能登半島地震被災地区における高密度常時微動 観測と建物被害との関係について

六町優斗 1·村田晶 2·山田雅行 3·中村友紀恵 4·藤原広行 5·宮島昌克 6

¹非会員 金沢大学大学院 自然科学研究科環境デザイン学専攻(〒920-1192 石川県金沢市角間町) E-mail: kanazawa66@stu.kanazawa-u.ac.jp

2正会員 金沢大学・助教 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

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

3正会員 ニュージェック(株) (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東二丁目 3番 20 号)

E-mail:yamadams@newjec.co.jp

4正会員 ニュージェック(株) (〒531-0074 大阪府大阪市北区本庄東二丁目 3番 20 号)

E-mail:nakamuraye@newjec.co.jp

5正会員 防災科学研究所(〒350-0006 茨城県つくば市天王台 3-1)

E-mail:fujiwara@bosai.go.jp

6正会員 金沢大学・教授 理工研究域地球社会基盤学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

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

本稿では、2007 年に発生した能登半島地震の被災地区である、輪島市(旧 門前町)走出、道下、黒島地区において 高密度による常時微動観測を実施し、H/V スペクトル比を用いて地盤動特性を評価するとともに、家屋地震被害と常時 微動による地盤動特性の関係について考察する。その結果、走出、黒島地区の家屋被害と地盤増幅度の関係、ならびに 走出地区、道下地区の家屋被害と地盤固有周期との関係にある程度の相関が認められることが明らかとなった。しかし ながら、建物強度の被害への影響が大きく、地盤動特性要因のみでは建物被害を説明できるほどの関係でないことも明 らかとなった。

Key Words: 2007 年能登半島地震,常時微動観測, 固有周期,地盤增幅度,建物被害

1. はじめに

我が国では被害地震が頻発しており、震源近傍では特に甚大な構造物被害を及ぼす.しかし、同一地区内で建築構造が同様で建物強度に大きな差がみられない場合でも構造物の被害の状況に違いが見られる.したがって、被災地区最寄りの自治体観測強震計や K-NET や KiK-net などの防災科研強震観測網による強震観測記録のみから地震被害の実態を把握することは、地震計設置の空間的密度が低いため、困難であると考えられる.ここで、地区内の地盤動特性については防災科学研究所が提供している J-SHIS¹⁾ を用いることで評価することが可能であるが、これも空間的解像度がそれほど高くないため、地区全体の特性を把握するに留まるのが現状である. ゆえに、高密度の地盤動特性や地震動特性を把握するためには別のアプローチが必要となる.

そこで本稿では、地盤動特性、ならびに地震動特性を評価するため、高密度による常時微動観測を用いる、常時微動観測、研究は古くから行われている

が、例えば中村、上野 2)は観測された常時微動の H/V スペクトル比を用いることで、周辺の振動源特 性を除去した地盤の固有周期推定法を提案している. また、堀家3)は常時微動のH/Vスペクトル比の周期 特性がレイリー波の周期特性を反映し、地盤動特性 の推定に利用できる可能性を示している. 時松, 宮 寺 4)は短周期微動の H/V スペクトル比の周期特性が レイリー波の特性をよく反映していること、および H/V スペクトル比が最大になる周期が地盤の固有周 期に一致する可能性を示している. さらに, 常時微 動を利用した地震動の推定を試みる研究も多く行わ れており、丸山ら 5は、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. また, 原田ら %は, 地 震動と常時微動のH/Vスペクトル比は完全には一致 しないとし、地震動と常時微動の H/V スペクトル比 を一致させるような補正係数の定義・モデル化を行 っている、その後、中村ら 7)によって補正係数の修 正が行われ、さらなる精度の向上を図っている. 本

稿では常時微動観測を用いた地震動推定をする際の 基礎的データとして,2007 年能登半島地震の被災 地区における高密度常時微動観測を実施した結果を 報告する.

