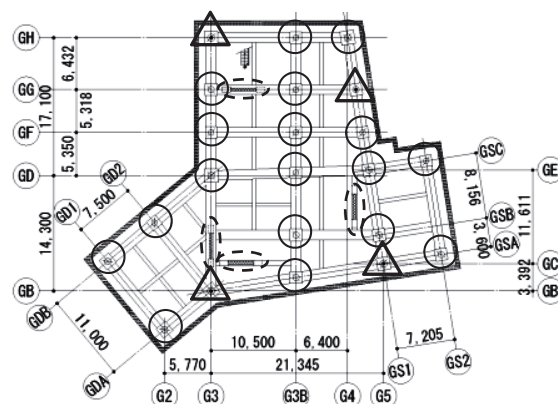


図4 a部詳細図

3.3 免震装置の選定

免震層は1階床下に設け、天然ゴム系積層ゴム（18基）、鉛プラグ挿入型積層ゴム（4基）、オイルダンパー（X,Y方向で各2基）により構成した。

精密なロボットを展示しているため、通常の風に対しては、免震層が揺れないように鉛プラグ挿入型積層ゴムを配置した。地震時の減衰に対しては、長周期地震動に配慮し速やかに揺れが収束するように、オイルダンパーを配置した。



凡例：

- 天然ゴム系積層ゴム18基
- △ 鉛プラグ入り積層ゴム4基
- ◇ オイルダンパー4台

図5 免震装置の配置

3.4 長大な片持ち架構

本建物の特徴である片持ち架構は、出の長さが仕上げ部分を含めると約15m、片持ち先端を結ぶスパンは約20mである。片持ち架構をトラス構造とし、鉛直方向の変形を抑えた。

全体架構に対する片持ち架構のボリュームの割合が大きく、当初、鉄骨造純ラーメン構造で計画したが、図6に示す鉛直荷重時水平方向の変形図では、片持ち架構により建物全体に水平力が働くため、全体架構がスウェイし、変形量は1cm程度、層間変形角で1/800～1/1000であった。長期の変形としては大きく、また施工時の仕上げにも影響を与えるため、耐震壁を設ける計画とした。耐震壁は片持ち架構の基端の回転を抑え、片持ち架構自体の鉛直変形を抑える効果もあった。

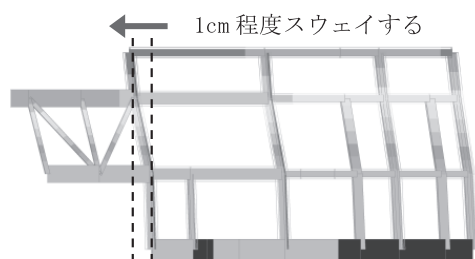


図6 鉛直荷重時水平方向変形図

4 耐震設計概要

4.1 耐震設計方針

免震建物である本建物の耐震性の検証は時刻歴応答解析により行った。時刻歴応答解析に採用する設計用入力地震動は、既往観測波3波（ELCENTRO 1940NS、TAFT 1952EW、HACHINOHE 1968NS）、告示波3波（HACHINOHE、KOBEおよび乱数位相）を採用し、それぞれについてレベル1、レベル2を定義している。モデルは3質点の質点系モデルで検討を行い、建物形状による偏心の影響については、立体振動解析により確認している。

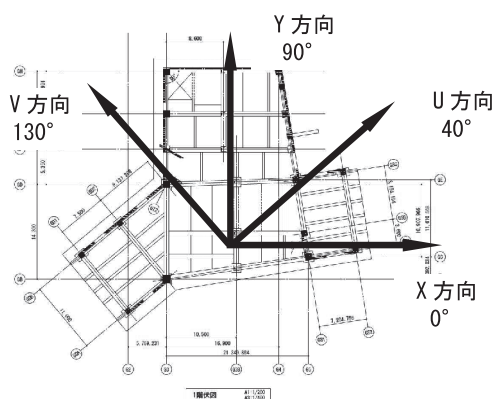


図7 地震時検討方向

本建物は、平面形状が不整形であることから、耐震性の検討は図7に示すように通常のX方向、Y方向の検討に加え、主軸方向である40°方向のU方向と130°方向のV方向の正負に対して検討も行っている。

