



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—

神野達夫¹⁾, 汐満将史²⁾, 境有紀³⁾, 重藤迪子⁴⁾, 松尾真太郎⁵⁾

田中斐佳⁶⁾, 金子政輝⁷⁾, 古谷英康⁸⁾, 上藁周平⁹⁾, 有馬拓¹⁰⁾

- 1) 正会員 九州大学大学院人間環境学研究院, 教授, 博士 (工学)
e-mail : kanno@arch.kyushu-u.ac.jp
- 2) 正会員 山形大学大学院理工学研究科, 助教, 博士 (工学)
e-mail : shiomitsu@yz.yamagata-u.ac.jp
- 3) 正会員 筑波大学システム情報系, 教授, 工博
e-mail : sakai@kz.tsukuba.ac.jp
- 4) 正会員 九州大学大学院人間環境学研究院, 助教, 博士 (工学)
e-mail : shigefuji@arch.kyushu-u.ac.jp
- 5) 非会員 九州大学大学院人間環境学研究院, 准教授, 博士 (工学)
e-mail : matsuo@arch.kyushu-u.ac.jp
- 6) 非会員 九州大学大学院人間環境学府, 大学院生
e-mail : 2HE17019M@s.kyushu-u.ac.jp
- 7) 非会員 元九州大学大学院人間環境学府, 大学院生
e-mail : rnk426@gmail.com
- 8) 非会員 元九州大学大学院人間環境学府, 大学院生
e-mail : uruwhoo1125@yahoo.co.jp
- 9) 非会員 九州大学大学院人間環境学府, 大学院生
e-mail : znshh.411@gmail.com
- 10) 非会員 九州大学大学院人間環境学府, 大学院生
e-mail : arima.kannolab@gmail.com

要 約

2016年に発生した熊本地震を対象として, 熊本県北・大分県において震度6弱以上を記録した強震観測点周辺の被害調査を行った. その結果, 全壊といった大きな被害を受けた建物が見られたものの, その数は震度の大きさに対して少なかった. 観測された強震記録の性質について分析した結果, いずれも周期1秒以下の短周期が卓越した地震動で, 建物の大きな被害と相関がある周期1-1.5秒応答は小さく, このことが震度が大きいにも関わらず, 大きな被害を受けた建物が少なかった原因と考えられる. また, 一部の強震記録は長周期成分が卓越しており, 免震建物や超高層建物があった場合, 大きな被害が生じていた可能性がある.

キーワード: 2016年熊本地震, 地震動, 地震被害調査, 強震観測点, 熊本県北, 大分県

1. はじめに

2016年4月14日21:26に発生した地震をはじめとする熊本地震では、最大震度7の地震動が観測された。筆者らは、K-NET、KiK-net、気象庁震度観測点（以下、JMA）、地方公共団体震度計（以下、単に震度計）を対象として、震度6弱を記録した一部の観測点、震度6強以上を記録した全ての観測点周辺の被害調査を行った。本稿では、熊本県北および大分県の調査結果を報告し、生じた地震動の性質と、建物被害の関係性について検討した。

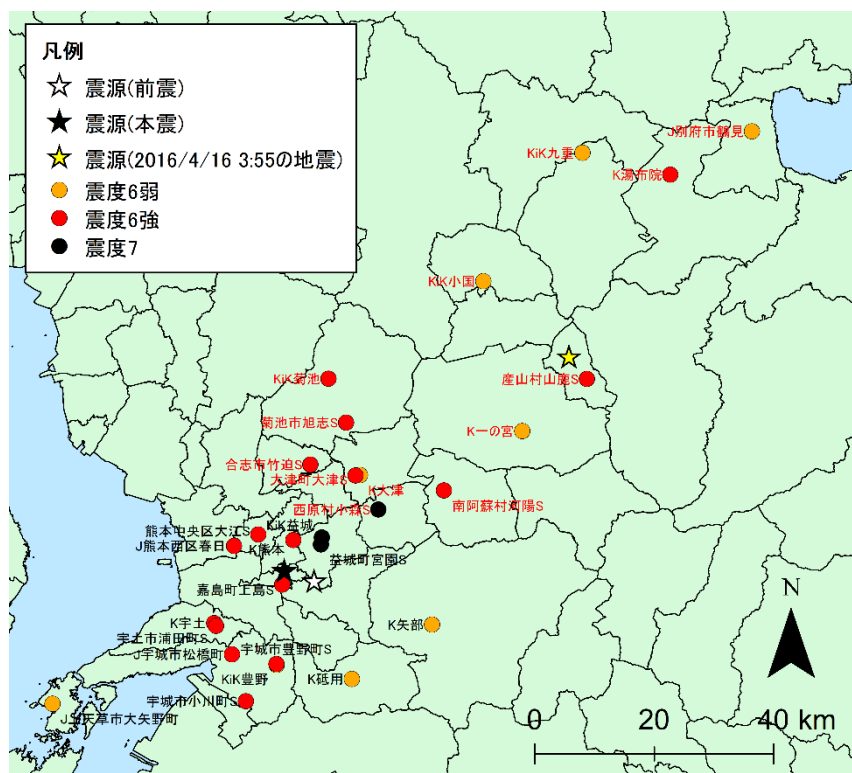
2. 被害調査

2.1 対象とした観測点

筆者らは、これまで発生した地震において、強震観測点周辺の被害調査を行ってきた^{例えば1)}。その方法は、原則として建物被害が発生している可能性がある震度6弱以上を記録したすべての強震観測点を対象として、周辺（観測点から半径200 m円内）の建物の全数調査を行い、地震動と建物被害の対応性の検証を行うというものである。しかし、今回の地震では震度6弱以上を観測した観測点が52点と非常に多く、全てを調査するのが困難なため、調査する観測点の絞込を行った。絞込の条件は、震度が大きいものの、調査検討時点で強震記録が公開されていた、あるいは公開される可能性が高いと見られたものとし、具体的には、

- ① 震度6強以上の全ての観測点
- ② 震度6弱の場合は、調査検討時点で強震記録が公開されていた、あるいは公開される可能性が高いと見られたK-NET、KiK-net、JMA観測点

とした。調査を行った観測点の位置を図1に示す。本稿ではこのうち、熊本県北および大分県（図1中赤字の観測点）について報告する。その他の観測点に関しては、別途報告する^{2~3)}。



2.2 調査方法の概要

調査は2016年4月16日3:55の地震（以下、2016年4月16日1:25の地震を本震、2016年4月14日21:26の地震を前震、2016年4月16日3:55の地震を2016/4/16 3:55の地震と表記）後の2016年4月23～6月2日に行い、調査範囲は、強震観測点から半径200 m円内とした。半径200 m以内としたのは、強震観測点で観測された地震動とできる限り同一の揺れと見なせるように観測点近傍に範囲を限定すること、建物被害率を算出するために十分な数の建物が存在することの相反する2つの条件を考慮した結果である¹⁾。半径200 m以内の地震動の同一性は、本来、詳細な地盤調査によって確認されるべきであるが、本論文ではそのような調査は実施していないため、地震動の同一性が疑われるような高低差がある場合は、適宜報告する。範囲内の全ての建物について、外観から被害レベル、構造種別を判定し、被害率算出のための被害レベルは、全壊⁴⁾、大破⁵⁾という大きな被害のみとした。なお、倉庫、蔵等や地盤被害、基礎の被害を受けた建物は対象外とし、建物棟数と被害棟数にはカウントせず、後述する建物分布図にも記載していない。つまり、調査範囲内の倉庫や蔵等を除く全ての建物の振動による上部構造の被害を対象とした。定量的な被害データは建物のみであるが、地盤等の建物以外の被害についても調査、記録を行った。

3. 調査結果

3.1 各観測点周辺の被災状況

本節では、各観測点周辺の被災状況について述べる。以下には各観測点周辺（観測点から半径200 m円内）の建物分布図を示しているが、図中の「<」は写真を撮った向き、番号は、写真番号の数字を表している。各建物はその中心位置に○印で表していて、建物の一部が観測点から200 m円内にあれば範囲内としているため、○印の位置が半径200 m円内の若干外側になることもある。○印の中の数字は建物階数で、数字なしは2階建を意味している。

(1) K-NET大津（前震：震度5弱、本震：震度6弱、2016/4/16 3:55の地震：震度3）

観測点は、大津町生涯学習センター（写真1）の駐車場に設置されており（写真2）、背面には高さ2 m程の斜面がある（写真3）。円内に大きな高低差は無い。周辺には63棟の建物（うち木造建物52棟）があり（写真4～7）、瓦屋根が被害を受けた木造建物（写真8）、墓石の転倒（写真9）、範囲外で擁壁の被害（写真10）が見られたが、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。