2. 2007年能登半島地震の被害概要

2007年3月25日9時42分頃,能登半島沖の北緯37度13分,東経136度41分,深さ約11kmを震源とするM6.9の地震が発生したこの地震によって石川県能登地方を中心に七尾市,輪島市,穴水町で震度6強,志賀町,中能登町,能登町で震度6弱を記録した。また,石川県以外でも新潟県,富山県内で最大震度5弱を観測したのをはじめ,北陸地方を中心に北海道から中国,四国地方にかけて最大震度5弱〜震度1を観測した。被害概要のうち建物被害については、全壊686棟、半壊1,740棟、一部損壊約27,000棟が報告されている8.

ここで,筆者らによる,被災地区(輪島市門前町 走出,道下,黒島地区)における建物悉皆調査を示す.

建物被害は、岡田・高井らによる分類⁹をもとに、現地の建物構造を反映した分類方法とし、被害レベル別に以下 (D0~D5) のように分ける.ここで各被害レベルは以下のように定義する. D0:無被害、D1:一部破壊(壁面の亀裂、外装材の若干の剥離)、D2:一部破壊(屋根瓦、壁面のモルタル等の大幅な剥離)、D3:半壊(柱、梁の一部が破壊されたもの)、D4:全壊(柱、梁が破壊され内部空間が欠損したもの)、D5:全壊(破壊がかなり及ぶもの、あるいは瓦礫化したもの).

さらに、比較検討を平易にするために被害レベルD0からD2を黄色の無被害・一部損壊に、D3を橙色の半壊に、D4、D5を赤色の全壊にそれぞれ色を区別して着色する.以上により地区ごとに作成した被害分布図を図-1~図-3にそれぞれ示す.走出地区は、全棟数463棟、うち全壊23%、半壊22%、無被害・一部破損55%である.人ヶ川の南部の住宅密集地帯に全壊や半壊が多いことがわかる.しかし、人ヶ川の北部は棟数が少ないものの、被害をあまり受けていないことがわかる.

道下地区は,全棟数 413 棟, うち全壊 32%, 半壊 27%, 無被害・一部破損 41%である.全壊が 3 割を超 えており, 地区全体に偏りなく分布していることが わかる.

黒島地区は,全棟数 288 棟,うち全壊 23%,半壊 15%,無被害・一部破損 62%である.北部に全壊,半壊が多く,南部には無被害・一部破損が多く,北部と南部には被害の違いが見られる.

3.被災地区における常時微動観測について

3.1 常時微動観測概要

常時微動観測結果より,常時微動 H/V スペクトル

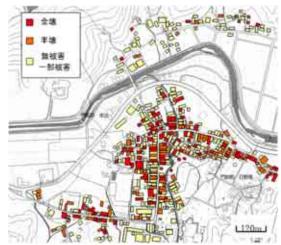


図-1 走出地区における被害分布図

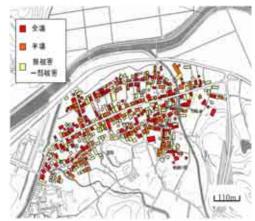


図-2 道下地区における被害分布図

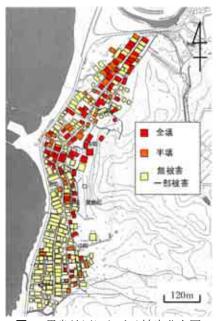


図-3 黒島地区における被害分布図

比を算出し、結果について考察する. 常時微動観測は、2019年10月6日の日中に計173点行っている. そのうち走出地区では45点、道下地区では77点、黒島地区では51点で観測している. 常時微動観測

地区と震央との位置関係は**図-4** に示す.また,地区内の微動観測地点については**図-5~図-7** にそれぞれ示す.ここで,微動の水平動および上下動は,微動の振動源による影響が強く現れるが,H/V スペクトル比を計算することでこの影響が除去されるため,地点に固有の地盤動特性を的確に表現できると考えられる ¹⁰.

