

周辺環境との融合めざした「**新学社東京支社ビル**」
免震オフィス

住友建設株式会社



斜森 宏



山田 寛



宮崎光生

1. 計画地の特徴

都心の西方30kmの多摩ニュータウン内にある本建物計画地へは、新宿から約40分、小田急多摩線唐木田駅から徒歩7分である。

多摩ニュータウンは、多摩の豊かな自然環境と調和した良好な居住環境を備えた「住」機能と共に、教育文化、業務、商業の機能も備えた活力ある新市街地の形成を目指している。その中で本計画地周辺は、通称「唐木田カルチャーバレー地区」と呼ばれており、教育研究・文化・業務機能と、周辺の優れた自然環境を保つ住宅地との調和のとれた共存コミュニティの形成をめざしている。

2. 設計コンセプトと建築計画

この良好な立地条件の敷地に教育出版事業を行なう企業のオフィスビルを計画するもので、本建物は2棟で構成される総合計画の内の第1期工事である。その設計においては、多摩市の街づくりのスローガン「水と緑に映える街」を基本に、周辺環境と調和する洗練されたデザインを目標とした。

建物の平面形状を平行四辺形とし、シャープで清楚な外観を目指している。立面形状は、日影規制から北側をセットバックさせる必要があるため、大きさの異なるガラス製菱餅を積み重ねたような造形としている。また、長方形の敷地に平行四辺形の建物を配置することによって、水と緑のためのまとまった外部空間を確保し、建物南側半分には建物とかみ合うような形で三角形の池を配置している。(図2参照)

熱線反射ガラスの外壁が周辺の敷地内外の緑を映し、また緑を映した垂直のガラス壁面とその直下の三角池の水面を相互干渉させることによって「水と緑に映える」というテーマを具象化している。建物内から三角池とそれに水を落とす3段の滝を望むと、その水しぶき、周りの木の葉や水面のゆらぎが光のきらめきを生みだし、その反射光が建物内部に射し込んで建物内外が渾然一体となった空間を創出する。カフェテリアに憩う人にひとときの安らぎを醸し出すことを意図している。



図1 建物完成予想図

3. 建物概要

●所在地	東京都多摩市大字落合字土橋3176-1
●主用途	事務所
●建築主	株式会社新学社
●設計施工	住友建設株式会社
●工期	1993年4.19～1994年8.20 (16カ月)
●面積	敷地面積 5,430.52(m ²) 建築面積 1,062.43(m ²) 延床面積 5,282.41(m ²)
●階数	地下1階、地上5階
●高さ	軒高 SGL+20.85m 最高高さ SGL+21.64m 基準階階高 4.10m
●構造種別	免震構造
●免震装置	主免震装置 PRB=18体、HDB=2体 バックアップ装置 LLRB=4体
●構造体種別	上部構造体 鉄筋コンクリート構造 一部 プレストレストコンクリート構造 下部構造体 鉄筋コンクリート構造 基礎・地業 場所打コンクリート杭
●仕上概要	外壁 ガラスカーテンウォール および御影石張り 床仕上 アクセフロア+タイル カーペット



