

報告

2000年6月8日、日奈久断層近傍に震源を持つ地震に対する地表面地震動強さと被害に関する調査・解析

宮崎 雅徳*

A Research and Analysis of Seismic Disaster and Ground Motion Severity for the Earthquake (June 8, 2000) occurred on the HINAGU Fault Zone at the Center Part of Kumamoto Pref.

Masanori MIYAZAKI*

Abstract

On June 8, 2000, near the HINAGU Fault zone at the center of Kumamoto Pref., a destructive earthquake of magnitude $M_{JMA}=4.8$ occurred. In this fault zone, no destructive earthquake larger than magnitude 5 has occurred since the event in 1937 ($M_{JMA}=5.3$). Therefore, it is very important to conduct a research and analyze this earthquake for the planing of disaster prevention in Kumamoto Pref. Just after the earthquake, we surveyed the damaged areas and collected earthquake information and disaster reports from public offices in Kumamoto Pref. This paper discussed characteristics of distribution of wooden house damages and intensity of seismic ground motions. It was cleared that the maximum acceleration and velocity amplitude were recorded about 2.3 m/s/s and 0.1 m/s horizontally, 0.95 m/s/s and 0.03 m/s vertically in the west area of the HINAGU Fault zone from the strong motion records of K-NET. The distribution of wooden house damages were reflected to the seismic ground strong motions and the fault motion. Especially, the serious damaged areas correspond to those of the questionnaire intensity larger than 4.5.

キーワード：2000年6月8日、被害地震、日奈久断層、地表面地震動強さ、アンケート震度、木造家屋被害
Key words：June 8, 2000, destructive earthquake, HINAGU Fault zone, intensity of seismic Ground motion, questionnaire seismic intensity, wooden house damages

* 九州東海大学工学部建築学科
Prof., Dep. of Architecture, School of Eng. Kyushu Tokai
University

本報告に対する討論は平成15年2月末日まで受け付ける。

1. はじめに

2000年6月8日午前9時32分頃、熊本県中央部の益城町付近に震源を持つ地震が発生した。地震の規模は小さかったが、震源が浅いこともあり震央域周辺の一部地域で木造家屋の屋根や壁に被害を与えている。本地震の震央および周辺地域は、阿蘇カルデラ西方地域の立野付近より熊本市北部を通り島原半島へ延びる断層群（立田山断層など）と宇土半島あるいは益城町、御船町、城南町を通り八代市日奈久へと延びる断層群（布田川断層、日奈久断層など）の存在が確認されている¹⁾。

近年、熊本県地方で発生した比較的規模の大きい被害地震は、熊本地震（1889；M=6.3）、阿蘇カルデラ西部の地震（1894, 1895；M=6.3）、阿蘇群発地震の本震（1975；M=6.1）など別府－熊本－島原半島に至る地溝帯域で発生している。

今回の6月8日の地震は日奈久断層群の近傍で発生している。日奈久断層は確実度 I、活動度 B、全長約 60 km、幅約 40 km の北西落ちの活断層^{2) 3)}である。本断層の南端部地域の八代市では、744年にマグニチュード M=7.0、1619年にマグニチュード M=6.0±1/4（震央位置 130.6° E, 32.5° N）など、マグニチュード 6 級の比較的規模の大きな被害地震が発生しており⁴⁾、日奈久断層群は近代都市熊本市および八代市に被害を与える M 6 級の地震を発生させる可能性が高い。熊本市では事前の検討として本断層の活動を含む 5 つの断層を対象に、熊本市とその周辺地域の地表面地震動強さを計算している。とくに、日奈久断層あるいは布田川断層に関しては、マグニチュード 6.5 以上を設定し、熊本市で最大加速度 500 ガル以上、計測震度 6 弱以上を予測している⁵⁾。しかし、日奈久断層の活動によると推定されるマグニチュード 5 程度以上の被害地震は 1937 年（M=5.3）以来約 60 年間発生しておらず、熊本市を除く日奈久断層群およびその周辺地域に位置する各市町村では、地震防災のための基礎調査や解析などは全く実施されていない。今回の地震は明らかに日奈久断層の活動によるものと推定され、規模は小さいが木造家屋等に被害を与えており、本地震による地震動特性や被害特性などを整理し

ておくことは、今後の日奈久断層群の活動による地震としてまた近代都市熊本市や八代市など本断層近傍の各市町村地域の地震防災を考える上で極めて重要である。

本研究では、日奈久断層近傍地域の地震防災基礎資料作成を主たる目的に、本地震による震央近傍の地表面地震動強さや被害の実態およびこれらの解析結果について報告する。

筆者らは、6月8日の本震発生直後、本地震の震央付近を重点地域として、九州全域を対象にアンケート震度調査を実施した。更に、震央および周辺地域の詳細な地表面地震動強さや建物の被害状況を把握するため、6月15日から約1ヶ月間、震央付近の現地調査（被害家屋の調査と被害家屋毎のアンケート震度調査）を実施した。なお、アンケート震度調査は太田他⁶⁾の手法を用いた。

本地震による地表面での地震動強さに関しては、気象庁や科学技術庁防災科学研究所の強震観測網（通称 K-NET）で得られた地震記録波形や計測震度および筆者等が実施したアンケート震度の調査結果を基に、各観測点での水平方向および上下方向の最大加速度や最大速度あるいは計測震度やアンケート調査による震度（以後、アンケート震度と称す）の分布特性および震源距離による減衰性などについて検討した。また、各観測地点での柱状図（科学技術庁による K-NET 観測地点の柱状図：掘削深度約 20 m 程度）より表層地盤の増幅特性を計算し、本地震の震動特性などを評価した。

地震被害に関しては、熊本県防災消防課および各市町村役場他より提供された被害資料や現地調査を基に、木造家屋住家被害の程度・種類およびその分布特性を明らかにし、日奈久断層群との位置関係および地表面地震動強さや表層地盤の震動特性との関係などから、本地震による被害特性を評価した。

2. 地震の概要

気象庁発表による本地震の概要と計測震度 4 以上の観測位置を表 1 に、本震および余震と過去熊本県地方に発生した被害地震の震央の位置を図 1 に示す^{7) 8)}。

本地震のマグニチュードおよび震源深さは、気象庁は $M_{JMA}=4.8$, $H=10$ km, 九州大学島原地震観測所は $M=5.3$, $H=9.1$ km と発表している。また、気象庁は震央近傍の嘉島町、富合町で震度 5 弱、熊本県下で震度 1~4, 九州地方と愛媛、山口県で震度 1~3 を観測している。その他、科学技術庁防災科学研究所強震ネット (K-NET) では、宇土市で震度 4.7 と発表している⁹⁾。

余震は約 1 ヶ月の間に約 1000 個以上発生している。この内、マグニチュード M3 以上の余震は、本地震が発生した 6 月 8 日の午後 7 時までに 4 回、18 日までに合計 6 回 (最大規模 $M_{JMA}=3.9$)

