

2014年長野県北部の地震における白馬村 神城地域での住家被害と地盤震動特性の関係

藤木 昂¹・秦 吉弥²・村田 晶³・古川 愛子⁴
一井 康二⁵・常田 賢一⁶・湊 文博⁷・吉川 登代子⁸

¹ 学生会員 大阪大学 工学部 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: afujiki@civil.eng.osaka-u.ac.jp

² 正会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: hata@civil.eng.osaka-u.ac.jp

³ 正会員 金沢大学 理工研究域 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail: murata@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴ 正会員 京都大学 大学院地球環境学堂 (〒615-8540 京都府京都市西京区京都大学桂)

E-mail: furukawa.aiko.3w@kyoto-u.ac.jp

⁵ 正会員 広島大学 大学院工学研究院 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: ichiikoji@hiroshima-u.ac.jp

⁶ フェロー会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: tokida@civil.eng.osaka-u.ac.jp

⁷ 学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: fminato@civil.eng.osaka-u.ac.jp

⁸ 学生会員 大阪大学 大学院工学研究科 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

E-mail: tyoshikawa@civil.eng.osaka-u.ac.jp

本稿では、2014年長野県神城断層地震による強震動の作用によって深刻な住家被害等が発生した白馬村神城地区を対象に、高密度常時微動計測を実施した結果について報告する。具体的には、同地区内において232地点に及ぶ常時微動計測を行い、H/Vスペクトルのピーク周波数などに着目することで、神城地区における地盤震動特性を明らかにした。さらに、常時微動H/Vスペクトルとサイト増幅特性の経験的關係に基づき、微動計測地点(232地点)でのサイト増幅特性をそれぞれ評価し、サイト増幅特性の値に対する住家被害の關係について基礎的検討を行った。

Key Words : *Microtremor H/V spectrum, site amplification factor, zoning, wooden house damage*

1. はじめに

2014年11月22日に発生した長野県北部を震源とするマグニチュード6.7の地震(以後、2014年長野県神城断層地震¹⁾もしくは本震と呼ぶ)では、震源域の白馬村神城地区の集落を中心に住家の倒壊などの深刻な被災が報告^{2,3)}されている。一方で、同じ神城地区内においても住家が無被災であった集落も確認²⁾されている。本震時において神城地区内の被災集落ならびに無被災集落に作用した地震動を推定することは、非常に重要⁴⁾である。

この点に関して秦ほか⁵⁾は、神城地区内の田頭集落(被災集落)および飯田集落(無被災集落)において臨時の余震観測を実施し、得られた記録とサイト特性置換手法⁶⁾の組合せに基づき、本震時に田頭集落および飯田集落に

作用した地震動を推定し、両集落における推定地震動の比較結果が被災・無被災の実績に対して矛盾していないことを速報している。さらに秦ほか⁷⁾は、神城地区内においてわずか二つの集落(2地点)での強震動評価に留まっていること、震源断層近傍の地点へのサイト特性置換手法の適用には課題⁸⁾が残されていることなどを考慮して、特性化震源モデル⁹⁾(神城地区周辺の既存強震観測点^{10,11)}で得られた本震記録を一定の精度で再現可能な断層モデル⁹⁾に基づき、2014年長野県神城断層地震時に作用した地震動を臨時余震観測点(8地点(STA_1~8): 図-1参照)において推定している。

しかしながら、上述した先行研究^{5,7)}では、神城地区に設けた臨時余震観測点(上述したわずか8地点)の位置相対に作用した地震動を推定しているにすぎず、神城地区

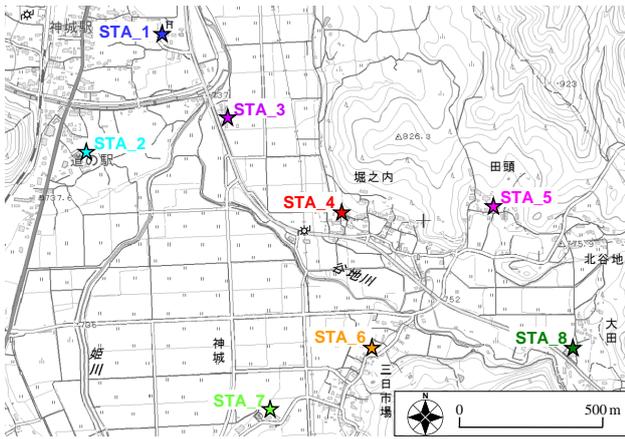


図-1 神城地区に設けた臨時余震観測地点の分布⁷⁾

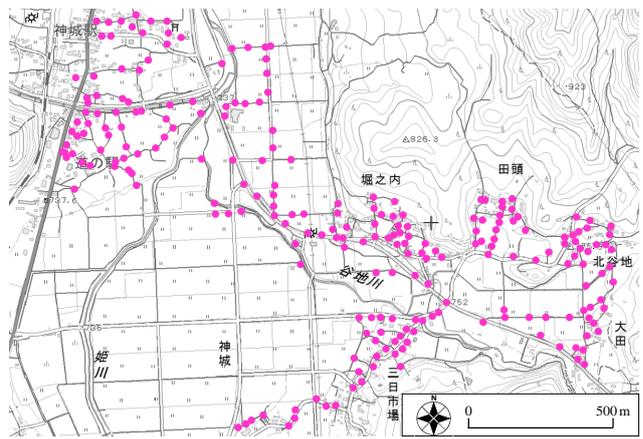


図-2 神城地区内における常時微動計測地点の分布



写真-1 常時微動計測状況の一例

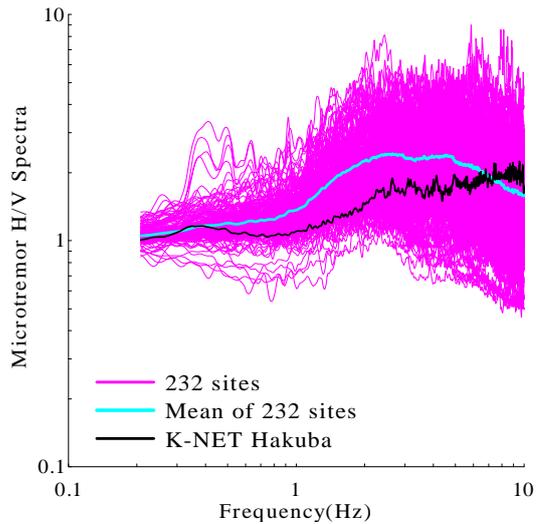


図-3 常時微動H/Vスペクトルの比較 (観測点との比較)

