

4 - 4 関東甲信地方の地殻変動 Crustal Movements in the Kanto District

国土地理院

Geospatial Information Authority of Japan

[水準測量]

第1～3図は、さいたま市から三浦半島先端にかけての水準測量結果である。

第1図の水準原点からさいたま市に至る路線については、板橋区からさいたま市にかけてわずかな沈降が見られるが、観測の誤差である可能性もある。

第2図の横浜市から水準原点までの路線については、特段の変動は見られない。

第3図の横浜市から三浦半島先端に至る三浦半島東側の水準測量の結果については、最新の観測結果には特段の変動は見られない。

第4図は水準原点に対する三浦半島の上下変動時系列である。1960年代以降東北地方太平洋沖地震前まで、半島の先端側が長期的かつ継続的に沈降していた。また、三浦半島の付け根のF25（横浜市）、J35-7（横浜市）も最近30年間は継続的に沈降の傾向であった。東北地方太平洋沖地震を挟む期間においては、震源側の沈降により水準原点に対する各点の隆起傾向が見られたが、その後は地震前と同様に沈降の傾向となっている。

[茨城県北部の地震]

第5～11図は、2016年12月28日に発生した茨城県北部の地震（M6.3、最大震度6弱）に伴う地殻変動に関する資料である。

第5図はGNSS連続観測による水平変動ベクトル図及び基線変化グラフである。この地震に伴い、茨城県の里美観測点で西南西方向へ約3 cm、北茨城観測点で東方向へ約2 cm 変位するなど、震央周辺の観測点で地殻変動が観測された。下段は上記2観測点の3成分時系列グラフである。地震時に各成分でステップ的な変化が見られる。

第6図は、この地震に伴う地殻変動をだいち2号のSAR干渉解析で捉えたものである。最大約27 cmの衛星－地表間の距離伸長が観測された。最大の地殻変動が観測される領域では、長さ約2 kmの変位の不連続が見られる。

第7図は、GNSS連続観測により得られた地殻変動と、だいち2号のSAR干渉解析で得られた地殻変動に基づき推定した震源断層モデルである。矩形断層一様滑りの震源断層モデルを2枚のセグメントを仮定して推定を行った。北北西（北西）－南南東（南東）走向で南西傾斜の断層面で、最大変位域の浅部に局所的な滑りが推定される。計算されるモーメントマグニチュードは約5.9となった。

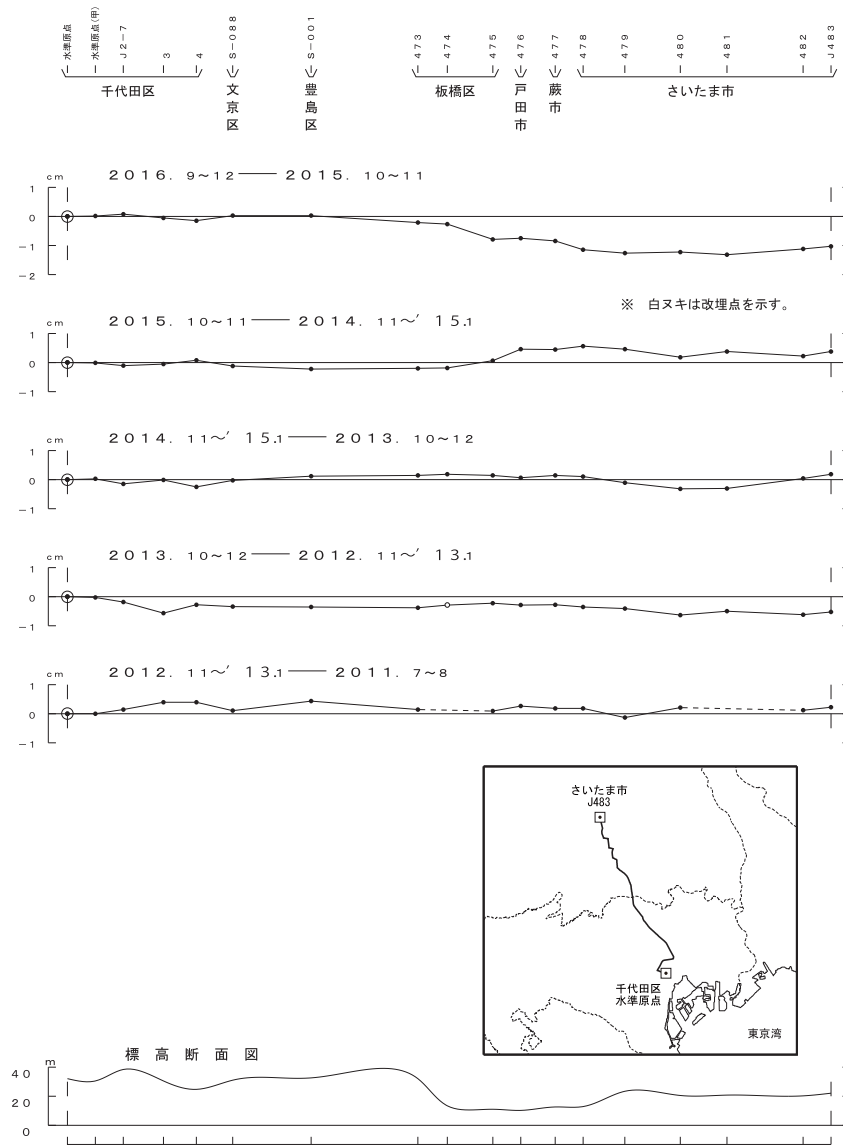
第8図は、だいち2号のSAR干渉解析結果であるが、第6図とは異なり、北行軌道からの観測データを解析した結果である。上段の解析結果では、第6図の南行軌道からの観測結果と同様に、衛星－地表間の距離伸長が捉えられた。下段左は第7図の震源断層モデルから計算される地殻変動、右はその残差を示している。観測された地殻変動はモデルでよく説明できることが分かる。

