

常時微動観測記録を利用した低層建物の地震被害評価に関する研究

-北陸地方、および熊本地震被災地区を対象として-

六町優斗¹・村田晶²・宮島昌克³・池本敏和⁴

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 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

⁴ 正会員 金沢大学・講師 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: tikemoto@se.kanazawa-u.ac.jp

局所的な地盤増幅の違いにより、被災地区における地震応答についてばらつきが生じるが、現有の強震観測網では空間的密度が低いため、建造物の地震被害を評価するための外力としては十分とは言い難い。本研究では入力地震動の空間的密度を向上させるため、常時微動観測を用いた推定地震動を地震外力として適用し、低層建物被害との関係について考察する。本稿では 2004 年新潟中越地震、2007 年能登半島地震、2007 年新潟中越沖地震、および 2016 年熊本地震の被災地区において常時微動観測を実施し、地震動を推定する。それら結果に対し、被害との関係を考察する。

Key Words: 常時微動観測, 地震動推定, 低層建物

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建造物被害が発生する。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ないと思われる場合でも建造物被害の状況には違いが見られる。建造物へ被害を生じさせる原因については経年劣化等による建造物側の抵抗強度が不足していることもあるが、建造物へ作用する地震外力の影響も大きい。しかしながら、地震外力は局所的な地盤増幅により変化するため、被災地区最寄りの自治体強震観測記録や K-NET や KiK-net などの防災科学技術研究所の強震観測網による強震観測記録のみから地震被害の要因を把握することは難しい。ここで、地区内の地盤動特性を詳細な地盤調査なしで評価するには、例えば防災科学技術研究所が提供している J-SHIS¹⁾を用いるのが効果的であるが、空間的解像度がそれほど高くないため、建造物の被害原因を特定するには至らず、地区全体の動特性の概要を把握するに留まるのが現状である。ゆえに、高密度に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、常時微動観測を用いて地盤動特性を評価し、それらより地震動特性を推定する。常時微動観測を用いた研究については従前から行われている。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。常時微動観測記録と近傍の地震動観測記録のみを用いて、地盤情報には頼らない地震動推定法が提案されている。丸山ら⁵⁾は、地震観測記録から数 km 離れた観測点の地震動を推定し、0.1 秒から 1 秒の短周期地震動の実記録との整合性を確かめた。

大熊ら⁶⁾は、宮崎県内の 20 地点の K-NET 観測点と 32 地点の FDMA (消防庁) 観測点の常時微動観測結果と地震動記録から、丸山ら⁵⁾の地震動推定法の整合性を数十 km 離れた 2 地点間の応答スペクト

ルによって検討し、手法の有効性を確認するとともに、基準点の選定や上下動の増幅特性に依存して推定精度が変わることを示している。

原田ら⁷⁾は、これらの既往の研究の適用性や精度および、基準点の選定や鉛直地震動の増幅特性の課題に対して、基準点と推定点の地盤の卓越振動数によって上下動の増幅特性が大きく変わることを明らかにし、この特性を考慮することにより、短周期地震動の推定精度が向上することを示している。

本研究では 2004 年新潟中越地震、2007 年能登半島地震、2007 年新潟中越沖地震および 2016 年熊本地震を対象として、地震による建物被害が評価されている自治体観測強震計や K-NET や KiK-net などの強震観測記録点周辺について常時微動観測を行い、得られた常時微動観測データを用いて地震動特性を推定し、地震動と木造構造物被害の関係性を考察する。なお、強震観測記録点周辺の被害データとして、境ら⁸⁾⁻¹³⁾による被害調査結果を用いる。

2. 強震観測記録点周辺の建物被害について

本稿で用いる強震観測記録および強震観測記録点周辺の建物被害のデータを以下の表-1 に示す。表から同地震であっても強震観測記録点によって最大加速度や最大速度、計測震度といった値には差が見られる。また、建物被害率(全壊棟数/建物棟数)に関しては被害率 0%の地点から被害率 44.4%の地点までがあり地点によって被害の程度に大きな差異が見られる。

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 スペクトル比を算出し、結果について考察する。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¹¹⁾。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 0.1~2.0s 間でフーリエ変換し、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。

