

非正常地震動のスペクトル特性に関する有理関数型モデル

京都大学工学部 正員 亀田弘行・杉戸真太  
京都府 正員○上田勝也

1.はじめに 本研究はS波速度 700~800m/sec程度の工学的基盤面<sup>1)</sup>における有理関数型スペクトルモデルを用いた非正常地震動予測モデルを提案するものである。有理関数型スペクトルモデルを用いた地震動モデルは、不規則振動論において応答の分散値が留数積分により解析的に求まり有用である。また、非正常地震動予測モデルをスペクトル特性が時間的に変化しない振幅変調型モデルに変換し、更に地震動スペクトルを有理関数により地表へ変換する手法を提案する。

2.有理関数型スペクトルモデルを用いた地震動予測モデル  
非正常特性を有する地震動 $x(t)$ を次式で表現する。

$$x(t) = \sum_{k=1}^m \sqrt{2G(t, \omega_k)} \Delta\omega \cdot \cos(\omega_k \cdot t + \phi_k) \quad (1)$$

$G(t, \omega)$ ; 非正常パワースペクトル、 $\omega_k$ ; 円振動数  
 $\Delta\omega$ ; 円振動数のきざみ幅、 $m$ ; 振動数の分割数

非正常パワースペクトルは、有理関数により次式でモデル表示する。

$$G(t, \omega) = G(t, 2\pi f) = \alpha_f(t) \frac{2\beta_s(t)}{R^2 f_p(t)} \frac{\{f/f_p(t)\}^2}{[1 - \{f/f_p(t)\}^2]^2 + 4\beta_s(t)^2 \{f_p(t)\}^2} \quad (2)$$

$\alpha_f(t)$ ; 時刻 $t$ での二乗平均パワーを表わす。(gal<sup>2</sup>)

$f_p(t)$ ; 時刻 $t$ での卓越振動数を表わす。(Hz)

$\beta_s(t)$ ; 時刻 $t$ でのスペクトルのピークの鋭さを表わす。

非正常型モデルにおいては $\alpha_f(t)$ ,  $f_p(t)$ ,  $\beta_s(t)$ を時間 $t$ の関数として次式で表わす。(EMP-IBRモデル)

$$\left. \begin{aligned} \alpha_f(t) &= \gamma^2 (t/t_m)^2 \exp\{2(1-t/t_m)\} \\ f_p(t) &= A_1 (t - t_m) + A_2 \\ \beta_s(t) &= B_1 (t - t_m) + B_2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$\gamma$ ; peak R.M.S. 加速度。(gal)  
 $t_m$ ;  $\gamma$ を与える時刻。(sec)

モデルパラメータの推定式はEMP-IB<sup>1)</sup>によるシミュレーションデータを用いて回帰分析を行うことにより得た。各推定式を表1に示す。さて、構造物の応答(特

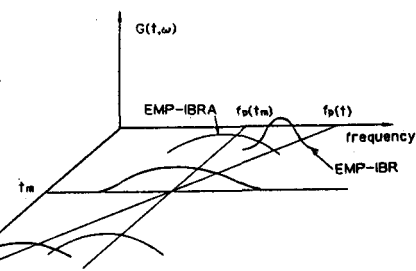


図1 EMP-IBR, EMP-IBRAの非正常パワースペクトルの概略図

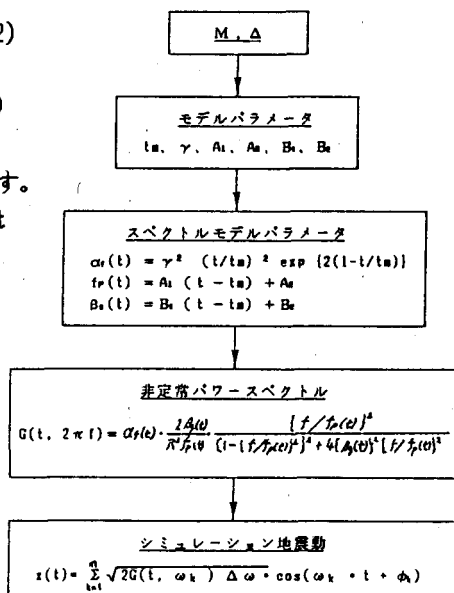


図2 模擬地震動発生フローチャート

表1 モデルパラメータの推定式 (M; マグニチュード, Δ; 震央距離)