第9図は、だいち2号の南行及び北行のSAR干渉解析結果から2.5次元解析で求めた準上下成分（上図）及び準東西成分（下図）である。

第 10 図は、今回の地震とほぼ同じ場所で発生した 2011 年 3 月 19 日の地震に伴う地殻変動との比較である。2011 年の地震についてはだいちの SAR 干渉解析結果が得られており（左図）、今回のだいち 2 号による観測結果（右図）と比較すると、地殻変動がほぼ同じ領域で観測されていることが分かる。特に、変位の不連続線の位置はほぼ同じ場所で見られ、地表付近ではほぼ同じ位置で滑りが生じたことが示唆される。

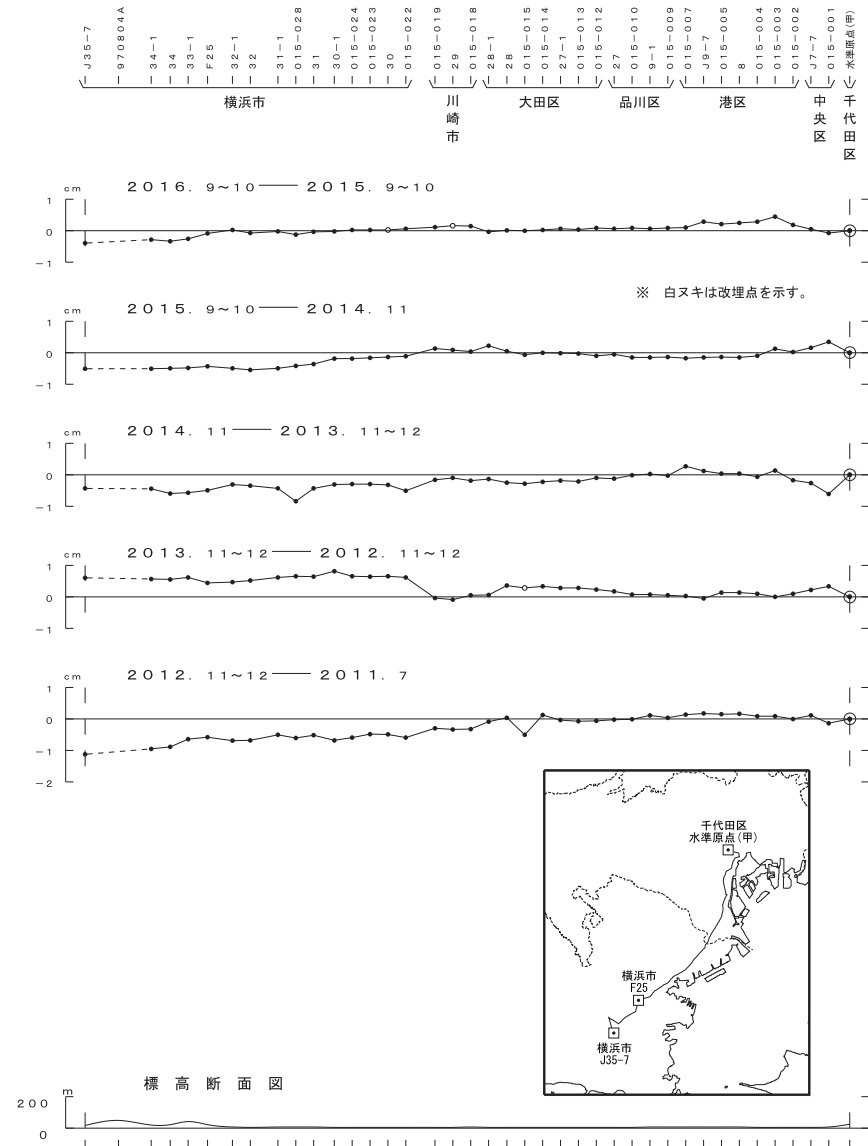
第 11 図は、だいち 2 号の SAR 干渉解析結果に基づき、地表変形の現地調査を行った結果を示した資料である。変位の不連続に沿って、複数の地点で開口亀裂や上下変位が確認された。

板橋区からさいたま市にかけて沈降が見られる。



第1図 水準測量による水準原点～さいたま市の上下変動
Fig. 1 Results of leveling survey from Vertical Datum to Saitama city.

