熊本地震により阿蘇市役犬原で発生した帯状陥没のメカニズム

東京電機大学 名誉会員 ○安田 進
東京電機大学理工学部 正会員 石川敬祐
地震予知総合研究振興会 正会員 大保直人

１．はじめに

阿蘇カルデラ内で2016年熊本地震時に発生した帯状の陥没に対し、筆者達は科研の補助を受けて3年間研究を行ってきた[1)]。そして、狩尾地区などの代表4地区は、詳細な調査や解析を行って陥没発生のメカニズムが解明できてきた[2)]が、同様の陥没が発生した役犬原などではこのメカニズムでは説明できなかった。ただし、これらの地区は大規模に農地整備が行われた所なので、整備前の地形図を入手し検討を行って別の視点からの検討を行った。

２．被災状況および合成開口レーダ、微動アレイ観測

阿蘇カルデラ内では図1に示すように北東～南西の向きに帯状陥没が多く発生した。そこで小里から内牧、狩尾、的石の4つの地区で種々の調査・試験・解析を行った。その結果9000年前頃に形成されていた湖に堆積した湖成層が、地震動によって急速に軟化して、お椀状の湖成層の内側に向かってせん断変形し、その縁の付近で局所的な水平変位が発生し引張り力が働いて陥没が発生したものと考えられた。ところが、この昔の湖から南の役犬原、黒川、永草の地区では、北西～南東向きと方向が違った陥没が発生していた。写真1に役犬原で発生した陥没を示す。幅約50m、深さ約1mの帯状陥没が発生していた。そこで、役犬原地区に対し、上記4つの地区と同様に合成開口レーダでの解析で地表変位量の分布を求めたところ、局所的な変位は生じていなかった。また、微動アレイ観測を陥没区間の西側と東側で行ったところ、図2に示すように10m程度の深さからS波速度が200m/sを超える硬い層になっており、昔の湖がここまでつながっていないと考えられた。そこで、これらの陥没の向きが阿蘇中央火口丘からの斜面の向きに一致することに着目し、視点を変えて検討することにした。

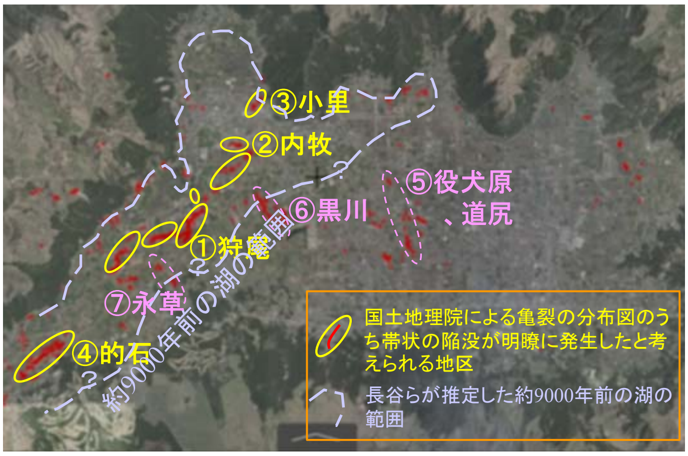

図1 熊本地震により阿蘇で帯状陥没が発生した地区

写真1 地震の約1年後に撮影した役犬原の帯状陥没状況

３．旧地形との比較

まず、明治時代から現在までの国土地理院の5万分の1の旧・新地形図を順に見てみた。その結果、役犬原から道尻にかけては昭和42年の地形図までは小河川か水路が示されているが、昭和52年の地形図では深いような小河川か水路の表現に変わり、平成16年の地形図地形図では水田になっていた。黒川地区では昭和21年の地形図までは湿地になっていたが、昭和35年の地形図から人工的に水路が建設されたように記され、平成16年の地形図では水田にな

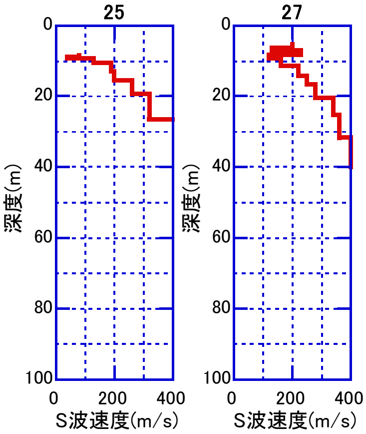

図2 陥没区間西東のVsの分布

キーワード 地震，陥没，埋戻し
連絡先 〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学 TEL 049-296-0362

© Japan Society of Civil Engineers

り、西側の水路だけ幅 2～3mの水路になっていた。また、永草地区では昭和 52 年の地形図までは小径のような記号になっておりはっきりしないが、平成 16 年の地形図には農地整備が行われ、細い水路が示されていた。

