

# 学校法人 獨協学園 獨協大学天野貞祐記念館



二宮 利文  
NTTファシリティーズ



斉藤 賢二  
同



山口 啓亮  
同



炭村 晃平  
同

## 1 はじめに

獨協大学創立40周年を期して計画された天野貞祐記念館は、大学の建学理念「大学は学問を通じての人間形成の場である」を具現化するための知的創造の場として、新たな時代への第一歩を示すものである。

記念館は「図書館ゾーン」、「教室ゾーン」およびこの2つをつなぐ「インターコミュニケーション・ゾーン(ICZ)」により構成され、総面積約29,500m<sup>2</sup>である。

このうち、「図書館ゾーン」は開架40万冊、閉架100万冊におよぶ貴重な蔵書・研究資料等を保管・運用する施設である。このため、大地震時にも書籍の飛散、書架の転倒などの被害から学生および職員等利用者を保護するとともに、蔵書等の損傷を防止し、地震後も図書館機能を継続することを目的として、「教室ゾーン」および「ICZ」とはエキスパンションで分離された免震建物として計画している。



注：ドーム屋根より手前が図書館ゾーン

図1 建物パース

## 2 建築概要

建築場所：埼玉県草加市学園町1番1号

用 途：大学

規 模：地上4階

敷地面積：117,319m<sup>2</sup>

建築面積：3,051m<sup>2</sup>

延床面積：12,688m<sup>2</sup>

建物高さ：GL+25.3m

構造種別：鉄筋コンクリート造

構造形式：ラーメン構造

基礎形式：杭基礎

設計監理：(株)NTTファシリティーズ

施 工：清水建設(株)

注：建物面積等は図書館ゾーンについて示す。

## 3 構造計画概要

「図書館ゾーン」は、東西方向が72.0m、南北方向が46.8mの長方形から南西の角部分を切り欠いた平面形状であり、基本スパンは7.2mおよび10.8mである。また、階高は1～3階は5.0m、4階は6.0mである。

建物の骨組みは、免震建物として十分な剛性と耐力をバランス良く得られるよう、鉄筋コンクリート造の純ラーメン構造(最上階のみ耐震壁付きラーメン構造)とした。なお、4階の一部は21.6mスパンの大空間を構成するため、鉄骨造とした。

基礎は鋼管杭基礎とし、GL-36m以深に堆積する洪積砂層に支持させた。

免震装置には積層ゴム系支承34基、球体転がり支承27基およびオイルダンパー12基を採用した。これにより、建物を長周期化して地震時の揺れを低減し、十分に地震エネルギーを吸収できる減衰性能を付与した。なお、免震装置の変形に対応するため、建物と免震層外周の擁壁の間には水平方向65cm、鉛直方向5cmのクリアランスを設けた。

