運動学震源インバージョンにおける要素細分化アルゴリズム導入の試み

清水建設　　正会員　○石井　やよい
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

運動学震源インバージョン手法は，数多くの地震においてその複雑な震源断層の破壊過程を明らかにしてきた．従来は，滑り量を求める要素の小断層の大きさと配置を既知のパラメーターとして与えていたが，実際にどのように分割させることが適当かは，観測条件に依存する可能性がある．そこで，本研究では，波形に対して感度の高い小断層を順次に分割していくことで，適切に分割された小断層配置に対する震源過程の推定方法を開発した．

２．細分化アルゴリズムの導入

断層面上に複数の小断層が配置されている場合を考える．各小断層ですべり量が単位量だけ変化した場合に，計算波形と観測波形との残差に及ぼす影響は感度分析により計算される．波形間の残差を L_2 ノルムの最小化問題として定義する場合，その影響の線形性から，その評価関数のヘシアン行列 H はグリーン関数のマトリクスから次式のように構成される．

$$H = G^T G$$

この時，ヘシアン行列の対角成分の大きさは，その小断層の感度の大きさを表すため，感度の大きな小断層を検出することができる．感度の大きな小断層をより小さな要素に分割し，再び構成したヘシアン行列からの感度の大きな小断層の検出と分割を繰り返すことで，適切な断層分割への収束を図る．

３．数値解析例

既知の滑り分布を用いて数値解析を行った．２次元 P-SV 波動場に長さ 320m の線震源と３つの観測点を配置する（Fig.1）．図－２に解として与えた滑り分布を示す．Fig.2 を用いて，Fig.1 の３つの観測点に対して計算された波形を観測波形とする．感度分析を行い，ステップ毎に要素を分割する方法と，要素の配置を固定した数値解析を行った．

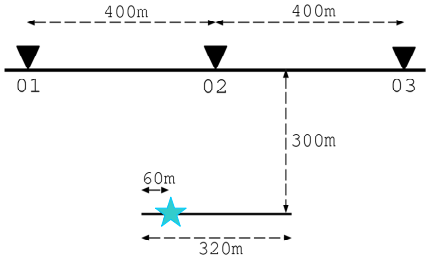

Fig.1　Locations of fault, hypocenter and observation sites

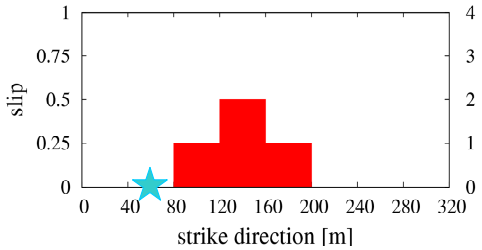

Fig.2　Slip model

初期設定として線震源を長さ 160m の２つの要素に分割し，滑り分布を推定し，これを Step1 とする．感度分析を行い，解像度の高い要素を推定し２つに分割した時の要素配置を Step2 とする．Step2 では，分割された 80m の要素 2 つと 160m の要素 1 つの 3 つの要素の滑り分布を推定する．感度分析と要素の分割を繰り返す毎に Step3，Step4，Step5，Step6 とする．各ステップで滑り分布を推定し，Step1，Step2，Step3，Step5，

キーワード　震源インバージョン，細分化アルゴリズム
連絡先　　〒135-8530　東京都江東区越中島 3-4-17　清水建設株式会社 技術研究所　ＴＥＬ03-3820-5967

Step6 で推定された滑り分布を Fig. 3～Fig. 7 に示す.

比較のために，要素をステップ毎に分割するのではなく，要素の配置を固定した数値解析も行った．線震源を長さ 80m の要素４つに分割して推定された滑り分布を Case1，長さ 40m の要素８つに分割したものを Case2 とする．Case1 の要素配置は Step3 と同じ要素配置である（Fig. 5）．Case2 で推定された滑り分布を Fig. 8 に示す.

