

高性能計算を用いた断層変位評価 —(1) 2014 年長野県北部の地震の解析—

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

大成建設株式会社 正会員 羽場 一基

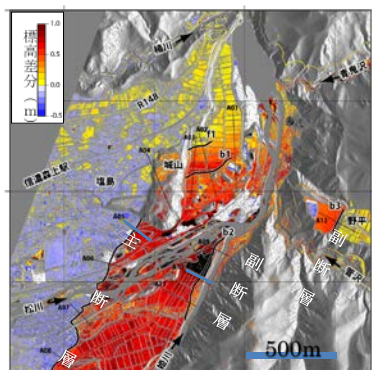
海洋研究開発機構 フェロー会員 堀 宗朗

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。著者らは断層変位評価のための数値解析プログラムを開発し、2014 年長野県北部の地震を対象とした数値解析により、その適用性を確認した¹⁾。しかし、これまでの解析では考慮していない副断層が存在していたため、本稿では観測された副断層を新たに追加し、その影響を評価する。

2. 解析対象と解析条件の設定

2014 年長野県北部の地震を対象とした解析を実施する。本地震は 2014 年 11 月 22 日に発生し、Mj 6.7、最大震度 6 弱、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（図-1）では副断層が見られ、b2, b3 では主断層と逆向きの西側隆起のずれ変位が見られた。

図-1 2014 年長野県北部の地震での地表地震断層北端部²⁾

計算対象領域は地表地震断層の北端部（図-1）を含む水平方向 5km×5km、深さ 1km 程度とし、観測・調査結

果を反映して副断層が存在する浅部を詳細にモデル化する。解析に用いた有限要素メッシュを図-2 に示す。ここで、y 軸正方向が北北東方向に対応する。地盤は四面体 2 次ソリッド要素、断層面は三角形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 258 万である。地盤構造は J-SHIS データベースの弾性波速度の標高データに基づき 2 層でモデル化し、各層の物性値は弾性波速度と密度から算出した。断層は澤田ら（2018）¹⁾で考慮した主断層 1 面と副断層 3 面（副断層 E1、副断層 N、副断層 S）に加えて、新たに図-1 の b3 に対応する副断層 E2 を考慮した（図-2）。断層面上の構成則として図-3 の非線形ばねを用いる。このばねは力を少しずつ増大したときにずれ変位に急激な増加（ずれ変位の飛び移り）が発生するといった特徴がある。断層のせん断力の拘束圧依存性を考慮し、物性は摩擦角 25°、粘着力 0.025MPa を想定し設定した。

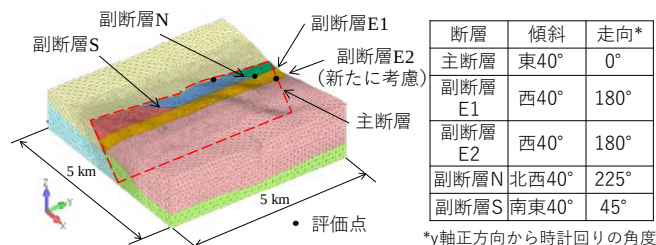


図-2 有限要素メッシュ

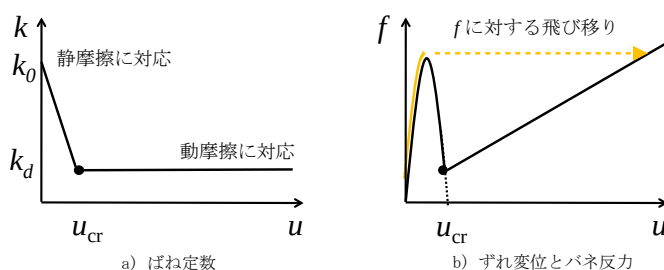


図-3 ジョイント要素の非線形ばね

本検討では、食い違い弾性論を用いて主断層全面に分布する滑りによる広域の地盤変形量を評価し、その

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

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

結果をモデル底面に強制変位として漸増的に载荷する準静的 FEM 解析を実施する。FEM 解析では、まず自重計算により断層面上の初期拘束圧を算出し、次に、初期拘束圧のみを引継いだ断層変位解析を実施する。この時、断層面の拘束圧は、初期拘束圧を基準として、岩盤の変形に伴う拘束圧の変化も評価する。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による逆解析結果(図-4)を用い、主断層の地表断層変位を再現するように補正して用いる。ここで、最大入力ずれ変位量は逆解析結果の2倍($\Delta = 3.0\text{m}$)とする。