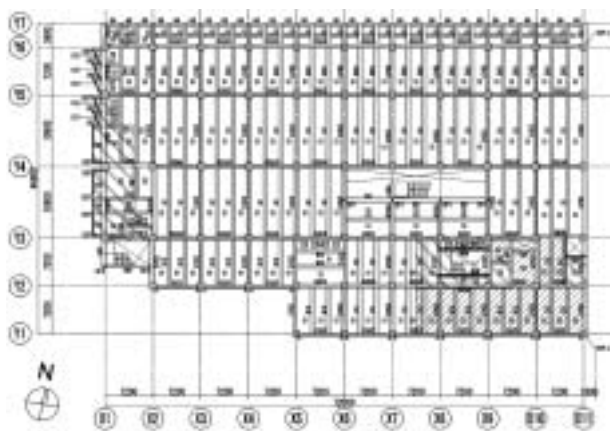


図2 基準階伏図

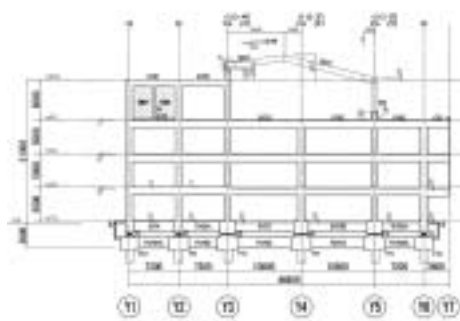
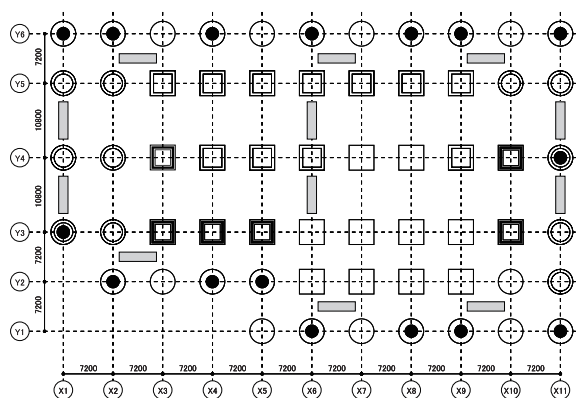


図3 軸組図 (X5通り)



鉛プラグ入り積層ゴム支承

| 記号                                                                                  | ゴム径(mm) | 鉛径(mm) | G(N/mm <sup>2</sup> ) | 基数 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|--------|-----------------------|----|
|  | 800     | 180    | 0.392                 | 14 |
|  | 850     | 180    | 0.392                 | 2  |

球体転がり支承

| 記号                                                                                  | サイズ(NxNy) | 基数 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----|
|  | 19×19     | 10 |
|  | 20×20     | 11 |
|  | 23×23     | 6  |

積層ゴム支承

| 記号                                                                                  | ゴム径(mm) | G(N/mm <sup>2</sup> ) | 基数 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------|-----------------------|----|
|  | 800     | 0.392                 | 9  |
|  | 850     | 0.392                 | 9  |

オイルダンパー

| 記号                                                                                  | タイプ                       | 基数 |
|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|----|
|  | 速度依存ベイヤ特性<br>最大減衰力：1000kN | 12 |

図4 免震装置配置図

## 4 構造設計概要

構造設計にあたっては、大地震時にも利用者の安全を確保するとともに、貴重な蔵書等の損傷を防止し、地震後も図書館機能を継続することを目的として、主要骨組に損傷を生じさせないことを設計目標とした。表1に建物各部の耐震性能目標を示す。

表2に本建物の設計用入力地震動を示す。ここで、レベル2地震動は「確率論的地震動予測地図」<sup>\*)</sup>にもとづき、建設地における再現期間475年に相当する地表面最大速度で規準化した既往3波と、平成12年建設省告示第1461号「極めて稀に発生する地震動」のスペクトルに基づく模擬地震動を本計画地の解放工学的基盤に入力し、表層地盤特性を考慮した自由地盤の非線形地震応答解析を行い、作成した基礎底面における応答波3波とした。

表1 耐震設計目標

| 入力レベル |          | レベル1                                | レベル2                                |
|-------|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 建物    | 部材応力     | 短期許容応力度以下                           | 極めて稀に発生する地震動                        |
|       | 層間変形角    | 1/1000 以内                           | 1/500 以内                            |
| 免震層   | 変形量      | 安定変形量以下 <sup>*)</sup> かつ<br>50cm 以下 | 安定変形量以下 <sup>*)</sup> かつ<br>50cm 以下 |
|       | 積層<br>ゴム | 圧縮面圧<br>安定限界強度以下                    | 安定限界強度以下                            |
|       |          | 引張面圧<br>生じさせない                      | 生じさせない                              |
|       | 球体転がり支承  | 短期許容支持荷重以下                          | 短期許容支持荷重以下                          |
|       | 減衰装置     | 100cm/秒以下                           | 150cm/秒以下                           |
| 基礎    | 部材応力度    | 短期許容応力度以下                           | 短期許容応力度以下                           |
|       | 支持力      | 短期許容支持力以下                           | 短期許容支持力以下                           |

