

立正佼成会大聖堂免震改修

竹中工務店
藤村 勝



同
三宅 拓



同
小田島敦



1. はじめに

立正佼成会大聖堂は、教団の宗教活動や社会活動の拠点として1964年に建設された建物で、聖堂内には教団の御本尊が安置されている。本建物について、1999年に「官庁施設の総合耐震診断・改修基準及び同解説」に基づき実施された耐震診断では、各階の構造耐震指標(cIs)が1.0を下回り、補強の必要性が認められていた。本改修工事は大地震に備えた耐震安全性の改善とリニューアルを目的に、教団の開祖生誕百年記念事業の一環として計画された。

補強にあたっては、本建物を歴史的建造物として後世に遺し、参拝に訪れる会員の方々の人命保護はもとより、聖堂内部の重要な宗教的・文化的収容品を大地震から守り、また、大地震後にも建物機能を維持し、会員および周辺住民の避難拠点としての役割を果たすことも可能とするため、免震化により耐震性能の大幅な改善を目指す計画とした。

2. 建物概要

- 建築主 : 立正佼成会
- 建設地 : 東京都杉並区和田2丁目
- 建物用途 : 聖堂
- 敷地面積 : 15,228.201㎡
- 建築面積 : 7,371.798㎡
- 延床面積 : 26,971.452㎡
- 階数 : 地上8階、塔屋1階
- 軒高 : 19.98m
- 最高高さ : 24.33m
- 構造形式 : 鉄骨鉄筋コンクリート造
(ホール屋根: 鉄骨造)
- 架構形式 : 耐震壁付ラーメン構造

- 1階床形式 : 土間コンクリート
- 基礎形式 : 直接基礎(独立基礎、布基礎)
- 既存設計 : 株式会社銭高組(1956年)
- 既存施工 : 株式会社銭高組(1964年)
- 免震改修設計: 株式会社竹中工務店
- 免震改修施工: 竹中・銭高共同企業体
- 免震装置 : 積層ゴム、低摩擦すべり支承および壁型粘性体ダンパーを用いた免震システム

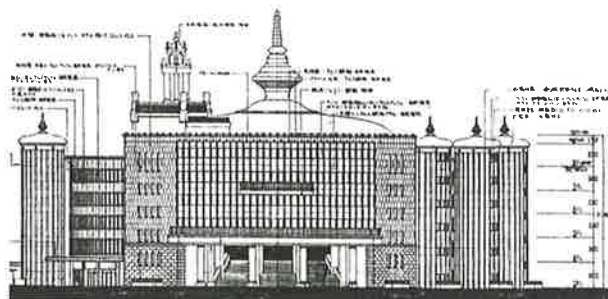


図1 既存建物立面図



写真1 既存建物外観

3. 免震化の概要

免震化の対象となる大聖堂は最外部の直径が約69mの円形の平面形状となっている。中央部分は4階から吹抜けになっており最上階には直径約37mのドーム状の鉄骨屋根が架けられている。大聖堂周囲は図2のように、人工地盤や付属建屋などが隣接して増築されており、これらの棟は独立した構造体ではあるが、明瞭なエキスパンションジョイントが設けられていない部分もある。今回の免震化に当たっては、本建物が周辺建物のインフラ拠点ともなっていることから、工事期間中の建物機能維持と安全性の確保および完成後にも建物の使用性に影響を与えないことを目標として、1階床と基礎下端の間の高さ2.6mの空間内に免震化工事範囲を限定する計画とした。