図2 K-NET大津周辺の建物分布



写真1 大津町生涯学習センター



写真2 観測点の設置状況



写真3 観測点の設置状況



写真4 周辺の様子



写真5 周辺の様子



写真6 周辺の様子



写真7 周辺の様子



写真8 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真9 墓石の転倒



写真10 擁壁の被害(範囲外)

(2) 大津町大津震度計（前震：震度5強, 本震：震度6強, 2016/4/16 3:55の地震：震度情報なし）

観測点は大津町役場（写真11）の北側に設置されている（写真12）。建物近傍のため、観測記録にはその影響が入り、周辺で生じた揺れと異なる可能性がある。役場建物はガラスの被害（写真13）、柱のせん断ひび割れが見られ（写真14）、全面立入禁止となっていた。観測点周辺の建物分布を図3に示す。円内に大きな高低差は無い。周辺には181棟の建物（うち木造建物145棟）があり（写真15～16）、擁壁の被害（写真17）、ブロック塀の被害（写真18）、外装材が被害を受けた木造建物（写真19）、瓦屋根が被害を受けた木造建物（写真20）が見られたが、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。



図3 大津町大津震度計周辺の建物分布



写真 11 大津町役場



写真 12 観測点の設置状況



写真 13 大津町役場建物のガラスの被害



写真 14 大津町役場建物の柱のせん断ひび割れ



写真 15 周辺の様子



写真 16 周辺の様子



写真 17 擁壁の被害



写真 18 ブロック塀の被害



写真 19 外装材に被害を受けた木造建物



写真 20 瓦屋根に被害を受けた木造建物

(3) 西原村小森震度計（前震：震度6弱, 本震：震度7, 2016/4/16 3:55の地震：震度4）

観測点は西原村役場（写真 21）の脇に設置されている（写真 22）。建物近傍のため、観測記録にはその影響が入り、周辺で生じた揺れと異なる可能性がある。役場建物は外観からは被害は見られなかったが、同敷地内にある体育館は外装材に被害が見られた（写真 23）。観測点周辺の建物分布を図 4 に示す。円内に大きな高低差は無い。周辺には 57 棟の建物（うち木造建物 44 棟）があり（写真 24～26）、瓦屋根が被害を受けた木造建物（写真 27）、外装材が被害を受けた木造建物（写真 28～29）、大破したブロック造倉庫（写真 30、対象外）、墓石の転倒（写真 31）、地盤の被害（写真 32）が見られたが、震度 7 と大きな震度を記録したにも関わらず、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。

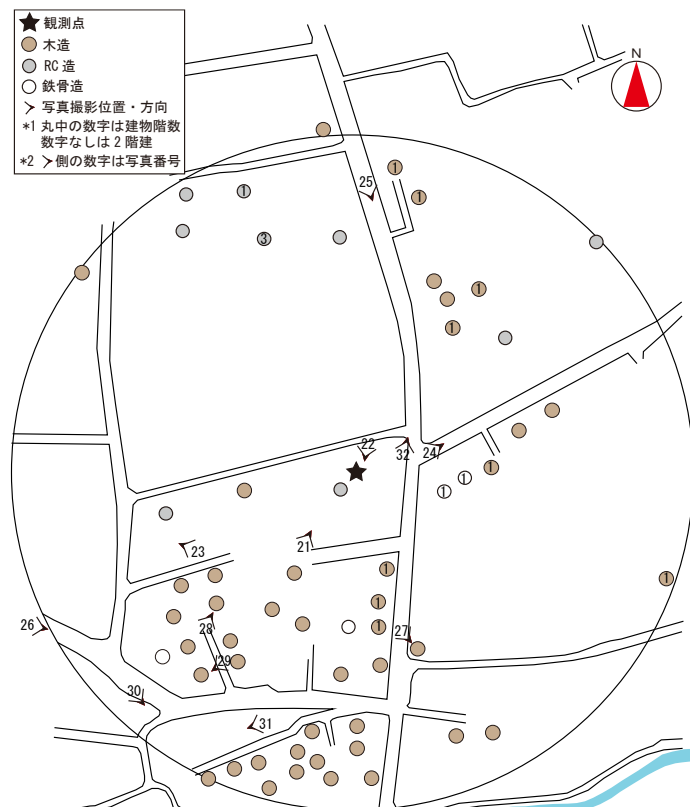


図4 西原村小森震度計周辺の建物分布



写真 21 西原村役場



写真 22 観測点の設置状況



写真 23 体育館の外装材の被害



写真 24 周辺の様子



写真 25 周辺の様子



写真 26 周辺の様子



写真 27 瓦屋根に被害を受けた木造建物



写真 28 外装材に被害を受けた木造建物



写真 29 外装材に被害を受けた木造建物



写真 30 大破したブロック造倉庫（対象外）



写真 31 墓石の転倒



写真 32 地盤の被害

(4) 合志市竹迫震度計（前震：震度5強, 本震：震度6強, 2016/4/16 3:55の地震：震度3）

観測点は、合志市役所合志庁舎（写真 33）建物の 1 階に設置されている（写真 34）。建物内部のため、観測記録は周辺で生じた揺れと異なる可能性がある。同敷地内では、体育館でガラスの被害（写真 35）、石碑の転倒（写真 36）が見られた。観測点周辺の建物分布を図 5 に示す。円内に大きな高低差は無い。周辺には 6 棟の建物（うち木造建物 3 棟）があり（写真 37～41）、範囲外で瓦屋根に被害を受けた木造建物（写真 42）が見られたが、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。



図5 合志市竹迫震度計周辺の建物分布



写真 33 合志市役所合志庁舎



写真 34 観測点の設置状況



写真 35 体育館のガラスの被害



写真 36 石碑の転倒



写真 37 周辺の様子



写真 38 周辺の様子



写真 39 周辺の様子



写真 40 周辺の様子



写真 41 周辺の様子



写真 42 瓦屋根に被害を受けた木造建物
(範囲外)

(5) 菊池市旭志震度計（前震：震度5強, 本震：震度6強, 2016/4/16 3:55の地震：震度4）

観測点は、菊池市旭志支所の庁舎（写真 43）の中庭に設置してある（写真 44）。建物近傍のため、観測記録にはその影響が入り、周辺で生じた揺れと異なる可能性がある。観測点周辺の建物分布を図 6 に示す。観測点の周辺には 54 棟（うち木造建物 42 棟）の建物がある（写真 45～48）。外装材の落下した木造建物（写真 49）や瓦屋根に被害が見られる木造建物（写真 50）のほか、地盤変状によって基礎に浮き上がりが見られる建物（写真 51）、また亀裂の発生により通行止めになっている道路（写真 52）はあったが、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。

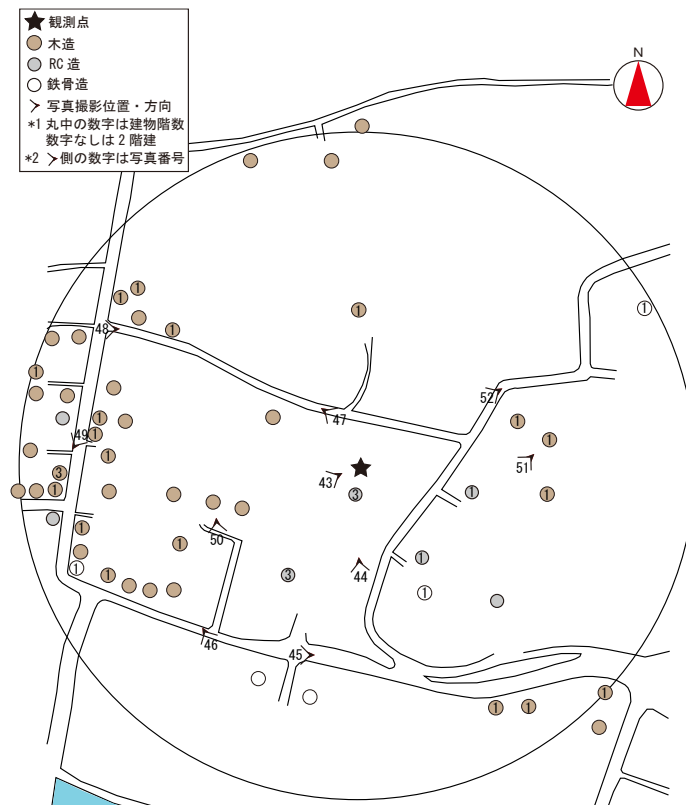


図6 菊池市旭志震度計周辺の建物分布



写真 43 菊池市旭志支所



写真 44 観測点の設置状況



写真 45 周辺の様子



写真 46 周辺の様子



写真 47 周辺の様子



写真 48 周辺の様子



写真 49 外装材が被害を受けた木造建物



写真 50 屋根瓦が被害を受けた木造建物



写真 51 基礎の浮き上がりが見られた木造建物



写真 52 亀裂が入った道路

(6) KiK-net 菊池（前震：震度4, 本震：震度6強, 2016/4/16 3:55の地震：震度3）

観測点は、菊池市の迫間公民館（写真 53）や迫間体育館の駐車場の脇に設置されている（写真 54）。観測点の背面は丘になっている（写真 55）。観測点周辺の建物分布を図 7 に示す。周辺には 7 棟の建物（うち木造建物 5 棟）があり（写真 56～60），屋根瓦に被害が見られる木造建物（写真 61）や外壁に亀裂が入った鉄骨造建物（写真 62）は見られたが、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。

