

ハイパフォーマンスコンピューティングを用いた断層変位評価手法に関する検討

大成建設(株) 正会員 ○園部 秀明 正会員 羽場 一基
 電力中央研究所 正会員 澤田 昌孝
 東京大学 正会員 堀 宗朗

1. はじめに

断層変位に対する原子力施設等の重要構造物の安全性確保は重要な課題であり、対策の第一歩は断層変位の評価である。その評価には数値解析が有効な手法である。断層変位の数値解析手法として、食い違い弾性論の解を境界条件として2次元FEM解析を実施する手法¹⁾等があるが、地盤構造や地殻応力に不確実性が大きいこともあり、必ずしも高い信頼性を得ていない。

原子力サイトは事前の詳細な地質調査が行われるため、地震を引き起こす主断層が施設直下に存在することは考えにくい。そのため、原子力施設に対する断層変位評価は、主断層にずれが発生した場合に、施設直下の副断層(または破碎帯)の断層変位を、不確実性を考慮した上で予測することが目的となる。

本稿では、原子力施設を対象としたハイパフォーマンスコンピューティング(以下、HPC)による3次元断層変位評価手法を説明し、簡易な三次元地盤モデルを用いて試解析を実施する。

2. 断層変位の提案評価手法の概要

本手法では、断層面をジョイント要素で表現した3次元FEMを用いる。3次元解析モデルは一般的に大規模になる。また、様々な入力条件の不確実性を考慮すると、多数回計算により解のばらつきを評価する必要がある。その結果、必然的に計算コストが膨大となるため、HPCの利用が不可欠である。そこで、筆者らは大規模並列FEMコードFrontISTR²⁾に再定式化したジョイント要素³⁾を組み込みHPCによる断層変位評価を可能にする。

計算モデルとして、震源から全てをモデル化することが理想であるが、現状の計算性能では一定の品質を担保する格子サイズで副断層の変位を評価することは難しい。そこで、主断層と副断層を含む地下数kmの領域をモデル化し、主断層にずれ変位を与えた場合の副断層のずれ変位を評価することを考える。このような

評価においては、境界条件により副断層が拘束されないよう注意する必要がある。本手法の評価フローを図-1に示す。まず、主断層のみのモデルに強制変位を与えた解析結果から主断層底部の節点反力を抽出する。その後、強制変位と等価な節点反力を主断層・副断層複合モデルに入力して副断層の断層変位を評価する。

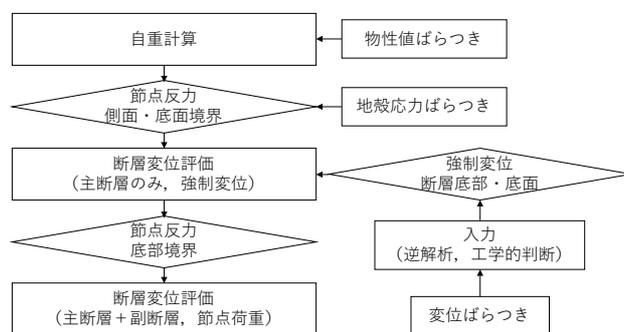


図-1 断層変位評価フロー

3. 解析例

ここでは、簡易モデルを用いた解析例を示す。

3.1. 計算目的・条件

図-2に簡易モデルの概観図を示す。簡易モデルは主断層とそれに接続する分岐断層を含むモデルである。ただし、本評価においては、分岐断層を固定し、主断層にずれ変位が生じた時の分岐断層面上のせん断応力を評価する。この分岐断層面上のせん断応力は、分岐断層のずれ変位の駆動力になると考えられる。

断層面上の摩擦を模擬する構成則として図-3の非線形バネを用いる。このバネは簡易的であるが、数値解析解が必ず存在し、力を少しずつ増大したときにずれ変位が大きく増加する飛び移りが発生するといった特徴がある。岩盤及び断層面の物性値を表-1に示す。ここでは、分岐断層を固定するため、分岐断層のせん断剛性率は十分大きくとる。また、主断層の底部には図-4のような初期ずれ変位を与える。解析は準静的に1ステップ最大0.02mずつ4mまで実施する。

