

中間階に免震層を持つ建物の設計

—後楽二丁目東地区第一種市街地再開発—

日建設計 村上勝英

同 山梨知彦

同 北村春幸

同 小崎 均

東京理科大学 寺本隆幸



1. 中間階に免震層をもつ建物の建築計画

後楽二丁目東地区第一種市街地再開発は、JR飯田橋駅より北方に約400mに位置する東京都文京区後楽二丁目地区の再開発事業である。本地区は、交通便利性の高い都心地区でありながら古くからの低層個別住宅・店舗が混在して今日まで共栄してきた地域である。

本再開発では地区に隣接する都市計画道路の事業決定も考慮して、このような地域に密着した中小の店舗・住宅の環境や景観と、新たに導入する都心業務機能としてのオフィスとの調和・共存ができる個性豊かな地区として整備することを最大の特徴としている。そこで図-1の計画概念図に示すように、一建物内で各種用途を明確に区分して立体的に積み重ねて配置する事により、事務所・住宅・店舗等のそれぞれにふさわしくかつ共存できる環境が得られる複合機能ビルを計画した。

本建物内の用途配置を以下に示す。

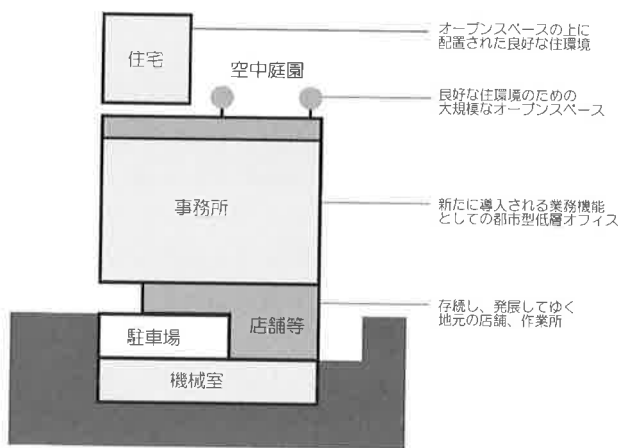


図-1 計画概念図

- 地下階は駐車場・機械室・倉庫等の建物内のサービスゾーンを配置する。また周辺からアプローチできる地表面の1階(一部地下1階)には、店舗・作業所を配置することにより、地上面に良好なオープンスペースを確保して周辺の商業施設と一体となったにぎわいのある街並みを形成し、存続・発展するようにする。
- 新たに導入される事務所機能は、低層オフィスとし

て2階から9階に配置する。また基準階では本社ビルとしても対応できるように、最大約5000m²の大部屋利用が可能となる大規模な無柱空間を形成する。

- 住宅は、良好な都市型住環境が得られるように高層部分の10階から14階に配置する。各住戸は、プライバシー・採光・通風・眺望等の確保が可能な階段室型集合住宅形式を採用する。また永住型の都市型住宅とするために居住者の日常動線となる10階には、大規模なオープンスペースの空中庭園を配置する。この空中庭園は、居住者のコミュニティの中心地としても活用されるばかりでなく、災害時における一時避難・消火活動拠点ともなり防災上も安全性を高めた計画となる。

このように立体的に各用途を構成した建物内で、各々に必要な建築性能を最大限に得るには、一つの建物においても各用途毎に最適な構造計画の採用が必要となる。特に低層部分にある事務所機能に要求される無柱空間に対しては、ロングスパンを用いた構造形式が必要であり、高層の住宅部分に要求される各住戸毎の明確な分割と遮音・居住性に対しては、コンクリートを用いた柱・梁型の出ない壁式構造が最善の構造形式となる。しかし一般的には、同一建物内にこのように異なる構造形式を双方とも採り入れるのは難しい。なぜならば、通常の中高層建物の耐震設計では、建物全体の構造特性を均質にして特定階に被害が集中しないようにすることが一般的であり、そのため同一建物内に異種構造形式を取り入れることは、架構の弾塑性性状を考慮しなければならない地震力の入力レベルである日本では極めて難しいからである。

そこで本計画では、高層部分の住宅階と低層部分の事務室階との境界となる中間階に免震層を設けることにより、柱の代わりに積層ゴムアイソレータで異なる構造形式同士をつなぐ計画とした。また中間階に免震層を設けることで、地盤レベルにおける周辺施設との一体性に対しても建築計画上に制約を与えない。このように計画された地下2階・地上14階・塔屋1階の建物

