

平成 28 年熊本地震前震における後続パルス波を再現する 3 次元断層モデル

京都大学 学生会員 ○豊増 明希
 京都大学 正会員 後藤 浩之
 京都大学 正会員 澤田 純男

1. はじめに

平成 28 年 (2016 年) 熊本地震は, 4 月 14 日に発生した Mw6.2 の地震 (前震) を起点とする一連の地震活動であり, 4 月 16 日には Mw7.0 の地震 (本震) が発生している. 本地震では九州自動車道御船 IC において強い地震動が観測された. 図-1 に御船 IC における前震の速度波形を示す. S 波初動 (S1) の約 5 秒, 約 8 秒後に 2 つの後続パルス波 (S2, S3) が確認された. 特に南北成分の記録では, S3 において最大速度を観測しており, 工学的に無視できない記録である.

他の地点における後続パルス波を調査するため, 震央距離 30km 以内の観測点においても前震の速度波形を整理した. 図-2 にペースト波形を示す. 距離の正負はそれぞれ, 震源の北東側, 南西側に観測点が位置していることを示す. 観測点の方向によらず後続パルス波確認できる.

次に地中地震動においても後続パルス波が確認できるかを調べた. KMMH14 の地中記録を図-3 に示す. 地表地震動と同様に地中地震動においても後続パルス波を確認することができる. 他の地中観測記録においても同様の結果が得られた.

Asano and Iwata (2016) ¹⁾ により前震の震源モデルが推定されているが, このモデルでは後続のパルス波は考慮されていない. そこで, 本研究では後続パルスの生成原因分析を目的として, まず発生位置の推定を行った.

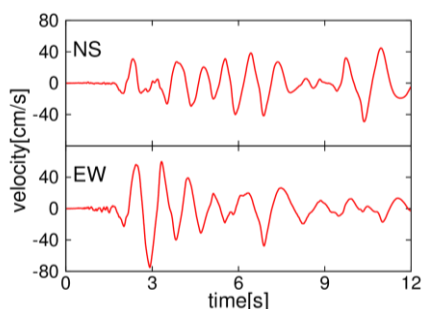


図-1 御船 IC における前震の速度波形

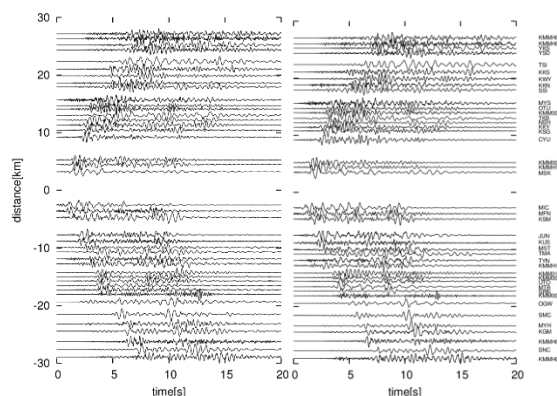


図-2 前震のペースト波形(左: EW, 右: NS)

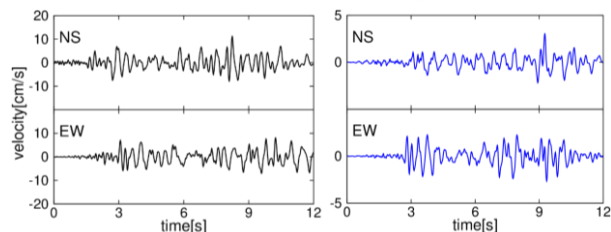
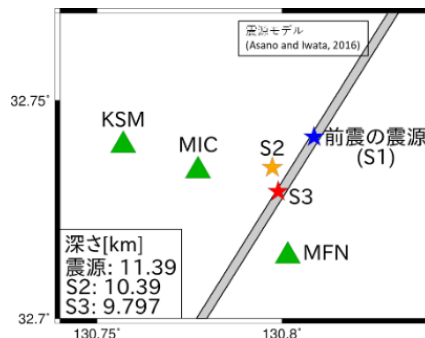


図-3 KMMH14 の地表地震動(左)と地中地震動(右)の比較

2. 発生位置の推定

Double-Difference 法 ²⁾ を用いて後続パルス波の発生位置を推定した. 本手法では観測走時と理論走時の残差が最小になるように震源を再配置する. 本解析には, 走時の読み取りが容易な震源の南西側の 21 観測点のみを用いており, 速度構造は JMA2001 を使用した. 推定された発生位置に基づいて計算した理論走時は観測走時とおおよそ一致する. 図-4 に推定された発生位置を示す. S2, S3 とともに震源の南西側かつ, 震源断層のごく近傍に推定された.

