長野県神城断層地震の被災地域における常時微動観測を利用した地震動推定

牧 加奈子[1]・村田　晶[2]・秦　吉弥[3]・辻 美佳子[4]・宮島 昌克[5]

[1]金沢大学大学院自然科学研究科環境デザイン学専攻　博士前期課程2年（〒920-1192 金沢市角間町）
E-mail:k-8897@stu.kanazawa-u.ac.jp

[2]正会員　金沢大学理工研究域環境デザイン学系　助教（〒920-1192 金沢市角間町）
E-mail:murata@se.kanazawa-u.ac.jp

[3]正会員　大阪大学大学院工学研究科地球総合工学専攻　助教（〒565-0871 吹田市山田丘2番1号）
E-mail:hata@civil.eng.osaka-u.ac.jp

[4]金沢大学理工学域環境デザイン学類　4年（〒920-1192 金沢市角間町）
E-mail:tsuji.mikako.10@gmail.com

[5]正会員　金沢大学理工研究域環境デザイン学系　教授（〒920-1192 金沢市角間町）
E-mail:miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

2014年11月22日に発生した長野県神城断層地震では，多くの木造家屋に被害を与えた．被害は長野県白馬村神城地区に集中したが，震央からの距離はおよそ5.4kmであり，神城地区以外では木造家屋の被害は集中して見られなかったことから，神城地区での地震動を評価することは建物被害の解明のために必要であるといえる．そこで，本研究では，常時微動観測を行い，H/Vスペクトル比を用いて任意点の地震動推定を行った．その結果，最大加速度は測点間で違いが見られ，K-NET白馬の最大加速度は560(gal)であるのに対し，1000(gal)を超える地点もあり，木造家屋の被害状況と調和的であった．

Key Words : *microtremor observation, H/V spectral ratio, estimation of strong motion, wooden houses*

1.　はじめに

2014年11月22日22時8分，気象庁マグニチュード6.7の地震が長野県北部で発生し，多くの木造家屋に被害を与えた．木造家屋の倒壊は長野県白馬村神城地区に集中したが，震央からの距離はおよそ5.4kmである．一方，神城地区以外では木造家屋の被害は集中して見られず，近接するK-NET白馬での震央距離は2.7kmである．このように、なぜ震央距離が遠い神城地区で大きな被害が出たのかを理解するために，神城地区の地震動特性を評価することは重要であると言える．そこで本研究では，長野県神城断層地震を対象に，神城地区における常時微動観測を行うとともに，常時微動H/Vスペクトル比を利用した地震動推定を行う．ここで常時微動とは，交通機関や建設工事，工場施設などの人工的な振動源から，海岸の波，風，火山活動などの自然現象まで多種多様な地盤中を伝播する振動のうち，特定の振動源から直接的に影響を受けない状態で，誘起される微小な地盤振動である．

常時微動H/Vスペクトル比を利用した地震動推定に関する研究としては，例えば丸山ら[1)]が，地震観測点における地震記録と常時微動観測結果に基づいて，近傍の地震観測点の加速度波形およびフーリエスペクトルを推定し，実際の記録と比較している．その結果，短周期成分以外ではかなりの精度で推定が可能であることを確認している．しかし，短周期成分に関しては，波形推定が高い近似を示すのに対して，スペクトル推定は精度が低下することや，基準となる地震観測点の近傍で地震動を推定しており伝播経路を考慮していないため，少し離れた点で推定すると精度が低下することがわかっている．また，大熊らは[2)]，常時微動H/Vスペクトル比を用いて1地点の地震記録から他点における地震動を推定する手法について，速度応答スペクトルを推定して水平動と上下動の増幅度などの実観測データとの比較から，その利用可能性を検討している．原田ら[3)]は，地震動と常時微動のH/Vスペクトルは完全に一致しないとし，地震動と常時微動のH/Vスペクトルは完全に一致させるような補正係数の定義・モデル化を行なっている．中村ら[4)]は，原田らが定義した補正係数の修正を行い，さらなる精度の向

上を図っている．

上記のように常時微動のH/Vスペクトル比を利用した地震動の推定は様々行われているが，今回は，地震動と常時微動のH/Vスペクトル比は等しく，かつ2地点の地表面鉛直地震動のスペクトル特性は等しいという丸山ら[1)]の仮定のもと，推定点及び地震動観測点の2地点間の常時微動H/Vスペクトル比の比が相対的な増幅度として推定地震動を求める．式は以下に示す．

$$H_E^E = \frac{\left(H/V\right)_E^M}{\left(H/V\right)_O^M} H_O^E$$

ここで，上の添字のM及びEは常時微動，地震動，下の添字のE及びOは推定点，地震動観測点を表す．

本研究では白馬村神城堀之内，田頭，三日市場地区と被災があまり見られない神城駅，神城道の駅周辺において常時微動観測を実施し，各地区で観測された地震動の推定を行い，建物被害との相関について述べる．