<sup>\*)</sup> 免震装置の変形以下のとおり規定する。

安定変形量(50cm) : 積層ゴム支承のゴム総厚に対するせん断歪 250%以下かつ球体転がり支承および減衰装置のストローク以下の値

表2 設計用入力地震動

| 波形名称           | レベル1                        |              |            | レベル2                        |              |            | 継続時間(sec) |
|----------------|-----------------------------|--------------|------------|-----------------------------|--------------|------------|-----------|
|                | 加速度<br>(cm/s <sup>2</sup> ) | 速度<br>(cm/s) | 変位<br>(cm) | 加速度<br>(cm/s <sup>2</sup> ) | 速度<br>(cm/s) | 変位<br>(cm) |           |
| EL.CENTRO-NS   | 331.5                       | 32.5         | 10.6       | 663.0                       | 65.0         | 21.1       | 53.7      |
| TAFT-EW        | 323.0                       | 32.5         | 16.9       | 646.0                       | 65.0         | 33.8       | 54.3      |
| HACHINOHE-NS   | 216.9                       | 32.5         | 10.3       | 433.8                       | 65.0         | 20.6       | 51.0      |
| KOKUJI-HS(告示波) | —                           | —            | —          | 289.3                       | 64.2         | 58.1       | 120.0     |
| KOKUJI-KS(告示波) | —                           | —            | —          | 293.0                       | 88.5         | 53.1       | 120.0     |
| KOKUJI-RS(告示波) | —                           | —            | —          | 304.1                       | 72.9         | 50.7       | 120.0     |

建物の地震応答解析は免震装置下部を固定とした5質点等価せん断型モデルにより行った。なお、建物各層の復元力特性はコンクリートのひび割れによる剛性低下を考慮したTri-Linear型弾塑性復元力モデル(武田モデル)とした。

図5に地震応答解析結果の一例を示す。なお、地震応答解析は免震装置の性能変動を考慮した場合についても実施し、主要骨組みに生じる応力が短期許容応力以下であることを確認した。

免震装置については、地震時に生じる変形および上下動を考慮した面圧が各装置の安定変形を保証する許容値以内であることを確認した。

基礎については、上部構造および杭からの荷重により生じる各部材の応力が短期許容応力以下であることを確認した。ここで、杭の設計は表層地盤の液化化による地盤の変形を考慮した応答変位法により検証した。

なお、蔵書等の偏在により建物および免震装置に生じるねじれの影響を検討するため、弾塑性振動解析プログラム「SEIN La DANC ((株)NTTデータ)」により立体モデル(図6)を用いた地震応答解析を併せて実施し、安全性を検証した。

