

地震動予測式の不確定性の低減について

西日本旅客鉄道(株) 正員○片岡 建司
 京都大学防災研究所 正員 亀田 弘行
 京都大学工学部 正員 杉戸 真太

1. はじめに

工学的地震動予測における不確定性を低減する方法を考察する。従来よく用いられてきた予測モデルは、最大加速度や加速度フーリエスペクトルなどの諸量をマグニチュードと震央距離の関数として表現し、過去の強震記録から統計的手法によって求められたものである。このような経験にのみ依存する手法では、結果が特定の記録に作用されて偏っている可能性があり、また、データの範囲外で利用することができない。

そのため、このような統計的なモデルを脱却し、地震断層モデルから理論的に導かれた予測モデルを活用することを試みる。これらの理論式は、高振動数領域においてスペクトル振幅を過小評価する傾向がある。この傾向を補正するため、藤川ら¹⁾は震源距離 R を用いたが、本研究では、震源の特性を考慮するために、震源距離の他に断層面の応力降下量 $\Delta\sigma$ も取り入れた形で予測式を補正し、その不確定性がどの程度低減するかを定量的に検討する。

2. 理論スペクトルの補正と不確定性の低減

本研究で用いた加速度フーリエスペクトルの理論式は、Brune の断層モデルを基に McGuire and Hanks(1980)²⁾が導いたもの

$$F_A(f) = 0.85 \frac{\pi M_0 f_0^2}{\rho R V_s^3} \exp\left(-\frac{\pi f R}{Q V_s}\right) \frac{1}{1 + (f_0/f)^2} \quad (1)$$

及び Haskell のモデルを基に Savage(1972)³⁾、石田(1987)⁴⁾が導いたもの

$$\begin{aligned} F_A(f) &= 0.85 \frac{M_0}{\pi \rho R V_s^3} \frac{1}{L} \frac{V_{rup}}{L} \exp\left(-\frac{\pi f R}{Q V_s}\right), (f \geq f_0) \\ &= 0.85 \frac{M_0}{\pi \rho R V_s^3} \frac{1}{L} \frac{V_{rup}}{L} \exp\left(-\frac{\pi f R}{Q V_s}\right) \left(\frac{f}{f_0}\right)^2, (f < f_0) \end{aligned} \quad (2)$$

である。ただし、 M_0 : 地震モーメント、 V_s : S 波速度、 ρ : 媒質密度、 R : 震源距離、 f_0 : コーナー振動数、 Q : 伝播経路の Q 値、 V_{rup} : 断層破壊速度、 L : 断層の長さである。

これらの理論式によって推定されるスペクトルを以下のような手順で補正する。なお、(1),(2)式を補正したモデルをそれぞれ A モデル、B モデルと書くことにする。

スペクトルの理論式は、低振動数領域で観測スペクトルをよく説明できると考えられているが、地震によって両者にかなり差がある場合もあったため、理論式にバイアスがかかっているものと考えて補正した。バイアスの補正係数を震源距離の関数として表し、 $\hat{U}_1$ と書くことにすると、回帰分析により、

$$\begin{aligned} \text{A モデル} &: \log \hat{U}_1 = 0.00733R - 0.75835 \\ \text{B モデル} &: \log \hat{U}_1 = 0.00741R - 0.60284 \end{aligned} \quad (3)$$

次に、理論式が高振動数領域で過小評価になる傾向を補正するために、次のような補正関数を乗じる。

$$\begin{aligned} \hat{U}_2(f) &= \exp \left[a \left\{ \left(\frac{f}{f_0} \right)^b - 1 \right\} \right], (f \geq f_0) \\ &= 1, (f < f_0) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \text{A モデル} &: a = 0.002750\Delta\sigma + 0.000234R - 0.070341 \\ \text{B モデル} &: a = 0.002739\Delta\sigma + 0.000062R - 0.028815 \end{aligned} \quad (5)$$

