

物性値の不確実性が地表断層発生位置に与える影響に関する数値解析的検討

大成建設 正会員 ○篠原 魁

大成建設 正会員 羽場 一基

電力中央研究所 正会員 澤田 昌孝

海洋研究開発機構 フェロー会員 堀 宗朗

1. はじめに

地震による外力には、地震動のほかに地表に現れる断層変位がある。地表断層変位は近傍の構造物に大きな影響を与える可能性がある。原子力施設の耐震安全性評価においても、断層変位の安全性評価の必要性が指摘されてきている。原子力施設を対象とした地表断層変位評価では、地質調査により確認された破碎帯等の弱面が主断層の活動によって副次的に活動しうるかを評価することが必要である。

これまでに著者らは断層変位評価のための大規模並列有限要素法プログラムの開発を行い、開発したプログラムを用いて2014年長野県北部の地震を対象とした断層変位評価を実施し、その結果が観測を概ね再現することを確認した¹⁾。また、岩盤のヤング率と断層の摩擦角の不確実性を考慮した多数回の断層変位解析を行うことで、地表面上の評価点に断層変位が出現するときの、主断層底部の入力ずれ変位は、物性値の不確実性に大きく影響されることを示した²⁾。しかし、地表面の評価点以外の挙動については評価が行われていなかったため、既知の断層面のうち、地表断層変位が出現する位置が物性値の不確実性にどの程度影響されるかについては示されていない。

そこで、本論文では羽場ら(2019)²⁾で行った多数回の断層変位解析の結果を改めて整理することで、地表断層変位が生じる位置に対する物性値の不確実性の影響を評価する。

2. 解析対象と解析条件の設定

2.1. 解析対象

2014年長野県北部の地震を想定した解析を実施する。この地震は西北西-東南東に圧縮軸を持つ逆断層型(東側隆起)の地震である。この地震では震源域南側9kmに渡って地表地震断層が発生し、北端付近では副断層が観測された。(図1参照)

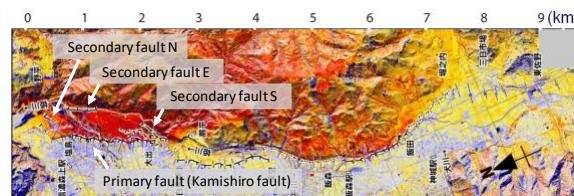


図1 2014年長野県北部の地震の地表断層変位分布(青柳(2016)³⁾のDEM差分結果に加筆。実線が地表断層変位)

2.2. 解析モデル

に解析モデルを示す。解析領域は副断層が観測された地表地震断層の北端部の水平5km×5km、深さ約1kmである。ここで、Y軸正方向が北北東方向に対応する。断層は主断層1面と副断層3面を考慮し、主断層及び副断層EはY軸と平行にモデル境界まで設定する。地盤は四面体2次ソリッド要素、断層面は三角形2次ジョイント要素でモデル化し、断層面の要素サイズは50m程度、総自由度は約217万である。地層構造はJ-SHISデータベースの弾性波速度の標高データに基づき二層でモデル化する。また、断層面上の摩擦を模擬するせん断ばねの構成則として、垂直抗力依存性を考慮した非線形ばね(図3)を用いる。このばねは外力がピーク強度を超えたときに相対変位が大きく増加する。

2.3. 解析手順

解析は澤田ら(2018)¹⁾と同様に、食い違い弾性論を用いて主断層全面に分布するすべりによる広域の地盤変形量を評価し、その結果を解析モデル底面に強制変位として漸増的に载荷する準静的プッシュオーバー解析を実施する。食い違い弾性論の入力となる主断層面の滑り分布は国土地理院が実施した逆解析結果⁴⁾を用い、主断層変位を再現するように補正する。断層変位解析では、解析モデル底部の入力ずれ変位 Δ を200ステップで4.0mまで漸増的に载荷した。岩盤の物性値はJ-SHIS深部地盤データの値を用い、弾性体とする。断層面の摩擦角及び粘着力は、それぞれ $\phi=25.0$ [deg]、

キーワード 高性能数値計算、断層変位、副断層、並列計算、三次元解析、物性値の不確実性

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1 大成建設(株) 原子力本部 TEL 03-5381-5315

$c=0.025$ [MPa]とし、滑りの限界値は 0.1 m を設定する。各地層の岩盤のヤング率と断層面の摩擦角の不確実性を考慮し、それぞれ変動係数を 0.30 、 0.15 とする。各物性値は対数正規分布に従うものと仮定し、物性間の相関は考慮しない。解析ケースは羽場ら (2019) ²⁾ で実施したラテン超方格法を用いた 120 ケースの結果を使用し、物性値の不確実性が地表断層位置に与える影響を整理する。本稿では、相対変位が滑りの限界値 (0.1 m) を超えた時に断層変位が出現したと解釈し、地表断層発生位置は初めて地表にずれ変位が発生した荷重ステップでずれ変位が最大となる位置とする。

