

# 動のおよび擬似動的震源モデルに基づく強震動予測

## Ground Motion Prediction Using a Dynamic/Pseudo-Dynamic Approach

# 三宅 弘恵[1]; Mai Martin[2]; Guatteri Mariagiovanna[3]; Beroza Gregory[4]

# Hiroe Miyake[1]; Martin Mai[2]; Mariagiovanna Guatteri[3]; Gregory Beroza[4]

[1] 東大・地震研; [2] ETH Zurich; [3] Swiss Re; [4] Stanford University

[1] ERI, Univ. of Tokyo; [2] ETH Zurich; [3] Swiss Re; [4] Stanford University

近年、強震動予測のための震源モデルとして、動力的な震源モデルが取り入れられるようになってきている。破壊の力学にもとづいた断層運動の表現は、地表地震断層と伏在断層の違いや、逆断層の性質、断層の幾何形状が破壊伝播に与える影響を見積もるうえで重要であり、有効な地下構造モデルを組み込んだ波形計算を行うことによって、地震動の解釈がより深まることが期待される。

動力的な震源破壊の計算を行うには、各々の小断層の摩擦構成則を仮定する必要がある。先見的に、深さ依存性を考慮した摩擦構成則のパラメータを与えて計算が行われる場合もあるが、我々は、想定した主断層面のすべてがほぼS波速度を超えないような速度で破壊が伝播し、かつ既往の波形インバージョンの知見から得られた不均質性をもつ最終すべり分布が再現される動的震源モデルの構築を目指す、という立場をとる。上記の条件を満たす摩擦構成則をすべての小断層に対して推定するには、膨大な試行錯誤の計算が必要となる。

このような背景をもとに、動力的な震源モデルの特徴を生かした運動学的な震源モデルの記述方法として「擬似動的(Pseudo-Dynamic)震源モデル」が提案されている(例えば Mai et al., 2001; Guatteri et al., 2003a)。擬似動的震源モデリングとは、動的震源計算で確認された理論式と経験式をもとに、最終すべり量・静的応力降下量・破壊エネルギー・破壊開始時刻・最大すべり速度・ライズタイム・強震動パルス幅といった一連のパラメータを、摩擦構成則にしたがう断層破壊の計算を行うことなく導出する方法である。地震動計算に必要なすべり速度関数の時空間変化は、最後の4つのパラメータで表現される。具体的な手順(Guatteri et al., 2003b)を次に示す。

(a) 最終すべり分布：数多くの波形インバージョンの不均質なすべり分布を調べた結果、特徴として見出された、von Karman型の自己相関関数フィルターを適用したk-square波数スペクトル分布(Mai and Beroza, 2002)を最終すべり量として与える。このとき相関距離にはマグニチュード依存性をもたせる。

(b) 静的応力降下量：最終すべり分布の空間微分値を静的応力降下量とする(Andrews, 1980)。

(c) 破壊エネルギー：動的震源計算から得られた経験式にもとづき、破壊進展を司る破壊エネルギーを、静的応力降下量と震源からの距離 $r$ の積の関数として表現する。

(d) 破壊開始時刻：静的応力降下量、破壊エネルギー、震源からの距離を用いて表現される crack resistance 値を介して、Andrews (1976)の定式化に沿って破壊伝播速度を推定する。

(e) 最大すべり速度：Day (1982)に従い応力降下量の関数として推定する。ここでの応力降下量として、静的応力降下量と breakdown stress drop の0.6倍のいずれか大きい方の値を採用することとする(Guatteri et al., 2003b)。

(f) ライズタイム：slip-weakening 摩擦構成則を想定した際の動的計算に従うように、断層端部からの healing が到達する時刻と破壊開始時刻の差をライズタイムとする。

(g) 強震動パルス幅：強震動の生成は、最大すべり速度とすべり速度を構成するパルス幅に影響されると考える。ここでは小断層における約半分のすべりを強震動の生成にあてる(Miyake et al., 2003a)。パルス幅は、ライズタイムと断層のアスペクト比を反映したカップリング係数  $c$  の積として表現する。

M7クラスのシナリオ地震に対して擬似震源モデルを構築し、0.1-10Hzの周波数範囲で地震動計算を行った結果、動的震源モデルを入力とした場合と似通った波形・応答スペクトルが得られることを確認した(Miyake et al., 2003b)。擬似動的震源モデリングでは、たとえすべり分布と静的応力降下量の分布が同一であっても、破壊開始点を移動させることによって、破壊エネルギーの分布が変化する。破壊エネルギーは(d)以降のパラメータの推定に強く影響しており、すべり量のやや大きい領域に破壊開始点を配置した場合、ライズタイムが小さい個所で最大すべり速度が大きな値を示す傾向が見られ、試算される震源ごく近傍の波形には、従来の経験式を上回る偏差がみられることがわかった。この手法を高周波数側で実用的に運用するためには、すべり速度関数の立ち上がり部分のモデル化をさらに進めることが重要である。