ＩＳＳＮ　１３４６－７３２８
国総研資料　第 929 号
ＩＳＳＮ　０２８６－４６３０
建築研究資料　第 173 号
平　成　２８　年　　９　月

国土技術政策総合研究所資料

TECHNICAL NOTE of

National Institute for Land and Infrastructure Management

No.929　　September 2016

建築研究資料

Building Research Data

No.173　　September 2016

平成 28 年（2016 年）熊本地震建築物被害調査報告（速報）

Quick Report of the Field Survey on the Building Damage by the 2016 Kumamoto Earthquake

国土交通省　国土技術政策総合研究所

National Institute for Land and Infrastructure Management

Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

国立研究開発法人　建築研究所

Building Research Institute

National Research and Development Agency, Japan

国土技術政策総合研究所資料
第929号　　2016年9月
建　築　研　究　資　料
第173号　　2016年9月

平成28年（2016年）熊本地震建築物被害調査報告（速報）

国土交通省 国土技術政策総合研究所
国立研究開発法人 建築研究所

概要

平成28年4月14日以降に発生した平成28年（2016年）熊本地震は、数多くの建築物に倒壊等の被害をもたらした。国土技術政策総合研究所及び建築研究所では発災直後より、分野別に専門家を現地に派遣し、地震及び地震動、木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、基礎・地盤、免震、非構造部材・設備、火災等の建築物被害調査等を実施してきた。

本資料は、現段階におけるこれら調査研究の成果を速報として取りまとめたものである。

キーワード：平成28年（2016年）熊本地震、建築物被害、現地調査

Technical Note of NILIM
No. 929 September 2016
Building Research Data
No.173 September 2016

Quick Report of the Field Survey on the Building Damage by the 2016 Kumamoto Earthquake

National Institute for Land and Infrastructure Management
Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Japan

Building Research Institute
National Research and Development Agency, Japan

Synopsis

The 2016 Kumamoto Earthquake which occurred on and after April 14 caused tremendous damage of collapse to many buildings. Since immediately after the earthquake, the NILIM and the BRI have been sending experts of various fields concerned to the affected region and have been conducting the survey on earthquake and ground motion, wooden construction, steel frame construction, reinforced concrete construction, foundations and ground, seismic isolator, non-structural members and equipment, damage due to fire, and so on to collect the data on the state of damage to buildings.

This report summarizes the results of the researches and studies at the current stage as “Quick report”.

Key Words : The 2016 Kumamoto Earthquake, Building Damage, Field Survey

はしがき

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分に熊本県熊本地方の深さ約 10km でマグニチュード(M) 6.5 の地震が発生し、上益城郡益城町で最大震度 7 を記録しました。さらに、約 28 時間後の 4 月 16 日 01 時 25 分に同地方の深さ約 10km で M 7.3 の地震が発生し、上益城郡益城町で再度震度 7 を、また、阿蘇郡西原村でも震度 7 を記録しました。これらの地震により、熊本県を中心に数多くの建築物に倒壊などの被害がもたらされました。

気象庁は、「4 月 14 日 21 時 26 分以降に発生した熊本県を中心とする一連の地震活動」を「平成 28 年（2016 年）熊本地震」と定義する説明を 4 月 21 日に発表しました。

8 月 31 日現在、総務省消防庁災害対策本部公表資料「熊本県熊本地方を震源とする地震（第 75 報）」によれば、4 月 14 日の前震以降、4 月 16 日の本震を含め震度 6 弱を上回る大きな地震が 7 回発生しており、人的被害は死者 98 名、負傷者 2,422 名、住家被害は全壊 8,169 棟、半壊 29,294 棟、一部損壊 136,607 棟、非住家被害は公共建物 311 棟、その他 2,605 棟となっています。

地震発生直後から約 5 ヶ月の間、国土交通省国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）及び国立研究開発法人建築研究所（以下「建研」という。）では連携して、住宅・建築・都市計画技術に関する公的研究機関としての社会的使命を果たすべく、被災地の建築物等の被害調査活動に迅速に取り組みました。国土交通省住宅局の派遣要請に基づき、熊本県内 5 市 5 町 2 村の被災地に、木造建築物、鉄骨造建築物、鉄筋コンクリート造等建築物、地盤・基礎、免震建築物、非構造部材、建築設備、火災、の分野別に 14 次に亘る調査班（研究員延べ 44 名）を順次派遣し、建築物の主な被害状況や要因と考えられる事象などを把握しました。加えて、その他建築物の継続使用性についても自主的な調査を実施しており、成果が得られ次第報告することとしております。

なお、建築物の地震被害の原因分析を進めるにあたり、国総研と建研は「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」を設置し、外部有識者のご意見も反映するように努めており、本報告書も、一部の内容がそれを踏まえたものとなっています。

本報告書では、「平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害調査報告（速報)」として既に国総研、建研ホームページに一部公表している上記の各調査結果及び分析を基礎としつつ、これまでの研究成果の概要を速報としてとりまとめています。なお、これらは出版時点での情報に基づくもので、今後も必要な調査や検討は継続して実施していく予定です。

最後に、本地震で亡くなられた方及びそのご遺族に対し深く哀悼の意を表するとともに、被災された方々に心からお見舞い申し上げます。また、現地調査に当たって被災地の困難な状況にもかかわらず、調査にご協力いただいた方々、資料を提供して頂いた方々に厚く御礼申し上げます。

平成 28 年 9 月

国土交通省国土技術政策総合研究所　副所長　　香山　幹
国立研究開発法人建築研究所　　理事長　　坂本　雄三

本報告書は、国土交通省国土技術政策総合研究所及び
国立研究開発法人建築研究所のホームページ
（http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0929.htm、
http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/173/index.html）
上で公表しています。

平成 28 年（2016 年）熊本地震建築物被害調査報告（速報）

目次

はしがき

第 1 章 はじめに　(1-1)

第 2 章　調査研究の概要　(2-1～2-3)

第 3 章　被害一般　(3-1～3-18)

3.1 地震の概況・・・

4.2 被災地域の地形および地質・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-6
4.3 前震および本震の地震動特性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-8
4.3.1 観測記録に基づいた地震動特性・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-10
4.3.2 弾塑性応答解析に基づいた特徴・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-18
4.4 建築研究所強震観測ネットワークの強震記録・・・・・・・・・・・・・・・・4-23
4.5 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・4-32

第5章　地震動による建築物等の被害
5.1 建築物等の地震被害調査の方針　　(5.1-1～5.1-2)

5.2 益城町中心部における悉皆調査　　(5.2-1～5.2-10)
5.2.1 調査の目的と概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.2-1
5.2.2 調査結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.2-1
(1) 被害分布・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.2-1
(2) 年代・構造別の被害の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.2-5
5.2.3 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.2-10
参考文献

5.3 木造建築物の被害　　(5.3-1～5.3-32)
5.3.1 調査の目的と概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.3-1
5.3.2 調査結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.3-2
(1) 益城町中心部の被害の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.3-2
(2) 西原村の被害の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.3-6
(3) 南阿蘇村の被害の概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.3-10
5.3.3 益城町中心部において倒壊した木造建築物の被害要因の分析・・・・・5.3-14
(1) 新耐震以降の建築確認で倒壊した木造建築物の構造的特徴と
被害要因の集計・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.3-14
(2) 2000年6月以降の建築確認で倒壊した木造建築物の構造的特徴と
被害要因の分析・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.3-17
5.3.4 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.3-30
参考文献

5.4 鉄骨造建築物の被害　　(5.4-1～5.4-50)
5.4.1 調査の目的と概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.4-1
5.4.2 調査結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.4-1
(1) 益城町における鉄骨造建築物の調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.4-1
(2) 学校体育館の調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.4-12
(3) その他の鉄骨造建築物の調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.4-45
5.4.3 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.4-49
参考文献

5.5 鉄筋コンクリート造等建築物の被害　(5.5-1～5.5-96)
5.5.1 調査の目的と概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.5-1
5.5.2 調査結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.5-1
(1) 1981 年以降または耐震改修済みの被災建築物・・・・・・・・・・・・・・5.5-1
(2) 1981 年以前の被災建築物・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.5-69
(3) その他の被災建築物・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.5-94
5.5.3 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.5-95
参考文献

5.6 基礎・地盤の被害　(5.6-1～5.6-22)
5.6.1 調査の目的と概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.6-1
5.6.2 益城町の調査結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.6-2
5.6.3 熊本市南区の調査結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.6-17
5.6.4 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.6-22
参考文献

5.7 免震建築物の被害　(5.7-1～5.7-38)
5.7.1 調査の目的と概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.7-1
5.7.2 被害状況調査（現地調査）結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.7-2
5.7.3 地震動特性に関する検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.7-25
5.7.4 免震挙動に関するアンケート調査・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.7-28
5.7.5 まとめと今後の課題・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.7-36
参考文献

5.8 非構造部材・設備の被害　(5.8-1～5.8-38)
5.8.1 調査の目的と概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-1
5.8.2 非構造部材の被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-1
(1) 吊り天井の被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-1
(2) ガラス開口部の被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-8
(3) 内装の被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-12
(4) 外装の被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-15
(5) 防火戸等の被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-18
(6) 吹付けアスベスト等の被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-23
5.8.3 建築設備の被害・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-31
5.8.4 まとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・5.8-37
参考文献

第 6 章　火災による建物被害　(6-1～6-7)
6.1 調査概要・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6-1
6.2 火災の発生状況・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・6-1

6.3 現地調査結果・・・

執筆分担

第 1 章 はじめに

福山　洋　　国土技術政策総合研究所 住宅研究部長

第 2 章 調査研究の概要

瀬沼智洋　　建築研究所 企画部 企画調査課長

第 3 章 被害一般

成田潤也　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室長
中西　浩　　国土技術政策総合研究所 住宅研究部 住宅ストック高度化研究室長
竹谷修一　　国土技術政策総合研究所 都市研究部 都市防災研究室長
臼井浩一　　建築研究所 住宅・都市研究グループ長
米野史健　　建築研究所 住宅・都市研究グループ 主任研究員

第 4 章 地震および地震動

小山　信　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 建築品質研究官
横井俊明　　建築研究所 国際地震工学センター センター長
芝崎文一郎　建築研究所 国際地震工学センター 上席研究員
犬飼瑞郎　　建築研究所 国際地震工学センター 上席研究員
原　辰彦　　建築研究所 国際地震工学センター 上席研究員
中川博人　　建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
鹿嶋俊英　　建築研究所 国際地震工学センター 主任研究員
林田拓己　　建築研究所 国際地震工学センター 主任研究員

第 5 章 地震動による建築物等の被害

福山　洋　　国土技術政策総合研究所 住宅研究部長
森田高市　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 構造基準研究室長
古賀純子　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 材料・部材基準研究室長
岩田善裕　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
中川貴文　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
宮村雅史　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
諏訪田晴彦　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
柏　尚稔　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
樋本圭佑　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
山口秀樹　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
脇山善夫　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
向井昭義　　建築研究所 研究専門役
井上波彦　　建築研究所 構造研究グループ 上席研究員
槌本敬大　　建築研究所 材料研究グループ 上席研究員
小豆畑達哉　建築研究所 国際地震工学センター 上席研究員

長谷川隆　　建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
新井　洋　　建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
向井智久　　建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
田沼毅彦　　建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
荒木康弘　　建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
坂下雅信　　建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
西野智研　　建築研究所 防火研究グループ 主任研究員
松沢晃一　　建築研究所 材料研究グループ 主任研究員
石原　直　　建築研究所 建築生産研究グループ
（併）構造研究グループ 主任研究員
岩見達也　　建築研究所 住宅・都市研究グループ 主任研究員
三木徳人　　建築研究所 構造研究グループ 研究員
中村聡宏　　建築研究所 構造研究グループ 研究員
福波珠恵　　建築研究所 構造研究グループ 交流研究員

第 6 章 火災による建物被害
樋本圭佑　　国土技術政策総合研究所 建築研究部 主任研究官
萩原一郎　　建築研究所 防火研究グループ長
西野智研　　建築研究所 防火研究グループ 主任研究員
岩見達也　　建築研究所 住宅・都市研究グループ 主任研究員

第 7 章 おわりに
福山　洋　　国土技術政策総合研究所 住宅研究部長

※所属は執筆時点（平成 28 年 9 月）のもの。異動の理由により本文中の調査の記述とは一致していない場合がある。

第１章　はじめに

平成 28 年 4 月 14 日 21 時 26 分に熊本県熊本地方の深さ約 10km でマグニチュード(M) 6.5 の地震が発生し、上益城郡益城町で最大震度 7 を記録した。さらに、約 28 時間後の 4 月 16 日 01 時 25 分に同地方の深さ約 10km で M 7.3 の地震が発生し、上益城郡益城町で再度震度 7 を、また、阿蘇郡西原村でも震度 7 を記録した。これらの地震により、熊本県を中心に数多くの建築物に倒壊などの被害がもたらされた。気象庁は、最初の 4 月 14 日 21 時 26 分の地震を「平成 28 年（2016 年）熊本地震」と命名し 4 月 15 日に発表したが、4 月 16 日にはさらに規模が大きい地震が発生したことから、「平成 28 年（2016 年）熊本地震」は「4 月 14 日 21 時 26 分以降に発生した熊本県を中心とする一連の地震活動」を指すとする説明を 4 月 21 日に発表した。

これらの地震の発生を受け、国土交通省国土技術政策総合研究所（以下「国総研」という。）と国立研究開発法人建築研究所（以下「建研」という。）は、建築物を中心とした被害状況を把握し必要な対策等に活かすため、両研究所合同の「熊本地震建築物災害対策会議（以下「対策会議」という。)」を立ち上げ、情報収集、現地調査、調査結果のWeb公開[1]等のさまざまな活動を開始した。現地調査は、国土交通省住宅局からの要請に基づき、木造建築物、鉄骨造建築物、鉄筋コンクリート造等建築物、地盤・基礎、免震建築物、非構造部材、建築設備、火災について 14 次に亘る調査班を派遣し、それとは別に、自主調査として、建築物の継続使用性やアスベスト等に関する調査班も派遣した。対策会議は、これらの調査の結果と今後の調査や取りまとめの内容等について議論を続けてきた。

本報告書は、地震発生から約 5 ヶ月の間に実施した調査および研究の概要を、記録として残すために途中段階でまとめたものであり、「はじめに」、「調査研究の概要」、「被害一般」、「地震及び地震動」、「地震動による建築物等の被害」、「火災による建築物被害」、「おわりに」の 7 章より構成されている。その主な内容は、国総研および建研が実施してきた調査に加え、一般社団法人日本建築学会等の他機関が実施した建築物被害調査も含めて幅広く収集・整理した建築物の被害状況と、その情報等をもとに分析した被害原因等である。なお、建築物の地震被害の原因分析をすすめるにあたり、国総研と建研は「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会（2-1 ページ参照)」を設置し、外部有識者のご意見も反映するように努めており、本報告書も一部の内容がそれを踏まえたものとなっている。

本報告は、出版時点での情報に基づくものであり、必ずしも被害の全容を網羅するものではないことに留意されたい。なお、今後も必要な調査や検討は継続していく予定である。

---

[1]　国土技術政策総合研究所（http://www.nilim.go.jp）や建築研究所（http://www.kenken.go.jp）のホームページには、平成 28 年熊本地震に関する調査報告や取り組みに関する情報を掲載した特設ページが設けられ、そこには、本報告書に速報をまとめた元となる個別の調査や研究の速報などが掲載されている。

第 2 章　調査研究の概要

平成 28 年 4 月 14 日夜、熊本県熊本地方でマグニチュード (M) 6.5、最大震度 7 の地震が発生した。続いて、4 月 16 日未明には、熊本地方で M7.3、最大震度 7 の地震が発生した。その後も、阿蘇地方や大分県中部等を含む地域では活発な地震活動が継続した。

国総研及び建研では、住宅・建築・都市計画技術に関する公的研究機関としての社会的使命を果たすべく、建築物等の被害調査活動に地震発生直後より、迅速に取り組んだ。

4 月 14 日 21 時 26 分に地震（前震：M6.5）が発生し、国土交通本省及び国総研が非常体制に入ると同時に、建築研究所も非常支援体制に入った。国土交通省住宅局の派遣要請を受け、国総研及び建研では、4 月 15 日より被災地の建築物の被害状況調査を開始した。専門分野毎に調査班を結成し、8 月 31 日現在、計 14 班、研究員延べ 44 名を被災地に派遣した（表 2-1）。調査対象市区町村は、熊本県内の 5 市 5 町 2 村に及んだ（図 2-1）。

また、国総研及び建研は、「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」（表 2-2）の初会合を 5 月 26 日に、第 2 回会合を 6 月 30 日に、第 3 回会合を 9 月 12 日に、それぞれ開催した。同委員会は、建築構造の専門家、建築設計や建築審査の実務者を委員とし、両研究所及び一般社団法人日本建築学会等が実施している建築物被害調査の内容について、幅広く収集・整理するとともに、調査結果や関連データや専門的、実務的知見を活かして、建築物被害の原因分析を行うことを目的とした。同委員会は、国総研に設置されている「建築構造基準委員会」と、建研に新たに設置された「建築研究所熊本地震建築物被害調査検討委員会」の合同開催の形式で行われた。国土交通省住宅局は、同委員会における分析のとりまとめを踏まえて、建築基準のあり方を含め、建築物における耐震性の確保・向上方策について検討を行うこととしている。

国総研及び建研は、国土交通省住宅局の検討を技術的に支援するとともに、引き続き、関連する調査研究活動に積極的に取り組むこととしている。

なお、国総研及び建研ホームページにそれぞれ、熊本地震関係特設サイトを開設し、調査活動の速報を一般公開した。また、建研ホームページにおいては、強震観測の情報も一般公開した。

