

初期破壊過程のソースパラメータの決定（１）

Determination of source parameters for initial rupture process(1)

安孫子 友祐 [1], 佐藤 魂夫 [2]

Yusuke Abiko [1], Tamao Sato [2]

[1] 弘大・理・地球科学, [2] 弘前大・理工・地球環境

[1] Earth Sci., Hirosaki Univ, [2] Earth and Environmental Sci., Hirosaki Univ

P波速度波形初動半周期部分において、観測波形と理論波形の残差二乗和が最小になるような初期破壊のソースパラメータの決定を試みたので、その結果を報告する。震源モデルとしては速度波形が直線的に立ち上がるモデル(Sato and Hirasawa, 1973)とSlow initial phaseが存在するモデル(Sato and Kanamori, 1999)の2つを考慮した。

観測波形データは長野県西部高精度地震観測網によって得られたサンプリング周波数10 KHzのデータを用いた。数値実験を行った結果、観測波形のインバージョンにより初期破壊過程のソースパラメータが精度良く決定できることがわかった。

微小地震の研究において、飯尾(1992,1995)は長野県西部地震の余震データから、観測される速度波形に直線的ではなくゆっくり立ち上がる部分 (Slow initial phase)を見出し、それが初期破壊に対応したフェーズであると考へた。飯尾(1998)は最近、長野県西部超高解像度地震観測網によって得られたデータからM2程度の地震について、Slow initial phaseが非弾性的な減衰の効果ではなく、震源特性を表わしていることを示した。一方、Mori and Kanamori (1996)は10msecの時間分解能でみればSouthern California Seismic Network で得られたデータには飯尾(1992)が指摘したSlow initial phaseが存在しないと報告している。Sato and Kanamori (1999)の初期破壊モデルによれば地震波の初期フェーズは既存クラックのサイズ (l_0)、動的応力降下量 ($\Delta\sigma$)、およびトリガー係数の3つの震源パラメータに依存する。ここで、トリガー係数は断層全体の平均的な表面エネルギーに対する既存クラック先端における表面エネルギーの割合を示す。このモデルによるとトリガー係数の値が大きい(Trigger Model)ほど、Slow initial phaseは現れにくくなり、トリガー係数の値が小さい (Spontaneous Model)ほど現れやすくなる。

そこで今回、我々は、破壊の震源モデルとしてSato and Kanamori (1999)のSpontaneous Modelを考え、さらに速度波形が直線的に立ち上がるモデルとしてSato and Hirasawa (1973)のモデルを考える。これらを長野県西部超高解像度地震観測網によって得られた、サンプリング周波数10 KHzのデータに適用することにより初期破壊のソースパラメータとQ値の推定を試みた。Sato and Hirasawa (1973)のモデルでは $\Delta\sigma$ 、 fl (最終的なクラックのサイズ)、 V_r (破壊伝播速度)が震源の未知パラメータとなる。ただし、今回は V_r をS波速度の0.9倍で固定した。また、Sato and Kanamori (1999)のSpontaneous モデルでは $\Delta\sigma$ 、 fl 、 l_0 、トリガー係数が震源の未知パラメータとなる。ただし、今回は l_0 を fl の0.05?0.2倍の間で固定し、トリガー係数を10の-5乗で固定した。ソースパラメータの推定はP波初動半周期部分の観測波形と理論波形の残差二乗和が最小になるよう、非線形最小二乗法であるマルカート法を用いて行った。しかしマルカート法では最終的に求まるパラメータが初期値および未知パラメータの数にある程度依存してしまうため、以下のような手順をふんだ。

(1) 各震源パラメータと t_s 、 t_d の初期値を与える。ここで、 $t_s = (r/V_p Q_p)$ 、 r は震源距離、 V_p はP波速度、 Q_p はP波のQ値を示す。 t_d はP波オンセットタイムを決める係数である。

(2) 最初に t_s 、 t_d を未知パラメータとし、P波初動半周期部分の観測波形と理論波形の残差二乗和が最小になる t_d 、 t_s をマルカート法で求める。

(3) (2)で得られた t_d 、 t_s の値を固定し、未知パラメータを $\Delta\sigma$ とし、P波初動半周期部分の観測波形と理論波形の残差二乗和が最小になる $\Delta\sigma$ をマルカート法で求める。

(4) (3)で得られた $\Delta\sigma$ の値を固定し、(2)にもどる。この作業を $\Delta\sigma$ の変化量が0.0001MPa以下になるまでくり返す。

(5) 最終的に得られた $\Delta\sigma$ 、 t_s 、 t_d を固定し、理論波形の初動半周期の最大振幅が観測波形に一致するようグリッドサーチを行い、 fl を求める。

上記の方法が初期破壊のソースパラメータの決定に有効であることを確認するためSato and Hirasawa (1973)の理論波形にSN比 (P波初動半周期の最大振幅とノイズレベルの比) が40?80 dB程度であるランダムなノイズを加えたものを仮想的な観測波形データとして数値実験を行った。その結果の一例を以下に示す。SN比60dB, $\Delta\sigma = 3.0\text{MPa}$, $t_s = 0.005\text{s}$, $t_d = 0.005$, $fl = 13.0\text{m}$

の仮想観測データに対して、初期値 $\Delta\sigma = 5.0\text{MPa}$, $t_s = 0.007\text{s}$, $t_d = 0.007$, $fl = 18\text{m}$ を与えた結果、20数回のイテレーションで $\Delta\sigma = 2.986\text{MPa}$,

$t_s = 0.00497\text{s}$, $t_d = 0.00487$, $fl = 13.1\text{m}$ に解は収束し、ソースパラメータと t_s が精度良く決定できることがわかった。

謝辞：長野県西部超高解像度地震観測データの利用にあたり、防災科学技術研究所の飯尾氏をはじめ、観測

およびデータ処理に関わったすべての方々にお礼申し上げます。