

I-395

やや長周期地震波による速度応答スペクトルの重回帰分析

京都大学大学院 学生員 広瀬 鉄夫

京都大学工学部 正員 山田 善一

京都大学工学部 正員 野田 茂

1. まえがき 著者らは、昭和58年の日本海中部地震時における気象庁1倍強震計の記録を数値化し、周期10秒前後のやや長周期地震波について各種の解析を試みてきた。¹⁾さらに、本研究では、各観測点で計算した速度応答スペクトル S_v を用いて、日本海中部地震の地震像(特徴)を明らかにしようとするものである。具体的には、1)重回帰分析の回帰係数から、各観測点の地盤条件や各種の震源パラメーターなどの影響を定量的に検討し、2)減衰5%の S_v を基準にして、減衰0.1と2%の S_v を求めてみることを考えた。

2. 重回帰分析を用いた応答スペクトルの推定 気象庁(JMA)の全国観測ネットワークの地点 i の速度応答スペクトル $S_v(kine)$ (固有周期 T 、減衰定数 h)を、以下の式によって回帰することを試みた。

$$\log S_v(T, h) = a(T, h) \log \Delta^i + b(T, h) \psi^i + \sum_{j=1}^N A_j(T, h) X_j + \sum_{k=1}^3 B_k(T, h) Y_k + c(T, h) \quad (1)$$

説明変数としては、震央距離 Δ (km)、震央から観測点への方位角(北から時計回りに計った角度(度)) ψ 、観測点の差異を表わすダミー変数 X 、水平、上下の成分(NS, EW, UD)の違いを表わすダミー変数 Y を考えた。ダミー変数は、例えば、 X_j について、応答スペクトルが観測点 n で得られたとき、 $X_j = \delta_{jn}$ (クロネッカーのデルタ数)で与えられることを意味する。ただし、 X_j の総和は1であるが、全観測点のうち $N-1$ 個の観測点に対してダミー変数 X_j ($j=1 \sim N-1$)を付与し、残りの1観測点では $S_j = 0$ ($j=1 \sim N-1$)として処理する。

上記の手法を用いて、応答スペクトルの重回帰分析を行った。これらの解析は、本震28地点、最大余震17地点を対象にして、周期2~20秒で3つの減衰定数($h=0.1, 2, 5\%$)について実施した。周期ごとに重相関係数は変動していたが、0.844~0.988の範囲にあり、実データとモデルに比較的高い相関のあることがわかった。以下、本震時の重回帰分析の結果の一部を述べる。

Fig. 1の(a)~(e)は、回帰係数 $a(T, h), b(T, h), c(T, h), B(T, h)$ と $A(T, h)$ の周期変動をプロットしたものである。震央距離の係数は図の(a)に見られるように複雑な周期変動を示す。特に減衰定数が小さいほど顕著で、周期10秒前後の卓越した波の影響を強く受けている。この係数は物理的には負でなければならないが、もともと応答の距離減衰が小さいこと、特定の地盤条件、波の伝播機構、波の複雑な増幅・減衰作用などが考えられるため、正の値を有している。しかし、一般に、長周期になるに従い係数値は減っている。 $c(T, h)$ の周期的変動は減衰にあまり左右されない。 $c(T, h)$ の絶対値は全般に周期の増大(2~10秒)とともに大きくなり、さらに減少し(10~15秒)、15秒以上の周期帯域ではほぼ一定となっている。 $c(T, h)$ には、マグニチュード、震源深さ以外で説明できない複雑要因が多く存在する。方位角の影響は減衰が小さいほど大きい。減衰が大きくなると、周期に対する変動は一般に強くない。 $b(T, h)$ は表面波のradiation patternと密接な関係があると考えられる。 $b(T, 0.001)$ は極めて特徴的な周期変動をしている。図の(d)からわかるように、成分の違いによる周期的変動は、各成分について相似である。周期帯域ごとに係数値が異なるのも、表面波の影響であろう。各観測点での統計的増幅スペクトルに相当する係数の $A_j(T, h)$ は異なった減衰定数別に求めることができる。図の(e)より、観測点の条件の違いを反映して、観測点ごとに異なった $A_j(T, h)$ の値が得られている。しかし、この係数の周期的変動は実測の速度応答スペクトルのそれとよく似ており、むしろ日本海中部地震時の地震像がそのまま反映したものと考えられる。

Fig. 2は、回帰モデルを適用して求めた速度応答スペクトルを実測スペクトルと比較し、本手法の妥当性を検証した一例である。地点としては寿都と苫小牧を採用し、水平EW成分の減衰0.1と5%について計算した。両者のスペクトルはよく一致しており、ここで提示した応答スペクトルの解析法は簡単な方法の割には、実測スペクトルを比較的良好に再現しているといえる。

3. 減衰定数に対する応答スペクトルの補正法 速度応答スペクトル S_v に及ぼす減衰定数 h の影響を表わすため、減衰定数5%の S_v を基準として次式により速度応答スペクトル比 ξ_{sv} を定義した。

$$\xi_{sv}(T, h) = S_v(T, h) / S_v(T, 0.05) = \beta(T, h) / \beta(T, 0.05) \quad (2)$$