2. 長野県白馬村神城地区における常時微動観測

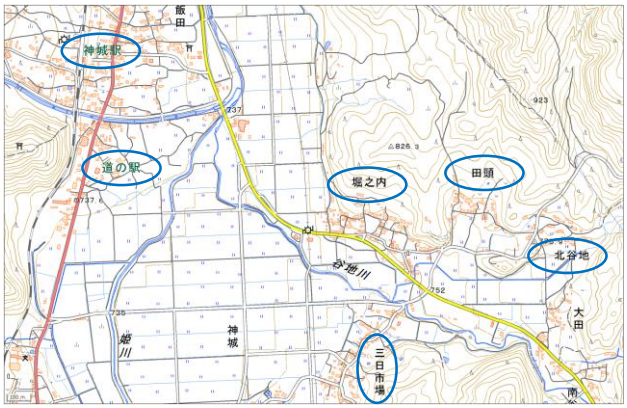
(1) 観測および解析概要

常時微動観測は2015年4月30日から5月3日の日中に行い，白馬村神城地区の集中的な被害が報告された地区及び無被害地区において，8台の常時微動測定計を用いて合計632点の常時微動観測を行った．サンプリング振動数は100Hzである．調査対象地区を図−1に示す．観測時間は各測定点において約30分間とする．また，建物の被害状況は白馬村神城地区堀之内及び田頭において，2014年12月8日に調査した結果に基づいている．

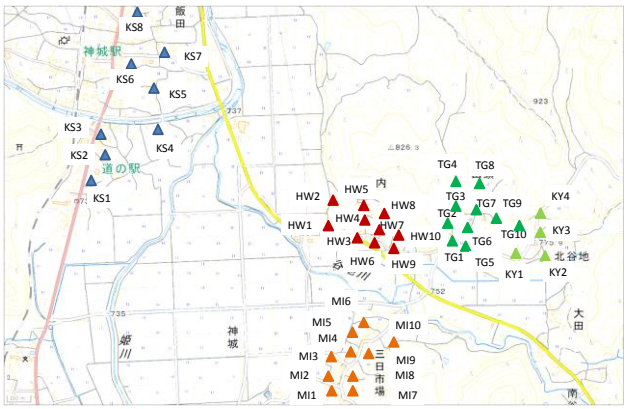
解析については，測定した常時微動を解析時に確認し，交通等により雑振動が入った区間を除いて行う．観測結果より，N-S，E-W，U-D成分それぞれにおいて，雑振動の少ない4096点(40.96秒間)を5箇所以上抜き出す．それぞれの値を平均してフーリエ変換し，バンド幅0.4HzのParzen Windowにより平滑化を行う．水平成分HはN-S，E-W成分の相乗平均値を，鉛直成分VはU-D成分の値とし，水平成分Hを鉛直成分Vで除すことによりH/Vスペクトル比を求める．以上より周期 - H/Vスペクトル比のグラフを作成し，卓越周期を求める．本研究ではこの卓越周期を地盤の固有周期とみなす．今回解析を行った対象点を図−2に示す．

(2) 解析結果および考察

常時微動H/Vスペクトル比と地震動H/Vスペクトル比の比較(青線：常時微動H/Vスペクトル比，黒線：地震動H/Vスペクトル比)を図−3に示す．被災家屋が多く見られる堀之内，田頭地区，三日市場地区では，常時微動H/Vスペクトル比と推定地震動H/Vスペクトル比の類似性が



図−1　神城地区全体図



図−2　神城地区解析対象点

比較的高い傾向が見られる．

地盤の固有周期について，一般に傾斜地盤では，標高が高くなるに従い周期が大きくなる傾向がある．今回観測を行った田頭，堀之内は傾斜地盤である．田頭ではその傾向が見られたが，堀之内では見られなかった．堀之内は田頭，三日市場に比べ，固有周期にばらつきがあり，全体的に長周期である．卓越周期から求められる各地区全体の地盤種別は1～2種地盤となっている．高密度な観測を行ったにも関わらず明瞭に地盤をグループ化することができなかったことから，地盤特性の変化が大きい地区であることが示唆される．

3. 地震動推定

(1) 推定概要

前述した地震動推定手法を用い対象地区の推定を行う．推定の基準となる強震観測はK-NET白馬における本震とする．図−4にK-NET白馬で観測された地震動のN-S，E-W，U-D3成分を示す．今回は，最大加速度の値が最も大きいN-S方向のデータを用いて推定を行う．最大値は560(gal)程度を示しており，20秒と33秒あたりに2回大き

