

# 熊本地震の益城町小谷地区における 建物被害推定のための表層地盤動特性評価

村田 晶<sup>1</sup>・秦 吉弥<sup>2</sup>・土田 美悠子<sup>3</sup>・向坊 恭介<sup>4</sup>・宮島 昌克<sup>5</sup>

<sup>1</sup>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

<sup>2</sup>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2-1)

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

<sup>3</sup>金沢大学理工学域環境デザイン学類 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail:k-8897@stu.kanazawa-u.ac.jp

<sup>4</sup>鳥取大学工学部土木工学系 助教 (〒680-8550 鳥取市湖山町南4-101)

E-mail: kmukaibo@cv.tottori-u.ac.jp

<sup>5</sup>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

2016年4月14日、16日に発生した熊本地震では、多くの木造家屋に被害を与えた。熊本県益城町小谷地区では木造家屋の被害が集中して見られ、小谷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、益城町小谷地区を対象に、建物悉皆調査を行うとともに、常時微動計測を用いた地盤特性の解明および地震動推定を行い、破壊力指標を用いた分析と建物の被害状況と比較し、本地震による被害を定量的に評価するため、建物悉皆調査の概略と常時微動計測を用いた地盤特性について評価する。

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

## 1. はじめに

2016年4月14日21時26分、熊本県熊本地方を震央とする、震源の深さ11km、気象庁マグニチュード6.5、モーメントマグニチュード6.2の地震（前震）が発生し、熊本県益城町で震度7を観測した。その28時間後の4月16日1時25分には、同じく熊本県熊本地方を震央とする、震源の深さ12km、マグニチュード7.3、モーメントマグニチュード7.0の地震（本震）が発生し、熊本県西原村と益城町で震度7を観測した（表1）。マグニチュード7.3は1995年に発生した兵庫県南部地震と同規模の大地震であり、全壊した住宅が約8,000棟、半壊が約18,000棟、一部破損が約73,000棟、確認されている。今回の地震では、ほぼ同じ震央でマグニチュード6クラス以上の地震が立て続けに起こり、内陸型地震でマグニチュード6.5以上の地震の後にさらに大きな地震が発生するのは地震の観測が日本において開始された1885年（明治18年）以降で初めてのケースであった。

表1 熊本地震概要<sup>1)</sup>

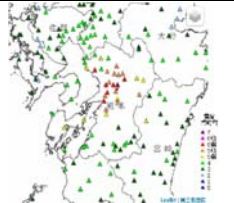
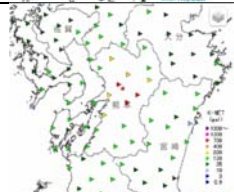
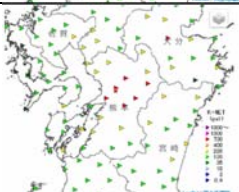
|         | 前震                                                                                   | 本震                                                                                    |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| 発生日時    | 2016/4/14/<br>21:26                                                                  | 2016/4/16/<br>1:25                                                                    |
| マグニチュード | M6.5                                                                                 | M7.3                                                                                  |
| 震源深さ    | 11km                                                                                 | 12km                                                                                  |
| 震度      |  |  |
| 最大加速度   |  |  |

表2 地震による建物被害の内訳<sup>2)</sup>

|        | 世帯数    | 全壊(棟) | 世帯数における全壊の割合(%) | 半壊(棟) | 世帯数における半壊の割合(%) |
|--------|--------|-------|-----------------|-------|-----------------|
| 熊本市    | 330960 | 2,042 | 0.006           | 8,829 | 0.027           |
| 宇城管内計  | 38209  | 607   | 0.016           | 2,127 | 0.056           |
| 玉名管内計  | 67903  | 17    | 0.000           | 94    | 0.001           |
| 菊池管内計  | 68908  | 178   | 0.003           | 1,731 | 0.025           |
| 上益城管内計 | 94833  | 4,810 | 0.051           | 5,115 | 0.054           |
| うち益城町  | 12827  | 3,955 | 0.308           | 3,094 | 0.241           |
| 阿蘇管内計  | 26695  | 725   | 0.027           | 1,179 | 0.044           |
| うち阿蘇市  | 11208  | 93    | 0.008           | 331   | 0.030           |
| うち南阿蘇村 | 4643   | 170   | 0.037           | 129   | 0.028           |
| うち西原村  | 2,528  | 451   | 0.178           | 680   | 0.269           |
| 八代管内計  | 59021  | 40    | 0.001           | 239   | 0.004           |
| 鹿本管内計  | 21402  | 0     | 0.000           | 5     | 0.000           |

また、一連の地震活動において震度7が2回観測されるのも初めてのことであった。5月27日現在での熊本地震における建物被害の内訳を表2に示す。表に示す世帯数における倒壊家屋の割合をみると、益城町、西原村で全壊の割合がほかの市町村に比べて高い。ここで、筆者らによる現地調査より、建物被害は秋津川、木山川、布田川に沿うように甚大な被害を確認することができるが、被害の状況には濃淡があり、震源近傍による強震の影響が支配的であるものの、表層地盤動特性により揺れが増幅した可能性もあるのではないかと考えた。なお、本稿が対象としている益城町小谷地区は、益城町役場と西原村役場のほぼ中間に位置する、主に木山川右岸で密集する集落である。周辺の地区より伝統構法による木造建築の割合が高いものの、概して一般的な農家型木造住宅が建ち並ぶ地区であり、本地区の被害を評価することで、既往の地震被害と同様に地震外力と建物被害との関係の評価ができるのではないかと考えた。