の建物外観を図-2に、図-3に1階平面図、図-4～5に基準階平面図、図-6に免震層平面図、図-7に断面図を示す。

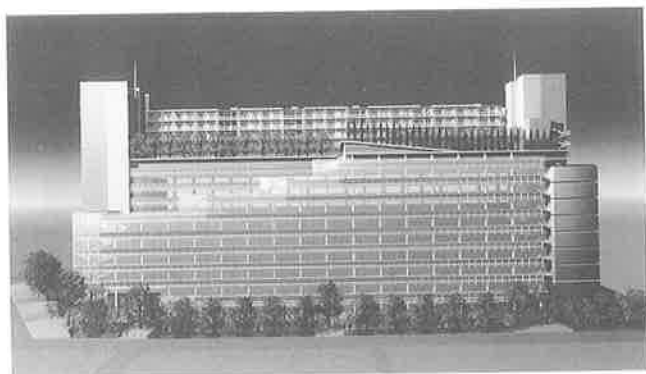


図-2 建物外観

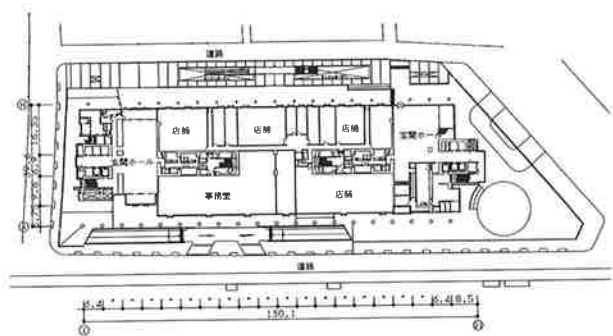


図-3 1階平面図

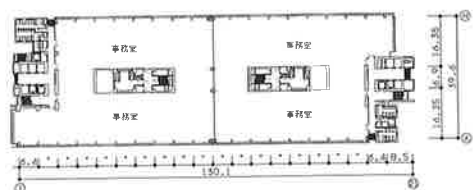


図-4 下部基準階平面図(事務室階)

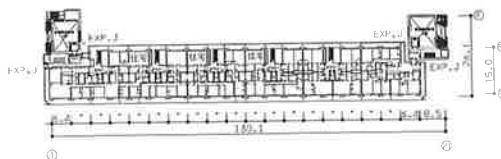


図-5 上部基準階平面図(住宅階)

