

京都大学防災研究所 正員 清野純史

京都大学防災研究所 正員 土岐盛三

京都大学防災研究所 正員 佐藤忠信

1. まえがき 本研究の目的は、近畿一円に分布するマグニチュード1.2~1.8の微小地震の変位記録を基にして、耐震設計用地震動を予測することである。まず、微小地震動が自己回帰-移動平均過程(AR-MA過程)で表現できるとし、このパラメータと震源距離、マグニチュードとの回帰分析を行う。この結果を用いてシミュレートされた波形は、統計的に予測された一種のグリーン関数である。次に、微小地震と大規模地震との震源規模について考察し、新たな相似則を作成する。そしてこの相似則に従ってグリーン関数を断層面上で重ね合わせることにより、耐震設計用地震動を作成する。最後に、これまでに我国で記録されている震度記録の応答スペクトル、震央距離と最大加速度のアンジュレーション式との比較を行い、その妥当性について考察する。

2. AR-MA過程を用いた統計的グリーン関数の作成 1980年5月以降に京都・上賀茂で観測されたマグニチュード1.2~1.8の微小地震記録のうち、122個の変位記録を用い、これを次式で表されるような2次のAR-MA(2,2)で表現する。

$$y_t = -\alpha_1(x)y_{t-1} - \alpha_2(x)y_{t-2} + \varepsilon_t + \beta_1(x)\varepsilon_{t-1} + \beta_2(x)\varepsilon_{t-2} \quad (1)$$

ここに、 $\alpha_i(x), \beta_i(x)$ は非定常なモデルパラメータであり、これは出力値 $y$ と入力値 $x$ とだけから求められる。また、 $\alpha_i$ に関しては、系の固有振動数 $f$ 、減衰定数 $\lambda$ とするとその間には

$$\lambda^2 + \alpha_1\lambda + \alpha_2 = 0, \quad \frac{\lambda}{\lambda^*} = \exp(-2\pi f T_m + i2\pi f T_m \sqrt{1-k^2}) \quad (2)$$

なる関係がある。ここで、 $\alpha$ のかわりに物理的意味の明確な $f, k$ を用いてパラメータの非定常性を表現する。したがって、 $f, k, \beta$ さらに入力強度を規定するパラメータ $G$ がわかれば波形をシミュレートできるわけである。表-1は、各パラメータの非定常性を考慮して設定した関数形を示したものである。また、表-1中の $G_m, t_p, f_m, h_m, k_m, \beta_1, \beta_2$ 、そして継続時間 $T$ について122個の微小地震記録を解析し、震源距離 $R$ とマグニチュード $M$ に対する回帰式と回帰係数を示したものが表-2である。この回帰分析結果を用いてシミュレートした波形が図-1である。これは震源や伝播経路の影響も含む、統計的に予測されたグリーン関数と考えることができる。したがって、これを断層面上で多数重ね合わせればよいことになる。

3. 新たな相似則 従来、小地震を重ね合せて大地震波形を合成する際の相似則に用いられていた仮定は、応力降下量 $\Delta\sigma$ が一様というものであった。図-2は Geller<sup>1)</sup>が解析に用いた41個の震度記録の $\Delta\sigma$ と本研究で用いた122個の微小地震記録の $\Delta\sigma$ とを比較したものである。図中の矢印は各々の平均 $\bar{\Delta\sigma}$ を示したものであり数倍異なることがわかる。これより微小地震記録を用いて相似則を作成する場合には、この $\Delta\sigma$ の相違を考

表-1 非定常性を表わす関数形

$$\sigma(t) = \sigma_m(t/t_p) \cdot \exp(-t/t_p)$$

$$f(t) = f_m \cdot \exp(-f_p t)$$

$$h(t) = h_m \cdot \exp(-h_p t)$$

$$\beta_1(t) = \beta_1 \quad (\text{const.})$$

$$\beta_2(t) = \beta_2 \quad (\text{const.})$$

表-2 AR-MAパラメータの回帰式

$$\text{Log } G_m = -4.91 + 0.659M - 1.48 \text{Log } R$$

$$t_p = -6.58 - 0.408M + 7.85 \text{Log } R$$

$$\text{Log } f_m = 0.366 + 0.0895M - 0.0301 \text{Log } R$$

$$f_p = 0.0632 + 0.0193M - 0.0396 \text{Log } R$$

$$\text{Log } h_m = 0.234 - 0.137M - 0.132 \text{Log } R$$

$$h_p = 0.0448 + 0.0126M - 0.0203 \text{Log } R$$

$$\beta_1 = 0.0442 + 0.266M + 0.0092 \text{Log } R$$

$$\beta_2 = -0.189 + 0.283M - 0.149 \text{Log } R$$

$$T = 10.4 - 11.0M + 27.0 \text{Log } R$$

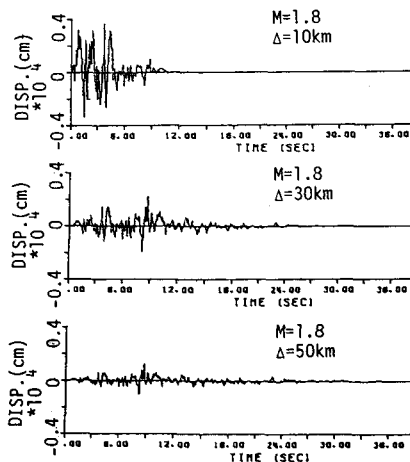


図-1 統計的に予測されたグリーン関数

した新たな相似則が必要となる。本研究では、2のΔ0の相違をいく  
 らい量Dに帰着させ、新たな相似則を開発した。これを示したものが  
 表-3である。すなわち、Δ0の相違をm、重ね合せ数をnとすると次  
 式の関係が成立つ。なお、各変数については表-3に定義した。

$$\frac{M_{0L}}{M_{0s}} = \frac{M_{0L}}{m M_{0s}} = \frac{\mu D_L L_L W_L}{m \cdot \mu D_s^* L_s^* W_s^*} = \frac{\mu m n D_s^* n L_s^* n W_s^*}{m \mu D_s^* L_s^* W_s^*} = n^3$$

$$\therefore n = \sqrt[3]{\frac{1}{m} \left( \frac{M_{0L}}{M_{0s}} \right)}$$

したがって、まず統計的グリーン関数の変位スペクトルをノイズ部分を  
 考慮に入れてm倍し、これを重ね合せに用いる小地震波形とする。そし  
 て上式のnを用いて重ね合せを行う。

