

熊本県上益城郡益城町島田地区における北甘木断層トレンチで遭遇した出来事とその対応

Incidents encountered during trenching study on the Kita-amagi fault at the Shimada paleoseismic site, Mashiki Town, Kumamoto Prefecture and countermeasures

丸山 正¹・齋藤 勝²・小峰佑介²・亀高正男²

Tadashi Maruyama¹, Masaru Saito², Yusuke Komine² and Masao Kametaka²

¹ 活断層・火山研究部門 (AIST, Geological Survey of Japan, Research Institute of Earthquake and Volcano Geology, tadashi-maruyama@aist.go.jp)

² 株式会社ダイヤコンサルタンツ (Dia Consultants Company Limited)

Abstract: We document some incidents encountered during trenching study on the Kita-amagi fault that ruptured in the 2016 Mj 7.3 Kumamoto earthquake and our countermeasures. The incidents contain an unexpected extensive spring water from shallow aquifer at trenching site and a collapse of a trench wall. For the former, in order to lower groundwater level we employed deep well method, which forcibly drains the groundwater flowing into the well, using submersible pump installed at the bottom of deeply dug wells. Since the deep well method worked well, there was no remarkable spring water from trench walls, and we were able to incline the walls at about 55° to 60°, which is suitable for observation. For the trench-wall collapse, we stabilized the collapsed wall promptly out of consideration for the possibility of further collapse expansion. These countermeasures allowed us to observe, log and photograph the trench walls, collect samples for analysis, and open to the public, without major troubles during the investigation period.

キーワード: トレンチ調査, インシデント, 北甘木断層, 2016年熊本地震, 地下水位低下工, 壁面崩壊

Keywords: Paleoseismic trenching, Incidents, Kita-amagi fault, 2016 Kumamoto earthquake, groundwater level lowering operation, trench wall collapse

1. はじめに

筆者らは、文部科学省委託事業「平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査」の一環として、布田川断層帯宇土区間(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2013)のうち、地震断層が出現した北甘木断層について、平成29年度に地震断層の分布や形態を記録するための地形調査と同断層の活動履歴の解明を目的として同断層南トレースにおいてトレンチ調査を実施した(第1~3図)。北甘木断層およびトレンチ調査を実施した島田地区の概要やトレンチ壁面のスケッチ、地質解釈等については丸山ほか(投稿中)で詳しく報告している。ここでは、島田地区トレンチ調査の過程で体験した想定外を含むいくつかの出来事とそれらへの対応について、調査記録として時系列で紹介する。

2. 計画時のトレンチ調査スケジュール

島田地区でのトレンチ調査を含む平成29年度の調

査は、3ヶ年継続事業の2年目ということもあり、年度の早い時期から現地調査が可能となった。そのため、2017年8月までに調査候補地点の選定、用地の確保、各種届出が完了した。調査地点は大豆畑であり、地権者の話では例年11月前半に収穫を終えるとのことであった。そのため、トレンチ調査は大豆収穫後の11月中旬に開始し、年内には調査を完了する計画で関係機関(施工・管理を請け負った地元建設会社、地元学校を対象としてトレンチ見学を企画している熊本大学を含む)と調整した。

島田地区トレンチ掘削場所は、現在は圃場整備により地形が改変されているが、米軍撮影の空中写真の判読によると、背後の北甘木台地を開析する浅い谷の出口に位置し、崖頂が下刻された断層崖の基部を横断する小扇状地状の微高地のようにみえる。掘削地点の標高は北方の沖積低地に比べ約1.5~1.7m高く(第2,3図)、また背後の小規模な浅い谷(以下、小谷と呼ぶ)からは流水は認められない(第3図)。気象庁(2018)による熊本県熊本における1988年か

ら2017年までの過去30年間の気象統計によると、10～2月の月別の平均降水量は100mm以下であり、それ以外の時期に比べて有意に少ない(第4図)。こうしたことから、計画した調査期間における調査地点での地下水位は地表から1.5m程度あるいはそれより深いと考え、深さ2m程度のトレンチを掘削しても大量かつ連続的な湧水は生じないと考えた。周囲には電気を引き込むための電柱がないこともあり、トレンチ敷地内にガソリンタイプ発電機を用意し、トレンチ底に一定程度水がたまった後に、水中ポンプで排水する計画を立てた。

