

# 2016 年熊本地震で生じた俵山大橋の変状と付近の地表変位

Relationship between damaged bridge and surrounding ground deformation occurred in the 2016 Kumamoto earthquake

高見智之<sup>\*1</sup>・矢野健二<sup>\*2</sup>・小俣雅志<sup>\*3</sup>・千田敬二<sup>\*4</sup>・田村浩行<sup>\*5</sup>・橋本修一<sup>\*6</sup>・寺口慧介<sup>\*7</sup>・撰田克哉<sup>\*8</sup>・向山 栄<sup>\*1</sup>

日本応用地質学会熊本・大分地震災害調査団

Tomoyuki TAKAMI, Kenji YANO, Masashi OMATA, Keiji CHIDA, Hiroyuki TAMURA,

Shuichi HASHIMOTO, Keisuke TERAUCHI, Katsuya SENDA, Sakae MUKOYAMA

JSEG Research group for disaster on KUMAMOTO OHITA EARTHQUAKE

## 要旨

俵山大橋は 2016 年熊本地震で大きな損傷を受けた。損傷の特徴は、桁端部の橋台への衝突や積層ゴム支承の脱落、伸縮継手周辺の圧縮変形など橋軸方向への圧縮を示唆する変形と、センターラインが橋台付近で食い違う右横ずれ変形であった。地震の前後で計測された航空レーザの二時期データ比較解析から、地震時の周辺地区の地表変動が推定されており、俵山大橋付近で地表変動傾向が変化していることがわかった。俵山大橋付近の地表で右横ずれ変形が生じていたと推定され、俵山大橋を斜めに横切る地表変動が生じたと仮定すると、俵山大橋の変状の特徴をよく説明できる。地表での地表地震断層は確認されていないが、亀裂を生じない右横ずれの地盤変動が伏在していると推定される。

Key words : 平成 28 年熊本地震, 橋梁変状, 地表面変位, 航空レーザ計測, 数値地形画像マッチング解析

## 1. はじめに

2016 年熊本地震では多くの斜面災害が発生し、また国道や県道のような重要性の高い道路における盛土や橋梁・トンネル等の構造物にも多くの被害が発生した。

また、活断層<sup>1)</sup>として記載されていた布田川断層系の地表地震断層が現れ、その亀裂や地盤変形による農地や宅地、道路等の被害が発生した。

日本応用地質学会熊本・大分地震災害調査団は、2016 年 6 月 3 日から 5 日まで現地調査を実施し、その中で俵山方面調査班は、県道熊本高森線に沿った地域の地表変形と構造物被害の調査を行った。この中で特徴的な被害を受けた俵山大橋とその周辺地区の現地調査結果から、地盤の変形と橋梁・トンネル等の構造物の変状を把握した。

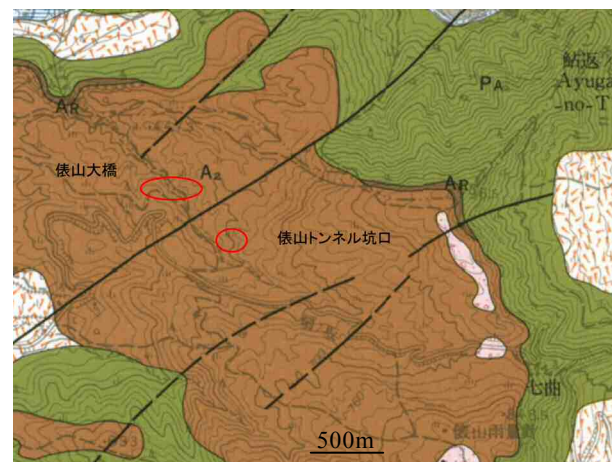
さらに本地区付近の二時期の航空レーザ測量データを利用した地表変動解析による地表面の変位状況进行分析し、これら構造物変状の実態と地表変動の関連について考察した。十分な調査・分析とはいえないが、復旧や対策を講じるための基礎資料として速報的にこれまでの成果を報告する。

## 2. 俵山付近の地形地質概要

俵山大橋や俵山トンネルなど構造物被害のあった俵山付近は、布田川断層の東端部にあたり、阿蘇カルデラの西側の白川左岸に位置する。先阿蘇火山岩類の上に阿蘇火砕流堆積物 (As-2)<sup>2)</sup>が覆う山地に位置する。