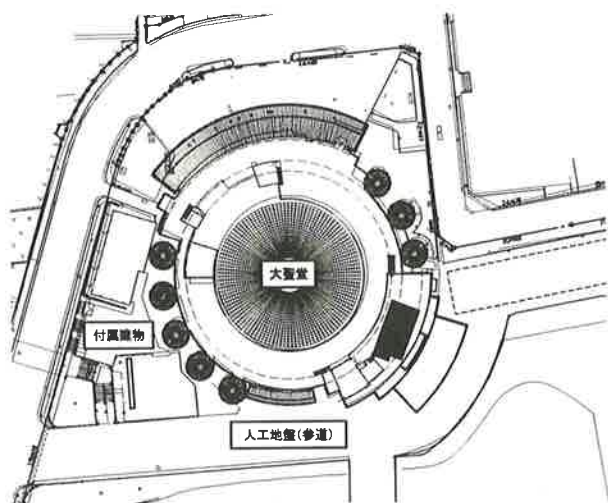


図2 建物配置図

躯体は図3に示すように、既存1階土間コンクリートは可能な範囲は解体し、新設床スラブおよび大梁を設け既存柱とは後施工アンカーにて緊結し、最下階の柱の固定度を確保する。移設不可能な設備機器等が積載されている範囲は既存土間コンクリートを残存させたまま直下に新設床、梁を設ける。免震装置は既存フーチング上端と新設1階大梁下端との間に残された隙間部分の既存柱脚部を切断して組み込み、建物全体を免震構造化する。本建物と周辺構造物とは明確にエキスパンションジョイントで分離して免震クリアランスを確保するとともに、外周部には擁壁を新設しその底版を既存フーチングと緊結し、さらに既存フーチング相互の間は新設の基礎ス

ラブを打設し、全体として一体化された免震ピットを形成する。免震装置には積層ゴム、低摩擦すべり支承および壁型粘性体ダンパーを採用した。

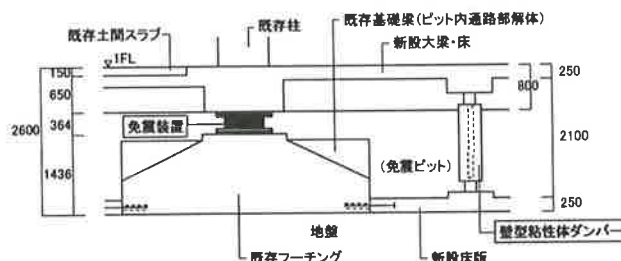
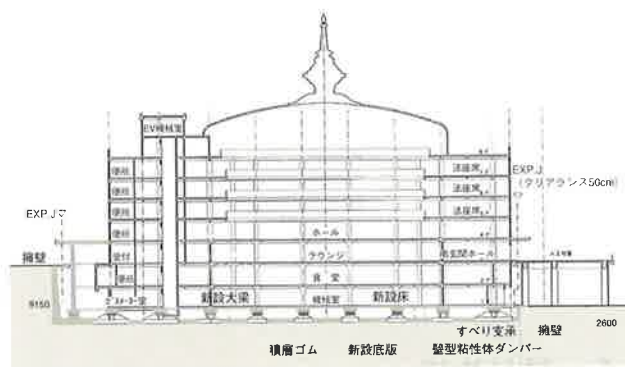


図3 免震化の概念図

4. 免震装置のエポキシ接着工法

今回の免震化工事では、免震装置を既存フーチング天端から1階新設大梁下端の間という極めて狭い切断範囲に取り付ける必要があった。そのため、図4に示すように、切断面と免震装置の上下面とをエポキシ樹脂またはエポキシ樹脂モルタル(以下、エポキシ樹脂と表現する。)で接着する工法を採用することとした。

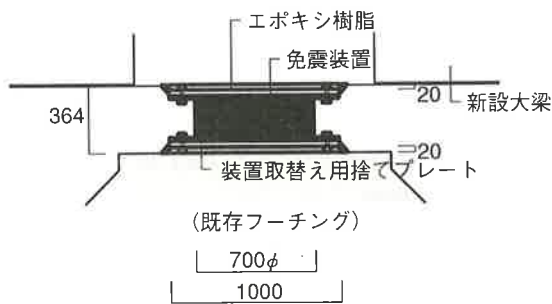


図4 免震装置のエポキシ接着工法

免震装置作動時に接着面に発生する面圧は、(i)軸力によるもの、(ii)偏心による曲げによるもの、(iii)積層ゴムの曲げ戻しによるものの3つとなる。

接着接合面に平面保持を仮定し、これらの組み合わせより求められる地震時縁応力について、既往の実験

式による接着強度等と比較を行い接合面の安全性の確認を行なった。上下動0.3Gを考慮した地震時の接合面縁応力は圧縮最大15.7N/mm²、引張り最大0.4N/mm²となり、既往の実験で確認されている圧縮強度70N/mm²、引張り強度1.74N/mm²に対して十分な余裕を有していることが確認された。

今回は更に、採用装置の1/2縮尺試験体にてエポキシ接着により取り付けられた積層ゴムの水平加力実験も行なった。積層ゴムの面圧14.7N/mm²～0.5N/mm²、せん断ひずみ300%の応力状態で、接着接合部および近傍のコンクリート部分には全くひび割れが発生しておらず、接着接合部は健全であることが確認できた。(写真2)

