

I-367 地震活動度の時間依存性を考慮した確率応答スペクトル

竹中工務店技術研究所 正員 辰巳安良

1. はじめに

1 自由度線形系の定常ランダム応答に初通過理論を導入し、合わせて、実地震動に基づく経験的な距離減衰式およびローカルな地震活動度モデルから求められるMと△の確率分布を用い、ある設定された建設地点および耐用年数に対する応答スペクトルの非超過確率が著者の以前の研究(辰巳、1985)において計算された。本報告では、以前のこの計算課程において時間依存性がないと仮定されていた平均地震発生回数に時間依存性を導入する方法を述べ、これを用いた計算例を示す。

2. 時間依存性の平均地震発生回数を求めるための展開

限られた領域内の累積地震エネルギーは時間とともに変化するため、平均年間地震発生回数は時間依存性である。そこでこれを定量的に評価するため以下のような展開を行う。

マグニチュードMの地震エネルギーは一般的に次のように表わされる。

$$E_n = 10^{11.8 + 1.5M} \quad (1)$$

したがって地震マグニチュード M が $m_L \leq M \leq m_U$ の範囲内にある地震の期待エネルギーは以下となる。

$$\begin{aligned} E_{En} &= \int_{m_L}^{m_U} E_n f_n(m) dm = \int_{m_L}^{m_U} C_1 \beta \exp\{-\beta(m-m_L)\} 10^{11.8 + 1.5M} dm \\ &= C_1 \beta \exp(\beta m_L + 27.17) \{ \exp(C_2 m_U) - \exp(C_2 m_L) \} / C_2 \quad (2) \end{aligned}$$

ここに、 $\beta = b \ln 10$ (bはGutenberg-Richterのb値), $C_1 = 1/[1 - \exp\{\beta(m_L - m_U)\}]$, $C_2 = 1.5 \ln 10 - \beta$

ここで、将来の $\nu(t)$ の変化を予測するために式(3)～(5)の基本的な関係を仮定する。なお、ここで用いる各記号の意味は図-1中に定義されている。また、 ν_1 は時間依存性がないと仮定した場合の平均年間地震発生回数、nはt年間における期待地震発生回数である。

$$\nu_1 = a / E_{En} \quad (3)$$

$$\nu(t) = \nu_1 g(t) / g_m \quad (4)$$

$$n = \int_0^t \nu(t) dt = \frac{g(0) + a t - g(t)}{E_{En}} \quad (5)$$

であり、式(4)と(5)から以下の微分方程式が求められる。

$$\nu(t) + \frac{g_m}{E_{En} \nu_1} \nu(t) = \frac{a}{E_{En}} \quad (6)$$

初期条件を適合させて(6)式を解くことにより $\nu(t)$ が以下のように得られる。

$$\nu(t) = \nu_1 \left\{ 1 + \left(\frac{g(0)}{g_m} - 1 \right) \exp\left(-\frac{a}{g_m} t\right) \right\} \quad (7)$$

時間依存性の平均年間地震発生回数 $\nu(t)$ と以前に著者によって提案された方法(辰巳、1985)を用いて、最大応答スペクトルの確率密度関数が計算される。

3. 計算例と考察

耐用年数が設定されたときの最大応答スペクトルの確率密度関数が日本の主要都市について計算され

た。なお、この計算は歴史被害地震の震央位置とエネルギーに基づいて行われた。

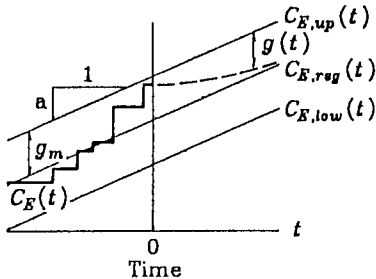
まず最初に、図-2中に示された各震央領域（R1～R6）についての累積地震エネルギーを用い、前述した方法により各領域の $\nu(t)$ が計算された。図-3に一例として震央領域R1の累積地震エネルギーが示されている。次に、これらの $\nu(t)$ を用いて東京について計算された応答スペクトルの確率密度関数（固有周期 0.6秒、減衰定数 0.05、硬質地盤、耐用年数 30年）が一例として図-4に示されている。本図は確率密度関数の形状が大きく初期時刻（ $t=0$ ）の位置に依存することを示している。特に、1923年の関東地震直前の1920年と直後の1930年で、これらの形状が大きく異なることが分かる。

4. おわりに

前述の東京の計算例から明らかなように、地震確率応答スペクトルを算出するにあたり地震活動度の時間依存性を考慮することは必須である。また、実用面において、本手法は簡便で有用であり、時間依存性の影響度を定量的に議論し設計に応用することを可能にする。

参考文献

辰巳安良、1985年、地震応答スペクトルに関する確率論的考察、土木学会論文集、第356号/I-3、PP. 517-526



$C_E(t)$: Cumulative Earthquake Energy,
 $C_{E,up}(t)$: Upper bound of $C_E(t)$,
 $C_{E,reg}(t)$: Regression line of $C_E(t)$,
 $C_{E,low}(t)$: Lower bound of $C_E(t)$,
 $g(t) = C_{E,up}(t) - C_E(t)$,
 $g_m = C_{E,up}(t) - C_{E,reg}(t)$,
 a : Slope of the regression line

図-1 累積地震エネルギーと各記号の定義

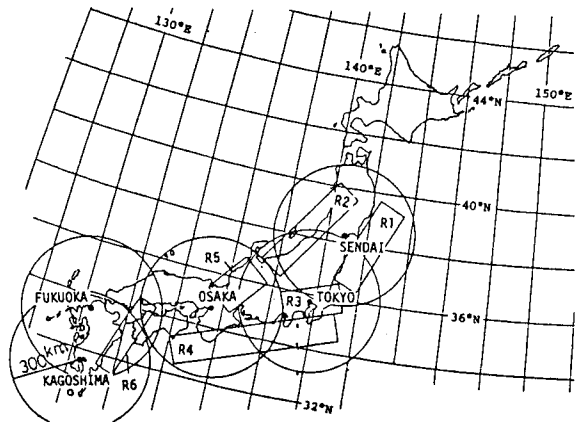


図-2 日本の震央領域

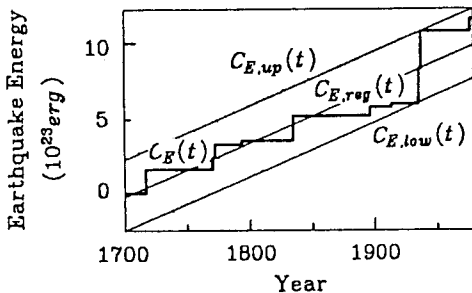


図-3 震央領域 R1 における
累積地震エネルギー

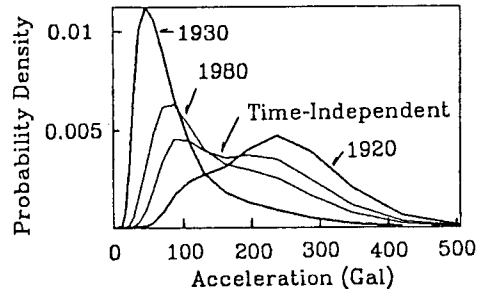


図-4 東京における応答スペクトルの確率密度関数
（固有周期 0.6秒、減衰定数 0.05、
硬質地盤、耐用年数 30年）