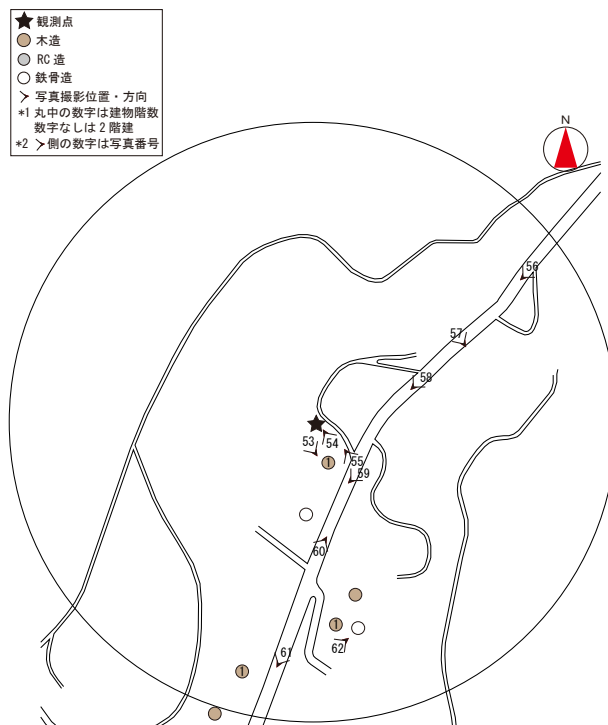


図7 KiK-net菊池周辺の建物分布



写真 53 迫間公民館



写真 54 観測点の設置状況



写真 55 観測点の設置状況



写真 56 周辺の様子



写真 57 周辺の様子



写真 58 周辺の様子



写真 59 周辺の様子



写真 60 周辺の様子



写真 61 瓦屋根に被害を受けた木造建物



写真 62 外装材に被害を受けた鉄骨造建物

(7) 南阿蘇村河陽震度計（前震：震度5弱, 本震：震度6強, 2016/4/16 3:55の地震：震度4）

観測点は、南阿蘇村役場長陽庁舎（写真 63）の裏手に設置されている（写真 64）。建物近傍のため、観測記録にはその影響が入り、周辺で生じた揺れと異なる可能性がある。観測点周辺の建物分布を図 8 に示す。周辺には 25 棟の建物（うち木造建物 15 棟）があり（写真 65～70），瓦屋根に被害があった木造建物（写真 71）が確認されたほか、対象外ではあるが、古い木造の小屋の倒壊（写真 72）が見られた。しかし、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。



図8 南阿蘇村河陽震度計周辺の建物分布



写真 63 南阿蘇村役場長陽庁舎



写真 64 観測点の設置状況



写真 65 周辺の様子



写真 66 周辺の様子



写真 67 周辺の様子



写真 68 周辺の様子



写真 69 周辺の様子



写真 70 周辺の様子



写真 71 瓦屋根に被害を受けた木造建物



写真 72 倒壊した木造の小屋 (対象外)

(8) K-NET一の宮 (前震:震度4, 本震:震度6弱, 2016/4/16 3:55の地震:震度5弱)

観測点は、一の宮運動公園の一角に設置してある(写真 73)。観測点の裏手は一段高くなっており(2 m 程度)、その上に放送用の鉄塔(写真 74)が立っている。観測点の目の前には野球場が広がる(写真 75)。観測点周辺の建物分布を図 9 に示す。周辺には 8 棟(うち木造建物 7 棟)の建物があったが(写真 76~80)、瓦屋根や外装材の被害といった軽微なものも含めて、被害は見られなかった。

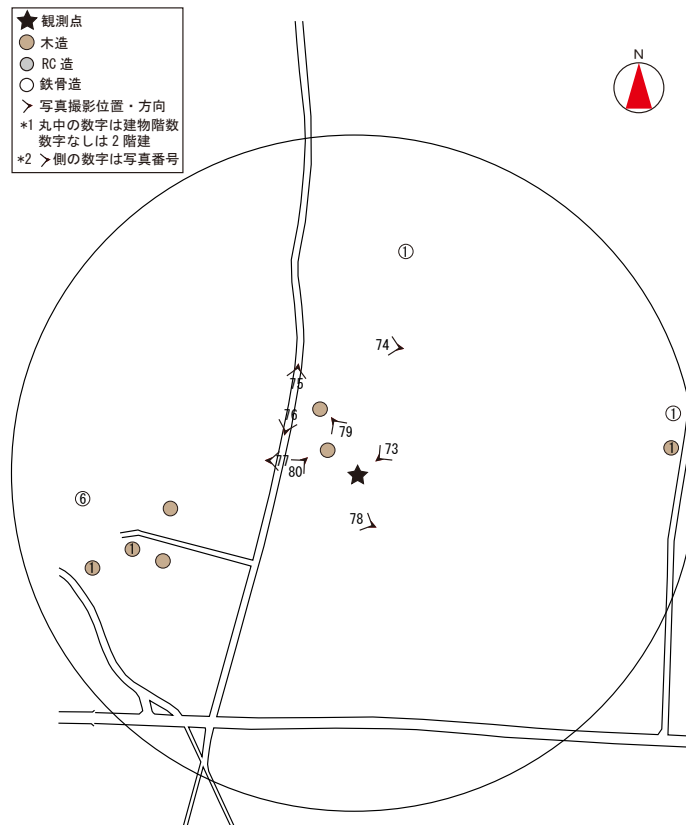


図9 K-NET一の宮周辺の建物分布



写真 73 観測点の設置状況



写真 74 観測点裏手の放送用鉄塔



写真 75 周辺の様子



写真 76 周辺の様子



写真 77 周辺の様子



写真 78 周辺の様子



写真 79 周辺の木造建物



写真 80 周辺の木造建物

(9) 産山村山鹿震度計（前震：震度4, 本震：震度5強, 2016/4/16 3:55の地震：震度6強）

観測点は、産山村役場庁舎（写真 81）の中に設置されている（写真 82）。建物内部のため、観測記録は周辺で生じた揺れと異なる可能性がある。観測点周辺の建物分布を図 10 に示す。役場の北側を東西に県道 131 号線が通っており、その県道沿いに 50 棟の建物（うち木造建物 40 棟）が立ち並ぶ（写真 83～88）。瓦屋根に被害が見られる建物は数棟確認されたが（写真 89～90）、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られなかった。



図10 産山村山鹿震度計周辺の建物分布



写真 81 産山村役場庁舎

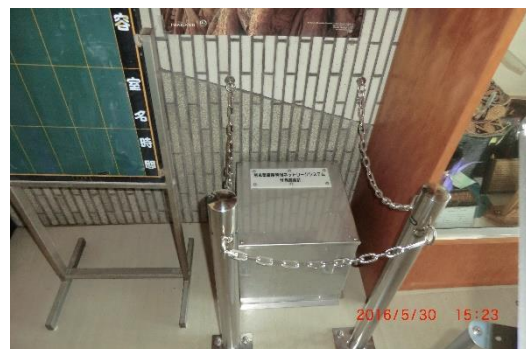


写真 82 観測点の設置状況



写真 83 周辺の様子



写真 84 周辺の様子



写真 85 周辺の様子



写真 86 周辺の様子



写真 87 周辺の様子



写真 88 周辺の様子



写真 89 瓦屋根に被害を受けた木造建物



写真 90 瓦屋根に被害を受けた木造建物

(10) JMA別府市鶴見（前震：震度2, 本震：震度6弱, 2016/4/16 3:55の地震：震度2）

観測点は、国道 500 号線から南東に下る道沿いの宅地造成地内の小さな公園に設置されており、国道からは 3 m ほど低い位置にある（写真 91）。観測点周辺の建物分布を図 11 に示す。国道の北側は鉄輪地獄地帯公園であり、観測点の南側には中学校がある。周辺には 38 棟の建物（うち木造建物 23 棟）があるが（写真 92～100），瓦屋根や外装材の被害といった軽微なものも含めて、被害は見られなかった。