表-1 対象地震の強震観測記録と建物被害率について

強震観測記録点	最大加速度(cm/s ²)	最大速度(cm/s)	計測震度	全壊率(%)
2004年新潟中越地震				
川口町震度計	1667.9	144.7	6.5	17.9
K-NET小千谷	1500.7	133.4	6.7	0
JMA小千谷	975.0	93.6	6.3	1.2
十日町市震度計	1339.7	58.3	5.9	0
K-NET十日町	1746.5	65.6	6.2	0
K-NET長岡	542.8	51.0	5.5	0
JMA長岡	436.2	38.3	5.5	0
K-NET長岡支所	912.0	71.4	6.1	0
中里村震度計	768.8	71.9	6.0	0
KiK-net加茂	412.0	28.8	5.7	0
栃尾市震度計	1012.3	34.2	5.5	0
K-NET小出	639.3	39.7	5.5	0
2007年能登半島地震				
JMA輪島	472.2	98.7	6.1	4.7
K-NET輪島	546.3	43.9	5.5	2.9
JMA能登	261.1	51.8	5.7	0
JMA志賀	513.7	55.7	5.7	0
K-NET能都	665.6	25.2	5.6	0
K-NET富来	933.6	59.2	5.9	0
K-NET七尾, 七尾市袖ヶ江町震度計	217.9	34.9	5.3	0
2007年新潟中越沖地震				
K-NET柏崎	812.0	126.9	6.4	10.0
柏崎市中央町震度計	775.1	125.1	6.3	15.0
柏崎市西山町震度計	868.4	83.3	6.3	1.0
刈羽村割町震度計	484.2	155.7	6.1	0
長岡市小国町震度計	694.3	82.2	6.2	0
柏崎市高柳町震度計	543.5	53.3	5.7	0
上越市柿崎区震度計	443.1	94.4	5.9	0
上越市吉川区震度計	474.3	64.2	5.8	0
上越市三和区震度計	296.4	52.0	5.5	0
長岡市中之島震度計	347.8	35.6	5.6	0
長岡市上岩井震度計	354.9	44.9	5.7	0
長岡市山古志震度計	412.4	44.2	5.8	0
JMA出雲崎町米田	696.9	56.1	5.9	0
出雲崎町川西震度計	378.6	41.7	5.5	0
K-NET小千谷	524.8	47.6	5.6	0
JMA小千谷	401.9	28.3	5.1	0
2016年熊本地震				
益城町宮園震度計	897.4	183.6	6.8	44.4
KiK-net益城	1313.8	131.6	6.5	6.3
K-NET熊本	843.2	89.7	6.1	0
熊本中央区大江震度計	646.2	60.5	6.1	0
JMA熊本西区春日	670.7	71.6	6.0	2.3
嘉島町上島震度計	620.1	90.6	6.2	9.1
JMA宇城市松橋町	508.0	79.3	6.0	0
宇城市豊野町震度計	672.4	86.1	6.1	0
KiK-net豊野	609.0	60.4	5.8	0
JMA上天草市大矢野町	353.4	29.2	5.5	0
宇城市小川町震度計	464.3	88.3	6.0	0
K-NET砥用	778.2	37.9	5.6	0
K-NET大津	575.5	58.2	5.7	0
大津町大津震度計	1756.2	78.4	6.1	0
西原村小森震度計	866.4	253.0	6.6	0
合志市竹迫震度計	703.2	88.3	6.2	0
菊池市旭志震度計	920.5	129.9	6.4	0
KiK-net菊池	788.9	80.9	6.2	0
南阿蘇村河陽震度計	1292.8	130.1	6.3	0
K-NET一の宮	379.2	92.3	5.5	0
産山村山鹿震度計	778.6	52.6	6.1	0
JMA別府市鶴見	835.2	42.5	5.5	0
K-NET湯布院	717.6	83.7	6.1	2.7
KiK-net九重	573.9	24.6	5.6	0
KiK-net小国	684.6	49.1	5.6	0

3.2 常時微動観測結果および考察について

(1) 2004年新潟中越地震

2004年新潟中越地震および2007年新潟中越沖地震の常時微動観測点を図-1に、2004年新潟中越地震の強震観測記録点周辺の常時微動観測結果を以下の表-2に、H/Vスペクトル比を図-2に、それぞれ示す。図-2では常時微動観測から安定した範囲を抜き出しH/Vスペクトル比を求めたものを青線、それを平均化したものを赤線で示す。結果より、H/Vスペクトル比は1.9~8.2となり観測地点によって大きな差異が確認された。地盤の固有周期はK-NET十日町を除き、0.10~0.37(s)と短周期が卓越する。K-NET十日町のみ1.0(s)より長周期の固有周期が確認された。

