

熊本地震に伴う巨大な湖成層ブロックの水平すべり

原口 強¹・林 久夫²

- 1) 大阪市立大学大学院理学研究科 e-mail: haraguti@sci.osaka-cu.ac.jp
 2) ジオックスコンサルタント株式会社 e-mail: hayashi@geo-x.co.jp

熊本地震に伴い阿蘇谷の内牧，狩尾，的石的の3地区で顕著な正断層状亀裂が現れた．微動アレー探査を主とした地下構造探査とボーリングの結果，地下50m付近の剪断面に沿って湖成層を主とするキロメートル級の巨大ブロック地盤が市街地を載せたまま北側へ水平に1.5m以上滑り，その引張部に正断層状の亀裂群が出現したことが解明された．

Key words：熊本地震，湖成層，巨大ブロック，水平すべり

1. 研究の背景と目的

2016年熊本地震に伴い，阿蘇谷では旧河道¹⁾に沿う亀裂群²⁾とは別に，顕著な正断層状亀裂が内牧・狩尾・的石的の3地区^{2),3),4)}に出現した．役犬原地区の旧河道沿いの亀裂群は，人工的に埋積された部分が地震時に沈下・変位した際に生じたもので，従来からの知見が再確認された．

亀裂群は，変位域の南側境界部を縁取るように現れた（図1）．内牧では温泉が出なくなり，井戸パイプが地下50m付近で損傷が報告⁶⁾された．先行研究^{3),6),7)}から，キロメートル級の巨大ブロックが概ね1.5m以上移動したとされたが，地下構造が不明であった．

本報告では，結果の一部は公表済み⁴⁾であるが，新たにボーリング結果を加味し，3地区の表層100mまで地下構造から，巨大水平すべりと亀裂群の形成プロセスを解明することを目的とした．