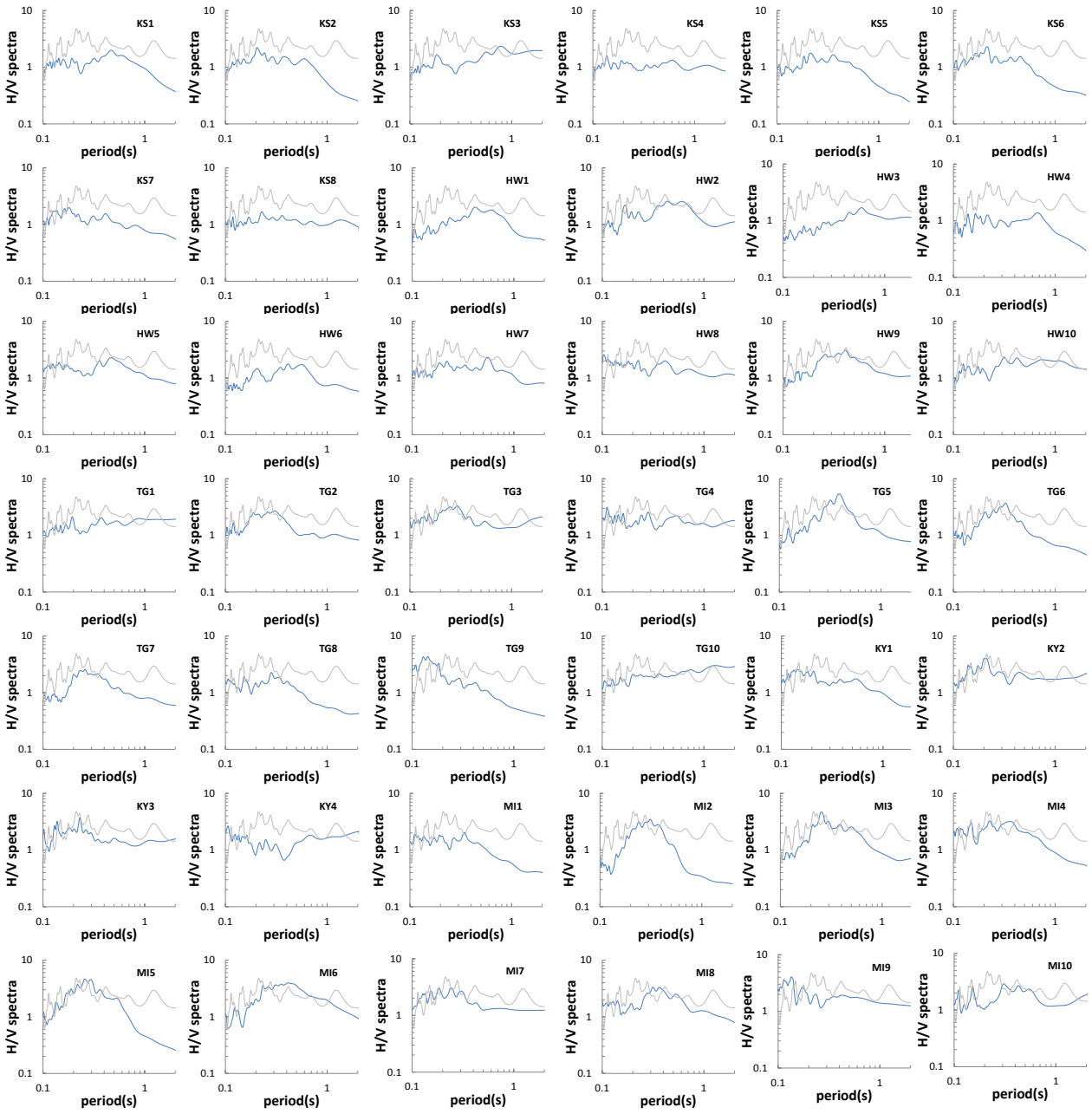


図-3　常時微動H/Vスペクトル比と地震動H/Vスペクトル比の比較
（青線：常時微動H/Vスペクトル比，黒線：地震動H/Vスペクトル比）

な揺れが観測されている．本研究では，常時微動からH/Vスペクトル比を算出し，推定点及び地震動観測点の2地点間の常時微動H/Vスペクトル比の比が相対的な増幅度として推定地震動を求めた．今回推定を行った地点を**図-5**，7，9，12に，各点の最大加速度を**表-1**～5にそれぞれ示す．堀之内，田頭地区においては，調査時に記録した建物の被害状況も一緒に示す．被害の程度については日本建築学会災害委員会で作成した破壊パターン[5]から無被害，一部損壊，半壊，全壊と分類する．また，推定した加速度時刻歴波形を**図-6**，8，10，11，13に示す．

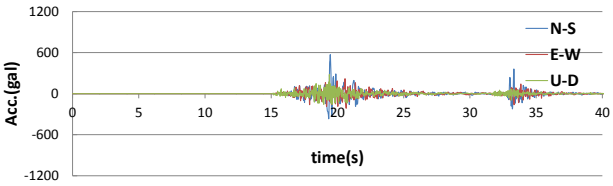


図-4　観測地震動

(2)　地震動推定結果

a)　神城駅・道の駅周辺

図-5，表-1に示すように，最大加速度については特に測点間で違いは見られず，KS2やKS3で加速度の値が増幅されているものの，全体的に小さな値となった．神城駅・道の駅周辺は建物被害は見られず，図-6に示す推定結果からも建物被害に影響を与えるような強い揺れは観測されていないと考えられる．

