

# 熊本地震に伴う地表地震断層と断層地形との関係

## Relationship between active fault landform and surface rupture accompanied with 2016 Kumamoto Earthquake

\*熊原 康博<sup>1</sup>

\*Yasuhiro Kumahara<sup>1</sup>

1. 広島大学大学院教育学研究科

1. Graduate School of Education, Hiroshima University

2016年4月に発生した熊本地震に伴い、長さ30kmをこえる地表地震断層が、これまで活断層として報告されていた布田川-日奈久断層帯（九州の活構造，1989；中田・今泉，2002ほか）に沿って発生した。しかしながら、過去の活動の累積である布田川-日奈久断層帯の断層地形は、集落や森林下を通過するため、空中写真による地形判読では、これまで十分に明らかになっていなかった。本発表では、詳細な地表地震断層のトレースをもとに、2mデジタル標高モデル（DEM）を活用して、既存の活断層地形を明らかにし、地表地震断層と断層地形の関係を検討した。

### 地表地震断層の分布とその特徴

熊本地方における一連の地震活動では、4月14日にMj6.5の地震（深さ11km）が起きた28時間後に、阪神淡路大震災と同程度であるMj7.3の地震（深さ12km）が続けて起きた。

「本震」にあたる16日の地震に伴う地表地震断層は、既存の活断層である日奈久断層北部から布田川断層や出ノ口断層に沿って、ほぼ連続的に生じ、その長さは約31kmである。

多くの地点で右横ずれ変位が認められ、最大右ずれ変位量は益城町堂園で約2.25mである。布田川断層沿いの上下変位は、南部では南西側上がり、北部では北東側上がりとなる。上下変位量は最大1mである。

西原村から阿蘇外輪山付近では、布田川断層から約2km南東に、布田川断層と平行に延びる出ノ口断層があり、出ノ口断層に沿って一部左横ずれ変位を伴う北西落ちの正断層性変位（最大2m）が認められた。全体として、直線的な右横ずれセンスの断層に並走して北西落ちの正断層センスの断層が認められる。

北東-南西走向の右横ずれ変位をもつ地表地震断層が雁行する箇所で、北西-南東走向の短い断層が認められ、トレースに沿って左ずれ変位が認められた。主たる断層に対する共役な断層である。

空中写真判読に基づいて活断層のトレースを認定した「活断層詳細デジタルマップ」、都市圏活断層図「熊本」で活断層を図示していない区間で地表地震断層が一部現れた。特に益城町北部では、変動地形学的なセンスからは想定できない位置に断層トレースが出現した。

14日の地震では日奈久断層北部（白旗-高木区間）や布田川断層南部で地表地震断層が数cm程度の変位が生じた。同じトレース上で14日の地震に伴う変位より大きい変位が、16日の地震で生じている。

今回のずれの範囲や変位量からみて、日奈久断層北部から布田川断層、出ノ口断層の断層地形を形成してきた断層運動が今回生じたと見なせる。

### 布田川-日奈久断層の断層地形

地表地震断層上では、過去の活動の累積である、断層変位地形が多数で認められた。これまで変位基準が明らかになっていなかった布田川断層沿いでは、明確な河谷の右横ずれ変位が連続的に認められる。一方、正断層性の縦ずれ変位も同様に認められ、繰り返しこのトレースで断層変位が生じていることが認められた。

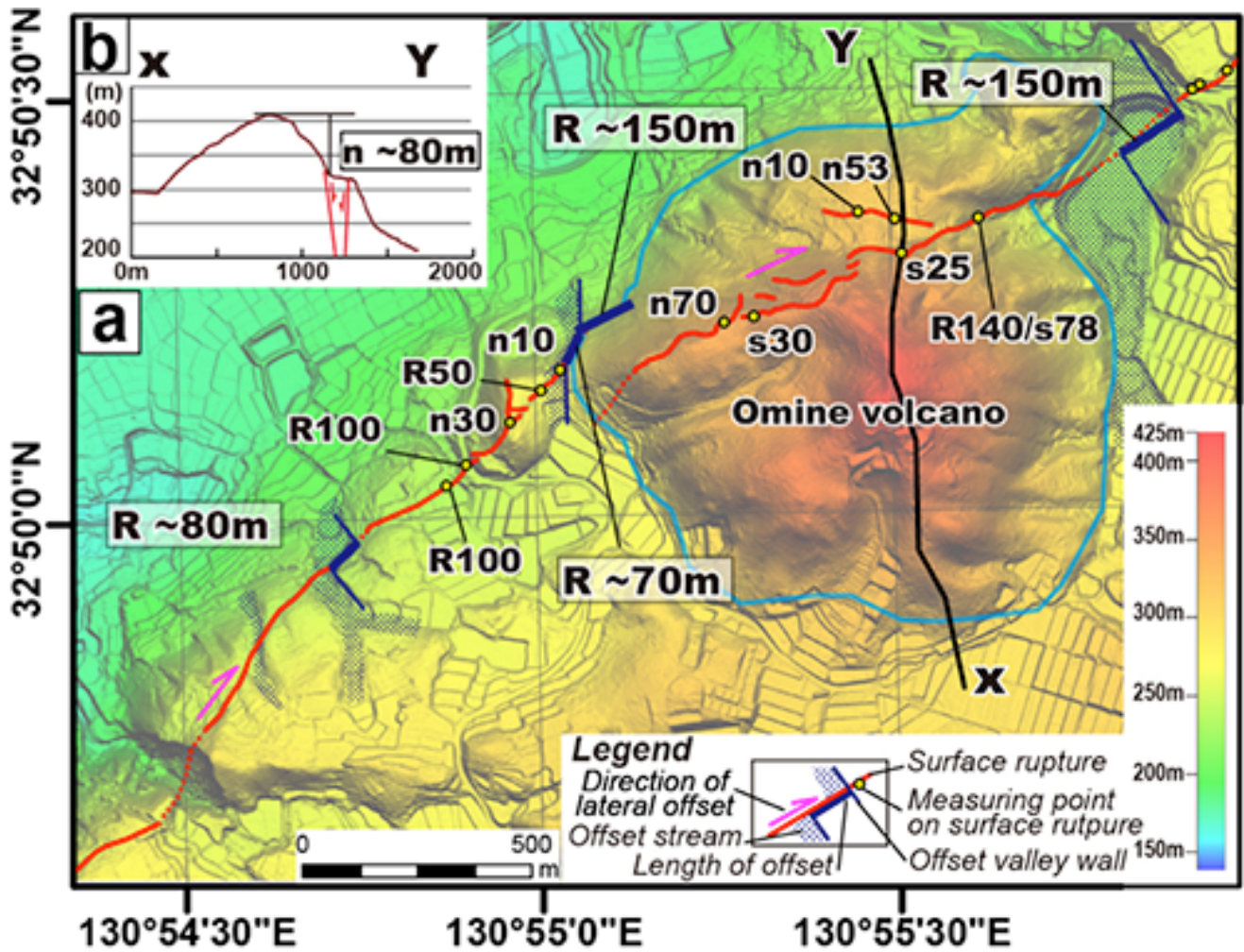
例えば、西原村大峰では、約12万年前に噴出した単成火山である大峰火山(石坂ほか,1992)の山体を横切って、地表地震断層が認められ、右ずれ最大140cm、南側上がり78cmの変位が認められた(図1)。地表地震断層上の、火砕流台地の河谷や大峰火山の山体では、70~150mの右横ずれ変位が認められる。また大峰火山の山体は約80m南上がりの垂直変位を受けている。火山の形成年代(約12万年前)と累積変位量(150m)を考えると、右横ずれ変位の平均変位速度は1.25m/千年となる。単純に、今回の地震に伴う変位量

(140cm) が過去の活動でも繰り返し同じように生じているとすると、100回を超える活動が必要となり、およそ1200年に1回の変位が生じることが予測される。これらの推測値は、今後詳細に検討されるべきであろう。

発表では、日奈久-布田川断層全体を通して累積的な断層変位地形を検討し、地表地震断層と断層地形の関係について議論する予定である。

キーワード：熊本地震、地表地震断層、活断層

Keywords: Kumamoto Earthquake, Surface rupture, Active fault



## 8Kスーパーハイビジョンの防災、地球科学への活用：2016年熊本地震からの報告

### Utilizing 8K Super Hi-Vision for Disaster Mitigation and Geosciences: reporting from the 2016 Kumamoto earthquake in Japan

\*山口 勝<sup>1</sup>

\*MASARU YAMAGUCHI<sup>1</sup>

1. NHK 日本放送協会 放送文化研究所

1. NHK Japan Broadcasting Corporation, Broadcasting Culture Research Institute

NHK（日本放送協会）は、世界に先駆けて2016年8月、4K/8K・SHVの試験放送を開始した。本発表は、現行のハイビジョン（2K）の16倍の高精細さを持つ8K技術が、放送だけでなく災害や地球科学の研究にも有効であることを、リモートセンシングや空間情報の面から明らかにする。

