

周波数帯域を考慮した地震動パワーの時刻歴による震源過程のインバージョン

岐阜大学大学院 学生会員○久世益充 岐阜大学 正会員 杉戸真太・能島暢呂 (株) 希望社 関野哲雄

1. はじめに

多地点で観測された波形記録のインバージョンにより推定される震源過程は、震源域近傍の地震動の予測精度向上に不可欠である。著者ら¹⁾は、断層パラメータを考慮した非定常パワー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試みた。1999年台湾集集地震を対象とした推定結果 (後出図7) と Yagi and Kikuchi³⁾が遠地実体波により推定したすべり量分布 (後出図8) を比較するとアスペリティの違いが見られ、着目する周波数帯域の違いに起因すると推察された。

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⁾に着目し、周波数帯域を考慮した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帯域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、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ことが明らかにされている²⁾。

2. 周波数帯域を考慮した震源過程推定法

震源過程の推定手順を図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。断層面上のパワー放出は一様とみなして、STEP Iで地震モーメント M_0 、断層の破壊伝播速度 v_r を推定した後⁵⁾、STEP IIにより周波数帯域を考慮した地震動パワーの時刻歴インバージョンを行う。インバージョン手順を以下に示す。

- i) 想定断層を小断層に分割し、EMPRにより小規模断層破壊による非定常パワースペクトル $G_s(t, 2\pi f)$ と各小断層の $G_s(t, 2\pi f)$ を合成した非定常パワースペクトル $G_{syn}(t, 2\pi f)$ を求める。
- ii) 周波数ごとの非定常パワースペクトルから、次式により着目する周波数帯域の地震動パワーの時刻歴を求める。

$$H(t) = \int_{f_l}^{f_u} \sqrt{4\pi \cdot G(t, 2\pi f)} df \quad (1)$$

ここに、 $H(t)$ は周波数帯域を考慮した地震動パワーの時刻歴、 $G(t, 2\pi f)$ は時刻 t 、周波数 f における非定常パワー

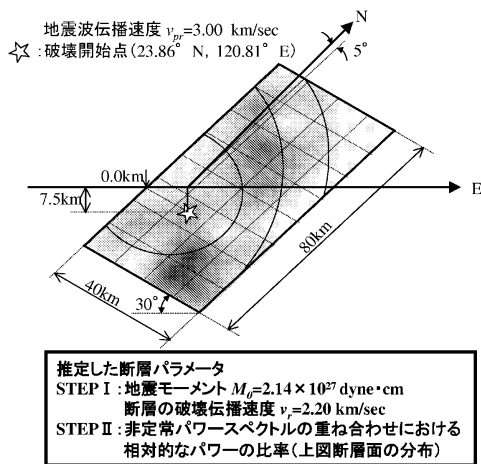


図1 台湾集集地震の想定断層面と断層パラメータ

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地震動パワーの時刻歴 $H_o(t)$ を式 (1) により求める。
- iv) $H_o(t)$ と EMPR により合成した地震動パワーの時刻歴 $H_{syn}(t)$ について時間軸調整を行う。
- v) $H_o(t)$ と小断層の地震動パワーの時刻歴 $H_s(t)$ について、式 (2) により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 を線形最小二乗法で求める⁶⁾。

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

ここに、 m は小断層数、 n は観測波形データの総数、 H_{sij} は小断層 j の i 番目の小規模断層の地震動パワー、 H_{oi} は i 番目の観測記録の地震動パワー、 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。

3. 周波数帯域に着目した地震動パワーの相対比率推定結果

1999年台湾集集地震で得られた観測記録を用いて、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した結果を示す。図3に選定した観測地点、想定断層面、地表断層を示す。推定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。EMPRは工学的基盤面を対象としているので、地表の記録を基盤面相当に変換して用いるのが望ましいが、台湾の地盤データが入手できなかったためここでは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を用いて、STEP Iにより地震モーメント $M_0 = 2.14 \times 10^{27}$ (dyne · cm)、断層の破壊伝播速度 $v_r = 2.20$ (km/sec) が得られた。次に、STEP IIのインバージョンにより推定した周波数帯域ごとの地震動パワーの相対比率結果を図4に示す。周波数帯域は、(a) 低周波数

