

高性能計算を用いた断層変位評価 —(3) 2016 年熊本地震の解析—

大成建設株式会社 正会員 ○羽場 一基

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 篠原 魁

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⁾。本稿では、上記の解析プログラムを用いて、2016 年熊本地震で発生した地表地震断層を対象に数値解析を実施した結果を示す。

2. 解析対象及び解析条件

2016 年熊本地震は 2016 年 4 月 16 日に発生した熊本県熊本地方を震央とする Mj7.3、最大震度 7（西原町、益城町）の地震である。布田川断層帯で長さ 28km、日奈久断層沿いで長さ 6km の地表地震断層が発見された。布田川断層では、益城町東部の堂園地区で最大 2.2m の右横ずれを観測した。断層はこの堂園から西に向かって大きく 2 つに分岐する。分岐した断層はいずれも右横ずれであるが、それらを渡す左横ずれの断層も見られた。また、堂園地区を含む木山川沿いの低地部では、図-1 のように地表地震断層の分岐や主となる断層線から離れた位置での地割れの発生があった。

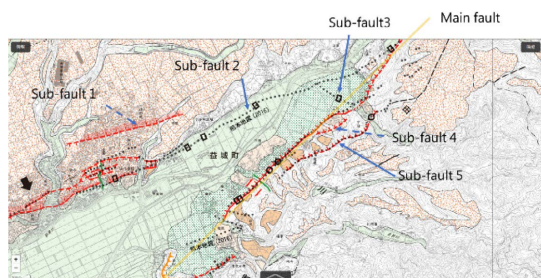


図-1 益城町での地表断層変位 (sub fault1 及び sub fault 4 は 2016 年熊本地震では観測されていない)

主断層面の滑り分布としては、複数のグループによって震源逆解析が実施されている。例えば、Asano and Iwata²⁾ は図-2 のような断層上の滑り分布を得ている。

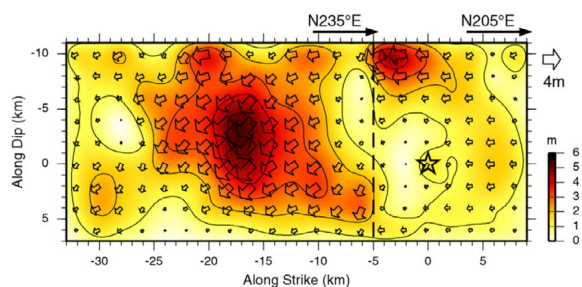


図-2 主断層面上の滑り分布 (逆解析結果)²⁾

解析に用いた有限要素メッシュを図-3 に示す。解析領域は、最大の横ずれを観測した益城町堂園地区を含む 5km×5km×約 1km とした。地層は J-SHIS データベースに基づき、弾性波速度で 3 層を考慮する。地盤は弾性体とし、各層の弾性係数は弾性波速度と密度から算出した。主断層とする布田川断層、日奈久断層の走向・傾斜は Asano and Iwata²⁾ に基づき設定し、同じ傾斜で地表まで延長した (布田川断層が北傾斜 65 度、日奈久断層が北傾斜 72 度)。ただし、実際に観測された地表地震断層の位置を基に主断層位置を調整した。また、副断層は、図-1 の観測結果とこの地域で実施された反射法地震探査の結果³⁾を合わせて、5 面を設定した。ここで、2016 年熊本地震では地表変位が発生しなかった断層 (副断層 1 (sub fault1) 及び副断層 4 (sub fault 4)) も考慮した。また、副断層は他の断層もしくはモデル境界まで延長してモデル化した。断層面上の構成則と物性値は 2014 年長野県北部の地震を対象とした解析と同じ設定とした。

Asano and Iwata²⁾ の滑り分布を入力データとして、食い違い弾性論による計算で、解析モデルの底面の入力変位分布を決定した。数値解析では、逆解析結果の 2 倍

