

不均質震源モデルの違い

Differences among heterogeneous source models

○関口春子

○Haruko SEKIGUCHI

The source process models for anticipated earthquakes are classified into two types in terms of slip (or stress drop) heterogeneity in short wavelength. The asperity-based, characteristic source model assumes concentration of short-wavelength heterogeneity of slip inside the asperities, the peaks of long-wavelength heterogeneity. Stochastic source models assume fractal-like heterogeneous distribution of slip (or stress drop). Studies of high-frequency generation source seem to support the former, but it is not decided. I am going to see the difference in calculated ground motion due to the difference of the source models

1. はじめに

強震動予測を目的とした震源モデルは、震源像や震源近傍強震動に関する多くの知見を取り入れながら発達してきた。そのような震源モデルを、すべり量や応力降下量の不均質分布の観点で見ると、二つの系統に分けられる。一つは、アスペリティ型モデル、もう一つは、確率論的モデルである。これらはすべりや応力降下量分布の短波長成分の分布のさせ方が大きく異なる。

2. 短波長不均質の異なるモデル

震源近傍で顕著な特徴的パルスの生成を主眼としたアスペリティ型モデルには、特性化震源モデル (Somerville et al., 1999) がある。このモデルは、矩形アスペリティに、アスペリティサイズに対応する周波数以上の周波数源が集中しているモデルである。波形インバージョン ($>0.5\text{Hz}$) から抽出されたアスペリティと経験的グリーン関数法による広帯域地震動モデリング ($0.2\sim 10\text{Hz}$) で求められる強震動生成域がほぼ一致するという知見をベースにしている。すべり (応力降下量) の不均質としては、アスペリティ内外の設定しかなく、より短波長の不均質分布は明示されていないが、アスペリティ内に集中していることを意味していると考えられる。

確率論的震源モデルは、地震発生の際は、震源スペクトルの ω^2 則や断層面幾何形状の自己相似性、地震の発生頻度規模依存性 (グーテンベルグ・リヒター則) から連想されるようなフラクタルな不均質性を持ち、ブロードバンドで複雑な観測波

形を再現するものとして提案されてきた (Herrero and Bernard, 1994; Irikura and Kamae, 1994; Zeng and Anderson, 1994)。当然、長波長成分のピークに短波長成分のピークが集まることはない。

さらに、アスペリティモデルによる特徴的なパルスを生成する特徴を保持しつつ、アスペリティ端でのすべりの大きなギャップが生む人工的なストップングフェーズを抑える目的 (Hisada, 2001)、または、アスペリティサイズに対応する周波数以上の周波数を適切に発生させる目的 (Ide and Aochi, 2005; Sekiguchi et al., 2008)、破壊のディレクティビティ効果を抑制する目的等から、アスペリティモデルと確率論的モデルのハイブリッドモデルが現れた他に (Graves and Pitarka, 2005; Olsen and Takedatsu, 2015)。

3. 観測記録からの知見との関係

すべりや応力降下量の短波長不均質は、地震動の短周期成分の発生に関わりが強いと考えられる。

波形インバージョンで得られる震源モデルは、解析例により、上記のいずれに似ているように見えるものも存在する。しかし、波形インバージョン法の誤差や拘束条件の影響、解析周波数範囲を考えると、波形インバージョン解での判定は難しい。経験的グリーン関数法を使った強震動生成域の推定 (Asano et al., 2003; Miyake et al., 2003 など) からは、強震動生成域と波形インバージョンで求められたアスペリティが一致する結果が多数示されており、このことは、アスペリティ型モデルを支持する。しかし、解析法が、比較的長周期から

短周期までを対象にし、波源を集中化させる仮定を置いていることが影響している可能性もある。短周期波源 (>1Hz) の解析 (Nakahara, 2008; Suzuki and Iwata, 2009 など) では、アスペリティの縁辺部に見出した例、破壊の始まりや終わりに関係することを見出した例、アスペリティとの相関がみられなかった例がある。短周期

本研究では、逆に、震源モデルに見られる違いが、計算される地震動にどのような違いを生じるかを比較することにより、短波長不均質の与え方を見直してみたいと思う。

文献：

- Asano, K., Iwata, T., and Irikura, K.: Source characteristics of shallow intraslab earthquakes derived from strong-motion simulations. *Earth, Planets and Space* 55:4, e5–e8, 2003.
- Graves R. W. and A. Pitarka: Broadband ground-motion simulation using a hybrid approach, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.100, No.5A, pp.2095-2123, 2010.
- Herrero, A. and P. Bernard: A kinematic self-similar rupture process for Earthquakes, *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol.84, pp.1216–1228, 1994.
- Hisada, Y.: A Theoretical Omega-Square Model Considering Spatial Variation in Slip and Rupture Velocity. Part 2: Case for a Two-Dimensional Source Model, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.91, No.4, pp.651-666, 2001.
- Ide S. and H. Aochi: Earthquakes as multiscale dynamic ruptures with heterogeneous fracture surface energy, *J. Geophys. Res.*, Vol.111, No.B11, DOI: 10.1029/2004JB003591, 2005.
- Irikura, K. and K. Kamae: Estimation of strong ground motion in broad-frequency band based on a seismic source scaling model and an empirical Green's function technique, *Annali Di Geofisica*, Vol. XXXVII, N.6, pp.1721-1743, 1994.
- Miyake, H., T. Iwata, and K. Irikura : Source characterization for broadband ground-motion simulation, Kinematic heterogeneous source model and strong motion generation area, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol.93, pp.2531-2545. 2003.
- Nakahara, H.:Chapter 15 Seismogram Envelope Inversion for High-Frequency Seismic Energy Radiation from Moderate-to-Large Earthquakes *Advances in Geophysics*, DOI: 10.1016/S0065-2687(08)00015-0, 2008.
- Olsen, K. B. and R. Takedatsu: The SDSU Broadband Ground-Motion Generation Module BBtoolbox Version 1.5, *Seism. Res. Letter*, Vol.86, No.1, pp.81-88, 2015.
- Sekiguchi H., M. Yoshimi, H. Horikawa, K. Yoshida, S. Kunimatsu and K. Satake: Prediction of ground motion in the Osaka sedimentary basin associated with the hypothetical Nankai earthquake, *J. Seism.*, Vol.12, No.2, pp.185-195, 2008.
- Somerville, P.G., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada: Characterizing crustal earthquake slip models for the prediction of strong ground motion, *Seism. Res. Lett.*, Vol.70, pp.59-80, 1999.
- Suzuki, W. and T. Iwata: Broadband seismic wave radiation process of the 2000 Western Tottori, Japan, earthquake revealed from wavelet domain inversion, *J. Geophys. Res.*, Vol.114, No.B08, doi:10.1029/2008JB006130, 2009.
- Zeng Y. and J. G. Anderson: A composite source model for computing realistic synthetic strong ground motions, *Geophys. Res. Lett.*, Vol.21, No.8, pp.725-728, 1994.