

神戸市北消防署

浪速設計 河野昭彦



1. はじめに

1995年の阪神淡路大震災以後、様々な形で地震災害の防止への取り組みが試みられている。地震災害の中でも火災の発生は、市民の生命・財産を脅かす危険性が非常に高く、地震による火災防止という観点からも消防庁舎の耐震性能の向上は、都市の防災機能強化を図る上で重要である。

本建物は、現在ある老朽化し手狭間になった神戸市北消防署を住民の増加と消防活動の重要性を考慮し、当地に全面移転とし計画された免震構造の消防庁舎である。新庁舎を建設するにあたり神戸市は、1995年の兵庫県南部地震における震災の教訓を踏まえ、新庁舎建設にあたっては、構造躯体の耐震性確保を重要な目的としている。このような状況のもと、本建物を計画するにあたり免震構造を採用するに至った。以下にその設計概要について紹介する。本建物の全景を写真1に又、消防車が入り出す1階平面図を図1に示す。

2. 建築概要

| | |
|------|-------------------------------|
| 建設地 | 兵庫県神戸市北区五葉2丁目1-2 |
| 建築主 | 神戸市 |
| 設計 | 神戸市住宅局営繕部工務課、 (株)浪速設計 |
| 監理 | 意匠 (財)神戸市都市整備公社 構造 (株)浪速設計 |
| 主要用途 | 消防庁舎 |
| 建築面積 | 1,013.82 m ² |
| 延床面積 | 3,010.69 m ² |
| 階数 | 地下なし 地上4階 塔屋なし |
| 軒高 | 14.10 m |
| 最高高さ | 17.50 m |
| 基準階 | 階高4.0 m (3階) |
| 床面積 | 2,462 m ² |



写真1 建物全景

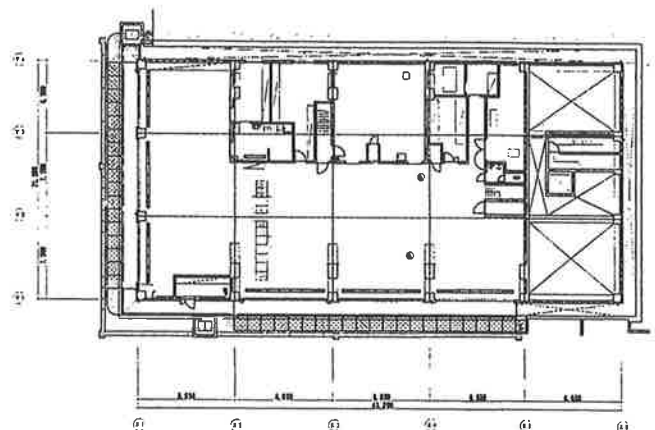


図1 1階平面図

3. 構造計画概要

前述のとおり本庁舎の設計上の目的には、構造躯体の耐震性確保が重要な点であったため、免震構造を採用するに至った。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

まず、本建物の耐震性能目標を表1に示す。本設計では、この地域で過去に発生した地震動から想定される最大級の地震動としてその最大速度が100cm/s相当の地震が発生した際、構造体に発生する応力度を許容応力度以下とし、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 | レベル1 Vmax≒50cm/s | レベル2 Vmax≒100cm/s |
|-------|---------------------|----------------------|
| 上部構造 | 許容応力度以下 | 許容応力度以下 |
| 免震装置 | 許容変形量以下 | 許容変形量以下 |
| 基礎構造 | 許容応力度以下 | 許容応力度以下 |

2) 上部構造体の設計概要

主要構造体の骨組みを図2、図3に示す。上部構造体は、その規模から鉄筋コンクリート造とした。図3、写真2に示すとおり、1階部分の柱の一部(X2通り～X5通り、Y1通り～Y4通り)を斜め柱とし、上部構造の重量を集中させ免震装置の支持荷重を増すことによって、免震性能を高める構造とした点が特徴である。

