

小地震の地震動を用いて大地震の強震動を予測する方法

宮崎大学工学部 正員 原田 隆典
 宮崎大学大学院 学生員 田中 剛
 (株)日本技術開発 正員 田村 好文

1. まえがき ここで示すモデルは、Irikura(1988)のモデル¹⁾に基づき、振動数領域の定式化により地震断層の運動を振動数フィルターとして改良したものである。この方法は、建設地点において、適切な小地震の地震動が観測されない場合にも、確率論的モデルによる地震動の予測方法²⁾と組み合わせることで、大地震の強震動が予測できる。

2. 方法の概要 振動数領域における定式化を示し、小断層と大断層のすべり時間関数の違いを説明するための新しい伝達関数を提案する。長さ L 、幅 W の大断層面を、図1のように長さ ΔL 、幅 ΔW の小断層に分ける。地震断層を含む等方均質な多層粘弾性地盤において、震源から十分に遠く離れた観測点での S 波の変位成分は次の積分表現で表される。

$$u(x, t) = \sum_{m=1}^{N_L} \sum_{n=1}^{N_W} \int_{\xi_m}^{\xi_m + \Delta L} \int_{\eta_n}^{\eta_n + \Delta W} \dot{D}(\xi_m, \eta_n, t - \tau_{mn}) * G(x, \xi_m, \eta_n, t - t_{mn}) d\xi d\eta \quad (1)$$

ここに、 $u(x, t)$ は震源から遠方の観測点 $x = (x, y, z)^T$ における時刻 t での地震動の変位成分を表わす。 $\dot{D}(\xi, \eta, t)$ は断層面の (ξ, η) 点におけるすべり時間関数の速度成分を表わす。また、 $G(x, \xi, \eta, t)$ はグリーン関数を表わす。そして、 $*$ は畳み込み積分を意味する。 τ_{mn} は断層の破壊面が震源から小断層 (m, n) に到達するまでの時間遅れを表わす。また、 t_{mn} は小断層 (m, n) から発生した S 波が観測点に到達する時間を表わす。したがって、これらの時間遅れは次式のように表わされる(図1参照)。

$$\tau_{mn} = \frac{\zeta_{mn}}{V_R}, \quad t_{mn} = \frac{R_{mn} - R}{C_S} \quad (2)$$

ここに、 V_R は断層の破壊速度、 C_S は S 波の伝播速度を表わす。畳み込み積分のフーリエ変換は各々のフーリエ変換の積となることより、式(1)の時間に関するフーリエ変換は次のように表わされる。

$$u(x, \omega) = \sum_{m=1}^{N_L} \sum_{n=1}^{N_W} \int_{\xi_m}^{\xi_m + \Delta L} \int_{\eta_n}^{\eta_n + \Delta W} \dot{D}(\xi_m, \eta_n, \omega) G(x, \xi_m, \eta_n, \omega) e^{-i\omega(\tau_{mn} + t_{mn})} d\xi d\eta \quad (3)$$

ここで、大地震と小断層 (m, n) による小地震の震源時間関数の違いを考慮するために、次式で定義される伝達関数を導入する。

$$T_{mn}(\omega) = \frac{\dot{D}(\xi_m, \eta_n, \omega)}{\dot{D}_{mn}(\xi_m, \eta_n, \omega)} \quad (4)$$

ここに、 $\dot{D}_{mn}(\xi_m, \eta_n, \omega)$ は小地震 (m, n) のすべり時間関数の速度成分のフーリエ変換を表わす。式(4)より大地震のすべり時間関数を小地震のものに置き換えて、これを式(3)に代入すると、次式が得られる。

$$u(x, \omega) = \sum_{m=1}^{N_L} \sum_{n=1}^{N_W} T_{mn}(\omega) u_{mn}(x, \omega) \quad (5)$$

ここに、 $u_{mn}(x, \omega)$ は次式で与えられる。

$$u_{mn}(x, \omega) = \int_{\xi_m}^{\xi_m + \Delta L} \int_{\eta_n}^{\eta_n + \Delta W} \dot{D}_{mn}(\xi_m, \eta_n, \omega) G(x, \xi_m, \eta_n, \omega) e^{-i\omega(\tau_{mn} + t_{mn})} d\xi d\eta \quad (6)$$

式(6)の $u_{mn}(x, \omega)$ は小地震 (m, n) による観測点での地震動である。したがって、式(5)によると、大地震の地震動は小断層 (m, n) の全ての小地震による地震動が与えられれば計算できることになる。現実の地震動の観測において、全ての小地震による地震動が観測できる場合はないので、ここでは、ある一つの小地震 (m_0, n_0) による地震動が観測された場合に、この観測記録を用いて近似的に大地震の地震動を計算する方法を検討する。このための仮定は、(1) 各小地震のすべり時間関数は全て同じであるとする、(2) ある一つの小地震の震源

