

## 断層パラメータを考慮した地震動予測モデル

清水建設大崎研 正 員 ○藤川 智  
京都大学工学部 正 員 杉戸真太

1. はじめに 工学分野における従来の地震動強度の予測式は、マグニチュードMと震源距離Rの関数として表わされた経験的な式が多い。しかし、このような経験的なモデルには、データの得られていない領域の地震を評価する際に、モデルの関数形や使用したデータによって結果が違ってくる可能性があることなどの問題点がある。このような問題点に対応するために、地震波の発生過程と伝播過程を理論的にモデル化し、経験的に物理的な意味付けを行うことによって地震動を評価する方法が考えられている。本研究では、震源理論から導かれたフーリエスペクトルと地震動の継続時間をもとにして、断層パラメータを取り入れた振幅変調型の地震動予測モデルを提案した。さらに、このモデルによるシミュレーション地震動と工学的基盤面における強震記録との比較を行なった。

2. 加速度フーリエスペクトルの補正 McGuire and Hanks<sup>1)</sup>によれば、震源理論に基づいた加速度フーリエスペクトルは次式で表わされる。

$$A(f) = 0.85 \frac{\pi M_0 f_0^2}{\rho R V_s^3} \exp(-\pi f R / Q V_s) \frac{1}{1 + (f_0/f)^2} \quad (1)$$

$M_0$ は地震モーメント、 $f_0$ はコーナー振動数、 $R$ は震源距離、 $\rho$ は媒質密度、 $V_s$ はS波速度、 $Q$ は媒質の $Q$ 値を示す。(1)式に各断層パラメータを代入し、 $\rho = 2.5(\text{g/cm}^3)$ 、 $Q = 300$ <sup>1)</sup>と与えて、強震記録のフーリエスペクトルと比較すると、図-1に示すように大きな差を示すので、次式で定義する補正関数を(1)式の右辺に乗じて補正を行なう。

$$H(f, R) = \exp \left[ a \left\{ \left( \frac{f}{f_k} \right)^b - 1 \right\} R^c \right], \quad f \geq f_k \quad (2)$$

$f$ は振動数、 $R$ は震源距離、 $f_k$ はそれ以下の振動数では理論とデータに大きな差がないと考えられる振動数を表わし、 $f_k = 0.1\text{Hz}$ を採用する。 $a$ 、 $b$ 、 $c$ はデータに適合するような係数で、 $b$ 、 $c$ はできるだけ簡単な数値で、しかも分散を最小にするものを適用する。 $M \geq 7$ のデータを対象としたときの最適解は、 $a = 0.01746$ 、 $b = 1/2$ 、 $c = 2/3$ となる。

3. 地震動の継続時間 Izutani and Hirasawa<sup>2)</sup>によれば、バイラテラル破壊をする断層から伝わるS波による地震動の見かけの継続時間 $d$ (sec)は次式で表わされる。

$$d = \max[d^L, d^S], \quad d^L = (1 - \varepsilon) L \left( \frac{1}{V_R} - \frac{\cos \theta}{V_S} \right), \quad d^S = \varepsilon L \left( \frac{1}{V_R} + \frac{\cos \theta}{V_S} \right) \quad (3)$$

$L$ は断層長さ、 $V_R$ は断層破壊速度、 $\theta$ は破壊伝播方向と観測点方向のなす角度、 $\varepsilon L$ は震源から断層端までの長さ( $0 \leq \varepsilon \leq 0.5$ )を表わす。また、強震記録の全パワーに対する累積パワーの比が、0.05から0.85に至るまでの時間を $D$ (sec)とし、 $d$ と $D$ の関係を、

$$D = A d + B \quad (4)$$

とし<sup>2)</sup>て、回帰分析を行なうと、 $A = 1.05$ 、 $B = 3.52$ を得る。従って、S波による地震動の継続時間の推定値 $T_d$ は次式で求めることができる。

$$T_d = 1.05 d + 3.52 \quad (5)$$

4. 振幅変調型地震動予測モデル 非定常特性を有する地震動 $X(t)$ は次式で表される。

$$x(t) = \sum_{k=1}^n \sqrt{2G_x(t, \omega_k) \Delta \omega} \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad (6)$$

$G_x(t, \omega_k)$ は時刻 $t$ 、円振動数 $\omega_k$ における非定常パワースペクトルであり、次式で表される<sup>3)</sup>。

$$\sqrt{G(t, \omega)} = \sqrt{G(t, 2\pi f)} = \alpha_m(f) \frac{t}{t_p} \exp\left\{1 - \frac{t}{t_p}\right\} \quad (7)$$