そこで本研究では、益城町小谷地区を対象に、建物悉皆調査を行うとともに、常時微動計測を用いた地盤特性の解明および地震動推定を行い、破壊力指標を用いた分析と建物の被害状況と比較し、本地震による被害を定量的に評価することを目的とする。なお、本稿では、小谷地区における建物悉皆調査の概略と常時微動計測を用いた地盤特性の評価について述べる。建物悉皆調査については、調査総数287棟に対し、建物概況(敷地環境、用途、構造形式、築年数、各部仕様)と被害状況(周辺地盤、建物各部の被害)から、表3に示す判定基準による総合判定を行う。ここで、調査結果のうち建物概況(用途)を図1に、建物概況(構造形式)を図2に、総合判定を図3に、用途別の総合判定を図4に、構造形式別の総合判定を図5に、それぞれ示す。

## 2. 常時微動観測

### (1) 常時微動について

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人工的または自然

表3 建物悉皆調査判定基準

| 判定基準 | 軸組架構     | 屋根       | 外壁       | 基礎      |
|------|----------|----------|----------|---------|
| 倒壊   | 層崩壊      | —        | —        | —       |
| 大破   | 傾斜大、一部崩壊 | 小屋組破損大   | 下地崩落     | 基礎崩壊    |
| 中破   | 傾斜中～傾斜小  | 屋根材ずれ、落下 | 仕上げ脱落    | ひび割れ・ずれ |
| 小破   | 傾斜小      | —        | 亀裂・仕上げ剥落 | 亀裂      |
| 軽微   | 傾斜なし     | 屋根材ずれ    | 軽微なひび割れ  |         |
| 無被害  | 外観上被害なし  |          |          |         |

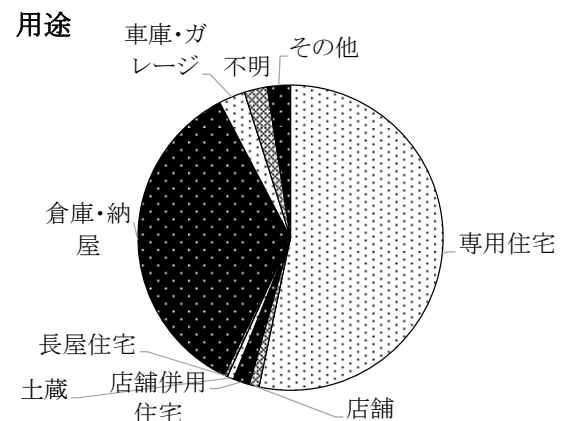


図1 建物概況 (用途)

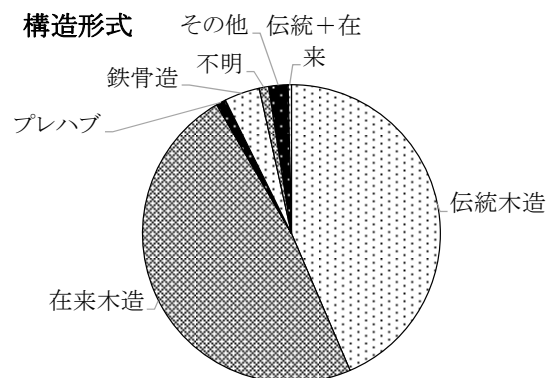


図2 建物概況 (構造形式)

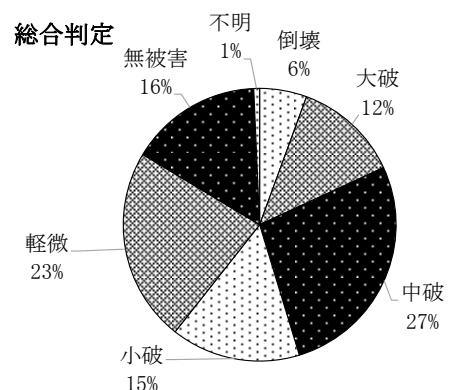


図3 建物被害総合判定

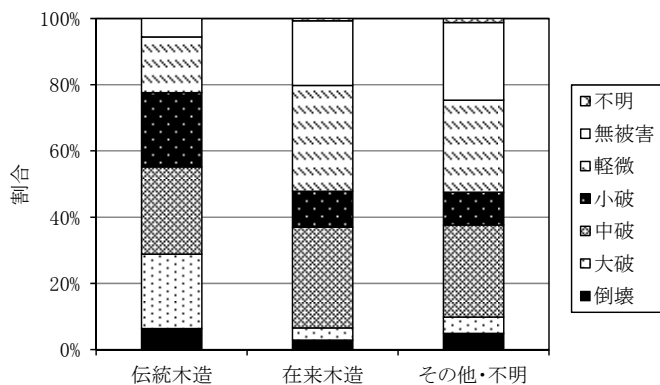


図4 建物被害総合判定 (用途)

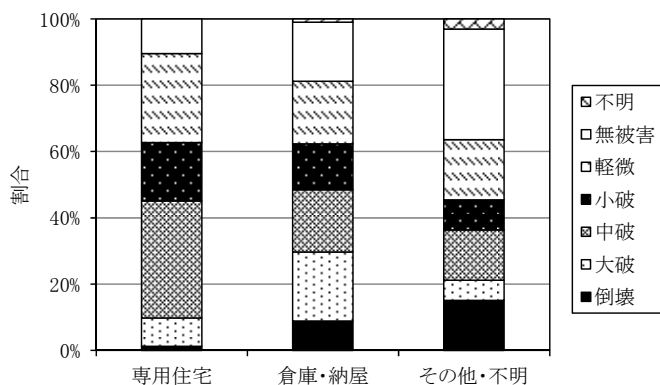


図5 建物被害総合判定 (構造形式)