であった^{7) 8) 9) 10)}。本震および余震群の震央は日奈久断層の走行に沿った約 5 km の地域に分布し、本震は余震分布のやや南側に位置している。本震と余震の発震機構は北西-東南に張力軸を持つ横ずれ形と推定されている⁸⁾ など、本地震は明らかに日奈久断層の活動による地震と推定できる。

3. 震央および周辺地域の地表面地震動強さ

3.1 最大加速度および最大速度

本地震の震央域および周辺地域の地表面地震動強さとその分布を確認するため、K-NET 観測点の加速度波形および加速度波形を積分して得られた速度波形における水平方向 (EW 成分と NS 成分の波形合成より求めた値) と上下方向の最大加速度と最大速度の分布および震源距離による減衰性を図 2, 図 3 および図 4, 図 5 に示す。

地表面地震動が大きかった観測点の、水平方向と上下方向各成分の最大加速度および最大速度などは表 2 に示す通りである。水平方向の 2 成分 (NS 方向と EW 方向) を合成した最大加速度 (A_{max}) および最大速度 (V_{max}) は、日奈久断

表 1 気象庁発表による本地震の概要

発生日時	2000年6月8日9時32分	
震央位置	32° 41.7' 130° 45.3'	
深さ	10 (9.1)km	
規模(M_{JMA})	4.8 (5.3)	
震度	5弱	嘉島町、富合町
	4	熊本市、不知火町、松橋町、小川町、菊水町、御船町、益城町、甲佐町

()は九州大学大学院理学研究院地震火山観測研究センター発表

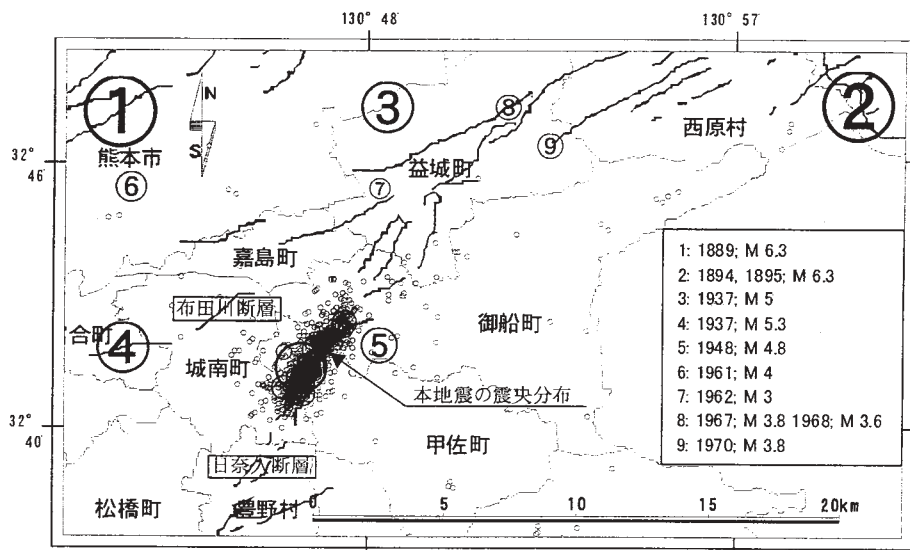


図 1 本震と余震および過去の被害地震の震央分布

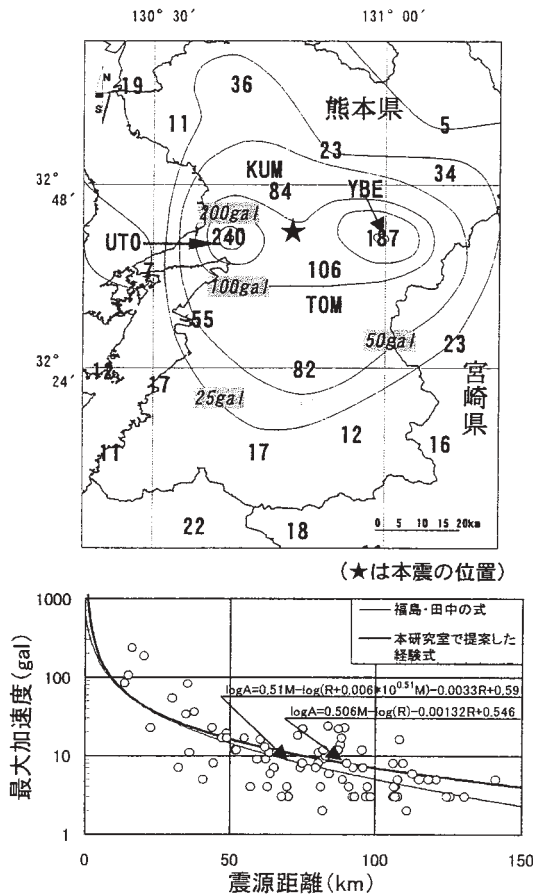


図2 最大加速度 (NS, EW の合成) の分布と震源距離による減衰性

層の西側に位置する宇土市 (UTO) (震央距離約 17 km) で $A_{max}=240$ gal, $V_{max}=10.2$ kine, 東側の矢部町 (YBE) (震央距離約 20 km) で $A_{max}=187$ gal, $V_{max}=6.5$ kine, 北側の熊本市 (KUM) (震央距離約 11 km) で $A_{max}=84$ gal, $V_{max}=5.6$ kine および南東方向の砥用町 (TOM) (震央距離約 15 km) で $A_{max}=106$ gal, $V_{max}=6.2$ kine などである。本地震による最大加速度や最大速度は、日奈久断層の北および南側方向の地域が東側および西側方向の地域に比較してやや小さい値を示す傾向が伺えるなど震央を中心に同心円上に分布しているわけではなく、共に余震分布の走行あるいは日奈久断層に直交する東