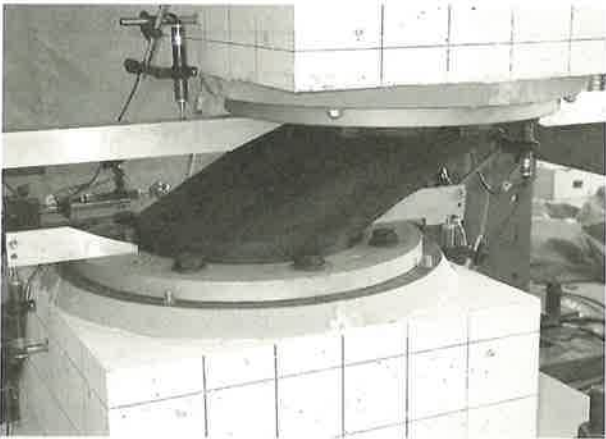
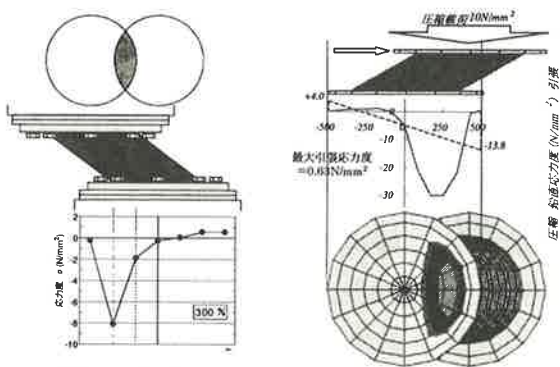


写真2 水平変位300%時の状態

また、同水平加力実験の試験体接合部に埋め込んだひずみゲージにより面圧を計測した結果、接合部に生じる縁応力は実験式から仮定した計算値よりかなり小さい値を示すことが明らかになった。さらに、FEM解析により求めたフランジ下面の面圧分布も実験結果と同様な傾向を示し、平面保持を仮定した値の1/6程度の結果を示した。(図5)

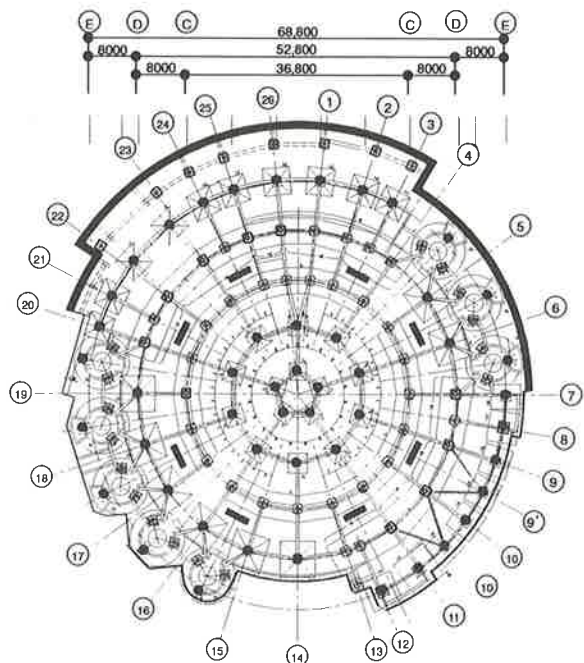


ゲージ計測に基づく耐圧分布 FEM解析による面圧分布

図5 ゲージ計測およびFEM解析による面圧分布

5. 免震化計画概要

本建物の免震化には積層ゴム、低摩擦すべり支承および粘性体ダンパーを組合せた免震システムを採用している。粘性系ダンパーの採用により滑らかな加速度低減効果を期待した。免震装置の配置を図6に示す。各柱下には、積層ゴムまたはすべり支承によるアイソレーターを各1台配し、本建物外周の円塔状部分には各々3台のすべり支承等を配している。また、免震ピット内の通路部分に壁型の粘性体ダンパーを8台配置している。



免震装置種類			箇所数
●	積層ゴム(G=4)	700φ	49
□	すべり支承	700φ	10
■		600φ	45
▣		300φ	8
—	壁型粘性体ダンパー(WD-W10-200-91)		8