4.2 水平振動解析結果（質点系）

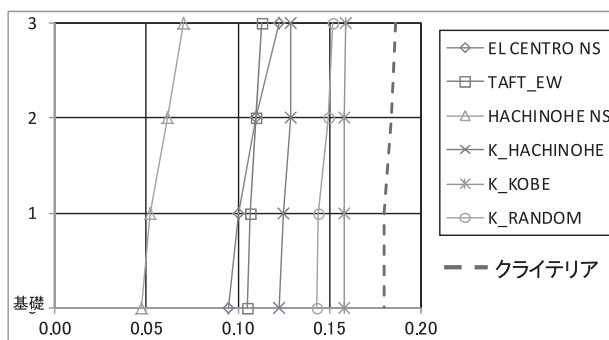
固有値解析結果による建物の固有周期は1次周期が微小変形時で1.73秒、せん断歪250%時の等価剛性では3.20秒となっている。

表2 固有値解析結果

			微小変形時	稀に発生する地震動	極めて稀に発生する地震動
横層ゴムのせん断歪(%)			10%	100%	250%
固有周期	X方向	1次	1.73	3.05	3.20
		2次	0.20	0.20	0.20
		3次	0.10	0.10	0.10
	Y方向	1次	1.73	3.05	3.20
		2次	0.11	0.11	0.11
		3次	0.06	0.06	0.06
(sec.)	U方向	1次	1.73	3.05	3.20
		2次	0.17	0.17	0.17
		3次	0.08	0.08	0.08
	V方向	1次	1.73	3.05	3.20
		2次	0.16	0.16	0.16
		3次	0.09	0.09	0.09

応答解析結果について、レベル2の地震動に対して、最大応答層間変形角は、X方向2階で最大1/1333となっている。また、免震層の変位は347mm（せん断歪174%）。免震装置のバラつきを考慮しても、387mm（せん断歪193%）となっており、免震装置のせん断歪安定変形以内に納まっている。

本建物ではレベル2地震に対して部材応力を短期許容応力度以下に抑える耐震設計目標性能としているため、上部構造のベースシア係数は、レベル2地震時の応答解析結果より0.18としている。



〔最大応答層せん断力係数〕

図8 応答解析結果（レベル2,X方向）

免震支承の面圧については、上下動応答解析結果も考慮して、最大面圧15.99N/mm²、最小面圧-0.34N/mm²となっており、許容面圧以内であることを確認している。

4.3 免震層のエネルギーの負担割合

図9に最も応答の大きい告示_KOBE波の鉛プラグ入り積層ゴムとオイルダンパーの地震エネルギー負担割合の時刻歴を示す。エネルギー負担割合は概ね、鉛プラグ入り積層ゴム40%、オイルダンパー60%となっている。履歴系、粘性系の差はあるが、いずれも地震入力後、速やかに降伏荷重に達するため、それぞれの降伏荷重比で比較すると、鉛プラグ入り積層ゴムが834kN(800φ×1基、900φ×3基)、オイルダンパーが1600kN(800kN×2台)であり、エネルギー負担割合と降伏荷重比は概ね一致する結果となった。

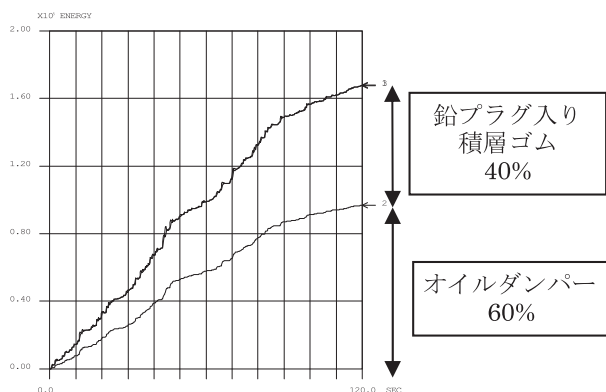


図9 免震層のエネルギー負担割合 (告示_KOBE波)

4.4 立体振動解析（ねじれ振動の確認）

展示スペースを有効に使用するために耐震壁をコの字に配置していること、及び片持ち架構があることから、上部構造の偏心率は大きくなっていった。そのため、免震装置も含めた立体モデルの振動解析を行い、その影響について確認を行った。

