

(123) 歴史地震と活断層を考慮した線震源モデルによる地震危険度解析

鹿島建設(株) ○砂坂善雄, 草野直幹, 平山東助

1. まえがき

構造物の耐震設計あるいは地震時信頼性の評価においては、当該地域の地震危険度を明らかにすることが重要であり、従来から歴史地震資料に基づく地震危険度解析が数多く発表されてきた。しかし、重要な構造物の近くに活断層が存在する場合には、地震危険度解析において活断層を考慮すべきであると考えられる。このような観点から、近年活断層資料に基づく地震危険度解析法も提案されている¹⁾。しかし、歴史地震と活断層を同時に考慮した有効な方法は、まだ少ないのが現状である。本研究は、KIUREGHIANとANGによって提案されている線震源モデルに基づいて、震源域を活断層と活断層の発見されていないその他の領域に分け、活断層については断層パラメータから、その他の領域については歴史地震データから地震特性を決定し、より信頼性の高い地震危険度解析を行なうものである。解析例として、東京および大阪を対象に本解析法による地震危険度解析を行ない、従来の方法による結果と比較し、考察を加える。

2. 歴史地震と活断層を考慮した解析モデル

本解析では、KIUREGHIANとANG²⁾が提案している線震源モデルに基づいて、次のような仮定をおく。

- ① あるマグニチュードの地震が発生すると、そのマグニチュードに応じた長さの破壊が断層上に生じる。
- ② 対象地点の地震動の強さは、対象地点から断層の破壊部分までの最短距離によって決まる。
- ③ 震源域を次の2つの型に分けてモデル化する。
 - ・ 活断層：位置・方向・長さなどが明らかにされている断層で、地震はこの断層上のどこでも一様に発生し、破壊はこの断層に沿って伝播する。
 - ・ 活断層の発見されていないその他の領域：断層の位置だけでなく、地震が生じたとき破壊の伝播する方向も特定できない領域。地震はこの領域内のどこでも一様に発生し、破壊はあらゆる方向に同じ確率で伝播し得る。
- ④ 地震はポアソン過程に従って発生する。
- ⑤ 各震源域で発生する地震のマグニチュードの分布は、GUTENBERG-RICHTER の関係式に従う。すなわち、マグニチュード m の確率密度関数 $f_M(m)$ は次式で表わされる。

$$f_M(m) = \frac{2.3b \cdot \text{EXP}[-2.3b(m-m_0)]}{1 - \text{EXP}[-2.3b(m_U - m_0)]} \quad (1)$$

ここに、 b は b 値、 m_U はこの震源域で発生し得る最大マグニチュード、 m_0 は工学的に考慮すべき最小マグニチュードである。

- ⑥ 各震源域では、地震の起こる深さは一定である。

以上の仮定のもとに、震源域 i での地震によって対象地点での地動強度 Y がある値 y を超える確率 P

($Y > y \mid F_i$)は次式で表わされる。

$$P(Y > y \mid E_i) = \int P(Y > y \mid E_{m,i}) f_M(m) dm \quad (2)$$

ここに、 $E_{m,i}$ は震源域 i でマグニチュード m の地震が起こるという事象を表わす。震源域 i での地震の発生をポアソン過程とし、地震の年平均発生率を ν_i とすると、1年間で対象地点の地動強度 Y がある値 y を超える確率(年超過確率) $P(Y > y)_{1\text{year}}$ は次式で表わされる。

$$P(Y > y)_{1\text{year}} = 1 - \text{EXP}[-\sum P(Y > y \mid E_i)] \quad (3)$$

また、この地動強度 y の再現期間 T_y は次式で表わされる。

$$T_y = 1 / P(Y > y)_{1\text{year}} \quad (4)$$

3. 震源特性の評価方法

地震域を活断層と活断層の発見されていないその他の領域に分けてモデル化するが、これらの地震特性は次のようにして評価する。(図-1参照)

(a) 活断層

「日本の活断層」(1980)によれば、活断層とは第四紀つまり約200万年前から現在までの間に動いたと見なされる断層で、将来も活動することが推定される断層である。「日本の活断層」には、活断層の位置・方向・長さなどが明らかにされている。ただし、活断層はその存在の確からしさによって3つのランク(確実度Ⅰ, Ⅱ, Ⅲ)に分けられているが、本解析では活断層である可能性の十分高い確実度Ⅰ, Ⅱの活断層を用いる。解析に必要な震源特性は、次のようにして求める。

