

3-5 近地強震記録によって推定された2019年6月18日に山形県沖で発生した地震の震源過程

Rupture process of the 2019 off Yamagata prefecture earthquake derived from near-source strong-motion records

防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

2019年6月18日22時22分に山形県沖で発生した地震（M 6.7：気象庁）について、防災科学技術研究所のK-NET・KiK-net・F-netの強震波形記録を用いた震源インバージョン解析を行った。

◎断層面モデルと震源過程のパラメータ化

F-netのモーメントテンソル逆解析¹⁾で得られたメカニズム解や震源位置の情報から同地震は地殻浅部で発生した浅い逆断層型地震と考えられる。F-netモーメントテンソル解析結果で得られた二つの節面のうち、余震活動に調和的な東南東傾斜の解（走向23度、傾斜36度）を断層面に採用した（第1図）。断層面の大きさは、予備的な解析の結果から走向方向の長さを22 km、傾斜方向の幅を14 kmとした（第1図）。破壊開始点は、気象庁震源に基づき、北緯38.6080度、東経139.4793度、深さ13.99 kmにおいた。

本解析ではマルチタイムウィンドウ線型波形インバージョン法^{2,3)}に基づき、断層破壊過程を時空間的に離散化した。空間的には、断層面を2 km四方の小断層で、走向方向11個、傾斜方向7個に分割した。時間的には、各小断層でのすべり時間関数を、破壊開始点から一定速度 V_{ftw} で広がる同心円が到達した時刻から、0.8秒幅のスムーズドランプ関数を0.4秒ずらして9個並べることで表現した。これにより、各小断層からの要素波形（グリーン関数）を通じて、断層破壊過程と各観測点での波形は線型の方程式で結び付けられる。

◎波形データとグリーン関数

防災科学技術研究所のK-NET⁴⁾観測点6点、KiK-net⁴⁾地中観測点8点の計14観測点での強震加速度波形記録を積分して得た速度波形、およびF-net⁵⁾観測点1点での強震速度波形を用いた（第2図）。これらの速度波形に0.1 – 1.0 Hzのバンドパスフィルタをかけ、5 Hzにリサンプリングし、S波到達1秒前から15秒間を切り出し解析データとした。

各小断層からの要素波形（グリーン関数）は、一次元地下構造モデルを仮定し、離散化波数積分法⁶⁾と反射・透過係数行列法⁷⁾により点震源の波形を計算して求めた。地下構造モデルは、全国深部地盤構造モデル^{8,9)}の各観測点直下の情報を用いて観測点ごとに構築した。KiK-net観測点については速度検層の情報も利用した。また小断層内部の破壊伝播の効果を25個の点震源（走向方向、傾斜方向それぞれ5列）を小断層内に分布させることにより表現した。

◎波形インバージョン

各小断層の各タイムウィンドウでのすべり量を、観測波形と合成波形の差を最小とするように、最小二乗法を用いて求めた。不等式拘束条件をつけた最小二乗法¹⁰⁾を用いて、各小断層でのすべり方向の変化を、F-netメカニズム解のすべり角である86度の±45度以内に収めた。また時空間

