

2011年東北地方太平洋沖地震による免震改修を施した鉄建本社ビルの挙動

尻無濱 昭三*1

概 要

2011年3月11日14時46分に平成23年(2011)東北地方太平洋沖地震(Mw=9.0,D=24km)が発生し、その後、東日本の太平洋沿岸は、巨大津波により、甚大な被害を被った。また、余震や誘発地震など地震活動が活発化した。

鉄建本社ビルは、鉄骨鉄筋コンクリート造、一部鉄骨造で、建物規模は、地下1階、地上9階、PH3階、軒高31mで、1979年(昭和59年)に竣工し、その後、1999年(平成11年)9月に、本社機能を持つ事務所ビルとしては、国内初の免震改修を施した建物である。地震観測は、免震改修後に免震効果の把握を主目的に開始した。今回の地震では、観測開始以来、最大の加速度記録が観測された。その特徴は、継続時間が長く、長周期成分を含む地震動であったが、免震層(地下1階と地上1階の間)を挟み、建物上部で加速度が低減する免震効果が確認された。免震改修前の耐震構造と比較した場合、1/3~1/4程度の免震効果であることが解析的に確認された。

キーワード：2011年東北地方太平洋沖地震・免震改修・地震観測・免震効果

DYNAMIC BEHAVIOR OF SEISMIC RETROFITTED BUILDINGS USING A
BASE-ISOLATED SYSTEM (TEKKEN HEADQUARTERS BUILDING) DURING
THE 2011 EARTHQUAKE OFF THE PACIFIC COAST OF TOHOKU

Shozo SHIRINASHIHAMA *1

Abstract

The Great East Japan Earthquake (Mw = 9.0, D = 24 km) occurred at 14:46, March 2011, inducing huge tsunami that seriously devastated the East Japan pacific coasts. In the aftermath, seismic activities increased with aftershocks and triggered earthquakes.

The Tekken headquarters building is made of reinforced concrete and partial steel structure. It is composed of one basement and nine stories, three levels of penthouse, and the eaves height is 31 m. The building was completed in 1979, and seismically retrofitted in September 1999. This retrofit is the first attempt for a headquarters office building in Japan. Seismic observation started after the seismic retrofit mainly for evaluating the seismic isolation effect. The Great East Japan Earthquake recorded the largest ever acceleration since the start of observations. The record is featured by a long duration, with long-period components. A significant base-isolation effect was confirmed in the upper part of the building above the insulated floor (between the basement and 1st floor on the ground). Compared with the record before the seismic retrofit, the aseismic effect was analytically evaluated, such that the acceleration response was approximately 1/3 to 1/4.

Key words: 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, seismic retrofit technique, earthquake observation, base-isolated effect

*1 Manager, Architectural Technology Group, Architectural Department, Architectural Division

2011年東北地方太平洋沖地震による免震改修を施した鉄建本社ビルの挙動

尻無濱 昭三*1

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震は、 $M_w=9.0$ という国内の観測史上最大の規模の地震(表-1)であり、断層の破壊領域が、青森県八戸沖から、千葉県の銚子沖の約500km程度とされており、震源からは比較的距離のある関東平野の東京都心部においても、震度5~6の揺れ(表-2)を観測している¹⁾。

鉄建本社ビルでは、1999年9月の免震改修(免震レトロフィット)工事を機に、免震化による建物挙動の把握、構造解析手法の検証などを目的に、地震観測システム²⁾を設置して、継続的に観測を実施している。

これまでに、地震観測システムで観測された加速度記録は、関東地方で発生した地震や震源が遠い2004年10月23日の新潟県中越地震($M=6.8$)など、記録としては、比較的小振幅のものが多く、免震効果を十分に説明できるような記録は観測されていない。今回の東北地方太平洋沖地震は、観測開始以来、最も大きな振幅を記録している。その特徴は、継続時間が長く、長周期成分を含む地震動であったが、免震層(地下1階と地上1階の間)を挟み、建築上部で加速度が低減する免震効果が確認されたことと、本震後に、余震や誘発地震が数多く発生し、多くの記録が観測されていることにある。

本報では、本震記録に着目して、地震動の特徴や免震効果など地震時の建物挙動について速報的にまとめたものである。

2. 対象建物と地震観測システムの概要

2.1 観測建物概要

対象建物は、地下1階、地上9階、塔屋3階の

表-1 東北地方太平洋沖地震の概要

発震時刻	2011年3月11日14時46分18.1秒
震央地名	三陸沖
震源の緯度,経度,深さ	北緯38°06.2',東経142°51.6'
震源深さ	24km
規模(マグニチュード)	9.0(モーメントマグニチュード)

