

I - B311

地震断層を考慮した強震動の波形作成

日本工営株式会社

正員 大角 恒雄

日本シビックコンサルタント株式会社（元宮崎大学大学院）

正員 奥倉 英世

宮崎大学工学部

正員 原田 隆典

1. まえがき 震源特性・伝播特性・地盤増幅特性を考慮して、地表面の地震動に関するスペクトル振幅を推定した。伝播特性では、従来のものを用いたが、震源特性では、断層の広がりや観測点の幾何学的関係を考慮した震源スペクトルを、地盤増幅特性では、深層地盤と浅層地盤の増幅特性を考慮した。このスペクトル振幅に適合する地震動の時刻歴波形を計算したので、概要を報告する。

2. モデルの概要 強震動加速度波形のフーリエスペクトル振幅 $|A(\omega)|$ に適合する加速度波形 $a(t)$ は、次式のような一様確率分布位相角を有する正弦波の級数和から計算する (Shinozuka, et al.1967)。

$$a(t) = W(t) \sqrt{2 \sum_{j=1}^{N_\omega} \frac{1}{2\pi T_e} |A(\omega_j)|^2 \Delta\omega \cos(\omega_j t + \phi_j)}; \quad \omega_j = j\Delta\omega; \quad \Delta\omega = \frac{\omega_u}{N_\omega}; \quad j = 1, 2, \dots, N_\omega \quad (1)$$

ここに、 $W(t)$ は非定常特性を表現する修正関数を表わす。ここでは、大崎 (1994) の提案式を用いる。 T_e は強震動の継続時間（有効継続時間：ほぼ定常部分の継続時間）で、次式から計算する。

$$T_e = \frac{L}{V_R} \left(1 - \frac{V_R}{C_S} \cos \theta \right); \quad T_d = 2.63 T_e \quad (2)$$

ここに、 L = 地表面への断層投影長さ (km)、 V_R = 断層破壊速度 (km/s)、 C_S = S波速度 (km/s)。 T_d は強震動振幅 90 パーセント以上の継続時間を表わす。図 1 に、式 (2) の継続時間と地震マグニチュード M の関係を久田の経験式 ($\log T_d = 0.31M - 0.774$) とともに示す。式 (2) では、 $\log L = 0.5M - 1.88$ 、 $V_R/C_S = 0.7$ を用いて図 1 に描いた。断層線と観測点との角度 θ によって継続時間に違いが生じるが、経験式は理論式のほぼ中間値を与えている。

強震動加速度波形のフーリエスペクトル振幅 $|A(\omega)|$ は、小地震を重ね合わせる経験的グリーン関数法の定式を基に、小地震の位相遅れ時間が大地震の破壊伝播時間 T_f の間に一様確率分布を有する確率変数として小地震を重ね合わせて求めた。

$$|A(\omega)| = SUM_N(\omega) |T(\omega)| |A_0(\omega)|; \quad |A_0(\omega)| = C A_{S0}(\omega) A_D(\omega) A_A(\omega) \quad (3)$$

ここに、 $SUM_N(\omega)$ は小地震のランダム重ね合わせ係数を、 $|T(\omega)|$ は小地震と大地震のすべり速度時間関数の比および不均質断層特性（断層面上の不均質すべりや不均質応力降下量）を考慮した伝達関数を表わし、次式で与えられる (Harada et al., 1997)。

$$T_{mn}(\omega) = \left[\frac{i\omega + \frac{N}{\tau}}{i\omega + \frac{1}{\tau}} \right] \left[\frac{1 + \kappa \left(\frac{\omega\tau}{2} \right)^2}{1 + \left(\frac{\omega\tau}{2} \right)^2} \right]; \quad SUM_N(\omega) = \left[N^2 \left\{ 1 + (N^2 - 1) |P(\omega, T_{f0})|^2 \right\} \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$|P(\omega, T_{f0})| = \begin{cases} 1 - c_1 \left(\frac{\omega}{\omega_{f0}} \right)^2 + c_2 \left(\frac{\omega}{\omega_{f0}} \right)^4 & 0 \leq \frac{\omega}{\omega_{f0}} \leq \frac{\pi}{2} \\ \frac{1}{\omega_{f0}} & \frac{\pi}{2} \leq \frac{\omega}{\omega_{f0}} \end{cases} \quad (5)$$

ここに、 $c_1 = 0.16605$, and $c_2 = 0.00761$ 。式 (3) の $|A_0(\omega)|$ は小地震による観測点の地震動のスペクトル振幅を表わし、これは通常よく知られているように、 ω^{-2} モデルの震源特性と伝播特性と地盤増幅特性の積として与えられ

