



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—

境有紀¹⁾, 汐満将史²⁾, 神野達夫³⁾, 中尾隆⁴⁾, 松尾真太郎⁵⁾

重藤迪子⁶⁾, 安部良⁷⁾, 寄井田恭佑⁸⁾, 土岐崇喜⁹⁾

- 1) 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
- 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 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
- 4) 非会員 元九州大学大学院人間環境学研究院, 大学院生
e-mail : nakao.takashi.0614@gmail.com
- 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) 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
- 7) 非会員 元九州大学大学院人間環境学府, 大学院生
e-mail : ryoabe617@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 : yoseida.kyosuke@gmail.com
- 9) 非会員 九州大学大学院人間環境学府, 大学院生
e-mail : handball1026@gmail.com

要 約

2016年に発生した熊本地震を対象として, 熊本県央, 天草地域において震度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, いくつかの観測点で全壊・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.

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, 熊本県央, 天草

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、別途報告した益城町¹⁾を除く熊本県央、天草地域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2)}。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、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、益城町を除く熊本県央、天草地域（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^{1,3)}。

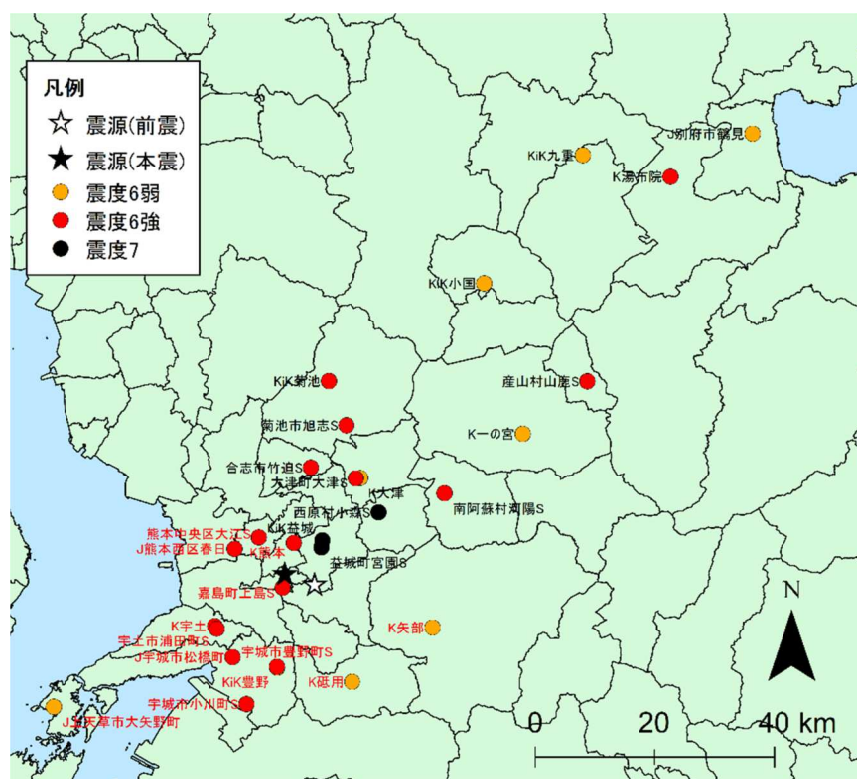


図1 調査を行った観測点位置（赤字は本論文で対象とした観測点，
K:K-NET, KiK:KiK-net, J:JMA, S:震度計，震度は一連の地震における最大値を表示）

2.2 調査方法の概要

調査は2016年4月16日1:25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の地震を前震と表記）後の2016年4月24日～5月23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²⁾。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熊本（前震：震度6弱、本震：震度6強）

観測点は、熊本市東部土木センター（写真1）の敷地内に設置されている（写真2）。観測点周辺（観測点から半径200 m円内、以下同じ）の建物分布図を図2に示す。円内に大きな高低差の変化は無い。周辺には183棟の建物（うち木造建物176棟）があり（写真3～8）、瓦屋根が被害を受けた木造建物（写真9）、外装材が被害を受けた木造建物（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。

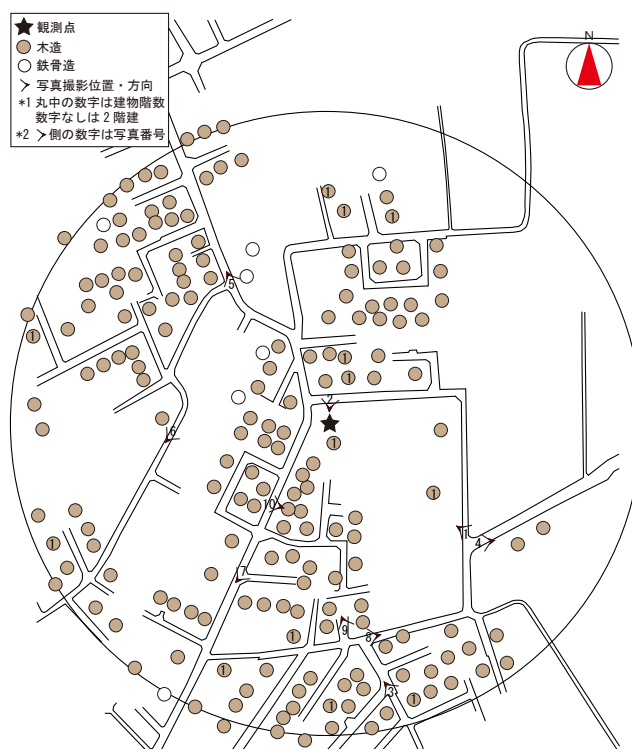


図2 K-NET熊本周辺の建物分布



写真1 熊本市東部土木センター



写真2 観測点の設置状況



写真3 周辺の様子



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 周辺の様子



写真9 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真10 外装材が被害を受けた木造建物

(2) 熊本中央区大江震度計（前震：震度5強, 本震：震度6強）

観測点は、熊本市消防局（写真11）の敷地内に設置されており（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。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の変化は無いが、北から西にかけて川が流れている（写真13）。周辺には148棟の建物（うち木造建物70棟）があり（写真14～18），瓦屋根が被害を受けた木造建物（写真19），外装材が被害を受けた建物（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 熊本中央区大江震度計周辺の建物分布



