

I-398

地震動強さに関する経験式の物理的解釈とその適用例

鹿島建設 小堀研究室 正員 武村 雅之
 鹿島建設 技術研究所 正員 神園 成人
 " 太田外気晴

1. はしがき

地震動最大値 A_{max} や応答スペクトル $S_{r,h}(T)$ をマグニチュード M と震源(震央)距離 X で表記することは広く行われておりその際基本的には以下のような形式の回帰式が良く用いられている¹⁾²⁾³⁾。

$$\log S_{r,h}(T) = a(T)M - b(T)\log X + c(T) \quad (1) \quad (\text{ここで } r, h \text{ は応答スペクトルの種類及び減衰定数を示す})$$

またデータとの相関の度合を高めるため、 M や X の高次の項を付加することや回帰係数に地盤条件を盛り込むこと等の検討も行われている³⁾⁴⁾。これに対し本研究では回帰式の妥当性をデータとの相関係数を基本に評価するのではなく、係数の持つ物理的意味の検討を通じて経験式の特性を明らかにしていくことを目的とする。

2. 断層モデルに基づく解釈

地震動の応答スペクトルを求める際に用いる強震波形の主要動が震源から伝播してくる S 波であると仮定するとその応答スペクトル $S_{r,h}(T)$ は無限媒質中の断層モデルの遠方近似解を用いて以下のように書ける。

$$S_{r,h}(T) = \frac{R \theta \phi \pi}{\rho V_s^3 X} \frac{M_0(T)}{T^2} e^{-\frac{\pi X}{Q V_s T}} H_g(T) \delta_{r,h}(T) s(T) \quad (2)$$

ここで $R \theta \phi$ は S 波の振幅方位分布、 $M_0(T)$ は震源スペクトル、 ρ 、 V_s 、 Q は媒質の密度、 S 波速度、 Q 値、 $H_g(T)$ は地盤の伝達関数、 $s(T)$ は非減衰の速度応答スペクトル $S_{v,0.0}$ とフーリエスペクトルの比、 $\delta_{r,h}$ は減衰定数 h の応答スペクトル $S_{r,h}$ と $S_{v,0.0}$ との比である。(2)式と対応させるため X に対し(1)式を变形した(3)式について係数の持つ物理的意味を検討する。

$$\log S_{r,h}(T) = a(T)M - (b(T)X + \log X) + c(T) \quad (3)$$

まず、 $a(T)$ の意味を考える場合 $M_0(T)$ と M との関係を確認する必要がある。図1は武村・小山⁵⁾に基づく震源スペクトル $M_0(T)$ のスケーリングモデルであるが、マグニチュードを決定する地震波の卓越周期を T_M とすると、 $M_0(T_M) = P 10^M$ (P ; 定数) の関係が仮定されている。図の M は気象庁マグニチュード M_J であり T_M は約4秒とされている⁵⁾。次に $T \leq T_M$ で $M_0(T)$ が T^n に比例するとし、短周期になるほど M の違いによる震源スペクトルの差が小さくとなると仮に $n = kM$ ($k > 0$ 定数) とすると $M_0(T)$ は以下のようになる。

$$\log M_0(T) = M \{1 - k \log(T_M/T)\} + \log P \quad (4)$$

(2)式に(4)式を代入し(3)式と比較すると(3)式の係数は以下のように書き表わすことができる。

$$a(T) = 1 - k \log(T_M/T) \quad (5)$$

$$b(T) = \pi(QV_s T \ln 10)^{-1} \quad (6)$$

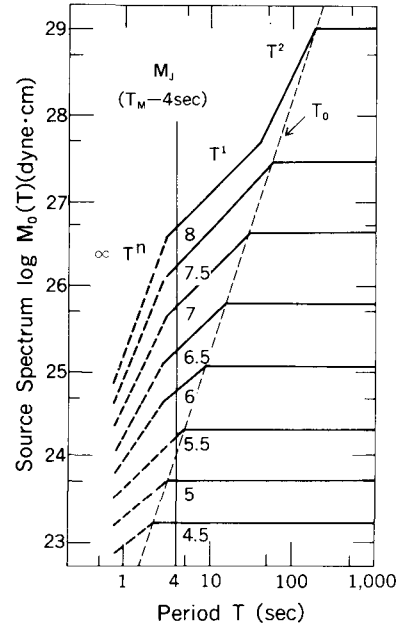


図1 震源スペクトルのスケーリングモデル⁵⁾

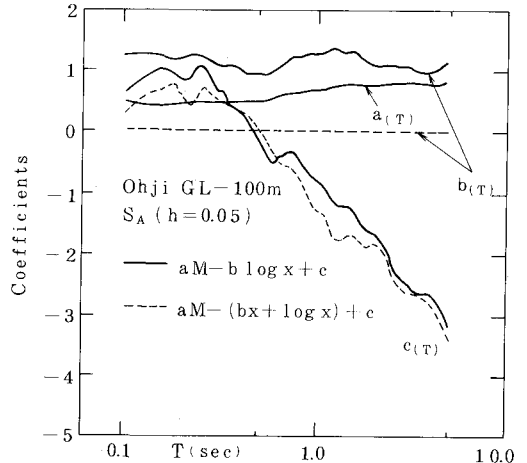


図2 回帰係数

$$c(T) = \log \frac{Hg(T) \delta r, h(T) s(T)}{T^2} + \log \frac{R \theta \phi \pi P}{\rho V s^3 C_x} \quad (7)$$

ここで C_x は X の単位に関する補正項である。(5)~(7)式より a は震源スペクトルの短周期領域における形状、 b は地震波の減衰、 c はその他の全ての要因に関わる係数であることがわかる。