NHKは、熊本地震の発生直後に、小型の8Kカメラ（2kg）を使い、大きな被害を受けた活断層沿いの空撮を行った。その映像を活断層の研究者が解析した結果、それまで未発見だった断層や亀裂が発見され、その成果は、NHKの番組で報告された。8K映像が初めて、災害分析に活用されメディアの世界で活用されたのである。


8Kカメラは、数センチの亀裂を高度400mから捉え、空中写真よりも“高精細”で、4Kドローンの映像よりも“広画角”である。亀裂は、地滑りや堤防決壊など、さまざまな災害の芽であるため様々な防災・減災活用が期待される。一人ひとりの“動き”が分かる8K映像は、人命救助や捜索、一時的にできた避難所や車中泊の発見にも有効である。また、8K空撮は“斜め映像”なので縦方向の情報も得られるため、家屋倒壊状況調査も簡易化でき、映像データを3Dモデルや災害支援地図づくりに活用することも可能である。

参考文献：「8Kスーパーハイビジョンの防災活用の可能性」放送研究と調査2017年

[http://www.nhk.or.jp/bunken/research/domestic/20170101\\_07.html](http://www.nhk.or.jp/bunken/research/domestic/20170101_07.html)

キーワード：活断層、8Kスーパーハイビジョン、リモートセンシング、メディア、NHK、災害

Keywords: active fault, 8K Super Hi-Vision, remote sensing, Media, Japan broadcasting corporation, disaster

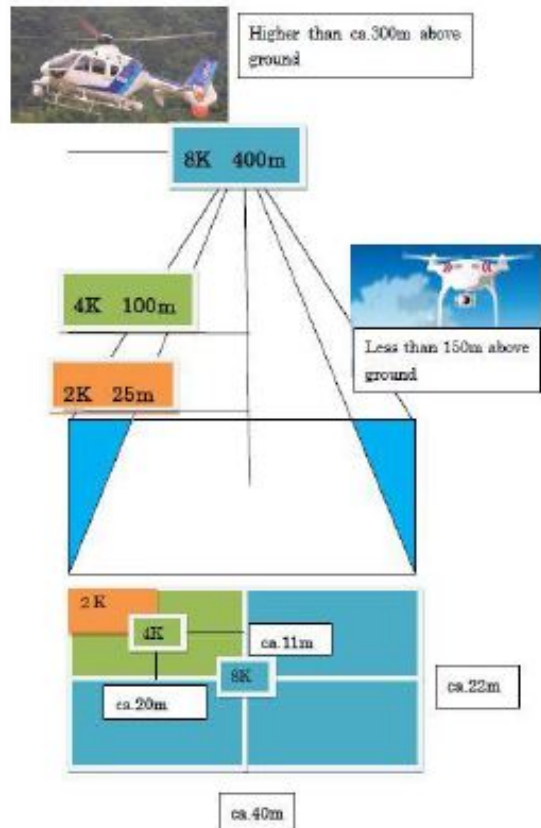


HDTV(2K)      4K      8K Super Hi-Vision

The 8K Super Hi-Vision system supports higher frame rates to enable vivid reproduction of the subject, in addition to ultra-high definition video of approximately 33 megapixels. Also, the wider color gamut and greater bit depth have made it an ultimate TV broadcasting system capable of reproducing bright colors more accurately.

**8K Super Hi-Vision image**

Aspect ratio	16 : 9
Pixel number	7,680 × 4,320
Frame rate	120, 119.88, 60, 59.94 Hz Progressive
Scanning	Progressive
Bit depth	10, 12 bit
Color gamut	Wide gamut system colorimetry



**resolution:** The ground pixel size  
**5 mm :** 8K (this study)  
**100 mm :** aerial photograph of Geospatial Information Authority of Japan

**You can watch flying butterfly on the ground shot by 8K camera from 400m high above ground.**

# 地震発生層以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価

## Estimation of Slip Velocity Function for the Region Shallower than Seismogenic Layer

\*田中 信也<sup>1</sup>、引間 和人<sup>2</sup>、久田 嘉章<sup>3</sup>

\*Tanaka Shinya<sup>1</sup>, Kazuhito Hikima<sup>2</sup>, Yoshiaki Hisada<sup>3</sup>

1. 東電設計株式会社、2. 東京電力ホールディングス株式会社、3. 工学院大学

1. Tokyo Electric Power Services Co., Ltd., 2. Tokyo Electric Power Company, 3. Kogakuin University

### 1. はじめに

2016年熊本地震（Mw7.0）では、主として布田川一日奈久断層帯に沿った広い範囲に地表地震断層が出現し、地震動やFRINGINGステップによる建物の被害が見られた。活断層が多く存在する日本においては、地表地震断層近傍における地震動やFRINGINGステップの予測が必要と考えられる。地表地震断層近傍において地震動評価を行う場合、理論的手法に基づく方法を用いることが考えられるが、地震発生層以浅のすべり速度時間関数に関する研究は少ない。一方、引間ほか（2015）では、2014年長野県北部の地震（Mw6.3）を対象に震源インバージョン解析を行い、震源の深部と浅部とですべり速度時間関数の形状が異なる点を指摘している。ここでは、地表地震断層近傍の観測記録と震源逆解析結果を用いて地震発生層以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価を行う。

### 2. 1999年集集地震を対象とした検討

1999年集集地震の断層面北部では、地表地震断層近傍において3つの観測記録が得られている（TCU068, TCU102, TCU052）。この内、TCU068とTCU052は上盤側、TCU102は下盤側であり、いずれも地表地震断層から2km程度以内の距離にある。まず、図1に示すWu et al.(2001)による逆解析モデルを用いて理論的手法により観測記録の再現を行った。観測記録の再現結果を図2に示す。逆解析モデルは、上盤側のTCU068とTCU052の観測記録を良く再現できている（case1）。また、観測点近傍の小断層（長さ約10km×幅6km）が支配的な傾向が確認できる（case2）。さらに、観測記録に見られるFRINGINGパルスと観測点近傍の小断層のすべり速度時間関数は良く似ていることから、観測点近傍の小断層のすべり速度時間関数から、すべり速度時間関数を三角形関数でモデル化することを試みた（case3）。TCU068周辺の小断層の平均的なすべり量8.2mに対して三角形関数の幅は5秒、TCU052周辺の小断層の平均的なすべり量12.1mに対して三角形関数の幅は7秒と評価した。三角形関数でモデル化した場合でも、観測記録を良く再現できることが確認できる。

一方、下盤側のTCU102では、速度波形が複雑であり、すべり速度時間関数の形状と異なる。また、速度波形においては、観測点近傍の小断層が必ずしも支配的とは言えない。これは、断層面の傾斜角が30°と低角なことから、上盤側よりも下盤側の変位量が小さいためと考えられる。このことは、地表地震断層近傍の観測記録のみから、すべり速度時間関数を求めることが難しい場合があることを示している。また、地表地震断層近傍の観測記録を用いて震源逆解析を行った場合でも、断層面の形状と観測点の位置関係によっては、得られるすべり速度時間関数の精度が低い可能性も考えられる。なお、TCU102については、周辺の小断層の平均的なすべり量9.6mに対して三角形関数の幅は6秒と評価し、震源逆解析の傾向を再現できることを確認した。

### 3. 地震発生層以浅に適用可能なすべり速度時間関数の評価

前述の検討結果を踏まえ、他の地震についても、観測点近傍の小断層を用いて、観測記録、あるいは震源逆解析による再現結果を表現できるすべり速度時間関数（三角形関数の幅）を求めた。観測点近傍の小断層における平均的なすべり量と、すべり速度時間関数の幅の関係を図3に示す。また、逆解析モデルによる観測記録の再現性が十分でないため、震源断層モデルに仮定を設けた観測点（例えば、2016年熊本地震の西原村）についても併せて示している。今後、これらの記録について再現性の向上をはかるとともに、他の地震への適用

性について検証したいと考えている。

#### 謝 辞

原子力規制庁の呉長江博士には1999年Chi-Chi地震の震源インバージョン結果をご提供頂きました。ここに、記してお礼を申し上げます。

キーワード：震源近傍、すべり速度時間関数、震源インバージョン、強震動予測

Keywords: Near source region, Slip velocity function, the Seismic Waveform Inversion, Strong ground motion prediction

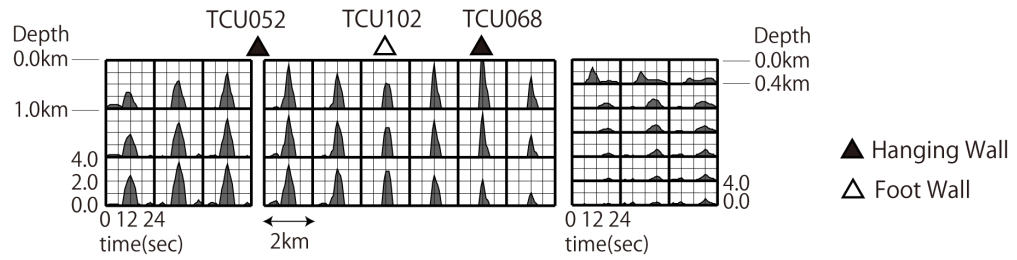


Figure 1. Slip velocity function by Wu et al.(2001) near strong-motion stations in the northern part of 1999Chi-Chi

