

東北大学(星陵)医学部3号館耐震改修事業



安岡 千尋
竹中工務店



高橋 伸一
同



油川 健樹
同

1 はじめに

本事業は、東北大学医学部星陵キャンパス内の既存3号館に対して、耐震性能向上を目的とした中間階レトロフィット免震による耐震補強を行うと同時に、内外装及び設備の全面的な更新工事を行うものである。建物は以前より、耐震性能が不足している($I_s < 0.7$)と判定されていた。2011年の東北地方太平洋沖地震および余震(東日本大震災)を受けて大地震時の安全性と共に重要な研究活動の維持継続の必要性から免震化を図ることになり、実現性から中間階免震を採用した。また工事に際しては、本建物が医学部の重要な機能を有していることから、居ながらできる改修工事とし、フロア間の移転・改修を繰り返しながら全面的なリニューアルも同時に実施している。

2 既存建物概要

3号館は昭和44年(1969年)竣工で築45年が経過している。主な用途は大学(医学部)となっており、研究室や動物実験施設等が配置されている。

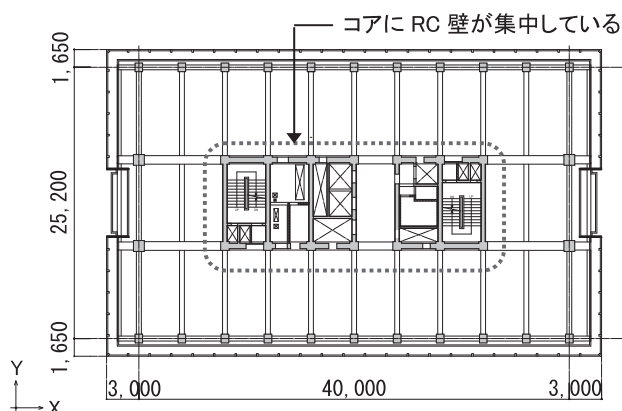


図1 基準階伏図



写真1 建物外観

建物構造上の特徴として、柱・大梁は主材がアンクル組立材、柱のウェブはTie-PL形式、大梁はラチス形式による非充腹型の鉄骨鉄筋コンクリート造となっている。

平面形状は46m×28.5mの整形をしており、中央部分に階段やエレベーターの集まるコアが配置されている。コア部分に配置されているRC耐力壁の壁厚は200~700mmとなっている。外周のバルコニー先端にはデザインとしての細い方立て柱が全周に配置され、外観上の特徴となっている。

所在地：仙台市青葉区星陵町1-1

建築主：国立大学法人 東北大学

用途：学校(大学)、病院

既存設計年度：昭和43年(1968年)

既存竣工年度：昭和44年(1969年)

改修工事設計：株式会社竹中工務店

東北一級建築士事務所

改修工事施工：株式会社竹中工務店東北支店

延床面積：14,080m²
 建築面積：1,397m²
 建物高さ：57.1m
 階数：地下1階、地上12階、塔屋3階
 構造：鉄骨鉄筋コンクリート造
 塔屋：鉄筋コンクリート造
 架構形式：耐力壁を有するラーメン（両方向）

3 既存建物調査結果概要

本建物は平成10年（1998年）に耐震診断（2次）が実施され、診断結果はIs=0.43～0.82となっていた。今回、免震改修による補強設計を実施するにあたりコンクリートコアを追加採取し、圧縮強度試験を実施した。表1にコンクリート強度試験の結果一覧を示す。概ね建設時の設計基準強度Fc=21N/mm²を満足する結果となった。

また、既存躯体のひび割れ調査を行った結果の一部を図2に示す。中央部分に配置されたコア部分のRC壁の全階にひび割れが発生しており、ひび割れ幅も1.0mm以上のものが観測された。仕上等の様子から2011年の東日本大震災において、その多くのひび割れが発生したと考えられた。

