

2014年長野県北部の地震とその被害調査

Field Reconnaissance of Earthquake Disaster during 2014 Northern Nagano Earthquake

後藤浩之・土井一生

Hiroyuki GOTO and Issei DOI

Synopsis

On November 22, 2014, earthquake ($M_{JMA}6.7$) occurred in the northern part of Nagano prefecture, Japan. Although available records of ground motion indicate that the largest seismic intensities of JMA scale was 6-, more significant structure damages were concentrated in a localized area. We performed field reconnaissance and aftershock observations in order to investigate reason of the localization. In Horinouchi area where was one of the damaged areas, a site amplification of ground motions is larger than the other sites on the basis of the aftershock records. Also, some evidences of a landslide motion behind the Horinouch area was observed.

キーワード: 2014年長野県北部の地震, 地震被害調査, 地震動, 斜面変状

Keywords: 2014 Northern Nagano Earthquake, Field reconnaissance of earthquake disaster, Ground motion, Landslide

1. はじめに

2014年11月22日22時8分に長野県北西部で $M_{JMA}6.7$ の地震が発生した。この地震では長野県下で最大震度6弱の地震動が観測され、震央に近い白馬村の一部集落において局所的に甚大な建物被害が発生した。本地震は気象庁によって正式に命名されていないため、「2014年長野県北部の地震」(日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団, 2015), 「長野県神城断層地震」(長野県, 2015)等の呼称が使われている。いずれも, 2011年3月12日に長野県北東部で発生した地震($M_{JMA}6.7$, 最大震度6強)と区別できるよう配慮されたものである。

本地震は震源深さ5kmと比較的浅く, 逆断層成分と横ずれ成分を含む初動発震機構解が求められている(気象庁, 2014)。ただし, CMT解(気象庁, 2014; 防災科学技術研究所, 2014)は初動発震機構解と異なるメカニズムをもち, かつ非ダブルカップル成分を含むことから, 単純な平面1枚断層の運動による地震ではなく, 複雑な断層運動であったと考えられている。余震は北北東-南南西にかけて震央が分布し

(気象庁, 2014), 余震の震源深さの分布から東落ちの断層とされている(Fig.1)。

SAR干渉画像(国土地理院, 2015)によると, 震央の南側, 余震域の西側上端部において地表変位の不連続が観察されている。これが糸魚川-静岡構造線断層系の一部である神城断層にほぼ一致することから, 神城断層に沿った地表断層の出現が考えられていた。現地踏査により確認された地表断層長は約9km, 最大上下変位は90cm(Photo 1)と報告されている(日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団, 2015, 等)。

本地震で観測された最大震度は, 長野市戸隠, 鬼無里, 小谷村中小谷, 小川村高府の震度6弱であった。一方, 震源に近い白馬村北城(K-NET白馬)では震度5強であった(Fig.1)。しかし, K-NET白馬から直線距離で約5kmにある堀之内地区などで顕著な建物被害が報道されていたことから, 単純に最寄りの震度値のみから地震被害の実態を理解することができないと考えられた。このため, 被害の実態を調査すること, および局所的に被害が発生した理由を探るため, 現地調査を実施することとした。

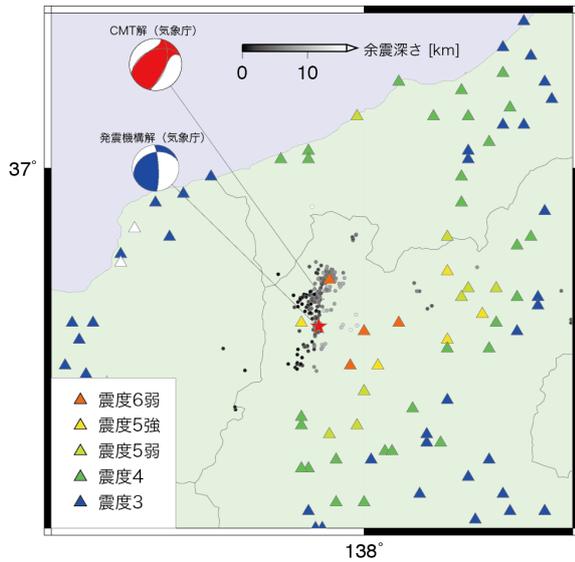


Fig.1 Hypocenter and aftershock distribution during the 2014 Northern Nagano earthquake. Triangles are JMA seismic intensity distribution.



