第405回地震調查委員会資料

近地アレイデータのバックプロジェクションによる

2024 年能登半島地震の破壊領域の推定





2024年能登半島地震の破壊過程を調べるため、近地アレイデータにバックプロジェクション法(Ishii et al., 2005)を適用した(今西ほか, 2024)。バックプロジェクション法は、観測波形から直接エネル ギー放射強度の時空間分布を推定することが可能であり、通常の波形インバージョンのように理論波形 の計算や破壊伝搬速度などの仮定が不要である大きな利点がある。バックプロジェクション法には遠地 アレイデータが使われることが多いが、近地アレイデータを使用することで、より時空間分解能の高い 結果が得られる。

近地アレイデータは、地震予知総合研究振興会が新潟県長岡地区に展開している観測網(AN-net)(関 根,2022)を使った。AN-netは能登半島地震の本震からおよそ100km 東側に位置しており、50km×30km の範囲に40点の観測点が存在する(図1)。それぞれの観測点には地表に強震計が設置されているほか、 深さ約100mのボアホールに高感度地震計と強震計が設置されている。本研究ではデータ品質を考慮し、 ボアホールの強震計データを解析に使用した。実際の解析では、加速度記録を積分して速度波形にし、 0.2-2.0 Hzの帯域のバンドパスフィルターを掛けたデータを使用した(図2)。

断層面は沿岸域の活断層(井上・岡村, 2010)や余震分布の特徴を考慮し、南東傾斜(Fault 1) と西北西傾斜(Fault 2)の2つの面を設定した(図1)。バックプロジェクション法による推定結果を 図3、図4に示す。主な特徴は以下の通り。

・破壊は能登半島の北東部(Fault 1)で開始し、エネルギー放射は小さいものの、深さ 10km 以浅を 破壊しながら 15 秒間ほどかけて能登半島の南西端まで進展した。

・その後、破壊は進展方向を北東に変え、約20秒間かけて地表付近を破壊しながらFault 1の北東端まで達した(破壊開始から15~35秒)。この段階で、この地震の大部分のエネルギーが放射された。

・破壊はその後減速しながら、Fault 1の深部方向へと伝搬した。全体の破壊継続時間は約50秒であった。

・数値実験によれば、エネルギー放射位置には 1~2 グリッドほどの推定誤差がある。これを考慮すると、Fault 2 での破壊は無かったか、あったとしても南西端で限定的であったと推定される。

補足:手法

バックプロジェクション法にはいくつかの方法が提案されているが、ここでは最も単純な Ishii et al. (2005)の方法を使った。手順は以下の通り。

(1) 断層面上に設定したグリッド j 毎に次のスタック波形を計算する。

$$S_j(t) = \sum_{i=1}^N w_i u_i (t - t_{ij}^S + \Delta t_i)$$

ここで、 w_i 、 $u_i(t)$ 、 Δt_i は、観測点 iのウェイト、観測波形、観測点補正値を表し、 t_{ij}^S はグリッド jと 観測点 iの間の理論走時である。本研究では、理論走時は JMA2001 で計算し、観測点補正値は M5-6 クラ スの4イベントのデータから推定した。

(2) $|S_i(t)|^2$ を計算し、エネルギー放射強度の時空間分布を推定する。

文献

井上卓彦・岡村行信(2010) 能登半島北部周辺 20 万分の1海域地質図及び説明書.海陸シームレス 地質情報集,「能登半島北部沿岸域」.数値地質図 S-1,産総研地質調査総合センター,

https://www.gsj.jp/data/coastal-geology/GSJ_DGM_S1_2010_01_b_sim.pdf

- 今西和俊・椎名高裕・浦田優美・関根秀太郎(2024) AN-net アレイを用いた 2024 年能登半島地震の バックプロジェクション解析:縦ずれ断層における supershear 破壊の可能性, Japan Geoscience Union Meeting 2024, U15-P26.
- Ishii, M., Shearer, P., Houston, H. et al. (2005) Extent, duration and speed of the 2004 Sumatra-Andaman earthquake imaged by the Hi-Net array, Nature, 435, 933-936. https://doi.org/10.1038/nature03675
- 関根秀太朗(2022) 振興会本部の地震観測網(AN-net, AS-net, AK-net, AG-net, 宮城・福島観測 網), 地震ジャーナル, 73, 27-29.



図1 2024 年能登半島地震と AN-net. 本震のメカニズム解は気象庁 CMT 解, 灰色は本震発生から1 か月間の気象庁一元化震源.

断層面は沿岸域の活断層や余震分布の特徴を考慮し、南東傾斜(Fault 1)と西北西傾傾斜(Fault 2)の2つの面を設定した(傾斜角はいずれも45°). エネルギー放射強度を推定するグリッドの間隔は5kmとした.



図 2 AN-net で記録された 2024 年能登半島地震の本震波形(ボアホール強震計の EW 成分). 0.2-2 Hz のバンドパスフィルターを掛け、1 回積分(速度波形). 観測走時は JMA2001 で比較的良く説明で きる.



図3 エネルギー放射強度の5秒ごとのスナップショット.右下は震源時間関数.

調 405-(3)-4-2



図4 エネルギーの累積分布と活断層との関係.