

綱島東3丁目プロジェクト ～免震賃貸戸建住宅～



中西 力
スターツ免制震構造研究所



中村 輝俊
同



皆川 隆之
えびす建築研究所



飯田 秀年
同

1. はじめに

本稿では、木造枠組壁構造/ツーバイフォー（以下2×4）賃貸戸建住宅を免震化した事例を紹介する。木造2×4住宅は、上部構造の重量が小さいため、免震構造に一般的に用いられる積層ゴムのタイプの免震装置では、免震建物の周期を十分に長くすることが難しいので、すべり支承と復元ゴムを主に使用した免震システムとした。木造2×4免震構造の地震応答解析を行った一事例として紹介する。

2. 建物概要

本プロジェクトは、計画敷地内に同規模の6棟の戸建住宅を建築する計画である。建築平面計画は、全棟整形な形状となっている。6棟とも木造2×4で、断面計画は全て同じ（建物高さ6.073m）の為、代表的な1棟（B棟）について述べることにする。図1に外観パース、以下に建物概要を示す。



図1 外観パース

施工者：スターツCAM（株）
延床面積：530.32m²（住宅6棟合計）
階数：地上2階
構造形式：木造2×4（基礎免震）
基礎形状：直接基礎（べた基礎）

3. 構造計画概要

1) 上部・基礎構造概要

本建物では基礎免震構造を採用した。上部構造の構造形式は、木造2×4構造で、X、Y方向ともに構造用合板壁が十分に配置されており、地震力は100%壁にて負担している。

平面形状は8.19m×6.37mで、断面とともに整形である。図2に構造概要図を示す。

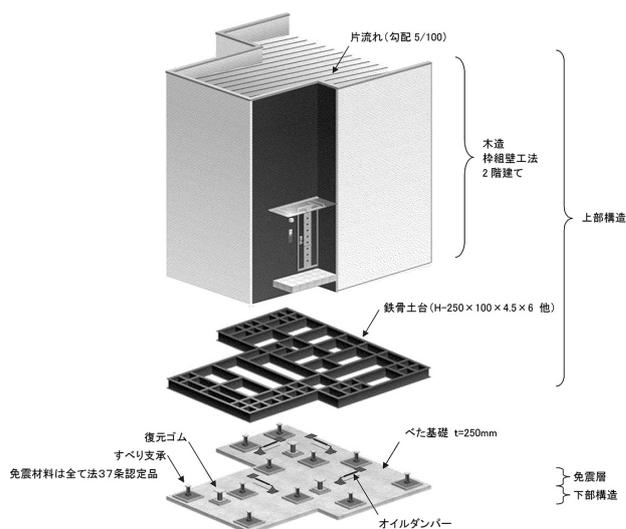


図2 構造概要図

所在地：横浜市港北区綱島東3-1518
設計者：スターツCAM（株）
構造設計：スターツ免制震構造研究所、
（株）えびす建築研究所

上部木造と免震装置の間に位置する1階の架台はせいが250mmの鉄骨H形鋼を主とした鉄骨造とした。その場合剛床仮定が成立することが重要となるため、面内には水平ブレースを配置し、また面外剛性についても鉄骨梁のたわみを1/300以下に抑え、上部構造が十分な剛性を確保し、免震性能への影響がないようにしている。また鉄骨梁の接合部は現場での施工性を考慮し、極力ピン接合としている。(写真1現場施工中写真及び図3鉄骨架台伏図【B棟】)

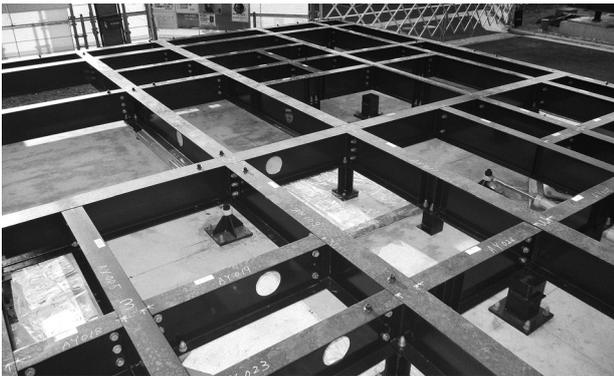


写真1 現場写真 (鉄骨架台施工中)

