

東北地方太平洋沖地震における地震観測建物の観測記録

Observation Records of High-rise Buildings and a Base-isolated Building on the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake

井川 望*¹ 藤井 睦*¹ 伊藤 真二*¹
Nozomu Ikawa Atsushi Fujii Shinji Ito

要旨

現在、当社で設計・施工した 9 建物において地震や風観測を実施している。実建物における地震・風観測記録は、観測建物の耐震、耐風性能評価に有効であるだけでなく、今後の耐震、耐風設計へ活用することもできる。2011 年 3 月の東北地方太平洋沖地震時に、関東地方の建物では観測開始以来の最大加速度が観測された。本報告では、特に大きな記録が得られた、つくば市にある免震建物の技術研究所、東京都港区と千葉県浦安市にある超高層 RC 造集合住宅での観測記録を紹介する。

キーワード：地震観測 東北地方太平洋沖地震 免震建物 高層建物

1. はじめに

1989 年に関西初の超高層 RC 造建物である高見フローラタウン、翌年に免震建物である市川社宅（2005 年に観測終了）の観測開始以来、現在、高層建物や免震建物など、関東、中部、関西の 9 建物で地震や強風時の振動観測を実施している¹⁾。これら観測建物は当社が設計・施工した建物であり、高層 RC や免震・制振など施工時に何らかの新技术が導入された建物である。構造特性に関する基礎データの収集や建築物に導入した構造技術の評価、耐震・耐風設計法の検証などを目的として、観測を実施している。

2011 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震(表 1)時には、関東地方に限らず、中部や関西の建物でも記録が得られた。関東地方の建物では観測開始以来の最大加速度が観測された。本報告では、特に大きな記録が得られた、つくば市にある免震建物の当社技術研究所、東京都港区と千葉県浦安市にある超高層集合住宅での観測記録を紹介する。

表 1 東北地方太平洋沖地震 概要

| | |
|---------|--|
| 震源 | 三陸沖、深さ 24km (北緯 38° 6.2'、東経 142° 51.6') |
| マグニチュード | 9.0 |
| 日時 | 2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分 |

2. 当社技術研究所

技術研究所(茨城県つくば市)の管理研究棟では、免震デバイスの低コスト化と選択自由度の向上を目標とした免震システムを導入しており、これらの性能および免震設計の

妥当性を実際の地震で検証するため、1997 年の開所以来地震観測を行っている。

2.1 観測建物と観測方法

写真1に示すように、観測対象の建物は杭基礎・RC造耐震壁付きラーメン構造3階建てであり、平面24m(3スパン)×48m(8スパン)の比較的扁平な形状を持つ。中央部の吹抜けで上部構造は二分されており、1階床レベル以外では大梁のみで連結されスラブは連続していない。短辺中央の短いスパンを1積層ゴムに集約することで27(3×9)基の積層ゴムアイソレータにより支持している。一般部の積層ゴムには冷間接着型²⁾を用いている。ダンパーには鋼棒製(4C-70φ×12基)と鉛製(U-180×8基)の2種類を併用している。

地震観測には、フィードバック型の加速度計を用いており、建物近傍地盤3点(地表、GL-8m、GL-36m)、基礎、1階、屋上に合計24成分設置している。また、耐震構造との比較のため、隣接する実験棟(RC造地下1階・地上3階、一部鉄骨造)の屋上に観測点を設けている。



写真 1 観測建物 左:管理研究棟(免震) 右:実験棟(非免震)

*1 技術研究所 建築技術研究部門

2.2 地震記録

東北地方太平洋沖地震時の加速度最大値を図1に、加速度波形を図2に示す。管理研究棟基礎で最大 300 cm/s^2 程度の加速度が、免震効果により1階では 100 cm/s^2 程度と約40%に低減されている。屋上でも 100 cm/s^2 をやや上回る程度である。隣接する実験棟の屋上では最大 461 cm/s^2 となっており、管理研究棟屋上と比べて3~4倍大きく、免震構造との違いが顕著に見られる。観測開始からの基礎の最大加速度と屋上加速度の増幅率の関係を図3に示す。実験棟では平均1.65倍、基礎加速度が 30 cm/s^2 以上では平均1.49倍であるのに対し、免震の管理研究棟ではそれぞれ平均0.79倍、0.49倍と、入力が大きいかほど免震効果は明瞭となっている。