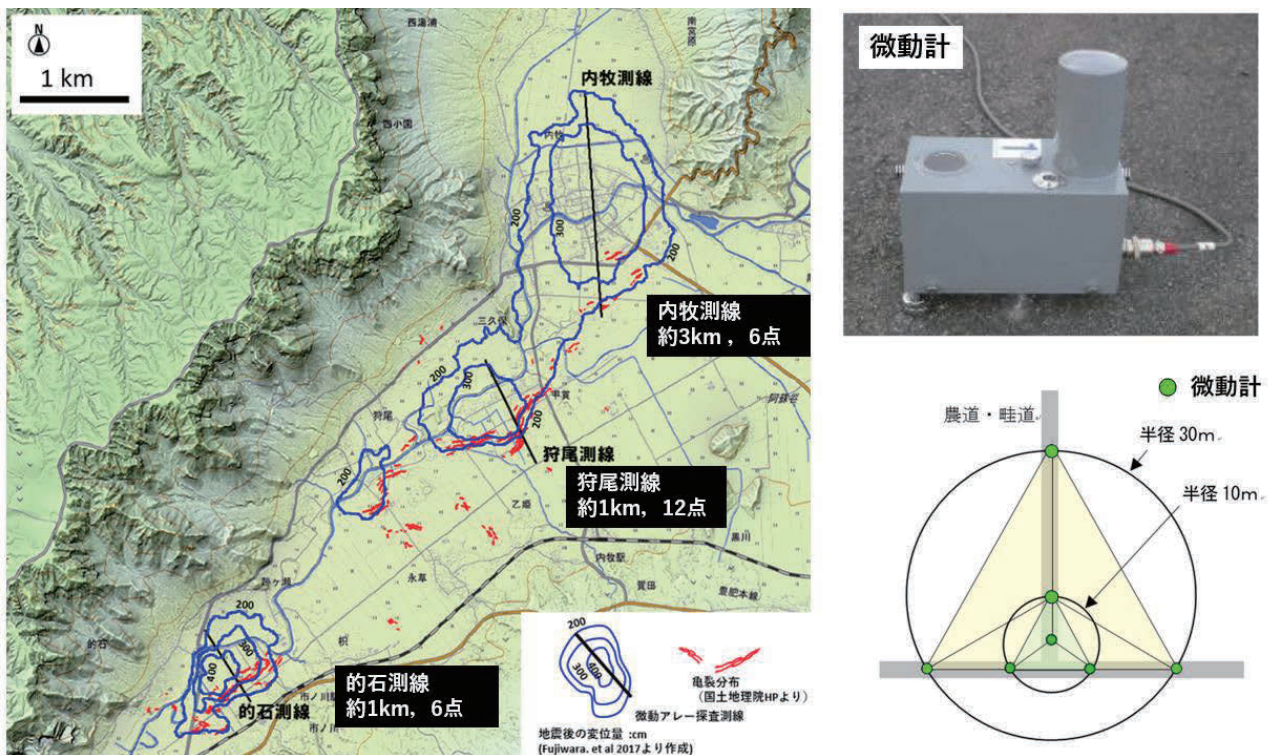


図1 阿蘇谷の亀裂群²⁾，微動アレー探査の測線配置と微動計・円形正三角形配置（SPAC法）

2. 微動アレー探査の方法と結果

阿蘇谷は火山岩地帯で溶岩を湖成層中に挟み、反射法探査では高速度層がサンドイッチ状に分布する場合の解析ができない。この条件でも探査・解析が可能な手法として、微動アレー探査を採用した。

観測線は変動域の中心線に配置（図1）とし、固有周期7秒（垂直成分）の速度型微動計（MTKV-1C）を半径30mと10mに円形正三角形配置するSPAC法（図1）で30～60分の観測を行った。解析では、観測から表面波の観測分散を求め、観測分散にフィットする理論分散曲線を探索し、理論分散曲線に適合するS波速度構造モデルを逆解析で求めた。微動アレーの解析では根拠となる観測分散と理論分散曲線を示す必要があるが、紙面の制約から内牧地区のみを示す。以下に、内牧地区6地点の観測分散と理論分散曲線（図2）を示し、逆解析によるS波速度構造（図3）を示す。