3. 出来事とその対応

3.1 湧水

大豆収穫前に悪天が続き、トレンチ調査地点での大豆の収穫は11月25日午前にならなかつた。当日午後にはトレンチ掘削範囲の南端付近の小谷出口付近で1箇所と掘削範囲北端付近で1箇所の計2箇所地層および埋蔵文化財の有無の確認のため、重機を用いて深さ1.5m程度の試掘ピットを掘削したところ、いずれにおいても深さ1m程度で深から勢いよく水が湧き出し、ピットの壁面の崩壊が認められた(第5a図)。これを受けてすぐにピットを埋め戻し、関係者で対応を検討した。その結果、トレンチ近傍において帯水層から強制的に排水を行い、水位を下げた状態でトレンチ掘削を行うこととした。そのためには、24時間連続排水が必要となり、エンジンタイプの発電機では騒音の発生源になることと給油の手間がかかることが懸念された。検討した結果、トレンチ地点近傍に電柱を設置し、電気の引き込み工事を行うこととした。電柱設置地点の検討、用地交渉、建柱申請等の手続きのため、年内の調査開始を断念し、年明け以降に調査を再開することとなった。

3.2 地下水位低下工の施工とトレンチの掘削

地下水位低下工は、電気工事完了後の2018年1月24日に着工した(第5b図)。地下水位低下工はディープウェル工法(透水性地盤内にディープウェル(深井戸)を掘り、ポンプで排水する工法;例えば、藤井ほか(2014))を採用した。工事地点の選定に際しては、試掘時に湧水を確認したトレンチ予定地点の南東部の小谷の出口付近で2箇所、および地権者の聞き取りにより定常的な湧水が疑われたトレンチ予定地点の南西の畑の縁辺部で2箇所の計4箇所について、それぞれ深さ2～2.5m程度のピットを重機により掘削し、湧水の有無および量を確かめたうえで判断することとした。その結果、小谷の出口付近の2箇所において深さ2m付近から湧水が確認された。一方、トレンチ予定地点の南西の畑の縁のピットからはいずれも湧水は認められなかった。そこで、湧水が確認された2箇所について、有孔の高密度ポリ

エチレン管を帯水層に貫通させるように打ち立て、パイプ底に水中ポンプを設置したうえで排水を行なった(第2, 3, 5c図)。試掘ピット掘削時には湧水が泥水状であったことから、排水時に泥や土を流さないよう排水口に沈砂槽を設置し、泥や砂を沈殿させた(第3, 5d図)。

排水を始めて約1週間後にあたる2月2日にトレンチ掘削を開始した。地下水位低下工の効果により、壁面からは顕著な湧水はなく、長さ約19m、深さ最大約2.5mで、観察に適した55～60°程度の傾斜をつけた壁面を掘削することができた(第3, 6図)。また、調査期間中壁面は崩れることなく保持された。掘削したトレンチ壁面に対し、壁面整形、丁張り(遣り方)、1mグリッド張りを行なったのち、約1週間をかけて壁面の観察、スケッチおよび試料採取を行なった。その間、壁面モザイク写真用の写真撮影は曇天日に行なった(第6図)。

3.3 壁面の崩壊

現地では計画していた作業(壁面観察、東西両壁面の1/20スケールでのスケッチ、写真撮影、分析試料採取、専門家向け公開および地元見学会)は、壁面の細部の最終確認を除き、3月5日に一通り終了した。3月7日の朝、作業開始前の安全確認の際に、東壁面の縦糸E0～E7の壁面が地表からトレンチ底にかけて円弧すべり状に崩壊していることを確認した。前日は現地作業を行っておらず、ブルーシートで壁面を保護していたため、崩壊の予兆現象が生じていたか不明である。なお、3月1日以降、調査地点では3月3日に降雨があったものの小雨程度であり、崩壊と降雨の関係は見いだせない。一方、3月4日にはトレンチ北部において地層の分布や厚さを確認するため、トレンチ壁面縦糸E3.5付近、E5.7付近の底盤においてそれぞれ深さ90cm程度、60cm程度のピットを人力で掘削した(第7a図)。2つのピット掘削位置と崩壊範囲が概ね対応することから、崩壊発生の要因の一つとしてピット掘削の可能性が疑われる。

