

2016 年熊本地震で生じた 地表地震断層ごく近傍の強震動について

香川 敬生¹・吉田 昌平²・上野 太士³

¹ 正会員 鳥取大学大学院教授（〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101）

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

² 学生会員 鳥取大学大学院工学研究科博士後期課程（〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101）

E-mail: D16T4003B@edu.tottori-u.ac.jp

³ 非会員 鳥取大学大学院工学研究科博士前期課程（〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101）

E-mail: M16T6005U@edu.tottori-u.ac.jp

平成 28 年熊本地震による益城町の被害を調査し、郊外に現れた地表地震断層直近では断層変位による被害は見られるものの、震動に起因する被害が極端に小さいと思われることを確認した。このような現象は過去の被害地震の地表地震断層ごく近傍でも見られており、その要因を考察することは震源断層近傍の地震被害を検討するにあたって重要であると考えられる。そこで、地表地震断層が見られるものの震動による被害がほとんど見られない地点（益城町下陳）と地表地震断層から離れているものの木造家屋の倒壊が見られる地点（益城町田原）において余震観測を実施し、被害が見られる地点の方が断層ごく近傍地点よりも地盤増幅が見られるものの被害の差を説明するほどのものではないとの結果を得た。また、常時微動単点観測を複数の地表地震断層地点で実施した結果、断層ごく近傍では周辺に比べて微動 H/V スペクトルのピークが顕著には見られなくなる傾向が見られた。

Key Words: *The 2016 Kumamoto Earthquake, Mashiki town, Aftershock observation, Microtremor observation, Surface faulting*

1. はじめに

2016年熊本地震では、益城町の被害が顕著であり、同町郊外では地表地震断層も確認されている。これら益城町郊外における表地震断層出現地点を調査したところ（平成28年5月4、5日）、断層直近では断層変位による被害を受けた建物は見られるものの、それらの建物の様子からは強震動に起因する被害は小さいと思われた。このような現象は、1995年兵庫県南部地震¹⁾、2011年福島県浜通り地震²⁾、2014年長野県北部の地震³⁾など、過去の被害地震の地表地震断層近傍でも見られている。

同規模の地震でも、地表地震断層が出現する場合と層で無い場合で地震動に有意な差があり、地表断層を生じた地震の方が小さいこと⁴⁾、またそれが浅い断層すべりの挙動に依存すること⁵⁾が報告されている。さらに、同一地震においても地表断層を生じた部分と生じなかった部分で被害形態に顕著な差が生じる事例も見られる（例えば、1943年鳥取地震における吉岡・鹿野断層部と鳥取市街、1995年兵庫県南部地震の野島断層部と神戸市街、2014年長野県北部の地震で地表地震断層が出現した北城

地区と建物の倒壊が顕著な堀之内地区、など）。

2016年熊本地震でも同様の現象が生じたものと考えられるため、1943年鳥取地震をはじめとする既往地震を含めて地表地震断層の出現の有無による強震動特性を考察することは、震源断層ごく近傍の強震動特性を検討するにあたって重要であると考えられる。

2. 余震観測

益城町下陳で断層変位による被害が見られた家屋（写真-1）の隣家のご厚意で、庭先の地表地震断層直近側に白山工業製のJU410を設置した（図-1のMSKY001）。このお宅は無被害で、本震時に液晶テレビが倒れて壁に傷が残ったとお話であった。この周辺では複数の箇所地表地震断層が見られたが、いずれも断層変位による被害のみで、老朽化した民家などに大きな被害は見られず、強震動による揺れは小さかったと推定される。この地点から離れ、約1km北側の秋津川右岸では木造家屋の倒壊が多く見られた（写真-2）。その近辺の田原地区消防団の倉庫（図-1のMSKY002）にもJU410を設置した。



図-1 益城町上陳，下陳，田原地区における観測点分布



写真-1 益城町下陳における断層変位による被害



写真-2 益城町田原における木造建築の倒壊

これら2地点で同時に約24時間の余震観測を実施し、両地点に共通で42地震の観測記録を得ることができた。その一例を図-2に示す。被害が見られた田原の方の振幅が有意に大きくなっている。

