

武蔵工業大学工学部 正員 千葉 利晃

武蔵工業大学工学部 正員 屋谷 勝

1. まえがき

地震動波形は振幅および周波数ともに非定常である。このような非定常性を示す多次元確率過程のシミュレーションは、周波数領域で表現したモデルによるのが一般的である。一方、これらの非定常確率過程のモデル化として、モデルの単純な時間領域による表現が考えられよう。したがって、前回多次元非定常確率過程に対して、時間領域モデル(自己回帰モデルおよび移動平均モデル)を提案した。今回は、前回提案したうちの自己回帰モデル(ARモデル)の妥当性を、数値解析により検討した。解析には、実地震記録(3方向成分)を用い、この実地震波の再現を試みた。

2. 自己回帰モデル(ARモデル)

平均値0の多次元非定常確率過程の自己回帰モデルは次式で与えられる。

$$x_i(j) = \sum_{p=1}^L \sum_{k=1}^{M(j)} \phi_{ip}(k, j) x_p(j-k) + \varepsilon_i(j) \quad ; i=1, 2, \dots, m$$

ここで j は離散型時刻 $t = j\Delta t$; $j=1, 2, \dots, N$ に対応する指標で、 $\varepsilon_i(j)$ は誤差関数である。 $M(j)$ は時刻 j の関数で正の整数とする。未定関数 $\phi_{ip}(k, j)$ の決定等の詳細は前回の概要集を参考していただきたい。

3. 数値計算例

数値計算には、カリフォルニア工科大学の Millikan Library の地下で記録された波形(サンフェルナンド地震, 1971年2月9日)を用いた。この波形を Fig. 1 に示す。なお、使用したデータの時間間隔は $\Delta t = 0.04$ 秒である。

時間方向の非定常性、 $\phi_{ip}(k, j)$ および $M(j)$ は地震波を中心時刻 j の N' 個、合計 $2N'+1$ 点、のデータに分割し、また中心時刻 j は $\Delta T = 0.4$ 秒間隔で移動させて求めている。 $M(j)$ の値は、上記 $2N'+1$ 点のデータに FPE (Final Prediction Error) 法を適用して求め、 $j - \frac{\Delta T}{2} \leq u \leq j + \frac{\Delta T}{2}$ の間の $M(u)$ の値は、 $M(j)$ と等しいものとした。また、 $j \leq u \leq j + \Delta T$ 間の未定関数 $\phi_{ip}(k, u)$ は2次の補間により求めた。

まず、1次元モデルを用いて N' および $M(j)$ の影響を調べる。使用したデータは E-W 成分波である。 $M(j)$ は FPE を適用し、また N' は 20~40 迄変化させて求めた模擬地震波を Fig. 2 に示す。元の E-W 成分波を一番上に併記しているが、この波形と比較して見ると、多少高周波成分を多く含んだ波形のようである。しかし大体において、元の波形の特性を良く抽出した波形といえよう。FPE で求めた $M(j)$ の値は、各成分により異なるが、地震継続全区間にわたって、2~4 の定数とみなして良さそうである。Fig. 2 中の各模擬地震波の非定常スペクトル (Physical Spectrum) および上の結果より、 $N'=25$, $M(j)=4$ の定数として、また乱数を変えて作成した5波の模擬地震波を示したものが Fig. 3 である。Figs. 2, 3 および非定常スペクトル(省略)より、 $M(j)$ を FPE で決定した方が若干良好のようであるが、両者に著しい差はないように思える。

以上の結果をもとに、 $N'=25$, $M(j)=4$ として3次元の模擬地震波を作成した。Figs. 4, 5 にそのサンプル波を示す。3次元模擬地震波の最大加速度(特に U-D 成分)と原波形の最大加速度との差は、1次元のものに比べ大きくなっている。またサンプル波形間の差もかなり大きくなっている。非定常スペクトルで見ると、模擬地震波の周波数成分は原波形より高周波成分が多く、形はややフラットになる傾向がある。また卓越周期の現れる時間は多少遅れるようである。しかし全般的にみて、自己回帰モデルによる地震動波形のシミュレーションは可能と思える。

