

京都大学大学院 学生員○尾崎羊一郎
京都大学工学部 正会員 亀田 弘行

1. まえがき

本研究は耐震設計における地震荷重の設定に重要な影響を与える地震危険度を定量的に評価するために、従来多く用いられてきたポアソン過程モデルを検討し、より現象に忠実なモデルを提案しようとしたものである。資料としては、京都において過去に発生した震度Ⅳ以上の地震を用いた。一般に、古い時代の地震資料ほど信頼度が低いと考えられるが、京都の歴史性ならびに資料の採否における詳細な検討により、京都の歴史地震資料の信頼度がかなり高いという判断から、ここでは資料に対する加重評価は行なわない。

2. 複合ポアソン過程による地震発生モデル

従来用いられてきたポアソン過程による地震発生モデルの、実際の現象に対する適合性を調べるために、京都において発生した被害地震の各再帰時間をとって、指数確率紙にプロットしたものが、図-1である。地震の発生が、ポアソン過程に適合すれば、その再帰時間分布は指数分布となり、したがって指数確率紙上で各データは直線上に分布することになる。しかし図-1で明らかのように、ある再帰時間 t_0 を境界として、特徴的な折れ曲がりが見られる。これは地震の発生率が、 t_0 を境界として増加していることを意味する。また図-1で、 t_0 より大きい再帰時間を経過したのち発生した地震は、すべて震度Ⅵ以上の地震である。地震の発生は地殻内に蓄積したひずみエネルギーが原因であり、一般的傾向として、地震の発生が長期間見られなければ、次の地震は発生しやすくなり、また発生した場合には規模が大きくなり、固定した観測点からみて、それだけ震度が大きくなりやすいと考えられる。このことと、先の指数確率紙上に見られる結果はよく対応している。そこでこの特性に即した過程として、平均発生率の変化するポアソン過程を考え、これを複合ポアソン過程とよぶことにする。複合ポアソン過程とは、発生率 λ なるポアソン過程において、長さ α の期間地震の発生が見られない場合には、発生率が λ_2 に増加しその状態で地震が発生すると、再び発生率が λ_1 に戻るような過程(ただし $\lambda_2 > \lambda_1$)である。複合ポアソン過程における再帰時間分布は次式で表わされ、図-1のように実際のデータとよく適合する。

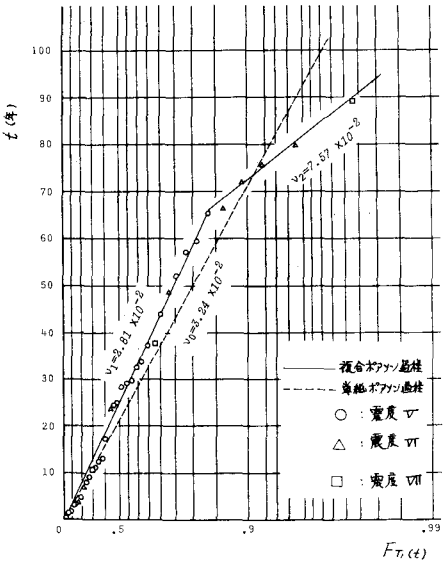


図-1 指数確率紙上の再帰時間分布
(データ：E_A)

	λ_1 (回/年)	λ_2 (回/年)	λ_0 (回/年)
E _A	2.81×10^{-2}	7.57×10^{-2}	3.24×10^{-2}
E _D	6.13×10^{-3}	2.07×10^{-2}	9.34×10^{-3}

表-1 各パラメータの値

$$F_T(t) = \begin{cases} 0 & ; \quad 0 \leq t < a \\ 1 - e^{-\lambda_1(t-a)} & ; \quad a \leq t < t_0 \\ 1 - e^{-\{\lambda_2(t-a) - (\lambda_2 - \lambda_1)(t_0 - a)\}} & ; \quad t_0 \leq t \end{cases} \quad (1)$$

ただし、 a は上記の仮定をさらに一般化するための時間パラメータであるが、本報告では $a = 0$ とする。

京都の歴史地震資料^{(1),(2)}も震度Ⅴ以上の37の地震(データA; 827Ⅷ11 ~ 1936Ⅱ21), 震度Ⅵ以上の10の地震(データB; 887Ⅷ26 ~ 1830Ⅷ19)の2種のデータに編成した。それぞれについて再帰時間をプロットし回帰分析によってパラメータを求めた結果を表-1に示した。データAについては、図-1も参照されたい。また図-1において点線で示したのは、単純なポアソン過程に対応する再帰時間の分布関数である。

