

京都大学防災研究所 正員 佐藤忠信

1. まえがき

地震動のアテニュエーションに関しては、これまで数多くの研究がある。これらは主として、地震動のマグニチュードと震央距離を従属変数とした回帰式であって、観測記録に基づいて経験的に定められたものである。したがって、基になったデータベースの特性に強く影響され、震央距離が短かくマグニチュードの大きい地震動について使用することは困難であった。特に、震源域の広がり問題になるような領域での地震動を推定することはほとんど不可能であった。こうした問題を厳密に取り扱うためには、震源機構や伝播経路を精密にモデル化し地震動をシミュレートする必要がある。しかし、まだ理論体系は完成されておらず、かつ非常に複雑な動弾性学の解析を必要とする。ここでは、簡単な仮定の基に断層の破壊過程を考慮したアテニュエーション則を誘導し、考察を加える。

2. 震源パラメータの相似則と震源スベクトル

大地震時の地動は断層面上に発生する小地震の重ね合せによって表現できると仮定する。図-1に示すような断層を考へ、この断層面を n^2 個の小区域に分割する。この各小区域で震源パラメータの相似則を満たすような小地震が n 個重ね合えて大地震動が構成される。震源パラメータとして断層の長さ L 、幅 W 、くわがい量 D 、立ち上り時間で、破壊の伝播速度 V_R の5つを考へる。大地震のパラメータには添字 L を、小地震のそれには S を付けることにし、相似則として次式を仮定する。

$$L_L \propto n L_S, W_L \propto n W_S, \tau_L = n \tau_S, D_L = n D_S \quad (1)$$

いま、小区域における破壊を小区域の図心で代表させる。小区域 lm における破壊によって生じる波形を $u_{lm}(t)$ とする。式(1)の相似則に従えば、大地震における観測点での波形 $u_L(t)$ は次式で与えられる。

$$u_L(t) = \sum_{l=1}^N \sum_{m=1}^N \sum_{k=1}^N u_{lm}(t - \tau_{lm} - \delta_{lm} - (k-1)\tau_S) \quad (2)$$

ここに、 $\tau_{lm} = S_{lm}/V_R$ であり、破壊の開始位置から lm 区域まで破壊が伝播するのに要する時間を表す。また、 $\delta_{lm} = (R_{lm} - R^*)/C$ であり、地震動が伝播してくる時間差を表している。ただし、 C は媒質の S 波速度である。式(2)から、大地震のパワースペクトル $P_L(f)$ を計算すると次式となる。

$$P_L(f) = \left\{ \sum_{l=1}^N \sum_{m=1}^N \sum_{k=1}^N \bar{u}_{lm}(f) e^{-i2\pi f(\tau_{lm} + \delta_{lm} + (k-1)\tau_S)} \right\} \left\{ \sum_{l=1}^N \sum_{m=1}^N \sum_{k=1}^N \bar{u}_{lm}^*(f) e^{i2\pi f(\tau_{lm} + \delta_{lm} + (k-1)\tau_S)} \right\} \quad (3)$$

ここに、 $\bar{u}_{lm}(f)$ は $u_{lm}(t)$ のフーリエスペクトルであり、 $*$ は共役複素数を表わしている。

この値は震源スペクトルを $S(f)$ とすれば、実体波ならびに表面波に対し、各々次式が与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \bar{u}_{lm}(f) &= \phi_{body} S(f) / (4\pi \rho C^3 R_{lm}) \\ \bar{u}_{lm}(f) &= \phi_{surf} S(f) / (4\pi \rho C^3 R_{lm}^{1/2}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

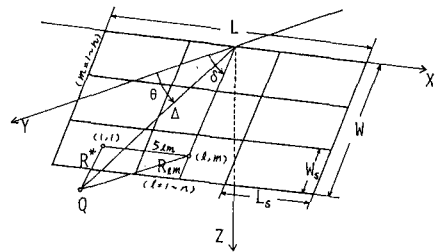


図-1 断層面上の破壊過程と小区域

ここに、 ϕ_{body} , ϕ_{surf} は各々実体波ならびに表面波に対する radiation pattern function である。
式(4)を式(3)に代入することにより、大地震のパワースペクトルは次式のように表現される。

$$P_L(f) = P_S(f) \sum_{l=1}^N \sum_{m=1}^N F_{lm}(f) / R_{lm}^\beta, \quad \beta = \begin{cases} 1.0 & \text{表面波} \\ 2.0 & \text{実体波} \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 $P_S(f) = S(f) S^*(f)$ であり、 $F_{lm}(f)$ は震源の破壊過程を表現したパワースペクトルである。

