

I-B 236

経験的グリーン関数による強震動の波形合成法に基づく 断層パラメタの推定法に関する基礎的研究

宮崎大学工学部 正員 原田 隆典
株式会社熊谷組（元宮崎大学工学部学生）正員 高見勇吉
（株）日本工営 正員 大角 恒雄

1. まえがき

小地震の観測記録から大地震の強震動を予測する方法を開発してきている¹⁾。この方法は、Irikura(1988)のモデル²⁾に基づくが、振動数領域の定式化により断層運動を振動数フィルターとして改良したものである。この波形合成法では、大地震および小地震の断層パラメタの予測が重要な課題の一つであるが、ここでは、この課題に対する視点の一つとして、合成波形が観測波形に一致するよに断層パラメタを決める方法を検討したのでその概要を報告する。

2. 波形合成法の概要

方法の詳細は文献(1)に示されているが、ここでは、計算式と必要なパラメータのみを示す。小地震の地震動 $u_0(x, \omega)$ から近似的に大地震の地震動 $u(x, \omega)$ を求める計算式は次式で与えられる。

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

ここに、 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遅れを表わす。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。

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

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。また、式(1)における関数 $T_{mn}(\omega)$ は、大地震と小地震のすべり時間関数の違いを表わす伝達関数である。この関数の具体的なモデルを説明する。震源パラメータの相似則は次式で与えられる。

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

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 と 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。伝達関数 $T_{mn}(\omega)$ は次式で与えられる。

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

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(4)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し、予測された大地震の地震動は近似的に ω^{-2} モデルとなる。

3. 計算の手順

計算方法の手順を整理すると、次のようである。

- (1) 大地震と小地震の地震モーメント M_0 、 m_0 から式(3)を用いて、断層の分割数 N を決める。
- (2) 大地震の断層の長さ L 、幅 W および分割数 N から式(3)を用いて、小地震の断層の大きさ $(\Delta L, \Delta W)$ を決める。
- (3) 断層の破壊速度 V_R 、S波の伝播速度 C_S 、大地震の震源距離 R 、各小断層の震源距離 R_{mn} から式(2)を用いて、時間遅れを決める。
- (4) 大地震の断層の立ち上がり時間 τ と分割数 N から式(4)を用いて、伝達関数 $T_{mn}^P(\omega, \kappa)$ を計算する。
- (5) グリーン関数としての小地震の震源距離 R_0 と記録のフーリエ変換 $u_0(x, \omega)$ から式(1)を用いて、大地震の

強震動のフーリエ変換 $u(x, \omega)$ を計算し、そのフーリエ逆変換により時刻歴を計算する。

4. ガウスニュートン法による最適化とその計算例

N 個の未知変数 x_n の関数を $g(x_1, x_2, \dots, x_N)$ とする。そして、 M 個の観測値を考えると、ある観測条件 m のもとでこの関数によって予測される関数値を $g_m(x_1, x_2, \dots, x_N)$ とし、そのときの観測結果を y_m とする。予測値と観測値の間に誤差が生じるが、この誤差の2乗和を極小にするように N 個の未知変数 x_n を決める方法は最小2乗法としてよく知られている。

波形合成法における最適な断層パラメタを推定するために上記の最小2乗法を用いる。時間領域または振動数領域において適用することが考えられるが、振動数領域の方がよい結果であるのでその計算例を以下に示す。

方法を説明するために、ここでは断層パラメタの中、断層立ち上がり時間（ライズタイム） τ 、S波速度 V_S 、断層破壊速度 V_{rx} および高振動数領域の伝達関数の値を変えるパラメタ κ の4つを未知変数とする。その他の断層パラメタは固定するものとする。したがって、上記の最小2乗法適用では未知変数の数 $N=4$ となる。観測値としては、 $(\tau=1.3, \kappa=3.7, V_S=4.0, V_{rx}=3.5)$ として合成した波形（その他のパラメタ等は文献1のものを用いた）のフーリエ変換の実部と虚部とする。時間刻みは100(Hz)とし40.96(s)の時刻歴を対象とするため振動数1/40.96(Hz)毎のフーリエ変換実部と虚部の値が観測値として得られたものとした。したがって、観測値の数 $M=2 \times 4096$ となる。この観測波形として用いた波形およびそのフーリエ振幅を示すと、図1と図2の実線のようにになる。なお、図1の波形は10-20秒間を拡大して示している。

予測値としては、 $(\tau=2.0, \kappa=2.7, V_S=4.5, V_{rx}=3.6)$ として合成した波形のフーリエ変換の実部と虚部を用いる。この予測波形とそのフーリエ振幅を示すと図1と図2の破線のようにになる。

予測値と観測値の誤差の2乗和が極小になるようにガウスニュートン法を使って4つの断層パラメタを決めると、この計算例では、8回の繰り返しで観測値と完全に一致する断層パラメタを決めることができた。5.まとめ 観測波形と合成波形の振動数領域の誤差の2乗和を最小にするという条件から合成波形の断層パラメタを推定する方法を検討し、シミュレーション波形による計算例を示し方法の検証を行なった。実観測波形による検討は今後行なう予定である。

参考文献 1) 原田隆典、田中剛、田村好文、震源特性を考慮した地震動のシミュレーション手法、土木学会論文報告集、第507号/I-30, pp. ,1995. 2) Irikura, K., Prediction of Strong Accelerations Motions using Empirical Green's Function, Proc. of 7th Japan Earthquake Engineering Symposium, 1986, pp.151-156.

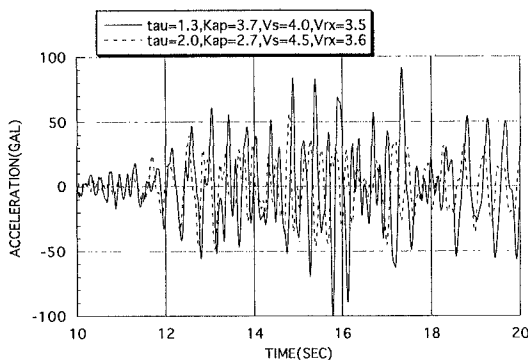


図1 シミュレーション波形の観測値（実線）と予測値（波線）

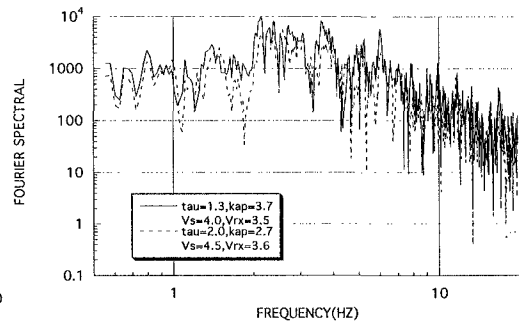


図2 シミュレーション波形のフーリエ振幅の観測値（実線）と予測値（波線）