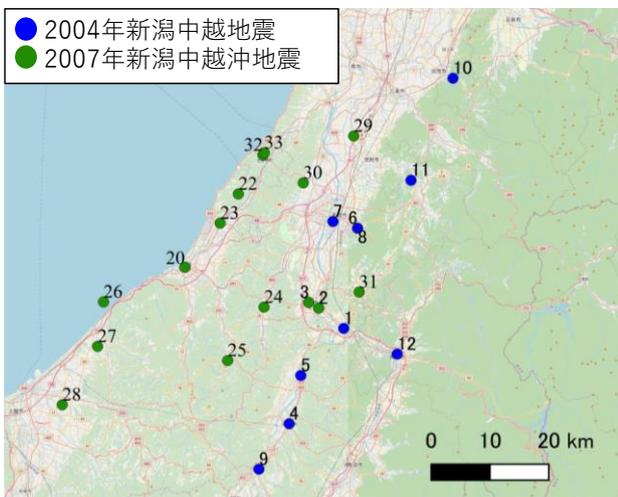


図-1 2004年新潟中越地震および2007年新潟中越沖地震常時微動観測点

表-2 2004年新潟中越地震強震観測点における常時微動観測

観測点番号	強震観測点	H/V	固有周期(s)
1	川口町震度計	2.1	0.18
2	K-NET小千谷	7.6	0.11
3	JMA小千谷	8.2	0.14
4	十日町市震度計	2.8	0.37
5	K-NET十日町	1.8	1.78
6	K-NET長岡	3.3	0.17
7	JMA長岡	2.7	0.24
8	K-NET長岡支所	2.1	0.30
9	中里村震度計	3.7	0.23
10	KiK-net加茂	1.9	0.28
11	栃尾市震度計	2.3	0.13
12	K-NET小出	4.1	0.10

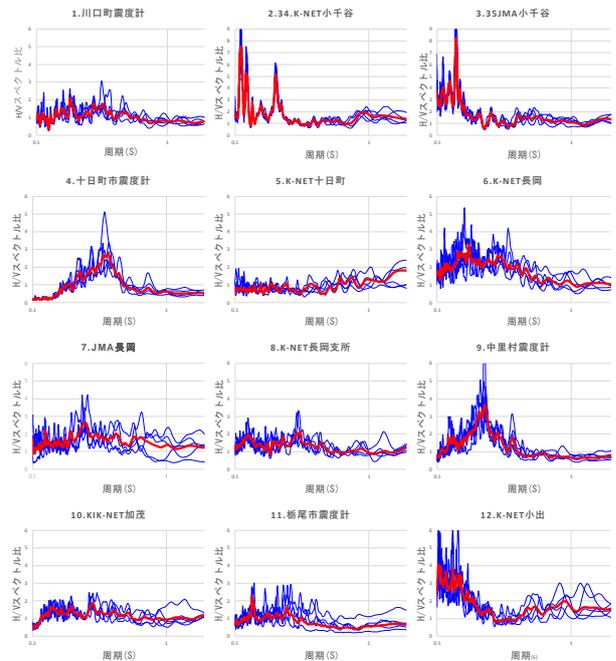


図-2 観測地点のH/Vスペクトル(2004年新潟中越地震)

(2) 2007年能登半島地震

2007年能登半島地震の常時微動観測点を図-3に、強震観測記録点周辺の常時微動観測結果を表-3に、H/Vスペクトル比を図-4に、それぞれ示す。図-4では常時微動観測から安定した範囲を抜き出しH/Vスペクトル比を求めたものを青線、それを平均化したものを赤線で示す。結果よりH/Vスペクトル比は1.4~6.8となり観測地点によって大きな差異が確認された。固有周期は、0.20~1.95(s)となりH/Vスペクトル比同様観測地点によって大きな差異が確認された。

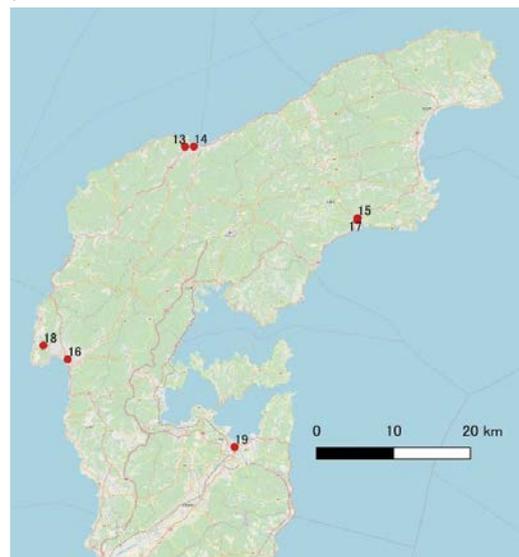


図-3 2007年能登半島地震常時微動観測点

表-3 2007年能登半島地震強震観測点における
常時微動観測

観測点番号	強震観測点	H/V	固有周期(s)
13	JMA輪島	4.3	0.93
14	K-NET輪島	2.0	1.95
15	JMA能登	6.8	0.30
16	JMA志賀	1.4	0.29
17	K-NET能都	5.8	0.91
18	K-NET富来	1.6	0.20
19	K-NET七尾	2.5	0.60

