

地震断層による地震動のパワースペクトル特性

宮崎大学工学部 ○学生員 高岡 明 正会員 原田 隆典

1.はじめに ある地点における地震動は、震源特性及び伝播経路特性によって生ずる種々の振動数-波数スペクトルを持つ地震波の重ね合わせとして表すことができる。ここでは、このような地震動の振動数-波数スペクトル特性が地震断層パラメータと伝播経路特性によってどのように変わるかについて、半無限粘弾性体地盤内の断層モデルを用いて検討する。

2.モデルの概要 図-1に示すように半無限粘弾性体の深さ Z_0 点に、傾斜角 δ 、くいちがい方向 λ 、破壊速度 C を有する長さ L 幅 W の断層面を考える。この断層による地表 ($Z_0 = 0$) の地震動変位 (x 軸方向成分 u) は、次のように表現することができる (v, w 成分も同様)。

$$u(x, y, z_0, t) = \iiint M_0 m(\omega) U(k_x, k_y, z_0, \omega) e^{-i(k_x x + k_y y - \omega t)} dk_x dk_y d\omega \quad (1)$$

ここに、 k_x, k_y = 波数の x 成分, y 成分, M_0 = 地震モーメント
 ω = 振動数, $m(\omega)$ = くいちがいの時間関数のフーリエ係数

フーリエスペクトル $U(k_x, k_y, \omega)$ は、断層特性と伝播経路特性から定まり、次のように表すことができる。 (v, w についても示す)。

$$U(k_x, k_y, \omega) = \{i(\frac{k_x}{k} b_{11})\} \phi_s^- + \{i(\frac{k_x}{k} b_{12})\} \psi_{s,SV}^- + \{-i(\frac{k_x}{k} c_{21})\} \psi_{s,SH}^- \quad (2a)$$

$$V(k_x, k_y, \omega) = \{i(\frac{k_y}{k} b_{11})\} \phi_s^- + \{i(\frac{k_y}{k} b_{12})\} \psi_{s,SV}^- + \{i(\frac{k_y}{k} c_{21})\} \psi_{s,SH}^- \quad (2b)$$

$$W(k_x, k_y, \omega) = \{b_{21}\} \phi_s^- + \{b_{22}\} \psi_{s,SV}^- \quad (2c)$$

b_{ij}, c_{21} は伝播経路特性による係数で、次式で表される。

$$\begin{bmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{bmatrix} = \frac{-4\nu\gamma k^2 k_\beta^4}{4\nu\gamma k^2 + (k^2 - \gamma^2)^2} \begin{bmatrix} \frac{1}{k_\beta^2} e^{-i\nu(Z_s - Z_0)} & -i \frac{(k^2 - \gamma^2)}{2\nu k_\beta^2} e^{-i\gamma(Z_s - Z_0)} \\ i \frac{(k^2 - \gamma^2)}{2\gamma k^2 k_\beta^2} e^{-i\nu(Z_s - Z_0)} & -\frac{1}{k_\beta^2} e^{-i\gamma(Z_s - Z_0)} \end{bmatrix} \quad (3a)$$

$$c_{21} = \frac{1}{B_{21}} = 2k^2 e^{-i\gamma(Z_s - Z_0)} \quad (3b)$$

ここで、 $Z_0 = 0$ とする。また、 $\phi_s^-, \psi_{s,SV}^-, \psi_{s,SH}^-$ は、断層特性による係数で、次のように表される。

$$\begin{bmatrix} \phi_s^- \\ \psi_{s,SV}^- \\ \psi_{s,SH}^- \end{bmatrix} = \frac{1}{8\pi^2 \rho \omega^2} e^{-i(k_x x + k_y y - \theta Z_s - \omega t)} I_j [\cos \delta \cos \lambda \begin{bmatrix} 2ik_x \\ -\frac{k_x(k^2 - \gamma^2)}{k^2 \gamma} \\ ik_y \frac{k_\beta^2}{k^2} \end{bmatrix} + \sin \delta \cos \lambda$$

