

徳島大学大学院 ○学生員 岩本 烈 徳島大学大学院 学生員 大江欽二郎
徳島大学工学部 正 員 澤田 勉

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動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。本報告では、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調整する一手法について述べるとともに、2, 3の解析例よりその妥当性を検証する。

2. 地震動特性の表現

(1) 強度特性 安中らは、種々のマグニチュード (M) および断層距離 (R) 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した。

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

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

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

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。また、次節以降の基盤加速度波のシミュレーションでは、震源深さは $H=10$ km に固定する。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 $S(f)$ により表す。

$$S(f) = \frac{S_0 \cdot (f/f_0)^2}{\left[\left\{ 1 - (f/f_0)^2 \right\}^2 + 4h^2 (f/f_0)^2 \right]^{1/2}} \cdot \{R + 0.334e^{0.653M}\}^{-(a+b \log f)} \quad (4)$$

ここで、 S_0 =スペクトル振幅を規定する係数, f_0 および h =スペクトル形状を規定する係数, a および b =スペクトル振幅の距離減衰を規定する係数, f =振動数である。上式の右辺第 1 項はスペクトル形状を表し、第 2 項は各周波数成分の距離減衰を表す項である。

(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⁴⁾等により表される。ここでは、大崎らによる³⁾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。

$$\begin{aligned} e(t) &= (t/T_b)^2 & ; & \quad 0 \leq t \leq T_b \\ e(t) &= 1 & ; & \quad T_b \leq t \leq T_c \\ e(t) &= e^{-a(t-T_c)} & ; & \quad T_c \leq t \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $e(t)$ は波形包絡線, T_b , T_c および a は、包絡線関数を規定するパラメータである (文献 2) 参照)。

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(5)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、2. (1) の距離減衰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式を考えた。

$$S_e(\alpha) = \sum_M \sum_R \{r_a^2(M, R; \alpha) + r_v^2(M, R; \alpha) + r_d^2(M, R; \alpha)\} \longrightarrow \min \quad (6)$$

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ことになる。

$$r_a(M, R; \alpha) = \log \{a_{\max}(M, R; \alpha) / A_{\max}(M, R)\} \quad (7)$$

4. 数値解析および考察

数値解析では、式(6)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5つのパラメータ (S_0 , f_0 , h , a , b) を決定する。ただし、これらのパラメータは地震規模により異なるので、次のようなマグニチュードの関数とした。

$$\log \alpha_i = c_i + d_i M; \text{ for } S_0, f_0 \text{ and } h; \quad \alpha_i = c_i + d_i (M - 5); \text{ for } a \text{ and } b \quad (8)$$

ここで、 $c_i, d_i, i=1, \dots, 5$ は係数である。これらの係数は、式(6)の評価関数が最小となるように決定された。Table 1はこのようなして決定された各係数を示したものである。

Table 2 Coefficients of Parameters in Eq.(8)

	S_0	F_0	h	a	b
c_i	0.9245	1.1463	-1.6772	1.7642	0.6780
d_i	0.7432	-0.1211	0.2219	0.0644	-0.0118

上で決定した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。Fig.1～Fig.3は、本手法より作成した模擬地震動の最大加速度、速度、変位を距離減衰式の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わかる。次に、本手法により作成した基盤加速度波の応答スペクトルを、一般に用いられている設計用応答スペクトルと比較した。Fig.5及びFig.6は、本手法による基盤加速度波の応答スペクトル ($M=7.2, R=1\text{km}$ 及び $M=8, R=20\text{km}$) を道路橋示方書・耐震設計編のレベル2地震動の加速度応答スペクトルと比較したものである。図より、本手法による基盤加速度波の応答スペクトルは、短周期部でやや大きく、また長周期部でやや小さくなるが、全体的には設計用応答スペクトルにほぼ整合することがわかる。

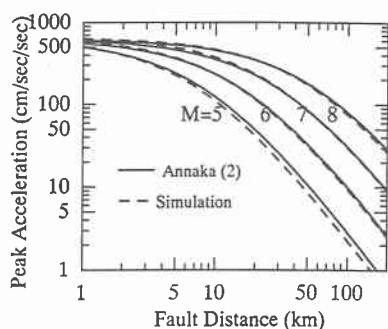


Fig.1 Comparison of Attenuations of Peak Acceleration

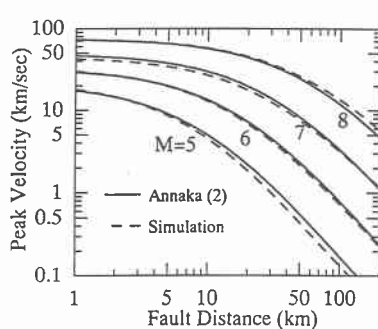


Fig.2 Comparison of Attenuations of Peak Velocity

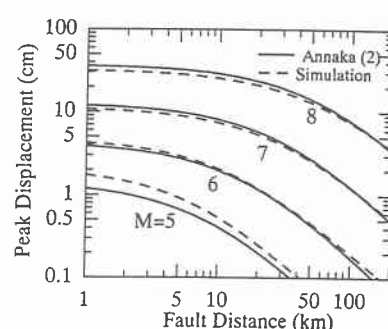


Fig.3 Comparison of Attenuations of Peak Displacement

5. おわりに

本報告では、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、強度特性をも満足するようにパラメータを調整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、変位波形の最大値が、目標とした距離減衰式によるそれらとほぼ整合することを確認した。また、本手法による基盤加速度波の応答スペクトルが、一般に使用されている設計用応答スペクトルとほぼ整合することを示した。ただし、本研究で提案した手法による基盤加速度波は、長周期成分がやや不足する等の問題点がある。これについては今後検討したい。

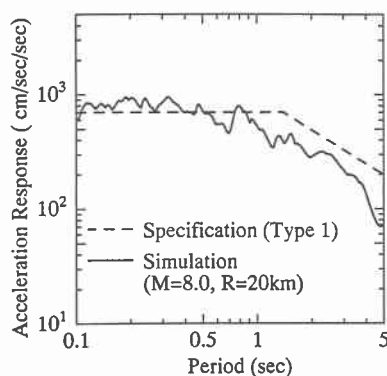


Fig.4 Comparison between Specification and Simulated Response Spectrum

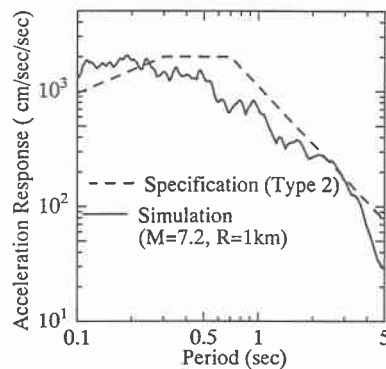


Fig.5 Comparison between Specification and Simulated Response Spectrum

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 年・
- (2) 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，1996 年。