

高性能数値解析による断層変位ハザード評価 ー解析手法ー

一般財団法人 電力中央研究所 正会員 ○澤田 昌孝
 大成建設株式会社 正会員 羽場 一基
 東京大学 正会員 堀 宗朗

1. はじめに

大規模な内陸地震が発生すると、地震動だけでなく、地表に生じる断層変位によっても土木構造物が被害を受ける場合がある。断層変位に対する構造物の設計・安全評価を行う場合、構造物近傍の断層の変位を定量的に評価する必要がある(断層変位ハザード評価)。断層変位の予測・評価手法として連続体力学に基づく数値解析がある。

2. 断層変位ハザード評価のための高性能計算

著者ら¹⁾は、断層変位評価のための数値解析プログラムの開発を行ってきた。断層面の変位ー力関係を精度良く計算するため、厳密に導出された高次ジョイント要素およびエネルギー保存に優れたシンプレクティック時間積分を並列有限要素法プログラムに導入した。

図-1のような地盤と断層の連続体モデルを構築し、断層深部で発生する断層面に沿ったずれ変位 Δ の伝播散逸過程を評価することで、主断層および副断層の地表面でのずれ変位 δ を予測する。

断層変位問題のような破壊現象において重要な点は、入力条件の不確かさの影響が大きいことである。破壊現象では、破壊前の解は数理的に安定であるが、破壊により解の安定性が喪失し、破壊後の解は数理的に不安定となる。その結果、ずれ変位の解 δ は破壊が進むにつれてばらつきが大きくなることが予測される。したがって、初期・境界条件や材料物性にばらつきを与え、数値解析によって様々な解を求めることが必須である。なお、 δ の解のばらつきがあまりにも大きくなると予測不能ということになる。そのため、地表断層変位 δ を予測するに先立ち、地表断層変位が発生する入力ずれ変位 Δ_c をまず評価することが重要である。

3. 数値解析例

2014年長野県北部(神城断層)地震を念頭に、簡略化した解析モデルにより解析を実施した。地震時に現れた地表地震断層の北端部の主断層、副断層の観察結果を基に断層を配置した。主断層と副断層はそれぞれ走向が一致し、お互いに対して逆向きに40度傾斜しているとした。解析領域は $5\text{km} \times 5\text{km} \times 1\text{km}$ とし、地形は考慮せず、地層も単層としたモデル化した。地盤は四面体2次ソリッド要素、断層は三角形2次のジョイント要素でモデル化し、自由度数は約73万となった(図-2)。境界条件は、断層の-x側底面を固定し、断層面中央の1.25km

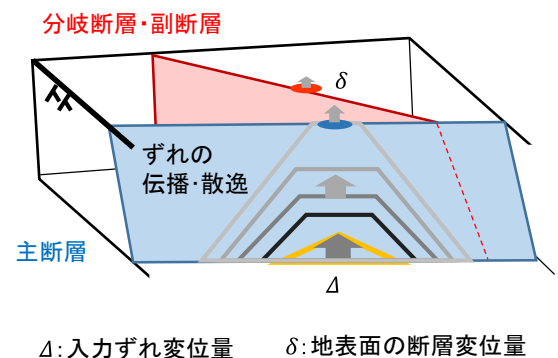


図-1 断層・地盤の連続体モデル

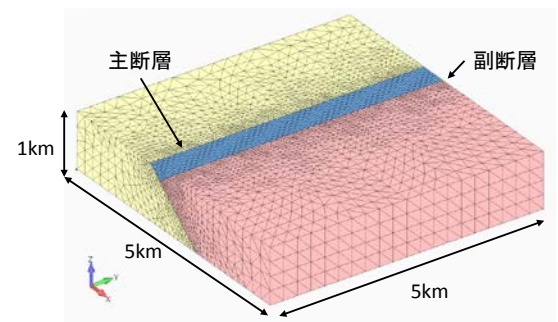


図-2 有限要素メッシュ

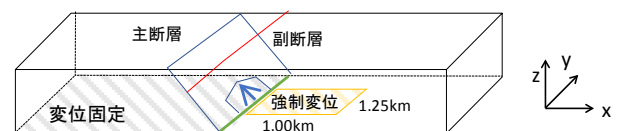


図-3 境界条件の概念図

キーワード 高性能数値解析, 断層変位, 副断層, 並列計算, 不確かさ

連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 TEL 04-7182-1191

およびそれに隣接する+x側の底面 1.00km×1.25km の範囲に逆断層となるように断層面に沿って最大3.1mのずれ変位を与えた(図-3)。その他の外側境界はトラクションフリーとした。