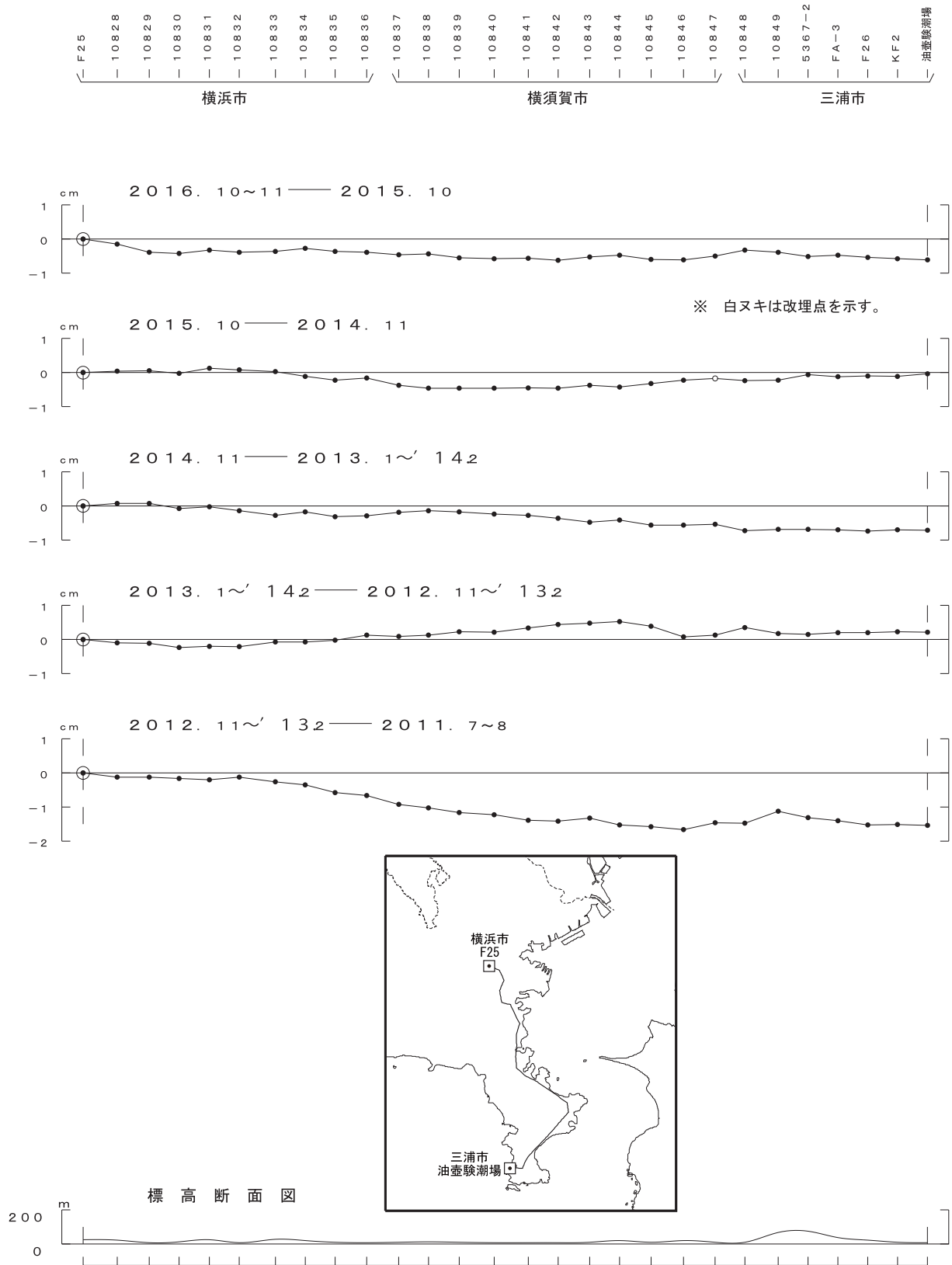
特段の変動は見られない。



第2図 水準測量による横浜市～水準原点（甲）の上下変動
Fig. 2 Results of leveling survey from Yokohama city to Vertical Datum (KO).

三浦半島東側の上下変動

特段の変動は見られない。



第3図 三浦半島における水準測量結果

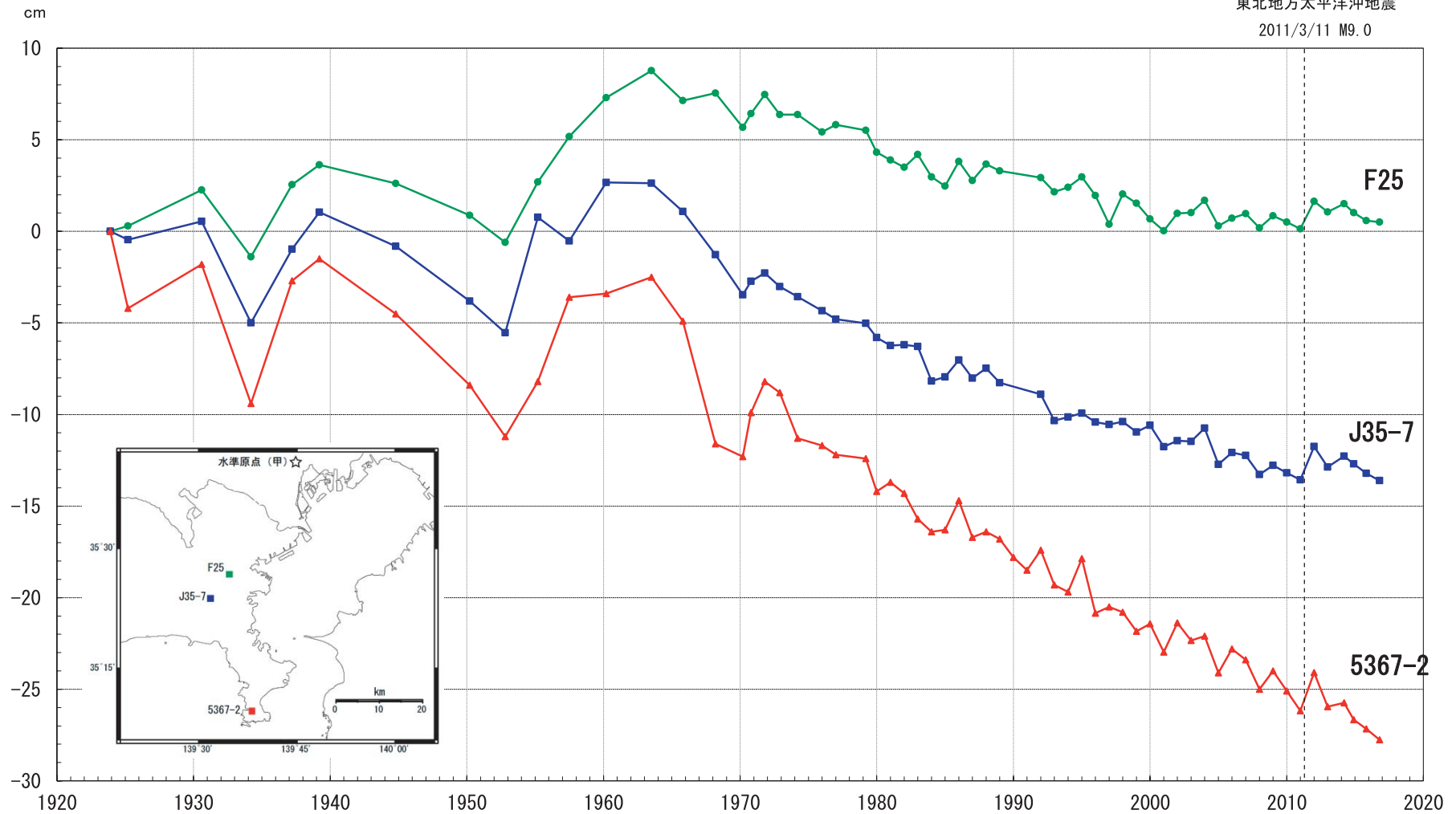
Fig. 3 Results of leveling survey in Miura peninsula.