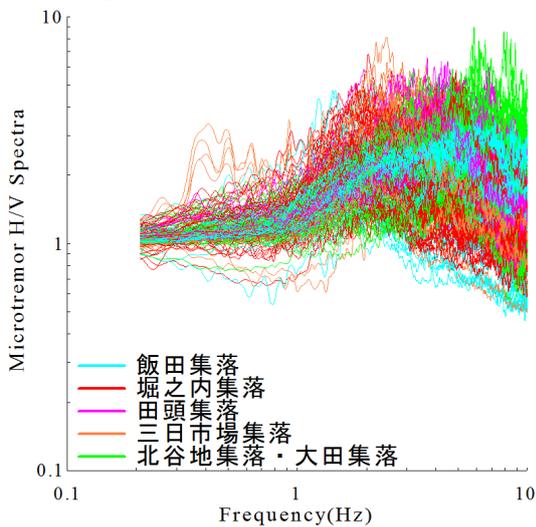


図-4 常時微動H/Vスペクトルの比較 (集落毎の比較)

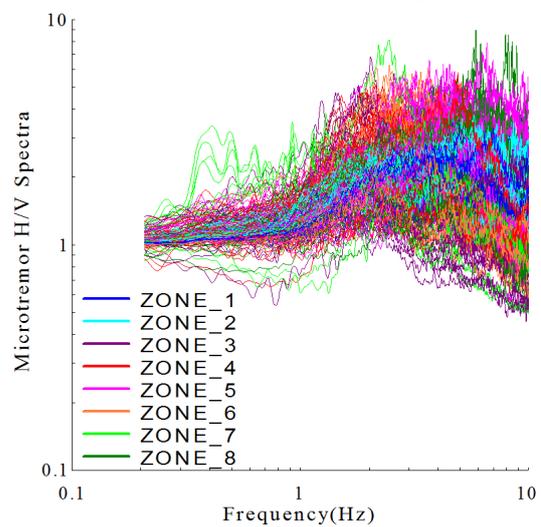


図-5 常時微動H/Vスペクトルの比較 (ゾーン毎の比較)

内における地震動を高密度に推定するには至っていない。

そこで本稿では、地震動の高密度評価を実施する上での基礎的検討として、神城地区内において高密度常時微動計測を実施し、得られた計測結果などに基づいて、サイト増幅特性を評価した結果について報告する。

2. 高密度常時微動計測

(1) 計測諸元

常時微動計測は、神城地区内における六つの集落(飯田集落(STA_1, 2, 3), 堀之内集落(STA_4), 田頭集落(STA_5), 三日市場集落(STA_6, 7), 北谷地集落・大田集落(STA_8) : 図-1参照)を含む、図-2に示す計232地点