図6 免震装置の配置

6. 地震応答解析

免震層は積層ゴム、すべり支承、壁型粘性体ダンパーの各特性と平面的広がり方を考慮した立体モデルとし、大聖堂を免震装置に支持された9質点の振動モデルに置換し、想定する地震動に対して地震応答解析を行い、想定した免震システムの免震効果を検証した。図7に解析モデルを示す。免震化後の本建物の性能は、表1に示す値を目標としている。

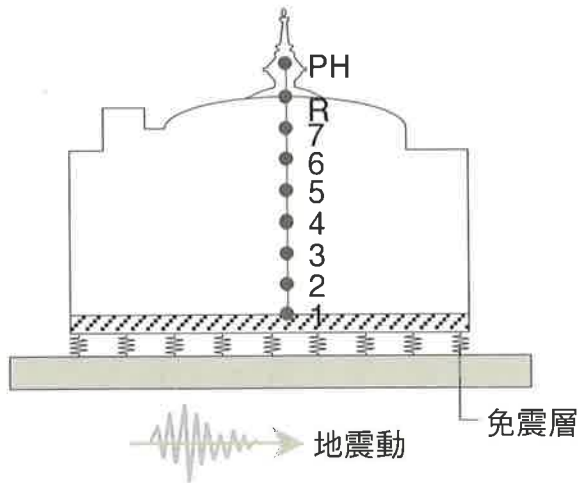


図7 解析モデル

表1 目標性能

		目標性能	耐震クライテリア
		極めて稀に発生する地震	極めて稀に発生する地震
上部構造	構造体	許容応力状態にある	層間変形角 2.0/1000 以下
	本尊像 収容品	移動・転倒 しない	応答加速度 200gal 以下
免震層	免震装置	性能保証変形 以内	せん断ひずみ 300%以下
	外周 クリアランス	衝突しない	応答変位 50cm 以下
	設備 配管	無被害	応答変位 50cm 以下

入力地震動と解析結果を以下に示す。地震波は建設省告示1461号に規定されているスペクトル¹⁾(以下、告示スペクトルと呼ぶ)を目標スペクトルとして工学的基盤における模擬地震動を作成し、それを敷地の地盤モデルに入力して、基礎底に相当するGL-9.7mでの設計用入力地震動を作成し、図7の解析モデルで解析した。また参考に既往の地震波も用いた。以下地震波と解析結果を示す。解析に用いた各地震波の諸元を表2に示す。

表2 解析地震波の諸元

類	地震動波形	極めて稀に発生する地震動のレベル			解析時間 (s)
		速度 (cm/s)	加速度 (cm/s ²)	R _v , R _D	
告示スペクトル適合波	位相1:ランダム (告示波A)	42.0	240.2	0.82, 1.30	60.0
	位相2:ランダム (告示波B)	34.5	262.1	0.78, 1.23	60.0
	位相3: 神戸 1995NS (告示波C)	51.8	298.1	0.80, 1.27	120.0
観測波	EL CENTRO 1940 NS	50.0	510.8	0.60, 0.90	53.8
	TAFT 1952 EW	50.0	496.8	0.70, 1.08	54.4
	HACHINOHE 1968 NS	50.0	330.1	0.68, 1.02	36.0

$R_v = V_{40}/V_0$ ($V_0 = 40\text{cm/s}$)、 $R_D = D_{40}/D_0$ ($D_0 = 15\text{cm}$)、実効周期3.7秒

注1) 観測波の加速度・速度の関係はビルディングレター'86.6に掲載された値に基づいた。

図8に各地震波の加速度の応答スペクトルを示す。図9に一例として極稀時の加速度と変位の解析結果を示す。上部構造の性能は採用した全地震波に対して加速度応答値で200gal以下となっており、十分に目標性能を満たす結果となっている。また、免震層は標準状態での最大変形は27.5cmでせん断歪は195%となっており、目標性能を十分に満たす値となった。尚、上下動については極稀時の水平動面圧に0.3Gの上下動成分を考慮したが、すべての支点において引抜は発生しなかった。

