

京都大学工学部 学生員 ○松井智昭 京都大学防災研究所 フェロー 亀田弘行  
清水建設(株) 正会員 奥村俊彦

### 1. はじめに

地震環境をモデル化する際に遭遇する不確定性を定量的に取り扱う場合には確率論が有効であり、地震動の予測における種々の不確定性を含めた評価法として、確率論的地震危険度解析が行われてきた。阪神・淡路大震災以後、低頻度の巨大地震への対応として発生源である活断層が広く注目されており、活断層による地震危険度をより詳細に評価していく必要性が生じている。工学的地震危険度解析では従来のポアソン型モデルから、活断層の活動履歴を考慮して地震発生の非定常性の影響を取り入れたモデルへと向かいつつあり、その際に含まれる種々のモデルパラメータの不確定性を低減するために、地震危険度評価法の高度化を図ることが重要である。そのためには、現在全国で精力的に行われている活断層調査の報告書から、活動履歴を詳細に推定できる資料を抽出し、活用していくことが必要である。本研究では、活断層調査結果を活用した、平均変位速度の不確定性評価における一つの考えを示す。

### 2. 平均変位速度の不確定性評価の方針

活断層の平均活動間隔  $\mu_T$  は、活断層調査に基づく  $\mu_T$  の直接的な情報が不明な場合、単位変位量  $D$  と平均変位速度  $S$  から求める方法 ( $\mu_T = D/S$ ) がある。しかし活断層パラメータには、ランダムに分布することによる不確定性やデータ自体の不足による不確定性が含まれるために、活動間隔は平均とばらつき(対数標準偏差)により確率論的に評価する手法がよく用いられる。既往の研究<sup>1)</sup>では、活断層の活動間隔のばらつきを、(a)活動間隔が本来有するばらつき、(b)単位変位量  $D$  の推定のばらつき、(c)平均変位速度  $S$  の推定のばらつき、の3つの要因に区分し、それぞれ工学的判断によって情報の多寡に応じた値(対数標準偏差)を設定している。しかし、この値の中で、トレンチ調査等の活断層調査から推定される単位変位量  $D$  や平均変位速度  $S$  のばらつきは、それぞれ比較的大胆に設定されているため、活断層調査報告書の内容をもっと直接的に不確定性評価する必要がある。そこで本研究では、その中でも比較的情報量の多い平均変位速度  $S$  についての不確定性評価を試みた。

### 3. 活断層調査報告書における平均変位速度の不確定性の記述

平成7年12月より科学技術庁(現、文部科学省)の交付金による各地方公共団体の活断層調査が全国で行われていて、調査結果(報告書)がインターネットホームページで公開されている。この報告書には、平均変位速度  $S$  について、従来の研究において用いられてきた同一断層上の複数の調査地点の結果を一つにまとめた数値(総合評価)だけでなく、その調査地点ごとの詳細な結果も記載されている。またその値も、一つの数値で与えられたり、幅(範囲)で与えられたりと様々である。しかし、この報告書は各断層帯ごとに調査者や調査方法が異なり、整理の仕方も異なるため、すべての情報を考慮して不確定性の議論をする工学的な立場からすれば、もう少し探しやすい形で情報公開して欲しいと感じる。

### 4. 不確定性評価の手順

平均変位速度  $S$  が活断層調査から推定される場合の  $S$  のばらつき(対数標準偏差)は、従来では  $S$  が①幅(範囲)のある値で与えられた場合、②一つの数値で与えられた場合、共に同じ値( $\zeta=0.3$ )に設定されている。そこで、このような情報の内容に応じた、 $S$  の不確定性評価の方法を示した。

【①の場合】 $S$  の確率密度関数  $f_S(s)$  を一様分布とし、 $S$  の値は平均値を適用する。ここでは、 $T_r$  を決めるパラメータ ( $D$ 、 $S$ ) はそれぞれ独立と考え、 $S$  についてのみ考えている。変量が確率変数の関数  $Z = h(X)$  で与えられ、その関数が非線形関数の場合の分散は式(1)となる<sup>2)</sup>。さらに、式(1)と式(2)から導かれる式(3)により  $S$  ばらつきが算定される。従来の研究で用いられていたばらつきと比較すると、一様分布として計算し

Hiroyuki KAMEDA, Satoshi TANAKA, Toshihiko OKUMURA and Tomoaki MATSUI

たばらつきの方が全体的に小さい値となる場合が多いことがわかった。

$$f_s(s) \quad \text{分散} \quad V \approx \sum_{i=1}^n C_i^2 \sigma_{X_i}^2 + 2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n C_i C_j \sigma_{X_i} \sigma_{X_j} \rho_{X_i X_j} \quad (\rho: \text{相関係数}) \quad (1)$$

$$\left[ \text{ただし, } C_i = \left. \frac{\partial h(X)}{\partial X_i} \right|_{X_1=\mu_{X_1}, \dots, X_n=\mu_{X_n}} \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{平均値} \quad \mu_s = (s_l + s_u)/2 \\ \text{標準偏差} \quad \sigma_s = \frac{s_u - s_l}{2\sqrt{3}} \end{array} \right. \quad \text{また, } T_r = D/s \text{ より} \quad \sigma_{\ln T_r}^2 = \sigma_{\ln D}^2 + \sigma_{\ln s}^2 \quad (2)$$

$$Z = \ln S \text{ とおくと} \quad \zeta^2 = \sigma_Z^2 = \left( \frac{dZ}{dS} \Big|_{S=\mu_s} \right)^2 \sigma_s^2 \quad (3)$$

