

地震動を考慮した地表断層変位の数値解析に関する基礎的検討

大成建設株式会社 正会員 ○羽場 一基

大成建設株式会社 正会員 篠原 魁

一般財団法人 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

地表に出現する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ため、重要構造物に対する断層変位の安全性評価の必要性が指摘されている。特に、原子力施設の場合、主断層の活動により副次的に発生する副断層の出現を予測することが求められる。地表断層の予測方法の1つに連続体力学に基づく数値解析がある。我々は、これまでに断層変位評価のための高性能計算有限要素法を開発¹⁾し、実地震を対象とした断層変位解析により、その妥当性を確認した²⁾。

近年では、断層変位単体の評価に加え、地震動との重畳に関する検討の必要性も指摘されている。原子力施設に対する断層変位の安全性評価の観点からは、地震動が地表断層変位、特に副断層変位の出現にどのような影響を与えるかを整理する必要がある。

そこで、本稿では、地震動と永久変位を同時入力した解析を実施し、地震動が断層変位に与える影響を数値解析的に評価する。

2. 評価方法

解析対象は2014年長野県北部の地震とし、解析モデル(図1)は主断層(神城断層)(青線)と副断層(赤線)を含む東西5kmの2次元断面である。ここで、本モデルは要素サイズ25mの2次要素を用いており、奥行き方向に1要素分の厚さを持ち、自由度は約50万である。神城断層は東上がりの逆断層であるが、西上がりの副断層が観測された³⁾。地層、標高及び岩盤の物性値はJ-SHIS深部地盤データ⁴⁾に基づいて設定している。断層面はジョイント要素でモデル化し、構成則として図2のせん断力とずれ変位の関係を用いる。この力-ずれ変位関係には力がピーク強度 τ_{\max} より若干増えた時にずれ変位が大きく増加する摩擦力の特徴を持つ。さらに、ピーク強度の拘束圧 σ_n 依存性として $\tau_{\max} =$

$\sigma_n \tan \phi + c$ を仮定し、断層面の摩擦角 ϕ 及び粘着力 c をそれぞれ 25° 及び0.025 MPaとする。物性値は澤田らによる3次元断層変位解析²⁾と同じ設定である。

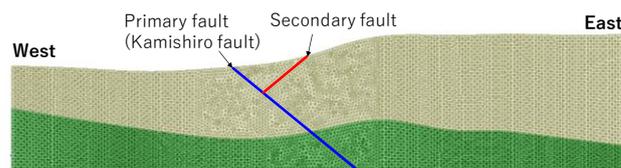


図1 解析モデル(2次元断面)

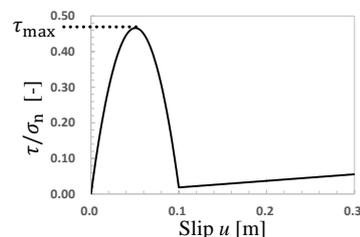


図2 断層面の構成則

本評価では、主断層の滑りによる永久変位と単純な地震動を合成することで、仮想的な永久変位を伴う地震動を作成し、それを解析モデルに入力する。入力方法は粘性境界による速度入力とし、境界に設定したダッシュポットの各端点に、速度波の2倍を入力する。

主断層の滑りによる岩盤の永久変位は、食い違い弾性論により評価する。ここで、主断層面の滑り分布は国土地理院の逆解析結果⁵⁾を用いる。ただし、澤田ら²⁾と同様に、浅部の滑り分布を観測結果で補正する。逆解析結果の最大ずれ変位量は約1.5mであるが、本解析モデル底面位置での入力ずれ変位量は1.1mである。評価した永久変位は解析モデル底面に1秒かけて、速度1.1m/sで載荷する。一方、地震動は、簡単のため、10Gal、1Hzの水平方向速度正弦波とする。解析モデル側面には永久変位の速度のみを入力し、底面には、永久変位と地震動を合成した速度を入力する。

評価時間は4.0秒間とし、速度正弦波は4.0秒間入力し続ける。永久変位は、経時変化が図3となるように、

キーワード 高性能数値計算、断層変位、副断層、地震動、並列計算

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 TEL03-5381-5315

1.0 秒後から 2.0 秒まで速度を載荷する。ただし、底面の断層部分の節点には、強制変位を設定する。ずれ変位が入力される直前の水平方向変位コンター図を図 4 に示す。この結果から、底面に入力された揺れが地表面まで到達していることがわかる。また、比較のため、永久変位のみを速度入力した解析も実施する。

