

# 日本大学理工学部駿河台校舎5号館の免震改修



広瀬 景一  
清水建設



山岸 俊之  
同

## 1 はじめに

近年、新耐震設計法以前に設計された耐震性能が十分でない建物の耐震補強のニーズが急速に高まっている。耐震補強の最も一般的な方法は、耐力壁や鋼製ブレースを増設する方法であるが、その場合全層に亘っての補強が必要になる場合があり、改修後の建物の使い勝手が悪くなるデメリットがある。一方、建物基礎下部に免震装置を設置する事で建物全体を補強する免震レトロフィット工法は建物をそのままの形態に保つ事が出来、しかも建物を使用した状態で工事が出来るというメリットがあるが、工事が大規模になり、外壁から敷地境界までのクリアランスが必要になるなど制約も多い。これに対し、中間層免震構法では建物外周の敷地が少なくても実現でき、ほぼ内部を使用しながら工事が進められるメリットがある。但し、この場合も市街地に建つ建物などで外壁面から敷地境界までの距離が短い場合には免震層の変形を小さく抑える必要が生じる。

本改修計画は、道路境界までの距離が短いと言う制約条件の中で免震、制震、耐震を合理的に組合せた中間層免震構法を採用する事により、その使用形態を変化させずに耐震性能を向上させた。

## 2 建築概要

改修を行う建物は東京都千代田区に建つ宮川英二設計の日本大学理工学部駿河台校舎5号館であり、わが国ニュー・ブルーリズムの名建築である。1959年竣工の地上9階、地下1階の大学校舎で、図1の外観写真に示す様に、建物北側の公道と東側の本郷通りに近接して配置されている。表1に建物概要を示す。本建物は耐震壁併用の鉄骨鉄筋コンクリート構造という堅牢な構造形式が採用されており、GL-7.45mの武蔵野礫層にべた基礎形式にて直接支持されている。建設当時の耐震設計は設計震度 $K=0.2$ とした震



図1 外観写真(改修後)

表1 建物概要

建築場所：	東京都千代田区神田駿河台3-11-2
建築主：	学校法人日本大学
設計者：	清水建設株式会社一級建築士事務所
施工者：	清水建設株式会社
監理者：	日本大学本部管財部
用途：	大学研究室
建築面積：	561.05m <sup>2</sup>
延床面積：	5,785.79m <sup>2</sup>
階数：	地上9階 地下1階 塔屋4階
軒高：	30.00m
最高高さ：	42.45m
構造種別：	鉄骨鉄筋コンクリート造
基礎形式：	直接基礎(シェル基礎を用いたべた基礎)

度法であり、その地震力は現行の $A_i$ 分布に基づく地震力の1.0~0.7倍程度である。

## 3 改修計画

改修計画概要を図2に示す。本改修計画では、北側

の道路境界までの距離が130mmと言う制約と歴史ある建物外観を維持し、北側エントランスの1~2階吹き抜け部にある壁面レリーフを保存すると言った要求条件から、3階柱頭部に免震装置を設置した中間層免震構法を採用する計画とした。更に、地震時において、免震層上部が隣接道路に大きく越境しないと言う厳しい変形制限が与えられた為、免震層の地震時の変形を極力抑える目的で、慣性質量効果を併せ持つ粘性ダンパー減衰こまにより大きな減衰力を付加させる事とした。

下部構造については、壁面レリーフのある短辺方向(Y方向)は耐力壁を増設して強度型の耐震により剛性、耐力を補った。一方、長辺方向(X方向)は既存耐力壁のせん断破壊を回避する為に構造スリットを設けて絶縁し、建物の使用性を損なわない様に、建物外周部に1~2階に跨る形でトグルダンパーを設置し、制震により地震エネルギーを吸収させた。1~2階の耐震+制震改修内容を図3に示す。本改修計画では、3階柱頭免震と下部構造の耐震、制震を多様に組合せた中間層免震構法により厳しい改修条件を満足させた。