現象による振動のうち、特定の振動源から直接的に影響を受けない状態で、さまざまな振動によって誘起される微小な地盤振動である。常時微動測定はこの微小な地盤振動を測定し、固有周期、増幅特性、地盤種別等の地盤の地震工学的特性を知る材料となる。常時微動観測は2016年7月27日の主に日中に行い、同型の7台による微動計(7台ともに白山工業(株)製の一体型微動探査兼地震計<sup>3)</sup>)を用いて合計72点の常時微動観測を行う。観測サンプリング振動数は100Hzである。観測時間は各測定点において約30分間とする。計測地点は図6中の黄丸である。

## (2) H/Vスペクトル比の算出手法

常時微動観測データより、N-S, E-W, U-D 成分それぞれにおいて、比較的安定している4096点を5箇所抜き出し、それらを平均する。それぞれの値をフーリエ変換し、バンド幅0.4HzのParzen Windowsにより平滑化を行うことによりH/Vスペクトル比を求める。この時、水平成分HはN-S, E-W成分の相乗平均値、鉛直成分VはU-D成分の値とする。

## (3) 地盤特性の把握手法

常時微動観測結果より求めたH/Vスペクトル比で周期-H/Vスペクトル比のグラフを作成し、卓越周期を



図6 常時微動測定地点



求める。ここで文献<sup>例えば 4)</sup>より、 $H/V$  スペクトル比の卓越周期を地盤の固有周期とみなすが、深部地下構造を本稿では考慮しないため、地区の特性から周期 1s より長周期でピークとなるような調査地点については、判断を割愛するかピーク不明として評価する。ここで、卓越周期分布を評価するため、グラフ形状により分類を行う。分類は 4 種類とする。グループ a は抜き出した卓越周期が殆ど同じである地点である。グループ b は抜き出した卓越周期に少しばらつきがあるものの、平均すると卓越周期の算出が可能な地点である。また、グループ c はピーク周期が明瞭でなくグラフが平坦である地点であり、どのデータもグラフの波が小さい。グループ d は 5 箇所の卓越周期に大きなばらつきがあり、卓越周期が算出できない地点であり、平均の波がどちらかというと平坦である。それぞれのグループのグラフ形状の代表例を図 7 にそれぞれ示す。

えるピークが判別できない。グループ d では図 17 に示すように、SW012 で長周期側に盛り上がりがあるが、明瞭なピークと言って良いか判断に迷う。

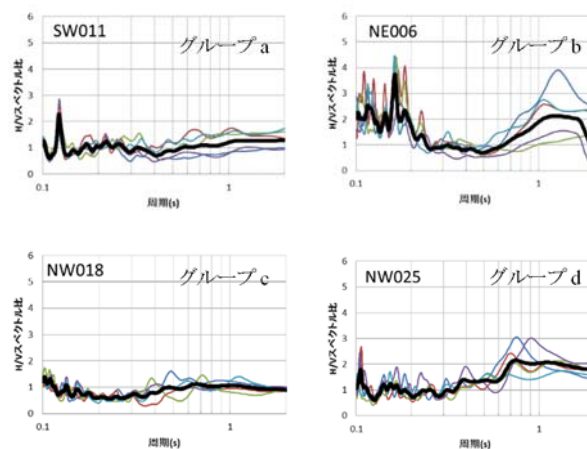


図 7 周期 -  $H/V$  スペクトル比グラフの一例

### 3. 常時微動測定結果および考察

各地点の  $H/V$  スペクトル比を算出した結果について、図 1 に示す点線で分割した 4 地区に分けて考察する。

#### a) 西北部

図 8 に示すように西北部ではグループ b とグループ d の割合が高い。グループ b は比較的南に多く分布しており、グループ d は北に多く分布している。卓越周期については図 9～図 12 に示すが、グループ a では図 9 に示すように、NW019 で長周期側で成分を有する特性となっているものの、概して卓越周期が 0.1～0.2s の間にある。グループ b では図 10 に示すように、卓越周期が 0.1s～0.2s が 7 点、0.21s～0.4s が 1 点、ピーク不明が 2 点であり、全般的には短周期側に成分を有する特性となっている。グループ c では図 11 に示すように、NW018, 020 のように 0.4s～0.5s にピークがあるように見えるが明瞭ではない。概して短周期側に成分を有しているように見える。グループ d では図 12 に示すように、NW001, 002, 005, 010, 025 のように長周期側に成分を有しているように見えるが明瞭ではない。NW004 のように 0.3s 付近にピークがあるように見えるが明瞭ではない。その他は概して短周期側に成分を有しているように見える。

#### b) 南西部

図 13 に示すように、南西部のうち西側にグループ a とグループ b が分布し、東側の木山川支川左岸にグループ c とグループ d が分布しているように見える。グループ a では図 14 に示すように、西北部同様すべての点の卓越周期が 0.1～0.2s の間にある。グループ b では図 15 に示すように、長周期側がうるさいが、成分として卓越周期が 0.1s～0.2s にピークの存在を確認できる。グループ c では図 16 に示すように、短周期側の明瞭なピークに変わり、これと言