3. 将来における被害地震の発生確率

複合ポアソン過程では過去における最後の地震の発生時期と、地震危険度を評価する時点までの、地震の発生していない期間の長さ t_2 を解析に反映させることが可能で、この点が単純なポアソン過程と異なる。将来の m 年間に於ける地震回数を N とすると、この m 年間での地震の発生確率は、式(1)の再帰時間分布を用いて次式のように表わされる。

$$P(N \geq 1) = \frac{F_T(t+t_2) - F_T(t_2)}{1 - F_T(t_2)} \quad (2)$$

データA, Bについてこの複合ポアソン過程を用いた震度Ⅴ以上、震度Ⅵ以上の地震の発生確率を求めた結果を図-2, 図-3に示した。同図には、それぞれのデータについて、単純なポアソン過程を用いた場合の発生確率をも示した。

先に述べたように、データAでは再帰時間が t_0 を超えると、発生する地震はすべて震度Ⅵ以上の地震である。この特性を利用して、次のように定式化を行ない、震度Ⅴ以上のデータから、震度Ⅵ以上の地震の発生確率を求めた。

$$P(N_m \geq 1) = P(N_m \geq 1, X_{t_2} = 0) + P(N_m \geq 1, X_{t_2} \geq 1) \quad (3)$$

上式中、 N_m は震度Ⅵ以上の地震の発生回数、 X_{t_2} は発生率が1のもとで発生する地震の発生回数である。式の展開は紙数の関係で省略する。

(3)式を用いた結果を図-4に示した。図-2~4から、地震発生後の経過年数 t_2 とともに将来の地震発生確率が上昇する様子が見わかる。

なお、歴史地震資料のデータとしての精度を向上させる目的で、震度Ⅴ以上の被害地震について、ある時間範囲内に発生した複数の地震を一括して、ひとつの地震群としてデータに編成した場合の複合ポアソン過程モデルも提案したが、これについては参考文献(3)を参照されたい。

- 〔参考文献〕(1)宇佐美龍夫「資料日本被害地震総覧」(2)宇佐美・久本「京都が震度Ⅴ以上の地震に襲われる確率」地震研究所彙報, 49巻
(3)亀田・尾崎 土木学会関西支部年次学術講演会(昭和53年) 講演概要
(4)Ang, A-H-D, Tang, W.H.; 伊藤 孝・亀田弘行 訳
「土木・建築のための確率統計の基礎」

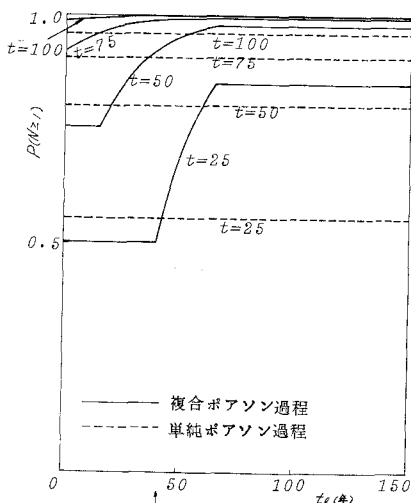


図-2 震度Ⅴ以上の発生確率(EA)

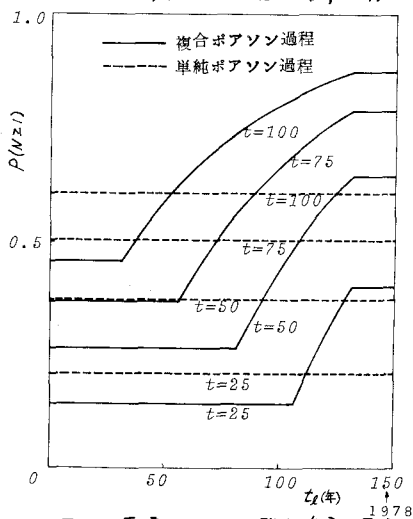


図-3 震度Ⅵ以上の発生確率(EB)

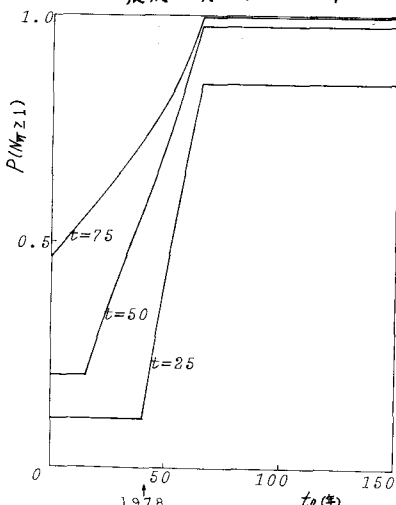


図-4 震度Ⅴ以上の発生確率(EA)