写真 11 熊本市消防局



写真 12 観測点の設置状況



写真 13 周辺の様子



写真 14 周辺の様子



写真 15 周辺の様子



写真 16 周辺の様子



写真 17 周辺の様子



写真 18 周辺の様子



写真 19 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真 20 外装材が被害を受けた建物

(3) JMA熊本西区春日（前震：震度6弱, 本震：震度6強）

観測点は、JR 鹿児島本線の線路沿いの熊本地方合同庁舎（写真 21）の敷地内にある（写真 22）。地震計は、熊本地方気象台の他の観測機器と共に 2 m ほどの盛土地盤（写真 23）に設置してある（地表面に設置してあるか、掘削して設置してあるかは不明）。観測点周辺の建物分布を図 4 に示す。観測点の周辺には 68 棟の建物（うち木造建物 44 棟）があり（写真 24～26）、範囲内では 1 棟の木造建物が全壊の被害を受けていた（写真 27～28）ほか、外装材が被害を受けた建物（写真 29～30）が数棟確認された。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 1.5 %（木造全壊率は 2.3%）であった。



図4 JMA熊本西区春日周辺の建物分布



写真 21 熊本地方合同庁舎



写真 22 観測点の設置状況



写真 23 観測点の設置状況



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 全壊した木造建物



写真 28 全壊した木造建物 (27 と同じ建物)



写真 29 外壁が剥落した木造建物



写真 30 外壁が剥落した木造建物

(4) 嘉島町上島震度計（前震：震度6弱, 本震：震度6強）

観測点は、嘉島町役場（写真 31）の敷地内の南端にある（写真 32）。役場庁舎に構造的な被害は見られないが、天井の仕上げ材が落下するなどの軽微な被害は見られた（写真 33）。観測点周辺の建物分布を図 5 に示す。観測点の周辺は田畑が広がっており（写真 34～36）、周辺には 20 棟の建物（うち木造建物 11 棟）があった。範囲内では倒壊した木造建物（写真 37～38）が 1 棟あり、壁に亀裂が入るなど軽微な被害が確認できる木造建物（写真 39～40）も見られた。建物棟数が少ないため参考値ではあるが、全壊・大破率は 5.0 %（木造全壊率は 9.1%）であった。

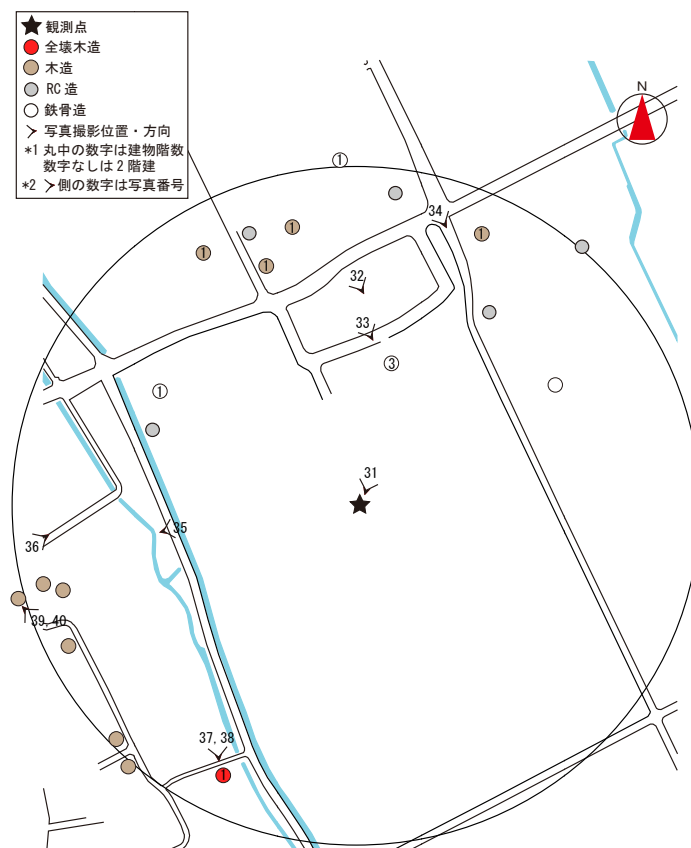


図5 嘉島町上島震度計周辺の建物分布



写真 31 嘉島町役場



写真 32 嘉島町役場観測点の設置状況



写真 33 嘉島町役場の天井仕上材の被害



写真 34 周辺の様子



写真 35 周辺の様子



写真 36 周辺の様子



写真 37 倒壊した木造建物



写真 38 倒壊した木造建物 (37 と同じ建物)



写真 39 瓦屋根と外装材に被害を受けた木造建物



写真 40 外装材が被害を受けた部分の拡大

(5) K-NET矢部（前震：震度5強, 本震：震度6弱）

観測点は、旧山都町役場の一角に設置しており（写真 41），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．すぐ隣の建物は外装材が落下していた（写真 42）．観測点周辺の建物分布を図 6 に示す．周辺には 170 棟の建物（うち木造建物 134 棟）があり（写真 43～47），路地に倒れ込んだ塀（写真 48）や外壁が落下した木造建物（写真 49），瓦屋根に被害が見られる木造建物（写真 50）は数棟あったが，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．

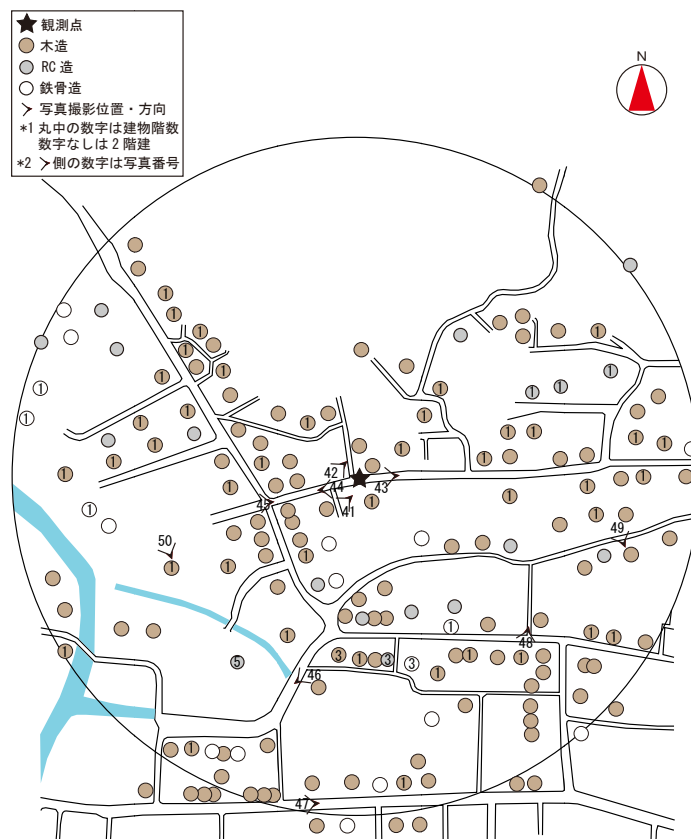


図6 K-NET矢部周辺の建物分布



写真 41 観測点の設置状況



写真 42 外壁が剥落した木造建物



写真 43 周辺の様子



写真 44 周辺の様子



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 路地に倒れ込んだ塀



写真 49 外壁が落下した木造建物



写真 50 瓦屋根が被害を受けた木造建物

(6) K-NET 宇土 (前震: 震度 6 弱, 本震: 震度 6 強), 宇土市浦田町震度計 (前震: 震度 5 強, 本震: 震度 6 強)

