

半経験的手法を用いた周期10秒前後の地震動評価に関する一提案

京都大学工学部 正員 山田善一 野田 茂
 春本鐵工所(株) 正員 ○富本 信

1. まえがき 本研究の目的は、小地震から本震時の波動を合成する半経験的手法に改良を加え、一連の新しいプログラムを開発することである。日本海中部地震時の周期10秒前後の地動の評価に適用し、本手法の妥当性を吟味した。グリーン関数としては、気象庁1倍強震計記録から求めた余震の地動を採用した。

2. 余震から本震の地動を合成するための手法の提示 断層面をstrike方向に N_L 個、dip方向に N_w 個分割する。余震記録のNS、EW、UD成分のフーリエスペクトルを $NS_a(\omega)$ 、 $EW_a(\omega)$ 、 $UD_a(\omega)$ とする。ここに、添字の a は、余震を意味する。余震から観測点までの震央距離を r_a 、方位角を $N\theta \pm E$ とすると、観測点での接線方向、法線方向のフーリエスペクトルは以下ようになる。
$$\begin{Bmatrix} U_{Ra}(\omega) \\ U_{Ta}(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \cos \theta_a & \sin \theta_a \\ -\sin \theta_a & \cos \theta_a \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} NS_a(\omega) \\ EW_a(\omega) \end{Bmatrix} \quad (1)$$

断層面のグリッド (ξ, η) から射出される本震時のフーリエスペクトルは、余震のそれを用いると、容易に表示できる。今、 (ξ, η) から見た、観測点のradial方向のスペクトルは以下ようになる。ただし、Rayleigh波が主に卓越するものと考えている。

$$S_R(\omega, r_{\xi\eta}, \theta_{\xi\eta}) = \frac{\chi_R(\omega, h_{\xi\eta}, \theta_{\xi\eta}, \phi, \lambda, \delta, k_R, V_R(h_{\xi\eta}), V_V(h_{\xi\eta}))}{\chi_R(\omega, h_a, \theta_a, \phi_a, \lambda_a, \delta_a, k_R, V_R(h_a), V_V(h_a))} \cdot \left(\frac{r_a}{r_{\xi\eta}}\right)^{1/2} \exp\left[-(r_{\xi\eta} - r_a) \left\{ \lambda k_R(\omega) + \frac{\omega}{2Q_R(\omega)} \right\}\right] \cdot U_{Ra}(\omega) \quad (2)$$

ここに、走向、傾斜角、食い違いの方向、震源深さ、観測点の方位角、震央距離、波数、 Q 値、群速度、水平および上下の変位モードを $\phi, \delta, \lambda, h, \theta, r, k_R, Q_R, U_R, V_R, V_V$ としている。 χ_R は方位特性関数である。また、添字の a は余震の、添字なしおよび ξ, η の付いたものは、本震時のパラメーターを採用する。

式(2)と同様にとすると、本震時に観測点で得られる、上下変位(Rayleigh波による)と接線方向の変位(Love波による)のスペクトル、すなわち、 $S_V(\omega, r_{\xi\eta}, \theta_{\xi\eta})$ と $S_T(\omega, r_{\xi\eta}, \theta_{\xi\eta})$ は、 $UD_a(\omega)$ と $U_{Ta}(\omega)$ および距離補正と方位特性関数の補正などを施すことにより、得られる。

こうして得られた要素波を、FFTにより時間領域に逆変換したものを、 $U_{r, \xi\eta}(t)$ 、 $U_{\theta, \xi\eta}(t)$ 、 $U_{z, \xi\eta}(t)$ とする。その結果、合成した地動のNS、EW、UD成分は、次のようになる。

$$\begin{Bmatrix} U_{NS}(t) = C \sum_{i=1}^{N_L} \sum_{j=1}^{N_w} \sum_{k=1}^{N_T} \left[\cos \theta_{ij} U_{r, ij}(t - \tau_{ijk}) - \sin \theta_{ij} U_{\theta, ij}(t - \tau_{ijk}) \right] \\ U_{EW}(t) = C \sum_{i=1}^{N_L} \sum_{j=1}^{N_w} \sum_{k=1}^{N_T} \left[\sin \theta_{ij} U_{r, ij}(t - \tau_{ijk}) + \cos \theta_{ij} U_{\theta, ij}(t - \tau_{ijk}) \right] \\ U_{UD}(t) = C \sum_{i=1}^{N_L} \sum_{j=1}^{N_w} \sum_{k=1}^{N_T} U_{z, ij}(t - \tau_{ijk}) \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$\tau_{ijk} = \tau_{ij} - \tau_{00} + \frac{\sqrt{\{x_{ij}^2 - x_{00} + (k-1)V_R \tau_a \cos \lambda\}^2 + \{y_{ij}^2 - y_{00} + (k-1)V_R \tau_a \sin \lambda\}^2}}{V_R}$$

