

2014年11月長野県北部地震(M6.7)に伴われた 地表断層変位の特性について

TOGO, Masami / 東郷, 正美 / 長谷川, 均 / HASEGAWA,
Hitoshi

(出版者 / Publisher)

法政大学多摩研究報告編集委員会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学多摩研究報告 / 法政大学多摩研究報告

(巻 / Volume)

30

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

10

(発行年 / Year)

2015-05-30

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00012124>

2014 年 11 月長野県北部地震 (M6.7) に伴われた 地表断層変位の特性について

東郷正美¹⁾・長谷川 均²⁾

On the surface rupture by the M6.7 earthquake of November 22th, 2014
in the northern part of Nagano Prefecture, Japan

Masami TOGO and Hitoshi HASEGAWA

I まえがき

2014 年 11 月 22 日 22 時 08 分に長野県北部で最大震度 6 弱の被害地震が発生した。住家全・半壊 214 棟、負傷者 46 名の被害をもたらしたこの地震を、気象庁は“2014 年長野県北部の地震”とし、 $36^{\circ}41.5' \text{ N}$ 、 $137^{\circ}53.4' \text{ E}$ を震央、深さ約 5km に震源をもつ極浅発地震で、その規模は M6.7、発震機構については「西北西－東南東方向に圧縮軸をもつ逆断層型」とした(気象庁 HP および政府地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2014)。発生日の翌日には、この地震で顕著な地表地震断層が、糸静線活断層系北部を構成する神城断層沿いに出現したことが明らかとなった(廣内ほか, 2014 など)ので、筆者の一人・東郷は 24 日現地に出向いてその主要部の観察を行い、さらに 29 日には地表変位の定量的把握のため長谷川の協力を得て UAV を用いた空撮、トータルステーションによる詳細測量を試みた。その後 12 月 8 日にも補足調査を実施した。本稿では、このような調査で得られた知見、資料をもとに出現した地震断層の諸特質について検討を試みる。

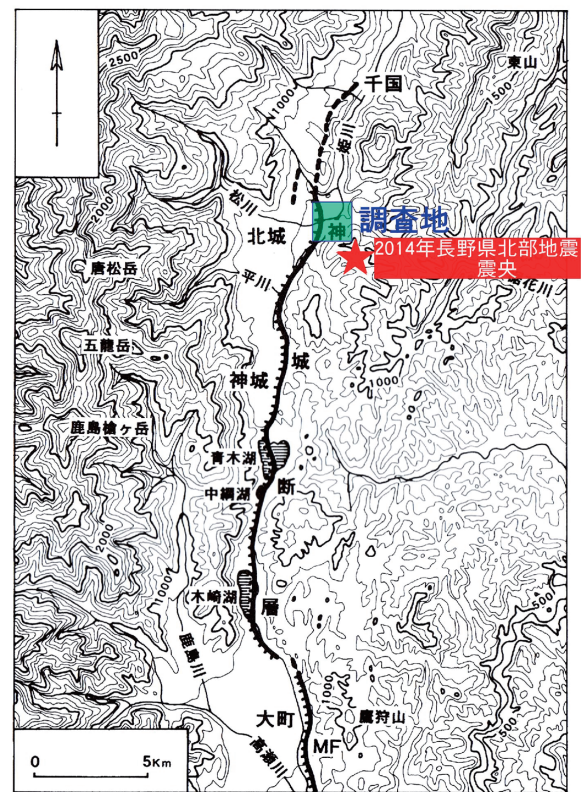


図 1 調査地の位置図

東郷ほか(1996)に一部加筆。2014 年長野県北部地震の震央位置は、気象庁の推定値 ($36^{\circ}41.5' \text{ N}$ 、 $137^{\circ}53.4' \text{ E}$) に基づく。

