

# 長野県神城断層地震による堀之内地区の斜面変状

土井 一生<sup>1</sup>・川崎 一朗<sup>2</sup>・釜井 俊孝<sup>1</sup>

## Slope deformation due to the Nagano-ken Kamishiro Fault earthquake in Horinouchi district, Nagano Prefecture, central Japan

Issei DOI<sup>1</sup>, Ichiro KAWASAKI<sup>2</sup> and Toshitaka KAMAI<sup>1</sup>

### Abstract

We conducted a field investigation on the slope behind the Horinouchi district, Nagano Prefecture, central Japan, which experienced serious, localized damages due to the Nagano-ken Kamishiro Fault earthquake on Nov. 22, 2014. Linear step-like and opening cracks were found almost parallel to the contour lines in the slope as well as in the residential area in the Horinouchi district. Also, ground motion at least as large as that in the residential area was found to hit the slope from the evidence that a short log leaped. It is suggested that there occurred a landslide motion accompanied with the mainshock in the Horinouchi district including the slope behind. It may be important to take this fact into account when considering the generating mechanism of strong shaking in this district as well as the amplification due to soft soils.

キーワード：長野県神城断層地震，地すべり，亀裂，強震動

Key words: Nagano-ken Kamishiro Fault earthquake, landslide, crack, strong motion

### 1. はじめに

長野県神城断層地震は、2014年11月22日22時8分17.9秒に長野県北部地方を震源として発生した。気象庁一元化震源データによると、震央は北

緯36.693度，東経137.891度，震源の深さは浅く4.6 km，気象庁マグニチュード ( $M_j$ ) は6.7 (モーメントマグニチュードは6.2<sup>1)</sup>) である。また，初動解は西北西－東南東方向に圧縮軸を持つ型<sup>2)</sup>であっ

<sup>1</sup> 京都大学防災研究所  
Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

<sup>2</sup> 東濃地震科学研究所  
Tono Research Institute of Earthquake Science

本速報に対する討論は平成27年11月末日まで受け付ける。

た一方、防災科学技術研究所のF-NET（広帯域地震観測網）によるメカニズム解<sup>3)</sup>や米国地質調査所によるモーメントテンソル解<sup>1)</sup>は北西-南東方向に圧縮軸を持つ逆断層となっている。

断層変位に伴うと考えられる地表変状は、塩島<sup>4-6)</sup>、大出<sup>4,5)</sup>、飯森<sup>4)</sup>、堀之内<sup>4,5)</sup>などの各地区において、ほぼ北北東-南南西方向に並ぶように確認されている（図1黒丸）。このうち塩島地区で確認された変位は上下方向におよそ80 cmである<sup>4)</sup>。このような地表断層の分布や余震分布<sup>2)</sup>から、震源断層の長さは10 km程度<sup>4)</sup>とされ、糸魚川-静岡構造線を構成する神城断層の一部とその北方延長が動いたと考えられている<sup>7)</sup>。神城断層は糸魚川-静岡構造線の北部を構成し、地震の平均発生間隔は約1,100-2,400年、直近の活動は約500-1,500年前であるとされていた<sup>8)</sup>。また、この地域を震源とする地震として、小谷村・堀ノ内村などで100人の死者を出した1714年の信濃小谷地震（マグニチュード6-1/4）が挙げられる<sup>9)</sup>。

長野県神城断層地震による最大震度は6弱であ

り、防災科学技術研究所強震観測網K-NET白馬観測点（図1白菱形）において最大加速度589 gal、最大速度およそ60 cm/sを記録した。長野県<sup>10)</sup>によると、死者は0人であったが、重傷者は10人、軽傷者は36人に上った。また、建物の被害は、全壊が50棟、半壊が92棟、一部損壊が1,400棟、非住家損壊が141棟となっている。土砂災害は25件発生したとされ、表層崩壊による土砂が線路を覆ったためJR大糸線が不通になったほか、中土地すべりにおいて大規模な地すべりが発生した。中谷東地すべりでは民家が1軒全壊し、集落に通じる道路が寸断された<sup>11-12)</sup>。

