

2016年熊本地震における2時期の航空レーザーデータの比較による地殻変動と地盤変状の抽出

佐川由季¹・Luis Moya²・劉ウェン³・山崎文雄³

¹非会員 千葉大学 工学部 学生 (〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33)

E-mail:afca0047@chiba-u.jp

²東北大学 災害科学国際研究所 (〒980-0845 仙台市青葉区荒巻字青葉 468-1)

E-mail:lmoyah@irides.tohoku.ac.jp

³正会員 千葉大学 大学院工学研究科

E-mail:wen.liu@chiba-u.jp, fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

2016年4月16日に熊本県熊本地方でMw7.3の地震が発生した。とくに益城町では地表面が最大約2mも横ずれを起こす地震断層が出現した。本研究では、熊本地震によって発生した地殻変動に関して、4月16日の前後に航空レーザー計測で得たデータを空間補間して作成した数値表層モデル(DSM)を用いて抽出を行った。今回はその2時期のDSMを比較することにより差分をとり、地殻変動の水平・上下成分を抽出した。対象地は被害の大きかった益城町であり、DSMから得た地殻変動量と地震後に測量した三角点位置データによる変動量の比較も行った。その結果、益城町の地殻変動量や川沿いの側方流動を抽出することができた。今後は、さらに範囲を拡大し、熊本地震におけるより詳細な地殻変動を抽出し、地震によるさまざまな被害を抽出したいと考えている。

Key Words : The 2016 Kumamoto earthquake, Coseismic displacement, Airborne Lidar data, Digital surface model

1. はじめに

2016年4月14日21時26分、熊本県熊本地方の深さ10kmにおいてMw6.5の地震が発生した¹⁾。また、4月16日01時25分に同地方でMw7.3の地震が発生し、震央に近い熊本県益城町周辺では大きな被害が出た。一連の熊本地震は、4月14日の前震が日奈久断層、4月16日の本震が布田川断層の活動によって発生したもので、ともに右横ずれ断層型である。益城町では断層による地表面の亀裂が多数発見されており、地殻変動で地表面が大きく動いていることが確認されている。しかし、現地調査だけでは地殻変動量の分布把握は困難である。このような時にはリモートセンシング技術を用いるのが有効である。熊本地震の発生直後から国土院や航測会社などにより、航空写真撮影、航空レーザー測量、ドローン空撮などが多数実施される。また、日本の陸域観測衛星ALOS-2(だいち2号)や各国の人工衛星が被災地域を観測している²⁾。

本研究では、2016年4月16日の本震前後で航空レーザー計測によって得られたデータを空間補間

して作成した数値表層モデル(DSM)データを用いて、熊本県益城町を対象に、建物の移動量に基づいて地殻変動を抽出する。また、DSMデータから求めた地殻変動量と地震前後で計測した益城町にある三角点及び水準点の位置データと比較を行う。

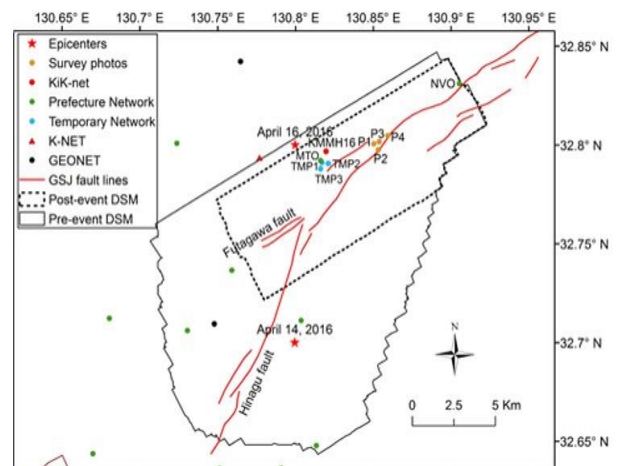


図1 2時期航空レーザーデータの範囲

2. 使用データと研究の流れ

本研究での対象地域は本地震の震源地である益城町であり、航空写真と DSM データを用いて地殻変動の抽出を試みる。地表面に亀裂が見られたという報告がなされている益城町の秋津川沿いを中心に検討を行う。航空写真は4月15日、23日、そして29日に撮影したものを使用し、DSM データは4月15日と4月23日の二回にわたってアジア航測(株)が実地した航空レーザー計測によるものを使用する³⁾。