この崩壊により水中ポンプとブルーシートおよび縦糸・横糸の一部が土砂に覆われ、人力では回収できない状態となった。また、滑落崖の背後(東側)には崖の走向と平行なヘアクラックが認められ、さらなる崩壊の拡大が懸念された(第7b図)。そこで、速やかに本工事の施工・管理を請け負われた地元建設会社に連絡し、重機で水中ポンプ、ブルーシート、縦糸・横糸の一部を回収し、さらに崩壊部を均して壁の安定化を行った(第7c, d図)。こうした対応により、崩壊の拡大、機材の未回収および人的被害が生じることなく、トレンチ調査を完了することができた。

謝辞 トレンチ地点の地権者には、掘削調査を快く承諾していただきました。トレンチ地点周辺の住民の皆様には井戸水の湧出・利用状況についてご教示いただきました。トレンチ調査およびそれに付随する工事の施工・管理を請け負われた株式会社高村建設の担当者には、トラブル発生時に迅速かつ適切にご対応いただきました。第1図の2016年熊本地震に伴い出現した地表変位の判読には国土地理院提供の熊本地震発生後撮影空中写真を使用しました。杉山雄一氏には、原稿を改善するうえで貴重なご指摘をいただきました。以上の皆様に心よりお礼申し上げます。

本調査において、丸山は調査計画の立案、調査地点の選定、用地交渉、トレンチ壁面の観察を行なった。齋藤は試掘ピット掘削およびトレンチ掘削の指揮、壁面の整形・観察・記載、地下水位低下工の立案、指揮を担当した。小峰は地元交渉、施工会社への連絡、現場管理およびトレンチ壁面写真撮影と写真のモザイク処理を担当した。亀高は調査全般の管理を行なった。

文 献

藤井 衛・金 哲鎬・渡辺佳勝 (2014) 住宅地盤がわかる本 安全な地盤の基礎・設計の考え方, オーム社, 288 pp.
地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2013) 布田川断層帯・日奈久断層帯の評価 (一部改訂), 66 pp.

気象庁 (2018) 過去の気象データ・ダウンロード, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php> (2018年6月8日閲覧).

国土地理院 (2018a) 地図・空中写真閲覧サービス, <http://mapps.gsi.go.jp/maplibSearch.do#1> (2018年3月29日参照).

国土地理院 (2018b) 基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/mapGis.php?tab=dem> (2018年3月29日閲覧).

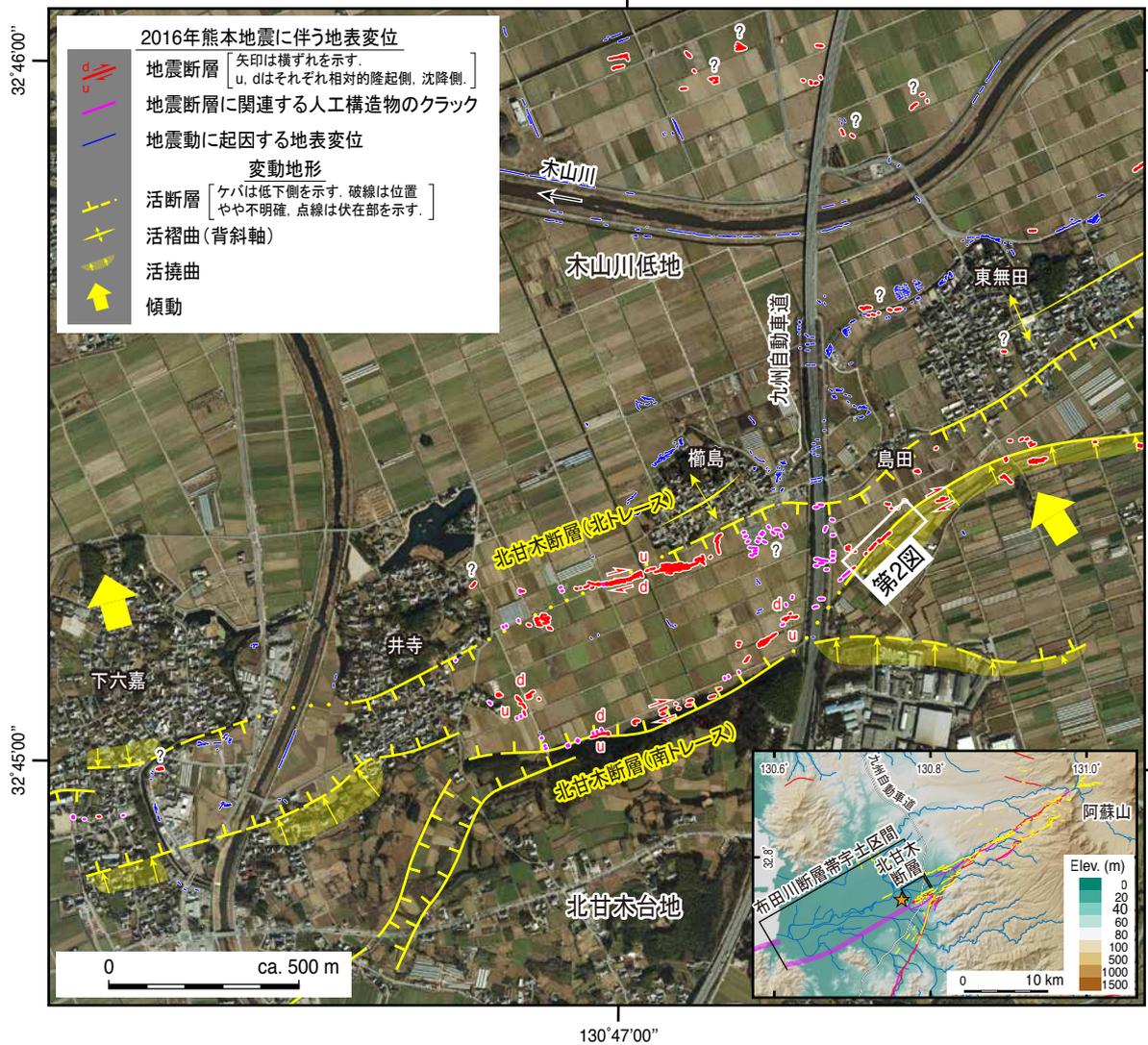
熊原康博・岡田真介・楳原京子・金田平太郎・後藤秀昭・堤 浩之 (2017) 1: 25,000 活断層図 布田川・日奈久断層帯とその周辺「熊本(改訂版)」, 国土地理院技術資料 D・1-No. 868.