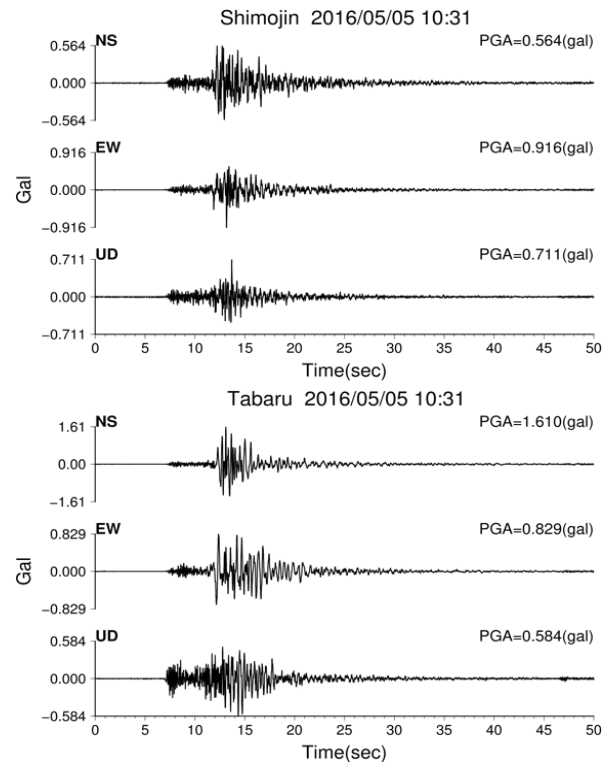


図-2 下陳（上）および田原（下）の同時観測記録例

表-1 余震観測で得られた地震の諸元

震源リスト	地震の発生日時	震央地名	緯度	経度	深さ	M	最大震度	検索対象 最大震度
1	2016/05/05 12:43:17.8	熊本県阿蘇地方	32°59.9'N	131°08.1'E	11km	M2.7	1	1
2	2016/05/05 12:33:44.8	熊本県熊本地方	32°42.0'N	130°42.8'E	13km	M2.3	1	1
3	2016/05/05 12:14:26.2	熊本県阿蘇地方	32°59.2'N	131°06.5'E	10km	M2.4	1	1
4	2016/05/05 11:55:51.0	熊本県熊本地方	32°45.7'N	130°40.8'E	11km	M2.5	2	2
5	2016/05/05 11:47:43.3	熊本県阿蘇地方	32°59.8'N	131°07.9'E	10km	M2.4	1	1
6	2016/05/05 11:33:17.6	熊本県阿蘇地方	32°59.9'N	131°08.2'E	11km	M2.7	1	1
7	2016/05/05 11:22:48.9	熊本県阿蘇地方	32°59.9'N	131°07.6'E	10km	M2.8	2	2
8	2016/05/05 11:09:03.0	熊本県阿蘇地方	32°59.7'N	131°07.6'E	10km	M2.3	1	1
9	2016/05/05 11:00:19.7	熊本県阿蘇地方	32°58.7'N	131°06.4'E	11km	M2.3	1	1
10	2016/05/05 10:53:37.7	熊本県熊本地方	32°35.3'N	130°44.6'E	7km	M2.5	1	1
11	2016/05/05 10:52:03.7	熊本県熊本地方	32°47.7'N	130°42.5'E	5km	M1.2	1	1
12	2016/05/05 10:48:54.6	熊本県阿蘇地方	32°59.6'N	131°07.7'E	11km	M2.8	2	2
13	2016/05/05 10:48:02.0	熊本県阿蘇地方	33°00.2'N	131°08.2'E	10km	M3.3	2	2
14	2016/05/05 10:43:26.5	熊本県阿蘇地方	32°59.6'N	131°07.4'E	11km	M2.3	1	1
15	2016/05/05 10:41:51.5	熊本県阿蘇地方	32°59.9'N	131°07.7'E	10km	M2.7	1	1
16	2016/05/05 10:40:12.8	熊本県阿蘇地方	32°59.5'N	131°07.3'E	11km	M4.9	4	4
17	2016/05/05 10:37:07.0	熊本県熊本地方	32°35.3'N	130°44.6'E	6km	M2.3	1	1
18	2016/05/05 10:33:08.6	熊本県阿蘇地方	33°00.1'N	131°08.0'E	11km	M2.9	2	2
19	2016/05/05 10:31:30.4	熊本県阿蘇地方	33°00.0'N	131°08.0'E	11km	M4.6	4	4
20	2016/05/05 10:17:33.1	熊本県熊本地方	32°38.5'N	130°41.9'E	5km	M1.8	1	1
21	2016/05/05 07:28:28.6	熊本県熊本地方	32°24.8'N	130°34.7'E	10km	M2.6	1	1
22	2016/05/05 06:32:31.9	熊本県熊本地方	32°48.0'N	130°43.2'E	5km	M1.8	1	1
