

地盤情報システムを用いてGEONET点から求めた熊本地震の地殻変動の解析

Analysis of Crustal Deformations of Kumamoto Earthquake Obtained by the JISLaD System Using GEONET Observation Data

島田誠一[1], 新出陽平[2], 伊藤広和[2], 請井和之[2], 末野幹雄[3] Seiichi Shimada[1], Yohei Shinde[2], Hirokazu Itoh[2], Kazuyuki Ukei[2], Mikio Sueno [3]
 [1]東京大学大学院新領域創成科学研究科 株式会社日豊, [2]株式会社日豊, [3]株式会社カルシステム
 [1].Graduate School of Frontier Sciences, University of Tokyo Nippo Co. Ltd., [2].Nippo Co. Ltd., [3].Cal System Co. Ltd.

1. はじめに Introduction

株式会社日豊では2008年以降、毎日GEONET全点の自動解析を行って、日値及び週値の座標値解を蓄積している(島田ほか, 2008, 2009, 2013, 2015)。それらの座標値解を用いて、地盤情報システム(JISLaD)というシステムを開発し、全国のGEONET観測点網の基線長やひずみの変動を監視し始めている(伊藤ほか, 2015; 請井ほか, 2015a, 2015b)。今回地盤情報システムを用いて、2016年4月14日21時26分(JST)に発生した熊本地震の前震(M_{JMA}6.5)及び、4月16日1時25分(JST)に発生した本震(M_{JMA}7.3)について地殻変動を算出した。本システムでは、UTCの0時から24時までの24時間のGEONET観測データ(RINEXファイル)を用いて、日値及び週値の座標値解を得ているが、前震と本震との間隔は28時間近くあるもの、UTCでは前震と本震とのあいだで両者の影響を受けない日を取ることができないので、UTCの4月14日13時(4月14日22時JST)から4月15日13時(4月15日22時JST)の24時間のデータを臨時に解析して、前震と本震とのあいだの一日の座標値を得た。

We have developed the every-day automated analyzing system of all GEONET network sites, and have been analyzing GEONET observation data (RINEX data) since 2008 in Nippo Co. Ltd., and obtained daily and weekly coordinate solutions of all GEONET sites (Shimada et al., 2008, 2009, 2013, 2015). Moreover we have developed the Japanese Information System of Land Deformations (JISLaD) applying the GEONET coordinate solutions above obtained, and monitoring time variations of baseline lengths and crustal strains of the nationwide GEONET observation network (Itoh et al., 2015; Ukei et al. 2015a, 2015b).

Applying the JISLaD System, we deduced crustal deformations of the largest foreshock (M_{JMA}6.5) occurred at 21:26, April 14, 2016 (JST), and the main shock (M_{JMA}7.3) occurred at 1:25, April 16, 2016 (JST). In our system, we analyze routinely 24-hourly GEONET RINEX data from 0:00 to 23:59 UTC and obtain daily and weekly coordinate solutions. In the Kumamoto Earthquake, the main shock occurred 28 hour after the largest foreshock, but it is not possible to obtain daily solution routinely that do not include both the largest foreshock and the main shock, thus we manually analyze 24-hourly RINEX data from 13:00, April 14 UT (22:00, April 14 JST) to 12:59, April 15 UT (21:59, April 15 JST), and obtained the daily coordinate solutions which do not include the largest foreshock nor the main shock co-seismic deformations.