表-2 東京都千代田区の震度

東京都千代田区大手町	震度5強(計測震度5.1)
東京都千代田区麴町	震度5弱(計測震度4.9)

鉄骨鉄筋コンクリート造耐震壁付きラーメン構造で、上部構造の梁の一部が鉄骨造となっている免震レトロフィット建物である。免震装置は、高減衰積層ゴム($\phi 700\sim 900\times 16$ 基)、天然ゴム系積層ゴム($\phi 900\sim 1000\times 8$ 基)、オイルダンパー(8基)を地下1階の柱頭部に設置した中間階免震となっている。建物規模は、軒高31.01m、最高部高さ41.18mで、平面形状が長辺方向[EW方向]30.55m(5スパン)、短辺方向[NS方向]26.55m(3スパン)の矩形平面となっている。基礎構造は、杭径1.1~1.5mの場所打ち鉄筋コンクリート杭で、GL-15mの砂礫層($V_s=400\text{m/s}$ 相当)を支持層としている。

2.2 地震観測システムの概要

地震計はサーボ型の加速度計(水平2成分+上下成分)を地中・地下1階・1階・4階・7階・屋上階の6ヶ所に設置した。図-1に地震計位置を示す。なお、地中地震計は、敷地の制限より建物から約1m離れたGL-25mの深さに埋設してある。

3. 観測された地震動の特性

2011年3月11日の本震の観測記録のうち、NS

*1 建築本部 建築部 建築技術グループ 課長

方向（短辺）のB1F（免震層下部），1F（免震層上部），RFの加速度記録と加速度記録から数値積分した速度記録を図-2に示す。数値積分は，FFTを利用した手法で行い，0.1Hz以下の周波数成分をローカットしている。

加速度の最大値としては，免震層下部のB1Fで110(cm/s²)，免震層上部の1Fで，60(cm/s²)，RFで75(cm/s²)となっている。速度の最大値は，B1Fで16cm/s程度，1Fで17cm/s程度，RFで19cm/s程度となっている。また，速度波形の形状としては，加速度が一旦おさまった，200秒前後から，長周期でかつ継続時間の長い後続波が観測されている。