1923年を基準とした三浦半島（一等水準点）の経年変化

水準原点（甲）に対する三浦半島先端側の沈降が継続している。

東北地方太平洋沖地震

2011/3/11 M9.0



基準：水準原点（甲）（千代田区）

第4図 水準原点から見た三浦半島周辺の水準点の上下変動時系列

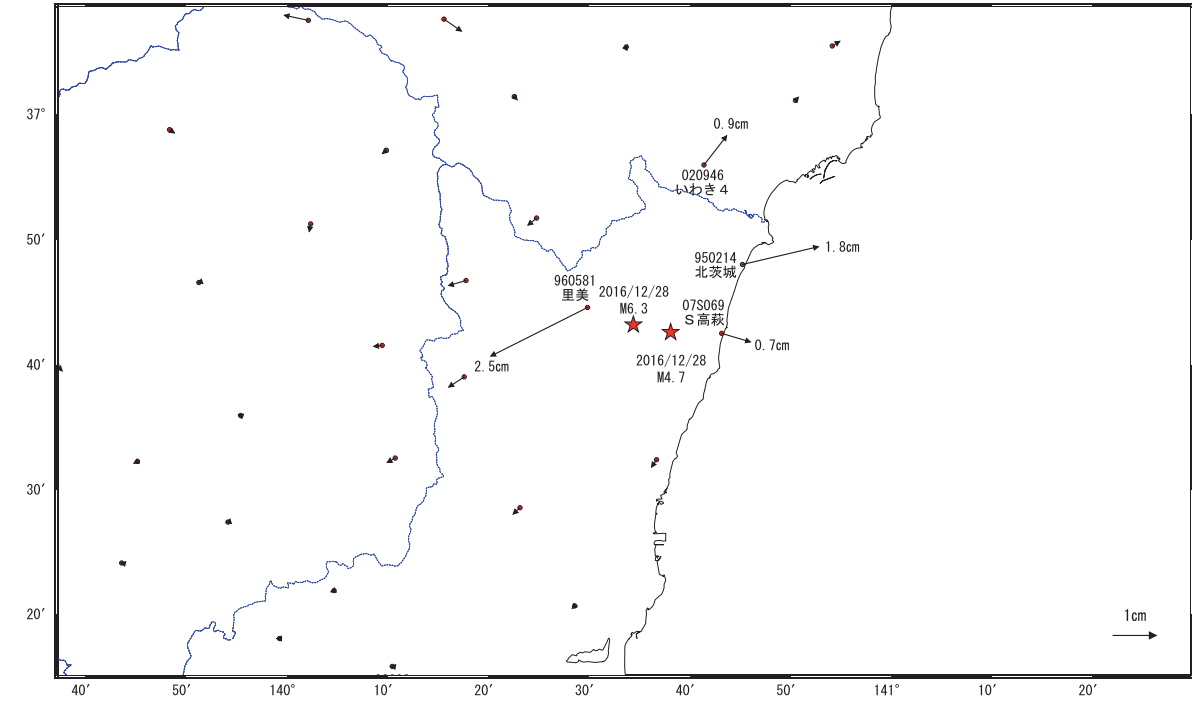
Fig. 4 Time series of height change on benchmarks around Miura peninsula referred to the Vertical Datum (KO) of leveling.

茨城県北部の地震(12月28日 M6.3)に伴う地殻変動

この地震に伴い地殻変動が観測された。

基準期間: 2016/12/21~2016/12/27 [F3: 最終解]
比較期間: 2016/12/29~2017/01/04 [F3: 最終解]

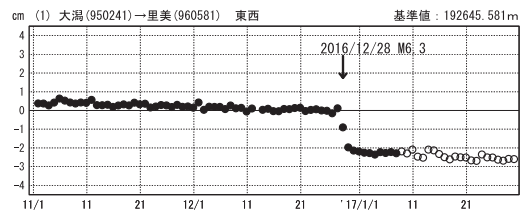
地殻変動 (水平)