常時微動観測データ処理手法については以下のとおりである。データサンプリング振動数は 100(Hz)とする。観測データより N-S, E-W, U-D 各成分それぞれにおいて,微動が安定している 4096 点 (40.96 秒間)を 5 セット以上抜き出し,データファイルを作成する。次に,これらの時間領域のデータファイルを周期 $0.1\sim2.0$ 秒でフーリエ変換し,加算平均する。なお,バンド幅 0.4Hz の Parzen Window によりデータ平滑化を行う。水平成分については N-S 成分,E-W 成分のフーリエスペクトルの相乗平均とし,鉛直成分については 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 スペクトル比を算出する。得られた水平 2 成分(N-S, E-W)のフーリエスペクトル振幅を次式で相乗平均して,水平動の平均スペクトル振幅 S_H を求める。

$$S_H = \sqrt{S_{NS} \cdot S_{EW}}$$

ここで S_{NS} , S_{EW} はそれぞれ N-SE-W 成分のフーリエスペクトル振幅である.

最後に、微動のH/Vスペクトル比を次式で定義する.

$$S_{H/_{V}} = {}^{S_{H}}/_{S_{UD}}$$

ここで、 S_{UD} は鉛直成分のフーリエスペクトル振幅である.

3.2 常時微動観測結果および考察

常時微動観測による,走出,道下,黒島地区における観測結果 (H/V スペクトル比)を図-8 に示す. 図に示すように,地点によっては各データセットの変動が大きい場合もあるが,概して安定した観測結



図-4 常時微動観測点と震央との位置関係



図-5 走出地区の常時微動観測点



図-6 道下地区の常時微動観測点



図-7 黒島地区の常時微動観測点

果が得られていることが分かる。そこで、各地点を地盤増幅度と固有周期で評価し、地区内の分布で表示する。走出、道下、黒島地区における地盤増幅度分布を図-9~図-11 に、固有周期分布を図-12~図-14 にそれぞれ示す。図-9~図-11 に示すように、地盤増幅度については走出地区では地区の南側、黒島地区では地区の北側が地盤増幅度が大きい。また、

