

一様リスク応答スペクトルの物理的解釈について

京都大学防災研究所 正 員 亀田弘行

京都大学大学院 学正員 能島暢呂

西松建設(株) ○正 員 良本 昇

1. はじめに 一様リスクスペクトルは、構造物の固有周期によらず応答レベルの超過確率が等しいという工学的意義を有している。従って、種々の固有周期を持つ構造物群の耐震安全性の制御に有用である。一様リスクスペクトルは年超過確率 P_0 を安全性の判断指標としているが、固有周期ごとに応答を支配している地震の特徴は消去されていて、それに対するイメージは表に出てこない。そこで、一様リスクスペクトルとその背景となっている地震の性質を結びつけて理解しておくことが重要である。本研究では、マグニチュードと震央距離の特性値を応答スペクトルの年超過確率 P_0 によって規定される地震群に対する条件付期待値として定義し、それを手掛りに一様リスクスペクトルの物理的背景を議論しようとしたものである。

2. 一様リスクスペクトルの算出 ここで対象としている一様リスクスペクトルは、年超過確率 P_0 に対応する沖・洪積地盤面における減衰定数5%の擬似加速度応答スペクトルであり、通常地震危険度解析の手法¹⁾により算出する。年超過確率 P_0 と一様リスクスペクトル $S_{a0}(T)$ の関係は次式のように表わされる。

$$P_0 = 1 - \exp\left\{-\sum_{k=1}^n \nu_k q_k(S_{a0})\right\} \quad (1)$$

ただし、添字 k は解析対象地点に影響を及ぼす地域を分割した地震域 k を表わし、 ν_k は地震域 k での年平均地震発生率、 $q_k(S_{a0})$ は地震域 k に1回の地震が生じた時に解析対象地点で地震動強度 S_A が S_{a0} を超過する確率であり、次式で算出される。

$$q_k(S_{a0}) = \int_{M_{lk}}^{M_{uk}} \int_{R_{lk}}^{R_{uk}} P\left(U > \frac{S_{a0}}{S_a}\right) f_{Rk}(r) f_{Mk}(m) dr dm \quad (2)$$

ここで、 M_u と M_l は考慮するマグニチュードの上限と下限、 R_u と R_l は震央距離の上限と下限、 $f_R(r)$ 、 $f_M(m)$ は震央距離 R 、マグニチュード M の確率密度関数である。 U は使用するアテニュエーション式の不確定性を表わす確率変数である。

3. マグニチュード・震央距離の特性値 $\bar{M}$ 、 $\bar{R}$ 年超過確率 P_0 なる一様リスクスペクトル $S_{a0}(T)$ のもとでも、固有周期を異にする構造物に $S_{a0}(T)$ を越える応答を生じさせる地震群のマグニチュードと震央距離は一般に異なる。それがどのような地震であるか。これを、 $S_A > S_{a0}$ なる条件下でのマグニチュード、震央距離の条件付期待値 $\bar{M}$ 、 $\bar{R}$ として評価する。 $\bar{M}$ は固有周期 T_0 に対して次式より算出する。

$$\bar{M}(P_0; T_0) = \left[(1 - \exp\left\{-\sum_{k=1}^n \nu_k \bar{M}_k(P_0) q_k(S_{a0})\right\}) \right] / \sum_{k=1}^n \nu_k q_k(S_{a0}) \quad (3)$$

ただし、 $\bar{M}_k(P_0)$ は震源域 k に対応するマグニチュードの期待値で、アテニュエーション式の不確定性を表わす確率変数 U を用いて、

$$\bar{M}_k(P_0) = \frac{1}{q_k(S_{a0})} \int_{M_{lk}}^{M_{uk}} \int_{R_{lk}}^{R_{uk}} M \cdot P\left(U > \frac{S_{a0}}{S_a}\right) f_{Rk}(r) f_{Mk}(m) dr dm \quad (4)$$

と算出される。また、 $\bar{M}$ も同様に
して算出する。樫田²⁾によるアテ
ニュエーション式を用いて、過去
の地震資料を参考にし、標準的な
地盤における $\bar{M}$ 、 $\bar{Z}$ を算出した結
果を図-1に示す。