図1はその航空レーザー計測範囲である。航空レーザーの撮影条件を表1に、計測コースと今回の対象場所を図2に示す。今回2時期のDSMデータか

表1 航空レーザー計測の撮影条件

		4月15日	4月23日
撮影時間	撮影開始時刻	14時59分	10時14分
	撮影終了時刻	19時20分	11時53分
使用機器	LP計測機器	ALS50 II (Leica Geosystems)	
	航空機	固定翼 セスナ 208 型	
DEM 精度		50cm	

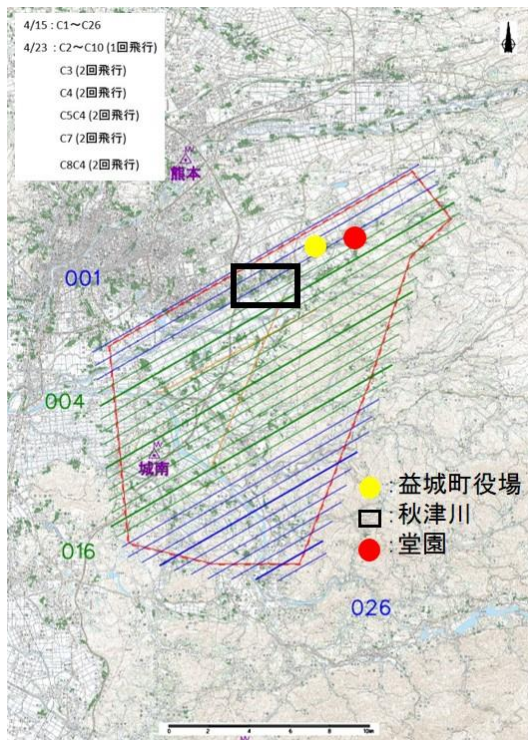


図2 航空レーザーの計測コースと対象場所

ら差分値を抽出するうえで、最大相関を示す位置を水平地殻変動量とみなしている⁴⁾。このようにして、データ範囲全域で求めた水平移動量を差し引いて、2つのDSMの位置合わせをした後、高さの差分を取ることで、鉛直方向の地殻変動量を求めた⁴⁾。

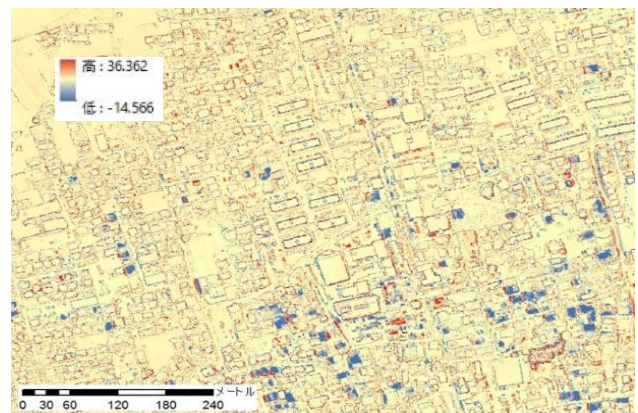
本研究では、益城町の建物を対象にDSMの差分データから推定した地殻変動量と航空写真とを比較し、地震による建物被害の状況や地盤変状を読み取ろうと試みた。着目したのは図2に示す3つの対象場所である。それぞれのDSM差分データを用いて地盤の移動方向と移動量を検出する。使用するDSMデータは、2時期の撮影範囲の違いから4月23日の範囲内とした。