Photo 1 Surface faulting (up-lift about 90cm) at Shiroyama area.

2. 地震動による被害

2.1 本震記録

最大速度値で最も顕著な地震動は防災科学技術研究所K-NET白馬 (NGN005) で観測されている。水平2成分合成値での最大加速度、および最大速度はそれぞれ 572cm/s^2 、 61cm/s である。Fig.2はK-NET白馬、K-NET信濃 (NGN002)、KiK-net戸隠 (NGNH28) の速度波形を比較したものである。いずれもS波到着直後にパルス状のフェーズ、特にK-NET白馬のEW成分に三角形のフェーズが認められる。パルスの時間幅は1秒よりも長いように見えるため、短周期成分のみが卓越した地震動と単純に結論付けることは

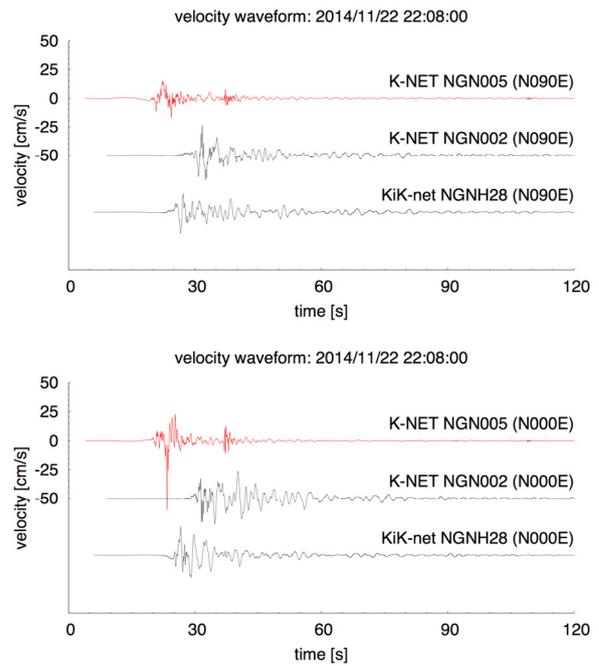


Fig.2 Velocity waveforms observed at K-NET NGN005, NGN002, and NGNH28.

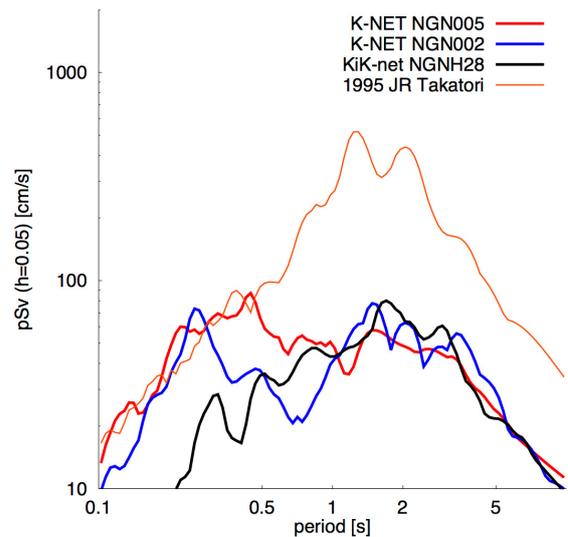


Fig.3 Pseudo velocity response spectra ($h=0.05$) observed at K-NET NGN005, NGN002, NGNH28, and JR Takatori during 1995 Kobe earthquake.

難しい。

Fig.3は擬似速度応答スペクトル (減衰定数5%) を示したものである。1995年兵庫県南部地震で記録されたJR鷹取波に比べてレベルはいずれも小さいが、0.5秒付近と1.5秒付近に2つのピークが見られることが特徴である。速度波形に見られたパルス状のフェーズは1.5秒付近のピークに相当する可能性もあり、表層地盤などにより局所的に地震動が増幅するのであれば、構造物に対して危険な地震動となっ



Photo 2 K-NET NGN005 station.