2. 地震時地殻変動 Co-seismic deformation

前震の変位 Displacement of the largest foreshock

前震の水平・上下方向の地震時変位をFig.1に示す。前震前の4月7日から13日の7日間の観測データによる週値座標値解(週値)と、4月14日13時UTC(4月14日22時JST)から4月15日13時UTC(4月15日22時JST)の24時間のデータによる座標値解より前震の地震時変位を求めた。水平成分の誤差楕円は95%誤差を示す。図上の茶色の線は、国土地理院が推定した震源断層モデル(暫定)上端の地上投影を示す。日奈久断層帯西側のJOHNNAN観測点、断層帯北方のKUMAMOTO観測点、断層帯の南方のIZUMI観測点などの変位は、日奈久断層帯北部が右横ずれ変動をしたと考えたときの理論変位と調和的である。

Fig.1 shows the horizontal and vertical co-seismic displacement of the largest foreshock, deduced by the difference between the coordinates of the sites of the weekly solution applying the observation data between April 7 and 13 UTC, and the 24-hourly solution between 13:00 April 14 and 12:59 April 15 UTC. The error ellipse of the horizontal displacement is 95% error range. The brown line shows the ground projection of upper end of the preliminary earthquake fault model by GSI. The displacements of JOHNNAN site west of the Hinaku fault zone, KUMAMOTO site north of the fault, IZUMI site south of the fault, and the other sites are consistent with the theoretical displacements of the right-lateral movement of the northern part of the Hinaku fault zone.

本震の変位 Displacement of main shock

本震の水平・上下方向の地震時変位をFig.2に示す。上記で得られた前震と本震の間の24時間データによる座標値解と、本震後の4月16日から22日の7日間の観測データによる週値座標値解より本震の地震時変位を求めた。水平成分の95%誤差楕円もプロットしているが、変動のスケールに比べて十分に小さいために、見えなくなっている。図上の茶色の線は、国土地理院が推定した震源断層モデル(暫定)上端の地上投影を示す。布田川断層北東端近くのCHOYO観測点、断層南西端の北方に位置するKUMAMOTO観測点、断層南西端の南方に位置するJOHNNAN観測点、断層東方の3観測点、おおむね北方へ変位している断層北方のその他の観測点、おおむね南方に変位している断層南方のその他の観測点、これらの観測点の変位は布田川断層が右横ずれ変動をしたと考えたときの理論変位と調和的である。

Fig.2 shows the horizontal and vertical co-seismic displacement of the main shock, deduced by the difference between the coordinates of the sites of the 24-hourly solution between 13:00 April 14 and 12:59 April 15 UTC, and the weekly solution applying the observation data between April 16 and 22 UTC. The 95% horizontal error ellipse are also plotted but too much small to find out. The brown line shows the ground projection of upper end of the preliminary earthquake fault model by GSI. The displacements of CHOYO site near northeast end of the Futagawa fault, KUMAMOTO site north of the southwest end of the fault, JOHNNAN site south of the southwest end of the fault, three sites east of the fault, other sites north of the fault moving northward, other site south of the fault moving southward are consistent with the theoretical displacements of the right-lateral movement of the Futagawa fault.

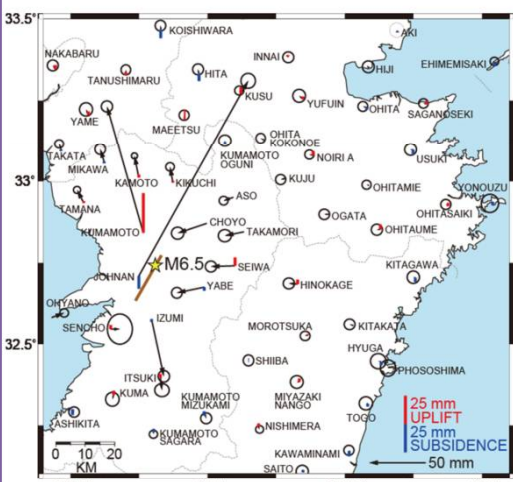


Fig.1 前震時の水平・上下成分の変位
Co-seismic displacement of the largest foreshock.