図-4 推定された発生位置と震源断層 ¹⁾

キーワード 熊本地震, 後続パルス波, Double Difference 法, メカニズム解, 震源モデル

連絡先 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄 京都大学防災研究所耐震基礎研究分野 TEL 0774-38-4069

3. メカニズム解の推定

S2, S3 の発生位置が震源付近に推定されたこと、さらに地中地震動においても確認できることから、S2, S3 は S 波によって生成されたパルス波であると仮定し、メカニズム解の推定を行った。本解析では推定した発生位置を震源として、理論的グリーン関数 (Hisada, 1994) ³⁾ を計算した。周波数帯域は 0.1-1.0Hz である。S1 の解析に用いた観測点は発生位置の推定に用いた 21 地点である。S2 と S3 についてはパルス波が確認できるそれぞれ 17, 20 観測点のみ用いた。

推定されたメカニズム解を前震と本震の CMT 解と合わせて図-5 に示す。S1 は前震の CMT 解と走向がほぼ等しく、傾斜角がやや低角に推定された。S2, S3 はともに横ずれ成分を含むメカニズム解が推定されたが、前震と本震の CMT 解とは異なるメカニズム解であった。S2, S3 の観測波形と推定されたメカニズム解で計算した波形を比較すると、S2 では比較的計算波形が観測波形を再現することができたが、S3 では再現度が低い。しかし、S3 においても S1 のメカニズム解で計算した波形よりは再現性が高いため、S2, S3 のメカニズム解は S1 とは異なると考えられる。

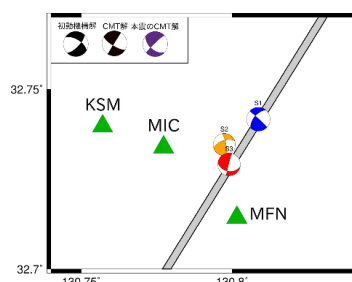


図-5 推定されたメカニズム解と前震・本震の CMT 解、震源断層

4. 後続パルス波を再現する 3 次元断層モデル

後続パルス波を考慮した前震の震源モデルの推定を試みた。S1, S2, S3 それぞれに対応する強震動生成域を仮定して、経験的グリーン関数合成法を用いて波形を計算し、計算波形が前震波形を再現するように強震動生成域に関するパラメタを推定した。推定したパラメタは強震動生成域のサイズと位置、地震モーメント、メカニズム、破壊開始点の位置であり、各強震動生成域に対して 13 個の未知パラメタを推定した。パラメタの推定には遺伝的アルゴリズムを用いており、評価関数は加速度の包絡線を用いた。経験的グリーン関数に用いる小地震は、推定された発生位置、メカニズム解が類似するもの

を S1, S2, S3 それぞれに対して選択した。

強震動生成域のサイズに拘束を与え、S1 と S3 のみを考慮した場合で計算を行った結果、比較的安定して断層モデルを推定できた。その結果を図-6 に示す。しかし本解析で推定された S1, S3 の位置が Double-Difference 法で求められた解と整合性がないため、今後モデルを改良する必要がある。

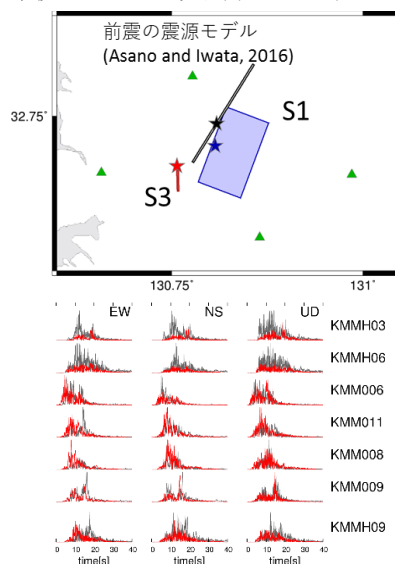


図-6 推定された強震動生成域と震源断層 ¹⁾、計算波形 (赤) と観測波形の比較 (黒)

5. まとめ

前震において S 波初動 (S1) から約 5 秒 (S2)、約 8 秒 (S3) 遅れの 2 つの後続パルス波が複数の観測点で確認され、地中地震動においても同様に確認できた。S2, S3 の発生位置は、震源の南西側、かつ震源断層のごく近傍であると推定された。以上の結果から S2, S3 が S 波によって生成されたものとし、メカニズム解を推定したところ S2, S3 は S1 とは異なるメカニズム解をもつと推定された。最後に後続パルス波を考慮した震源モデルの推定を試みたが、信頼できるモデルを推定できていない。今後は 3 次元断層モデルを改良し、前震の破壊メカニズムを推定する。

参考文献

- 1) Asano and Iwata : Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from kinematic waveform inversion of strong motion data, 2016.
- 2) Waldhauser and William : A Double-Difference earthquake location algorithm: method and application to the northern Hayward fault, California, 2000.
- 3) Hisada : An efficient method for computing Green's functions for layered half-space with sources and receivers at close depths, 1994.