図4に加速度の積分変位波形から求めた免震層の相対変位軌跡を示す。免震装置はX,Y方向とも最大5~6cm変形している。なお、建物屋上の1階に対する相対変位は最大0.5cm程度であり、変形角では1/3000程度である。

なお、地震時の建物内の状況は、3階資料室の図書が長い揺れによる移動で一部落下したが、2階研究室では不安定な形状の物でも落下・転倒など被害は見られなかった。

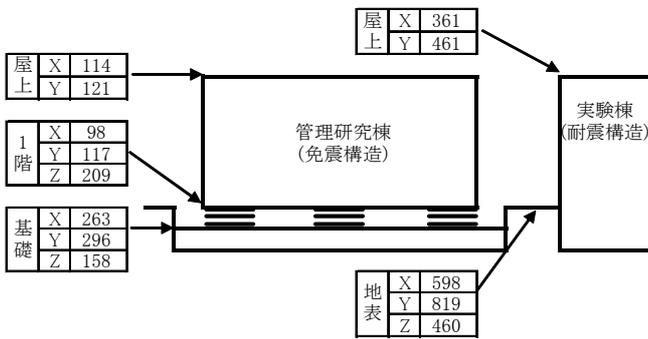


図1 最大加速度 (単位: cm/s^2)

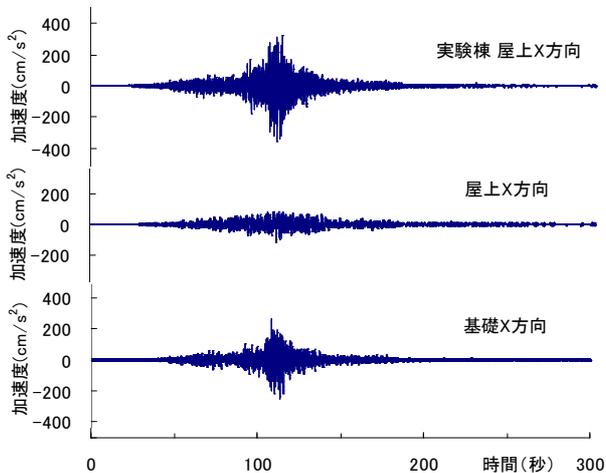


図2 加速度波形 (x方向)

