

I -4 半経験的手法を用いた大地震時の強震動予測に関する研究

徳島大学大学院 学生員○松本 量準 徳島大学工学部 金銅 啓至（元学生）
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

最大地動（最大加速度、最大速度及び最大変位）の距離減衰式¹⁾に適合する基盤地震波を要素波として、半経験的手法を用いて、大地震時の強震動を予測する。筆者らはこれまでに、周波数特性と非定常特性を与えて作成した工学的基盤波が、強度特性をも満足するように、フーリエ振幅スペクトルを規定するパラメータを調整する方法を提案してきた。しかし、このようにして作成した模擬地震動は、断層全体で同時にくい違いが発生することを仮定するという欠点がある。本研究では、上述の模擬地震動を要素波として、半経験的手法を用い、断層面の破壊の進行方向を考慮して重ね合わせることで大地震時の強震動予測を行う。

2. 最大地動の距離減衰式に適合する要素波の作成方法

半経験的手法を用いて、小地震による地震波形を合成して大地震時の強震動を推定するには、要素波が必要となる。本研究では、強度特性、周波数特性及び非定常特性を的確に反映したモデルを用いて要素波を作成する。要素波のシミュレートの手順を以下に示す。²⁾

- (1) 波形包絡線を用いて非定常特性を表す。
- (2) フーリエ振幅スペクトルに含まれるパラメータ及び想定地震のマグニチュード、当該地点での断層距離及び震源深さに適当な値を与えて、すべての振動数点におけるフーリエ振幅スペクトル $S(f_k)$ を求める。
- (3) すべての振動数成分に対して、 $0 \sim 2\pi$ のランダムな位相角 ϕ_k を与える。
- (4) 複素フーリエ係数 C_k を次式より計算する。

$$C_k = S(f_k) e^{i\phi_k} / T_d$$

ここで、 T_d は継続時間である。

- (5) 上で求めた複素フーリエ係数 C_k をフーリエ逆変換することにより、定常な基盤加速度時刻歴を求める。
- (6) 定常な加速度時刻歴に(1)で求めた包絡線関数を乗じると、非定常な基盤加速度波が得られる。

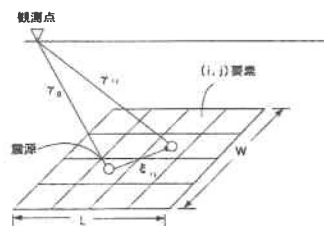
以上のようにして得られる基盤加速度波は、距離減衰式から得られる最大地動の予測値とは一致しない。そこで、種々のマグニチュード及び断層距離に対してシミュレートされた基盤加速度波から最大地動を求め、それらが距離減衰式から得られる予測値と一致するように調整する。具体的には、フーリエ振幅スペクトルを規定するパラメータを、シミュレーション波の最大地動と距離減衰式から得られる最大地動との誤差が最小となるように決定する。このようにパラメータを決定することで強度特性をも満足する要素波を作成することができる。

3. 波形合成の手法

入倉の波形合成法³⁾を基準とした次式を用いて大地震時の強震動を作成する。

$$\hat{U}(\omega) = \gamma(\omega) \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \left(\frac{r_0}{r_{ij}} \right) \hat{u}(\omega) e^{-i\omega(t_{ij} + (k-R)\tau_r / N)} \quad (1)$$

ここで、 $\hat{U}(\omega)$ は大地震の複素フーリエ係数、 $\hat{u}(\omega)$ は要素波の複素フーリエ係数、 $\gamma(\omega)$ は補正係数、 r_{ij} は小断層 (i, j) と観測点の距離、 r_0 は要素波に対応する小断層から観測点までの距離、 τ_r は大地震のライズタイム、 t_{ij} は破壊伝播の遅れ時間と波動伝播の遅れ時間、 R はランダム変数である。入倉の方法を直接用いると、短周期成分が過大評価され、また、食い違いの重ね合わせによって τ_r / N の人工的周期性を生じてし