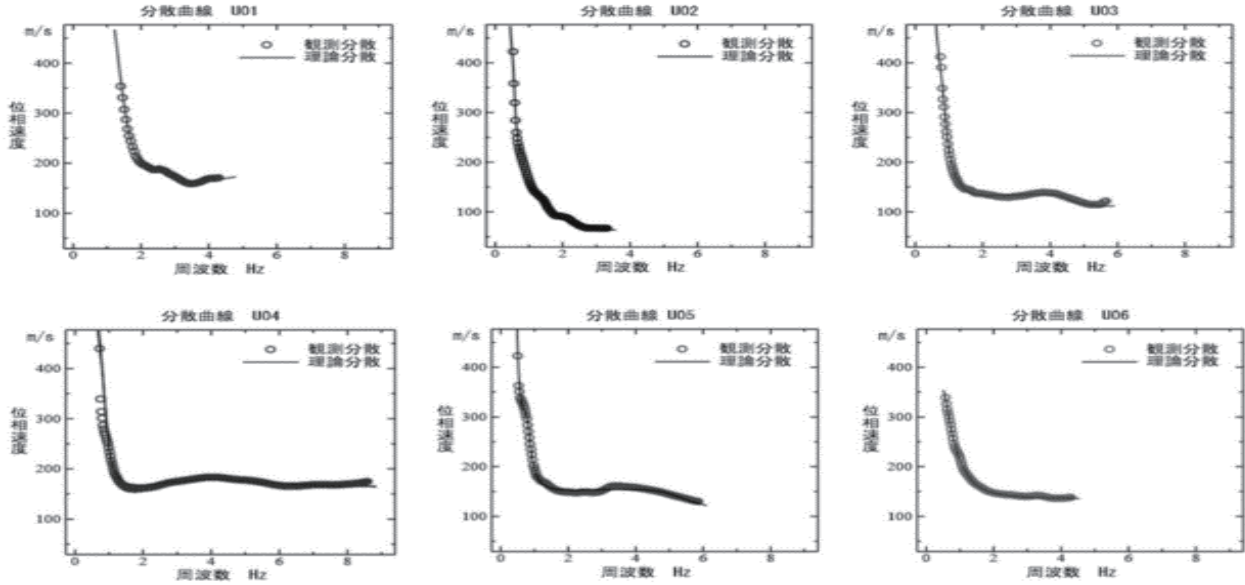


図2 内牧地区での観測分散と理論分散曲線

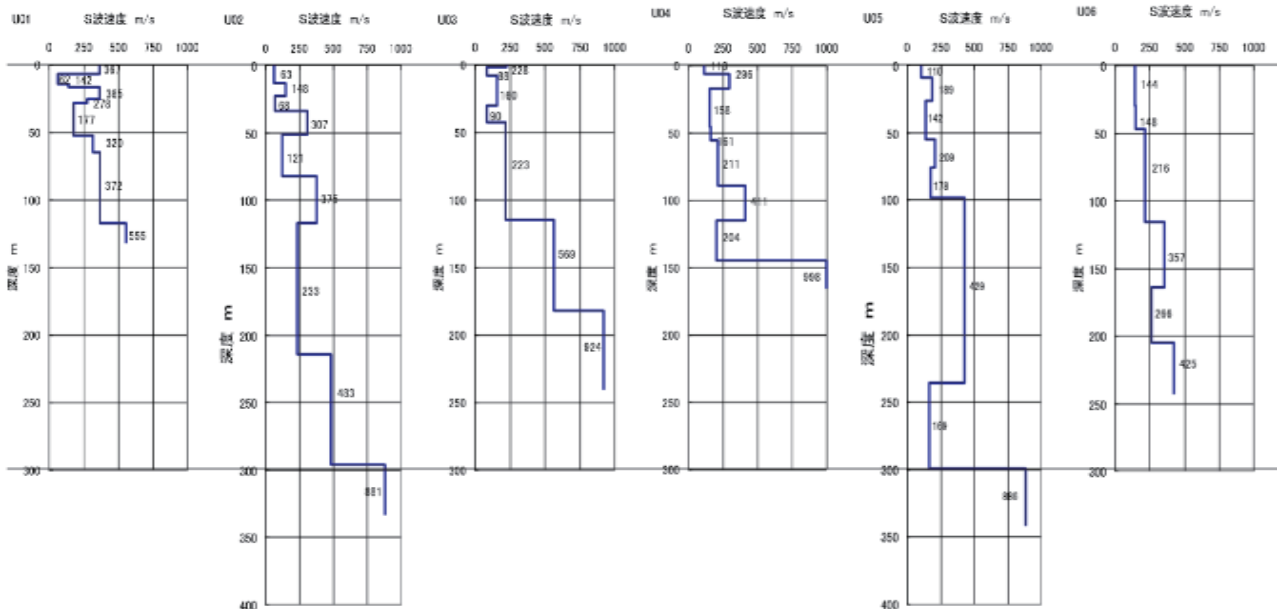


図3 内牧地区の地点ごとのS波速度構造モデル

3. 地盤変位と地下構造

(1) 内牧地区

内牧地区は表層に $V_s=180\sim 220\text{m/sec}$ 層が $10\text{m}\sim 20\text{m}$ 程度の厚さで分布し（図4）、建物の支持地盤となってい

る。直下 50m 付近まで $V_s=60\sim 150\text{m/sec}$ の軟弱な湖成層が分布する。50m 付近から $V_s=180\sim 220\text{m/sec}$ 層となり、その上面がほぼ水平に連続する。温泉井戸の調査でパイプの損傷位置が地下 50m 付近あり、この地層境界に沿って剪断破壊が生じた可能性が高い。