3. 回帰結果への適用

洪積地盤の水平動55成分の $S_v, 0.0$ 、 $S_v, 0.05$ 、 $S_A, 0.05$ を用い観測点の地盤条件別にデータを4グループに層別して(3)式により回帰係数を求めた。図2に東京都王子のGL-100mに相当する c と a 、 b の結果を示す。比較のため(1)式による回帰係数を示すが a は両者でほぼ一致することがわかる。また(3)式の b はこの場合いずれの周期でも 10^{-3} 以下と小さく(6)式より $V_s = 3 \text{ km/sec}$ と仮定して求まる Q もほぼ500以上となる。

図3に a の値を示す。 $S_v, 0.0$ に対して山谷が大きいが平均的に3者の傾向はほぼ一致する。また $k=0.375$ と 0.5 の場合の(5)式に基づく理論値を示す。 $M=8$ の $T \leq T_M$ の場合で $Mo(T) \propto T^{n_g}$ とすると前者は $n_g=3$ 、後者は $n_g=4$ に対応し、 a の傾向は $T \leq 2$ 秒でほぼ説明できることがわかる。

図4で王子のGL-100mの観測値の $S_v, 0.0$ に対する c ($=C_v, 0.0$) と(7)式による理論値を示す。 $\delta r, h$ 、 $R \theta \phi$ 、 ρ はそれぞれ1.0、0.6、 2.8 g/cm^3 とする。また P としては i) 武村・小山⁵⁾ をもとに $P = 5 \times 10^{18} \text{ dyn cm}$ とした場合と ii) 小山他⁶⁾ による $T=1 \text{ sec}$ の $Mo(T)$ を参考に $P = 3 \times 10^{20} \text{ dyn cm}$ とした場合を検討した。 $Hg(T)$ は平均的な伝達関数として王子のGL-3100m ($V_s = 3 \text{ km/sec}$) からGL-100mまでの伝達関数をSH波の多重反射理論で求めその包絡値の半分とした。また $s(T)$ は $\delta v, 0.05$ や $\delta A, 0.05$ とともに全データの平均値として求めた。図4の $C_v, 0.0$ は i) と ii) の値のほぼ中間に位置し、より詳細な検討には P を精度良く決定する必要がある。

図5に $C_v, 0.0$ と $CA, 0.05$ の比較を示すが $\delta A, 0.05$ を用いて $CA, 0.05$ を補正すると $C_v, 0.0$ とほぼ一致することがわかる。このことは $C_v, 0.0$ と $C_v, 0.05$ の間でも成り立ち応答スペクトルの種類の違いが(7)式に示すように係数 c の中に含まれていることを示すものである。

4. まとめ

地震動の平均応答スペクトル評価に用いられている回帰係数の特性を断層モデル理論を用いて0.1~1.0秒の範囲で定量的に説明することができた。経験式に普遍性を持たせるためには経験式の物理的意味付けを明らかにしてゆくことが重要である。

謝辞 回帰計算に関し鹿島技研、能村和子氏に大変お世話になりました。深く感謝します。

文献 1) 坪井 (1954) 地震、2) 金井他 (1986) 震研彙報、3) 川島他 (1988) 土研報告、4) 川島他 (1983) 土研資料、5) 武村・小山 (1983) 地震、6) 小山他 (1984) 地震

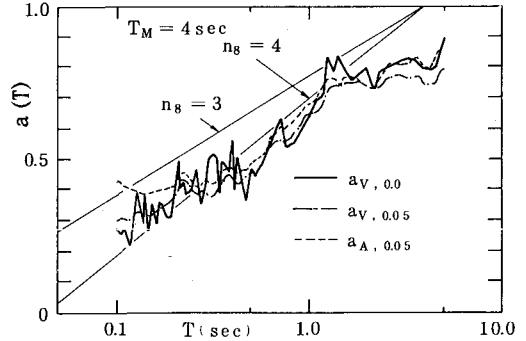


図3 $a(T)$ の係数と理論値

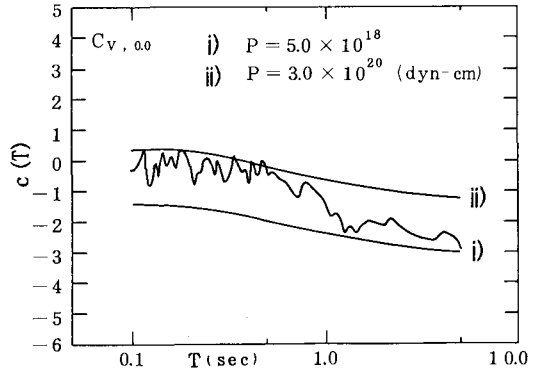


図4 $c(T)$ の係数と理論値

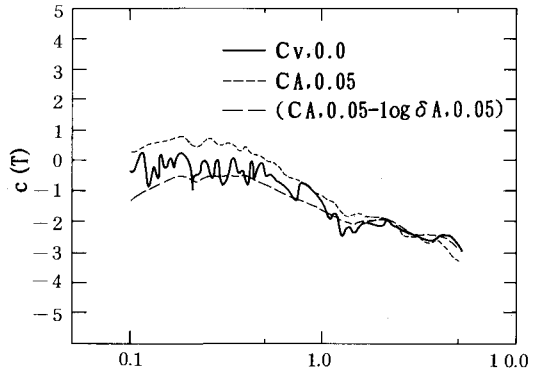


図5 $C_v, 0.0$ と $CA, 0.05$ の関係