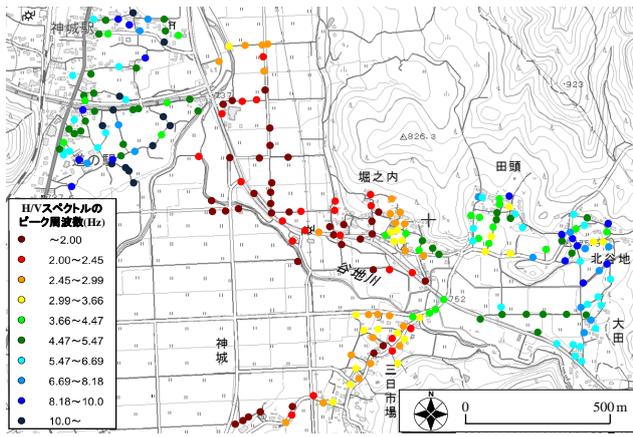


図-6 常時微動HVスペクトルのピーク周波数の分布

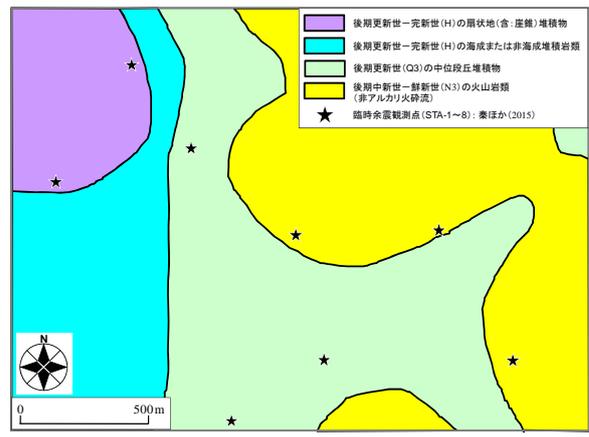


図-7 産業技術総合研究所による神城地区内の地質図²³⁾

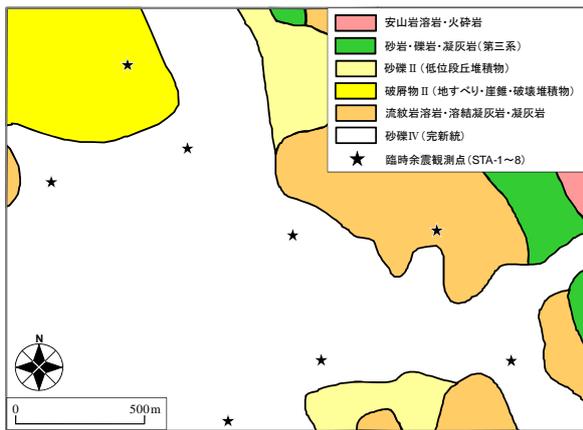


図-8 国土交通省による表層地質図²⁴⁾

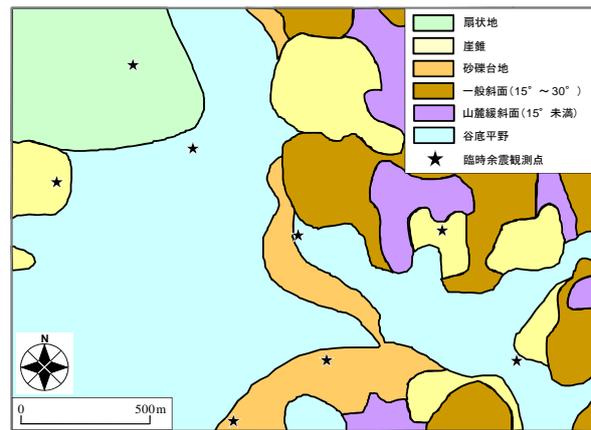


図-9 国土交通省による地形分類図²⁴⁾

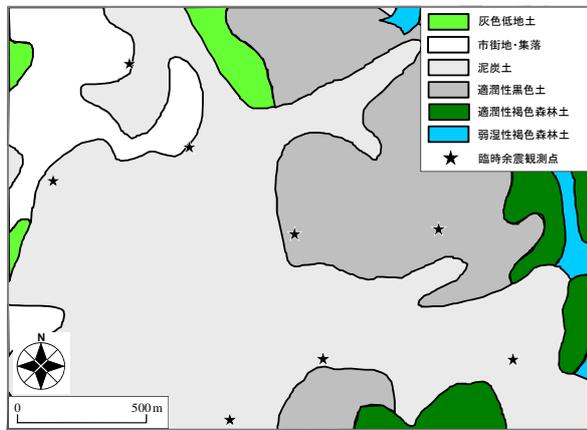


図-10 国土交通省による土壌図²⁴⁾

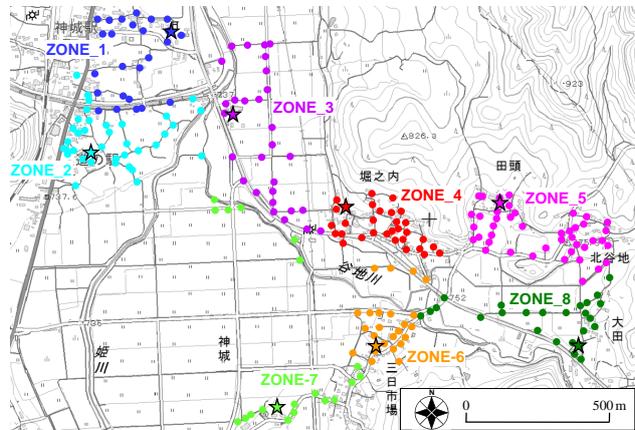


図-11 DGS値²³⁾に基づくゾーニング

において実施した。写真-1に常時微動計測状況の一例を示す。なお、日本地震工学会調査団^{12),13),14)}や著者ほか¹⁵⁾により先行的に実施された神城地区での微動計測よりも、本稿における微動計測のほうが高密度であることから、ここでは、高密度常時微動計測と呼ぶこととする。

計測期間は、2014年3月6~8日、2014年4月29日~5月4日の6日間である。計測は主に昼間に実施し、同型の8台の微動計(8台ともに白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計機器¹⁶⁾)を採用した。計測機器の諸元については、文献16)を参照されたい。計測方向は水平2成分と鉛直成分の計3成分であり、後述する常時微動HVスペクトル

の計算では、水平2成分の平均をとった。計測時間は、1計測点あたり30分間の単点計測とした。ここに、神城地区は山間部の比較的静穏な場所であるため、ノイズ等がHVスペクトルの特徴に影響する可能性が考えられるが、HVスペクトルの特徴が抽出区間長にほとんど依存していないことを確認している。

(2) HVスペクトルの評価

図-3, 図-4, 図-5は、K-NET白馬(既存強震観測点)に対する神城地区内(232地点)での常時微動HVスペクトルの比較を示す。常時微動HVスペクトルの計算処理方法