4. 断層モデルによる耐震設計用地震動の予測とその考察 本研究で用い  
 た断層モデルを図-3に示した。上述の相似則を満足するように、各要  
 素間で小地震波形の重ね合せを行い、n個の波形を時間軸上で重ね合せ  
 た。このモデルを用いてシミュレートした加速度波形の1例が図-4で  
 ある。

図-5は、加速度応答スペクトルである。全体的に本研究の結果の方  
 が、大きな値を示していることがわかる。これは、ここでモデル化した  
 断層の破壊過程が、我国で見られる地震断層の特性をすべて表現してい  
 るとは限らないこと、この加速度応答スペクトルが平均的なものではなく、  
 1つのサンプルの応答スペクトルであることなどが原因として挙げ  
 られる。また、2秒付近の応答値が大きくなることは、モデル化した断  
 層の破壊過程との相関性を示しているものと考えられる。

図-6は、震央距離Δと最大加速度の関係を示したものであり、建設  
 省土木研究所のアテニュエーション式とは、20~50kmの範囲で比較的  
 よい一致を示していることがわかる。

参考文献 1) Geller : Scaling Relation for Earthquake Source Parameters, BSSA

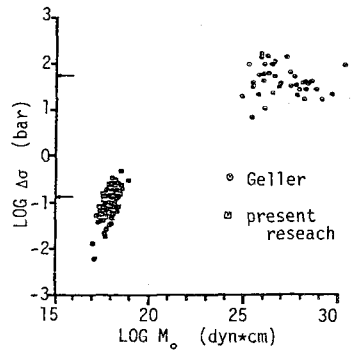


図-2 応力降下量の比較

表-3 震源パラメータ

|                 | サイズ<br>モーメント | 幅       | 長さ      | いり<br>の量 | ストレス<br>ドロップ       |
|-----------------|--------------|---------|---------|----------|--------------------|
| 大地震             | $M_{0L}$     | $W_L$   | $L_L$   | $D_L$    | $\Delta\sigma_L$   |
| 重ね合せ<br>小地震     | $M_{0s}$     | $W_s$   | $L_s$   | $D_s$    | $\Delta\sigma_s$   |
| 微小地震n個<br>の重ね合せ | $M_{0s}^*$   | $W_s^*$ | $L_s^*$ | $D_s^*$  | $\Delta\sigma_s^*$ |

仮定  $W_s = W_s^*, L_s = L_s^*, \Delta\sigma_s = \Delta\sigma_s^*$   
 $D_s = m D_s^*, M_{0s} = m M_{0s}^*$   
 mの決定  $m = \Delta\sigma_s / \Delta\sigma_s^* = \Delta\sigma_L / \Delta\sigma_s^*$

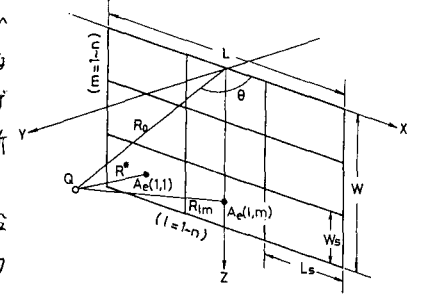


図-3 断層モデル

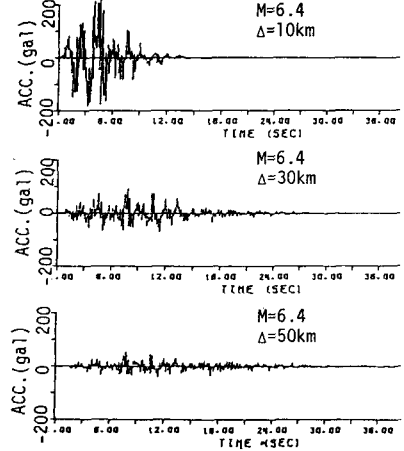


図-4 加速度シミュレーション波形

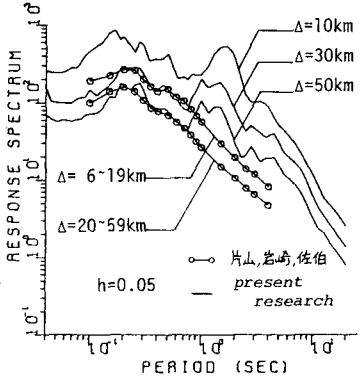


図-5 加速度応答スペクトル

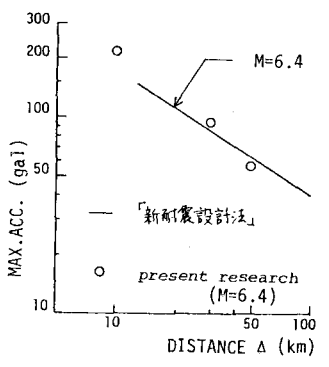


図-6 震央距離-最大加速度のアテニュエーション則