1) 法政大学

2) 国士舘大学文学部



写真1 白馬村森上地区東端部（城山南麓部）に生じた変動崖（2014.11.24.撮影）

赤破線が地震断層線。

上：城山南側に広がる松川沖積扇状地面上に出現した逆向き変動崖。左手背後の斜面が城山南縁裾にあたる。

下：上写真部の南隣り、右端に見える道路の南側に位置する人工整地（共和興業白馬事業所の資材置場）を横切って生じた北西向き変動崖。

Ⅱ 地表地震断層の出現状況

写真1は、この2014年長野県北部地震で生じた顕著な地変の事例で、白馬村森上地区東端部（城山の南麓部）では、松川沖積扇状地上に展開された畑・水田・小川・道路・人工平坦地・林地などが一線をもって食い違い、その一方側が一様に高まったこと、すなわち、顕著な地表断層変位が生じたことを表している。このような地表変位の痕跡は、北は城山の高まりの北端付近から、南は、大出、深空東、飯森を経て三日市場西方、東佐野付近まで追跡されており（岡田ほか、2014；丹羽ほか、2015）、北城・神城盆地のほぼ東縁に沿って出現したこの地表地震断層は、変動地形学的に活断層として認定されてきた神

城断層線（図1；活断層研究会，1980，1991；東郷ほか，1996，1999；澤ほか，1999）と位置をほぼ同じくする。ただし、この地表地震断層は、その長さが9km余と思われ、松本盆地の北端部にまで達する神城断層（長さ25～30km）に対しては、その北半主部区間を占めるに過ぎない。

以上の主地表地震断層に加え、これより東側に離れて併走する副次的な地表変位線が、北城南方の姫川流路沿いや同右岸の野平付近、そして、大出地区東部、蕨平西などで見出されており、より離れて生じた前二者は、西側隆起の変位を伴うものであった（廣内ほか，2015；丹羽ほか，2015；澤ほか，2015など）。

