

1. はじめに

地震動は観測点の表層地盤条件により大きな影響を受けることが知られている。従来、これらの影響はおもにスペクトル特性を中心として考察されてきた。一方、一般に強震動の波形特性は時間的に非定常な変動を示すことが多い。従って、表層地盤条件はスペクトル特性のみならず、このような非定常性にも影響を及ぼすことが考えられる。本文は強震記録の波形特性に関する統計解析により、強震動の非定常性に及ぼす表層地盤条件の影響について若干の考察を加えたものである。

2. 強震動の非定常性を表現するモデル関数とそのパラメーター

強震動の非定常性を解析する方法として、筆者はエルトンフィルタリングの原理による非定常スペクトル解析法を提示した。¹⁾ 本文では、この解析法を用いて強震動の非定常性を考察する。

いま、同手法の解析結果の一例を図1に示す。図1は1968年十勝沖地震の青森港での強震記録E-W成分に対して上記の解析を施し、代表的な例として周期1.0秒の振幅特性の時間変動を示したものである。この例に見られるように、非定常スペクトルにおけるスペクトル振幅の時間変動は幾つかの局部的なピークを示すが、個々の局部的なピークの特徴と地盤条件の関係を考察するのは困難なわけで、ここではこのような変動を簡単な形状に模式化し、そのモデル関数のパラメーターを用いて地盤の影響を考察する。

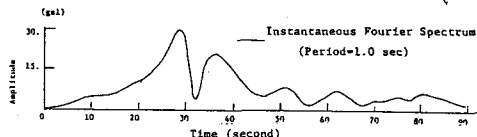


図1 非定常スペクトルの時間変動の例

いま、図1の時間変動を大体的に見ると、最大ピークを中心として、それに達する立ち上がり部とそれ以降の減衰部より成ることがわかる。そこで、このような特徴を模式化するものとして、図2のようなモデル関数を導入する。図2のモデル関数は最大ピーク値 $A(\omega)$ 、その時間 $T(\omega)$ 及びそれ以前と以後の振幅変動を指数関数で表わす $B(\omega)$ 、 $L(\omega)$ の二つのパラメーターから成る。このうち、 $A(\omega)$ 、 $T(\omega)$ は非定常スペクトル解析結果から直接求め、 $B(\omega)$ 、 $L(\omega)$ は非定常スペクトルでモデル関数の時間積分を同一とすることにより容易に求まる。このようなモデル関数と非定常スペクトルの関係を先の強震記録を例として代表的周期について図3に示す。

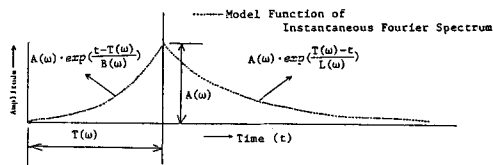


図2 モデル関数の時間変動

3. パラメーターの統計解析

上述のパラメーターは地震の諸元、観測点の地盤条件などにより大幅に変化すると考えられる。ここでは、これらの要因の影響を明らかにするため、重回帰モデルを用いて統計解析する。ここでの重回帰モデルは説明変数として、地震諸元(マグニチュード M , 震源深さ D , 震央距離 Δ)のみならず、観測点の地盤条件の違いも変数の概念を用いて変数化するものである。その概要は既に報告してあるが²⁾、二つのパラメーターごとに重回帰モデル式を表わすと次の通りである。

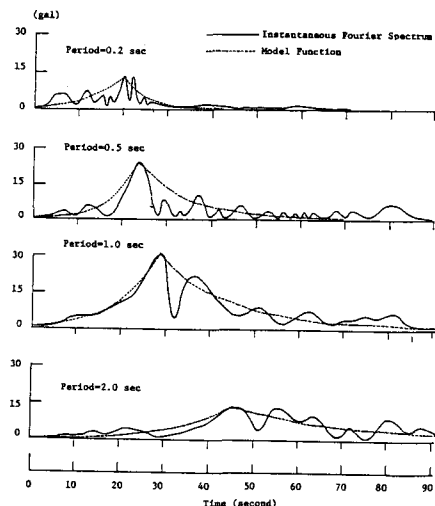


図3 非定常スペクトルとモデル関数の比較

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

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

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

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

ここに、各パラメーターにつき、 $a(\omega)$, $b(\omega)$, $d(\omega)$ は M_j , Δ , D に対する回帰係数。 S_i はダミー変数であり、 $A_{Ai}(\omega)$ はダミー変数 S_i に対する回帰係数。

