

3) 観測記録に基づく免震建物の評価

3) Evaluations of Seismically Isolated Buildings Based on Observed Records

山本 雅史 Masashi Yamamoto*1

免震構造は免震層という建物自身に比べて水平剛性が小さい層を設け、この層で地震の伝達を防ぎかつエネルギーを吸収する構造形式である。日本では1980年代から実建物に適用されはじめ、1995年の阪神淡路大震災を機に適用数が大きく増加した。現在、戸建てを除いて2400棟以上の免震建物がある。免震構造は耐震構造に比べ歴史が浅く、適用数も桁違いに少ないことから、実地震に対する検証を重ねる必要がある。以下では、今回の地震に対し、千葉県と東京都で得られた免震建物の地震観測記録を紹介し、免震建物の有効性について検証を行う。

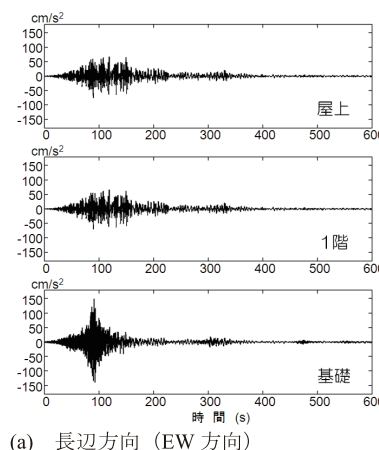
1 船橋竹友寮

船橋竹友寮 (Table 1) は当社が初めて免震構造で設計および施工を行った建物であり、1987年に竣工、現在24年が経過している。本建物では基礎 (免震層直下)、1階 (免震層直上)、屋上においてそれぞれ3箇所ずつ水平加速度を観測している。また、基礎および1階においてそれぞれ3箇所ずつ鉛直加速度を、3箇所ずつ免震層の変形量を観測している。(建物および観測点の詳細については参考文献1) 参照)

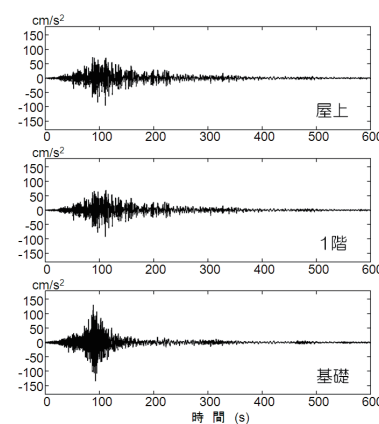
今回の地震 (船橋市：震度5弱) において、本建物では14時47分47秒から600秒間にわたり記録が観測された。加速度波形についてFig.1に示す。これらは剛床を仮定して建物中央での値に換算したものである。観測波形から、各方向とも基礎に比べ1階の加速度は

低減されていること、1階と屋上の加速度はほとんど同じであり、建物がほぼ剛体で動いていることがわかる。

Fig.2 (a), (b) に観測加速度を用いて算出した、基礎に対する1階および屋上の水平方向の伝達関数を示す。伝達関数からも建物は剛体とみなせること、免震振動数 (0.57Hz) を越えると応答倍率は徐々に小さくなり0に近づく傾向を示し、理想的な免震特性であることが分かる。Fig.2 (c) は上下方

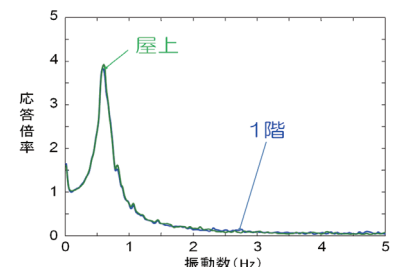


(a) 長辺方向 (EW 方向)

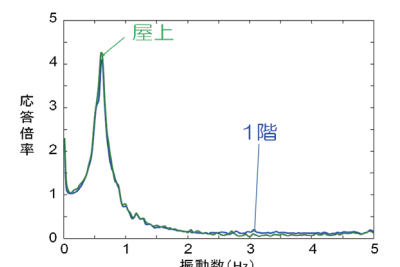


(b) 短辺方向 (NS 方向)