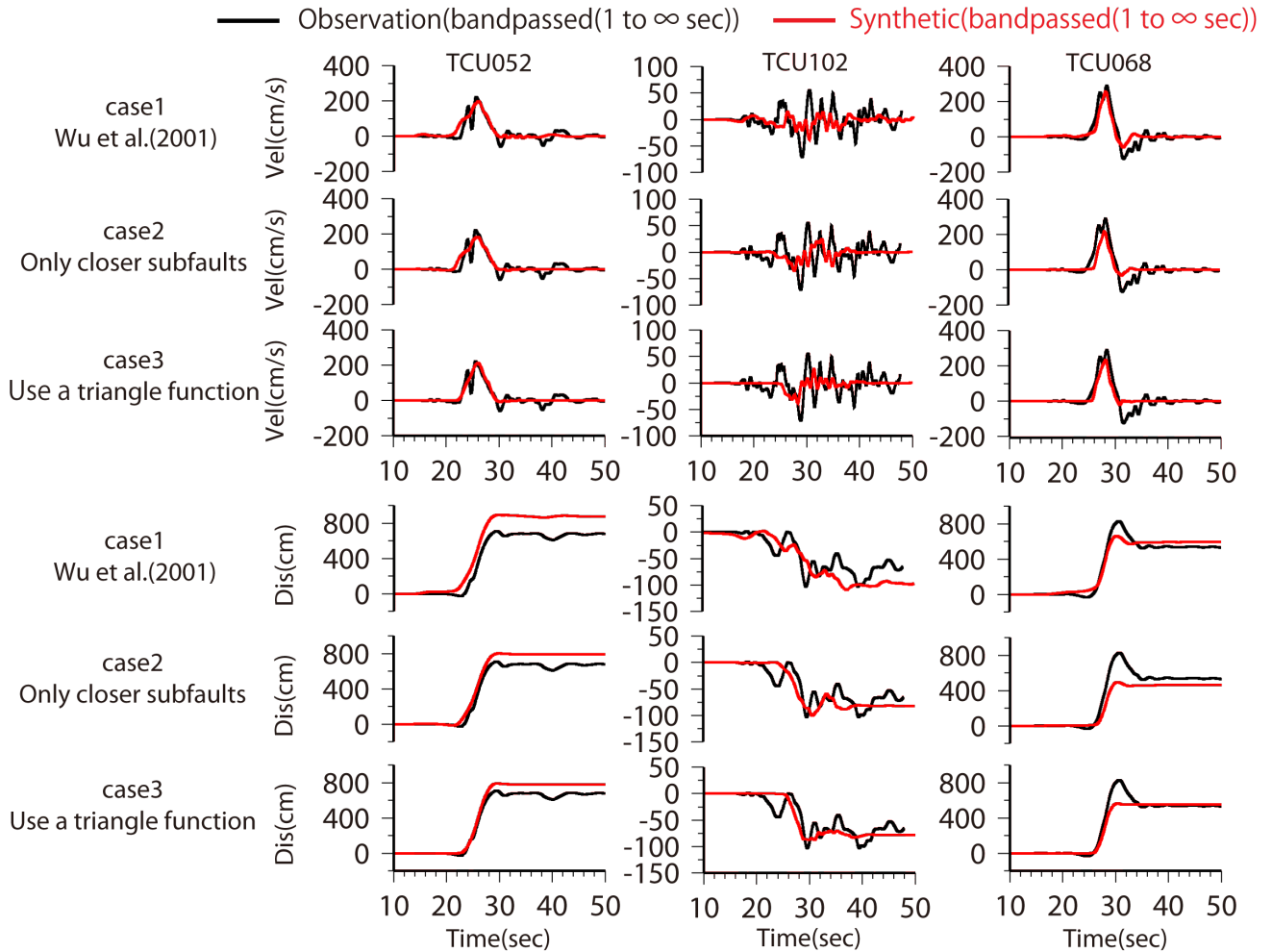


Figure 2. Comparison of synthetic and observation waveform fittings ( NS component, 1999Chi-Chi )

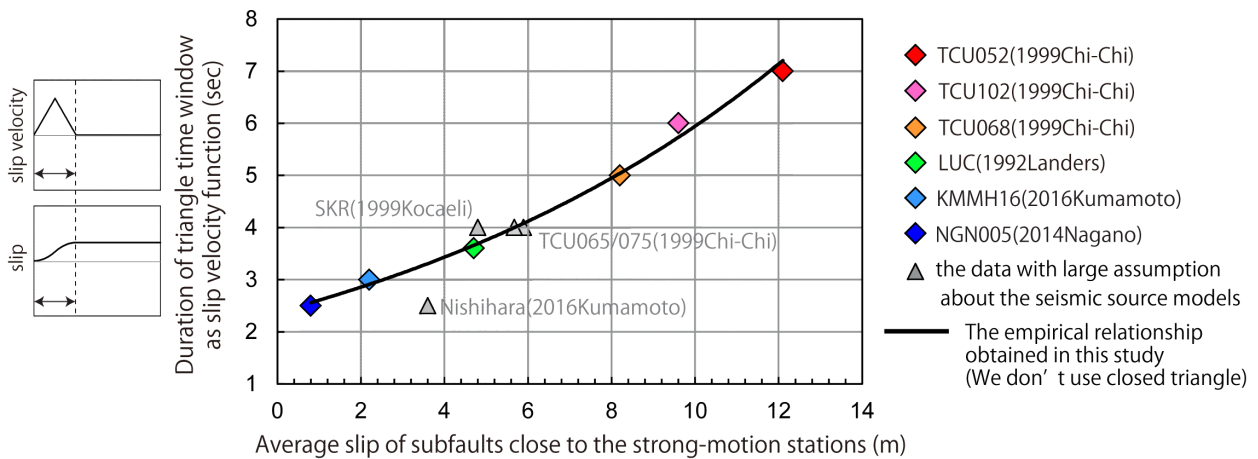


Figure 3. Relationships among slip velocity function and slip in shallower region than the seismogenic layer

# 強震動評価のための地表断層を含む活断層のモデル化手法の検討

## A study on modeling method of active faults with surface rupture for strong ground motion evaluation

\*森川 信之<sup>1</sup>、藤原 広行<sup>1</sup>、岩城 麻子<sup>1</sup>、前田 宜浩<sup>1</sup>

\*Nobuyuki Morikawa<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>, Asako Iwaki<sup>1</sup>, Takahiro Maeda<sup>1</sup>

1. 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

これまで、強震動評価のための活断層の震源断層モデル化においては、主として短周期の強震動生成のモデル化に重点を置き、震源断層は地震発生層内にとる事を原則としていたため、上端深さを地震基盤以深とし地表としないことがほとんどであった。一方で、平成28年熊本地震では少なくとも長さ30kmの地表断層や地表変位が確認されている。このような明瞭な地表断層が現れる活断層の地震に対しては、強震動評価においても地表までモデル化することが今後は必要となる。

ここでは、強震動評価において震源断層モデルを地表まで延長するための第一歩として4月16日1時25分頃の地震 (M7.3) を対象として、

モデル1：上端を0km、幅を18km

モデル2：上端を2km、幅を18km

モデル3：上端を2km、幅を16km

の3通りのモデルについて検討する。いずれのモデルも断層長さは34km、地震モーメントを $4.5 \times 10^{19}$  Nmと仮定し、走向および傾斜は地震調査委員会 (2014) の布田川断層帯布田川区間のモデルの $233.2^\circ$ および $90^\circ$ とした。その他の震源パラメータは地震調査委員会の「レシピ」にしたがって設定した。ただし、モデル1については地震基盤 (2km) 以浅におけるすべり速度時間関数を中村・宮武 (2000) とするモデル (モデル1NM) とSmoothed ramp関数とするモデル (モデル1SR) の二通りの設定をした。アスペリティおよび破壊開始点の位置は全モデルで共通とした。

以上の計4つの震源モデルについて強震動計算を行い比較した。計算において、地下構造 (深部地盤) モデルはJ-SHIS V2 (藤原・他、2009 ; 2012) を用いた。長周期側はAoi and Fujiwara (1999) の差分法、短周期側は壇・佐藤 (1998) の統計的グリーン関数法により計算し、両者を接続周期1秒でハイブリッド合成した。主な結果は以下の通りである。

・地表までモデル化した断層から2km以内において、モデル1と他のモデルとの違いが見られ、特に長周期成分で顕著である。

・2kmよりも遠い場所での最大速度分布や計測震度分布はほとんど違いが見られない。

・ただし、モデル1NMでは、特異な波形となり最大速度などが過大となる地点が現れる。

以上より、地震基盤以浅のすべり速度関数をSmoothed ramp型とすることにより地表までモデル化した活断層の強震動評価は可能である。ただし、地表活断層ごく近傍の強震動を精度よく評価するためには、今後さらに、地表付近の断層の位置・形状やすべり速度時間関数の詳細なモデル化手法を確立する必要がある。

