

2011年4月1日に秋田県北部で起きた地震の強震動評価用震源モデル*

弘前大学 片岡俊一

地震地盤研究所 福元俊一

1. はじめに

2011年4月1日19時49分に秋田県内陸北部で発生した地震では、大館市早口で震度5強が観測され、軽微な被害が出た¹⁾。この地震の震央は北緯40°15.41′, 東経140°21.84′, 深さ12kmであり、マグニチュードは5.0とされている²⁾。

この地域は一般的に地震活動度が低く、1997年10月以降、今回の地震の震央付近(約20km四方)ではM3.0以上の地震は発生していない²⁾。しかしながら、1923年8月以降の活動を見ると、今回の地震の震央付近(約70km四方)ではM5.0を超える地震が時折発生している。1955年に今回の地震の震央の西方約20km地点で発生した地震はマグニチュード5.9であり、被害を伴った。

今回の地震では、図1に示すように震源近傍でも多くの地震記録が方位分布よく得られている。直下の地震による長大構造物の応答を考えると、震源から射出される波動が有する放射特性により入力する地震動が様でないことが考えられる。さらに、震源近傍であることから、一般に仮定されている平面波入射の妥当性も確認されている訳ではない。また、震源近傍にある長大構造物は断層滑りに伴う残留変形の影響も考えられる。現在では数値計算でこのような影響を確認することはできよう。しかしながら、一般的なモデルではパラメータが数多くあることから、影響評価は容易でない。一方、現実の結果に基づいた計算の方であれば、よりイメージを描きやすいと思われる。そこで、今回の地震を対象に、地震動観測地点とその近傍で、地震動がどの程度変化するかを検討することを考えた。そのためにまず、観測記録をある程度再現できる震源モデルを作成し、ついで観測点と観測点近傍の地震動を理論計算で求め、両者を比較検討することを

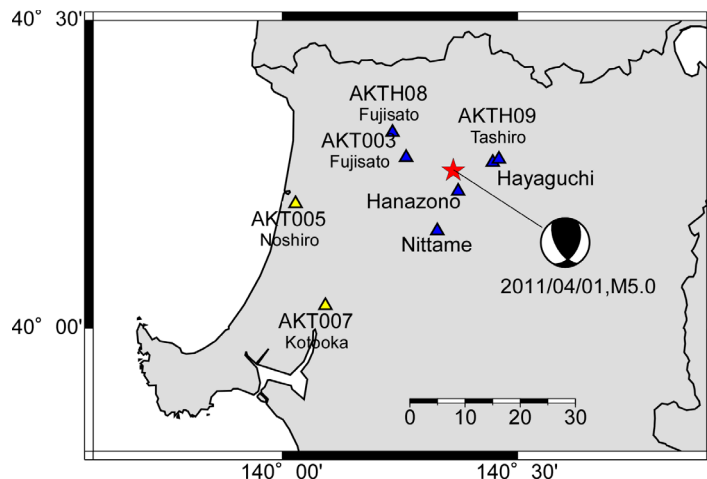


図1 震央および強震動観測点の位置

* Source model for the 2011 North Akita earthquake to evaluate strong ground motions by Shunichi Kataoka and Shunichi Fukumoto

考えている。本報告では、このプロセスの前段について述べる。

震源モデル作成のために、まず震源スペクトルと地下構造を評価した。さらに後述するように震源深さについては2つの提案があることから、深さについての検討を行った。

2. 震源パラメータ

防災科学技術研究所のF-netによるCMT解を表1に示す。なお、このCMT解が得られた際の震央は、40.3°N, 140.4°Eであり、最終の震央位置に比べて北東側に位置している。また、気象庁の震源深さ（12km）に比べてCMT解は5kmと浅く求まっている。気象庁のカタログによると、深さ方向の誤差の標準偏差は7kmであり、気象庁の震源深さとF-netの震源深さは丁度、この標準偏差分だけ異なっていることになる。なお、表1にあるように、CMT解の品質はあまり良くない。

理論計算にあたっては、表1にある地震モーメント（ M_0 ）の値をそのまま用いることとした。走向傾斜は、走向150°、傾斜60°とした。深さについては、後述する。

表1 防災科学技術研究所F-netによるCMT解

走向	傾斜	すべり角	モーメント	深さ km	マグニチュード (Mw)	品質
150	60	54	2.16x10 ¹⁶	5	4.9	86.38
26	46	135				

