

和歌山工業高等専門学校 正会員 ○辻原 治
和歌山工業高等専門学校 池田 勝平

1. はじめに

地震発生後、被害の程度を早期に把握する方法の一つとして、各地域の地震動の強さを推定することが考えられる。近年、気象庁から地震発生後比較的早く各地の震度が発表されるようになったが、少数の観測点における計測値から地域全体の様子を表すには限界がある。そこで、計器の設置されていない場所の地震動の強さを推定することが必要となる。従来、マグニチュードと点震源の情報から地域の地震動強度の分布を推定する方法がよく用いられている。この方法では、断層の広がりやが考慮されていないため、特に震源域の地震動強度を評価しきれない。

本研究では、地震発生後に断層を線分とみなして、最大加速度記録からその両端点の経緯度を推定する方法¹⁾において、その適用限界を明らかにすることを目的とする。

2. 断層線の同定問題の定式化

図-1 に示すように、地震断層を直線で表すことができ、 n 個の地点で最大加速度が得られているものとする。このとき、地震断層位置の同定問題は次式的最適化問題に置き換えることができる。

$$S(\alpha) = \sum_{i=1}^n \{\log A_i(\alpha) - \log A_i\}^2 \rightarrow \min \quad (1)$$

ここに、 α は未知変数を表し、この問題では断層端点の東経および北緯 $E_{01}, N_{01}, E_{02}, N_{02}$ である。 $A_i(\alpha)$ は、それらの未知変数とマグニチュードおよび震源深さの関数として距離減衰式から計算される最大加速度であり、本研究では福島による距離減衰式²⁾を用いた。また、 (E_i, N_i) 、 A_i および R_i は、それぞれ地震計設置点 i の経緯度、最大加速度記録および点 i より断層までの最短距離を表す。断層線が地震発生後に発表される震央 (E_0, N_0) を通ることを考慮すると、未知変数は次式の関係から E_{01}, N_{01}, E_{02} となる。

$$N_{02} = N_{01} + \frac{N_0 - N_{01}}{E_0 - E_{01}}(E_{02} - E_{01}) \quad (2)$$

ところで、式(1)で用いられる最大加速度は距離減衰式のまわりで一般にばらついており、そのような記録を用いて同定される未知変数は確率変数として扱われるべきである。それらの標準偏差は、未知変数の収束値に対して計算された対数最大加速度と最大加速度記録の対数値の残差の関数として表すことができる³⁾。

3. 同定手法の適用基準

マグニチュードが小さい地震は、一般に断層の長さが短いと考えられ、推定された断層線の精度は相対的に低いものとなる。程度によっては、もはや断層線を推定することに意味がなくなる。そこで、マグニチュードに対して、断層端点の推定精度がどの程度であれば同定手法の適用が可能かを明らかにすることとした。

本研究では、図-2 に示すように点震源から計算される対数最大加速度 $\log A_i'$ が、線断層から推定されるその標準偏差内に存在するかどうかを適用基準として次のように定める。

$$\left| \log \bar{A}_i - \log A_i' \right| \leq \sigma_{\log \bar{A}_i} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

そして、すべての i について上式が満足されれば、線断層を用いる必要がないと判断する。ここに、 $\log \bar{A}_i$ は

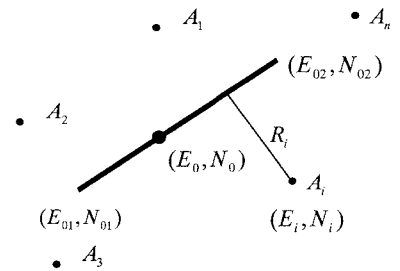


図-1 地震断層と観測点の位置関係

E_{01}, N_{01}, E_{02} の推定値から計算された任意点 i の対数最大加速度であり, $\sigma_{\log \bar{A}_i}$ はその標準偏差である. 断層端点の推定値が互いに独立であるとき, $\sigma_{\log \bar{A}_i}$ は次式で近似できる.

$$\sigma_{\log \bar{A}_i} \approx \sqrt{\sum_{j=1}^3 c_j^2 \text{Var}(\alpha_j)} \quad (4)$$

ここに $\text{Var}(\alpha_j)$, $c_j = \partial \log A_i / \partial \alpha_j$, $j = 1, 2, 3$ は, それぞれ未知変数の分散と対数最大加速度の偏導関数を表す.