まうという欠点があるので、本研究では、式 (1) に示すように位相角をランダムに与え、短周期成分を低減させるための補正係数 $\gamma(\omega)$ を乗じている。短周期成分が過大評価されるのは、短周期成分が断層面上の特定の部分から放出されるためである。したがって、要素波を重ね合わせて強震動を作成するとき、短周期成分をどの程度低減するかを考えなければならない。本研究では、応答スペクトルの距離減衰式に基づき、以下のように補正係数 $\gamma(\omega)$ を設定した。

$$\gamma(\omega) = \frac{R_r(\omega)/R_e(\omega)}{R_r(0)/R_e(0)} \quad (2)$$

ここで、 R_r は合成波の応答スペクトル、 R_e は要素波の応答スペクトルである。上式は、合成波と要素波のフーリエスペクトルの比がそれらの応答スペクトルの比に比例すると仮定して導かれたものである。

4. 応答スペクトルによる妥当性の検討

本研究による合成方法の妥当性を検討するために安中ら¹⁾の距離減衰式による応答スペクトルと比較した(図-1)。これらの図より、本研究の手法を用いて作成した強震動の応答スペクトルは、安中の応答スペクトルと全体的に整合することがわかる。

図-2の(a)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シミュレーションによるそれを比較したものであり、(b)は千葉県東方沖地震による東京大学生産技術研究所での記録の応答スペクトルと比較したものである。図(a)を見ると、長周期領域での整合性は悪い。これは兵庫県南部地震では長周期成分が卓越し、本研究の手法によりその特性を表現できなかったためである。これに対し図(b)の千葉県東方沖地震の場合には、合成波の応答スペクトルと観測波のそれは比較的よく一致した。

5. おわりに

本研究では、工学的基盤での模擬地震動を要素波として重ね合わせ、大地震時の強震動予測を行った。本手法の妥当性の検討では、距離減衰式による応答スペクトルと比較し、全体的に整合することを確認した。また、実地震との比較も行い、作成した強震動が平均的な特性を表現できるものであると結論づけた。

参考文献

- 1) 安中・山崎・片平：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 2 回地震工学研究発表会講演論文集，pp.161-164，1997
- 2) 澤田・平尾・辻原・三神：最大地動の距離減衰式に基づく工学的基盤地震動のシミュレーション手法，土木学会論文集，No.682/I-56，pp.311-322，2001.
- 3) 村松・入倉：大地震の強震動を予測する方法について，自然災害科学 1-1，pp.29-43，1982.

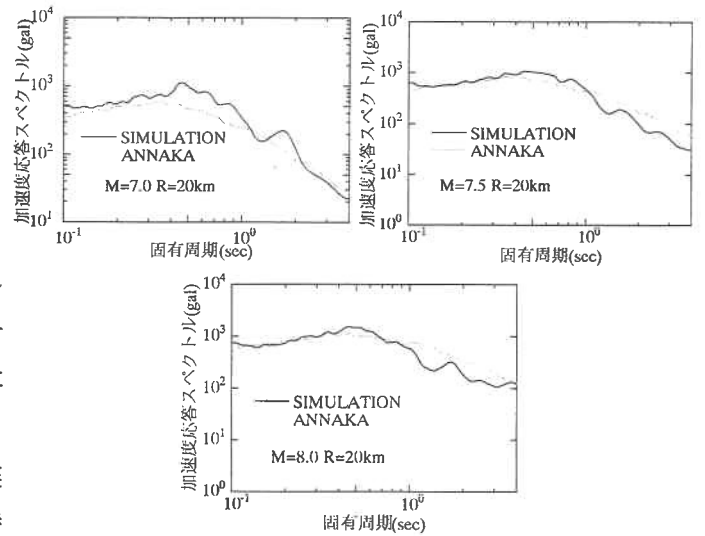
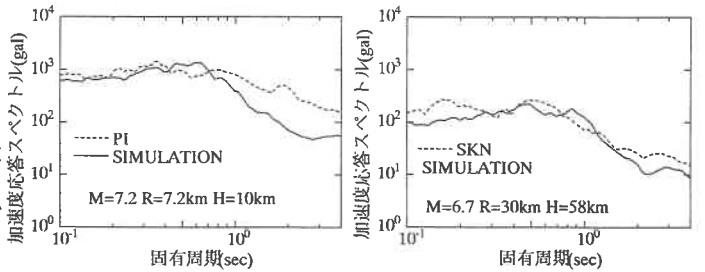


図-1 シミュレーションと距離減衰式による
応答スペクトルの比較



(a) 兵庫県南部地震 (b) 千葉県東方沖地震
図-2 シミュレーションと実地震動による
応答スペクトルの比較