

1. はじめに

近年、既存構造物の安全性照査の一環として耐震診断を行う機会が増加しており、そこでは30～50年といった比較的短期間での地震危険度が問題となる。このような短期間を対象とする地震危険度解析では、周期的に発生する巨大地震の周期性を考慮することによって、ポアソン型モデルの地震危険度解析とは異なった結果が得られることが亀田ら¹⁾によって指摘されている。亀田らはその例として近畿地方を対象とした解析を行っているが、手法としてモンテカルロシミュレーションを用いているため、他の地点へ適用するには比較的膨大な計算が必要となる。そこで、本研究では周期性の影響を簡便に取り入れる目的で、周期的に発生する巨大地震の発生時間間隔をワイブル分布²⁾でモデル化した地震危険度解析手法を提示した。

2. ワイブル分布による巨大地震発生のモデル化

ワイブル分布は信頼性の寿命予測によく用いられる確率分布であり、地震発生モデルへ適用した研究例も現在までにいくつか提示されている。この中で、力武³⁾は東海・南海沖で発生するマグニチュード8クラスの巨大地震をはじめ、数箇所での地震発生時間間隔をワイブル分布でモデル化し、過去の地震発生データに基づきモデルパラメータを算定している。ワイブル分布を用いると、前の巨大地震の発生から t_0 年経過した“現在”において、将来 t 年間に巨大地震が発生する確率は次式のようなになる（図-1）。

$$P(E; t, t_0) = 1 - \exp \left\{ - \left(\frac{t+t_0}{\eta} \right)^\xi + \left(\frac{t_0}{\eta} \right)^\xi \right\} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、上式において分布形を決定する ξ 、 η はそれぞれ形状パラメータ、尺度パラメータと呼ばれるもので、対象とする地域に固有の値をとる。

図-2に上式より算定される将来 t 年間の巨大地震の発生確率を示す。ここでは東海・南海沖で発生する巨大地震を例題として取り上げることとし、パラメータ ξ 、 η については、力武³⁾の研究に基づき、 $\xi = 3.8$ 、 $\eta = 130$ と設定している。なお、この両パラメータを用いた場合の巨大地震発生時間間隔の平均値および標準偏差はそれぞれ117年、35年となる。図-2では前の巨大地震から現在までの経過時間 t_0 を0、40、80年とした場合の地震発生確率を示しているが、このようにワイブル分布を用いれば、考慮する将来の期間 t が同一でも、前の地震からの経過時間 t_0 が長くなるにつれて地震発生確率が大きくなる過程がモデル化できる。また、図-2には平均地震発生間隔が117年のポアソン型モデルを用いた場合の地震発生確率も合わせて示しているが、ポアソン型モデルの場合には前の地震発生からの経過時間には依存しない。

前に発生した巨大地震を1946年の南海地震と考えると、現在（1988年）までの経過時間 t_0 は42年となり、図-2における $t_0 = 40$ 年の曲線がおおむね現在における巨大地震発生確率を表していると言える。これによれば、将来75年程度まではポアソン型モデルを用いた場合より小さな確率を与えることがわかる。

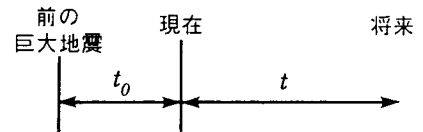


図-1 時間軸の定義

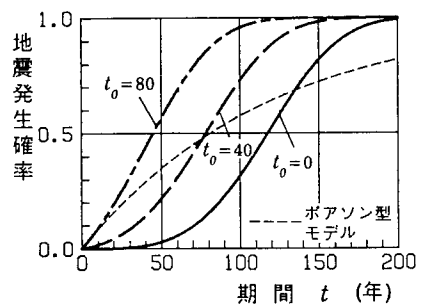


図-2 将来 t 年間ににおける巨大地震の発生確率

3. ポアソン型モデルと組み合わせた地震危険度解析

ワイブル分布は指数分布を拡張した確率分布であるため、理論的にはポアソン型モデルも包含した形で地震危険度解析の定式化を行うことができる。しかし、実際には陽な形で定式化することは困難であるため、本研究では簡略的に次のような仮定を設けて地震発生をモデル化した。①巨大地震以外については、サイト周辺を地震活動度が一定と見なせる l 個の領域（地震発生域）に分割し、そこでは巨大地震とは独立にポアソン過程に従って地震が発生する（ポアソン型モデルによる標準的な地震危険度解析）。②周期的に発生する巨大地震は発生してもたかだか1回であり、その発生時間間隔は2.で示したワイブル分布に従う。

