2016 年熊本地震の際に阿蘇谷内で観測された地震動波形から推定した地盤変位

東京電機大学　　正会員　○石川　敬祐
東京電機大学　フェロー会員　安田　進

１．目的

2016 年熊本地震では阿蘇カルデラ内の阿蘇谷の各地で帯状の陥没（グラーベン）が発生し，家屋やライフライン，道路などが甚大な被害を受けた．このような被害は近年国内で発生しておらず，そのメカニズムを解明することが必要となった．そこで筆者達は科研の補助を受けて，2017 年 5 月より，被災状況の把握から始め，住民へのヒアリング，既往地盤調査資料収集，表面波探査，微動アレイ観測，ボーリングなどを行って，地盤情報の把握を行ってきた[例えば 1)]．ここでは，現地調査や熊本地震前後の複数の陸域観測衛星画像を使った干渉 SAR 画像解析 [2)]で得られた地盤変状と阿蘇谷内で観測された地震動波形から推定した地盤変位を用いて，当該地の地盤変位の特徴を整理した．

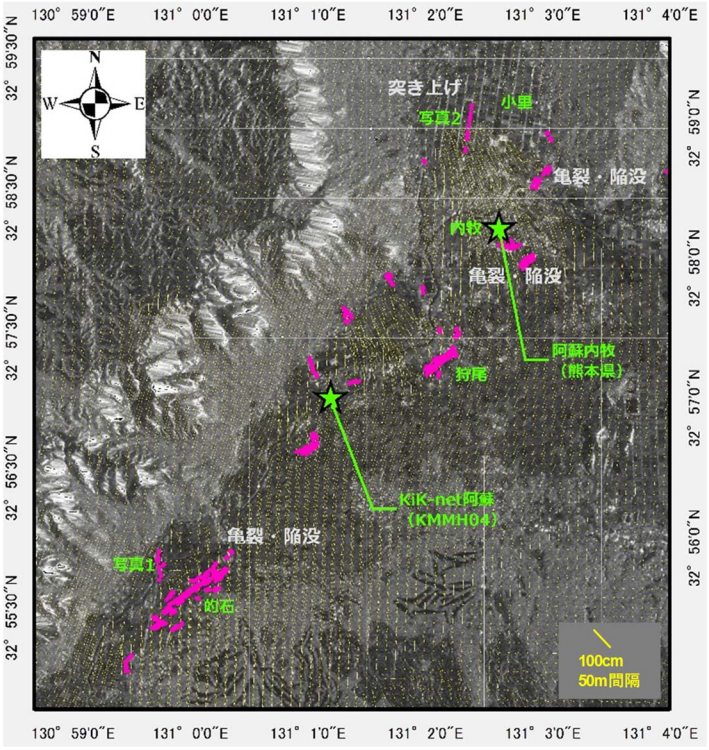

図１　合成開口レーダー画像から求めた地盤変位布 [2)]

２．阿蘇谷内で生じた帯状陥没の概要

阿蘇カルデラ内で帯状陥没が集中した地区は阿蘇市的石から小里にかけての北東－南西方向の約 7km の範囲であり，阿蘇谷に該当する．図 1 は，熊本地震前後の複数の陸域観測衛星画像（合成開口レーダー画像）を使って干渉 SAR 画像を基に検討を行った結果である [2)]．これより，阿蘇谷全体の地殻変動により北向きに数 10cm から 1m 程度の変位が発生し，さらに狩尾，内牧，小里，的石などの地区では数 100m から 2km 程度の区域内で最大 2～3m もの変位が発生したことが明らかになった．この局所的な変位によって水平方向の引張り力や圧縮力が作用し，帯状の陥没や地割れ，隆起が発生したのではないかと考えている．

次に，当該地の地盤変状を象徴する被災状況を写真 1～2 に示す．写真 1 は，黒川に架かる大正橋の左岸側であり，橋桁が左岸側（南側）の橋台部分を破壊して盛土部に約 3m 程度めり込んだ状況である．写真 2 は，小里地区の花原川北側で地盤変状に伴い側溝が突き上げている状況である．このような圧縮変位に伴う地盤変状は小里地区の南北方向の農道部で数箇所確認された．

写真１　大正橋左岸側の変状

写真２　小里地区の側溝の突上げ

３．本震時の観測地震波形を用いた地盤変位

阿蘇谷内で本震時の地震動観測は，図 1 に示す KiK-net 阿蘇（KMMH04：尾ヶ西小学校，観測 1:24:56）[3)]と熊本県の阿蘇内牧（阿蘇市役所内牧支所，

キーワード　地震，陥没，カルデラ地形
連絡先　　〒350-0394　埼玉県比企郡鳩山町石坂　東京電機大学理工学部　建築・都市環境学系　TEL 049-296-3289