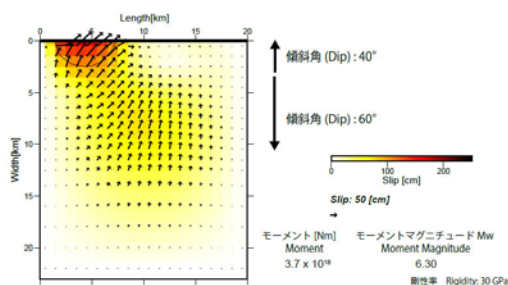


図-4 国土地理院の逆解析結果³⁾

3. 評価結果

図-5に入力ずれ変位 $\Delta = 3.0\text{m}$ での z 方向変位のコンター図を示す。上盤側(+ x 側)の岩盤が隆起しており、主断層を挟んで変位のギャップが確認できる。図-6に入力ずれ変位 Δ に対する地表面(図-2の評価点)でのずれ変位量を示す。 Δ が小さい時にはいずれの断層でも地表面にずれ変位は現れないが、 $\Delta = 0.69\text{m}$ のとき主断層で急激にずれ変位が増加する。一方で、副断層E1は徐々にずれ変位が大きくなり、 $\Delta = 2.49\text{m}$ でずれ変位が 0.1m を超えた後、 $\Delta = 2.58\text{m}$ でずれ変位が急激に増加する。さらに、副断層E2は急激なずれ変位の増加は生じないものの徐々にずれ変位が大きくなり、 $\Delta = 2.94\text{m}$ で 0.1m を超える。図-7に入力ずれ変位 $\Delta = 3.0\text{m}$ での主断層、副断層E1及び副断層E2のずれ変位コンター図を示す。主断層では全面にずれ変位が生じている。副断層E1及びE2では北側の地表面のずれ変位が最も大きく、地表面からずれ変位が発生していることがわかる。また、主断層の北側では副断層E1を挟んでずれ変位のギャップが生じている。本検討では、主断層、副断層E1及び副断層E2を解析モデル境界まで延長してモデル化したため観測より広範囲に地表ずれ変位が発生しているが、地表ずれ変位が観測された北側領域の近傍で、地表ずれ変位が大きくなっていることがわかる。

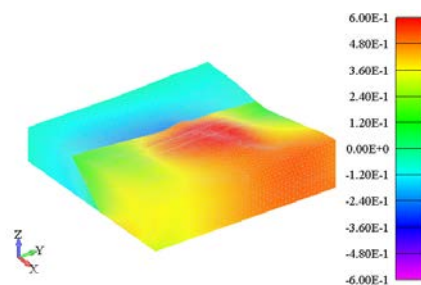


図-5 z 方向変位コンター図($\Delta = 3.0\text{m}$, 単位はm)

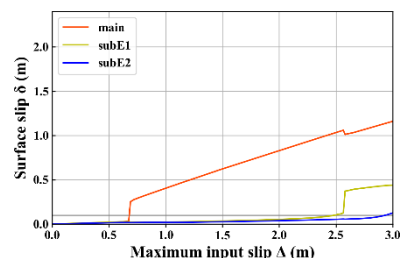


図-6 入力ずれ変位と地表ずれ変位

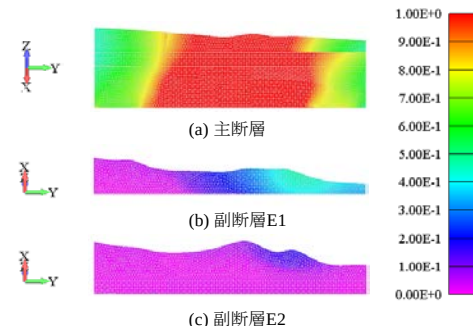


図-7 ずれ変位コンター図($\Delta = 3.0\text{m}$, 単位はm)

4. まとめ

観測された副断層を新たに追加したモデルを用いて、2014年長野県北部の地震を対象とした解析を実施した。その結果、新たに追加した副断層E2にも地表ずれ変位が生じるという観測を再現する結果が得られた。本手法を構造物の安全性評価へ適用する場合、主断層の滑り分布の逆解析結果が存在しないため、予測解析を想定した検討が必要である。

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) 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) 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
- 3) 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), https://www.jishin.go.jp/main/chousa/14dec_nagano/p29.htm