3. 2時期DSMの差分による変化抽出

(1) 益城町役場周辺



(a) 航空写真(4月23日)



(b) DSM 差分データ

図3 益城町役場周辺

図3に示すのは、4月23日の益城町役場の航空写真とDSM差分データである。赤色の範囲は4月15日に比べて23日の方が高さが高く、青色は低いことを表している。航空写真に写る青い部分は、家屋の屋根を覆うブルーシートである。これらの建物は、屋根瓦等に被害が出たものの、倒壊までには至らなかったことを示しており、比較的被害の小さかった町役場より北の地域にも、多く見受けられる。一方、DSM差分図が青くなった建物は、倒壊して1階が押し潰され、高さが低くなったことを表している。役場の南側の地域には、このような倒壊家屋が多数見られる。

DSM差分では、100mのウィンドウ平均で水平方向の地殻変動量を計算し、これを取り除いている。したがって、建物の輪郭が青と赤で縁どられている建物は、建物が変形ないし、少し傾いてことを示し



(a) 4月15日



(b) 4月29日

図4 秋津川周辺の航空写真による河床変化の様子

ている。赤色となった箇所は、倒壊して水平移動した建物に加えて、堆積した瓦礫や駐車車両によることもあるため、すべての変化をこのカラー図で判断することは難しい。この範囲において、それほど大きな地盤変状はみられないため、DSM差分で高さの変化が見られる箇所は、主として地震の揺れによる建物倒壊の可能性が高いと考えられる。

(2) 秋津川周辺

益城町の中心部を流れている秋津川周辺は地震によって地割れや液状化が発生しており、建物も大きな被害を受けている。秋津川の河床では図4に示す航空写真に見られるように4月16日前後で大きな盛り上がりが見られた⁵⁾。これは、川沿いの表層地盤が川の方向に側方流動したために、河床が盛り上がったのではないかと考えられる。したがってここでは、秋津川周辺は河床と周辺家屋の状況を中心にDSMの差分を詳細に調べてみる。

a). 秋津川の河床の盛り上がり

図5に示すように橋梁東側の河床に焦点を当てて差分をみると、国土地理院の航空写真からわかる通り、盛り上がっていることが読み取れる。そして北側の川沿いの道路は、一部沈下している。報告⁵⁾にも書かれているように、川沿いの地盤は川の方向に向かって側方流動していると考えられる。

図6に示す秋津川の支流部分では、とくに川沿いの建物が川の方向に移動している様子がDSM差分から観察でき、地盤の側方流動によるものと見なせるであろう。

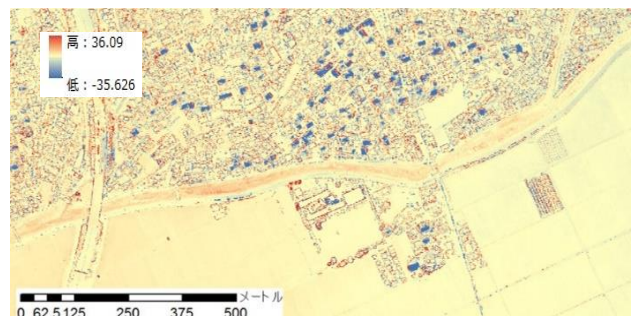
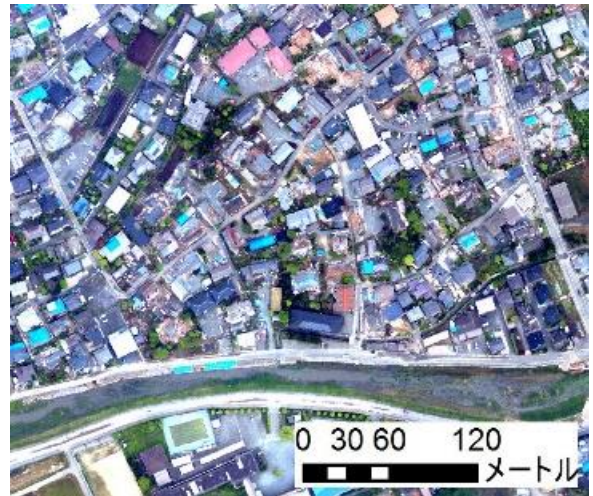


