

3. 2011年東北地震の強震動生成域から生成される地震動の周期範囲

倉橋 奨・入倉孝次郎

1. はじめに

本研究は、超巨大地震に対応した強震動予測レシピの構築に向けて、2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域：Strong Motion Generation Area (SMGA) から生成される地震動の周期範囲について検証することを目的としている。

2011年東北地方太平洋沖地震について、Kurahashi and Irikura (2013) では、近地強震動記録の短周期部分を利用して、SMGA震源モデルを構築し、SMGAは、陸側に近い場所に5つ存在することを明らかにした。

一方で、津波や地殻変動、長周期の地震動などの長周期成分をもつ記録による解析結果では、すべりの大きな場所が震源（破壊開始点）から海溝軸にかけた領域にあることが推定されている。すなわち、断層面上のすべりの場所により、地震動が生成される周期が異なることが指摘されている。しかしながら、どの部分でどの程度の周期範囲の寄与があるかは、詳細に議論されておらず、特に、SMGAモデルの地震動が、どの程度の長周期成分まで寄与するかは、今後の強震動予測のためにも重要な点である。筆者らが推定した5つのSMGAにおいて、理論的手法を適用してその震源モデルの地震動の再現の有効性を検証するとともに、SMGAから生成される地震動の周期範囲について検証する。

2. 強震動生成域の震源モデル

2011年東北地方太平洋沖地震の強震動生成域（Strong Motion Generation Area: SMGA）の震源モデル（対象周波数帯域：0.15~10Hz）は、Kurahashi and Irikura (2013) にて、経験的グリーン関数法を適用して構築されている。本研究は、このSMGA震源モデルを対象として長周期地震動を計算する。図1にKurahashi and Irikura (2013) によるSMGA震源モデル、図2に観測記録と合成波形の比較図の一例を示す。SMGA震源モデルは、破壊開始点よりも陸側で、かつ、岩手県の南部から茨城県に沿って、5つ存在すると推定されている。このモデルにより観測記録にみられるいくつかの波群の位相および振幅も概ね再現できている。

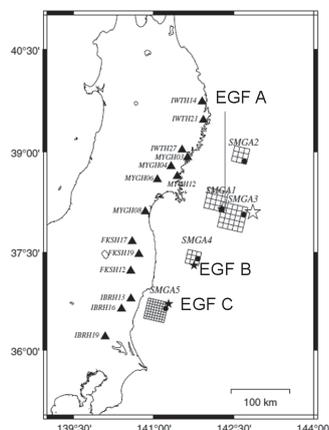


図1 SMGA震源モデル

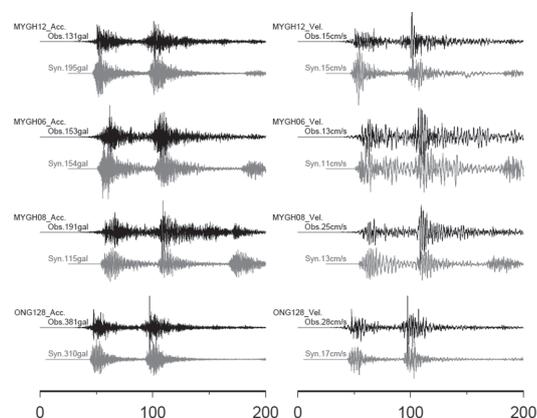


図2 観測記録（黒線）と合成波形（灰線）の比較

なお、長周期強震動の震源モデルでは、大きなすべりの領域が破壊開始点よりも沖側に存在することが指摘されている。図3にSuzuki et al. (2011) による長周期地震動の震源モデルを示す。このことより、短周期の強震動を生成した場所は陸側、長周期の強震動を生成した場所は沖側にあったことが推測される。