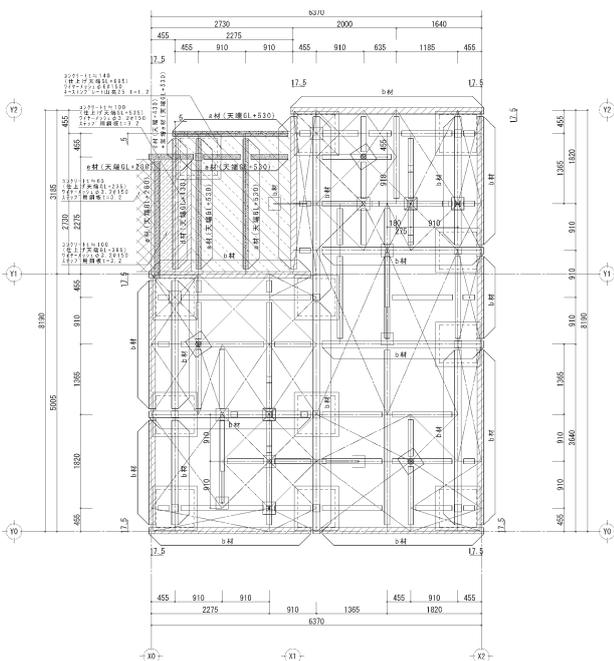
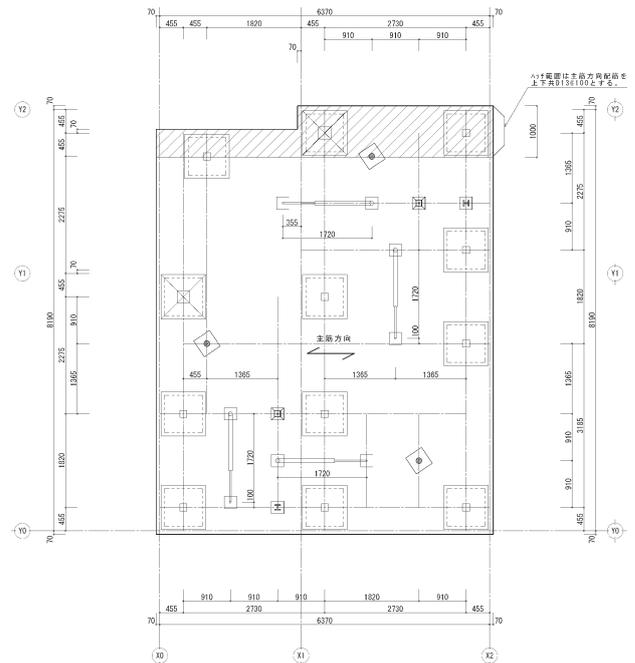


図3 鉄骨架台伏図【B棟】

基礎形式は、支持層を地表面から出現するN値4のローム層とする厚さ250mmの全面スラブ形式のべた基礎として、根切り底を浅くしている。建設地において地盤は液状化の可能性が低いと判定されたが、常時微動測定及びPS検層結果により算出された地盤の固有周期が1.03秒となっており第3種地盤と判定されたため、告示免震ではなく、免震性能評価を取得した。

2) 免震構造概要

図4に免震装置配置図【B棟】を示す。



記号	名称	個数	装置上 梁交差部 ボルト本数
□	すべり支承材 5t 免震装置 STR-SF2(SF3)-50-300	13	2 (b材端部は3本)
⊠	すべり支承材 10t 免震装置 STR-SF2(SF3)-100-300	0	3
◇	復元材 φ115 免震装置 R60-115-232×1	3	3
—	オイルダンパー 免震装置 JD30650-L-20-C	4	3
⊞	風物束装置	2	3
⊞	反力柱	2	
—	水平ブレース (ノン・バック付) φ8.9 M12		

図4 免震装置配置図【B棟】

免震デバイスの構成は、すべり支承 (写真2)、復元ゴム (写真3)、オイルダンパー (写真4) とした。



写真2 すべり支承 (上部鉄骨束材)



写真3 復元ゴム

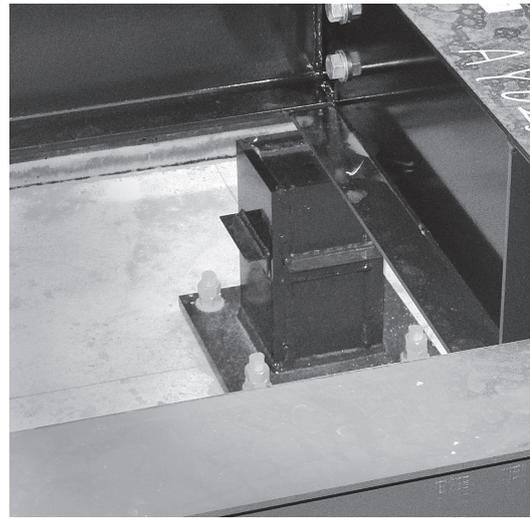


写真6 反力柱

また地震時の応答制御には関係しないが、強風時対策としてのストッパーとしての役割の風拘束装置(写真5)と残留変形が生じた際の原位置復旧のための反力柱(写真6)を別途設置している。