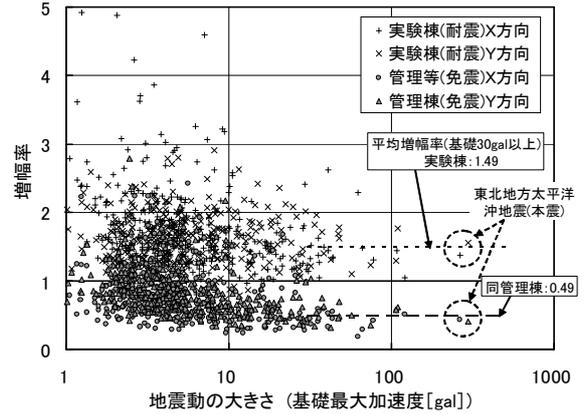


図3 加速度増幅率

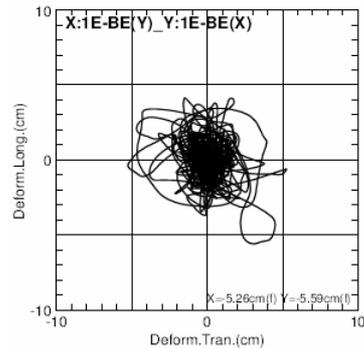


図4 免震層相対変位軌跡

3. 超高層集合住宅

超高層集合住宅の観測記録として、東京都港区と千葉県浦安市にある2つの建物記録を紹介する。



(a) 観測建物1 (b) 観測建物2
写真2 建物外観

3.1 観測建物1

3.1.1 観測建物と観測方法

観測建物1は東京都港区台場に2000年に竣工した地下1階、地上32階建ての超高層住宅である。図5に軸組図と基

準階伏図を示す。基準階階高は3.0m、軒高は103.8mである。RC造のラーメン構造である住居棟に高さ80mの鉄骨造の立体駐車場が隣接している。建築面積は2,381m²、延床面積は36,977m²である。住居棟と立体駐車場を単独で設計した場合、駐車場の変形が大きくなりすぎ、駐車場と住居棟を一体とした場合、駐車場作動時の固体伝搬音が問題となる。そのため、粘弾性ダンパーを連結材として使用している。粘弾性ダンパーはジェン系ゴムで、厚さ15mmの4層構造とし、4~5層ごとに6体、合計30体設置されている。26階(立体駐車場の屋根)は、住居棟の集会室及び庭園となっている。上下接続部は、過大な応力集中を避け、かつ防音防振対策を目的として積層ゴムが採用されている。基礎は直径2mの場所打ち底鋼管コンクリート杭で、全部で45本使われている。

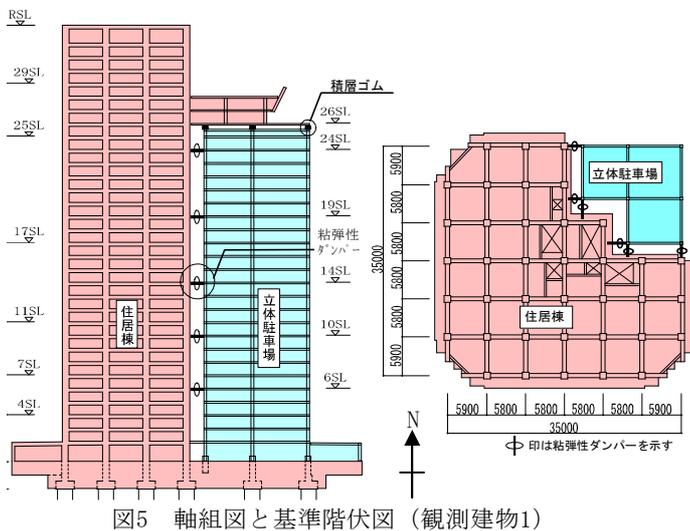


図5 軸組図と基準階伏図(観測建物1)

地震観測は加速度計が9ヶ所(住居棟の屋上2ヶ所、24階、14階、1階、立体駐車場の24階、14階、杭先端(GL-53m)と地表)に1~3成分設置され、全部で22成分である。また、建物間(ダンパー)の変形を計るために24階と14階にあわせて4つの変位計が設置されている。

3.1.2 地震記録

東北地方太平洋沖地震での最大加速度、住居棟と立体駐車場の最大相対変位を表1,2に、東西方向の加速度波形を図6に示す。最大の加速度記録は住居棟屋上(南北方向)の326.8 cm/s²であり、1階の106.5cm/s²に対して3倍程度増幅している。屋上では、長時間にわたり大きな揺れが続いていることが分かる。立体駐車場24階の最大加速度は280 cm/s²程度であり、住居棟24階の160 cm/s²程度と比べ、1.8倍程度大きい。なお、住居棟と立体駐車場の相対変位は最大で8mm程度である。

表1 最大加速度(単位:cm/s²)

| | | 南北 | 東西 | 上下 |
|-------|-----|-------|-------|-------|
| 住居棟 | 屋上 | 326.8 | 294.0 | 103.9 |
| | 24階 | 162.8 | 164.6 | - |
| | 14階 | 197.5 | 197.3 | - |
| 立体駐車場 | 24階 | 278.6 | 287.6 | 108.2 |
| | 14階 | 253.6 | 287.7 | - |
| 地表 | | 132.9 | 136.4 | 66.2 |
| 杭先端 | | - | 46.9 | 32.7 |

杭先端南北方向は機器不調により記録なし

表2 住居棟と駐車場の最大相対変位(単位:mm)

| | 南北 | | 東西 | |
|-----|------|------|------|------|
| 24階 | 8.44 | 2.83 | 6.78 | 3.33 |
| 14階 | 4.00 | 1.69 | 3.05 | 2.08 |