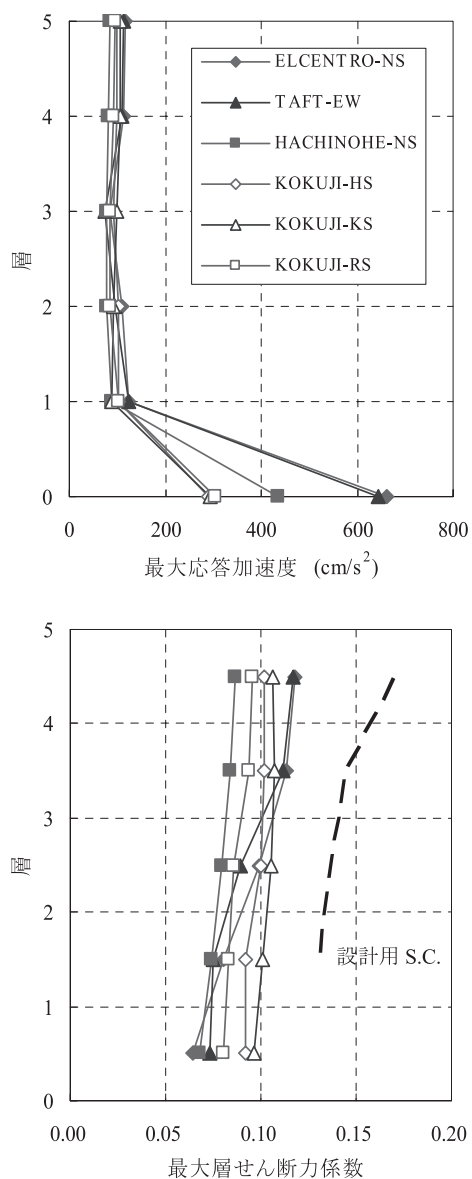


図5 地震応答解析結果

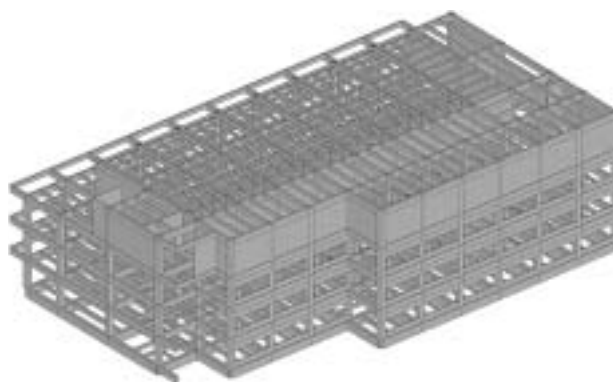


図6 立体地震応答解析モデル

## 5 書架振動実験の概要

本建物は、近年の図書館施設における地震被害を鑑み、利用者の安全確保、蔵書等の損傷防止、地震後の図書館機能継続を目的として免震構造を採用している。

設計に先立ち、当社保有の3次元振動台(図7、表3)による振動実験を実施し、書架の耐震性に対する免震構造の有効性を検証した。

NTTファシリティーズでは十勝沖地震後の1971年に初代の振動台を導入して以来、通信設備機器の物理的強度・機能維持性能を含めた耐震性能の評価および機器据え付け工法、建物・鉄塔などの耐震性能向上を目的とした新構法の開発などにおいて、最新の知見・解析技術と併せて振動実験を積極的に実施してきた。

振動実験装置については最先端の技術と地震被害の経験をもとに更改してきており、1985年には電気油圧サーボ方式デジタル制御により精度良く地震動を再現できる3次元振動台を、また、1997年には兵庫県南部地震の経験にもとづき、都市直下型地震を想定した震度7レベルの地震動を再現できるさらに高性能な実験システムを導入している。



図7 振動実験施設概要

表3 振動台仕様

| 項目     | 性能・仕様                                                                                                             |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| テーブル寸法 | 3m×3m                                                                                                             |
| 加振方向   | 水平2方向(X,Y) 上下方向(Z)の3軸6自由度制御                                                                                       |
| 最大搭載重量 | 7tf                                                                                                               |
| 最大加速度  | 無搭載時 : 水平・上下方向(X,Y,Z) 3.0G<br>7tf搭載時 : 水平・上下方向(X,Y,Z) 1.2G                                                        |
| 最大速度   | 水平方向(X,Y) : 150cm/s, 瞬間最大速度200cm/s<br>上下方向(Z) : 100cm/s                                                           |
| 最大変位   | 水平方向(X,Y) : ±35cm (70cm <sup>P-P</sup> ) (45°方向: 100cm <sup>P-P</sup> )<br>上下方向(Z) : ±20cm (40cm <sup>P-P</sup> ) |
| 加振周波数  | 0～50Hz                                                                                                            |
| 加振波    | 任意波(正弦波、地震波等)                                                                                                     |