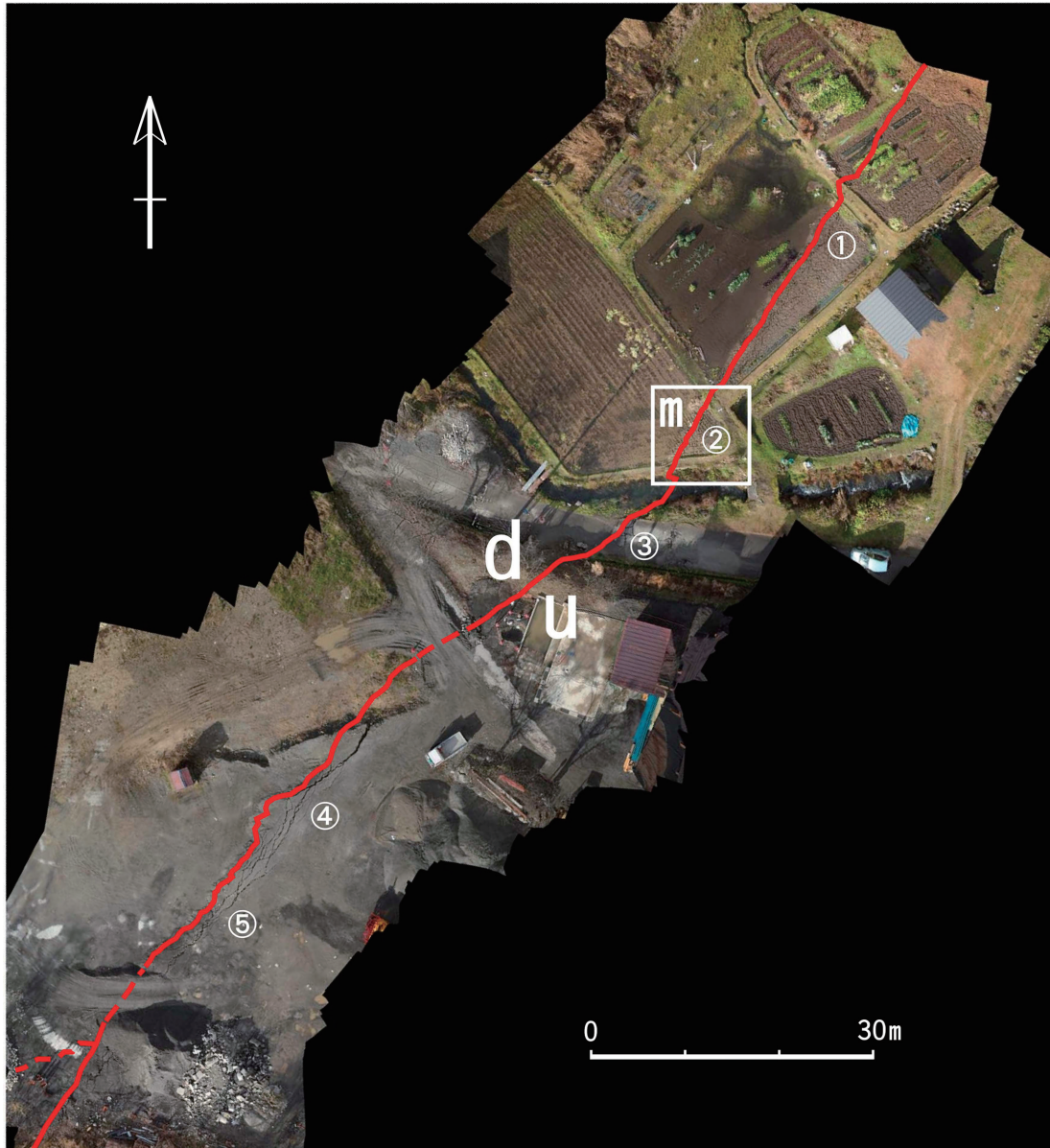


図2 白馬村森上地区東端部における地表地震断層線

基図は UAV による空撮写真を用いた合成オルソ写真画像。

赤線：地震断層線。u・d：隆起側・沈降側。①～⑤：図3の各断面線の位置。m：図5の位置。

Ⅲ 白馬村森上地区東端部における地表地震断の諸側面

総延長 9km 余のこの地表地震断層の中で、地表食い違い量が見かけ上もっとも大きかった写真1の区間に、関与した断層運動の本質がもっともよく表現されているとみて、この地区における地表変位の実態を精査し、以下の資料と知見を得た。

1) 断層線の形状と上下変位の最大値

図2は、UAVによる空撮測量の成果の1つである。得られた空中写真をもとに作成した調査地域全体のオルソ合成写真図に、現地観察と UAV 撮影写真個々を肉眼実体視して把握した地表地震断層線が図示してある。本地区では、ほぼ中央に東西に延びる舗装道路（白馬村道 0206 号線）とそれに沿って東流する小川があり、これらの北側に水田、畑（写真1上）が、また、南側には一段高い人工平坦地（写真1下）が

広がる。この人工平坦地は、最近まで存在した紡錘形の高まり（先行の断層活動で生じた極新期の変位地形と思われる：東郷ほか,1996）を削り取り、周辺を埋める形で整地されたもので、表面は薄くアスファルト舗装されている。

地表地震断層は、これらすべてを切断し、どこでも東側を高めるように生じている。その断層線は連続的に追跡でき、大局的には北東－南西方向の直線に近いことが図2から分かる。ただし、道路や小川のような凹み部を横切るところではその位置が東に偏る特徴があるので、断層面は高角であるが、南東向きに傾斜しているものと思われる。以上は、生じた変位が逆断層型であることを物語っている。

図3に、水平な畑面①、水田面②、傾斜した舗装道路面③、ほぼ水平な人工整地面④⑤とそれぞれ明確な上下変位基準の存する場所（図2）に生じた変動崖の地形断面図を示した。この図から上下変位に関しては、中ほどの舗装道路（村道0208号線）部でもっとも大きく、その量を95cm余と見積もることができる。その北側ではこれに準じて90cmと大きな値を示し、①②と場所を違えても量的に変化がない。一方、村道の南方においては南に離れるに従い次第に小さくなる傾向がうかがえる。