23	2016/05/05 05:27:37.7	有明海	32°44.0'N	130°36.0'E	13km	M2.5	1	1
24	2016/05/05 04:58:34.1	熊本県熊本地方	32°47.5'N	130°46.6'E	6km	M2.4	2	2
25	2016/05/05 04:21:21.1	熊本県熊本地方	32°47.2'N	130°46.9'E	4km	M2.3	2	2
26	2016/05/05 03:17:10.2	熊本県阿蘇地方	33°02.0'N	131°09.2'E	9km	M3.4	2	2
27	2016/05/05 01:21:30.5	熊本県熊本地方	32°35.8'N	130°40.7'E	6km	M3.2	3	3
28	2016/05/05 00:25:18.1	熊本県熊本地方	32°42.3'N	130°42.8'E	10km	M2.7	2	2
29	2016/05/04 23:37:49.6	熊本県熊本地方	32°36.6'N	130°43.1'E	5km	M3.1	3	3
30	2016/05/04 22:24:17.1	熊本県熊本地方	32°36.6'N	130°43.1'E	5km	M3.5	4	4
31	2016/05/04 22:16:45.9	熊本県阿蘇地方	32°57.2'N	131°04.4'E	7km	M2.5	2	2
32	2016/05/04 22:14:12.9	熊本県熊本地方	32°37.3'N	130°42.3'E	3km	M1.7	1	1
33	2016/05/04 21:43:11.8	熊本県熊本地方	32°33.8'N	130°40.6'E	8km	M2.7	1	1
34	2016/05/04 20:11:27.1	熊本県熊本地方	32°42.6'N	130°42.5'E	12km	M2.0	1	1
35	2016/05/04 19:24:06.9	熊本県熊本地方	32°48.7'N	130°49.2'E	8km	M2.6	1	1
36	2016/05/04 19:20:04.3	熊本県熊本地方	32°48.8'N	130°49.3'E	8km	M4.0	4	4
37	2016/05/04 19:09:09.7	熊本県熊本地方	32°36.9'N	130°43.2'E	4km	M2.1	2	2
38	2016/05/04 18:15:30.3	熊本県熊本地方	32°37.3'N	130°43.2'E	4km	M2.5	2	2
39	2016/05/04 17:16:52.1	熊本県熊本地方	32°44.4'N	130°46.5'E	17km	M3.8	2	2
40	2016/05/04 16:22:31.4	熊本県熊本地方	32°37.0'N	130°43.1'E	5km	M3.4	3	3
41	2016/05/04 15:55:25.7	熊本県熊本地方	32°49.5'N	130°45.9'E	6km	M2.3	1	1
42	2016/05/04 15:06:05.3	熊本県熊本地方	32°44.0'N	130°37.9'E	13km	M2.5	1	1

これらのうち最大震度が2以上となった20地震の記録(表-1)を用いて、下陳に対する田原のスペクトル比を求めた結果を図-3に示す。なお、阿蘇方面を震源とする一部の地震のスペクトル比が熊本方面からのものとやや異なる傾向を示したため、図-3ではそれらを分けて表記している。ただし、図-4に示すように、全体に熊本方面を震源とする地震が多いため、全体を平均したものは図中の熊本方面のものとはほぼ同じ傾向を示している。震源方向によるスペクトル比の差異は興味深く、今後追加調査を実施して検討を深めたい。

