

岩手宮城内陸地震の建物被害調査報告

山田真澄*・福島康宏**・末富岩雄**

*京都大学次世代開拓研究ユニット

**株式会社 エイト日本技術開発

要 旨

2008年岩手宮城内陸地震では、東北日本を中心に強い短周期の揺れを観測し、KiK-net 一関西観測点ではこれまでの強震記録で最大となる 3866cm/s^2 （上下成分）を記録した。このように、強い上下方向の加速度が与える建物被害について明らかにすることは、今後の耐震性能を考える上で重要な情報になると考えられる。我々は、地震発生直後に震源域近傍で建物被害調査を行った。本報では、 1g 以上の加速度を記録したKiK-net一関西観測点と、KiK-net東鳴瀬観測点、K-NET樺台観測点を対象として、短周期の鉛直地震動が建物被害に与える影響について報告する。

キーワード：岩手宮城内陸地震、建物被害、短周期地震動、被害調査

1. はじめに

2008年6月14日8時43分45秒に発生した岩手宮城内陸地震（ M_w 6.9, M_{jma} 7.2）では、東北日本を中心に震度6強に及ぶ強い揺れを観測し、地滑りや道路構造物、建物などに大きな被害をもたらした。この地震は浅い地殻で発生した内陸型地震で、震源地は岩手県南部の一関市付近（北緯39.03度、東経140.88度、深さ 8 km）である。この地震では比較的短周期成分が卓越しており、KiK-net一関西観測点では、これまでの強震記録で最大となる 4022cm/s^2 （3成分合計）を記録した。

我々は、地震発生当日から6月16日までの3日間と、7月12日から13日までの2日間に渡って建物の被害調査を行った。1回目の調査では、全体的な被害を確認するため、岩手県南部と宮城県北部の強震動を記録した地域を中心に調査した。2回目の調査では、本震で 4g を超える加速度を記録したKiK-net一関西観測点（IWTH25）周辺と秋田県南部の被害調査を行った。1回目の調査時は祭時（まつるべ）大橋の落橋（Photo 1参照）のために東西方向の交通が遮断されており、KiK-net一関西観測点へのアクセスができなかったが、約2週間後に迂回路が整備されたため調査が可能となった。

これまで、上下方向の短周期地震動が建物に与え

る影響については、数々の既往研究があるものの（Papazoglou, 1996）、強震観測史上最大となる加速度が与える建物被害について明らかにすることは、今後の耐震性能を考える上で重要な情報になると考えられる。本報では、 1g 以上の加速度を記録したKiK-net一関西観測点（IWTH25）の被害と、KiK-net東鳴瀬観測点（AKTH04）とK-NET樺台観測点（AKT023）の観測記録の比較を中心に、短周期の鉛直地震動が建物被害に与える影響についての報告を行う。



Photo 1 Collapse of the Maturube bridge

2. 強震動記録

岩手宮城内陸地震の強震動記録は防災科学技術研究所のK-NET, KiK-net, 気象庁の震度ネットワークなどで観測されている。Fig. 1に最大地動速度分布, Fig. 2に最大地動加速度の分布を示す（どちらも3成分ベクトル和の最大値）。

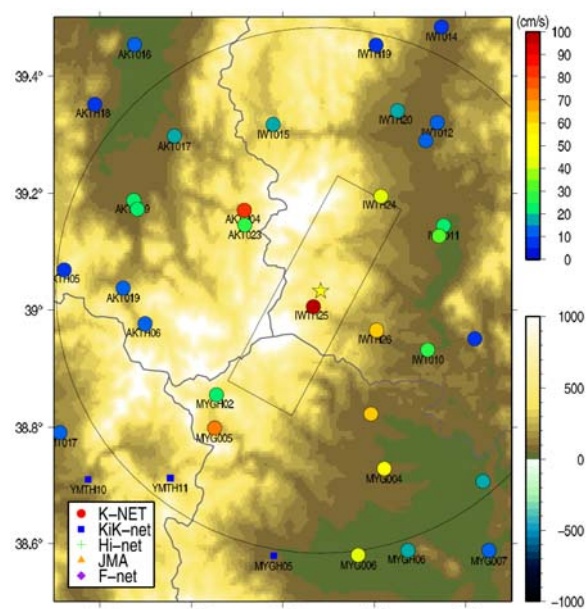


Fig. 1 Peak ground velocity distribution in the near-source region during the mainshock. The basemap shows geographical altitude.