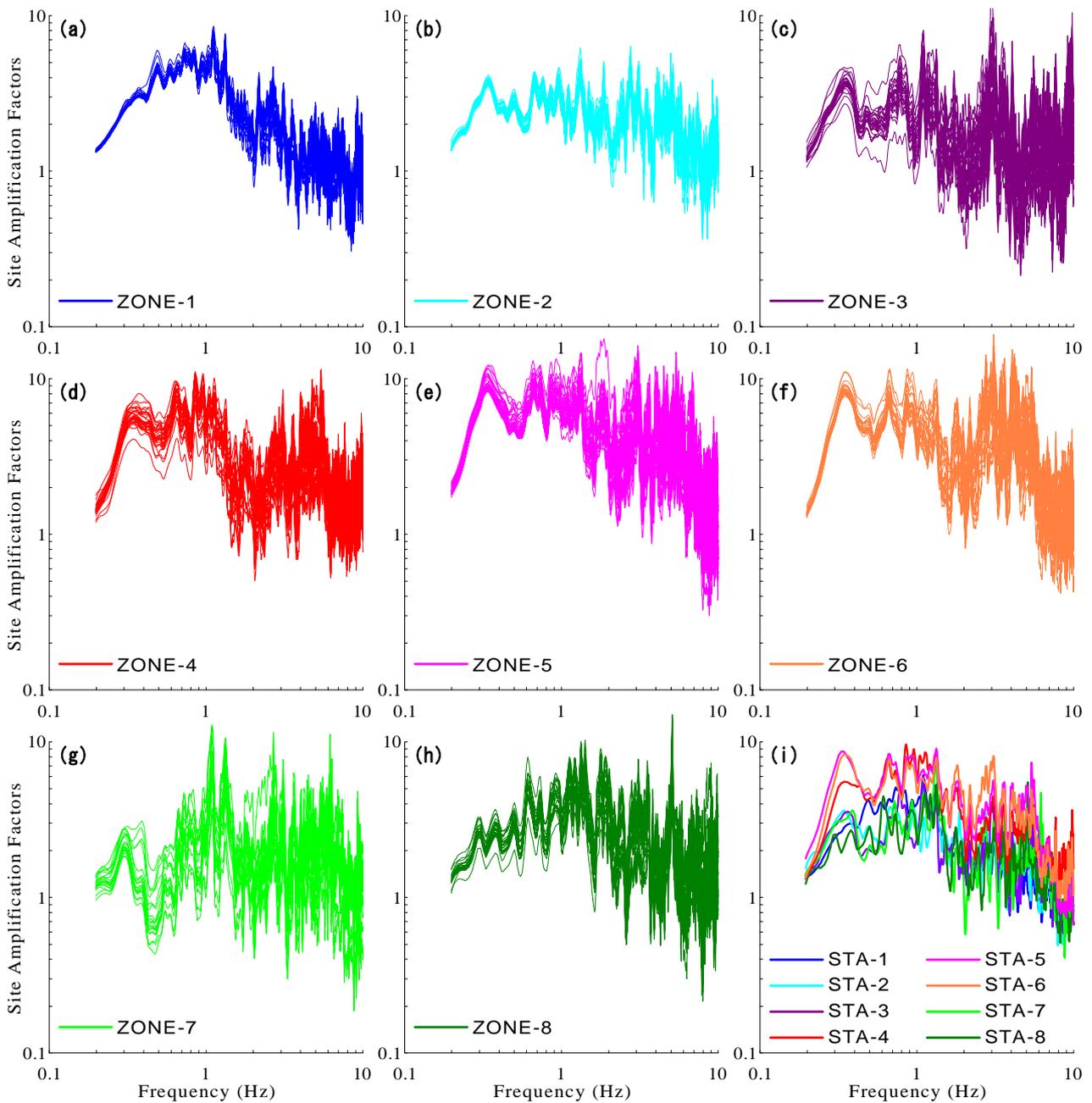


図-12 神城地区内における常時微動計測点でのサイト増幅特性(地震基盤～地表)の評価

としては、まず、微動の加速度時刻歴に対して0.1Hzのハイ・パスフィルターを施し、163.84秒の区間(雑振動(望ましくないノイズ等)が小さい163.84秒間)を10区間抽出し、フーリエスペクトルの計算を行い、バンド幅0.05HzのParzen Windowで平滑化したのちに、H/Vスペクトルを算出し、7区間の平均をとった。評価振動数の範囲としては、使用した微動計測器の性能¹⁰などを考慮して0.2～10Hzとした。ここに、神城地区は主に段丘斜面上に位置している集落もあり¹⁷、水平成層地盤の仮定が成立しない計測点も含まれている可能性がある(議論の余地が残されているが)、先行調査^{12,13,14}と同様のアプローチを採用することで、本稿においても常時微動H/Vスペクトルに基づいて地盤震動特性を評価した。

図-3, 図-4, 図-5に示すとおり、同じ神城地区内・同じ集落内・同じゾーン内(後述)においても、ピーク周波数やスペクトル形状などの常時微動H/Vスペクトルの特性がばらついているのが確認でき、神城地区内における地盤震動特性が一樣であるとは言い難い。さらに、K-NET白馬と神城地区における常時微動H/Vスペクトルの比較では、両者の特性が明らかに異なっていることから、K-NET白馬で得られた本震観測記録を、神城地区に作用した本震時の地震動として代表させることができない(神城地区への工学的な転用^{18,19,20}が極めて困難である)ことが示唆される。ここに、全232地点における詳細な位置情報および常時微動H/Vスペクトルの一覧については、文献21)の付録図を参照されたい。

図-6は、神城地区内における常時微動H/Vスペクトル(図-3参照)のピーク周波数を地形図上にプロットしたものである。ここに、ピーク周波数を常時微動H/Vスペクトルから読み取る際の取り扱い事項としては、近隣計測点との連続性(飛び地²²⁾の回避)や周波数帯域(10Hz以下もしくは以上)などは考慮せず、単純にピーク周波数を探索した。後述するサイト増幅特性の経験的補正(微修正)においても、読み取り探索によって得られたピーク周波数の値を直接使用した。図-6に示すように、飯田集落(東側)・堀之内集落・三日市場集落では暖色系(概ね4Hz以下の比較的的低周波帯域)、飯田集落(西側)・田頭集落・北谷地集落・大田集落では寒色系(概ね4Hz以上の比較的高周波帯域)のピーク周波数を示しているのが読み取れる。さらに、住家の深刻な被害が集中的に発生している堀之内集落・田頭集落・三日市場集落²⁾において、常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数が3集落でともに類似しているとは言い難い。

図-7に(国研)産業技術総合研究所による地質図²³⁾、図-8・図-9・図-10に国土交通省国土政策局による表層地質図・地形分類図・土壌図²⁴⁾を、臨時余震観測点(STA_1-8: 図-1参照)とともに示す。図-3(H/Vスペクトルのピーク周波数の分布)に対して図-7~図-10を比較すると、神城地区内における常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数の分布図に対する地質・地形・土壌の各種分類図の比較において、明らかな対応関係などを確認することができない。

3. サイト増幅特性の評価

(1) ゾーニング

本検討では、図-11に示すように、常時微動H/Vスペクトルによる神城地区内の地盤震動特性に基づいてゾーニングを実施した。ゾーニングの方法としては、DGS値²⁵⁾を用いた定量的方法²⁶⁾²⁷⁾を採用した。DGS値は、常時微動H/Vスペクトルの2地点間(臨時余震観測点STAと常時微動計測地点P)の比率の常用対数を取り、周波数範囲内(0.2-10Hz: 図-3参照)において積分した値²⁵⁾であり次式で表わされる。

$$DGS = \sum \log \left(\frac{R_{P_001-232}(f)}{R_{STA_1-8}(f)} \right) \cdot \Delta f \quad (1)$$

ここに、P_001-232は神城地区内における常時微動計測地点(全232点: 図-2参照)、STA_1-8は神城地区内における臨時余震観測点(全8点: 図-1参照)である。よって、式(1)に基づけば、臨時余震観測点では、DGS値は0.0となる。式(1)を用いて、まず、常時微動の各計測点(P_001-232)におけるDGS値を8つの余震観測点(STA_1

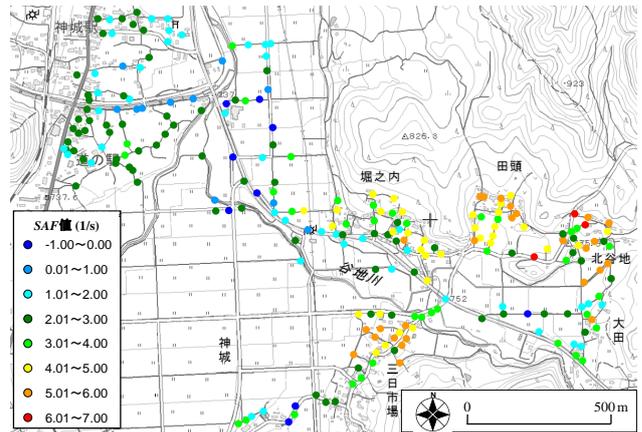


図-13 神城地区内におけるSAF値の分布 (0.2-10Hz)

