

## 論文の内容の要旨

本論文では、大地震が発生してから次の地震が発生するまでの期間における、沈み込み帯の挙動を評価するための数値計算手法を開発し、これを日本の東海地域に適用する。本論文で提案する地殻の数値モデルは、力学と地震学の視点から、様々な重要なパラメータを考慮しており、この点に関して、他の手法にない新しい研究であると思われる。

大地震が発生してから次の地震が発生するまでの期間では、地殻のある深さの領域では固着しているが、それよりも浅い部分と深い部分ではプレート間の固着が剥れ、定常的な滑りが進行していると考えられている。東海地域では、近年の高密度 GPS 測地データや、従来の潮位などの測地データを利用することで、逆解析により、フィリピン海プレート（沈み込み側）と大陸プレートの境界における固着強度の空間的な分布を、詳細に調べることができる。本研究では、準静的な状態を仮定して、最小二乗法から導かれる逆問題の標準的な方程式を解くことにより、二つのプレート間境界での滑りベクトルを推定する。

地殻変動における沈み込み帯の挙動を逆解析する場合、これまでに解析的な手法が多く使われていたが、解析的な手法には、いくつかの限界がある。その重要な限界の一つは、沈み込み帯の滑りを、一様媒体もしくは半無限均質媒体における、四角形の平面上の均一滑りと仮定することである。実際には、震源域はより複雑であり、一様すべりを仮定したモデルでは、滑りの一次近似を表現しているに過ぎない。他にも、解析的手法の限界としては、材料特性では等方性や均質性があり、また、半無限媒体を用いる場合では、地表面を平らとし、地勢は考慮されない。

一方、有限要素法（FEM）では、沈み込み帯における複雑な境界面の形状や、媒体における材料特性の空間的な不均一性を扱いやすい。また、FEM は、多様な震源形状や地勢、地質構造を考慮することができる。

本研究の新しい点の一つは、FEM を用いて Green 関数行列を評価することである。これにより、これまでに行われた解析的な手法の全ての限界を克服することができる。言い換えれば、本手法の Green 関数は、プレート境界面の形状の関数であるのみならず、テクトニック力や境界における遠方領域の取扱い、領域の地勢、地質構造等のような、これまでの解析的な手法では考慮されなかったパラメータの関数でもある。

本 FEM プログラムでは、対応する様々な境界条件や幾つかの異なる 2D と 3D の有限要素を考慮している。また、局所的にメッシュを細かくすることができるので、これにより好みの分解能を持つメッシュを作成することができる。これは、特に、地殻モデルの浅い領域において、細かなメッシュを作成するのに便利である。さらに、本プログラムは並列化できるので、巨大な数値モデルに対しても適用できる。

FEM は連続体を基礎とするので、本手法では、断層の滑りを表現するために、簡便で効率的な Split Node Technique を用いる。この方法は、自由度を増加することも無いし、等方性要素を用いる場合において、要素にモーメント力が加わらない。さらに、本手法は、接触問題で用いられる方法や、ジョイントエレメント等のような手法に共通した特性である、繰り返し計算を必要としない Split Node Technique の概念は、従来 1D の問題において用いられていたが、本研究では、これを 2D、3D の問題へ発展させている。

大陸プレートの側面の境界条件は、すべて剛性定数が未定のバネとし、一種の擬似境界条件を表現することを試みる。もし、バネの剛性定数をゼロとすれば、対応する自由度は自由端となる。一方、剛性定数が無限大であれば、その自由度は固定端となる。本手法では、これらの剛性定数は、数値モデルから得られる地殻の地表面の変位パターン等が妥当であるように逆算される。

フィリピン海プレートと太平洋プレートの固着と、太平洋プレートの西方への動きが、フィリピン海プレートの動きの主な原因であると考えられている。これらの要因は、フィリピン海プレートの側方のノードに力が未定であるテクトニック力を加えることにより考慮する。このテクトニック力も、境界条件におけるバネ定数と同様に、逆解析により、適切な値が推定される。

他の一般的な逆解析の問題としては、係数行列の特異性がある。この問題は、特に、自由度の数が多岐にわたるほど危機的になる。アルゴリズムとしては、計算結果を出力するが、その結果である滑りベクトルは間違った結果となる。たとえ、この滑りベクトルを元の方程式に代入し、それから得られる自由表面での変位が妥当である場合でも、間違った滑りを得ることがある。特異値分解を用いることで、何が問題であるかを正確に判断することができ、また、幾つかのケースでは、特異値分解により問題を判断するだけでなく、その問題が解ける場合もある。

本研究の主な成果の一つとして、近い将来に起きると考えられている東海地震の固着域を推定する。さらに、微小地震の発生パターン等と比較することで検証を行い、本研究において提案される手法が妥当であることを示す。