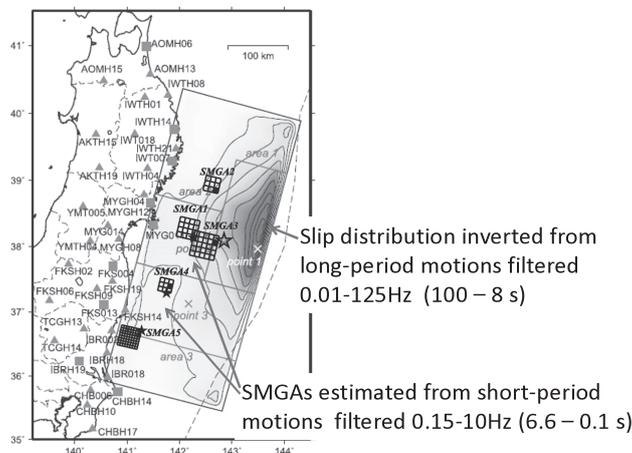


図3 Suzuki et al. (2011) による長周期地震動の震源モデル

3. 長周期地震動シミュレーション

本章では、第2章で示したSMGA震源モデルを基に実施した、長周期地震動シミュレーションについて述べる。

3.1 解析手法と地盤構造モデルの推定

(a) 解析手法

長周期地震動のシミュレーションには、理論的手法である離散化波数法 (Bouchoan, 1981), 反射透過係数法 (Kennett and Kerry, 1979) を利用した。すべり速度関数は、Smoothed ramp functionを使用した。解析の対象地点は、強震動を観測した宮城県と福島県に設置されたKiK-net観測点6点 (MYGH04 (東和)、MYGH06 (田尻)、MYGH08 (岩沼)、FKSH09 (郡山)、FKSH12 (平田)、FKSH19 (都路)) とした。

(b) 地盤構造モデルの推定

長周期地震動シミュレーションで必要となる地盤構造は、小地震記録を利用して同定した。表1に地盤構造の同定に利用した地震の諸元を、図4に長周期地震動シミュレーションの対象観測点と地盤構造の同定に利用した地震の震央図を示す。

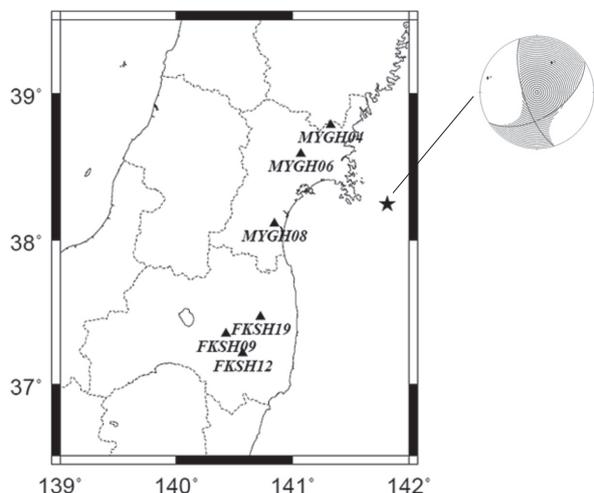


表1 地盤構造の同定に利用した小地震の諸元

震源情報 (気象庁) 緯度経度、深さ	38.247, 141.815, 58.2km
震源メカニズム (F-net) str : dip : rake	162/57 : 71/53 : 39/156
地震モーメント (F-net)	1.21e + 17 Nm

図4 対象観測点と地盤構造の同定に利用した地震の震央図

地盤構造の初期モデルは、以下のように設定した。

- ①ごく浅い部分の地盤構造モデル：KiK-netのボーリングデータ
- ②5km以浅の浅部地盤構造モデル：防災科学技術研究所報告書記載の地盤構造モデル
- ③5km以深の深部地盤構造モデル：Wu et al. (2008)

以上のように設定した初期地盤構造モデルと、小地震の観測波形と、解析波形の比較により、焼きなまし法を利用して最適な地盤構造モデルを求めた。最適モデルは、式(1)の評価関数Em (misfit)が最小となるモデルとした。

$$Em(\text{misfit}) = \sum_{\text{component}} \left\{ \frac{\sum_t (u_{\text{obs}} - u_{\text{syn}})^2}{\sqrt{\sum_t u_{\text{obs}}^2 \times \sum_t u_{\text{syn}}^2}} \right\} \quad \text{式(1)}$$