式(5)より、大地震動のパワースペクトルは、実体波に対して距離の2乗、表面波に対して距離の1乗のアテニュエーション特性を持つことがわかる。また、震源の破壊過程から求まる $F_{lm}(f)$ は、式(3)からも明らかなように、破壊過程の時間差のみによって決まり、非常に簡単な関数形で表現できる。

3. 最大地動の推定

大地震時におけるパワースペクトルが式(5)で与えられるので、これを用いて最大地動の期待値を計算する。いま、パワースペクトルの m 次のモーメントを λ_m とすれば、最大地動の期待値 $\bar{u}_{max}$ は次式で与えられる。

$$\bar{u}_{max} = p(\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2) \sqrt{\lambda_0} \quad (6)$$

ここに、 $p(\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2)$ は ϕ - γ 比であり、地震動を定常ガウス過程とすれば、0次～2次のモーメントの関数として与えられる。²⁾ 図-2は仮定した地震の震源スペクトルと大地震のスペクトルとを示したものである。図-1甲 Δ を 5km, $\theta = 0^\circ$, $\delta = 90^\circ$ とした折線と示したものが、重ね合せに用いた地震のスペクトルであり、Gellerの提案式を用いている。また、曲線はマグニチュード M と対象として求めたものである。いずれも変位スペクトルである。断層のパラメータは $L = 2.06$ km, $L_0 = 24.2$ km, $W_0 = 12.1$ km, $D_0 = 1.44$ m である。

図-3は $\delta = 90^\circ$ とした場合、図-4は $\delta = 45^\circ$ とした場合に、 θ の変化により最大加速度のアテニュエーションがどの程度変化するのが示している。いずれも震源スペクトルは実体波のものを用いた。図から明らかになるように δ の値によって、断層直下の最大加速度の大きさがかなり違ってくる。すなわち、 $\delta = 90^\circ$ では $\Delta = 1$ km の所で θ の値によらず 500~700 gal の範囲に入っているものが、 $\delta = 45^\circ$ では 1000 gal を越える最大加速度が見られる。両図とも $\Delta = 10$ km 近傍で θ の変化による最大加速度の変動が最大になる。 Δ が大きくなると、 θ によらず最大加速度は Δ の1乗で減少するようになる。また δ によらず、 $\theta = 0^\circ$ の場合が最大値を取り、 $\delta = 45^\circ$ では $\theta = 180^\circ$ が最小値を与えている。

参考文献

- 1) 村松・入倉：文部省科学研究費、自然災害特別研究成果、NoA-56-3.
- 2) Kiureghian, A.R.: REPORT NO. UCB/EERC-80/15, JUNE 1980.
- 3) Geller, R.J.: Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 66, No. 5, PP. 1501-1523, 1976.

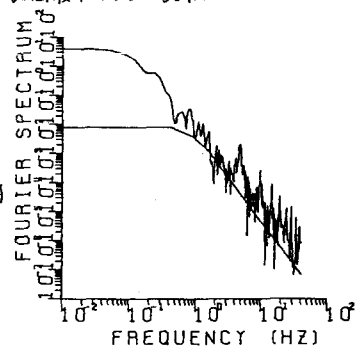


図-2 フーリエスペクトル

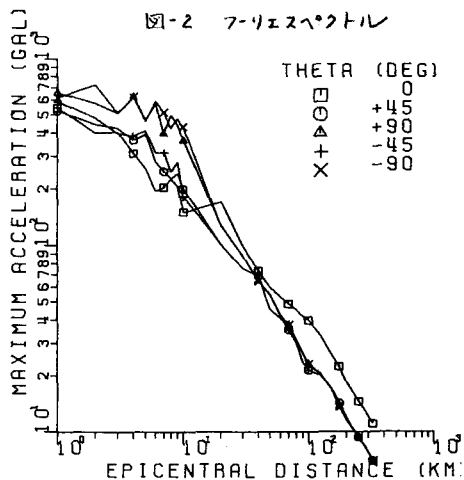


図-3 $\delta = 90^\circ$ に対する最大加速度のアテニュエーション

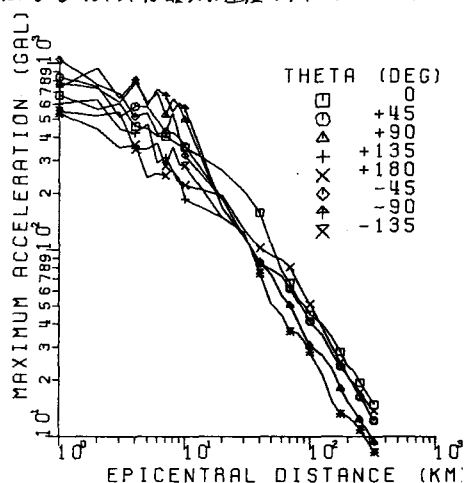


図-4 $\delta = 45^\circ$ に対する最大加速度のアテニュエーション