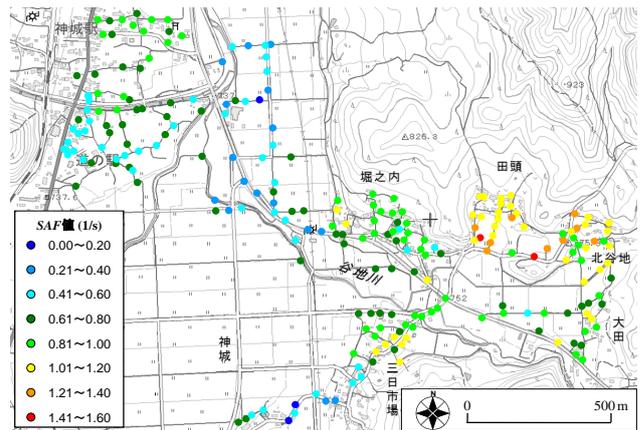


図-14 神城地区内におけるSAF値の分布 (0.5-2Hz)

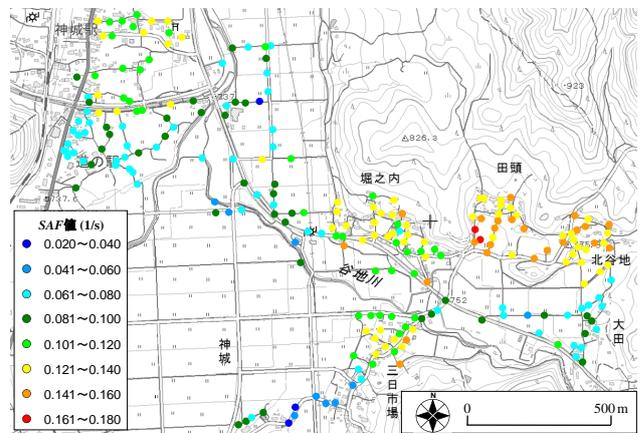


図-15 神城地区内におけるSAF値の分布 (0.67-0.83Hz)

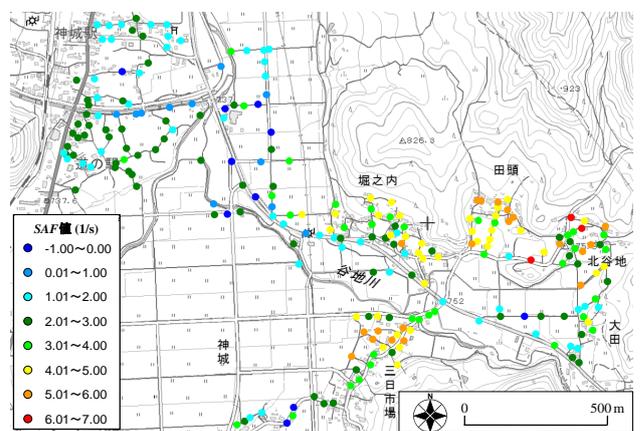


図-16 神城地区内におけるSAF値の分布 (0.4-10Hz)

—8)に対してそれぞれ計算し(すなわち、微動計測点毎に8つのDGS値を持つことになる)、次に、8つの余震観測点にそれぞれ対応する8つのDGS値の中から最も小さな値となる余震観測点を微動計測点毎に選択し、図-11に示すように、神城地区内を8つのゾーン(ZONE_1-8)に分割した。

(2) 経験的補正

サイト増幅特性(地震基盤～地表)は、各ゾーンの余震観測点(STA_1-8)において設定されたもの(図-12(i)参照)²⁾を参照した。ただし、2.(2)および3.(1)で述べたとおり、同じ神城地区内ならびに同一ゾーン内においても常時微動H/Vスペクトルの特性に差異が見受けられる。

そこで本検討では、既往の研究²⁶⁾²⁷⁾で行ったように、同一ゾーン内における余震観測点(STA_1-8)と微動計測地点(P_001-232)での常時微動H/Vスペクトルの比較に基づき、各ゾーンでの余震観測点(STA_1-8)におけるサイト増幅特性(図-12(i)参照)⁷⁾に対して、常時微動H/Vスペクトルのピーク周波数およびピーク振幅の違いに着目した経験的補正(微修正)²⁸⁾²⁹⁾を加えることによって、神城地区内の常時微動計測地点(P_001-232 : 図-2参照)におけるサイト増幅特性(地震基盤～地表)を評価した。図-12(a)～(h)にその評価結果を各ゾーン(ZONE_1-8)について示す。ここに、全232地点における詳細な位置情報およびサイト増幅特性(地震基盤～地表)の一覧については、文献21)の付録図を参照されたい。

(3) 被災・無被災集落との関係

本検討では、3.(2)で評価したサイト増幅特性の指標値として、SAF(Site Amplification Factor)値²⁾を採用した。SAF値は、サイト増幅特性の二深度間(基準地盤Bと地震動推定深度G)における比率の常用対数を取り、所定の周波数範囲内において積分した値²⁾であり、DGS値(1)式参照)を参考に次式で表される。

$$SAF = \sum \log \left(\frac{G(f)}{B(f)} \right) \cdot \Delta f \quad (2)$$

ここに、B(f)は任意の周波数帯における地震基盤でのサイト増幅特性の値(=1(固定値))、およびG(f)は任意の周波数帯における地盤地表面でのサイト増幅特性の値である。本検討では、積分区間となる周波数範囲として、サ