【②の場合】 $s$ のばらつきは従来の研究と同じ値( $\zeta=0.3$ )を適用した。しかしその中でも、調査地点が1点の場合は、0.3よりも大きい値を設定するのがよいと考えた。そこで、(ア)… $s$ が一つの数値で与えられている場合、(イ)… $s$ が幅のある値で与えられている場合、(ウ)… $s$ が活動度から推定される場合とすると、 $s$ のばらつきは(ウ)>(ア)>(イ)となると考え、(イ)の場合の断層(15本)の $s$ の幅をそれぞれ一様分布としたときのばらつきを正規分布に乗せ、上側確率5%のばらつき(対数標準偏差=0.45 $\approx$ 0.5)を算出した(図-1)。そしてその値を、調査地点が1点かつ $s$ が一つの数値で与えられている場合、(ア)のばらつきに設定した。

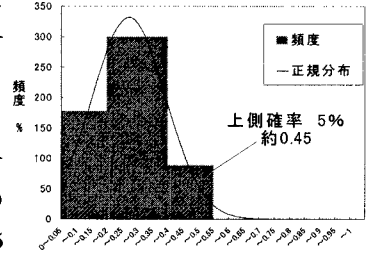


図-1 平均変位速度 $S$ が幅のある値で与えられた断層帯の $S$ のばらつきのヒストグラム

### 5. 地震発生確率の算定

平均変位速度 $s$ が活断層調査により推定されている断層(16本)について、報告書の中の詳細なデータを活用し、提案した手法に基づいて地震発生確率を算定した<sup>3)</sup>(図-3, 図-5)。

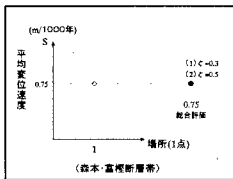


図-2 調査地点ごとの平均変位速度

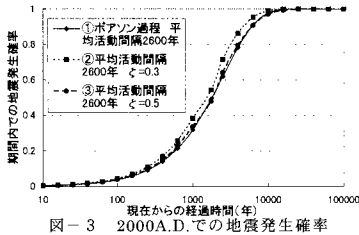


図-3 2000A.D.での地震発生確率

※調査地点1点で、 $S$ が一つの数値で与えられた場合の例(森本・富樫断層帯)

- ①…活動履歴なし
- ②…従来の研究(図-2-(1))
- ③…新しいばらつきの設定(図-2-(2))

※調査地点が複数の例(金沢断層)

- ①…活動履歴なし
- ②…総合評価で一様分布(図-4-(2))
- ③… $S$ の最大値をとり $\zeta=0.3$

従来の研究(図-4-(1)(4))

- ④… $S$ の最大値を与える地点で一様分布

(図-4-(5))

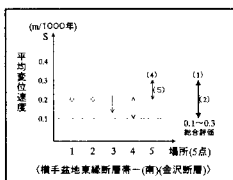


図-4 調査地点ごとの平均変位速度

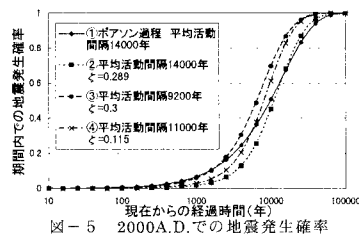


図-5 2000A.D.での地震発生確率

従来の研究では、平均変位速度 $s$ が幅のある値で与えられた場合には、平均活動間隔 $\mu_r$ を最も短くする値、つまり $s$ の最大値を用いている。

### 6. まとめ

活断層調査により推定された平均変位速度 $s$ の不確定性評価の一つの考えを示した。これにより、従来では考慮されてなかった、 $s$ の情報の内容に応じた評価や活断層の各調査地点ごとの調査データを活用した評価ができた。本研究は活断層パラメータの不確定性評価の基礎的研究であり、今後は平均変位速度 $s$ のみならず単位変位量 $D$ や地震規模 $M$ の不確定性評価によって、地震危険度評価法の高度化が図れると考える。

参考文献 1) 損害保険料算定会：活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究～地震ハザードマップの提案～、地産保険調査研究 47,2000.6.  
2) 亀田弘行,池淵周一,春名 攻：2 確率・統計解析,土木学会編：新体系土木工学,技報堂出版,1981. 3)奥村俊彦,石川 裕,亀田弘行：活断層の活動履歴に関する情報を考慮した地震危険度評価,土木学会 第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集,pp.49-56,1997,1.など