2) 横ずれ変位の有無

写真1-上の右半部(写真2)に注目すると、ここでは、村道①、小川の水路②、これらに沿う畦道③、その左手の水田に残る稲の切り株列④がいずれも地震断層線を境にして一様に左横ずれしている。その横ずれ量は、現地計測により50～60cm程度と見積もることができる。ところが、地震断層は数m北東で同じ水田④の北東縁を画する畦道⑤を横切るが、ここでは左横ずれ現象は生じていない（後出の図5）。その北隣の水田内でも顕著な直線状変動崖が形成されているが、これが横切るその北東縁畦道⑥でも左横ずれ現象は認められない（写真3）。これらの畦道⑤、⑥については、むしろ僅かながら右横ずれしているようにも見える（図2、図5、後出の写真6右）。

本地区では、以上のように、地震断層沿いで、顕著な左横ずれ現象が生じた痕跡が確かに認められる。しかし、それが検出される場所はごく限られ、変動

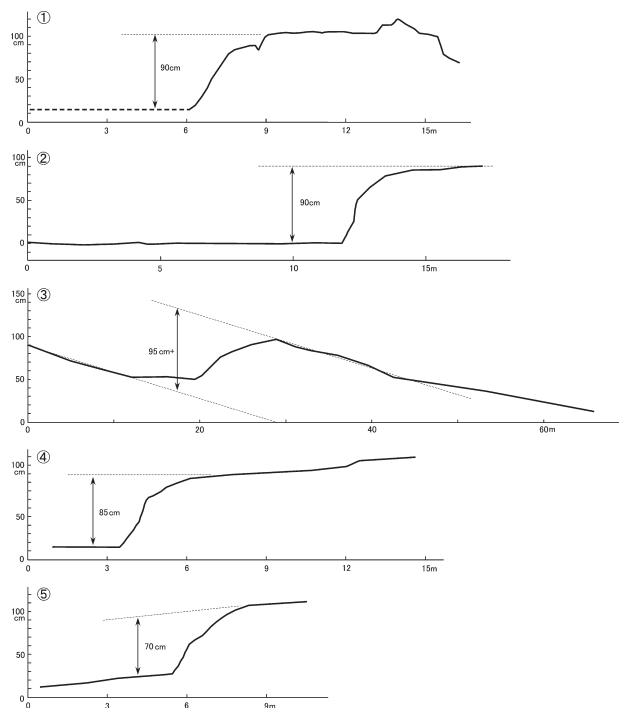


図3 変動崖を横切る地形断面

それぞれの測線位置は同じ記号をもって図2に示す。②と③はトータルステーションによる実測断面、他はUAV写真測量により作成した10cm間隔等高線図を基礎資料としている。

崖が形態・比高を変化させることなく連続する中で、横ずれ現象のみ極端な量的変化を示し、質的（ずれの向き）変化さえ生じているのは、断層変位の本質に照らせば極めて不自然なことである。これらの横ずれ判定に関わった変位基準に注目すると、左横ずれが生じた変位基準①～④は、決まって東北東－西南西方向の線状物である。ほとんど横ずれせず、むしろ逆の右横ずれ傾向をもつ⑤と⑥は、ともに北西－南東方向を有し、①～④とは方向性を明らかに異にしている。この事実は、本地域で見出された横ずれ現象の原因については、逆断層運動のみで十分説明がつくことを強く示唆していて極めて重要と思われる。すなわち、断層を境とした地表物の平面的食い違い配列構造は、縦ずれ断層の変位でも生じうる。縦ずれ断層では両側の地面は、断層に近づくか、離れる方向に動くので、これに斜交する地表線状物は、断たれ、そして、それぞれの連続方向とは異なる向きに動かされることにより、断層を境に平面的に不連続な配置形態を取ることとなる。断層活動では、このように断層の横ずれ変位に起因しない横ずれ状