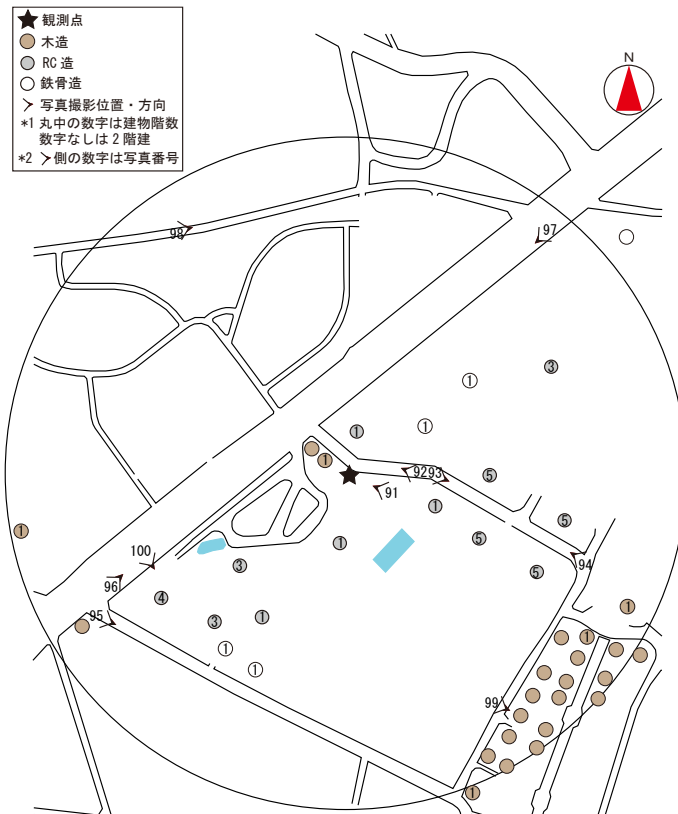


図11 JMA別府市鶴見周辺の建物分布



写真 91 観測点の設置状況



写真 92 周辺の様子



写真 93 周辺の様子



写真 94 周辺の様子



写真 95 周辺の様子



写真 96 周辺の様子



写真 97 周辺の様子



写真 98 周辺の様子



写真 99 周辺の木造建物



写真 100 耐震補強された RC 造建物

(11) K-NET湯布院（前震：震度3, 本震：震度6強, 2016/4/16 3:55の地震：震度3）

観測点は、由布市湯布院町 B&G 海洋センター（写真 101）の敷地内に設置されている（写真 102）。観測点周辺の建物分布を図 12 に示す。南側の中学校のグラウンドとの高低差は 2 m 程度である。周辺には 43 棟の建物（うち木造建物 37 棟）があり（写真 103～107），瓦屋根や外装材に被害を受けた木造建物（写真 108）が数棟確認されたほか、全壊した木造建物が 1 棟見られた（写真 109）。この全壊した建物から 15～20 m 程度離れた道路には、数 cm の段差も確認されている（写真 110）。建物棟数が少ない（80 棟を基準、以下同）ため参考値ではあるが、全壊・大破率は 2.3%（木造全壊率は 2.7%）であった。

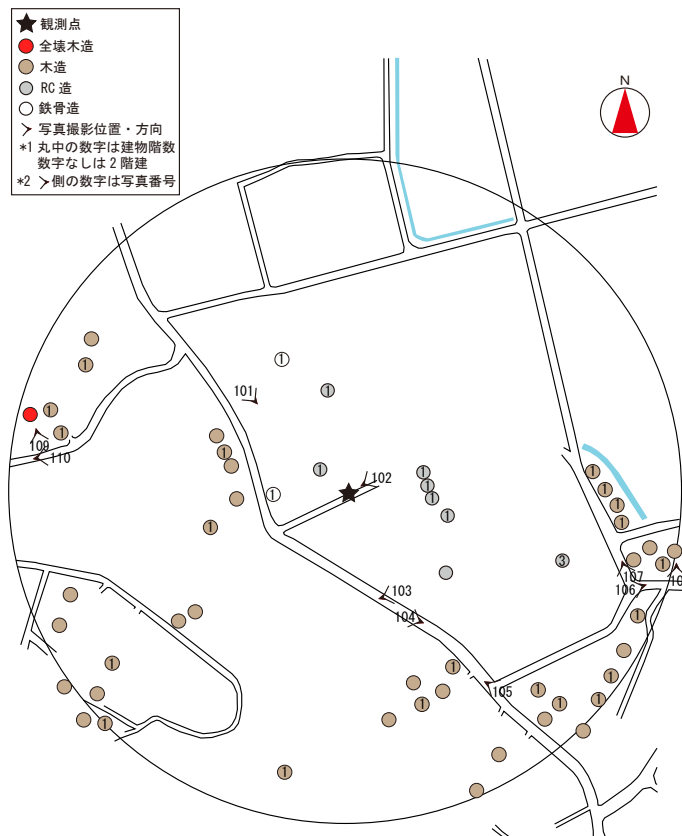


図12 K-NET湯布院周辺の建物分布



写真 101 湯布院町 B&G 海洋センター



写真 102 観測点の設置状況



写真 103 周辺の様子



写真 104 周辺の様子



写真 105 周辺の様子



写真 106 周辺の様子



写真 107 周辺の様子



写真 108 瓦屋根に被害を受けた木造建物



写真 109 全壊した木造建物



写真 110 道路に生じた段差

(12) KiK-net九重（前震：震度4, 本震：震度6弱, 2016/4/16 3:55の地震：震度3）

観測点は、山間の集落にある盛土造成されたとされる敷地内に設置されている（写真 111）。敷地の下にある道路との高低差はおよそ 3 m である（写真 112）。観測点周辺の建物分布を図 13 に示す。周辺には 15 棟の建物（うち木造建物 14 棟）があるが（写真 113～118），瓦屋根や外装材の被害といった軽微なものも含めて、被害は見られなかった。

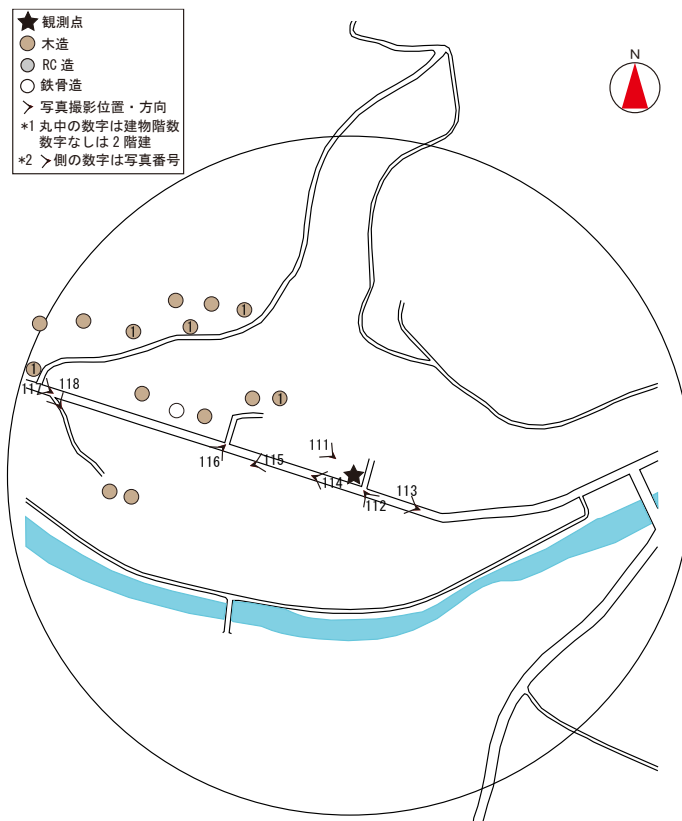


図13 KiK-net九重周辺の建物分布



写真 111 観測点の設置状況



写真 112 観測点の設置状況



写真 113 周辺の様子



写真 114 周辺の様子



写真 115 周辺の様子



写真 116 周辺の様子



写真 117 周辺の様子



写真 118 周辺の様子

(13) KiK-net小国（前震：震度4, 本震：震度6弱, 2016/4/16 3:55の地震：震度5弱）

観測点は、小国町の観光案内所や道の駅などが集まる地区の道路沿いに設置されている（写真 119）。観測点周辺の建物分布を図 14 に示す。周辺には 87 棟の建物（うち木造建物 61 棟）があるが（写真 120～128），瓦屋根や外装材の被害といった軽微なものも含めて，被害は見られなかった。