水頭一紀



八月朔日敏男



長谷山幸好

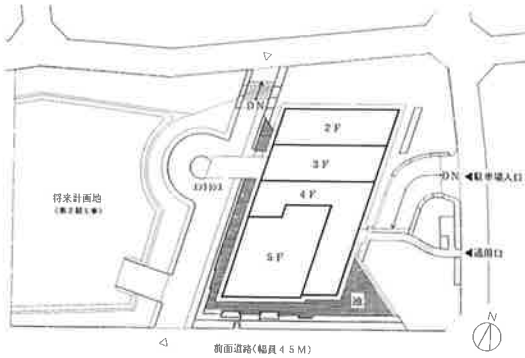


図2 建物配置図

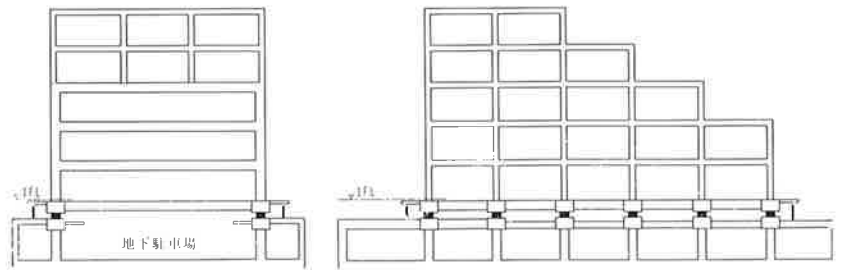


図3 建物断面構成図

4. 構造設計概要

本建物は、平面が平行四辺形、立面はセットバックしており、駐車場に使用される地下階を有している。また敷地には南北両側で4 m 弱の高低差がある。

(1) どこでどう免震するか

まず、地下階を有する建物の場合どこで“免震する”(“免震”を動詞として使用。免震装置を配置し建物を上下構造体に分離して免震構造にするという意味)かが第一の課題となる。通常の免震ビルのように基礎部分(地下階の下)で免震する場合、勾配を有する周囲地盤から免震建物へ車を導入することになり、地盤と建物との境界部分におけるサイズミックギャップ(地震時相対変位用クリアランス)の処理が複雑になる。また、せっかく免震されている建物に導入車両による振動を引き込むことにもなる。主としてこの2点の理由から、本建物では地下階の上部、1階の床下で免震している。

従って、本建物は中間階免震建物に該当し、免震構造評定の他に防災性能評定を受けている。わが国では4棟目、私達としては3棟目の中間階免震ビルである。点検が確実且つ容易に行えること、駐車場火災に対する安全を確保することのために、免震装置は、完全に防火区画された免震装置設置区域内に配置している。この区域は通常は出入りができない管理区域となっているが、建物中央の階段室からアクセスできる。また免震装置の交換は実質的には不要と判断しているが、必要な場合には地下駐車場から出し入れできるように設計されている。(図3参照)

(2) 構造体骨組みの設計

基本設計段階では、構造体骨組みも平面形状に合わせて平行四辺形の立体フレームとしていたが、最終的な建築計画では内部各室平面形状を矩形としたため、これに合わせて構造体骨組みも直交フレームに変更している。

上部構造体は、両方向共に建物中央のコア部耐力壁を有するRC造ラーメン構造骨組みとしている。また地下駐車場および地上階オフィス空間を使いやすくするために、上部構造体短辺方向にはスパン21.6mのプレレストレストコンクリート梁を採用している。

免震装置を支持する下部構造体は、両方向共に建物周囲側壁および中央部コア周りの耐力壁により剛性・耐力共に高いRC造骨組みとしている。

地業には場所打ちコンクリート杭を使用し、GL-31 m 以深の上総層群を支持層としている。

設計用地震力は、上部構造体では1階の層せん断力係数を0.15、4階を0.20としその中間は直線補間、最上階の5階は0.25としている。下部構造体の地下1階は、レベル2入力時の最大せん断力係数0.21(水平震度0.34相当)に対して許容応力度設計を行っている。

5. 免震構造設計概要

(1) 免震装置の設計概要

本建物には、主免震装置として2種類の高減衰ゴム系積層ゴムPRB18体とHDB2体の計20体、バックアップ装置としてLLRB4体を使用している。

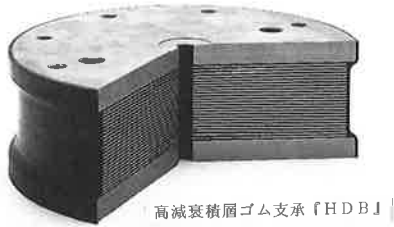


写真1 HDB 免震装置



写真2 PRB 免震装置



写真3 バックアップ装置 LLRB



写真4 免震装置取付状況

(主免震装置)

HDB 免震装置は、通常タイプの高減衰積層ゴムで減衰定数15%程度の減衰性能を有している。PRB 免震装置は、HDB 免震装置の減衰性能を更に高めるために装置中央部にエネルギー吸収性能の高い硬質の母体ゴムを封入したもので、減衰定数20%程度の性能を有している。

免震装置が支える上部建物の総重量は約5800トンであり、これを20体の積層ゴム免震装置で支えるので、1体当たりの平均荷重は290トン、最小160トン～最大440トンの荷重を支えている。この荷重に対して、直径80cmの積層ゴム9体、直径90cmのもの11体とし、ゴム層は、全て1層7mmx30層、総ゴム厚210mmとしている。2次形状係数は、3.8～4.3である。

(バックアップ装置)