写真2 顕著な左横ずれ痕跡 (a~d) (2014.11.24.撮影)

上は変動崖を前面から、下は背面から見た写真。赤破線：地震断層線。

食い違い地表面現象もあり得る。図4-Cはこのケースの一つ、逆断層運動が関与した場合の解説図である。調査地域で見出した①~④は、上記のように断層線を右斜交する線状物で、図4-Cのdに、また、直交もしくは少し左斜交する③や④は同cあるいはずれのごく規模の小さいbにあたるように思われる。

図2地区以外での地震断層による道路の変位事例を2つ、写真4、5として示す。いずれでも路面が上下に断たれ、道路を横切る段差が生じたが、写真4では道路がさらに左横ずれしているのに対し、写真5地点では、その種の痕跡は認められないことに注目したい。北東走向の地震断層線は前者では道路を斜交、後者では直交しているので、これらも図2地区のものと同様、成因的には図4-Cのc、dにあたると思われる。両者の中間、松川大橋に向かう広域農道（白馬村道1124号線）も、大出の北方、北東に向かって大きくカーブし始める地点で断たれ、東側が高まるとともに左横ずれしている。図4-Cのdに相当するさらなる事例と見なせる。

以上のように、本稿では、今回出現した地震断層でもっとも大きな変位を示した区間を取り扱っているが、ここでは、断層変位そのものに横ずれ成分が伴われたことを示す積極的な証拠は見つからない。



写真3 地震断層線を横切る畦道① (2014.11.24.撮影)

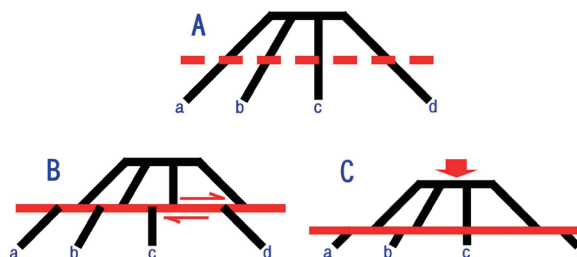


図4 真の横ずれと見かけの横ずれ解説図

Aのような道路網を横切って活断層（赤破線）があるとし、Bはこの活断層が横（右）ずれ断層でそれが活動したとき生ずるであろう諸道路の変位状況。a~dは切断されて一様に右横ずれすることになる。Cは断層が逆断層型で上盤が前進した結果生ずる諸道路配置を表す。上盤は前進したことにより前方にあった下盤側地面と直接することになり、断層線に斜交するものは断たれ、その走向とは異なる方向に動かされることで、下盤側との平面的連続性を失い、断層を境とした横ずれ状食い違い配列構造が形成される。この場合は、斜交物の向きと斜交角の違いが見かけの横ずれ方向と量を左右するので、断層ごとのそれらに関する一様性は成立しない。

3) 水平圧縮軸の方向と水平短縮量

図5は、小川左岸の水田南東端部（図2のm）に形成された変動地形の性状を把握するために、トータルステーション測量を行い、その結果に基づいて作成した等高線図である。Aの水田面の続きであったBは、撓曲崖状の北西向き変動崖を作りつつ少なくとも90cm高まったことがこの図から分かる（図3）。ところで、この三角形をなすBの北東縁と南縁は、水田本体Aの北東・南縁線のそれぞれ続きであるので、地震前にはそれらの延長上に位置していたはずである。この条件を満たす位置にBを移動させる（Bの北東縁線はAのそのほぼ延長線上にあるので、Bをこれに沿って、その南縁線がAの南縁延長線に接する位置まで南東に移動させる）ことで、Bが地震前にあった位置を復元することができる。図5には、この操作の結果、Bの移動ゾーンをCとして書き加



