

周波数帯域を考慮したインバージョンによる震源過程推定法の検討

岐阜大学大学院 学生会員 久世 益充
岐阜大学工学部 正 会 員 杉戸 真太 能島 暢呂 古本 吉倫
岐阜大学工学部 関野哲雄

1. はじめに

震源域近傍の地震動を的確に推定するためには、震源過程を考慮した地震動推定が必要不可欠である。震源過程は、多地点で観測された波形記録のインバージョンによりある程度推定することができる。

著者ら¹⁾は、断層パラメータを考慮した非定常スペクトル合成法による地震動予測モデル (EMPR)²⁾を用いて、加速度記録のインバージョンによる震源過程推定法の開発を 1999 年台湾集集地震を対象として試みた。この推定結果と Yagi and Kikuchi³⁾ が遠地実体波により推定した断層面上のすべり量分布を比較すると、着目する周波数帯域の違いによると思われる断層面上のアスペリティの違いが見られた。

本研究では、周波数ごとの地震動パワーの時刻歴を表す非定常パワースペクトル⁴⁾のインバージョンにより、図 1 に示す断層面上の地震動パワー放出の相対比率を周波数ごとに推定する手法を検討する。なお、ここで得られる相対比率とは、EMPR モデルにおける地震モーメントと非定常パワースペクトルの重ね合わせ数との関係式²⁾に基づけば、すべり量分布の相対比率のほぼ 0.4 乗と等価なものである。

2. 非定常パワースペクトルに着目した震源過程推定法

推定手順を図 2 に示す。ここでは、断層面や走向・傾斜角などの断層位置は与えられているものと仮定して推定を行う。

STEP I では断層面上のパワー放出は一様とみなして、著者ら⁵⁾の手法を用いて震源位置、マグニチュード M 、断層位置から地震モーメント M_0 、断層の破壊伝播速度 v_r を推定する。

STEP II では、STEP I の M_0 、 v_r を加えた断層パラメータを用いて算出した非定常パワースペクトルのインバージョンにより、断層面上の地震動パワーの相対比率を周波数ごとに推

定する。以下に推定手順を示す。

- i) 想定断層を小断層に分割し、EMPR により小規模断層による非定常パワースペクトル $\sqrt{G_{x,s}(t, 2\pi f)}$ と各小断層の $\sqrt{G_{x,s}(t, 2\pi f)}$ を合成した非定常パワースペクトル $\sqrt{G_{x,syn}(t, 2\pi f)}$ を求める。
- ii) 周波数ごとに算出した非定常パワースペクトルより、着目する周波数帯域の非定常パワースペクトルを式 (1) により求める。

$$\sqrt{G_{x0}(t, 2\pi f_{l\sim u})} = \int_{f_l}^{f_u} \sqrt{4\pi \cdot G_x(t, 2\pi f)} df \quad (1)$$

- ここに、 $\sqrt{G_{x0}(t, 2\pi f_{l\sim u})}$ は周波数帯域を考慮した非定常パワースペクトル、 $\sqrt{G_x(t, 2\pi f)}$ は時刻 t 、周波数 f における非定常パワースペクトル、 f_l, f_u はそれぞれ着目する周波数帯域の下限値、上限値である。
- iii) 観測記録より着目する周波数帯域の非定常パワースペクトル $\sqrt{G_{x,o}(t, 2\pi f_{l\sim u})}$ を式 (1) により求める。
 - iv) $\sqrt{G_{x,o}(t, 2\pi f_{l\sim u})}$ 、 $\sqrt{G_{x,syn}(t, 2\pi f_{l\sim u})}$ について、時間軸上の図心が一致するように調整する。
 - v) $\sqrt{G_{x,o}(t, 2\pi f_{l\sim u})}$ と $\sqrt{G_{x,s}(t, 2\pi f_{l\sim u})}$ について、非負の制約条件で線形最小二乗解を求める。
- 線形インバージョン問題は次式で表される⁶⁾。

$$\begin{bmatrix} \sqrt{G_{x,s11}} & \sqrt{G_{x,s12}} & \cdots & \sqrt{G_{x,s1m}} \\ \sqrt{G_{x,s21}} & \sqrt{G_{x,s22}} & \cdots & \sqrt{G_{x,s2m}} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sqrt{G_{x,sn1}} & \sqrt{G_{x,sn2}} & \cdots & \sqrt{G_{x,snm}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_m \end{bmatrix} \cong \begin{bmatrix} \sqrt{G_{x,o1}} \\ \sqrt{G_{x,o2}} \\ \vdots \\ \sqrt{G_{x,on}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