なお，B1Fの観測記録から計算した計測震度は4.6で，気象庁震度階級の5弱に相当する値

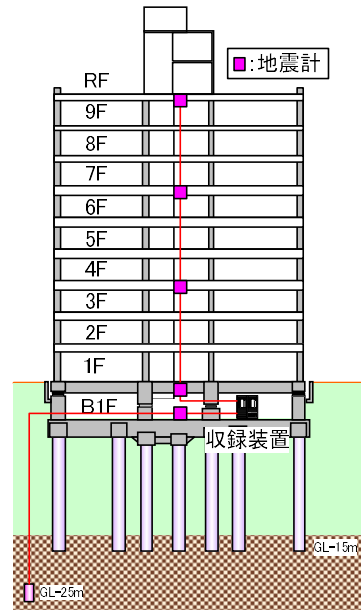


図-1 地震計の配置

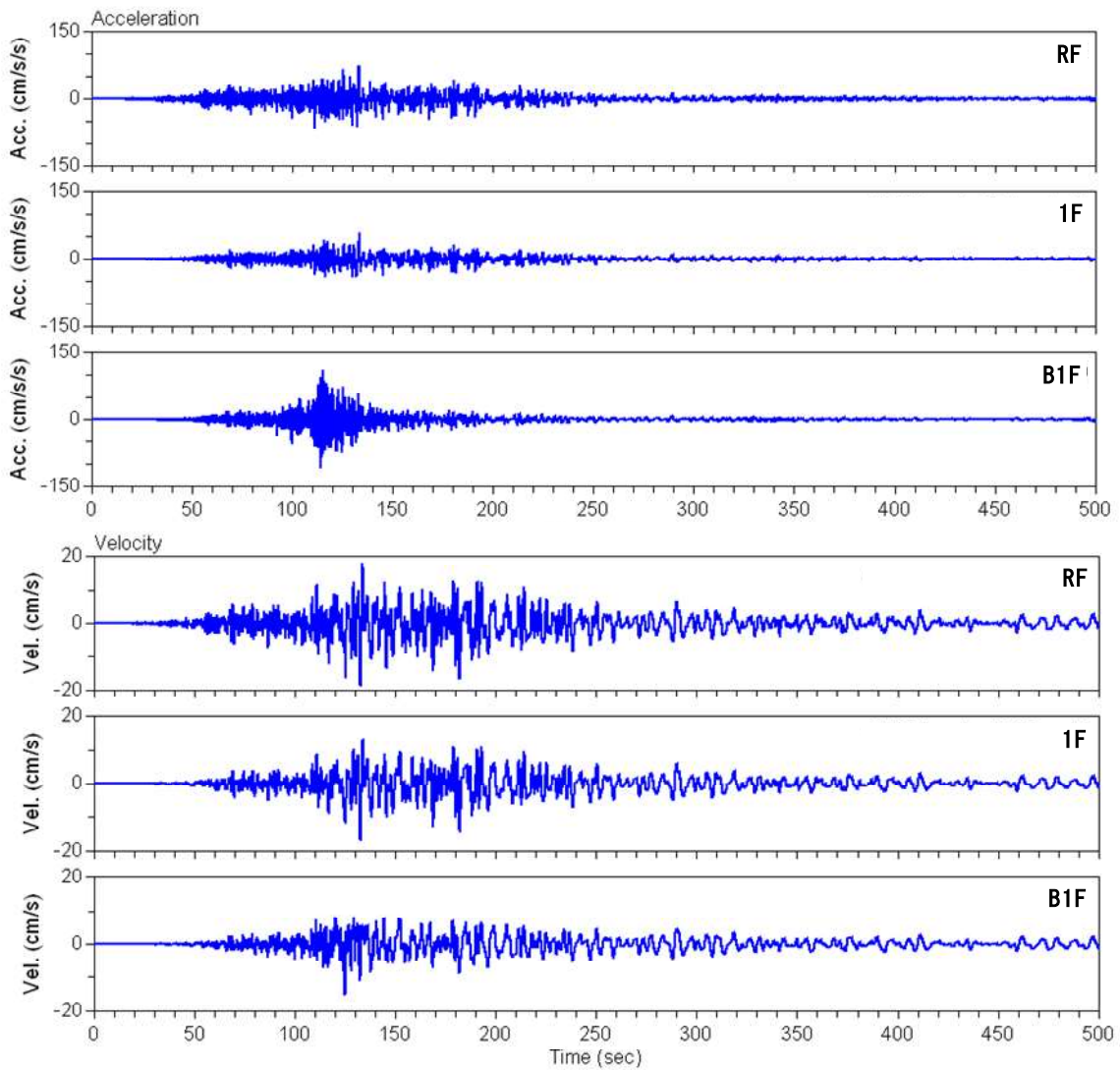


図-2 NS方向の加速度波形（上段）と速度波形（下段）

であった。

工学的基盤 $V_s=400\text{m/s}$ 相当の地盤に設置してある GL-25m 地点の観測記録から、水平方向の擬似速度応答スペクトル（減衰定数 $h=5\%$ ）を図-3に示す。図中には、平成12年建設省告示1461号で規定された工学的基盤位置での設計用スペクトルを示している。また、図中の凡例の「稀」は、稀に発生する地震動、「極稀」は、極めて稀に発生する地震動である。

工学的基盤における地震波は、周期1秒前後を境に、短周期側で、「稀」と同程度の入力レベル、長周期側では速度一定領域となり、その大きさは $20\sim 30\text{cm/s}$ 程度と、「稀」の設計用スペクトルレベルを超え、「極稀」には至らない入力レベルであったことが分かる。

4. 建物の振動特性

観測された加速度波形を用いて、免震改修前の耐震構造時の応答を解析的に試みる。解析は、免震改修時の振動モデルをから、免震層を省いた基礎固定の質点系解析モデルとして、入力地震動は、今回の地震の特徴である継続時間が長く、長周期成分を含んでいるため、解析モデルによる方向の差異を確認するために、B1Fで記録された加速度記録を NS,EW の方向別に個別に入力した。

図-4に NS 方向の解析結果を示す。図中には、地震観測記録によって得られた免震建物としての最大加速度分布も併記してある。

観測値に基づく加速度分布は、1Fで加速度が低減し、1FからRFまで、最大加速度は、 100cm/s^2 以下と増幅は見られないが、耐震構造モデルの場合は、上階部分では、 300cm/s^2 を超える加速度応答が解析的に確認され、免震化による効果としては、耐震構造に比べ、 $1/3\sim 1/4$ 程度の加速度低減効果があることが、解析的に確認できる。

5. 本震時の建物の状況

本震時および本震後の建物室内の状況および

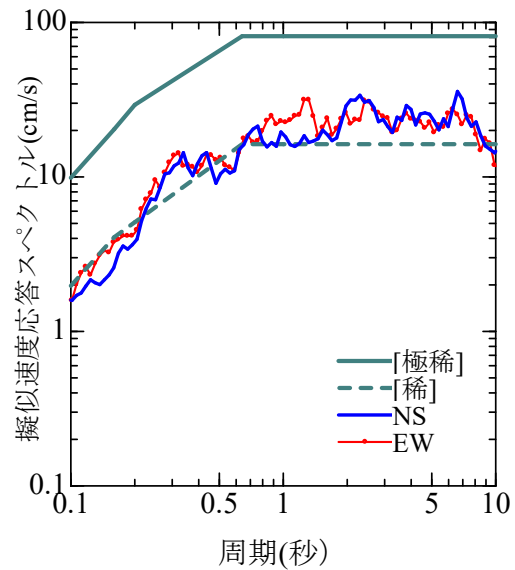


図-3 工学的基盤における
擬似速度応答スペクトル ($h=5\%$)