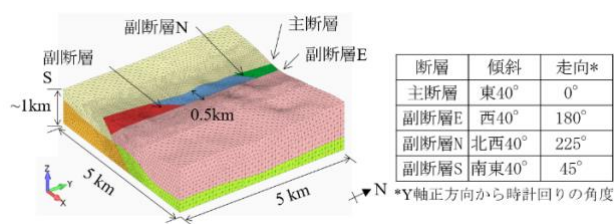


図 2 解析モデル

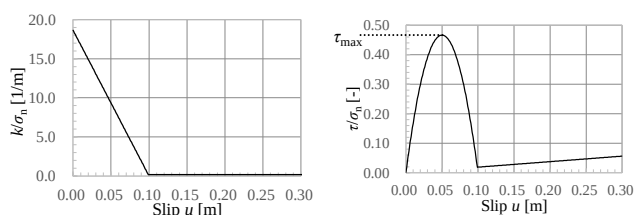


図 3 セン断ばねの構成則 (左: 相対変位-せん断ばね定数関係、右: 相対変位-せん断力関係)

3. 評価結果

図 4 に物性値を基準値とした解析ケースにおける主断層と副断層 E の地表相対変位分布を示す。以降の図では、青色が主断層を表し、橙色が副断層 E を表す。点線は副断層 E が観測された領域を示している。副断層 E の地表相対変位ですべりの限界値 (0.1 m) を超えている領域が観測を概ね再現している。

図 5 に 120 回の解析の地表断層変位の発生開始位置の度数分布を示す。ここで、入力ずれ変位を離散的に作用させているため、図 4 のように、初めて断層変位が出現する荷重ステップでも地表断層変位が幅をもって生じる可能性があることに注意する。副断層 E の地表断層変位の発生開始位置の Y 座標は 3620 m 付近に集中しているが、2 ケースのみ 3856 m となっている。これらの 2 ケースでは地表断層変位の発生開始と同時に、

地表断層変位がモデル境界まで達しているため、地表断層変位の発生開始位置を適切に評価できていない。これらの 2 ケースを除くと、副断層 E では主断層に比べて地表断層変位の発生開始位置に対する物性値の影響は小さく、標準偏差は主断層で 27.25 、副断層 E で 17.92 となっている。

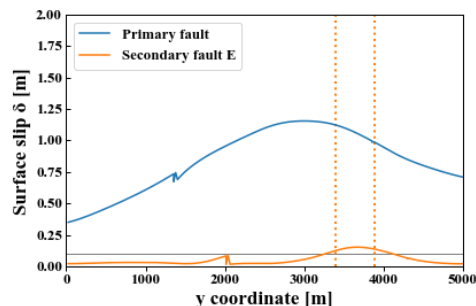


図 4 地表相対変位分布 (物性値を基準値としたケース)

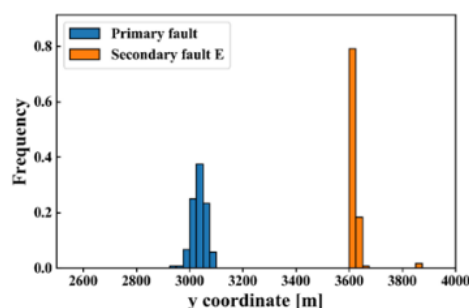


図 5 地表断層変位の発生開始位置の度数分布 (120 ケース)

4. まとめ

岩盤のヤング率と断層面の摩擦角を対数正規分布で与えた 120 ケースの断層変位解析結果を整理した結果、副断層の地表断層の発生開始位置は主断層のそれよりも物性値の不確実性の影響が小さく、発生領域は観測と概ね一致した。

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：地表地震断層を伴う実地震を対象とした高性能計算による地表断層変位評価、土木学会論文集 A2、Vol.74、No.2、pp.I.627-I.638、2018.
- 2) 羽場一基、畑明仁、澤田昌孝、堀宗朗：ラテン超方格法を用いた地表断層変位に対する物性値の不確実性の影響評価、日本地震工学会論文集、2020 年 20 巻 1 号 p.1-13-1-25
- 3) 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、日本地球惑星科学連合 2016 年大会予稿集、SSS31-18、2016.
- 4) 国土地理院：「だいち 2 号」合成開口レーダーによる地殻変動分布図と滑り分布モデル(暫定)、http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14dec_nagano/p29.htm