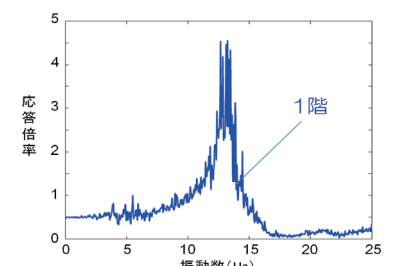
Fig.1 観測加速度波形
Observed acceleration



(a) 長辺方向 (EW 方向)



(b) 短辺方向 (NS 方向)



(c) 上下方向

Fig.2 基礎に対する伝達関数
Transfer functions

Table 1 船橋竹友寮概要
Funabashi Chikuyu dormitory

建設地	千葉県船橋市
建築面積	730.22m ²
延面積	1,530.20m ²
階数	地上3階、地下なし
軒の高さ	11.00m
用途	独身寮
構造種別	RC造
免震装置	積層ゴム 14基 粘性体ダンパー 8基
1次固有周期	T ₁ = 2.1秒
建物質量	2,479t
竣工	1987年3月

*1 技術研究所 主任研究員 博士(工学) Chief Researcher, Research & Development Institute, Dr. Eng.

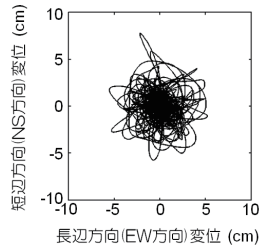


Fig.3 免震層変位
Inter-story displacement of isolation floor

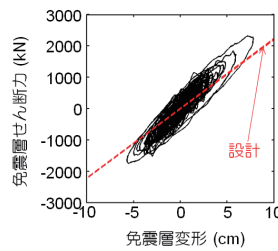


Fig.4 免震層せん断力-変形関係
(短辺方向)
Shear force-displacement relationship
of isolation floor

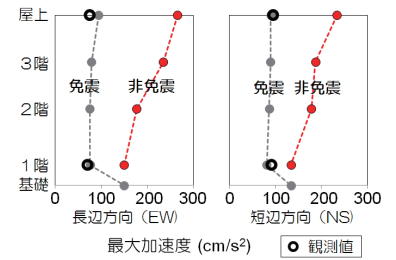


Fig.5 最大加速度分布
Distribution of maximum accelerations

向の伝達特性であり、水平方向同様明確なピーク（13Hz）を示す。Fig.3には免震層の変位オービットを示す。最大変位は短辺方向（NS方向）に7.8cmである。Fig.4に免震層のせん断力-変形関係を示す。免震層のせん断力は、1階と屋上階の観測値を直線補間して求めた各階加速度に建物質量（設計値）を乗じて算出した。Fig.4中に積層ゴムによる復元力の設計値を点線で示す。設計値より剛性大きいことがうかがえる。なお、この履歴から算出される等価減衰定数は約13%である。

基礎の加速度を入力として本建物の地震応答解析を行った。免震層の剛性のみ観測結果に基づき解析モデルを修正しているがそれ以外は設計時のモデルを用いた。最大加速度についてFig.5にまとめる。比較のため、免震層を固定した場合の解析も行ったが、免震により加速度が1/2～1/3に低減されることがわかる。

2 フラッツ東陽

フラッツ東陽（Table 2）は住戸プランの自由度を向上させるためにフラットスラブを採用し、水平力は建物内部の耐震壁で集中的に負担させている。免震構造とすることによりこのような架構形式を可能にしている²⁾。

本建物では加速度のみを観測している。観測点をFig.6に示す。今回の地震（江東区東陽：震度5強）において観測された加速度をFig.7に示す。基礎に比べ1階、12階とも加速度が低減されている。Fig.8に1章と同様にして求めた免震層のせん断力-変形関係を示す。免震層変形は加速度の2階積分で求めている。この変形の最大値は6.8cmであり、免震層の野書きによる記録とほぼ一致している。図中点線で設計時におけるせん断力-変形関係を示すが、観測結果は各方向とも概ね設計値と対応している。