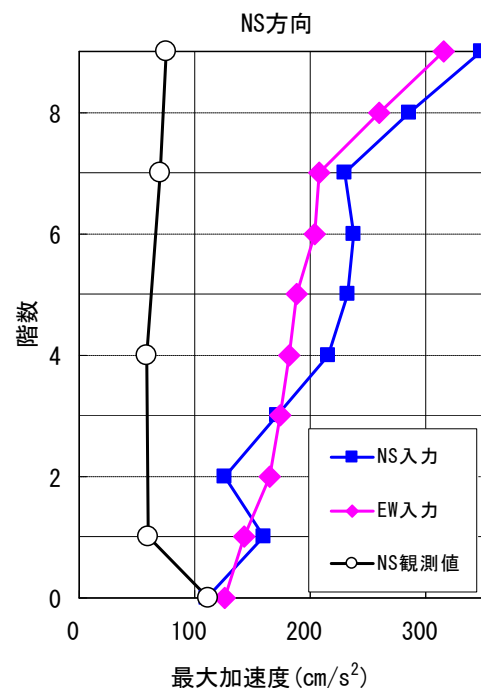


図-4 基礎固定モデルにおける
最大加速度分布

直後に実施した臨時点検時の状況を示す。

写真-1に本震後の室内の状況（4F）を示す。ロッカーの移動やロッカー内の書類の落下

など、見られなかった。

写真-2に、1Fのエントランス部分の免震蓋（EXP.Joint部）の状況を示す。この免震蓋は、地震時に蓋部分が跳ね上がって、建物の動きに追従するタイプであるが、本震直後の臨時点検では、蓋自体の動きを示す跡など確認できなかったが、目立った損傷は見られなかった。なお、本震時の免震層の変位は、変位記録から最大7cm程度であったことは確認している。

写真-3に免震部と既存部（耐震部）の取り付け部分の状況を示す。**写真-3**は、1F（免震部）とB1F（耐震部）の踊り場部分で、免震化工事によって、切断した場所にあたる。その目地部の動きによって、擦れた跡が確認された。

その他、建物には、目立った損傷は確認されていない。

6. まとめ

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震時に記録された強震記録（本震）から、免震改修された鉄建本社ビルの地震時挙動について、観測記録の概要と解析結果に基づく免震効果の確認を行った。以下に得られた知見を述べる。

- (1)工学的基盤（ $V_s=400\text{m/s}$ 相当）における地震動の強さは、建築基準法に基づく告示の「稀に発生する地震動」を超えるレベルであった。
- (2)免震層を挟んで、加速度が低減する免震効果が得られた。
- (3)耐震構造と比較すると、免震化したことによる効果は、加速度応答で1/3～1/4程度あることが、解析的に確認された。
- (4)本震後の臨時点検においても、建物に目立った損傷は確認されず、発災直後から、地震対策本部立ち上げなど、本社機能を維持できた。

なお、本震後の余震の観測も含めた報告は、別の機会に行いたい。観測システムの維持管理にご理解を頂いている関係各位に謝意を表します。



写真-1 本震直後の室内の状況（4F）



写真-2 本震後のエントランス部の免震蓋（EXP.Joint部）の状況

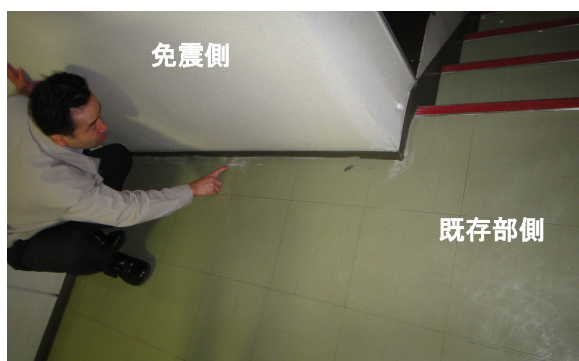


写真-3 1F-B1F階段踊り場の擦れ跡

参考文献

- 1) 気象庁：平成23年3月、4月地震・火山月報（防災編）、2011
- 2) 林 郁夫, 尻無濱昭三, 中島康雅, 中村 豊：本社ビルの地震観測システム，鉄建技術研究報告, No.14, 鉄建建設株式会社, pp.39-43, 2000