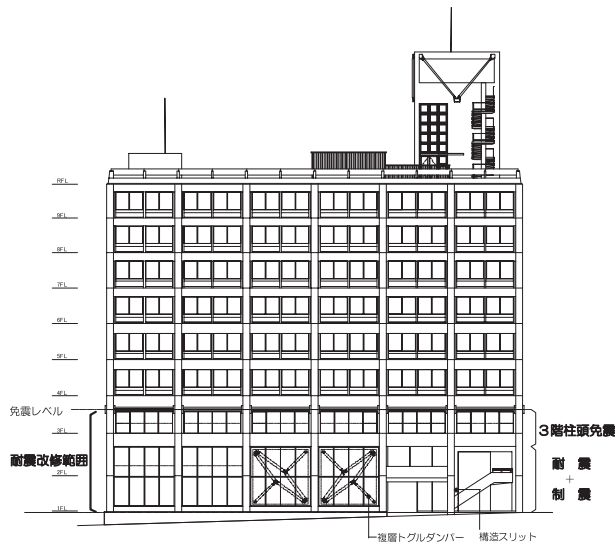


図2 耐震改修計画概要

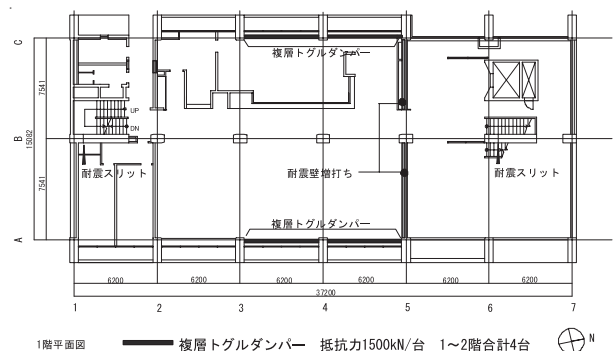


図3 1~2階耐震+制震改修図

表2に改修計画の耐震目標性能を示す。極めて稀に発生する地震動レベルでの建物頂部変形は長手方向150mm、短辺方向180mmとし、地震時に外壁面が道路に大きく越境しない様に設定した。

表2 耐震目標性能

荷重レベル	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
地震動の種類	告示波 3波 観測波 0.25m/s	告示波 3波 観測波 0.50m/s
建物の目標性能	機能維持	継続使用可能
上部構造	弾性耐力以下 層間変形角 1/200 以下	弾性耐力以下 層間変形角 1/100 以下 建物頂部変形(X)150mm 以下 建物頂部変形(Y)180mm 以下
下部構造	弾性耐力以下	弾性耐力以下
免震装置	積層ゴムに引張りは生じない	積層ゴムの引張面圧 -1N/mm <sup>2</sup> 以下

#### 4 免震装置の設計

本建物の免震装置は、図4に示す様に各柱寸法内に1基ずつ650角を10基、600角を11基の角型鉛プラグ入り積層ゴムとコア廻り壁柱部に600φの天然ゴム系積層ゴム2基の合計23基を免震層の重心と剛心を合わせる様に配置した。

免震層には更に、長手方向に6台、短手方向に4台の減衰こまを建物重心位置に減衰力中心を合わせる様に4階大梁と増設反力壁の間に設置した。減衰こまは図5に示す様に軸方向変位をねじ軸を介して内筒の高速回転運動に変換し、内筒と外筒の間に介在する粘性体の粘性減衰力によって速度に依存した抵抗力を発揮するものである。本計画で採用した減衰こま1基当りの抵抗力の基準値は相対速度50cm/sで1,000kNである。減衰こまには副次的な効果として、高速回転する内筒の慣性力により補助質量を付加し、地震入力を低減させる効果を併せ持っている。1基当りの慣性質量は869kNであり、慣性質量による入力低減効果を考慮した場合の検討も併せて行った。