上式のパラメータ  $\alpha_m(f)$ ,  $t_p$  は以下のように算定する。

(1) 継続時間パラメータ  $t_p$  非定常スペクトルの各振動数成分の累積パワーが全体の80%になるまでの時間は、 $2.14 t_p$  となる。したがって、継続時間パラメータ  $t_p$  は(5)式の  $T_d$  を用いて次式より求めることができる。

$$t_p = T_d / 2.14 \quad (8)$$

(2) 振幅パラメータ  $\alpha_m(f)$  パワースペクトルとフーリエスペクトルの関係を用い、継続時間内で各振動数成分のパワーが一致するようにすると、 $\alpha_m(f)$  は次式でもとまる。

$$\alpha_m(f) = \frac{2}{e\sqrt{\pi}} \frac{1}{\sqrt{t_p}} A_c(f) \quad (9)$$

$A_c(f)$  は(1), (2)式より求まる補正されたフーリエスペクトルである。

5. シミュレーション地震動 (6)~(9)式より地震動をシミュレーションでき、(1)十勝沖地震(青森)と(2)宮城県沖地震(宮古)について、実地震動と再現地震動の加速度波形及びフーリエスペクトルを図-2に示した。最大加速度については実地震動の方が大きい。継続時間及び全体のパワー等の時間軸方向の特性はよい一致を示していると思われる。

参考文献 1) McGuire, R. K., and T. C. Hanks: Rms Accelerations and Spectral Amplitudes of Ground Motion During the San Fernando, California Earthquake. B. S. S. A., 70, 1907-1919, 1980. 2) Izutani Y. and T. Hirasawa: Use of Strong Motion, Duration for Rapid Evaluation of Fault Parameters. J. Phys. Earth, pp. 171-190, 1987. 3) 後藤尚男・杉戸真太・亀田弘行・斉藤宏・大滝健: 工学的基盤における地震動予測モデル, 京都大学防災研究所年報第27号B-2別刷, 昭和59. 4.

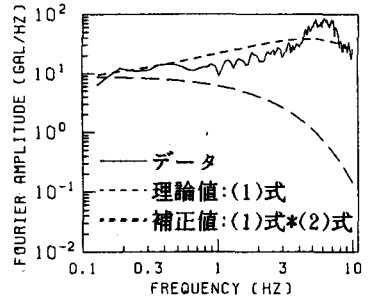
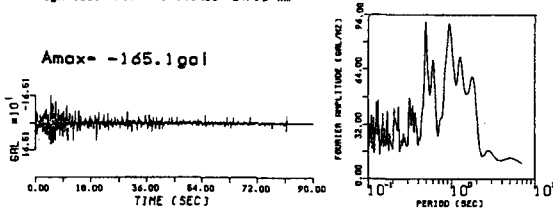


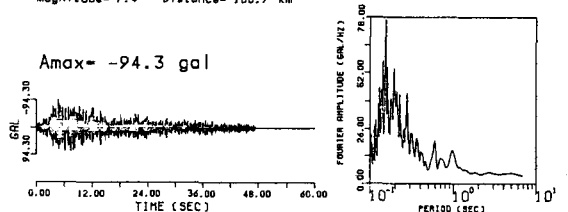
図-1 フーリエスペクトル

NO. 6. 1968 TOKACHI-OKI  
ROMORI  
COMP E-V SER. NO. 77-0012  
Magnitude=7.9 Distance=247.0 km

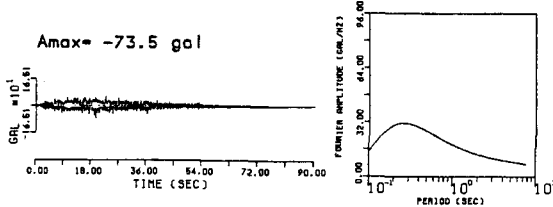
NO. 33. 1978 MIYAGIKEN-OKI  
MIYAKO  
COMP EAST SER. NO. 81-0193  
Magnitude=7.4 Distance=166.7 km



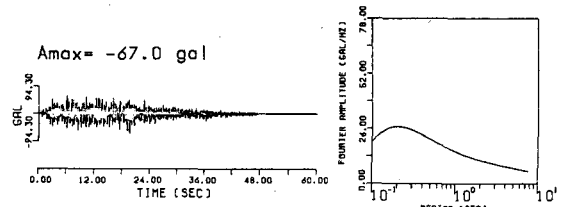
(A) 実地震動 (基盤レベル)



(A) 実地震動 (基盤レベル)



(B) 再現地震動



(B) 再現地震動

(1)1968年十勝沖地震(青森)

(2)1978年宮城県沖地震(宮古)

図-2 実地震動と再現地震動の比較