固体地球シミュレータ GeoFEM の開発（大規模非線形構造解析）

Development of Solid Earth Simulator GeoFEM (Large Scale Nonlinear Structural Analysis)

飯塚 幹夫 [1], 奥田 洋司 [2], 中村 壽 [1]

Mikio Iizuka [1], Hiroshi Okuda [2], Hisashi Nakamura [1]

[1] 高度情報, [2] 横国大・工・生産

[1] RIST, [2] Dept. of Mech. Eng., Yokohama National Univ.

本研究の目的は、大規模な固体地球シミュレーションを目指した非線形構造解析のための並列有限要素法ソフトウェアを開発することである。固体地球は、材料非線形、幾何学的非線形、断層における接触非線形という複雑な力学特性を持つ。現在、これらの非線形解析機能を組み込んだ並列有限要素ソフトウェアの研究開発を実施している。本稿では、これら非線形性のうち特に重要な断層のシミュレーション技術と、その解析例として、材料非線形、重力、断層が混在する3次元場での解析例を示す。本研究成果は、GeoFEMの構造解析サブシステムに組み込まれる。

1・緒言

固体地球は、複雑な力学特性を持つ。それらは、材料非線形、幾何学的非線形、断層における接触非線形である。これら非線形性のなかでも、特に重要なものが、断層における接触非線形である。断層系は複雑なネットワークと複雑な接触形態を持つ。接触非線形は特に強度の非線形性を持ち、その解析は困難なものである。本研究では、接触のモデル化としてこれまでに特に成功してきた node-to-segment model を適用している。また、断層と材料非線形、重力との共存が解析を困難にする。そこで本稿では、断層のシミュレーション技術と、その解析例として、材料非線形、重力、断層が混在する3次元場での解析結果を示す。

2・断層の解析手法

断層を接触問題として解析する。

接触解析を行なう場合、接触条件すなわち、接触面における力の釣り合い式と幾何学的制約条件の拘束、有限要素法上での接触のモデル化を行なう必要がある。接触条件の拘束方法は、penalty法、Lagrangian法、augmented Lagrange法等がある。penalty法は簡便な方法であるが penalty数により解が変わる。また、幾何学的制約条件の拘束を厳密に満たすために大きなpenalty数を用いると、接触の反復ループの収束性、反復法ソルバーを使っている場合はソルバーの収束性が悪くなる。Lagrangian法では、厳密な解が得られるが、未知数が増加し、反復法ソルバーの収束性が悪くなる。augmented Lagrange法では、厳密な解が得られると伴に、マトリクスの条件が改善され反復法ソルバーも適用可能になり、大規模解析に適用可能である。現在、penalty法、augmented Lagrange法が適用可能となっている。有限要素法上での接触のモデル化では、接触する節点を既知として位置を一致させる(A node-to-node contact model) 解析手法、節点と要素面の接触をモデル化する(A node-to-segment contact model)解析手法がある。node-to-node contact modelでは、接触面に接合要素等を入れて通常の有限要素解析と同じように解析できる簡便性がある一方、大滑りに適用出来ない、接触面に対向する面の節点が一致する必要がある等の制約がある。node-to-segment contact modelでは、特殊な接触の離散化モデルを構築する必要があり、ソフトウェア作成が複雑化する。しかし、大滑りに適用可能で、接触面に対向する面の節点を一致させる必要がない等の有利な面がある。現在、node-to-segment contact modelが適用可能である。

3・断層の解析例

断層の解析例として、材料非線形、重力、断層が混在する3次元場での解析を実施した。本解析の目的は、材料非線形、重力、断層が混在する場での解析の可能性を検討することである。モデルは、日本列島近傍の特徴的な3つのプレートの衝突を、重力、材料の非線形性、プレート衝突部分の断層を含む複雑な現象として模擬している。南北1800km、東西1300km、深さ600kmの領域を3つのプレートに分割し、その衝突面に node-to-segment modelの接触モデルを設定した。非線形材料は、Mohr-Coulomb Drucker-Prager modelを用い、重力は 9.8 m/s^2 をかけている。断層の構成式は、node-to-segment modelの接触モデルの有効性を確認することが今回の解析の目的だったので、固着、スリップの2つの基本的条件で計算をした。この例題は、ペナルティ法を用いて接触条件の拘束をかけ、直接法ソルバーを用いて解かれた。モデルの大きさは8217自由度で比較的小さいが、その非線形性は非常に強い。この解析の結果、node-to-segment modelの接触モデルの有効性が確認された。

4・結言

日本列島近傍の特徴的な3つのプレートの衝突を、重力、材料の非線形性、プレート衝突部分の断層を含む複雑なモデルを、node-to-segment modelの接触モデルを適用して解析し、その有効性を確認した。現在、node-to-

segment modelの接触モデルを並列有限要素法へ拡張中である。並列有限要素法へ拡張するためには、GeoFEMで用いている領域分割法への対応、反復法ソルバー利用のためのaugmented Lagrange法の適用研究が必要である。