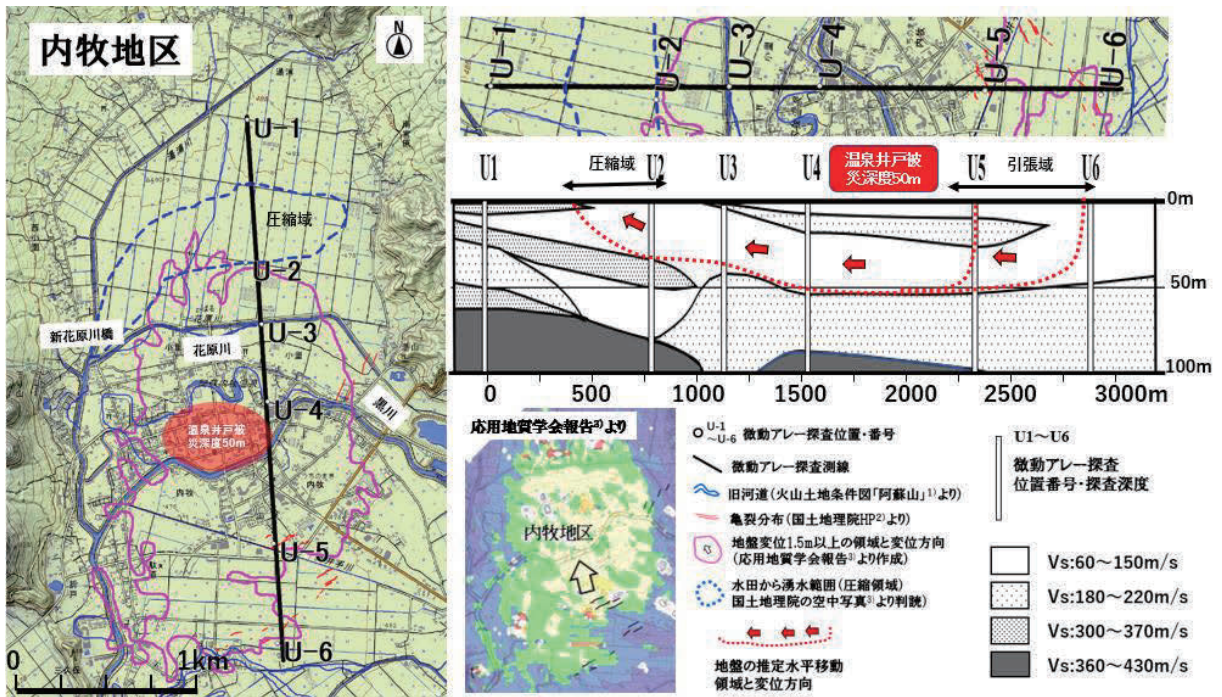


図4 内牧地区の探査結果⁴⁾（一部改変）

(2) 狩尾地区

狩尾地区で変位量 1.5m 以上の範囲は幅約 1km 長さ約 0.8km に達し、南側境界部に正断層状亀裂群が出現(図5)した。変動域の地表の勾配は 7/1000 程度で、南から北へ傾斜している。

