

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 ハジ ナセル

本論文は、プレート沈み込み帯において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、プレート境界近傍の挙動を評価するための数値計算手法について包括的な考察を行い、さらにパイロットプログラムを作成し、これを我が国の東海地域に適用したものである。

プレート沈み込み帯の地震発生から次の地震発生までの期間では、下盤側プレートの沈み込み運動に伴って、上盤側プレートは引き込まれ、ひずみエネルギーを蓄積して次の地震の準備をする。この接触問題は複雑であるが、プレート境界のある深さの領域では二つのプレートは固着し、それより浅い部分およびそれより深い部分ではプレート間の固着が剥れ定常的クリープ的なすべりが進行していると考えられている。この現象の理解なかならず固着域が同定できれば、地震予知のための集中観測をトリガーでき、強震動の精密予測を可能にし、さらに地震の短期予知を可能にするため、重要な研究課題となっている。

この解析の基本となるのは、推定対象であるプレート境界すべりと、観測データである地殻変形を関係づける Green 関数の計算である。適当な Green 関数が得られると標準的な逆問題を解くことにより、プレート境界でのすべりを計算できる。本論文で提案された地殻の準静的な運動の Green 関数は、3次元有限要素法を基礎とするもので、力学と地震学の視点から見て重要なパラメータを網羅的に考慮しており、これまでに提案されたモデルと比較しても包括的なものである。

またこのモデルを東海地域に適用して、近年の高密度 GPS 測地データを用いた逆解析により、フィリピン海プレート(沈み込み側)とユーラシアプレートの境界における固着強度の空間的な分布について検討を加え、微小地震の震源分布、震源メカニズムおよび主応力方向の分布等との照合を通して、本研究において提案される手法の妥当性を検証している。これは現時点では完全なものとは言えないが、さらに多様なデータを織り込むことにより、当初の目標を達成できる見通しがつけられている。

プレートの沈み込み運動を含む地殻変動の Green 関数の計算においては、これまで多くの場合、解析的な公式が使われてきた。しかしこの方法では、計算の制約の故に、地殻は一様な半無限弾性体とされ、地表面の形状は考慮されなかった。またプレートの相対すべりは、平面境界上の均一すべりと仮定された。これらの単純化の誤差は大きく、そのため逆解析の結果も分解能が悪く、定量的な議論は困難であった。これに対して有限要素法を用いる場合には、沈み込み帯における境界面の形状の複雑さ、地殻物質の空間的な不均一性、多様な震源形状などを一括して考慮できる。しかし、この方法にはいくつかの特有の問題が存在するのであって、これを如何に克服するかが本研究の主要な問題になる。

まず本研究の有限要素生成法によれば、容易に局所的にメッシュを細かくすることができ、これにより所要の分解能を持つメッシュを作成することができるが、これは表層地殻の不均質性に対応するために効果的である。また、本プログラムは並列化されるの

で、巨大な数値モデルに対しても適用できる。

境界条件としては、未定剛性バネの概念を使って、一種の擬似境界条件を表現することを試みている。この方法では、剛性定数が未定のバネを、大陸プレートの側面の境界上に配置し、その剛性定数は、モデルの出力である地表面地殻の変位パターンの妥当性から逆算される。プレートの駆動力やマンツルの対流は、プレートの側方の節点にテクトニック力を加えることにより考慮する。未知数であるテクトニック力やバネ要素の剛性定数は、逆解析の結果として得られる。

断層の滑りを記述するためには、簡便で効率的な Split Node Technique を導入している。この方法は、自由度を増加することがなく、他の手法と違って、繰り返し計算を必要としない。Split Node Technique の概念は、従来 1 次元の問題において用いられていたが、本研究では、これを 2 次元および 3 次元へ拡張している。

本論文では、沈み込み帯における滑りベクトルの評価は、準静的な状態を仮定して、最小二乗法により行うが、逆解析に宿命的な問題として係数行列の特異性がある。この問題は、本研究のように自由度の数が多き場合には重大になり、計算結果が正常に出力されて、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、結果であるすべりベクトルは間違つた結果となる。そこで本研究では特異値分解を用いることにより、特異性の由来を判断したり、場合によってはその問題が解ける場合もあることを示している。さらに本研究では、係数行列の特異性を避けるために、地表面の変位に対して敏感なすべりベクトルの配置を見つけるための新しい手法や幾つかの拘束条件を導入している。

以上のように、本論文は、プレート境界すべりと、地殻変形データを関係づける Green 関数を、3 次元有限要素法によって計算し、適切な逆問題を解くことにより、プレート間境界でのすべりを推定できるようにしたものであつて、ここで提案された地殻の準静的な運動の Green 関数は、重要なパラメータを包括的に考慮している。またこのモデルを東海地域に適用して、近年の高密度 GPS 測地データを用いた逆解析により、フィリピン海プレート(沈み込み側)とユーラシアプレートの境界における固着強度の空間的な分布について検討を加えている。これによって、プレート境界地震の予知、強震動の精密予測の必須要件である固着域の同定手法の構築に大きく寄与するものとなっている。

よつて本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。