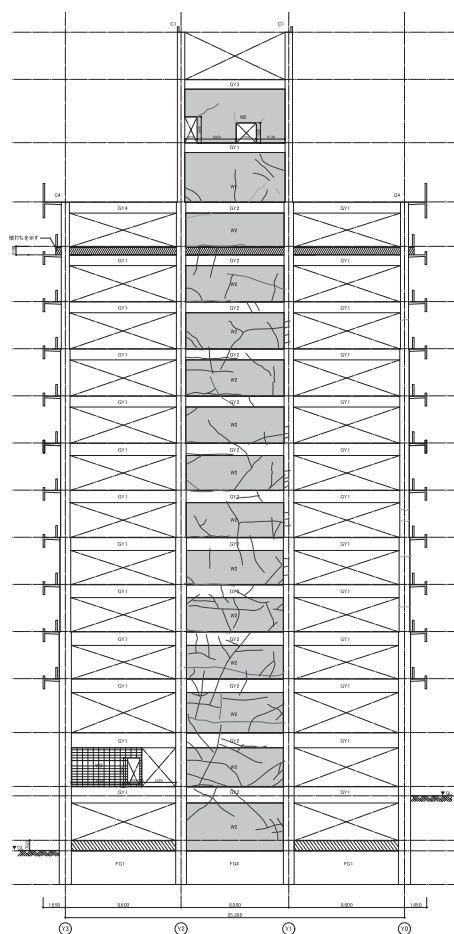


図2 X3通 ひび割れ状況

表1 コンクリート採用強度

階	推定強度 (N/mm ²)	採用強度 (N/mm ²)
PH3	29.0	21.0
PH2	21.8	21.0
PH1	24.3	21.0
12	22.1	21.0
11	26.7	21.0
10	36.6	21.0
9	23.9	21.0
8	33.4	21.0
7	37.7	21.0
6	28.5	21.0
5	30.9	21.0
4	20.3	20.3
3	22.4	21.0
2	20.2	20.2
1	17.7	17.7
B1	26.2	21.0

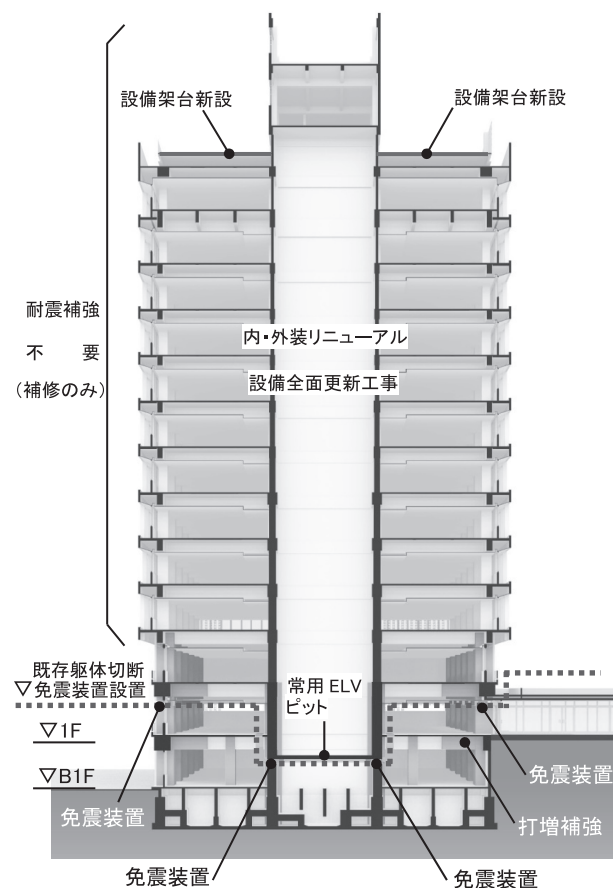


図3 補強・改修工事概要

4 補強・改修計画概要

免震層の配置は、1階柱頭部分（一部、常用エレベーターシャフト部分はB1階柱頭部分）で既存躯体を切断し、免震装置を設置する計画としている。免震装置が取付く上下の既存躯体はあと施工アンカーを使用した打増しを行い、免震装置から発生する付加応力に対する補強を行っている。

さらに、免震改修と同時に建物全体の内・外装の改修も上階から順次行くとともに、既存設備を生かしながら全面設備更新工事を行う必要があった。そのため、屋上に新規の設備架台を新設し、必要な設備機器の設置を可能にしている。またエレベーターは常用3台を1階までの着床とし、ピットを新たに設けることで中間階免震に対応した。B1階まで着床する非常用エレベータ1台は、中間階免震対応型として新規に設置している。

