

1. シミュレーションモデルとモデルパラメーター

ホワイトノイズによる地震動のシミュレーションから始り、地震動の振幅のみならず周波数成分の非定常性までも表現し得るシミュレーションモデルが数多く提出されてきた。従来、これらの研究では、サンプルとして用いた強震記録の特性をよく再現し得るか否かに注目してモデルの改良に尽力されてきた。後藤ほか¹⁾はこれら個々の地震動の諸特性をよく再現するシミュレーションモデルの設定を地震動予測モデルのための「第一段階の作業」と呼び、更に、非定常スペクトルをいくつかのモデルパラメーターで表現し、モデルパラメーターとマグニチュードや震央距離などの関係を求め、将来の地震動の予測モデルを作成するという「第二段階の作業」について論じている。

一般に、特定の地震波の再現（「第一段階の作業」）のためにはモデルパラメーターの数を多くした方が有利である。しかし、「第二段階の作業」においてははかえて不利な場合もある。例えば、マグニチュード(M)や震央距離(Δ)などに対する統計処理の際に、ある一つのパラメーター(P)についての回帰式 $P = f(M, \Delta, \dots) \pm \sigma$ の分散が大きくなってしまえば、シミュレーションモデルが如何に優れていてもそのパラメーターを用いて得られた予測地震動は信頼度の低いものになってしまう。それ故、「良質のモデルパラメーター」を選ぶ必要が生じる。即ち、それらのモデルパラメーターによって特定の地震動を再現してみると十分満足でき、かつ、統計処理の際にどのパラメーターに対しても分散が十分小さい、というようなパラメーターである。しかしながら、これには非常な困難が伴うであろうことが予想される。

2. 研究目的

本研究の目的は近地強震動の非定常シミュレーションモデルを作成し、その再現性を調べることにある。つまり後藤ほか¹⁾の言う「第一段階の作業」である。シミュレーションモデルにはショットノイズ過程を応用し、モデルパラメーターとしては狭帯域のフィルターを通した地震動の強震動開始時刻、強震動継続時間、全パワーを選んだ。これらのモデルパラメーターは Trisunac and Westermo²⁾により地震動の強さ(震度)と関係が深いとされているパラメーターを用いたわけであり、先に述べたような「良質のパラメーター」と断定しているわけではない。

最近、地震学の分野で、平沢³⁾のように地震波の短周期成分の強度を説明する震源モデルとしてショットノイズ過程を応用した研究が見られる。震源から射出されたパルス列が伝播経路や地盤を通過する際に振幅変化、継続時間の増大やフィルタ作用を受け、最終的に観測される波形になると考えることは概念的にも非常に理解しやすい。本研究でシミュレーションモデルにショットノイズ過程を応用したのは、近い将来に「第二段階の作業」において地震学における研究成果(震源理論や波動伝播理論)を取り入れる場合の扱い易さを考慮したためである。それらの導入が「良質のモデルパラメーター」を探す上での助けになるものと予想していることである。

3. ショットノイズ型シミュレーションモデル

サンプル地震動として松代強震記録⁴⁾の水平動44成分を用いた。震央距離はほとんど10km以内、マグニチュードは4.2~5.1である。強震記録 $x(t)$ を12個の狭帯域フィルター $h_i(t)$ に通した。

$$y_i(t) = x(t) * h_i(t) \quad i = 1, \dots, 12$$

フィルターは一質点系の速度応答型で減衰定数 $h = 0.1$ 、12個の中心周波数 f_i は対数軸上で等間隔にとった。($f_1 = 0.23 \text{ Hz}$, $f_{12} = 13.0 \text{ Hz}$)

$$H_i(\omega) = 2hu/\sqrt{(1-u^2)^2 + 4h^2u^2} \quad ; \quad u = \omega/\omega_i, \quad \omega_i = 2\pi f_i$$

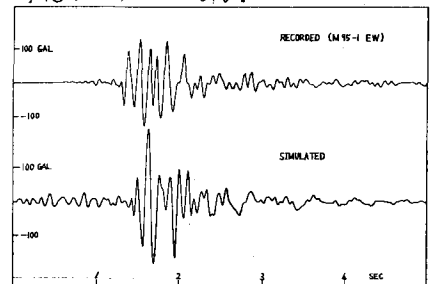


図1. 強震記録とシミュレーション波形

更に、次式で定義される α_i 及び $F_i(t)$ を求めた。

$$\alpha_i = \int_0^T \dot{y}_i^2(t) dt \quad T: \text{記録長さ}$$

$$F_i(t) = \int_0^t \dot{y}_i^2(t) dt / \alpha_i$$

モデルパラメータとして採用したのは $F_i(t) = 0.05$ となる時刻 t_i , $F_i(t)$ が $0.05 \sim 0.95$ まで増加する時間 Δt_i 及び α_i である。次に $F_i(t)$ の形状の似た関数

$$G_i(t) = \begin{cases} 0.05 t / t_i & ; 0 \leq t < t_i \\ 1 - \{2\alpha_i(t-b_i)^2 + 2\alpha_i(t-b_i) + 1\} e^{-2\alpha_i(t-b_i)} & ; t \geq t_i \end{cases}$$