被害分布の特徴として、甚大な被害を受けた領域が非常に局地的であったことが挙げられる。例えば、全壊住家50棟中37棟が白馬村（うち、主に断層の上盤側に位置する同村堀之内地区で28棟<sup>13)</sup>）に集中した。また、堀之内地区集落内の集合墓地（図2白三角）における墓石の転倒率が100%であったのに対し、わずか約1 km離れたJR神城駅周辺の墓地（図1白三角）における転倒

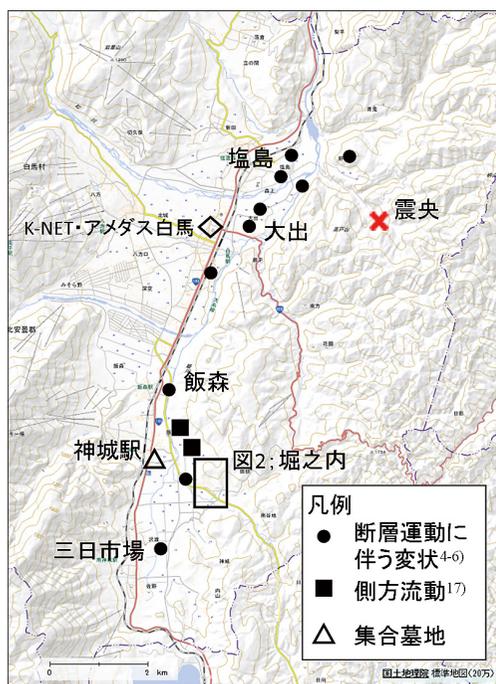


図1 長野県神城断層地震震源域周辺の地図

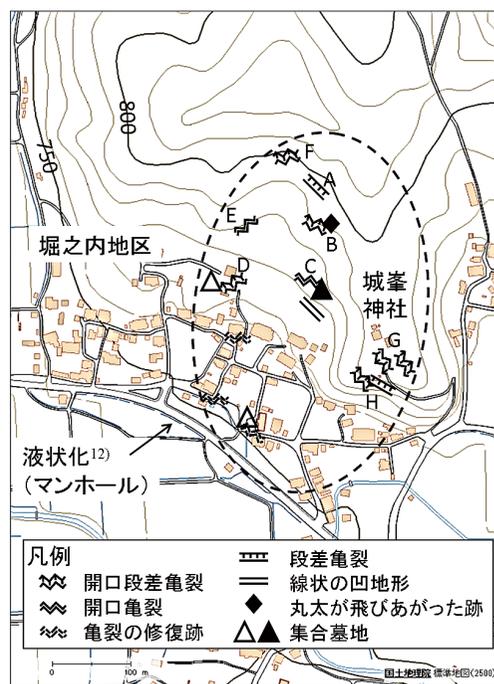


図2 調査地域と調査結果

率は13%であった<sup>14)</sup>。堀之内地区は標高770 mよりも低い領域で神城湖成堆積物のたまった段丘面にあたるとされ<sup>15-17)</sup>、甚大な被害は同地区の泥炭層が持つ軟弱な地盤特性と関係があるとの指摘がなされている<sup>14)</sup>。実際、堀之内地区でおこなわれた余震観測によれば、K-NET白馬よりも堀之内地区のほうが、揺れの振幅が大きくなる余震が見られる可能性が指摘されている<sup>5)</sup>。

一方、堀之内地区では、先述した地表断層による変状のほか、多数の伸張性の変状が認められた。堀之内地区西側の田んぼの中には、地盤の押し出しによるとみられる円弧上の側方流動の跡が認められた<sup>17)</sup>。墓石の転倒率が100%であった集合墓地の下部<sup>5)</sup>や集落の裏手<sup>18)</sup>においても亀裂が確認された。堀之内地区の地盤が本震時に地すべり性の運動を起こした可能性が示唆されるが、これらの変状が段丘堆積物上でのみで見られるのか、(地すべりマップ<sup>19)</sup>では地すべりブロックには指定されていないもの)背後斜面における地すべり性の運動に起因するのか(または、段丘堆積物と背後斜面が一体となった現象であるか)わかっていない。このことは、長野県神城断層地震時の地すべりの発生状況を知るだけでなく、堀之内地区における局所的な強い揺れの生成メカニズムを解明するうえでも重要である。