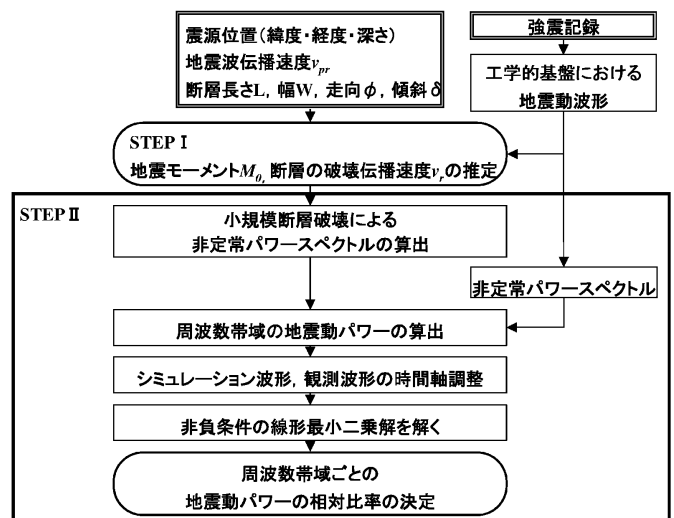


図2 震源過程の推定手順

キーワード：1999年台湾集集地震、非定常パワースペクトル、インバージョン、周波数帯域、アスペリティ
連絡先：〒501-1193 岐阜市柳戸1-1 TEL：058-293-2427

(0.13~0.55Hz), (b) 中周波数 (0.61~2.35Hz), (c) 高周波数 (2.41~10.03Hz) に区分した。着目する周波数帯域により地震動パワーの分布形状が大きく異なることがわかる。

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7, 図8に示す。低周波数帯域の推定結果と図8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。また、高周波数帯域の推定結果では図7とほぼ同じ分布形状であった。

次に、周波数帯域を考慮した地震動パワーの時刻歴について、地震動パワーの相対比率を一定として合成した波形とインバージョン結果により合成した波形を、それぞれ図5, 図6に示す。相対比率を一定とした図5よりも、インバージョン結果による図6の方が、観測波形に近づいていることがわかる。観測波形と合成波形の地点ごとの推定誤差を図9に示す。図中の円は誤

差の大きさを表す。断層面上のいくつかの地点で低周波数帯域の誤差が中・高周波数帯域と比べて大きくなったが、他の地点では着目する周波数帯域や観測点に関係なく、同程度の推定精度であることがわかる。

4. おわりに

本研究では、周波数帯域を考慮した地震動パワーの時刻歴を用い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が異なることを確認できた。今後は周波数帯域ごとに異なるアスペリティを考慮した地震動予測法について検討を行う。

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.eri.u-tokyo.ac.jp/yuji/taiwan/taiwan.html>
- 4) 亀田弘行: 強震地震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.

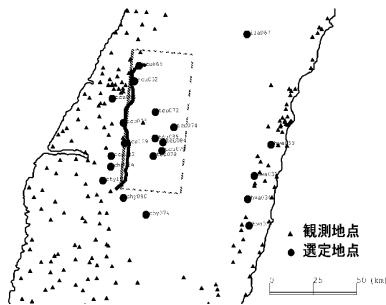


図3 解析に使用した観測地点 (●印の21地点)