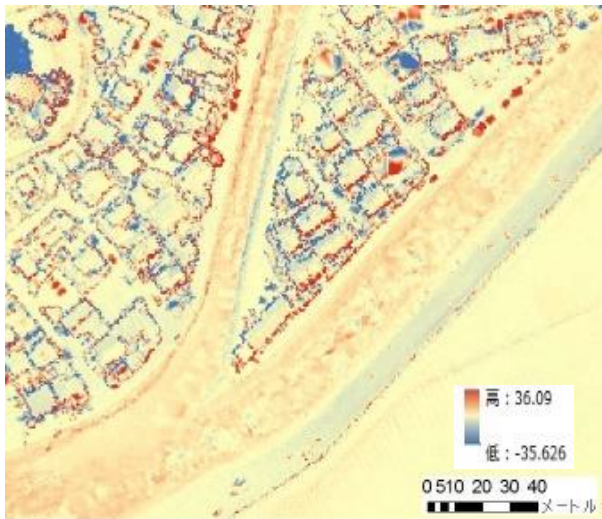
図5 秋津川周辺のDSM差分。河床が盛り上がり赤く表示されている。



(a) 航空写真(4月 23 日)

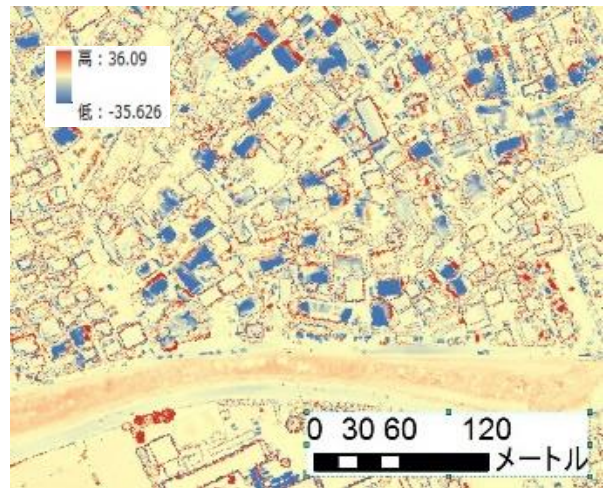


(a) 航空写真(4月 23 日)



(b) DSM 差分データ

図 6 秋津川支流沿いの地盤側方流動



(b) DSM 差分データ

図 7 秋津川周辺の住宅地の様子

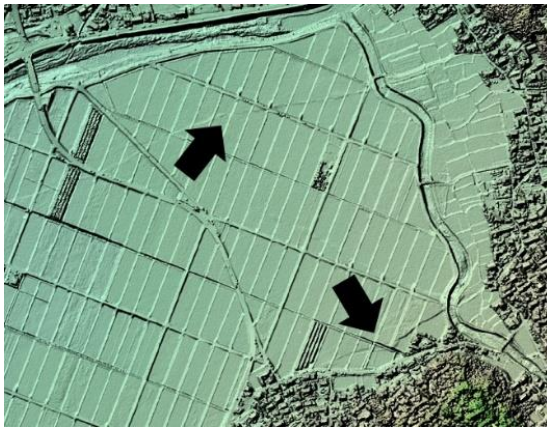
b). 秋津川周辺の住宅地

図 7 に示すように、青くなっている建物は傾斜・倒壊した部分を表している。川沿いの建物は、川の方へ向かって移動しているが、川から少し離れた市街地ではとくにこのような傾向はみられない。これはおそらく、川沿いの地盤でみられる地盤流動が狭い範囲に限定しているからだと考えられる。川沿いの DSM 差分から推測される水平変位に関しては、地割れなどの地盤変状が多数観察されている点から、側方流動の可能性が高い。一方市街地での鉛直変位は、地殻変動を取り除いた後の建物倒壊によるものだと考えられる。