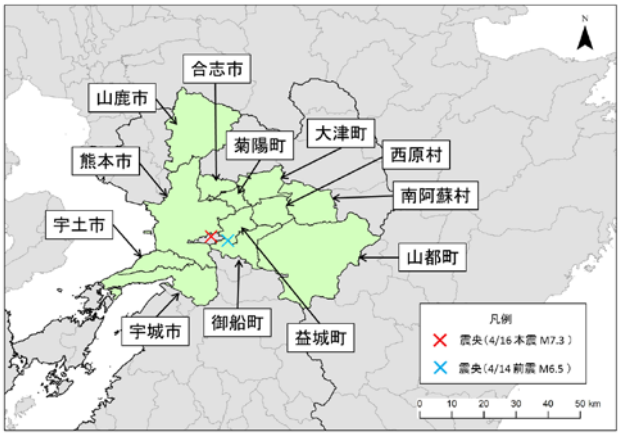


図 2-1：調査対象市区町村

表 2-1：国総研・建研の主な活動（平成 28 年 9 月 12 日時点）

日時・派遣期間	調査次数	内容	派遣者
4/14　21 時 26 分	地震（前震）発生（M6.5）		
同　　21 時 26 分	国土交通省本省・国総研非常体制と同時に、建築研究所も非常支援体制に入る。		
4/15～4/17	第 1 次	熊本市、益城町、南阿蘇村、西原村、山都町の被災調査	柏、槌本
4/16　1 時 25 分	地震（本震）発生（M7.3）		
4/16～4/19	第 2 次	熊本市、益城町、南阿蘇村、宇土市、宇城市の木造建築物及びＲＣ造建築物を中心とした調査	中川（貴）、宮村、向井(智)、田沼
4/19～4/21	第 3 次	熊本市、益城町、西原村の鉄骨造建築物並びに非構造部材及び設備を中心とした調査	脇山、山口、長谷川（隆）
4/19	建研ホームページに特設サイトを開設		
4/22	国総研ホームページに特設サイトを開設		
4/22～4/24	第 4 次	熊本市、益城町の建築物基礎の損傷及び敷地地盤の変状を中心とした調査	柏、新井
4/26～4/28	第 5 次	熊本市、益城町、大津町、御船町の火災被害を受けた建築物を中心とした調査	岩見、樋本、西野
4/26～4/27	第 6 次	益城町、南阿蘇村の木造建築物を中心とした調査	槌本、福波、中川（貴）、荒木
4/28～4/29	第 7 次	熊本市、益城町、宇土市のＲＣ造建築物を中心とした調査	諏訪田、中村（聡）
4/28～4/29	第 8 次	益城町の鉄骨造建築物を中心とした調査	岩田、三木、石原（直）
4/29～4/30	第 9 次	熊本市、阿蘇市、山鹿市、大津町の免震建築物を中心とした調査	森田、井上、小豆畑
5/19～5/20	第 10 次	益城町の木造建築物、基礎・地盤を中心とした調査	中川（貴）、柏、荒木、福波
5/23～5/25	第 11 次	熊本市、益城町の非構造部材を中心とした調査	脇山、石原（直）
5/26	第 1 回熊本地震建築物被害調査検討委員会を開催		
6/6～6/8	第 12 次	熊本市のＲＣ造建築物を中心とした調査	向井（智）、坂下 中村（聡）、諏訪田
6/8～6/10	第 13 次	熊本市、宇城市、山都町の体育館を中心とした調査	向井（昭）、長谷川（隆）、脇山、三木、石原（直）、岩田
6/30	第 2 回熊本地震建築物被害調査検討委員会を開催		
8/3～8/5	第 14 次	熊本市、大津町、菊陽町、合志市の自治体体育館を中心とした調査	脇山、石原（直）
9/12	第 3 回熊本地震建築物被害調査検討委員会を開催		

※国総研・建研では上記の他、合同でアスベスト調査等の補足的な調査や自主調査を実施している。

表 2-2：「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」メンバー

1．建築構造基準委員会メンバー

委員長	久保　哲夫	東京大学　名誉教授
委員長代理	平石　久廣	明治大学理工学部建築学科　教授
	丑場　英温	（一社）日本建設業連合会設計委員会　構造設計部会長
	遠藤　正幸	（一社）日本建築士事務所協会連合会　副会長
	大熊　久理子	日本建築行政会議　構造部会長
	奥田　泰雄	国立研究開発法人建築研究所　構造研究グループ長
	金岡　宏幸	日本建築行政会議　構造計算適合性判定部会長
	河合　直人	工学院大学建築学部　教授
	北村　春幸	東京理科大学理工学部建築学科　教授
	田中　仁史	京都大学　名誉教授
	棚野　博之	国立研究開発法人建築研究所　材料研究グループ長
	中井　正一	千葉大学　名誉教授
	中島　正愛	京都大学防災研究所　教授
	中埜　良昭	東京大学生産技術研究所　教授
	桝田　佳寛	宇都宮大学　名誉教授
	緑川　光正	北海道大学　名誉教授
	森高　英夫	（一社）日本建築構造技術者協会　会長
	安村　基	静岡大学学術院農学領域　教授

2．建築研究所熊本地震建築物被害調査検討委員会メンバー

委員長	塩原　等	東京大学大学院工学系研究科建築学専攻　教授
委員長代理	飯場　正紀	北海道大学大学院工学研究院　教授
	五十田　博	京都大学生存圏研究所　教授
	楠　浩一	東京大学地震研究所災害科学系研究部門　准教授
	清家　剛	東京大学大学院新領域創成科学研究科　准教授
	福山　洋	国土交通省国土技術政策総合研究所　住宅研究部長
	山田　哲	東京工業大学科学技術創生研究院未来産業技術研究所　教授

第 3 章　被害一般

今回の地震では、4 月 14 日以降、震度 6 弱を上回る大きな地震が 7 回発生し、熊本県を中心に被害が発生した。人的被害または住宅等被害が報告された地域は、 7 県（熊本県、大分県、福岡県、宮崎県、佐賀県、長崎県、山口県）にわたっている。

本章では、主として建築・住宅に係る被害の概況を官公庁の公表資料等からとりまとめた。なお、使用したデータ等は概ね 8 月末日までのものであり、被害の状況はその後も変化していることに注意が必要である。

3.1　地震の概況

4 月 14 日 21 時 26 分以降に発生した震度 6 弱以上を観測した地震は、表 3.1-1 に示すとおりである。

表 3.1-1　4 月 14 日 21 時 26 分以降に発生した震度 6 弱以上を観測した地震

発生時刻	震央地名	マグニチュード	最大震度
4 月 14 日　21 時 26 分（前震）	熊本県熊本地方	6.5	7
4 月 14 日　22 時 07 分	熊本県熊本地方	5.8	6 弱
4 月 15 日　00 時 03 分	熊本県熊本地方	6.4	6 強
4 月 16 日　01 時 25 分（本震）	熊本県熊本地方	7.3	7
4 月 16 日　01 時 45 分	熊本県熊本地方	5.9	6 弱
4 月 16 日　03 時 55 分	熊本県阿蘇地方	5.8	6 強
4 月 16 日　09 時 48 分	熊本県熊本地方	5.4	6 弱

注１： 7 月 12 日気象庁発表資料（「平成 28 年(2016 年)熊本地震」について（第 41 報））より作成

これらの地震のうち最大震度が 7 を観測した、4 月 14 日 21 時 26 分に発生した地震及び 4 月 16 日 1 時 25 分に発生した地震について、それぞれ表 3.1-2 及び図 3.1-1 並びに表 3.1-3 及び図 3.1-2 に示す（ただし、九州地方のみ）。

表 3.1-2　4 月 14 日 21 時 26 分に発生した地震（前震）において観測された震度（九州地方のみ）

震度	県名	市区町村名
7	熊本県	益城町
6 弱	熊本県	玉名市　西原村　宇城市　熊本市東区　熊本市西区　熊本市南区
5 強	熊本県	菊池市　宇土市　大津町　菊陽町　御船町　美里町　山都町　氷川町　合志市　熊本市中央区　熊本市北区
5 弱	熊本県	高森町　阿蘇市　南阿蘇村　八代市　長洲町　甲佐町　和水町　上天草市　天草市
5 弱	宮崎県	椎葉村
4	熊本県	産山村　荒尾市　山鹿市　玉東町　南関町　人吉市　あさぎり町　多良木町　山江村　水俣市　芦北町　津奈木町　苓北町
	宮崎県	延岡市　西都市　川南町　高千穂町　日之影町　小林市
	福岡県	大野城市　宗像市　新宮町　古賀市　粕屋町　みやこ町　大牟田市　久留米市　柳川市　八女市　筑後市　大川市　小郡市　大木町　広川町　筑前町　朝倉市　みやま市
	佐賀県	唐津市　佐賀市　上峰町　江北町　白石町　みやき町　小城市　嬉野市　吉野ヶ里町　神埼市
	長崎県	諫早市　島原市　雲仙市　南島原市
	大分県	臼杵市　津久見市　佐伯市　豊後大野市　日田市　竹田市　九重町

	鹿児島県	阿久根市　長島町　薩摩川内市　さつま町　湧水町　霧島市　伊佐市
3	熊本県	南小国町　小国町　錦町　湯前町　水上村　相良村　五木村　球磨村
	宮崎県	日向市　高鍋町　新富町　都農町　門川町　木城町　西米良村　諸塚村　五ヶ瀬町　美郷町　宮崎市　国富町　綾町　都城市　えびの市　三股町　高原町
	福岡県	福岡市東区　福岡市博多区　福岡市中央区　福岡市南区　福岡市西区　福岡市城南区　福岡市早良区　筑紫野市　春日市　太宰府市　那珂川町　宇美町　篠栗町　志免町　須恵町　久山町　福津市　糸島市　北九州市門司区　北九州市若松区　北九州市戸畑区　北九州市小倉北区　北九州市小倉南区　北九州市八幡東区　北九州市八幡西区　行橋市　豊前市　中間市　芦屋町　水巻町　遠賀町　苅田町　上毛町　築上町　直方市　飯塚市　田川市　小竹町　鞍手町　桂川町　添田町　糸田町　大任町　赤村　宮若市　福智町　嘉麻市　大刀洗町　うきは市　東峰村
	佐賀県	伊万里市　鳥栖市　多久市　武雄市　鹿島市　基山町　大町町　太良町
	長崎県	佐世保市　平戸市　松浦市　東彼杵町　川棚町　佐々町　長崎市　大村市　時津町　西海市
	大分県	中津市　宇佐市　姫島村　大分市　由布市　玖珠町
	鹿児島県	鹿児島市　出水市　いちき串木野市　南さつま市　姶良市　大崎町　曽於市　肝付町
2	宮崎県	日南市　串間市
	福岡県	岡垣町　吉富町　香春町
	佐賀県	玄海町　有田町
	長崎県	波佐見町　長与町　対馬市　壱岐市　小値賀町　五島市　新上五島町
	大分県	豊後高田市　国東市　別府市　杵築市　日出町
	鹿児島県	枕崎市　指宿市　日置市　南九州市　鹿屋市　垂水市　東串良町　南大隅町　志布志市
1	鹿児島県	錦江町　屋久島町

注１：本表は、気象庁の震度データベースにより検索された観測点ごとの結果をもとに、各市区町村での最大震度によって整理したものである。

表 3.1-3　4 月 16 日 1 時 25 分に発生した地震（本震）において観測された震度（九州地方のみ）

震度	県名	市区町村名
7	熊本県	西原村　益城町
6 強	熊本県	南阿蘇村　菊池市　宇土市　大津町　嘉島町　宇城市　合志市　熊本市中央区　熊本市東区　熊本市西区
6 弱	熊本県	阿蘇市　八代市　玉名市　菊陽町　御船町　美里町　山都町　氷川町　和水町　熊本市南区　熊本市北区　上天草市　天草市
	大分県	別府市　由布市
5 強	熊本県	南小国町　小国町　産山村　高森町　山鹿市　玉東町　長洲町　甲佐町　芦北町
	大分県	豊後大野市　日田市　竹田市　九重町
	福岡県	久留米市　柳川市　大川市　みやま市
	佐賀県	佐賀市　上峰町　神埼市
	長崎県	南島原市
	宮崎県	椎葉村　高千穂町　美郷町
5 弱	熊本県	荒尾市　南関町　人吉市　あさぎり町　山江村　水俣市　津奈木町
	大分県	大分市　臼杵市　津久見市　佐伯市　玖珠町
	福岡県	福岡市南区　遠賀町　八女市　筑後市　小郡市　大木町　広川町　筑前町
	佐賀県	白石町　みやき町　小城市
	長崎県	諫早市　島原市　雲仙市
	宮崎県	延岡市
	鹿児島県	長島町
4	熊本県	錦町　多良木町　湯前町　水上村　相良村　五木村　球磨村　苓北町
	大分県	中津市　豊後高田市　宇佐市　姫島村　国東市　杵築市　日出町
	福岡県	福岡市博多区　福岡市中央区　福岡市西区　福岡市城南区　福岡市早良区　筑紫野市　春日市　大野城市　宗像市　太宰府市　那珂川町　宇美町　篠栗町　志免町　須恵町　新宮

		町　古賀市　久山町　粕屋町　福津市　糸島市　北九州市門司区　北九州市若松区　北九州市小倉北区　北九州市小倉南区　北九州市八幡東区　北九州市八幡西区　行橋市　豊前市　中間市　芦屋町　水巻町　苅田町　上毛町　築上町　みやこ町　直方市　飯塚市　田川市　小竹町　鞍手町　桂川町　添田町　糸田町　川崎町　大任町　赤村　宮若市　福智町　嘉麻市　大牟田市　大刀洗町　うきは市　東峰村　朝倉市
	佐賀県	唐津市　鳥栖市　多久市　武雄市　鹿島市　基山町　江北町　太良町　嬉野市　吉野ヶ里町
	長崎県	佐世保市　平戸市　松浦市　東彼杵町　川棚町　長崎市　大村市　時津町
	宮崎県	日向市　西都市　高鍋町　新富町　川南町　都農町　門川町　木城町　諸塚村　日之影町　五ヶ瀬町　宮崎市　日南市　国富町　綾町　都城市　小林市　えびの市　高原町
	鹿児島県	鹿児島市　阿久根市　出水市　薩摩川内市　さつま町　湧水町　いちき串木野市　南さつま市　霧島市　伊佐市　姶良市
3	福岡県	福岡市東区　北九州市戸畑区　岡垣町　吉富町　香春町
	佐賀県	伊万里市　玄海町　有田町　大町町
	長崎県	波佐見町　佐々町　長与町　西海市　対馬市　壱岐市　小値賀町
	宮崎県	西米良村　串間市　三股町
	鹿児島県	枕崎市　指宿市　日置市　南九州市　鹿屋市　垂水市　大崎町　東串良町　曽於市　肝付町
2	長崎県	五島市　新上五島町
	鹿児島県	錦江町　南大隅町　志布志市　三島村　屋久島町
1	鹿児島県	南種子町