図－1 位置図(地質図 Navi<sup>1)</sup>より引用, 位置を加筆)



図－2 地質図(阿蘇火山地質図<sup>2)</sup>に位置を加筆)

PA : 輝石安山岩溶岩 (後期鮮新世－更新性火山岩類)

AR : Aso-2R 溶結凝灰岩

A2 : Aso-2A.B 火砕流

<sup>\*1</sup> 国際航業(株), <sup>\*2</sup> ジオテック技術士事務所, <sup>\*3</sup> パスコ, <sup>\*4</sup> 大日本コンサルタント(株), <sup>\*5</sup> 応用地質(株), <sup>\*6</sup> 東北電力(株), <sup>\*7</sup> 日本工営(株), <sup>\*8</sup> 日本地研(株)

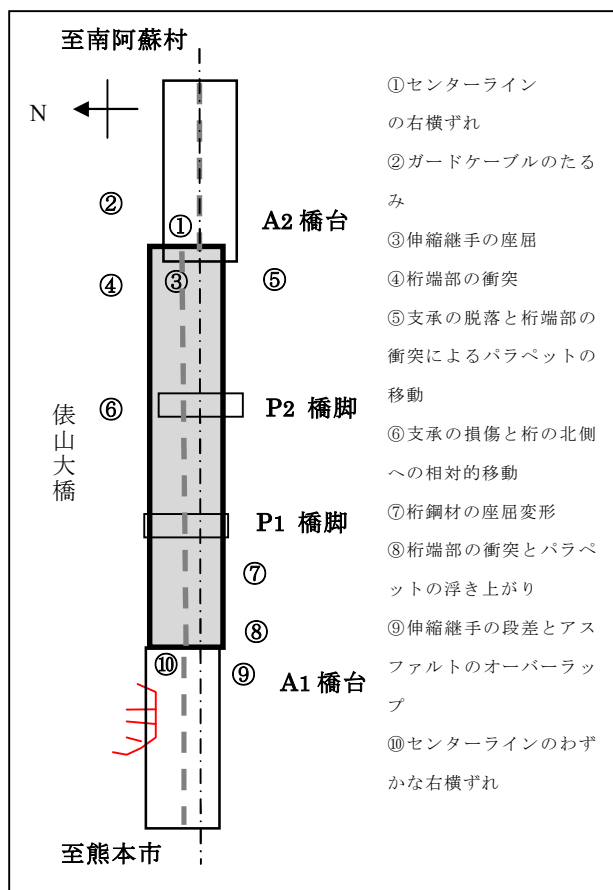
### 3. 俵山大橋の変状

県道熊本高森線の橋梁は地震によって多くの損傷を受けたが、俵山大橋は橋桁全体が橋軸方向の圧縮を受けた可能性があり特異な損傷を受けている。その特徴としては、橋台パラペット部と桁端部の衝突や伸縮継手部の圧縮変形、桁下部位材の座屈変形、積層ゴム支承の脱落・変形などである。

図－3に示す①～⑩の箇所について、損傷状況の概要を以下に記載し、変形の模式図を図－4に示す。



図－3 俵山大橋全景斜め写真<sup>3)</sup>(2016年4月16日撮影)  
(位置番号を加筆)



図－4 俵山大橋の損傷箇所と変形模式図

#### ①南阿蘇側の橋台付近のセンターラインの右横ずれ

南阿蘇側の伸縮継手でくいちがいが生じて、センターラインが約0.5m右横ずれしている(図－5)。また、段差が生じて橋桁側が沈下している。



図－5 南阿蘇側橋台部の中央線の右横ずれ

#### ②南阿蘇側の橋台付近のガードケーブルのたるみ

南阿蘇側の橋台背面側の路面は波打ち、ガードケーブルは大きくたるんでいて、道路縦断方向に短縮変形している(図－6)。



図－6 南阿蘇側橋台背面の変形

#### ③南阿蘇側の鋼製伸縮継手の座屈・オーバーラップ

南阿蘇側の橋台周辺は、舗装が波打ち、高欄が親柱に衝突し、鋼製伸縮継手部は段差が生じて桁端部にのし上げ、伸縮継手部にアスファルト舗装がオーバーラップしている(図－7)。これらの現象から橋軸方向への圧縮力が働いたと推定される。