- 地震の最大マグニチュード

長さL(km)の活断層で起こり得る最大のマグニチュード

m_U は、松田(1975)の式より次式で求める。

$$m_U = (\log L + 2.9) / 0.6 \quad (5)$$

- b値

b値は対象地域の歴史地震資料から求まる値を用いる。

- 地震の年平均発生率

活断層で発生する地震の年平均発生率 ν は、奥村・亀田の方法³⁾に基づいて求めた。これは、「1年間に断層に蓄積される地震モーメントと一年間に断層から発生する地震の地震モーメントは等しい」という考えを用いるものである。すなわち、 ν は次式で求める。

$$\nu = \mu B L \lambda / \int_0^m F(m) f_U(m) dm \quad (6)$$

ここに、 μ は岩石の剛性率(3.3×10^{11} dyne/cm²)、Bは断層の幅(=L/2)、 λ は断層の年間平均変位速度、F(m)はGeller(1976)の地震モーメントとマグニチュードの関係式である。断層の年間平均変位速度は、活断層の活動度に応じて表-1のような値とする。

活動度	λ (cm/年)
A	0.5
B	0.05
C	0.005

(b) 活断層の発見されていない残りの領域

対象地域のうち活断層を除いた残りの領域は、歴史地震資料に基づいてサブゾーンに分割し、サブゾーンごとに震源特性を評価する。

- 地震の最大マグニチュード

牧野・松村(1978)が日本の地体構造から求めている最大マグニチュードに基づいて決める。

- b値

サブゾーンに含まれている歴史地震から求める。

- 地震の年平均発生率

サブゾーンに含まれている歴史地震から求める。ただし、サブゾーン内に活断層が存在する場合には、次式によって求める。

$$\nu = \nu_H + \nu_F \quad (7)$$

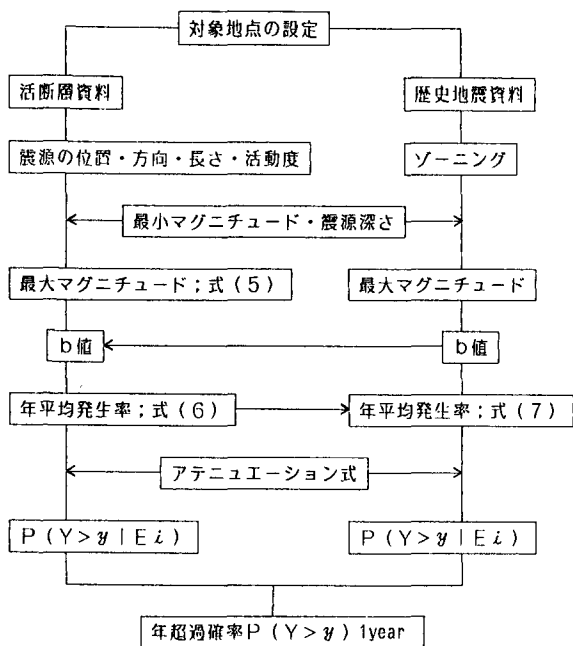


図-1. 本解析のブロックフロー

ここに、 ν_H はサブゾーンに含まれている歴史地震の年平均発生率、 ν_F はサブゾーン内に存在する活断層の年平均発生率である。ただし、式(7)より ν が負となる場合は $\nu=0$ とする。

4. アテニュエーション式

日本の地震の観測データに基づいて、基盤の最大加速度を求めている既往の5つのアテニュエーション式を調べると、図-2のように大きくばらつく。そこで、これら既往の5つのアテニュエーション式の平均を次式のように定めた。

$$\log A = 0.318M - 0.973 \log R + 1.28 \quad (8)$$

本解析では、アテニュエーション式として上式を用いる。

5. 解析例

対象地点を東京と大阪に選び、本解析法に基づいて基盤における最大加速度の年超過確率を求めた。解析には、対象地点から200km以内の活断層と歴史地震(1926~1981年)を用いた。活断層の分布は図-3, 4に示す通りである。これは、「日本の活断層」に記載されている活断層を一本の直線でモデル化したものである。歴史地震の震央の分布および地体構造などによる震源域のゾーニングを図-5, 6に示した。なお、最小マグニチュードは5、震源深さは10kmとした。