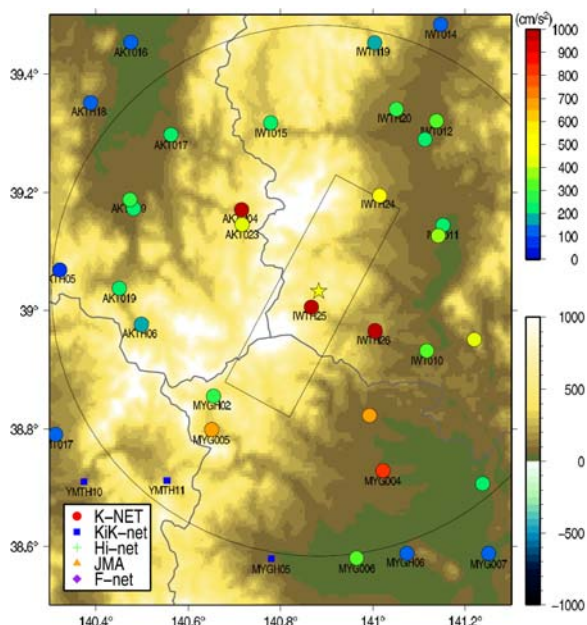


Fig. 2 Peak ground acceleration distribution in the near-source region during the mainshock

断層破壊はF-netのモーメントテンソル解によれば走向209度, 傾斜角51度で南北両方向に進んでおり, 断層面のサイズは長さ42km, 幅20km程度である(Fig 1参照, 鈴木ら, 2008)。最大地動速度はKiK-net一関西観測点 (IWTH25) とKiK-net東鳴瀬観測点 (AKTH04) で80 cm/sを超えている。

この地震では比較的短周期成分が卓越しており, これが大きな地動加速度を生み出す原因となった。断層面から近い観測点 (IWTH25, IWTH26, AKTH04) では1000cm/s²を超える加速度が記録された。特に, IWTH25 で4gを超える加速度（3成分合計で4022cm/s²）を記録したことは特徴的である。この記録はこれまでの強震動記録の最大値を更新するものであり, 上下方向の非対称なパルスという特徴的なフェーズが見えていることも議論の対象となった (Aoi et al., 2009, Yamada et al., 2009)。

次節では, 最大加速度が1000cm/s²以上を記録した3つの観測点 (IWTH25, IWTH26, AKTH04) について, 地震動と建物被害の関係を説明する。

3. 観測記録と建物被害との関係

3.1 KiK-net一関西観測点 (IWTH25)

KiK-net一関西観測点は, 震源から約3km南西の方角にあり, 河岸の段丘面に設置されている (Photo 2 参照)。観測記録は, 上下動加速度記録が3866 cm/s²と水平動に比べて2倍ほど大きくなっている (Fig 3 参照)。このように短周期成分が卓越した上下方向の地震動が被害に与える影響について調べた。