図14 KiK-net小国周辺の建物分布



写真 119 観測点の設置状況



写真 120 周辺の様子



写真 121 周辺の様子



写真 122 周辺の様子



写真 123 周辺の様子



写真 124 周辺の様子



写真 125 周辺の様子



写真 126 周辺の様子



写真 127 周辺の様子



写真 128 周辺の様子

3.2 各観測点周辺の被害のまとめ

各強震観測点周辺の被害状況，建物棟数，および，被害率を表 1 に示す．全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は，K-NET 湯布院で 1 棟見られたのみで，震度に対し大きな被害を受けた建物は少なかった．

表1 被害調査結果の概要と地震動強さ指標

調査日	観測点名	観測点から半径200m 以内の被害状況 ^{*1}	建物棟数		全壊大破 棟数		木造 全壊率 [%] ^{*2}	地震動強さ ^{*3}				
			全体	木造	全体	木造		計測 震度 ^{*4}	PGA ^{*5} [cm/s ²]	PGV ^{*6} [cm/s]	A _{1-1.5} ^{*7} [cm/s ²]	1-2秒 震度
2016/4/23	K-NET大津	瓦屋根の被害、墓石の転倒	63	52	0	0	(0.0)	5.72 (4.81)	575.5 (235.3)	58.2 (17.3)	332.1 (113.3)	5.28 (4.38)
	大津町大津震度計	RC造役場建物の柱のせん断ひび割れ、ガラス・ 擁壁・ブロック塀・外装材・瓦屋根の被害	181	145	0	0	0.0	6.10 (5.22)	1756.2 (464.7)	78.4 (23.9)	431.6 (98.0)	5.46 (4.35)
	西原村小森震度計	瓦屋根・外装材・地盤の被害、墓石の転倒 大破したブロック造倉庫(対象外)	57	44	0	0	(0.0)	6.62 (5.75)	866.4 (538.5)	253.0 (35.6)	1019.6 (180.1)	6.34 (4.77)
	合志市竹迫震度計	ガラスの被害、石碑の転倒	6	3	0	0	(0.0)	6.21 (5.33)	703.2 (287.0)	88.3 (23.6)	644.8 (129.7)	5.84 (4.58)
	菊池市旭志震度計	瓦屋根・外装材の被害、基礎の浮き上がり 道路の亀裂	54	42	0	0	(0.0)	6.41 (5.05)	920.5 (359.2)	129.9 (15.8)	799.6 (98.0)	6.11 (4.33)
2016/5/23	KiK-net菊池	瓦屋根・外装材の被害	7	5	0	0	(0.0)	6.15 (4.43)	788.9 (171.2)	80.9 (9.7)	688.7 (55.3)	6.03 (3.64)
2016/5/30	南阿蘇村河陽震度計	倒壊した木造の小屋(対象外) 瓦屋根の被害	25	15	0	0	(0.0)	6.28 (4.87)	1292.8 (260.5)	130.1 (16.5)	742.1 (54.7)	6.07 (3.83)
	K-NET一の宮	被害なし	8	7	0	0	(0.0)	5.54 (3.50)	379.2 (37.8)	92.3 (3.6)	333.4 (22.1)	5.37 (2.96)
	産山村山鹿震度計	瓦屋根の被害	50	40	0	0	(0.0)	6.11 (5.11)	778.6 (278.6)	52.6 (12.2)	290.1 (29.1)	5.27 (3.31)
	JMA別府市鶴見	被害なし	38	23	0	0	(0.0)	5.51 (1.83)	835.2 (12.2)	42.5 (0.7)	183.9 (2.6)	4.98 (1.12)
2016/6/2	K-NET湯布院	全壊した木造建物、瓦屋根・外装材の被害 道路の段差	43	37	1	1	(2.7)	6.07 (2.79)	717.6 (13.6)	83.7 (1.8)	548.7 (11.4)	5.73 (2.53)
	KiK-net九重	被害なし	15	14	0	0	(0.0)	5.55 (3.56)	573.9 (88.7)	24.6 (2.3)	102.1 (11.7)	4.48 (2.40)
	KiK-net小国	被害なし	87	61	0	0	(0.0)	5.55 (4.24)	684.6 (151.2)	49.1 (5.9)	270.5 (31.1)	5.34 (3.31)
	1995年 兵庫県南部地震 JR鷹取	全壊・大破した建物有り	545	207	190	123	59.4	6.48	741.6	157.2	1227.1	6.63
過去の記録	2004年 新潟県中越地震 JMA小千谷	全壊した木造建物有り	164	114	2	2	1.8	6.34	975.0	93.6	616.0	6.03
	2011年 東北地方太平洋沖地震 K-NET築館	全壊・大破した建物無し	58	51	0	0	0.0	6.67	2765.2	105.8	332.1	5.58

*1: 過去の記録については全壊・大破した建物の有無のみ記載

*2: ()は建物棟数が不足(80棟を基準)のため参考値

*3: ()有りは前震、()無しは本震

*4: 気象庁の算出方法⁶⁾では小数点以下1桁目までとされているが、ここでは参考のため2桁目まで表示している

*5: 地動最大加速度(水平2方向ベクトル合成)

*6: 地動最大速度(加速度波形に0.1-10Hzのバンドパスフィルタをかけて積分し水平2方向ベクトル合成したものの最大値)

*7: 1-1.5秒平均加速度応答(減衰定数20%)

4. 観測された地震動の性質と建物被害との対応

計測震度、地動最大加速度等の地震動強さ指標を表1に示している。地震動強さ指標には、建物の大きな被害と相関が高い減衰定数20%における周期1-1.5秒の平均スペクトル値(以下、1-1.5秒応答)⁷⁾と、建物の大きな被害と相関の高い震度指標として提案された1-2秒震度⁸⁻⁹⁾も記している。また、加速度波形(水平2方向をベクトル合成し、最大となる方向。以下、水平2方向ベクトル合成最大方向)を図15に示す。記載している地震は、産山村山鹿震度計のみ2016/4/16 3:55の地震(前震・本震では震度6弱未満であったため省略)、その他は前震および本震(2016/4/16 3:55の地震ではいずれも震度6弱未満であったため省略)である。ほとんどの観測点で、地震動強さ指標は前震よりも本震の方が大きい。前震・本震と強い揺れが連続したものの、被害の大きさは、本震のみで説明できる¹⁰⁻¹²⁾という指摘も多いため、地震動強さは本震の値(ただし、産山村山鹿震度計は2016/4/16 3:55の地震)に着目し、建物被害との関係について分析する。なお、JMA別府市鶴見、K-NET湯布院、KiK-net九重では、熊本地震の本震よりもその直後に発生した大分県中部の誘発地震の影響が強く反映されていると思われるが、正確な分離は不可能であることから、ここでは特に区別せずに扱うこととする。PGAは大津町大津震度計、南阿蘇村河陽震度計で1000 cm/s²を超えており、PGVは西原村小森震度計、菊池市旭志震度計、南阿蘇村河陽震度計で100 cm/sを超え、特に西原村小森震度計は253.0 cm/sと非常に大きい。

次に、弾性加速度応答スペクトルを一般的な減衰定数5%とした場合、建物が全壊に至る時の等価減衰である減衰定数20%⁷⁾とした場合について図16~18に示す。図18には、西原村小森震度計と大津町大津震度計の本震記録と過去の強震記録、具体的には1995年兵庫県南部地震JR鷹取、2004年新潟県中越地震JMA小千谷、2011年東北地方太平洋沖地震K-NET築館の記録を記している。多くの強震記録は、計測震度と人体感覚に対応した周期1秒以下の短周期⁸⁻⁹⁾が卓越している一方、建物の大きな被害と相関がある1-1.5秒応答は、木造全壊率が1.8%であった2004年新潟県中越地震のJMA小千谷よりも小さい。そのため、震度6弱以上といった大きな震度を記録したにも関わらず、大きな被害を受けた建物がほとんど見られなかったのは、計測震度と人体感覚に対応した周期1秒以下の短周期が卓越し、建物の大きな被害と相関がある1-1.5秒応答が小さかったためであると考えられる。なお、JMA小千谷より大きな1-1.5秒応答を記録している観測点もいくつか見られ、特に西原村小森震度計・菊池市旭志震度

計・KiK-net 菊池・南阿蘇村河陽震度計では 1-2 秒震度は 6 強となっているが、建物棟数が少ないため定量的な分析を行うことは難しい。

また、西原村小森震度計、K-NET 一の宮では周期 2 秒以上の長周期成分が見られる。過去の長周期地震動と変位応答スペクトル（図 19、減衰定数は一般的な（a）5 %と、ダンパー等の付加を考慮した（b）10 %の 2 ケース）を比較すると、西原村小森震度計の記録は、すべての周期帯で 2003 年十勝沖地震の K-NET 苫小牧を上回っており、周期 4 秒までの応答は 1999 年台湾集集地震の石岡、2015 年ネパール・ゴルカ地震の KATNP よりも大きく、変位応答は減衰定数 10%でも約 2 m に達している。K-NET 一の宮は、西原村小森震度計程の大きさは無いが、変位応答は減衰定数 10%でも約 1 m と、その値は小さくない。観測点周辺に免震建物や超高層建物は見られなかったが、もし同地点にこのような周期が長い建物が存在していた場合、大きな被害が生じていた可能性があったと考えられる。

