

地震発生サイクルシミュレーションのための FEM による粘弾性不均質媒質中でのすべり応答関数計算

FEM calculation of slip response functions in a viscoelastic heterogeneous structure for earthquake generation cycle simulations

兵藤 守[1]; 堀 高峰[2]; 平原 和朗[3]; 飯塚 幹夫[4]; 大石 善雄[5]; 宮村 倫司[6]; 金井 崇[7]

Mamoru Hyodo[1]; Takane Hori[2]; Kazuro Hirahara[3]; Mikio Iizuka[4]; Yoshio Oishi[5]; Tomoshi Miyamura[6]; Takashi Kanai[7]

[1] 地球シミュレータセンター; [2] 海洋センター・固体地球フロンティア; [3] 名大・環境・地球惑星; [4] 高度情報; [5] (株)リンクス・リセウム; [6] 日大・工; [7] 慶大・環境

[1] ESC; [2] IFREE, JAMSTEC; [3] Environmental Studies, Nagoya Univ.; [4] RIST; [5] Lynx Lyceum Inc.; [6] Nihon Univ.; [7] Fac. Env. Info., Keio Univ.

我々は、地球シミュレータ (ES) を利用し、西南・中部日本の内陸・プレート境界の地震発生予測を目標として、滑り速度・状態に依存した摩擦則に基づいた地震発生シミュレーションを行っている。プレート境界面での滑りの時間発展については、滑り速度・状態に依存した摩擦則を仮定、加藤・平澤タイプの境界要素法ベースの手法を拡張して用いている (詳しくは、堀 他, 本合同学会)。この手法において、これまで、プレート境界面上のサブセル間相互作用は、Okada (1992) による均質弾性媒質中での食い違い (dislocation) に対する内部応力の解析的表現を使って表されてきた。しかしながら、内陸地震の発生 ($10^3 \sim 10^4$ 年) を含めたタイムスケールでは、下部地殻・上部マントル物質による粘弾性不均質構造による応答を本質的に無視することはできない。このため、(財) 高度情報科学技術研究機構 (RIST) が主体となって開発した有限要素法コード GeoFEM を用い、不均質媒質の応答を考慮してサブセル間の相互作用を記述する。これは、計算されたプレート境界での滑り履歴を、運動学的に境界条件として与え、地殻変動を計算・データと比較することにより結果の評価を行う部分 (dislocation 解析) でも重要になる。下部地殻・上部マントルの物性としては、封圧に対しては弾性的に、偏差応力に対しては指数関数的に緩和するマクスウェル粘弾性媒質を使用する。また、サブセルでの変位の食い違い (dislocation) の記述には、分割節点法 (Melosh and Raefsky, 1981) を採用している。

本発表では、GeoFEM 部分でのモデル生成・すべり応答関数計算/境界要素法パートへのデータ受け渡しについて詳細を発表する。

FEM モデル生成および細分割

プレート境界・モホ・コンラッド面形状データを元に、理化学研究所の CHIKAKU プロジェクトで開発された CHIKAKU CAD/CHIKAKU MESH を使って大規模な有限要素法モデルを生成する。駿河～南海トラフでのプレート境界地震発生を対象とするシミュレーションの場合、サブセルを $1 \times 1 \text{ km}$ とすると、プレート境界全体を、 200 (深さ方向) $\times 1000$ (走向方向) 10^5 オーダーのセルに分割、それらの相互作用を計算しなければならない。サブセル上のすべり応答関数を有限要素法によって精度よく計算するためには、dislocation を与えるセル近傍での FEM メッシュ分割を数 100 m 程度に細かく分割する必要がある。これに対し、滑りを与えるサブセルから数セル離れた部分では、応力値は滑らかに減衰し、dislocation を与えるセル近傍ほどの細かなメッシュ分割を必要としない。このため、計算効率を考え、プレート境界面を 1 km グリッドに分割したリファレンスとなる疎メッシュを生成、滑りを与えるサブセル近傍のみを局所的に細分化し、すべり応答関数計算を行う。

すべり応答関数の受け渡し

南海トラフを想定すると、局所メッシュ細分割・応力応答関数計算を多数回 (10^5) 行う必要があり、出力されるデータは、弾性応答のみであっても、 $105 \times 105 \times 8 \text{ B}$ 100 GB と膨大な量になる。また、境界要素法部分では、タイムステップ可変のルンゲクッタ法を用いるため、連続的な関数形のすべり応答関数を受け渡す方が望ましい。このため、GeoFEM 計算によって出力される時間的に離散的なすべり応答関数を非線形最小二乗法により、複数の緩和関数の重ね合わせ ($A_e + A_i \{1 - \exp(-t/\tau_i)\}$) によってフィッティングを行い、係数 (A_e, A_i, τ_i) のみを受け渡すルーチンを生成した。平面断層のケースでは、せん断応力の弾性応答 (A_e) と比較すると、粘性緩和による変動の振幅 (A_i) は小さいが、緩和関数を最大 3 つ採用することにより、応力緩和曲線をうまくフィッティングすることができる。