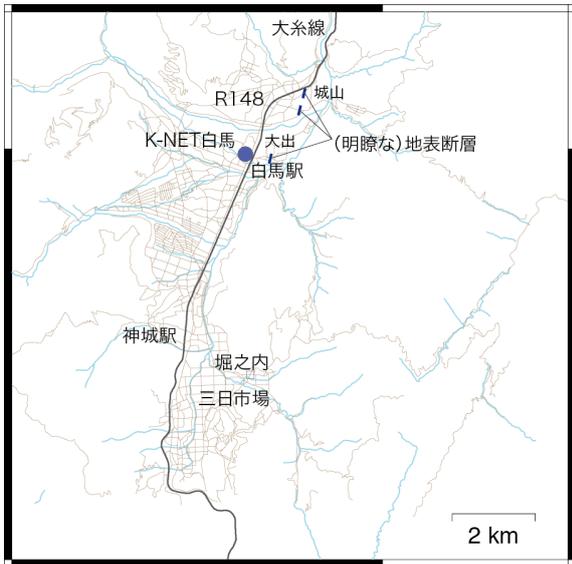


Fig.4 Location of K-NET NGN005 and damaged areas, Horinouchi and Mikka-Ichiba.

た可能性も考えられる。

2.2 被害調査

地震動による被害の実態調査は、地震発生2日後の11月24日に実施した。本稿の調査結果は地震発生直後のものであるため、より詳細かつ網羅的な調査は日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団（2015）による報告書が参考となる。

震度5強を観測したK-NET白馬は白馬村役場敷地内に設置されている（Photo 2）。白馬村役場周辺では目立った被害は確認できなかった。白馬村によると、白馬村全体の人的被害として重傷3名、軽傷20名、家屋被害（住家）として全壊家屋42棟、大規模半壊・半壊34棟が報告されている（白馬村、2015）。家屋被害は堀之内地区、三日市場地区に集中しており、これは白馬村役場から5kmほど南に離れている（Fig.4）。



Photo 3 Replacement of water pipe due to the surface fault damage (up-lift about 40 cm).



K-NET白馬より500mほど東に位置する大出地区では、上下変位40cmほどの地表断層が表れており、断層変位に伴う水道管の被害が発生していた（Photos 3）。ただし、断層変位が関わらない箇所での地震動による建物被害はほとんど見られなかった。白馬村役場によると大手地区では家屋被害（住家）として全壊家屋1棟、大規模半壊・半壊4棟が報告されている（白馬村、2015）。

一方、堀之内地区、三日市場地区では、顕著な建物被害が発生していた（Photo 4）。堀之内地区では、建物被害に加えて地盤に開口亀裂が発達していることも特徴的であった。白馬村役場によると堀之内地区では家屋被害（住家）として全壊家屋33棟、大規模半壊・半壊14棟が、三日市場地区では全壊家屋6



Photo 4 Damage of residential houses in Horinouchi area.

棟、大規模半壊・半壊12棟が報告されている（白馬村，2015）。

大出地区と堀之内地区はいずれも震源断層直上に位置する。また、堀之内地区における地表断層の出現については様々な見解がある一方、大出地区で明瞭な地表断層が現れていたことは事実であるため、地表断層の上下変位量の大小と被害の大小とが対応しているとも考え難い。建物の構造種別・建築年代が両地区ではほぼ同程度であると仮定できるのであれば、両地区に見られた被害の差は、地震動等の作用の違いによるものと考えられる。地震動の違いは、断層破壊の不均質性によるものと、地盤震動特性の違いによるものと考えられるが、地盤震動特性は余震観測により定量的に評価できるため、両地区で臨時余震観測を実施した。

3. 臨時余震観測

臨時余震観測は、2014/11/24～26の3日間実施した。詳細は日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団報告書（2015）に記載しているため、ここではその概要と結果について述べる。

余震観測には、ロガーと一体型の加速度センサーITK002（株式会社aLab）を採用し、期間中連続観測を行った。ITK002は微小地震観測用のセンサーと比較してノイズレベルは高いものの、数gal程度のレベルであれば実用上問題ない。センサーはモルタルもしくは路面に石膏で固定し、車載用バッテリーで電源を供給した（Photo 5）。また、観測点毎にGPSによる時刻校正を行っている。

観測点は、ITK002の観測精度を確認することを目的として設置したK-NET白馬の近傍（H01: 36.698830°N, 137.863010°E）、大出地区の地表断層が出現した箇所近傍（H02: 36.697858°N, 137.870489°E）、堀之内地区東端（H03: 36.650457°N, 137.864309°E）の計3点である（Fig.5）。同時期に余震観測網を展開していたグループ（日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団，2015）と連携して、リファレンスであるH01を除いて、観測点が重複しないよう配慮した。

観測期間中、K-NET白馬で観測された地震イベントは5つである。11月25日6時26分に観測したイベントが期間中最大で、全ての余震観測点で25galを超える加速度記録が得られている。



Photo 5 Aftershock recording at H03 site.