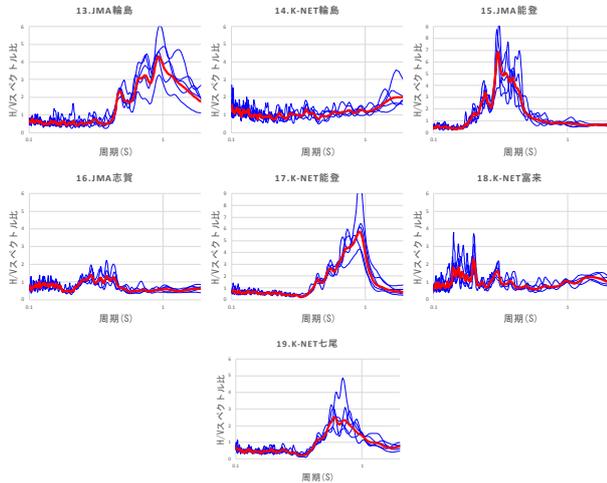


図-4 観測地点の H/V スペクトル
(2007年能登半島地震)

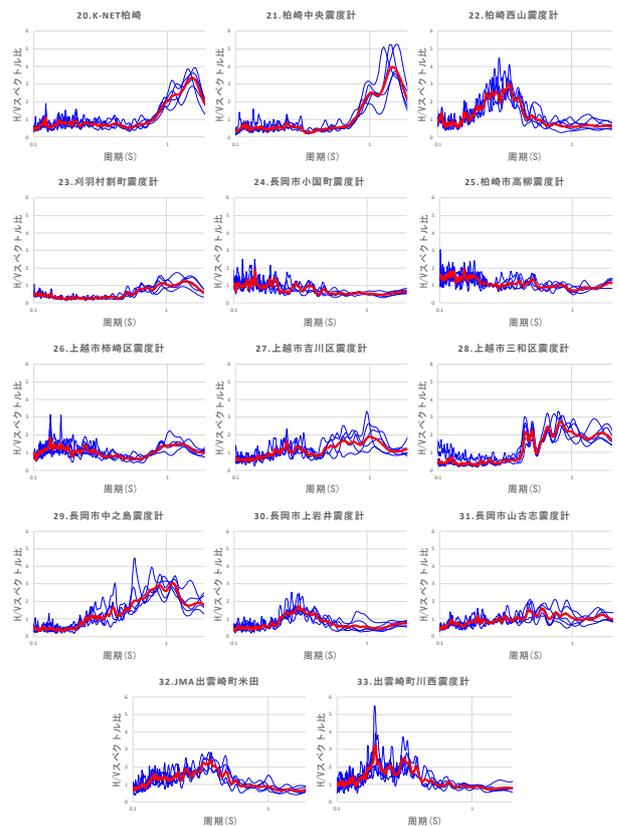


図-5 観測地点の H/V スペクトル
(2007年新潟中越沖地震)

(3) 2007年新潟中越沖地震

2007年新潟中越沖地震の強震観測記録点周辺の常時微動観測結果を表-4に、H/Vスペクトル比を図-5に、それぞれ示す。図-5では常時微動観測から安定した範囲を抜き出しH/Vスペクトル比を求めたものを青線、それを平均化したものを赤線で示す。結果よりH/Vスペクトル比は、1.2~8.2となり観測地点によって大きな差異が確認された。固有周期は、0.11~1.52(s)となりH/Vスペクトル比同様観測地点によって大きな差異が確認された。

表-4 2007年新潟中越沖地震強震観測点における
常時微動観測

観測点番号	強震観測点	H/V	固有周期(s)
20	K-NET柏崎	3.4	1.52
21	柏崎市中央町震度計	4.0	1.52
22	柏崎市西山町震度計	3.0	0.34
23	刈羽村割町震度計	1.2	1.37
24	長岡市小国町震度計	1.9	0.14
25	柏崎市高柳町震度計	2.0	0.15
26	上越市柿崎区震度計	1.8	0.13
27	上越市吉川区震度計	1.9	1.00
28	上越市三和区震度計	2.7	0.82
29	長岡市中之島震度計	3.0	1.11
30	長岡市上岩井震度計	1.7	0.31
31	長岡市山古志震度計	1.6	0.59
32	JMA出雲崎町米田	2.4	0.37
33	出雲崎町川西震度計	3.3	0.19
34	K-NET小千谷	7.6	0.11
35	JMA小千谷	8.2	0.14

(4) 2016年熊本地震

2016年熊本地震の常時微動観測点を図-6に、強震観測記録点周辺の常時微動観測結果を表-5に、H/Vスペクトル比を図-7に、それぞれ示す。図-7では常時微動観測から安定した範囲を抜き出しH/Vスペクトル比を求めたものを青線、それを平均化したものを赤線で示す。結果よりH/Vスペクトル比は1.4~5.4となり観測地点によって大きな差異が確認された。固有周期は、0.10~0.73(s)となりH/Vスペクトル比同様観測地点によって大きな差異が確認された。