キーワード：2016年熊本地震、地表断層、強震動評価

Keywords: The 2016 Kumamoto earthquake, surface fault, strong-motion evaluation



## 微動、余震、ボーリング調査に基づく熊本県益城町の被害集中域における地盤増幅特性評価

### Ground motion amplification obtained with microtremor, aftershock and borehole measurements in heavily damaged zone in the Mashiki town, Kumamoto prefecture

\*吉見 雅行<sup>1</sup>、後藤 浩之<sup>2</sup>、秦 吉弥<sup>3</sup>、新垣 芳一<sup>4</sup>、細矢 卓志<sup>5</sup>、森田 祥子<sup>5</sup>、杉山 長志<sup>6</sup>、徳丸 哲義<sup>6</sup>  
\*Masayuki Yoshimi<sup>1</sup>, Hiroyuki Goto<sup>2</sup>, Yoshiya Hata<sup>3</sup>, Yoshikazu Shingaki<sup>4</sup>, Takashi Hosoya<sup>5</sup>, Sachiko Morita<sup>5</sup>, Takeshi Sugiyama<sup>6</sup>, Tetsuyoshi Tokumaru<sup>6</sup>

1. 産業技術総合研究所活断層・火山研究部門、2. 京都大学防災研究所、3. 大阪大学、4. 東電設計、5. 中央開発、6. 徳丸技術士事務所

1. Geological Survey of Japan, AIST, 2. DPRI, Kyoto University, 3. Osaka University, 4. TEPCO, 5. Chuo-Kaihatu Corporation, 6. Tokumaru PE office

2016年熊本地震では益城町市街地に被害集中域が生じた。被害集中域の内外では4月16日本震時の地震動記録が5箇所得られており（Hata et al., 2016）、周期1秒付近の応答スペクトル値に約3倍の違いが認められた。後藤ほか（2016、2017）はKiK-net益城の多数の地震動記録から地盤非線形化の影響を指摘し、被害集中域の観測記録を再現した。益城町に入力した地震動自体も強かったものの、被害の様相を分けた大きな原因は表層地盤にあったと考えられる。

著者らは、被害集中域の益城町安永、宮園の3地点にて50m級のボーリング調査を実施し、速度構造および非線形応答特性を調べた（吉見・他、活断層学会2016、京大防災研2017；新垣ほか、地盤工学研究発表会2017）。また、ボーリング掘削地点にて2016年10月から2017年1月にかけて連続余震観測を実施したほか、微動アレイ観測を実施した。これら線形域および非線形も考慮した地盤増幅評価を示し、今後の地震防災のための地盤調査のあり方について検討する。

キーワード：2016年熊本地震、地盤震動、余震観測、ボーリング調査、非線形地盤応答

Keywords: 2016 Kumamoto Earthquake, Ground amplification, Aftershock observation, Borehole survey, nonlinear site response

## Relationship between subsurface structure and large-scale fissures in the northwestern region in Aso valley caused by the 2016 Kumamoto earthquake

\*土井 一生<sup>1</sup>、釜井 俊孝<sup>1</sup>、後藤 聡<sup>2</sup>、東 良慶<sup>3</sup>、大倉 敬宏<sup>4</sup>、村尾 英彦<sup>5</sup>、美馬 健二<sup>6</sup>

\*Issei Doi<sup>1</sup>, Toshitaka Kamai<sup>1</sup>, Satoshi Goto<sup>2</sup>, Ryohei Azuma<sup>3</sup>, Takahiro Ohkura<sup>4</sup>, Hidehiko Murao<sup>5</sup>, Kenji Mima<sup>6</sup>

1. 京都大学防災研究所、2. 山梨大学大学院総合研究部、3. 大阪工業大学工学部、4. 京都大学大学院理学研究科、5. 村尾地研、6. 太田ジオリサーチ

1. Disaster Prevention Research Institute, 2. Integrated Graduate School of Medicine, Engineering, and Agricultural Sciences, Yamanashi University, 3. Faculty of Engineering, Osaka Institute of Technology, 4. Graduate School of Science, Kyoto University, 5. Murao Chiken, 6. Ohta Geo Research. Co., Ltd.

In accompanied with the 2016 Kumamoto earthquake, fissures with the length and the height a few hundred meters and two meters, respectively, emerged in Aso valley (inside the Aso caldera). In this area, the top layer consists of sediments in the caldera lake created by Aso-4 eruption with the thickness a few tens of meters. InSAR and seismic data show that the region with the size of 1-4 square meter moved 1-2 m northward horizontally during strong motion of the mainshock (Fujiwara et al., 2016; Doi et al., 2016). We investigated the mechanism of the movement of these regions by estimating subsurface structure beneath this area.

Two station spatial auto-correlation (2ST-SPAC) method (Hayashi and Craig, 2016) was applied to estimate subsurface structure using ambient noises. We succeeded to estimate the S-wave velocity structure to the depth of 130 m in and around the regions with fissures. In the regions where large scale fissures were developed, a layer with S-wave velocity less than 150 m/s lay from the surface to the depth of 60 m, followed by two layers with 250 m/s and 300 m/s at depths of 60-90 m and 90-130 m, respectively. This low-velocity layer was considered to represent soft sediments in the caldera lake due to Aso-4 eruption and consistent with the nearby boring profile. Two relatively higher layers might correspond to lava layers after Aso-4 eruption. Moreover, the S-wave velocity at the top surface to the depth of 5 m was so slow as 80 m/s. We continue to estimate the distribution of the soft sediments and lava structure beneath them, to elucidate how fissures were generated in this area.

## 2016年熊本地震による益城町の建物被害の特徴

### The characteristics of damaged buildings due to the 2016 Kumamoto Earthquake in Mashiki town

\*黒木 貴一<sup>1</sup>、磯 望<sup>2</sup>

\*Takahito Kuroki<sup>1</sup>, Nozomi Iso<sup>2</sup>

1. 福岡教育大学教育学部、2. 西南学院大学人間科学部

1. Faculty of Education, Univ. of Teacher Edu. Fukuoka, 2. Department of Human Sciences, Seinan Gakuin University

2016年熊本地震は、九州中部、熊本平野にある熊本市や益城町などで、多くの住宅やインフラなどに大きな被害を生じた。これら被害は、布田川断層帯と日奈久断層帯の2本の活断層沿いに生じた。益城町中央部は、それら活断層延長部が達する位置にあり、そこでは多くの地震断層やその他の地表亀裂が生じて、多くの建物に甚大な被害を与えた。本研究では、益城町中央部の約1.43km<sup>2</sup>を対象に、3,600軒以上の建物の観察で得た、被害建物の特徴と、そこで生じた330本以上の地表亀裂の特徴を報告する。

建物の特徴について6つの調査項目を設定した。項目は被害程度、建物種類、建築時期、屋根、材料、倒壊・傾斜方向とした。被害程度の調査結果は5区分で表され、全壊は409棟、半壊が464棟、損壊が575棟、ビニールシート有が349棟、被害無が1,427棟だった。建物種類の調査結果は3区分され、住家が2,456棟、倉庫類が770棟、無・撤去等が352棟だった。建築時期の調査結果は4区分で表され、大変古いのが118棟、古いのが1,652棟、新しいのが1,172棟、最も新しいのが281棟だった。屋根の調査結果は3区分で表され、焼き瓦が1,472棟、薄瓦が706棟、その他が1,045棟だった。材料の調査結果は2区分で表され、可燃が2,439棟、不燃が813棟だった。倒壊・傾斜方向を計測した結果は、北方向が177棟、東方向が232棟、南方向が374棟、西方向が442棟だった。

調査項目別に、被害程度の割合を計算した所、被害を受けた建物の特徴として次のことが分かった。建物種類別では、住家の被害率が倉庫類のものよりも高かった。屋根別では、焼き瓦の被害率が薄瓦とその他のものよりも高かった。材料別では、可燃の被害率が不燃のものよりも高かった。建物の倒壊・傾斜方向は、地震断層の走向に近い東西方向のものが多かった。建築時期別では、被害率は建物が古い程高く、新しい程低かった。逆に新しい建物は、被害程度の低い建物の率が高かった。

建築時期別の被害程度を考慮して、被害程度を軽い方から重い方へ1-5に再区分した。GISの空間解析で被害程度の分布図を作成した。これより対象地域に明瞭な震災の帯が示された。また震災の帯の縁に地震断層が位置することを確認した。

キーワード：2016年熊本地震、建物被害、地震断層、地理情報システム

Keywords: the 2016 Kumamoto Earthquake, damaged building, earthquake fault, GIS

# 2016年熊本地震における中程度被災家屋の空間分布解析

## Spatial distribution analysis of buildings with middle-level damage following Kumamoto earthquakes in 2016

\*永井 裕人<sup>1</sup>、夏秋 嶺<sup>1</sup>

\*Hiroto Nagai<sup>1</sup>, Ryo Natsuaki<sup>1</sup>

1. 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

1. Japan Aerospace Exploration Agency

2016年4月14日以降に熊本周辺で相次いで発生したM6~7級の一連の地震では、被災後にブルーシートが被せられた家屋が非常に多く見られ、またそれらは不均一な分布のようにみられた。本研究では、このような建物被害処置の有無に建物被害の空間的な偏りが表れているとみなし、その空間分布をマッピングし、地形学的要素との関係を調べるとともに、衛星リモートセンシングでの早期被害分布把握の可能性を検討した。