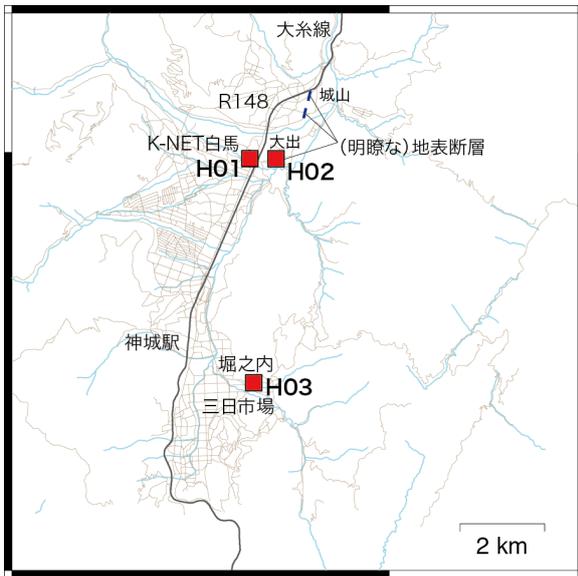


Fig. 5 Location of aftershock recording sites.

Fig. 6は、余震観測により記録された加速度波形から求めた速度波形を比較したものである。参考としてK-NET白馬 (NGN005) の速度波形も並べて示している。速度波形への変換時に、ITK002の記録については0.5Hzのハイパスフィルタを施した上で、積分している。また、K-NETの記録については0.1Hzのハイパスフィルタを施してから積分している。K-NET白馬の近傍に設置したH01の速度波形は、K-NETの波形と非常によく似ており、ITK002による余震観測の妥当性を示している。

Fig. 6は前述した最大イベントに対して比較したものである。H03の振幅値は他の2点と同程度ではあるが、H03のみ走時が遅れている。H03の震源距離は相対的に長いため、距離減衰による効果が含まれているものと考えられる。このため、本記録では直接振幅値の大小で揺れやすさを論じることはできない。

一方、11月24日に記録した2つのイベントについて

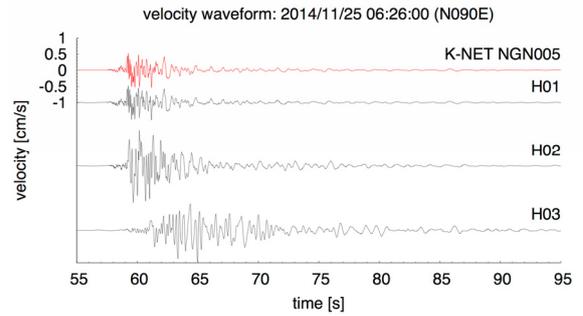


Fig. 6 Replacement of water pipe due to the surface fault damage (up-lift about 40 cm).

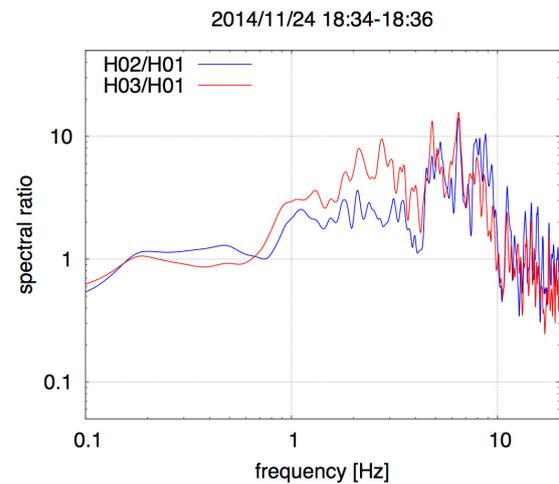
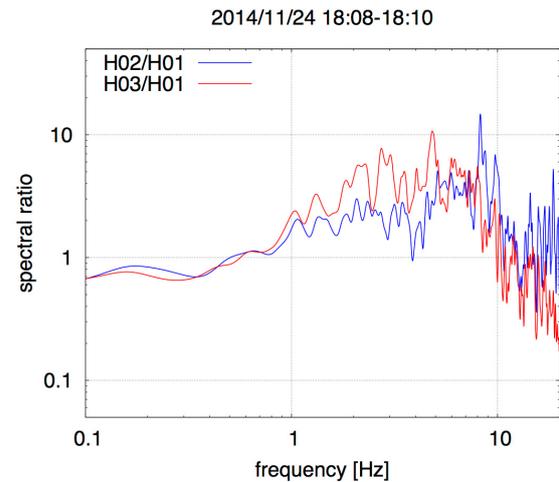


Fig. 7 Spectral ratio of horizontal ground motions at H02 and H03 respect to H01.

