

I-21 最大地動の距離減衰に適合する基盤加速度波の作成と妥当性の検討

徳島大学大学院 学生員○渡辺泰友 総合技術コンサルタント 学生員 岩本 烈
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、強度特性、周波数特性および非定常特性に大別される。一般に、周波数特性と非定常特性が与えられると地震波形を作成することはできるが、そのようにして作成された波形は必ずしも強度特性を満足するものではない。本研究では、周波数特性と非定常特性を与えて作成した工学的基盤面での地震動を、強度特性をも満足するように周波数特性を規定するパラメータを調整する一手法を提案する。なお、地震基盤から工学的基盤までの増幅率を低周波数域および高周波数域での振幅がそれぞれ1およびある一定値 α に漸近する周波数特性を考慮している。

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および断層距離に対する工学的基盤面での最大地動(最大加速度, 最大速度および最大変位)を次のような距離減衰式を用いて表わした。

$$\log A_{\max} = 0.606 M + 0.00459 H - 2.136 \log \left\{ R + 0.334 e^{0.653 M} \right\} + 1.730 \quad (1)$$

$$\log V_{\max} = 0.725 M + 0.00318 H - 1.918 \log \left\{ R + 0.334 e^{0.653 M} \right\} - 0.519 \quad (2)$$

$$\log D_{\max} = 0.935 M + 0.00091 H - 1.635 \log \left\{ R + 0.334 e^{0.653 M} \right\} - 2.992 \quad (3)$$

ここで、 $A_{\max}$ =最大加速度(cm/sec²)、 $V_{\max}$ =最大速度(cm/sec)、 $D_{\max}$ =最大変位(cm)、 M =マグニチュード、 H =震源深さ(km)、 R =断層距離(km)である。ただし、上式はS波速度が300~600m/sec程度の工学的基盤面における最大地動の距離減衰式であり、地点補正項と誤差項は省略されている。式(1)~(3)より求められる任意の M および R に対する最大地動は、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 $S(f)$ により表わす。

$$S(f) = C \cdot M(f) \cdot P(f) \cdot T(f) \cdot Z(f) \quad (4)$$

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わされる。

$$M(f) = M_0 \frac{(2\pi f)^2}{1 + (f/f_c)^2} ; \log M_0 = a_1 + a_2 M + a_3 H, \log f_c = b_1 - b_2 M \quad (5)$$

$$P(f) = \left\{ 1 + \left(\frac{f}{f_{\max}} \right)^m \right\}^{-\frac{1}{2}} \quad (6)$$

$$T(f) = (R + 0.334 e^{0.653 M})^{-(c + d \log f/f_c)} ; c = c_1 - c_2 M, d = d_1 - d_2 M \quad (7)$$

$$Z(f) = \frac{1 + \alpha (f/f_0)^2}{\left[\left\{ 1 - (f/f_0)^2 \right\}^2 + 4h^2 (f/f_0)^2 \right]^{1/2}} \quad (8)$$

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で $\{\alpha\}$ 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わされる。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。

$$\begin{cases} e(t) = (t/T_b)^2 & ; 0 \leq t \leq T_b \\ e(t) = 1 & ; T_b \leq t \leq T_c \\ e(t) = e^{-a(t-T_c)} & ; T_c \leq t \leq T_d \end{cases} \quad (9)$$

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. シミュレーションモデルの決定法

基盤加速度波形は、式(4)のフーリエ振幅スペクトルと式(9)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を満足するものではない。そこで、シミュレートされた基盤加速度、速度および変位の最大値 ($a_{\max}$, $v_{\max}$, $d_{\max}$) が、式(1)～(3)の距離減衰式より得られるそれら ($A_{\max}$, $V_{\max}$, $D_{\max}$) と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。

$$S_e(\alpha) = \sum_M \sum_R \{ r_a^2(M, R; \alpha) + r_v^2(M, R; \alpha) + r_d^2(M, R; \alpha) \} \rightarrow \min \quad (10)$$

ここで、 r_a , r_v , r_d は、それぞれ基盤加速度、速度および変位のシミュレーション値と距離減衰式から得られるそれらの比の対数をとったものであり、 r_a を例にとると次式のようなになる。

$$r_a(M, R; \alpha) = \log \{ a_{\max}(M, R; \alpha) / A_{\max}(M, R) \} \quad (11)$$

4. 数値解析および考察

数値解析では、式(10)の評価関数を最小とするように、式(4)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(12)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。

$$\begin{aligned} \log M_0 &= 13.311 + 1.3423M + 0.0029H & f_0 &= 1.8571 \\ \log f_c &= 2.3061 - 0.3590M & h &= 0.6742 \\ c &= 2.0338 - 0.0327M & \alpha &= 3.2524 \\ d &= 0.9627 - 0.0737M \end{aligned} \quad (12)$$

これらのパラメータを用いて基盤加速度、速度および変位波形を作成し、提案手法の妥当性を検討した。図.1～図.3は、本手法より作成した模擬地震動の最大加速度、最大速度および最大変位を、距離減衰式より得られるそれらと比較したものである。これらの図より、提案手法による模擬地震動の最大値は、距離減衰式によるそれらとほぼ適合することが分かる。図.4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(PI)との応答スペクトルの比較を行ったものである。これより、両者の全体的な傾向はほぼ類似していることが分かる。

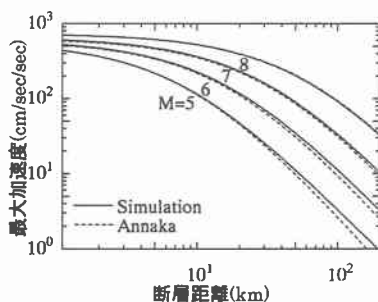


図.1 最大加速度の比較

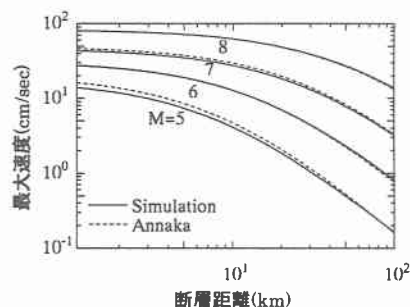


図.2 最大速度の比較

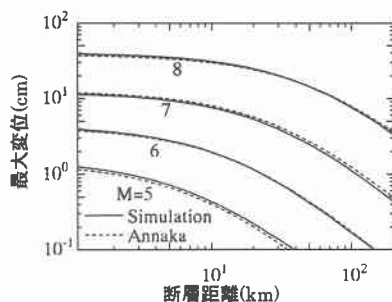


図.3 最大変位の比較

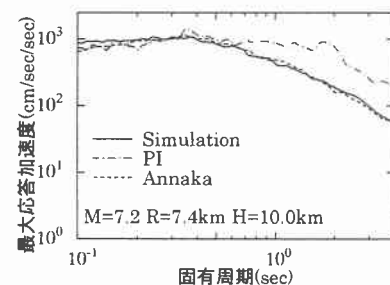


図.4 応答スペクトルの比較

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工学的基盤面での地震動が、強度特性(最大加速度)をも満足するように、周波数特性を規定する12個のパラメータを決定する一手法を提案した。そして、作成した工学的基盤面での加速度、速度および変位波形の最大値が、目標とした距離減衰によるそれらとほぼ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提案手法が妥当であることを示した。

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.199-206，1994