的に近接するすべりを平滑化する拘束条件¹¹⁾を付加した。平滑化の強さはABIC¹²⁾を基準に決定し、Vftwは残差を最小とするものを選んだ。

◎結果

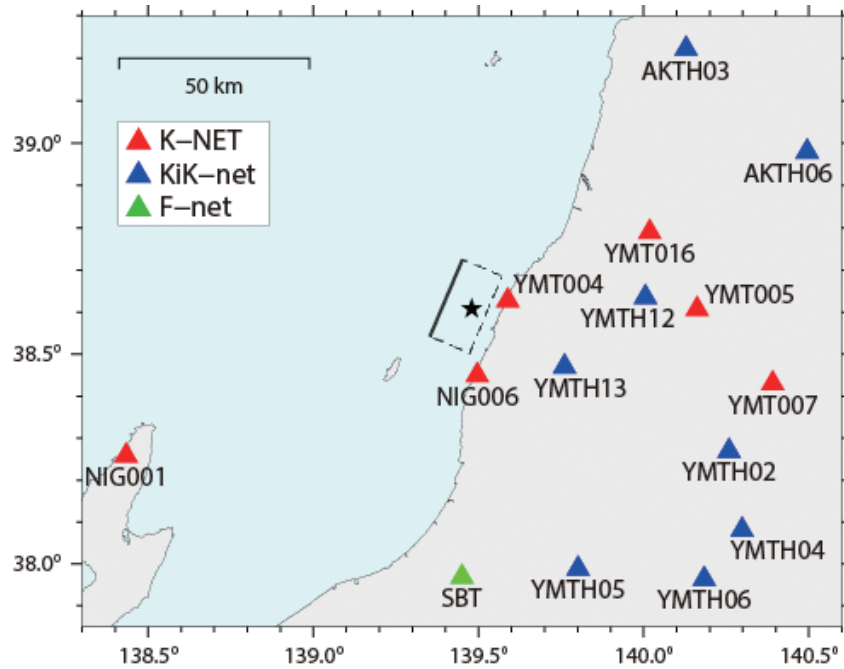
第2図に推定された断層面上の最終すべり分布を示す。第3図に最終すべり分布の地表投影を示す。第4図に断層破壊の時間進展過程を示す。第5図に観測波形と理論波形の比較を示す。最大すべり量は1.0 m, 断層面全体での地震モーメントは 4.7×10^{18} Nm (M_w 6.4), Vftwは3.0 km/sである。大きなすべりは震源よりup-dip側の領域に見られており、余震活動が活発であった領域と重なる。また地震発生から1.5-4.5秒後に大すべり領域において主たる破壊が生じていたことが分かる。

注：なお、本解析は暫定的なものであり、今後修正される可能性がある。

(文責：久保久彦・鈴木亘・青井真(防災科研)・関口春子(京大防災研・防災科研))