$$\begin{bmatrix} 2i(\frac{k_x k_y}{k^2}) \\ 2(\frac{k_x k_y}{k^2}) \\ -i \frac{k_\beta^2 (k_x^2 - k_y^2)}{k^2 \gamma} \end{bmatrix} - \cos 2\delta \sin \lambda \begin{bmatrix} 2ik_y \\ -\frac{k_y(k^2 - \gamma^2)}{k^2 \gamma} \\ -ik_x \frac{k_\beta^2}{k^2} \end{bmatrix} + \sin 2\delta \sin \lambda \begin{bmatrix} -i(\frac{k_y^2 - \nu^2}{k^2}) \\ -\frac{(k_x^2 + 2k_y^2)}{k^2} \\ i \frac{k_\beta^2 k_x k_y}{k^2 \gamma} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$I_1 = \frac{[e^{iL(k_x - \frac{\omega}{C})} - 1]}{L(k_x - \frac{\omega}{C})} \frac{[e^{iW(k_y \cos \delta - \theta \sin \delta)} - 1]}{W(k_y \cos \delta - \theta \sin \delta)} e^{-i\theta Z_s} \quad (j = 1) \quad (5a)$$

更に、遠方の観測点を対象にする場合、断層は点震源とみなされる為、(5a)式で $W \rightarrow 0, L \rightarrow 0, C \rightarrow \infty$ より

$$I_1 = -e^{-i\theta Z_s} \quad (5b)$$

ただし、P波では $\theta = \nu$, S波では $\theta = \gamma$

$$\begin{aligned} \text{ここに、} \quad \nu^2 &= \left(\frac{c}{C_p}\right)^2 - k^2, & \gamma^2 &= \left(\frac{c}{C_s}\right)^2 - k^2, & k^2 &= k_x^2 + k_y^2 \\ \text{Re}\nu &\geq 0, \text{Im}\nu \leq 0, & \text{Re}\gamma &\geq 0, \text{Im}\gamma \leq 0 \\ C_p &= C_p^0(1 + iD_p) & C_s &= C_s^0(1 + iD_s) \end{aligned} \quad (6)$$

3. 数値計算例と考察

ここでは、以下のようなパワースペクトルを定義し、この特性について調べた。

$$S_{U_i U_i}(k_x, k_y, \omega) = |M_0 \cdot m(\omega) \cdot W(k_x, k_y, \omega)|^2$$

$$m(\omega) = \begin{cases} 0 & (0 \leq \omega \leq \omega_c) \\ \frac{2 \sin(\omega t_r / 2)}{t_r \omega^2} & (\omega_c \leq \omega) \end{cases} \dots (\omega_c = 1 \text{ rad}, t_r = 2 \text{ sec})$$

$$\begin{aligned} M_0 &= 10^{15} \text{ N} \cdot \text{m} & \mu &= 3 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2 & Z_s &= 40,000 \text{ m} \\ C_p^0 &= 5,196 \text{ m/sec} & C_s^0 &= 3,000 \text{ m/sec} & D_s &= D_p = 0.005 \end{aligned}$$

図-2と図-3に純横ずれ断層 ($\delta = \frac{\pi}{2}, \lambda = 0$) の場合の振動数 $\omega = 1, 1.67 \text{ rad/m}$ におけるパワースペクトルを示す。図-2は点震源とみなされる場合を示し、一方、図-3は断層の大きさが無視できない場合 ($L = W = 10 \text{ km}, C = 2.0 \text{ km/s}$) を表わす。点震源の場合にはパワースペクトルは原点对称であるが図-3では、断層面の破壊方向の象限にパワーが集中してこの方向の地震波が強くなるのがわかる。

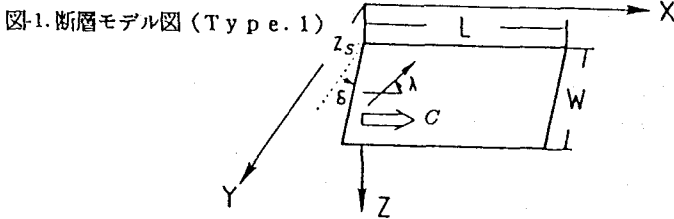


図-2.(5.b)を使用

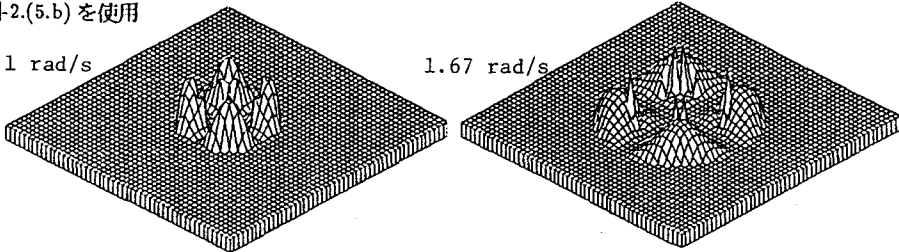


図-3.(5.a)を使用