る（例えば、原田ら,1995）。ここでは、地盤の増幅特性はS波速度3-4km/sの地震基盤からS波速度0.5-1km/sの工学基盤までの深層地盤の増幅と、工学基盤から地表面までの浅層地盤の増幅の積として、次式のように与える。

$$A_A(\omega) = \sqrt{\frac{\rho C_S}{\rho_0 C_{S0}}} \frac{\sqrt{1 + 4h_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2}}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2\right)^2 + h_g^2 \left(\frac{\omega}{\omega_g}\right)^2}} \quad (6)$$

ここに、 ρ, C_S は地盤の密度とS波速度を表わし、下添字は地震基盤と工学基盤の区別をするためにある。

3. 加速度時刻歴の計算例と考察 ここでは、図2の平面図に示すような震源距離 $R=30\text{km}$ 、（震源深さ10km）、震央距離28.28kmの5地点の加速度波形の例を示す。断層は長さ20km、幅10kmの横ずれ断層とし、断層上面は地表に接するものとする。この地震の規模はマグニチュードM7.0とし、震源は断層下面の右端とする。

図3は、5地点の加速度時刻歴を示すが、断層破壊伝播方向に位置するAB点では、加速度は大きく継続時間は短い。これらとは逆に位置するDE点では、加速度は小さく継続時間が長い。このような現象は地震動の指向性としてよく知られている。

この種のモデルでは、モデルパラメータ数が多いことと、それらの推定値に大きな不確定性が存在することのため、先づは、平均的パラメータ値を決めておくことが肝要である。図4は、C点のように中間的な指向性が現われる地点における断層最短距離と最大加速度の関係を海洋性地震と内陸性地震（この区別はマグニチュードと地震モーメントの関係式の違いで評価している）について描いたものと、福島・田中の経験式（実線）を示している。本モデルによる加速度は、ほぼ経験式と同じ様な距離減衰特性を示していることがわかる。今後、色々なタイプの断層モデルについて検討が必要である。

4. 参考文献

- 1)Shinozuka, M. and Sato, Y., Simulation of nonstationary random process, Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol.93, No.EM1, pp.11-40, 1967.
- 2)大崎順彦、新・地震動のスペクトル解析入門、鹿島出版、1994。
- 3)Harada, T. Ohsumi, T., and Darama, H., Engineering simulation of ground motions using a seismological model, Proc. of ICOSSAR'97, Kyoto, Nov. 24-28, 1997.
- 4)原田隆典、田中剛、震源特性を考慮した地震動のシミュレーション手法、土木学会論文集、No.507, I-30, 209-217, 1995.

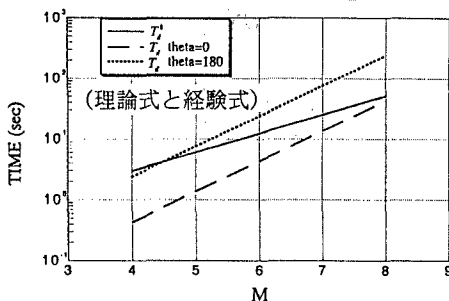


図1 地震動の継続時間と地震マグニチュードの関係

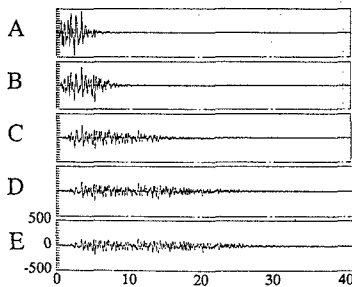


図3 本方法による5地点の加速度時刻歴

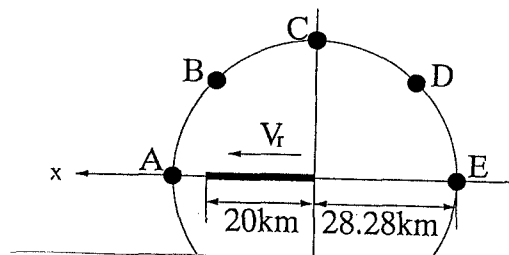


図2 断層線と観測点の平面図

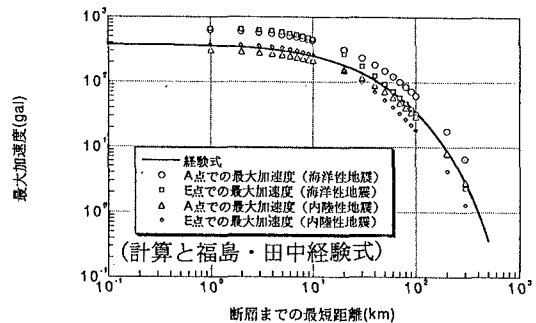


図4 横ずれ断層モデル（M7）による加速度距離減衰特性