

I-37 応答スペクトルに適合する工学的基盤での加速度波形の作成と妥当性の検討

徳島大学大学院 学生員○松本 量準 国土交通省 正会員 渡辺 泰友
徳島大学工学部 正会員 澤田 勉 徳島大学工学部 正会員 三神 厚

1. はじめに

地震動特性は、最大加速度や最大速度で表される強度特性、応答スペクトルやフーリエスペクトルで表される周波数特性および継続時間や波形包絡線で表される非定常特性に大別される。これらのうち、応答スペクトルは周波数特性以外に強度特性の情報も含んでおり、また任意の固有周期をもつ1自由度系構造物の応答を表すので、工学的に有用である。応答スペクトルについては、いくつかの経験式（距離減衰式）が提案されている。これらのうち、安中らが提案した応答スペクトルの距離減衰式は¹⁾、震源近傍まで適用可能なこと、工学的基盤を対象にしていること等の特徴を有しており、工学的に有用である。本研究では、安中らの応答スペクトルを目標値とした模擬地震動の作成法を提案する。

2. 地震動特性の表現

(1) 強度特性 安中ら¹⁾は、種々のマグニチュード、断層距離および震源深さに対する工学的基盤面での加速度応答スペクトルを次のような経験式を用いて表した。

$$\log RA(T) = C_m(T) \cdot M + C_h(T) \cdot H - C_d(T) \cdot \log(R + 0.334 \cdot e^{0.653M}) + C_0(T) \quad (1)$$

ここで、 $RA(T)$ = 固有周期 T の1自由度系の最大応答加速度 (cm/sec^2)、 M = マグニチュード、 H = 震源深さ (km)、 R = 断層距離 (km)、 $C_m(T)$ 、 $C_h(T)$ 、 $C_d(T)$ 、 $C_0(T)$ = 回帰係数である。ただし、上式は S 波速度が $300 \sim 600 \text{m/sec}$ 程度の工学的基盤面における応答スペクトルの経験式であり、式(1)より求められる任意の M 、 R 、および H に対する応答スペクトルは基盤加速度波をシミュレートする際の目標値となる。

(2) 周波数特性 工学的基盤面での加速度波の周波数特性を次のようなフーリエ振幅スペクトル $S(f)$ により表す。

$$S(f) = C \cdot M(f) \cdot P(f) \cdot T(f) \cdot Z(f) \quad (2)$$

ここで、 C = 定数、 $M(f)$ = 震源関数、 $P(f)$ = 高周波数遮断フィルタ、 $T(f)$ = 距離減衰を表す関数、 $Z(f)$ = 地震基盤から工学的基盤までの増幅率である。各項は、それぞれ次のように表される。

$$M(f) = M_0 \frac{(2\pi f)^2}{1 + (f/f_0)^2} ; \log M_0 = a_1 + a_2 M + a_3 H, \log f_0 = b_1 - b_2 M \quad (3)$$

$$P(f) = \left\{ 1 + \left(\frac{f}{f_{\max}} \right)^m \right\}^{-\frac{1}{2}} ; f_{\max} = 15 \text{Hz}, m = 4 \quad (4)$$

$$T(f) = (R + 0.334 e^{0.653M})^{-[c + d \log f / (C_0)^{1/2}]} ; c = c_1 - c_2 M, d = d_1 - d_2 M \quad (5)$$

$$Z(f) = \frac{1 + \alpha (f/f_0)^2}{\left[\left\{ 1 - (f/f_0)^2 \right\}^2 + 4h^2 (f/f_0)^2 \right]^{1/2}} \quad (6)$$

ただし $(a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, c_1, c_2, d_1, d_2, f_0, h, \alpha)$ はフーリエ振幅スペクトルを規定するパラメータ $\{\alpha\}$ である。

(3) 非定常特性 地震動の非定常特性は、波形包絡線や非定常スペクトル等で表される。ここでは、大崎²⁾による以下のような波形包絡線を用いて基盤加速度波の非定常特性を表現する。

$$\begin{cases} e(t) = (t/T_b)^2 & ; 0 \leq t \leq T_b \\ e(t) = 1 & ; T_b \leq t \leq T_c \\ e(t) = e^{-a(t-T_c)} & ; T_c \leq t \leq T_d \end{cases} \quad (7)$$