解析結果を図-7, 8に示した。図中、実線が歴史地震と活断層をともに考慮して求めたもの、一点鎖線が活断層のみを考慮したもの、破線が歴史地震のみを考慮して点震源モデルによって求めたものである。図-7, 8より、活断層と歴史地震をともに考慮した年超過確率の方が、歴史地震のみを考慮して点震源モデルによって求めたものより大きい。また、歴史地震のみを考慮して求めた年超過確率は東京と大阪ではほぼ等しいが、歴史地震と活断層をともに考慮して求めた年超過確率は大阪の方が大きい。これは、図-3, 4に示されたように、大阪の方が活断層が多いことを反映している。

6. おわりに

本解析法では、内陸の活断層と歴史地震をともに考慮して地震危険度解析を行なったが、今後は、海の活断層も考慮して全国の地震危険度マップを作成することが重要と考えられる。尚、本解析で用いた活断層および歴史地震データは武藤記念研究室の「国内地震情報の検索システム」によっている。

<参考文献> 1) 戸松・安田・片山; 陸上断層に基づく地震危険度図の特徴、17回地震工学研究発表会講演概要、1983。2) KIUREGHIAN・ANG; A FAULT-RUPTURE MODEL FOR SEISMIC RISK ANALYSIS, BSSA, Vol.67, No. 4, 1977。3) 奥村・亀田; 活断層データと歴史地震データを組合せた地震危険度解析、土木学会第39回年次大会講演概要集(I)、1984。4) 太田・足立・他; 硬さの異なる岩盤で観測された地震動の最大加速度とスペクトル特性の比較、日本地震工学シンポジウム、1982

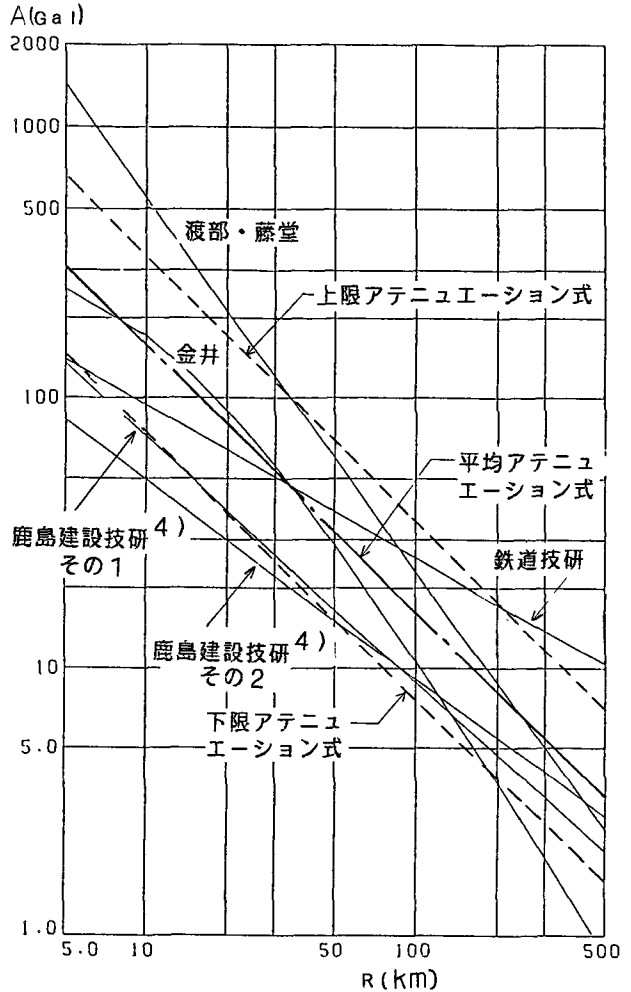


図-2. 既往式と新アテニュエーション式 (M=7)

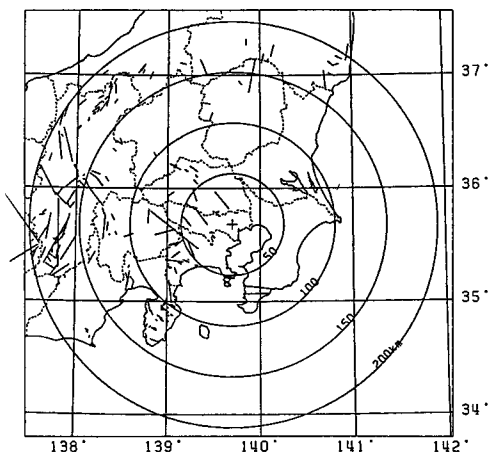


図-3. 活断層の分布(東京)

