地震基盤における強震動波形の統計的予測モデルについて

東北工業大学　正員　神　山　眞

1、まえがき

一般に，地盤震動は震源機構，伝播経路，観測点の表層地盤条件など多くの要因によって支配される。従って，地表での強震記録はこれらの要因の混在した形で得られる。特に，観測点の地盤条件は強震波形に複雑な影響をもたらすことが知られている。一方，地盤の地震時応答解析などでは，その入力地震動として地盤条件の影響を受けない，基盤での強震動波形が必要である。このため，このような基盤での強震動波形を実測により求める試みは近年，各所で行われるようになってきた。しかし，対象を強震動に限った場合，記録の蓄積は未だ十分でなく，また巨大地震の生起率を考えると，今後とも記録の充実は早急に望めそうもない。本文は，このような欠を補う意味で，堆積層を有する地盤表面の強震記録を統計解析することにより，基盤での強震動波形を予測する手法について述べたものである。

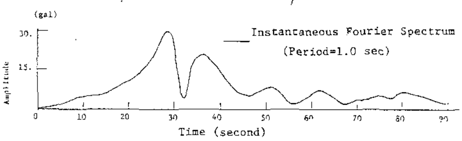

図1　瞬間フーリエスペクトルの時間変動の例

2. 非定常性を考慮した強震動波形の重回帰モデル

強震動波形の各周波数成分の振幅特性は時間的に非定常な変動を示すことが多い。従って，強震動波形の統計解析をするためには，このような非定常性を簡単なパラメーターをもつモデル関数で模擬する方法を検討する必要がある。

いま，代表的な強震記録の，ある周期の非定常性の例を示すと図1の通りである（1968年十勝沖地震，青森港SMAC強震記録，E-W成分，周期1.0秒）。図1はマルチフィルタリングの原理を応用した非定常スペクトル解析により得られる瞬間フーリエスペクトル[1]の時間変動を示したものである。図1に示す通り，一般に瞬間フーリエスペクトルの時間変動は局部的なピークをもつが，大局的にみると最大のピークを中心として，それに達する立上がり部とそれ以降の減衰部に別けることができる。そこで，このような時間変動を図2のような関数で近似する。この関数は$A(\omega)$, $T(\omega)$, $B(\omega)$, $L(\omega)$の4つのパラメーターをもつ。このような関数で非定常スペクトルを近似したときの波形と原波形の比較例を図3に示す[2]。図3から，ここで与えた簡単な模擬関数でも，原記録の波形を比較的良好に再現できることがわかる。

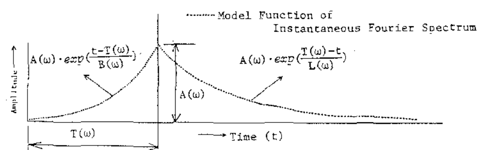

図2　模擬関数の時間変動

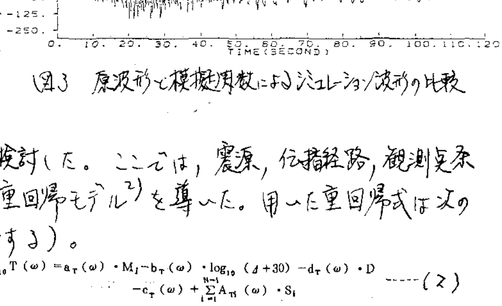

図3　原波形と模擬関数によるシミュレーション波形の比較

次に，上述のモデル関数のパラメーターを統計解析する方法を検討した。ここでは，震源，伝播経路，観測点条件の影響を定量化できる統計解析としてダミー変数を導入した重回帰モデル[2]を導いた。用いた重回帰式は次の通りである（モデルの物理的意味などは2）に詳しいので省略する）。

$$\log_{10} A(\omega) = a_A(\omega)\cdot M_J - b_A(\omega)\cdot\log_{10}(\Delta+30) - d_A(\omega)\cdot D - c_A(\omega) + \log_{10} 2 + \sum_{i=1}^{N-1} A_{Ai}(\omega)\cdot S_i \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\log_{10} T(\omega) = a_T(\omega)\cdot M_J - b_T(\omega)\cdot\log_{10}(\Delta+30) - d_T(\omega)\cdot D - c_T(\omega) + \sum_{i=1}^{N-1} A_{Ti}(\omega)\cdot S_i \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\log_{10} B(\omega) = a_B(\omega)\cdot M_J - b_B(\omega)\cdot\log_{10}(\Delta+30) - d_B(\omega)\cdot D - c_B(\omega) + \sum_{i=1}^{N-1} A_{Bi}(\omega)\cdot S_i \quad \cdots\cdots(3)$$

$$\log_{10} L(\omega) = a_L(\omega)\cdot M_J - b_L(\omega)\cdot\log_{10}(\Delta+30) - d_L(\omega)\cdot D - c_L(\omega) + \sum_{i=1}^{N-1} A_{Li}(\omega)\cdot S_i \quad \cdots\cdots(4)$$