注１： 本表は、気象庁の震度データベースにより検索された観測点ごとの結果をもとに、各市区町村での最大震度によって整理したものである。

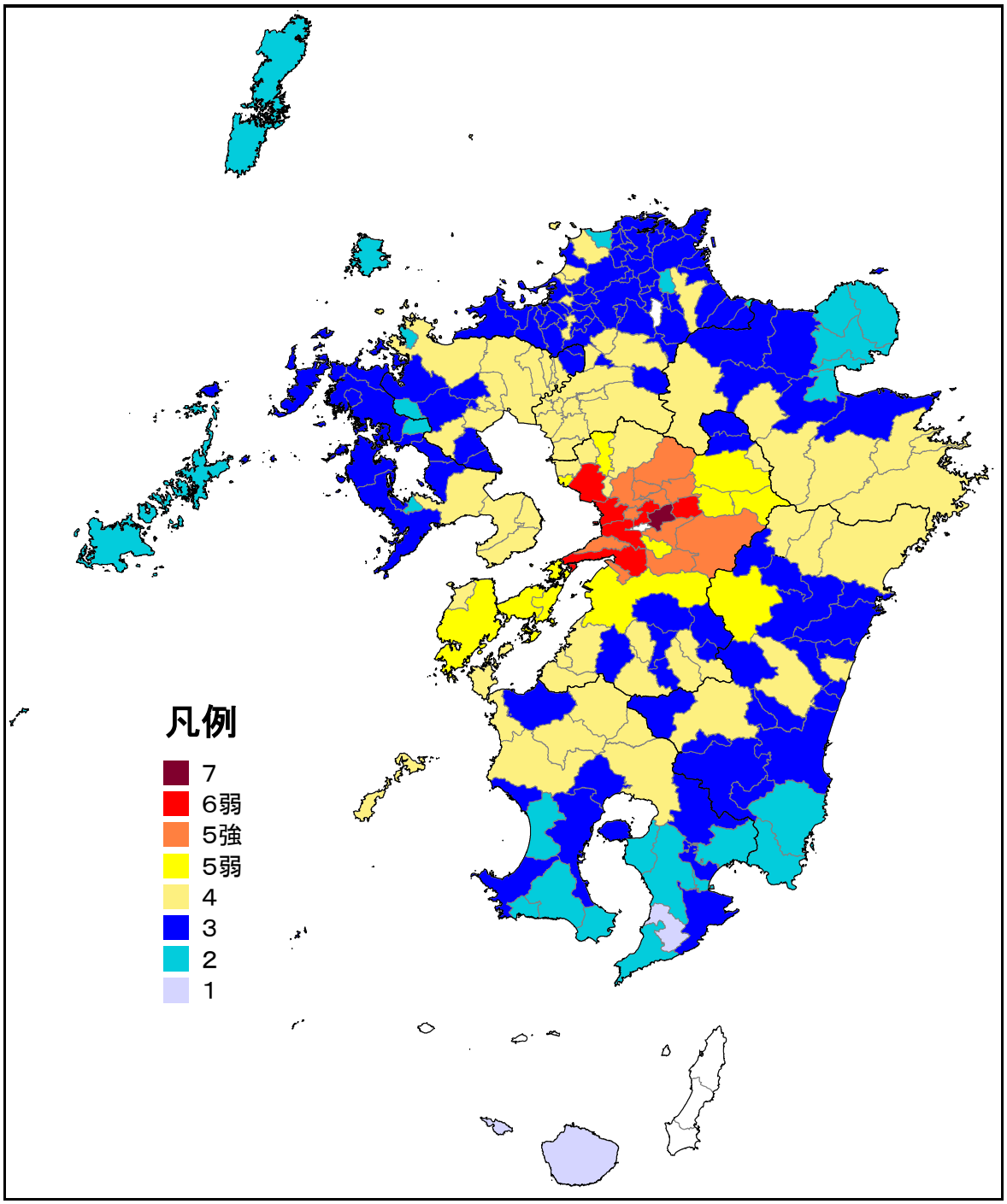


図 3.1-1　4 月 14 日 21 時 26 分に発生した地震（前震）の震度分布（九州地方のみ）

注１：　本図は、気象庁の震度データベースにより検索された観測点ごとの結果をもとに、各市区町村での最大震度によって整理したものである。

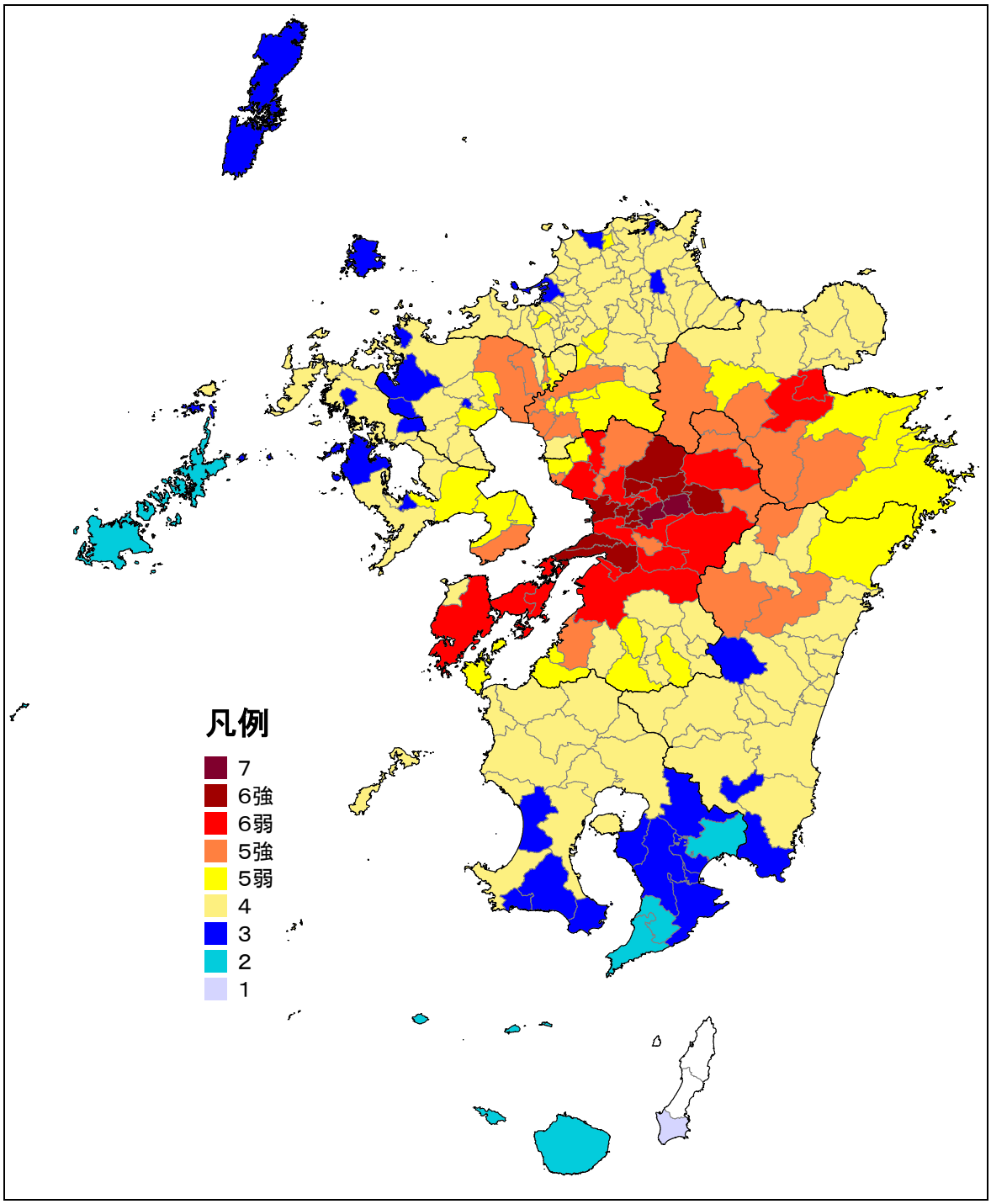


図 3.1-2　4 月 16 日 1 時 25 分に発生した地震（本震）の震度分布（九州地方のみ）

注１：　本図は、気象庁の震度データベースにより検索された観測点ごとの結果をもとに、各市区町村での最大震度によって整理したものである。

3.2　災害関連法の適用

3.2.1　災害救助法等

(1)　災害救助法

・適用対象市町村：熊本県内全 45 市町村（表 3.2-1）

・適用年月日：平成 28 年 4 月 14 日

(2)　被災者生活再建支援法

・適用対象市町村：熊本県内全域

・適用年月日：平成 28 年 4 月 14 日

表 3.2-1　災害救助法適用市町村

市部		熊本市、八代市、人吉市、荒尾市、水俣市、玉名市、山鹿市、菊池市、宇土市、上天草市、宇城市、阿蘇市、天草市、合志市
郡部	下益城郡	美里町
	玉名郡	玉東町、南関町、長洲町、和水町
	菊池郡	大津町、菊陽町
	阿蘇郡	南小国町、小国町、産山村、高森町、西原村、南阿蘇村
	上益城	郡御船町、嘉島町、益城町、甲佐町、山都町
	八代郡	氷川町
	葦北郡	芦北町、津奈木町
	球磨郡	錦町、多良木町、湯前町、水上村、相良村、五木村、山江村、球磨村、あさぎり町
	天草郡	苓北町

注１：４月 15 日内閣府（防災担当）発表資料（平成 28 年熊本県熊本地方の地震に係る災害救助法の適用について【第 1 報】）より作成

3.2.2　激甚災害の指定

平成 28 年 4 月 26 日付けで、平成 28 年 4 月 14 日以降に発生している熊本県等を震源とする地震について、「激甚災害に対処するための特別の財政援助等に関する法律」の適用となる災害として指定を行う政令が公布・施行された。措置の適用項目は、表 3.2-2 に示すとおりである。

表 3.2-2　激甚災害（本激）の指定と適用措置

・公共土木施設災害復旧事業等に関する特別の財政援助
・農地等の災害復旧事業等に係る補助の特別措置
・農林水産業共同利用施設災害復旧事業費の補助の特例
・中小企業信用保険法による災害関係保証の特例
・事業協同組合等の施設の災害復旧事業に対する補助
・公立社会教育施設災害復旧事業に対する補助
・私立学校施設災害復旧事業に対する補助
・市町村が施行する感染症予防事業に関する負担の特例
・母子及び父子並びに寡婦福祉法による国の貸付けの特例
・罹災者公営住宅建設等事業に対する補助の特例
・小災害債に係る元利償還金の基準財政需要額への算入等
・雇用保険法による求職者給付の支給に関する特例

注１：８月１日非常災害対策本部発表資料（平成 28 年(2016 年)熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について）より作成

3.2.3 特定非常災害の指定

平成 28 年 5 月 2 日付けで、「特定非常災害の被害者の権利利益の保全等を図るための特別措置に関する法律」に基づき、「平成 28 年熊本地震による災害についての特定非常災害及びこれに対し適用すべき措置の指定に関する政令」が公布・施行され、法第 3 条から第 6 条について適用された。これにより、行政上の権利利益の満了日の延長、期限内に履行されなかった行政上の義務の履行の免責、法人の破産手続き開始の決定の特例、相続の承認又は放棄すべき期間の特例、に対してそれぞれ措置が適用された。

3.3 人的被害

3.3.1 死傷者

一連の地震による死者、行方不明者、負傷者の状況は表 3.3-1 のとおりである。

3.3.2 避難状況

震災発生後約 4 カ月半を経過した 8 月 31 日時点での避難所及び避難者の状況を表 3.3-1 に示す。

熊本県内については、本震発生翌日の 4 月 17 日午前 9 時時点（855 箇所、183,882 名）をピークに大幅に減少してはいるが、なおも 21 箇所の避難所で 705 名が避難している。

表 3.3-1 各県の人的被害及び避難の状況　　（平成 28 年 8 月 31 日現在）

県名	人的被害		避難状況	
	死者	負傷者	避難所数	避難者数
	名	名	箇所	名
福岡県		18		
佐賀県		13		
熊本県	98	2,355	21	705
大分県		28		
宮崎県		8		
計	98	2,422		

注 1：消防庁災害対策本部公表資料「熊本県熊本地方を震源とする地震（第 75 報）」（9 月 2 日付）及び熊本県災害対策本部公表資料「平成 28（2016）年熊本地震等に係る被害状況について（第 170 報）」（8 月 31 日付）より作成。

注 2: 熊本県の死者数の内訳は、熊本県から消防庁への報告（8 月 31 日 16:30 現在）によれば、

- 警察が検視により確認している死者数 50 名。
- 震災後の災害による負傷の悪化又は身体的負担による疾病による死者数（※市町村において災害が原因で死亡したものと認められた死者）28 名。
- 6 月 19 日から 6 月 25 日に発生した被害のうち熊本地震との関連が認められた死者数 5 名。
- 震災後に災害による負傷の悪化又は身体的負担による疾病により死亡したと思われる死者数（※正式には市町村に設置される審査会を経て決定）15 名。

注 3：熊本県の負傷者には、分類未確定の負傷者 138 名及び、6 月 19 日から 6 月 25 日に発生した被害のうち熊本地震との関連が認められた負傷者 2 名を含む。

3.4 建築・住宅等に係る被害

3.4.1 住宅等の全半壊・火災被害等

住宅及び住宅以外の建物に関する被害は表 3.4-1、表 3.4-2 のとおりである。

3.4.2 火災発生件数

住宅及び住宅以外の建物に関する火災発生件数は表 3.4-1、表 3.4-2 右欄のとおりである。

表 3.4-1 各県の住宅等の被害棟数(全半壊・火災による被害等) (平成 28 年 8 月 31 日現在)

県名	住家被害			非住家被害		火災発生件数
	全壊	半壊	一部破損	公共建物	その他	
	棟	棟	棟	棟	棟	件
山口県			3			
福岡県		1	230		1	
佐賀県			1		2	
長崎県			1			
熊本県	8,160	29,102	129,632	311	2,547	16
大分県	9	189	6,720		55	
宮崎県		2	20			
合計	8,169	29,294	136,607	311	2,605	16

注 1: 消防庁災害対策本部公表資料「熊本県熊本地方を震源とする地震 (第 75 報)」(9 月 2 日付) 及び熊本県災害対策本部公表資料「平成 28 (2016) 年熊本地震等に係る被害状況について (第 170 報)」(8 月 31 日付) より作成。

注 2 : 熊本県の住家被害には、6 月 19 日から 6 月 25 日に発生した被害のうち熊本地震との関連性が認められたもの (全壊 9 棟、半壊 30 棟、一部破損 8 棟) を含む。また、上記住家被害の他に、分類未確定分の住家被害 23 棟がある。

注 3 : 火災発生の詳細は第 6 章を参照。

表 3.4-2 熊本県内の住宅等の被害棟数(全半壊・火災による被害等) (平成 28 年 8 月 31 日現在)

市町村名	住家被害			非住家被害		火災発生件数
	全壊	半壊	一部破損	公共建物	その他	
	棟	棟	棟	棟	棟	件
熊本市	2,438	14,409	84,739	60	83	8
宇土市	114	1,150	5,240	7		
宇城市	517	1,853	4,868			
美里町	16	206	525	2		1
荒尾市			44		8	
玉名市	9	70	986		4	
玉東町	13	117	239	10	7	

和水町		32	67	9	1	
南関町	1	1	74		6	
長洲町			50		6	
山鹿市		15	359		125	
菊池市	65	479	2,479		754	1
合志市	18	475	5,490		340	
大津町	125	1,022	2,666	1		1
菊陽町	14	513	4,254	1	160	
阿蘇市	118	692	1,331	67		
南小国町	1	29	133		49	1
小国町		1	111			
産山村	12	40	170		2	
高森町		1	70		67	
南阿蘇村	624	684	1,225			
西原村	505	776	1,563			
御船町	379	1,603	2,136			1
嘉島町	272	332	1,848			
益城町	2,714	2,897	4,567	調整中	調整中	1
甲佐町	131	962	1,330			
山都町	16	194	354			
八代市	15	328	1,825	154	579	2
氷川町	34	185	664			
水俣市		1	5			
芦北町		4	22			
人吉市			37			
あさぎり町			4		1	
多良木町			1		2	
山江村			2		1	
天草市			59			
上天草市		1	87			
合計	8,151	29,072	129,624	311	2,195	16

注 1: 熊本県災害対策本部公表資料「平成 28（2016）年熊本地震等に係る被害状況について（第 170 報）」（8 月 31 日付）より作成。

注 2： 6 月 19 日から 6 月 25 日に発生した被害のうち熊本地震との関連性が認められたもの（全壊 9 棟、半壊 30 棟、一部破損 8 棟）を含まない。

注 3: 被害報告のない市町村：津奈木町、錦町、湯前町、水上村、相良村、五木村、球磨村、苓北町

注 4: 住家被害に伴う罹災証明とは単位（棟数⇔交付件数）及び、区分（半壊⇔大規模半壊・半壊）が異なる。

3.5　危険度判定の状況

3.5.1　被災建築物応急危険度判定

熊本県内の 18 市町村において、延べ 6,819 名の応急危険度判定士により 57,570 件の判定が実施され、15,708 件が「危険（赤)」、19,029 件が「要注意（黄)」と判定された。6 月 4 日の判定終了時点の判定結果は表 3.5-1 のとおりである。なお、熊本県以外の県では被災建築物応急危険度判定は実施されていない。

4 月 17 日～5 月 5 日の期間に 、熊本県以外の全都道府県（46 都道府県）の行政職員・民間判定士、UR 都市機構、地方整備局（北海道開発局・沖縄総合事務局を含む）による広域支援を実施（延べ 5,604 名を派遣）した。

表 3.5-1　被災建築物応急危険度判定の実施状況及び判定結果(市町村別)

		判定件数(件)	判定結果（件）			「危険」の割合(%)	「要注意」の割合(%)	延べ人員(人・日)
			危険(赤)	要注意(黄)	調査済(緑)			
熊本県合計		57,570	15,708	19,029	22,833	27.3	33.1	6,819
	熊本市	30,487	5,847	10,514	14,126	19.2	34.5	3,195
	益城町	9,769	3,806	2,957	3,006	39.0	30.3	1,604
	西原村	2,703	1,368	725	610	50.6	26.8	287
	御船町	1,426	635	480	311	44.5	33.7	163
	菊陽町	152	47	67	38	30.9	44.1	34
	宇土市	1,265	228	531	506	18.0	42.0	164
	南阿蘇村	2,128	1,014	564	550	47.7	26.5	277
	南小国町	219	16	50	153	7.3	22.8	40
	山都町	65	20	33	12	30.8	50.8	8
	阿蘇市	1,725	343	519	863	19.9	30.1	212
	菊池市	593	200	197	196	33.7	33.2	66
	甲佐町	1,543	533	545	465	34.5	35.3	140
	宇城市	2,099	487	606	1,006	23.2	28.9	261
	美里町	294	43	201	50	14.6	68.4	37
	大津町	891	389	321	181	43.7	36.0	101
	高森町	26	1	3	22	3.8	11.5	18
	嘉島町	2,115	702	682	731	33.2	32.2	199
	氷川町	70	29	34	7	41.4	48.6	13

注 1: 熊本県 HP「熊本地震による被災建築物の応急危険度判定について」(7 月 21 日付)、及び、国土交通省災害情報「熊本県熊本地方を震源とする地震について（第 44 報)」(6 月 7 日付）より作成。

注 2:「危険」の割合(%)及び「要注意」の割合(%)は、地方公共団体が判定を実施した件数に対するものであり、各地域に存する建物全数に対するものではない。

3.5.2 被災宅地危険度判定

被災宅地危険度判定については、熊本県被災宅地判定支援本部が設置され、熊本県内の 12 市町村において、延べ 2,942 名の宅地危険度判定士により調査が行われ、5,707 箇所の調査箇所中、2,729 件が「危険（赤)」、2,001 件が「要注意（黄)」と判定された。また、当該市町村の中で被害が比較的軽微な区域では、状況により本調査と分けて簡易調査が行われ、2,349 件が「要注意」と判定された。

7 月 23 日までの判定結果は表 3.5-2 のとおりである。 なお、熊本県以外の県では被災宅地危険度判定は実施されていない。

4 月 17 日～5 月 29 日の期間に 国、UR 都市機構、公益社団法人宅地擁壁技術協会及び応援府県市より延べ 3,116 名（うち、現地調査員として延べ 2,836 名）が派遣され、広域支援を実施した。