上下方向の地震動は, 水平方向に比べるとそれほど甚大はないものの, 多くの被害をもたらしたことが過去の被害地震から報告されている (例えば, Papazoglou, 1996)。我々は, KiK-net一関西観測点周辺の祭時集落を調査し, 構造物被害の詳細を調べた。祭時集落には被災当時7世帯18人が住んでおり (河北新報, 2008), 13棟の木造建物があつた。我々は, 集落のすべての木造建物を調査し, 岡田・高井による木造建物被害パターンを参考にして被害度をD0-D5で分類した。ここでは, D0:被害なし, D1-D2:構造に影響を与えないような被害 (小破), D3:構造に影響を及ぼす程度の被害 (中破: Photo 3), D4-D5: 建物が倒壊または傾斜するほどの被害 (大破: Photo 4) と定義する。なお, 室内の被害は確認できなかったので評価の対象とはしない。

Fig. 4 はKiK-net一関西観測点から400m以内にある13棟の木造建物の被災度を示したものである。母数が少なかったため, 建物の中には神社 (1棟) と空家 (2棟) も含まれている。D4以上の被害を受けた建物を全壊と定義すると, 全壊率は約23%である。



Photo 2 KiK-net station IWTH25 (white box in the middle) is located on the river terrace.



Photo 4 A totally collapsed house near the station IWTH25

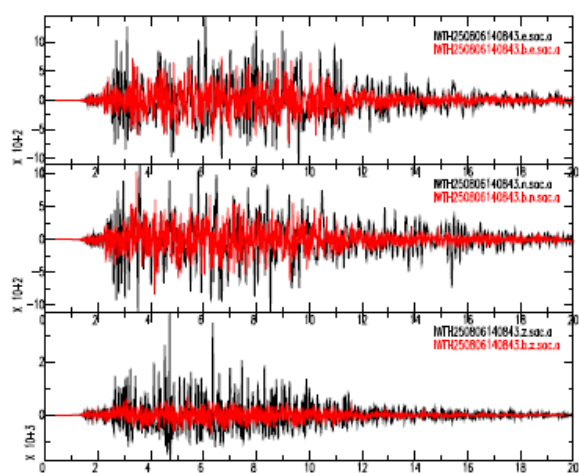


Fig. 3 Acceleration records at the IWTH25 in EW, NS, and UD direction from top. The red and black lines are records at the borehole and surface, respectively.



Photo 3 A severely collapsed house near the station IWTH25

Fig. 5は過去の大地震（1995年兵庫県南部地震, 2000年鳥取県西部地震, 2004年新潟県中越地震, 2007年能登半島地震）の木造建物の全壊率と最大地動速度との関係を示した建物被害率曲線である。本地震での建物調査はサンプル数が少ないためデータの信頼性には欠けるが、概ね2000年鳥取県西部地震や2004年新潟県中越地震と同じ傾向を示している。今回の地震の被害率は1995年兵庫県南部地震よりも極めて小さくなっているが、これは地震動や建築構造の違いの影響と考えられる。今回の地震では短周期成分が卓越し、木造建物の倒壊に影響を与えるディレクティビティパルスの影響が小さかったこと、積雪地帯なので瓦屋根が少なかったことなどが原因の可能性として考えられるが、因果関係の解明にはより詳細な検討が必要である。

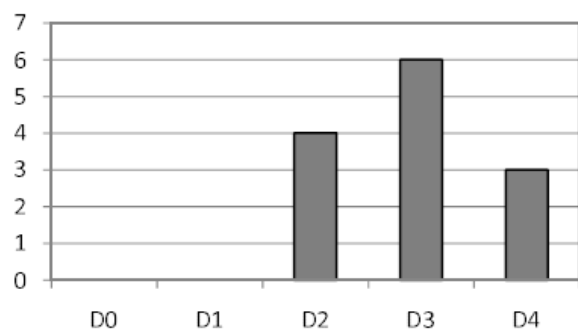


Fig. 4 Damage of the wooden structures around the station IWTH25. The damage greater than D4 is defined as "totally collapsed"

建物被害には短周期成分に特徴的な被害が表れている。Fig. 6は祭時集落の建物のどの部材が被害を受けたかを示したものである。基礎・窓・壁の被害はほとんどの建物で確認できた。構造材（柱や梁）の被害は外見からはそれほど確認できなかった。一般