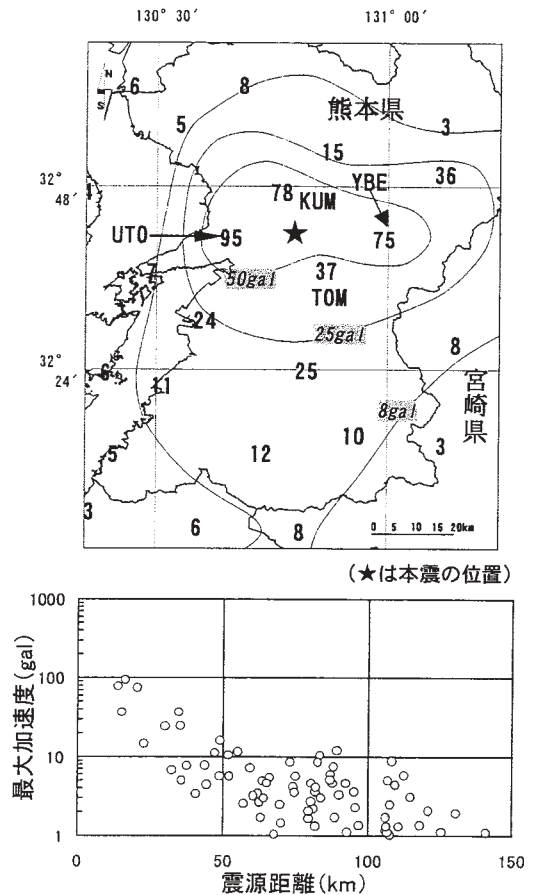


図3 最大加速度 (UD) の分布と震源距離による減衰性

西方方向に広がった本地震特有の分布を示している。なお、本地震では、震央から半径約 20 km 以内の震央近傍地域で、最大加速度は水平方向 250 gal, 上下方向 95 gal, 最大速度は水平方向 10 kine, 上下方向 3.0 kine の地表面地震動が観測されている事が確認できる。

水平方向に対する最大加速度および最大速度の震源距離による減衰性を示す経験式は気象庁発表の震源要素 ($M_{JMA}=4.8$, $H=10$ km) を参考にした。

本地震の場合点震源を仮定し、水平方向最大加速度の減衰性は、図2に福島・田中の経験式 (細線で示す)¹¹⁾ および 1996 年 5 月から 1998 年

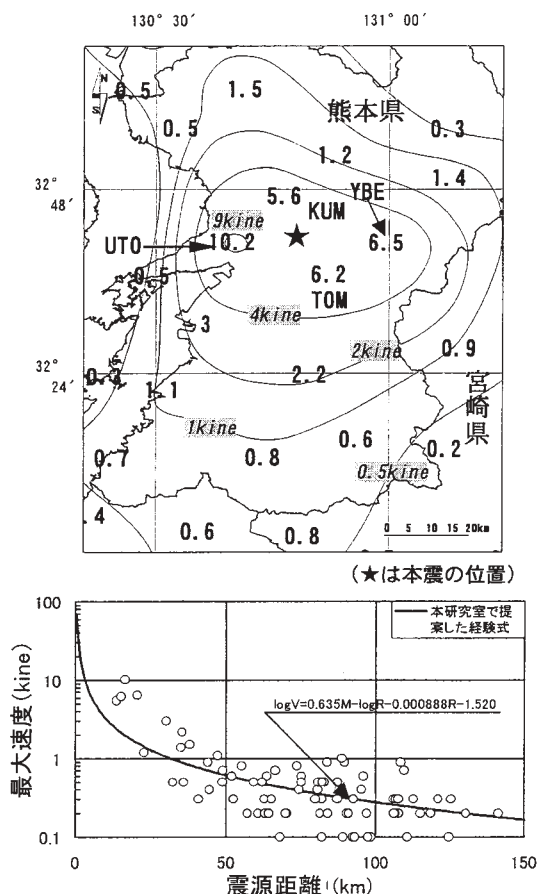


図4 最大速度 (NS, EW の合成) の分布と震源距離による減衰性

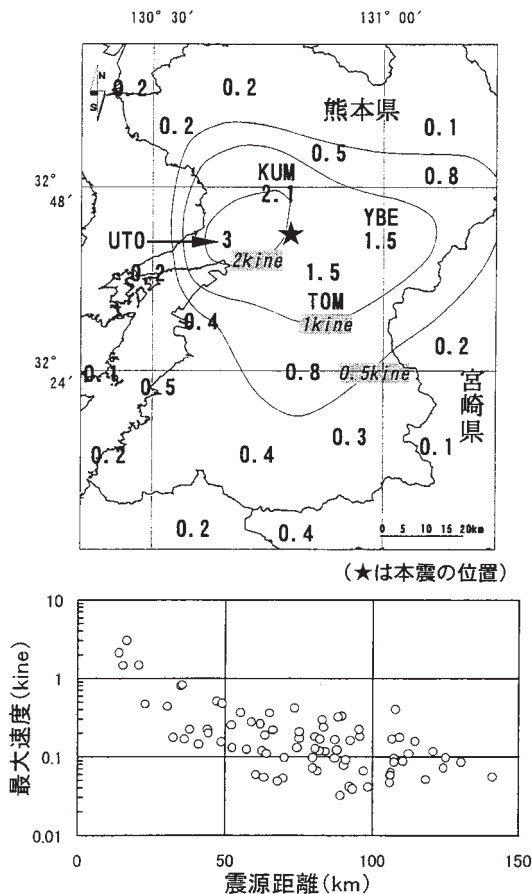


図5 最大速度 (UD) の分布と震源距離による減衰性

12月までに九州およびその周辺地域で発生した136地震 (M_{JMA}=3.2~6.6), 9231地震記録 (283観測地点) をマグニチュード毎に回帰分析し, 本研究室で導入した最大加速度の震源距離による減衰性を示す経験式 (太線で示す)^{12) 13)} を基に比較検討を行った。各観測点での最大加速度は, 伝播経路や表層地盤の震動特性などを反映した揺らぎが見受けられる。とくに震央近傍 (震央距離20~30 km 以内) の宇土市 (UTO) および矢部町 (YBE) でやや大きい加速度を示している。震央距離30 km 程度を越えると, 福島・田中あるいは本研究室で導入した経験式に沿った減衰性を示している。また, 最大速度についても, 最大加

表2 震央近傍の地表面地震動強さ

	計測震度	加速度 (gal)			速度 (kine)					
		NS	EW	UD	Amax	NS EW	UD Vmax			
熊本	KUM	3.9	71.9	79.7	77.7	84	2.8	5.4	2.1	5.6
宇土	UTO	4.7	235.8	205.7	94.7	240	9.8	7.5	3.0	10.2
矢部	YBE	4.1	184.4	149.1	74.8	187	5.6	3.6	1.5	6.5
砥用	TOM	4.1	104.8	78.5	36.7	106	5.4	3.6	1.5	6.2

Amax は NS-EW 成分の波形合成より求めた最大加速度
Vmax は NS-EW 成分の波形合成より求めた最大速度

速度と同様本研究室で作成した経験式^{12) 13)} を基に検討してみると, 図4に示すように, 最大加速度とほぼ同じ傾向が見受けられ, 震央近傍における最大加速度や最大速度および震源距離による減衰性など検討すべき幾つかの問題を提示している。