そこで、本研究では、自然災害研究協議会の初動調査として、堀之内地区の背後斜面において地形観察や本震に伴う斜面変状の踏査をおこない、堀之内地区における地すべり性の運動の発生形態について明らかにする。

## 2. 踏査概要

踏査は本格的な積雪シーズンを前に、本震発生から8日後の2014年11月30日に堀之内地区西側の背後斜面を中心におこなった(図2 破線楕円領域)。被害と地すべり性の運動に着目するため、ルート上に見られた建築物や墓石の被害、地面に見られた変状の大きさや走向、特徴的な地すべり地形とその走向を記録した。アメダス白馬観測点(堀之内地区からほぼ北方向に約4 km)において、本震発生後の11月25日、26日、29日にそれぞ

れ15.5 mm、11.0 mm、34.5 mmの降雨が記録されているが、踏査当日、地面はおおよそ乾いた状態であり、地震時に生じたと考えられる変状を確認することができた。また、余震活動は低調で、白馬村では調査日までに、本震発生約30分後に発生した最大余震( $M_j$  4.5)などによって震度3を3回記録したほかは、震度2以下のみである。そのため、本調査によって認められた変状は大部分が本震に伴うものと解釈できる。調査結果を図2に、認められた亀裂の詳細な特徴について表1に示す。

## 3. 踏査結果

### 3.1 堀之内地区およびその背後斜面

#### (1) 背後斜面における変状

城峯神社が位置する尾根の西側の崖と堀之内地区背後斜面のほぼ中央に見られる小規模な尾根地形の間にある斜面中央部、標高770-800 mの点A~C(図2)において、走向が南東-北西、または、東南東-西北西の多数の新しい開口・段差亀裂が認められた。

A点における段差亀裂は、比高がおおよそ10 cmで長さ3 m以上の連続性があった(写真1)。B点で認められた開口亀裂(写真2)は開口幅が5 cm程度、長さは2 m以上に及び、その近傍に丸たが跳び上がった可能性が示唆される痕跡(3.1.(3)項参照)が見られた。斜面下方に位置するC点においては、整地された墓地脇の地盤に開口幅5 cm程度、長さ1 m程度の開口亀裂が認められた(写真3)。

踏査領域西側において、集落の敷地内の斜面(標高765 m)に新しい開口段差亀裂が発生していた(図2のD点、写真4)。この亀裂の幅は5 cm程度、段差は8 cm程度、長さは2 m程度、走向はおおよそ $N60^\circ E$ であった。また、小規模な尾根地形の側方に沿って、標高770-780 m付近に深さ10-50 cm程度の亀裂の中を水が流れている沢が見られた(図2のE点、写真5)。沢の幅は10-50 cmであり、10 m以上の連続性があった。亀裂が地震時にどの程度拡大したか、地震前から水が流れていたかはわからなかった。

山頂に近い遷緩線付近(図2のF点、標高800 m)においても、新鮮な開口段差亀裂が平行して複数存在した。写真6にその一例を示す。開口幅、段差ともに10 cm程度、長さは2 m程度であり、走向はN80°Eであった。

認められた開口亀裂・段差亀裂はおおよそ等高線に沿う方向に分布していることがわかった。

## (2) 集落内の道路の変状

踏査当日においては集落内に現れた亀裂のほとんどが修復されていたものの、その修復跡から走向を測定することは可能であった。主な修復跡の位置と走向を図2に示す。確認できた3つの修復

跡すべての走向は、等高線とほぼ沿う方向である東-西方向から南東-北西方向であった。なお、堀之内地区の集落から数百 m 西では短縮量が30 cm程度の地表断層が確認されており<sup>4)</sup>、その走向はおおよそ南北である。

## (3) 強い震動が背後斜面を襲った痕跡

図2のB点では短い丸太が跳び上がった可能性を示す痕跡が見つかった(写真7)。破線四角Bにある丸太とほぼ同じ形状をした窪みが破線四角Aに見られる。丸太と窪みの大きさを現地でも測定したところ、長さ・幅ともにその差が1 cm以内に収まった。また、跳び上がった丸太には、