β は速度応答スペクトルを地動の最大速度で割った値($\beta(T, h) = S_v(T, h) / V_{max}$)である。

Fig. 3は、本震と余震の全記録を用いて、周期2~20秒で $h=2\%$ に対し、 $\xi_{sv}(T, h)$ と $\beta(T, 0.05)$ の関係をプロットしたものである。ここでは、この図の関係を固有周期 T と減衰定数 h について次式で回帰することを試みた。

$$\log \xi_{sv}(T, h) = \log a(T, h) + b(T, h) \log \beta(T, 0.05) \quad (3)$$

最小自乗法により求めた係数の $a(T, h)$ と $b(T, h)$ がFig. 4の実線である。図中の破線は、周期5~15秒の実

係数値を基準にして、ガウス分布形(例えば、 $\log a(T,h) = x_1(h) \exp[-x_2(h)\{T - x_3(h)\}]$)で、 $a(T,h)$ と $b(T,h)$ の値を近似したものである。図からわかるように、回帰係数は周期に從属しており、しかも周期10秒前後でピークをもつ。この係数値(図中の実線)を用いて応答スペクトル比を求め、任意の観測点における速度応答スペクトルを予測してみた。5%減衰の速度応答スペクトルを与えて、1)東京、最大余震、EW成分、 $h=0.1\%$ と2)寿都、本震、UD成分、 $h=2\%$ の予測スペクトルを計算し、実測のスペクトルと比較したのがFig. 5である。同図からわかるように、本手法では、5%減衰の応答スペクトルをもとに任意の減衰定数の応答スペクトルを精度よく推定することができない。特に、この傾向は減衰が小さいほど顕著である。これは、 $h=0.1\%$ の場合、 $\log \xi_{sv}(T,h)$ と $\log \beta(T,0.05)$ の間の相関性が低く、ばらつきが大きいことと、少ないパラメーター値では特徴のある地震像を表現できないことに起因している。

参考文献 1)山田・野田・富本:京大防災研究所年報、第28号B-2, pp.33~61, 昭和60年4月

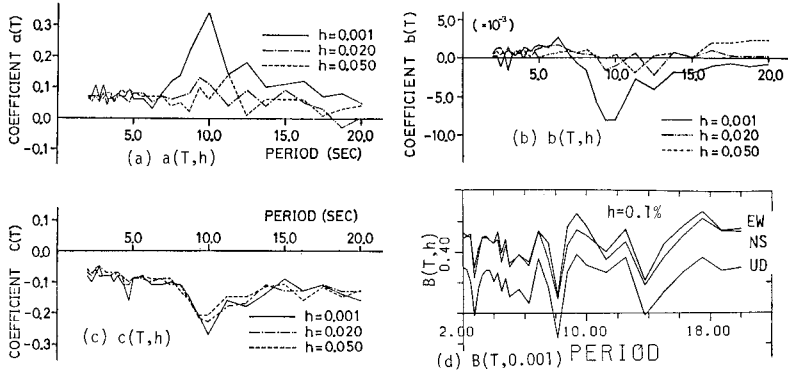


Fig.1 Coefficients $a(T,h)$, $b(T,h)$, $c(T,h)$, $B(T,h)$ and $A(T,h)$ of Eq.(1), where mainshock records were used.

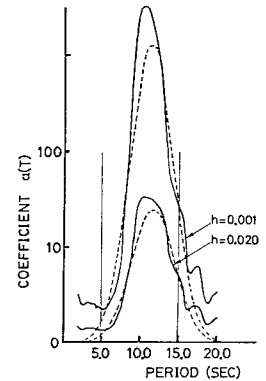


Fig.4 Dependence of $a(T,h)$ and $b(T,h)$ of Eq.(3) on natural period T

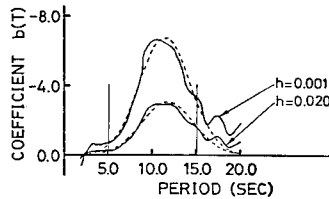


Fig.3 Relation between modification coefficient $\beta(T,0.05)$ and velocity response spectral ratio $\xi_{sv}(T,0.02)$

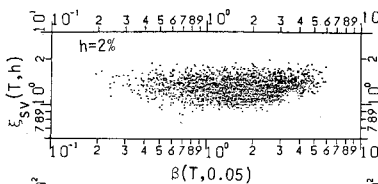


Fig.5 Comparison of velocity response spectral amplitude between observed and estimated by Eqs.(2) and (3).

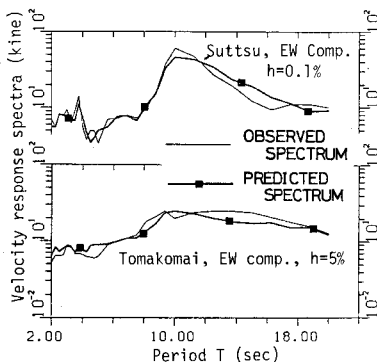


Fig.2 Comparison of velocity response spectral amplitude between observed and estimated by Eq.(1).