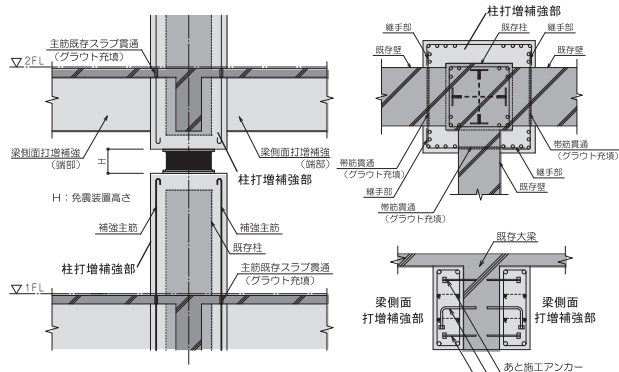


図4 柱・大梁の打増し補強例

5 免震構造計画

名 称	タイプ	符号	ゴム外径(mm)	個数
高減衰ゴム系積層ゴム	E4	H1	750	3
		H2	850	5
	X6R	H3	750	13
		H4	800	4
		H5	900	2
		H6	950	2
天然ゴム系積層ゴム	G4	N1	900	14
合 計				43

图5 免震装置配置图

表2 耐震性能目標値

地震動レベル	レベル1	レベル2
上部構造	短期許容応力度以内 層間変形角：1/500以下	弾性限界耐力以内 免震装置直上柱梁は短期許容応力度以内 層間変形角：1/300以下
免震装置	積層ゴム せん断至100%以下 最大面圧 基準面圧2倍以下 支那に引抜き力が生じない	積層ゴム せん断至250%以下 最大面圧 基準面圧2倍以下 引張側 1.0N/mm ² 以下
下部構造	短期許容応力度以内 層間変形角：1/500以下	曲げ降伏は許容するがせん断破壊は許容しない 免震装置直下柱梁は短期許容応力度以下 層間変形角：1/300以下 免震装置位置の回転変形角：1/200以下

6 時刻歴応答解析

表2に耐震性能目標値を示す。大地震時(レベル2)におけるクライテリアとしては損傷防止を目的に最大層間変形角を $1/300$ 以下とし、既存部材の性能としては弾性限耐力以内、補強部材については短期許容応力度以内となるように設定している。解析モデルは17質点の等価せん断モデルとしている。

また、スケルトンモデルについては、エポキシ樹脂によりひび割れ補修を行った壁の剛性低下を考慮し、初期剛性を85%に低下させることで評価を行った。入力地震動一覧を表4に示す。2011年東北地方太平洋沖地震の観測波や断層モデルによる模擬地震波も含めた解析を行っている。

解析の結果は、最大層間変形角 $1/894$ 、免震層の最大せん断歪 177% 、居室階（12階）の最大応答加速度 162gal 、各部材の応力状態も全てクライテリアを満足する結果となった。また、上下動の応答解析結果から 0.35G の鉛直震度を考慮して、地震時に免震装置に発生する最大引張力が $1.0\text{N}/\text{mm}^2$ 以下となることを確認した。

表3 固有周期 (秒)

免震層の状態	次数	X方向	Y方向
免震層固定時	1次	0.597	0.648
	2次	0.239	0.277
	3次	0.166	0.207
せん断歪 10%	1次	2.709	2.714
	2次	0.370	0.426
	3次	0.192	0.240
せん断歪 50%	1次	3.329	3.333
	2次	0.371	0.428
	3次	0.192	0.240
せん断歪 200%	1次	4.250	4.253
	2次	0.372	0.430
	3次	0.192	0.240

表4 入力地震動一覧

種類	地震動波形	レベル2	
		速度 (cm/s)	加速度 (cm/s ²) 解析時間 (sec)
告示波	告示波(ランダム位相)	42.5	448.9 120.0
	告示波(八戸位相)	42.2	402.6 120.0
	告示波(神戸位相)	53.5	398.0 120.0
	告示波(釧路位相)	46.3	462.9 120.0
観測波	El Centro 1940 NS	50.0	510.0 53.8
	TAFT 1952 EW	50.0	496.9 54.4
	八戸 1968 NS(翠川研波)	50.0	348.9 234.0
	東北地方太平洋沖2011 仙台第2合同庁舎(074-B2F)	31.5	163.3 300.0
	東北地方太平洋沖2011 東北大学人間環境系(282-01F)	47.3	329.8 300.0
サイト波	模擬地震波	35.4	579.3 100.0
	長町-利府断層		