$\log \hat{\gamma} = 1.950 + 0.5371 \cdot M - 1.991 \log(\Delta + 30.0)$	$\hat{t}_m = a_1(M) + b_1(M) \cdot \Delta$
	$a_1(M) = 19.77 - 7.35 \cdot M + 0.7196 \cdot M^2$
	$b_1(M) = -0.0023 + 0.0023 \cdot M$
$\hat{A}_1 = \begin{cases} -11.760 + 3.1888 \cdot M - 0.2158 \cdot M^2 & ; M \leq 7.5 \\ 0 & ; M > 7.5 \end{cases}$	$\hat{B}_1 = -0.02160 - 0.5713 \log(\Delta + 30.0)$
$\hat{A}_2 = a_2(M) + b_2(M) \cdot \Delta + c_2(M) \cdot \Delta^2$	$\hat{B}_2 = a_2(M) + b_2(M) \cdot \Delta$
$a_2(M) = 4.124$	$a_2(M) = -0.2306 + 0.2967 \cdot M - 0.0174 \cdot M^2$
$b_2(M) = 0.0115 - 0.0048 \cdot M + 0.000272 \cdot M^2$	$b_2(M) = -0.0193 + 0.0049 \cdot M - 0.0003 \cdot M^2$
$c_2(M) = (-0.7959 + 0.2577 \cdot M - 0.01743 \cdot M^2) \times 10^{-4}$	

に非弾性応答)においてはスペクトル特性の非定常を考慮する必要性が指摘されているが<sup>2)</sup>、実際の耐震設計においてはスペクトル特性が時間的に変化しない、簡単な振幅変調型モデルが用いられることが多い。(3)式において $A_1=B_1=0$ とすることによりEMP-IBRを振幅変調型モデル(EMP-IBRA)に変換する。EMP-IBR, EMP-IBRAの非定常パワースペクトルの概略図を図1に示す。また、模擬地震動発生フローチャートを図2に示す。振幅変調型モデルへのこのような変換は応答解析の結果、マグニチュードMが7以下の地震では長周期領域においてやや危険側の評価をするものの非定常性の弱いMが7以上の地震においてはこの変換が妥当なことがわかった。

3. 地表面における地震動予測モデル 工学的基盤面と沖・洪積地盤面の非定常パワースペクトルの平方根の比を変換係数 $\beta_n(f)$ と定義し有理関数により次式で表わす。

$$\beta_n(f) = \frac{1 + 2a^2 f^2 / f_s^2}{(1 - f^2 / f_2^2)^2 + 4h_s^2 f^2 / f_s^2} \quad (4)$$

パラメータ $f_s, a, h_s$ は $f_1=0.55, f_2=2.53, f_3=10.03\text{Hz}$ における変換係数 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ を(4)式が通るという条件により求める。 $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ は文献3)による地盤の非線形増幅特性を考慮した地震動スペクトルの変換係数 $\beta_n(f)$ により算出する。このような条件により、パラメータ $f_s, a, h_s$ は次のように表わされる。

$$f_s = \sqrt{\frac{f_1^2 f_2^2 (f_1^2 \beta_1 \beta_3 - f_2^2 \beta_1 \beta_2 + f_3^2 \beta_2 \beta_3 - f_2^2 \beta_1 \beta_3 + f_3^2 \beta_1 \beta_3 - f_3^2 \beta_2 \beta_3)}{f_1^2 f_2^2 (\beta_1 - 1)(\beta_2 - \beta_3) + f_2^2 f_3^2 (\beta_2 - 1)(\beta_3 - \beta_1) + f_1^2 f_3^2 (\beta_3 - 1)(\beta_1 - \beta_2)}}, \quad a = \sqrt{\frac{\beta_1 \beta_2}{\beta_1 - \beta_2}} (X_1 - X_2)$$

$$h_s = \sqrt{\frac{\beta_2}{2(\beta_1 - \beta_2)}} (X_1 - \frac{\beta_2}{\beta_1} X_2), \quad \text{ただし、} X_i = 1 - \frac{1}{2}(1 - \beta_i) \frac{f_i^2}{f_s^2} - \frac{f_i^2}{f_s^2} \quad (5)$$

基盤面における非定常パワースペクトル $G_r(t, 2\pi f)$ は変換係数 $\beta_n(f)$ により次式で地表面の非定常パワースペクトル $G_s(t, 2\pi f)$ に変換される。

$$G_s(t, 2\pi f) = \{\beta_n(f)\}^2 \cdot G_r(t, 2\pi f) \quad (6)$$

以上述べた手法により有理関数型スペクトルモデルの利点を失わずに地震動スペクトルを地表面に変換できる。

参考文献 1) Sugito, Kameda, Proc. JSCE, Vol. 2, 1985 2) Kameda, Proc of U.S-Southeast Asia Sympo., 1977 3) 杉戸・亀田・後藤・廣瀬, 土木学会関西支部昭和61年度年次講演会