図書館施設における地震被害として特徴的なものに書籍の飛散と書架の損傷・転倒がある。

地震時に書籍が飛散しても人命に係わる被害を生じる可能性は低いと考えられる。しかし、書籍等は落下により損傷するばかりでなく、設備給水配管等の損傷と重なり、冠水したとの報告事例もある。また、数万冊におよぶ書籍が利用者を巻き込んで飛散した場合の混乱は収拾がつかず、その復旧にかかる時間と費用は膨大になる。新潟県中越地震における図書館の被害報告<sup>2)</sup>では業務再開まで数ヶ月を要している事例も報告されている。

一方、書架については、書籍の落下を許容することにより重量負荷を軽減し、損傷・転倒を防止するというのが従来の考え方であった。このため、書架に書籍落下防止対策だけを施した場合には損傷・転倒の可能性が高まり、人的被害の発生も危惧される。

こうした点を踏まえ、①書架の耐震性検証および②免震構造採用による効果検証を目的とした振動実験を実施した。

### ①書架の耐震性検証実験

実験は当社の耐震試験方法<sup>3),4)</sup>に準拠し、耐震構造建物の床応答を想定して作成した模擬地震動により実施した。また、地震動の入力レベルは最大加速度を100cm/s<sup>2</sup>から50cm/s<sup>2</sup>刻みで順次大きくして入力した。

試験体は、写真1、表4に示す書籍を満載した市販の単柱式書架を用いた。なお、書架の損傷を評価する実験では、書籍を落下しないよう包縛した。

結果として、最大加速度100cm/s<sup>2</sup>程度の入力により書籍は落下した。また、書籍を包縛した試験体で

は、最大加速度150cm/s<sup>2</sup>程度の入力により溶接部の亀裂、部材の変形などの損傷を生じた。



写真1 試験体概要

表4 書架固有周期(Hz)

| 書籍 | 奥行き | 幅   | 上下   |
|----|-----|-----|------|
| なし | 4.0 | 4.4 | 43.6 |
| 満載 | 1.5 | 1.9 | 50.0 |

### ②免震構造採用による効果検証実験

ここでは、①と同じ試験体を用い、実地震記録と免震建物応答波を用いて振動実験を実施した。

表5に実験に用いた地震波の諸元を示す。ここで、原波は気象庁より提供されている実地震記録である。また、応答波は前述の5質点等価せん断モデルに上記地震動を入力した場合の建物1階床での応答である。

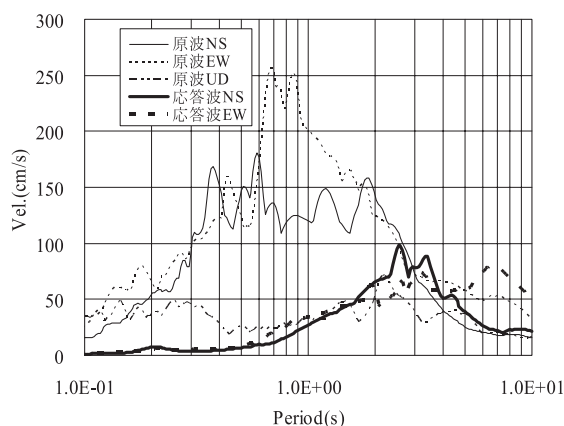
表5 地震波諸元

| 地震波         | 成分    | 最大加速度<br>(cm/s <sup>2</sup> ) | 最大速度<br>(cm/s) | 最大変位<br>(cm) |
|-------------|-------|-------------------------------|----------------|--------------|
| 原波<br>(非免震) | 兵庫県南部 | NS                            | 818.0          | 90.7         |
|             |       | EW                            | 617.0          | 75.7         |
|             |       | UD                            | 332.0          | 40.2         |
|             | 新潟県中越 | NS                            | 779.2          | 66.8         |
|             |       | EW                            | 897.6          | 83.5         |
|             |       | UD                            | 730.8          | 23.9         |
| 応答波<br>(免震) | 兵庫県南部 | NS                            | 74.0           | 31.5         |
|             |       | EW                            | 80.1           | 23.2         |
|             |       | NS                            | 72.7           | 22.9         |
|             | 新潟県中越 | EW                            | 97.1           | 37.7         |
|             |       | UD                            | 730.8          | 23.9         |
|             |       | NS                            | 779.2          | 66.8         |