表1 斜面内部の亀裂の特徴

地点	亀裂の種類	走向(°)	長さ(m)	開口幅(cm)	比高(cm)	特記事項
A	段差亀裂	S45E	> 3	—	10	
B	開口段差亀裂	S65E	2-3	5	5	
C	開口亀裂	S75E / N75W	1	5	—	
D	開口段差亀裂	N60E	2	5	8	
E	開口亀裂	N55E	>10	10-50	—	沢の可能性あり 地震時の変位量不明
F	開口段差亀裂	N80E	2	5	5	複数平行して存在
G	段差亀裂	N30W / S30E	>10	—	10-20	複数平行して存在 ブルーシートに覆われる
H	開口段差亀裂	S50E	3-15	10-20	10-15	複数平行して存在
	段差亀裂	S70E	> 5	—	10	



写真1 地点Aにおける段差亀裂



写真2 地点Bにおける開口段差亀裂



写真3 地点Cにおける開口亀裂



写真4 地点Dにおける開口段差亀裂



写真5 地点Eにおける沢



写真6 地点Fにおける開口段差亀裂



写真7 跳び上がった可能性がある短い丸太とその痕跡。破線白矢印は傾斜方向を示す。



写真8 城峯神社の被災状況と境内の亀裂

北側の側面に土が、南側の側面にコケが付着しており、丸太の向きが元あった状態から回転したことを示唆した。よく似た現象として1984年長野県西部地震後に報告された跳び石現象<sup>20)</sup>が挙げられ、この丸太が地震時の地面に対する上下方向の大きな相対加速度によって跳び上がり移動したことが推察される。なお、その痕跡から測定した丸太の水平移動量はほぼ東方向に約80 cmであった。

また、背後斜面内における集合墓地(図2のC点)において墓石の転倒の様子を観察した。台座から転倒しているものも含め、総数およそ20の墓石の転倒率は95%以上であった。転倒方向は、全ての墓石でおおむね一致し、南～南南西向きであった。丸太の移動方向とは向きが大きく異なることから、斜面内において複雑な震動が発生していたことが示唆される。

### 3.2 城峯神社境内および周辺地域

#### (1) 本殿の被災と境内における亀裂分布

写真8は城峯神社の本殿と境内の亀裂の様子である(図2のG点)。本殿は大きく柱が傾き、別棟は全壊であった。境内には長さ10 m以上に及ぶ亀裂が何本もおおよそN30°W-S30°E方向に平行に認められた。ブルーシートの上からではあるが、これらの亀裂による比高を測定したところ、東側が10 cm程度高くなっている亀裂や、西側が20 cm程度高くなっている亀裂があり、その傾向は一定ではなかった。

#### (2) 境内南側斜面における変状

境内の南側は比高40 m程度の急崖になっており、その平均傾斜は45°である。この斜面上(図2のH点)において、複数の平行する開口段差亀裂が認められた(例えば、写真9)。最も長い亀裂は長さ15 m以上にも及び、開口幅は10-20 cm、比高は5-15 cmであった。走向はおおよそS50°Eであり、亀裂の南側が低くなっていた。

## 4. 考察

3.1節で述べた標高770-800 mにおける堀之内



写真9 城峯神社南側の急崖における開口段差亀裂

地区の背後斜面の変状は、いずれも等高線にはほぼ沿う方向に見られ、かつ、伸張性の特徴を示した。図2のA点の北東側、標高790-810 mにおいては、滑落崖に似た急崖が見られた。また、図2のC点の南側においては、等高線と平行な北西-南東方向に線状の凹地形が観察され(図2二重線)、その西側延長線上のD点近傍には小さな池が見られた。これらのことから、堀之内地区の背後斜面は、少なくとも、標高差30-40 m程度、長さ150 m程度、幅100 m程度の領域で、地すべり地形の特徴を呈し、本震時に数十 cm 以内の表層すべりを起こしていることがわかった。