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 TEL03-5381-5315

($\Delta=5.20$ m) までの強制変位を漸増的に与え、底面以外の境界はトラクションフリーとした。

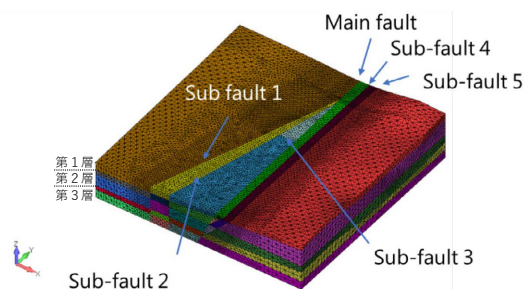


図-3 有限要素メッシュ

3. 解析結果

入力ずれ変位 Δ に対する各断層での地表ずれ変位 δ を図-4に示す。凡例の Y2780 は y 座標が 2780m の位置 (副断層 3 の延長上) であることを示す。mainY2780 では $\Delta=0.29$ m で急激にずれ変位が増加し、0.1 m を超える。また、sub5Y2780, sub4Y2780 ではそれぞれ $\Delta=1.40$ m, 3.04 m の急激なずれ変位の増加があり、それに伴って、mainY2780 のずれ変位は減少する。sub2Y2780, sub1Y2780, sub3Xmid では急激なずれ変位の増大は発生しないが、それぞれ $\Delta=1.22$ m, 2.68 m, 3.02 m でずれ変位量が 0.1 m を超え、その後も増加していく。ずれ変位が 0.1 m を超える Δ でみると 2016 年の地震で実際に地表地震断層となった副断層でずれ変位が発生しやすい傾向が見られた。

また、図-5に $\Delta=2.60$ m での主断層、副断層 2 及び副断層 5 のずれ変位コンター図を示す。副断層 2 及び副断層 5 のずれ変位は主断層との接続部で大きい傾向があり、主断層から副断層へ接続部を介して破壊が伝播したと考えられる。また、主断層面上のずれ変位は、ずれ変位が発生した副断層と主断層の連結部を境に不連続に変化する。

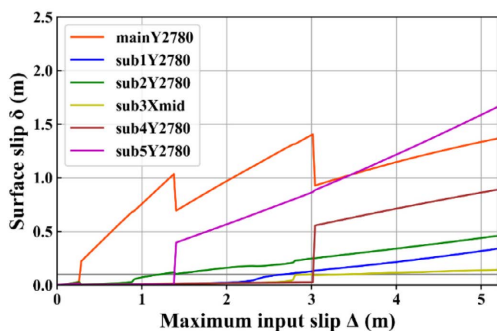


図-4 入力ずれ変位と地表ずれ変位

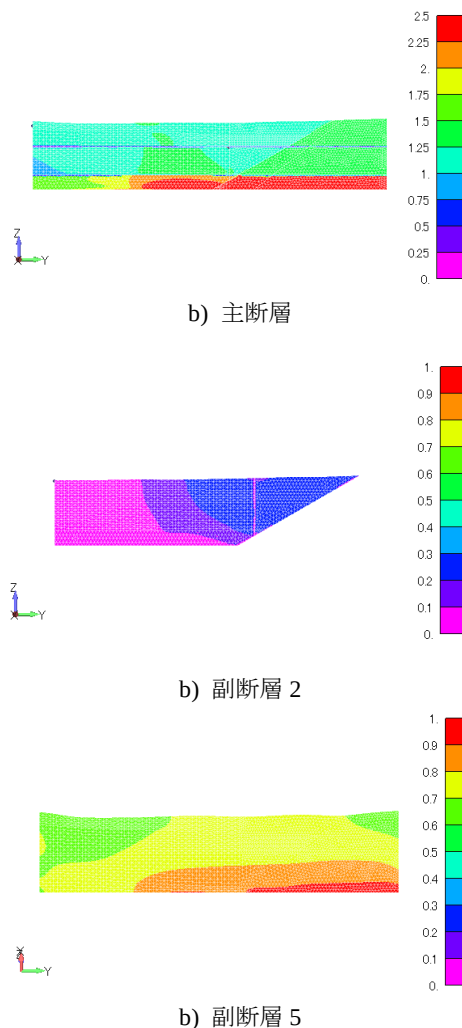


図-5 ずれ変位コンター図 ($\Delta=2.60$ m, 単位は m)

4. まとめ

本稿では、2016 年熊本地震を対象に、逆解析による主断層の滑り分布を用いた再現解析を実施した。その結果、実際に観測された副断層にずれ変位が発生しやすく、ずれ変位は主断層との接続部から伝播したと考えられる。これらの結果から、本解析手法は、主断層、副断層の変位発生評価に適用可能であると考えられる。

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) K. Asano and T. Iwata: Source rupture processes of the foreshock and mainshock in the 2016 Kumamoto earthquake sequence estimated from the kinematic waveform inversion of strong motion data, Earth, Planets and Space, Vol. 68, DOI 10.1186/s40623-016-0519-9, 2016.
- 3) 青柳恭平, 上田圭一, 竹本哲也, 末広匡基, 宮脇理一郎: 熊本県益城町の地震断層を横断する反射法地震探査, 日本地震学会 2018 年度周期帯会, 2018.