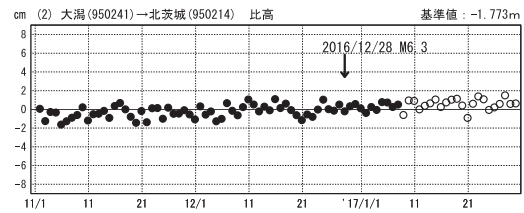
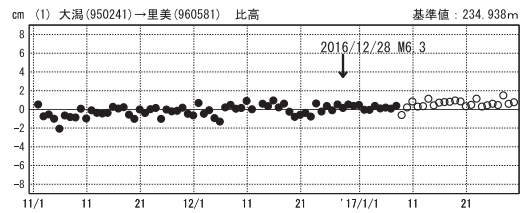
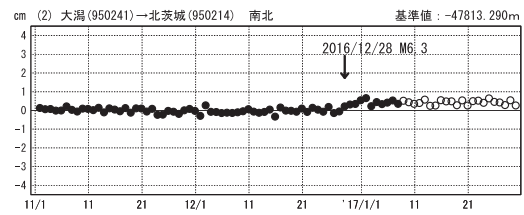
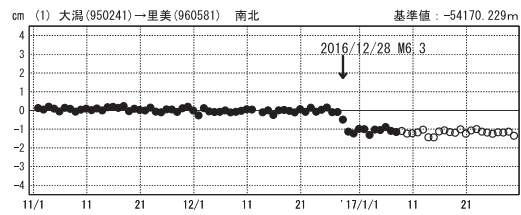
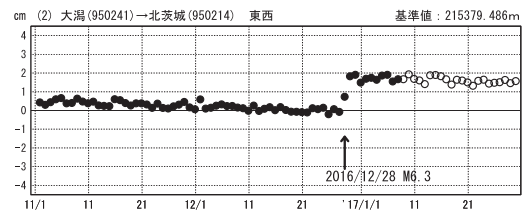
☆ 固定局: 大潟 (950241)

成分変化グラフ

期間: 2016/11/01~2017/01/29 JST



期間: 2016/11/01~2017/01/29 JST



●—[F3: 最終解] ○—[R3: 速報解]

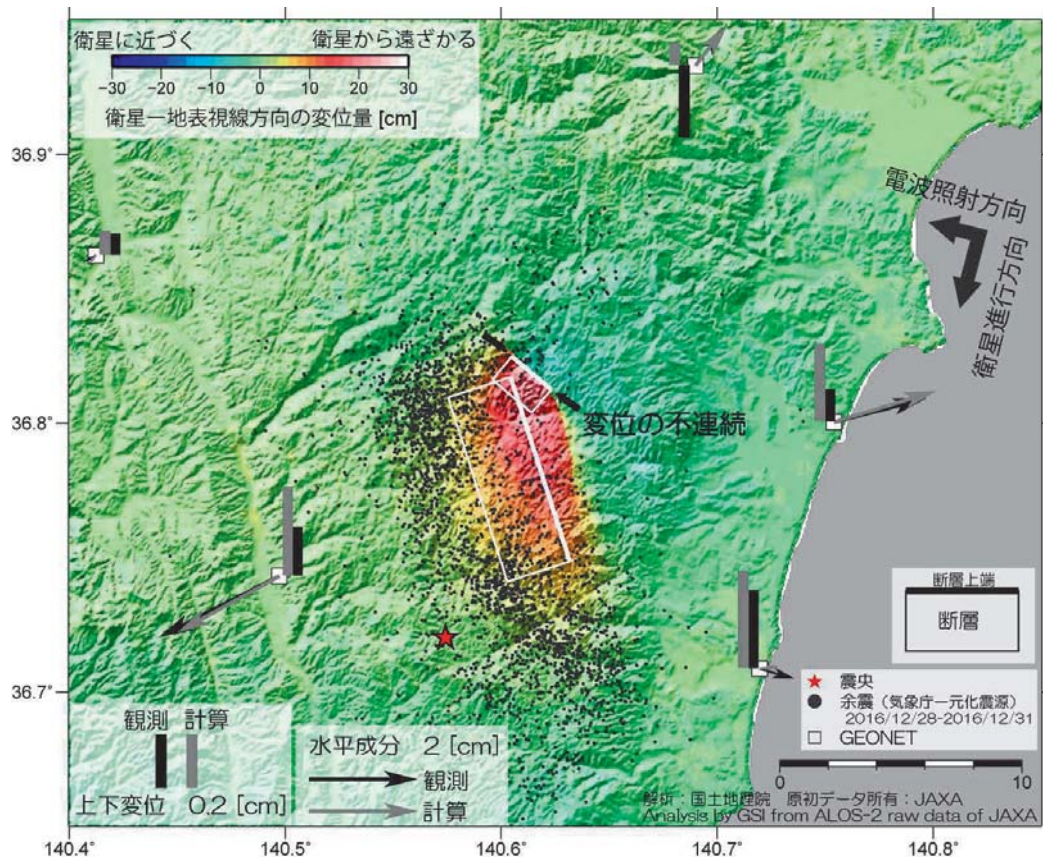
第5図 2016年12月28日茨城県北部の地震 (M6.3) に伴う地殻変動

Fig. 5 Crustal deformation associated with the M6.3 northern Ibaraki prefecture Earthquake on December 28, 2016 (horizontal displacement and 3 components time series).

平成 28 年 (2016 年) 12 月 28 日茨城県北部の地震 (M_j6.3) に関する 合成開口レーダー解析結果

平成 28 年 (2016 年) 12 月 28 日 21 時 38 分頃、茨城県北部で発生した地震 (M_j6.3) に関する、「だいち 2 号」データの解析結果を示す。

- 1) 地殻変動は北茨城市市街地から西約 10km の領域に集中しており、最大約 27cm の衛星—地表間の距離伸張が観測された。
- 2) 最大の地殻変動が観測される領域では、長さ約 2km の変位の不連続が認められる。
- 3) 干渉画像をもとに矩形断層一様すべりの震源断層モデル (2 枚のセグメントを仮定) を構築した。主な特徴として、①南西傾斜の断層面 (傾斜角 50~60°)、②北北西 (北西) —南南東 (南東) 方向の走向、③正断層型の断層運動、④最大変位域の直下のごく浅部に局所的な滑り、等が挙げられる。
- 4) 震源断層の周囲で余震が発生している。
- 5) 2011 年 3 月 19 日に発生した地震 (M_j6.1) で観測された地殻変動とほぼ同じ領域に地殻変動が観測された。特に、変位の不連続の位置は同じ場所に見られる。



(a) 干渉SAR 解析から得られた地殻変動

本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。

第6図 2016年12月28日茨城県北部の地震 (M6.3) に関する合成開口レーダー解析結果

Fig. 6 Synthetic Aperture Radar (SAR) interferogram using ALOS-2 of the M6.3 northern Ibaraki prefecture earthquake on December 28, 2016.

