

熊谷組 正員 清水 昭男 正員 阿部 健一
熊谷組 正員○寺田 倫康 正員 嶋田 剛

1. まえがき

小地震を重ね合わせて大地震を合成する場合の重ね合わせ個数は、通常、地震モーメントの比によるスケールリング則によって決められている。しかし、この関係は、マグニチュードが大きい過去の被害地震についてよい適応を示している。ここでは福島県沖で発生した地震について、速度応答スペクトル($h=0\%$)比の回帰分析から経験的なスケールリング則の一つとして特定の震源域での震源スペクトル比を求め、簡単な断層モデルによる理論スペクトル比との比較検討を行った。

2. 回帰分析による震源スペクトル比

観測記録から求めた加速度フーリエスペクトル($F(T)$)は、震源スペクトル($S(T)$)と、Radiation Pattern、($R(T)$)、観測点の地盤による増幅特性($G(T)$)により次式で表される。

$$F(T) = G(T) \cdot R(T) \cdot S(T) \quad \text{----- (1)}$$

いま、同一の震源域で発生した地震を選べば、 $R(T)$ は同じと仮定できるので、観測点別に求めた二つの地震のフーリエスペクトル比は、震源スペクトル比と見なせる。そこで、いくつかの地震についてスペクトル比を求め、適当な回帰モデルで回帰分析を行えば、その震源域での経験的なスケールリング則を求める事ができる。

ここでは、図1に示すような福島県沖に発生した13個の地震を対象にして、加速度フーリエスペクトルと近似的に等しい速度応答スペクトル($h=5\%$)の比を求めた。スペクトル比の一例を図2に示す。スペクトル比は、NS, EW, UD成分による違いが少なく、二つの地震のマグニチュードの差が大きい程、長周期側の増幅が大きくなる傾向が見られた。回帰分析は、神山¹⁾の提案したダミー変数を含む次式で表されるモデルにより水平2成分の記録で行った。なお基盤点は、S-2とした。

$$\log_{10}(F_1(T)/F_2(T)) = a(T)(M_1^2 - M_2^2) + b(T)(M_1 - M_2) + c(T)(\log_{10}(\Delta_1 + 30) - \log_{10}(\Delta_2 + 30)) + d(T)(D_1 - D_2) + e(t) + \sum A_i(T)S_i \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 M_1, M_2 : マグニチュード($M_1 \geq M_2$)、 Δ_1, Δ_2 : 震央距離、 D_1, D_2 : 震源深さ、 S_i ($i=1, 7$): ダミー変数である。(2)式は、 M^2 の項により、二つの地震のマグニチュードの差だけでなく、マグニチュードの大きさの影響を考慮できる。ダミー変数を除く回帰係数を図3に示す。 M^2 の係数 $a(T)$ が全周期域で正であるのに対して、 M, Δ の係数は負である。また、 D は回帰にほとんど影響がないと言える。図3の回帰係数と(2)式を使って基盤点S-2の経験的な震源スペクトル比を、次の3ケースについて求めた結果を図4に示す。

(a) CASE1 : $M_1=5.5, M_2=4.5, \Delta_1=\Delta_2, D_1=D_2$

(b) CASE2 : $M_1=6.5, M_2=5.5, \Delta_1=\Delta_2, D_1=D_2$

(c) CASE3 : $M_1=6.5, M_2=4.5, \Delta_1=\Delta_2, D_1=D_2$

スペクトル比の推定値は、ばらつきがあるものの、実記録の特徴をよく表現しており、回帰モデルの妥当性を証明している。CASE1、CASE2を比較すると、二つの地震のマグニチュードの差が同じでもマグニチュードが大きい程スペクトル比は大きくなる。

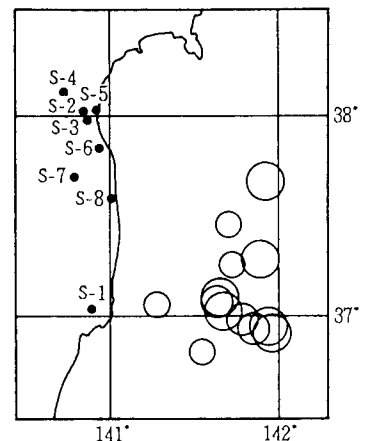


図1 震央位置

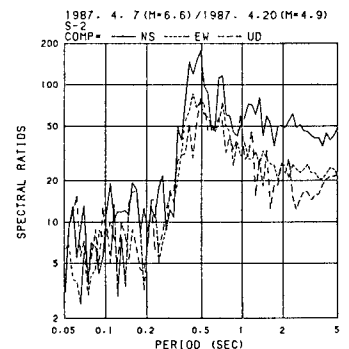


図2 速度応答スペクトル比

3. 断層モデルによる震源スペクトル比

Sato-Hirasawa²⁾ のモデルによれば、far-field における加速度フーリエスペクトルは次式で表される。

$$F(T) = M_0 / (4\pi \rho_0 V_c^3) \cdot |R(P, S)| \cdot |B_c(T)| \quad (3)$$

ここに、 M_0 : 地震モーメント、 r_0 : 断層半径、 V_c : P波、S波速度、 $R(P, S)$: P波、S波のRadiation-Pattern $B_c(T)$: 正規化した震源スペクトルを表す。(3)式と(1)式は同様の形式であるので、同一の震源域で発生した地震では、 $r_0, V_c, R(P, S)$ は同じであると考えられ、理論的な震源スペクトル比は、次式で表される。