は概ね走時が揃っているため、距離減衰の効果はいずれの観測点も同程度であると仮定できる。そこで、この2つのイベントについてH01に対するH02、H03の水平動スペクトル比を計算し、Fig. 7に示す。なお、成分毎に求められたスペクトル比の幾何平均を表示している。いずれのスペクトル比も1-10Hzの区間で1

を上回っていることから、K-NET白馬周辺(H01周辺)は相対的に地盤のよいサイトであることがわかる。また、H02とH03を比較すると、概ね1-5Hzの区間でスペクトル比が上回っており、H03周辺が相対的に揺れやすいことを示唆している。

4. 斜面変状調査

4.1 調査概要

踏査は本格的な積雪シーズンの前である本震発生から8日後の2014年11月30日と、集落内においておおむね融雪が進んだ2015年3月31日に堀之内地区西側の背後斜面を中心におこなった。Fig.8は踏査範囲を示す。踏査では、ルート上に見られた建築物や墓石・木の倒壊具合やその方向、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、湧水位置を記録した。

4.2 調査結果

堀之内地区背後斜面、および、城峯神社周辺(Fig.8)において地震直後におこなった斜面変状調査の結果は、土井ほか(2015)の中で詳細にまとめられている。ここでは、融雪後の湧水の様子とあわせて堀之内地区集落内および背後斜面の変状のみに着目して述べる。

集落内の道路について、いたるところでクラックが認められた。踏査当日においてはそれらのほとんどが修復されていたものの、その痕跡から走向を測定したところ、等高線とほぼ沿う方向である東～南東一西～北西方向であった。一方、堀之内地区の集落から数百 m 西の場所では短縮量が30 cm程度の地表断層が確認されており(岡田ほか, 2014)、その走向はおおよそ南北であった。

背後斜面においては、内部および縁辺部の多くの場所で、等高線に沿う方向の開口亀裂、段差亀裂、または、開口段差亀裂が認められた(土井ほか, 2015)。それらの変位はおおむね 5-10 cm 程度、長さは数 m 程度であった。長さがもっとも長い段差亀裂は森林部分と集落の境界付近に見られ、段差 5 cm 程度、長さは数十 m に及んだ(Photo 6, 新潟大学災害・復興科学研究所, 2014)。

また、森林部分から集落に至る境界付近には融雪に伴う湧水が見られた(Photo 6)。これらの湧水は、750 m の等高線の沿う複数の場所において見られた(Photo 7)ことから、斜面の傾斜がゆるやかになる森林部分と集落の境界付近においては地下水位が非常に浅く、少なくとも融雪期には地下水位が地表付近まで上昇することが認められた。

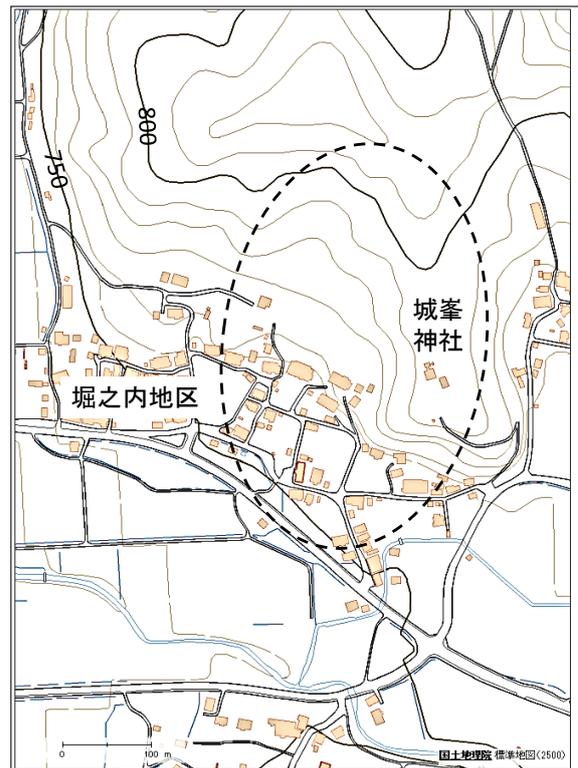


Fig.8 Field investigation area (shown by a broken ellipse) for slope deformation.