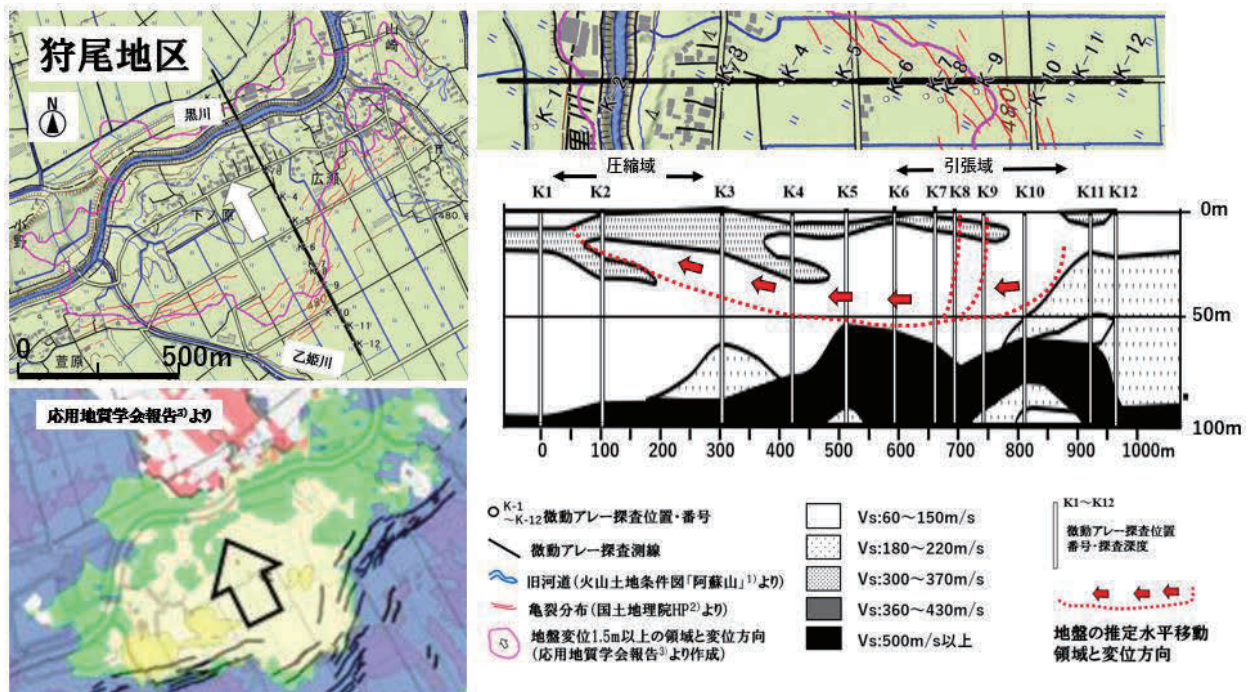


図5 狩尾地区の探査結果⁴⁾（一部改変）

狩尾全体の地下構造を見ると、表層数 m に分布する $V_s=180\sim 220\text{m/sec}$ 層が建物の基礎地盤となっている。深度 50m 付近には軟弱な $V_s=60\sim 150\text{m/sec}$ 層と $V_s=180\sim 220\text{m/sec}$ 層の境界があり、起伏しながら北側へ緩く傾斜している。この地層境界に沿って剪断破壊が生じた可能性が高い。

(3) 的石地区

的石地区では直線的な正断層状亀裂群が出現し，鉄塔や水田に被害が生じた．阿蘇西小の北西隅付近からの亀裂位置は，宮山遺跡の発掘時に発見・記載⁸⁾された地割れにほぼ一致する．

亀裂群と直交するチェーンアレー探査で，陥没位置の直下で遅い位相速度域が確認（図6）された．この位置を地主は，「戦前黄土が採掘された場所」，「掘跡の水溜まりで水浴びしていた子供が溺れた」などと語った．これは，直線的な亀裂群が黄土の採掘跡に重なることを意味している．

的石地区では，地下50~70m付近に $V_s=60\sim 150\text{m/sec}$ 層と $V_s=500\text{m/sec}$ 層の境界（図7）がある．境界はほぼ水平で，M3 から M1 にかけて浅くなる．すべり面として，この境界部が推定される．