Table 2 フラッツ東陽
Flats Toyo

建設地	東京都江東区東陽3丁目
建築面積	950.54m ²
延面積	8,235m ²
階数	地上12階、地下なし
軒の高さ	37.75m
用途	共同住宅
構造種別	RC造（一部S造）
免震装置	鉛入り積層ゴム 12基 天然ゴム系積層ゴム 4基 回転摩擦ダンパー 4基 オイルダンパー 4基
1次固有周期	T ₁ = 4.58秒（レベル2時）
竣工	2008年

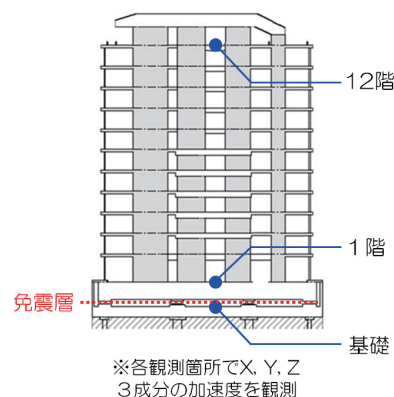


Fig.6 観測点位置
Layout of measure points

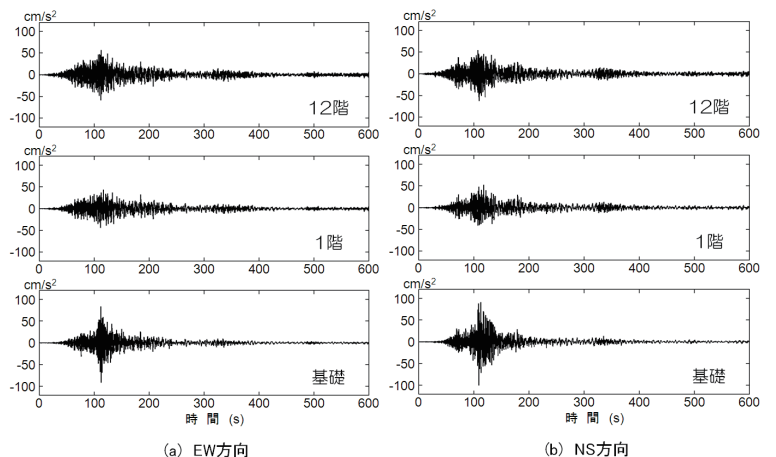


Fig.7 観測加速度波形
Observed acceleration

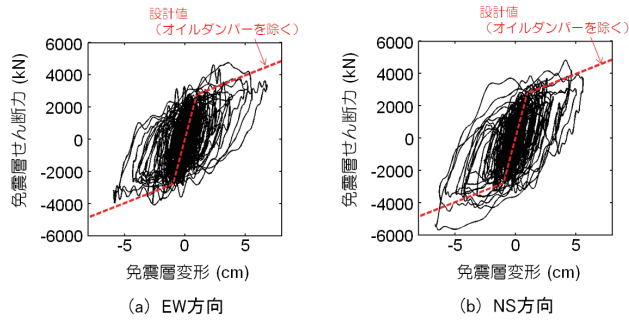


Fig.8 免震層荷重変形関係
Shear force-displacement relationship of isolation floor

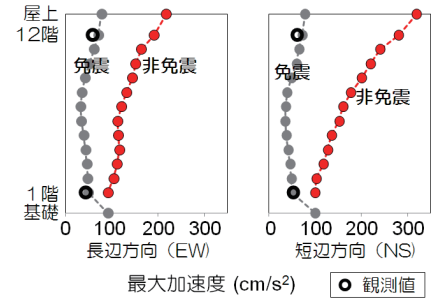


Fig.9 最大加速度分布
Distribution of maximum accelerations

応答解析により本建物の免震効果を確認した。結果をFig.9に示す。免震構造とすることにより応答加速度が低層部で1/2、中・高層部で1/3～1/4程度に低減されることが分かる。

参考文献

- 1) 久家英夫, 山本雅史, 東野雅彦:「2005年7月23日千葉県北西部地震における船橋竹友寮の地震観測結果」, MENSIN, No.50, pp.44-45, 2005.11
- 2) 山口義弘, 阿部洋, 水野吉樹, 柴田剛典:「フラッツ東陽」, 建築デザイン発表梗概集2009, pp.62-63, 2009.7