

## 断層深部における非線形流動解析ソフトの開発

Development of simulation software for non-linear deformation and slip processes at the deeper part of the seismogenic zone

# 柄谷 和輝[1], 芝崎 文一郎[2], 飯尾 能久[3], 鷺谷 威[4], 堀川 晴央[5], 奥田 洋司[6]

# Kazuteru Garatani[1], Bunichiro Shibasaki[2], Yoshihisa Iio[3], Takeshi Sagiya[4], Haruo Horikawa[5], Hiroshi Okuda[6]

[1] CRC, [2] 建築研・国際地震工学部, [3] 京大・防災研, [4] 地理院・研究センター, [5] 産総研 活断層研究センター, [6] 横国大・工・生産

[1] CRC, [2] IISEE, BRI, [3] DPRI, [4] Research Center, GSI, [5] Active Fault Research Center, GSJ/AIST, [6] Dept. of Mech. Eng., Yokohama National Univ.

<http://www.crc.co.jp/>

【はじめに】陸域震源断層深部で、延性せん断帯がどのように形成されるのか、塑性不安定がどのように開始し、成長するのかが大変重要な問題である。下部地殻では、高温のために、転位クリープなどの非線形流動が卓越すると考えられる。これまでの地震発生過程のモデル化の研究においては、線形粘弾性のみ考慮されてきたが、より現実的な断層深部における変形及びすべり過程のモデルを構築するためには、粘性係数が歪み速度に依存する非線形粘弾性解析ソフトの開発が必要である。本研究では、最近になって開発された並列有限要素法解析ソフト GeoFEM に非線形粘弾性機能を追加した断層深部非線形流動解析ソフトを開発する。最終的には、(1) 非線形粘弾性解析機能、(2) 塑性変形解析機能(例えば、クーロン-モール破壊基準)、(3) 大変形解析機能、(4) 単純な構成則の導入、(5) せん断発熱と熱伝導との連成の機能を持たせる予定である。本講演では、(1) 非線形粘弾性解析機能を追加したので、その方法を報告する。

【GeoFEM プラットフォーム】GeoFEM は固体地球の諸現象を解析するためのマルチフィジクス/マルチスケール問題を対象とした並列有限要素法ソフトであり、(財)高度情報科学技術研究機構(RIST)を中核拠点として開発が進められている。システムは、固体地球の諸モデルをプラグイン方式で取り込めるように工夫されており、今回の非線形粘弾性解析機能も、新たな解析モジュールの追加として、GeoFEM プラットフォーム上に構築した。開発をこのような形で行う利点は、システムの共有部分が利用できるために開発工数を減らせることや、同じデータ構造を持つ有限要素モデルの共有等が挙げられる。また、GeoFEM には効率的なソルバや高度な可視化処理機能が準備されており、これら全てについて必要に応じて並列計算が可能なことも、将来的に大規模な計算が必要になったとき、大きな利点となる。

【非線形粘弾性解析機能】非線形粘弾性問題を有限要素法により増分法で解析する場合、粘性変形を陽に決める否かによって、陽解法と陰解法の2つの手法がある。陽解法は定式化が容易なために組込みが簡単で1増分あたりの演算量や必要とする記憶容量も少ない。しかし、時間増分に安定限界があるため、一般に多くの増分ステップを必要とする。これに対して、陰解法はこの逆の性質を持ち、演算量や記憶容量は多いが、安定で解析精度に優れている。陽解法と陰解法は、単純な方法で細かい時間増分を用いるか、解法を工夫して大きな時間増分を得るかという数値計算上の戦略の違いと捉えることもでき、問題の性質によって手法を選択することになる。本研究では、非線形粘弾性解析ソフトとして、陽解法と陰解法の2つの方法を組み込み、まず、その演算効率と精度について検討した。得られた知見としては、陽解法は時間増分の安定限界に関する制限が厳しく、べき乗型の粘性則で応力が高い場合、時間増分が極端に小さくなるため、実用的でない場合のあることを示した。

【まとめ】以上、本研究では、陸域震源断層深部すべり過程のモデル化のため GeoFEM プラットフォーム上に、陽解法と陰解法の2つの手法による非線形粘弾性解析機能を整備した。今後は、塑性や大変形、各種構成則の導入、連成解析機能等を整備し、より高精度なモデルによるシミュレーションを実施する。