表 3.5-2 被災宅地危険度判定の実施状況及び判定結果（市町村別）

	判定結果				簡易調査		その他	総件数
	危険	要注意	調査済	計	要注意	調査済	（判定	
	（赤）	（黄）	（青）		（黄）	（青）	不能等）	
熊本県合計	2,729	2,001	977	5,707	2,349	11,665	234	19,955
熊本市	469	705	314	1,488	364	3,537	22	5,411
益城町	1,233	878	352	2,463	1,533	6,238	174	10,408
西原村	460	143	29	632	158	546	13	1,349
南阿蘇村	327	91	22	440	141	261	20	862
大津町	115	43	15	173	138	867	1	1,179
菊陽町	4	7	1	12				12
御船町	9	30	31	70	9	59		138
合志市	17	49	162	228	1	142	3	374
甲佐町	34	16	22	72	5	15		92
美里町	46	23	26	95			1	96
宇城市	11	15	3	29				29
山都町	4	1		5				5

注 1:熊本県「被災宅地危険度判定調査実績報告」（7 月 23 日現在)、及び、国土交通省災害情報「熊本県熊本地方を震源とする地震について（第 44 報)」（6 月 7 日付）により作成。

3.6 ライフラインの被害

電力、ガス、上下水道など、ライフラインの被害状況を表 3.6-1～表 3.6-6 に示す。

表 3.6-1 電力関係の被害状況（停電）

日時	停電戸数（千戸）
平成 28 年 4 月 14 日　22 時	最大 16.7
平成 28 年 4 月 15 日　23 時	0（高圧配電線への送電完了）
平成 28 年 4 月 16 日　2 時	最大 476.6
平成 28 年 4 月 20 日　19 時 10 分	0（がけ崩れや道路の損壊等により復旧が困難な箇所を除いて高圧配電線への送電完了）
平成 28 年 4 月 28 日　21 時 36 分	0（大規模な土砂崩れにより送電が困難となっていた阿蘇市、高森町、南阿蘇村において、送電線の仮復旧工事が完了し、系統からの電力供給に切り替えを完了）

注１： 4 月 21 日九州電力株式会社発表資料（平成 28 年熊本地震対応について）、及び、8 月 1 日非常災害対策本部発表資料（平成 28 年(2016 年)熊本県熊本地方を震源とする地震に係る被害状況等について）より作成

表 3.6-2 ガス関係の被害状況（供給停止等）

日時	復旧対象戸数（戸）	累計復旧済戸数（戸）	復旧率
平成 28 年 4 月 16 日　9 時	105,000	0	0.0%
平成 28 年 4 月 20 日　21 時	100,884	7,687	7.6%
平成 28 年 4 月 22 日　15 時	100,884	10,024	9.9%
平成 28 年 4 月 23 日　15 時	100,884	15,480	15.3%
平成 28 年 4 月 24 日　15 時	100,884	28,097	27.9%
平成 28 年 4 月 25 日　15 時	100,884	41,620	41.3%
平成 28 年 4 月 27 日　15 時	100,884	57,725	57.2%
平成 28 年 4 月 27 日　12 時	100,884	68,509	67.9%
平成 28 年 4 月 28 日　18 時	100,884	91,589	90.8%
平成 28 年 4 月 29 日　18 時	100,884	99,556	98.7%
平成 28 年 4 月 30 日　13 時 40 分	100,884	100,884	100.0%

注１： 一般社団法人 日本ガス協会発表資料より作成

注２： 供給停止地区は、熊本市のほぼ全域、菊陽町・合志市・益城町・大津町・嘉島町・御船町の全域

注３： 復旧対象戸数は、当初発表の 105,000 戸から空き家等を除いたため、4 月 20 日以降は 100,884 戸に減少している。

表 3.6-3 通信関係の被害状況（不通）

回線種別	事業者	被災回線数 停波携帯電話基地局数	4 月 16 日 15 時時点の通信途絶地域
固定系	NTT 西日本	最大約 2,100 回線	熊本県阿蘇郡周辺（阿蘇市、南阿蘇村等） 熊本県熊本市周辺（熊本市、益城町等）
移動系	NTT ドコモ	最大合計約 400 局 （熊本県内の基地局の約 10%）	熊本県阿蘇郡周辺（御船町、阿蘇市、高森町、南阿蘇村等）
	KDDI		大分県玖珠郡周辺（由布市、九重町） 熊本県阿蘇郡周辺（阿蘇市、高森町、南阿蘇村等）
	ソフトバンク		大分県玖珠郡周辺（九重町） 熊本県阿蘇郡周辺（阿蘇市、高森町、南阿蘇村等）

注１： 7 月 29 日総務省公表資料（電気通信事業者の平成 28 年熊本地震への対応状況）より作成

表 3.6-4 水道関係の被害状況（断水）

県名	市町村名	最大断水戸数	現在の断水戸数	断水期間
熊本県	宇城市	11,215	0	4/14～4/26
	益城町	約 11,000	0	4/14～5/12
	御船町	6,590	0	4/14～5/23
	熊本市	326,873	0	4/21～4/30
	西原村	2,652	0	4/16～5/25
	大津町、菊陽町 【大津菊陽水道企業団】	約 31,000	0	不明
	玉名市	122	0	4/15～4/21
	菊池市	3,000	0	4/17～4/22
	山都町	2,760	0	4/14～4/25
	甲佐町	697	0	4/15～4/26
	美里町	600	0	4/15～4/16
	宇土市	約 9,200	0	4/16～4/18
	小国町	177	0	4/16～4/20
	南阿蘇村	3,503	2	4/16～
	産山村	200	0	4/16～4/20
	玉東町	0	0	断水なし
	合志市	約 3,000	0	4/16
	人吉市	約 7,000	0	4/16～4/18
	阿蘇市	約 10,000	0	4/16～5/8
	南小国町	2	0	4/16～4/17
	高森町	2,866	0	4/17～4/21
	小計	432,457	2	
大分県	日田市	267	0	4/14～4/18
	中津市	23	0	4/16～4/16 21:00
	由布市	3,442	0	4/16～4/23
	別府市	5,740	0	4/16
	九重町	791	0	4/16～4/26
	竹田市	0	0	断水なし
	豊後大野市	0	0	断水なし
	宇佐市	0	0	断水なし
	小計	10,263	0	
宮崎県	五ヶ瀬町	0	0	断水なし
	延岡市	30	0	4/16
	高千穂町	2,700	0	4/16～5/4
	美郷町	28	0	4/16
	小計	2,758	0	
福岡県	久留米市	70	0	4/16
	小計	70	0	4/16
長崎県	南島原市	35	0	4/16
	雲仙市	15	0	4/16
	小計	50	0	
佐賀県	神埼市	10	0	4/16
	小計	10	0	
鹿児島県	出水市	249	0	4/16
	小計	249	0	
合計		445,857	2	

注１： 厚生労働省公表資料（水道の被害状況（7/14 9:00 現在））より作成

注２： 資料中に断水期間が記載されていない欄については、最大断水戸数が 0 を上回るものは「不明」、0 のものは「断水なし」と加筆

表 3.6-5　下水道関係の対応状況（処理施設）

県名	市町村・流域等名	下水処理場名	対応状況
熊本県	水俣市	水俣市浄化センター	応急対応により、必要な処理機能を確保
	菊池市	菊池浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
	阿蘇市	阿蘇市浄化センター	
	大津町	大津町浄化センター	
	御船町	御船町浄化センター	
	嘉島町	嘉島浄化センター	
	益城町	益城町浄化センター	応急対応により、必要な処理機能を確保
	熊本市	東部浄化センター	被害軽微につき発災前と同様の処理機能を確保
		西部浄化センター	
		南部浄化センター	
		中部浄化センター	
		城南町浄化センター	
大分県	別府市	別府市中央浄化センター	

注 1： 8 月 1 日国土交通省公表資料（熊本県熊本地方を震源とする地震について（第 47 報））より作成。

注 2： 4 月 27 日国土交通省公表資料（平成 28 年熊本地震における下水管の概略点検が完了しました）によれば、概略点検が 4 月 27 日に完了し、熊本県内の下水道については応急対応等により、補理機能、流下機能は概ね確保されたことが確認されている。

注 3： 注 1 及び注 2 に示した資料には被害の程度が示されていないため、被害の程度については示していない。

表 3.6-6　下水道関係の被害状況（管渠）

種別	県名	市町村・流域等名	総延長（km）	被災延長(km)
合流管・汚水管	熊本県	八代北部流域下水道	14.9	1.1
		熊本市	2491.0	52.3
		宇土市	144.5	3.0
		宇城市	186.9	2.0
		阿蘇市	68.4	2.4
		御船町	72.4	1.3
		嘉島町	51.4	5.5
		益城町	166.4	15.8
雨水渠	熊本県	熊本市	52.8	0.3
		益城町	3.1	0.1

注 1： 8 月 1 日国土交通省公表資料（熊本県熊本地方を震源とする地震について（第 47 報））より作成。

注 2： 4 月 27 日国土交通省公表資料（平成 28 年熊本地震における下水管の概略点検が完了しました）によれば、概略点検が 4 月 27 日に完了し、熊本県内の下水道については応急対応等により、補理機能、流下機能は概ね確保されたことが確認されている。

3.7 応急仮設住宅等の確保状況

居住する住家を失った被災者に対して応急的な住まいを提供するため、応急仮設住宅の建設、民間賃貸住宅の借上げ（みなし仮設住宅）、及び公営住宅等の提供が進められている。

応急的住まいの提供は、被災の程度が全壊または大規模半壊で居住する住宅がない者が対象であるが、二次災害等の危険があるなどで長期にわたり自らの住居に居住出来ない者、及び半壊でも家屋の解体・撤去に伴い居住出来ない者も入居が可能との旨が、5 月 24 日に内閣府より通知されている。

3.7.1 応急仮設住宅の建設

8 月 31 日時点における熊本県内各市町村での応急仮設住宅の整備状況は表 3.7-1 の通りである。16 市町村で 106 団地計 4,224 戸の建設に着手しており、このうち熊本市分は県の委任を受ける形で同市が整備し、その他の市町村分は県による整備が行われている。8 月 31 日時点では 84 団地計 3,548 戸（着手戸数の 84.0%）で工事が完了しており、最も早く着手・整備された団地（甲佐町白旗）では、4 月 29 日に建設着手、6 月 3 日に工事完了、6 月 5 日に入居開始となっている。建設着手戸数及び工事完了戸数の推移は図 3.7-1 に示す通りであり、震災約１ヶ月後の 5 月 13 日時点での着手は計 1,096 戸、約２ヶ月後の 6 月 14 日時点は着手 2,951 戸・完了 232 戸である。

建築物の構造としては、プレハブ建築協会による軽量鉄骨造のほか、３つの事業者（熊本県優良住宅協会、日本建築士会連合会他、全国木造建設事業協会：着手順）により木造も建設されており、軽量鉄骨造は 76 団地計 3,589 戸（建設着手戸数の 85.0%）、木造は 29 団地計 635 戸（同 15.0%）である。木造は余震が続いていることから耐震性を高めるようコンクリート基礎で建設されている。

建設用地としては、着手当初ではグラウンドや公園、公共施設の敷地内や駐車場などの公有地が主に用いられているが、６月以降の着手分になると民有地の割合が増加している。公表資料に従前用途関連の記載がある県整備分計 96 団地については、公有地が 55 団地、民有地が 41 団地とみられる。

団地の計画に関しては、ゆとりある住棟配置とするため戸当たりの敷地面積を従来の約 1.5 倍としたほか、集会所や談話室として木造の「みんなの家」を計 72 棟（8 月 1 日時点）整備するとしている。

なお９月以降も、新規の団地に関する建設の着手や、着手済団地での追加の住宅整備が行われており、最終的な整備数は増えるとみられる。

表 3.7-1　応急仮設住宅の整備状況

市町村	建設着手		工事完了	
	団地数	戸数	団地数	戸数
熊本市	9	541	8	496
宇土市	6	143	3	84
宇城市	6	176	4	143
美里町	3	41	2	18
大津町	*6	91	*4	70
菊陽町	1	20	1	20
阿蘇市	4	101	4	101
産山村	2	9	2	9
南阿蘇村	*8	401	*7	333
西原村	4	302	4	302
御船町	19	362	14	244
嘉島町	11	208	10	192
益城町	17	1556	12	1285
甲佐町	6	228	5	206
山都町	1	6	1	6
氷川町	3	39	3	39
合計	106	4224	84	3548

(注)熊本県「応急仮設住宅の工事完了について」（平成 28 年 8 月 31 日付）より作成。*印のうち１団地（大津町内）は大津町と南阿蘇村の両方の被災者向けで重複して計上、その他に南阿蘇村の３団地は大津町内で整備

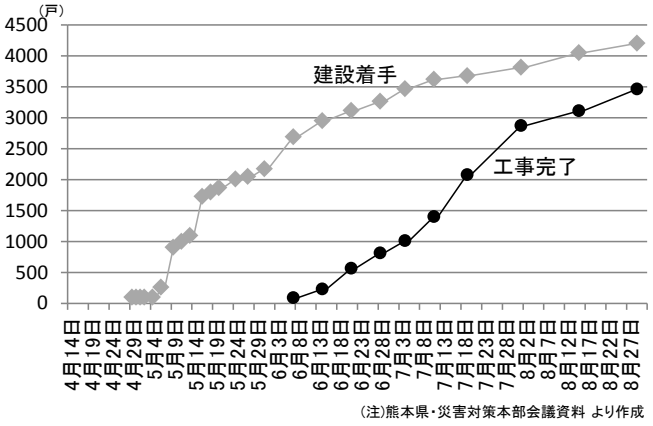


図 3.7-1　応急仮設住宅の建設着手・完了数の推移



写真 3.7-1　軽量鉄骨造仮設(甲佐町白旗)・木造仮設(氷川町鹿島)・みんなの家(宇城市当尾)の例

3.7.2　民間賃貸住宅の借上げ

民間賃貸住宅を借り上げて応急仮設住宅として無償で提供する、いわゆる「みなし仮設住宅」については、4 月 26 日に市町村向けの説明会が行われ、4 月 28 日から申込書等が配布されている。借上げ事業の手順は図 3.7-2 の通りであり、災害協定に基づく不動産業界団体の無料相談窓口（4 月 25 日開設）を通じるなどして、被災者が自ら物件を選定して市町村に申し込み、県からの通知後に県（借主）・貸主及び被災者（入居者）の三者による契約を締結する形である。借上げ住宅の条件としては、家賃が原則６万円/月（５名以上の世帯の場合は９万円）以下とされている。県から協力要請を受けた不動産業界団体が、被災者の申込みを受けて提供した民間賃貸住宅の空室は、最初に公表された 4 月 27 日時点の集計では約 1,250 戸、震災約１ヶ月後の 5 月 16 日時点では 2,526 戸、7 月 28 日時点では 5,419 戸である（図 3.7-3)。

しかし被災者の需要は大きく、被害を受けていない空室の確保だけでは不足することから、震災により損害を受けた民間賃貸住宅を補修のうえ供与する場合も国庫負担の対象とする旨の通知が 5 月 9 日付で内閣府及び国土交通省よりなされた。これを受けて県では 5 月 17・18 日に管理者・所有者向けの説明会を開催し、補修の上で提供できる見込みのある物件情報の提供受付を開始した。補修する場合の手順は図 3.7-2 の網掛け部分で示されており、情報提供のあった候補物件について、保険法人の監査員等が構造安全性等のチェックをした上で、県及び市が借上げ対象になる見込みの高い物件をリストアップし、被災者の申込を受けて補修工事が実施される。支援対象となるのは災害救助法の応急修理に相当する箇所及び限度額とされている。情報提供を受けて登録された物件は、5 月 31 日時点で 3,833 戸（うち構造安全性を確認したもの 1,975 戸)、6 月 25 日時点で 3,940 戸（同 3,140 戸）である。

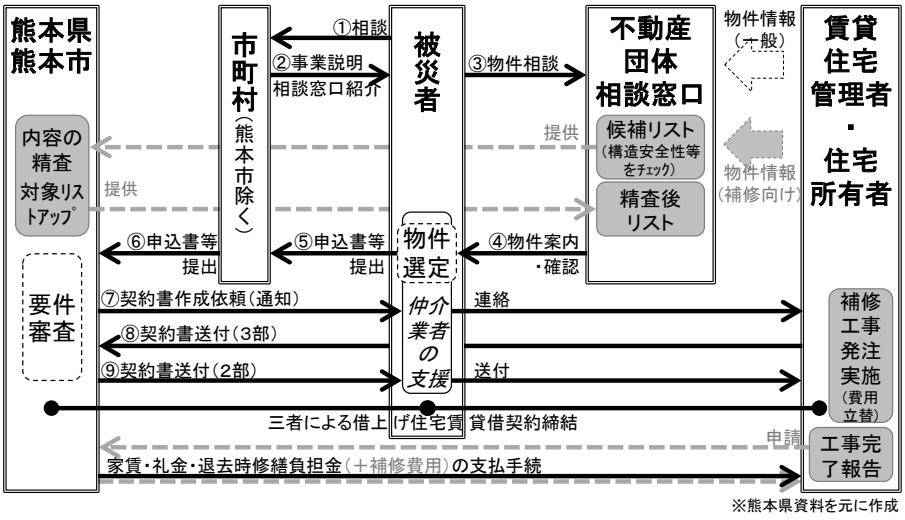


図 3.7-2　民間賃貸住宅借上げ事業の手順

みなし仮設の申込件数は（図 3.7-3）、県全体では 7 月 4 日時点（最初の公表）では 4,068 件、8 月 1 日時点で 6,929 件、8 月 29 日時点で 8,637 件である。うち熊本市分は、5 月 29 日時点で 327 件、6 月 27 日時点で 1,867 件、7 月 28 日時点で 3,829 件、8 月 22 日時点で 4,864 件で、県全体の半数強を占め、６月以降に増加している。