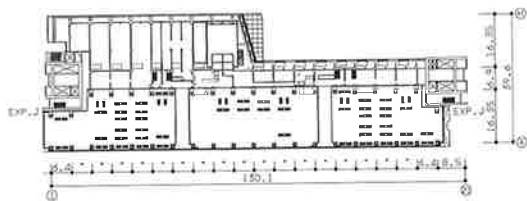


図-6 免震層平面図

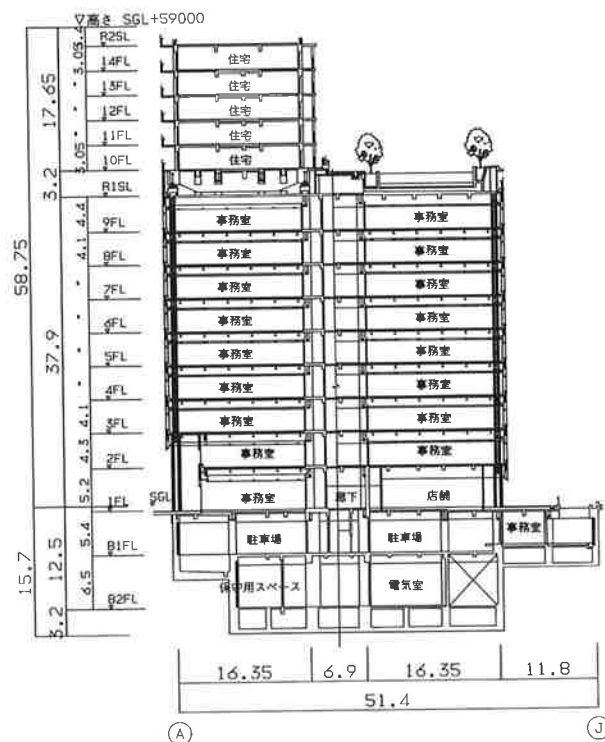


図-7 断面図

一般に建物の中間階に免震層を設ける場合には、免震層上部の用途(ここでは集合住宅)に対する避難動線となる階段・エレベーター等の計画が重要となる。それは、階段・エレベーターが大変形を許容する免震層を直接貫通してしまうと、その周辺に大変形を吸収するための防火区画を考慮したエキスパンション・ジョイント等の措置が必要となり、建築計画上問題となるからである。しかし本建物の住宅部は、10階に設けた大規模なオープンスペースの空中庭園を介して地上から各住戸に通じる動線となっており、さらにこのオープンスペースが防災計画としても安全性を高めている。そこで、免震層上部にある住宅用の必要最小限の非常用エレベーター・特別避難階段のみを、事務所部分となる下部構造から直接立ち上がるエレベーター塔として建物両端に配置することで免震層を直接貫通しないようにし、屋外廊下のみがエキスパンション・ジョイントを介して住宅に避難動線としてつながる計画とした。図-8にエレベーター動線概念図を示す。

また10階下部の免震層は、免震層全体を防火区画することにより防災上の安全性を高めた。さらに図-9に示すように、防火区画された免震層をガス管等の火種となる設備配管が直接貫通しない計画とすることにより積層ゴムアイソレータを無耐火被覆にして維持管理点検を行いやすくしている。またこの免震層は、隣