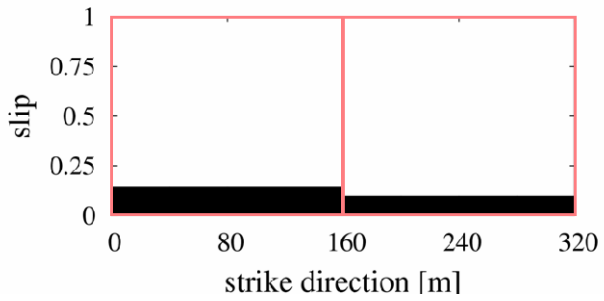

Fig.3 Estimated slip model (Step1)

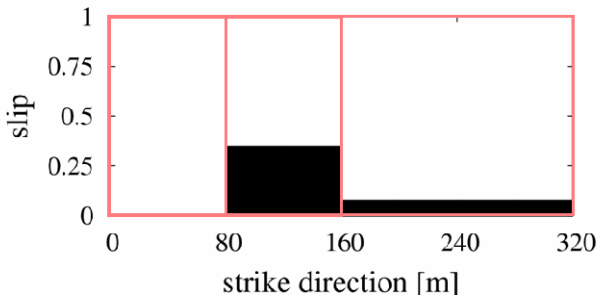

Fig.4 Estimated slip model (Step2)

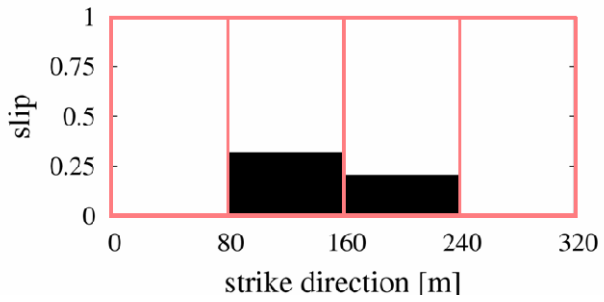

Fig.5 Estimated slip model (Step3, Case1)

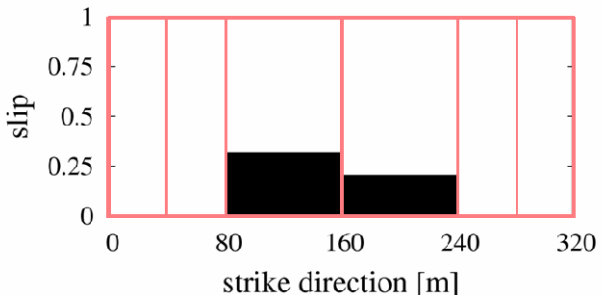

Fig.6 Estimated slip model (Step5)

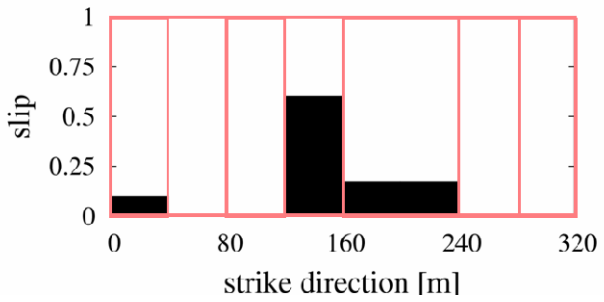

Fig.7 Estimated slip model (Step6)

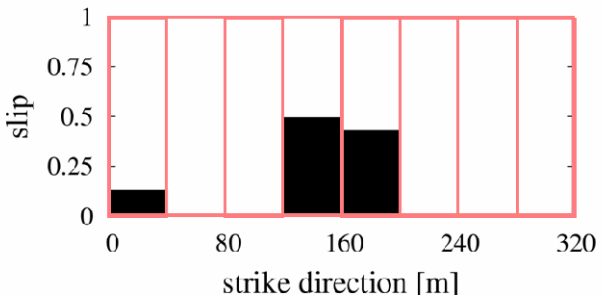

Fig.8 Estimated slip model (Case2)

要素細分化アルゴリズムを適用させることにより，要素がステップ毎に細かく分割され，領域毎の解像度に応じた滑り分布が推定される．Step6 において，線震源の左端に推定誤差が見られる．これは，解像度が十分でない要素が過度に分割されたためで，Step5 で推定された滑り分布が適切であると考えられる．また，要素の分割数を固定して数値解析を行ったが，Case1 は Step5 より解像度が低く，Case2 は Step6 と同じように，線震源の左端に推定誤差が見られる．従って，適切な要素分割に対応する滑り分布が，要素を細分化する本手法によって得られる可能性がある.

参考文献

Hartzell, S. H. and T. H. Heaton. Inversion of strong ground motion and teleseismic waveform data for the fault rupture history of the 1979 Imperial Valley, California, earthquake. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.73, No.6, pp.1553-1583, 1983.