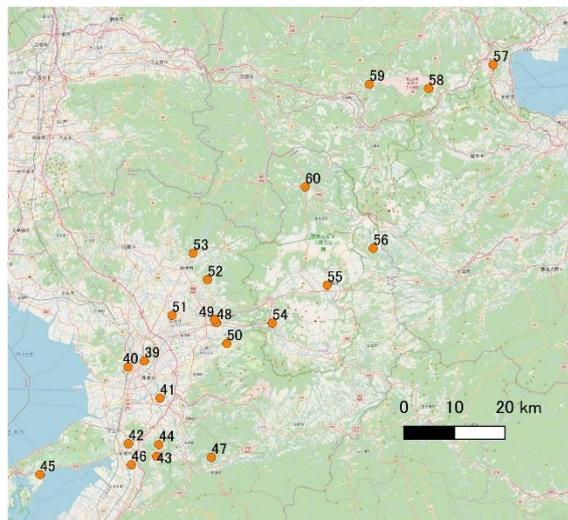


図-6 2016年熊本地震常時微動観測点

表-5 2016年熊本地震強震観測点における
常時微動観測

観測点番号	強震観測点	H/V	固有周期(s)
36	益城町宮園震度計	2.9	0.49
37	KiK-net益城	3.1	0.65
38	K-NET熊本	3.7	0.64
39	熊本中央区大江震度計	1.7	0.24
40	JMA熊本西区春日	3.0	0.45
41	嘉島町上島震度計	1.7	0.22
42	JMA宇城市松橋町	1.9	0.52
43	宇城市豊野町震度計	3.5	0.26
44	KiK-net豊野	2.5	0.22
45	JMA上天草市大矢野町	4.5	0.27
46	宇城市小川町震度計	2.6	0.73
47	K-NET砥用	1.4	0.10
48	K-NET大津	4.4	0.15
49	大津町大津震度計	5.4	0.24
50	西原村小森震度計	4.1	0.38
51	合志市竹迫震度計	3.8	0.37
52	菊池市旭志震度計	1.6	0.24
53	KiK-net菊池	1.7	0.12
54	南阿蘇村河陽震度計	4.1	0.24
55	K-NET一の宮	2.1	0.29
56	産山村山鹿震度計	1.5	0.18
57	JMA別府市鶴見	2.1	0.11
58	K-NET湯布院	1.8	0.17
59	KiK-net九重	1.7	0.14
60	KiK-net小国	1.4	0.24

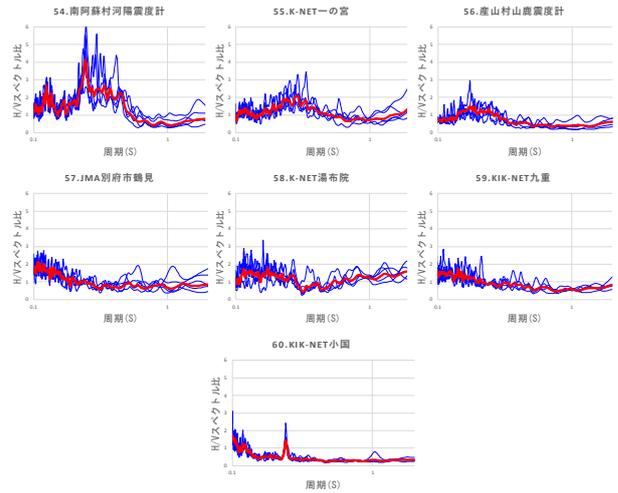


図-7 観測地点のH/Vスペクトル
(2016年熊本地震)

4. 地震動推定について

4.1 地震動推定式

本稿では、原田ら⁷⁾が定式化している推定法に神山ら¹⁴⁾が提案した距離減衰式を組み込んだ推定法を用いて推定波の観測波の比較を行い、本推定手法の妥当性を示す。本稿で用いる推定式を以下に示す。

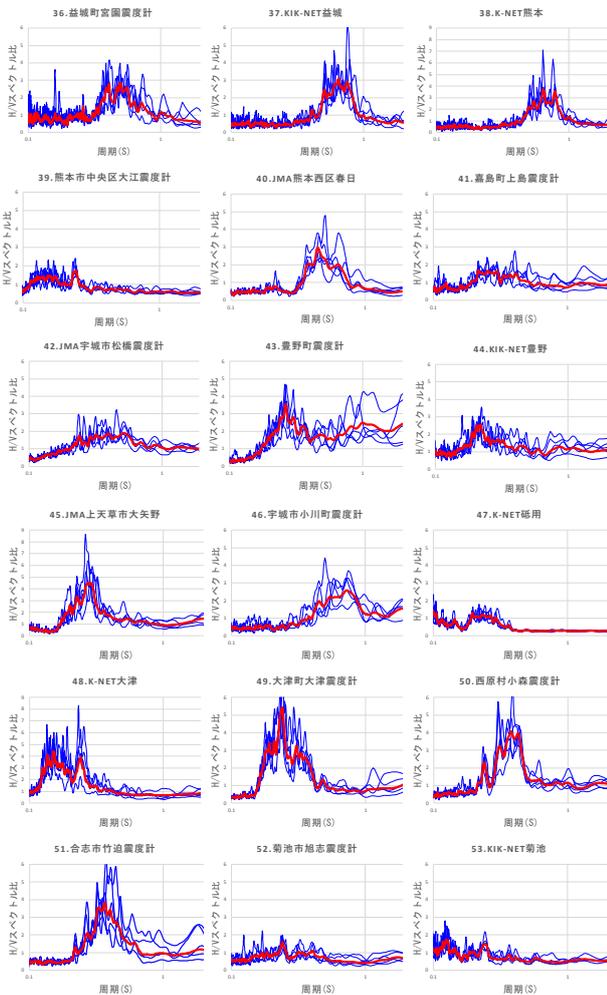
$$H_E^E = \frac{\beta_O}{\beta_E} \cdot \gamma_{E/O} \cdot \frac{1/c_{E\max} (H/V)_E^M}{1/c_{O\max} (H/V)_O^M} \cdot H_O^E$$