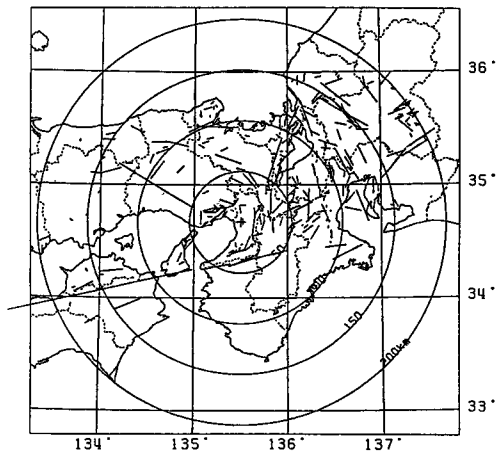


図-4. 活断層の分布(大阪)

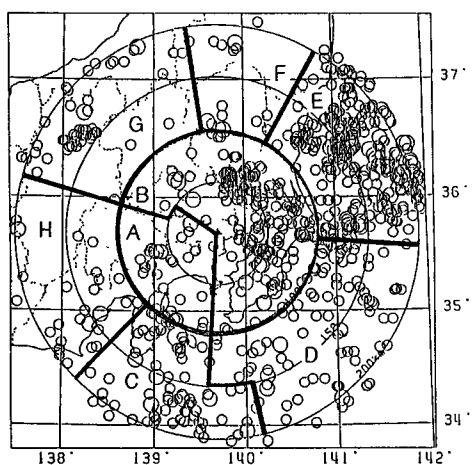


図-5. 震央の分布とゾーニング(東京)

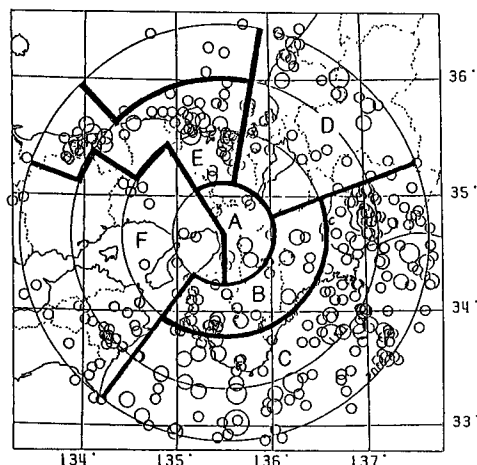


図-6. 震央の分布とゾーニング(大阪)

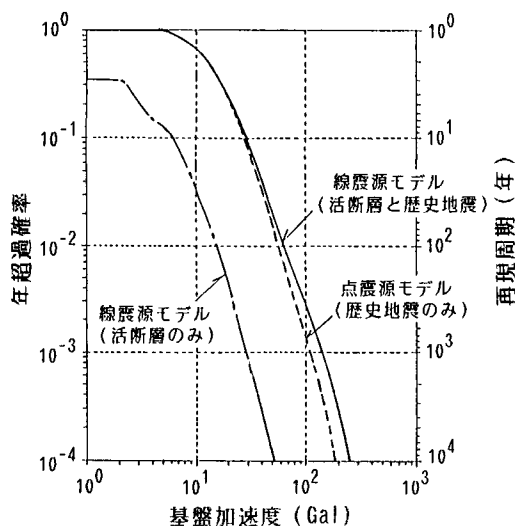


図-7. 年超過確率(東京)

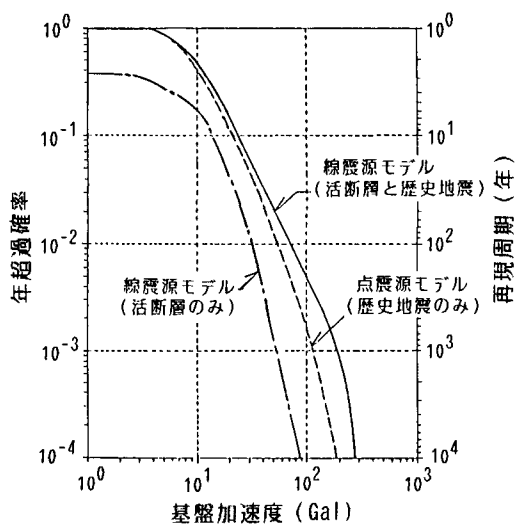


図-8. 年超過確率(大阪)