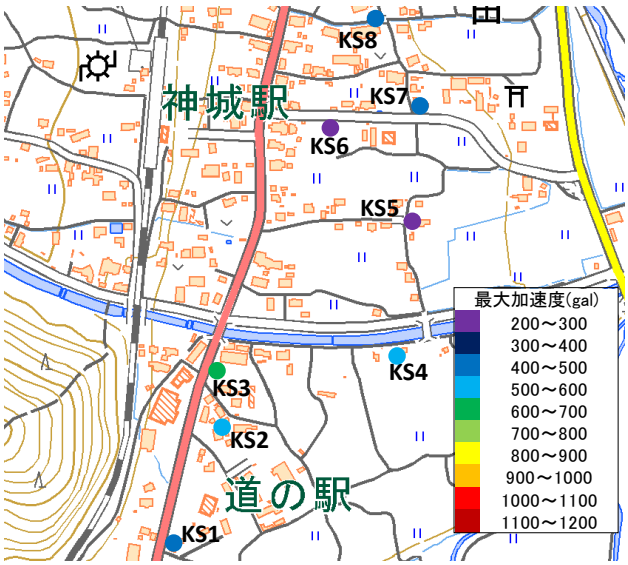
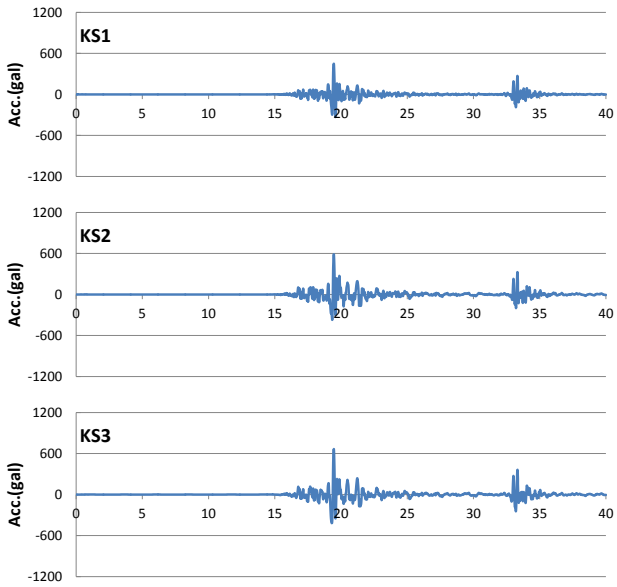


図-5　最大加速度(神城駅，道の駅周辺)

表-1　加速度最大値(神城駅，道の駅周辺)

地点	KS1	KS2	KS3	KS4
加速度最大値(gal)	448	588	666	541
地点	KS5	KS6	KS7	KS8
加速度最大値(gal)	253	291	441	426



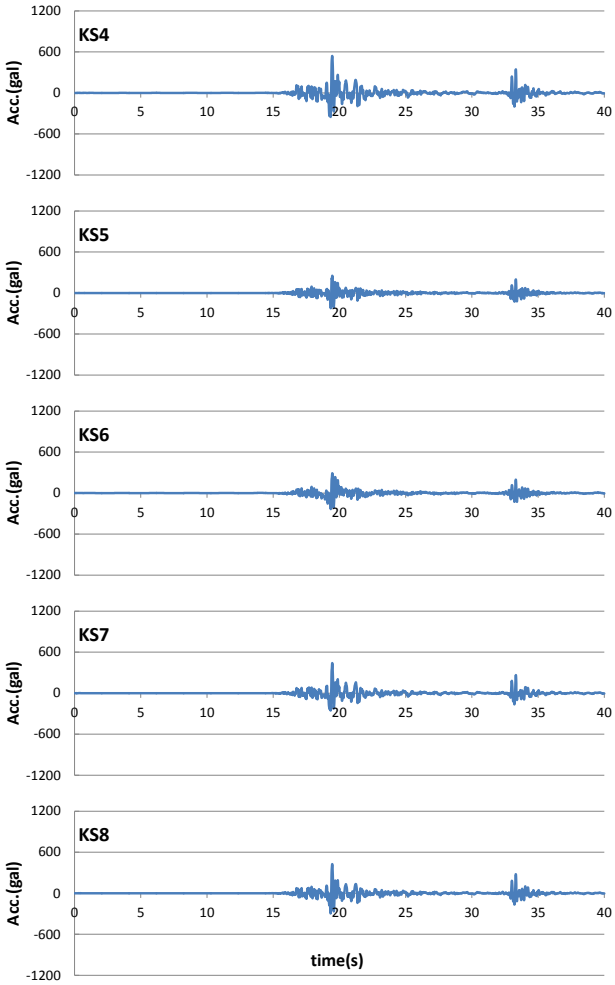


図-6　推定地震動(神城駅，道の駅周辺)

b)　堀之内地区

図-7，表-2に示すように，最大加速度の値はばらつきが見られた．堀之内地区は傾斜地盤であり，HW6とHW8を見ると，より山側であるHW6で大きな値を示す結果となった．800(gal)超を示したHW2のあたりは，全壊した公民館があり，建物被害が大きい地点であった．図-8より，同地区内でも揺れ方に若干の違いが見られた．

