

I - 7 地震マグニチュード、震源距離にダミー変数を導入した地震動スペクトルの重回帰分析

東北工業大学 ○正員 松川 忠司
東北工業大学 正員 神山 真

1. まえがき

地震動の距離減衰は一般に、震源距離に応じてその特性は変わり、比較的近距离では実体波（S波）、逆に遠距離では表面波の波動成分が卓越すると考えられる。しかし、従来の地震動解析ではその簡便さから、単一の距離減衰式をあてはめており、地震動の非線形挙動を考慮する上で充分でなかった。一方、地震規模もその大きさによって非線形な挙動を示すと考えられる。例えば、Gusev¹⁾は、地震モーメントの大きさによってスペクトル振幅が変動することを報告している。そこで本文では、著者らがこれまで行ってきた一連のスペクトル統計解析の重回帰モデルに対して、地震マグニチュード、震源距離の説明変数に一種のダミー変数を導入した重回帰モデルを提案し、その解析結果について述べたものである。

2. 地震マグニチュード、震源距離にダミー変数を導入した重回帰モデル

図1は、地震マグニチュード、震源距離にダミー変数を導入した重回帰モデル式のご概念図である。この図は、震源距離を三つに分割した例であるが、地震マグニチュードについても同様である。いま、解析データの分布状況から、予め臨界距離（ $r_c^{(1)}$ 、 $r_c^{(2)}$ ）を設定し、それぞれの領域における直線を結びつける式を考える。 $\beta_1 \sim \beta_3$ は傾きを、 β_4 、 β_5 はそれぞれの直線間の縦距を表すとすると、次の様な重回帰モデルが設定される。

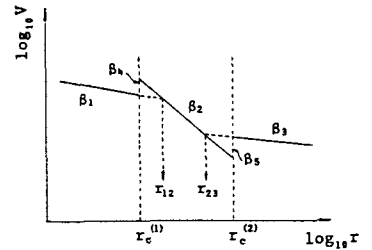


図1. 重回帰モデルのご概念図

$$\log_{10} V(T) = \sum_{i=1}^{2n-1} \alpha_i(T) \cdot M_i + \sum_{i=1}^{2m-1} \beta_i(T) \cdot r_i + c(T) + \sum_{j=1}^N A_j(T) \cdot S_j(T) \quad \dots (1)$$

ここに、 $V(T)$:地震動スペクトル、 $\alpha_i(T)$ 、 $\beta_i(T)$ 、 $c(T)$:回帰係数、 M_i :マグニチュード変数、 r_i :震源距離変数、 $A_j(T)$: j 観測点における回帰係数、 $S_j(T)$:観測点のダミー変数、 N :観測点総数、 n :マグニチュード分割数、 m :震源距離分割数。

ここで、マグニチュード変数 M_i 、震源距離変数 r_i は、ダミー変数の概念を導入して次のように与えられる。

$M_1 = \begin{cases} M & (M \leq M_c^{(1)}) \\ M_c^{(1)} & (M_c^{(1)} < M) \end{cases}$ $M_i = \begin{cases} 0 & (M \leq M_c^{(i-1)}) \\ M - M_c^{(i-1)} & (M_c^{(i-1)} < M \leq M_c^{(i)}) \\ M_c^{(i)} - M_c^{(i-1)} & (M_c^{(i)} < M) \end{cases} \quad (i=2 \sim n-1)$ $M_n = \begin{cases} 0 & (M \leq M_c^{(n-1)}) \\ M - M_c^{(n-1)} & (M_c^{(n-1)} < M) \end{cases}$ $M_{n+i} = \begin{cases} 0 & (M \leq M_c^{(i)}) \\ 1 & (M_c^{(i)} < M) \end{cases} \quad (i=1 \sim n-1)$	$r_1 = \begin{cases} \log_{10} r & (r \leq r_c^{(1)}) \\ \log_{10} r_c^{(1)} & (r_c^{(1)} < r) \end{cases}$ $r_i = \begin{cases} 0 & (r \leq r_c^{(i-1)}) \\ \log_{10} r - \log_{10} r_c^{(i-1)} & (r_c^{(i-1)} < r \leq r_c^{(i)}) \\ \log_{10} r_c^{(i)} - \log_{10} r_c^{(i-1)} & (r_c^{(i)} < r) \end{cases} \quad (i=2 \sim m-1)$ $r_m = \begin{cases} 0 & (r \leq r_c^{(m-1)}) \\ \log_{10} r - \log_{10} r_c^{(m-1)} & (r_c^{(m-1)} < r) \end{cases}$ $r_{m+i} = \begin{cases} 0 & (r \leq r_c^{(i)}) \\ 1 & (r_c^{(i)} < r) \end{cases} \quad (i=1 \sim m-1)$
---	---

ここに、 M :マグニチュード、 r :震源距離、 $M_c^{(i)}$:臨界マグニチュード、 $r_c^{(i)}$:臨界距離。

式(1)から、基盤スペクトル $SV(T)$ と各観測点の増幅スペクトル $Amp_j(T)$ は次式で与えられる。

$$SV(T) = 1 \cdot 10^{\sum \alpha_i(T) \cdot M_i} \cdot 1 \cdot 10^{\sum \beta_i(T) \cdot r_i} \cdot 1 \cdot 10^{c(T)} \quad \dots (2), \quad Amp_j(T) = 1 \cdot 10^{A_j(T)} \quad \dots (3)$$