3. 震源スペクトルの推定

ついで、野津・菅野の方法^{3),4)}に基づいて計算した地震動がK-NETのAKT007の記録を説明できるようにコーナー振動数 f_c を決めた。野津・菅野の方法は、震源スペクトルに伝播に伴う減衰を掛け合わせ、さらに別途求められているK-NET地点の増幅特性⁴⁾を乗ずることで、対象地点の地震動スペクトルを求める。これに、対象地点で得られた観測記録の位相特性を考慮してフーリエ逆変換を行い時系列のデータとするものである。ここで、伝播に伴う減衰については、文献5)にならない、 $Q=163f^{0.75}$ を用いた。結果を図2に示すが、理論値と観測値はよく対応している。ただし、AKT005に対して同様の試みを行うと、 $Q=100f^{0.75}$ の方が適切であった。

コーナー振動数 f_c を1.75Hzとし、式(1)の関係から V_s を3.4km/sとして断層面積 S を求めた。結局断層面積は1.64km²となり、断層を正方形とすることで、長さや幅を決めた。

$$f_c = 0.66 V_s / \sqrt{S} \quad (1)$$

このコーナー振動数は次式において、応力降下量を25.0MPa（250bar）に対応し、不自然な値でないことも確認できる。

$$f_c = 4.9 \times 10^6 V_s \left(\frac{\Delta\sigma}{M_0} \right)^{1/3} \quad (2)$$

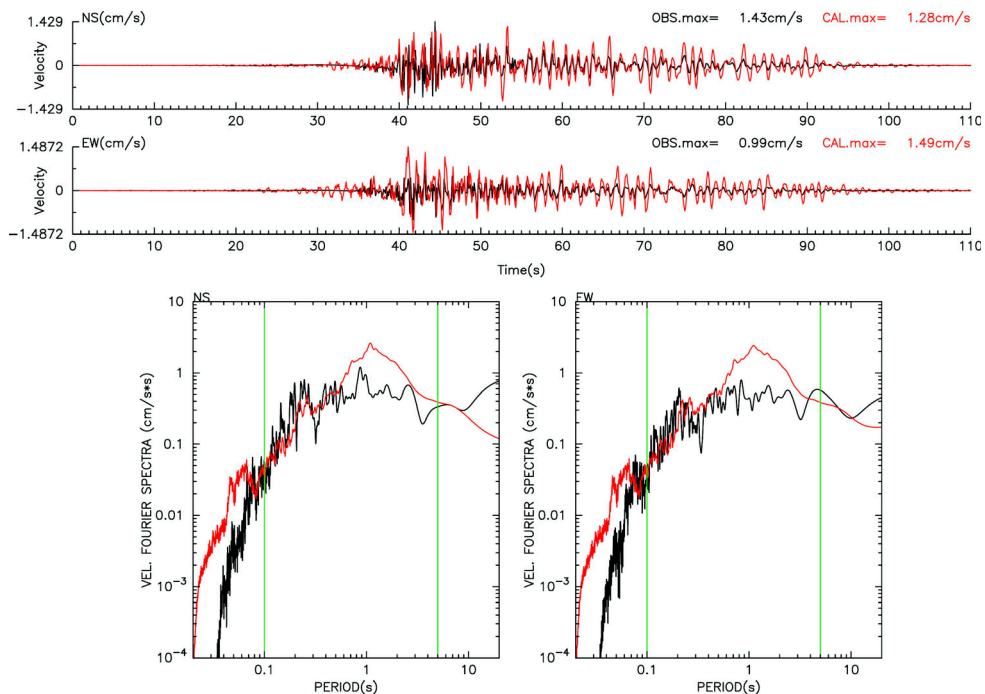


図2 野津・菅野による地震動推定法による AKT005 における推定地動（赤）と観測記録（黒）

4. 一次元地下構造

離散化波数法で地震動を計算するためには、一次元地下構造が必要である。本報告では、震源に近く、比較的深くまで構造が分かっている KiK-net 田代の地下構造を参照し、さらに KiK-net 田代地点での J-SHIS の深部地下構造の下に地殻構造を加えたモデルを作成した。その結果を表 2 に示す。