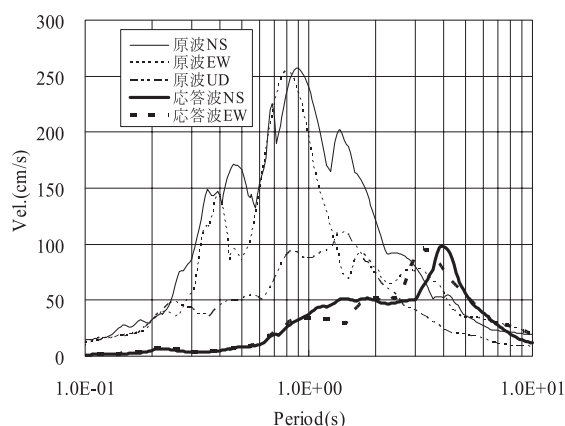
出典: 兵庫県南部地震: 神戸海洋気象台(1995.1.17)

新潟県中越地震: 小千谷城内測候所(2004.10.23)

図8に地震波の速度応答スペクトルを示す。なお、実験では原波の主要動成分(兵庫NS, 新潟EW)を書架の奥行き方向に作用させた。また、上下動は免震建物では低減されないため、共に原波を採用した。



(1) 兵庫県南部地震



(2) 新潟県中越地震

図8 地震波速度応答スペクトル ( $h=0.05$ )

表6に実験結果の概要を示す。原波(非免震)による実験では、いずれの地震波においても書籍は全て落下した。特に、地震動の初期にエネルギーの集中する兵庫県南部地震記録による実験では、瞬時に書籍が飛散するとともに、書架にも溶接部破断・部材変形などの損傷が発生した(写真2)。

一方、免震建物応答波による実験では書架に損傷は生じなかった。また、書籍については新潟県中越地震記録による実験で短周期の上下動成分により、ずり落ちるように上段からその一部が落下した。なお、書棚を数度後方に傾けることにより、書籍の落下は生じなくなった。

以上の実験結果より、免震建物と書籍の落下防止対策を施した書架の組合せにより、近年発生した震度7レベルの大地震時にも書籍は落下せず、書架にも損傷を生じないことが検証できた。このことから、図書館施設における大地震時の利用者の安全確保、蔵書等の損傷防止、地震後の図書館機能継続の観点から、免震構造は有効な構造方式であると言える。

表6 振動実験結果概要

| 地震波   |     | 結果概要                                |
|-------|-----|-------------------------------------|
| 兵庫県南部 | 原波  | ・書籍は瞬時に全て落下した<br>・書架に溶接部破断、部材変形を生じた |
|       | 応答波 | ・書籍は移動したが落下しなかった<br>・書架に損傷は認められなかった |
| 新潟県中越 | 原波  | ・書籍は全て落下した<br>・書架に損傷は認められなかった       |
|       | 応答波 | ・書架上段より一部書籍が落下した<br>・書架に損傷は認められなかった |



写真2 実験後状況(兵庫県南部地震原波)

## 6 おわりに

本建物は2007年3月に竣工し、現在は開館へ向けた運用準備を開始している。

最後に、本建物の計画・設計・施工にあたり、ご指導・ご協力いただきました獨協大学をはじめ、関係者の皆様方に厚く御礼申し上げます。

### 【参考文献】

- 1) 防災科学技術研究所ホームページ <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 2) 新潟県立図書館ホームページ <http://www.pref-lib.niigata.jp/>
- 3) NTTファシリティーズホームページ <http://www.ntt-f.co.jp/>
- 4) NTT東日本ホームページ <http://www.ntt-east.co.jp>