なお、解析パラメータと範囲は、深さおよびS波速度：初期モデルの±60%、P波速度および密度：初期モデルの±60%とした。

また、地盤構造の同定は以下のように実施した。

Step1：主に観測記録と計算波形の位相のフィッティングを目的として、深部地盤構造の同定を実施

Step2：観測記録と計算波形の振幅と位相のフィッティングを目的として、浅部地盤構造の同定を実施

3.2 2005年宮城県沖地震における観測波形の再現

同定した地盤構造の確認および長周期地震動シミュレーションの確認として、Kurahashi and Irikura (2013)において経験的グリーン関数として利用されている2005年宮城県沖地震の解析を実施した。図5にシミュレーションに利用したSuzuki and Iwata (2007)によるSMGA震源モデルを、図6に観測波形と計算結果の比較図を示す。2005年宮城県沖地震は、波形に2つの波群がみられ、それに伴いSuzuki and Iwata (2007)のSMGAも2つ存在するが、本研究での計算波形でも、観測波形にみられる2つの波群が再現できていることがわかる。

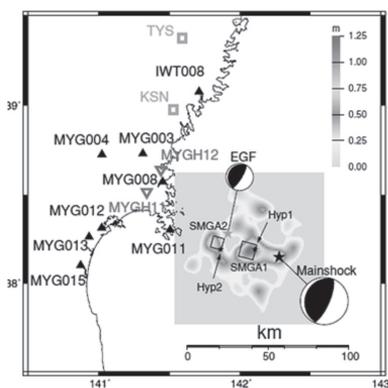


図5 2005年宮城県沖地震の震源モデル (Suzuki and Iwata, 2007)

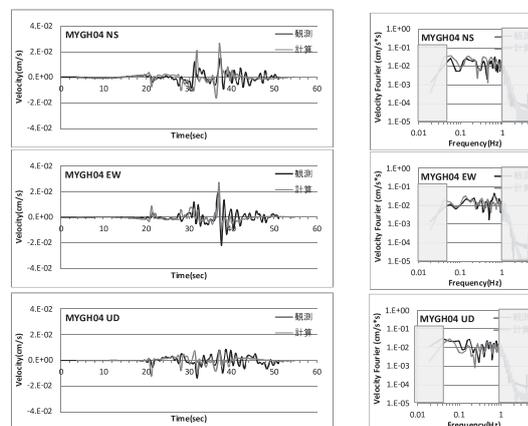


図6 (左図) 観測波形 (太線) と計算波形 (細線) および (右図) 観測 (太線) と計算フーリエスペクトル (細線) の比較図

3.3 2011年東北地方太平洋沖地震における観測波形の再現

最後に2011年東北地方太平洋沖地震の長周期地震動シミュレーションを実施した。図7に観測波形と計算波形の比較図を、図8に観測と計算フーリエスペクトルの比較図を示す。計算波形は、位相、振幅とも概ね観測波形と一致することが確認できた。計算フーリエスペクトルを見ると、0.05Hz以上は観測スペクトルとよく一致するが、それ以下、すなわち20秒以上の長周期成分では、観測が大きくなり計算波形は過小評価となることがわかった。このことは、SMGAから放出された地震動は、0.05Hz以上であり、それ以下の長周期成分は放出されていないことを意味する。