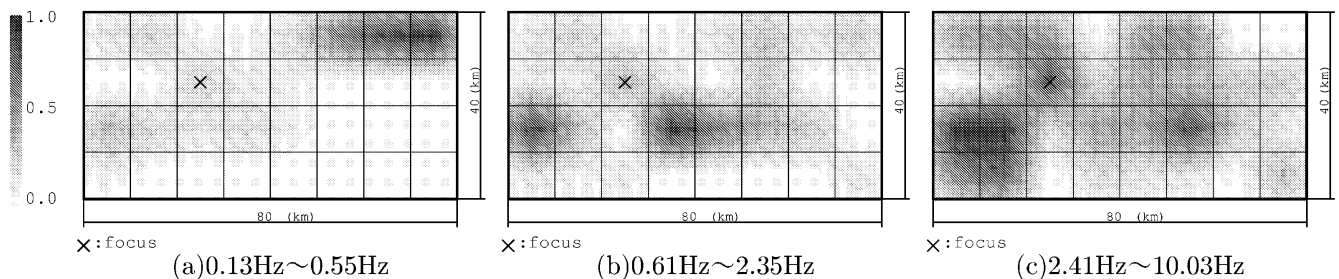


図4 周波数帯域ごとの地震動パワーの相対比率

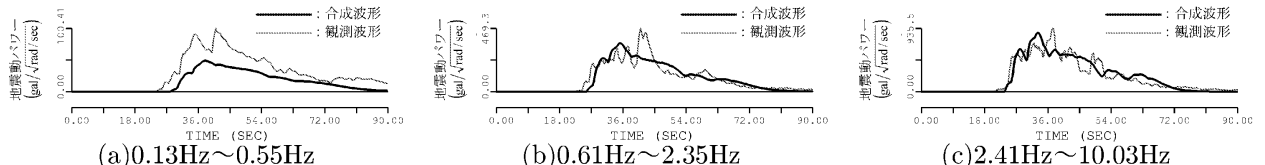


図5 地震動パワーの時刻歴の比較: アスペリティを考慮しない場合 (tcu122地点, NS成分)

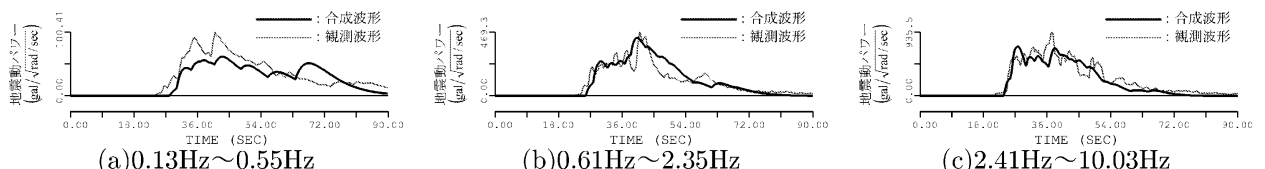


図6 地震動パワーの時刻歴の比較: アスペリティを考慮した場合 (tcu122地点, NS成分)

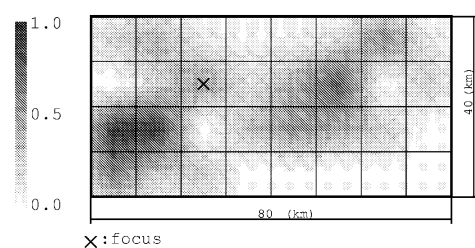


図7: 加速度包絡波形のインバージョンによる地震動パワーの相対比率¹⁾

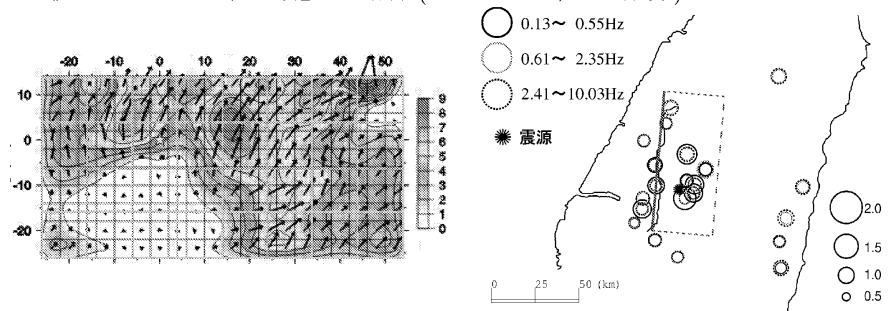


図8 Yagi and Kikuchiによるすべり量分布³⁾

図9 観測地点ごとの推定誤差