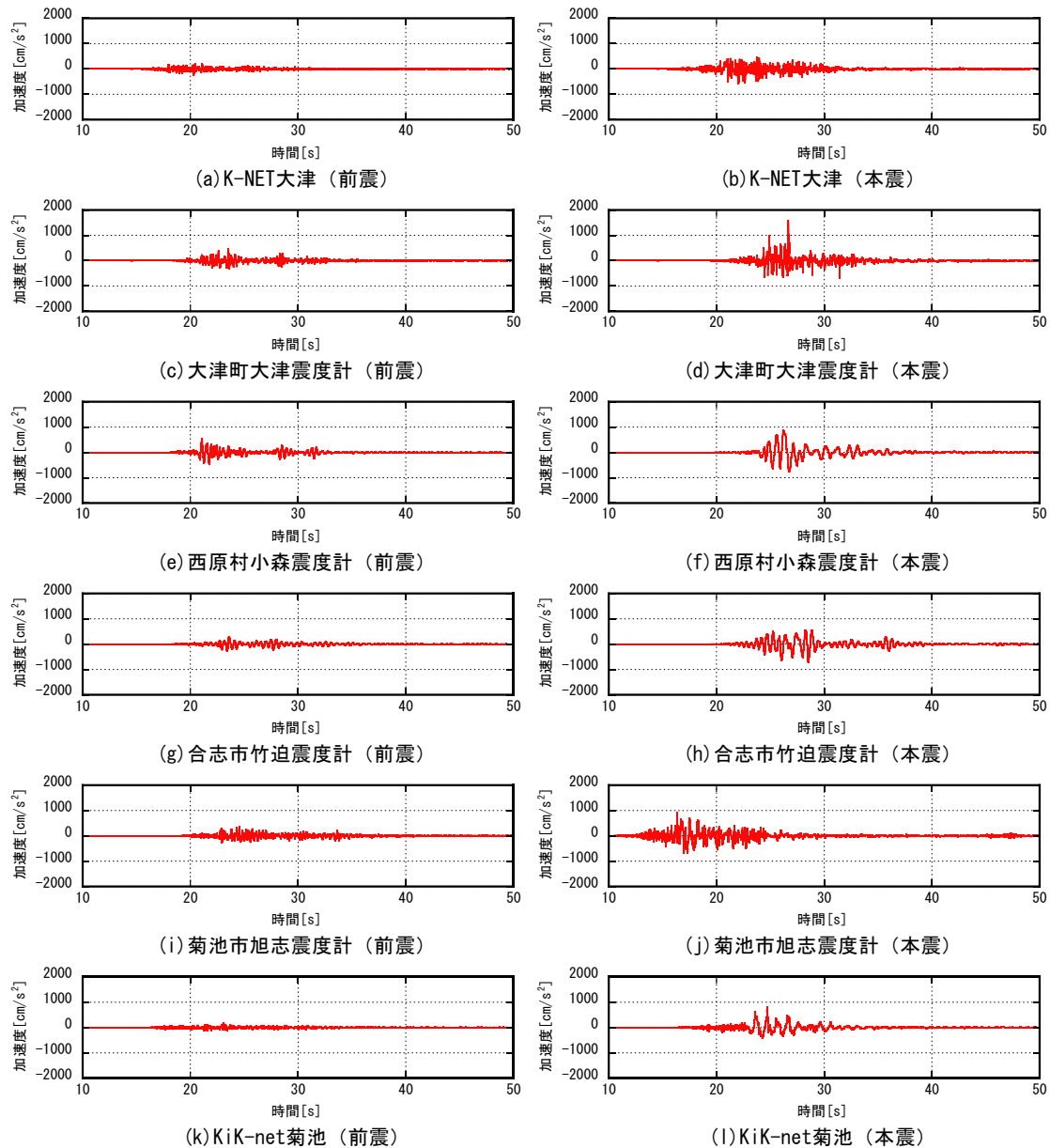


図 15 加速度波形（水平 2 方向ベクトル合成最大方向）

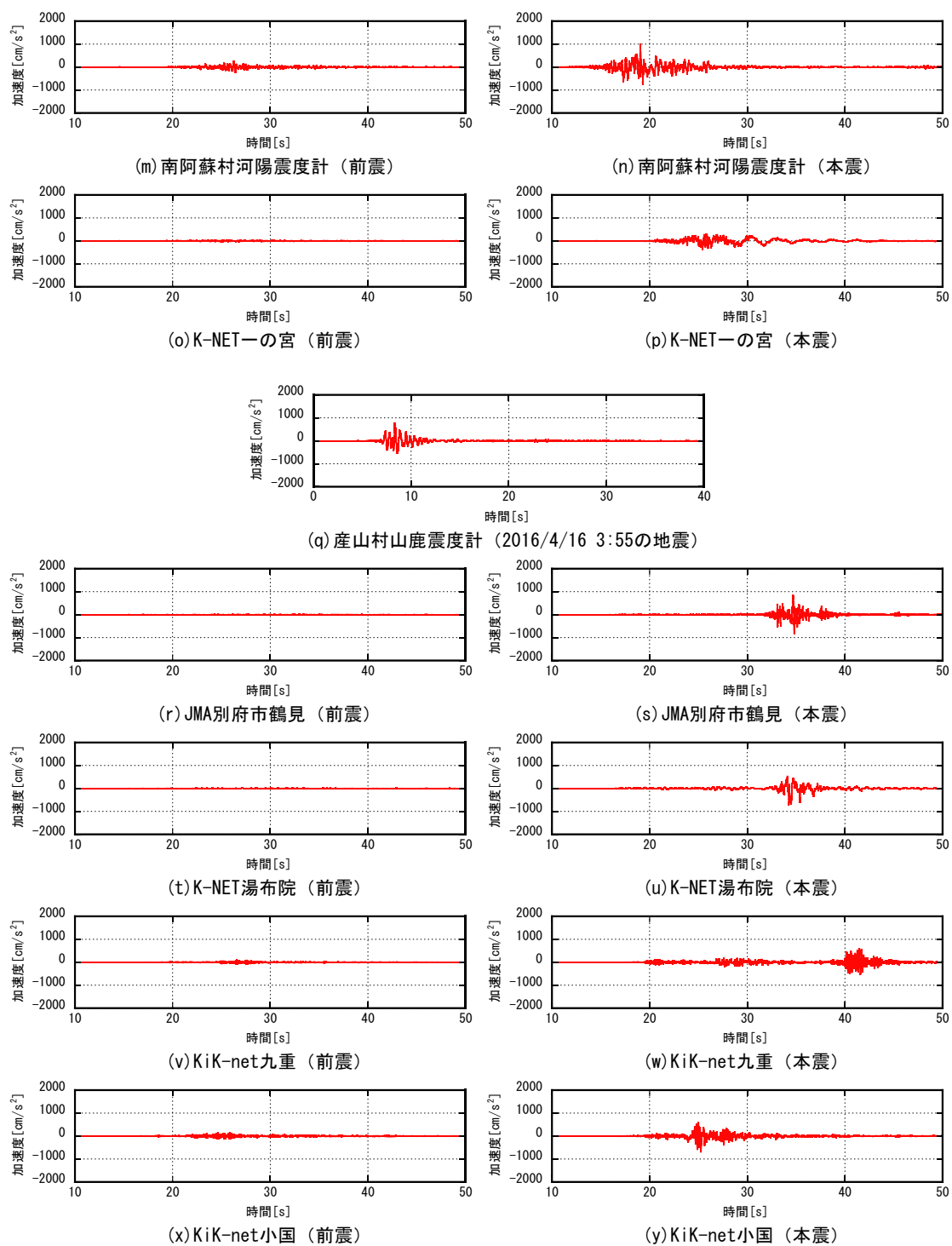


図 15 加速度波形 (続き, 水平 2 方向ベクトル合成最大方向)