接するオープンスペース下部の設備ピットとあわせて、住宅用設備トレンチ部分のみでなく下部の事務室・店舗用設備トレンチ部分としても利用する計画とした。

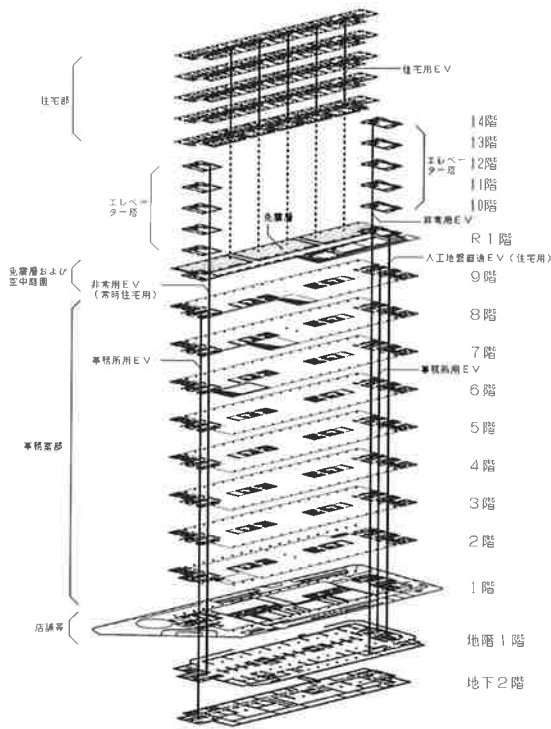


図-8 エレベーター動線計画図

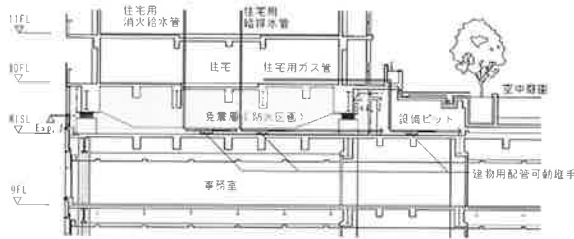


図-9 免震層に対する住宅用設備配管ルート計画図

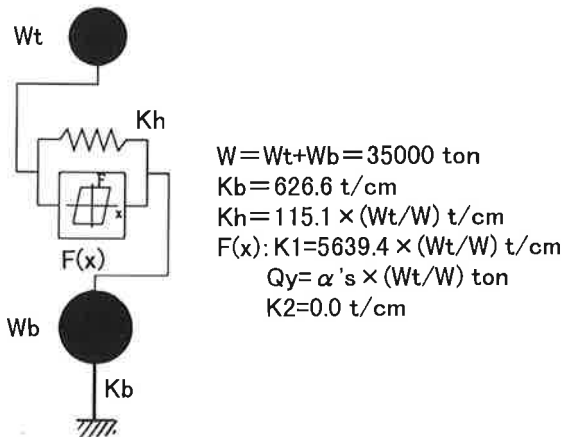


図-10 2質点解析モデル図

2. 中間階に免震層をもつ構造の振動特性

中間階に免震層をもつ建物の振動特性を把握するために、建物全体の弾性一次固有周期が約1.5秒、上部構造重量が全体重量の5%から50%を想定した下部構造1質点・上部構造1質点となるせん断型振動解析モデル(図-10参照、下部構造の減衰は剛性比例型で $h=0.02$)を用いて、大地震時の地震応答解析を行なった。なお建物中間部に想定するダンパー量は、 $\alpha's$ (ダンパーの降伏耐力/全体重量)をパラメーターとした。また検討用地震動波形は、レベル2地震動を想定した設計用人工地震動波形を用いた。この人工地震動波形は、加速度応答スペクトル形状を建築基準法施行令における第2種地盤の振動特性係数 R_t とみなし、長周期領域における速度応答スペクトルを $S_v=100\text{cm/sec}$ ($h=0.05$)と設定して観測地震動の位相特性を用いて作成したものである。

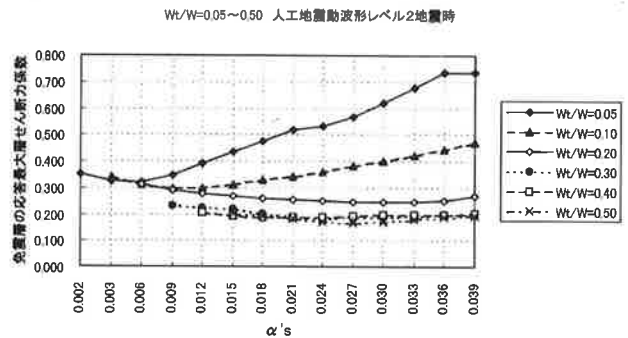


図-11 2質点モデルによる免震層の応答最大層せん断力係数

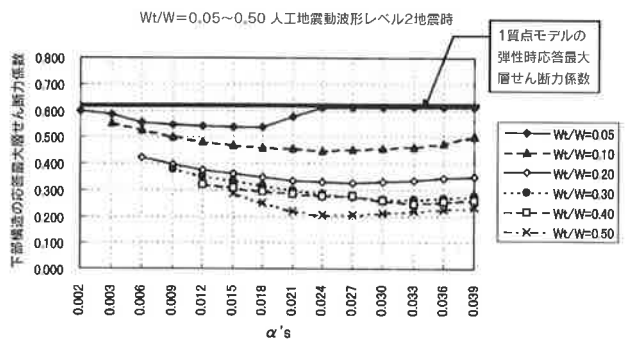


図-12 2質点モデルによる下部構造の応答最大層せん断力係数

応答解析結果を図-11~12に示す。これらによると上部構造における最下部(10階部分)の応答最大層せん断力係数は、一般の1階に免震層を配置した免震構造の場合と比較するとやや大きい値を示すが、その値は上部構造重量の全体重量に対する比率(W_t/W)が0.20以上では十分免震効果がある範囲である。また W_t/W が0.20以上では、ダンパー量の増加に伴い下部構造の最大

応答層せん断力係数が小さく、ばらつきが少なく安定した値を示している。この値は、通常の架構の塑性化を考慮した同規模の耐震構造建物の場合と比較すると小さい。したがって、建物の中間階に免震層を配置することで上部構造のみならず下部構造も含めた全体の応答層せん断力を小さくでき、建物全体に高い耐震性能を有することができる。これをエネルギー論的な視点から見直すと、地震による構造体の変形を免震層に集約して水平方向に大きく変形させ、それにより貯えたエネルギーを免震層に配置したダンパーで吸収するエネルギー集中型制震構造とも考えられる。

3. 中間階に免震層をもつ建物の構造計画

前述した中間階に免震層を持つ建物の振動特性から、中間階に免震層を設けることの利点は、単に積層ゴムアイソレータを介することで構造形式の異なる架構を容易に積み重ねることを可能にするだけでなく、建物全体の耐震性能を安定して格段に向上する点もある。したがって本建物では、各用途に応じた適材適所な構造形式を採用した構造計画を行った。