観測点はいずれも、宇土市役所 (写真 51) の敷地内に設置されている。市役所建物 (RC 造) は中間層が崩壊しており (写真 52)、敷地内は全面立ち入り禁止となっていた。そのため、K-NET 観測点 (写真 53) は敷地外から設置位置・状況を確認できた一方、震度計は設置位置・状況を確認できなかった。そこで、震度計の設置位置を役場職員の方から聞き取り、調査を行った。周辺に大きな高低差の変化は無い。K-NET 周辺には 148 棟の建物 (うち木造建物 95 棟)、震度計周辺には 136 棟の建物 (うち木造建物 87 棟) がある (写真 54~58)。瓦屋根に被害を受けた木造建物 (写真 59)、やや範囲外で屋根構面が被害を受けた木造建物 (写真 60) が見られたが、市役所建物以外に全壊・大破といった大きな被害を受けた建物は見られず、全壊・大破率は両観測点共に 0.7% (木造全壊率はいずれも 0%) であった。

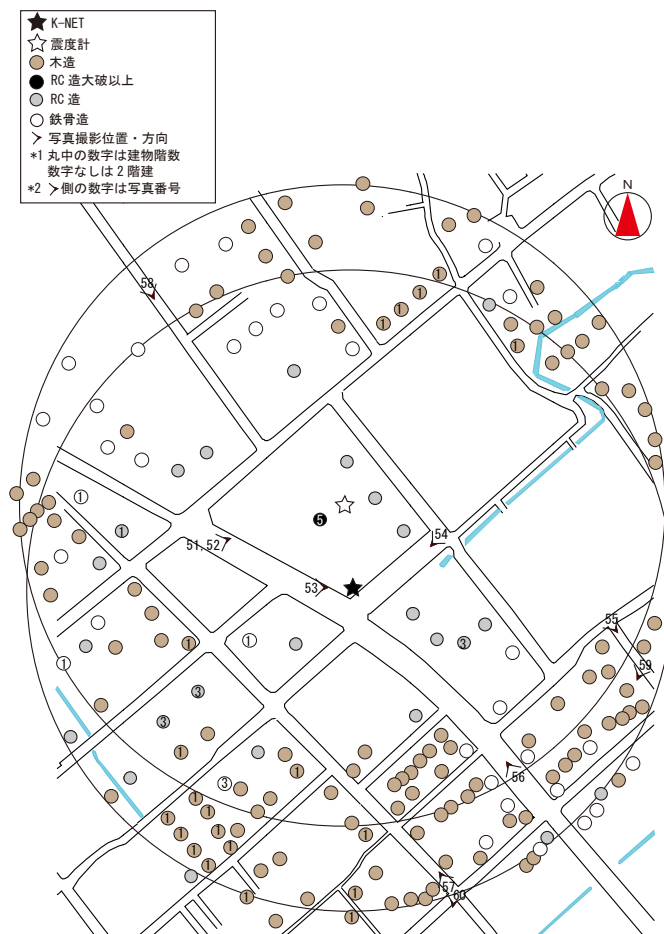


図7 K-NET宇土, 宇土市浦田町震度計周辺の建物分布



写真 51 宇土市役所



写真 52 宇土市役所建物の4～5階部分の拡大



写真 53 K-NET 観測点の設置状況



写真 54 周辺の様子



写真 55 周辺の様子



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 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真 60 屋根が被害を受けた建物(やや範囲外)

(7) JMA宇城市松橋町（前震：震度6弱, 本震：震度6強）

観測点は宇城市役所（写真 61）の 1 階に設置されており（写真 62），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．市役所建物ではガラスの被害（写真 63），敷地内で地盤の被害（写真 64）が見られた．観測点周辺の建物分布を図 8 に示す．円内に大きな高低差の変化はないが，市役所の西と東側には川が流れている（写真 65）．なお，市役所から東側にある県立松橋高等学校（図 8 中青ハッチング部）は，許可が降りず調査ができなかったが，敷地外から見える範囲では大きな被害は見られなかった．周辺には 31 棟の建物（うち木造建物 18 棟）があり（写真 66～67），瓦屋根が被害を受けた木造建物（写真 68），石碑の転倒（写真 69），やや範囲外でガラスに被害を受けた建物（写真 70）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．

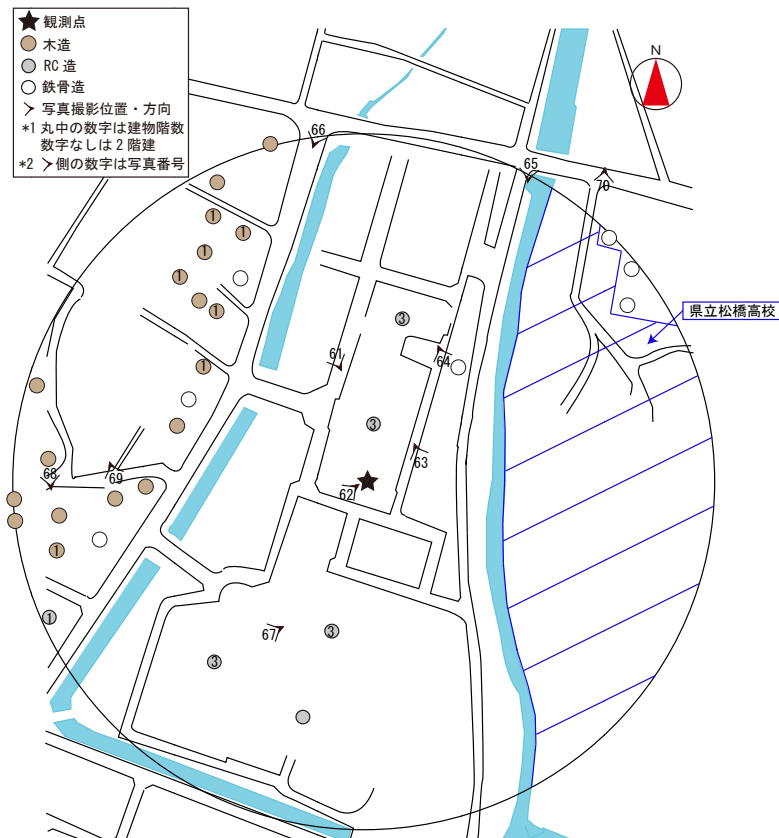


図8 JMA宇城市松橋町周辺の建物分布



写真 61 宇城市役所



写真 62 観測点の設置状況



写真 63 宇城市役所建物のガラスの被害



写真 64 地盤の被害



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 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真 69 石碑の転倒