標高750-770 mの神城湖成段丘堆積物に相当する集落内においても同様の特徴を持つ変状が観察された。さらに、新潟大学の調査<sup>18)</sup>において、集落すぐ背後に開口亀裂が認められ、集落内に湧水が確認されている。これらのことから、背後斜面から集落に至るまでの地下水水位は地表近くにあり、地すべり性の運動は背後斜面から集落内まで連続していることが示唆される。

集落内においては跳び石が認められ、集落内における墓石の転倒率は100%であった<sup>14)</sup>。3.1(3)項で述べた背後斜面における丸太と墓石の観察結果と比較すると、背後斜面は少なくとも集落内と同程度の地震動を経験していたと考えられる。背後斜面と段丘堆積物との連続した地すべり性の運動、地下水水位の高さ、集落内における液状化の痕跡<sup>12)</sup>を考え合わせると、背後斜面の増幅特性とと

もに、地震動と地下水との相互作用によって地盤の一部が塑性化し、より強い震動が生じた可能性の有無を今後検討する必要がある。

一方、城峯神社境内およびその南側の急崖部は尾根部に位置し、地下水が集まりにくいと予想されることから、この領域で見られた変状と地すべり現象の関連性は低いと考えられる。しかしながら、被害状況から集落と同程度の強い震動に見舞われたと考えられ、急崖部の安定性はかなり低下している恐れがある。

本踏査結果から地盤が非常にゆるんでおり、開口亀裂から雨水などが地下に入りやすい状態であることがわかった。今後の余震・降雨・融雪により大きな表層崩壊・崖崩れを起こす可能性とともに、それに伴う土石流の発生が危惧される。背後斜面、および、城峯神社南側の急崖部のすぐ下には住家が位置しており対策が急務である。

## 5. まとめ

2014年11月22日に発生した長野県神城断層地震によって甚大な被害が生じた堀之内地区の背後斜面において地震時の変状を踏査した。その結果、多数の開口亀裂や段差亀裂が認められ、地すべり性の運動が地震時に発生していたことが窺えた。今後このような地すべり運動と堀之内地区に生じた局地的な強い揺れ、被害の原因との関連を明らかにする必要がある。このことは、他の地すべり発生地域における地震時の揺れの予測をおこなう上でも重要な知見を与えると考えられる。

## 謝辞

調査に当たって、京都大学防災研究所の後藤浩之助教、富山県立大学の古谷元講師、島俊郎准教授、新潟大学災害・復興研究所の渡部直喜准教授に情報、協力、助言をいただいた。一名の匿名査読者には原稿を改良するにあたって貴重なご意見をいただいた。防災科学技術研究所強震観測網K-NETの加速度波形データ、気象庁のアメダス観測点の気象観測データ、国土地理院による地図データを参照した。また、自然災害研究協議会のサポートをいただいた。ここに記して感謝いたし

ます。最後に、被災された皆様にお悔やみ申し上げます。一日も早い復興をお祈りいたします。

## 参考文献

- 1) USGS, <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/usb000syza#scientific>, 2014年12月18日.
- 2) 気象庁：2014年11月22日長野県北部の地震の評価，平成26年12月9日第271回地震調査委員会資料，2014.
- 3) 防災科学技術研究所，2014年11月22日長野県北部の地震，<http://www.hinet.bosai.go.jp/topics/n-nagano141122/>，2014年12月18日.
- 4) 岡田真介・石村大輔・丹羽雄一・遠田晋次，長野県北部の地震にともなう地表地震断層，[http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/topics/20141209\\_report\\_nagano.pdf](http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/topics/20141209_report_nagano.pdf)，2014年12月18日.
- 5) 後藤浩之，2014年11月22日に発生した長野県北西部の地震について，<http://www.catfish.dpri.kyoto-u.ac.jp/~goto/eq/20141122/report.html>，2014年12月18日.
- 6) 勝部亜矢・近藤久雄・加瀬祐子・谷口 薫，2014年11月22日長野県北部の地震「第三報地表地震断層緊急調査報告(2)」，<https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/naganokenhokubu2014/naganokenhokubu20141209.html>，2014年12月18日.
- 7) 地震調査研究推進本部，2014年11月22日長野県北部の地震の評価，[http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14nov\\_nagano/index.htm](http://www.jishin.go.jp/main/chousa/14nov_nagano/index.htm)，2014年12月18日.
- 8) 奥村晃史・井村隆介・今泉俊文・東郷正美・澤祥・水野清秀・刈谷愛彦・斎藤英二：糸魚川－静岡構造線活断層系北部の最近の断層活動－神城断層・松本盆地東縁断層トレンチ発掘調査－，地震第2輯，50，別冊，35-51，1998.
- 9) 宇佐美龍夫：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，434p，1987.
- 10) 長野県災害対策本部室，長野県神城断層地震による県内の被害状況等，<http://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/kurashi/shobo/saigai/documents/kamishiro12120900.pdf>，2014年12月12日.
- 11) 地盤工学会・土木学会地盤工学委員会 平成