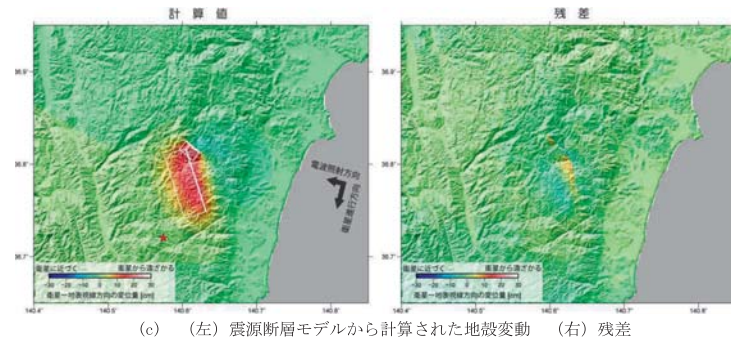
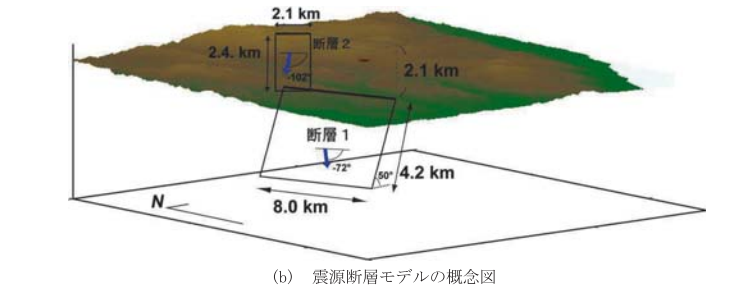


表 1 推定された断層パラメータ

断層	緯度	経度	深さ km	長さ km	幅 km	走向	傾斜	滑り角	滑り量 m	M _w
1	140.604 (0.003)	36.817 (0.005)	2.1 (0.4)	8.0 (0.9)	4.2 (0.9)	162 (5)	50 (6)	-72 (12)	0.7 (0.3)	5.83
2	140.605 (0.002)	36.825 (0.002)	0.1 (0.0)	2.1 (0.1)	2.4 (0.4)	130 (11)	59 (11)	-102 (32)	0.4 (0.1)	5.15
計										5.85

※位置は断層の左上端 () は誤差 (1σ)

表 2 SAR データ (だいち 2 号) 諸元等

観測日	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測モード	入射角	垂直基線長
1 回目 (地震前) 2016 年 11 月 17 日					
2 回目 (地震後) 2016 年 12 月 29 日	南行	右	高分解能	36°	+28 m

本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。

第7図 2016年12月28日茨城県北部の地震 (Mj6.3) の震源断層モデル
Fig. 7 Rectangular fault model of the Mj6.3 northern Ibaraki prefecture Earthquake on December 28, 2016.

2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震 (Mj6.3) の地殻変動
平成 29 年 (2017 年) 1 月 10 日観測 (北行軌道) の結果

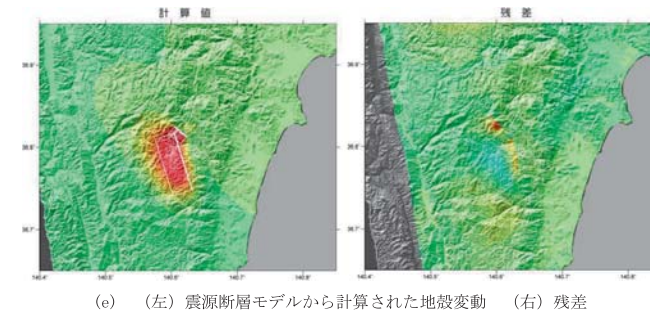
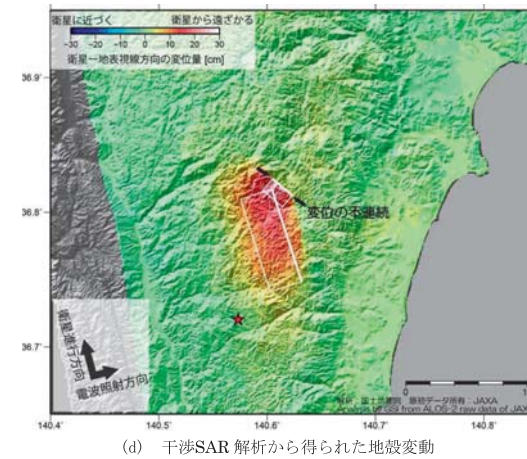


表 3 SAR データ (だいち 2 号) 諸元等 (北行軌道)