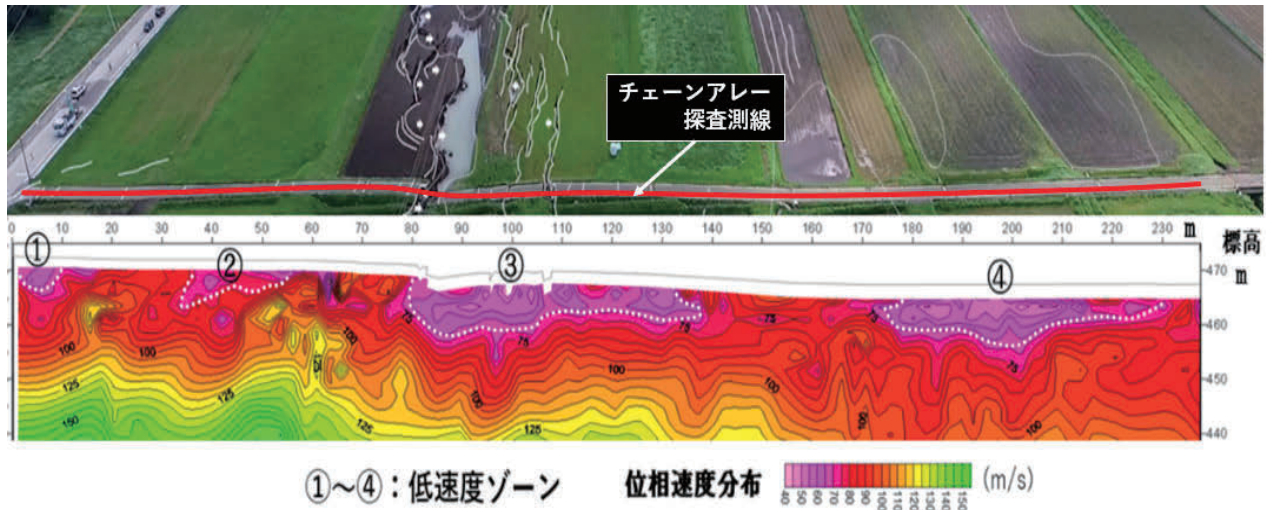


図6 亀裂群と直交するチェーンアレー探査結果⁴⁾

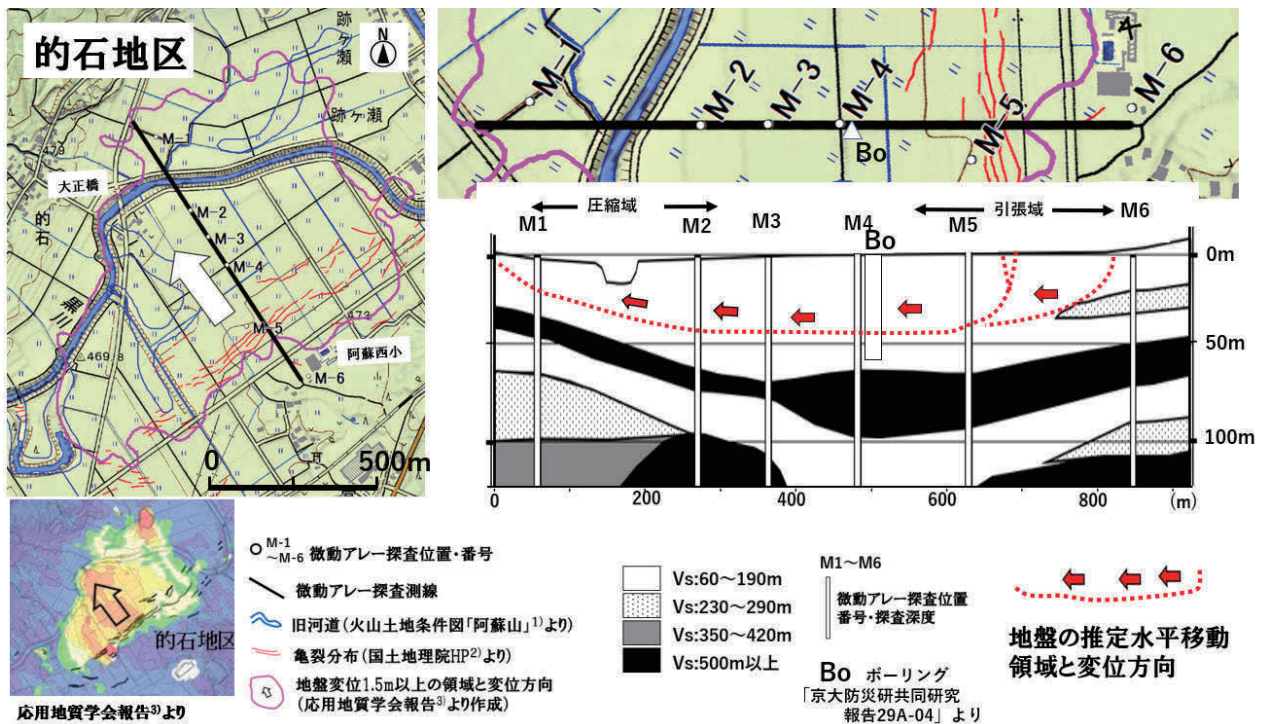


図7 的石地区の探査結果⁴⁾（一部改変）

一方，微動アレー探査地点 M-4 付近で実施されたボーリングの結果，深度44m 付近のコアに剪断層¹⁰⁾が確認（図8）でき，すべり面と判断される．コアでのすべり面を地表で確認出来る例として，固結してはいるが，同じ湖成層からなる死海中部ガリー地区の露頭例（図9）が参考となる．