無償のデジタル地球儀として一般市民にも広く普及しているGoogle Earthには2017年1月現在、熊本市街地を中心とする範囲において、地震から数週間後に航空機から撮られた写真を3次元モデル化した建築物などの地表物が表示され、任意の視点から閲覧することができる。このうち屋根にビニールシートが被せられたものを一つ一つ目視で確認し、その緯度経度を「中程度被災家屋」としてすべて記録していった。ほとんどが一戸建て木造家屋の瓦屋根であるが、商業ビルの屋上に被せられたシートも含む。主たる青色のシートほか緑や白のシートも含め、複数のシートが被されている場合には1家屋を1点と定義した。ビニールハウス、建物外の地物（車両など）、もともとシートに覆われていた可能性の高い建築中の建物は除外した。そして、国土地理院が公開する基盤地図情報から該当地域の建物情報を入手し、これをもとに建物の空間分布とした。

作業の結果、抽出された建物は165,177戸中15,675戸であり、建物全体の9.5%に至る。建築物が立地する地形の特徴を把握するために、国土地理院より治水地形分類図を入手し、地理情報システムを用いて、記載された位置情報をもとに手で位置情報を付与した。全建物は40.2%が段丘に、14.8%が扇状地に、15.0%が氾濫原に、8.0%が自然堤防に位置していた。そのうち中程度被災家屋の割合は段丘が13.0%、扇状地が5.5%、氾濫原が5.3%、自然堤防が6.7%であり、それら以外のカテゴリーでは3-10%の間であった。この解析から、今回の被害は特に段丘上の建物に集中し、扇状地・氾濫原・自然堤防ではその半分程度の被害率であることが分かった。熊本地震の場合の益城町のような全壊に至る壊滅的被害は断層に近いほど顕著にみられるが、補修後の使用が見込まれる程度の被害の発生には、堆積地形の種類との間に明確な相関関係がみられることが明らかとなった。今後、その要因や今回のような内陸型地震あるいは連動型地震の特性を踏まえた議論を展開させる必要がある。

更に、地表面のレーダー反射特性が著しく変化すると合成開口レーダー（SAR）観測データの干渉処理において干渉性が大きく低下することを利用し、建物被害分布の自動抽出を試みた。本研究では陸域観測技術衛星「だいち2号（ALOS-2）」搭載のPALSAR-2によって得られた2015年11月30日、2016年3月7日（ともに被災前）、2016年4月18日（被災後）から正規化された干渉性低下度を算出し、その空間分布を上記の中程度被災家屋分布と比較した。中程度被災家屋の中心点における干渉性低下度のヒストグラム（平均値・標準偏差： $0.305 \pm 0.145$ ）と全家屋のそれ（ $0.355 \pm 0.154$ ）を統計的に比較したところ、干渉性は屋根の損傷によって有意に低下する傾向が認められた。しかしながらそれらのヒストグラム分布は最尤値が近いいため、実利用可能な自動抽出に発展させるためには更なる改良が必要とされる。

キーワード：リモートセンシング、ALOS-2、地形学、干渉性

Keywords: Remote sensing, ALOS-2, Geomorphology, Coherence

# 道路走行調査画像判読による2016年熊本地震の建物被害推定

## The running photographic investigation by an automobile for estimating building damages of 2016 Kumamoto earthquakes

\*内藤 昌平<sup>1</sup>、中村 洋光<sup>1</sup>、藤原 広行<sup>1</sup>

\*Shohei Naito<sup>1</sup>, Hiromitsu Nakamura<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>

1. 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Resiliense

災害発生直後、刻々と変化する被害状況を迅速かつ俯瞰的に把握することは災害対応を行う各機関の意思決定を支援する情報として極めて重要である。このような課題を解決するために戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の課題の1つである「レジリエントな防災・減災機能の強化」の中で「リアルタイム被害推定・状況把握システム」が防災科研を中心として開発されている。

2016年熊本地震において上記システムは4月14日に発生したM6.5の前震、4月16日に発生したM7.3の本震ともに、地震発生後約10分間で250mメッシュ単位の地震動、震度暴露人口、および推定全壊建物棟数の分布を算出した。この推定で得られた益城町周辺で見られる被害の帯状の分布は、実際の被害状況と調和的であることが現地被害調査の結果確認された。しかし、現行のシステムでは推定結果の絶対数が実被害を過大評価していることや、繰り返す強震動による建物の強度低下の影響を被害推定に反映していない等の課題が指摘されている (Nakamura et.al,2016)。

このようなリアルタイム被害推定手法を検証し、高度化するためには実被害の全容を把握するための情報収集やデータベース化が不可欠であり、防災科研では現地調査データや航空写真分析のほか道路走行調査画像分析等、様々な手法によるデータ収集を行っている。本稿では道路走行調査画像を用いた2016年熊本地震による建物被害推定について述べる。

道路走行調査は2016年熊本地震本震発生直後の4月17日から28日にかけて実施された。走行調査の総距離は約576kmであり、収集区域は熊本市東区、南区、西原村、御船町、嘉島町、益城町、甲佐町の各地区内でデータ収集が可能でありかつ建物被害が甚大であると想定された区域とした。

道路走行画像取得方法は普通乗用車を用い、取得機材 (カメラ・PC等) は全て車内に設置した。また、撮影頻度は走行約5m毎とし、前後、左斜め前方・後方、右斜め前方・後方の計6方向から撮影した。さらに、車載GPSを用いて各カメラの時刻と位置情報を同期した。このようにして取得した571,700枚の画像から建物計7,584棟を抽出し、その中から内閣府の「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」に準拠した「住家被害調査表」に基づき、目視判読により全壊建物画像を抽出した。なおここで言う全壊とは建物が倒壊または層破壊している、もしくは1/20rad以上と推定される建物全体の顕著な歪みが生じていることを示す。

結果、今回抽出された全壊建物は593棟に及び、その分布は2016年熊本地震により生じた地表地震断層から概ね1km以内の位置に集中すること、また、現地調査や航空写真分析によって得られた全壊建物の分布とも整合することが確認された。

今後は、今回抽出された目視判定による被災建物画像を多数用いて画像解析を行い、機械学習により被災箇所を判定し、建物被災度の自動判定を行うシステムを開発することで、より詳細かつ即時的な被害状況把握を実現することを目標とする。

謝辞：

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 「レジリエントな防災・減災機能の強化」 (管理法人：JST) によって実施されました。