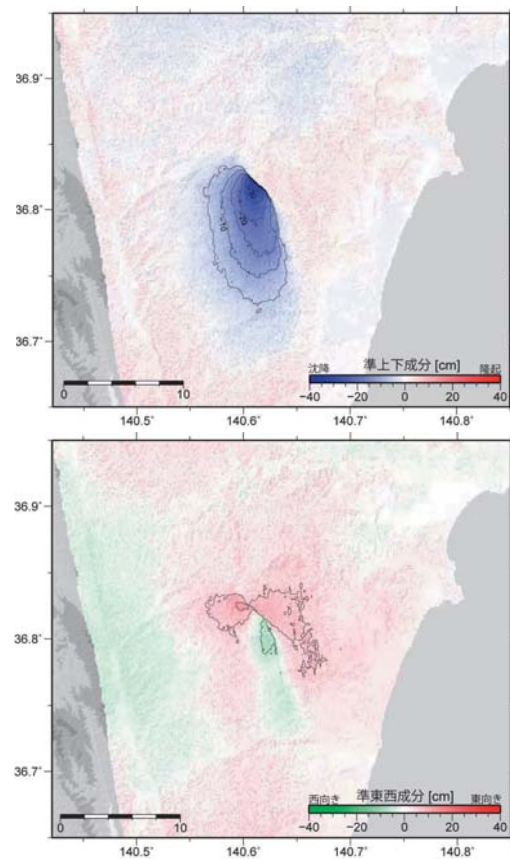
観測日	衛星進行 方向	電波照射 方向	観測モード	入射角	垂直基線長
1 回目 (地震前) 2016 年 11 月 15 日					
2 回目 (地震後) 2017 年 01 月 10 日	北行	右	高分解能	34°	+75 m

本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。

第8図 2016年12月28日茨城県北部の地震 (Mj6.3) の地殻変動 平成29年 (2017 年) 1月10日観測 (北行軌道) の合成開口レーダー解析結果

Fig. 8 Synthetic Aperture Radar (SAR) interferogram using SAR data acquired on January 10, 2017 (ascending orbit) and simulated intereferogram from the rectangular fault model.

2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震 (Mj6.3) の地殻変動
準上下・準東西成分 (2.5 次元解析)



(f) (上) 準上下成分の変位。(下) 準東西成分の変位。解析には、2016 年 12 月 29 日の観測 (南行右観測) と 2017 年 1 月 10 日の観測 (北行右観測) のデータを用いた。コンタールの間隔は 5cm。

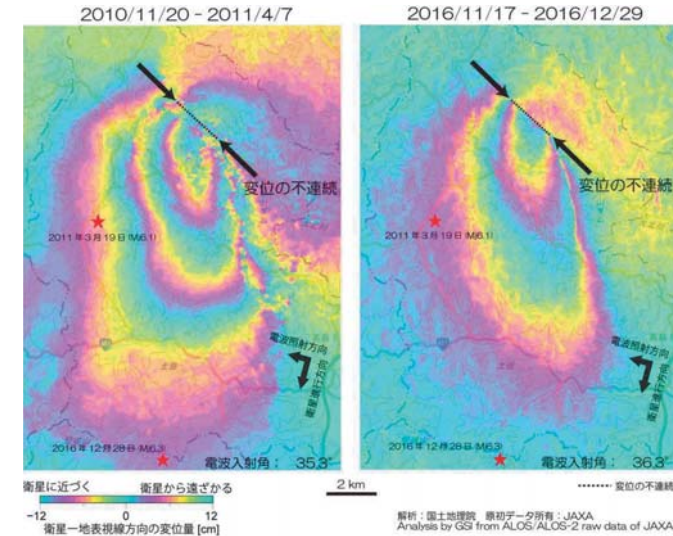
本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。

第9図 2016年12月28日茨城県北部の地震 (Mj6.3) の地殻変動 準上下・準東西成分 (2.5次元解析)

Fig. 9 Crustal deformation associated with the Mj 6.3 northern Ibaraki prefecture Earthquake on December 28, 2016. Quasi-vertical and quasi-east-west components (2.5D analysis).

2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震 (Mj6.3) と
2011 年 3 月 19 日 (Mj6.1) の地震の干渉画像の比較

2016 年 12 月 28 日に発生した茨城県北部の地震 (Mj6.3) に伴う地殻変動は、2011 年 3 月 19 日に発生した地震 (Mj6.1) で観測された地殻変動とほぼ同じ領域に観測された。特に、変位の不連続の位置は同じ場所に見られる。地表付近では、ほぼ同じ位置で滑りが生じたことが示唆される。



(g) 干渉画像の比較。(左) 2011 年 3 月 19 日 (Mj6.1) の地震時の地殻変動を示す干渉画像。(右) 2016 年 12 月 28 日 (Mj6.3) の地震時の地殻変動を示す干渉画像。両画像の範囲は同じである。電波照射方向は、両画像ともほぼ同じである。変位の不連続の位置がほとんど同じ位置にあることがわかる。

参考文献

- T. Kobayashi et al. (2012) InSAR-derived crustal deformation and fault models of normal faulting earthquake (Mj7.0) in Fukushima-Hamadori area, Earth Planets Space, 64, 1209-1221, doi:10.5047/eps.2012.08.015.
- T. Kobayashi et al. (2011) Crustal deformation map for the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake, detected by InSAR analysis combined with GEONET data, Earth Planets Space, 63, 621-625, doi:10.5047/eps.2011.06.043.