表 2 推定した地下構造

深度(m)	層厚 (m)	S波速度 (km/s)	P波速度 (km/s)	密度 (g/cm ³)	備考
0 - 100	100				KiK-net と同じ
100 - 259	159	600	2000	1.90	J-SHIS の構造
259 - 403	144	1100	2500	2.15	
403 - 688	285	1400	3000	2.25	
688 - 844	156	2100	4000	2.40	
844 - 1286	442	2700	5000	2.50	
1286 - 2487	1201	3100	5500	2.60	
2487 - 7487	5000	3300	5700	2.70	
7487 - 22487	15000	3800	6600	2.90	推定値
22487 - 37487	15000	4300	7600	3.00	

このモデルから Rayleigh 波の基本モードにおける理論楕円率を計算し、KiK-net 田代で得られた 2008 年岩手宮城内陸地震の記録の水平上下スペクトル比と比較してみた。地震動のスペクトル解析においては、解析区間長を 163.84 秒とし、50%オーバーラップの複数区間を取った。水平 2 成分のフーリエスペクトルの二乗和平均を上下成分で除して H/V スペクトル比を求めた。その結果を図 3 に示す。図からは、両者はよく一致していることが分かり、前述の地下構造の妥当性が示されたと考えている。

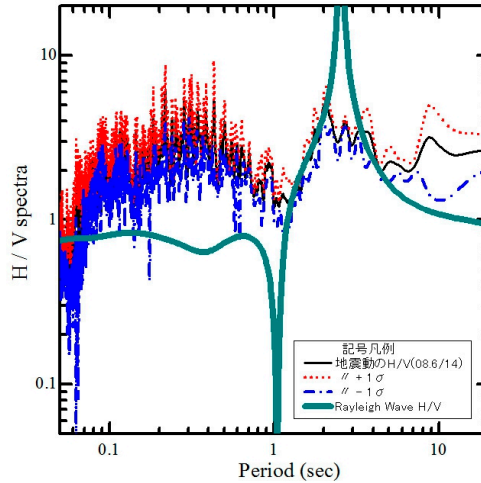


図 3 2008 年岩手宮城内陸地震の際の KiK-net 田代での H/V スペクトル比と KiK-net 田代で推定した地下構造から算出される Rayleigh 波の理論振幅比

5. 震源深さの検討

前述したように、この地震の震源深さは気象庁によって 12km とされているが、F-net の CMT 解では CMT の深さは 5km となっている。両者は異なる概念のものであるので、一致する必要はないが、震源断層の大きさを 1.4km 四方としているので、気象庁の震源深さでは CMT 解の深さは断層面内に収まらず、適切な深さを設定する必要がある。

図 4 は震源の深さを 12km として離散化波数法⁹⁾により気象庁花園観測点の波形を計算した結果である。なお、理論と観測の S 波初動のタイミングを合わせて表示している。また、計算に当たったの詳細な条件は後述する。図から S-P 時間が理論と観測で合わず、観測の方が短いことが分かる。観測記録からは S-P 時間はおよそ 1.3 秒と見て取れる。そこで、震源付近の地震波速度を有する半無限弾性体とした時の S-P 時間を計算してみた。震源の深さは 12km であり、気象庁花園観測点の震央距離は 3.9km であるので S-P 時間は 1.4 秒となり、深さ 12km は妥当でないことになる。他の地点は花園観測点よりもやや離れており、震央距離 8km 以上であるので、これほど顕著ではないが、深さ 12km より浅い方が望ましいと考えられる。本来ならば、震源深さも探索すべきであるが、以下では CMT 解の 5km を利用することとする。なお、図示しないが震源深さを 5km

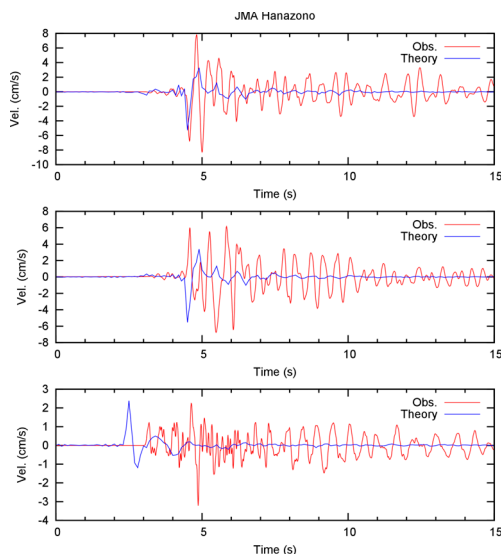


図 4 気象庁花園観測点における理論波形（震源深さを 12km とした場合）と観測波形との比較

とすると、花園観測点での S-P 時間はうまく説明できている。

6. 観測記録との比較

地下構造を決める際に用いた KiK-net 田代 (AKTH09) と震央の北西方向に位置する K-NET 藤里 (AKT003) においても理論波形を算出した。その際に必要な震源時間関数は、目視により三角形近似とし、破壊形式は同心円状で破壊伝播速度は 2.45km/s とした。計算結果と観測結果を比較して図 5 と図 6 に示す。