解析結果の一例を図-4に示す。図-4は最大ずれ変位3.1mを与えた準静的解析から得られた鉛直変位コンターである。鳥瞰図では主断層だけでなく副断層の位置でも鉛直変位の不連続が見られる。A-A'断面で見ると、主断層では+x側が相対的に上昇しているのに対して、副断層では-x側が相対的に上昇している。このように副断層が主断層に対してバックスラストのようになっている状況は観測結果²⁾と一致している。

5. 準静的解析と動的解析

断層変位の発生は動的な現象であり、現地の状況を精緻に再現したモデルによる動的解析を行う必要がある。一方で、前述のように不確かさの評価も必要である。準静的解析では、入力ずれ変位 Δ の増加に伴う地表ずれ変位 δ の増加を1ケースの解析で計算することができる。それに対して動的解析では、入力ずれ変位を変化させた複数ケースの解析を行う必要がある。

図-5は準静的解析と動的解析の結果を Δ - δ の関係で比較したものである。なお、ここで δ は主断層での値である。動的解析では3%および5%の減衰定数のレイリー減衰を考慮した。地表ずれ変位 δ 、および δ が発生するときの入力ずれ変位 Δ_c いずれも準静的解析と動的解析は近い値が得られている。

以上の結果より、図-6のように最も確からしい予測を大規模動的解析により実施し、不確かさの評価のための条件の異なる多ケース解析を準静的解析で行うことを提案する。

4. おわりに

今後、地表地震断層が発生した実地震を対象に、大規模動的解析および条件の異なる多ケース解析を実施し、解析手法の適用性を確認していく。

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) 澤田昌孝, 羽場一基, 堀宗朗: 断層変位評価のための高性能数値解析手法の開発, 土木学会論文集A2(応用力学), Vol.73, No.2, pp. I_669-I_710, 2017.
- 2) 青柳恭平: 2 時期の LiDAR-DEM に基づく 2014 年長野県北部地震の断層変位量分布, JpGU2016, 2016.

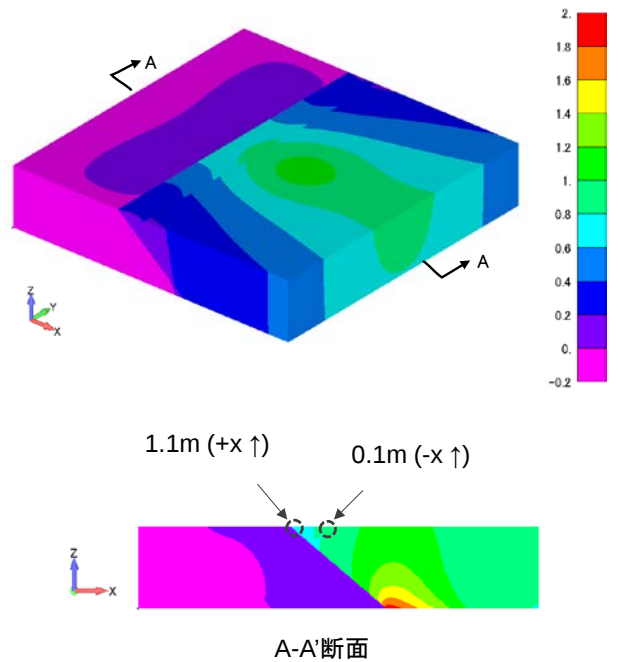


図-4 鉛直変位コンター図(上:鳥瞰図,下:A-A'断面)

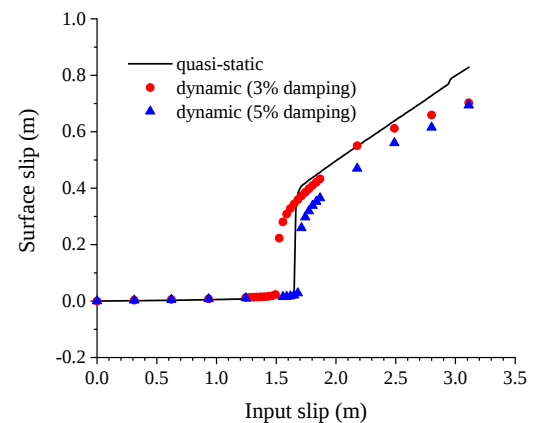


図-5 Δ と δ の関係(準静的解析と動的解析)

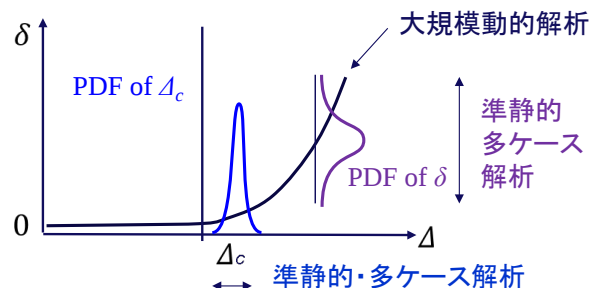


図-6 高性能数値解析による断層変位評価