震央付近の4地点、熊本市 (KUM)・宇土市 (UTO)・矢部町 (YBE)・砥用町 (TOM) の加速度応答スペクトルと観測点のボーリング柱状図 (掘削深度 20 m : K-NET) を参考に、標準貫入試験値 (N 値) 50 を工学的基盤 ($V_s=400$ m/sec) と仮定し、重複反射理論より計算した地表面での増幅特性を図 6 に示す。4 観測点共に、地震波の加速度応答スペクトルは周期 0.1~0.3 (sec) 付近で卓越している。4 観測点各々に付いて詳細に検討してみると、宇土市 (UTO) における表層地盤の卓越周期 (T_g) は 0.4 (sec) である。加速度応答スペクトルは周期 (卓越周期 Tr) 0.2 および 0.5 (sec) で卓越しており、宇土市 (UTO) の地表面で観測された地震波形の加速度応答スペクトルに表れた卓越周期 0.2 (sec) は地震動の特性で、0.5 (sec) は地盤の震動特性の影響を反映しているものと推定される。矢部町 (YBE) では $T_g=0.15$

(sec), $Tr=0.12$ (sec) と極めて短周期の波動が卓越しており、地震波形および地表面での地震動強さを示す最大加速度や最大速度は地震動の特性および表層地盤の震動特性を示す周期 0.1 (sec) 程度の周期特性を強く反映した結果であると推定される。また、熊本市 (KUM) では $T_g=0.25$ (sec), $Tr=0.2$ (sec) および 0.3 (sec), 砥用町 (TOM) では $T_g=0.31$ (sec), $Tr=0.20$ (sec) および 0.35 (sec) であり、熊本市 (KUM) および砥用町 (TOM) における地表面での地震動強さを示す最大加速度や最大速度は震源距離も約 15 km と近いことなどから地震動の特性と周期 0.2~0.4 (sec) の表層地盤の震動特性を反映した結果であると推定される。これらは地表面での地震動強さを示す最大加速度や最大速度にも影響をおよぼしていると考えられる。

1889 年の熊本地震は立田山断層 (北西落ちの

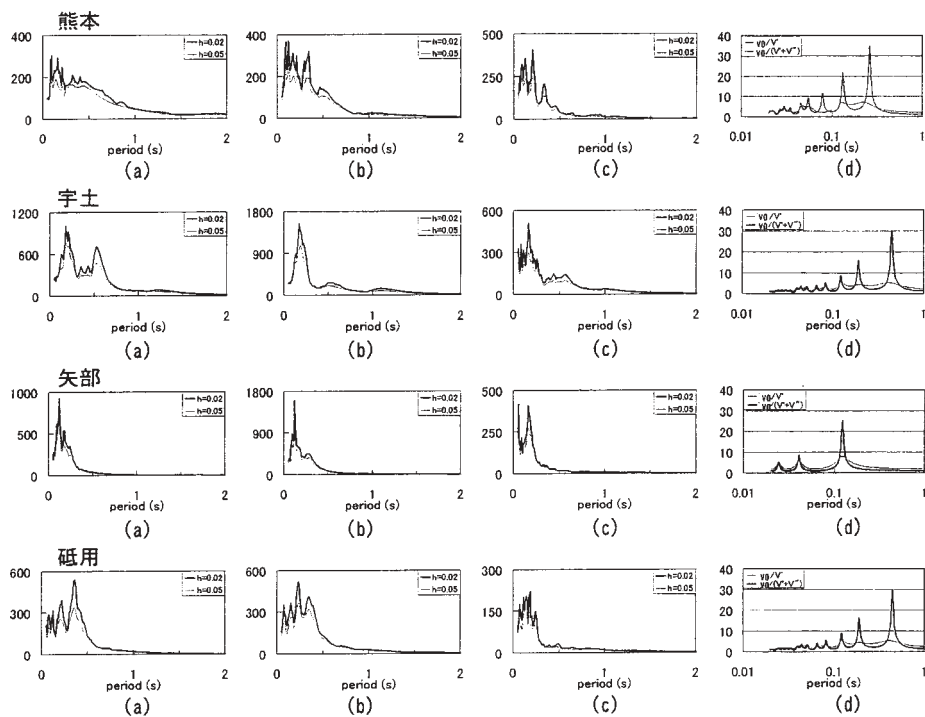


図 6 加速度応答スペクトルおよび地盤の増幅特性
(h : 減衰定数, V_0 : 地表面の応答, V' : 入射波, V'' : 反射波)
(a) : EW成分 (b) : NS成分 (c) : UD成分 (d) : 地盤の増幅特性

断層)の活動と推定され、断層の北西側(断層上盤側)で大きな被害が発生するなど、断層上盤側の地域で大きな地表面地震動が作用していることが確認されている¹⁴⁾。今回の地震は日奈久断層(北西落ちの断層)の活動と推定されており、宇土市(UTO)は北西落ち断層の上盤側(西側)に位置していることや表層地盤の震動特性(卓越周期0.5(sec))を強く反映した結果であると推定される。また、矢部町(YBE)は断層の下盤側(東側)に位置しているが、地震波の加速度応答スペクトルの卓越周期と表層地盤の卓越周期がほぼ一致している。これより、この2観測地点の地表面地震動強さが他の観測地点に比較して大きく現れたことなど、本地震による地表面地震動強さ(最大加速度・最大速度など)の分布特性を十分説明できる。

各観測点はいずれも0.5秒以下の短周期帯域で増幅しており、構造物に入力されるエネルギーの総量を示し、また地震動の破壊力を表す指数としてのハウスナーのスペクトル強度(SI値)は、宇土市(UTO)で $27.3 (\times 10^{-2} \text{ m})$ 、矢部町(YBE)および熊本市(KUM)で $16.4 (\times 10^{-2} \text{ m})$ 、砥用町(TOM)で $15 (\times 10^{-2} \text{ m})$ が計算される。また、1997年の鹿児島県北西部地震(MJMA=6.3)の場合、阿久根市(震源距離14km、最大加速度293gal)で $134 (\times 10^{-2} \text{ m})$ 、宮之城町(震源距離18km、最大加速度493gal)で $87 (\times 10^{-2} \text{ m})$ が計算される。1997年の鹿児島県北西部地震と本地震で最大の加速度を示した宇土市(UTO)(最大加速度240gal)と比較して見ると、最大加速度の違いに対して宇土市(UTO)のスペクトル強度はきわめて小さく、本地震による地震動のエネルギーはそれほど大きくなかったことが推定される。

上下方向の最大加速度および最大速度の分布状況や震源距離による減衰性を図3および図5に示す。これらは水平方向とはほぼ同様な傾向を見ることができ、水平方向の震動特性と合わせて上下方向の震動特性が地震被害に与える影響など更に詳細な検討を進めたい。

また、全国のマグニチュード5程度の地震を用

いて、最大加速度と最大速度の比(A_{max}/V_{max})を求め、その頻度分布および地域的な分布状況を図7、図8に示す。最大加速度は最大速度の20~25(rad/sec)倍程度であり、本地震の場合も同様な傾向が見受けられる。また、地域的には日奈久断層の東西方向地域にある宇土市(UTO)24(rad/sec)、矢部町(YBE)29(rad/sec)、南北方向地域の熊本市(KUM)15(rad/sec)、砥用町(TOM)17(rad/sec)など、震央近傍では日奈久断層の南北方向地域に比較して東西方向地域で大きく出ている。 A_{max}/V_{max} の逆数に2