図 5 に示す KiK-net 田代に対しては、P 波初動から S 波初動付近までの理論と観測の位相の対応は良いが、振幅が異なっている。また、短周期成分が十分に再現できないが、震源時間関数の限界であると考えている。一方、図 6 に示す K-NET 藤里では上下動の位相は対応しているが、S 波初動では全く異なっており、断層面の走向傾斜を変化させる必要があると思われる。

7. まとめ

2011 年 4 月 1 日に秋田県北部で起きた M5.0 の地震では、震央近傍で方位分布よく強震記録が得られた。そこで、震源近傍の地震動の空間的な相違について検討するために震源モデルの作成を試みた。F-net の CMT 解に基づき、離散化波数法により理論波形を計算したが、一部の観測記録が全く説明できなかった。今後、地下構造および断層面の調整を行う予定にしている。

謝辞

防災科学技術研究所が公開している K-NET, KiK-net および気象庁が公開している強震記録を利用した。また、防災科学技術研究所の F-net の CMT 解を参考にした。図面は GMT を利用した。記して謝意を示す。

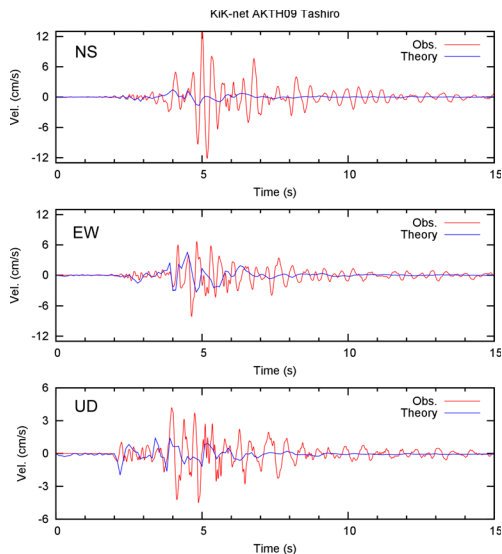


図5 KiK-net 田代 (AKTH09) における理論波形 (震源深さ 5km) と観測波形との比較

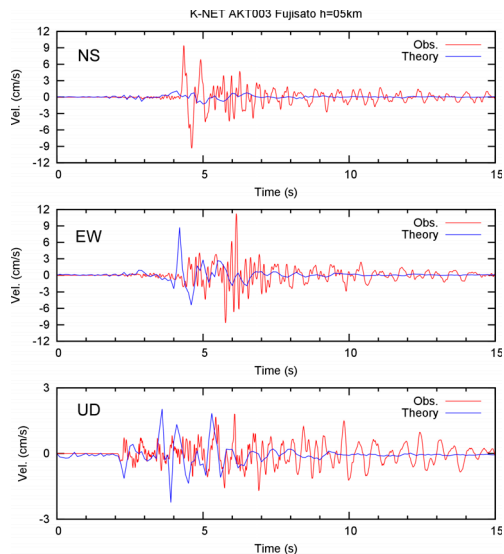


図6 K-NET 藤里 (AKT003) における理論波形 (震源深さ 5km) と観測波形との比較

参考文献

- 1) 秋田県災害警戒部：秋田県内陸北部を震源とする地震の被害状況等について，平成23年4月2日，11時00分現在
- 2) 気象庁：地震・火山月報（カタログ編）2011
- 3) 野津厚・菅野高弘：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した強震動評価手法-内陸活断層地震および海溝型地震への適用性の検討-，港湾空港技術研究所資料，No.1120，2006
- 4) 野津厚・長尾毅：スペクトルインバージョンに基づく全国の港湾等におけるサイト増幅特性，港湾空港技術研究所資料，No.1112，2005
- 5) 日本建築学会編，最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法，p39，2009
- 6) 久田嘉章，J. Bielak，断層食違い変位による永久変形を考慮した震源近傍における効率的な強震動計算法，第11回日本地震工学シンポジウム，2002 <http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Member/Boss/Paper/2002/33.pdf>