位置 (m_0, n_0) と他の小地震の震源位置 (m, n) との距離の違いは、この小地震の震源距離 R_0 および他の小地震の震源距離 R_{mn} に比べると小さいのでグリーン関数は全て同じであるとする、の二つである。(2) の仮定において、無限弾性体地盤では S 波の距離減衰は震源距離に逆比例するので、震源距離の違いを考慮するものとする、近似的に次式が成立する。

$$u(x, \omega) = \sum_{m=1}^{N_L} \sum_{n=1}^{N_W} \frac{R_0}{R_{mn}} T_{mn}(\omega) e^{-i\omega(\tau_{mn} + t_{mn})} u_0(x, \omega) \quad (7)$$

式(7)が、小地震の地震動 $u_0(x, \omega)$ から近似的に大地震の地震動 $u(x, \omega)$ を求める計算式である。この式を時間領域に変換すると、入倉の提案式¹⁾と完全に一致する。本研究のように振動数領域の定式化により大地震と小地震のすべり時間関数の違いに対する物理的意味がはっきりとしてくる。このすべり時間関数の違いを表わす伝達関数 $T_{mn}(\omega)$ が重要な関数である。次に、この関数の具体的モデルを説明する。震源パラメータの相似則は次式で与えられる。

$$\left(\frac{M_0}{m_0}\right)^{1/3} = \frac{L}{\Delta L} = \frac{W}{\Delta W} \frac{D}{D_0} = \frac{\tau}{\tau_0} = N_L = N_W = N \quad (8)$$

ここに、大地震と小地震の地震モーメントを M_0 と m_0 、断層の長さを L を ΔL 、断層の幅を W と ΔW 、断層の変位を D と D_0 、断層の立ち上がり時間を τ と τ_0 とする。本研究では、伝達関数 $T_{mn}(\omega)$ は次式で表わすものとする。

$$T_{mn}^P(\omega) = \left[\frac{\omega^2 + \left(\frac{N}{\tau}\right)^2}{\omega^2 + \left(\frac{1}{\tau}\right)^2} \right] \left[\frac{i\omega - \left(\frac{1}{\tau}\right)}{i\omega - \left(\frac{N}{\tau}\right)} \right] \left[\frac{1 + \kappa \left(\frac{\omega\tau}{2}\right)^2}{1 + \left(\frac{\omega\tau}{2}\right)^2} \right] \quad (9)$$

ここに、 κ は高振動数領域の伝達関数の値を変えるパラメータである。式(9)の提案モデルは、Brune のすべり時間関数モデルを採用したときの高振動数領域の値が κ によって変わるモデルで、 $\kappa = 1$ のときは Brune のすべり時間関数モデルを採用したモデルに一致する。

3. 数値計算例 文献³⁾に示す断層モデルを用いて、ここでは $M = 5$ の加速度波形から(文献²⁾)から $M = 7$ の加速度波形を計算してみる。図2は、大地震と小地震のすべり時間関数として Haskell、Brune、および Irikura のものを採用したとき、式(7)から計算される波形を示す。Haskell のすべり時間関数の場合、波形に高振動数があり含まれないが、Brune および Irikura の場合には波形がよく似ている。図3は、式(9)の提案モデルの場合の波形である。 κ の値を変えることにより最大加速度が変化しているのが特徴である。

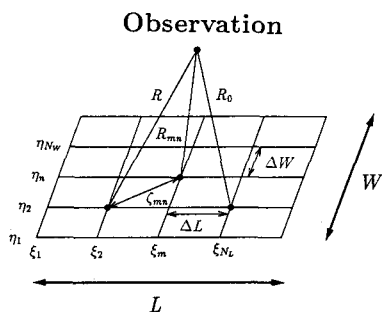


図1.断層とその記号

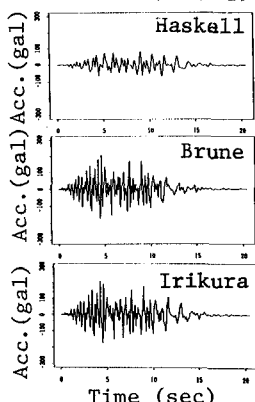
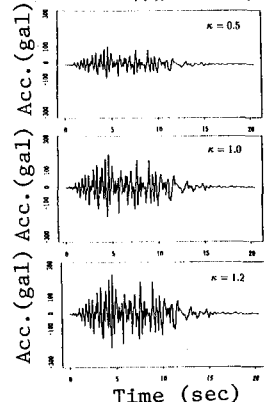


図2.Haskell, Brune, Irikura のすべり時間関数の場合

図3.提案モデルによる κ と波形の特性

4. まとめ 理論的方法に基づいて、小地震の地震動を用いて、大地震の強震動を推定するための方法を示した。この方法は、震源特性や地震波動の伝播特性を振動数領域で理論的に解釈したものである。また、小地震と大地震のすべり時間関数の違いを表す新しい伝達関数を示した。

参考文献 1) Irikura, K., Prediction of Strong Accelerations Motions using Empirical Green's Function, Proc. of 7th Japan Earthquake Engineering Symposium, 1988, pp.37-42. 2) 田中 剛ほか、確率論的震源モデルによる強震動のシミュレーション、土木学会第49回年次学術講演会第1部、1994 3) Harada, T., Tanaka, T., SIMULATION OF EARTHQUAKE GROUND MOTIONS USING A SEISMOLOGICAL MODEL, Proc. of 9th Japan Earthquake Engineering Symposium, 1994