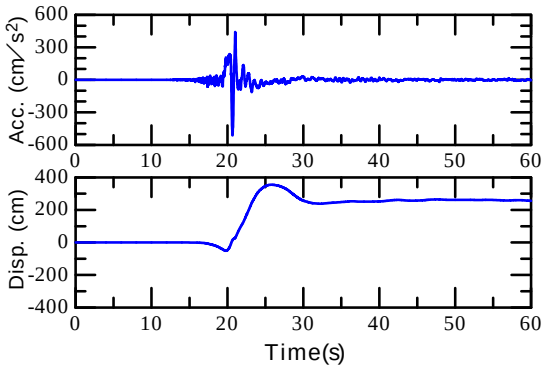

図 2　阿蘇内牧の加速度・変位の時刻歴（NS）

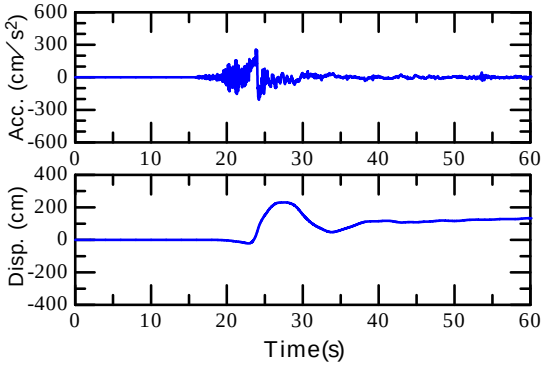

図 3　KiK-net 阿蘇の加速度・変位の時刻歴（NS）

観測 1:25:00）[4]にて記録されていることから，加速度時刻歴を直接積分して地盤変位を算出した[5]．ここでの積分方法は，台形則による直接積分を用い，速度に対して基線補正を施している．図 2 は阿蘇内牧，図 3 は KiK-net 阿蘇の NS 方向の加速度・変位の時刻歴図である．阿蘇内牧の加速度波形では 20 秒付近でスパイク状の特異な挙動が現れ，その後北方向に最大で 350cm 程度の変位が生じ，残留変位（60 秒）は 250cm 程度となることが推定された．KiK-net 阿蘇でも阿蘇内牧と似通った加速度波形が記録されており，23 秒付近から北側へ加速度がシフトし 24 秒付近でスパイク状の特異な挙動が現れている．変位記録では，23 秒付近から北側に進展し 28 秒付近で最大 230cm 程度の変位が生じ，残留変位（60 秒）は 130cm 程度となることが推定された．なお，EW 方向にはこのような顕著なスパイク状の挙動は確認されていない．

次に，各観測記録から求めた水平方向の変位挙動を図 4，5 にそれぞれ示す．図 4 は，阿蘇内牧の水辺変位の挙動であるが観測後 10 秒から 20 秒にかけて一度南東方向に動きその後北方向へ最大で 400cm 程度の変位が生じ，残留変位は北北東方向へ 270cm となることが推定された．また，図 5 の KiK-net 阿蘇では観測後 20 秒から 30 秒で一度東側に動きその後北西方向へ最大で 320cm 程度の変位が生じ，残留変位は北西方向へ 170cm となることが推定された．なお，図 1 の各地震計付近の地表面変位は，阿蘇内牧周辺で 180～240cm，KiK-net 阿蘇で 130～165cm であり，地震動波形から推定した残留変位と同程度であることを確認した．

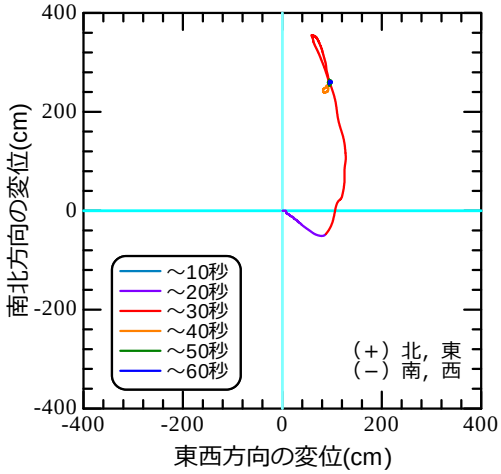

図 4　阿蘇内牧の水平方向の地盤変位

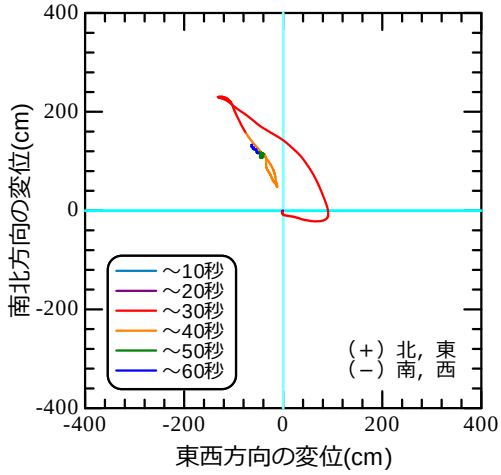

図 5　KiK-net 阿蘇の水平方向の地盤変位

4．まとめ

地震記録から求めた変位挙動は，現地踏査で確認した被災状況や合成開口レーダから求めた変位量と調和的であり，最大加速度が作用する付近から 10 秒間ぐらいで最大 300～400cm 程度の地盤変位が北から北西方向に生じたと考えられる．なお，本研究は JSPS 科研費基盤研究(B)17H03306 の補助を受け実施してきている．

参考文献　1)安田ほか：熊本地震により阿蘇で発生した帯状陥没に関する地盤調査（その 1），第 53 回地盤工学研究発表会，（投稿中）．2)島田ほか：ALOS-2/PALSAR-2 の 3 方位 InSAR を用いた熊本地震 2016 に伴う 3 次元地殻変動量の抽出と内牧地区を中心とした局所変動地域の調査，第 63 回日本リモートセンシング学会学術講演会，pp.145-148，2017．3)強震観測網：http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/，（2017.8.24 閲覧）．4)気象庁：http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1604160125_kumamoto/index.html，（2017.8.24 閲覧）．5)大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，2011.