図－7 南阿蘇側桁の伸縮継手の乗り上げ

#### ④桁端部のパラペットへの衝突と北側への変位

南阿蘇側の桁端部は、橋台パラペットに衝突して鋼材がまくれるように変形している(図－8)。また、桁の下端の部材は軸方向に座屈している。パラペットコンクリートは衝突箇所が剥離している。支承部は脱落し、桁が北側(橋台が南側)に相対移動している。





図－８ 南阿蘇側桁端部の衝突と変形

#### ⑤ 支承からの脱落とパラペットコンクリートの移動

南阿蘇側の支承 (G4) が損傷して桁が脱落している。支承部 (G4) は、アンカーボルトが損傷して回転し脱落している。パラペットコンクリートは桁端部の衝突によって亀裂が生じ、橋台基部に対して相対的に橋軸方向に約 70cm、橋軸直角方向北側に約 50cm 移動している (図－９の赤いマーキング)。



図－９ 南阿蘇側支承部の変位とパラペットの移動

#### ⑥ 橋脚部の桁の北側への相対移動

南阿蘇側の橋脚 P2 では、支承が損傷して桁が脱落し、桁が相対的に北側に移動している (図－１０)。北側の支障 (P2G1) はベースプレートごと北側に移動して橋脚から落ちかかっている。南側の支承 (P2G4) は支承部のコンクリートが損傷して剥離している。



図－１０ 橋桁の北側への相対移動と支承の損傷

#### ⑦ 桁の鋼板の座屈

熊本側橋台 (A1) と橋脚 (P1) の間の桁が座屈変形している (図－１１)。橋軸方向に大きな力が加わったことが想定される。橋脚 P1 の躯体には大きな損傷は見られない。



図－１１ P1～P2 橋脚間の桁の座屈変形

#### ⑧ 熊本側橋台部の桁端部の衝突

熊本側橋台 (A1) には、桁端部が衝突してめり込んだ跡があり、桁端部の鋼材も変形している (図－１２)。橋台パラペット部は亀裂が入って浮き上がった状態となっている。積層ゴム支承は、大きく変形して斜めになっているが損傷を受けていない。



図－１２ 熊本側桁端部の衝突痕とパラペットの損傷

#### ⑨ 熊本側鋼製伸縮継手の座屈とオーバーラップ

熊本側伸縮継手部で舗装アスファルトが伸縮継手の上に衝上してオーバーラップしている (図－１３)。橋台側路面はたわんで沈下し、ガードケーブルも大きくたわんでいる。以上のことから熊本側橋台周辺で橋軸方向への短縮変形が推定される。



図－１３ 熊本側伸縮継手付近の変状



#### ⑩熊本側橋台付近でのセンターラインのわずかな右横ずれ

熊本側橋台付近では、直接計測できないがセンターラインを通してみるとわずかに（数 cm）右にずれている様子がわかる。



図－1 4 熊本側橋台付近のセンターラインのずれ  
（熊本側から南阿蘇方向を見る）

#### 4. 俵山大橋周辺の地表変状

##### (1) 熊本側橋台付近の斜面崩壊

橋台背面が崩壊し、橋台コンクリート背面が露出している。これに続く路肩部が谷側（北側）に滑動し沈下している（図－1 5）。これに続く路面にも舗装に連続的な亀裂が多数生じているが、系統的な横ずれを示すものは見られない。

橋台の前面も地山が崩壊して橋台基礎の深礎が露出している（図－1 6）。躯体コンクリートにも亀裂が生じている。



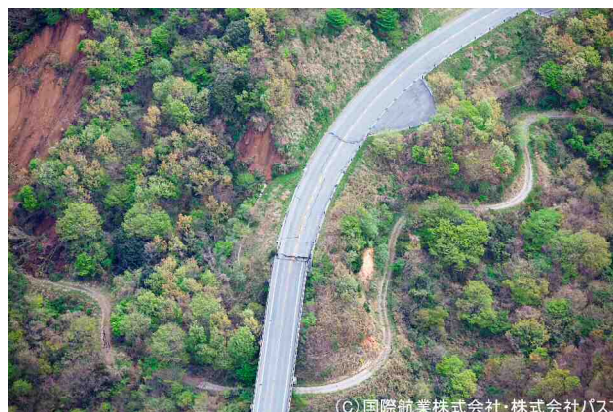
図－1 5 熊本側橋台背面の崩壊<sup>3)</sup>



図－1 6 熊本側橋台基礎前面の崩壊

##### (2) 南阿蘇側橋台付近の地表変状

南阿蘇側の土工部でも舗装に亀裂が多数生じており、路面が波打っているが、系統的な横ずれを示すようなものは見られない。北側の自然斜面では斜面崩壊が発生しているが、表層の火山灰層が滑落したものと推定される（図－1 7）。