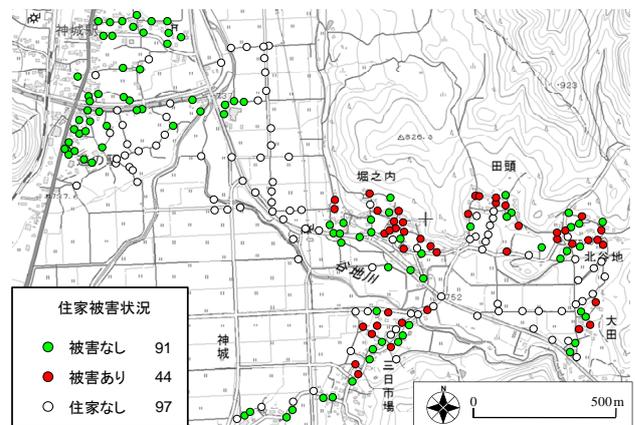


図-17 二価関数に基づく住家被害の有無に関する判定

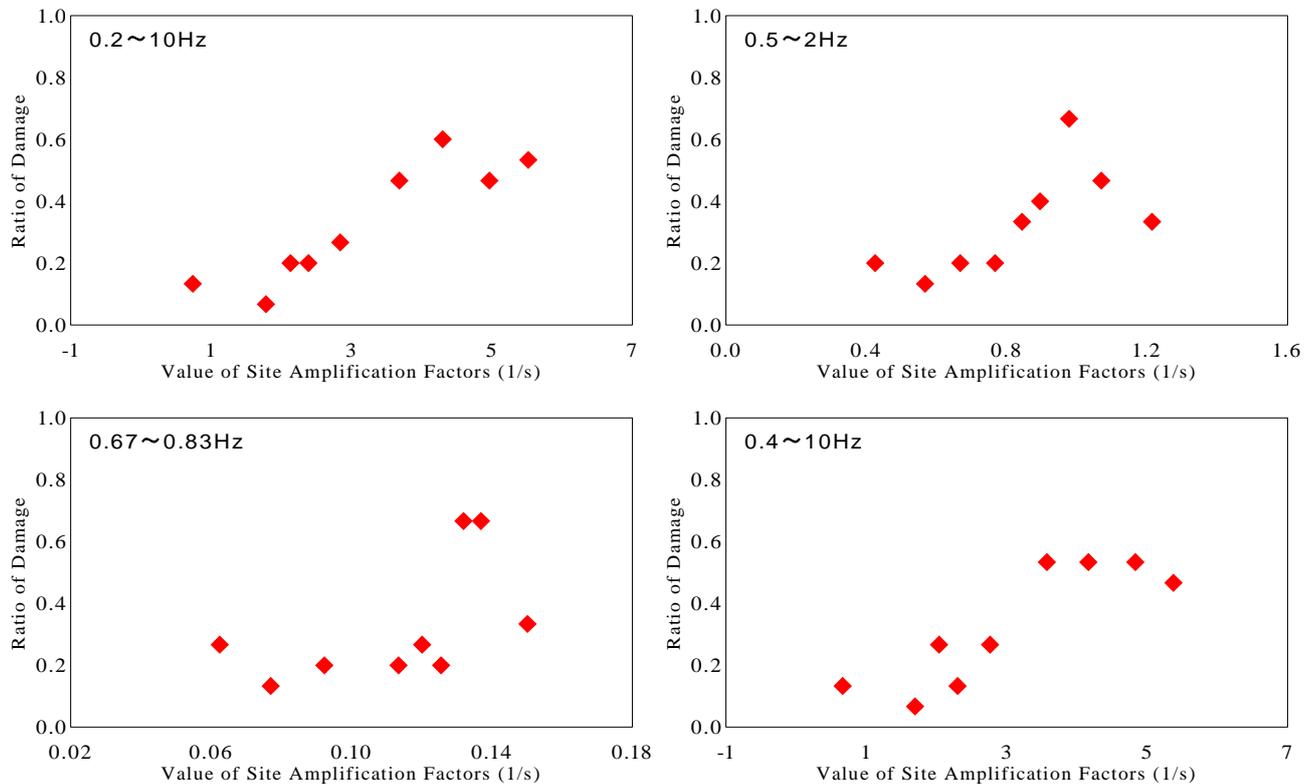


図-18 SAF値の着目周波数帯域に対する被害率の関係

イト増幅特性(図-12 参照)の表示区間(0.2-10Hz: 図-13 参照), やや短周期帯域⁸⁾³⁰⁾に着目した区間(0.5-2Hz: 図-14 参照), 修正計測震度³¹⁾に着目した区間(0.67-0.83 Hz: 図-15 参照), SI 値³²⁾に着目した区間(0.4-10Hz: 図-16 参照)をそれぞれ採用した.

図-13, 図-14, 図-15, 図-16 に神城地区内における SAF 値の 232 地点の分布を着目する推定地震動の周波数範囲について示す. 図-13, 図-14, 図-15, 図-16 に示すように, 住家の深刻な被害が集中的に発生している堀之内集落・田頭集落・三日市場集落²⁾において SAF 値が比較的大きくなる傾向があり, この傾向は, SI 値の周波数範囲に着目した SAF 値の分布においてより顕著に表れており(図-16 参照), 被災・無被災実績に対して SAF 値(SI 値)が調和的であることが読み取れる. 一方で, 長周期帯域に着目したケース(図-14・図-15 参照)では広帯域の周波数に着目したケース(図-13・図-16 参照)と比較して, 神城駅周辺において SAF 値が比較的大きくなっており, 被災・無被災実績に対して調和的ではあるとは言いがたい.

(4) 被害率との関係

図-17は, サイト増幅特性評価地点相当(常時微動計測地点相当)における住家被災の有無に関する分布である. 住家被災の有無の判断については, サイト増幅特性評価地点に最も近い住家(135地点)を対象に, 文献13)や著者ほかによる本震直後の調査結果に基づいて, 被災グレードD5, D4と判定³³⁾した住家(91地点)を被災有, 被災グレードD3, D2, D1, D0と判定³³⁾した住家(44地点)を被災無とした. なお, 近傍に住家が存在しないサイト増幅特性評価地点は対象外(97地点)とした. 図-17に示すように, 被災有と判断された地点は, 堀之内集落・田頭集落・三日市場集落に主に集中していることがわかる.

図-18は, 被害率³⁴⁾³⁵⁾の分布を上述した4種類のSAF値(図-13, 図-14, 図-15, 図-16参照)についてプロットしたものである. ここに, 被害率³⁴⁾³⁵⁾は, 以下に示す手順で計算した. まず, 被災有もしくは被災無(0または1)のデータと, それに対応する4種類のSAF値のデータ(データ数は135となる)をSAF値の小さい順に並び替えた. 次に, 並び替えたデータをSAF値が小さい順に順次15データずつ取っていった. 最後に, 15データごとに被害率(被災有と判断した数/地点数(=15)), ならびに対応する4種類のSAF値の平均値を算出した. すなわち, 被害率のデータが計9個作成されることになり, 1つの被害率には, 15つの住家の被災・無被災データとそれに対応する平均的なSAF値が含まれていることになる.