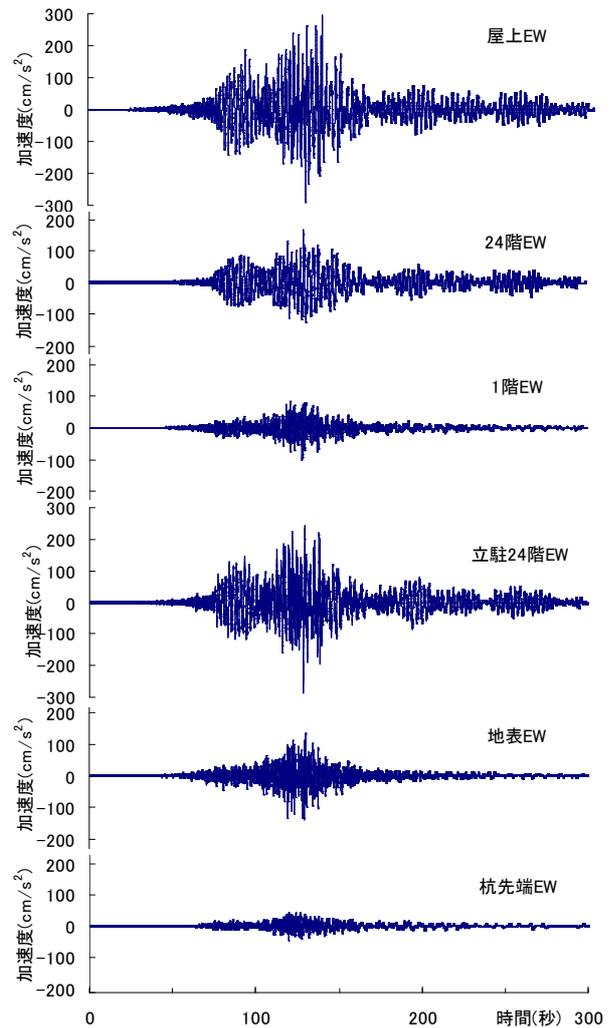


図6 加速度波形(東西方向)

4.1 観測建物2

4.1.1 観測建物と観測方法

観測建物2は千葉県浦安市に1996年に竣工した28階建ての超高層住宅である。図7に軸組図と基準階伏図を示す。RC造のラーメン構造である。基準階階高は2.85m、軒高は81.5mである。X,Y方向ともスパン5.2mの5スパンの平面形状で、

建築面積は826m²、延床面積は18,828m²である。基礎は場所打ちコンクリート拡底杭と地中連続壁杭を併用している。

この建物には加速度計が28階、10階、1階（2ヶ所）と地盤（杭先端レベルGL-50m）のあわせて5ヶ所に1～3成分設置され、全部で12成分である。

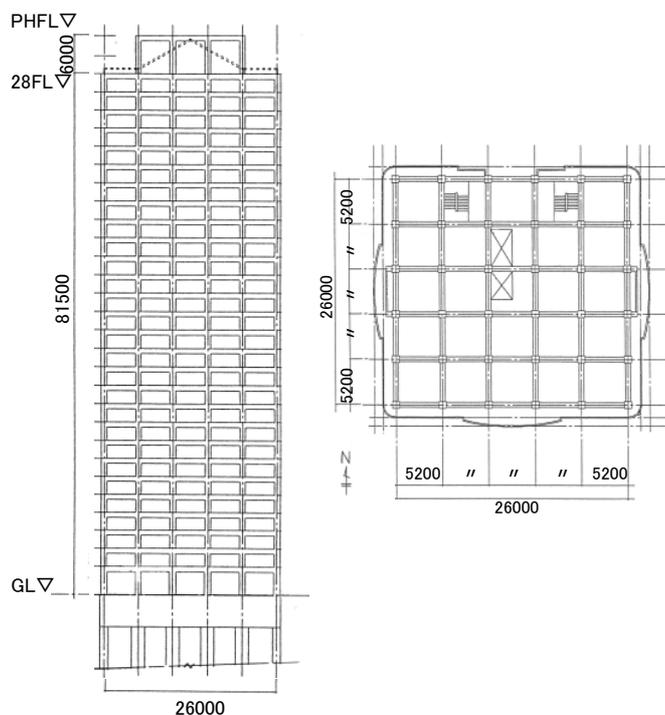


図7 軸組図と基準階伏図（観測建物2）

4.1.2 地震記録

東北地方太平洋沖地震での最大加速度を表3に、南北方向の加速度波形を図8に示す。28階の最大加速度は366.5（南北方向）、264.6（東西方向）cm/s²であり、約90cm/s²である1階の3～4倍に増幅している。この建物でも、長時間にわたり大きな揺れが続いていることが分かる。