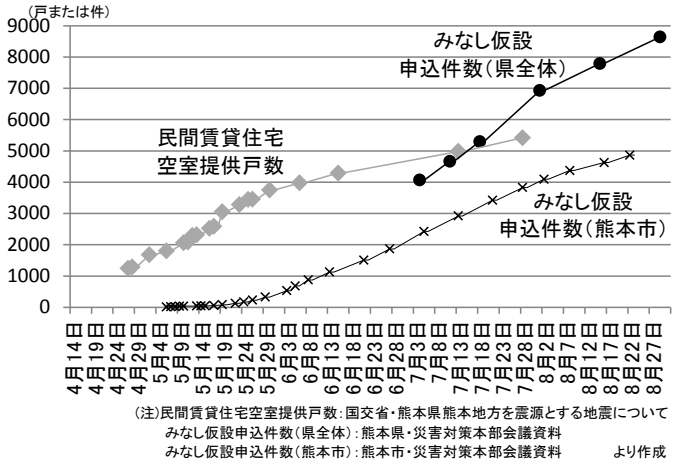


図 3.7-3　民間賃貸住宅の空室提供戸数及びみなし仮設の申込件数（累積）の推移

3.7.3　公営住宅等の提供

公営住宅等の空室の確保及び募集の対応は早く、県営住宅 70 戸程度について 4 月 21 日から、熊本市営住宅では 250 戸程度に対し 4 月 23 日から、それぞれ申込受付を開始し抽選の上 5 月 6 日から入居が始まっている。その他の県内の市町村営住宅、及び熊本県以外の九州各県内の公営住宅についても、４月中に申込受付が開始されている。なお熊本市では上記募集とは別に要援護者への優先提供が行われており、避難所等を訪問して要介護者などの状況を把握し対象者 512 世帯を確認した上で、市営住宅や特定優良賃貸住宅・サービス付き高齢者向け住宅などへのマッチング等を行っている。

この他、雇用促進住宅やＵＲ住宅、国家公務員住宅等の提供も行われており、これら公営住宅等の熊本県内、九州各県、及び九州以外の全国での確保及び提供の状況は、９月上旬時点では表 3.7-2 の通りであり、数量の推移は図 3.7-4 の通りである。

表 3.7-2　公営住宅等の確保及び入居決定の状況（9 月上旬時点）

	熊本県内		九州各県（熊本除く）		九州以外の都道府県		全国計	
	確保	入居決定済	確保	入居決定済	確保	入居決定済	確保	入居決定済
戸数	1554	1092	4114	570	6212	162	11880	1824

（注）国土交通省「熊本県熊本地方を震源とする地震について（第 48 報）」平成 28 年 9 月 14 日 を元に作成

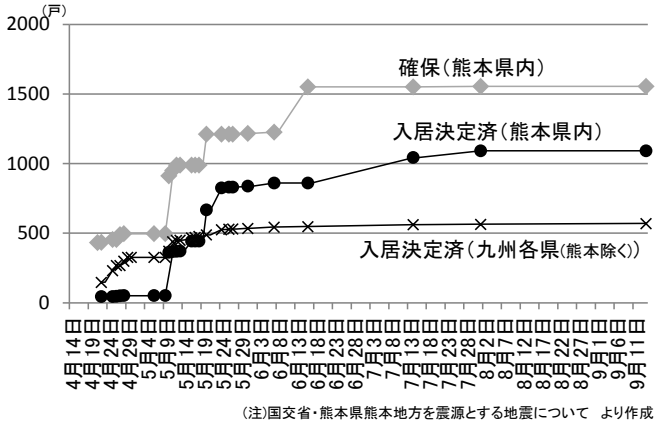


図 3.7-4　公営住宅等の確保及び入居決定済数の推移

3.8　エレベーターの閉じ込め

4 月 14 日に発生した地震等によるエレベーターの閉じ込め発生状況については、表 3.8-1 のとおりである。

表 3.8-1　エレベーターの閉じ込め発生状況

地震	発生県	閉じ込め発生台数
4 月 14 日 21:26 頃に発生した地震	熊本県	27 台
4 月 16 日 1:25 頃に発生した地震	熊本県	19 台
	大分県	1 台
	福岡県	5 台
4 月 19 日 17:52 頃に発生した地震	熊本県	2 台

注 1：国土交通省公表資料「熊本地震・住宅局の対応状況」（4 月 20 日付（第 13 報））より作成。

注 2：上記は大手５社(※)が保守を行っているエレベーターについて（一社）日本エレベーター協会から報告を受けた台数の集計。

※　大手 5 社：三菱電機ビルテクノサービス㈱、㈱日立ビルシステム、東芝エレベータ㈱、日本オーチス・エレベータ㈱、フジテック㈱

注 3：　閉じ込めのあったエレベーターについては、発生後概ね２～３時間（又は数時間）以内に解消。

第 4 章　地震および地震動

4.1 地震の概要と特徴

平成 28 年（2016 年）熊本地震の特徴としては、内陸の活断層の活動に因ること、地表に地震断層が出現したこと、誘発された地震を含めた余震の活動域が九州をほぼ横断する長さを持つこと、極めて強い揺れ（震度 7）が観測されたこと、また震源の近くでは強い揺れに何度も襲われた地区があること、が挙げられる。

4.1.1 地震諸元

平成 28 年（2016 年）熊本地震とは、4 月 14 日 21 時 26 分以降に発生した熊本県を中心とする一連の地震活動を指す[4.1-1)]。7 月 12 日 10 時現在、震度 1 以上を観測する地震が 1,879 回発生した。震度 5 弱以上の地震は 19 回（震度 7：2 回、震度 6 強：2 回、震度 6 弱：3 回、震度 5 強：4 回、震度 5 弱：8 回）である。震度 6 弱以上を観測した地震の諸元を表 4.1-1 に示す。最大規模は 4 月 16 日 1 時 25 分に発生した地震のマグニチュード（M）7.3 である。

表 4.1-1 震度 6 弱以上を観測した地震の諸元[4.1-1)、4.1-2)]

（7 月 12 日 10 時現在、M は気象庁マグニチュード）

発生時刻	震央	深さ	M	最大震度
4 月 14 日 21 時 26 分	熊本県熊本地方（32° 44.5’N 130° 48.5’E）	11km	6.5	7
4 月 14 日 22 時 07 分	熊本県熊本地方（32° 46.5’N 130° 50.9’E）	8km	5.8	6 弱
4 月 15 日 00 時 03 分	熊本県熊本地方（32° 42.0’N 130° 46.6’E）	7km	6.4	6 強
4 月 16 日 01 時 25 分	熊本県熊本地方（32° 45.2’N 130° 45.7’E）	12km	7.3	7
4 月 16 日 01 時 45 分	熊本県熊本地方（32° 51.7’N 130° 53.9’E）	11km	5.9	6 弱
4 月 16 日 03 時 55 分	熊本県阿蘇地方（33° 01.5’N 131° 11.4’E）	11km	5.8	6 強
4 月 16 日 09 時 48 分	熊本県熊本地方（32° 50.8’N 130° 50.1’E）	16km	5.4	6 弱

4.1.2 震度分布

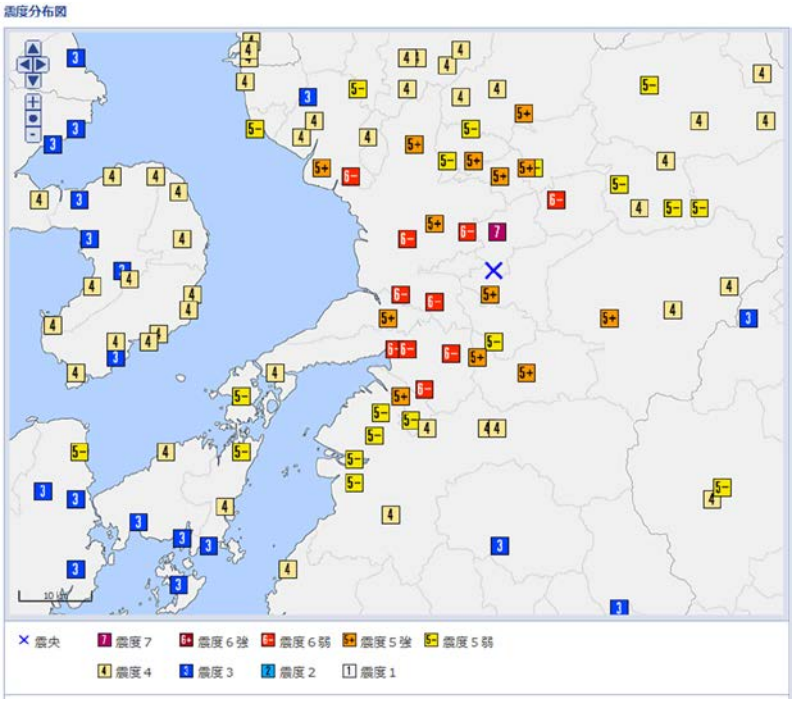
4 月 14 日 21 時 26 分に発生した前震（以下、前震）および 4 月 16 日 01 時 25 分に発生した本震（以下、本震）により最大震度 7 が観測された。加えて最大震度 6 強の地震が 2 回（4 月 15 日 00 時 03 分および 4 月 16 日 09 時 48 分）、6 弱の地震が 3 回観測された（4 月 14 日 22 時 07 分、4 月 16 日 01 時 45 分、および 4 月 16 日 09 時 48 分）[4.1-3)]。前震と本震の震源断層が比較的近かった為、益城町および周辺地区では、何度も強い揺れに襲われた。益城町宮園にある熊本県の震度情報ネットワークの震度計（以後、自治体震度計）では、前震および本震で震度 7 が観測された。

図 4.1-1 に前震と本震の震度分布図を示す[4.1-4)]。前震に際しては、益城町宮園でのみ震度 7 が記録されており、震度 6 強は無く、震度 6 弱が熊本市、玉名市、宇城市、西原村で観測された。本震に際しては、震度 7 が益城町宮園、西原村で観測された。なお、KiK-net 益城の強震記録（地表）も計測震度 6.5（震度 7 相当）を記録した。震度 6 強が南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市、震度 6 弱は南阿蘇村、阿蘇市、八代市、玉名市、菊池市、大津町、菊陽町、御

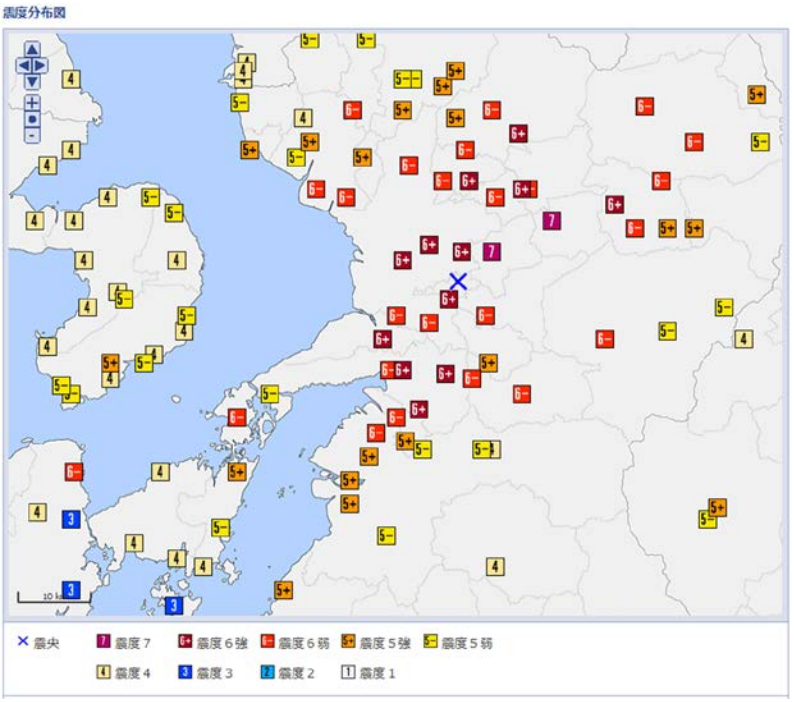
船町、熊本市、宇城市、山都町、氷川町、合志市、和水町、上天草市で観測された。

益城町・西原村・南阿蘇村河陽地区は震源断層のほぼ直上に位置するため、地表での地震動の振幅が非常に大きく、震度 6 強～7 が観測された。一方、震源断層から少し離れた熊本市（約 7km）、宇城市（約 30km）および周辺地域では、平野部の地盤で地震波が増幅されることにより、地表での地震動の振幅が非常に大きくなり、震度 6 強が観測された。

なお、本震は九州に限らず西日本全域で広範に観測され、特に平野部では近隣の山間部より顕著に大きな震度が観測された。また、大阪平野と濃尾平野で震度 3 が、さらに遠方の関東平野でも震度 2 が観測された。



(a) 前震（4 月 14 日 21 時 26 分）



(b) 本震（4 月 16 日 01 時 25 分）

図 4.1-1 平成 28 年（2016 年）熊本地震の震度分布（気象庁　震度情報データベース [4.1-4)] より）

4.1.3 震源モデル

多くの機関の研究者が種々の地震波データや地殻変動データを解析して、震源モデル（断層面状のすべり分布）を提案している。地震波のデータとしては、遠地地震記録や近地の強震記録等がある。また、地殻変動データとしては、GNSS（全球測位衛星システム）データや合成開口レーダー等が利用可能である。

ここでは既に論文として出版されている筑波大学の八木博士のグループによる本震の震源モデル[4.1-5]を紹介する（図 4.1-2）。彼らは広帯域遠地地震記録を用いた逆解析を行った。推定された地震モーメントは 5.1 × 10^{19}Nm（モーメントマグニチュード Mw = 7.1）で、断層長は 40km、断層の幅は 15km である。本震は震央から北東におよそ 30 km伝播して、火山活動が活発な阿蘇山北西付近で停止した。

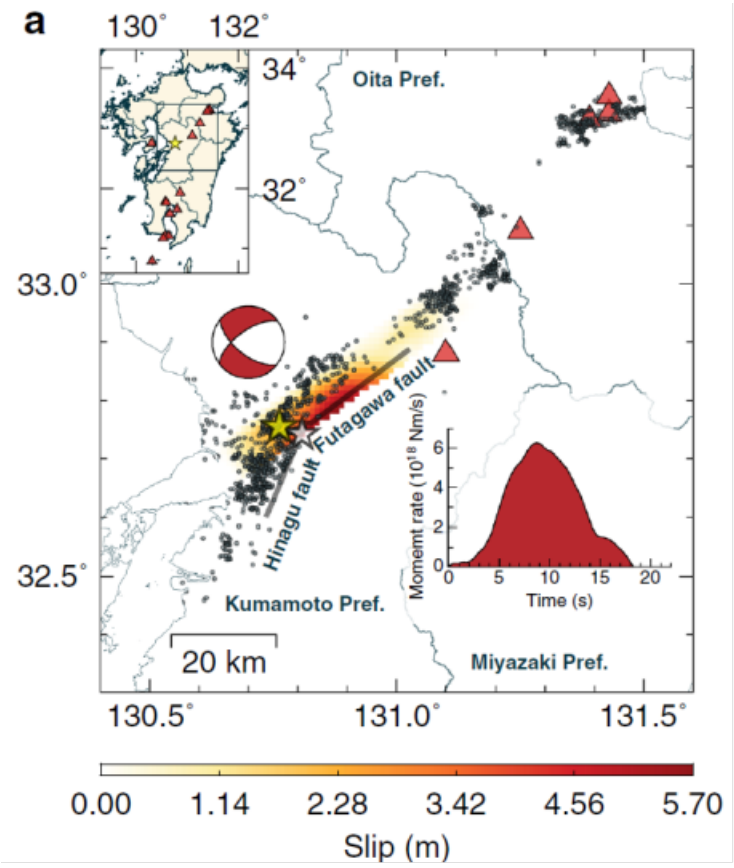


図4.1-2 平成28年（2016年）熊本地震の全体像[4.1-5]。黄色と白色の星印は、気象庁により決められた本震と最大前震の震央を示す。また、本震の発震機構と震源時間関数を示す。黒点は本震後の最初の3日間に発生した余震の震央を示す。赤三角は活火山を示す。

4.1.4 地表に現れた地震断層

平成 28 年（2016 年）熊本地震の発生を受けて、複数の大学、研究機関および民間企業の研究者が日奈久断層帯および布田川断層帯に沿った地表地震断層の現地調査を実施した。国立研究開発法人産業技術総合研究所による調査（図 4.1-3）によると、日奈久断層帯北東部（玉名郡和水町高野–上益城郡甲佐町白旗）の約 6km の範囲、布田川断層帯と日奈久断層帯の接合部西側約 3km から阿蘇カルデラ内に至る約 28km の範囲において、地表地震断層の出現が確認された。日奈久断層帯において確認された地表地震断層の分布は既知の活断層の位置とほぼ一致しており、最大変位量は約 75cm（上益城郡御

船町高木地区）である。一方、布田川断層帯では従来指摘されていた活断層だけでなく、主断層と平行に並ぶ断層および地表変形が確認された。また、上益城郡益城町堂園地区では 2m を超える右横ずれの地表地震断層が確認された（写真 4.1-1）。全体的に右横ずれ変位を示す地表断層が確認されたが、阿蘇郡西原村出ノ口地域周辺では左横ずれ成分を含む変位が確認された。島根大学による調査[4.1-7]では、阿蘇カルデラ西部（阿蘇市二重峠周辺）において東西方向の断層露頭および亀裂、カルデラ内の北西地域において北東方向の亀裂群が確認された。北東方向の亀裂群については、断層活動に伴うものであるか否か現時点で不明である。