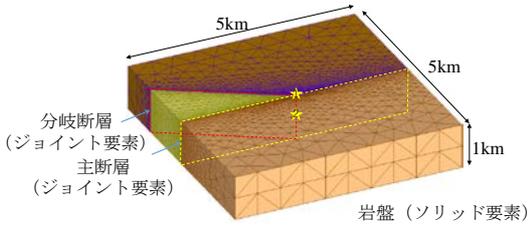


図-2 簡易モデルのメッシュ概観図

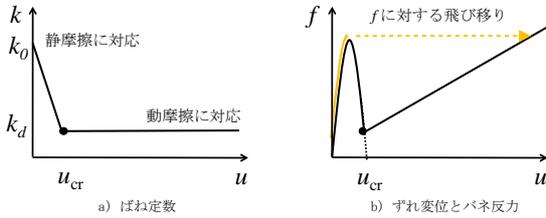


図-3 ジョイント要素の非線形バネ

表-1 物性値

分類	項目[単位]	設定値
岩盤	ヤング率 E [MPa]	1.0×10^4
	ポアソン比 ν [-]	0.25
	密度[kg/m ³]	2.0×10^3
主断層	初期せん断剛性率 k_0 [MPa/m]	1.5×10^2
	動せん断剛性率 k_d [MPa/m]	$k_0/100$
	法線方向ばね定数[MPa/m]	1.0×10^9
	限界すべり量 u_{cr} [m]	0.10

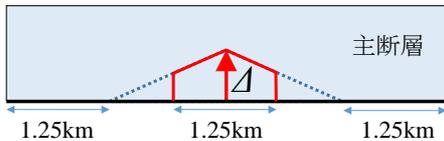


図-4 強制変位の条件

3. 2. 結果

主断層面のずれ変位の伝播を図-5 に示す。それぞれ初期ずれ変位の最大値 Δ が 1m, 2m, 3m, 4m の結果である。これらの結果から、地表面へずれ変位が伝播していることが分かる。また、 Δ が 3m と 4m の間で地表面に急なずれ変位が出現している。図-6 に主断層上の地点 1 と 2 のずれ変位の変化を示す。 Δ が増加していくと、地中の点では徐々にずれ変位が増大していくが、 Δ が小さい場合には地表面にずれ変位は現れない。その後、さらに Δ が増加し、一定値を超えると地点 1, 2 共に急な変位の増加が発生することが分かる。

図-7 に分岐断層面のせん断応力の伝播を示す。コンター図の右側境界が主断層との交線である。これらの結果から、主断層のずれ変位により、分岐断層面にせん断応力が伝播していることがわかる。このせん断応力は分岐断層のずれ変位の駆動力になると考えられる。しかし、図-3 のせん断力のピーク (約 4MPa) を

超える領域は限定的であり、分岐断層のずれは地表面には達しないと考えられる。実際に分岐断層及び副断層のずれ変位の評価については今後の課題である。

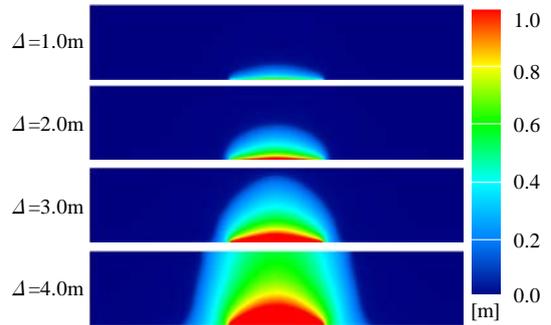


図-5 ずれ変位の伝播過程 (主断層面)

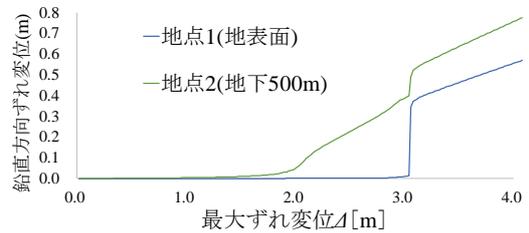


図-6 ずれ変位の変化 (主断層面)

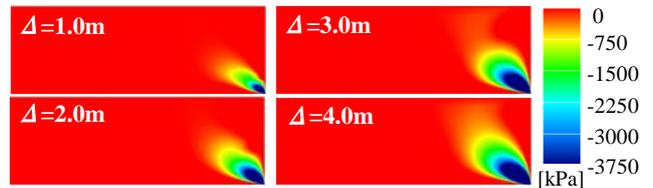


図-7 せん断応力の伝播過程 (分岐断層面)

4. まとめ

本稿では、原子力施設を対象とした HPC による断層変位評価手法を示した。また、簡易モデルを用いて断層面のずれ変位、せん断応力の伝播について検討を行った。今後は提案手法の実現に向けて数値解析の品質保証と実現象との比較を通じ検討を重ねる予定である。

本研究の一部は、経済産業省資源エネルギー庁 発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業(原子力発電所のリスク評価, 研究に係る基盤整備)として実施したものである。

参考文献

- 1) 土木学会原子力土木委員会：断層変位評価小委員会報告書, III-14
- 2) FrontISTR 研究会 HP : <http://www.multi.k-u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/>, 平成 29 年 4 月 3 日閲覧
- 3) 澤田昌孝, 羽場一基, 堀宗朗: 断層変位評価のための数値解析手法の提案と計算力学的検討, 土木学会論文集 A2(応用力学) Vol.72(2016)