

2008 年岩手・宮城内陸地震で観測された特異な強震記録の解析

東京工業大学大学院 学生会員 ○山田 雅人
 五洋建設 正会員 水野 剣一
 東京工業大学大学院 正会員 大町 達夫
 東京工業大学大学院 正会員 井上 修作

1. 背景・目的

2008年6月14日午前8時43分、岩手・宮城内陸地震(Mj7.2, 震源深さ約8km)が発生した。この地震で断層直上のKiK-net一ノ関西観測点の地表において最大4022 cm/s^2 の上下動加速度を記録した。この記録は、上下動の最大加速度が、水平動に比べ2.7倍で、さらに上下動非対称の非常に特異な波形となっている。そのときの地表と地下260mの三成分の記録を図1に示す。この記録について既往の研究では、Aoi et al. (2009)*は、地表面で大加速度を受けた地盤が、粒子状に振る舞ったという『トランポリン効果』による、と主張している。しかし、これらは波形の非対称性については言及しているものの、約4000 cm/s^2 の大加速度の発生原因や水平動などとの関連性については言及しておらず、未だに詳細な発生機構については結論付けられていないのが現状である。これらの疑問点を解決することは、耐震設計、地震防災上非常に重要である。

2. Kik-net 観測点と本震の強震記録

1) 一ノ関西観測地点と観測小屋の概要

一ノ関西観測点は図3(上)のような人工的に造成された小段上に位置している。地震計は図3(右)に示す小屋内と、地下260mの深さの2箇所に設置してある。又、この地震計は小屋上部と地震計設置基礎の縁切りがされておらず、地震計の記録には小屋の慣性力の影響がかなり含まれていると考えられる。

2) 本震時の記録の解析

本震の記録を見ると以下の特徴があげられる。①上下動の上向き最大加速度は3866gal, 下向きには最大1722galである。②水平動の最大加速度は1436galと水平動もかなり大きい。③上向きには振幅は大きい継続時間が短く、下向きにはその逆である。④上向き成分の大加速度のピークと水平成分のピークが重なる。(図2矢印部)特に上向きに3866 cm/s^2 を観測した時刻付

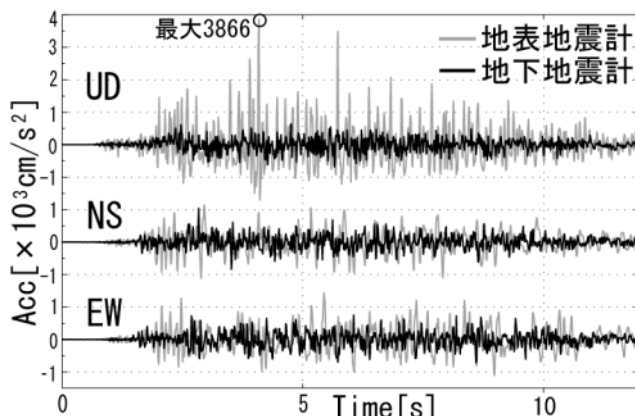


図1 本震における一ノ関西観測点の観測波形

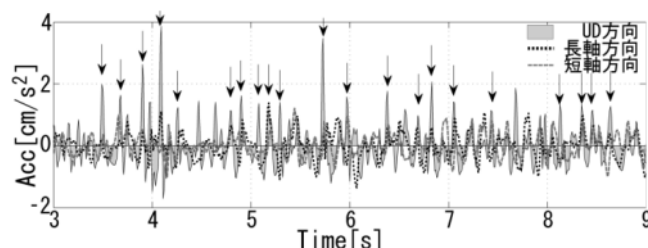


図2 非対称部分拡大図(水平方向は小屋の軸に変換)

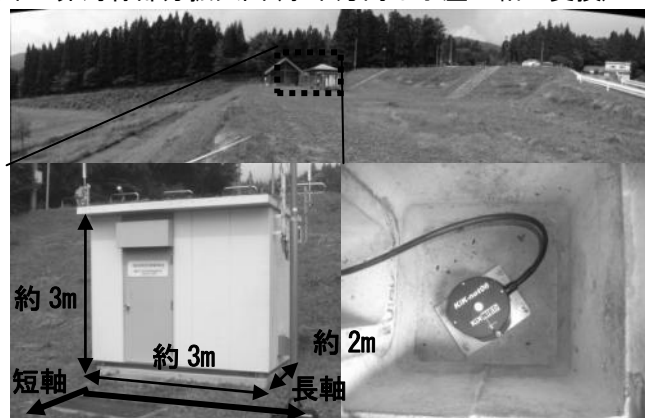


図3 Kiknet 一ノ関西(上, 左), 地震計写真(右) (2008/08/20撮影)

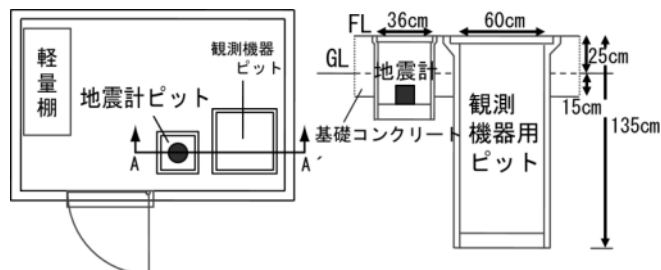


図4 観測小屋平面図(左)とA-A'断面(右)

