断層破壊動力学に基づく 震源インバージョン手法の 安定な定式化

#### 京都大学防災研究所 学生員 ○後藤 浩之 京都大学防災研究所 正会員 澤田 純男

# 1. はじめに

近年, 地震計網の充実と共に強震動記録を用いた断層破壊過程の推定が様々な地震について実施されている. 推定された破壊過程は、入力地震動の構成要素の一つである震源モデルの構築に有用である。しかしながら、 現在広く実施されている推定手法は運動学に基づいて断層の滑り分布を推定する手法であり、時空間上で平滑 化フィルタを施した滑り分布に基づく震源像が得られている.これは、耐震設計に有用な周波数帯域である、 比較的短周期成分を含む入力地震動が生成可能なほど高解像度なものではない、本研究では、動力学に基づく 拘束条件を導入することで平滑化フィルタを用いない震源破壊過程の推定手法について考察した.

### 3. 鋭敏性と集約動的パラメタ

本研究では,破壊動力学に基づく逆解析手法を定式化するため,境界積分方程式法<sup>1)</sup>と断層の滑り弱化型摩 擦構成則<sup>2)</sup>とから断層の滑り変位を陽に与える式を導出し,表現定理を用いて地表面波形と関係付けた.これ により、断層の動力学に基づく破壊現象を直接支配するパラメタから地表面波形を計算することを可能とした.

しかし、破壊開始を支配するパラメタである降伏表面力は、その値の微小変化に対して滑り変位が鋭敏に変 化する可能性がある.この機構を Fig.1に示す.滑り変位に含まれるこのような鋭敏性は,逆問題として構成 された評価関数に不連続を引き起こすため、降伏表面力を直接推定するならばランダムサーチ法などの時間を 要する 逆解析手法を 適用せざるを得ない.

そこで、降伏表面力に替えて破壊開始時刻を推定変数に用い、破壊開始の判定に破壊開始時刻を用いる、破 壊開始時刻はその値の微小変化に対して滑り変位の変化が滑らかであるため、偏微分を要する逆解析手法が適 用可能となる.破壊開始時間をパラメタとしたことにより、他の支配パラメタ間の独立性を再検討すると、集 約動的パラメタと称する互いに独立な支配パラメタの組が構築できる.集約動的パラメタは破壊開始時刻,滑 り弱化距離,動的応力降下量からなり,この集約動的パラメタを未知変数とした逆解析を行う場合,各要素の 未知変数は3個となる.

## 3. 地表面波形を観測量とした数値解析例

提案するインバージョン手法の有用性を確認するために、地表面波形を観測量として、設定した断層上の静 的応力降下量,動的応力降下量,滑り弱化距離を推定する数値解析を実施した.断層と観測点を Fig. 2 に示す



Fig. 1: 降伏表面力 Tp に起因する 鋭敏性の機構 Fig. 2: 数値解析の断層モデルと観測点配置



Fig. 3: 段階的に分割数を増加させる手法を用いた,動的応力降下量の推定結果

ように配置し、共役勾配法によりパラメタを推定した.

滑り変位に対する鋭敏性は除去されているものの,その非線形性により解が局所的最適解に陥る可能性が高い.そこで,推定変数である集約動的パラメタが一定値と仮定する小領域を設け,その小領域の数を段階的に 増加させながら推定した.各段階における解を次の段階の初期値として用いることで段階的に分解能を増加さ せながらパラメタを推定する.Fig.3に各段階で推定された動的応力降下量を示したが,小領域数の増加に従 い真値をよく再現することが確認できる.

また,4×4と8×8との場合において推定結果が似ており,この断層と観測点配置では8×8に対応する解 像度で推定されるだけの情報が不足していることがわかる.段階的に解を推定する手法ではその問題設定が保 証する解像度を予め与える必要がなく,適切な解像度で解が得られることが特徴である.

この数値解析では,推定変数192個に対して要した計算時間は約60時間である.従来の研究<sup>3)</sup>では推定変数 32個に対して8 CPU,37日を要しており,およそ100倍の高速化が達成された.この計算時間の短縮は鋭敏 性の除去による評価関数の偏微分可能性によるもので,従来の偏微分不可能な評価関数に対して行われていた ランダムサーチ法等に比べて高速な逆解析手法を適用できるためである.

#### 参考文献

- 1) Fukuyama, E. and R. Madariaga: Rupture dynamics of a planar fault in a 3D elastic medium: rate- and slip-weakening friction, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, pp.1-17, 1998.
- Ida, Y.: Cohesive force across the tip of a longitudunal-shear crack and Griffith's specific surface energy, J. Geophys. Res., 77, pp.3796-3805, 1972.
- Payrat, S and K. B. Olsen: Nonlinear dynamic rupture inversion of the 2000 Western Tottori Japan, Earthquake, Geophysical Research Letters, 31, L05604, 2004.