に、屋根瓦の被害は短周期成分の卓越する地震動ではよく見られるが、今回は積雪地帯で瓦屋根が少なかったため、他の部材と比較すると低い被害率であった。非構造物（パイプ、手すり、機械部品、トイレや風呂などの陶磁器）の被害も非常に多く観察できた（Photo 5,6,7参照）。また、住民へのヒヤリングから、地震時に車が跳ねながら移動していたとの情報を得た。これらの現象は短周期の鉛直地震動が卓越していたことと整合する。

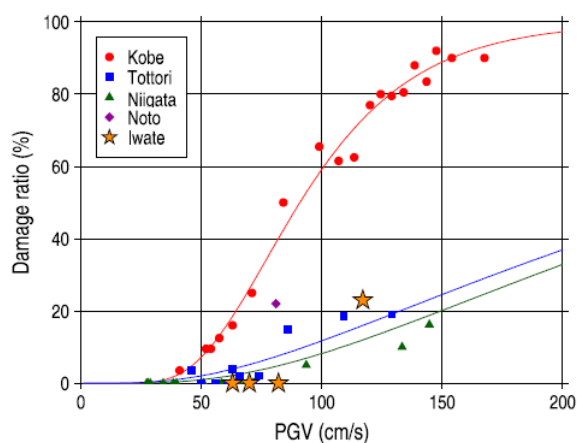


Fig. 5 Fragility curves of totally collapsed wooden houses for different earthquakes

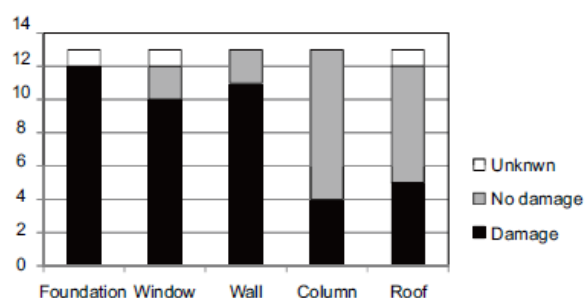


Fig. 6 Damage detail of the wooden structures near the IWTH25



Photo 5 Damage of the non-structural element (ceramics) near the station IWTH25



Photo 6 Damage of the non-structural element (pipes) near the station IWTH25



Photo 7 Damage of the non-structural element (walls) near the station IWTH25

3.2 KiK-net東鳴瀬観測点（AKTH04）とK-NET樺台観測点（AKT023）

KiK-net東成瀬観測点（AKTH04）は、震源から20kmほど北東方向に位置する。Photo 8に見られるように、急な崖（Photo 9参照）の上の広場の端に設置されている。本震時の最大地動加速度は 2500cm/s^2 を超え、最大地動速度も 80cm/s を超えている。

K-NET樺台観測点（AKT023）は、KiK-net東成瀬観測点から3kmほど南下した廃校となった小学校の敷地内にある（Photo 10参照）。AKTH04と非常に近接しているにも関わらず、本震の最大地動速度は 30cm/s 程度と、AKTH04と比較すると半分以下である。

AKTH04とAKT023のEW成分加速度記録をFig. 7に、フーリエ振幅スペクトルをFig. 8に示す。黒色がAKT023、赤色がAKTH04の地中記録（設置深度100m）、緑色がAKTH04の地表記録である。AKTH04の地表記録は、地中記録と比較して長周期での増幅は小さいものの、2-10Hzで大きく増幅し、時刻歴での最大振幅も10倍程度になっている。また、AKTH04の地中記録とAKT023の記録は、フーリエ振幅スペクトルで

もそれほど変化がないことがわかる。以上のことから、AKTH04の観測点では、急な崖の上という地形による増幅が大きいことがわかる。



Photo 8 KiK-net station AKTH04 is located on top of the hill



Photo 9 A hill where KiK-net station AKTH04 is located



Photo 10 K-NET station AKT023 is located in the backyard of a closed elementary school