写真 70 ガラスが被害を受けた建物(やや範囲外)

(8) 宇城市豊野町震度計 (前震:震度6弱, 本震:震度6強)

観測点は宇城市役所豊野支所(写真 71)の北側に設置されており(写真 72), 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. 円内に大きな高低差の変化はない. 観測点周辺の建物分布を図 9 に示す. 周辺には 56 棟の建物(うち木造建物 40 棟)があり(写真 73~77), 瓦屋根が被害を受けた木造建物(写真 78), 外装材が被害を受けた木造建物(写真 79), 擁壁の崩壊(写真 80)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.

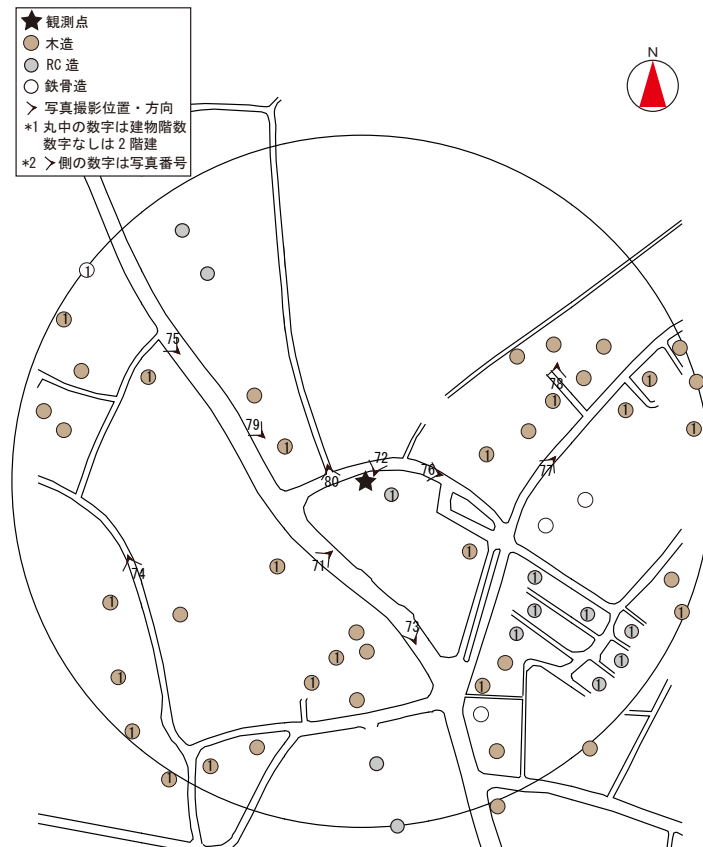


図9 宇城市豊野町震度計周辺の建物分布



写真 71 宇城市役所豊野支所



写真 72 観測点の設置状況



写真 73 周辺の様子



写真 74 周辺の様子



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 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真 79 外装材が被害を受けた木造建物



写真 80 擁壁の崩壊

(9) KiK-net豊野（前震：震度5強, 本震：震度6弱）

観測点は宇城市豊野公民館（写真 81）の西側植栽部に設置されている（写真 82）。円内に大きな高低差の変化はない。観測点周辺の建物分布を図 10 に示す。周辺には 14 棟の建物（うち木造建物 8 棟）があり（写真 83～88），瓦屋根が被害を受けた木造建物（写真 89），石製の柵の転倒（写真 90）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。

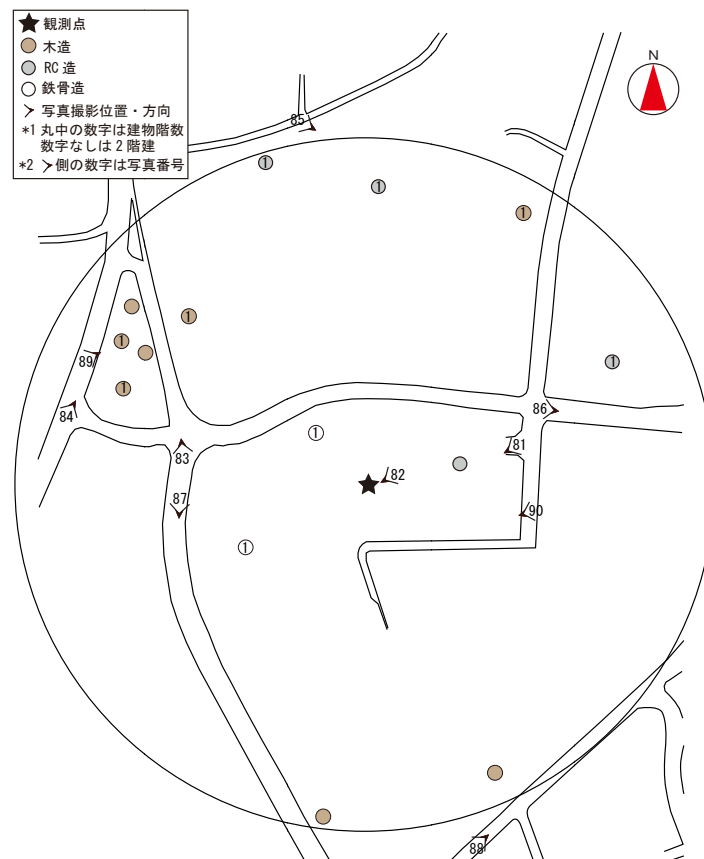


図10 KiK-net豊野周辺の建物分布



写真 81 宇城市豊野公民館



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 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真 90 石製の柵の転倒

(10) JMA上天草市大矢野町（前震：震度5弱、本震：震度6弱）

観測点は上天草市役所大矢野庁舎（写真 91）の 1 階に設置されており（写真 92），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．観測点から北東に急な斜面があるが（写真 93），他に大きな高低差の変化はない．観測点周辺の建物分布を図 11 に示す．周辺には 87 棟の建物（うち木造建物 55 棟）があるが（写真 93～100），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．