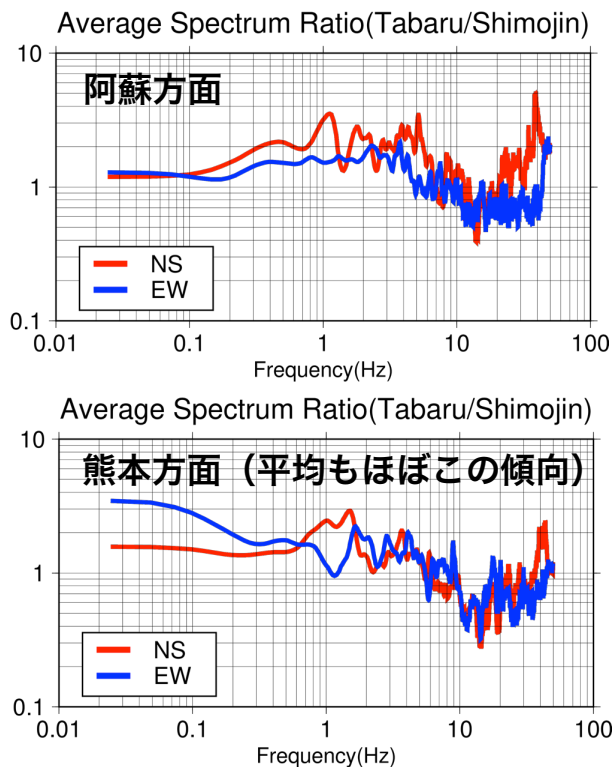


図-3 田原/下陳の平均スペクトル比

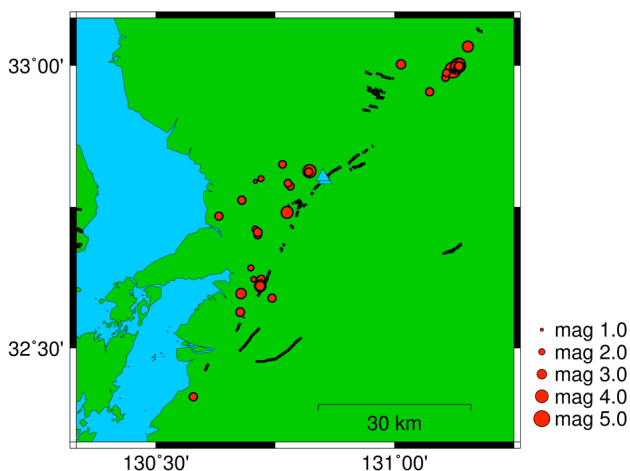


図-4 解析に用いた余震の震央分布

地表地震断層を生じる場所は堆積層が薄く、地盤増幅による影響が小さいため震動による被害が小さいとも考

えることができる。確かに、スペクトル比では下陳よりも田原の揺れが0.1から10Hzのほぼ全ての帯域で大きくなっている。この差を震度に換算⁶⁾すると、平均で0.453(阿蘇方面0.575, 熊本方面0.395)となる。実際の被害から推定される震度は、下陳で地震計を設置させて頂いたお宅では液晶TVが倒れた程度とのことなので、震度5弱～5強(5.0程度)、田原では耐震性の低いと思われる木造家屋が多く倒壊しており、震度6強(6.0以上)と推定され、震度にして1.0以上の差があったものと考えられる。したがって、本震時に地表地震断層を生じた際には、余震観測記録に見られる地盤増幅特性以外の要因で、被害により大きな差が生じたことが想定される。

3. 常時微動観測

地表地震断層を生じた地点では、断層ごく近傍において、断層を挟んだ2点あるいは断層付近で単点3成分微動観測を実施した(図-1のMSK0xx地点)。対象としたのは、益城町杉堂(図-1の東枠外)、下陳で余震観測を実施した地点を含めて2ヶ所、上陳、福原(図-1の南西枠外)および益城町中心部の木山付近(図-1の西枠外)の6地域である。