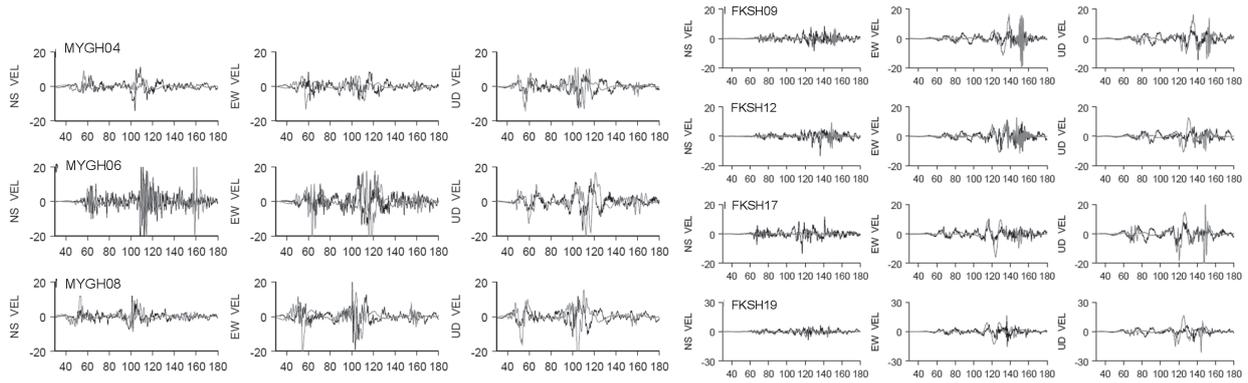


図7 観測波形（黒）と計算波形の（灰）の比較図

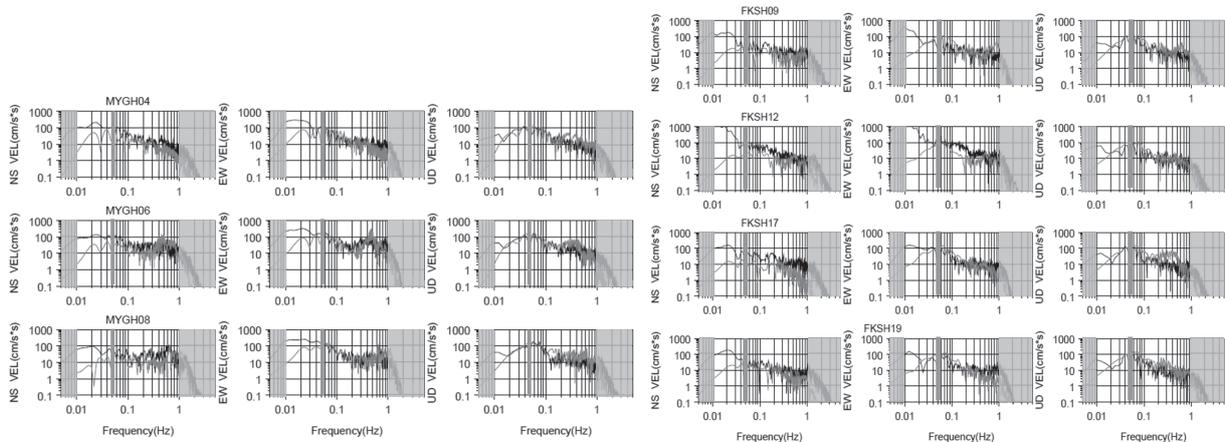


図8 観測波形（黒）と計算波形の（灰）の比較図

4. まとめ

本研究では、Kurahashi and Irikura (2013) の SMGA の震源モデルによる長周期地震動のシミュレーションを実施した。Kurahashi and Irikura (2013) の SMGA のモデルは、理論的手法による解析結果からも観測記録を再現できるモデルの一つであることが確認できた。この SMGA モデルでは、20 秒より長い周期成分は、十分に再現できないことを確認した。

参考文献

Kurahashi, S. and K. Irikura, “Short-Period Source Model of the 2011 Mw 9.0 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 103, No. 2B, pp. 1373-1393, 2013.

Suzuki, W. and Tomotaka Iwata, “Source model of the 2005 Miyagi-Oki, Japan, earthquake estimated from broadband strong motions”, *Earth Planets Space*, 59, pp. 1155-1171, 2007.

Bouchon, M., “A Simple Method to Calculate Green’s Functions for Elastic Layered Media”, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 71, pp. 959-971, 1981.

Kennett, B. L. N. and Kerry, N. J., “Seismic waves in a stratified half space”, *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 57, pp. 557-583, 1979.

Suzuki, W., S. Aoi, H. Sekiguchi and T. Kunugi, “Rupture process of the 2011 Tohoku-Oki mega-thrust earthquake (M9.0) inverted from strong-motion data”, *Geophys. Res. Lett.*, 38, 2011.