このことを確認するために、AKTH04の設置されている崖の上（AKTH04の前）と崖の下の国道342号と397号の交差点付近、さらにAKT023の前で微動計測を行い、H/Vスペクトルを計算した。Fig. 9に結果

を示す。この図においても、AKTH04の設置されている崖の上と下では2-10Hzのスペクトルが大きく異なっており、崖の下とAKT023のスペクトルはあまり変化がないことが分かる。

KiK-net, K-NETのボーリング調査の結果では、AKTH04観測点では、表層20mほどに比較的軟らかい層が堆積しており、その下に $V_s=980\text{cm/s}$ の固い地盤が存在する。AKT023観測点のボーリング調査では、深さ4mで岩盤が露出しており、基盤に達するまでの上層の厚さが異なっていることがわかる。

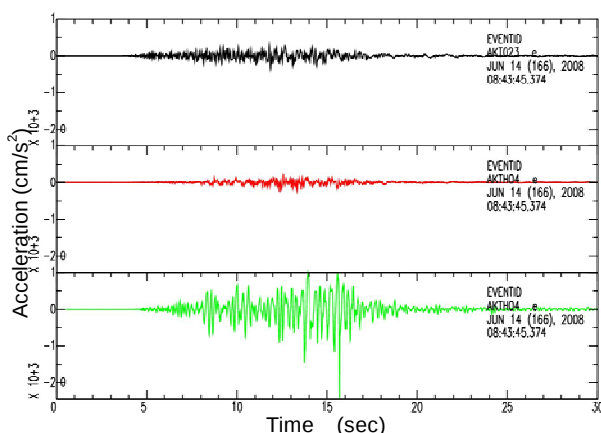


Fig. 7 Acceleration waveforms of EW components for stations AKT023, AKTH04 (borehole) and AKTH04 (surface) from top (unit: cm/s^2)

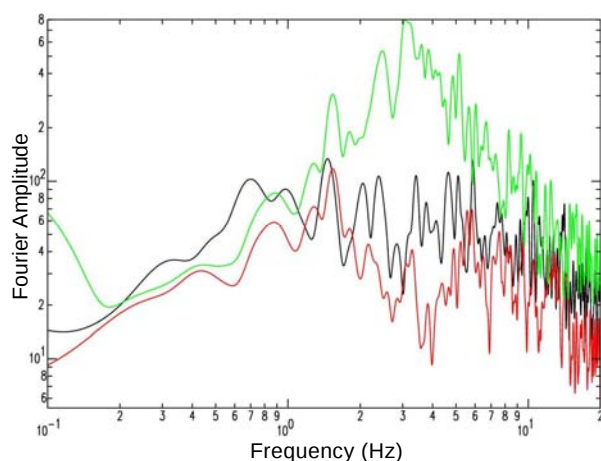


Fig. 8 Fourier amplitude spectrum of EW acceleration for stations AKT023 (black), AKTH04_borehole (red) and AKTH04_surface (green)

AKTH04観測点のすぐ近くには民家はなく、崖の下の家屋にも特に被害は見られなかった。AKT023観測点近傍では、劣化した土蔵の壁が大きく剥落していた（Photo 11参照）。周辺の住宅では、障子が破れたり基礎にクラックが入ったりする等の軽微な被

害は発生したが（Photo 12参照），構造物の耐震性を著しく低下させるような甚大な被害は発生していない。被害調査の結果を見ても，観測点周辺の被害はそれほど大きくはなく，80cm/sを超えるAKTH04の地震動は，地盤増幅の影響を受けていたことが分かる。