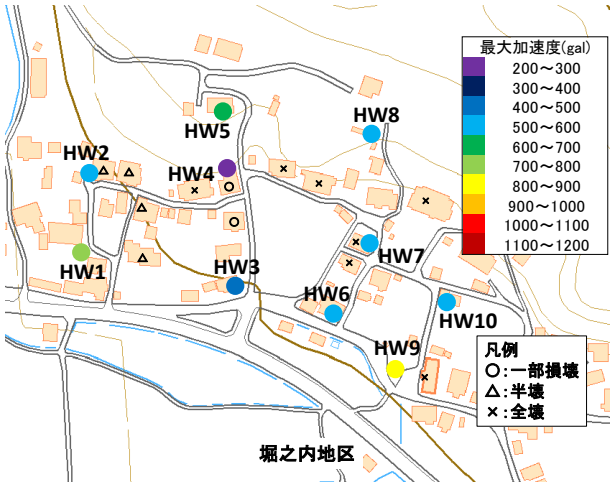
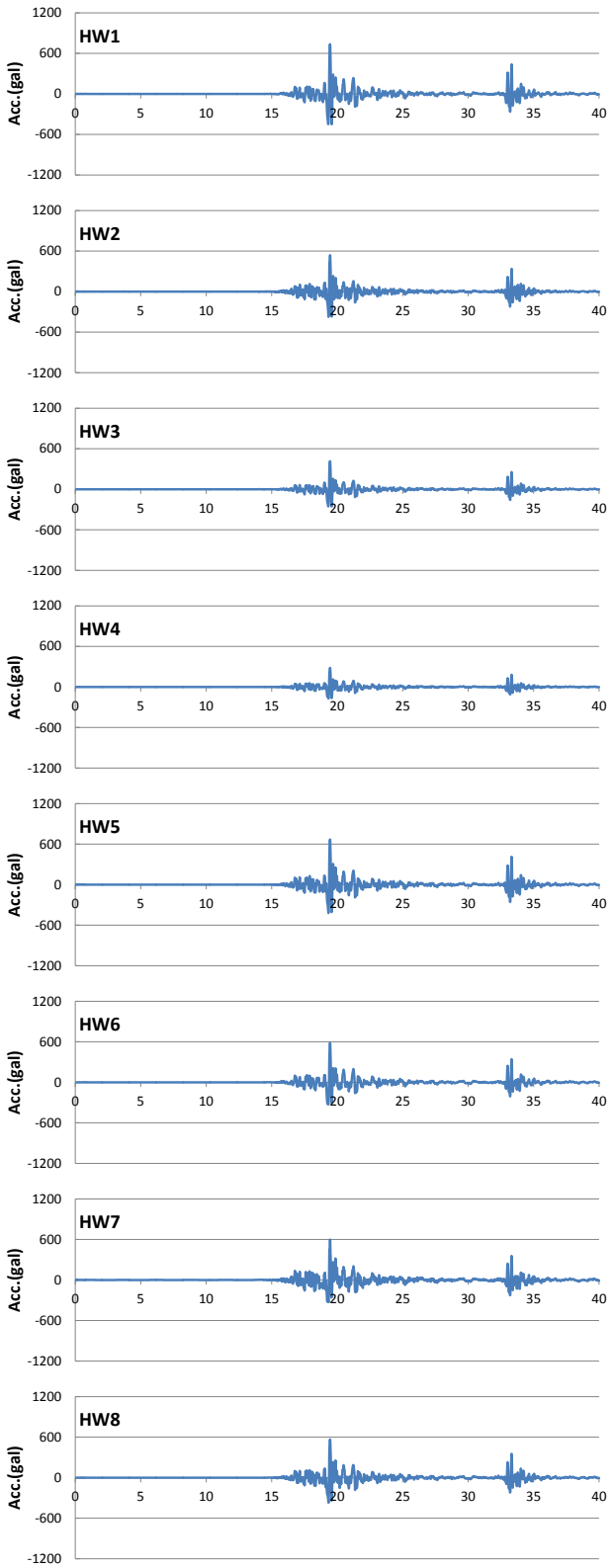


図-7　最大加速度(堀之内地区)

表-2　加速度最大値(堀之内地区)

地点	HW1	HW2	HW3	HW4
加速度最大値(gal)	735	537	415	282
地点	HW5	HW6	HW7	HW8
加速度最大値(gal)	669	585	598	566
地点	HW9	HW10		
加速度最大値(gal)	813	593		



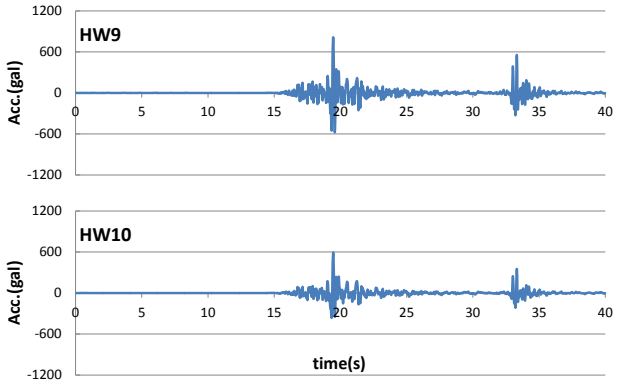


図-8　推定地震動(堀之内地区)

c)　田頭，北谷地地区

図-9，表-2，3に示すように，堀之内地区と同様に最大加速度の値にばらつきが見られた．全体的に大きな値となり，TG8，TG10では1000(gal)を超える値となった．田頭地区は，被災地域の中でも特に全壊した家屋が多く，建物被害が集中した地点である．図-10に示す推定結果を見ると，強震が観測され始めた25(s)あたりから比較的大きな揺れが観測されており，強い揺れが繰り返し発生したことが建物被害に影響を与えたと考えられる．