図－1 7 南阿蘇側橋台周辺の地表変状

#### 5. 2 時期の LiDAR-DEM からの変動解析結果

日本応用地質学会熊本・大分地震災害調査団は、阿蘇カルデラ地域全域を対象として、2 時期の数値地形モデル(DEM)を用いた数値地形画像マッチング解析（Mukoyama,2011<sup>4)</sup>）により、地表面の水平変位及び鉛直変位を計測し、広域的な地表面変位の分布を把握した<sup>5)</sup>。数値地形画像マッチング解析（3D-GIV 解析: 3D Geomorphic Image Velocimetry）は、数値標高データから求めた地形量を画像化した数値地形画像のペアを作成し、画像マッチングの手法を応用して画像の濃淡パターンを追跡して水平移動量を求め、画素に対応する座標点の標高値の2 時期差分値と合成して、3 次元の移動ベクトルを求める手法である。使用した地形データは、国土交通省により地震前の2010 年4 月に取得された航空レーザ計測地形データ（1mDEM）と、地震後の2016 年4 月19 日～5 月18 日に国際航業株式会社が計測した航空レーザ計測地形データ（1mDEM）である。この解析結果による地表変位量や変位方向と、阿蘇カルデラ内北部の地表変状が整合的であることが報告されている。

この変動解析結果の地表変位ベクトル分布図から作成した俵山大橋周辺の拡大図（図－1 8）からは、変動ベクトルの急変するところが見られ、以下のような地表変位の傾向を読み取ることができる。

図－1 8 中の a の点線から北側は北東～東北東へ向かうベクトルが多く、約 2～3m 変位している。これに対し、点線より南側では全体として西に向かうベクトルが多く、1m 前後の変位が見られる。この変位ベクトルの向きや変位量が大きく変わる境界は、比較的シャープである。点線 a の西側の南の地区では、変位ベ



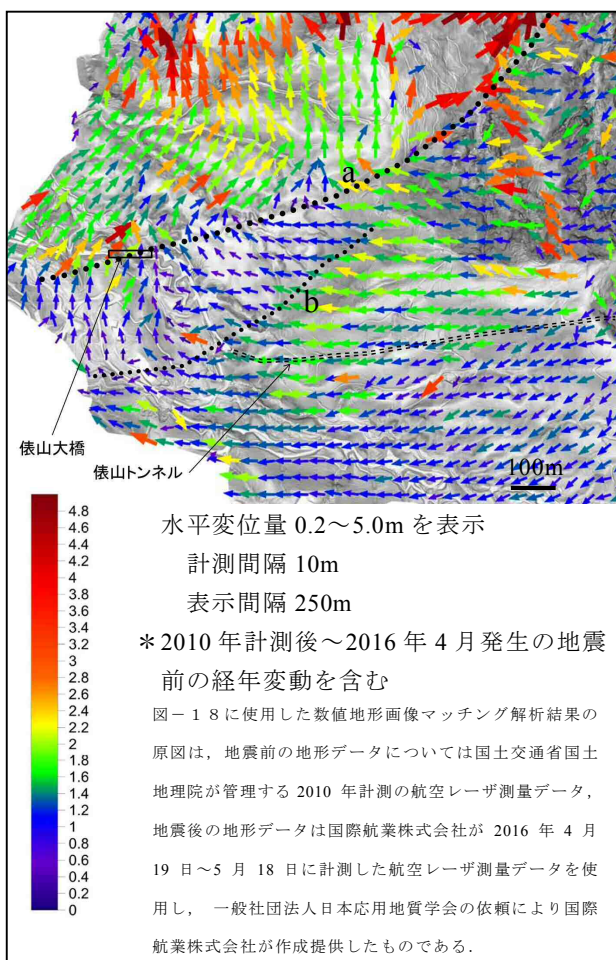
クトルの向きが西方向から北へと変化している。

図－１８中の b の点線から南東側は変位量が 1 ～ 2m と大きいのにに対し、点線 b の北西側の変位量が急激に小さく、1m 程度以下となっている。

図－１８中の線 a と線 b に挟まれた地区では、時計回りの回転運動しているようにも見える。

以上の特徴から、俵山大橋付近を斜めに横切る地表変位の急変線があり、そのセンスは右横ずれを示すことが想定される。

なお、図－１８上部の右（北東側）の 3 m を越える北東向きの変動領域は、微地形の発達から斜面変動によって増幅されている可能性が高い。また、図上部左（北西側）の 3 m を越える北向きの変動は、地すべり等の斜面変動が重なっている可能性がある。さらに、点線 b の東側の 2m 前後のやや大きい変動領域は尾根部の表層の変動が重なっている可能性がある。