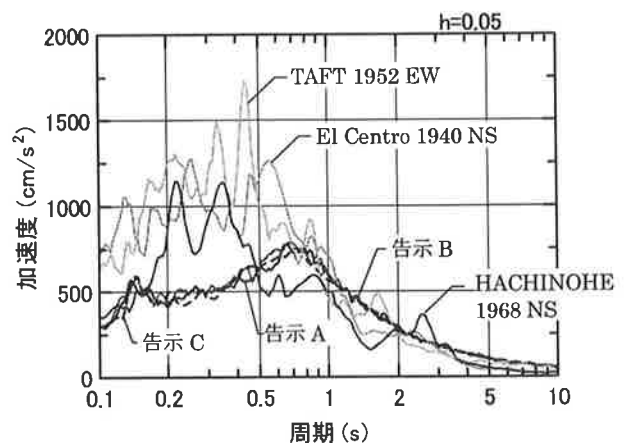


図8 加速度応答スペクトル

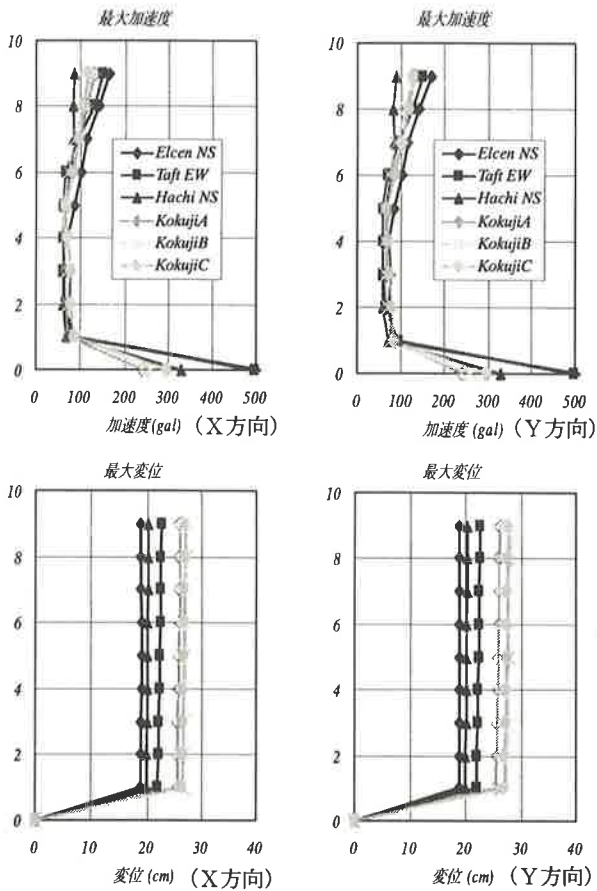


図9 解析結果(極希)

7. 施工概要

本免震化工事は2005年末の竣工を目指し、現在1階床・免震ピットの構築が進んでおり、一部の免震装置据付が完了した段階にある。図10に全体工事工程を、図11には免震装置1台を据付けるための標準工程を示す。写真3～6にはワイヤーソーによる柱脚部切断、切断後の免震装置の搬入、接着部のエポキシ樹脂注入作業状況、ジャッキダウン後の免震装置据付完了状況を示す。

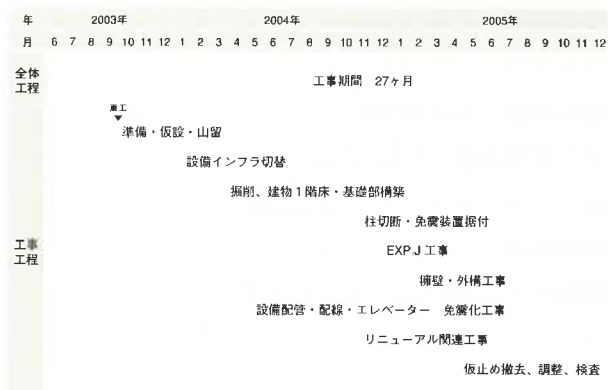


図10 工事工程

日	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
免震装置 取付工程	仮受ジャッキ アロード	柱脚切断	切野部引出 洗浄、整形	装置 設置	外周シール エポキシ注入	養生および 後処理	ジャッキダウン 据付完了									

図11 免震装置据付工程(1タクト)



写真3 ワイヤソーによる柱脚部切断



写真4 免震装置の搬入



写真5 エポキシ樹脂の注入



写真6 免震装置据付完了

8. おわりに

本稿では既存建物床下の限られた空間内において、免震装置の取付けにエポキシ接着工法を採用し、レトロフィット免震を計画した建物の概要について報告を行なった。

最後に、本建物の設計および施工に当り、多大なご協力をいただいている立正佼成会関係者の方々に感謝の意を表します。