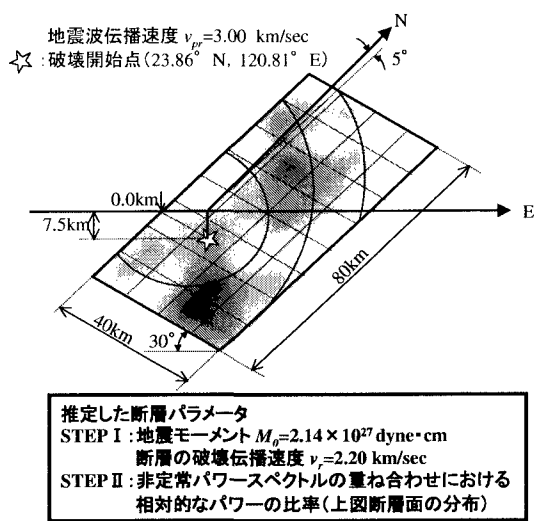


図 1 台湾集集地震の想定断層面と断層パラメータ

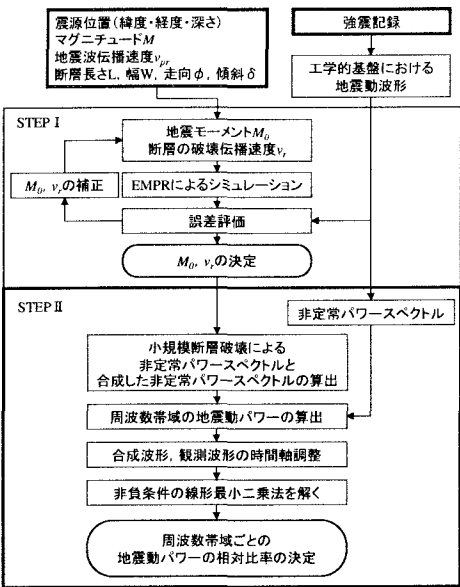


図 2 推定手順

ここに、 m は小断層数、 n は観測波形データの総数、 $\sqrt{G_{x,sij}}$ は小断層 j の i 番目の小規模断層の非定常パワースペクトル、 $\sqrt{G_{x,oi}}$ は i 番目の観測記録の非定常パワースペクトル、 r_j は小断層 j における周波数ごとの非定常パワースペクトルの重ね合わせにおける相対的なパワーの比率である。

式 (2) を $\{\sqrt{G_{x,o}} - \sqrt{G_{x,s}} \cdot r\} \rightarrow \min, r \geq 0$ の非負制約条件下で最小二乗解を求めることで、周波数帯域ごとの非定常パワースペクトルの重ね合わせにおける相対的なパワーの比率 r を得る。

3. 周波数帯域に着目した地震動パワーの推定結果

1999 年台湾集集地震で得られた観測記録を用いて、周波数ごとに断層面上の地震動パワーの相対比率を推定した結果を示す。図 3 に選定した観測地点と想定断層面、地表断層を示す。観測に使用した観測記録は 21 地点、水平 2 成分の合計 42 個の地表で観測された加速度記録である。

ところで、EMPR は工学的基盤面を対象とした地震動予測モデルであるため、地表の記録を地盤震動解析により基盤面相当の波形記録に変換して用いるのが望ましい。変換するためには各観測地点の詳細な地盤情報が必要であるが、台湾の地盤データが入手できなかったので地表の記録を使用した。

図 1 の断層パラメータと観測記録より STEP I の地震モーメント M_0 、断層の破壊伝播速度 v_r を推定した結果、 $M_0 = 2.14 \times 10^{27} (\text{dyne} \cdot \text{cm})$ 、 $v_r = 2.20 (\text{km/sec})$ となった。

次に、STEP II により推定した周波数帯域ごとの地震動パワーの比率を図 4 に示す。周波数帯域は、(a) 低周波数 (0.13Hz ~ 1.03Hz)、(b) 中周波数 (1.09Hz ~ 5.05Hz)、(c) 高周波数 (5.11Hz ~ 10.03Hz) に区分した。図 4 より、着目する周波数帯域による断層面上の地震動パワーの分布形状がどの程度異なるのか確認することができる。

比較のため、加速度包絡波形による推定結果¹⁾と遠地実体波による解析結果³⁾をそれぞれ図 5、図 6 に示す。中・高周波

数帯域の推定結果を図 5 と比較すると、分布形状に違いは見られるものの、断層面上のパワー放出の大きな部分がほぼ同じであることがわかる。また、低周波数帯域の推定結果と図 6 を比較すると、断層右上部の大きなアスペリティをよく再現できていることが確認できた。

4. おわりに

本研究では、非定常パワースペクトルに着目したインバージョンにより、周波数帯域ごとのアスペリティを推定する手法について検討した。1999 年台湾集集地震で得られた観測記録を用いて推定した結果、着目する周波数帯域により断層面上のパワーの分布、言い換えれば等価なアスペリティ分布が異なることを確認できた。