私たちは、免震建物の安全性を高めるために何らかのバックアップ装置を付加することを2号物件以来の慣習としており、しかもその装置は毎回異なる新しいものであることをこれまでのモットーとしている。今回は、レベル3以上の入力に対する変形抑制を図るために減衰付加装置 LLRB を使用している。これは、コンパクトで大容量のエネルギー吸収装置を得るために、従来の鉛プラグ入り積層ゴム支承 LRB を改造したもので、アイソレータとしての荷重支持機能を省略し、エネルギー吸収性能を拡大した大径鉛ダンパーとも呼ぶべきものである。本建物には LLRB 4 体を使用している。

(免震装置の配置および取り付けディテール)

本建物は、各階が徐々にセットバックしており、建物重心が平面中央からずれているが、上記アイソレータ20体と LLRB 4 体との配置により、建物重心と免震装置の剛心およびエネルギー吸収中心を殆ど完全に一致させている。

アイソレータには、浮き上がり変形が作用しないように設計しているが、万一浮き上がり変位が発生した場合にもアイソレータのゴム層に直接引張力が作用しないような取付ディテールを採用している。(写真4参照)

(2) 免震構造目標性能

本免震建物では、「大地震時レベル2 (最大入力速度 $V_{max} = 50\text{cm/s}$) の入力地震動に対して無損傷設計を行う」ことを基本的設計目標としている。その際の目安としている目標性能値を表1に示す。

レベル2入力時の上部建物各階の応答加速度を200ガル程度までに、免震装置の変形量をレベル2入力時でせん断歪度150%程度、レベル3に対して200%程度に抑えることにしている。

表1 免震性能の目標値

入力レベル (V_{max})	各階の最大 応答加速度	免震装置	
		水平変形量	せん断歪度
レベル2 (50cm/s)	$A_{max} \leq 200\text{cm/s}^2$	$d_{max} \leq 31.5\text{ cm}$	$\gamma \leq 150\%$
レベル3 (75cm/s)	$A_{max} \leq 300\text{cm/s}^2$	$d_{max} \leq 42.0\text{ cm}$	$\gamma \leq 200\%$

6. 地震応答解析概要

(1) 基本方針

免震建物はほぼ1自由度系に近い挙動を示すので、単純な振動解析モデルで精度よく地震時挙動を把握できる。但し、その応答特性の殆どは免震装置の性能によって決定されるので、免震装置の復元力特性はできるだけ精度よく評価する必要がある。

通常どの免震システムもその復元力特性は非線形性を有している。高減衰ゴム系の免震装置は、周波数依存性・温度依存性などを有しているが、中でも加力1波目と3波目以降では履歴ループがかなり異なるという経験履歴依存性が顕著である。設計上その特性をどう評価するかによって、応答評価にかなりの相違が発生する。また、通常の積層ゴムもせん断歪度150%以上ではハードニング領域に入るので、大変位領域におよぶ応答解析では当然その特性を評価すべきである。

本解析では、上記の経験履歴依存性やハードニング特性、面圧依存性などの特性を反映し、免震装置の実試験性能に近い復元力特性のモデル化によって、地震応答特性を評価することを基本方針としている。

(2) 応答解析モデル

本建物では、建物全体の応答特性を把握するために1層1質点に集約した7質点せん断型モデル (Sモデル) を、建物のねじれ振動を把握するためには擬似立体モデル (Rモデル) を採用した。(図4参照)

上部構造体各階の復元力特性は、Sモデルは建物全体の、Rモデルはフレーム毎の、静的増分解析より求めた弾塑性復元力特性としている。

免震装置の復元力特性は、免震装置の種類毎に図5に示すようにモデル化している。Rモデルでは同じ履歴特性をもつMSSバネにより各装置を表現している。PRB及びHDBの高減衰ゴム系装置では、未経験の歪領域は加力1波目のループに対応した初期履歴ループ上を、経験済みの領域では加力3波目以降を表現した定常履歴ループ上を走ることで経験履歴依存性を評価している。初期および定常履歴ループの試験性能とモデル化ループの対応関係を図6に示す。