図－１８ 地表変位ベクトル分布図

(変位ベクトル分布図<sup>5)</sup>を拡大、加筆)

## 6. 考察

前述の俵山大橋の変状①～⑩からは、橋軸方向の圧縮変形が推定されるとともに、地盤の短縮変形と右横ずれ変動が推定される。

地盤の短縮変形や横ずれ変形は、内陸地震直下型の強震動による斜面の地すべり～重力変形が考えられる

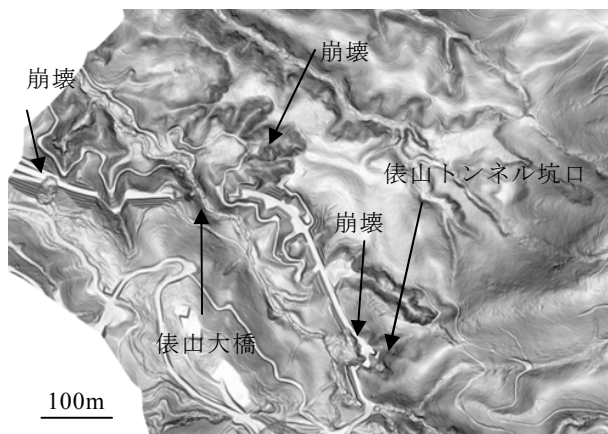
が、橋台付近の地表面には地すべり等の重力変形を示すような現象は見られなかった。また、LiDAR-DEM から作成した傾斜量図（図－１９）においても、重力変形を示すような段差・小崖地形などは検出されない。

二時期の LiDAR-DEM を用いた変動解析では、地表変位ベクトルの分布から、俵山大橋付近を斜めに横切る地表変位急変線があって右横ずれを示すことが想定される。

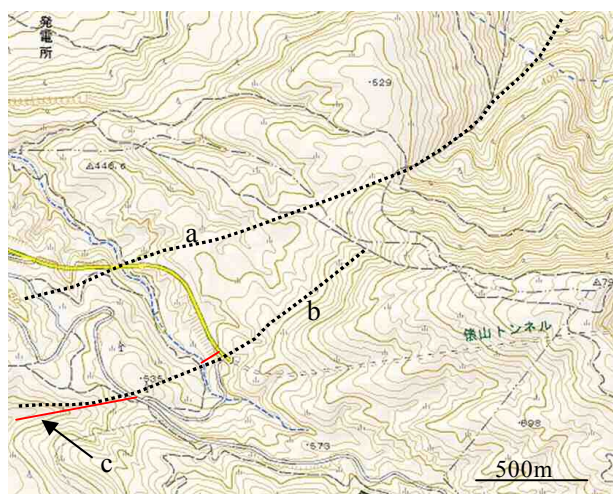
以上のことから、橋梁の短縮変形と右横ずれ変形は、橋梁を横切るような地盤の右横ずれ変形があったとすれば説明が可能となる（図－２２）。

地表地震断層の分布は、多くの研究者が調査しているが、俵山大橋近傍での地表亀裂はいまのところ報告されていない。しかし、表土層や岩盤の緩み層が比較的厚い場合には、地表面が脆性破壊しないである幅を持った地域で延性的に変形することが考えられる。

なお、図－１８の点線 b の延長線上には、地表亀裂（図－２０中の c）が連続し、地表地震断層と認識<sup>6)</sup>されている（図－２１）。したがって、二時期 LiDAR-DEM からの変動解析による変動ベクトルの急変線では、地表変動している可能性が高いと推定される。