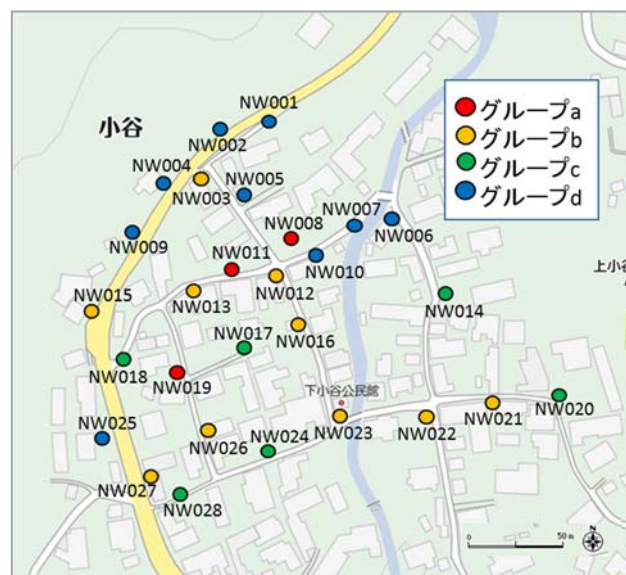


図 8 西北部

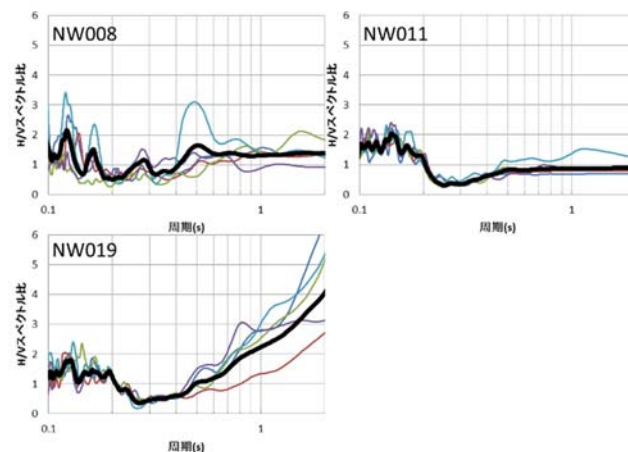


図 9 西北部グループ a

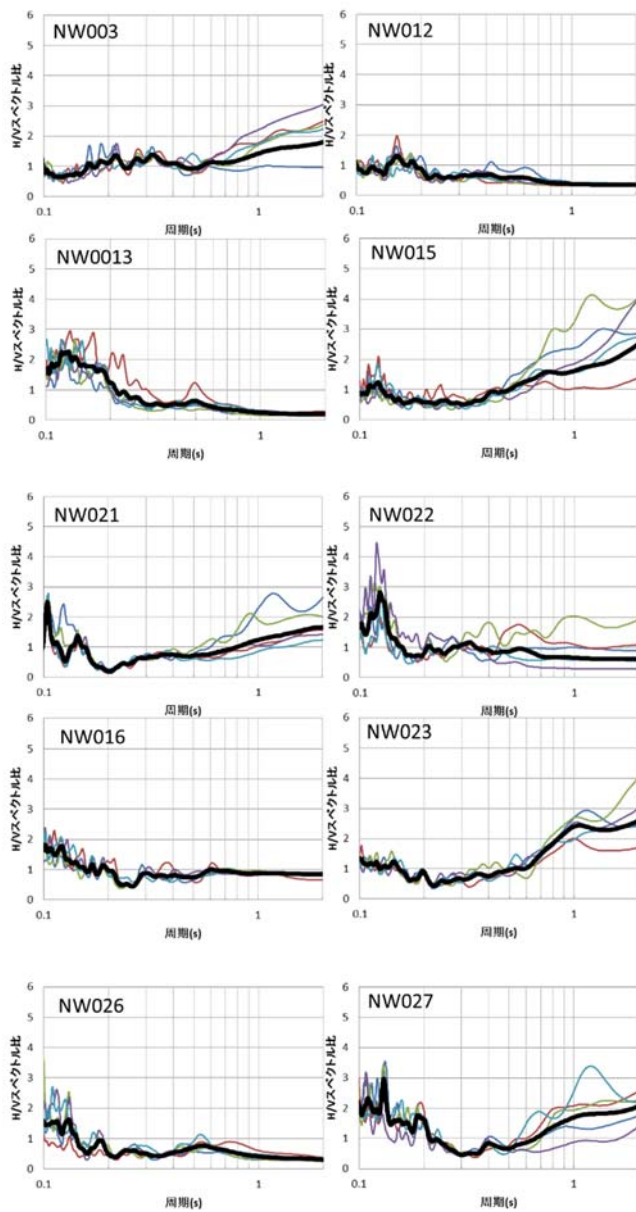


図10 北西部グループb

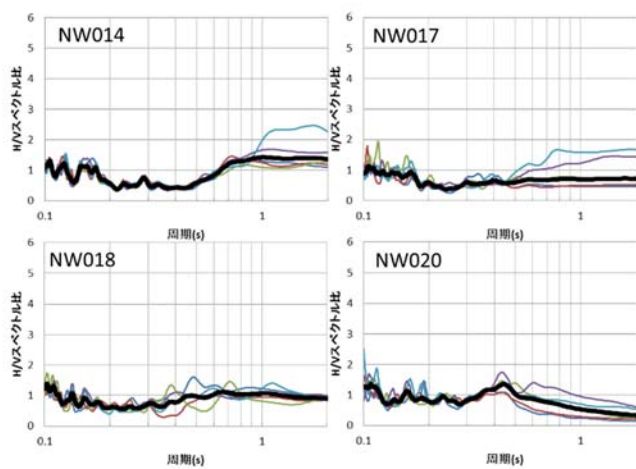


図11 北西部グループc

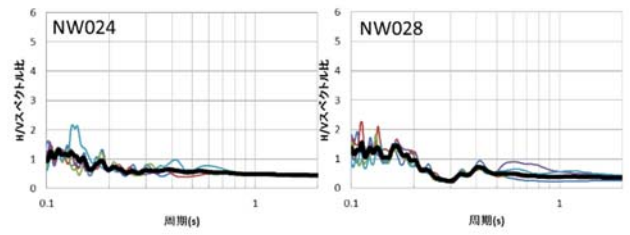


図12 北西部グループc (つづき)