式(1)~(4)は全観測変数を N として表わされているが、各観測変数に対応したダミー変数 S_i の回帰係数 $A_{Ai}(\omega)$, $A_{Ti}(\omega)$, $A_{Bi}(\omega)$, $A_{Li}(\omega)$ により、各パラメーターに対する観測変数の影響を定量的に与える。特に、全観測変のうち、一変を基準変として設定することにより、その基準変のパラメーターに対する増幅率の大きさを観測変の影響を定量化することができる。

統計解析のデータとして用いた地震記録は運輸省、建設省が全国に配置している $SMAC$ 地震計により得られた最大加速度 20 ガル以上の水平動記録 181 成分である。その観測変を図4に示す(26観測変)。なお、ここでは図4の観測変のうち $OFUNATO$ が基準変として用いられた。

4. 非正常パラメーターに対する観測変の影響

式(1)~(4)の M_j , Δ , D などの説明変数に対する回帰係数を求めることにより、マグニチュードなどの地震諸元の地震動非正常性に与える影響も同時に求まるが、ここでは、上述のダミー変数の回帰係数から求まる地盤条件の結果のみを示す。4つのパラメーターの基準変に対する増幅率を求めた結果を代表的な4観測変について図5に示す。

図5から各パラメーターでも観測変の地盤条件により固有の影響を受けることがわかる。パラメーター $A(\omega)$ の増幅率は、若手の違いはあるものの応答スペクトルを対象とした同様な解析の増幅率とはほぼ同じ特性をもつ。

一方、 $T(\omega)$ の増幅率の周期変化は $A(\omega)$ のそれに対して複雑であるが、 $A(\omega)$ の周期変化によく相似している観測変があることがわかる。例えば、 $AOMORI$, $HACHINOHE$ などは相似度が高い。それに対して $KUSHIRO$, $MIYAKO$ は相似度が低い。

$A(\omega)$ と $T(\omega)$ の関係から波動分散の有無を識別できるが、このことから表面波の主に易い地盤とそうでない地盤があるものと考えられる。³⁾ いずれにしても、観測変の地盤条件は非正常性に大きく関与することがこの結果から指摘される。

(参考文献)

- 1) 神山; 土木学会論文報告集, No. 284, 1979
- 2) 神山, 松川; 第7回地震工学研究発表会, 1983
- 3) 神山; 東北大学学位論文, 1985

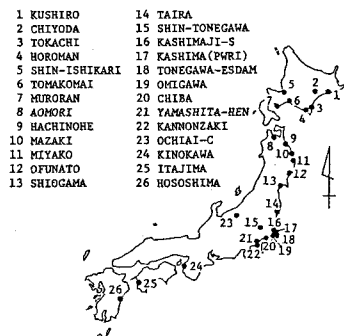


図4 地震記録の観測変

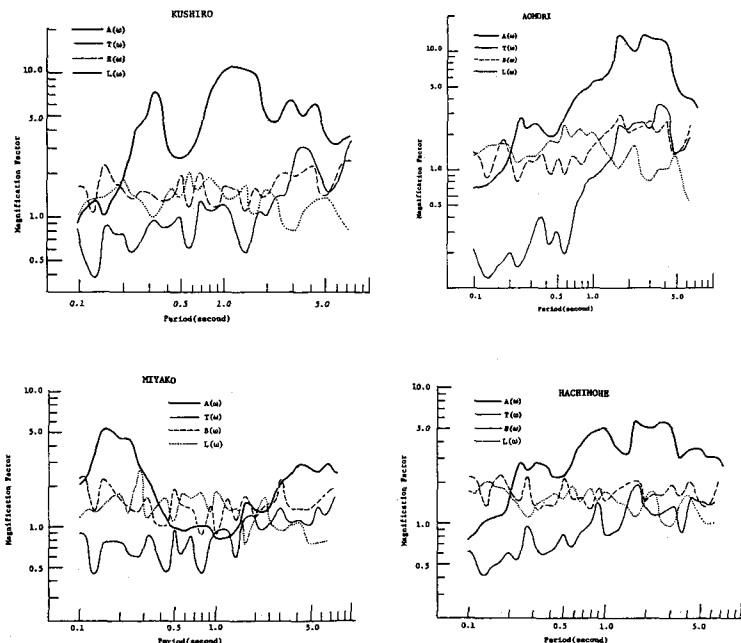


図5 代表的観測変における非正常パラメーターの増幅率