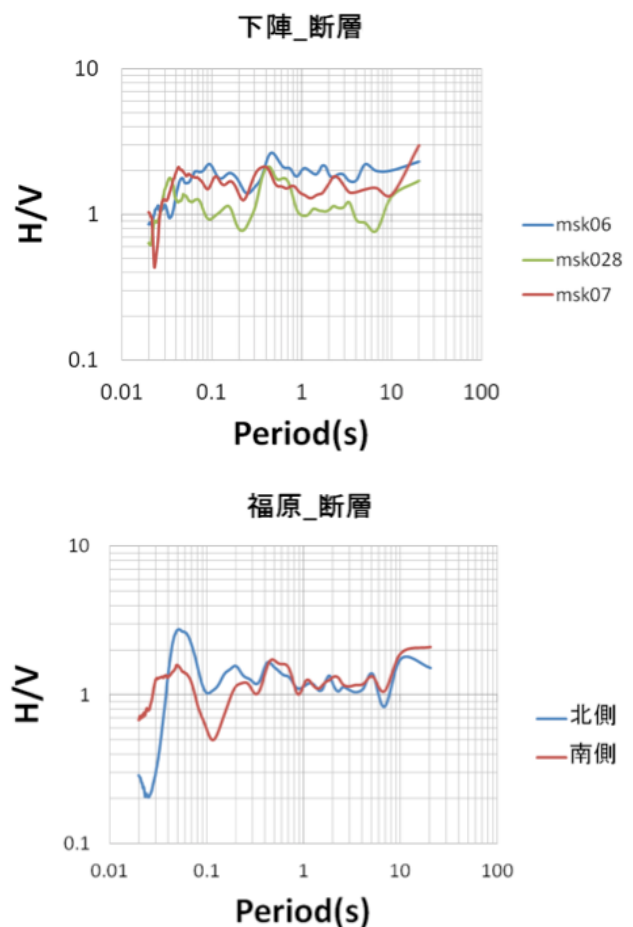


図-5 断層ごく近傍のH/Vスペクトル例

何れの地点でも、H/V スペクトルのピークが明瞭に見えないことが特徴として挙げられる（図-5）。また、断層を挟んだ狭い範囲で H/V スペクトルの形状に大きな変化は見られず、堆積層厚の急激な変化は無いように思われる。

強震動による被害が集中した益城町中心部では、より広範囲に単点3成分微動観測を実施した。図-6 に実施位置と微動 H/V の卓越周期分布を示す。図中、MSK001 および MSK002 は益城町役場敷地内、MSK003 は KiK-net 益城観測点で実施したものである。被害集中域を横断するほぼ南北の側線を設定し、約 50m 毎に観測点を設置した。卓越周期は木造家屋の固有周期に対応する 0.25～0.55 秒の広範囲に分布し、場所毎の変化が大きいように見えるが、観測点周辺における個々の被害との明瞭な相関は見られないようである。ただし、これについては早急に結論せず、より詳細な観測および被害調査を用いた分析が必要であろう。

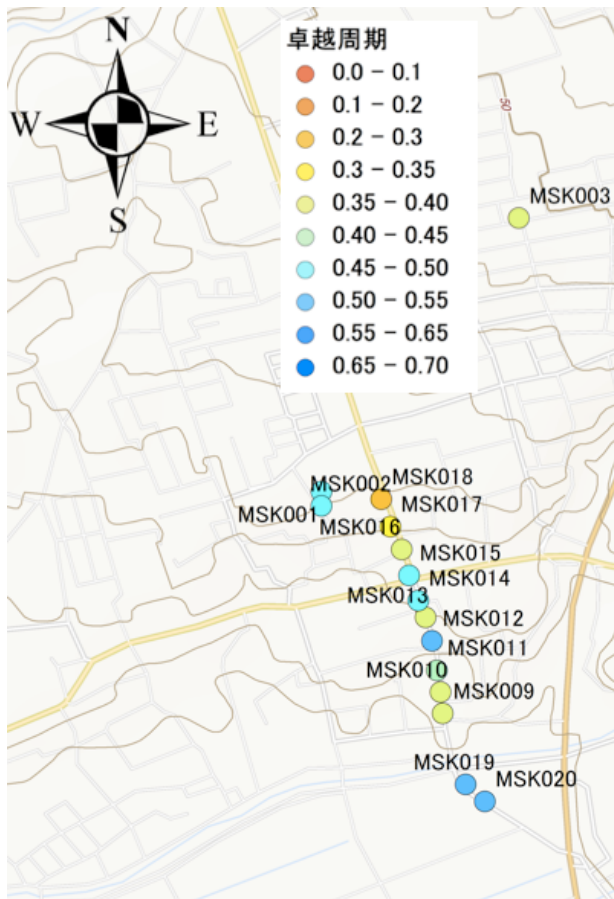


図-6 益城町中心部の単点3成分観測点と微動H/V卓越周期

次に、MSK009 から MSK018 までの各地点における H/V スペクトルの変化を追ったものを図-7 に示す。図中、赤矢印で示した場所に明瞭なピークが見られている。このことから、表層地盤の下位にコントラストの大きい境界が存在し、大きな地盤増幅をもたらしたことが推察され