写真4 松川左岸堤道を斜めに横切って生じた変動崖（路面修復済み）（2014.11.24.撮影）

えられており、Bを $S40^{\circ}E$ の方向に約50cm移動させれば、以上の条件を満足できることが示されている。

以上から、ここでの断層運動による地表の水平短縮に関し、その方向と量をそれぞれ $N40^{\circ}W$ 、約50cmと推定することができる。この付近における最大上下変位量を上記の通り約95cm、水平短縮量が約50cmであるなら、断層面はSEに向け約 62.2° と高角で傾き下がり、その面上で生じた逆断層運動のnet slipは1mを超えていた（計算上で約107cm）ことになる。水平短縮の方向は、断層線の直交方向に近いが、断層線の走向を $N30^{\circ}E$ と見立てるなら、 20° ほど北に振れていることになる。このことから、本変位には左横ずれ成分（その量は計算上36.6cm程度）も伴われたことが考えられる。地表横ずれ現象について触れた上記Ⅲ-2)で、この種の地変が生じた事実は確認できるが、変位基準と断層線と交わり方の違いにより、ずれの量ばかりか、ずれの向きまで変化しているので、そのほとんどが縦ずれ変位に支配された見かけの現象と思われるとした。しかし、実際は、この本質的な左横ずれ約36.6cmに、㉔～㉔では断層線に右斜交するがゆえ逆断層運動による見かけの食い違いが加わってその量が50～60cmに、一方、直交もしくは少し左斜交する㉔や㉔では見かけの食い違いが逆方向に進行してその量が大きく割り引かれた可能性が高い。

Ⅳ 新たに生じた変動崖の形態が意味すること

図3で明らかのように、本調査地に出現した変動崖は、どこでも凸面形をなして傾き下がる断面形を



写真5 大出地区で国道406号線を横断して生じた変動崖（2014.11.24.撮影）

有しており、その形態は、逆断層変位でしばしば生じ、それを特徴付ける変動崖地形として知られる撓曲崖のそれによく似る（写真1～3）。ところでその崖面部に注目すると、ここに大小多数の亀裂が生じていることに気づく（写真6）。亀裂の分布域はどこでもほぼ崖面全体に及んでおり、また、これら亀裂群については方向性も認められ、概ね変動崖線に平行的なもので構成されている。さらに開口しているものも多く、その中でひときわ長く、大きく開口するものがあり、この種の亀裂はほぼ決まって崖の頂部付近に発達する。このような諸事実は、崖面が引き延ばしを受けつつ形成されたことを示しており、一般的な撓曲崖地形が逆断層運動による上盤先端部の圧縮変形の結果を反映したものとするなら、それとは成因・形成過程を異にしたものであることを示唆していて注目に値しよう。

以上のような特異な撓曲斜面状の崖面の形成は、逆断層の断層面をより高角と想定することで説明し得る。高角度の逆断層運動では、結果として上盤先端部は空中に突き出ることとなるので、この部分は自ずと自由落下を余儀なくされよう。実際は、前倒し成分が加わっての落下となるので、表面は引き延ばされ、開口亀裂発生場となり、上盤先端塊は根本で折れて上盤本体から切り離され、前方下に向かってずり落ちることも容易に想定される。前方に厚さを急に減ずる上盤先端塊が前倒しされて下盤表面に着地するとすれば、その表面は前方に向けて凸状をなすこととなる。このような過程を経て上盤先端塊はその組織が破壊されて変形が容易となり、表層部では流動性崩壊もより生じやすくなるものと考えら