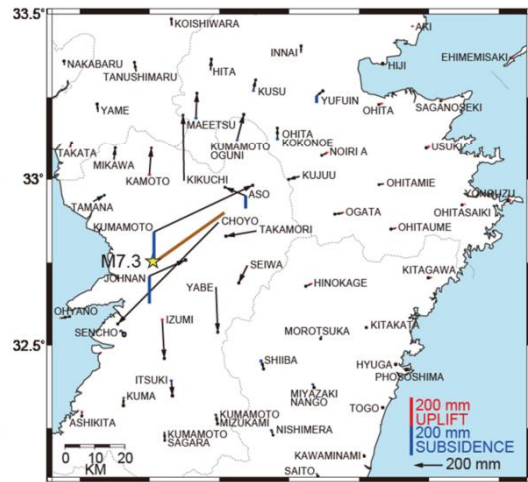


Fig.2 本震時の水平・上下成分の変位
Co-seismic displacement of the main shock.

国土地理院暫定解との比較 Comparison with the preliminary result by GSI

国土地理院が公開している熊本地震の前震・本震時変動の速報値をFig.3, Fig.4に示す。今回算出した地震時の地殻変動と比較してみると、概ね一致していることが分かった。Fig.3 and Fig.4 show the preliminary result of the co-seismic displacements of the largest foreshock and main shock by the Geospatial Information Authority of Japan (GSI). Comparing with the JISLaD and GSI results, both are generally coincided each other within the acceptable error range.

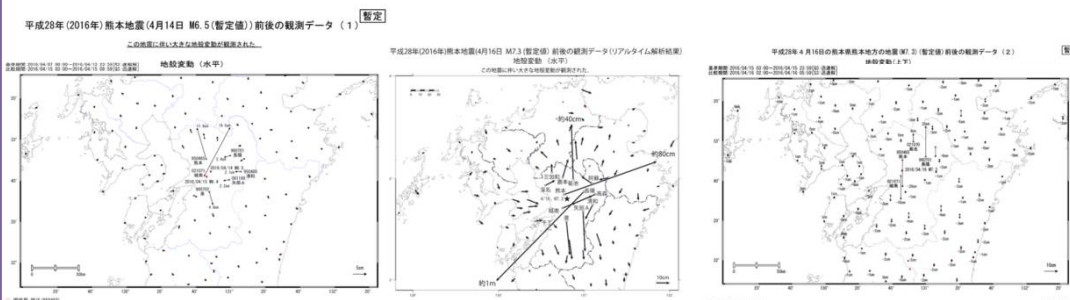


Fig.3 前震時の水平変位(国土地理院速報版) Preliminary result of horizontal co-seismic displacement by GSI.
 Fig.4 本震時の水平・上下変位(国土地理院速報版) Preliminary result of horizontal and vertical co-seismic displacement by GSI.

5. 考察と結論 Discussion and conclusion

熊本地震はM7.3と最近100年間程度に日本列島内陸部に発生した活断層による地震としては最大級の大きさである。特に布田川断層・日奈久断層は九州の内陸中央部に位置しており、周囲をGEONET点で取り囲んでいるにもかかわらず必ずしも横ずれの断層モデルから期待される地震時変位や面積ひずみのパターンがきれいに観測で示されたとはいえない。これは、この地域のGEONET点の観測点間隔が10km~20km程度と密度が粗いためと考えられる。今後、内陸型の地震の研究にGEONET観測点を活用していくためには、現在の半分程度の観測点間隔となるような観測点密度が最低限必要であると考えられる。

The main shock of the Kumamoto earthquake (M7.3) is one of the largest earthquakes occurred by the active faults inland Japanese Islands in the recent 100 years. Moreover the Futagawa and Hinaku fault system locates the central part of Kyushu Island and the GEONET network sites are located surrounding the seismic generic faults. However the observed co-seismic motions and the dilatational strain distribution do not show the expected clean pattern of the right lateral strike slip. This is caused by the fewer in number of the network site, spacing 10km-20km interval between the sites in this region. For the advanced study of inland earthquakes applying GEONET network, densification of the network sites (at least spacing of equal or less than 10km interval between sites) is thought to be necessary.