このとき、サイトにおいて、現在（前の巨大地震よりの経過時間 t_0 ）より t 年の間に最大地動 Y が y を一度以上上回る確率は次のようになる。

$$P(Y \geq y; t, t_0) = 1 - \left[\exp \left\{ -t \sum_{i=1}^l v_i q_i(y) \right\} \right] \cdot \left[(1 - q^*(y)) + q^*(y) \cdot \exp \left\{ -\left(\frac{t+t_0}{\eta} \right)^\xi + \left(\frac{t_0}{\eta} \right)^\xi \right\} \right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 v_i ：地震発生域 i における年当たり地震発生数、 $q_i(y)$ ：地震発生域 i で発生する地震でサイトにおいて Y が y を超える確率、 $q^*(y)$ ：巨大地震が発生した場合にサイトで Y が y を超える確率である。

4. 解析例

以上の考え方を大阪に適用した例について示す。地震発生域モデルを図-3に示す。同図中、No.9の地震発生域の地震についてマグニチュード7以下（ポアソン型モデル）の地震と巨大地震とに分けてモデル化した。なお、巨大地震のマグニチュードの確率分布は8～8.4の一樣分布とし、震央距離の確率分布は120～200(km)の一樣分布としている。解析の対象とした地震動の指標は基盤における最大加速度であり、距離減衰式は亀田ら⁴⁾の式を用いている。なお、ここでは巨大地震による地震動評価にも距離減衰式をそのまま適用しているが、今後は断層モデルによる評価等を組み込んでいくことも必要であると考えられる。

図-4に解析結果を示す。ここでは経過時間 t_0 を0, 40, 80年とした場合について、将来 t 年間での超過確率が0.632となる最大加速度値を示した。また、図には巨大地震の発生もポアソン過程と考えた場合の結果も合わせて示している。巨大地震の周期性を考慮した場合には、同一の超過確率をもつ最大加速度でも、前の巨大地震からの経過時間によって異なった値をとる。図-4の大阪での解析結果では期間50年を考慮したときに、 t_0 が0年の場合と80年の場合で約30(gal)の差となって現れる。現在（1988年）における t_0 を40年と考えると、考慮する期間が50年程度ではポアソン型モデルの結果を下回っているが、100年程度を考慮する場合にはポアソン型モデルの結果とほぼ同じ値となる。

5. むすび

本研究では巨大地震の発生時間間隔をワイブル分布でモデル化した地震危険度解析手法を提示した。この方法によれば、容易に巨大地震の周期性を考慮することができる。

【参考文献】

- 1) Kameda, H. et al.: Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol.43, Part3, pp.397-433, 1981.
- 2) 例えば 三根久他著：信頼性・安全性の基礎数理 日科技連, 1984.
- 3) Rikitake, T.: Tectonophysics, Vol.35, pp.335-362, 1976.
- 4) Kameda, H. et al.: 8th SMIRT, Vol.1/M1/3, pp.297-302, 1985.

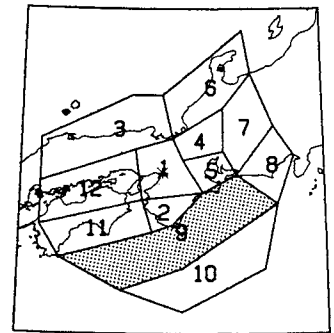


図-3 地震発生域のモデル

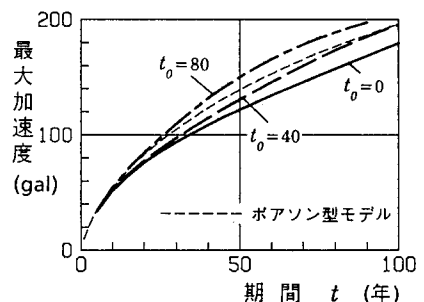


図-4 将来 t 年間の超過確率が0.632となる最大加速度