時間積分手法はニューマーク β 法を用い、時間刻みは 0.001 秒とする。また、岩盤に 3% 程度 (1Hz~10Hz が減衰 2~4%) のレイリー減衰を設定する。

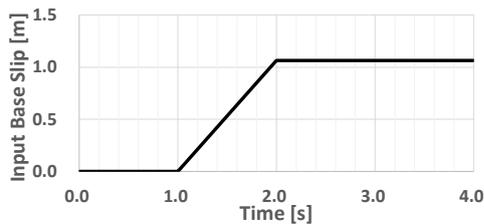


図 3 ずれ変位の時間依存性

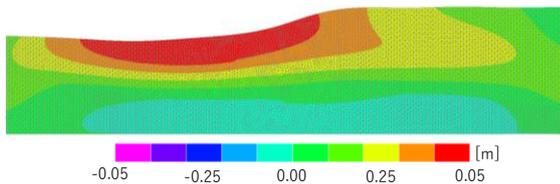


図 4 水平方向変位コンター (1 秒後, 地震動考慮)

3. 解析結果

図 5 に地震動を考慮したケースの 3.0 秒後の変形及び鉛直変位コンター図を示す。ここで、変形は 100 倍しており、図の枠線は変形前の岩盤位置である。主断層全面及び副断層地表面付近で、断層面を挟んで鉛直変位に差異があり、ずれ変位が発生していることがわかる。また、主断層は東上がり、副断層は西上がりとなっており、観測と一致している。

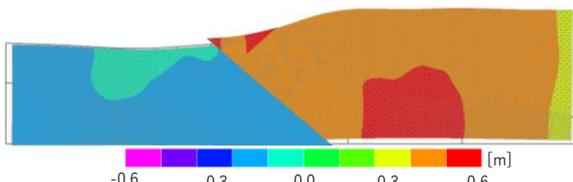


図 5 変形及び鉛直変位コンター (2 秒後)

図 6 に地震動を考慮しないケースと地震動を考慮したケースの地表面でのずれ変位の経時変化を示す。黒点線は入力ずれ変位の変化である。この結果より、主断層のずれ変位は、地震動の考慮による差異は小さく、2.6 秒後に最大となり、その後減少し、0.6~0.8m 程度となる。一方、副断層のずれ変位は、地震動の影響が大きい。ずれ変位の最大値及び初めて 0.1m 以上のずれ変位が発

生する時間は、地震動を考慮しない場合 0.13m 及び 2.62 秒後であるが、考慮する場合 0.19m 及び 2.17 秒後であり、地震動によりずれ変位が促進されていることがわかる。図 7 に上盤側の水平変位コンター図を示す。地震動を考慮した場合、主断層と副断層で囲まれた小領域の水平方向変位の大きさが小さくなっており、その結果、ずれ変位が促進されたと考えられる。これは地震動の影響で、小領域が他と逆向きの力が作用したためと考えられる。

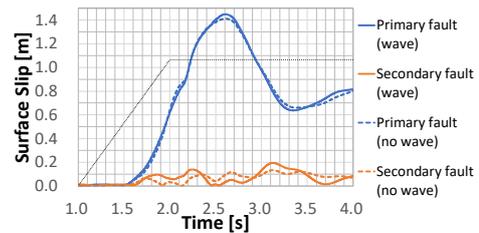
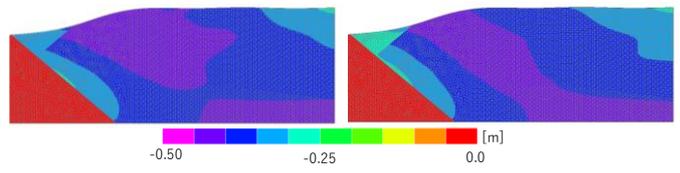


図 6 地表断層変位の経時変化 (1 秒後)



(a)地震動未考慮

(b)地震動考慮

図 7 地表断層変位の入力ずれ変位依存性

4. まとめ

本稿では、地震動が地表ずれ変位に与える影響を永久変位と速度正弦波を考慮した 2 次元解析により評価した。その結果、地震動が副断層の地表断層変位を促進する可能性があることが分かった。今後、地震動の周波数の違いの影響評価を実施するとともに、実地震波及び 3 次元モデルを用いた解析による検討が求められる。

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, Vol.73, No.2, pp.I_699-I_710, 2017.
- 2) 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.
- 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) 防災科学技術研究所: <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>, 2019/03/20 閲覧.
- 5) 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 s://www.jishin.go.jp/main/chousa/14dec_nagano/p29.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14dec_nagano/p29.htm)