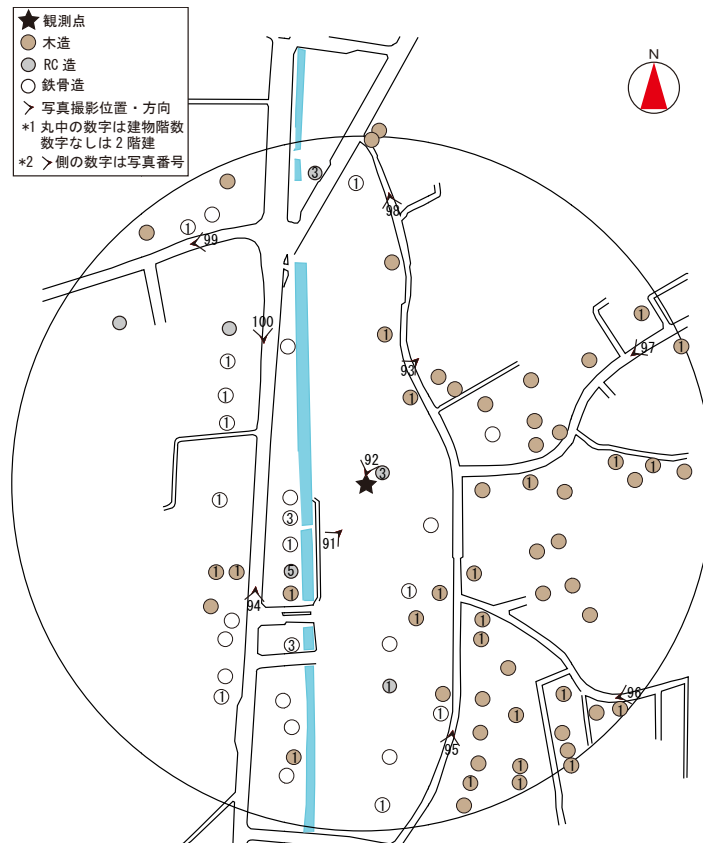


図11 JMA上天草市大矢野町周辺の建物分布



写真 91 上天草市役所大矢野庁舎



写真 92 観測点の設置状況



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 周辺の様子



写真 100 周辺の様子

(11) 宇城市小川町震度計（前震：震度6弱, 本震：震度6強）

観測点は、宇城市小川支所庁舎（写真 101）のすぐ横に設置されており（写真 102）、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 12 に示す。周辺には 106 棟の建物（うち木造建物 77 棟）があり（写真 103～106）、道路の亀裂（写真 107）や外壁の剥落（写真 108）、瓦屋根の被害（写真 109～110）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。

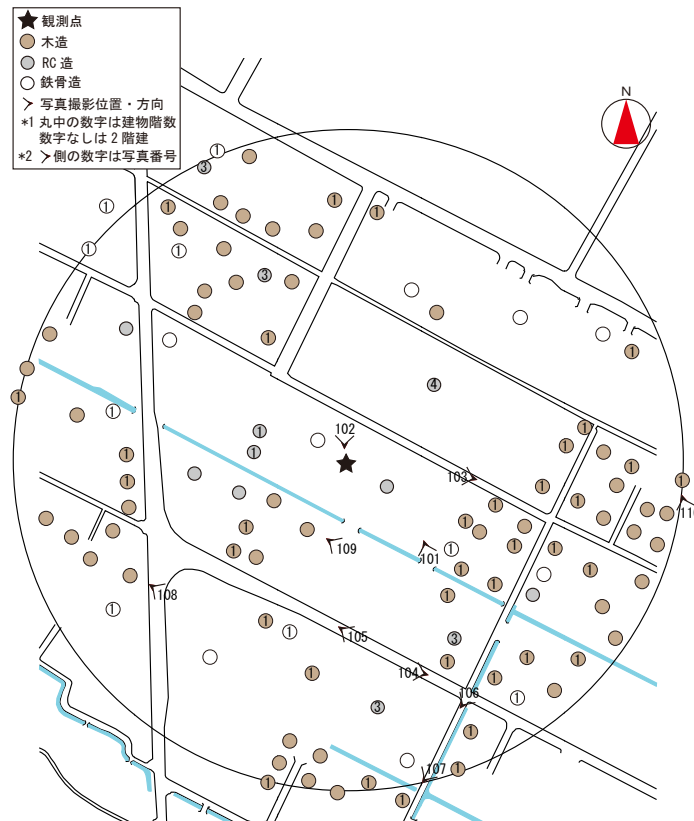


図12 宇城市小川町震度計周辺の建物分布



写真 101 宇城市小川支所



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 道路の亀裂



写真 108 外装材が被害を受けた木造建物



写真 109 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真 110 瓦屋根が被害を受けた木造建物

(12) K-NET砥用（前震：震度5強、本震：震度6弱）

観測点は、美里町老人福祉センター（写真 111）などの公的な施設がある敷地内に設置されており（写真 112）、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。すぐ北側を緑川の支流（写真 113）が流れており、川の南側には田畑や空き地などが広がり（写真 114）、北側には住宅と商店街（写真 115～117）がある。観測点周辺の建物分布を図 13 に示す。周辺には 120 棟（うち木造建物 106 棟）の建物があり、瓦屋根の被害（写真 118）や外壁の剥落（写真 119～120）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13 K-NET砥用周辺の建物分布