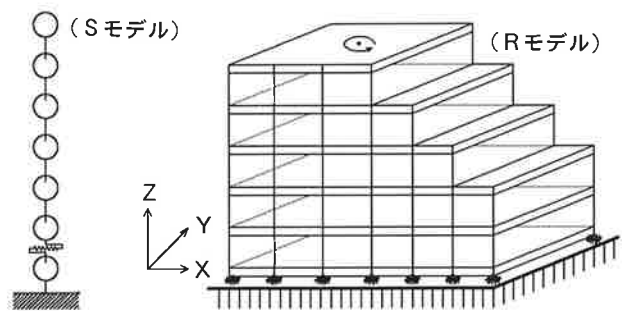


図4 応答解析モデル

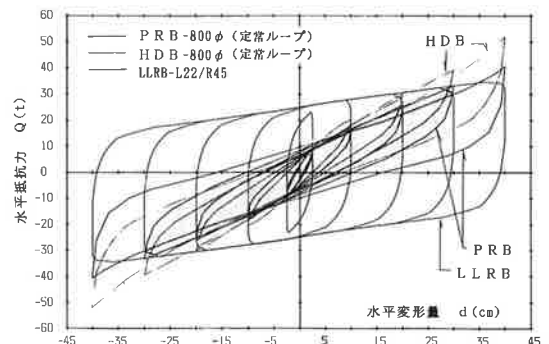


図5 各装置1体の設計復元力特性

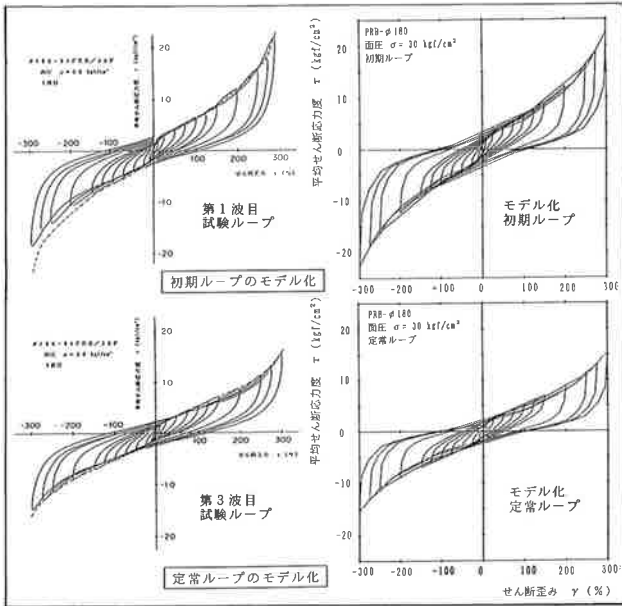


図6 試験ループとモデル化ループの対応

(3) 入力地震動

入力地震動として7波を選定し、入力レベルは、地震動の強さに応じた応答特性を観るために最大速度で $V_{max} = 5, 25, 50, 75$ (cm/s) の4段階としている。

また、ねじれ振動解析には、水平2方向の同時記録波形を採用し、入力強さは2方向速度の合成ベクトル値で基準化している。

表2 各入力レベル毎の最大加速度値 A_{max} (cm/s²)

入力地震動	入力速度 V 毎の最大加速度値				解析時間 (sec)
	(V=5)	(V=25)	(V=50)	(V=75)	
1 EL CENTRO NS(1940)	51	255	510.8	766	40.0
2 TAFT EW(1952)	50	248	496.8	745	40.0
3 HACHINOHE NS(1968)	33	165	330.1	495	35.0
4 HACHINOHE EW(1968)	26	128	255.4	383	35.0
5 TOKYO 101 NS(1956)	49	242	484.9	727	11.0
6 AW-2(第2種地盤用)	33	166	332.4	499	20.0
7 WSB-21 EW(1992)	72	361	721.7	1082	40.0

(4) 地震時応答性能

図7にレベル2入力時の最大応答加速度を示す。各階とも120~200ガルの応答に抑制されており、内部収容物の安全確保に対する目標値を達成している。

図8にレベル1及びレベル2入力時の最大応答せん断力係数を示す。設計用地震力は、レベル1の応答を大きく上回っており、レベル2の応答に対応する地震

力となっている。レベル2入力時の応答層間変形角は1/420以下であり無損傷と判断できる。

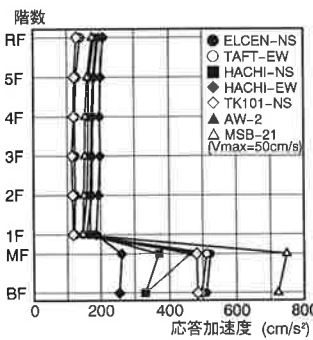


図7 最大応答加速度(レベル2)

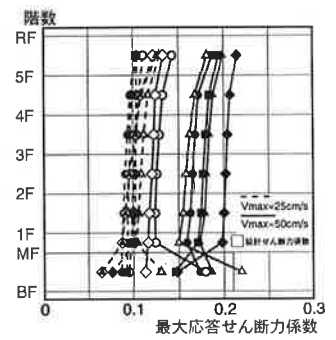


図8 応答せん断力係数(レベル1&2)