る。一方で、MSK011 から MSK012 に掛けてピーク周期が長い方に急激にシフトし、ピークがやや小さくなっている。また、MSK013 では明瞭なピークが見られなくなっていることが分かる。活断層研究者の現地踏査⁷⁾では、MSK011 と MSK012 の間に地表地震断層の存在が示唆されており、ここで H/V スペクトルのピークが変化するとともに不明瞭となっているのは、図-5 で指摘したこととも共通する。なお、写真-3 にこの付近の様子を示す。カラーコーンの立てられている部分が断層変位に相当する。この辺りには比較的新しい住宅が多い傾向があるが、いずれも震動による大きな被害は受けていないように見受けられる。

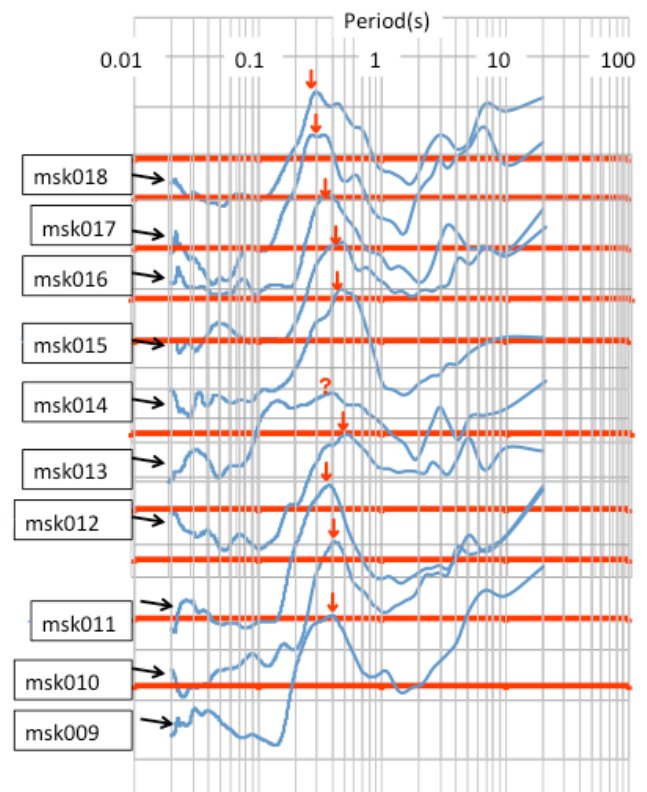


図-7 益城町中心部の微動H/Vスペクトルの変化



写真-3 益城町中心部で地表地震断層とされている付近の様子

このように地表地震断層が現れた場所で微動 H/V スペクトルのピークが明瞭ではなくなる傾向は、1943 年鳥取地震における鹿野断層付近で実施した高密度微動観測でも見られており⁸⁾、今後その成因を検討したい事象である。本研究では益城町およびその郊外の数地点を対象としたのみであるが、2016 年熊本地震で現れた他地域の地表地震断層や過去に発生した地震の地表地震断層近傍においても同様の調査を実施し、このような現象が地表地震断層直上で共通に見られるものかを確認した上で、その成因を探って行きたい。

4. おわりに

2016 年熊本地震本震で生じた地表地震断層ごく近傍において、余震観測および常時微動単点 3 成分観測を実施した。余震観測からは、地表地震断層ごく近傍であるものの強震動による被害が小さかった地点に比べて、断層から離れているものの顕著な震動被害が見られた地点は震度にして平均 0.45 程度揺れが大きいものの、本震時の被害に基づく震度差 1.0 以上を説明するには小さく、他に何らかの要因を導入する必要があることが分かった。また、単点 3 成分微動観測からは、周囲では明瞭に見られる微動 H/V スペクトルのピークが、地表地震断層ごく近傍においては不明瞭となる傾向が見られた。今回の解析は、限られた調査時間の中で実施したごく一部の地域における観測記録のみを対象としており、2016 年熊本地震で生じた地表地震断層の全域にわたる結果とはなっていない。今後調査を追加して、普遍的な事実を抽出して行きたい。