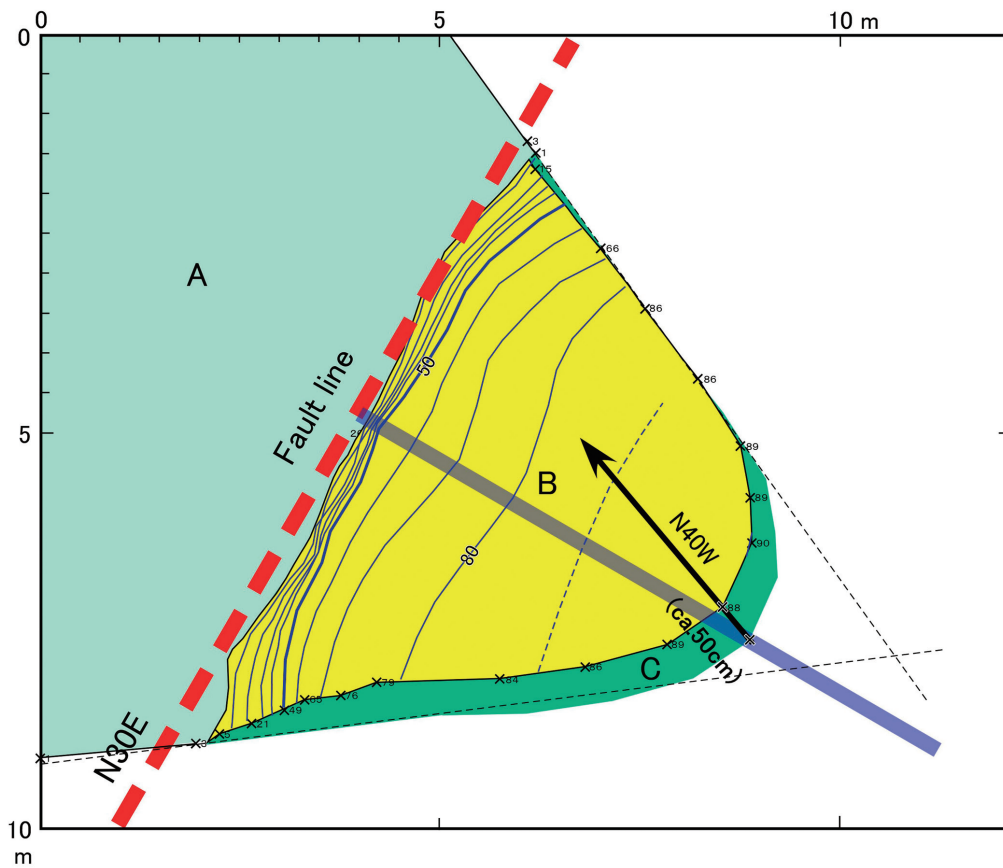


図5 小川左岸の水田南東端部に形成された変位地形

トータルステーションを用いた測量結果を用いて作成した詳細等高線図。赤破線：この付近における地震断層線の大局的な位置と方向。A：水田主部。B：変位した上盤側になった水田部。C：地震前Bの一部あった部分。黒矢印：地震変位によるBの水平移動方向。薄紫線：地震断層線に対する直交線。

れる。

Ⅲ-2) で扱った㉔や㉕では、薄く削ぎ取られた上盤先端が破壊されることなくそのまま下盤に覆い被さっている(写真3)。写真1下を見ても前倒した上盤の先端は下盤を一方的に覆うばかりで、下盤面に沿う巻き込みで生じた変形や破壊の跡などは全く認められない。さらに変動崖の頂部からその背部にかけての部位で膨らみ変形の結果を思わせるような高まりが発達することもない(図3)。これらの諸事実も、崖面が圧縮性のものでないことを示す証拠と見なせよう。

写真7は、村道0204号線沿いの小川の左岸の変動崖の地質構造断面を捉えたものである。変動崖形成に関わった断層は、Ⅲ-3)や上記の推定どおり、地表付近でも間違いなく高角度であることが分かる。

そして、上盤先端塊のAが崩落し、引き延ばされてBとなり、変動崖面を直接構成することとなったことも容易に理解できる。

V まとめ

2014年11月22日に発生した長野県北部の地震で北北東-南南西方向で長さ9km余の顕著な地表地震断層が生じた。それによる地表の食い違いがもっとも大きかった白馬村森上地区東端部(城山南麓地区)に注目して、ここでの地表変位の実態を精査し、得られた諸資料をもって関与した断層運動の本質について検討を加えた。その結果、以下の諸側面が明らかとなった。