丸山 正・齋藤 勝・小峰佑介・亀高正男 (投稿中) 2016年熊本地震に伴い熊本県上益城郡益城町島田地区に出現した北甘木断層沿いの地震断層の詳細と活動履歴, 活断層研究.

文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学 (2017) 平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査, 平成28年度成果報告書. 270 pp, https://www.jishin.go.jp/database/project_report/kumamoto_sogochousa-h28/ (2018年7月24日参照).

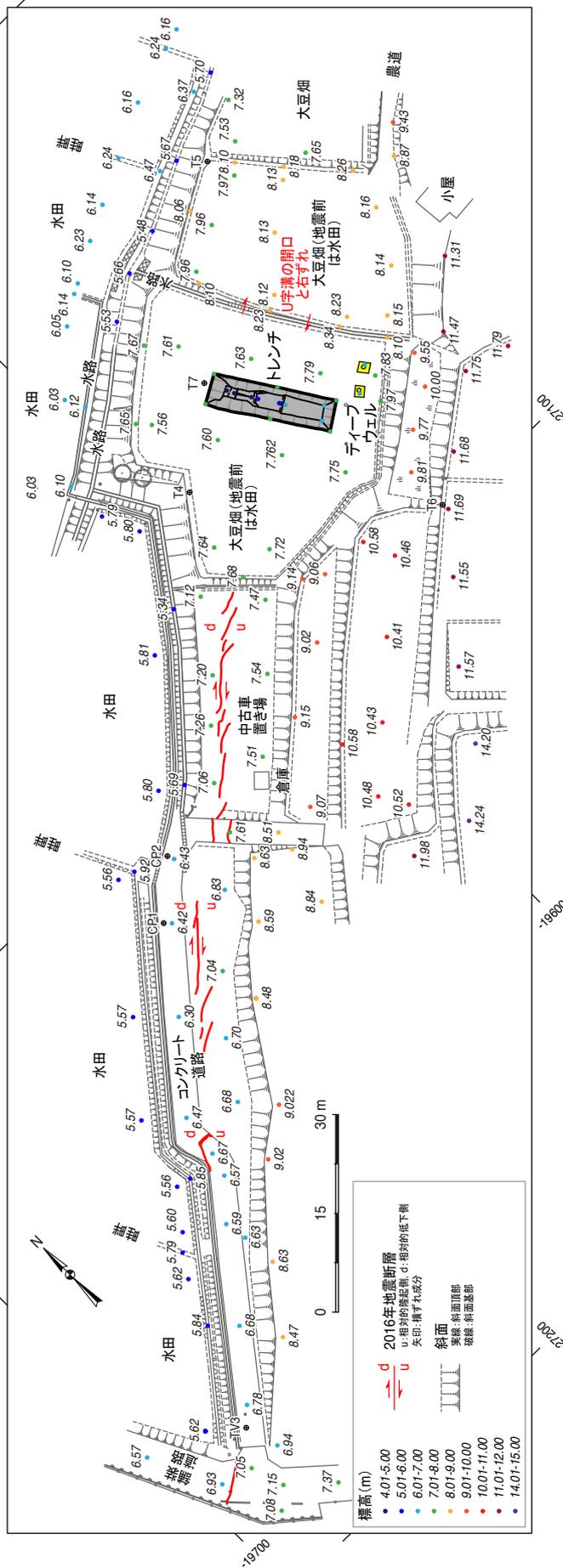
中田 高・今泉俊文編 (2002) 「活断層詳細デジタルマップ」, 東京大学出版会, 68 p, 付図1葉, DVD2枚.