$$F_1(T)/F_2(T) = M_{01}/M_{02} \cdot |B_{c1}(T)| / |B_{c2}(T)| \quad (4)$$

(4)式を計算する際に必要な断層パラメータは、既往の研究^{3), 4), 5)}を参考にして表1のように設定した。図5は、2.と同様の3ケースについて計算した結果を示したものである。マグニチュード(M_1)の大きなCASE2, CASE3は、断層モデルと回帰分析による結果が比較的良好に一致しているが、CASE1は、長周期のスペクトル比が回帰分析による結果に比べてかなり大きくなる。これは、断層モデルでは二つの地震のマグニチュードの差でスペクトル比の最大値が決まり、マグニチュードの大きさの影響が考慮されないためと思われる。

4. 結論

(1)同一震源域で発生した地震の速度応答スペクトル($h=0\%$)比を回帰分析することにより、その震源域の経験的スケールリング則を導くことができる。(2)断層モデルによるスペクトル比は、マグニチュードの小さな地震に対しては観測記録から求まる経験的なスペクトル比に比べてかなり大きくなる。

参考文献

- 1) Kamiyama, M; Soils and Foundations, Vol. 26, No. 2, pp. 16-32, 1986.
- 2) Sato, M, and Hirasawa, T; J. Phys. Earth, 21, pp. 415-431, 1973.
- 3) ト部、金沢、平田、末広、岩崎、島村; 地震学会講演予稿集, p. 11, 1986-No2
- 4) 長谷川、海野、松沢、山本、中山、高木; 地震学会講演予稿集, p. 11, 1987-No1.
- 5) 荏原、栗山、国井; 第19回地震工学研究発表会, pp. 69-72, 1987.

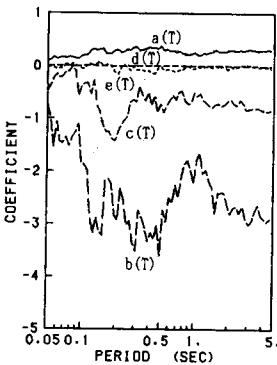
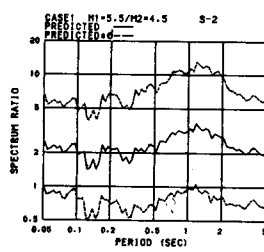
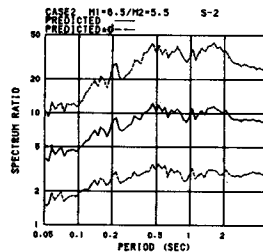


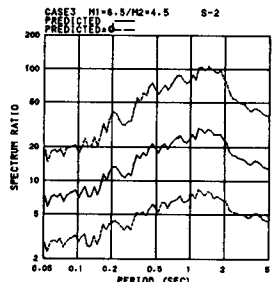
図3 回帰係数



(a) CASE1



(b) CASE2

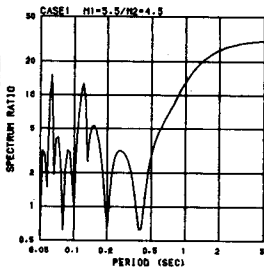


(c) CASE3

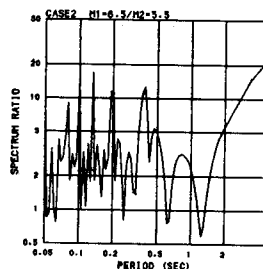
図4 回帰分析による震源スペクトル比

表1 断層パラメータ

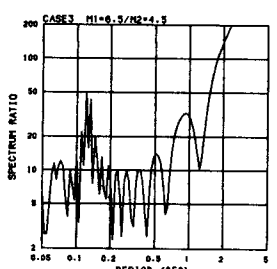
S波速度	$\beta = 4.6 \text{ km/sec}$
破壊速度	$V_r = 0.72 \beta$
地震モーメント	$M_0 = 10^{1.5M+1.6}$
断層面積	$S = 10^{M-3.6/2}$
断層半径	$r_0 = (S/\pi)^{0.5}$
断層面と観測点のなす角	$\theta = 15^\circ$



(a) CASE1



(b) CASE2



(c) CASE3

図5 断層モデルによる震源スペクトル比