

時系列理論による強震動のシミュレーション

京都大学防災研究所 正会員 土岐 憲三
 京都大学防災研究所 正会員 佐藤 忠信
 京都大学大学院 〇学生員 江尻 謙嗣

1. まえがき

地震動は、実体波と表面波が複雑に組み合わさり、地盤内を屈折と反射をくり返しなが
 ら伝播する現象であるから、その振幅特性および周波数特性は、時刻とともに、不規則に
 変動する非定常性を有するものと考えられる。ここ数年間、このような地震動の非定常
 性に注目して、地震動を非定常確率過程によりモデル化する研究が行なわれるようにな
 った。そこで、本研究では、地震動を非定常確率過程として捉え、自動制御の分野におい
 て発達した定常時系列理論に基づき、EL Centro (1940) の3成分 (NS, EW, UD) の加速
 度記録を対象として、1次元自己回帰-移動平均過程 (AR-MA) を用いて、地震動の再現
 を試みた。また、1次元AR-MA過程の係数は、Genshらが提案した2段階最小2乗
 法により推定を行った。図1は、シミュレーションの対象としたEL Centroの3成分の
 加速度記録を示している。また、(P, Q)次の1次元AR-MA過程は次式で表わされ
 る。

$$Y_t = -A_1 Y_{t-1} - A_2 Y_{t-2} \dots - A_i Y_{t-i} \dots - A_p Y_{t-p} + E_t + B_1 E_{t-1} + B_2 E_{t-2} \dots + B_j E_{t-j} \dots + B_q E_{t-q}$$

ここに、AおよびBはモデルの係数、EおよびYは、地震動の入力および出力値である。

2. シミュレーション結果

(a) 直接法によるシミュレーション

図2は、推定された1次元AR-MA過程の係数 A_i 、 B_j の値を直接用いて再現した地震動であり、ウィンドウ周期 T_w は、3秒である。NS, EW成分に関しては、実地震波の1.2秒付近に表われる正方向の加速度振幅のピーク値も、うまく再現されており、やや負方向の振幅が強調される傾向が見られるものの、全体的な波形は、よく似ていると思われる。再現波のUD成分は、高周波成分が卓越しており、実地震波の特徴を、うまく再現していると思われる。

加速度振幅の大きさに関しては、どの成分についても、実地震波に比べて、再現波のほうが、全体的に、小さい値となっている。

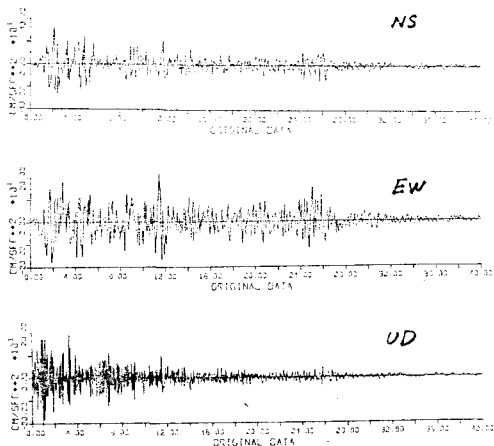


図1. EL Centro (1940) の3成分加速度記録

KENZOU TOKI, TADANOBU SATOU, JOJI EJIRI

(b) 設定関数形によるシミュレーション

1次元AR-MA過程の係数と固有振動数および減衰定数との関係から、入力の分散値、固有振動数および減衰定数の時間的変動を求め、これらを、簡単な指数関数で表現し、それを用いて、1次元AR-MA過程の係数を推定することにより地震動の再現を試みた。ところが、誤りがある。(a)は、UD成分の再現波、(b)(c)はそれぞれ、入力の分散、固有振動数、減衰定数の時間的変動の推定値とその近似関数を示している。高周波数の卓越する傾向はよく再現されているが、加速度振幅が0秒以降減衰せず、40秒まで、ほぼ一定値が続いている。これは、分散の近似関数が、4秒以降、ほぼ一定値をとるためである。さらに多くの地震記録に関して解析を行い、ここに示したようなタイプのフィルター特性や入力の分散の時間的変動が、幾種類かのパターンに分類可能であれば、それらを用いることにより、任意の地点において起こりうる地震動の特性を、ある程度予測することが可能となるであろう。

(c) 1自由度系の応答変位によるシミュレーション

時系列理論を用いて推定した固有振動数と減衰定数のある関数で近似し、非定常白色雑音が入力する1質点系の出力変位をシミュレートして、これを再現波とするものである。図4は、この手法により、San Fernando地震のCastaicにおける加速度記録のシミュレート結果である。(b)は実地震記録、(c)はその再現波であるが、(a)(c)(d)に示したように、かなり粗い近似関数でも、地震動が、かなりよく再現されている。以上のことから、1次元自己回帰-移動平均過程(AR-MA)による地震動のシミュレーションの可能なことが、明らかにされた。

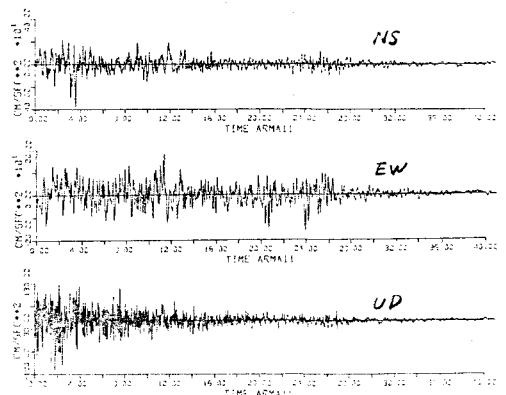


図2 再現波形(直接法)

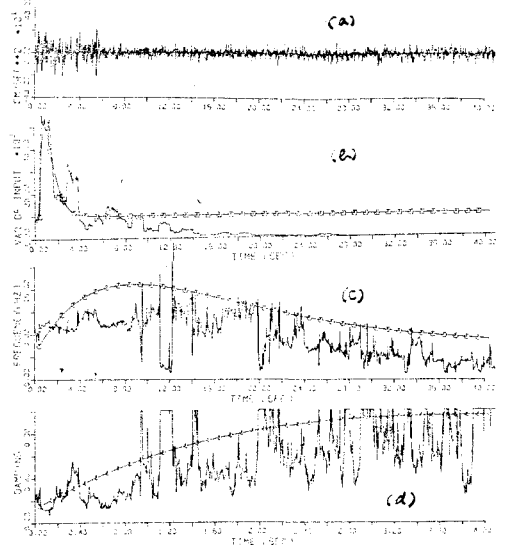


図3 再現波形と推定値(関数法)

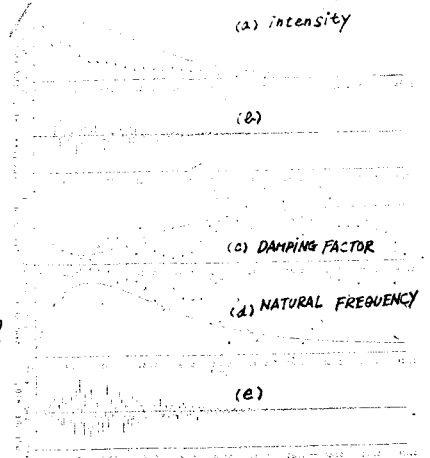


図4 再現波形(フィルタ法)