7 施工管理概要

今回の免震改修工事で、免震層を平面的に工区分けして進める必要があったため、免震装置取付け後のゴムの縮みにより発生する相対変位を抑えて既存躯体の健全性を維持する目的から、免震装置プレロード工法を採用した。本工法の詳細と作業手順を図7、8に示す。免震装置の下部に仮受け鋼管(ネジ加工)と油圧ジャッキを配置し、装置下側から負担軸力分のプレストレスを導入して免震装置を強制的に圧縮し、縮んだ分に合わせネジ鋼管を延ばして固定することで、ジャッキダウンした後の沈下を防止する工法である。工事は1回のステップで切断する柱の本数を4本以内とし、全体を12ステップに分けて順次工事を進めていった。施工時の変位管理については、1次管理値を相対変位が1/1500以下となる

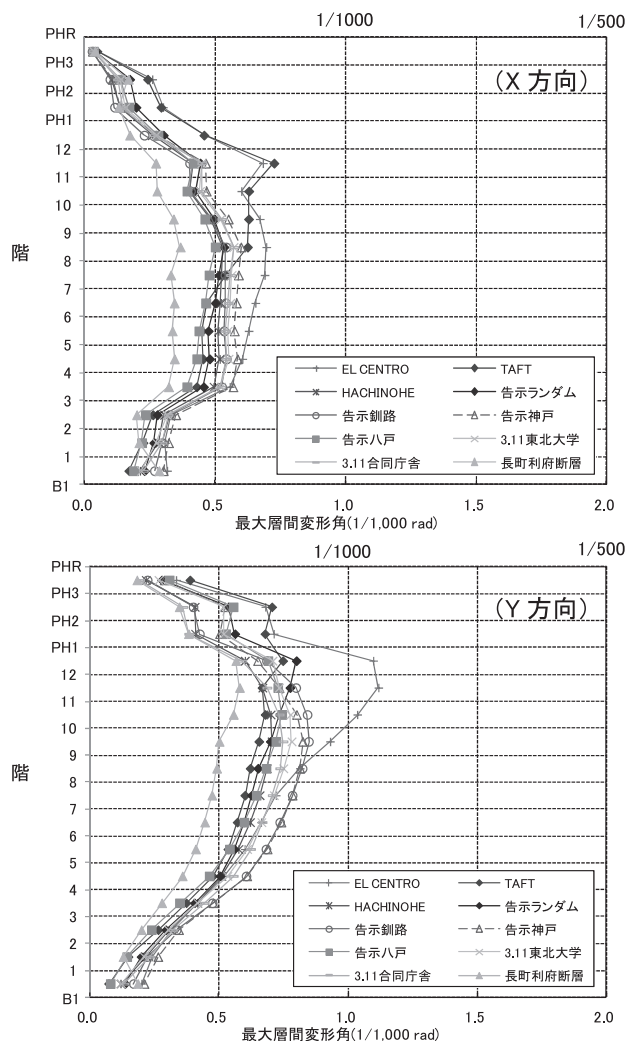


図6 最大応答層間変形角

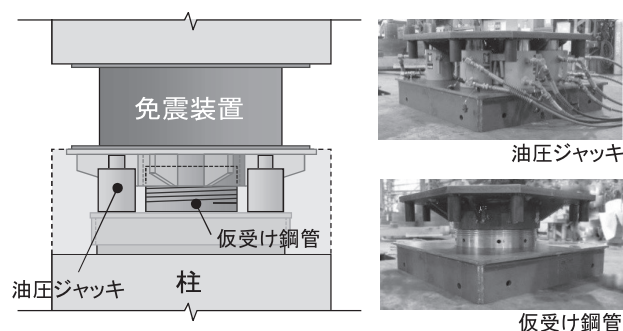


図7 免震装置プレロード工法詳細

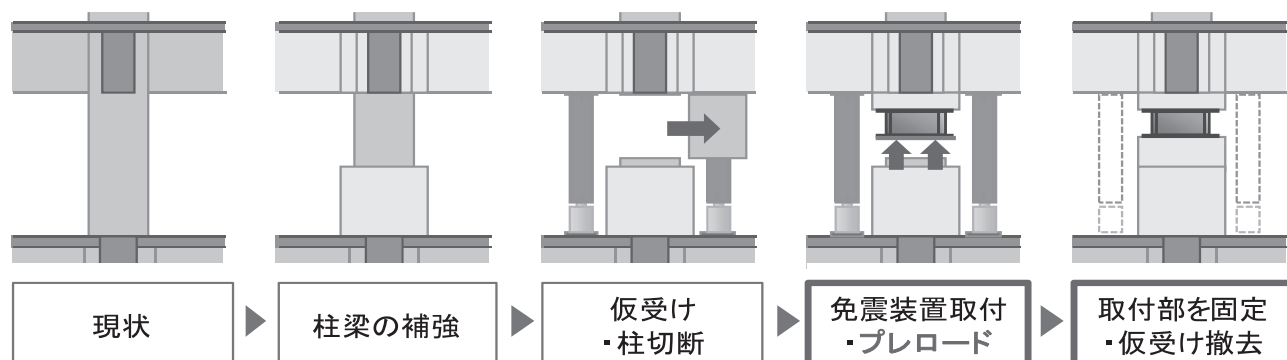


図8 免震装置プレロード工法作業手順