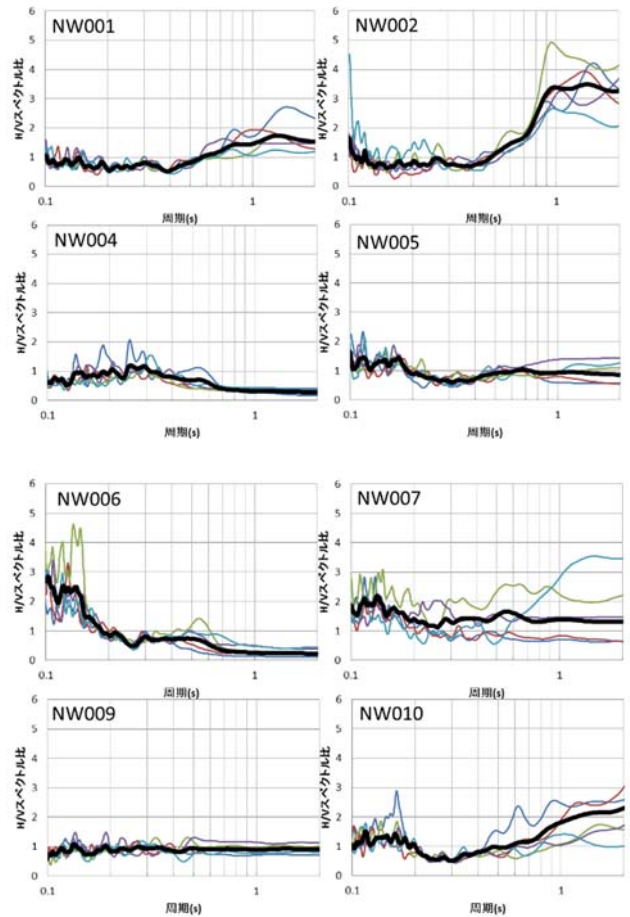


図13 北西部グループd

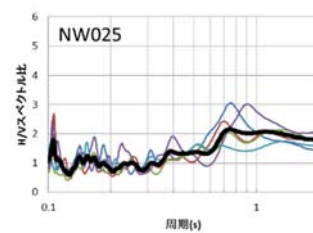


図14 北西部グループd





図13 南西部

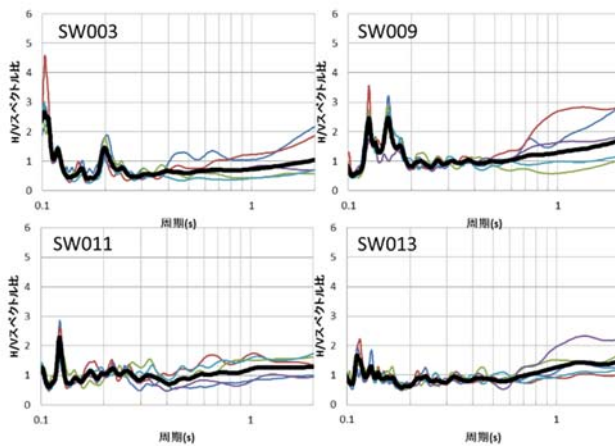


図14 南西部グループ a

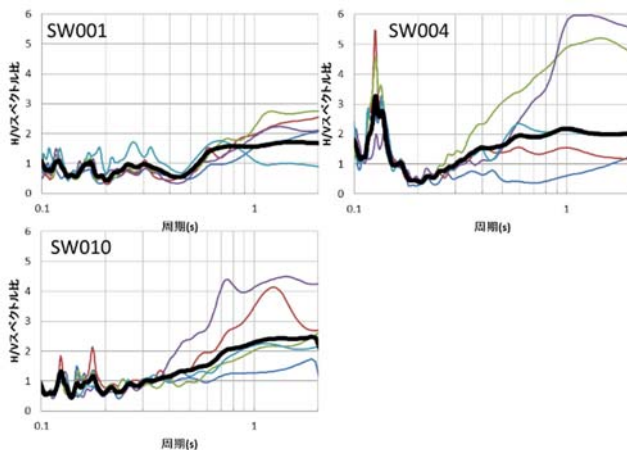


図15 南西部グループ b

#### c) 北東部

北東部では図18に示すように、グループaが確認できない。グループbでは図19に示すように、すべての地点で周期0.1s~0.2sでピークを確認できる。グループcでは図20に示すように、周期0.1~0.2sの成分が明瞭でなく、

長周期側で盛り上がっているように見える。グループdでは図21に示すように、周期0.1s~0.2sにピークがあるが、明瞭ではない。

#### d) 南東部

南東部では図22に示すようにグループdの割合が大きい。グループaでは図23に示すように、周期0.1~0.2sの間にピークがあるが、SE006を除きそれほど明瞭ではない。グループbでは図24に示すように、周期0.1s~0.2sと長周期の盛り上がりが確認できる。グループcでは図25に示すように、周期0.1~0.2sのピークが確認できない。グループdでは図26に示すように、例えばSE006では周期0.6s