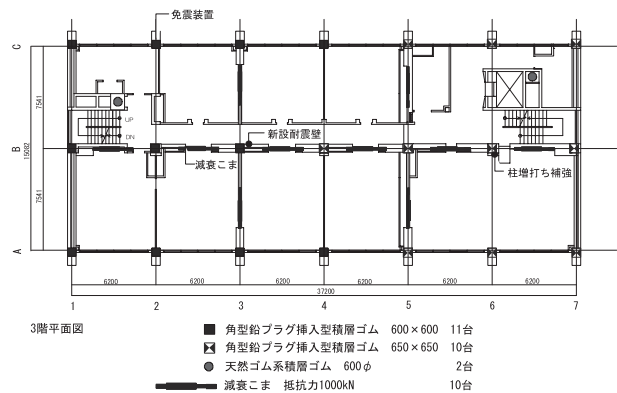


図4 3階免震装置の配置図

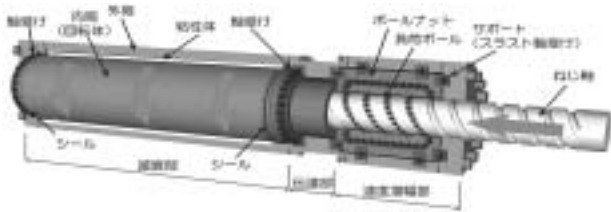
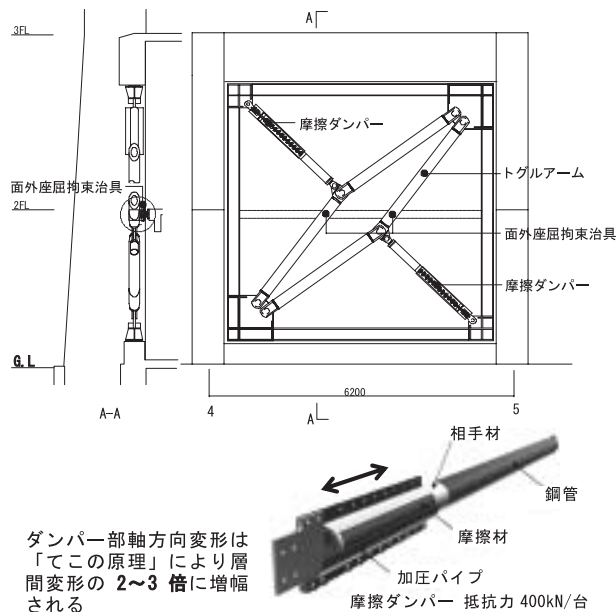


図5 減衰こま概要図

下部構造の制震として用いた複層トグルダンパーの概要図を図6に示す。本計画のトグルダンパーはダンパー部分に摩擦ダンパーを用いる事で、微小変形時に高い剛性を確保し、更に2対の摩擦ダンパーを対称に組合せる事で大容量化を図っている。また、2階レベルでアームを構面内にスライドさせ、構面外に拘束するボールベアリング治具を設ける事で構面外座屈の防止を図っている。摩擦ダンパー1基当たりの抵抗力は400kNで、複層トグルダンパー1基当たりの抵抗力は増幅率2.0から1,500kNとなる。今回、建物東西面の外周部に2基ずつの合計4基設け、6,000kNの抵抗力を期待している。



ダンパー部軸方向変形は「てこの原理」により層間変形の2~3倍に増幅される

図6 複層トグルダンパーの概要

## 5 地震応答解析

振動解析モデルは地下1階の基礎位置をピン支持とし、各部材要素を材端ばねモデル、免震装置をMSSモデルとした部材系立体振動モデルとした。建物の減衰は内部粘性減衰とし、上部構造のみの1次振動数( $f_1=3.1\text{Hz}$ )に対して減衰定数 $h=2\%$ とする瞬間剛性比例型とした。減衰項を無視し、積層ゴムのせん断歪を $\gamma=100\%$ とした場合の固有モード図を図7に示す。並進2方向とねじれ方向が卓越する低次モードの