b は両モデルで 0.65 である。(5) 式は、a を $\Delta\sigma$ と R の関数として表したものであり、回帰分析によって求めた。

以上をまとめると、補正後の予測式は

$$F_M(f) = \hat{U}_1 \hat{U}_2(f) F_A(f) \quad (6)$$

となる。

これらの予測式の不確定性を評価するため、過去に得られた単震源と見なせる 7 地震の記録 35 成分を用いた。強震記録から求めたフーリエスペクトルと(1)式による理論スペクトル、および A モデルによるスペクトルを求めた一例を図-1 に示す。高振動数領域において過小評価になっていた理論スペクトル振幅が補正される様子が示されている。次に、図-2 に理論スペクトルに対する変動係数 COV と A,B モデルに対する COV を示す。 $\Delta\sigma$ と R を用いて理論スペクトルを補正することで高振動数領域で不確定性が低減することがわかる。

図-3 に従来の経験的予測式と A,B モデルに対する COV を比較した。A モデルの場合は経験式の場合と同程度の変動係数になっているが、B モデルでは特に低振動数域における不確定性が大きくなっている。

3. まとめ

加速度スペクトルの推定に部分的に理論式を取り入れたことで、予測式にある程度一般性を付与することができた。ただし、予測式の不確定性は依然として大きく、予測の信頼性を向上させるためには、特に、 V_s , ρ などのパラメータの予測精度を上げることが望まれる。また、ここで除外した多重震源の地震についても同様の方法が適用できるかどうかを検討する必要があると考えられる。

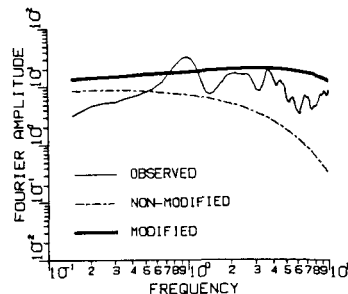


図-1 加速度フーリエスペクトルの比較

参考文献

- 1) 藤川・杉戸: 断層パラメータを考慮した地震動予測モデル、平成3年度土木学会関西支部講演, 1991.
- 2) McGuire and Hanks: RMS Accelerations and Spectral Amplitudes of Ground Motion during the San Fernando, California Earthquake, BSSA, Vol.70, 1980.
- 3) Savage: Relation of Corner Frequency to Fault Dimensions, J.Geophys.Res., Vol.77, 1972.
- 4) 石田: 強震地動スペクトル特性の評価に関する一考察、日本建築学会学術講演概要集、1987.

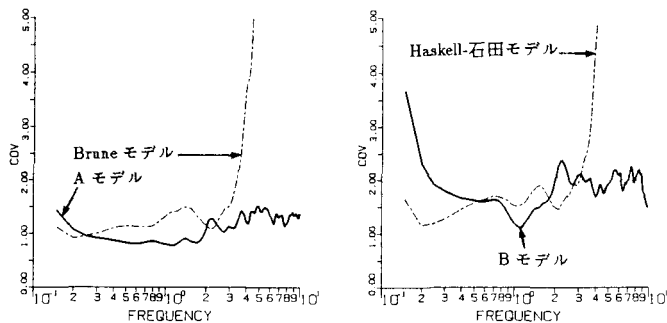


図-2 理論式、および A,B モデルに対する変動係数

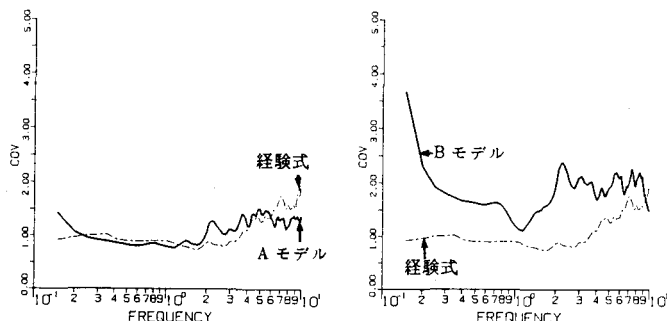


図-3 経験式、および A,B モデルに対する変動係数