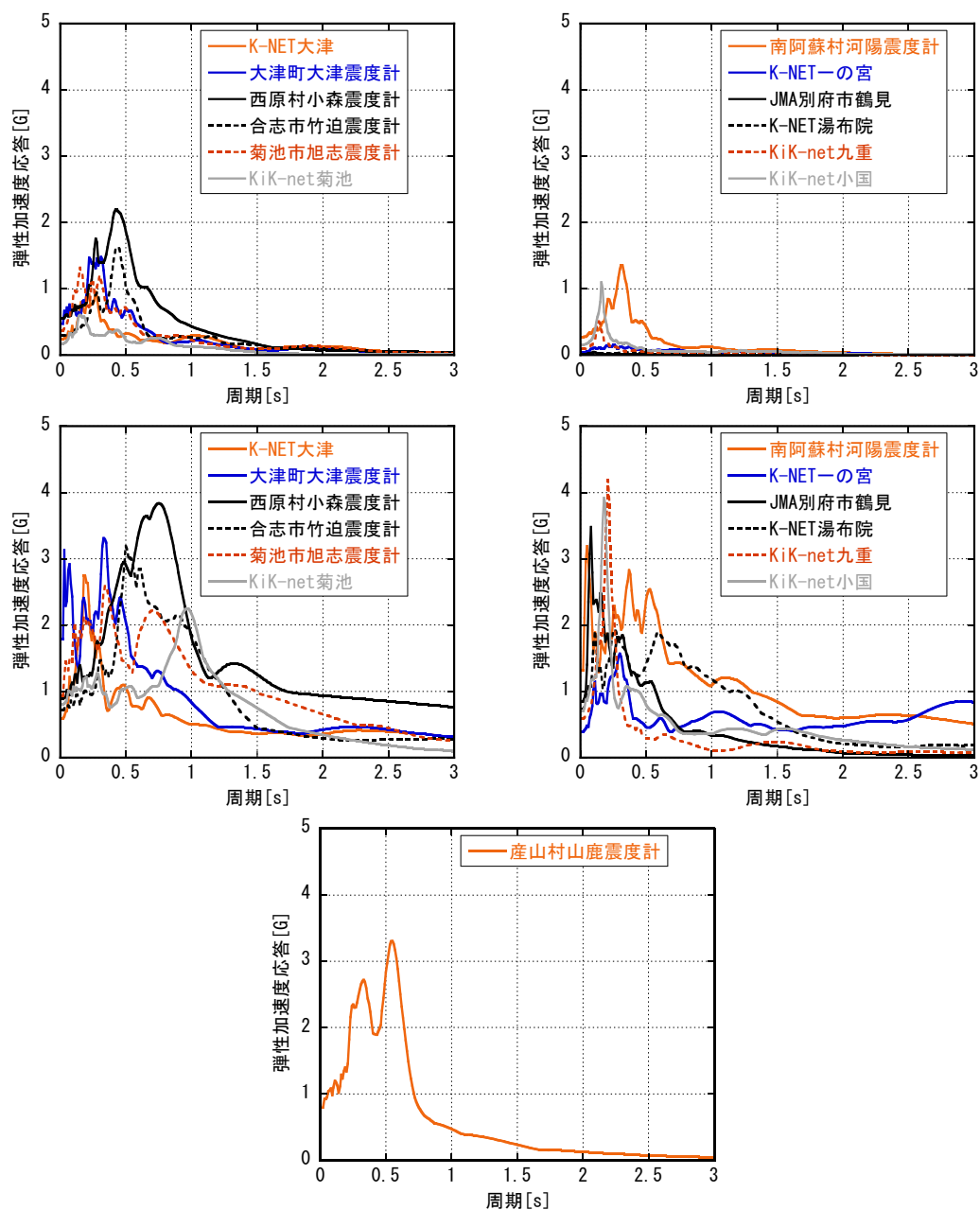


図 16 弾性加速度応答スペクトル

(上段：前震，中段：本震，下段：2016/4/16 3:55 の地震，減衰定数:5%，水平 2 方向ベクトル合成)

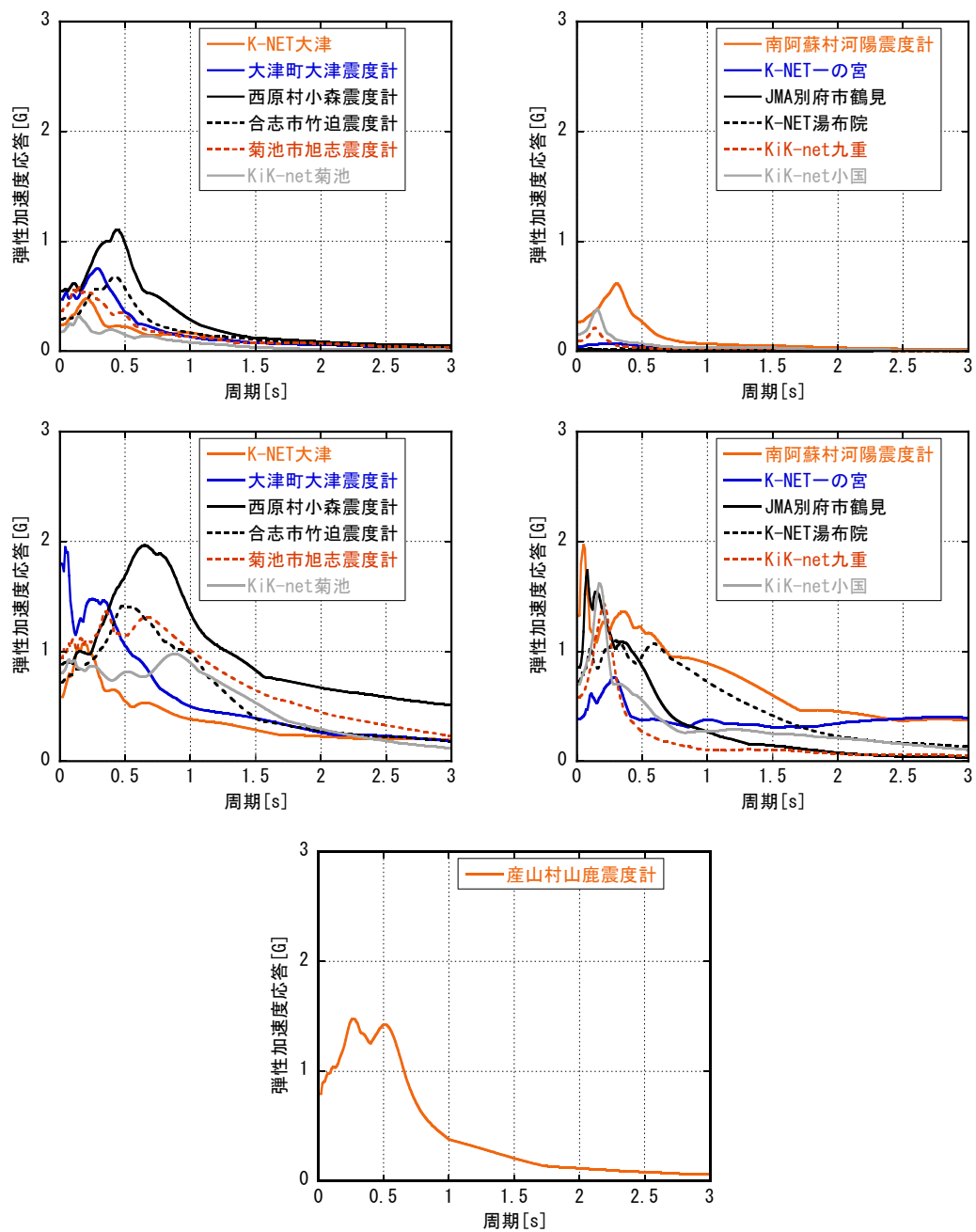


図 17 弾性加速度応答スペクトル
 (上段：前震，中段：本震，下段：2016 年 4 月 16 日 3:55 の地震，
 減衰定数:20%，水平 2 方向ベクトル合成)

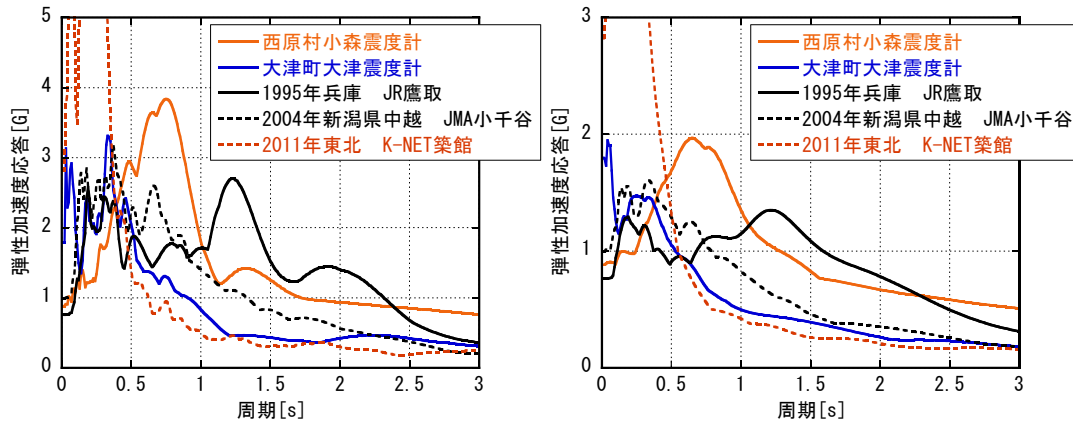


図 18 弾性加速度応答スペクトルの過去の強震記録との比較

(左：減衰定数 5%, 右：減衰定数 20%, 水平 2 方向ベクトル合成, 熊本地震はいずれも本震の記録)