Photo 6 Long step-like crack and a spring point.

4.3 地震時の地すべり性の運動

堀之内地区の背後斜面における変状は、いずれも等高線に沿う方向を示し、かつ、伸張の特徴を持っていた。等高線と平行な北西-南東方向に小規模な谷状や段差状(Photo 6)の微地形が観察され、小さな池が存在した。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 m 程度、長さ150 m 程度、幅100 m 程度の領域で、地すべり地形・変位の特徴を呈することがわかった。

これらの特徴は、集落内の道路や地盤にも共通し、背後斜面の地すべり運動は集落内まで連続していることが示唆される。

また、Photo 6 に示される段差亀裂のすぐ背後には比高 1 m 程度の段差地形が見られ、繰り返り過去の地震などの折に同様の変位を呈し、このような地形が作り上げられてきたと考えられる。

土井ほか（2015）では、堀之内地区の背後斜面において飛び上がった可能性がある短い丸太が存在したことを示している。同様に、集落内においては飛び石があったとする報告がある（国土技術政策総合研究所・建築研究所，2014）。集落に甚大な被害をもたらした強い震動と少なくとも同程度の震動が背後斜面においても記録されていたことが考えられる。前節で述べた堀之内地区における余震観測結果から、K-NET白馬観測点に比べ堀之内地区においては揺れが増幅され、継続時間も長くなる傾向が報告されている。このため、強い震動は堀之内地区の地盤を構成するやわらかい堆積物によって生じた可能性が指摘されているが、集落内では液状化の痕跡が確認されていることから、地震動と浅い地下水との相互作用によって地盤の一部が塑性化し、背後斜面から集落内にかけて地すべり運動を発生させるとともに、より強い震動を生じさせた可能性も考慮する必要があると示唆される。

5. おわりに

2014年11月22日に発生した長野県北部の地震について、その概要と地震動による被害を調査した。震央に近い白馬村の堀之内地区では甚大な建物被害が局所的に発生していた。臨時余震観測を行い、余震の振動特性の違いを比較したところ、堀之内地区は揺れやすい地盤であった可能性を示唆している。また、堀之内地区の背後斜面において地震に伴う変位を踏査した。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性の運動と堀之内地区における局地的な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被害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

本調査にあたり、東京工業大学盛川仁教授、飯山かほり様、東濃地震科学研究所川崎一朗博士（京都大学名誉教授）、京都大学釜井俊孝教授、富山県立大学古谷元講師、同大学畠俊郎准教授、新潟大学渡



Photo 7 Spring points behind the Horinouchi District.

部直喜准教授に多大なご協力を頂きました。作図に当たっては、国土地理院による地図データを参照した。調査に当たって自然災害研究協議会のサポートをいただいた。被災地の一刻も早い復旧と復興をお祈り致します。

参考文献

- 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，http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/topics/20141209_report_nagano.pdf（2015年6月23日閲覧）。
- 気象庁（2014）：平成26年11月地震・火山月報（防災編），102pp。
- 気象庁（2015）：発震機構解（精査後），<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/mech/index.html>（2015年6月20日閲覧）。
- 国土技術政策総合研究所・建築研究所（2014）：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>，2015年6月23日
- 国土地理院（2015）：長野県北部を震源とする地震に関する情報，<http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/h26-nagano-earthquake-index.html>（2015年6月20日閲覧）。
- 土井一生・川崎一朗・釜井俊孝（2015）：長野県神城断層地震による堀之内地区の斜面変状，自然災害科学，34，1，7-14。
- 長野県（2015）：長野県神城断層地震への対応について，<http://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/kurashi/shobo/saigai/1122jishin.html>（2015年6月20日閲覧）。
- 新潟大学災害・復興科学研究所（2014），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/>，2015年6月20日
日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団（2015）：日本地震工学会2014年長野県北部の地震に関する調査団報告，日本地震工学会，109pp.
白馬村：長野県神城断層地震，人的被害・家屋被害，

http://www.vill.hakuba.lg.jp/quake_nagano_north/damage/damage.html（2015年6月20日閲覧）.
防災科学技術研究所（2014）：F-net広帯域地震観測網 地震のメカニズム情報，<http://www.fnet.bosai.go.jp/>（2015年6月20日閲覧）.

（論文受理日：2015年6月26日）