また、地表地震断層が出現する場所においては、ごく浅層部における断層すべりによる短周期 S 波の放射、地表面に向かう S 波中間項・近地項の影響、また断層破碎帯における非線形地盤応答など、断層ごく近傍の強震動に影響を及ぼす様々な要因を複合的に検討する必要がある。今回対象とした 2016 年熊本地震の事例や、1943 年鳥取地震をはじめとした過去に地表地震断層を生じた地震による事例を参考に、地表地震断層ごく近傍における強震動特性の課題に取り組んで行きたい。

謝辞：調査の実施にあたり、観測場所や一時的な駐車スペースを快くお貸し頂いた現地の皆様に感謝します。全ての観測には白山工業製の JU410 を利用しました。また、本研究の一部は、文部科学省科学研究費基盤研究(C)「1943 年鳥取地震鹿野断層端部における断層変位と強

震動が被害に及ぼした影響の分析」(平成 27～29 年度)の助成により実施されました。また一部の図の作成には GMT⁹⁾を用いました。

参考文献

- 1) 松田磐余：1995年兵庫県南部地震の地震断層と地形から見た被害状況総合都市研究，第57巻，pp. 5-18, 1995.
- 2) 久田嘉章，久保智弘，松澤佳，松本俊明，田邊朗仁，森川淳：2011年福島県浜通り地震の地表地震断層近傍における建物被害調査，日本地震工学会論文集，第12巻，第4号（特集号），pp. 104-126.
- 3) 久田嘉章，石川理人：2014年11月22日長野県北部地震での地表地震断層近傍での建物被害（速報）
<<http://kouzou.cc.kogakuin.ac.jp/Open/report/2014-11-Nagano-EQ-hisada.pdf>> (2016/08/31 閲覧).
- 4) Somerville, P. G. : Magnitude scaling of the fault ruptures directivity pulse, Physics of the Earth and Planetary Interiors, 137, pp. 201-212, 2003.
- 5) Kagawa, T., K. Irikura, P. G. Somerville : Difference in ground motion and fault rupture process between the surface and buried rupture earthquake, Earth Planets and Space, 56, pp. 3-14, 2004.
- 6) 鶴来雅人，澤田純男，宮島昌克，北浦勝：サイト増幅スペクトルに基づく震度増加量の推定法，土木学会論文集，738, pp. 191-205, 2003.
- 7) 熊原康博，後藤秀昭，中田高，松多信尚，石山達也，石黒聡士，廣内大助，堤浩之，渡辺満久，鈴木康弘：2016年熊本地震・地表地震断層に関する緊急速報(4/19)
<<http://jsaf.info/jishin/items/docs/20160420164714.pdf>> (2016/08/31 閲覧).
- 8) 野口竜也，上野太士，香川敬生，西田良平，吉田昌平：微動および地中レーダー探査による鹿野断層の地盤構造の把握，日本地震学会講演予稿集，2016年秋季大会（投稿中）.
- 9) Wessel, P. and Smith, W.H.F. : New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS, American Geophysical Union, 1998.

(2016.9.2 受付)

STRONG MOTION CHARACTERISTICS
IN THE VICINITY OF SURFACE FAULT RUPTURE
AT SUBURBS OF MASHIKI TOWN
DUE TO THE 2016 KUMAMOTO EARTHQUAKE

Takao KAGAWA, Shohei YOSHIDA and Hiroshi UENO

Aftershock and microtremor observations were conducted in the vicinity of surface fault ruptures at suburbs of Msshiki town due to the 2016 Kumamoto Earthquake. Our target of the observations is searching out the difference of ground motions between surface faulting areas without severe damages and severely damaged areas without surface faulting. From aftershock observation, ground motion at damaged site is larger than that at surface faulting site without damage, however, average difference of JMA seismic intensity between the two sites are less than 0.5 while estimated difference from witness and real damage is more than 1.0. From microtremor observations, H/V spectra at surface faulting regions are rather flat and do not to have steep peak while clear peaks are observed around the faulting areas.