(3) 解析結果及び考察

図2に示す全国強震観測点(26地点)で得られた水平動228成分の速度応答スペクトル($h=0.05$)を $n=3(M < 5.5, 5.5 \leq M < 7.0, 7.0 \leq M)$ 、 $m=3(r < 30, 30 \leq r < 100, 100 \leq r)$ に分割して、式(1)に適用した例について以下示す。図3は地震規模(マグニチュード)減衰を周期区分ごとに重ねてプロットしたものである。この図から、マグニチュー

下の非線形な減衰が具体的に観察され、長周期になるに従い、収束する傾向が見られる。図4は距離減衰の例があるが、これも図3と同様の傾向が認められる。次に、式(2)から求めた基盤スペクトルの例を図5に示す。従来のモデルに比べ、非線形な変動が顕著に認められる。これは、図3,4に示した周期毎の非線形な減衰が導入されたためと考えられる。図6は、式(3)から求めた代表的観測点の増幅スペクトルの例である。これらも従来のモデルと同様に、各観測点特有のスペクトルが得られているのがわかる。以上から、地震マグニチュードと震源距離にダミー変数を導入した重回帰モデルは、地震動の非線形な特性を明確に与え、地震動スペクトルのより精度の高い予測が可能となると考えられる。

<参考文献>

1) Gusev: Geophys. J. R. astr. Soc., 74 (1983)

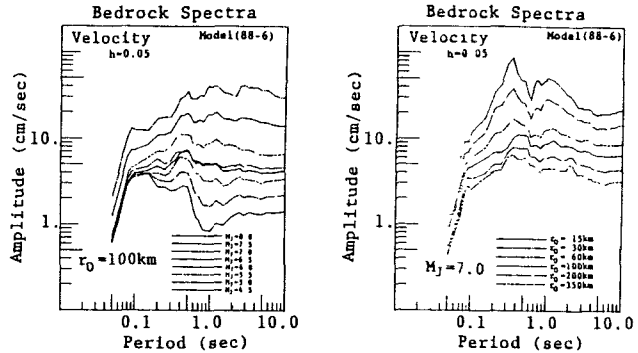


図5. 基盤スペクトルの例

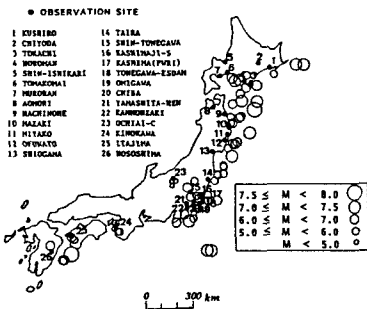


図2. 全国強震観測点

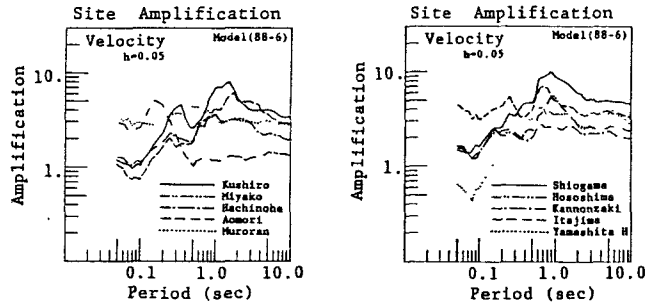


図6. 代表的観測点の増幅スペクトルの例

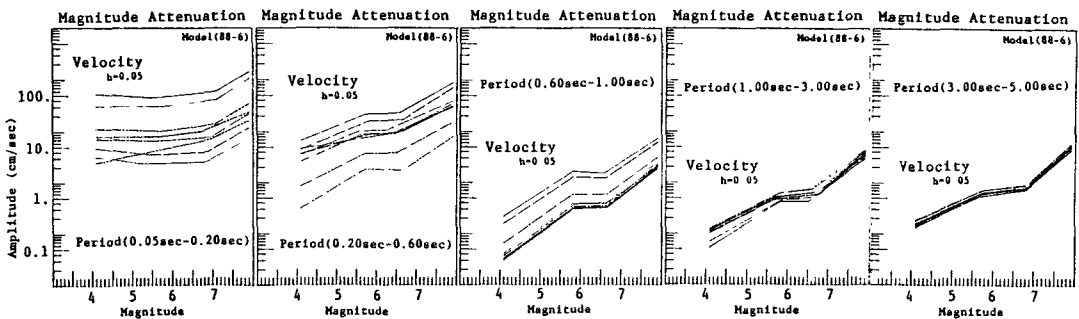


図3. 周期区分によるマグニチュード減衰の変動

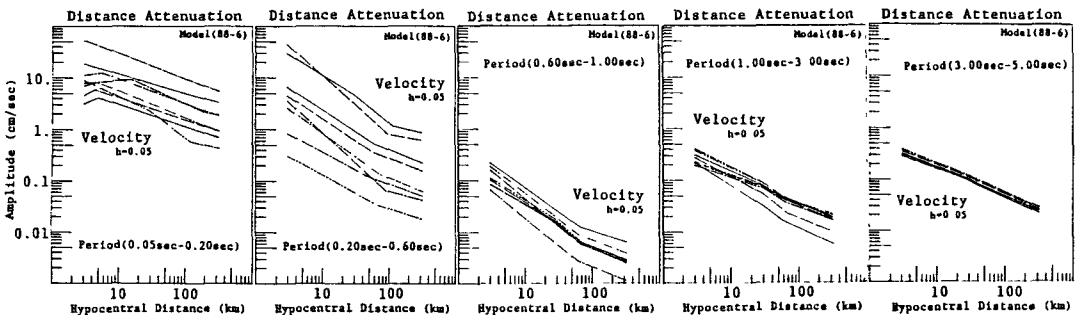


図4. 周期区分による距離減衰の変動