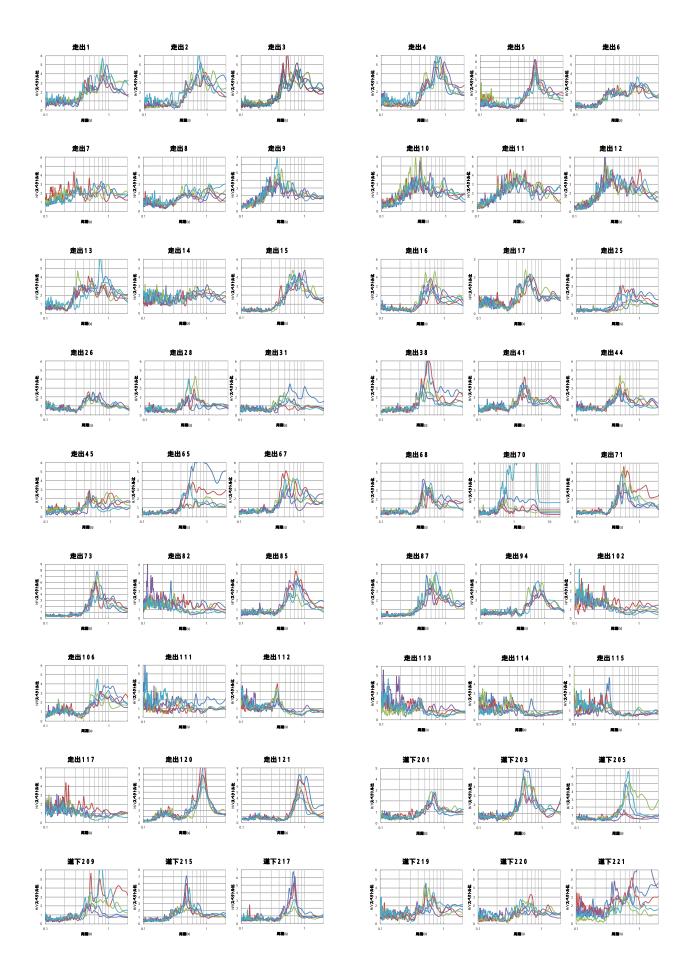


図-8 常時微動観測結果(その1)

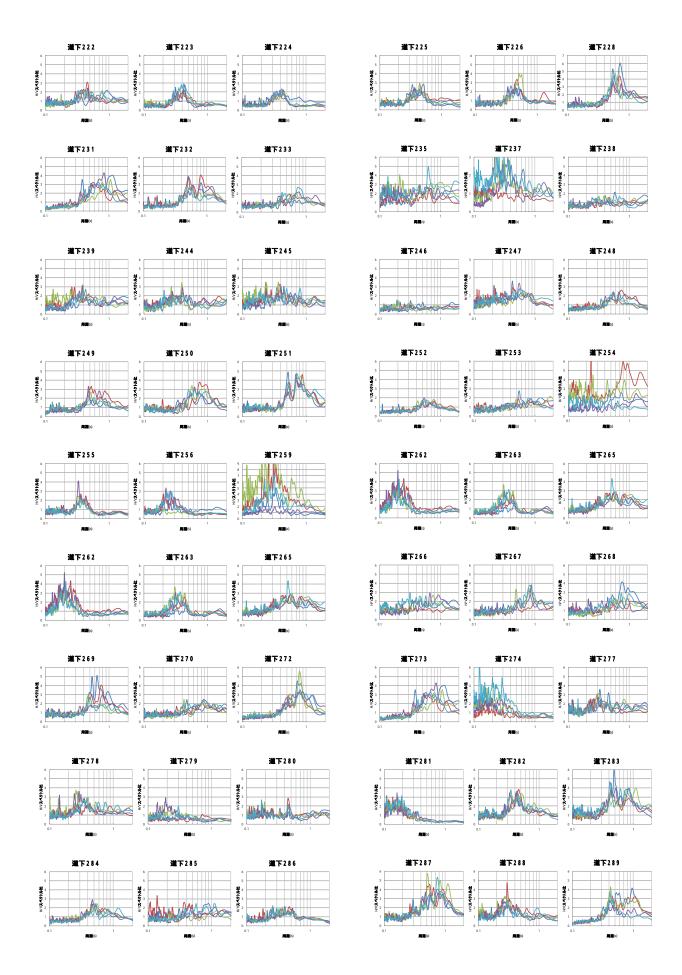


図-8 常時微動観測結果(その2)