図-18に示すように, SAF値の種類(サイト増幅特性において着目する周波数帯域)に関わらず, 正の相関が確認できることから, 神城地区における住家の被災・無被災

の主要因として, 当該地点でのサイト増幅特性の大きさが支配的であることが示唆される. なお, 全体的には正の相関であるものの, SAF値が大きくなると被害率が頭打ち・低下しているが, 被害率算定の際に住家の耐震性能を一定と見なしていることが最大の要因であると思われる.

4. まとめ

本稿では, 2014年長野県神城断層地震による強震動の作用によって深刻な住家被害が発生した白馬村神城地区において高密度常時微動計測を行い, 神城地区での地盤震動特性を評価した. 得られた知見を以下に示す.

- (1) 神城地区では, ピーク周波数やスペクトル形状などの常時微動 H/V スペクトルの特性に有意なバラツキが確認できることから, 同地区内における地盤震動特性が一様ではない.
- (2) 神城地区と K-NET 白馬における常時微動 H/V スペクトルの特性が大きく異なっていることから, 神城地区に作用した本震時の地震動として K-NET 白馬で得られた本震観測記録を工学的に転用することはできない.
- (3) 神城地区内における常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数の分布特性において, 飯田集落(東側)・堀之内集落・三日市場集落では概ね 4Hz 以下の比較的低周波帯域が卓越する傾向があるのに対して, 飯田集落(西側)・田頭集落・北谷地集落・大田集落では概ね 4Hz 以上の比較的高周波帯域が卓越する傾向にある. これらの傾向は, 被災集落・無被災集落の区分に対して類似していない.
- (4) 神城地区内における地質・地形・土壌の違いに着目した各種分類は, 同地区内における常時微動 H/V スペクトルのピーク周波数の分布特性に対して, 明らかな対応関係を見出すことはできない.
- (5) 常時微動 H/V スペクトルの特性に基づく DGS 値を用いたゾーニング結果を踏まえて評価した神城地区内におけるサイト増幅特性の値(SAF 値)の分布は, 被災・無被災集落の区分に対して概ね調和的である.
- (6) サイト増幅特性の値(SAF 値)と住家の被害率は, 正の相関を有していることから, 神城地区における住家の被災・無被災の主要因として, 当該地点でのサイト増幅特性の大きさが挙げられる.

今後は, 本稿で評価したサイト増幅特性を用いて, 2014年長野県神城断層地震を対象とした強震動シミュレーションを行い, 神城地区内における強震動の分布を高密度に評価していきたいと考えている.

謝辞: 高密度常時微動計測の実施にあたり、白馬村役場の職員の皆様および神城地区の住民の皆様にご世話になりました。現地踏査の実施にあたっては山田雅行氏および住家被災調査の実施にあたっては羽田浩二氏(ともに(株)ニュージェック)にご協力いただきました。常時微動計測の実施にあたっては、牧加奈子氏および辻美佳子氏(ともに金沢大学)にご支援いただきました。本研究の遂行にあたり、科学研究費補助金・基盤研究C「地表面形状が表面波の分散曲線に及ぼす影響の評価と補正～地盤脆弱部の適切な把握へ～」(25420505)の一部を使用しました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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，平成 26 年 11 月 24 日災害情報プレスリリース，2014.
- 2) 小長井一男，吉見雅行，秦吉弥，後藤浩之，池田隆明：2014 年長野県北部の地震 地震被害調査速報，土木学会誌，Vol.100, No.2, pp.8-11, 2015.
- 3) 向坊恭介，佐藤英佑，鈴木祥之：木造建築物被害，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，pp.72-86, 2015.
- 4) 野津厚，一井康二：性能設計の発展型としての Evidence-Based Design の提案とその実現に向けた課題，第 13 回日本地震工学シンポジウム論文集，日本地震工学会，pp.3073-3080, 2010.
- 5) Hata, Y., Murata, A. and Miyajima, M.: Preliminary report on strong motion estimation at damaged and non-damaged clusters in Kamishiro District, Hakuba Village during a large earthquake ($M_{JMA}=6.7$) in northern Nagano Prefecture, central Japan, *Jour. of JSCE Disaster Fact Sheets*, FS2015-E-0001, 2015. <http://committees.jsce.or.jp/disaster/FS2015-E-0001> [Accessed Jan. 15, 2016]
- 6) Hata, Y., Nozu, A. and Ichii, K.: A practical method to estimate strong ground motions after an earthquake based on site amplification and phase characteristics, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol.101, No.2, pp.688-700, 2011.
- 7) 秦吉弥，村田晶，野津厚，羽田浩二，山田雅行，宮島昌克，藤木昂，常田賢一：経験的サイト増幅・位相特性を考慮した 2014 年長野県神城断層地震における白馬村神城地区での強震波形の広域評価，第 35 回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，Paper No.734, 2015.
- 8) 秦吉弥，村田晶，野津厚，宮島昌克：サイト特性置換手法に基づく 2011 年長野・新潟県境地震における栄村横倉集落での地震動の評価，日本地震工学会論文集，Vol.12, No.2, pp.60-77, 2012.
- 9) 秦吉弥，村田晶，野津厚，宮島昌克：2014 年長野県神城断層地震における特性化震源モデルの構築とその応用，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，I-223, pp.445-446, 2015.
- 10) Aoi, S., Kunugi, T., and Fujiwara, H.: Strong-motion seismograph network operated by NIED: K-NET and KiK-net, *Jour. of Japan Association for Earthquake Engineering*, Vol.4, No.3, pp.65-74, 2004.
- 11) 鷹野澄，瀧澤一，工藤一嘉，古村孝志，山中佳子，ト部卓，土井恵治：首都圏強震動総合ネットワーク SK-net, 記念シンポジウム「日本の強震観測 50 年」—歴史と展望—講演集，防災科学技術研究所資料，No.264, pp.119-122, 2005.
- 12) 山中浩明，地元孝輔，佐口浩一郎，津野靖士，盛川仁，飯山かほり，後藤浩之：余震による地震動観測と微動探査，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，pp.27-33, 2015.
- 13) 盛川仁，後藤浩之，吉見雅行，飯山かほり，竿本英貴：余震観測・微動単点観測，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，pp.34-39, 2015.
- 14) 笠松健太郎，森川淳，江藤公信，古川拓人，友澤裕介，川角佳嗣：墓石調査および微動単点観測，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，pp.40-43, 2015.
- 15) 棒田大介，牧加奈子，村田晶，宮島昌克，池本敏和，秦吉弥：2014 年長野県神城断層地震被災地区における常時微動観測，土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集，I-221, pp.441-442, 2015.
- 16) 先名重樹，安達繁樹，安藤浩，荒木恒彦，飯澤清典，藤原広行：微動探査観測システムの開発，第 115 回物理探査学会学術講演会講演論文集，pp.227-229, 2006.
- 17) 吉川登代子，秦吉弥，村田晶，山田雅行，常田賢一：高密度微動アレー計測による段丘斜面の震動特性の評価～長野県白馬村神城地区を例として～，第 18 回斜面防災対策技術フォーラム'15in 高松—若い技術者のために—講演集，斜面防災対策技術協会，pp.45-48, 2015.
- 18) 秦吉弥，釜井俊孝，王功輝：2011 年東北地方太平洋沖地震で被災した造成宅地における地震動の評価，日本地震工学会論文集，Vol.14, No.2, pp.181-184, 2014.
- 19) 秦吉弥，野津厚，中村晋，一井康二，酒井久和，丸山喜久：2011 年東北地方太平洋沖地震で被災した橋梁での余震観測と地震動の推定，日本地震工学会論文集，Vol.12, No.3, pp.49-52, 2012.
- 20) 秦吉弥，矢部正明，土屋智史，中村晋：臨時余震観測に基づく 2011 年東北地方太平洋沖地震による亀田大橋での強震動の評価，第 18 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，土木学会，pp.493-498, 2015.
- 21) 藤木昂，秦吉弥，村田晶，湊文博，常田賢一，古川愛子，一井康二，吉川登代子：高密度常時微動計測に基づく長野県白馬村神城地区におけるサイト増幅特性の評価，第 35 回地震工学研究発表会講演論文集，土木学会，Paper No.735, 2015.
- 22) 一井康二，秦吉弥，村田晶：道路盛土の耐震性評価のための地震動設定手法に関するアンケート調査，土木学会論文集 A1，Vol.68, No.4, pp.I_40-53, 2012.
- 23) 産業技術総合研究所：地質図表示システム(地質図 Navi)，地質調査総合センターホームページ，2013. <https://gbank.gsj.jp/geonavi/> [Accessed Jan. 15, 2016]
- 24) 国土交通省国土政策局：5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査[大町]，国土政策局国土情報課ホームページ，2003. <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/ZOOMA/2025/index.html> [Accessed Jan. 15, 2016]
- 25) Hata, Y., Nozu, A. and Ichii, K.: Variation of earthquake ground motions within very small distance, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, Vol.66, pp.429-442, 2014.