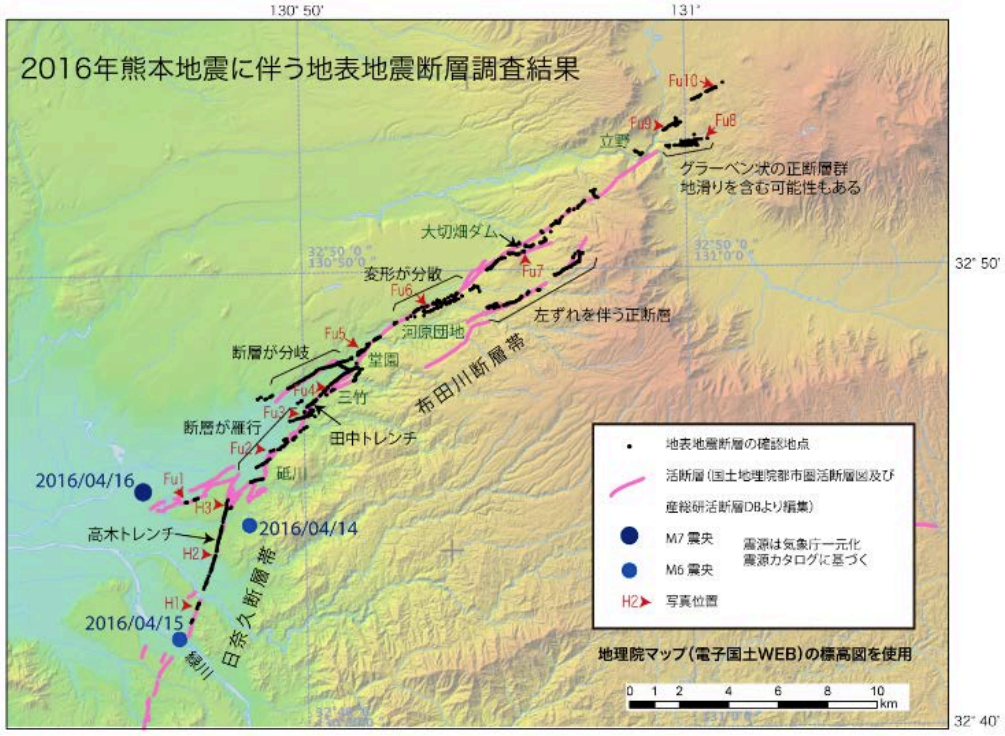


図4.1-3 地表地震断層の分布（地震調査研究推進本部発表資料[4.1-6]）



写真 4.1-1 益城町堂園で確認された地表変位（箱尺の長さは 2m）

参考文献

4.1-1) 「平成２８年（２０１６年）熊本地震」について（第４１報），平成２８年７月，
http://www.jma.go.jp/jma/press/1607/12a/kaisetsu201607121030.pdf

4.1-2) 平成２８年４月　地震・火山月報（防災編），
http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/gaikyo/monthly/201604/201604monthly.pdf

4.1-3) 気象庁　報道発表資料「平成２８年（２０１６年）熊本地震」について（第３３報）、平成２８年４月

4.1-4) 気象庁　震度情報データベース、平成２８年７月閲覧
（http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.php）

4.1-5) Yagi, Y., R. Okuwaki, B. Enescu, A. Kasahara, A. Miyakawa, and M. Otsubo, Rupture process of the 2016 Kumamoto earthquake in relation to the thermal structure around Aso volcano, Earth, Planets and Space 2016 68:118

4.1-6) 地震調査研究推進本部、平成 28 年(2016 年)熊本地震の評価、平成２８年５月
http://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2016/2016_kumamoto_3.pdf

4.1-7) 一般社団法人日本地質学会、2016 年熊本地震の地質学的背景と地震後の断層調査報告（日本学術会議主催公開シンポジウム　熊本地震・三ヶ月報告会資料)、平成２８年７月
http://janet-dr.com/11_saigaiji/160716kyushu_houkokukai/20160716pdf/00_160716_all.pdf

4.2 被災地域の地形および地質

平成 28 年（2016 年）熊本地震は、「5.地震動による建築物等の被害」で述べているように、熊本県益城町を中心に甚大な被害をもたらした。これらの被災地を含む九州中央部の地形図を図 4.2-1 に、被害が集中した熊本市、益城町、西原村の表層地質を図 4.2-2[4.2-1)]に示す。図 4.2-1 に示すように、熊本市、益城町、西原村は、別府－島原地溝帯に重なる。別府－島原地溝帯は、関東平野から群馬、長野、和歌山、徳島県などを経て九州まで続く全長 1 千キロ以上の大断層である中央構造線の延長部とみられている臼杵－八代構造線と平行する大分－熊本構造線の北側に位置する。今回の地震で地表に地震断層が現れた布田川断層帯は、大分－熊本構造線に沿っている[4.2-2)]。

地形・地質は、西側の有明海から東に掛けて沖積低地、河成段丘、火砕流台地、溶岩台地、阿蘇火山（カルデラ）と続いている。沖積低地は、阿蘇カルデラの水を集める白川と阿蘇カルデラ南側外輪山より発する緑川が運搬/堆積してつくった自然堤防や三角州と人工的な干拓地からなり、狭義の熊本平野に相当する[4.2-2)、3)]。河成段丘は大きく保田窪段丘と託麻段丘の 2 つに区分され、前者は約 3～8 万年前、後者は 1～2 万年前の間に形成されたと推定されている[4.2-2)]。阿蘇カルデラは、27 万年前から 9 万年前に起きた 4 つの火砕流の噴出に伴う活動で形成された。陥没したカルデラには湖が形成され、湖成層が堆積した。その厚さは、一の宮町（現阿蘇市）ではカルデラの火口原から-320ｍまで、白水村（現南阿蘇村）では-800ｍまで確認されている[4.2-4)、5)]。

益城町の地形は、秋津川より北側の台地、木山川流域の平野、南東側の山地の 3 つに大きく分けることができる[4.2-6)]。台地は、上記の託麻段丘と高遊原台地に区分される。高遊原台地は阿蘇くまもと空港のある台地で、標高は 150～200m、西原村大峰山が形成された際（およそ 9 万年前）に流出した溶岩（高遊原溶岩）で形成されている。益城町で木造建築物の被害が甚大であった県道 28 号から秋津川に掛けての範囲は、文献により名称は異なるが、図 4.2-2 では上記の託麻段丘の形成年代にほぼ相当する凡例 170、国土調査昭和 57 年 7 月 10 日指定土地分類基本調査図表層地質図（御船）[4.2-7)]では上記の保田窪段丘の形成年代に相当する「段丘堆積物-3」、同地形分類図（御船）[4.2-8)]では「段丘面４」、の区域にほぼ一致している。

参考文献

4.2-1) シームレス地質図３D、平成２８年８月閲覧
(https://gbank.gsj.jp/seamless/cesium/index.html#)

4.2-2) 町田洋・ほか 編、日本の地形 7 九州・南西諸島、東京大学出版会，2001.12.

4.2-3) 石堂稔、山本毅、大内正之、田島恒美：主要都市の土質と基礎、九州の土質と基礎（特集）、土と基礎、地盤工学会、pp21-28、1988.3.

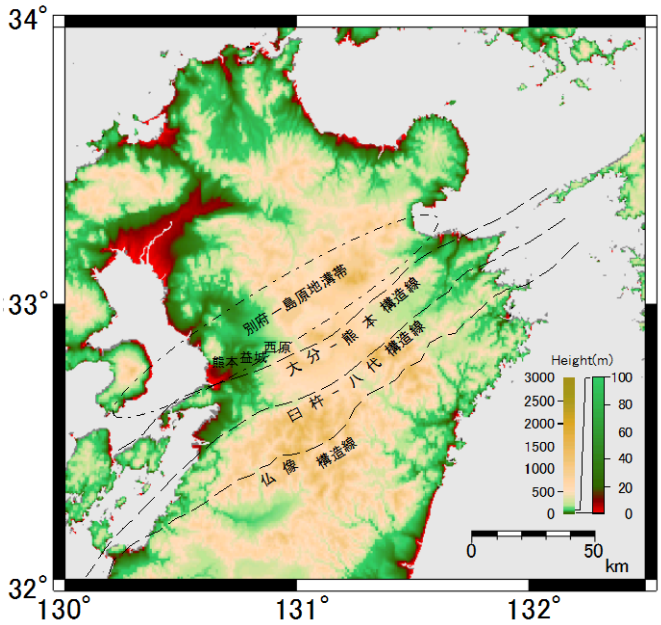
4.2-4) 日本の地質「九州地方」編集委員会編、日本の地質９　九州地方、共立出版、1992.7.

4.2-5) 松本幡郎，藤本芳男，阿蘇カルデラ内の注目すべきボーリング結果について，火山．第２集 14(1)，1-7，1969.4.

4.2-6) 黒川哲雄、益城町の地質と教材、熊本地学会誌 40，5-18，1972.06.

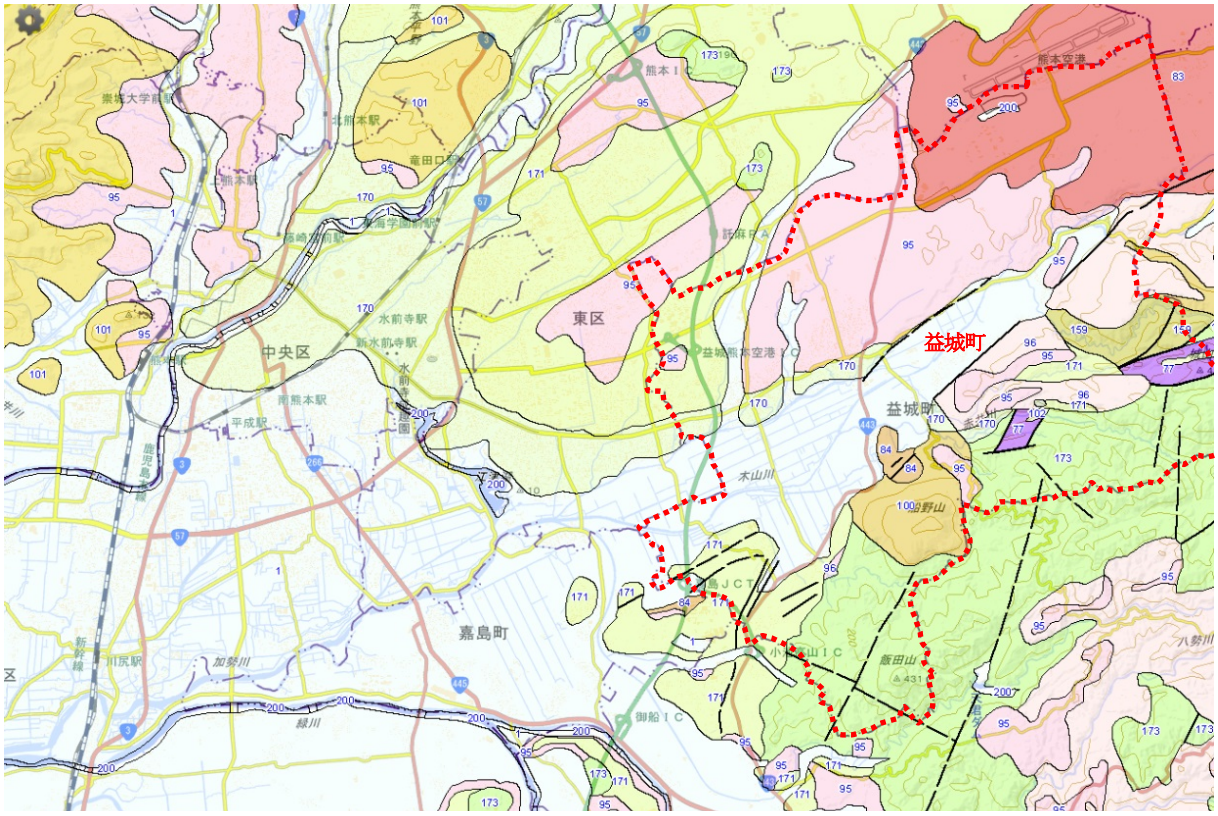
4.2-7) 国土調査昭和 57 年 7 月 10 日指定土地分類基本調査図表層地質図（御船）、平成２８年８月閲覧（http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/data/G/4306G.jpg）

4.2-8) 国土調査昭和 57 年 7 月 10 日指定土地分類基本調査図地形分類図（御船）、平成２８年８月閲覧（http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/tochimizu/F3/data/L/4306L.jpg）



大分－熊本構造線：
　中央構造線を西方に伸ばした位置にある構造線
臼杵－八代構造線：
　領家帯（北側）と秩父累帯（南側）を境する地質構造線
仏像構造線：
　秩父累帯（北側）と四万十帯（南側）を境する地質構造線

図 4.2-1　九州中央部の地形図と構造線



凡例
1：約 1 万 8000 年前～現在までに形成された最も新しい時代の地層
83：約 15 万年前～現在に噴火した火山の岩石(デイサイト・流紋岩類)
95：約 15 万年前～現在に爆発的噴火により高速で流れ下った軽石や火山灰(火砕流)
170：川沿いの低地に分布している約 7 万年前～1 万 8000 年前に形成された段丘層
171：川沿いのやや高い所に分布している約 15 万年前～7 万年前に形成された段丘層
173：約 1 億年前～6500 万年前に川や湖で形成された地層

益城町

図 4.2-2　熊本市、益城町、西原村の表層地質（参考文献 4.2-1 に加筆）

4.3 前震および本震の地震動特性

平成 28 年(2016 年)熊本地震では、気象庁の震度計、国立研究開発法人防災科学技術研究所の K-NET や KiK-net の強震計、および自治体震度計で多くの強震観測記録(加速度)が得られ公開されている。これらの本震における強震記録のうち、K-NET、KiK-net[4.3-1)]、気象庁[4.3-2)]、熊本県、大分県、佐賀県、宮崎県の震度計[4.3-3)]で観測された本震の強震記録のうち、地表で震度 5 強以上が観測された地点における最大加速度・最大速度等を表 4.3-1 に示す。表中の最大速度は、公開されている加速度記録に遮断振動数 0.1Hz のローカットフィルターを適用し、高速フーリエ変換によって積分した速度記録から求めた。これらの記録より、3 成分を合成した最大速度分布を図 4.3-1 に示す。図 4.3-1 から、震源近傍において速度が大きい傾向にあること、表 4.3-1 から西原村小森の EW 方向の最大速度は 239cm/s と非常に大きいことが分かる。

表 4.3-1 本震時に地表で震度 5 強(計測震度 5.0)以上が観測された強震記録一覧

記号	観測地点	距離 (km)	計測震度	最大加速度 (cm/s²)			最大速度 (cm/s)		
				NS	EW	UD	NS	EW	UD
93050	嘉島町上島	1.9	6.2	565	597	474	88.8	61.2	14.7
KMM006	K-NET 熊本	4.7	6.0	827	616	534	66.4	90.7	32.6
93021	熊本南区城南町	6.0	5.9	681	522	803	55.8	59.3	15.3
93049	御船町御船	6.1	5.7	466	441	354	44.9	43.7	16.5
93012	熊本中央区大江	6.3	6.0	627	478	403	57.8	56.2	22.4
93051	益城町宮園	6.6	6.7	776	825	669	94.1	177.0	51.5
KMMH16	KiK-net 益城	7.3	6.4	653	1157	873	85.5	129.1	48.8
47819	熊本西区春日	7.9	6.0	606	552	405	71.0	41.4	15.5
93022	熊本南区富合町	8.8	5.9	427	412	591	97.8	61.3	16.8
KMM008	K-NET 宇土	12.1	6.2	651	771	422	65.5	83.8	13.2
93052	甲佐町豊内	12.7	5.2	475	551	434	30.1	22.2	11.9
93025	宇城市豊野町	13.1	6.1	573	575	725	85.3	52.7	28.1
KMMH14	KiK-net 豊野	13.2	5.7	457	402	539	60.6	42.1	24.4
93026	熊本美里町馬場	13.3	5.9	402	527	355	51.7	48.6	13.6
93044	菊陽町久保田	13.4	5.8	824	498	566	54.9	69.2	40.8
42511	宇城市松橋町	13.8	6.0	493	343	314	76.7	51.1	16.5
93045	合志市竹迫	14.6	6.2	399	691	307	74.1	87.1	31.6
93047	合志市御代志	14.8	5.6	401	572	468	39.9	52.9	22.1
93020	宇城市不知火町	14.9	5.9	539	442	517	66.4	37.8	12.6
93048	西原村小森	16.0	6.6	742	770	531	113.7	239.0	128.7
93096	大津町大津	17.0	6.1	1380	1740	595	77.9	70.6	52.6
KMM005	K-NET 大津	17.4	5.7	526	482	397	55.5	55.4	51.2
93040	熊本北区植木町	17.5	5.8	672	878	530	38.3	41.9	14.0
KMM011	K-NET 砥用	18.0	5.6	598	602	255	28.8	29.0	8.5
93046	菊池市泗水町	18.5	5.6	485	339	182	50.8	42.2	19.1
93024	宇城市小川町	19.0	6.0	390	369	233	77.8	46.7	12.8
93030	玉名市天水町	19.7	5.7	308	202	137	62.0	41.9	10.6
93057	氷川町島地	21.0	5.7	301	313	206	49.4	43.6	9.2
93031	玉東町木葉	21.8	5.4	236	237	177	27.0	19.2	6.5
KMM009	K-NET 矢部	22.3	5.7	777	640	187	32.3	26.7	12.4
93042	菊池市旭志	22.9	6.4	799	857	536	127.2	84.9	35.6
93029	玉名市横島町	23.3	5.6	231	197	104	52.5	27.7	5.8