図-13の軸組図に示すように、10階下部に免震層を設定して800φの天然ゴム系積層ゴムアイソレータと鉛ダンパーからなる免震部材を設けた構造とした。本来、設計用地震荷重が大きくかつ全体架構が安定した剛性配分と塑性変形能力を求められる日本の耐震設計手法では、構造特性の異なる鉄骨鉄筋コンクリート造と鉄骨造等の混合構造の採用は難しいものがある。しかし中間層に免震層を持つ構造とすることにより、建物全体の設計用地震力が低減されて、大地震時にも下部構造を弾性状態に保つことが可能となる。そこで図-14の床梁伏図に示すように9階以下の事務室・店舗部分にあたる下部構造では、コア部分は鉄筋コンクリート造耐震壁を持つ鉄骨鉄筋コンクリート造とし、事務室空間および外周部は無耐火被覆化したCFT柱（コンクリート充填鋼管柱）と鉄骨梁を用いた鉄骨造とした混合構造による耐震壁付ラーメン構造を採用した。

また図-15の床梁伏図に示すように10階以上の住宅部分にあたる上部構造では、鉄筋コンクリート造で壁式構造に近い耐震壁付ラーメン構造を採用した。これにより、事務室である下部構造では16mスパンの無柱空間を実現し、上部構造では住宅としての機能と居住性に適した柱・梁型が表に出ない構造を可能にした。

さらに建物中間階の免震層の設計目標は、レベル2地震時の応答最大変位で40cm以下とし、 $\alpha's$ （鉛ダンパーの降伏耐力/地上部建物全体重量）=0.02~0.03にな

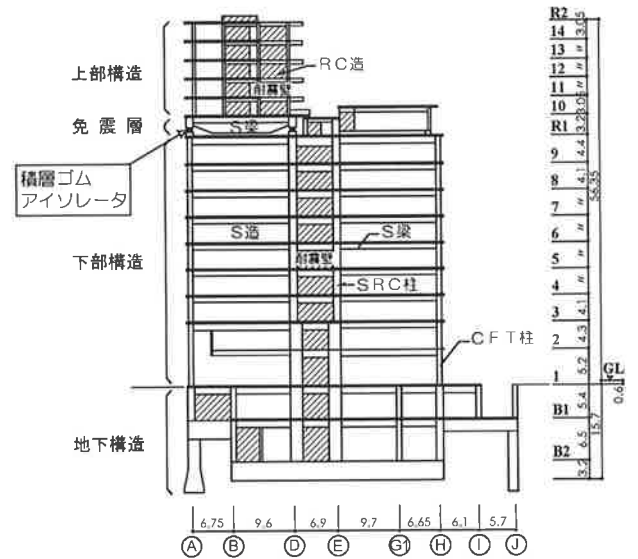


図-13 軸組図(短辺方向)

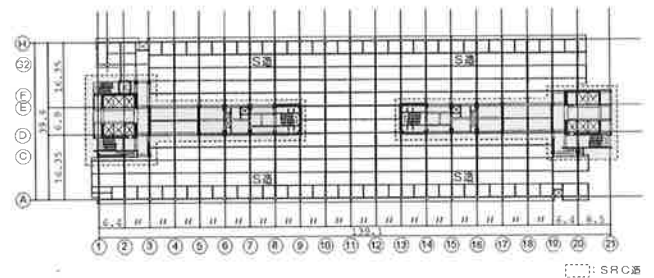


図-14 下部基準階床梁伏図

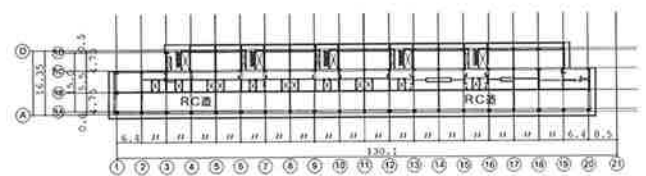


図-15 上部基準階床梁伏図

るように設計を行なった。最終的な建物全体の1次固有周期は、積層ゴムアイソレータと鉛ダンパーを考慮した場合で1.4秒、積層ゴムアイソレータのみを考慮した場合で3.5秒である。また建物短辺方向におけるレベル2地震時の応答解析結果を図-16~17に示す。地震時の建物の変形のおよそ大半は約30cmの変形をする免震層に集中し、住宅階での最大層間変位は0.20cmで階高の1/1530程度、事務室階での最大層間変位は2.1cmと階高の1/195程度と通常の耐震建物の場合に比べて1/5~1/2と格段に小さい。また建物へ入力した地震エネルギーの約8割は、免震層の鉛ダンパーが吸収するため、構造