写真 111 美里町老人福祉センター



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 瓦屋根が被害を受けた木造建物



写真 119 外装材が被害を受けた木造建物



写真 120 外装材が被害を受けた木造建物

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，JMA 熊本西区春日，嘉島町上島震度計，K-NET 宇土，宇土市浦田町震度計の 4 点において 1 棟ずつ見られたのみで，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
2016/4/24	K-NET熊本	瓦屋根・外装材の被害	183	176	0	0	0.0	6.09 (5.92)	843.2 (579.5)	89.7 (71.6)	593.7 (417.4)	5.84 (5.56)
	熊本中央区大江震度計	瓦屋根・外装材の被害	148	70	0	0	(0.0)	6.08 (5.32)	646.2 (393.7)	60.5 (37.5)	330.0 (278.7)	5.47 (5.14)
	JMA熊本西区春日	全壊した木造建物，外装材の被害	68	44	1	1	(2.3)	6.00 (5.92)	670.7 (736.6)	71.6 (61.3)	440.6 (484.1)	5.69 (5.59)
	嘉島町上島震度計	倒壊した木造建物，外装材・天井の被害	20	11	1	1	(9.1)	6.23 (5.76)	620.1 (368.9)	90.6 (52.0)	729.4 (427.0)	6.30 (5.81)
2016/4/25	K-NET矢部	瓦屋根・外装材の被害，塀の被害	170	134	0	0	0.0	5.70 (5.31)	829.8 (669.1)	35.9 (25.0)	123.5 (58.8)	4.61 (4.16)
	K-NET宇土	崩壊したRC造建物，瓦屋根の被害	148	95	1	0	0.0	6.26 (5.53)	882.0 (337.1)	84.9 (38.5)	569.9 (248.2)	5.95 (5.15)
	宇土市浦田町震度計	崩壊したRC造建物，瓦屋根の被害	136	87	1	0	0.0	6.23 (5.41)	792.7 (372.3)	76.6 (36.6)	571.9 (247.5)	5.94 (5.16)
	JMA宇城市松橋町	瓦屋根の被害，石碑の転倒	31	18	0	0	(0.0)	6.02 (5.74)	508.0 (354.7)	79.3 (52.9)	665.0 (409.7)	5.99 (5.52)
	宇城市豊野町震度計	瓦屋根・外装材の被害，擁壁の被害	56	40	0	0	(0.0)	6.13 (5.57)	672.4 (449.0)	86.1 (42.7)	651.6 (312.2)	6.05 (5.38)
	KiK-net豊野	瓦屋根の被害，石製の柵の転倒	14	8	0	0	(0.0)	5.79 (5.40)	609.0 (348.2)	60.4 (32.0)	432.3 (252.8)	5.84 (5.28)
	JMA上天草市大矢野町	被害なし	87	55	0	0	(0.0)	5.52 (4.76)	353.4 (140.0)	29.2 (14.2)	143.0 (62.1)	4.50 (3.87)
2016/5/23	宇城市小川町震度計	瓦屋根・外装材の被害，道路の被害	106	77	0	0	(0.0)	6.01 (5.60)	464.3 (324.1)	88.3 (41.1)	630.1 (294.9)	5.92 (5.28)
	K-NET砥用	瓦屋根・外装材の被害	120	106	0	0	0.0	5.60 (5.20)	778.2 (488.9)	37.9 (20.6)	152.5 (68.2)	4.65 (3.98)
過去の記録	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
	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 14 に示す．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に着目し、建物被害との関係について分析する。PGA, PGV を見ると、K-NET 熊本, K-NET 矢部, K-NET 宇土で PGA が 800 cm/s^2 を超えており, PGV は嘉島町上島震度計で 90 cm/s を超えている。

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 15~17 に示す。図 17 には、K-NET 宇土と K-NET 熊本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、特に嘉島町上島震度計や宇城市豊野町震度計では 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、宇土では RC 造の市役所建物が崩壊していたが、偏心によるねじれ振動が生じたとの分析結果¹³⁾もあり、建物の個別的な要因が影響していた可能性がある。