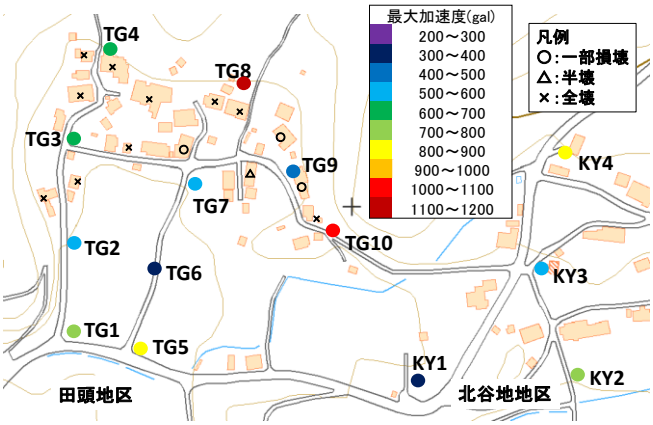


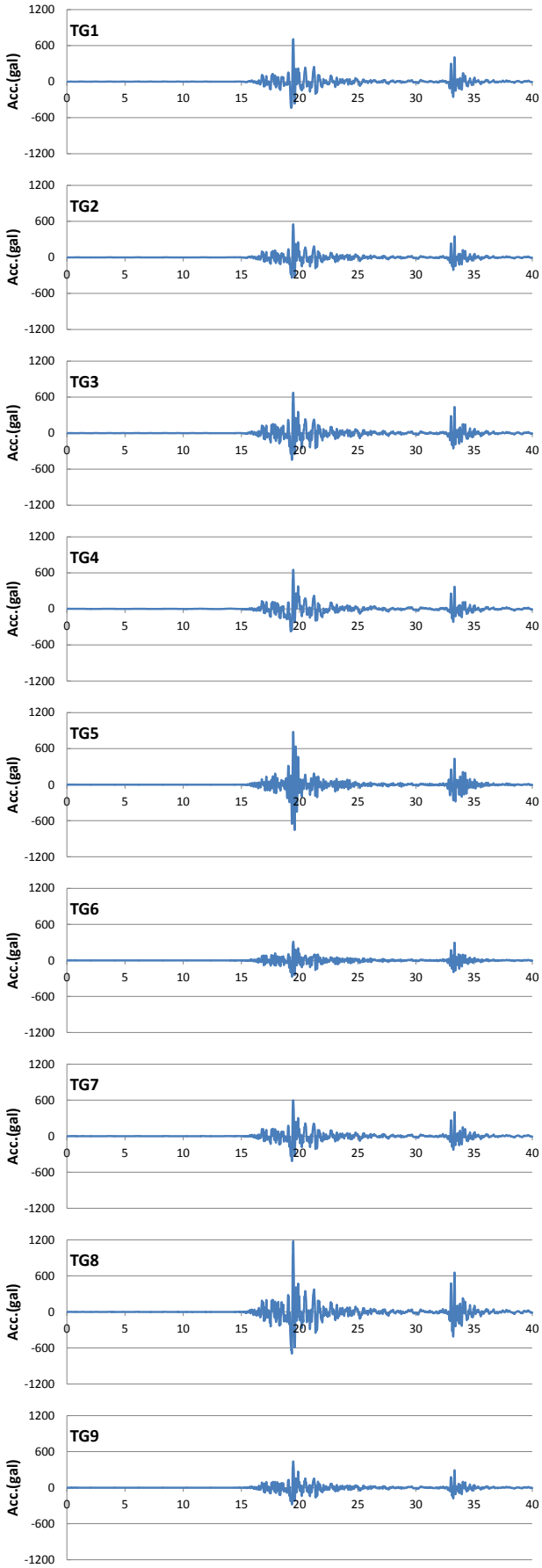
図-9　最大加速度(田頭地区，北谷地地区)

表-3　加速度最大値(田頭地区)

地点	TG1	TG2	TG3	TG4
加速度最大値(gal)	709	552	673	652
地点	TG5	TG6	TG7	TG8
加速度最大値(gal)	879	313	599	1177
地点	TG9	TG10		
加速度最大値(gal)	439	1001		

表-4　加速度最大値(北谷地地区)

地点	KY1	KY2	KY3	KY4
加速度最大値(gal)	382	771	505	817



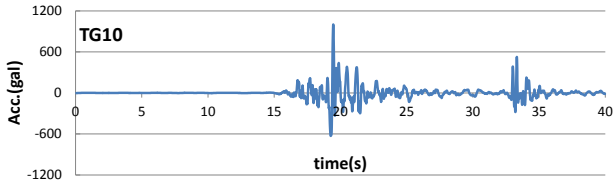


図-10　推定地震動(田頭地区)