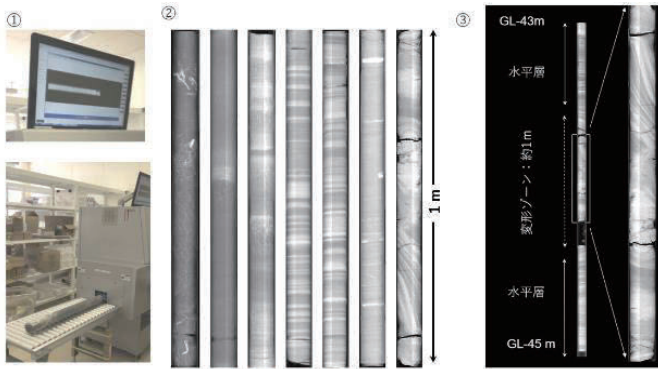


図8 コアのX線撮影装置，撮影画像，変形ゾーン

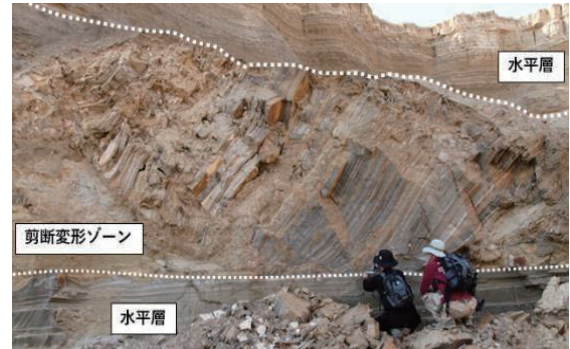


図9 湖成層中の剪断変形（奥村撮影 2009/2/20）

(4) 地下構造のまとめと変位のメカニズム

阿蘇谷の内牧・狩尾・的石の3地区での変動域は、キロメートル級の巨大な湖成層ブロックが、地震に伴い地下約50mの剪断面に沿って水平にすべることにより形成された（図10）と想定される。この際、移動ブロックの滑動端部は引張域となることから正断層状の亀裂群が形成されたと判断される。的石では、この引張部に戦前の黄土採掘跡が重なったため、直線的な陥没性亀裂群となったのである。

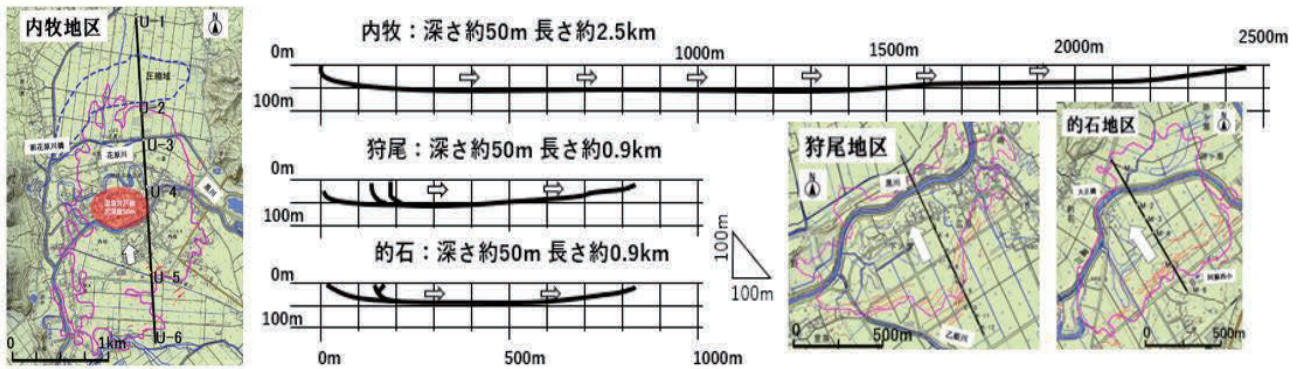


図10 阿蘇谷（内牧・狩尾・的石）で発生した地震時の巨大水平すべり

このような巨大ブロックの水平すべりは、陸上では珍しい現象である。しかし、海域では巨大な海底地すべり¹¹⁾が知られている。巨大な海底地すべりの例として、厚さ450m、長さ290kmのノルウェー沖のストレッガ海底地すべり¹²⁾がある。これを厚さ50mのすべりである内牧の水平すべりに換算すれば、長さは10倍以上の32kmに相当し、極めて扁平なすべり形態であることが理解される。別府湾には、基盤まで変位が連続しない多数の正断層群が知られている。ここでは、厚さ60m、長さ8kmに達する海底すべりによる短い正断層群形成モデル¹³⁾が提案されている。これらはいずれも地震動による海底地すべりで、形態として薄い扁平な水平な地すべりという特徴がある。