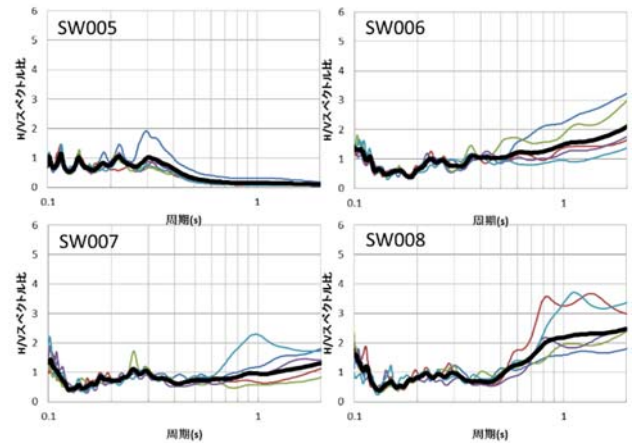


図16 南西部グループ c

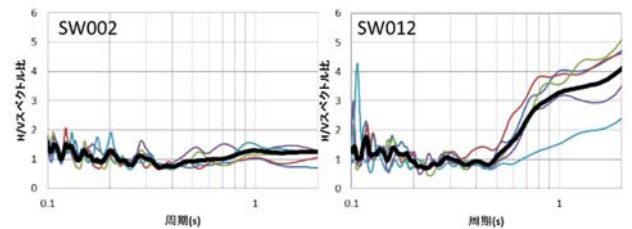


図17 南西部グループ d

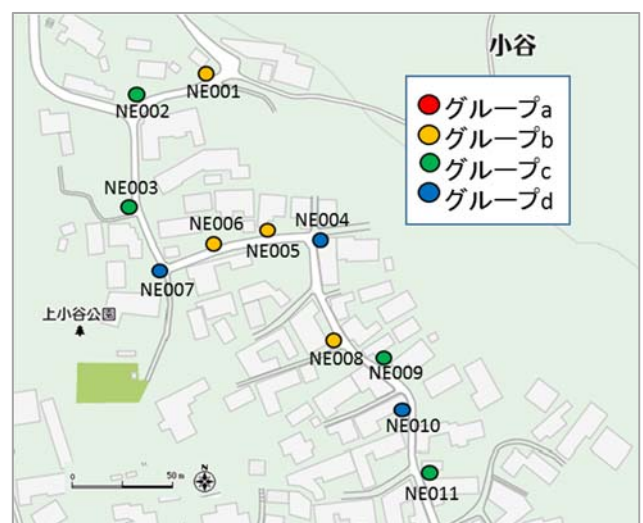


図18 北東部

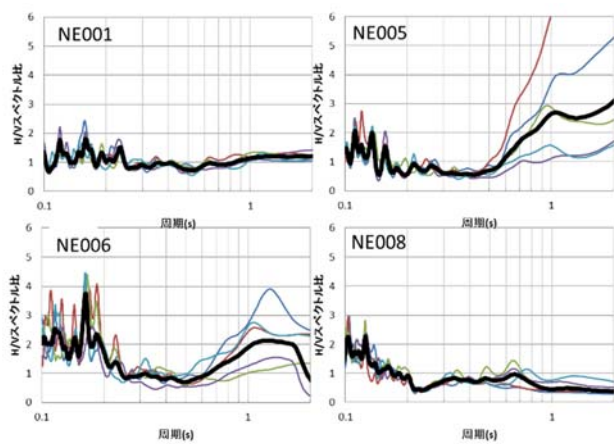


図19 北東部グループb

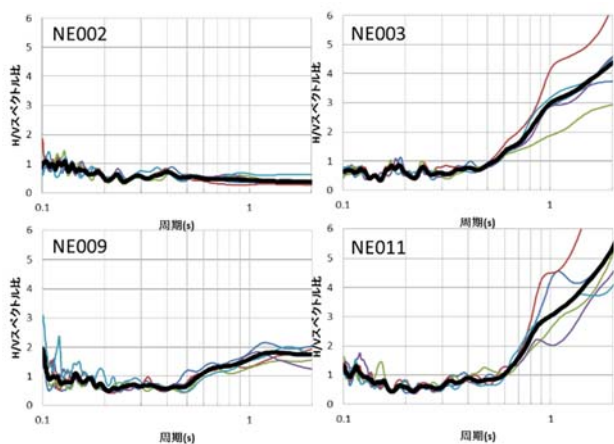


図20 北東部グループc

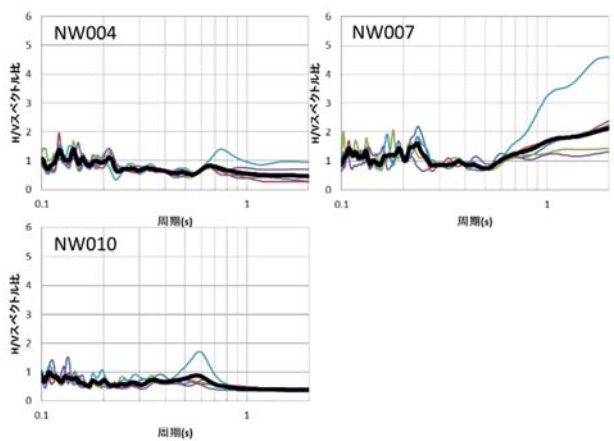