今回は周波数帯域を図 4 に示す 3 区分としたが、今後は各周波数帯域のアスペリティを現す区分方法についてさらに考察し、断層近傍での地震動推定のためにはどの程度詳細に周波数帯域を区分する必要があるかを検討する。

参考文献

- 1) 久世益充, 杉戸真太, 能島暢呂, 柳生健治: 強震動加速度記録を用いた 1999 年台湾集集地震における震源過程のインバージョン, 土木学会第 26 回地震工学研究発表会, 2001.8, pp.537~540.
- 2) Sugito, M., Furumoto, Y. and Sugiyama, T.: Strong Motion Prediction on Rock Surface by Superposed Evolutionary Spectra, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2001, 2111/4/A, CD-ROM
- 3) Yagi, Y. and Kikuchi, M.: Spatiotemporal Distribution of Source Rupture Process for 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake (Revise), <http://www.eeri.u-tokyo.ac.jp/yuji/taiwan/taiwan.html>
- 4) 亀田弘行: 強震地動の非定常パワースペクトルの算出法に関する一考察, 土木学会論文報告集 第 235 号, 1975.3, pp.55~62.
- 5) 久世益充, 杉戸真太, 能島暢呂, 古本吉倫: 断層の破壊方向を考慮した即時広域強震動分布推定法の検討, JCOSAR2000 論文集, 2000.11, pp.229~236.
- 6) 柳谷俊, 塚田和彦: 離散インバース理論, 古今書院, pp.109~132, 1997.

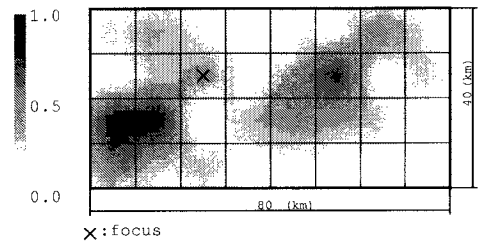


図 5 加速度記録のインバージョンによる地震動パワーの相対比率¹⁾

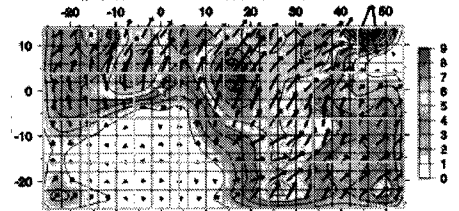


図 6 Yagi and Kikuchi によるすべり量分布³⁾

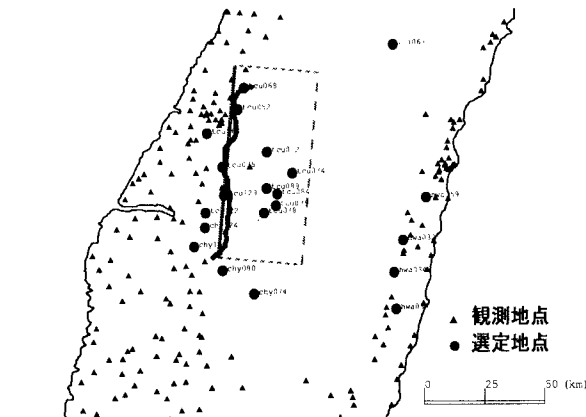


図 3 解析に使用した観測地点 (●印の 21 地点)

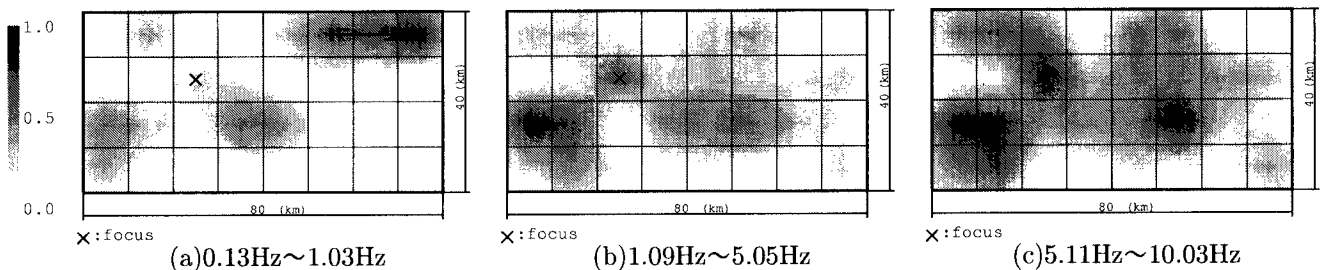


図 4 周波数帯域ごとの地震動パワーの相対比率