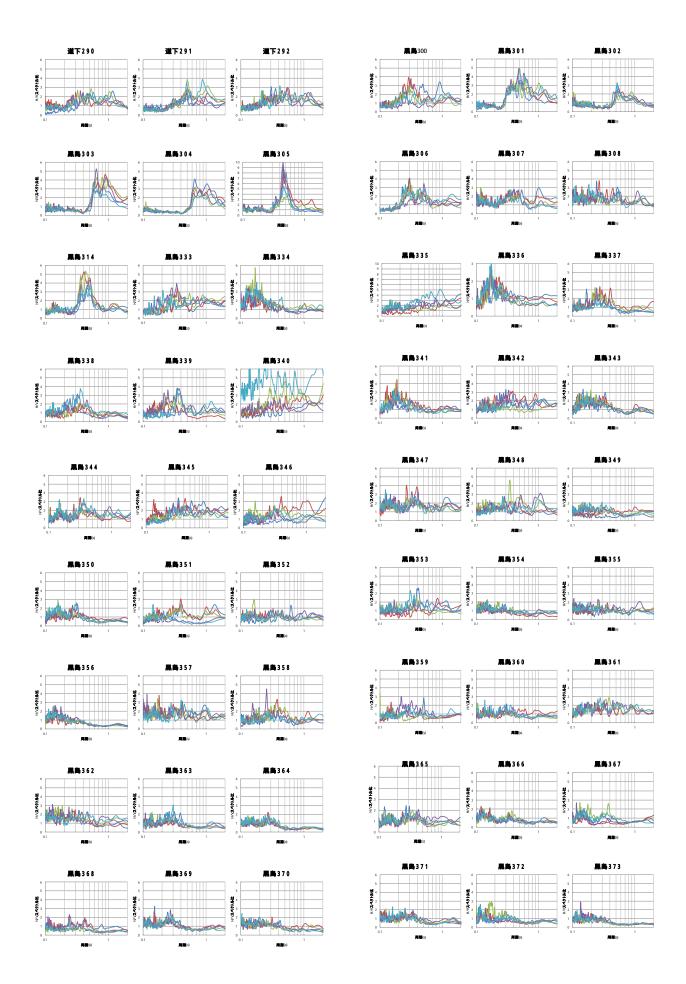


図-8 常時微動観測結果(その3)

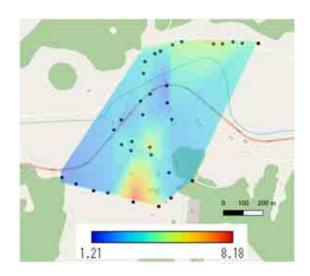


図-9 走出地区の地盤増幅度分布

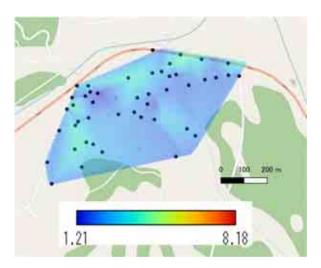


図-10 道下地区の地盤増幅度分布

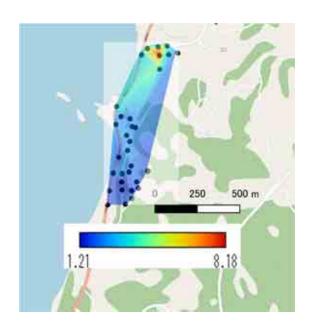


図-11 黒島地区の地盤増幅度分布

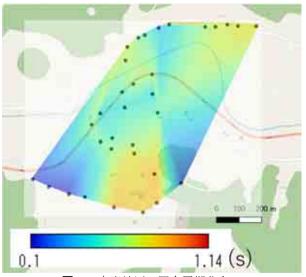


図-12 走出地区の固有周期分布

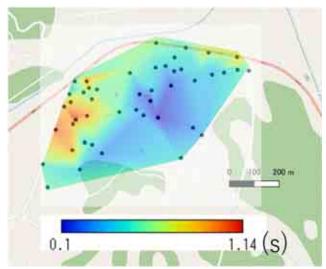


図-13 道下地区の固有周期分布

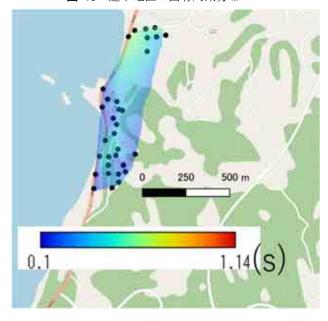


図-14 黒島地区の固有周期分布

道下地区に関しては地区全体でほぼ一様な地盤増幅度の値を示している. 図-12~図-14 に示す固有周期分布については,走出地区で地盤増幅率が大きな値を示した地点の固有周期が比較的長くなっている.また,道下地区では,地区の西側に比較的長周期の固有周期を持つ地盤が確認された.また,黒島地区では,地区の北側に比較的長周期の固有周期を持つ地盤が確認された.また,被害状況と地盤増幅率や固有周期分布には明瞭な相関は確認できなかった.しかし,黒島地区に関して地区の北側に地盤増幅率が大きく,固有周期が長周期な観測点が存在しており,その地盤が共振することで構造物被害が発生した可能性が考えられる.