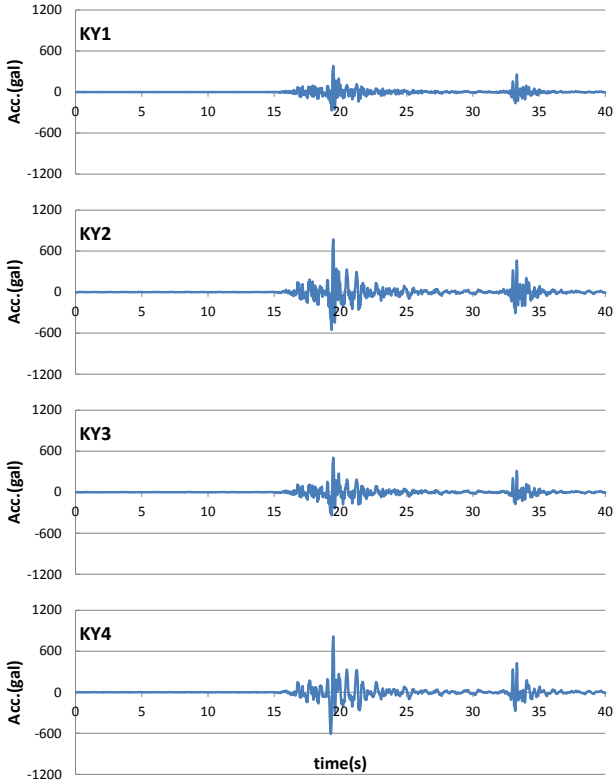


図-11　推定地震動(北谷地地区)

d)　三日市場地区

図-12，表-5に示すように，全体的に600(gal)以上の揺れが観測されており，MI4～6，8などの道路沿いにおいて特に大きな値となっている．三日市場地区も建物被害は多く見られ，図-13を見ると，強い揺れが繰り返し発生したことが建物被害に影響を与えたと考えられる．

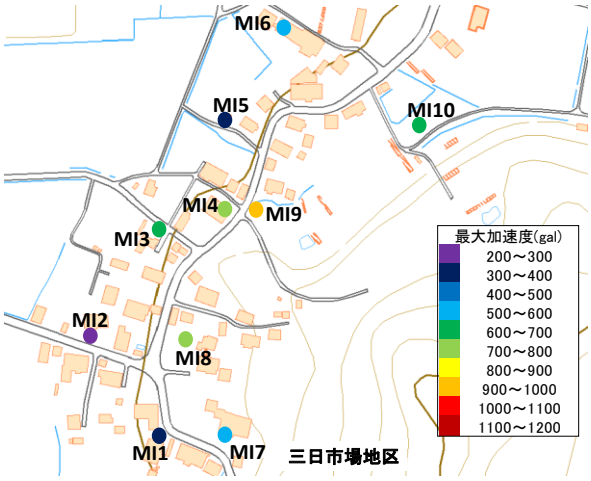
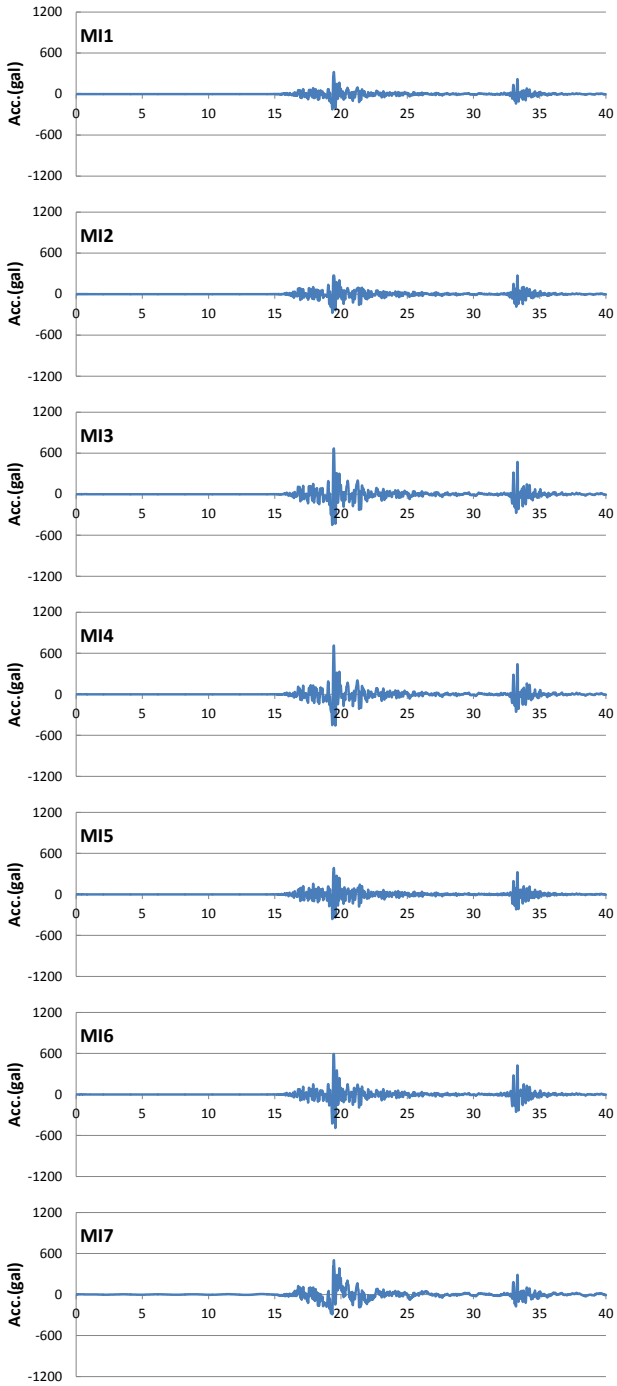