ように設定して行った。また、免震モニタリングシステムを導入して、設置した免震装置の挙動をリアルタイムで計測することで、工事中の建物に異常な変位が発生していない事を確認しながら工事を進めた。

免震化工事における既存躯体切断時に地震時水平力を負担する仮設補強は、仮設ブレース（写真2）、壁スリット部への仮設補強プレート（写真3）、免震装置リストレインプレート（写真6）の3種類を適用して、原設計の地震力に対する安全性を確保した状態で工事を行った。



写真2 仮設ブレース

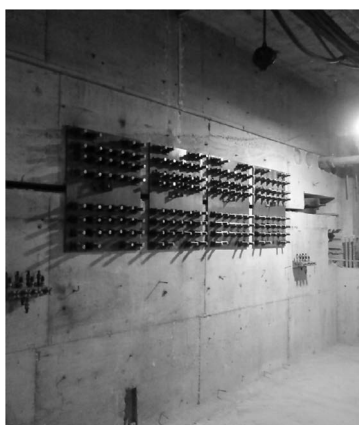


写真3 仮設補強PL

8 おわりに

本事業では中間階におけるレトロフィット免震改修を免震装置プレロード工法によって実現し、高い耐震性を実現すると同時に、建物全体のリニューアルを実施している。最後に本事業の関係者の皆様方には多大なるご支援・ご協力を頂き、深く感謝申し上げます。

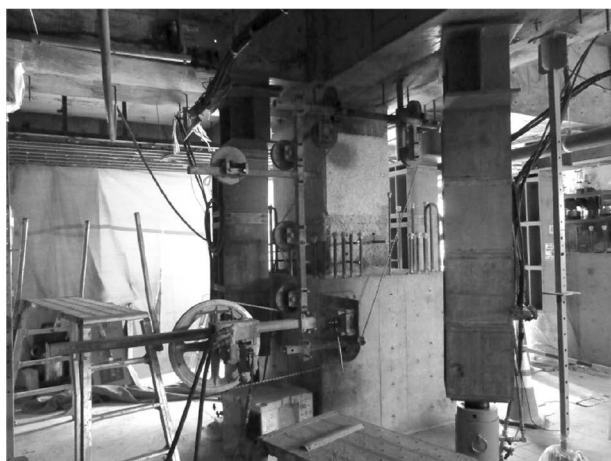


写真4 既存柱切断状況



写真5 プレロード導入状況

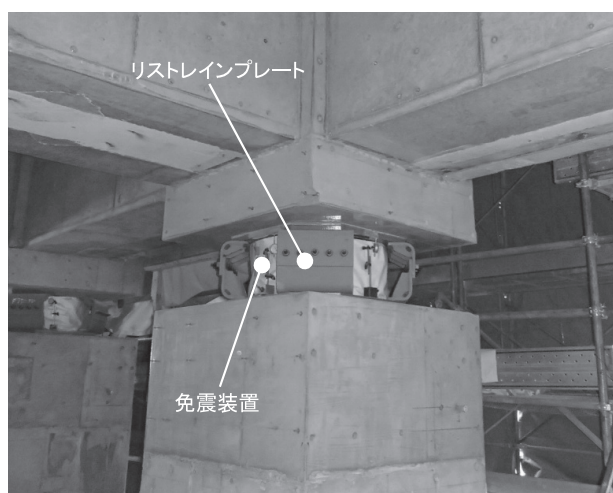


写真6 免震装置取付け完了