この構造によって、

- ・ 1階部分に柱の無い広いスペースが確保され、火災発生時の動線が計画されやすく、また消防車の出入が容易になっている。
- ・ 免震構造の性能は、免震装置の低い水平剛性によって固有振動周期を十分に長くすることが重要であり、この建物は免震装置を必要最小限度に少なくし水平剛性を下げ長周期化を計っている。また、免震装置が建物の外周に配置され、地震時のねじれ振動や転倒などを抑える効果を高めている。

なお、1階床のスパンは、この斜め柱により14.5m×25.95mとなっている。この床を支えるため、1階部分の梁にPC梁を採用し部材の安全性の向上を計っている。

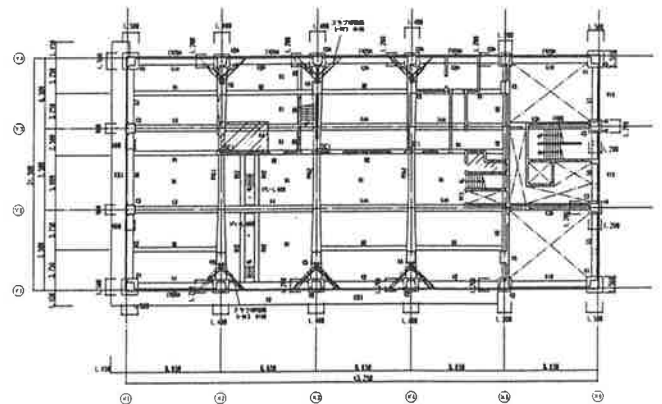


図2 伏図

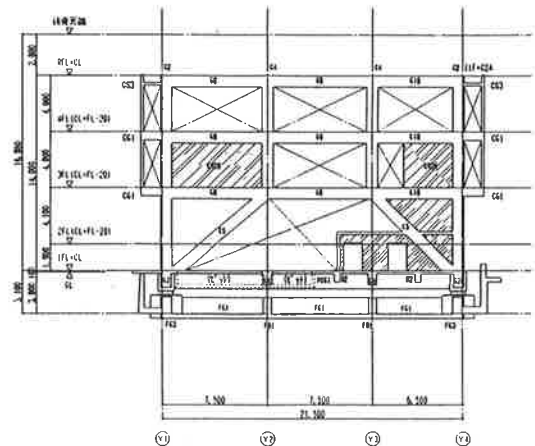


図3 Y軸-軸組図



写真2 1階の斜め柱部分

3) 免震層の設計概要

本建物に採用した免震装置および免震層設計の諸元を表2に、また装置配置を図4に示す。免震装置は大型鉛プラグ入り積層ゴムLLRBφ1200(図5)を4基、すべり積層ゴムSLRφ800(図6)を10基採用し、建物総重量7072tを支持している。免震装置には、高い水平変形性能と低い水平剛性を得るため、すべり積層ゴムの主体とし、LLRBは大口径の4基による免震構造とした。免震層の復元力特性を完全弾塑性と見なした場合の免震周期 T_p は、6.74(s)、免震層の変形が80cmの等価周期 T_{250} は、4.74(s)となる長周期化を実現している。すべり積層ゴムのすべり出し降伏せん断力 Q_s に大型鉛プラグ入り積層ゴムの降伏せん断力 Q_s を加えた値による降伏せん断力係数は0.087としている。

表2 免震層設計の諸元

| | | | |
|--------|--------------|--------------------------------|-------|
| 地震時総重量 | | 7072.0 (t) | |
| 設計用風荷重 | X方向 | 149.1 (t) | |
| | Y方向 | 74.1 (t) | |
| せん断力係数 | | 0.021 | |
| 免震装置 | 全装置の降伏せん断力係数 | | 0.087 |
| | SLR | φ600-8mmx15層 G4 すべり材径 580mm | 10基 |
| | | φ900-8mmx15層 G4 すべり材径 880mm | 2基 |
| | LLRB | φ1200-8mmx40層 G4 鉛径 180mm | 2基 |
| | | φ1200-8mmx40層 G4 鉛径 200mm | 2基 |