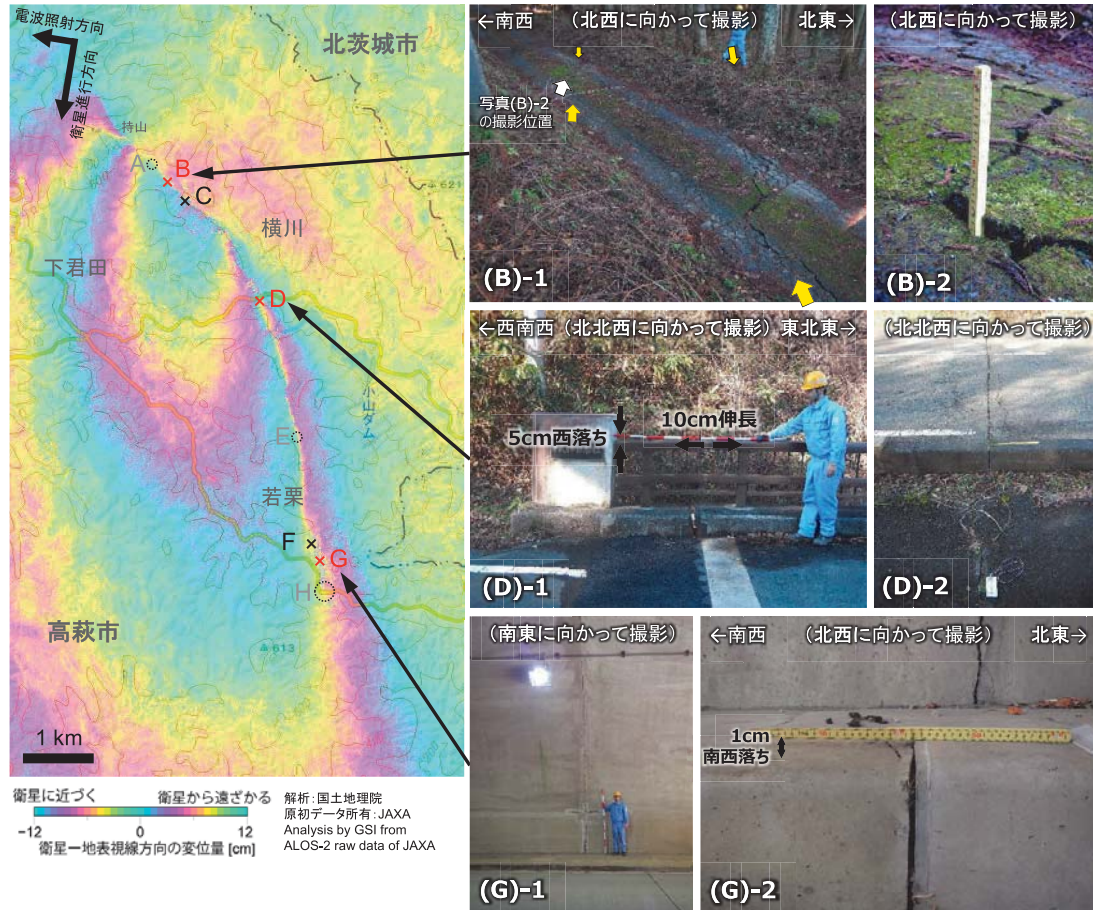
本成果は、地震予知連絡会 SAR 解析ワーキンググループの活動を通して得られたものです。

第10図 2016 年 12 月 28 日茨城県北部の地震 (Mj6.3) と 2011 年 3 月 19 日 (Mj6.1) の地震の干渉画像の比較

Fig. 10 Comparison of two interferograms.
(left) interferogram of Mj6.1 northern Ibaraki earthquake on March 19, 2011.
(right) interferogram of Mj6.3 northern Ibaraki earthquake on December 28, 2016.

平成28年(2016年)12月28日茨城県北部の地震(M_j6.3)に関する 合成開口レーダー解析結果に基づく地表変形の現地調査結果

高萩市横川地区から若栗地区にかけてのSAR干渉画像と現地調査結果
(現地調査は2017年1月10日に実施)



- 地点A：人工構造物がなく、地表変位は確認できず。最近倒れたと思われる樹木を確認したが、いつ倒れたのかは不明。
- 地点B：アスファルト道路上に2本の新鮮な開口亀裂を確認(写真(B)-1) (*)。亀裂の走向はN35° W, 開口幅3~8cm, 上下変位量最大3cm(南西落ち:写真(B)-2)で、亀裂の延長上の林地内土壌にも同走向の開口亀裂を確認(写真(B)-1の人物の足許)。これらは北東-南西方向に軸をもつ伸長場によって生じたと推察。SAR干渉画像で検出された変位と調和的。
- 地点C：アスファルト道路路肩部に新鮮な開口亀裂を確認。亀裂の走向はN40~50° WでSAR干渉画像の変位の不連続の走向と調和的だが、北東側が沈下しており、路肩の重力性変形によると推察。
- 地点D：新小山橋西詰において、つなぎ目の上下変位(3~5cmの西落ち)と欄干の伸び(最大10cm)を確認(写真(D)-1) (*)。その西側のアスファルト道路及び歩道縁石においては、開口亀裂群(走向N20~25° W, 開口幅0.5~2cm, 上下変位無し、一部は3cmの右横ずれ)を確認(写真(D)-2)。いずれも北東-西南西方向に軸をもつ伸長場によって生じたと推察。SAR干渉画像で検出された変位と調和的。
- 地点E：未舗装林道であり、地表変位は確認できず。
- 地点F：林道(砂利道)において、新鮮で大規模な開口亀裂を確認。林道とほぼ並行する亀裂であり、斜面下方側が沈下していることから、いずれも重力性変形によると推察。
- 地点G：若栗トンネル内(南西口から約26m地点)において、トンネルのつなぎ目及び歩道にトンネルと直交方向(北西-南東走向)の新鮮な開口亀裂を確認(写真(G)-1)。開口幅1cm弱, 上下変位量約1cm(南西落ち:写真(G)-2)。北東-南西方向に軸をもつ伸長場によって生じたと推察。
- 地点H：地表変位は確認できず。

(*) 佐藤・八反地(2017) (http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201612_ibaraki001.pdf) 及び
小俣・杉田(2017) (<http://jsaf.info/jishin/items/docs/20170105144457.pdf>) でも報告されている。

第11図 平成28年(2016年)12月28日茨城県北部の地震(M_j6.3)に関する合成開口レーダー解析結果に基づく地表変形の現地調査結果

Fig. 11 Results of the field survey regarding ground surface deformation based on Synthetic Aperture Radar (SAR) interferogram obtained from ALOS-2 data of the M_j6.3 northern Ibaraki prefecture earthquake on December 28, 2016.