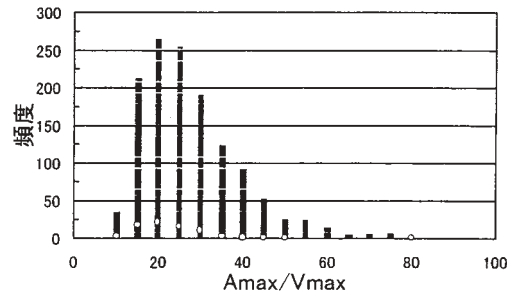
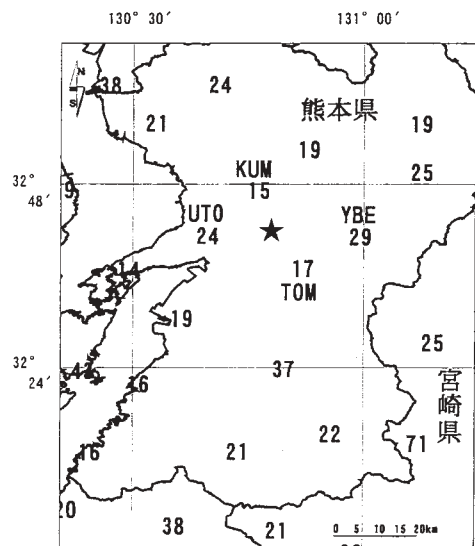


図7 最大加速度/最大速度の頻度分布(水平成分)(○は本地震による)



(★は本震の位置)

図8 最大加速度/最大速度の分布特性

π (rad) を乗じて求めた見掛けの周期 (T_0) は、宇土市 (UTO) 0.26 (sec), 矢部町 (YBE) 0.20 (sec), 熊本市 (KUM) 0.42 (sec), 砥用町 (TOM) 0.37 (sec) など、表層地盤の卓越周期 (T_g) や加速度応答スペクトルの卓越周期 (T_r) とは異なった値を示している。第4章で示すように宇土市 (UTO) や矢部町 (YBE) は、最大加速度や最大速度が大きい割りに、被害がほとんど見られないなど、表層地盤の卓越周期 (T_g) や加速度応答スペクトルの卓越周期 (T_r) など単一の指標だけでは地震動被害が説明できない場合も多い。この地域の A_{max}/V_{max} は他の地域に比較して大きく、見かけの周期 (T_0) は小さいなど、最大加速度に比較して最大速度が小さいことが確認できる。これに関しては今後さらに詳細な検討が必要であるが、地震や地盤など多くの震動特性を組み合わせた指標を説明変数として地震動被害を検討する意味は大きい。

3.2 計測震度およびアンケート震度

地震動被害との相関が良いと考えられている地表面地震動強さを示す指標として震度があり、気象庁および K-NET より計測震度が公表されている。本地震に対する、気象庁と科学技術庁防災研究所より発表された九州地域の計測震度の分布と震源距離による減衰性を図9に示す。計測震度は各観測点における加速度波形より計算された値であり、気象庁と科学技術庁とは、同じ町名でも観測位置の違いによる震度の違いが若干見受けられる。比較的大きな震度が現れた観測点は、日奈久断層上の地域にある嘉島町で4.9 (震源距離約6 km), 日奈久断層西側地域の富合町4.8 (震源距離約15 km), 宇土市4.7 (震源距離約17 km), 益城町4.4 (震源距離約15 km), 御船町4.2 (震源距離約5 km) および日奈久断層東側地域の砥用町4.1 (震源距離約15 km), 矢部町4.1 (震源距離20 km), 日奈久断層南側直上地域の城南町, 小川町 (共に震源距離10 km 前後) の4.1 などである。計測震度5弱は震央近傍の日奈久断層西側地域に存在している。計測震度の分布は本震および余震分布の走行あるいは日奈久断層を挟んで東

西方向に広がった分布形状を示しており、日奈久断層の東西方向各地域が南北方向各地域に比較してより大きな計測震度が現れている。これは、前節3.1で記述した各観測点の地震波動特性や震源距離および表層地盤の増幅特性などの要因および日奈久断層との位置関係を再度確認させるもので、最大加速度あるいは最大速度の分布特性と同様な説明が可能である。また、各観測点の計測震度は地盤震動特性などを反映した揺らぎが見受けられ、震源距離による減衰性は図9に見られるように、とくに震央近傍の地域では、計測震度は本研究室で提案した震源距離による減衰性を示す経験式^{12) 13) 15)}よりやや大きい。また、震源距離50 kmを越えた地域では、ばらつきはやや大きくなるが

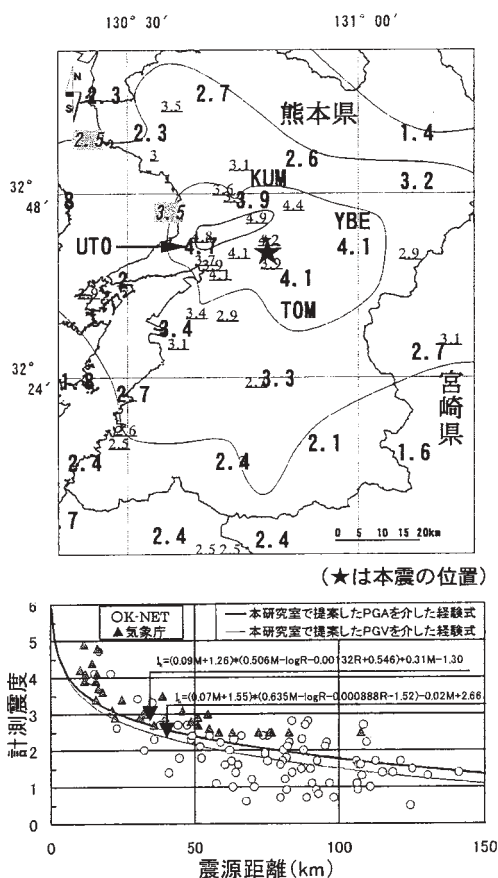


図9 計測震度の分布と震源距離による減衰性 (太線：K-NET 下線：気象庁)

震源距離による減衰性は本経験式に良く似た傾向が見受けられるが、今後更に検討が必要である。

気象庁および K-NET 観測網の補完および高密度な震度の分布状況を検討するため、本地震発生直後に九州全域の各市町村役場の職員を対象に、アンケート震度調査を実施した。アンケート調査票の配布枚数は 10680 枚、回収枚数は 5872 枚、回収率は 55.0 % である (表 3 参照)。