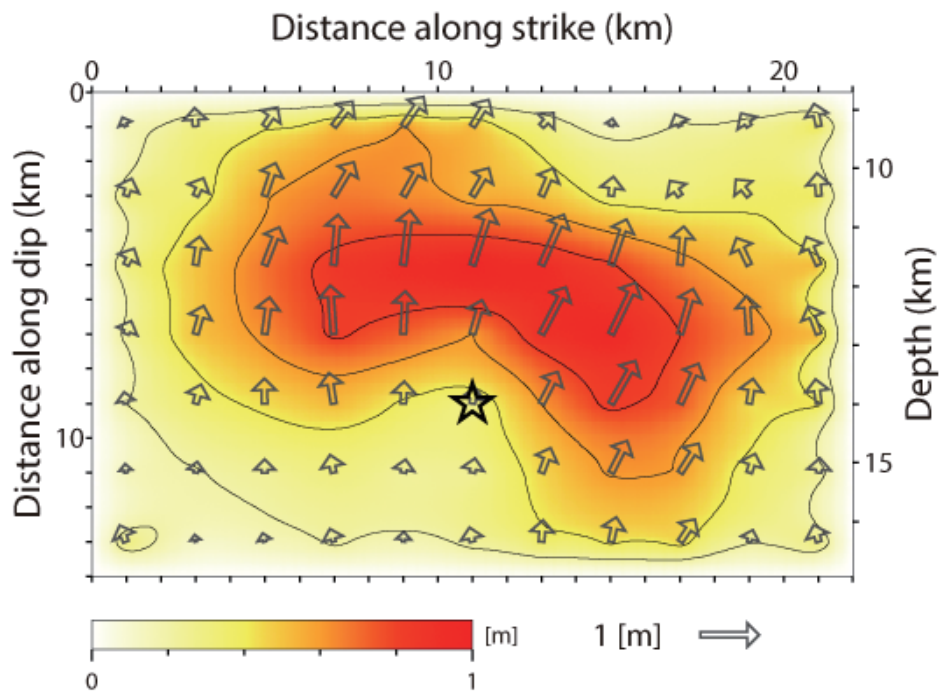
引用文献

- 1) 福山英一・石田瑞穂・D. S. Dreger・川井啓廉(1998), オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震 2, 51, 149-156.
- 2) Olson, A. H. and R. J. Apsel (1982), Finite faults and inverse theory with applications to the 1979 Imperial Valley earthquake, Bull. Seismol. Soc. Am., 72, 1969-2001.
- 3) Hartzell, S. H. and T. H. Heaton (1983), Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 73, 1553-1583.
- 4) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019), NIED K-NET, KiK-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi:10.17598/NIED.0004.
- 5) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019), NIED F-net, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi:10.17598/NIED.0005.
- 6) Bouchon, M. (1981), A simple method to calculate Green's function for elastic layered media, Bull. Seism. Soc. Am., 71, 959-971.
- 7) Kennett, B. L. and N. J. Kerry (1979), Seismic waves in a stratified half space, Geophys. J. R. astr. Soc., 57, 557-583.
- 8) 藤原広行・河合伸一・青井 真・森川信之・先名重樹・工藤暢章・大井昌弘・はお憲生・早川 譲・遠山信彦・松山尚典・岩本鋼司・鈴木晴彦・劉瑛(2009), 強震動評価のための全国深部地盤構造モデル作成手法の検討, 防災科学技術研究所研究資料, No.337.
- 9) National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (2019), J-SHIS, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, doi:10.17598/NIED.0010.
- 10) Lawson, C. L., and R. J. Hanson (1974). Solving Least Squares Problems, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 340 pp.
- 11) Sekiguchi, H., K. Irikura, and T. Iwata (2000), Fault geometry at the rupture termination of the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, Bull. Seism. Soc. Am., 90, 117-133.
- 12) Akaike, H. (1980), Likelihood and the Bayes procedure, in Bayesian statistics, edited by J. M. Bernardo, M. H. DeGroot, D. V. Lindley, and A. F. M. Smith, University Press, Valencia, Spain.



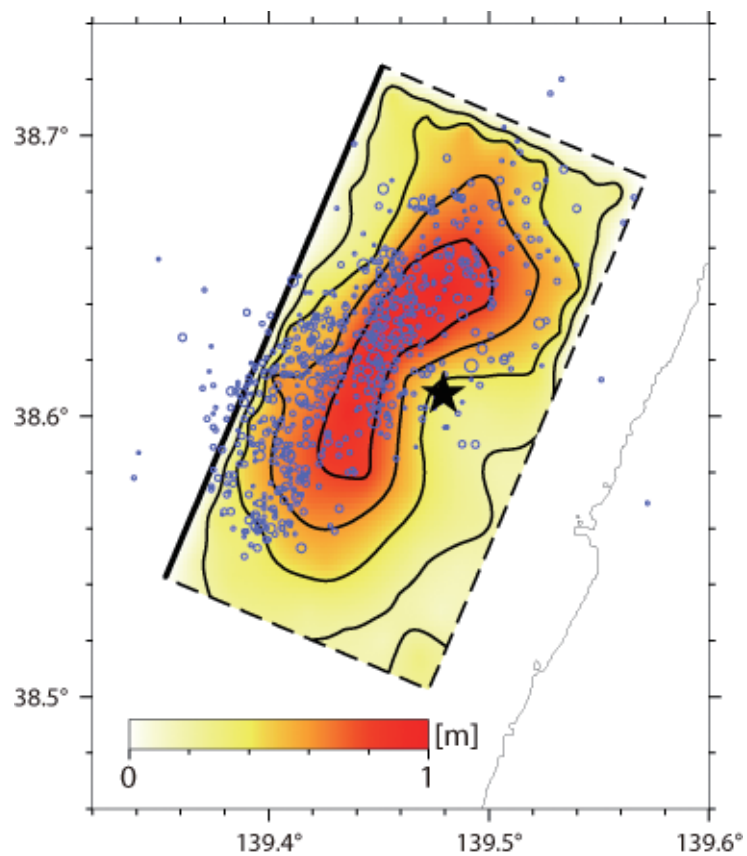
第1図 解析に用いた観測点の分布および断層面の地表投影. 星印は破壊開始点を示す.