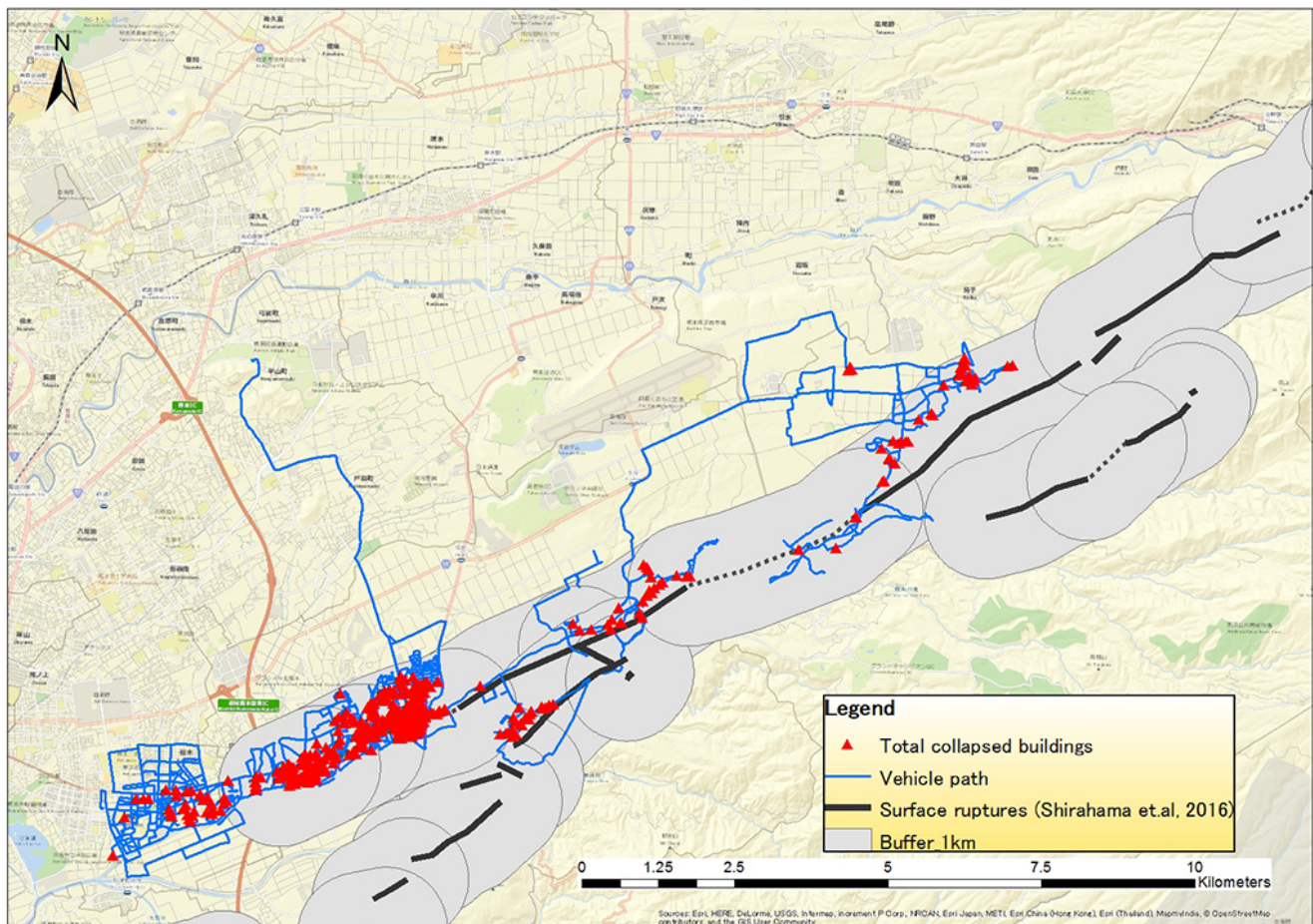
参考文献：

H.Nakamura,H.Fujiwara,T.Kunugi,S.Aoi,S.Senna,I.Takahashi,S.Naito,and H.Azuma:Development of real-time earthquake damage information system in Japan, 16th World Conference on Earthquake, Santiago Chile, 2017.

Y. Shirahama, M.Yoshimi, Y.Awata, T.Maruyama, T.Azuma, Y.Miyashita, H. Mori, K.Imanishi, N.Takeda, T.Ochi, M.Otsubo, D.Asahina, and A.Miyakawa, “Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan” , Earth Planets and Space(2016), 68:191.

キーワード：熊本地震、建物被害、走行調査、画像判読、活断層

Keywords: Kumamoto earthquake, Building damage, Running investigation, Photographic interpretation, Active fault



## 空中写真判読による熊本地震の建物被害の特徴

### Feature of the building damage of Kumamoto earthquake by airphoto-interpretation

\*門馬 直一<sup>1</sup>、藤原 広行<sup>2</sup>、中村 洋光<sup>2</sup>、佐伯 琢磨<sup>2</sup>、下村 博之<sup>1</sup>、山田 哲也<sup>1</sup>、藤澤 誠二<sup>1</sup>

\*naokazu momma<sup>1</sup>, hiroyuki fujiwara<sup>2</sup>, hiromistu nakamura<sup>2</sup>, takuma saeki<sup>2</sup>, hiroyuki shimomura<sup>1</sup>, tetuya yamada<sup>1</sup>, seiichi fujisawa<sup>1</sup>

1. 株式会社パスコ、2. 防災科学技術研究所

1. PASCO Co, 2. National Research institute for Earth science and Disaster resilience

平成28年4月14日のMj6.5の地震（前震）及び4月16日のMj7.3の地震（本震）により、震度7記録した益城町と西原村では、倒壊や全壊などの甚大な建物被害が発生した。我々は、この建物被害が特に甚大であった益城町と西原村に加え、熊本市、宇土市、宇城市、阿蘇市、嘉島町、御船町、甲佐町、大津町及び南阿蘇村の11市町村を対象に、本震後に撮影された解像度20cmの空中写真から、約42万棟の建物について、1棟毎の建物被害を目視判読し、本震の建物被害の分布特徴、推定震度と建物被害の関係、前震から本震にかけての被害変移、地表地震断層と建物被害の関係などを解析した。本震の推定震度分布は、益城町では、震度7の区域が町の中心から西にかけて広く分布し、その周りが震度6強となっている。西原村では、北西区域に震度7が広がり、その周囲が震度6強となっている。熊本市では、東区は極一部で震度7、残り全域が震度6強、中央区及び南区はほぼ大半の区域が震度6強となっている。御船町でも震度6強の区域が広く分布し、大津町も南側が広く震度6強であり、南阿蘇村でも、北西区域が震度6強となっている。建物被害の判読は、被害の程度を大、中、小及びなしの4段階に区分し行った。被害大は建物が倒壊、大破しているもの、中は建物の外形は残存しているが外壁が崩れたり、屋根瓦の大半が落下しているもの、小は屋根瓦の一部が落下しているもの、なしは被害がなし、あるいは写真判読では確認できない小さな被害のものである。本震による建物被害は、11市町村の広範囲にわたって発生しており、このうち被害大の建物の分布をみると、益城町に集中して広く分布し、益城町から北東方向の西原村と南阿蘇村、並びに南西方向の熊本市東区と嘉島町にかけて帯状に連続的に分布する。被害大の棟数は、全体では約2,400棟であり、市町村別では益城町が約1,400棟と群を抜いて多く、西原村、嘉島町、南阿蘇村及び熊本市東区が約150~180棟となっている。また、益城町の被害大の棟数を推定震度別にみると、約85%が震度7で、残りが震度6強である。250mメッシュの被害大の倒壊率（メッシュの被害大棟数/建物総数）を算出し、推定震度との関係を見ると、推定震度が大きくなると倒壊率も大きくなる傾向はあるものの、同じ震度値でも倒壊率の最小と最大に幅が大きい。益城町、西原村、嘉島町、熊本市中央区と東区及び南阿蘇村の約14万棟の建物について、1棟毎の建物構造及（木造・非木造）び建築年代（旧耐震・新耐震）を調べ、建物構造別・建築年代別の被害大の棟数と倒壊率（被害大/建物総数）を算出した。木造についてみると、旧耐震の棟数は約600棟、新耐震は約1,500棟と、新耐震の方が多いが、倒壊率では旧耐震の方が約2倍大きい。また、益城町の木造倒壊率は、他の市町村に比べて約2倍大きい。非木造については、被害大の棟数は20棟弱と少なく、新耐震がほとんどを占める。益城町について、前震後に撮影された空中写真から本震と同様な区分で建物被害を判読し、建物被害の変移を解析した。前震から本震の被害区分の変移をみると、被害大は前震が約200棟、本震後は約1,400棟となり、約1,200棟増加している。また、被害小及び中の半数近くの建物は被害区分が上がっている。今回の熊本地震では、地表に地震断層が出現した（Shirahama et al.: 2016）。この地表地震断層から水平距離100m範囲ごとに被害大の棟数を集計し、被害大の倒壊率を算出すると、距離100m以内の倒壊率は約15%、100~300mは約10%であり、それ以降倒壊率は徐々に小さくなり、1kmまでは10%以下となる。謝辞：本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施された。また、震度推定に用いた地方公共団体及び気象庁の震度データは気象庁より提供して頂いている。



キーワード：熊本地震、空中写真判読、建物被害、計測震度、倒壊率

Keywords: Kumamoto earthquake, airphoto-interpretation, building damage, seismic intensity, collapse rate

# 平成28年熊本地震における液状化地点と建物被害との関係の検討

## Relationship between building damage and liquefaction sites during the 2016 Kumamoto Earthquake

\*小澤 京子<sup>1</sup>、先名 重樹<sup>1</sup>、藤原 広行<sup>1</sup>

\*Ozawa Kyoko<sup>1</sup>, Shigeki Senna<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>

1. 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

平成28年（2016年）熊本地震では、4月14日の前震（M6.5）、4月16日の本震（M7.3）で最大震度7が観測され、建物倒壊や土砂災害等の大きな被害が生じた。広域で地盤の液状化が発生しており、被害が発生している。本研究は、全建物被害の中の液状化被害の情報を抽出し、地震による建物被害判別の高精度化を最終的な目標としている。本報告では、今までに防災科学技術研究所が行った熊本地震における液状化地点調査<sup>1)</sup>の結果を踏まえ、建物被害との関係を調査した結果を報告する。

液状化発生地点の調査は、現地調査・空中写真判読等で情報を収集して行い、その結果は熊本県の広範な地域に液状化被害を受けており、そのほとんどが震度5強以上の地域であった。この震度5強以上という地震動強さの閾値は過去の地震で発生した液状化被害とも調和的な結果が出ていることは他で報告している。今回は、今まで調査した液状化発生地点データを基に、液状化範囲を、標準地域メッシュ第3次地域区画を20×20に分割した約50m四方のメッシュ(以下50mメッシュ)で表現した。この50mメッシュ化にともない、国土院撮影の高解像度空中写真を使用して液状化地点の判読を再度行い、液状化範囲の確認を行った。液状化範囲の50mメッシュをカウントすると、約5800メッシュとなった。この結果と建物被害データと重ね合わせ、液状化との関係を調査した。建物被害データは門馬ほか(2016)<sup>2)</sup>を使用している。

熊本市における帯状の液状化集中域（近見・川尻地区等）では、全壊～半壊の建物が液状化地域内に帯状に並んでおり、液状化の見られない周辺域ではほぼ一部損壊の建物が数多く並んでいることから比較すると、液状化によって建物被害規模が大きくなる傾向が強く現れているといえる。液状化集中域とその周辺での震度はほぼ変わらないことから、液状化の寄与が大きいと思われる。嘉島町では、住宅地とその周辺での広範囲の液状化が見られる。液状化域周辺では、全壊・大規模半壊といった被害が大きい建物が集中する範囲が広がっているが、必ずしも液状化範囲と重なっているわけではない。全壊が数多くある地域を取り囲むように液状化している範囲もあり、再調査をする必要があると思われる。益城町では、秋津川に沿って広範囲で液状化が見られるが、揺れによる被害も大きく、液状化の寄与がどれほど関係しているかは不明である。

平成28年（2016年）熊本地震の液状化地点と建物被害の関係の調査により、液状化により、建物被害が大きくなる傾向がある地域があった。今回の地震のように、広範囲な液状化被害発生地域の確認は、空中写真判読が主な方法になっているが、この手法では、住宅密集地ではどうしても判読が難しく、十分な情報が入手しにくい。建物被害との関連性を調べるためには、自治体の罹災証明等のデータ取得およびそのデータの精査等、既往の液状化被害情報をさらに調査していくことが課題となる。

### 参考文献

- 1)先名他, 平成28年熊本地震の液状化被害, 日本地震学会2016年秋季大会.
- 2)門馬他, 平成28年熊本地震における益城町の震度分布と建物被害の関係, 日本地震工学会年次大会2016.