阿蘇谷は元々広大な湖が干上がった地域で、地下水位が高く、その地盤は主に軟弱な湖成層からなり、発生条件が海底地すべりと極めて類似していることから、同様のすべり形態が発生したものと考えることができる。

4. 今後の課題

阿蘇谷では、地下構造の基本的な枠組みは変わらない。このため、地震に伴い今後も同様の地表変動が同じ場所で発生する可能性がある。実際に阿蘇谷で実施された遺跡発掘現場^{8),9)}では、過去に発生した正断層状亀裂が確認されている。ただし年代^{8),9)}を参考にすれば、その再来周期は2000年程度と極めて低頻度で当面は安全である。したがって、今後の土地利用に際してはこうした事実を勘案して対応すればよいと考える。

なお、布田川断層の延長にあたる阿蘇谷の地下深部で、地震を発生させた活断層が動いた可能性は完全には否定

できない。しかし、途中で40m以上の溶岩層を挟んだ厚い軟弱層がこれを覆うため、これらの地層を断ち切って地表地震断層が地表に現れることは物理的にあり得ない。

謝辞

現地では、阿蘇市の関係各位及び地元住民の理解と協力を得た。隼防炎地質研究所の吉永佑一氏に現地調査で協力頂き、国際航業(株)の向山栄氏に地表変位情報の提供、広島大学の奥村晃史氏にガリー地区の露頭情報を教示頂いた。これらの方々に感謝します。ボーリング資料は、「京都大学防災研究所 平成29年度共同研究報告 29A-04(代表:土井一生)」を使用した。

参考文献

- 1) 国土地理院 (1994) 火山土地条件図「阿蘇山」.
- 2) 国土地理院 (2016) 空から見た布田川断層帯周辺の地表の亀裂, <https://www.gsi.go.jp/common/000145493.pdf>.
- 3) 日本応用地質学会 (2016) 阿蘇カルデラ内に出現した陥没性断裂とその周辺の地形変位, http://www.jseg.or.jp/00-main/pdf/20160716_Aso.pdf.
- 4) 原口強 (2018) 2016年熊本地震に伴い阿蘇谷で発生した亀裂群の形成機構, 月刊地球, 号外「竹村恵二教授退官記念特集号」, 79-85, 海洋出版.
- 5) 原口強・吉永佑一 (2016) 熊本地震で現れた地割れと被害, 日本応用地質学会研究発表会講演論文集, 2016, 3-4, 日本応用地質学会.
- 6) Tsuji et.al. (2017) Horizontal sliding of kilometre-scale hot spring area during the 2016 Kumamoto earthquake, Scientific Reports 7, 42947.
- 7) Fujiwara et.al. (2017) Non-tectonic liquefaction-induced large surface displacements in the Aso Valley, Japan, caused by the 2016 Kumamoto earthquake, revealed by ALOS-2 SAR, Earth and Planetary Science Letters 474,457-465.
- 8) 阿蘇市教育委員会 (2011) 宮山遺跡報告書 2, pp.1-201.
- 9) 熊本県教育委員会 (2010) 熊本県文化財調査報告 257: 小野原遺跡群, pp.1-375.
- 10) 京都大学防災研究所 (2018) 平成29年度共同研究報告 29A-04, 京都大学防災研究所年報, 第61号A, p.177.
- 11) 原口強・池原研・柳澤英明 (2020) 講座「海底地すべりと津波」2.国内外で発生した海底地すべりと津波の被災事例, 地盤工学会誌, 68,4,31-36.
- 12) Kenyon (1987) Mass-wasting features on the continental slope of Northwest Europe, Marine Geology, 74, 57-77.
- 13) 原口強 (2018) 別府湾の日出沖断層群は活断層か, 月刊地球, 号外「竹村恵二教授退官記念特集号」, 73-78, 海洋出版.