(受付: 2018年7月30日, 受理: 2018年9月18日)



第1図. 北甘木断層の分布と2016年熊本地震に伴い同断層周辺に生じた地表変位(丸山ほか, 投稿中を改変). 地表変位の分布および区分は現地調査および国土地理院提供熊本地震発生後撮影空中写真の判読に基づく.“?”が付された地震断層は成因が不明確なものを示す. 活構造の分布は熊原ほか(2017)による. 第2図の位置を白枠で示す. 空中写真(CKU20072X-C5-26; 2008年2月25日撮影)は, 国土地理院(2018a)からダウンロードした. 右下の図は布田川断層帯宇土区間と北甘木断層を含む熊本平野周辺の活断層の分布を示す. 赤線および桃色線は, それぞれ中田・今泉編(2002)および地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013)による活断層トレース, 橙色星印は2016年熊本地震の本震震央, 黄色線は2016年熊本地震に伴い出現した地震断層の分布(文部科学省研究開発局・国立大学法人九州大学, 2017)を示す. 陰影図は国土地理院基盤地図情報数値標高モデル10mメッシュ(国土地理院, 2018b)から作成した.

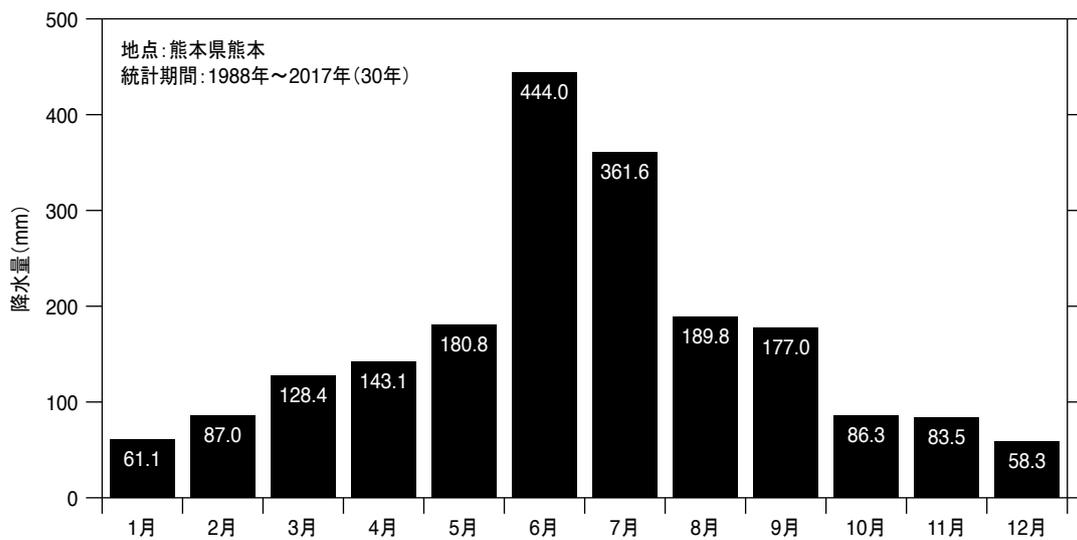
Fig. 1. Distribution of the Kita-amagi fault and surface breaks associated with the 2016 Kumamoto earthquake (modified from Maruyama *et al.*, submitted). Distribution and classification of the surface breaks are based on fieldwork and interpretation of aerial photograph taken immediately after the earthquake, that provided by Geospatial Information Authority of Japan. Surface rupture with “?” indicates that the origin is less certain. Distribution of tectonic landforms including the Kita-amagi fault is after Kumahara *et al.* (2017). White frame shows location of Fig. 2. An aerial photograph (CKU20072X-C5-26) was downloaded from Geospatial Information Authority of Japan (2018a). Inset map shows distribution of active faults in the area around the Kumamoto Plain, including the Kita-amagi fault. Red and pink lines show active fault traces from Nakata and Imaizumi (2002) and the Headquarters for Earthquake Research Promotion (2013), respectively. Orange star denotes mainshock epicenter of the 2016 Kumamoto earthquake. Yellow lines show the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake (Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology and Kyushu University, 2017). Background topographic imagery was created from 10 m mesh digital elevation model data published by Geospatial Information Authority of Japan (2018b).