4. 数値計算例

ここでは直交座標上で計算を行った結果を示す. 図-3 に示すような正方形の領域を縦横の平行線で区切ってメッシュを作り, 各メッシュの中心の座標を (x_i, y_i) とする. 断層は, 水平に対して 45° の傾きをもち, 震源を中点 (x_0, y_0) , 両端点の座標を $(x_{01}, y_{01}), (x_{02}, y_{02})$ とする線分とする. 断層の長さは松田による式⁴⁾で表されるものとした. そして, 各メッシュの中心を観測点として, 線震源に対する対数最大加速度 $\log \bar{A}_i$ とその標準偏差 $\sigma_{\log \bar{A}_i}$ および点震源に対する対数最大加速度 $\log A_i'$ を求め, 式(3)の条件が満足されるか否かをすべてのメッシュについて判定する. ただし, 点震源, 線震源にかかわらず同じ距離減衰式を用いることとする.

数値計算では, $100\text{km} \times 100\text{km}$ の領域を 200×200 のメッシュに分割し, マグニチュード 7.0, 断層面の深さ 10km とした. 図-4 は, 断層端点 $x_{01}, y_{01}, x_{02}, y_{02}$ の標準偏差を 1.0, 3.0, 5.0, 10.0km としたときに, 式(3)の基準が満たされた領域を黒く塗りつぶしたものである. 標準偏差が大きくなるにつれて黒く塗られた部分の面積が大きくなっているのがわかる. 線震源に対して垂直方向のメッシュで基準を多く満たしているのは, 線震源を用いた場合と点震源を用いた場合の観測点までの最短距離の差が小さく, 対数最大加速度に大きな差が生じないためである. それに対して, 線震源の延長上では, その差が大きくなるので断層端点の標準偏差が大きくなっても基準が満たされ難くなる. このマグニチュード 7.0 において, 式(3)の適用基準がほぼ 100% 満足される標準偏差は約 15.0km であった.

参考文献

- 1) 辻原 治: 最大地動を用いた断層位置推定と推定誤差の評価について, 平成 10 年度関西支部年次学術講演会講演概要集, 1-8, 1998.
- 2) 福島美光: 地震波の発生・伝播の理論を背景とした入力地震動の経験的予測, 東京工業大学学位論文, pp.50-55, 1995.
- 3) 辻原治, 江川智之, 沢田勉: 最大加速度記録を用いた断層位置の簡易推定法と精度について, 応用力学論文集, Vol.2, pp.503- 514, 1999.
- 4) 松田時彦: 活断層から発生する地震断層と周期について, 地震, Vol.80, pp.269-283, 1975.

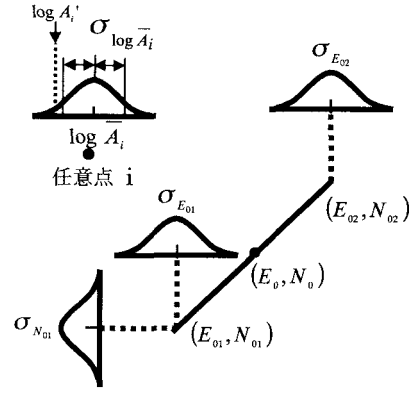


図-2 線断層から推定される任意点の対数最大加速度の精度と, 点震源から推定される対数最大加速度との関係

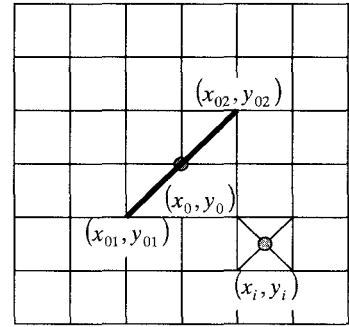


図-3 地震断層と観測点の位置関係

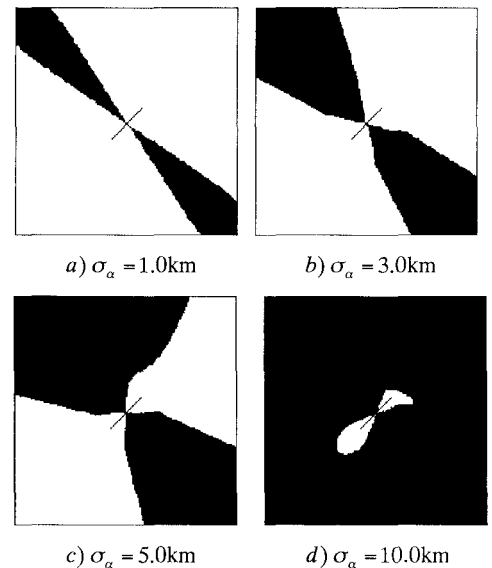


図-4 適用基準を満たす領域 (塗りつぶした領域)