(3) 堂園地区の地表地震断層と斜面崩壊

益城町の上陣・下陣地区や堂園地区周辺では、本震によって明瞭な地表断層が出現した。図 8 に示すように、4月 23 日の DSM データを表示すると、地表面の断層のずれによる大きな亀裂を観察することができる。範囲全体としては、断層による地表面の亀裂を境として、北側が沈み込み、南側が隆起している様子がわかる。

地表断層に加え、堂園周辺では数箇所斜面崩壊も観察された。その中の 1 つに着目して DSM 差分を表示したのが、図 9 に示す堂園地区の斜面崩壊の様子である。航空写真からは、中央にある林が倒れ



(a) 上陣・下陣地区

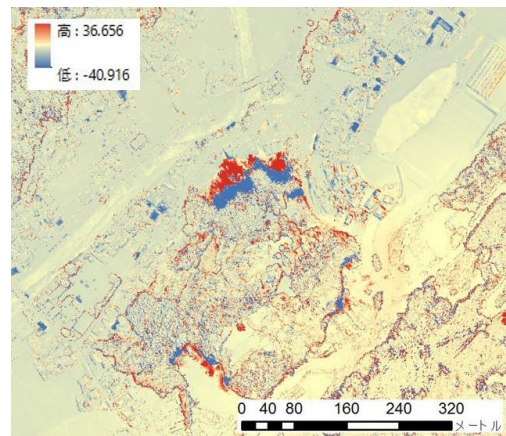


(b) 堂園地区

図8 DSMで観察される地表面の亀裂(陰影起伏図)



(a) 航空写真(4月23日)



(b) DSM差分データ

図9 堂園地区の斜面崩壊の様子

こんで土砂が露出しているのが確認できる。差分では、中央で青くなった部分が斜面崩壊した場所であり、赤は斜面崩壊によって崩落した土砂が堆積していることを示す。差分図からみると、この範囲ではそのほかにも、小さな斜面崩壊が発生している様子が確認できる。

4. DSMと三角点・水準点の変動量比較

2 時期の DSM の差分データから地殻変動量を算出した⁴⁾。国土地理院が地震後に三角点の水平移動量を観測したデータ⁶⁾とこの 2 時期 DSM の比較による 3 次元地殻変動量を図 10 に比較して示す。黒い矢印は水平変位を示し、DSM の色の濃淡は鉛直方向の変位を示す⁴⁾。トルマリングリーン色の矢印は、三角点における測量結果を示す。ここで示す三

角点は、4月23日のDSMの範囲内に位置する点のうち、国土地理院が新たに測量しなおした37か所の変動量である。変位方向の一致を確認するために、図10では水準点の矢印はDSMの水平成分より大きく表示している。益城町の中心を通る断層線を境界として北側は北東に、南側は南西に向かって地表が変動している。そして、DSMの差分方向と水準点の変動方向も概ね一致した。

5. 結論

2016年熊本地震で撮影された2時期の航空レーザー計測で求めたDSMデータを使用して、4月14日の前震と4月16日の本震の2時期の間に生じた地殻変動の抽出を試みた。また、推定された地殻変