キーワード 岩手宮城内陸地震, KiK-net 一ノ関西, 上下非対称, ロッキング現象, 不連続有限要素解析
 連絡先: 〒226-8502 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259-G3-2 東京工業大学大町研究室 TEL045-924-5605

近では、長軸方向とピークの重なりが確認できる。⑤-260mの地下地震計の記録では、③、④のような特徴はなく、対称的である。以上の特徴から、この特異な波形を発生したのは地表付近であると考えられる。そこで、これらの特徴を説明できるような現象として、観測小屋の『浮き上がり伴うロッキング現象』を考える。

3. 浮き上がりを伴うロッキング現象の原理実験

地盤、小屋模型を用いて図5(左)のような一軸水平振動台による原理実験を行った。図5(右)のように小屋模型の底面の中心に加速度計をつけ、振動方向に正弦波で振動させ、上述のロッキング現象を発生させる。なお、地盤模型には実際の小屋の基礎の埋め込みを考慮し、小屋の底面形に沿って3cmの埋め込みがしてある。

図6は最大加速度900gal-3Hzの正弦波で振動させた時の小屋模型内部の地震計の加速度波形である。本震における観測結果同様に、鉛直方向は非対称性があり、さらに、上向きパルスが発生する時刻に水平動にもピークがある。しかし、実験はこの現象の原理実験であり、小屋模型の相似則については留意してなく、さらに、入力水平方向のみである。そのため、実際の小屋に近いモデルを考慮するために次章では小屋と地盤の不連続有限要素解析を行った。

4. 小屋と基礎の不連続有限要素解析

本震時小屋の浮き上がりで地盤との接触を考慮するために、有限要素法の接触法を用いて、二次元地震応答解析を行った。解析プログラムには汎用ソフトABAQUSを用い、解析モデルを図7に示す。地中地震計の波形を用い、地盤の伝播速度の低下を考慮した一次元重複反射理論により、地表面における加速度波形を求め、その波形がモデルの地表にて再現されるように、モデル底部に地震動を入力している。厳密には各層の地盤の非線形性を時々刻々評価する必要があるが、詳細なデータが存在しないので、ここでは約4000cm/s²を観測した4s付近での記録に着目し、再現を試みた。

解析結果の小屋モデル内の基礎上面における加速度時刻歴波形を図8に示す。上下動の約4000cm/s²を記録した4s前後では観測は形と小屋内の計算波形と小屋内の計算波形がよく一致している。

5. まとめ

4022 cm/s²の大加速度を記録した、断層直上のKiK-net一ノ関西観測波形について、現地調査、並びに詳細な解析を行なった。その結果、小屋の浮き上がりを伴っ

たロッキングによって、一ノ関西の上下動記録の非対称性、及び約4022 cm/s²の大加速度記録を再現できることを確認した。このことから、一ノ関西で観測された特異な強震記録は、実際の地震動を反映したものではなく、小屋の地震応答を記録した加速度であったと考えられる。

謝辞

本研究では防災科学研究所KiK-netの強震記録を使用しました。又、同研究所、青井氏、先名氏には、観測小屋の詳細な資料をいただいた他、様々な有益な情報を頂きました。記してここに御礼申し上げます。

参考文献

*Shin Aoi, Takashi Kunugi, and Hiroyuki Fujiwara: Trampoline Effect in extreme Ground Motion, Science, 322, 727-730, 21 October 2008



図5 振動台図(左)、地震計設置位置(右)

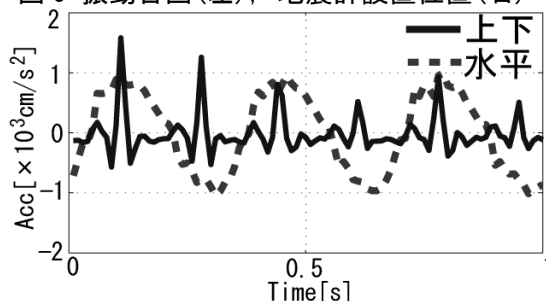


図6 最大加速度900gal-3Hz入力時の加速度波形

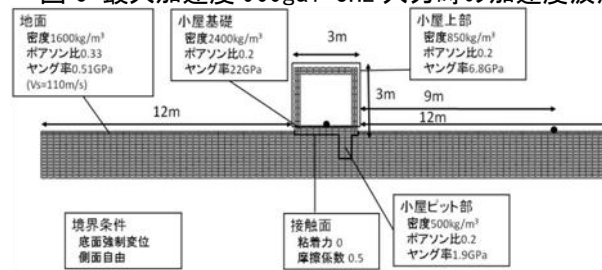


図7 有限要素モデルの概要

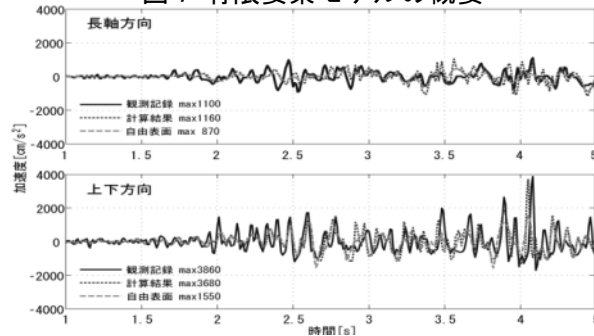


図8 観測波形、計算波形の比較