図－１９ 俵山大橋付近の傾斜量図



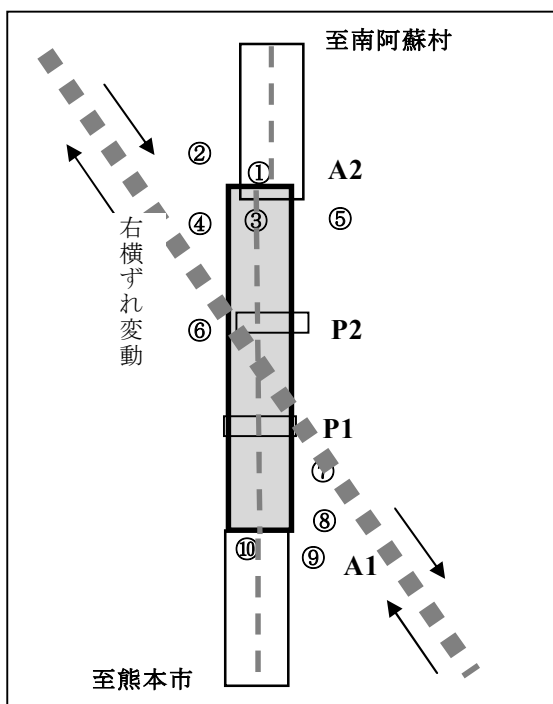
図－２０ 地表変動急変線の地形図上の位置

a, b: それぞれ図－１８の a, b のトレース

c: 確認された地表地震断層<sup>6)</sup>



図－2 1 条線のある地表亀裂（図－2 0 c 付近）



図－2 2 橋梁・地盤変形模式図

## 5. まとめ

俵山大橋の損傷の特徴は、桁端部の橋台への衝突や積層ゴム支承の脱落、伸縮継手周辺の圧縮変形など橋軸方向への圧縮を示唆する変形と、センターラインが橋台付近で食い違う右横ずれ変形であった。

地震の前後で計測された航空レーザの二時期データ比較解析からは、地震時の周辺地区の地表面変位が検出され、俵山大橋付近で地表変動傾向が変化していることがわかった。

俵山大橋付近の地表で右横ずれ変形が生じていたと推定され、俵山大橋を斜めに横切る地表変動が生じたと仮定すると、俵山大橋の変状の特徴（短縮変形と右横ずれ変位）をよく説明できる。

俵山大橋の南約 500m にも二時期 LiDAR-DEM からの変動解析によるベクトル急変線が認められ、その直

近で地表地震断層が確認されている。俵山大橋近傍には地表地震断層は確認されていないが、亀裂を生じない右横ずれの地盤変動が伏在している可能性がある。

## 文献

- 1) 国立研究開発法人 産業技術総合研究所(2016)：地質図 Navi. (最終閲覧 2016 年 11 月 8 日)  
<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php>
- 2) 小野晃司・渡部一徳（1985）：阿蘇火山地質図，通産省地質調査所
- 3) 国際航業株式会社（2016）：速報平成 28 年(2016)熊本地震 2016 年 4 月，航空写真（斜め写真）. 国際航業株式会社ホームページ. (2016 年 11 月 8 日最終閲覧)  
[http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201604\\_kumamoto/index.html](http://www.kkc.co.jp/service/bousai/csr/disaster/201604_kumamoto/index.html)
- 4) Sakae Mukoyama（2011）：Estimation of ground deformation caused by the earthquake (M7.2) in Japan, 2008, from the geomorphic image analysis of high resolution LiDAR DEMs. Journal of Mountain Science, 8, Issue 2, pp 239-245.
- 5) 日本応用地質学会 2016 年熊本・大分地震災害調査団(2016)：2 時期の航空レーザ計測地形データ解析による平成 28 年（2016 年）熊本地震前後の阿蘇カルデラ地域における地表変位. 日本応用地質学会ホームページ. (2016 年 11 月 8 日最終閲覧)  
[http://www.jseg.or.jp/00-main/pdf/20160822\\_kumamoto\\_rep.pdf](http://www.jseg.or.jp/00-main/pdf/20160822_kumamoto_rep.pdf)
- 6) 日本応用地質学会九州支部(2016)：2016 年熊本地震日奈久断層帯布田川断層帯地表地震断層ストリップマップ 2016 年 5 月末現在. 九州地理空間情報ポータル. (2016 年 11 月 8 日最終閲覧)  
[http://gcity3.doc.kyushu-u.ac.jp/H28\\_Kumamoto-EQ\\_GS\\_CDB/](http://gcity3.doc.kyushu-u.ac.jp/H28_Kumamoto-EQ_GS_CDB/)