中間階および基礎における免震 レトロフィット工事 —計画および工事概要—

SEISMIC ISOLATION RETROFIT AT MID-STORY AND BASE —Planning and outline of works—

黒田満男 — *1 成田一郎 — *3 田中昌二 — *5
河村壮一 — *2 小倉桂治 — *4 矢島秋彦 — *6

Mitsuo KURODA Ichirou NARITA Shouji TANAKA
Souichi KAWAMURA Keiji OGURA Akihiko YAJIMA

Seismic isolation retrofit of existing two buildings was completed first in Japan at the end of April 1997. Isolation works were done at mid-story in one building, and at the base in another building. These buildings were originally built in 1964 and have been used as the training-center of Taisei corporation. Seismic diagnosis revealed the poor seismic resistance capacity of both buildings. Seismic isolation retrofit was chosen as the best counter measure compared to scrap/build and conventional strengthening from the view point of budget, work time and unspoiled usage of buildings even under construction. The planning and work procedure are described.

キーワード:

既存建築物, 免震レトロフィット, 中間階免震, 基礎免震, 格子型ブロック耐震壁, 炭素繊維シート

Keywords:

Existing building, Seismic isolation retrofit, Mid-story isolation, Base isolation, Diagonal-grid shear wall, Carbon fiber sheet

1. はじめに

阪神・淡路大震災(1995年)では1981年以前のいわゆる旧基準で設計された建築物に被害が集中した。このような状況に基づき、1995年12月25日には「建築物の耐震改修の促進に関する法律」(いわゆる耐震改修促進法)が施行され、一定規模以上の既存不適格建築物の所有者に耐震診断と耐震改修の努力義務が課されることとなった。

当社では耐震改修促進法成立以前から社有施設の耐震診断を行い、耐震性に疑問のある建築物の改修を進めている。本報告は、その一環として行った湯河原研修クラブの免震レトロフィット(免震による改修)工事に関するものである。なお、当工事は国内における既存建築物の免震レトロフィット工事の完成第1号である。

- ・住所: 静岡県熱海市泉187
- ・用途: 研修施設
- ・階数・構造: 【本館】地上16階、塔屋2階
SRC造、一部RC造
- ・高さ: 軒高 44.5m
最高高さ 49.0m
- ・面積: 敷地面積 10,600m²
建築面積 2,235m²
延床面積 15,658m²
- ・基礎: 【本館】直接基礎
【東館】杭基礎
(RC杭、φ300、L=6m)
- ・竣工年: 昭和39年

写真1 建築物全景

2. 建築物の概要

当該建築物は写真1および図1に示すように、背後に山がせまる傾斜地に建つ大規模複合建築物で、2階・7階・16階建から成る本館(鉄骨鉄筋コンクリート造、一部鉄筋コンクリート造、直接基礎)と、これとエキスパンションジョイントで構造的に分離された東館(鉄筋コンクリート造、杭基礎)の2棟で構成されている。

建築物の概要は以下のとおりである。

- ・名称: 大成建設湯河原研修クラブ

- *1 大成建設(株)営業推進本部 企画推進部長
- *2 大成建設(株)営業推進本部 耐震推進部長・工博
(〒163-06 新宿区西新宿1-25-1)
- *3 大成建設(株)営業推進本部 FM推進部 FM計画室長
- *4 大成建設(株)設計本部 構造設計第1部長
- *5 大成建設(株)建築本部 建築技術部長
- *6 大成建設(株)横浜支店 作業所長

- *1 General Manager, Planning & Promotion Dept., Sales Promotion Div., Taisei Corporation
- *2 General Manager, Seismic Tech. Promotion Dept., Sales Promotion Div., Taisei Corporation, Dr. Eng.
- *3 General Manager, FM Planning Sect., FM Promotion Dept., Sales Promotion Div., Taisei Corporation
- *4 General Manager, 1st. Structural Design Dept., Design Div., Taisei Corporation
- *5 General Manager, Building Technology Dept., Building Div., Taisei Corporation
- *6 General Manager, Yugawara-Training-Club Retrofit Project, Yokohama Branch, Taisei Corporation

3. 耐震診断結果

当該建築物を耐震診断した結果を図2に示す。診断方法は日本建築防災協会「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」および「既存鉄骨鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準」の2次診断を準用した。

当敷地は静岡県と神奈川県との県境に位置しているため、判定値は地震危険度を反映した両県の値を用いた。

図の横軸は判定値に対する診断値の比を示しており、1.0を下回る範囲は「耐震性に疑問あり」である。本館、東館ともほとんどの階で1.0を下回っており、0.5に満たない階も多く、耐震性に大いに問題がある。

なお、診断に際して行ったコンクリート材料調査結果では、コアの圧縮強度（平均値 -0.5σ 標準偏差）は本館で246kgf/cm²、東館で219kgf/cm²で設計基準強度210kgf/cm²を上回っていた。また、中性化は屋内外とも仕上りのある部分では見られず、打ち放し部分で5～12mmであった。