で近似した。係数 α_i , b_i は $G_i(t)$ が 2 点 $(t_i, 0.05)$, $(t_i + \Delta t_i, 0.95)$ を通るよう定めた。

さて、シミュレーション波形を得るためには先ず、定常到着率 λ_0 でポアソン到着するパルス列 $z_i(t)$ を発生させる。パルスの振幅は平均値 0, 分散 1 のガウス分布に従う乱数列として与える。これにフィルタ $h_i(t)$ をかけ、更に、形状関数 $\psi_i(t)$ を乗ずる。

$$\tilde{y}_i(t) = \psi_i(t) \cdot \{z_i(t) * h_i(t)\}$$

$$\psi_i(t) = \left\{ \frac{\alpha_i}{\lambda_0 \cdot \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} |H_i(\omega)|^2 d\omega} \cdot G_i(t) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

12 個の $\tilde{y}_i(t)$ を加え合せたものフィルタの総合特性

$$H(\omega) = \{H_1(\omega) + \dots + H_{12}(\omega)\}$$

により補正したものをシミュレーション波 $\tilde{x}(t)$ とした。

4. 再現性

再現性についての検討は次の各項目について行なった。

- (1). 見かけの波形 (図 1),
- (2). ランニングスペクトル (図 2),
- (3). 最大加速度 (表 1),
- (4). 全パワー (表 1), (5). α_i (図 3),
- (6). Δt_i (図 4), (7). 速度応答スペクトル (図 5).

見かけの波形, ランニングスペクトル以外は必成分のシミュレーション波について、後藤ほかの定義に従い、シミュレーション誤差

$$r = \ln(A_s/A_r) \quad ; \quad \begin{cases} A_s: \text{シミュレーション波に関する値} \\ A_r: \text{観測波に関する値} \end{cases}$$

の平均値, 標準偏差によって示されている。

波形, ランニングスペクトルとも見た目によく似ており, シミュレーション誤差の平均値はかなり小さく, また標準偏差も比較的小さく, ほぼ満足できる再現性を有するシミュレーションモデルであると言えよう。

参考文献

- 1). 後藤・龜田・杉戸: 土木学会論文報告集, 286, pp. 37-51, 1977.
- 2). Trifunac and Westermo: Bull. Seism. Soc. Amer., 67, pp. 917-927, 1977.
- 3). 平沢: 自然災害科学特別研究成果報告, A-54-3, pp. 35-45, 1979.
- 4). 東京大学地震観測所強震計観測センター: 強震観測資料第 1 号, 1976.

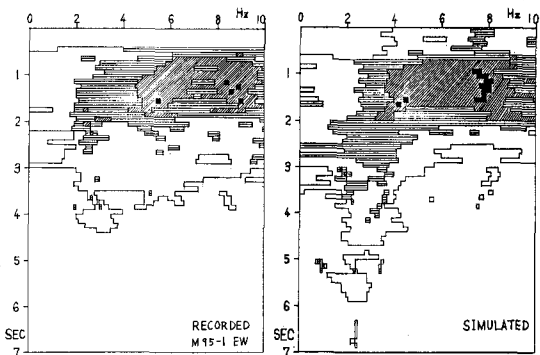


図 2. ランニングスペクトルの再現性

表 1. 最大加速度・全パワーの再現性

	平均値	標準偏差
最大加速度	-0.153	0.274
全パワー	0.004	0.259

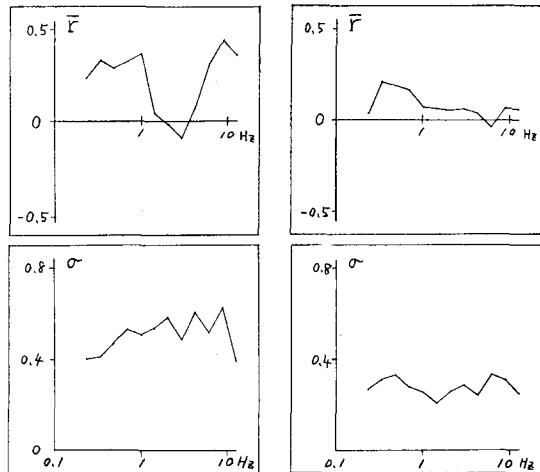


図 3. α_i の再現性

図 4. Δt_i の再現性

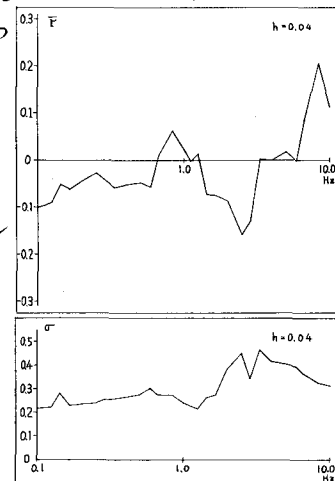


図 5. 速度応答スペクトルの再現性