

## 汎用有限要素解析ソルバーを用いた断層運動に伴う地殻変動の計算

### Calculation of crustal deformations by a fault movement with the multipurpose FEM solver

# 中村 浩二[1], 原田 智史[1], 伊藤 秀美[2], 長島 揚一[3], 石川 裕一[3]  
# Koji Nakamura[1], Satoshi Harada[2], Hidemi Ito[3], Yoichi Nagashima[4], Yuichi Ishikawa[4]

[1] 気象研, [2] 気象研・地震火山研究部, [3] CTC  
[1] M.R.I., [2] MRI,JMA, [3] Seismology and Volcanology Research Dep., M.R.I., [4] CTC

汎用の有限要素ソルバーで断層運動による地殻変動の数値計算を精度良く行う方法を開発した。弾性の静解析の場合には、計算ステップを二つに分割する。第一の計算ステップは、断層運動の単純な強制変位の境界条件として与えて計算する。第二の計算ステップでは、第一のステップの結果得られた力の場を境界条件として与え、断層は固定した状態で計算を行う。これら二つの計算結果を重ね合わせて、計算結果を得る。結果は解析解との比較で良好な結果を得ている。

#### 1. はじめに

断層運動に伴う地殻変動の計算については、均質な半無限弾性体の場合については岡田(1992)の解析解に基づく手法がよく用いられている。しかしながら、実際の地下構造は不均質であるため解析解は一般には利用できず、有限要素法等の数値的手法による必要がある。

断層面は通常の境界ではない。たとえば、変位境界とすると断層面上・下面のずれを変位条件として与えなければならないが、一般的にそのようなベクトルは既知ではない。断層面を取り扱う方法として面上の節点を分割する(Melosh & Raefsky, 1981)あるいは面上に等価な力を配置するなどがある。しかしながら、いずれもプリポストに組み込まれた汎用ソルバーにとって使い易いものではない。前者は剛性マトリックスの断層面上の節点に関わる成分を知る必要があり、後者では力の特異性の問題がある。

#### 2. 方法

我々は断層運動の問題に与えられている条件を二つに分解し、それぞれの条件で弾性の解析を行い、その結果を合成することによって、断層運動による地殻変動を計算する方法を開発した。

条件の一つは、断層面に沿った変位ベクトル(断層の上・下面で同じ大きさで向きは反対)を強制変位とした弾性の計算。

条件の二つめは、の結果、節点にかかっている力を、力の場の条件として与え、断層面はMPC(多点拘束)で固定して弾性の変形を計算する。

そして、との差が求める結果を与える。

#### 3. 結果

下記のような条件で計算を行い、今回の有限要素法を用いた数値計算の結果と、解析解にもとづいた結果を比較した。有限要素モデルは断層の近傍ではメッシュサイズが10~20mくらいになるよう、メッシュコントロールを行った。有限要素メッシュ数は30,400個、節点数は33,624個。また、モデル作成と計算・解析にはプリポストMSC/PATRANおよびソルバーADVANCED/FEAを使用した。

材料物性：一様等方弾性体(剛性率 $3.0 \times 10^{10}$ Pa, ポアソン比0.25)

断層要素：縦横200m, dipが15度、断層の深さ2500m。1mの逆断層運動。

結果の比較は、断層面を含む平面(15度の傾きを持った面)で行った。

ひずみの分布の定性的なパターンはよく一致している。定量的には、断層を形作る転位線では計算が不安定になるが、それをのぞけば断層面の中心部分ではほぼ一致し、中心を離れた部分でもその差は10%以内に納まる。また、断層面以外の部分でもそのひずみの大きさが大きい部分では10~20%に納まっている。断層面から大きく離れた場所では差が大きくなるが、これはメッシュサイズが粗いため計算精度も低下していると考えられる。このような場所では断層運動の影響自身が小さくなり歪の大きさも小さくなっているため、プレートの沈み込みのシミュレーションに応用する場合には実質的に問題はない。

#### 4. 今後

以上は、弾性解析の場合であるが、この方法を粘弾性を考慮に入れた粘弾性解析に拡張する予定である。