4. 耐震改修案の比較検討

当地点は図3に示すように、M7クラス直下地震である神奈川県西部地震、M8クラスの東海地震の影響が以前から懸念されている地域にある。さらに当分起こることはないとはされているが南関東地震の発生の可能性もある。

このような地震環境を考慮すると、耐震性に問題のある既存建築物をそのまま放置するわけにはいかない。

景気のいい時代であれば竣工後30年余り経過し設備や非構造部材に老朽化している部分もあるので建て替えということになるが、最近の経済情勢や環境重視の潮流からすると、古い物に手を加えながら息長く使っていくほうが適切である。

対策案としては、A：免震レトロフィット、B：従来方式の耐震補強（壁の増設や柱の補強）、B'：高層部撤去＋耐震補強、C：解体新築の4案を比較検討した。A・B・C案の特徴、工期および工事費を表1に示す。また、完成後の長期修繕維持や借り入れ金の返済を考慮するとA・B'・C案のライフサイクルコストは図4ようになる。費用、工期、工事範囲、工事中の建築物使用、さらには完成後の耐震性能など総合的に見て、A：免震レトロフィット案が最適であると判断された。

図1 配置図

図2 耐震診断結果（判定指標値ET又は I_{S0} に対する構造耐震指標 I_s の割合）

図3 立地点の地震環境

表1 改修案の比較

	A. 免震レトロフィット	B. 従来の耐震補強	C. 解体新築
方法	既存施設に免震対策を施し、現状機能のまま使用する。	従来の耐震補強を実施して使用する。	全面解体して、当該地に新築する。
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 地域に馴染まれた当施設の現機能維持 ストック重視の社会的価値観に対応 中間階免震、基礎免震により、工事範囲を限定し、居ながら施工が可能 免震導入による高レベルの安全性能実現 本館低層部には、格子型ブロック耐震壁、ピロティ柱の炭素繊維シート補強、増設壁補強を併用 	<ul style="list-style-type: none"> 地域に馴染まれた当施設の再生利用 今後の利用目的に合わせた再生策 増設壁、鉄骨ブレース、柱補強などは全階にわたる補強が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 時代にマッチした斬新な施設となる 工事期間中は施設が利用できない
工期	7カ月	9カ月	17カ月
工事費比率	1.0	1.5	4.0

図4 ライフサイクルコストの比較

図5 本館（中間階免震）断面図

5. 中間階免震レトロフィット

5.1 免震構造設計

本館高層部は16階建であるが、地形上7階までが斜面に接している。これを基礎免震とすることには計画が無理があるので、8階部分の柱22本を途中で切断し免震装置を入れる中間階免震方式とした（図5）。

こうすることにより免震層から上部の応答加速度およびせん断力が既存建築物の弾性応答の1/5～1/10程度まで低減され、免震層より上部は何ら補強の必要なくなる（図6）。免震層より下部に関しても、上部の応答せん断力が小さくなることにより大幅に負担が軽減されるが、ねじれの防止など下層部の耐震性を向上するため、耐震壁の増設やピロティ柱の炭素繊維シート補強および格子型ブロック耐震壁による補強を行うこととした。

中間階免震用には鉛プラグ入り積層ゴム支承φ700を18台、φ800を4台用い、曲げ応力の最も小さい柱中間部に設置した。

5.2 施工計画と実施状況

上部荷重6,500tを支えている22本の柱を切断して安全に免震装置を設置する方法として、ジャッキを用いない工法を開発した。

この工法の採用に際しては、予め実大実験により切断時の構造的安全性や、施工速度、切断に伴う騒音などにつき確認した。

写真2に実際の施工状況を示す。予め柱に鋼管を巻き柱頭・柱脚部を鋼管コンクリートとして補強すると同時に中間部の開口から切断作業を行った。その際、鉛直及び地震時荷重は鋼管に負担した。ジャッキや大仕掛けな仮設材を用いないので現場は整然としており、また安心感も高い。工期の点でも有利である。切断には、一週間を要した。

図7に工事工程を示す。全体工期は1996年8月から1997年4月まで延9カ月であった。

5.3 設備配管、エレベータ、内外壁等の免震対応

地震時には免震階に変形が集中する。

図6 本館中間階免震予備応答解析結果
(Y方向、レベル2 EL CENTRO, TAFT, 八戸波による最大応答値)

工事名称	1996年				1997年			
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
中間階免震工事								
ピロティ柱CFS補強								
格子型ブロック壁								
免震対応ELV工事								
耐震壁増設工事								
中間階免震設備工事								
実大施工実験								
東館基礎免震工事								

図7 工事工程

従って中間階を免震する場合には、設備配管、エレベータ、階段などの縦シャフトや内外壁等に変形対応性を持たせる必要がある。

当免震建築物の8階免震層での地震時層間変形は、レベル1の地震時に最大7cm、レベル2の地震時に最大18cmである。

設備配管については余裕を見て最大40cmの変形に追従できるよう、圧力配管についてはスイベル管継手を、その他の配管については波形ゴム管継手や波形金属管継手を用いた。

エレベータについては最大20cmの変形時にも滑らかに運行でき、かつ最大40cmの変形時にも脱レールや構造体との衝突が起きないように、変形を3階分に分散する工夫をした「中間階免震対応エレベータ」を開発し設置した。