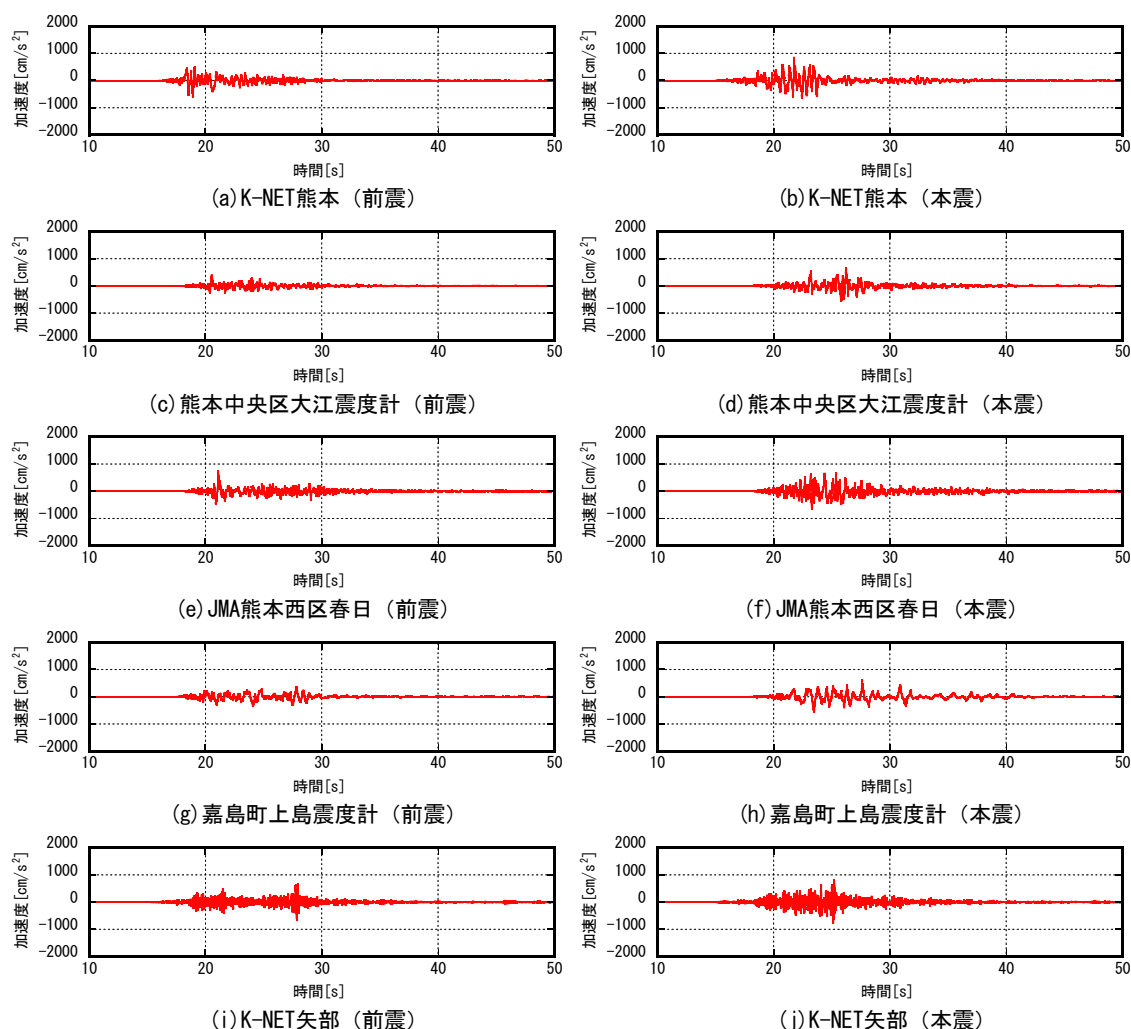


図 14 加速度波形（水平 2 方向ベクトル合成最大方向）

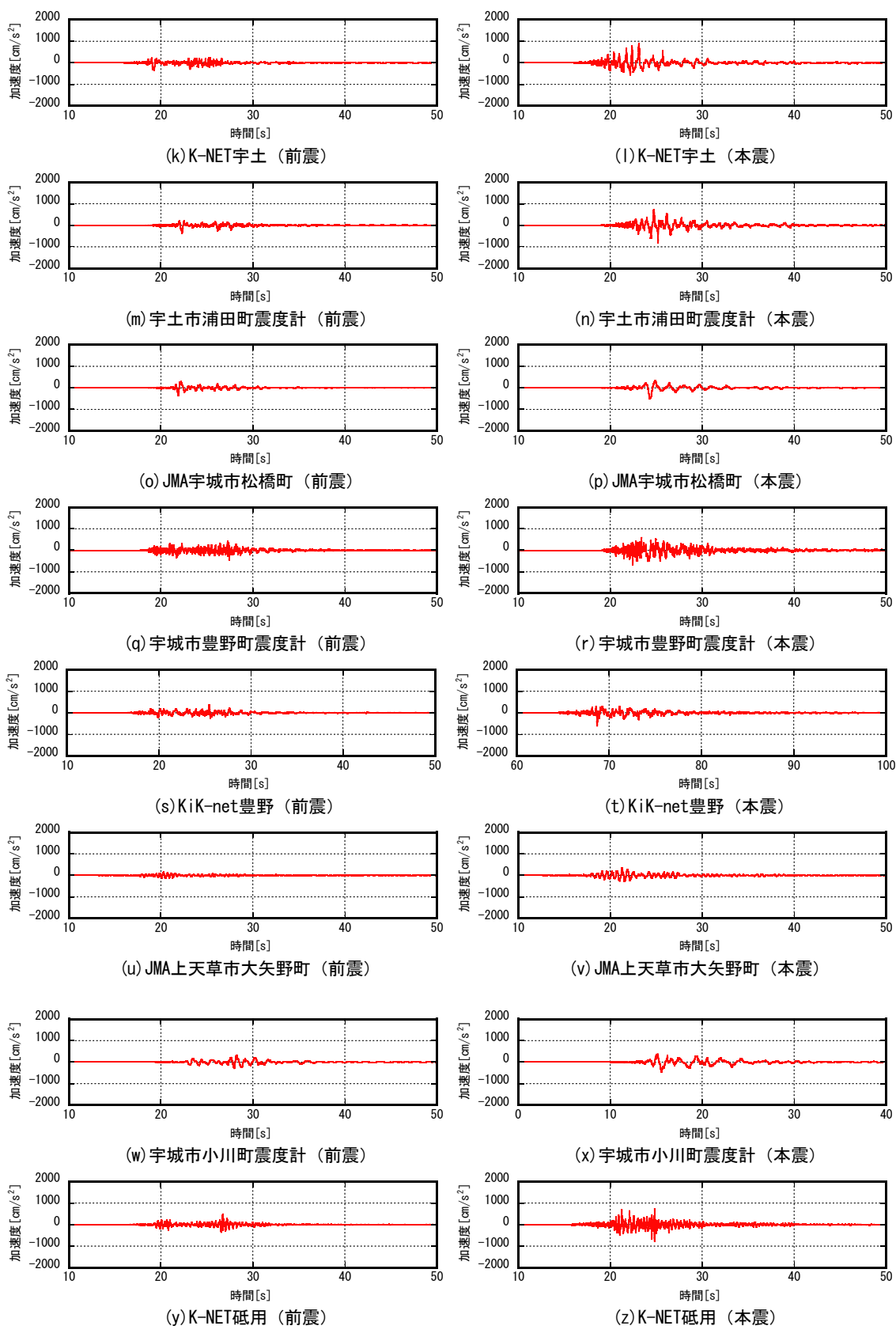


図 14 加速度波形 (続き, 水平 2 方向ベクトル合成最大方向)

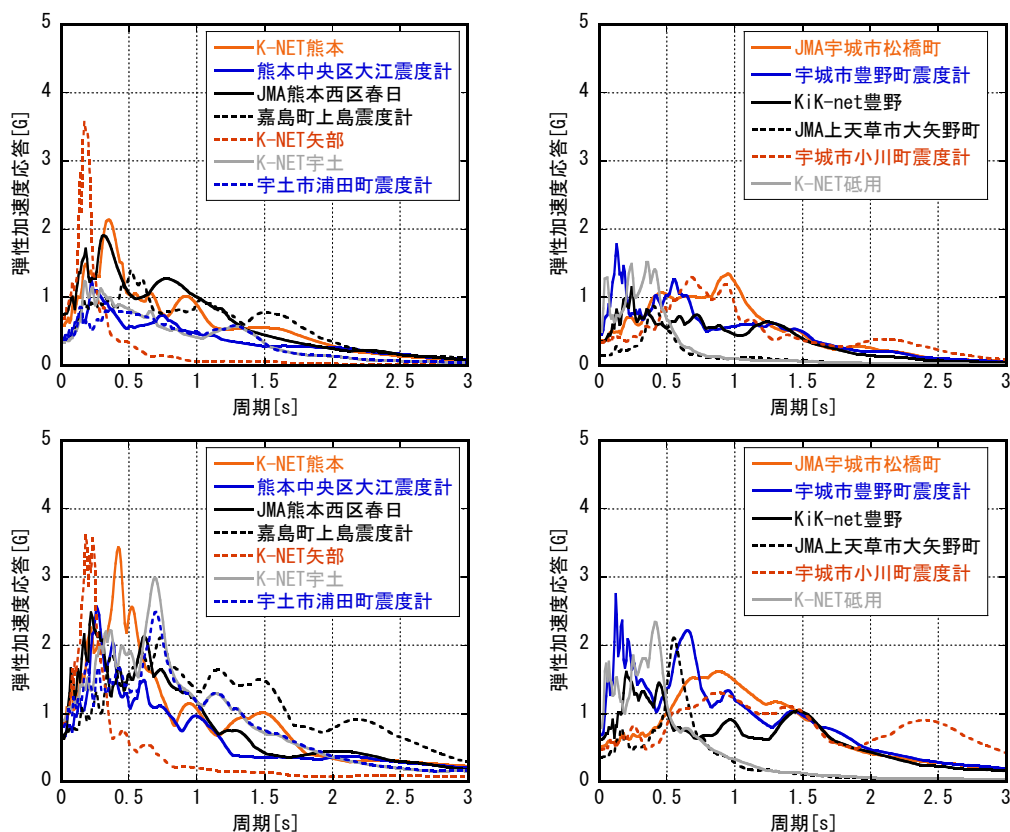


図 15 弾性加速度応答スペクトル (上段：前震，下段：本震，減衰定数:5%，水平 2 方向ベクトル合成)