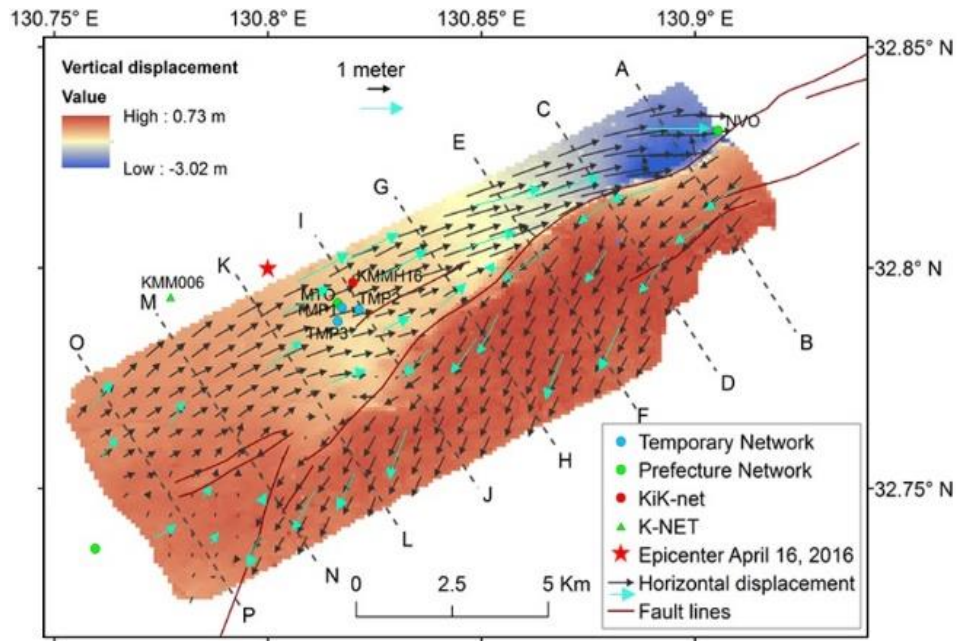


図 10 航空レーザー計測から推定した 3 次元地殻変動量と三角点位置の測量結果の比較

動の水平成分を除去した後の DSM 差分を用いて、益城町の中心市街地の建物被害、秋津川周辺における地盤の側方流動、さらには堂園地区における地表断層と斜面崩壊の状況を観察した。2 時期 DSM の差分によって鉛直変位が明らかになるため、建物倒壊や斜面崩壊は明瞭に抽出することができた。しかし、地盤の側方流動に関しては、地殻変動量とは十分に分離できておらず、今後、側方流動の生じていない範囲で 2 時期 DSM を位置合わせしたあと、対象地域の変動量を地殻変動と側方流動に分離する必要がある。地殻変動量と三角点位置の測量結果の比較においては、変位方向は正確といえるが、変動量に関しては今後より詳細に場所ごとに比較する必要がある。

謝辞：本研究で使用した DSM データはアジア航測(株)により撮影され、L. Moya が作成した差分値データである。益城町における三角点位置データは国土地理院により測量されたものである。航空写真はアジア航測(株)並びに国土地理院によって撮影されたものを使用した。また、解析ソフトは ArcMap を使用した。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 気象庁：平成 28 年（2016 年）熊本地震の関連情報
http://www.jma.go.jp/jma/menu/h28_kumamoto_jis hin_menu.html
- 2) F. Yamazaki, W. Liu, Remote sensing technologies for post-earthquake damage assessment: A case study on the 2016 Kumamoto earthquake, 6th Asia Conference on Earthquake Engineering, 13p, 2016.
- 3) アジア航測株式会社：「平成 28 年熊本地震」災害状況第二報
<http://www.ajiko.co.jp/article/detail/ID56JI45Y2D/> (2016/11/11 閲覧)
- 4) L. Moya, F. Yamazaki, W. Liu, T. Chiba, Calculation of coseismic displacement from Lidar data in the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss., doi:10.5194/nhess-2016-315, 2016.
- 5) 株式会社エイト日本技術開発 災害リスクセンター：2016 年熊本地震被害調査報告, pp.18-26, 2016.
- 6) 国土地理院：熊本地震で変動した基準点の新しい成果を公表。
<http://www.gsi.go.jp/sokuchikijun/sokuchikijun60019.html> (2016/11/11 閲覧)