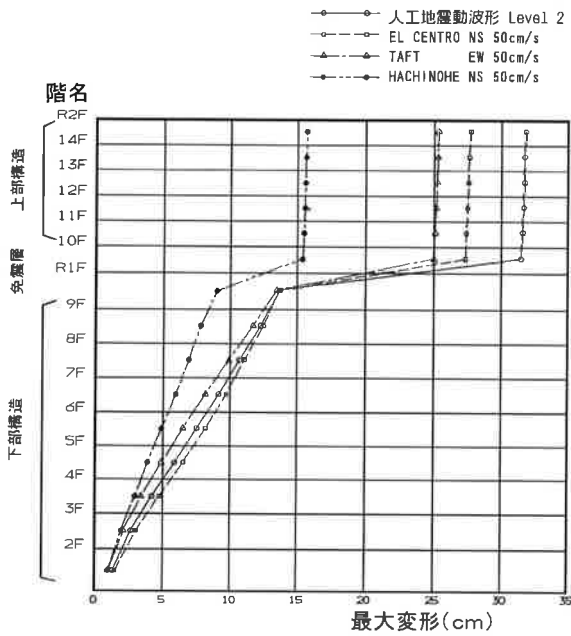
骨組は塑性化して地震エネルギーを吸収する必要がなく、上部・下部構造とも弾性範囲内に留まり損傷を受けない。上部構造の重量は地上部全体重量の約22%であるため、最終的な鉛ダンパーの降伏耐力は、上部構造の重量と比較すると14%と大きい。建物全体の重量と比較して考えると3%であり、この値から推測すると積層ゴムアイソレータのみの周期が3.5秒の一般的な基礎免震の場合とほぼ同じダンパー量を確保したと同等であると考えられる。

4. まとめ

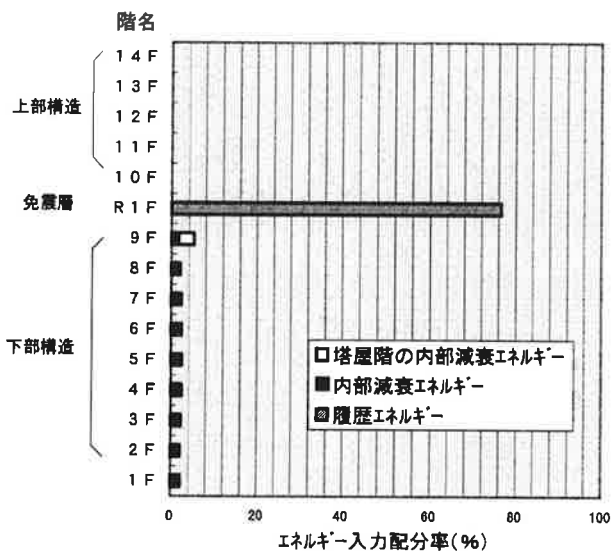
後楽二丁目東地区第一種市街地再開発事業においては、各用途が必要とする異なった構造形式をどのように融合させていくかが最大の問題点であった。この解決方法として中間階に免震層を設置することで、異なる構造形式を合理的につなぎ合わせることが可能となり、さらに建築計画に自由度が増えることがわかった。また中間階に免震層を持つ建物の特性として、免震層上部の構造の地震応答のみを低減するだけでなく、下部構造を含めた建物全体の地震応答が低減することにより、上部構造は免震建物としての性能を保持することに加え、下部構造の耐震性能も格段に向上することができた。

参考文献

- 1) 日本建築学会：免震構造設計指針
- 2) 秋山宏：建築物の耐震極限設計、第2版、東京大学出版会、1987
- 3) 北村春幸他：観測地震動の位相特性を用いた設計入力時振動について(その1~2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、1996
- 4) 村上勝英他：中間階に免震層を持つ建物の設計、日本建築学会技術報告集 第7号、1999(掲載予定)



図一16 建物短辺方向の応答最大変形(レベル2地震時)



図一17 建物短辺方向における各階へのエネルギー入力配分(人工地震動波形 レベル2地震時)