3. 前震と本震の面積ひずみの分布 Dilatational strain

前震及び本震において、それぞれ地震断層をまたがないように三角網を作り、面積ひずみを計算した。前震は、4月13日の日値座標値解と前震と本震の間の24時間データの座標値解から求めた。そのひずみ分布をFig.5に示す。赤は膨張、青は収縮を表している。Fig.5から宇土半島付近で6 μ strain程度の膨張が見られ、熊本北部・中部では2~4 μ strainの収縮がみられた。

本震は、前震とのあいだの24時間データの座標値解と、4月17日の日値座標値解から計算した。そのひずみ分布をFig.6に示す。Fig.6から阿蘇地域で70 μ strain、熊本市沿岸地域で15 μ strainの膨張がみられた。菊池市、益城町、西原村付近では数10 μ strainの収縮がみられた。

前震・本震ともに、茶色で示した国土地理院が推定した震源断層モデル(暫定)の右横ずれ変動から期待される面積ひずみ分布と矛盾はしないが、一般の横ずれ断層モデルで計算される面積ひずみをきれいに示しているとはいえない。

We calculate the dilatational strain of the triangulation net which does not across the earthquake faults of the largest foreshock and the main shock.

Fig.5 shows the distribution of the dilatational strain, deduced from the daily coordinates solution of the observation data on April 13, and the 24-hourly coordinates solution of the 24-hour data between the largest foreshock and the main shock. Red shows expansion, blue contraction. In the area of the Udo peninsula expansion is seen about 6 μ strain, about 2-4 μ strain contraction seen in the northern and central Kumamoto prefecture.

Fig.6 shows the distribution of the dilatational strain, deduced from the 24-hourly coordinates solution of the 24-hour data between the largest foreshock and the main shock, and the daily coordinates solution of the observation data on April 17. In the area of Aso is seen about 70 μ strain expansion, 15 μ strain expansion in the area of Kumamoto city. About 10-30 μ strain contraction is seen in the areas of Kikuchi city, Mashiki town, and Nishihara village.

The distribution of the dilatational strain of both the largest foreshock and the main shock are consistent with those expected from the right-lateral strike slip of the preliminary earthquake fault model (brown lines) by GSI, but the pattern does not show the representative one calculated from the theoretical dislocation theory.

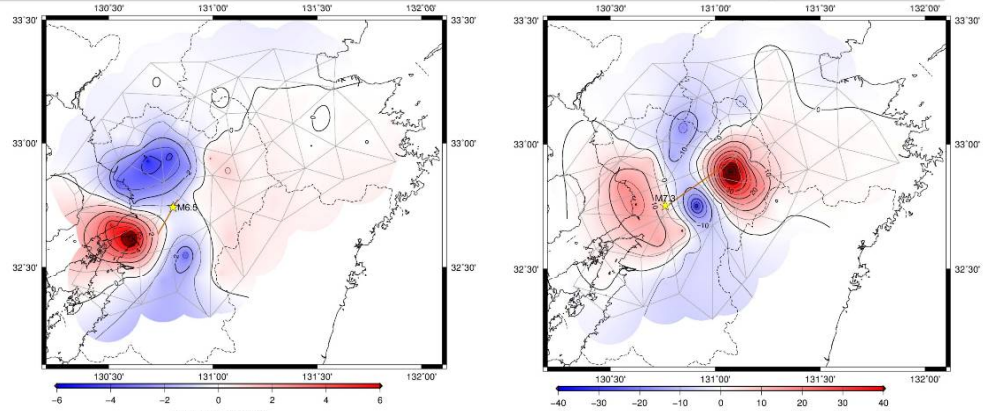


Fig.5 前震時の面積ひずみ分布 Distribution of the dilatational strain of the largest foreshock.
 Fig.6 本震時の面積ひずみ分布 Distribution of the dilatational strain of the main shock.