キーワード：平成28年熊本地震、液状化、建物被害

Keywords: the 2016 Kumamoto Earthquake, liquefaction, building damage

# 実被害情報を融合した2016年熊本地震の住宅被害推定シミュレーション Simulation of building damage distribution by the 2016 Kumamoto Earthquake by use of limited information on real damage

\*日下 彰宏<sup>1,2</sup>、中村 洋光<sup>1</sup>、藤原 広行<sup>1</sup>、神田 克久<sup>2</sup>、門馬 直一<sup>1</sup>

\*Akihiro Kusaka<sup>1,2</sup>, Hiromitsu Nakamura<sup>1</sup>, Hiroyuki Fujiwara<sup>1</sup>, Katsuhisa Kanda<sup>2</sup>, Naokazu Momma<sup>1</sup>

1. 国立研究開発法人防災科学技術研究所、2. 株式会社小堀鐸二研究所

1. National Research Institute for Earthquake Science and Disaster Resilience, 2. Kobori Research Complex Inc.

## 1. はじめに

災害発生直後の初動対応の意思決定を支援することを目的に、大地震のような広域にわたる災害が発生した場合でも被害全体をリアルタイムに推定、状況を把握できるようにすることを目指して、被害推定・状況把握システムの開発が進められている\*。このシステムは、強震観測網K-NETやKiK-netなどのデータを用い、地震発生直後に面的な地震動分布を各4分の1地域メッシュ（250mメッシュ）で行い、それを入力とし、全国規模の建物モデルに被害関数を適用することで全壊棟数や全半壊棟数等の推定をする。さらに実際の被害情報を融合させることで、推定精度を上げる方法についても開発が進められている\*\*。本報では、実際に生じた被害の情報（実被害情報）として、熊本地震で得られた空中写真から判読した被害データを利用して融合することで、被害推定の精度を向上させた事例を報告する。

## 2. 実被害情報と推定情報の融合方法

本システムでは、まず被害関数と住宅棟数データを事前に整備しておき、発災後、比較的短い時間で得られる地震動強さの推定値を用いて被害率を推定する（即時推定）。その際、即時推定に用いる被害関数のパラメータは、推定誤差が確率変数でモデル化されている。そこで、推定誤差の平均や標準偏差などの確率分布の母数について、実被害情報を「観測」として利用してベイズ更新することで、実被害情報と事前の推定情報を融合する。

## 3. 空中写真による実被害情報の取得

本報告で利用した実被害情報は、熊本地震の発生後にヘリコプターから撮影した斜め写真を用いて各建物の被害を目視等によって判読したデータ\*\*\*を基に作成した、各250mメッシュに含まれる半壊棟数と全壊棟数である。ここでは、早期に推定精度を向上させる手法の検討として、判読データの一部を以下の方法で抽出して情報融合した。すなわち、被害データを判読した地域メッシュのうち、20棟以上住宅が存在する地域メッシュを、微地形区分に基づき数種類のグループに分別し、各グループから同じ数の地域メッシュをランダムにサンプリングして、その地域メッシュの被害棟数を融合するものである。

## 4. シミュレーション結果

強震記録を補間した計測震度分布と中央防災会議（2012）の被害関数を用いて即時推定を実施したところ、推定結果は実際の被害棟数を4倍程度過大評価するものであった。これに対して、計測震度から甚大な被害が予測される地域として益城町、被災地の典型的な地域の一例として熊本市東区を選び、3. に述べた手順で抽出したそれぞれ10メッシュの実被害情報を融合すると、実際の被害棟数によく整合する推定に更新された。このほか、益城町からのみ20メッシュの実被害情報を融合したケースでは十分に推定被害がなされず更新が不十分になり、逆に熊本市東区からのみ20メッシュの情報を融合したケースでは融合後の推定が過小評価になった。

## 謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議の戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)「レジリエントな防災・減災機能の強化」（管理法人：JST）によって実施された。また、地方公共団体及び気象庁の震度データは気象庁より提供して頂いている。

## 参考文献

\*中村ほか（2015）：リアルタイム地震被害推定・状況把握システムの開発状況、日本地震工学会年次大会梗概集.

\*\*Kusaka et al. (2017): Bayesian updating of damaged building distribution in post-earthquake assessment, 16WCEE.

\*\*\*門馬ほか（2016）：平成 28 年熊本地震における益城町の震度分布と建物被害の関係の関係、日本地震工学会年次大会梗概集.

キーワード：熊本地震、ベイズ更新、震災後被害推定

Keywords: Kumamoto Earthquake, Bayesian updating, post-earthquake assessment

## Tomographic and gravimetric signatures of the fault system associated with the 2016 Kumamoto earthquake (M7.3), Japan

\*ZHI WANG<sup>1</sup>, Yoshio Fukao<sup>2</sup>, Ayumu Miyakawa<sup>3</sup>, Akira Hasegawa<sup>4</sup>, Yasuko Takei<sup>5</sup>

1. Key Laboratory of Marginal Sea Geology at South China Sea Institute of Oceanology of CAS of China, 2. CEAT, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Yokohama, Japan, 3. Geological Survey of Japan, AIST, Tsukuba, Ibaraki, Japan, 4. Department of Geophysics, Tohoku University, Sendai, Japan, 5. Earthquake Research Institute, University of Tokyo, Tokyo, Japan

A series of shallow large earthquakes with the M<sub>7.3</sub> mainshock (April 15, 2016) struck the Kumamoto area of Kyushu, Japan. The mainshock was a slip along the Futagawa Fault, a segment of the EW-running Oita-Kumamoto Tectonic Line. By this tectonic line the Beppu-Shimabara Graben is bounded sharply on the south, where NS-extensional crustal deformation is now taking place and earthquakes (including the 2016 aftershocks) are largely NS-dipping normal faulting. We conducted a seismic tomographic study for the crustal V<sub>p</sub> and V<sub>s</sub> anomalies using arrival time data from the Hi-Net stations in Kyushu. The most outstanding tomographic feature in this region is a belt of low V<sub>p</sub> and V<sub>s</sub> anomalies at depths of the upper crust geographically coinciding with the Beppu-Shimabara Graben (Fig.1). This belt is characterized by such an approximate equality that  $dV_s/V_s \approx dV_p/V_p$  ( $<0$ ) in marked contrast to the relation in other regions or at greater depths where  $dV_s/V_s < dV_p/V_p$  ( $<0$ ). This observation can be interpreted in terms of water-saturated, oblate-spheroid pores created by the extensional deformation of the upper crust in the Beppu-Shimabara Graben. The approximate equality between  $dV_s/V_s$  and  $dV_p/V_p$  holds if the aspect ratio  $\alpha$  of pore geometry is either  $\sim 0.04$  (flat pore) or  $\sim 1$  (spherical pore). Once  $\alpha$  is specified, the water volume fraction and hence density anomaly  $d\rho/\rho$  ( $<0$ ) can be calculated from the observed  $dV_p/V_p$  or  $dV_s/V_s$ . We calculate Bouguer anomalies from the density anomaly distribution so obtained. The Bouguer map calculated for spherical pores shows a remarkable negative anomaly belt in agreement with the Beppu-Shimabara Graben signature on the observed Bouguer map (Fig.2). The agreement is very poor if pores are flat. This result demonstrates a unique role of gravity data when it is combined with seismic P and S wave data. The Oita-Kumamoto Tectonic Line, including the Futagawa Fault, is a bimaterial boundary, to the north of which the material is slower in both V<sub>p</sub> and V<sub>s</sub> and less dense. The rupture process of the 2016 Kumamoto earthquake was likely to be affected by this bimaterial nature of the fault.