第2図. 島田地区トレンチ (灰色四角) およびディープウェル (黄色四角) の配置と地震断層の分布 (丸山ほか, 投稿中を改変). 座標系は平面直角座標系 II. Fig. 2. Map showing the location and size of the trench (gray rectangle) and the deep wells (yellow rectangles) for reducing the water level and the distribution of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake along the Shimada paleoseismic site (modified from Maruyama *et al.*, submitted). The coordinate system is Japan Plane Rectangular CS II.



第3図. トレンチとディープウェルの配置. 北西に向かって撮影 (2018年2月3日撮影).
 Fig. 3. A photograph showing layout of the trench and two deep wells. View is toward the northwest (Photo: February 3, 2018).



第4図. 1988~2017年における熊本県熊本の月別降水量. 統計記録は気象庁(2018)による.
 Fig. 4. Average monthly total precipitation at Kumamoto, Kumamoto Prefecture from 1988 to 2017.
 The statistical record is from Japan Meteorological Agency (2018).



第5図. 試掘ピット掘削時の湧水を踏まえて実施した排水工事. (a) 試掘時に生じた湧水. 水量が増したため, 速やかに埋め戻した (2017年11月25日撮影). (b) 24時間排水作業に必要な電力引込のために新たに設置した電柱 (2018年1月24日撮影). 白丸は掘削地点で作業するバックホーを示す. (c) ディープウェル装置. 湧水が認められる層準にポリエチレン製有孔管を打ち立て, 管底に水中ポンプを設置した (2018年1月25日撮影). (d) 環境に配慮して設置した沈砂槽 (2018年1月25日撮影).

Fig. 5. (a) The spring water from shallow aquifer during the exploratory pit excavation. Since the water level increased, the pit was quickly backfilled (Photo: November 25, 2017). (b) A newly installed electric pole for electric power lead-in for 24-hour continuous drainage work (Photo: January 24, 2018). White circle denotes an excavator working at the Shimada paleoseismic site. (c) Drainage device that is composed of a perforated polyethylene pipe penetrating the aquifer of spring water and a submersible pump installed at the bottom of the pipe (Photo: January 25, 2018). (d) V-notch weir tank installed out of consideration for environment (Photo: January 25, 2018).



第6図. 島田地区トレンチ壁面のモザイク写真. (a) 東壁面, (b) 西壁面. 黄色の十字線は縦糸と横糸(いずれも1m間隔)の交点. Fig. 6. Photomosaics of trench walls at the Shimada paleoseismic site. (a) East and (b) west walls. Yellow cross marks the intersection of one-meter-interval vertical and horizontal reference lines.



第7図. トレンチ東壁面北部の崩壊の様子 (いずれも2018年3月7日撮影). (a) 崩壊した壁面. 東北東に向かって撮影. (b) 滑落崖背後に生じたクラック. (c) 崩壊土砂により埋没した水中ポンプとブルーシートを回収している状況. (d) 壁面安定工事後の状況.

Fig. 7. Photographs showing a collapse of the east wall and subsequent countermeasures against risk. All photographs were taken on March 7, 2018. (a) The collapsed part of the wall. View is toward the east-northeast. (b) A small fissure (outlined by red arrowheads) developed behind the collapse. (c) A photograph showing that a water pump and a tarpaulin buried by collapse-derived debris are retrieved carefully by using a heavy machine. View is toward the east-northeast. (d) A photograph showing the east wall after the provisional construction for wall stabilization.