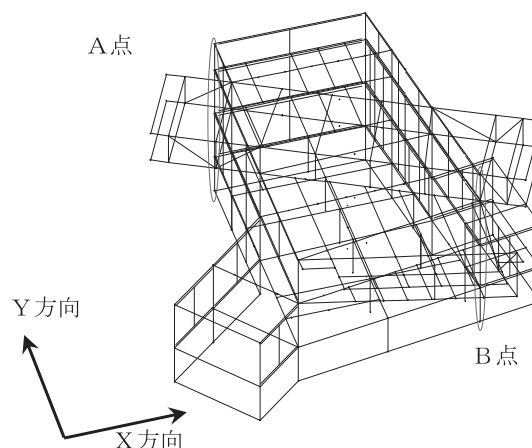
表3 固有値解析結果（初期剛性）

mode	立体振動解析モデル		質点系モデル	
	固有周期	備考	固有周期	
	T(秒)		T(秒)	
			X方向	Y方向
1次	1.72	X方向1次	1.73	
2次	1.73	Y方向1次		1.73
3次	1.5	捩れ1次		
4次	0.214	X方向2次	0.201	
5次	0.112	Y方向2次		0.105
6次	0.101	捩れ2次		

立体モデルにおける、免震装置はMSS（マルチシアースプリング）モデルとし、オイルダンパーはマックスウェルモデルとした。なお、このモデルの整合性として質点系モデルと比較し、固有周期や最大応答値が一致していることを確認している。

図10にX方向加力時の変位応答結果を用いた平面内の変位差を示す。A点（北西部）とB点（南東部）の変位差から上部構造の層間のねじれ変形が増大しておらず、上部構造の偏心率の影響は大きな問題にならないことがわかる。

免震装置の特性により上部構造の平面的な剛性の偏りが打ち消され、上部構造におけるねじれによる変形は極めて小さくなっていることを確認できた。



位置	床位置	変位		平面上の変位差	層間のねじれ変形増加分
		A点 mm	B点 mm		
変位	3	308.1	372.0	63.8	1.2
	2	308.1	370.8	62.6	0.7
	1	307.0	368.9	61.9	1.0
	基礎	306.0	366.9	60.9	

図10 X方向加力時の平面変位差

4.5 上下動振動解析

免震装置の面圧の検討及び片持ち梁の鉛直震度の確認として、上下動振動解析を行っている。

上下動振動解析モデルを図11に示す。柱直下の各支点に免震材料の鉛直剛性を持つ支点バネを配置した。建物には内部粘性系の減衰を仮定し、減衰定数は固有振動モードによらず一律2%としている。

免震材料の最大鉛直震度は、0.45程度であった。上下動振動解析結果、および水平振動解析結果を用いて面圧がクライテリア内に収まることを確認している。片持ち部の最大鉛直加速度は概ね1Gを下回る結果であった。

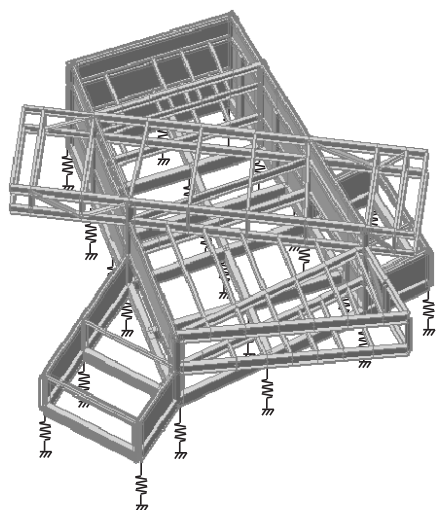


図11 上下動解析モデル

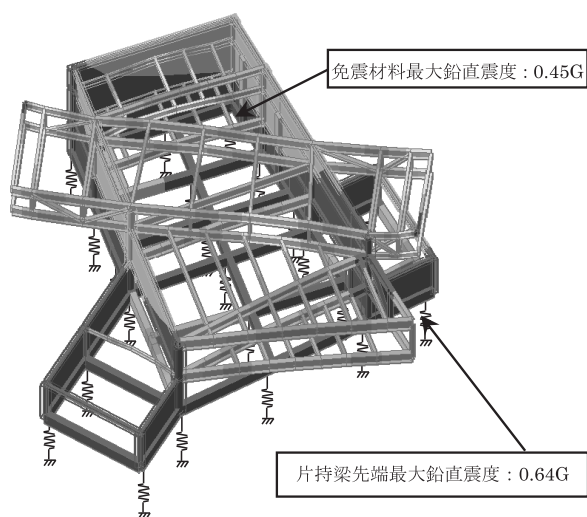


図12 上下動解析結果（加速度）

5.おわりに

本建物は、特徴のある形態をしており、このような形態を計画する場合、構造設計者は種々の難題に悩まされるが、免震を採用することでそれらの難題を解決できた一例と思われる。

最後に、建築主を始め、設計および施工に、ご理解とご尽力を賜りました関係者の方々に厚く感謝いたします。