アンケート震度調査による震央近傍および周辺地域での各市町村単位の平均震度による精密震度分布図と震源距離による減衰性を図 10 に示す。

震央付近の比較的大きな震度は、日奈久断層の西側の嘉島町 4.4、富合町 4.1、益城町 3.6、御船町 4.0、日奈久断層南側地域の城南町 3.8 および日奈久断層東側の矢部町 3.6、砥用町 3.8 などである。熊本市・宇土市・矢部町・砥用町など震央近傍地域の観測点毎に比較して見ると、アンケート震度は計測震度と比較して 0.3~1.7 程度低く、計測震度と広い地域を集計したアンケート震度とは違いが見受けられる。しかし、計測震度とアンケート震度の分布特性は良く対応しており、共に日奈久断層をはさんで東西方向に広がった分布形状を示している。また、アンケート震度の震源距離による減衰性に関しては、計測震度との相対的な関係を検討するため、図 9 に示した本研究室で提案した震源距離による計測震度の減衰性を示す経験式を図 10 に併せて示す。アンケート震度は計測震度に比較して相対的にやや低い震度を示している。しかし、とくに震度 1 程度の小さな震度を除けば、アンケート震度の震源距離による減衰性は計測震度と相対的によく似た傾向を示している。計測震度は各観測点の震度であり、アンケート震度は面的な広がりを持つ地域での平均値である。この両者は異なった特性を示すもので、比較検討する場合はアンケート震度調査票のまとめ方や被害との関係など詳細な議論が必要であろう。

4. 家屋被害の状況とその分布

地震被害資料は、当該地域の各市町村役場・県防災消防課などで集計・発表されている。その他、消防庁はインターネットで公表している。

本地震に対する地震被害資料は、御船町他震央近傍地域の各市町村役場で被害の調査・集計が行われ¹⁶⁾、これらの被害資料を基に熊本県庁より発表されている¹⁷⁾。また、消防庁でも熊本県庁の被

表 3 アンケート震度調査票の配布・回収

県名	配布枚数	有効枚数	回収率
福岡	270	91	34%
佐賀	120	82	68%
長崎	270	175	65%
大分	2080	832	40%
熊本	6050	3685	61%
宮崎	1110	540	49%
鹿児島	780	467	60%
合計	10680	5872	55%

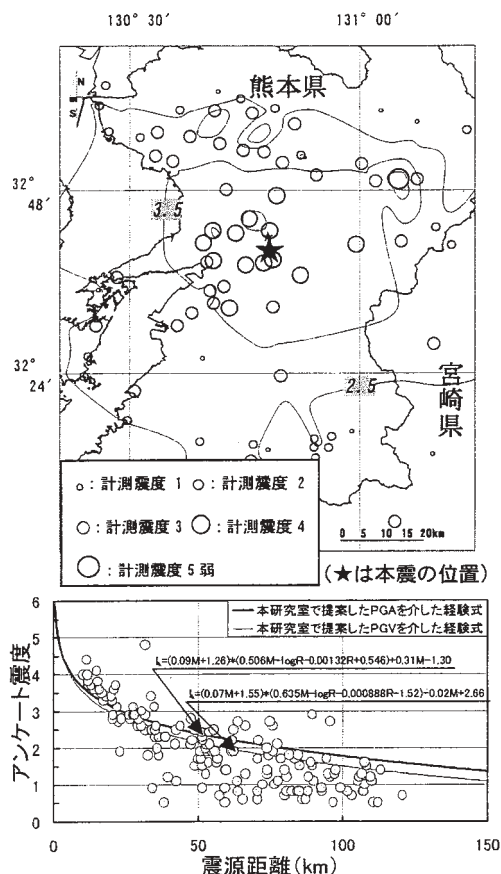


図 10 アンケート震度の分布と震源距離による減衰性

害資料を基に公表している¹⁸⁾。本地震の6月12日までの地震被害集計結果を表4に示す。

被害資料は住家被害と非住家被害に区分されて集計されている。住家は主に専用住宅や店舗併用住宅でほとんどが木造家屋であり、これらを木造家屋の住家被害とみることができる。木造家屋の被害程度の判定は、各市町村共に、全壊は地震によって家全体が傾くもしくは倒壊し使用不能になった建物、半壊は構造部材(柱、梁、耐震壁あるいは基礎部分など)が損傷しているが補修により使用可能な建物、一部破損は構造部材に被害は無かったものの、屋根瓦や窓ガラスなど二次部材に損傷を受けたものと定義されている¹⁹⁾。

被害集計結果は、本地震の場合、全壊や半壊と判定された被害建物はなく、全て一部破損である。また、熊本県庁と消防庁の被害資料は良く対応している。各市町村役場の集計結果は前者に比較して、住家被害は約2.5倍程度、被住家被害は2.1倍

程度大きいことが確認できる。これは、各市町村役場の現地調査より判定された被害の内容を、熊本県が更に検討を加え被害程度を再判定して集計したことによるものと推定される。

ここでは、木造家屋の住家被害(以後、単に住家被害と称す)を対象に被害の種類や程度および被害発生位置と地表面地震動強さとの関係について検討する。なお、非住家被害も多数集計されているが、公共建物他納屋や陳列物など被害対象が市町村によって異なり、被害建物の実体や実質的な被害内容に統一性が無く、問題が多くあることが現地調査により確認できたので、ここでは検討しない。震央近傍の各市町村役場より提供を受けた地震被害調査・集計資料¹⁶⁾を基に、住家被害の内容を区分した詳細な被害資料および被害分布図を作成し表5および図11に示す。

本地震による住家被害の内容は屋根瓦の落下、壁の剥離・亀裂および窓ガラスの破損、その他敷地内のブロック塀の亀裂・破損などであった。これら住家家屋の被害総数は69件と少なく、3.1節で記述した地震の卓越周期帯域(0.5秒以下)やスペクトル強度SI値(最大でも宇土市(UTO)27.3($\times 10^{-2}$ m))など、本地震による地震動のエネルギーが小さかったことと良く整合している。また、被害は震央を中心に半径約20 km以内の地域に発生している。その中でも、被害が多かった地域は日奈久断層の北側5 km以内の御船町、嘉島町および益城町など日奈久断層と布田川断層に挟まれた地域である。その他、城南町や富合町など布田川断層上の地域にも集中している。これ

表4 熊本県他による本地震の市町村別被害

市町村名	熊本県防災消防課		消防庁		役場資料	
	住家被害	非住家被害	住家被害	非住家被害	住家被害	非住家被害
熊本市	1	6	1	6	0	6
御船町	13	6	13	6	25	3
甲佐町	2	1	2	1	6	4
城南町	1	1	1	3	6	2
嘉島町	6	1	6	1	16	4
益城町	1	0	1	0	4	3
松橋町	1	1	1	4	1	7
富合町	0	0	0	0	10	1
宇土市	0	2	0	2	1	9
砥用町	0	0	0	0	0	0
泉村	1	0	0	0	0	0
合計	26	18	25	23	69	39