Fig. 1 Station distribution on the map. The assumed fault plane is also projected on the map. A star denotes the rupture starting point.



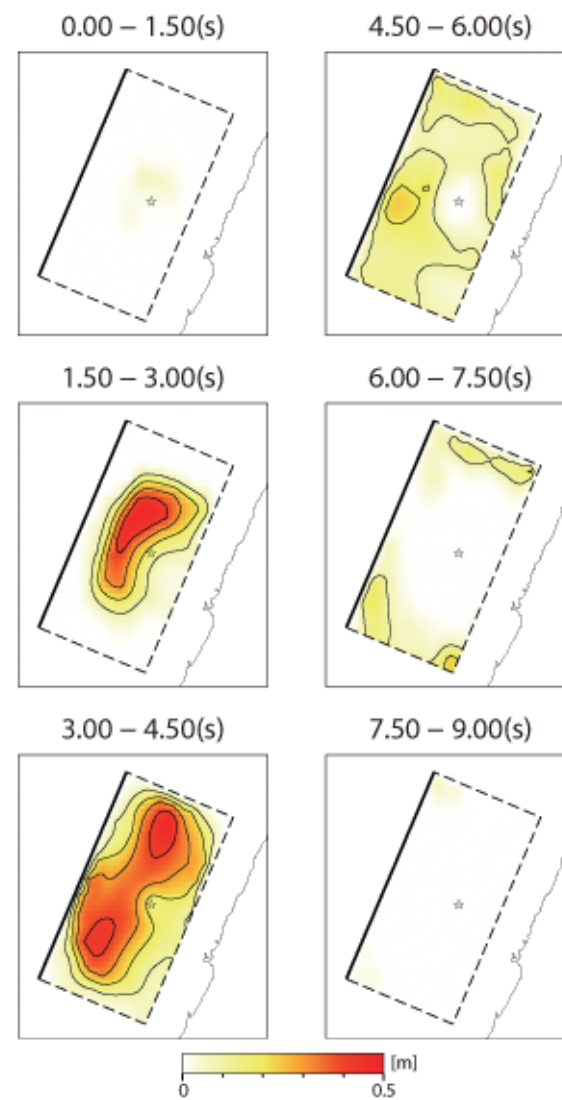
第2図 断層面上の最終すべり分布. ベクトルは上盤のすべり方向とすべり量を示す. 星印は破壊開始点を示す.

Fig. 2 Total slip distribution on the fault. The vectors denote the direction and amount of the slip of the hanging wall side. A star denotes the rupture starting point.