Keywords: 2016 Kumamoto earthquake, Fluid intrusion, Multiple parameter imaging

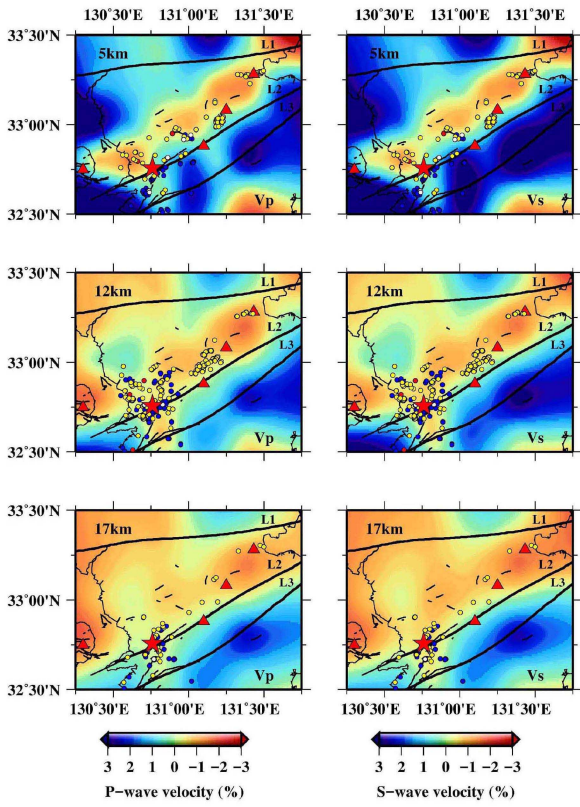


Figure 1:  $V_p$  and  $V_s$  anomalies at three depths of the upper crust

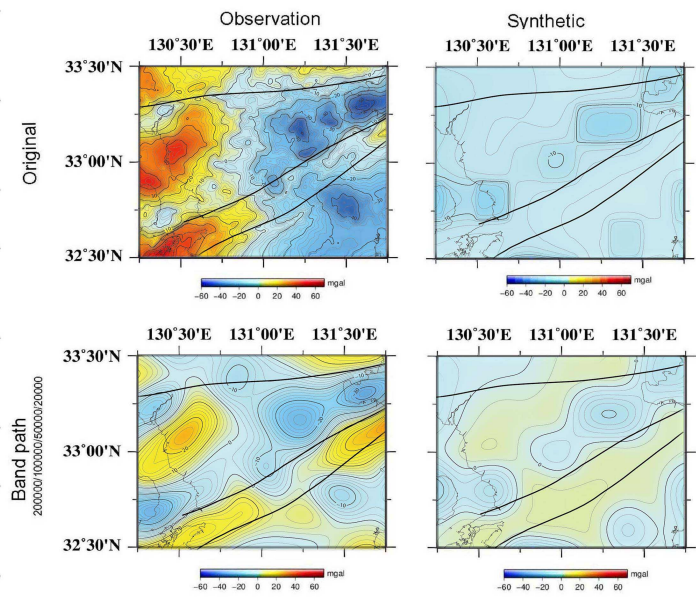


Figure 2: Observed and synthetic Bouguer anomaly maps. Synthetic maps are shown for a case of water-saturated spherical pores. Top: unfiltered maps. Bottom: bandpass-filtered maps.

## 2016年熊本震源域の地震－火山相互作用

# Earthquake-volcano interactions in the 2016 Kumamoto earthquake area

\*趙 大鵬<sup>1</sup>、Wang Zewei<sup>1</sup>、Liu Xin<sup>1</sup>、西園 幸久<sup>2</sup>、稲倉 寛仁<sup>2</sup>

\*Dapeng Zhao<sup>1</sup>, Zewei Wang<sup>1</sup>, Xin Liu<sup>1</sup>, Yukihiisa Nishizono<sup>2</sup>, Hirohito Inakura<sup>2</sup>

1. 東北大学大学院理学研究科附属地震・噴火予知研究観測センター、2. 西日本技術開発株式会社

1. Department of Geophysics, Tohoku University, 2. West Japan Engineering Consultants, Inc.

The 16 April 2016 Kumamoto earthquake (M 7.3) took place in north-central Kyushu where several active arc volcanoes exist (e.g., Aso, Kuju, Tsurumidake, and Unzen) due to the active subduction of the Philippine Sea (PHS) plate beneath the Eurasian plate. On 8 October 2016 the Aso volcano erupted, which may be related to the occurrence of the Kumamoto earthquake. Many previous studies have suggested that earthquakes and volcanoes can interact with each other in subduction-zone regions. To investigate the possible earthquake-volcano interaction in Kyushu, in this work we study the three-dimensional seismic velocity ( $V_p$ ,  $V_s$ ) and attenuation ( $Q_p$  and  $Q_s$ ) structures in the source area of the 2016 Kumamoto earthquake (M 7.3) using  $\sim 62,000$  P and S wave arrival times and 48,000  $t^*$  data measured from digital seismograms of 742 local shallow and intermediate-depth earthquakes recorded by the Hi-net stations in Kyushu Island. Our results show that significant low-velocity (low-V) and low-Q (high attenuation) anomalies exist in the crust and mantle wedge beneath the volcanic front and back-arc area, which reflect hot and wet anomalies caused by convective circulation in the mantle wedge and fluids from the PHS slab dehydration. The PHS slab is imaged clearly as a high-velocity (high-V) and high-Q (low attenuation) dipping zone in the upper mantle. The 2016 Kumamoto earthquake occurred in a high-V and high-Q zone in the upper crust, which is surrounded and underlain by low-V and low-Q anomalies in the lower crust and upper mantle. These results suggest that the 2016 Kumamoto earthquake took place in a brittle seismogenic layer in the upper crust, but its rupture nucleation was affected by fluids and arc magma ascending from the mantle wedge. In addition, a prominent low-V and low-Q zone is revealed in the forearc mantle wedge beneath Kyushu, which reflects serpentinization of the forearc mantle due to abundant fluids from the PHS slab dehydration. These results suggest that arc magma and fluids play an important role in the generation and nucleation processes of large crustal earthquakes which can in turn rupture the active faults and produce new cracks in the crust, facilitating the volcanic eruption. As a result, earthquake-volcano interactions take place in north-central Kyushu.

キーワード：熊本地震、火山、九州、沈み込み帯、フィリピン海プレート

Keywords: Kumamoto earthquake, volcanoes, Kyushu, subduction zone, Philippine Sea plate

## 別府で震度6弱をもたらした由布院断層について

## Yufuin fault cause an earthquake with an intensity of lower 6 in Beppu

\*吉村 辰朗<sup>1</sup>\*tatsurou yoshimura<sup>1</sup>

1. 明大工業株式会社

1. Meidai Co., Ltd.

2016年4月14日午後9時26分、熊本県熊本地方を震源としたM6.5の地震が発生した。16日の午前1時25分にはM7.3が発生し震度7の揺れが一带を襲った。今回の地震では、14日の前震（M6.5）が起こった翌日の深夜に本震（M7.3）が起こったため、倒壊家屋が大幅に増加し、斜面崩壊も多発した。また、16日には本震の32秒後に、大分県中部でM5.7の地震が発生し、熊本より北東約80kmの別府市や由布市では震度6弱が観測された。本震直後に大分県中部で発生したM5.7の地震の余震分布域には活断層である由布院断層が分布する。今回は、由布院断層を対象にした $\gamma$ 線探査結果より導かれる断層長から想定される地震規模と実際に起きたマグニチュードの比較により、活断層長の設定に関して検討した。由布院断層を対象に、 $\gamma$ 線探査を3測線実施した。調査地に分布する地質は、倉木山安山岩（91万年、A測線）と水口溶岩（20万年、B・C測線）である。断層B上および断層C上では斜面崩壊が地震時に発生した。活断層調査の $\gamma$ 線探査において、測定の対象とする地層を第四紀層でより若い地層（段丘及び更新世後期の堆積物）とした場合には、断層場幅〔FW(m)〕と断層変位を受けた最新の地層年代〔T(万年)〕の間には  $FW=a \cdot T$ 、 $a$ :平均破砕幅拡張速度(m/万年)の関係が認められる。 $a$ は1万年間に発生する地震によって累積する断層場幅(m)で活動度によって異なり、A級活断層で1.0、B級活断層で0.3、C級活断層で0.1程度と推定される。倉木山安山岩分布域（A測線）での破砕幅（断層場幅）は32.6mで  $a=0.36$ 、水口溶岩分布域（B・C測線）での破砕幅は5.5m~6.4mで  $a=0.27\sim0.32$ で、B級と判断される。破砕幅（FW）と断層長（L）は、 $L(km)=0.36FW(m)+0.62$ の関係がある。破砕幅より算出した断層長を松田式に代入すると、断層Aの推定地震規模はM=6.7、断層Bの推定地震規模はM=5.6、断層Cの推定地震規模はM=5.5である。断層Bと断層Cは、ほぼ同じ走向で5km以内の間隔で一線に並ぶため、“5kmルール”を適用すると、断層長は7kmで推定地震規模はM=6.2と算出される。4月16日に実際に起きた地震規模は、M=5.7（01時25分）とM=5.4（07時11分）であるため、断層Bおよび断層Cが起震断層となっている可能性が高い。

キーワード：大分県中部地震、由布院断層、断層長

Keywords: Earthquake in the Oita Prefecture central part, Yufuin fault, Fault length