表 4.3-1 本震時に地表で震度 5 強（計測震度 5.0）以上が観測された強震記録一覧（続き 1）

記号	観測地点	距離 (km)	計測震度	最大加速度 (cm/s^2)			最大速度 (cm/s)		
				NS	EW	UD	NS	EW	UD
93058	氷川町宮原	23.5	5.2	205	152	232	20.3	19.1	17.1
93041	菊池市七城町	23.7	5.1	197	204	129	38.1	43.1	10.9
93056	八代市鏡町	23.9	5.5	354	285	354	47.6	30.0	9.1
93039	山鹿市鹿央町	25.2	5.1	220	178	234	26.4	19.1	10.3
93011	南阿蘇村河陽	25.3	6.2	1112	955	654	130.1	119.2	56.7
93017	菊池市隈府	25.3	5.7	415	294	302	56.0	37.4	18.4
93010	南阿蘇村河陰	26.5	5.7	920	558	361	60.9	54.6	39.5
93038	山鹿市鹿本町	27.2	5.0	204	194	211	22.9	24.2	9.4
93055	八代市千丁町	27.4	5.3	207	204	112	35.7	34.6	6.8
KMMH03	KiK-net 菊池	28.0	6.1	787	228	403	80.4	20.9	15.3
KMM003	K-NET 玉名	28.3	5.0	177	217	69	18.8	17.4	4.0
93032	和水町江田	28.5	5.7	264	509	136	22.2	37.0	6.7
93037	山鹿市菊鹿町	30.2	5.1	261	305	210	23.7	23.7	9.1
KMM012	K-NET 八代	31.1	5.2	197	165	130	27.0	20.6	8.2
93009	南阿蘇村吉田	31.1	5.3	418	412	186	69.7	43.6	28.1
KMMH09	KiK-net 泉	32.2	5.0	240	200	109	12.8	13.5	6.7
47821	南阿蘇村中松	32.4	5.9	794	607	653	53.8	65.7	44.5
41509	八代市平山新町	34.1	5.1	172	176	83	20.7	25.5	7.5
93035	長洲町長洲	34.5	5.1	163	110	54	21.7	17.7	5.0
KMM007	K-NET 高森	34.7	5.3	279	420	302	33.0	42.4	22.4
93002	阿蘇市内牧	35.7	5.8	512	165	318	94.3	50.6	23.9
42514	上天草市大矢野町	36.1	5.5	262	334	122	24.0	24.2	8.5
KMM004	K-NET 一の宮	39.0	5.5	261	347	268	72.9	79.7	21.3
93083	上天草市松島町	40.5	5.1	199	214	125	13.3	17.6	4.5
93003	南小国町赤馬場	47.8	5.4	286	313	122	39.0	48.6	14.7
KMM013	K-NET 田浦	49.2	5.0	155	138	73	19.2	13.4	6.9
95019	椎葉村下福良	49.3	5.0	256	217	101	13.5	11.7	5.4
KMMH02	KiK-net 小国	49.7	5.5	303	660	286	35.8	37.5	14.5
KMM001	K-NET 小国	49.9	5.1	164	220	92	35.3	31.8	14.0
93005	産山村山鹿	50.3	5.4	241	362	91	32.1	30.6	10.7
42520	高千穂町三田井	51.3	5.0	203	144	71	18.6	14.5	12.4
94054	日田市前津江町	52.5	5.0	170	230	117	13.6	19.4	8.8
94049	竹田市荻町	53.9	5.0	195	180	89	27.0	28.5	14.6
FKO015	K-NET 柳川	56.4	5.0	162	207	59	16.8	23.8	5.7
42512	芦北町芦北	56.4	5.0	139	125	41	19.3	18.0	2.9
93091	天草市五和町	60.1	5.5	282	219	62	27.4	23.4	3.9
94052	九重町後野上	66.0	5.4	285	317	106	23.0	26.3	7.3
41505	久留米市津福本町	66.1	5.0	126	167	66	12.4	20.6	5.0
91026	神埼市千代田	67.8	5.4	183	154	62	30.9	27.8	7.6
94051	竹田市直入町	68.4	5.1	157	149	111	25.7	22.6	11.9
91035	上峰町坊所	69.9	5.3	167	202	47	18.6	28.7	3.6
95014	宮崎美郷町田代	71.5	5.0	227	284	49	12.9	13.0	4.6
91022	佐賀市久保田	71.8	5.0	108	111	32	19.2	18.9	3.7
KMMH11	KiK-net 九重	72.4	5.5	559	519	272	22.2	19.5	7.5
94040	豊後大野市清川町	74.2	5.0	200	142	101	20.3	13.2	11.3

表 4.3-1　本震時に地表で震度 5 強（計測震度 5.0）以上が観測された強震記録一覧（続き 2）

OIT009	K-NET 湯布院	78.0	6.0	528	717	475	52.4	81.1	11.4
94048	由布市湯布院町川上	79.3	5.9	479	369	466	58.6	37.7	20.2
47380	別府市天間	88.5	5.0	261	169	83	32.8	19.4	10.0
41510	別府市鶴見	90.4	5.5	831	806	861	42.3	17.1	12.0

気象庁、自治体震度計の計測震度はそれぞれ文献 4.3-2)、4.3-3)の値、K-NET、KiK-net の計測震度は「平成 8 年気象庁告示第 4 号によって定められた方法」[4.3-4]に基づいて計算した値、による。

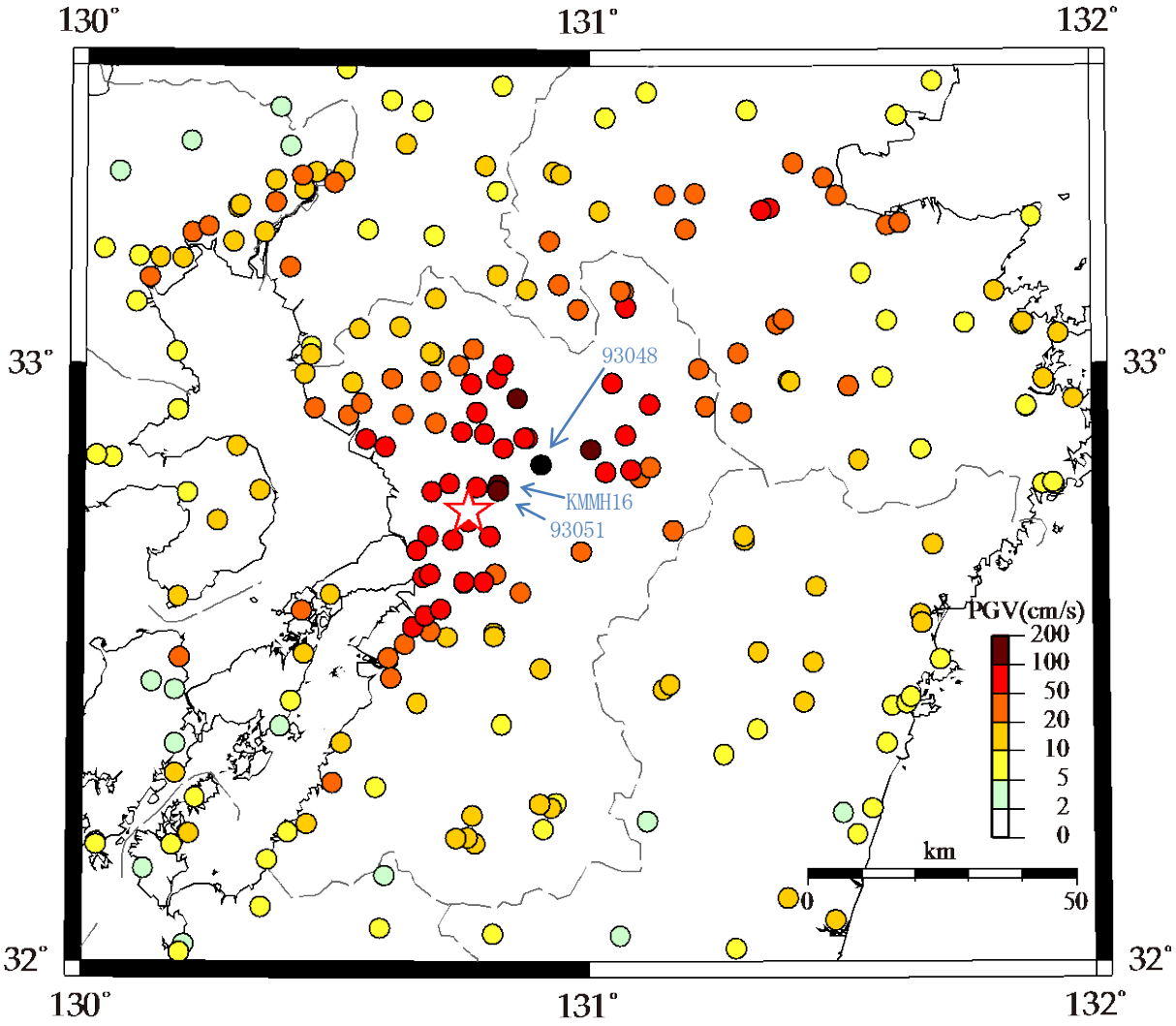


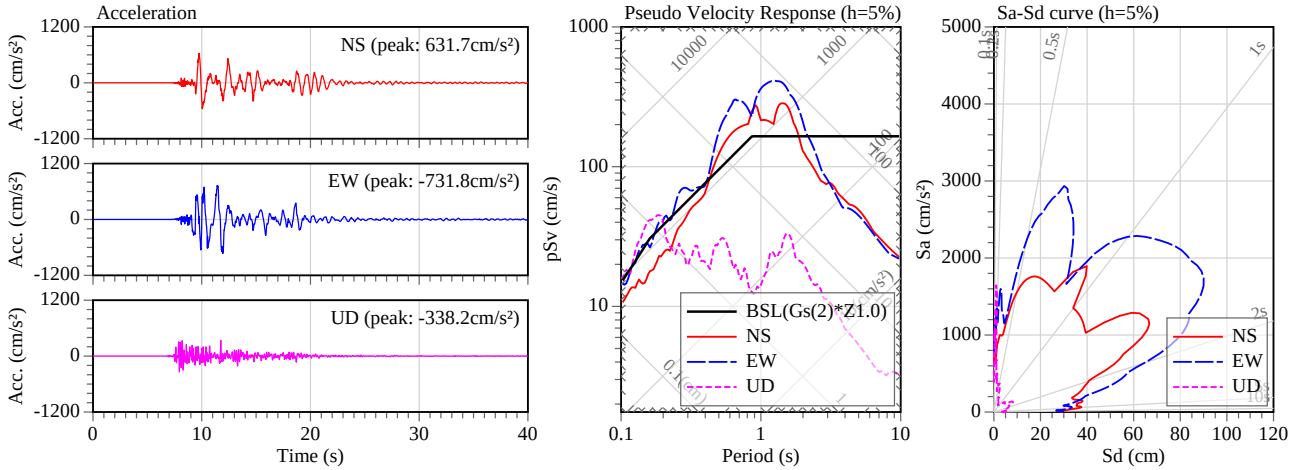
図 4.3-1　強震観測地点と本震の最大速度分布（3 成分合成）

4.3.1　観測記録に基づいた地震動特性

図 4.3-2 および図 4.3-3 に震度 7 が観測されている地点を含めた代表的な 3 地点（益城町宮園、KiK-net 益城、西原村小森）における前震および本震の観測記録を示す。加速度波形を見ると、前震、本震ともに継続時間は 10 秒程度となっており、1995 年兵庫県南部地震や 2004 年新潟県中越地震などの過去の内陸地殻内地震と同様に継続時間は比較的短い。擬似速度応答スペクトル（減衰 5%）を見ると、益城町宮園および KiK-net 益城では周期 1 秒付近で大きな値となっている。また、西原村小森の記録は本震時に周期 3 秒付近の成分が卓越していることがわかる。周期 0.5 秒以下では、前震と本震でおおむね同等のレベルとなっている。

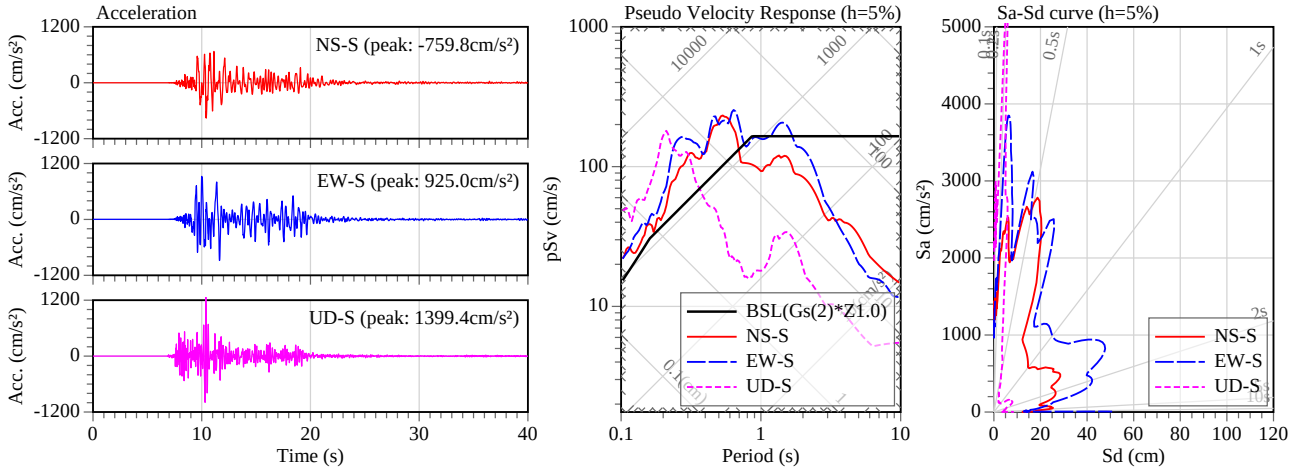
図 4.3-4 に過去地震の記録との擬似速度応答スペクトルの比較を示す。益城町宮園（益城町役場の 1 階）で観測された本震の記録は、周期 0.6 秒～1.8 秒付近において 1995 年兵庫県南部地震で観測された JR 鷹取の記録を超えていることがわかる。ただし、益城町役場の観測記録は庁舎 1 階で得られたものであるため、地盤と建物の動的相互作用の影響が含まれている可能性がある。すなわち、当該地点の観測記録には入力損失効果や上部構造の応答の影響も含まれていること等が考えられるため、周辺の地震動（地表）とは異なっている可能性があることに留意されたい。

秦らは益城町において前震に対する臨時観測を行っており、被害集中域を含む 3 地点で本震の観測記録を得ている[4.3-5)]。図 4.3-5 に観測点位置図を、図 4.3-6 に公開されている観測記録を示す。波形および応答スペクトルより、全 3 地点において EW 方向の周期 0.9 秒付近の成分が卓越していることがわかる。数 100m の観測点位置の違いにもかかわらず、その振幅には違いが見られ、TMP3 サイトが他の 2 地点に比べて振幅が大きい。なお、これら 3 地点での計測震度はそれぞれ 6.6(TMP1)、6.7(TMP2)、6.9（TMP3）である。図 4.3-7 に、図 4.3-4 と同様に過去地震の記録との擬似速度応答スペクトルの比較を示すが、周期 0.5 秒～1.2 秒付近において 1995 年兵庫県南部地震で観測された JR 鷹取の記録および 2004 年新潟県中越地震で観測された川口町の記録を超えていることがわかる。前述のとおり、数 100m の観測点位置の違いにもかかわらず、その振幅の大小には差があり、特に TMP3 サイトの EW 方向では周期 0.9 秒付近に非常に大きなピーク（約 850cm/s）が見られ、当該地域の木造建築物の被害分布に影響を及ぼした可能性が示唆される。



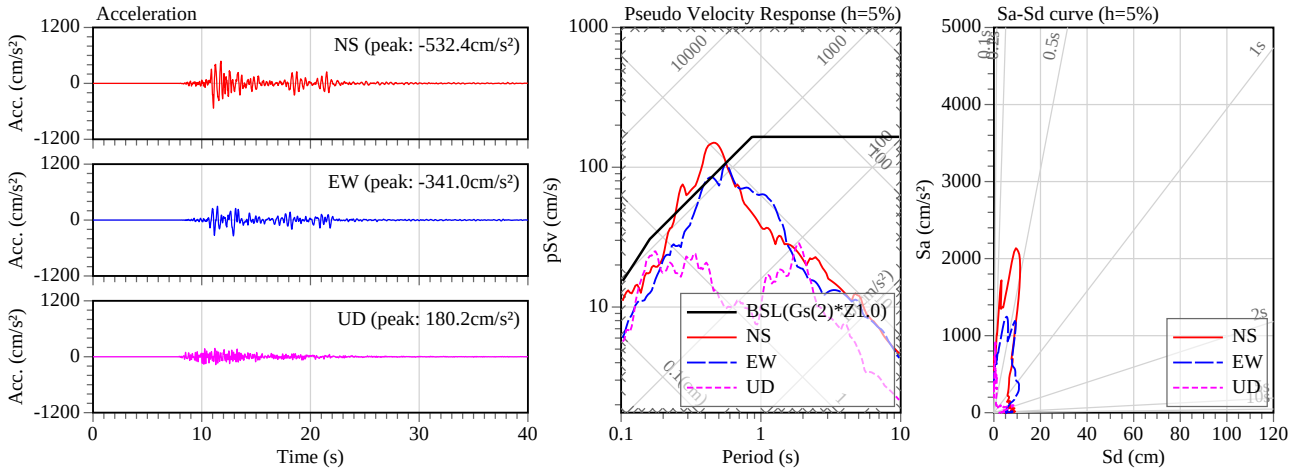
2016/04/14 21:26:30 at 93051: **益城町宮園**, Intensity: 6.6

