

震源特性を考慮した地震動波形の合成法とその検証例

宮崎大学工学部 正員 原田 隆典
 株式会社長大(元宮崎大学大学院) 正員 田中 剛
 (株)九州電力総合研究所 正員 松野 隆

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。この方法は、建設地点で適切な小地震の地震動が観測されない場合にも、確率論的震源モデルによる地震動の予測方法¹⁾と組み合わせて、大地震の強震動が予測できる特長を有する。ここでは、日向灘を震源とするM=6.6の地震による宮崎市での岩盤上の加速度記録をこの地震の余震(M=5.0)記録および確率論的震源モデルによる人工地震動を用いて予測し、方法の検証を行なったのでその概要を報告する。

2. 方法の概要 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。

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

この式を時間領域に変換すると、入倉の提案式²⁾と完全に一致する。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 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。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 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(ΔL , ΔW)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. 観測記録による検証例 検証のために用いた観測記録は電力中央研究所の強地震観測資料³⁾における観測

点・波形番号 MYZ2-007 と MYZ2-009 の NS 方向の加速度記録である。観測点の位置（宮崎）と地盤条件は次のようである：MYZ2(位置 $N31^{\circ}51.42'$, $E131^{\circ}25.63'$, 砂岩)。

日向灘を震源とする本震と余震の諸元は次のようである：本震 ($M = 6.6$, 位置 $N32^{\circ}58.20'$, $E132^{\circ}03.80'$, 深さ 48km, 発震時 1987/03/18/12:36:29.0); 余震 ($M = 5.0$, 位置 $N32^{\circ}04.00'$, $E132^{\circ}03.60'$, 深さ 48km, 発震時 1987/03/18/14:00:18.4)。

CMT 解⁴⁾から本震の地震モーメント $M_0 = 1.2 \times 10^{26} \text{ dyn} \cdot \text{cm}$, Strike $\phi_s = 182^{\circ}$, Dip $\delta = 64^{\circ}$, を採用した。余震分布の資料（宮崎地方気象台）に基づいて、本震の断層の大きさを $L = 21 \text{ km}$, $W = 14 \text{ km}$ と決めた⁵⁾。小地震の地震モーメントは Sato(1979) による次式から $m_0 = 5.0 \times 10^{23} \text{ dyn} \cdot \text{cm}$ と決めた。

$$m_0 = 10^{(1.5M + 16.2)} \quad (5)$$

したがって、式 (3) から $N = 6$ と分割数を決定した。このようにして、最終的に本震と余震の震源パラメータを表 1、2 のように決めた。

ここでの検証は振動数 0.5Hz-20Hz の範囲で検討した。図 1 には、この振動数範囲以外をカットした本震と余震による加速度波形の NS 成分を示す。この余震による加速度波形を 3 節の手順により合成し、本震の加速度波形を予測した ($\kappa = 2.8$ を採用)。この合成波形を本震の加速度波形とともに図 2 に示す。また、図 3 には、これらの波形による応答スペクトルの比較をしている。図 4 は、余震記録の代わりに確率論的点震源モデルによって余震記録をシミュレーションにより作り、この人工地震動を先ほどと同じように合成して本震の波形を予測したものである。この場合、コーナー振動数 $\omega_C = 9.8 \text{ rad/s}$, $\kappa = 3.0$ を用いた。また、図 5 には、応答スペクトルでの比較をしている。

5. まとめ 日向灘を震源とする地震の余震記録および確率論的点震源モデルによるシミュレーション波形を合成して、本震の強震動を予測しその予測方法の妥当性を検証した。パラメータの予測方法に多少不確かさがあるものの、この様な検討を通して、この方法が魅力的な道具であると感じている。

6. 謝辞 本震と余震の資料とその分布図に関して、新名幸雄主任専門官（宮崎地方気象台）および断層モデル決定において、入倉孝次郎教授（京都大学防災研究所）から多くの事項をお教え頂いた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

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. 3) 矢島浩、強地震観測資料集、第 6 巻、U93031、電力中央研究所報告、平成 5 年 (1993). 4) Dziewonski, A.M., Ekstrom, G., Woodhouse, J.H., and Zwart, G., Centroid-Moment Tensor Solutions for January-March, Physics of the Earth and Planetary Interiors, Vol.50, pp.116-126, 1988. 5) 入倉孝次郎教授、京都大学防災研究所、との私信。

表 1 本震の震源パラメーター

Parameters Name	Value	Unit
Fault Strike	$N182^{\circ}E$	
Fault Dip	64	degree
Fault Length	21	km
Fault Width	14	km
Seismic Moment	1.2×10^{26}	$\text{dyn} \cdot \text{cm}$
Magnitude	6.6	
Rise Time	1.25	sec
S-wave Velocity	3.7	km/sec
Rupture Velocity	2.7	km/sec

表 2 余震の震源パラメーター

Parameters Name	Value	Unit
Seismic Moment	5.0×10^{23}	$\text{dyn} \cdot \text{cm}$
Magnitude	5.0	

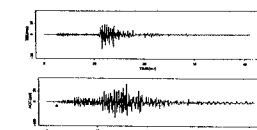


図 1 本震と余震の加速度波形 (NS)

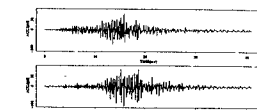


図 2 観測と余震合成の加速度波形 (NS) の比較

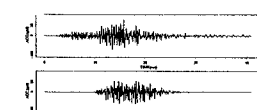


図 4 人工波形と合成加速度波形 (NS) の比較

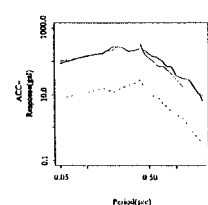


図 3 応答スペクトルの比較

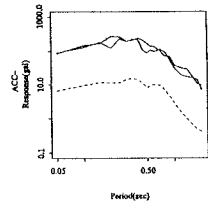


図 5 図 4 の波形の応答スペクトルの比較