ところで、役犬原地区から黒川地区にかけては、昭和 45 年から大規模な農地整備が行われている。そこで、その際に詳細に測量された 1/1000 地形図（撮影昭和 45 年、測図昭和 47 年）を阿蘇土地改良区から見せていただき、陥没発生箇所と比べてみた。図 3 に役犬原地区での地形図と亀裂発生図 3)を比べて示す。旧小河川の流路と亀裂発生箇所が一致しているように見えるが、さらに詳細に比較するため、写真 1 に示した道路陥没箇所付近を拡大したものを図 4 に示す。やはり旧小河川の縁あたりと亀裂位置が一致しているように見られる。

さて、旧小河川の流路と陥没発生箇所が一致するとすると、陥没のメカニズムとしては、小河川を埋めた土が地震動により圧縮したことがまず考えられる。その場合には埋土の厚さに関係するはずである。図 4 を見るとこの付近の河川の深さは最大 4m 程度ではないかとみられる。埋土が液状化すると圧縮量が大きくなるが、液状化の場合の通常の体積圧縮量は 5%程度のため、層厚が 4m の場合沈下量は 20cm 程度となり、実際に発生した 1m 程度の深さの陥没を説明し難い。他のメカニズムとして考えられるのは旧河川のため、埋土下部には地下の水の流れがあり、それによって埋土が少し流れ出し（吸い出され）、地震前から地下に空洞が発生していて、それが地震動で崩れて陥没が発生したことである。この付近では河川を埋める時に石を川底に敷き、その上に土を埋めたとのことであり、その石の間から土が流出した可能性が考えられる。同様の地下水の流れによる土砂の流出による空洞化被害は 2009 年に北海道安平町のゴルフ場で発生している。また、2003 年十勝沖地震の際の北海道端野町の農地の陥没や、2018 年北海道胆振東部地震の際の札幌市里塚の住宅地の陥没も、暗渠排水管の破損か何かに起因した吸出しにより空洞が生じていた所で発生した被害と筆者達は考えている。

なお、筆者達が役犬原地区や黒川地区を見てまわったのは地震から 1 年経った後のため地震直後の被災状況は分からないが、役犬原地区の下流の道尻や黒川地区などでは陥没量が小さかったようなので、そのような箇所では前述した小河川を埋めた土が液状化し圧縮したことによる被害の可能性も考えられる。

４．まとめ

熊本地震の際に阿蘇のカルデラ内では北東～南西方向に多くの帯状陥没が発生したが、役犬原地区などでは異なった方向に発生した。土地の履歴を調べたところ、役犬原地区の旧水路を埋めた所では地震前に空洞が形成されていたのではないかと推察された。なお、本研究は JSPS 科研費基盤研究(B)17H03306 の補助を受けている。

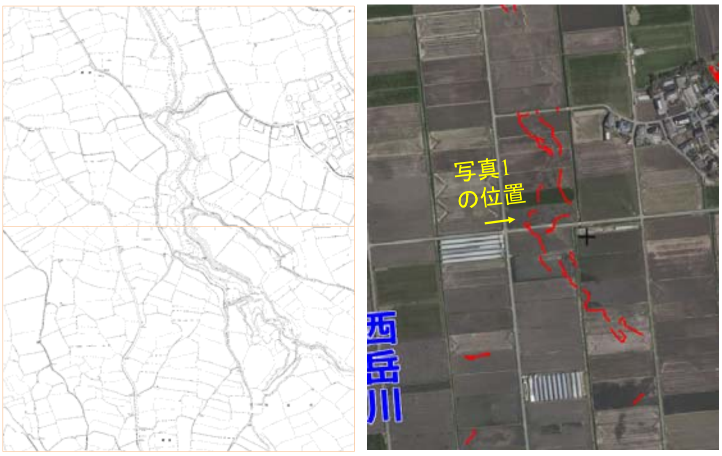

図 3 土地整備前の地形図と亀裂発生図 3)の比較

図 4 詳細な比較

参考文献

1)安田進・大保直人・島田政信・千葉達朗・原口強・永瀬英生・村上哲・先名重樹・伊東周作・石川敬祐：熊本地震により阿蘇カルデラで発生したグラーベンの被災メカニズム，第 15 回日本地震工学シンポジウム，OS7-01-4，2018.
2) 安田進・石川敬祐・野村勇斗：微動アレイ観測にもとづいた熊本地震で発生した陥没の解析、第 55 回地盤工学研究発表会，2020（提出中）.
3) 国土地理院：平成 28 年熊本地震・空から見た（航空写真判読による）布田川断層帯周辺の地表の亀裂分布図.