集約動力学パラメタに基づく震源破壊過程のインバージョン解析

○ 澤田純男・後藤浩之

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の破壊過程の推定が実施されている．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手法は運動学に基づいて断層のすべり分布を推定する手法であり，時空間平面上で平滑化フィルタを施した震源像が得られている．これは，耐震設計に有用な比較的短周期を含む入力地震動が生成可能な高解像度なものではない．

本発表では，動力学に基づく断層破壊の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を提案する．推定するパラメタとして新たに提案する集約動的パラメタを用いることで鋭敏性を回避し，偏微分を用いる逆解析手法を適用した．

2．逆問題の定式化

断層の破壊動力学を支配する方程式は，境界積分方程式 (Fukuyama and Madariaga, 1998) と断層の摩擦構成則 (Ida, 1972) である．

$$T_\alpha^{ijk} = -\frac{\mu}{2V_S}\dot{D}_\alpha^{ijk} + T_{0\alpha}^{ij} + \sum_{lm\beta}\sum_{k_p\le k-1} B_{\alpha\beta}^{lmk_p,ijk}\dot{D}_\beta^{lmk_p}. \tag{1}$$

$$T_\alpha^{ijk} = \begin{cases} -\dfrac{T_{C\alpha}^{ij}}{D_{C\alpha}^{ij}}\cdot D_\alpha^{ijk} + T_{C\alpha}^{ij} & \text{for} \quad D_\alpha^{ijk} \le D_{C\alpha}^{ij} \\ 0 & \text{for} \quad D_\alpha^{ijk} > D_{C\alpha}^{ij} \end{cases}. \tag{2}$$

式 (1)，(2) によると断層破壊を支配するパラメタは静的応力降下量 T_0，動的応力降下量 T_C，すべり弱化距離 D_C であるが，破壊現象は各地点の応力が T_C を上回るとすべりが急激に生じるような鋭敏性を有しているために，これらの推定変数群で逆問題を解くことは難しい．

式 (1)，(2) から表面力項 T_α^{ijk} を消去すると，時刻 k のすべり D_α^{ijk} は時刻 k 以前のすべりとパラメタのみで陽に表現できる．また，破壊開始時に強い敏感性を有することを考慮して，破壊開始時刻 τ_1 を導入した敏感性の除去を行う．

$$D_\alpha^{ijk} = \begin{cases} 0 & \text{for} \quad k < \tau_{1\alpha}^{ijk} \\ \tilde{D}_1(f_{a\alpha}^{ij}, f_{b\alpha}^{ij}, D_\alpha^{ij1}, \cdots, D_\alpha^{ijk-1}) & \text{for} \quad D_\alpha^{ijk} \le D_{C\alpha}^{ij} \\ \tilde{D}_2(f_{c\alpha}^{ij}, D_\alpha^{ij1}, \cdots, D_\alpha^{ijk-1}) & \text{for} \quad D_\alpha^{ijk} > D_{C\alpha}^{ij} \end{cases}. \tag{3}$$

$$f_{c\alpha}^{ij} = \frac{f_{b\alpha}^{ij}}{f_{a\alpha}^{ij}} + D_{C\alpha}^{ij}\left(1 - \frac{1}{f_{a\alpha}^{ij}}\right). \tag{4}$$

$$f_{b\alpha}^{ij} = -\frac{2v_s}{\mu} f_{a\alpha}^{ij} \sum_{lm\beta}\sum_{k_p \le \tau_{1\alpha}^{ij}-1} B_{\alpha\beta}^{lmk_p ij\tau_{1\alpha}^{ij}}\left(D_\beta^{lmk_p} - D_\beta^{lmk_p-1}\right). \tag{5}$$

式 (4)，(5) はパラメタ τ_1，D_C，f_a，f_b，f_c 間に存在する動力学に基づく拘束条件である．式 (3)，(4)，(5) より，パラメタ τ_1，D_C，f_a のみで断層の破壊動力学を支配することが可能である．本発表ではこのパラメタを集約動的パラメタと呼ぶ．

すべり分布と地表面波形を表現定理で関連付けると，集約動的パラメタから地表面波形を直接算出できる．

$$\boldsymbol{y} = \boldsymbol{f}(\cdots, {\tau_1}^{ij}, {D_C}^{ij}, {f_a}^{ij}, \cdots) + \boldsymbol{v} = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{v}. \tag{6}$$

これを逆解析手法を用いて解くことにより，断層の動力学的な支配パラメータを推定できる．破壊開始時刻の導入により鋭敏性が除去されるため，観測ベクトルの偏微分を利用した逆解析手法が適用できる．

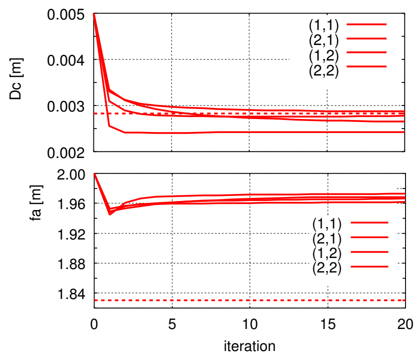

Fig. 1: 集約動的パラメタの推定結果