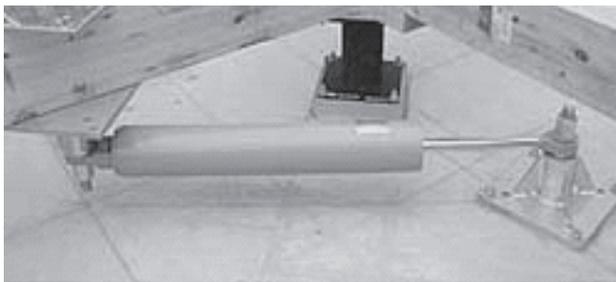


写真4 オイルダンパー



写真5 風拘束装置

主に使用するすべり支承は、5トン/10トンタイプがあり、摩擦係数は標準時で0.058、限界変形は、300mmとしている。

すべり支承の設置間隔は1820mm、2730mmを基本グリッドとなるような間隔で設置している。免震層の暴風時の風荷重に対して短期許容応力度以下であることを確認し、最大変位300mmに達した時点で風拘束装置によりそれを超える変位が生じない設計としている。同様の免震システムの一棟目建設から15年以上が経過し、30棟以上となるが、暴風による建物移動や不具合は報告されていない。

4. 免震性能目標と地震応答解析

1) 解析モデル

解析モデルは、免震層下部を固定(入力位置)とし、免震層を含む計3質点の等価せん断型モデルとした。上部構造は、1階床レベルの鉄骨架台による壁直下の剛性低下も考慮した弾性モデルとし、内部粘性減衰は、上部構造のみ考慮し、構造用合板の壁倍率算出用の実験結果より求められた $h=5\%$ の剛性比例型とした。免震層は下記のようにモデル化し、履歴減衰のみ考慮した。

すべり支承：剛塑性モデル

復元ゴム：線形モデル

オイルダンパー：速度依存性線形モデル

固有周期は基礎固定時でX、Y方向共に0.47秒、免震層300mm変位時でX、Y方向共に3.17秒程度であった。

2) 入力地震動

表1に設計用地震動一覧を示す。

表1 設計用入力時振動

地震動レベル	地震動波		最大加速度 (gal)	最大速度 (kine)	継続時間 (sec)
レベル1: 稀に発生する地震動	告示波 ^{*1)}	告示波-1	97.62	18.44	60
		告示波-2	115.178	14.39	234
		告示波-3	96.66	15.28	60
	観測波	El Centro(1940)NS	255.25	25	53.74
		Taft(1952)EW	248.26	25	54.38
		Hachinohe(1968)NS	165.19	25	234
レベル2: 極めて稀に発生する地震動	告示波 ^{*1)}	告示波-1	230.01	74.16	60
		告示波-2	234.84	68.75	234
		告示波-3	221.95	72.58	120
	観測波	El Centro(1940)NS	510.15	50	53.74
		Taft(1952)EW	496.52	50	54.38
		Hachinohe(1968)NS	330.37	50	234
	サイト波 ^{*2)}	サイト波-1	239.32	49.31	120
サイト波-2		200.86	63.88	120	

*1) 告示波の位相特性は以下のとおりである。

- 告示波-1 : 神戸 NS 位相
- 告示波-2 : 八戸港湾 NS 位相
- 告示波-3 : 一峰乱敷位相

*2) 地盤調査研究推進本部「全国地震予測地図」にて定義されている、カテゴリー1～Ⅲの地震の中から調査地に影響する地震として、工学的基盤での最大速度が最も大きいと推察される、以下の地震波を採用。