- 26) 秦吉弥, 秋山充良, 高橋良和, 後藤浩之, 野津厚, 一井康二: SPGA モデルと経験的サイト増幅・位相特性を考慮した 2011 年東北地方太平洋沖地震における長町高架橋での地震動とフラジリティカーブの評価, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.60A, pp.214-227, 2014.
- 27) 湊文博, 秦吉弥, 常田賢一, 畝田泰子, 小山真紀, 植田裕也: 常時微動計測および臨時地震観測の高密度化に基づく南海トラフ巨大地震における和歌山県広川町津波来襲予想地域での強震動の評価, 第 35 回地震工学研究発表会講演論文集, 土木学会, Paper No.740, 2015.
- 28) 長尾毅, 山田雅行, 野津厚: 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の経験的補正方法に関する研究, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.56A, pp.324-333, 2010.
- 29) 秦吉弥, 常田賢一, 林健二: 常時微動 H/V スペクトルを用いたサイト増幅特性の評価に関する試み, 地盤と建設, 地盤工学会, Vol.31, No.1, pp.125-131, 2013.
- 30) 川瀬博: 震源近傍強震動の地下構造による増幅プロセスと構造物破壊能—1995 年兵庫県南部地震での震災帯の成因に学ぶ—, 第 10 回日本地震工学シンポジウムパネルディスカッション資料集, pp.29-34, 1998.
- 31) 境有紀, 額綱一起, 神野達夫: 建物被害率の予測を目的とした地震動の破壊力指標の提案, 日本建築学会構造系論文集, No.555, pp.85-91, 2002.
- 32) Housner, G. W.: Intensity of earthquake ground shaking near the causative fault. *Proc. of 3rd World Conference on Earthquake Engineering*, Auckland, New Zealand, pp.94-115, 1965.
- 33) 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報告集, No.524, pp.65-72, 1999.
- 34) 中村孝明, 長沼敏彦, 静間俊郎, 篠塚正宣: 統計解析による道路橋脚の地震時損傷確率に関する研究, 第 10 回地震工学シンポジウム論文集, pp.3165-3170, 1998.
- 35) 秦吉弥, 酒井久和, 静間俊郎, 常田賢一, 湊文博, 吉川登代子: 既往の大規模地震における鳴瀬川堤防沿いでの推定地震動と被害率の関係, 土木学会第 70 回年次学術講演会講演概要集, I-224, pp.447-448, 2015.

(2015. 10. 25 受付, 2016. 2. 27 修正, 2016. 2. 29 受理)

EVALUATION OF SITE AMPLIFICATION FACTORS IN KAMISHIRO DISTRICT, HAKUBA VILLAGE, NAGANO PREFECTURE BASED ON MICROTREMOR MEASUREMENTS WITH HIGH DENSITY

Akira FUJIKI, Yoshiya HATA, Akira MURATA, Aiko FURUKAWA,
Koji ICHII, Ken-ichi TOKIDA, Fumihiro MINATO and Toyoko YOSHIKAWA

Strong motion due to the 2014 Northern Nagano Prefecture Earthquake (M_J 6.7) caused serious damage to wooden houses in Kamishiro District, Hakuba Village, Nagano Prefecture, Japan. In this study, first, microtremor measurements with high density were carried out at 232 sites in Kamishiro District. The ground shaking characteristics were then evaluated using the microtremor H/V spectra. Based on the empirical relationship between microtremor H/V spectrum and site amplification factor, finally, the site amplification factors from seismic bedrock to ground surface at 232 sites were evaluated. The evaluated site amplification factors will be useful in the strong motion estimation in Kamishiro District.