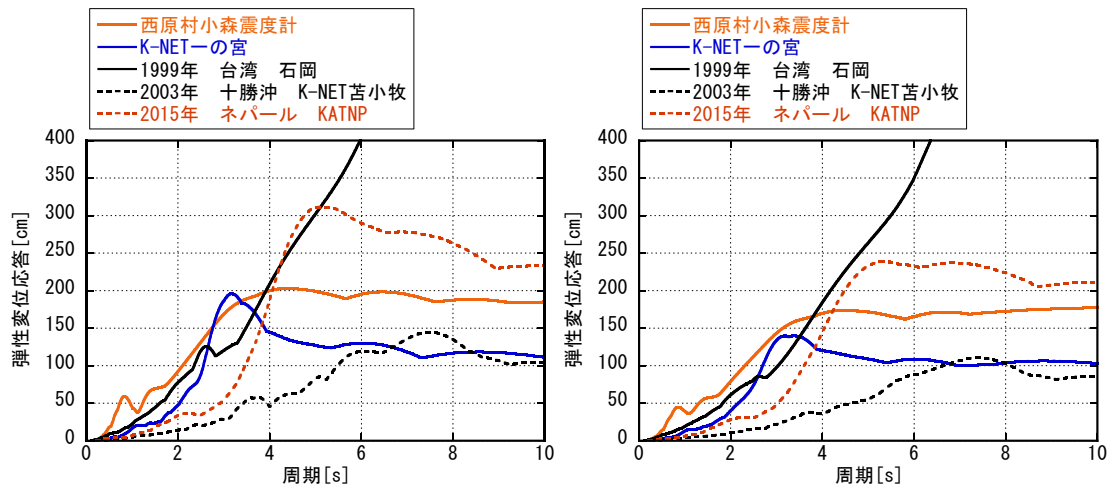


図 19 変位応答スペクトルの過去の強震記録との比較

(左：減衰定数 5%, 右：減衰定数 10%, 水平 2 方向ベクトル合成, 熊本地震はいずれも本震の記録)

5. まとめ

2016 年に発生した熊本地震を対象として、熊本県北および大分県において震度 6 弱以上を記録し、波形が公開される可能性が高い、もしくは公開されていた点を優先し、強震観測点周辺の被害調査を行った。その結果、全壊・大破といった大きな被害を受けた建物が見られたものの、その数は震度の大きさに対して少ないものであった。

観測された強震記録の性質と被害との対応について検討した結果、震度 6 弱以上といった大きな震度を記録したにも関わらず大きな被害を受けた建物がほとんど見られなかったのは、計測震度と人体感覚に対応した周期 1 秒以下の短周期が卓越し、建物の大きな被害と相関がある 1-1.5 秒応答が小さかったためであると考えられる。また、西原村小森震度計、K-NET 一の宮では長周期成分が大きい地震動が観測され、観測点周辺に免震建物や超高層建物は見られなかったが、もし同地点にこのような周期が長い建物が存在していた場合、大きな被害が生じていた可能性があったと考えられる。

謝 辞

強震記録は防災科学技術研究所、気象庁、熊本県、大分県、鉄道総合技術研究所、台湾交通部中央気象局、USGS に提供していただきました。被害調査の際、現地の方々には被災されているにも関わらず、

様々なご協力をいただきました。気象庁計測震度を求めるプログラムは、防災科学技術研究所が公開している SMDA2¹³⁾を用いました。被害調査の準備、道路状況の調査、図の作成などで研究室メンバーの支援を受けました。

参考文献

- 1) 汐満将史, 境有紀, 毛塚幹人, 長尾尚, 北島郁実: 2014 年長野県北部の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, 日本地震工学会論文集, Vol.16, No.10, pp.127-145, 2016.
- 2) 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ー益城町ー, 日本地震工学会論文集, Vol.18, No.5, pp.108-120, 2018.
- 3) 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ー熊本県央, 天草地域ー, 日本地震工学会論文集, Vol.18, No.5, pp.121-153, 2018.
- 4) 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, 第 524 号, pp.65-72, 1999.
- 5) 1978 年宮城県沖地震災害調査報告, 日本建築学会, 908p, 1980.
- 6) 気象庁: 震度を知るー基礎知識とその活用, ぎょうせい, 238p, 1996.
- 7) 境有紀: 2011 年東北地方太平洋沖地震で発生した地震動と建物被害の対応性ー建物の大きな被害をより正確に推定する地震動強さ指標ー, 日本建築学会構造系論文集, 第 78 巻, 第 683 号, pp.35-40, 2013.
- 8) 境有紀, 神野達夫, 額瀨一起: 建物被害と人体感覚を考慮した震度算定方法の提案, 第11回日本地震工学シンポジウム論文集, pp.17-22, 2002.
- 9) 境有紀, 神野達夫, 額瀨一起: 震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第585号, pp.71-76, 2004.
- 10) 境有紀, 汐満将史, 神野達夫: 建物被害の観点から見た地震動の性質, 第 44 回地盤震動シンポジウム 2016 年熊本地震で何が起きたか, pp.47-54, 2016.
- 11) 鈴木賢人, 永野正行: 2016 年熊本地震における木造住宅の地震応答と複数回の地震動入力による建物応答に与える影響に関する一検討, 日本地震工学会大会梗概集, P3-20, 2016.
- 12) 村瀬詩織, 山室涼平, 大村早紀, 杉野未奈, 林康裕: 熊本地震における木造住宅被害の分析 (その 1)地震応答解析による木造住宅被害の分析, 日本建築学会大会学術梗概集, 構造 II, pp.439-440, 2017.
- 13) 防災科学技術研究所: ユーティリティプログラム, http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/share/utility_top.html (平成30年9月13日参照)

(受理: 2018年5月29日)

(掲載決定: 2018年9月30日)

Damage Investigation of Surroundings of the Seismic Stations in the 2016 Kumamoto Earthquake and Correspondence of Damage to Buildings with Strong Ground Motions

-The Northern Region of Kumamoto Prefecture and Oita Prefecture-

KANNO Tatsuo ¹⁾, SHIOMITSU Masashi ²⁾, SAKAI Yuki ³⁾

SHIGEFUJI Michiko⁴⁾, MATSUO Shintaro⁵⁾, TANAKA Ayaka⁶⁾, KANEKO Masaki⁷⁾, FURUTANI Hideyasu⁸⁾, UEZONO Shuhei ⁹⁾ and ARIMA Taku¹⁰⁾

1) Member, Professor, Kyushu University, Graduate School of Human-Environment Studies, Dr. Eng.

2) Member, Assistant Professor, Yamagata University, Graduate School of Science and Engineering, Dr. Eng.

3) Member, Professor, University of Tsukuba, Graduate School of Systems and Information Eng., Dr. Eng.

4) Member, Assistant Professor, Kyushu University, Graduate School of Human-Environment Studies, Dr. Eng.

5) Non-member, Associate Professor, Kyushu University, Graduate School of Human-Environment Studies, Dr. Eng.

6) Non-member, Graduate Student, Kyushu University, Graduate School of Human-Environment Studies

7) Non-member, Former Graduate Student, Kyushu University, Graduate School of Human-Environment Studies

8) Non-member, Former Graduate Student, Kyushu University, Graduate School of Human-Environment Studies

9) Non-member, Graduate Student, Kyushu University, Graduate School of Human-Environment Studies

10) Non-member, Graduate Student, Kyushu University, Graduate School of Human-Environment Studies

ABSTRACT

We carried out damage investigation around the seismic stations in the northern region of Kumamoto Prefecture and Oita Prefecture during the 2016 Kumamoto Earthquake. No heavily damaged buildings were found in most of the seismic stations. We investigated the correspondence of the strong ground motions with damage to buildings. Short-period below 1 sec. was dominated in most of the strong ground motions and the 1-1.5 sec. response which has close relationship with heavy damage to buildings was small, therefore, just one heavily damaged building was found in spite of high JMA seismic intensity scale. Some strong ground motions have large long-period response which cause heavy damage in isolated and high-rise buildings.

Keywords: The 2016 Kumamoto Earthquake, Strong Ground Motion, Earthquake Damage Investigation, Seismic Station, The Northern Region of Kumamoto Prefecture, Oita Prefecture