写真6 変動崖の崖面に発達する亀裂群

UAVによる空撮写真(2014.11.29.撮影)。左は畦道③～④地区、右は④～⑤地区(図2)。赤破線:地震断層線。
①②④⑤:図3の地形断面測線位置。

⑦地表変位をもたらした断層は、地表付近でなお60°余と高角の断層面を有し、その上を約20°斜め上に向けて滑り上がった逆断層と見なせる。

④その変位量は1m余に達し、それにより地表では、東側隆起最大約95cmの上下変位、約50cmの地表水平短縮が生じた。

⑤これには36cm余の左横ずれ変位が伴われたと思

われるが、地表では、逆断層変位による見かけの横ずれ現象が重なってその識別は難しい。

以上のような本調査研究で導かれた震源断層像は、気象庁が明らかにしたこの地震の震央・震源の深さデータとも調和的である。すなわち、本地震の震央は、地表に生じた地震断層線から僅か2km程しか離れて



写真 7 白馬村道 0206 号線北側の小川左岸壁の地質構造（2015.6.22. 撮影）

黄色線：現地表面（破線部は埋没した地震前地表面）。橙色破線：地震前の河床面。中央の崖が今回の地震で生じた変動崖。F：断層面（破線部は崩落して消失したと見られる部分）。

いない地点に推定されており、このことは震源断層面が極めて高角であることを意味している。2014 年 11 月長野県北部地震では、極めて高角の震源断層面がほとんど底角化することなくそのまま地表に達したと思われる。

文 献

- 岡田真介・石村大輔・丹羽雄一・遠田晋次（2014）：長野県北部の地震にともなう地表地震断層，東北大学災害科学国際研究所 2014 年 12 月 9 日付報告。活断層研究会，1980，『日本の活断層－分布図と資料－』（共），東京大学出版会，363p.
- 活断層研究会，1991，『新編日本の活断層－分布図と資料－』（共），東京大学出版会，437p.
- 澤 祥・東郷正美・今泉俊文・池田安隆・松多信尚（1999）：1:25,000 都市圏活断層図「白馬岳」，国土地理院技術資料 D・1-No.368.
- 澤 祥・松多信尚・渡辺満久・鈴木康弘・中田 高（2015）：2014 年長野県北部の地震（神城断層地震）による地表地震断層の位置と既存の活断層との関係，日本地理学会 2015 年度春季学術大会 P022 発表ポスターおよび要旨。
- 政府地震調査研究推進本部地震調査委員会（2014）：201 年 11 月 22 日長野県北部の地震の評価，平成 26 年 12 月 9 日付評価文および付属資料。
- 東郷正美・池田安隆・今泉俊文・佐藤比呂志（1996）：神城断層両端部の断層変位地形，活断層研究，15，9-16.
- 東郷正美・池田安隆・今泉俊文・澤 祥・松田信尚（1999）：1:25,000 都市圏活断層図「大町」，国土地理院技術資料 D・1-No.368.
- 丹羽雄一・岡田真介・石村大輔・遠田晋次（2015）：2014 年長野県北部の地震によって出現した地表地震断層の分布とその特徴，日本地理学会 2015 年度春季学術大会 P020 発表ポスターおよび要旨。
- 廣内大助・杉戸信彦・金田平太郎・後藤秀昭・松多信尚・鈴木康弘（2015）：2014 年長野県北部の地震（神

城断層地震）に伴う地表地震断層，日本地理学会 2015 年度春季学術大会 P021 発表ポスターおよび要旨.

廣内大助・杉戸信彦・清水龍来（2014）：2014 年 11 月 22 日長野県神城断層地震における地表変位について（速報），2014 年 11 月 24 日付報告.