すべり積層ゴムの特徴としてすべり領域では、復元力が増加しないため剛性がほぼ零となり、等価剛性は変形量に従って低下し、地震時の建物を長周期化することが可能である。一方、大型鉛プラグ入り積層ゴムは、建物の四隅に対称的に配置することで、免震層の重心位置と剛心位置のずれをきわめて小さくすると共に、地震時に建物に生じるねじれ振動を抑えるように考慮した。また、この大型鉛プラグ入り積層ゴムはすべり積層ゴムがすべり出すまでの領域(弾性領域)においても、鉛プラグの降伏による減衰性能を付加し、地震荷重に比べかなり低い風荷重には安定し、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。

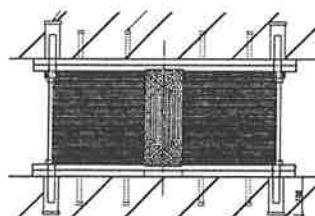


図5 (写真3) 大型鉛プラグ入り積層ゴムLLRBφ1200

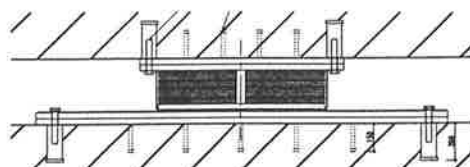


図6 (写真4) すべり積層ゴムSLRφ800

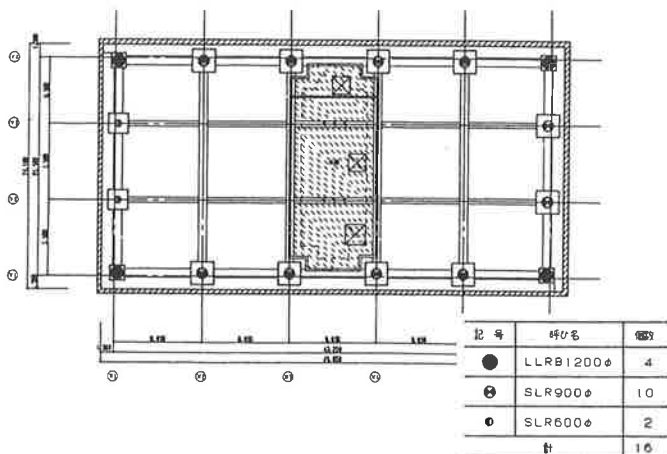


図4 免震装置配置図

4) 基礎構造の設計概要

地盤は、地盤調査結果を表3に示すとおり、GL-4.7m以深の地層から砂礫、更に以深を砂岩が構成する第1種地盤である。比較的浅いGL-6.9mに古第三紀層（N値60以上）があるため、本建物の基礎は、各免震装置を支持するようにラップルコンクリートφ1600、φ2200計16本をこの古第三紀層に支持させる直接基礎とした。

表3 地盤調査結果

| | | | | |
|--------|---|-------|----|------|
| 設計地下水位 | GL-1.35m~-6.30m | | | |
| 基礎深さ | 平均地盤面-3.885m | | | |
| 土質及びN値 | 深度(GL-m) | N値 | 土質 | 地質時代 |
| | 0.0m~4.7m | 2~11 | 盛土 | 現世 |
| | 4.7m~6.9m | 23~24 | 砂礫 | |
| | 6.9m~ | 60~ | 砂岩 | 古第三紀 |
| 液状化の有無 | 無 | | | |
| 地盤耐力 | 直接基礎 長期 250t/m ² 、短期 500t/m ² | | | |

4. 地震応答解析

1) 入力地震動

入力地震動波形の諸元を表4に示す。表4に示すようにレベル1地震動で最大速度50~57cm/s、レベル2地震動で100~165cm/sとした。レベル1のKOBEUNIV-AWは、兵庫県南部地震(1995)の神戸大学で観測された地震動を建設地用に修正したものとなっている。また、レベル2に示す地震動波形ARIMA-AWは、周辺の有馬-高槻断層帯ほか3地震断層による地震を想定して作成した模擬地震動である。図7に時刻歴波形を、また図8には加速度応答スペクトルを示す。