ここで、H は水平フーリエスペクトルとし下添字は地点を表し、強震観測点に O、推定点に E を付けて区別する。上添字は、常時微動を M、地震動を E とし、 $C_{O\max}$ 、 $C_{E\max}$ は常時微動 H/V スペクトル比の最大値を表す。また、 β 、 γ はそれぞれ増幅特性、ピーク周期に関する補正係数である。

推定式により求められた水平地震動フーリエスペクトルをフーリエ逆変換し、距離補正係数 α を乗じることにより推定地震動を得る。

4.2 地震動推定結果

前述の推定式を用いて地震動推定を行う。地震動推定を行う際の基準点は震源から近く、常時微動が安定している点を選択した。2007年能登半島地震を例にして地震動推定の妥当性を検証する。K-NET 富来を基準点とし地震動推定を行い各強震観測記録のフーリエスペクトルと比較したものを図-8、観測記録と推定波の最大加速度、最大速度を比較したものを表-6に示す。以上より本地震動推定手法はある程度の妥当性が確認できる。



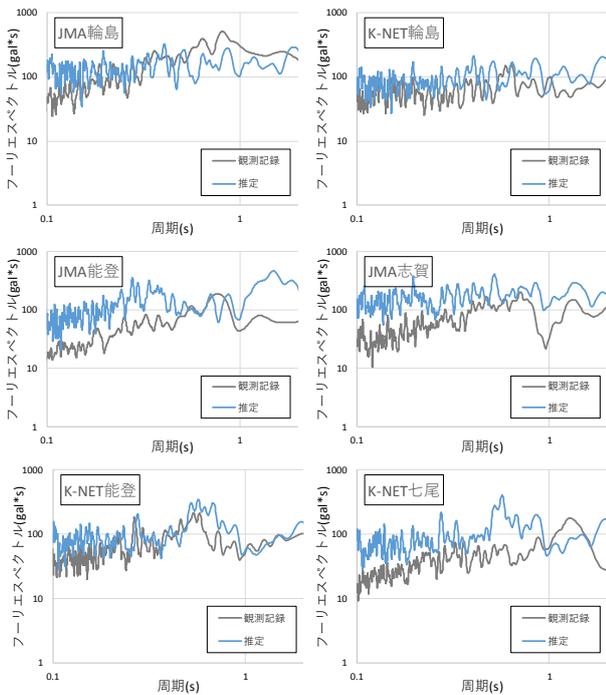


図-8 2007年能登半島地震地震動推定

表-6 観測記録と推定波の比較

観測点	最大加速度(cm/s ²)		最大速度(cm/s)	
	観測記録	推定	観測記録	推定
JMA輪島	472.2	1007.5	98.7	57.6
K-NET輪島	546.3	677.7	43.9	38.8
JMA能登	261.1	950.4	51.8	66.0
JMA志賀	513.7	1214.2	55.7	76.4
K-NET能都	665.6	746.5	25.2	34.1
K-NET七尾	217.9	677.7	59.2	38.8

5. 地震被害評価指標による建物被害評価

5.1 評価に用いる指標について

本稿で行う考察として H/V スペクトル比、地盤卓越周期、最大加速度、最大速度、計測震度、および速度疲労応答スペクトル (FSI 値) という指標を用いる。疲労応答スペクトル (FSI 値) は最大応答付近における地震動の繰り返しによる、疲労破壊の概念を導入した指標¹⁵⁾である。既存の地震動評価指標である最大加速度や最大速度は地震波の最大値にのみ着目しており、構造物に繰り返し入力される地震動の影響を考慮していないため、本指標も考察に用いる。