固有周期は2.26~2.15secで通常の免震建物の周期よりも短く設定した。これは、厳しい変形制限を満たす為に、上部構造の応答が弾性耐力を超えない範囲で免震層の剛性を高めた為である。

検討用地震動を表3に示す。観測地震動3波と告示模擬地震動3波の合計6波とした。告示模擬地震動は工学的基盤で定義し、建設地表層地盤の増幅特性を考慮し、GL-7.45mの基礎底レベルでの設計用地震動を作成した。図8に各地震波の速度応答スペクトルを示す。図9に極めて稀に発生する地震動に対する長手方向の応答解析結果を示す。免震層上部の応答加速度値は200~300cm/s<sup>2</sup>以下と十分に低減されている。また、応答層せん断力は上部構造、下部構造共に弾性耐力以下に納まっている。頂部変形については、長手方向148mm、短手方向159mmとなり目標性能を満足する結果となった。図10に極めて稀に発生する地震動に対する長手方向の吸収エネルギーの時刻歴を示す。鉛プラグ入り積層ゴムと減衰こまで入力エネルギーの大部分を消費している事が分かる。

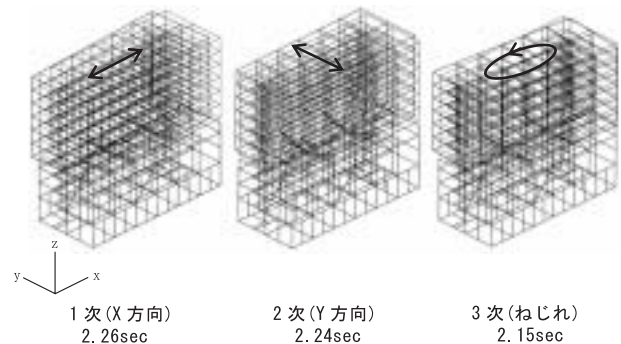


図7 固有周期と固有モード図

表3 検討用地震動一覧

レベル	地震動	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大速度 (cm/s)	継続時間 (sec)
レベル 1	El Centro 1940 NS	255.6	25.0	40.0
	Taft 1952 EW	248.4		40.0
	Hachinohe 1968 NS	165.1		36.0
	告示波 1 (一様乱数位相)	97.8	10.9	60.0
	告示波 2 (遠距離位相)	97.7	9.8	200.0
	告示波 3 (近距離位相)	99.3	10.7	60.0
レベル 2	El Centro 1940 NS	511.2	50.0	40.0
	Taft 1952 EW	496.9		40.0
	Hachinohe 1968 NS	330.1		36.0
	告示波 1 (一様乱数位相)	384.5	49.3	60.0
	告示波 2 (遠距離位相)	327.4	45.5	200.0
	告示波 3 (近距離位相)	384.1	52.1	60.0