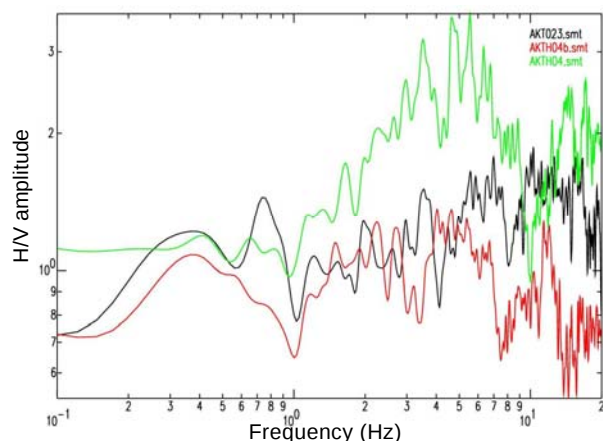


Fig. 9 H/V spectrum of acceleration at station AKT023 (black), crossing under the hill where the AKTH04 is located (red) and station AKTH04 (green)



Photo 11 A storage with mud plaster wall near the station AKT023.



Photo 12 A damage on the paper screen near the station AKT023.

4. おわりに

我々は，2008年岩手宮城内陸地震の被災地域で建物の被害調査を行った。地震動と建物被害の関係について，得られた結論を以下に記述する。

- ・KiK-net一関西観測点で観測された短周期の地震動が構造物に与える被害は，サンプル数が少ないので確定的なことは言えないが，過去の大地震と比較して極めて小さかったとは言い難い。
- ・KiK-net一関西観測点の地震動は短周期成分が卓越しているので，基礎の被害，パイプなどの非構造物の被害が目立っていた。
- ・最大地動速度80cm/sを記録したKiK-net東鳴瀬観測点の地震動は，崖の上という地盤の影響を大きく受けている。

謝 辞

本稿は，防災科学技術研究所のK-NET，KiK-net，気象庁の強震観測記録を使用している。被害調査には著者の他に，防災研究所後藤浩之助教にご協力いただいた。東鳴瀬村の微動計測は，(株)ニュージェック山田雅行氏，(株)ニュージェック羽田浩二氏にご協力いただいた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 河北新報（2008）：避難生活，きずな強く 集落ぐるみの“移住”要望，<http://jyoho.kahoku.co.jp/member/backnum/news/2008/06/20080619t33012.htm>
- 鈴木 亘，青井 真，関口 春子（2008）：近地強震記録による平成20年（2008年）岩手・宮城内陸地震の震源インバージョン，http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/topics/Iwatemiyaginairiku_080614/inversion/index.html.
- Aoi, S., Kunugi, T., and Fujiwara, H. (2008) : Trampoline Effect in Extreme Ground Motion. Science Vol.322, No.5902, pp 727.
- Papazoglou, A. and Elnashai, A. (1996) : Analytical and field evidence of the damaging effect of vertical earthquake ground motion, Earthquake Engineering & Structural Dynamics, Vol.25, No.10, pp. 1109-1137.
- Yamada, M., Mori, J., and Heaton, T. (2009) : The Slapdown Phase in high Acceleration Records of large earthquakes. Seismological Research letters, No.80-4.

Building damage during the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku Earthquake

Masumi YAMADA*, Yasuhiro FUKUSHIMA**, and Iwao SUETOMI**

* Kyoto University

** Eight-Japan Engineering Consultants Inc.

Synopsis

This paper focuses on the relationship between the ground motion and the structural damage during the 2008 Iwate-Miyagi Nairiku earthquake. We performed a damage survey around the strong motion stations, and found out the damage to the wooden structures caused by the large vertical acceleration. Our conclusions are as follows: 1) the damage caused by high-frequency vertical ground motion cannot be very small, compared to the damage of other major earthquakes. 2) non-structural damages are frequently observed around the station IWTH25. 3) the large ground motion at the station AKTH04 is caused by local site effect.

Keywords: Iwate-Miyagi Nairiku earthquake, structural damage, high frequency ground motion, damage survey