5.2 各指標と被害に関して

地震動ごとの H/V スペクトル比、固有周期、最大加速度、最大速度、計測震度、速度 FSI 値と木造構造物の被害率を比較した結果を以下の表-6 および図-9~14 に示す。表-7 より最大速度と木造構造物の被害率には一定の相関が認められる。しかし地震動による木造構造物の被害を十分に表現できているとは言えない。H/V スペクトル比は地盤の揺れやすさを簡易的に表している指標である。そのため H/V スペクトル比の大きくなる地点で建物被害が発生す

ると考えた。H/V スペクトル比の表に着目すると H/V スペクトル比が 2.0~4.0 の範囲に被害が発生した点が集中していることが確認できる。このことから H/V スペクトル比が大きいことが直接的に建物被害につながることは考えづらいことが確認された。固有周期に着目すると、一般的な木造建物の固有周期は 0.1~0.5(s) と考えられており、地震波が入力された際に共振が起きることで 0.1~0.5(s) の周期帯での被害が発生すると考えていた。表から 0.1~2.0(s) の範囲で建物被害が発生していることが確認できる。

表-7 各指標と木造構造物の被害の相関

地震名	最大加速度 (cm/s ²)	最大速度 (cm/s)	計測震度
2004年新潟県中越地震	0.45	0.65	0.43
2007年能登半島地震	0.04	0.70	0.51
2007年新潟中越沖地震	0.57	0.57	0.56
2016年熊本地震	0.10	0.43	0.48

