

動的境界積分方程式法への階層型行列法の適用と、現実の断層系の摩擦強度推定への展望

boundary integral equation method of dynamical elastic problems accelerated by H-matrix method, and its suggesting application to frictional properties of real fault systems

*佐藤 大祐¹、安藤 亮輔¹

*Daisuke Sato¹, Ryosuke Ando¹

1. 東京大学大学院理学系研究科

1. Graduate School of Science, University of Tokyo

近年、地震科学の発展に伴って、実際の断層破壊がどのような物理プロセスで起こったのかをシミュレートできるようになってきた。このフォワードモデリングの一つの重要な特質は断層の摩擦強度推定にある。現状の地震科学では余震は本震の遅れ破壊として理解されており [たとえばDieterich, 1994]、また前震の遅れ破壊として理解される本震も少なくない。たとえば2016年熊本地震では、前震のおよそ1日後に本震が起こった。これらの摩擦強度が介在するような、応力だけでは理解できない地震間相互作用を議論する際に、フォワードモデリングが大きく役立つと期待される。

一方で、内陸断層などで見られる非平面的な断層形状の取り扱いがシミュレーションのコスト問題を生じている。フォワードモデリングにおいては、断層破壊先端の応力発散を高精度に取り扱える高精度解法として、地震学では境界積分方程式法が標準的に用いられている。現状、多くのシミュレーション例で採用される傾斜角90度の平面的な断層形状に比した時に、非平面断層は境界積分方程式法のコスト増加が著しい。そのコスト比は大まかに言って境界要素数 N に比例し、現状の大規模シミュレーションでは N はおおよそ数千から数万である。この極端なコスト増加のため、内陸断層などの複雑な断層形状を持つ系のフォワードモデリングは、未だ地震科学の大きな課題として残されている。

このコスト問題を解決するために、我々は動的な境界積分方程式法に高速領域分割法 (FDPM) [Ando, 2016] と階層型行列法 (H行列法) [Hackbusch, 1999] とを適用する新しいアルゴリズム、FDP=H-matrix法を開発した。本発表では、このアルゴリズムの概要とその適用例を示すとともに、断層摩擦推定への示唆を議論する。FDP=H-matrix法は、理論上応力畳み込みの計算量とメモリコストが $N \log N$ のオーダーで抑えられる手法であり、非平面に適用可能でありながら従来の平面断層のスペクトル法よりも低コストであるなど、従来の境界積分方程式法のコスト問題を解決に向かわせるアルゴリズムと言える。FDP=H-matrix法は、応力積分核を P,S波、近地項、永年項へと分割するFDPMを活用している。それゆえ、インパルス的な波による境界要素間の相互作用の処理を効率的に扱え、従来のH-matrix法のみでは達成し得なかったメモリ軽量性・演算高速性を備えている。このアルゴリズムによって、内陸断層に見られるような複雑断層でのより詳細な断層破壊をシミュレートできるようになるだろう。

キーワード：断層のフォワードモデリング、動的境界積分方程式法、階層型行列法

Keywords: fault forward modeling, dynamical boundary integral equation method, Hierarchical matrix method