図-12　最大加速度(三日市場地区)

表-5　加速度最大値(三日市場地区)

地点	MI1	MI2	MI3	MI4
加速度最大値(gal)	322	273	670	715
地点	MI5	MI6	MI7	MI8
加速度最大値(gal)	387	591	502	751
地点	MI9	MI10		
加速度最大値(gal)	920	689		



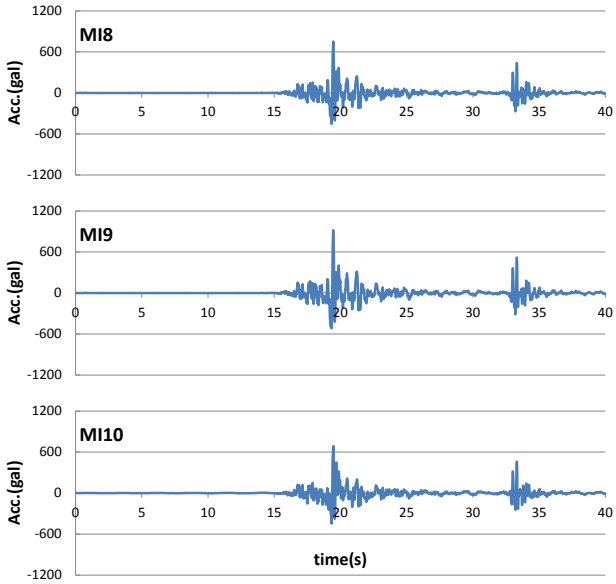


図-13　推定地震動(三日市場地区)

4.　おわりに

長野県神城断層地震において，白馬村にて常時微動観測を行い，丸山ら[1)]の仮定のもと，推定点及び地震動観測点の2地点間の常時微動H/Vスペクトル比の比が相対的な増幅度として推定地震動を求めた．

推定結果では，最大加速度は同地区内の近い測点間でも違いが見られ，堀之内地区のHW2，田頭地区のTG8やTG10，三日市場のMI4では800(gal)を超える大きな値となった．ここで，この地点は被災地域の中でも全壊した家屋が多く，建物被害が集中した地点であった．そのため本研究での結果は木造家屋の被害状況と調和的であるといえる．また，常時微動H/Vスペクトル比と推定地震動H/Vスペクトル比を比較すると，被災家屋が多く見られる観測点の常時微動H/Vスペクトル比と推定地震動H/Vスペクトル比の類似性が比較的高い傾向となっていること，特に0.5～1(sec)での類似性が高い観測点で被災率が高いことが示唆できる．

謝辞：本研究を進めるにあたり，K-NET観測記録を使用させていただきました．また，国土地理院の電子地形図を使用させていただきました．ここに記して謝意を表します．

参考文献

1) 丸山喜久，山崎文雄：常時微動のH/Vスペクトル比を用いた地震動推定法の提案，土木学会論文集，No.675/I-55，pp.261-272，2001.
2) 大熊裕輝，松岡昌志：宮崎県における常時微動 H/Vスペクトル比を用いた地震動の推定，土木学会論文集，No.696/I-58，pp.261-272，2002.
3) 原田隆典，中村真貴，王宏沢，斉藤将司：強震観測点の記録と常時微動H/Vスペクトル比を利用した近傍の未観測点の強震動推定法，応用力学論文集，Vol.11，pp.595-602，2008.
4) 中村真貴，原田隆典，市村彰，王宏沢，齊藤将司：常時微動H/Vスペクトル比を利用した強震観測点近傍の地震動推定法，第 30 回土木学会地震工学研究発表会論文集，2009.
5) 岡田成幸, 高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, No.524, pp.65-72, 1999.

（2015. 9. 11 受付）

ESTIMATION OF THE SEISMIC PERFOMANCE BY USING MICROTREMOR OBSERVATION AT DAMAGE AREAS DURING THE NORTHERN NAGANO PREFECTURE EARTHQUAKE

Kanako MAKI, Akira MURATA, Yoshiya HATA, Mikako TSUJI and Masakatsu MIYAJIMA

On November 22, 2014, Northern Nagano Prefecture Earthquake (M_J=6.7) was occurred in northern part of Nagano Prefecture and induced collapse of wooden houses at Kamishiro area in Hakuba Village, particularly. It is important to estimate the seismic response of the residential area during the main shock to expound the damage of wooden houses.

In this study, we estimate the seismic performance at these areas (Kamishiro station, Horinouchi cluster, Tagashira cluster, Mikkaichiba cluster) by using microtremor observation.