ここに，$a_A(\omega)$, $b_A(\omega)$, $d_A(\omega)$, $c_A(\omega)$, $A_{Ai}(\omega)$などは回帰係数．S_iはダミー変数。

式(1)～式(4)の重回帰モデルを多くの強震記録に適用し，各説明変数マグニチュードM_J，震央距離Δ，震源深さD，ダミー変数δ_iの回帰係数を最小自乗法により求めると，各要因の影響を定量的に得ることができる。

統計解析のデータとなった強震記録は運輸省，建設省が全国に配置しているSMAC強震計による水平動記録181成分である。観測点を図4に示す。

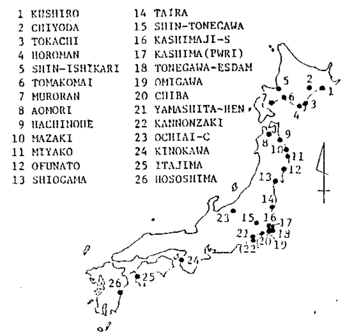

図4 強震記録の観測点

3、強震動の非定常特性に与える観測点地盤条件の影響

式(1)～(4)の重回帰モデルにおけるダミー変数の回帰係数から各観測点の地盤条件の与える影響を代表的観測点について求めた例が図5である。図5は図2に示したモデル関数のパラメーターごとに観測点地盤条件による増幅率として示してある。図5の例から，観測点の地盤条件の強震動の非定常性に与える影響が極めて大きいことがわかる。

また，観測点ごとに非定常性に与える影響が異なり，地盤条件固有の非定常性が強震動波形にもたらされることもわかる。

図5のA(ω)とT(ω)の周期変動を詳しく調べると興味深いことが見られる。すなわち，A(ω)とT(ω)の分布が相似している観測点と相似してない観測点があることである。A(ω)は非定常スペクトルの最大振幅を与えるパラメーターであり，一方T(ω)はその最大値が生じる時間を表わすパラメーターである。従って，A(ω)とT(ω)の関係を考察することにより非定常スペクトルを構成する波動成分をある程度まで識別できる[2]。図5の例で言えば，AOMORIの観測点では群速度が極小となる周期で振幅が極大となる表面波の特徴が示されており，MIYAKOではそのような特徴がない。この例から，表面波の生じ易い地盤条件と生じ難い地盤条件とが考えられる。

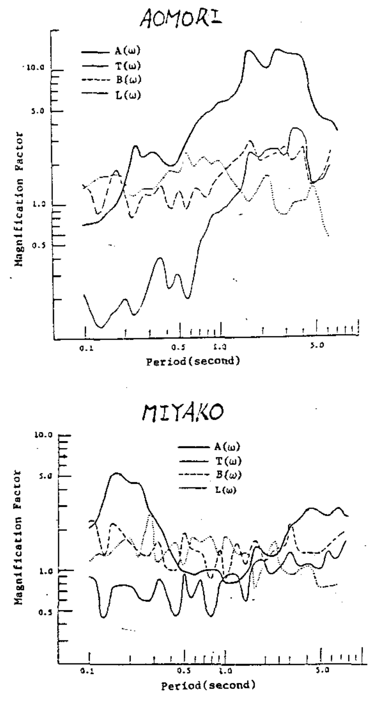

図5 モデルパラメーターの増幅率の例

4、地震基盤における強震動波形の予測例

式(1)～(4)の重回帰モデルから強震動波形の非定常性に与える各要因の影響を統計的に求めることができるが，このうち上述の観測点の地盤条件の影響を分離すると基盤での強震波形の非定常性を求めることができる。さらに，このように求まる非定常スペクトルを逆変換すると基盤での強震動波形が統計的に予測できることになる。以上のように求まる基盤での強震動波形の予測を実測記録と比較した結果が図6である。図6は$M_J=7.4$，$\Delta=103$Km，$D=40$Kmの条件で予測した基盤での強震動波形と同条件の実測記録である。図6から予測は実測と種々の観点からよい対応を示すことがわかる。

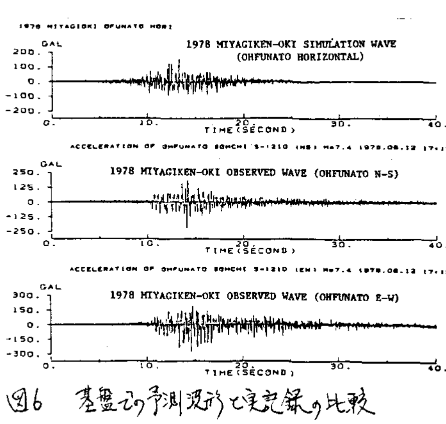

図6 基盤での予測波形と実記録の比較

(参考文献)

1) 神山：強震地震動の非定常スペクトル特性とその波動論的考察，1979．
2) 神山：地盤の強震動特性とその予測に関する研究，1985