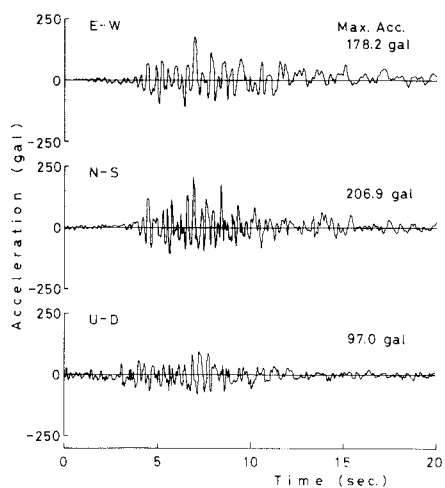


Fig. 1 Millikan Library 記録

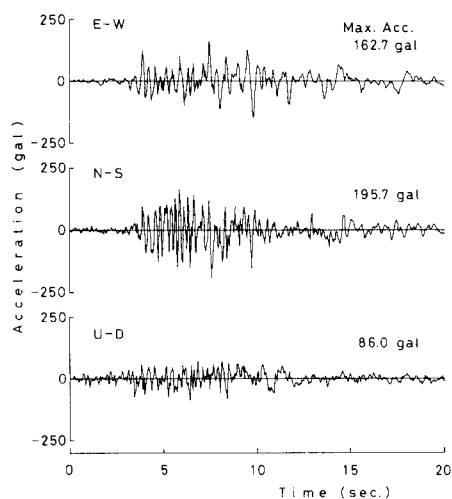


Fig. 4 3次元模擬地震波 $N'=25$, $M(j)=4$

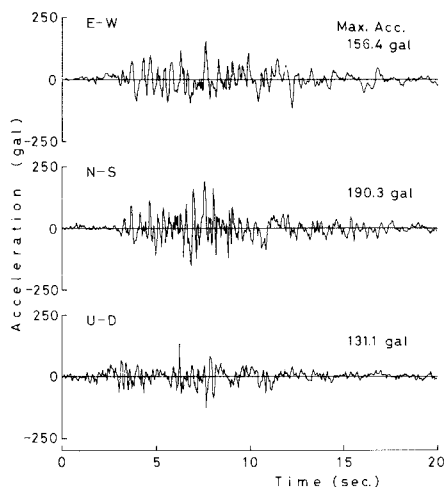


Fig. 5 3次元模擬地震波 $N'=25$, $M(j)=4$

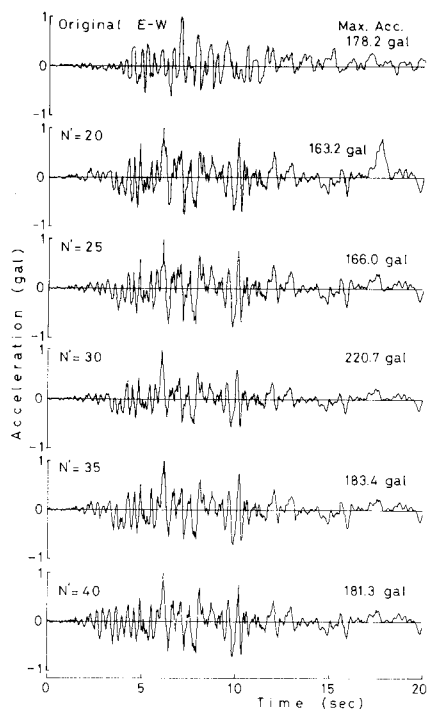


Fig. 2 模擬地震波 $M(j): FPE$

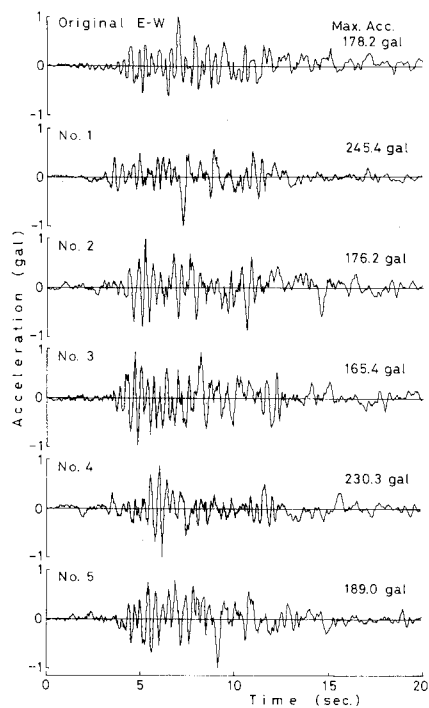


Fig. 3 模擬地震波 $N'=25$
 $M(j)=4$