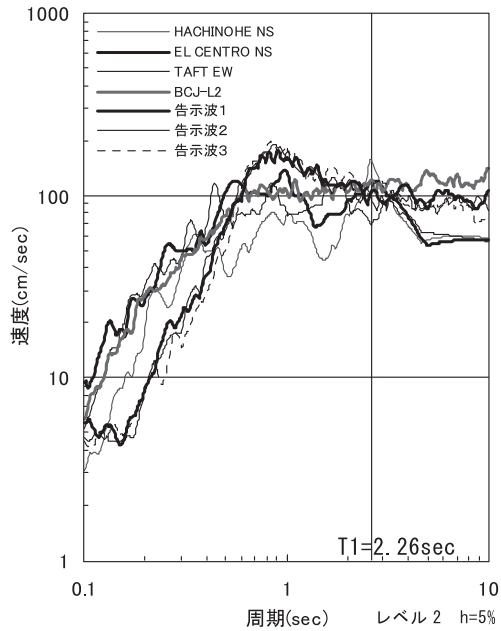


図8 検討用地震動の速度応答スペクトル

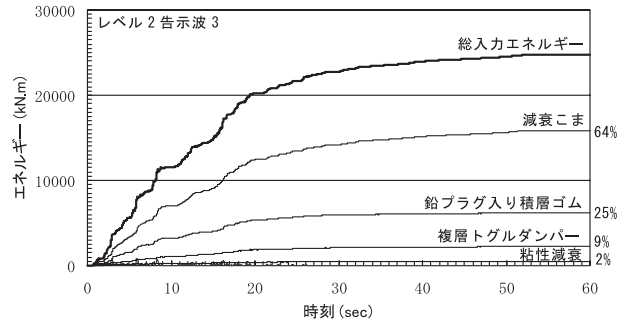


図10 各部材のエネルギー分担率 (X方向)

## 6 施工計画

本工法で採用した3階柱頭部の免震化工事の施工手順を図11に示す。上部構造をジャッキにより仮受けして柱をコアマシンにて切断する。免震装置とその下部にプレロードケース、プレロードジャッキを設置後、プレロードジャッキにより、予め免震装置に圧縮力を与えて柱に軸力を戻す事により、仮受けジャッキ撤去後の免震装置の鉛直歪を極力小さくする様に配慮した。免震化工事中の耐震性の確保は減衰こまの反力壁を利用し、減衰こま位置に仮設材をセットして水平力を下部構造に伝達させる計画とした。

## 7 おわりに

改修後の3階免震層の内観写真を図12に示す。免震、制震、耐震を合理的に組合せた中間階免震構法により、補強範囲を免震層と下部構造の一部に限定し、モニュメンタルな建物の外観を損ねる事なく、厳しい改修条件を克服する事が出来た。

最後に、本改修工事に御協力頂いた関係者の皆様に厚く御礼申し上げます。

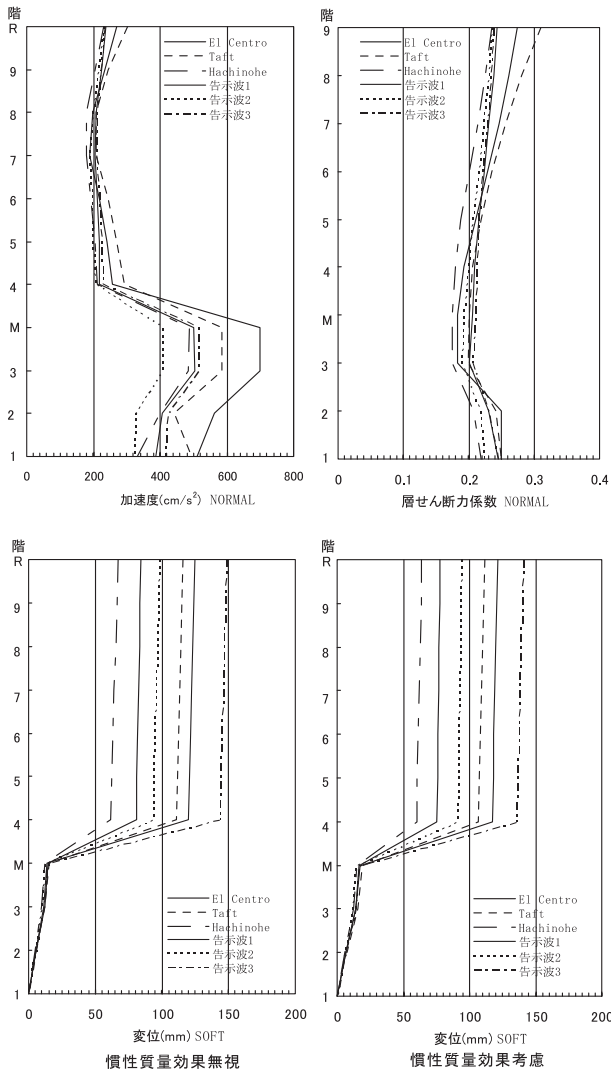


図9 レベル2最大応答結果 (X方向)