4. 基線長・面積変化 Side length and area change

地盤情報システム(JISLaD)では、基線の伸張・収縮や面積の変化が基準値を超えたら警報として地図上でマークを発色して、異常地殻変動を検出している。熊本地震の前震と本震において、Table 1のしきい値を超えたら発色させるようにして、図を作成した。前震の発色図をFig.7, 本震の発色図をFig.8に示す。Fig.7, Fig.8では辺長・面積共にしきい値を超えた部分があり、特にFig.8の本震では、非常に広範囲において基線長・面積の変化がみられた。ただしGEONET点の観測点間隔が広すぎるため、Fig.7, Fig.8からは、大略の地震断層の位置は推定できるものの、どのようなメカニズムの断層変動なのかを読み取ることは難しい。

In the JISLaD system, we plot color mark on map as alarm when the change of baseline and/or area is over threshold, to detect anomalous crustal deformations. On the largest foreshock and main shock of Kumamoto earthquake, we plot color marks applying the threshold defined in Table 1, as shown in Fig.7 and Fig.8 respectively. Some triangle net changes over threshold both for baseline and area change in the both figure. Especially in the main shock (Fig.8), those triangles are very widely seen. However because the interval between the GEONET sites are too long, it is possible to locate the vague place of the earthquake faults, but it is very difficult to find the mechanism of the fault movements.

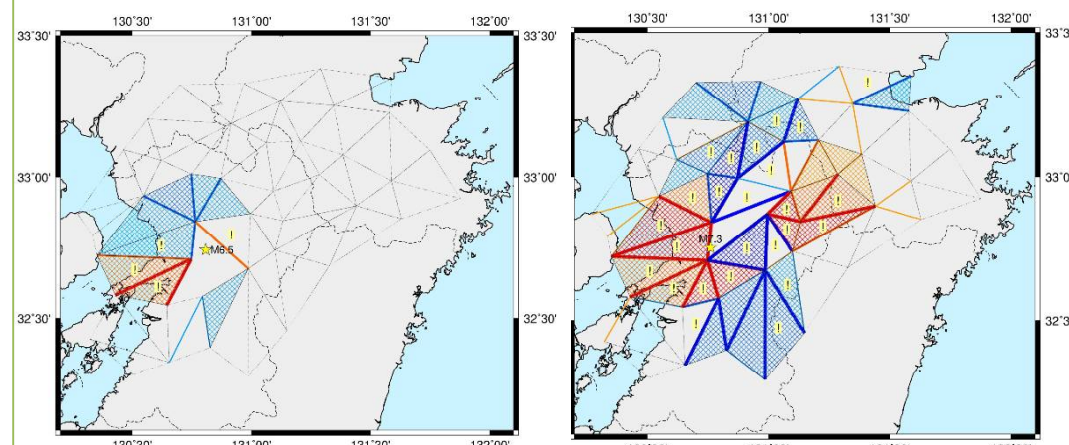


Fig.7 前震時の異常基線長・面積変化 Anomalous baseline length and area changes in the largest foreshock.
 Fig.8 本震時の異常基線長・面積変化 Anomalous baseline length and area changes in the main shock.

Table.1

Baseline length changes:	Area changes:
Red line: Extension over 10cm.	Red cross-hatch: Expansion over 10 μ micro strain
Orange line: Extension over 5cm.	Orange cross-hatch: Expansion over 5 μ micro strain
Yellow line: Extension over 2cm.	Yellow cross-hatch: Expansion over 2 μ micro strain
Blue line: Contraction over 2cm.	Blue cross-hatch: Reduction over 2 μ micro strain
Dark blue line: Contraction over 5cm.	Dark blue cross-hatch: Reduction over 5 μ micro strain
Black line: Contraction over 10cm.	Black cross-hatch: Reduction over 10 μ micro strain
Yellow exclamation mark: Expansion over 10 μ micro strain (share strain)	

謝辞 Acknowledgement

国土地理院がHP上で公開している「電子基準点が捉えた平成28年(2016年)熊本地震に伴う地殻変動について(5月9日)」の資料を引用させて頂いた。We refer the article titled "Crustal deformations associated with 2016 Kumamoto Earthquake detected by GEONET network (May 9)" posted on HP of Geospatial Information Authority of Japan (GSI).