図9に観測開始からの屋上最大加速度と1次固有振動数との関係を示す。1次固有振動数は1階に対する28階応答加速度の伝達関数から求めた。今回の地震までは南北、東西方向とも0.6～0.8Hz程度で、加速度が大きくなると振動数は小さくなる傾向を示し、数十cm/s²程度以上で設計値（南北方向0.63Hz、東西方向0.62Hz）と同程度であった。今回の地震およびそれ以後の記録では0.4～0.5Hz程度となっている。

表3 最大加速度（単位：cm/s²）

| | 南北 | 東西 | 上下 |
|-----|-------|-------|------------|
| 28階 | 366.5 | 264.6 | 94.8 |
| 10階 | 181.8 | 143.1 | - |
| 1階 | 90.0 | 93.6 | 46.2, 48.5 |
| 杭先端 | 63.3 | 85.1 | 33.6 |

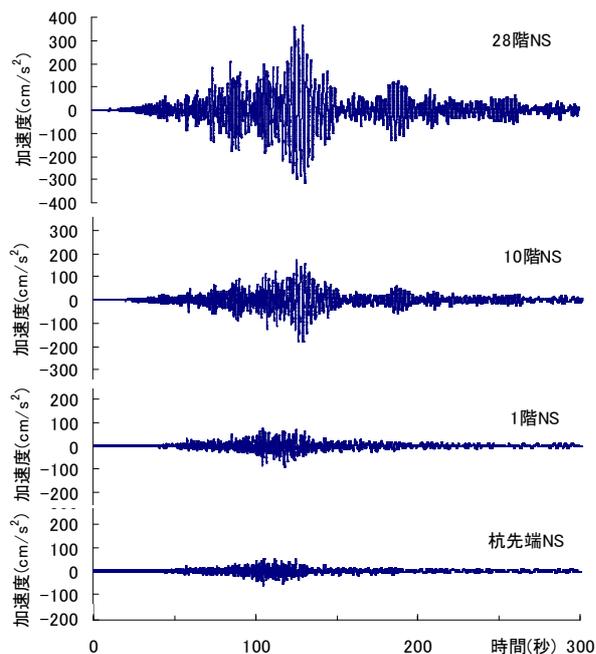


図8 加速度波形（南北方向）

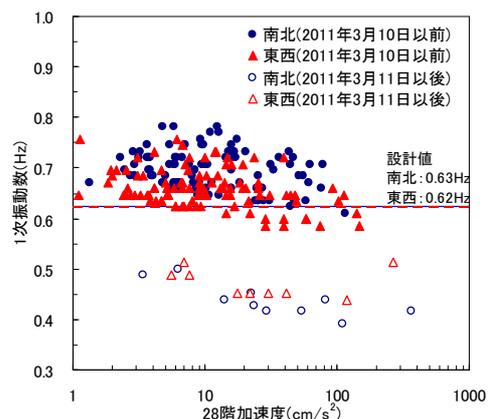


図9 28階最大加速度と1次固有振動数の関係

5. まとめ

免震建物である技術研究所、東京と千葉の2つの超高層RC造集合住宅における東北地方太平洋沖地震での観測記録を紹介した。現在、今回紹介した記録について数値シミュレーションによる検証を行っており、別の機会に報告を行いたい。

最後に、超高層の2つの建物の地震観測は独立行政法人都市再生機構との共同研究として行っている。ご協力いただいた関係各位に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 井川望ほか：高層建物と免震建物の地震観測とその評価、鴻池組技術研究報告、Vol.16、pp.79-84、2006.6
- 2) 岡城寛ほか：冷間接着型アイソレータの実用化 第1,2報、日本建築学会大会講演梗概集、B-2、pp.541-544、1997.9