4.まとめ

本稿は、2007年3月に発生した能登半島地震で大きな被害が発生した石川県輪島市走出地区、道下地区、黒島地区を対象に常時微動観測を行った.各地区で地盤増幅率の値が大きい地点では比較的長周期の固有周期を持つことが確認された.しかし、構造物被害と地盤増幅率や固有周期分布の間には明確な相関が確認できなかった.構造物被害の要因には、地盤の特徴以外にも構造物自体の強度などの要素が関わっていると予想される.今後の研究では、地盤以外のどのような要素が構造物被害を引き起こすのかを検討し、今回明らかになった地盤の特徴と関連づけて構造物被害の原因解明を進めてゆく.

謝辞:本実験を実施するにあたり、微動の会会員の 方々、防災科学研究所、産業技術総合研究所、ニュージェック、阪神コンサルタンツ、国土技術政策総 合研究所、エイト日本技術開発、応用地質、地震予 知総合研究振興会、三菱スペースソフトウェア、白 山工業、第一コンサルタンツ、ALAB、地域地盤環 境研究所、鳥取大学、愛媛大学、関西大学、名古屋 大学、福井大学、岩手大学、東京理科大学、神奈川 大学,金沢大学から参加した諸氏の多大な助力を受けた.ここに記して謝意を表します.

参考文献

- 1) 防災科学研究所: 地震ハザードステーション http://www.j-shis.bosai.go.jp/ (閲覧日: 2020 年 9 月 3 日)
- 2) 中村豊,上野真:地表面震動の上下成分と水平成分 を利用した表層地盤特性推定の試み,第7回日本地 震工学シンポジウム講演集,pp.265-270,1986.
- 3) 堀家正則:微動の位相速度及び伝達関数の推定,地 震第2輯,第32巻,pp.425-442,1980.
- 4) 時松孝次, 宮寺泰生: 短周期微動に含まれるレイリー波の特性と地盤構造の関係, 日本建築学会構造系論文報告集, 第 439 号, pp.81-87, 1992.
- 5) 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, No675, I-55, pp.261-272, 2002.
- 6) 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.
- 7) 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,65巻1号,pp.65-74,2009.
- 8) 石川県ホームページ:「平成19年能登半島地震災害 記録誌 https://www.pref.ishikawa.lg.jp/bousai/bousai_g/notohanto_eq/kirokushi/(閲覧日: 2020年9月6日)
- 9) 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, 524号,pp.65-72,1999.
- 10) 大熊裕輝,松岡昌志,山崎文雄,原田隆典: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.

(Received September 7, 2020)

Relationship between high density microtremor observation and house damages on the 2007 Noto Peninsula Earthquake

Yuto ROKUCHO, Akira MURATA, Masayuki YAMADA, Yukie NAKAMURA, Hiroyuki FUJIWARA and Masakastu MIYAJIMA

The damage estimation by an earthquake is required in the earthquake strong ground motion characteristic, the foundation dynamic characteristics of an object area, and the structural characteristic. However, it is difficult to evaluate earthquake strong ground motion simply because much information such as data of standard penetration test is required. There is a method using the horizontal-to-vertical (H/V) Fourier spectral ratios of microtremor observations as one of the method which evaluates an earthquake strong ground motion. In this paper, high density microtremor observation was carried out in Hashiide district, Doshita district, and Kuroshima district in Wajima city. These area was damaged by 2007 Noto Peninsula Earthquake. We evaluate the ground motion characteristics of these areas and evaluate the relationship between house damage and ground motion characteristics.