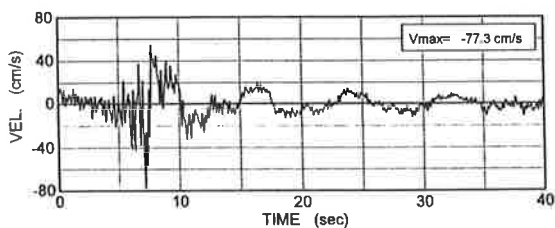


図7 地震動ARIMA-AW速度時刻歴波形

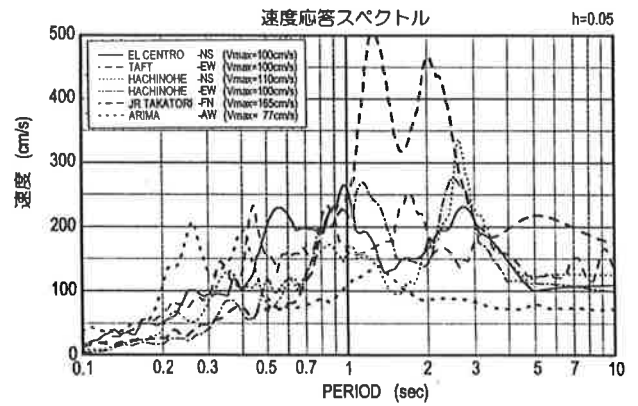


図8 設計用地震動の応答スペクトル

表4 入力地震動諸元

| レベル | 地震動 | 最大加速度 (cm/s ²) | 最大速度 (cm/s) | 最大変形 (cm) |
|----------|---------------------|----------------------------|-------------|-----------|
| 1 | EL CENTRO 1940 NS | 511.0 | 50.0 | 16.0 |
| | TAFT 1952 EW | 497.0 | 50.0 | 26.0 |
| | HACHINOHE 1968 NS | 367.0 | 55.0 | 16.0 |
| | HACHINOHE 1968 EW | 262.0 | 50.0 | 15.0 |
| | KOBEUNIV-AW | 323.0 | 57.0 | 15.0 |
| 2 | EL CENTRO 1940 NS | 1022.0 | 100.0 | 33.0 |
| | TAFT 1952 EW | 994.0 | 100.0 | 52.0 |
| | HACHINOHE 1968 NS | 735.0 | 110.0 | 32.0 |
| | HACHINOHE 1968 EW | 525.0 | 100.0 | 30.0 |
| | JR TAKATORI 1995 FN | 759.0 | 165.0 | 53.0 |
| ARIMA-AW | 871.0 | 77.0 | 30.0 | |

2) 振動解析モデル

地震応答解析は、基礎固定、4質点せん断型弾塑性モデルとし表5に解析モデルの諸元を示す。上部構造の復元力特性は、静的弾塑性増分解析により得られた各層の荷重-層間変位曲線を近似したDegrading Tri-Linear型である。免震装置復元力特性は、すべり積層ゴムを完全弾塑性型(図9)とし、大型鉛プラグ入り積層ゴムをゴムと鉛の複合効果を考慮に入れた非線形型(図10)を用いている。

表5 設計用振動解析モデル

| 建物部分 | 床 | 各階重量(t) | 累積重量 Wi(t) | 水平ばね定数 (t/cm) | |
|------|----|---------|------------|---------------|--------|
| | | | | X方向 | Y方向 |
| RF | RF | 1,428 | 1,428 | 10,403 | 6,200 |
| | 4F | 1,647 | 3,075 | 13,512 | 12,879 |
| | 3F | 1,886 | 4,961 | 4,865 | 6,890 |
| | 1F | 2,111 | 7,072 | 免震層 | 免震層 |