- サイト波-1 : 都心南部直下地震
- サイト波-2 : 元禄型関東地震

レベル2地震動は、以下①～③を選択した。

①観測波3波②表層地盤による増幅を考慮した告示波3波③計画地から近く工学的基盤での最大速度が最も大きいと推察される元禄関東地震・都心南部直下地震

地盤モデルの作成においては、GL-41.65m以深のせん断波速度Vs400 (m/s) 以上の砂混じり泥岩層を工学的基盤として設定している。

3) 目標性能と地震応答解析結果

表2にレベル2地震動に対する耐震性能目標を示す。

表2 耐震性能目標

地震動レベル	レベル1 稀に発生する地震動		レベル2 極めて稀に発生する地震動	
	上部構造	部材耐力	短期許容応力度以内	短期許容応力度以内
免震層	層間変形角	1/200 以内	1/150 以内	1/150 以内
	変位 (復元ゴム ^(*) せん断歪)	200mm 以内 ($\gamma=86\%$ 以内)	300mm 以内 ($\gamma=129\%$ 以内)	300mm 以内 ($\gamma=129\%$ 以内)
	すべり支承面圧	15N/mm ² 以内	20N/mm ² 以内	20N/mm ² 以内
	復元ゴム引張	発生させない	鉛直方向の伸び量 10mm 以内 ^(**)	鉛直方向の伸び量 10mm 以内 ^(**)
	オイルダンパー	応答速度 0.5m/s 以内	応答速度 1.0m/s 以内	応答速度 1.0m/s 以内
基礎スラブ	短期許容応力度以内	短期許容応力度以内	短期許容応力度以内	短期許容応力度以内

(*) 鉛直荷重を支持しない免震装置で限界変形 600mm ($\gamma=258\%$)

(**) 一般の種層ゴム支承と異なり本復元ゴムは細長い形状 (径 115mm、高さ 232mm) の為、大きな免震層変位が生じた場合の変形は引張成分が多くなる。また、免震層応答変位のクライテリア 300mm に鉛直変位 10mm が加わったとしても、本復元ゴムの限界変形 600mm に対しては十分な余裕がある為 10mm 以内と設定した。

レベル2において免震層の水平変位は300mm以下を目標とし、残留変位50mmと余裕を考慮して、設計クリアランス400mmと設定した。設計用せん断力係数は、上表の地震動を用いた予備応答解析により、応答結果を包絡するよう免震支承レベルで0.30と設定した。

図5に各種応答結果のグラフを示す。

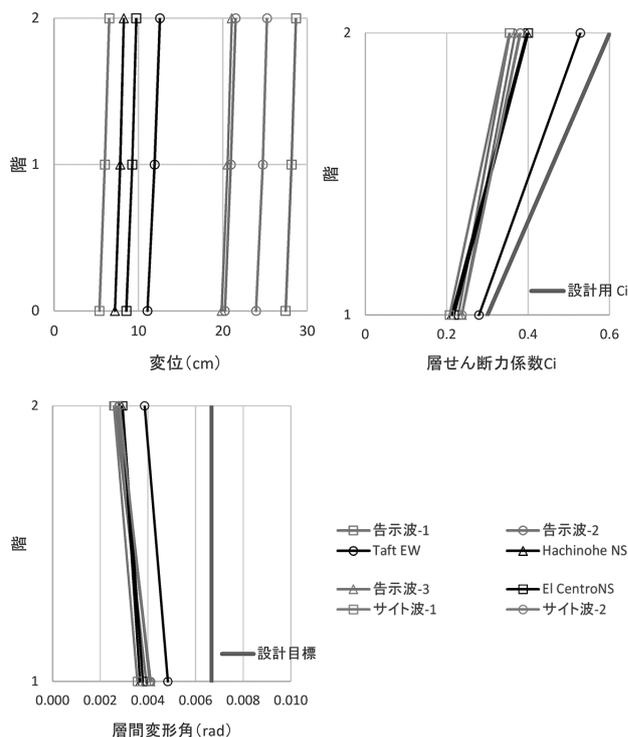


図5 X方向応答解析結果【B棟:レベル2】
(変位SOFT:層間変形角、層せん断力係数HARD)

グラフは、免震装置のばらつきに対し、各応答値が大きくなるケースを示している。また、サイト波の結果は元禄関東地震EW・都心南部直下地震EWを示す。

応答変位は、告示波 (JMA-Kobe位相) がSOFTケースで27.4cmで最大値を示した。せん断力係数は、HARDケースで1階で観測波Taft EWが最大値0.27であり、層間変形角は、同じくHARDケースで観測波Taft EWが1/207で最大値を示した。

5. まとめ

木造2×4賃貸戸建住宅を免震化した事例を紹介した。木造2×4免震建物の計画に際し、1階床架台の構造が免震デバイスとの相性やコスト、設計手間、施工性、免震性能等を鑑みると鉄骨造が最適とは限らない場合もあり、新しい木質材料CLT等の面材構造等も視野に入れ開発を進めていきたい。戸建住宅から超高層まで免震化実現を提案している会社として、今後も継続的な課題として追及していきたい。最後に関係者の方々に感謝申し上げます。