階段については、免震階の床との間を縁切りし、すべり支承を設けて自重は支持し地震時にはスライドする機構とした。

外壁については、10cmの変形までは止水性および耐火性（1時間耐火）を保持できる外壁を開発し適用した。また内壁についても10cmの変形までは防火性能を有するものとした。

なお、免震支承はセラミック成形板の円筒型の耐火被覆で覆った。この被覆は上下に分割されてスライドできるようになっており、地震時の変形で破損せず2時間耐火の性能を有している。また、下部円筒部は点検口を有し筒を回転することにより免震支承を全周にわたって点検できる。

5.4 低層部の耐震補強

低層部も高層部が免震されることにより地震力の負担が大幅に低減されるが、高層部を支える下部構造としての安定性を確保するために、増設耐震壁など若干の耐震補強を行った。

特に、1階エントランス部分は柱だけのピロティ形式となっているので、せん断破壊を防ぐための炭素繊維シートによる補強と格子型ブロック耐震壁による補強を併用した。炭素繊維シートによる補強（写真3）は柱をあまり太らせることなく比較的短時間に補強できる点が良い。また格子型ブロック耐震壁（写真4）は採光などの機能やデザイン性に富み、かつ鉄板内臓のプレキャストコンクリートのユニットを組み立てるので、丈夫な壁を短時間に施工できる長所がある。

6. 東館基礎免震レトロフィット

6.1 免震構造設計

東館は平坦地に杭で支えられているので基礎免震とした（図8）。免震化することにより地震力が大幅に低減されるため、上部構造の補強の必要はない。ただし、地震時の変位が大きくなるため、本館との間のエキスパ

(1) 柱仕上げ撤去、目荒し

(2) 鋼管柱建て込み

(3) 既存柱の切断

(4) 免震支承挿入

(5) 鋼管柱切断

(6) 耐火被覆設置

写真2 本館中間階免震施工状況

写真3 柱の炭素繊維シート補強

写真4 格子型ブロック耐震壁

ションジョイントは、レベル2の最大応答変位約20cmに対し、余裕を見て40cmまで間隔を広げることとした。

東館ではすべり併用複合免震構法（ハイブリッドTASS構法）とし、弾性すべり支承7台と積層ゴム支承13台を併用した。

6.2 施工計画と実施状況

東館基礎免震の施工状況を写真5に示す。当現場では東館の前が庭になっていたため、側面から掘削することができた。

6.3 設備配管

免震建築物と外部をまたぐ配管には、変形追従性を持たせるために波形金属管継手および波形ゴム管継手を用いた。建築物基礎と地盤との間の最大相対変位はレベル1の地震時で11cm、レベル2の地震時で19cmであるが、40cmまでの変形に追従可能とした。

図8 東館（基礎免震）断面図

7. まとめ

わが国における免震レトロフィット完成第1号となった建築物の計画および工事実施状況を紹介した。

免震レトロフィットは、

①工事範囲が限定でき建築物を使いながらの施工に有効である。

②ある規模以上の建築物であれば在来の改修工法よりも工事費が安く、一時移転などの費用まで含めるとさらに優位性がある。震災時の補修費まで考えたライフサイクルコストの視点に立つとより優位性が増す。

③完成後の耐震性能が高く、構造安全性だけでなく機能維持にも有効である。

④制振構法は地震時における変形を前提とするため一般的にはコンクリート系構造には不向きであるが、免震構法にはその制約がない。

などの特長がある。一方、免震構法は大地震時の変位が数10cmに及ぶため、

①隣接する建造物とのクリアランスが40cm程度必要である。

②基礎免震の場合にはドライエリアと擁壁が必要となるので敷地境界までの距離が1～2m程度必要である。

③中間階免震では、設備配管、階段、エレベータ、エスカレータなどに変形追従性を持たせるための改修とスペースが必要になる。

などの制約もある。

当計画においては、中間階免震および基礎免震ともジャッキや仮設材を極力使わないで、安全・確実に工事を進めることができた。工事中の騒音についても測

定を行い、適切な工法の選択に向けて有意義なデータを得ることができた。当工事の実績を今後のこの種の計画に反映することができると考えている。

なお、当計画の実施に際しては、免震構造に関して日本建築センターの評定と建設大臣の認定を受けた。また免震構造の耐火被覆に

(1) 基礎下地盤掘削

(4) 天然ゴム系積層ゴム支承設置

(2) 新設基礎コンクリート打ち

(5) すべり支承設置

(3) 免震装置設置部の杭切断

(6) 残りの杭を切断し
免震構造として成立

写真5 東館基礎免震施工状況

については、日本建築センターの防災評価を受けた。これらに基づき所管行政庁である静岡県から耐震改修促進法の計画認定を受けた。中間階免震対応エレベータは（株）日立製作所との共同開発であり、昇降機に関する確認を県から受けた。

この過程でご指導ご協力いただいた関係各位に厚く御礼申し上げる次第である。

[1997年6月17日原稿受理 1997年9月1日採用決定]