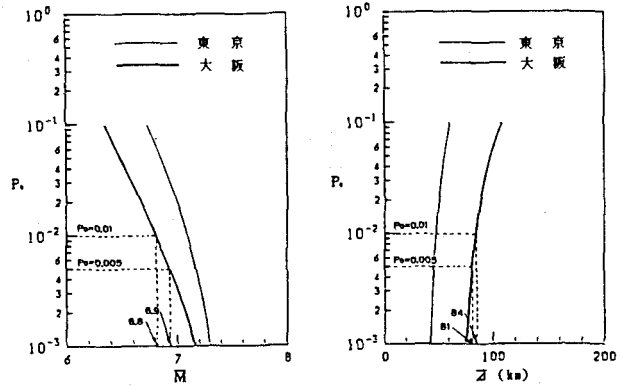
4. 一様リスクスペクトルの物理 特性の評価

一様リスクスペクトル
とその背景となる地震の性質を
結びつけて理解するために、本研
究では、2つの異なる固有周期
 T_{01} と T_{02} に対して算出した $\bar{M}$ 、
 $\bar{Z}$ をアテニュエーション式に代入
して得られるスペクトル $\hat{S}_a(T;$
 $T_{01})$ 、 $\hat{S}_a(T; T_{02})$ と一様リ
スクスペクトル $S_{a0}(T)$ を比較し
検討を行なった。標準的な地盤に
おける算出結果を図-2に示す。

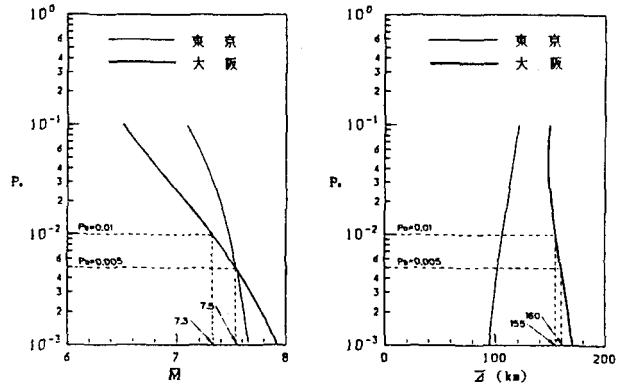
$\bar{M}$ 、 $\bar{Z}$ により対象地震群を限定
したが、なおもまだ大小様々な地
震が含まれており、 $\hat{S}_a(T; T_{01})$
と $\hat{S}_a(T; T_{02})$ の差は当初予想
した程は大きくならなかった。し
かし、一様リスクスペクトルは短
周期領域では $\hat{S}_a(T;$
 $T_{01})$ に近い値をと
り、長周期領域では
 $\hat{S}_a(T; T_{02})$ に近い
値をとっているのがわ
かる。

参考文献 1)たとえば、
Cornell, C.A., Bulletin
of the Seismological
Society of America,
Vol.58, No.5, pp.1583-
1606, October, 1968.

2) 樫田：地震動応答スペ
クトルの推定モデルにお
ける不確定性と地盤情報
の関係に関する研究，京
大卒業論文，昭61。

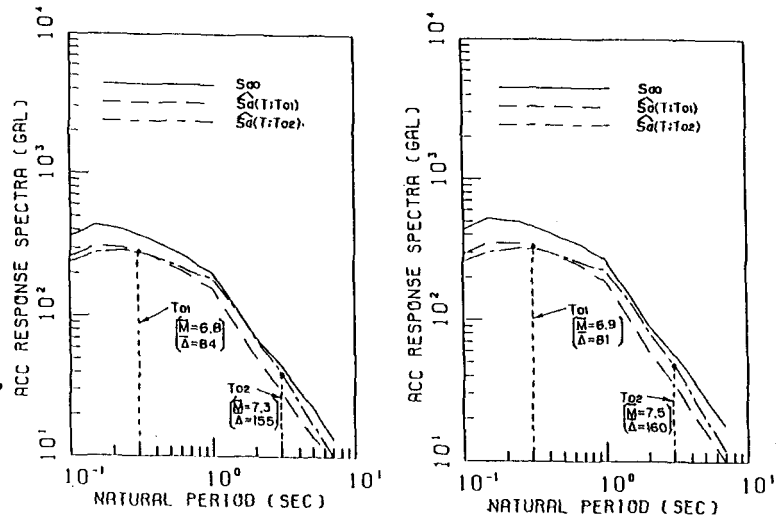


(a) $T_{01} = 0.3(\text{sec})$



(b) $T_{02} = 3.0(\text{sec})$

図-1 マグニチュード・震央距離の特性値 $\bar{M}$ 、 $\bar{Z}$



(a) 大阪 $P_0 = 0.01$

(b) 大阪 $P_0 = 0.005$

図-2 一様リスクスペクトルと $\bar{M}$ 、 $\bar{Z}$ によるスペクトル