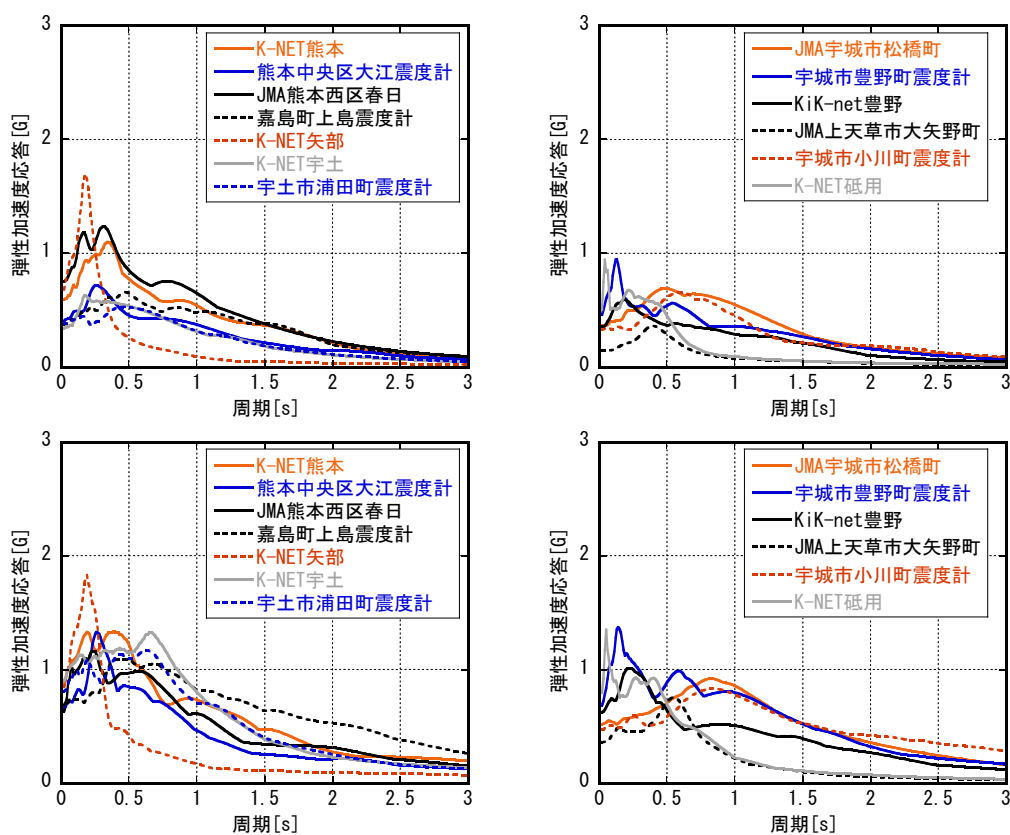


図 16 弾性加速度応答スペクトル (上段：前震，下段：本震，減衰定数:20%，水平 2 方向ベクトル合成)

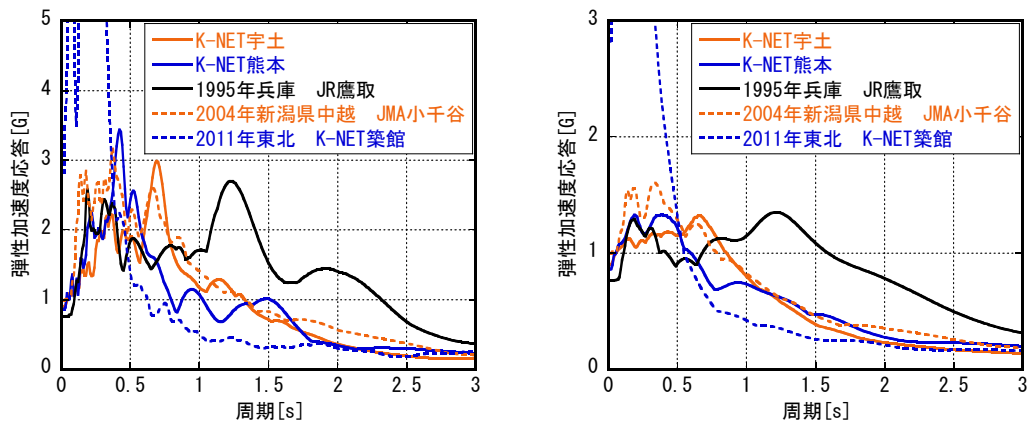


図 17 弾性加速度応答スペクトルの過去の強震記録との比較

(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)

5. まとめ

2016 年に発生した熊本地震を対象として、熊本県央（ただし、益城町については別途¹⁾報告）、天草地域において震度 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、いくつかの観測点で全壊・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、いずれも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周期 1-1.5 秒応答が小さかったためであると考えられる。

謝 辞

強震記録は防災科学技術研究所、気象庁、熊本県、鉄道総合技術研究所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 SMDA2¹⁴⁾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。

参考文献およびURL

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 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, 上藺周平, 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ー熊本県北, 大分県ー, 日本地震工学会論文集, Vol. 18, No. 5, pp. 154-190, 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, 瀧澤一起: 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) 藤井賢志: 平成28年熊本地震における宇土市役所の被害調査速報,
<https://citrcsl.sharepoint.com/Documents/平成28年熊本地震での宇土市役所の被害-20160502.pdf> (平成30年5月7日参照)
- 14) 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

- Central Region of Kumamoto Prefecture and Amakusa Region -

SAKAI Yuki ¹⁾, SHIOMITSU Masashi ²⁾, KANNO Tatsuo ³⁾, NAKAO Takashi⁴⁾
MATSUO Shintaro⁵⁾, SHIGEFUJI Michiko⁶⁾, ABE Ryo⁷⁾, YOSEIDA Kyosuke⁸⁾
and TOKI Takayoshi⁹⁾

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

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

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

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

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

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

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

ABSTRACT

We carried out damage investigation around the seismic stations in the central region of Kumamoto Prefecture and Amakusa region 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, few heavily damaged buildings were found in spite of high JMA seismic intensity scale.

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