表5 各市町村で収集した被害資料による家屋の被害種別と被害実数

市町村名	被害(住宅)				被害(非住宅)				人的被害	その他の被害
	瓦	壁	ガラス	その他	瓦	壁	ガラス	その他		
熊本市	0	0	0	0	1	3	1	0	0	0
御船町	23	0	2	0	0	0	0	3(校庭に亀裂)	0	0
甲佐町	2	0	1	3(ブロック塀等)	1	0	1	2	0	0
城南町	3	3	0	0	0	2	0	0	0	11(井戸水の濁り、地割れ等)
嘉島町	14	2	0	0	2	1	1	0	0	0
益城町	2	1	1	0	0	0	0	3*	0	0
松橋町	0	1	0	0	2	0	1	4(商品)	0	1(水の濁り)
富合町	5	4	1	0	0	0	0	1(商品)	0	0
宇土市	0	1	0	0	0	0	0	9(商品等)	1	1(水の濁り)
合計	49	12	5	3	6	6	4	23	1	13

*その他の内2件は小屋が倒れたもの

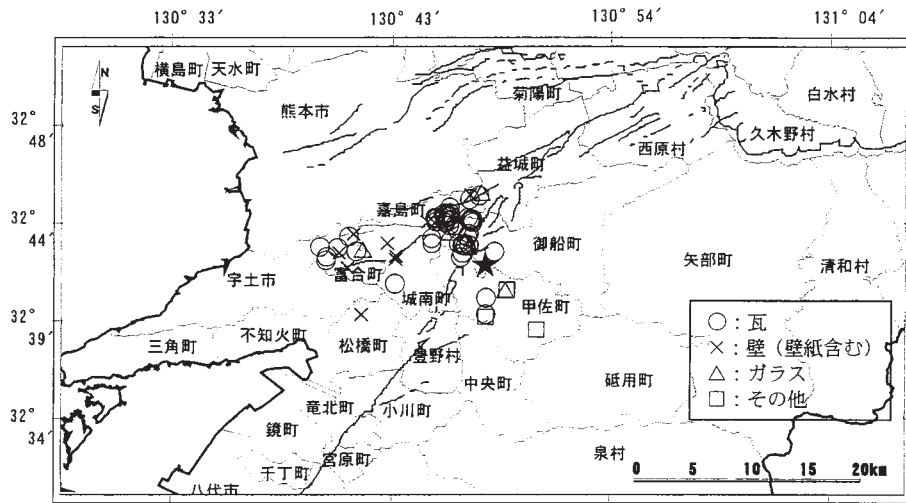


図 11 震央近傍における木造家屋の被害分布 (★は本震の位置)

らの地域は日奈久断層や布田川断層など過去に断層活動を受けた地盤の特性を反映した結果であることを示唆できる。また、この地域は日奈久断層の上盤側(北西側)に位置しており、被害はこの地域の断層分布やずれ(北西落ち断層の上盤側)とよく対応しており、本地震特有の被害分布をしていることが確認できる。この結果は1889年の熊本地震の解析による地震被害と立田山断層との関係でも確認されている¹⁴⁾。

地震被害の多かった地域と震度との関係について、御船町、嘉島町、益城町あるいは城南町、富合町は図9に示す計測震度4および5弱の地域に対応しており、計測震度との良い相関が見られる。他方、これらの地域のアンケート調査による震度は、御船町4.0、嘉島町4.4、城南町3.8、益城町3.6および富合町4.1と被害を発生させる地表面地震動としては、計測震度に比較してやや小さい。そこで、アンケート調査の集計面積を小さくし、各市町村の大字毎にアンケート震度調査票を再集計し、アンケート震度3.5~4.4と4.5以上とに区分した震度分布図を作成し、図12、図13に示す。これより、被害が発生している地域は、明らかにアンケートによる震度4.5以上が集中している、日奈久断層の西あるいは北西部など断層の上盤側

地域に符合しており、アンケート震度調査は集計方法を考慮すれば十分に被害と対応させる指標と成り得ることが確認できる。日奈久断層の東側地域(断層下盤側)の甲佐町でも被害が発生している。他方、計測震度4.7の宇土市あるいはアンケート震度が4.5以上の地域でも被害報告のない地域が見受けられるなど、計測震度やアンケートによる震度と被害が対応しない地域もある。これらの地域でのアンケート調査票が極めて少なく、地盤情報もほとんど収集されておらず詳細な検討ができない。今後、これらの問題などに関して地盤特性や断層の破壊メカニズムなどを参考に詳細な検討を行う必要がある。

5. まとめ

2000年6月8日熊本県中央部の日奈久断層付近で発生した地震に対する、震央および周辺地域の地表面地震動強さと木造家屋の被害状況に関する調査・検討を行った。

本地震の規模は気象庁ではマグニチュード M_{JMA}=4.8、震源深さ H=10 km と発表している。震央近傍の地表面上では、最大加速度 240 gal、最大速度 10 kine、計測震度 5 弱程度の地震動強さが確認できた。また、アンケート震度調査から

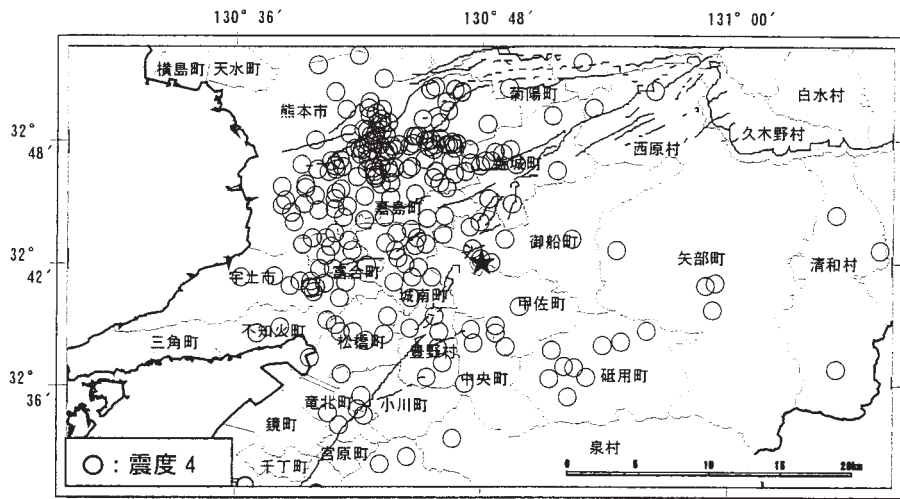


図 12 アンケート震度 3.5～4.4 が分布した地域 (★は本震の位置)