ここで、 $e(t)$ は波形包絡線関数、 T_b 、 T_c 、 T_d および a は包絡線関数を規定するパラメータである。

3. 応答スペクトルに適合する模擬地震動の決定法

基盤加速度波形は、式(2)のフーリエ振幅スペクトルと式(7)の波形包絡線を用いて作成されるが、このようにして作成された模擬地震動は必ずしも強度特性としての応答スペクトルを満足するものではない。そこで、シミュレーション波の加速度応答スペクトル $\overline{RA}(T)$ が安中の経験式から得られる予測値 $RA(T)$ に整合するように修正する基準として、次の評価関数を考える。

$$S_e(\hat{a}) = \sum \sum \sum \sum \left| \log \left\{ \overline{RA}(M, R, H, T; \alpha) / RA(M, R, H, T) \right\} \right| \quad (8)$$

4. 数値解析および考察

数値解析では、式(8)の評価関数を最小とするように、式(2)のフーリエ振幅スペクトルを規定する12個のパラメータを決定する。式(9)はこのようにして決定された各パラメータの値を示したものである。

$$\begin{aligned} \log M_0 &= 13.185 + 1.3436M + 0.00278H & f_0 &= 1.548 \\ \log f_c &= 2.2238 - 0.3474M & h &= 0.5560 \\ c &= 2.2494 - 0.0584M & \alpha &= 4.1644 \\ d &= 1.182 - 0.09157M \end{aligned} \quad (9)$$

これらのパラメータを用いてマグニチュード $M=5, 6, 7, 8$ に対して両者より得られた応答スペクトルの比較を行った(図-1)。これらの図より、本研究の手法を用いてシミュレートした模擬地震動の応答スペクトルが、安中らの距離減衰式による応答スペクトルと概ね一致することがわかる。

図-2は、兵庫県南部地震による神戸ポートアイランドでの記録の応答スペクトルと模擬地震動のそれを比較したものである。これより、模擬地震動は実地震動の応答スペクトルを平均的に再現することがわかる。

5. おわりに

本研究では、周波数特性と非定常特性を与えて作成した模擬地震動の応答スペクトルが、安中らの応答スペクトルの距離減衰式と整合するように、周波数特性を表す関数パラメータを決定する手法を提案した。また、作成した基盤地震動の応答スペクトルが、目標とした距離減衰式によるそれらと概ね適合することを確認した。また、兵庫県南部地震による実観測記録との比較を行い、模擬地震動が実地震動の平均的な特性を再現するものであると結論づけた。

参考文献

- 1) 安中 正・山崎 文雄・片平 冬樹：気象庁87型強震計記録を用いた最大地動及び応答スペクトル推定式の提案，第24回地震工学研究発表会講演論文集，pp.161-164，1997
- 2) 大崎 順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，pp.199-214，1994

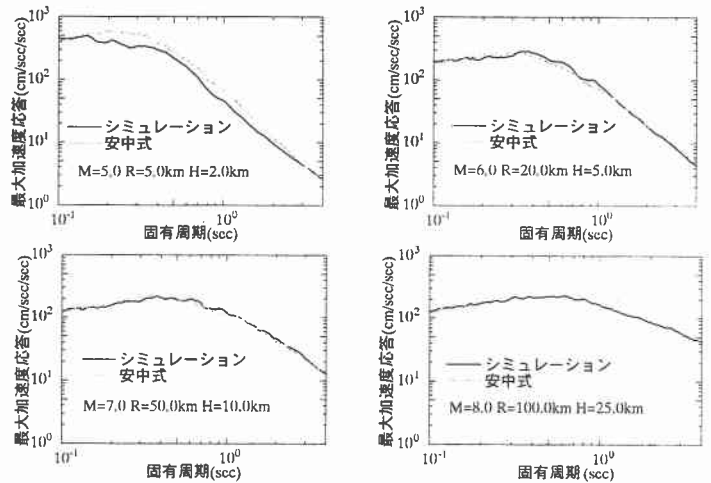


図-1 模擬地震動と距離減衰式による
応答スペクトルの比較

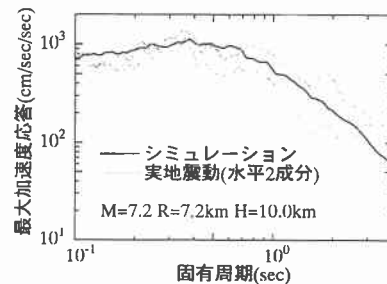


図-2 模擬地震動と実地震動の
加速度応答スペクトルの比較
(1995年兵庫県南部地震の
ポートアイランドの記録)