ただし、 T_{ij} 、 T_{00} はグリッド(i,j)と破壊開始点からの走時である。直達S波の走時は理論的に計算している。(x,y)は断層上での位置座標を示している。余震のライズタイム τ_a は $\tau_a = \tau / N\tau$ から求められる。

3. 昭和58年日本海中部地震時の地震動の合成 地下構造としては第1層を海と考
え、気仙沼・男鹿沖の爆破探査の結果から推定したモデルを採用した。これより、表面波
の分散曲線、変位と応力のモードの深さ方向の分布を計算した。

本震発生時から6月30日までの余震分布および本震(5月28日)と余震(6月9日,21日)
の震央位置より、断層の幾何を決め、図1のような2つのモデルを考えた。モデル1は、
2つのEventよりなる。各モデルの本震時の断層パラメーターおよび余震のそれは、各種
の文献や島崎氏との私信により決定した。ちなみに、後述の数値計算では、モデル1の第
1Eventで $N=6, N_L=N_W=2, N_C=1$, 第2Eventで $N=9, N_L=N_W=N_C=2$, モデル2で $N=15, N_L=3, N_W=N_C=$
2とした。なお、モデル1では、2つのEventとしての断層の発震源の相違を考慮して、
波の合成を行なった。

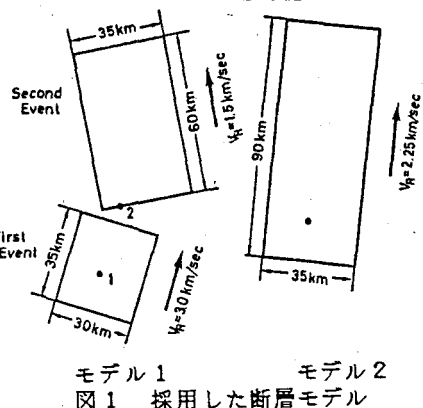
2. で述べた手法を用いて、6月21日に発生した余震
から、地動の重ね合わせを実施した。次に示す4通りの方
法により、地動の合成を行なった。

CASE 1: モデル1を用いて、距離補正のみ実施し、方位
特性の補正や式(3)の座標変換を考慮しない、CASE 2:
次に、式(2)と(3)による補正を施すが、断層面上での
各要素波の震源深さと余震の深さを同一にとる、CASE 3
: さらに、各要素波の深さを変化させ、式(2)と(3)を
そのまま適用する、CASE 4: モデル2を用いて、CASE 2
と同じ方法で合成を行なう。

相川における地動のNS成分をシミュレ
ートした。図2は、本震時の地動変位とCASE
2および3の合成波を比較したものである。
従来の方法に近いCASE 1よりも、ここで提
案したアイデアを含むCASE 3の波が本震の
波形とよく調和している。モデル2よりも
モデル1の断層がより現実的なので、CASE

4の結果は余りよくない。図3は、水平EW
成分に関する変位応答スペクトル($h=2\%$)を
求めたものである。他の成分についても同様に調べたところ、やはりCASE 3

が本震時の応答をもっともよく再現していた。図より、一般に、CASE 1は本震の応答を過
小に、CASE 4は若干過大に評価していることがわかる。これらの結果、CASE 2と3のよう
に、表面波の方位特性関数を考慮する必要性を示唆している。以上より、周期10秒前後の
構造物の応答を議論する際、本研究で提案した手法は威力を発揮することが期待できる。



モデル1 モデル2
図1 採用した断層モデル

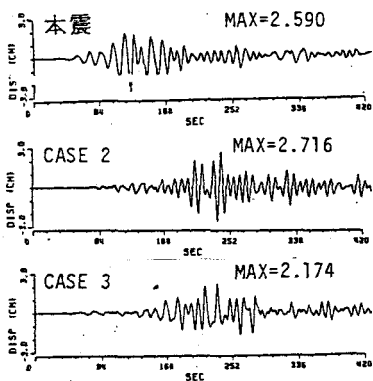


図2 相川での本震時の地動の変位波形と合成波形の比較 (NS成分)

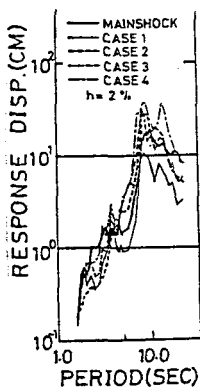


図3 相川の変位
応答スペクトル
(EW成分 $h = 2\%$)