図9は最大入力加速度と1階の応答加速度の関係を示したものである。また、図10は免震装置の変形量と建物の応答加速度の関係を示したものである。入力加速度が同じでも、地震動により建物の応答加速度や応答変位は異なるが、図10に示すとおり免震装置の変形量に対する応答加速度は入力地震動の種類に拘らず殆ど一致しており、免震装置の復元力特性が免震建物の応答加速度をコントロールしていることがよく判る。

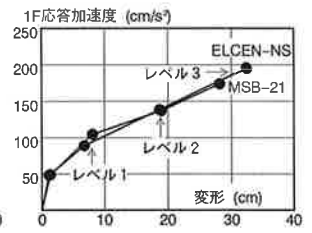
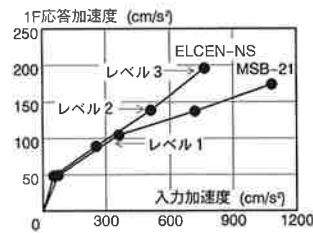
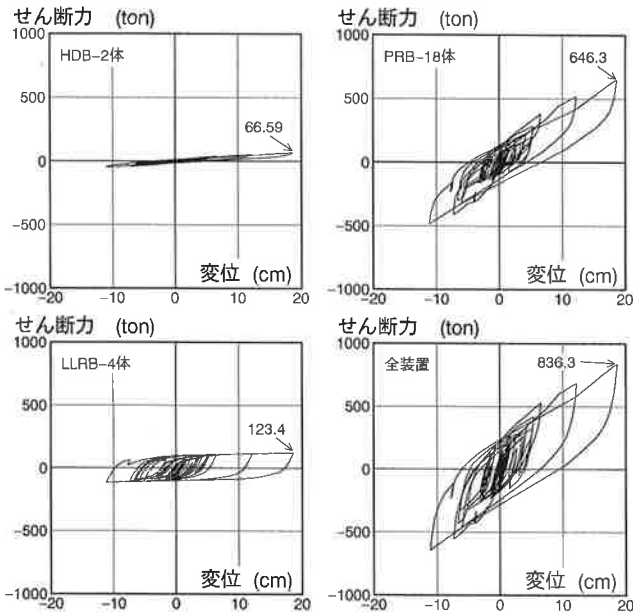


図9 応答加速度 vs 入力加速度 図10 応答加速度 vs 装置変形量

図11に、免震装置の種類毎の応答履歴ループの例を示す。高減衰ゴム系の免震装置では、最大歪経験後の応答はかなり良くなるが、最大応答変形は必ず未経験の歪領域であるので、最大応答加速度は初期履歴ループによって発生する。高減衰積層ゴムを使用する設計において、1波目と3波目の履歴ループを平均化した性能で応答解析を行う例が多いと聞けが、その方法では応答加速度を過小評価することになる。



(入力：EL CENTRO NS, Vmax=50cm/s)

図11 各装置の応答履歴ループ

図12は、本建物の加速度応答の違いを従来の耐震構造と本免震構造で比較したものである。在来耐震構造では1Gを上回る揺れが、本免震構造では最大で0.15G前後、地震の継続時間中の殆どは0.1G以下の揺れとなっている。ノースリッジ地震でも実証されたとおり、免震建物では収容物も含めて建物全体の安全性が飛躍的に高められることが一目瞭然である。

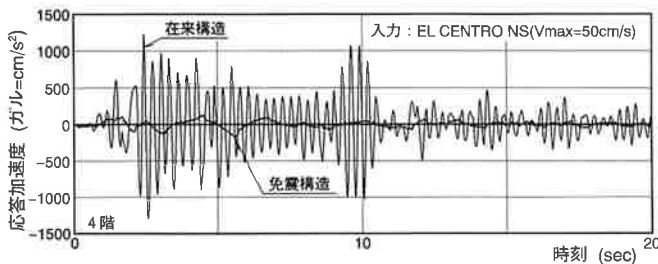


図12 免震・非免震構造による本建物(4階)の揺れの相違

尚、紙面の関係上ねじれ応答解析結果については省略するが、建物の重心と免震装置の抵抗力中心を一致させているため、水平2方向の同時入力に対しても大きなねじれ振動は発生しないことを確認している。