H/Vスペクトル比

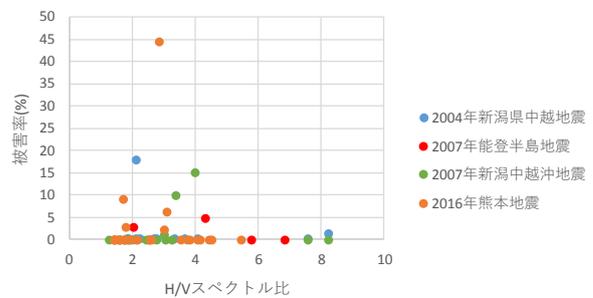


図-9 H/V スペクトル比と被害率の関係

固有周期

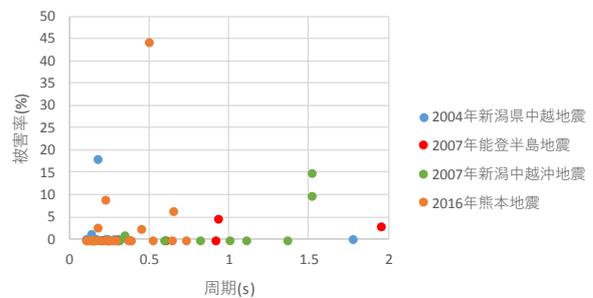


図-10 地盤卓越周期と被害率の関係

最大加速度

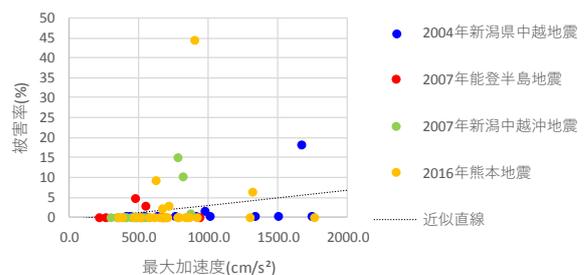


図-11 最大加速度と被害率の関係

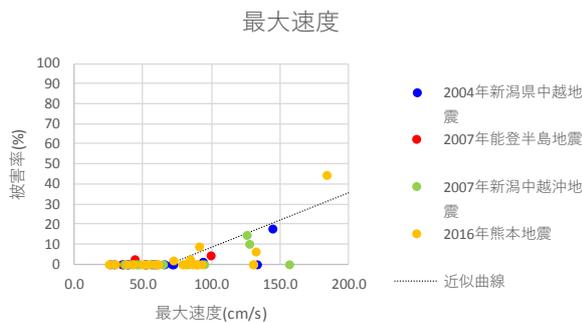


図-12 最大速度と被害率の関係

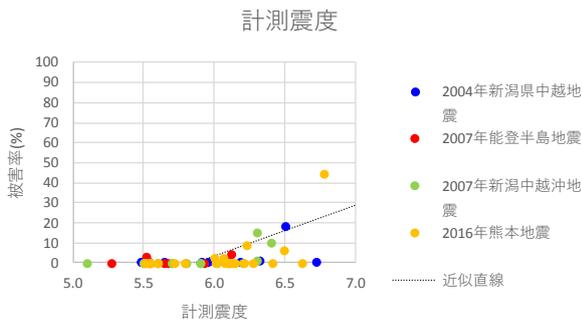


図-13 計測震度と被害率の関係

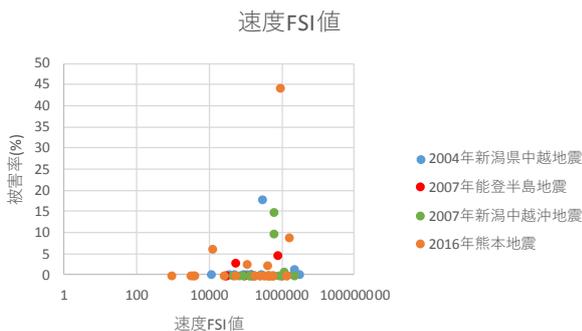


図-14 速度 FSI と被害率の関係

6. まとめ

本稿では、2004年新潟中越地震、2007年能登半島地震、2007年新潟中越沖地震および2016年熊本地震を対象として地震によって建物被害が発生した自治体観測強震計や K-NET や KiK-net などの強震観測記録点周辺の常時微動観測を行った結果を示し、得られた常時微動観測データを用いて地震動と木造構造物被害の関係性を考察した。その結果最大速度と建物被害にはある程度の相関が確認されたが、その他の指標と建物被害には相関関係が見られなかった。H/V スペクトル比と建物被害の関係に着目すると 2.00~4.00 の範囲に被害が集中していることが確認された。また、常時微動観測を用いた地震動推定を行い推定手法のある程度の妥当性を示すことができた。

謝辞：本稿を投稿するにあたり利用した強震観測記録は、防災科学技術研究所、気象庁より提供を受けました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所:地震ハザードステーション <http://www.j-shis.bosai.go.jp/>
- 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, No.675/I-55, pp.261-272, 2001.4.
- 6) 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, 2002.1.
- 7) 原田隆典, 中村真貴, 王宏沢, 斎藤将司: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.
- 8) 小杉慎司, 境有紀, 中村友紀子, 大月俊典:2004年新潟中越地震における強震観測点周辺の被害状況および建物被害と地震動の対応性, 日本地震工学会論文集, 第7巻, 第6号, pp.48-81, 2007.
- 9) 境有紀, 野尻真介, 熊本匠, 田中佑典:2007年能登半島地震における強震観測点周辺の被害状況と地震動との対応性, 日本地震工学会論文集, 第8巻, 第3号, pp.79-106, 2008.
- 10) 境有紀, 川岡裕康, 林佑樹, 飯塚裕暁:2007年新潟中越沖地震における強震観測点周辺の被害状況と地震動の対応性, 日本地震工学会論文集, 第8巻, 第4号, pp.59-93, 2008.
- 11) 汐満将史, 境有紀, 神野達夫, 中尾隆, 白井周, 中澤駿佑, 太田圭祐:2016年熊本地震における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性-益城町-, 日本地震工学会論文集, 第18巻, 第5号, pp.108-120, 2018.
- 12) 境有紀, 汐満将史, 神野達夫, 中尾隆, 松尾真太郎, 重藤迪子, 安部良, 寄井田恭佑, 土岐崇喜:2016年熊本地震における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性-熊本県央, 天草地域-, 日本地震工学会論文集, 第18巻, 第5号, pp.121-153, 2018.
- 13) 神野達夫, 汐満将史, 境有紀, 重藤迪子, 松尾真太郎, 田中斐佳, 金子政輝, 古谷英康, 上菌周平, 有馬拓, 2016年熊本地震における強震観測点周辺の状況と発生した地震動との対応性-熊本県北, 大分県-, 日本地震工学会論文集, 第18巻, 第5号, pp.154-190, 2018.
- 14) 神山真, 松川忠司:1995年兵庫県南部地震で得られた強震記録の最大地動ならびに波動特性, 土木学会論文集, No.586/III-39, 49-66, 1997.
- 15) 村田晶, 北浦勝, 宮島昌克, 高橋正樹:応答の繰り返しを考慮した地震動破壊力指標の新潟中越地震への適用, 土木学会地震工学論文集, 第28巻 No.137, CD-ROM, 2005.

Evaluation of earthquake damage to houses using microtremor observation on the 2004 Niigata Chuetsu Earthquake, 2007 Noto Peninsula Earthquake, 2007 Niigata Chuetsu-oki Earthquake and 2016 Kumamoto Earthquake.

Yuto ROKUCHO, Akira MURATA, Masakatsu MIYAJIMA and Toshikazu IKEMOTO

The magnitude of the seismic response varies because the amplification of the ground varies from place to place even in close proximity. So it is not sufficiently accurate as a seismic motion to evaluate structural damage. In this study, in order to improve the spatial density of the input seismic motion, we apply the estimated seismic motion using the microtremor observation as seismic motion and discuss the relationship with the damage of houses. In this paper, we estimate the earthquake ground motions in the areas affected by the 2004 Niigata-Chuetsu Earthquake, the 2007 Noto Peninsula Earthquake, the 2007 Niigata-Chuetsu-Oki Earthquake, and the 2016 Kumamoto Earthquake. We calculate damage estimation indices from the estimated seismic motions, and discuss the relationship between these indices and damage.