図12 3階免震層の内観写真

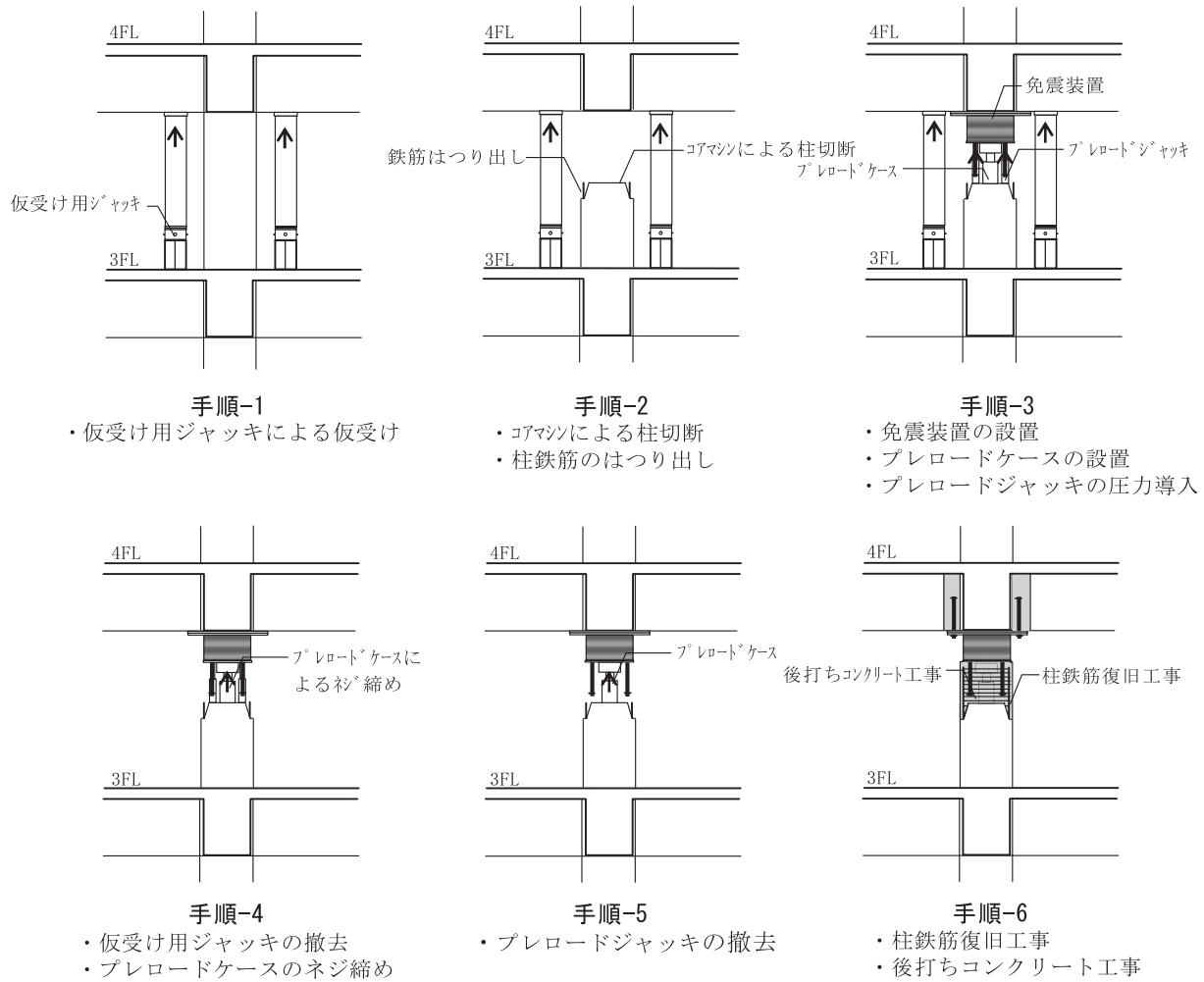


図11 免震工事の施工手順図