- 26年11月長野県北部を震源とする地震合同調査団，長野県神城断層地震災害調査速報，[https://www.jiban.or.jp/images/20141126\\_naganokenjisinsaiagai\\_chosahokoku\\_20141130.pdf](https://www.jiban.or.jp/images/20141126_naganokenjisinsaiagai_chosahokoku_20141130.pdf)，2014年12月18日。
- 12) 古谷 元・畠 俊郎・渡部直喜・後藤 聡・土井一生・川崎一朗：2014年11月22日の長野県北部を震源とする地震で発生した斜面災害の概要，日本地すべり学会誌，52，1，40-44，2015。
- 13) 白馬村，長野県北部を震源とする地震について，[http://www.vill.hakuba.lg.jp/quake\\_nagano\\_north/damage/damage.html](http://www.vill.hakuba.lg.jp/quake_nagano_north/damage/damage.html)，2014年12月19日
- 14) 国土技術政策総合研究所・建築研究所，平成26年11月22日に発生した長野県北部を震源とする地震により被災した白馬村神城地区の建築物の周辺地盤と基礎の状況調査報告，<http://www.kenken.go.jp/pdf/2014120502.pdf>，2014年12月18日
- 15) 加藤碩一・佐藤岱生・三村弘二・滝沢文教，大町地域の地質：地域地質研究報告（5万分の1地質図幅），地質調査所，111p，1988。
- 16) 東郷正美・池田安隆・今泉俊文・澤 祥・松多信尚，1:25,000 都市圏活断層図「大町」，都市圏活断層図 1:25,000，国土地理院技術資料 D.1-No.368，1999。
- 17) 小松原琢・八木浩司・宮地良典・水野清秀，2014年11月22日長野県北部の地震（M=6.7）による小谷村中谷地区および白馬村堀之内地区の地すべりと側方流動，日本地すべり学会誌，52，1，36-39，2015。
- 18) 新潟大学災害・復興科学研究所，2014年11月22日に発生した長野県白馬村を震源とする地震災害，<http://www.nhdr.niigata-u.ac.jp/survey/3282/>，2014年12月18日
- 19) 清水文健・井口 隆・大八木規夫：5万分の1地すべり地形分布図第11集「富山・高山」，防災科学技術研究所資料，200，2000。
- 20) Umeda, Y., A. Kuroiso, K. Ito and I. Muramatsu: High Accelerations Produced by the Western Nagano Prefecture, Japan, Earthquake of 1984, Tectonophysics, 141, 335-343, 1987。

(投稿受理：平成27年1月5日  
訂正稿受理：平成27年2月25日)

## 要 旨

2014年11月22日の長野県神城断層地震で大きな被害を受けた堀之内地区の背後斜面において斜面変状の踏査をおこなった。その結果，堀之内地区の集落内だけでなく背後斜面内部においても等高線に平行な段差亀裂や開口亀裂が見つかった。また，短い丸太が飛び上がった痕跡が認められ，少なくとも集落内と同程度の強い震動が斜面内部を襲ったことが窺えた。背後斜面を含む堀之内地区において本震時に地すべり性の運動が発生したことが示唆される。この地区の強い揺れの発生メカニズムを考慮する際に，地盤増幅だけでなく地すべり性の運動も考慮することが重要であろう。