図21 北東部グループd

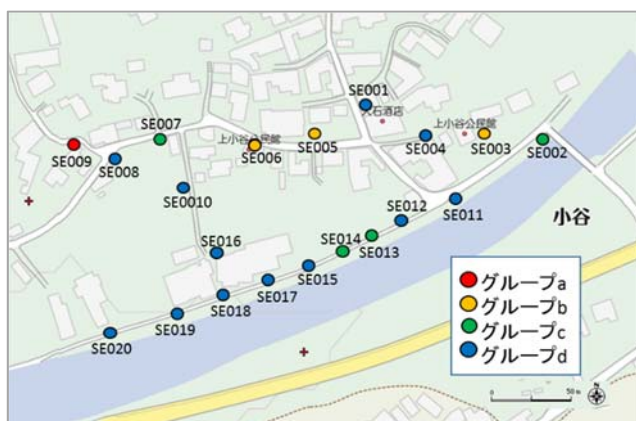


図22 南東部

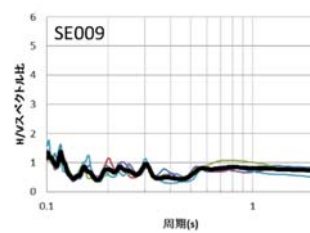


図23 南東部グループa

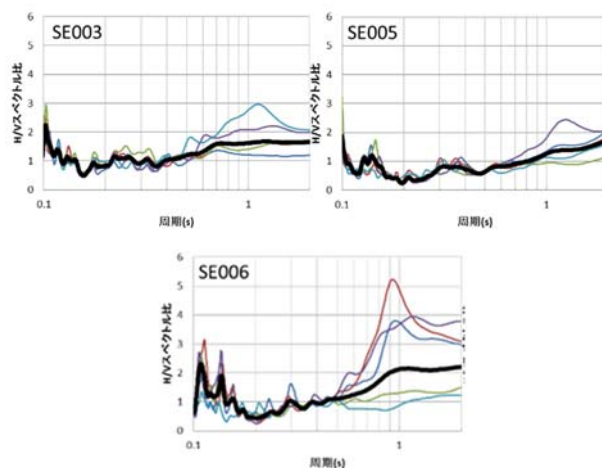


図24 南東部グループb

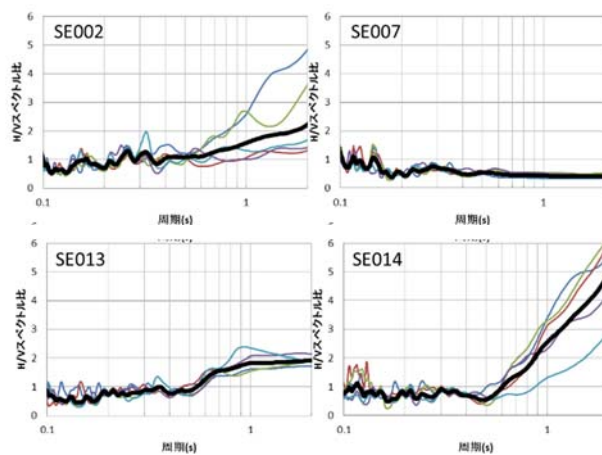


図25 南東部グループc



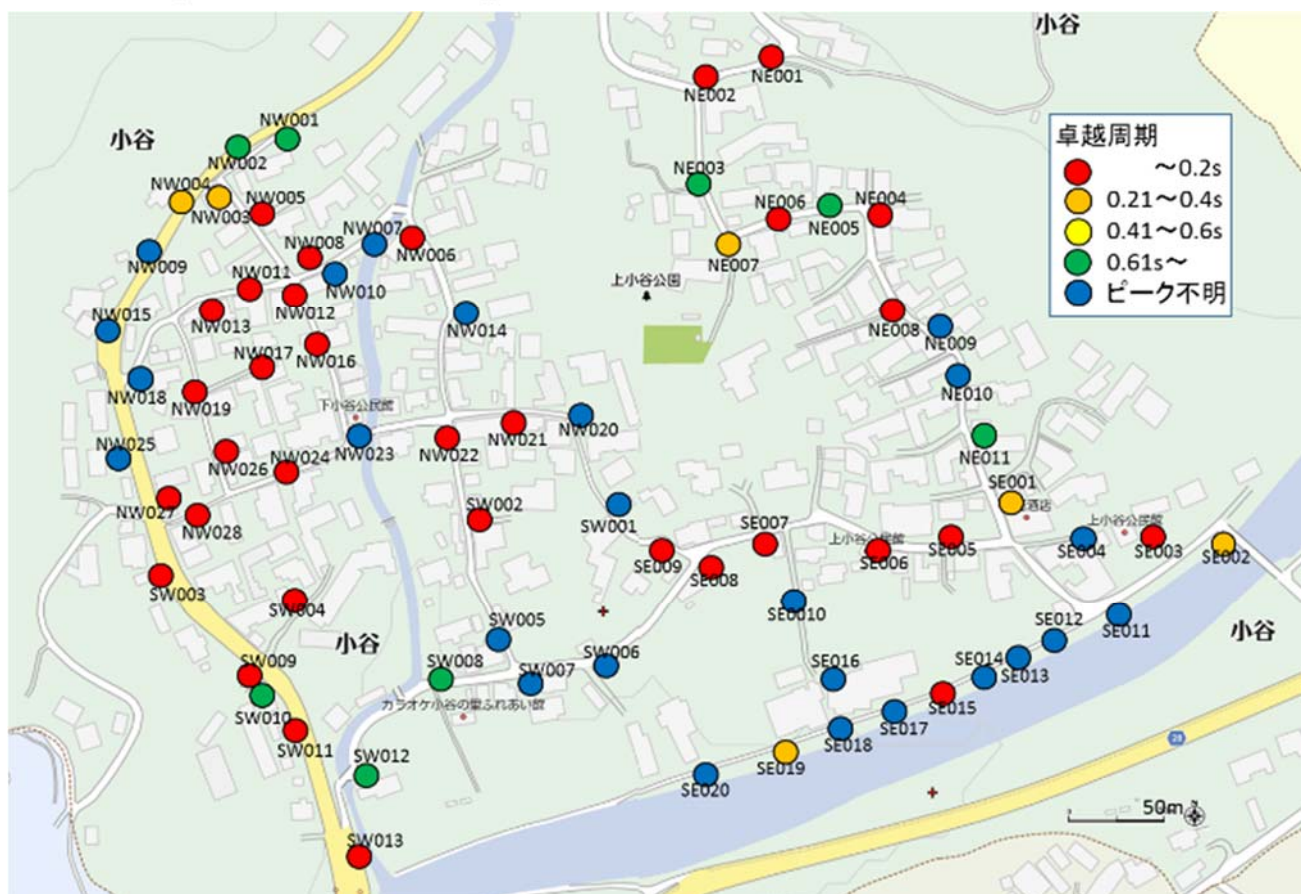
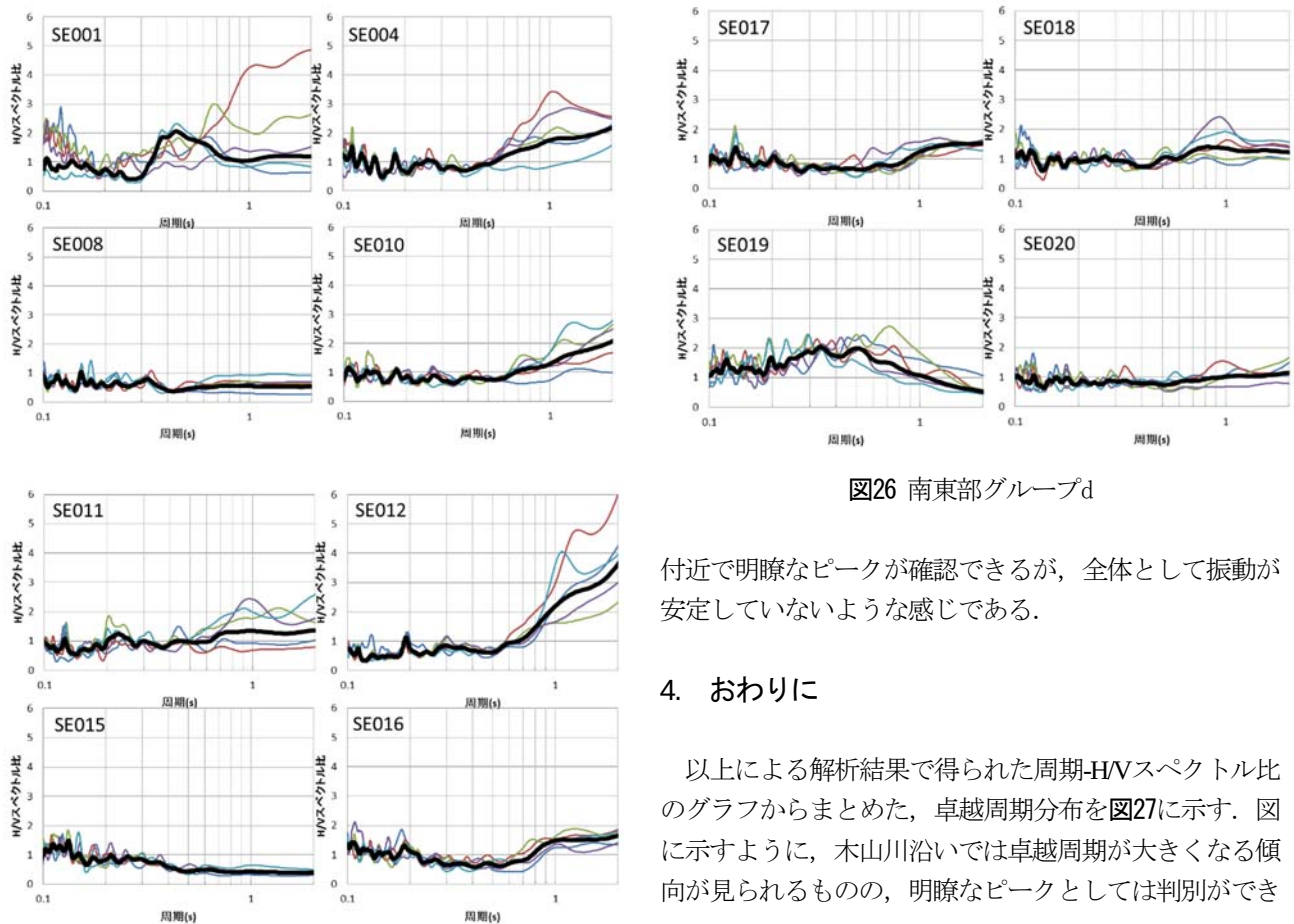