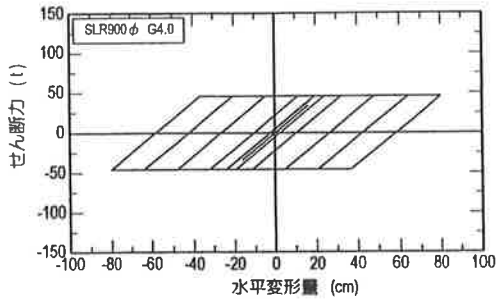


図9 SLRの完全弾塑性型履歴ループ

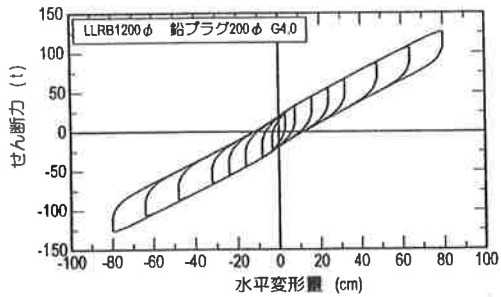


図10 LLRBの非線形型履歴ループ

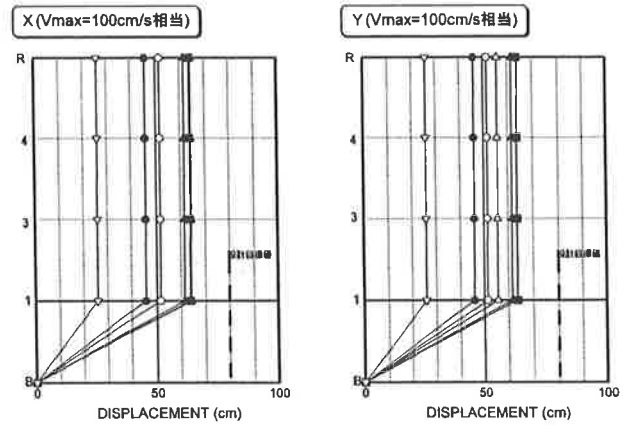


図12 最大応答変形

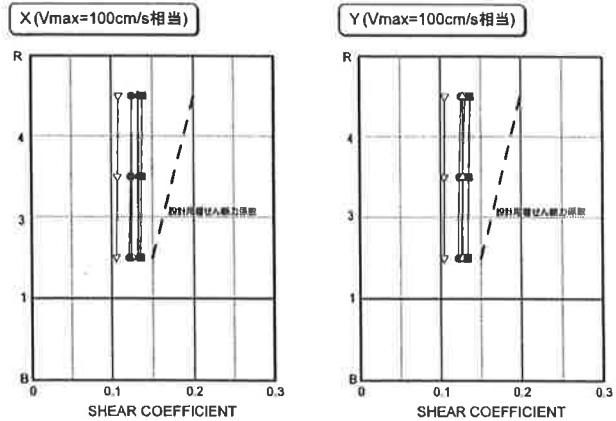


図13 最大応答せん断力係数

3) 応答解析結果

図11～図13にレベル2地震動入力した場合の応答解析結果を示す。最大応答加速度は、 $120\text{cm/s}^2 \sim 130\text{cm/s}^2$ 程度に低減されている。免震層の最大応答変位は、 $50\text{cm} \sim 64\text{cm}$ 程度で、本建物の許容変形 80cm 以下となっている。最大応答せん断力係数は、設計用せん断力係数以下となっている。

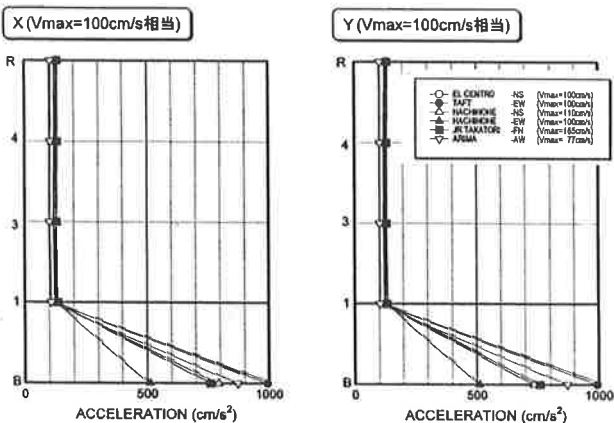


図11 最大応答加速度

5. おわりに

火災の発生は、必ずしも地震発生時ばかりでないことはだれもが承知している。しかし、地震による2次災害としての火災の発生は、地震による市民の生命・財産の破壊による被害を加速的に広げる危険性が高い。本設計では、地震発生時における迅速な消防活動を可能にする耐震性能に優れた庁舎を目標とし、 100cm/s 相当の過酷な地震動入力に対しても、無損傷となる免震構造の設計を行った。

出典

・「神戸市北消防署」ビルディングレター2000.5