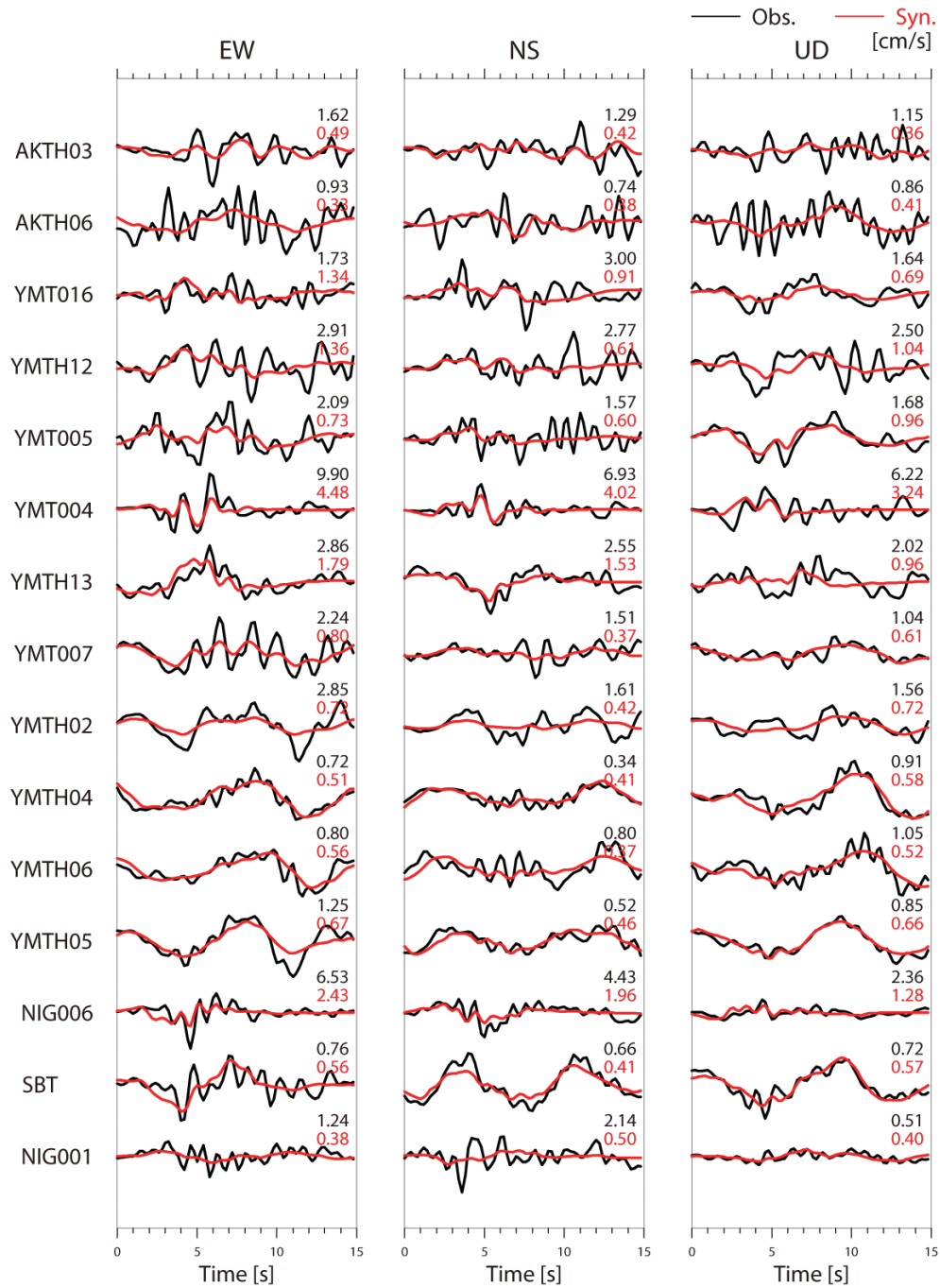
第3図 すべり分布の地表投影. 星印は破壊開始点を, 青丸は本震発生から1日以内に発生した余震の震源位置を示す.

Fig. 3 Map projection of slip distribution. A star denotes the rupture starting point. Blue circles denote the aftershocks occurring during 1 day after the mainshock.



第4図 破壊の時間進展過程. 1.5秒ごとのすべり分布を示す.

Fig. 4 Rupture progression in terms of slip amount for each 1 s time window.



第5図 観測波形（黒）と理論波形（赤）の比較. 右上の数字はそれぞれの最大値（cm/s）を示す.

Fig. 5 Comparison between the observed and the synthetic waveforms. The maximum values are shown on the upper right of each waveform.