図27 卓越周期分布図



なかった。木山川から北に向かい傾斜を上っていくと卓越周期が小さくなるという傾向が見られる。ただし、北西部の道路沿いは盛土等による整備の影響か、やや長周期の特性を有している。北西部～南西部の木山川支川沿いは上流からの河川堆積物の影響（上流に簡単な砂防堰堤が存在する）か、同様にやや長周期の特性となっており、周辺よりは軟らかい地盤であると思われる。また、地区内では1種地盤が支配的であり、地震動としては激震地域である益城町役場南部と比べ、短周期成分が卓越する地震動である可能性が高いと思われる。今後は、悉皆調査による各建物の被害状況と、常時微動を利用した簡易地震動推定を組み合わせ、地震外力と建物被害との関係について考察する予定である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、常時微動計測および臨時地震観測の実施にあたっては、現地の住民の皆様などに大変お世話になりました。また、常時微動計測の実施

では、中西一仁氏（金沢大学学生）および湊 文博氏、山内政輝氏（大阪大学学生）の協力を頂きました。建物悉皆調査につきましては日本建築学会近畿支部木造部会の各氏にご協力頂きました。以上、ここに記して謝辞を表します。

#### 参考文献

- 1) 気象庁ホームページ <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
- 2) 熊本県災害対策本部ホームページ（5月27日アクセス）  
[http://www.pref.kumamoto.jp/kiji\\_15459.html](http://www.pref.kumamoto.jp/kiji_15459.html)
- 3) 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.
- 4) 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.

(2016.9.2 受付)

## EVALUATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS ON GROUND DUE TO ESTIMATE DAMAGES OF WOODEN HOUSES IN OYATSU RESIDENTIAL CLUSTER, MASHIKI TOWN, JAPAN

Akira MURATA, Yoshiya HATA, Miyuko TSUCHIDA,  
Kyosuke MUKAIBO and Masakatsu MIYAJIMA

Serious damage of wooden houses was occurred in Oyatsu residential cluster, Mashiki Town, Japan, during the 2016 Kumamoto earthquake sequence. It is important to clarify damage to wooden houses against these earthquakes. In this study, damage of wooden houses are investigated wholly in Oyatsu residential cluster, and microtremor observation with high dense spatial location was carried out in the cluster. Next, we estimate strong motion at the residential site using the microtremor observation. Finally, we evaluate the relationship between wooden houses damage and strong motion usefully.