7. 施工概要

本建物の施工は当社として6棟目の免震建物であり東京支店としては3棟目である。これまで免震建物の施工担当者は誰もが初めてというのが通り相場であったが、本建物では所長・主任・設備担当者のいずれも免震建物の経験者という珍しい作業所となった。

そのため、免震建物の特殊性や勘所を熟知しており、工事は高度の品質管理の下に効率的且つ順調に進んでいる。所長や主任が免震構造の良さを時折、一席ぶつてくれるのもうれしく楽しい現場である。



写真5 免震装置設置直後の現場状況

(1) 免震装置の設置およびその工程

写真5に、全免震装置を設置した直後の免震装置設置区域の状況を示す。

免震装置の設置精度及びその後の上部建物の施工精度は、アンカープレートの設置精度で決まると言ってもよい。基礎コンクリート硬化後のアンカープレートの傾き角度は、1/813以下であった。

免震装置基礎部コンクリートの1週強度確認後に装置セットを行うので、アンカープレートの準備からセット完了までの期間は11日となっている。但し、全免震装置24体の取付作業は1日で完了している。

表3 免震装置の取付工程

① アンカープレート取付準備	1日
② アンカープレート セット	2日
③ 装置基礎部コンクリート打設	1日
④ コンクリート養生	1週間
⑤ 免震装置全数(24体)セット	1日

(2) 工事中における免震装置の鉛直変位量

図13は、工事期間中における建物4隅の免震装置の鉛直沈下量を示したものである。免震装置設置直後の無荷重時を基準レベルとし、コンクリートの打設毎にダイヤルゲージによる鉛直変位を記録したものである。横軸の荷重は打設したコンクリートの累計重量を示したもので、鉄筋および積載重量は含めていない。また温度による補正も行っていない。全コンクリート打設後における4隅の平均沈下量は2.74mmである。工事期間中における総沈下量約3mm弱は妥当な値である。

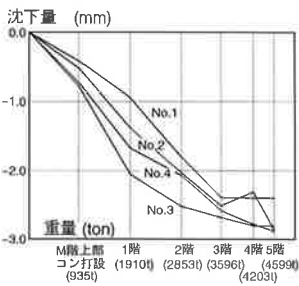


図13 免震装置の沈下量

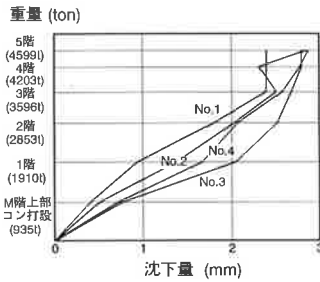


図14 免震装置の鉛直剛性

図14は、免震装置の鉛直剛性を評価しやすいように図13の縦軸横軸を入れ換えたものである。沈下量2mm以降における見かけの鉛直剛性は、25000t/cm (No.2, 4) ~60000t/cm (No.3) 程度になっている。現場における簡易な測定記録から正確な性能評価を行うことは難しいが、これらの値は全免震装置による鉛直剛性の設計値： $\Sigma K_v = 40700$ (t/cm)と比較してほぼ妥当なものと判断できる。これらの測定は、異常な装置の混入や施工中における何らかの異常の発見・チェックという観点で意味のある管理方法の一つであると考えている。



写真6 免震部の階段・手摺

(3) 施工上注意すべきポイントやディテール

免震建物の施工上、水平・鉛直両方向のサイズミックスギャップの確保が最も基本的かつ重要なポイントである。建物周囲の犬走りや地盤側との鉛直クリアランス、設備ダクトと構造体間等で問題が発生しやすい。

また中間階免震ビルでは、上下構造体を継ぐ動線部分などに、収まり上の工夫が要求される。特に、エレベータや階段部分は注意すべきポイントであろう。写真6は、上下構造体間で不連続としている階段および手摺の一例である。



写真7 完成間近の「新学社東京支社ビル」

8. おわりに

写真7は平成6年7月、竣工1カ月前における本建物の外観である。平行四辺形の建物が姿を現し、ガラスのファサードが周囲の緑を映している。この建物が当初の設計の意図どおり、良好な周囲の環境に調和し、建物使用者にも地域社会からも愛されるオフィスとなることを、また万一の災害時には免震構造ビルとして存分にその性能を発揮してくれることを願っている。

最後に、本建物の計画・設計に際し免震構造の採用を英断された株式会社新学社に対して、心よりの敬意と感謝を申し上げます。