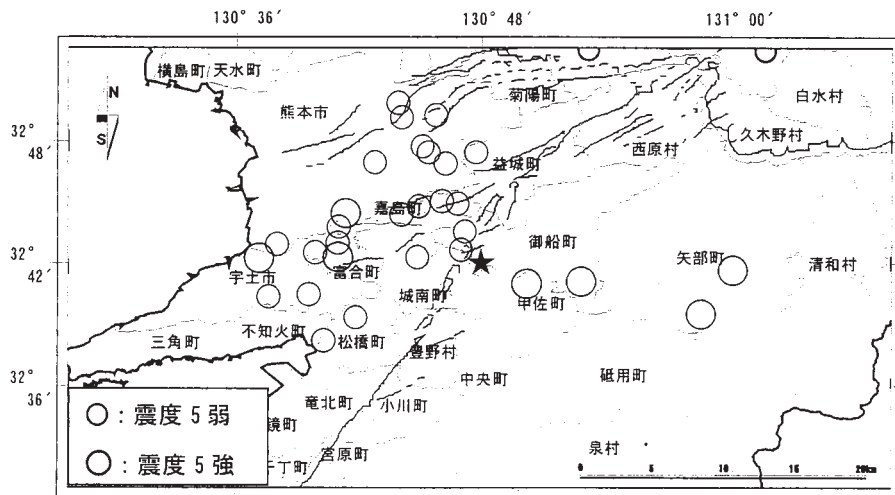


図 13 アンケート震度 4.5 以上が分布した地域 (★は本震の位置)

も震度 4.5 以上の地域が多く確認できた。これら地表面での地震動強さを示す最大加速度他各指標の分布特性は、本震および余震の走行あるいは日奈久断層に直交する東西方向に広がった分布形状を示している。とくに、震央近傍の本震から 20 km 以内の、比較的大きな地震動が記録された地域は日奈久断層との位置関係（これらの地域が断

層の上盤側に位置するかあるいは下盤側に位置するか）および表層地盤の増幅特性などで十分に説明できる。このことは、1889 年の熊本地震 (M=6.3) の解析結果と良く符合しており、本地域に発生する地震の地表面地震動強さを評価する重要な要素であることを示唆している。

木造家屋の被害に関しては、被害の内容は屋根

瓦の落下、壁の剥離・亀裂および窓ガラスの破損など二次部材に損傷を受けた一部破損 69 件であった。また、被害の総数および程度あるいは応答スペクトルの卓越周期帯域が 0.5 秒以下であること、スペクトル強度 SI 値が小さいことなどから、本地震による地震動のエネルギーは比較的小さかったことが示唆できる。木造家屋の被害は震央を中心に半径約 20 km 以内の地域に発生し、被害が多かった地域は日奈久断層の北側 5 km 以内の日奈久断層と布田川断層に挟まれた地域と布田川断層上の地域に集中している。これらの地域は日奈久断層の上盤側（北西側）に位置しており、被害はこの地域の断層分布やずれ（北西落ちの断層）とよく対応しており、本地震特有の被害分布をしていることが確認でき、1889 年の熊本地震による地震被害の解析結果を再確認できた。また、日奈久断層および布田川断層上で計測震度 5 弱の地域、特にアンケート震度 4.5 以上が集中している地域に多くの被害が発生しているなど、震央近傍の断層分布や震度分布などに良く整合した特徴的な被害分布を示していることが確認できた。これらの結果より、高密度なアンケート震度調査が地震被害の解析に有効であることが推論できる。現在、家屋被害が発生した地域の現地調査に基づくアンケート震度解析や被害家屋の調査解析を進めており、計測震度 5 弱あるいはアンケート震度 4.5 以上の地域で、地震被害が発生していない地域の説明など、断層の破壊メカニズムや震央付近の地下地盤調査などの解析とあわせて問題解決の方法を検討し、アンケート震度調査が小規模地震迄含めた地震被害の解析に有効であることを検証していく予定である。

また、阿蘇カルデラ北西部より放射状に走行する立田山断層群や日奈久断層群の活動による地震の調査解析を進め、近代都市熊本市や八代市など周辺各市町村地域の地震防災のための詳細な基礎資料を作成していく予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり、被害資料の提供やアンケート調査など、ご協力いただいた熊本県および

同市町村役所・役場ほか、関係各位に深く感謝申し上げます。また、気象庁や科学技術庁防災科学研究所 K-NET のデータを使用させて頂きました。関係各位に対し、深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 渡辺一徳：熊本県阿蘇カルデラ西方地域の活断層群とその意義，熊本大学教育学部紀要，自然災害，Vol.33, pp.35-47, 1984
- 2) 九州活断層研究会編：九州の活断層，1989
- 3) 九州活断層研究会：九州地方活断層研究，第 1 号，pp.69-92, 平成 8 年 7 月
- 4) 宇佐美龍男：新編 日本被害地震総覧，p.36, p.51, 1995
- 5) 熊本市：平成 8 年度 熊本市震災対策基礎調査委託報告書，pp.12-19, 平成 9 年 3 月
- 6) 太田 裕・後藤典俊・大橋ひとみ：アンケートによる地震時の震度の推定，北海道大学工学部研究報告 92, pp.117-128
- 7) 気象庁：<http://www.kishou.go.jp/>
- 8) 九州大学大学院理学研究科付属島原地震観測所，<http://kyupub.sevo.kyushu-u.jp/harvest/>
- 9) 科学技術庁防災科学研究所強震ネット (K-NET)，<http://www.k-net.bosai.go.jp/>
- 10) 気象庁：2000 年 6 月地震火山概況，気象庁地震火山部，2000 年 8 月
- 11) 福島美光・田中貞二：新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂，地震学会予稿集，No. 2, p.116, 1992
- 12) 宮崎雅徳・岩崎宏輔・尻無濱昭三・梅田慎一・須田秀彦：九州近傍で発生したプレート型地震についての震度と最大加速度の減衰性について，日本建築学会九州支部研究報告，第 38 号，pp.245-248, 1999
- 13) 宮崎雅徳・濱田義太郎・尻無濱昭三・吉田真一郎：最大加速度，最大速度および計測震度の震源距離による減衰性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，2001, pp.55-56
- 14) 宮崎雅徳：表層地盤の震動特性評価法の開発と地震防災への応用に関する研究，博士論文，pp.155-200, 平成 8 年 12 月
- 15) 宮崎雅徳・尻無濱昭三・秋吉 卓：計測震度と最大加速度および最大速度に関する一考察，第 25 回地震工学研究発表会講演論文集，pp.53-56, 1999
- 16) 熊本県各市町村役所・役場：地震被害資料

- 17) 熊本県：地震被害資料，2000年6月12日付
- 18) 消防庁：地震被害資料，2000年6月12日付
- 19) 熊本市防災会議：熊本市地域防災計画（資料編），
平成8年度，熊本市

（投稿受理：平成13年10月1日

訂正稿受理：平成14年5月23日）