i）益城町宮園（益城町役場(93051)、地震計位置：庁舎 1 階）



2016/04/14 21:26:30 at KMMH16: KiK-net station, Intensity: 6.4

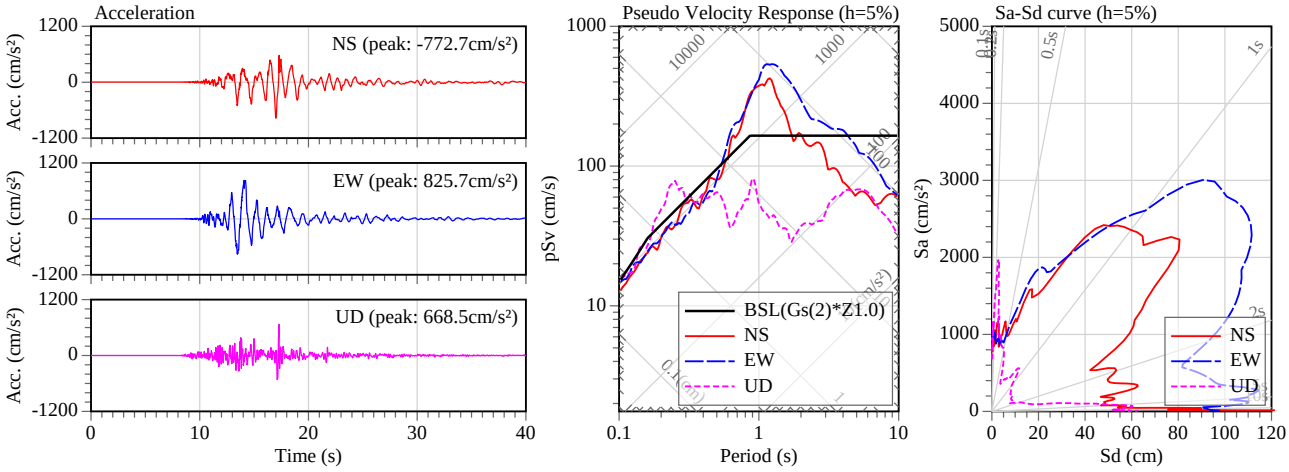
ii）KiK-net 益城（KMMH16、地震計位置：地表）



2016/04/14 21:26:30 at 93048: **西原村小森**, Intensity: 5.7

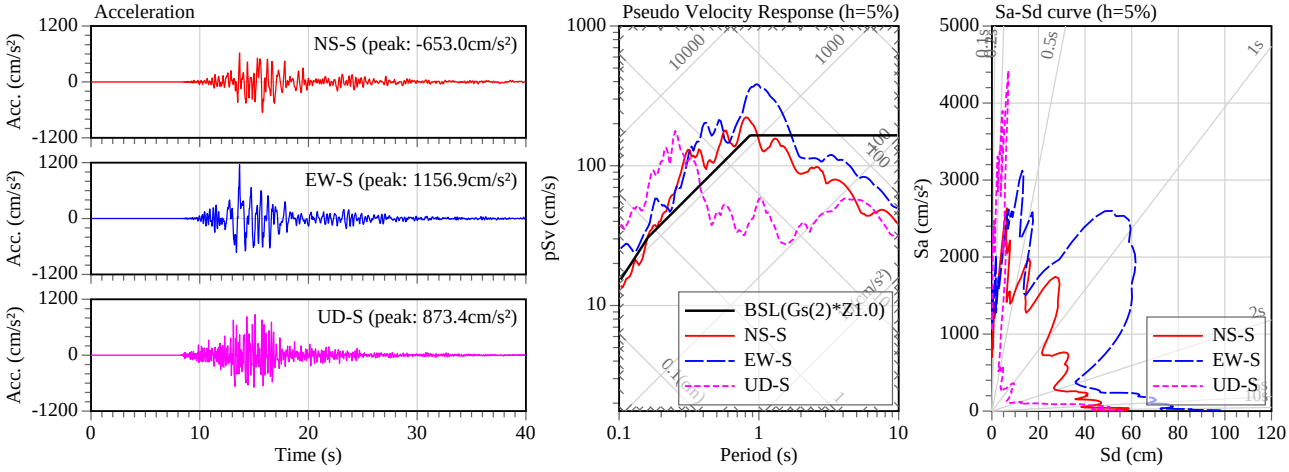
iii）西原村小森（西原村役場(93048)、地震計位置：地表）

図 4.3-2　熊本地震の前震（4 月 14 日）の観測記録例



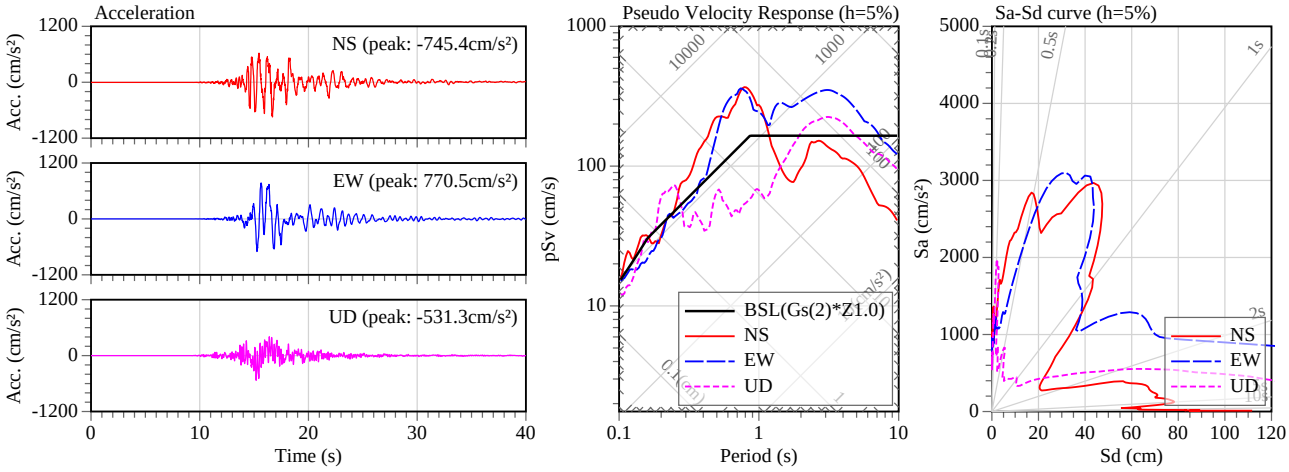
2016/04/16 01:25:00 at 93051: **益城町宮園**, Intensity: 6.7

i) 益城町宮園（益城町役場(93051)、地震計位置：庁舎 1 階）



2016/04/16 01:25:00 at KMMH16: KiK-net station, Intensity: 6.4

ii) KiK-net 益城（KMMH16、地震計位置：地表）



2016/04/16 01:25:00 at 93048: **西原村小森**, Intensity: 6.6

iii) 西原村小森（西原村役場(93048)、地震計位置：地表）

図 4.3-3　熊本地震の本震（4 月 16 日）の観測記録例

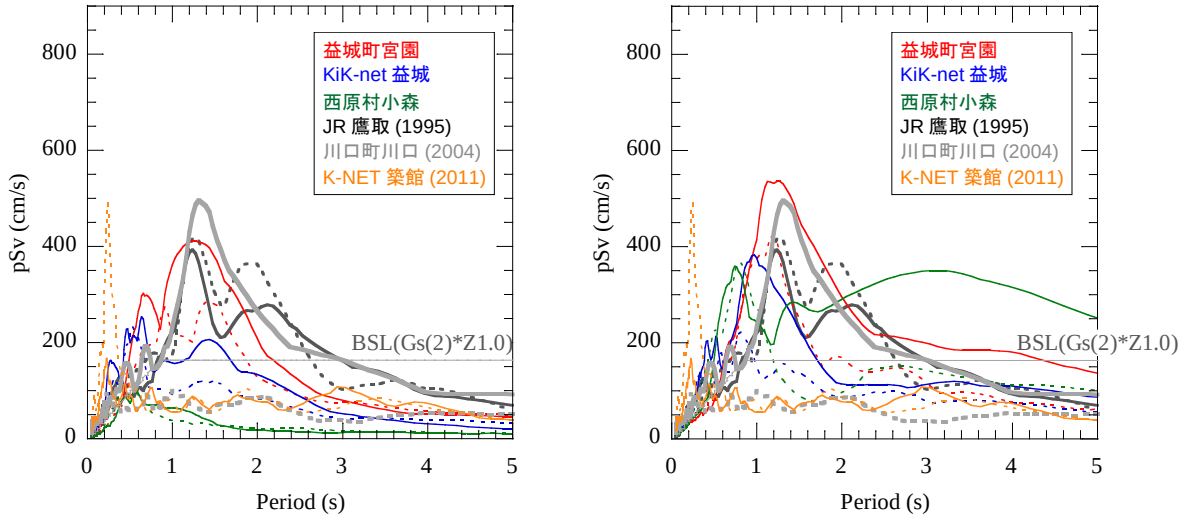


図 4.3-4　擬似速度応答スペクトルの比較

（左：前震、右：本震、破線は NS 方向、実線は EW 方向を表す）

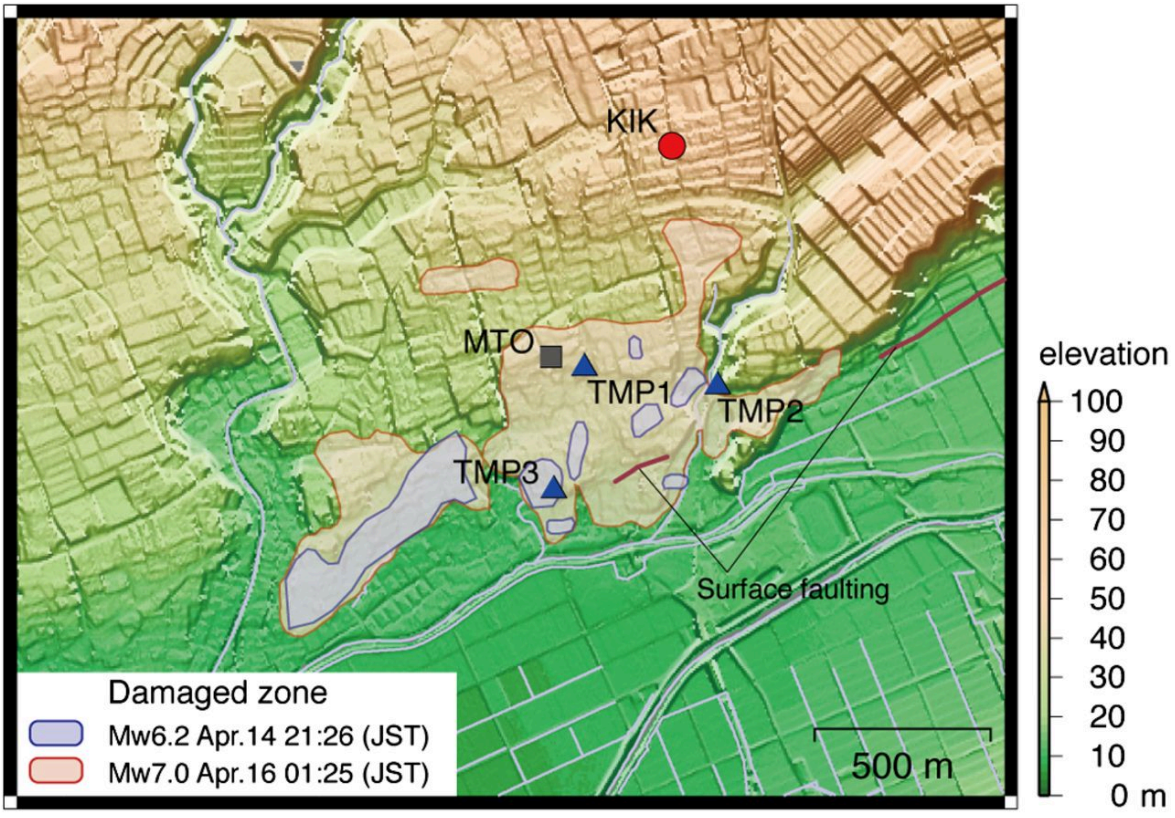
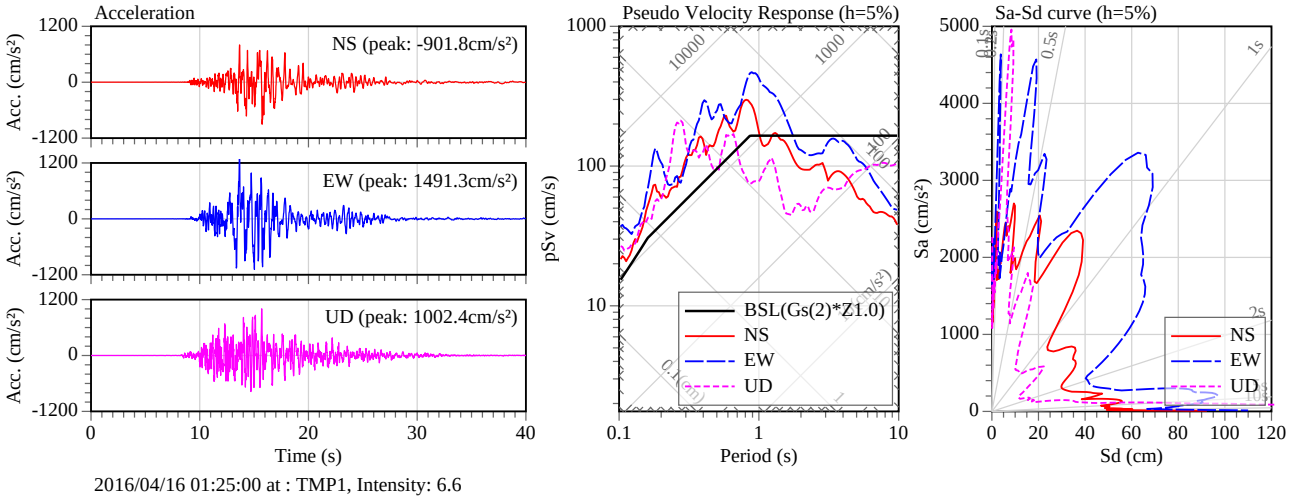
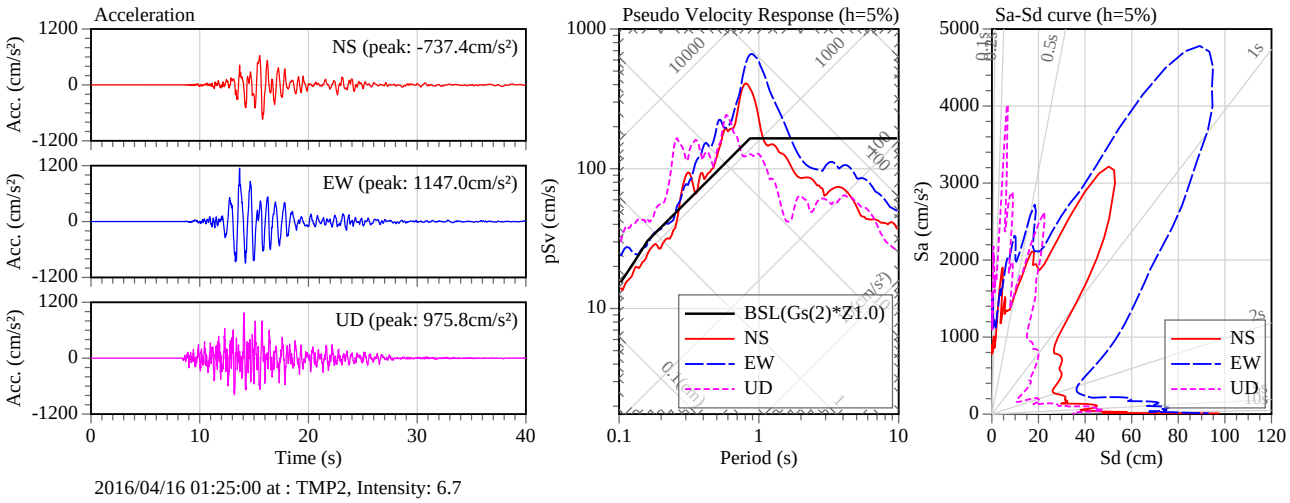


図 4.3-5　秦ほかによる益城町における本震の観測点位置図 [4.3-5)]

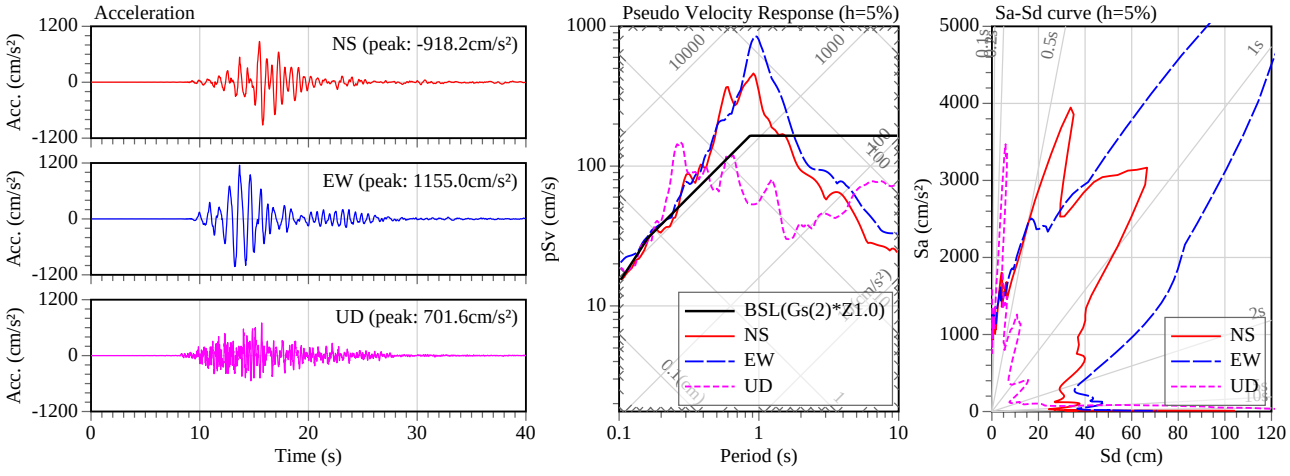
（図中の KIK は KiK-net 益城、MTO は益城町役場を表す。Damaged Zone は山田ほか [4.3-6)] による。）



i) TMP1 サイト



ii) TMP2 サイト



iii) TMP3 サイト

図 4.3-6　秦ほかによる益城町の 3 地点における本震（4 月 16 日）の観測記録 [4.3-5)]

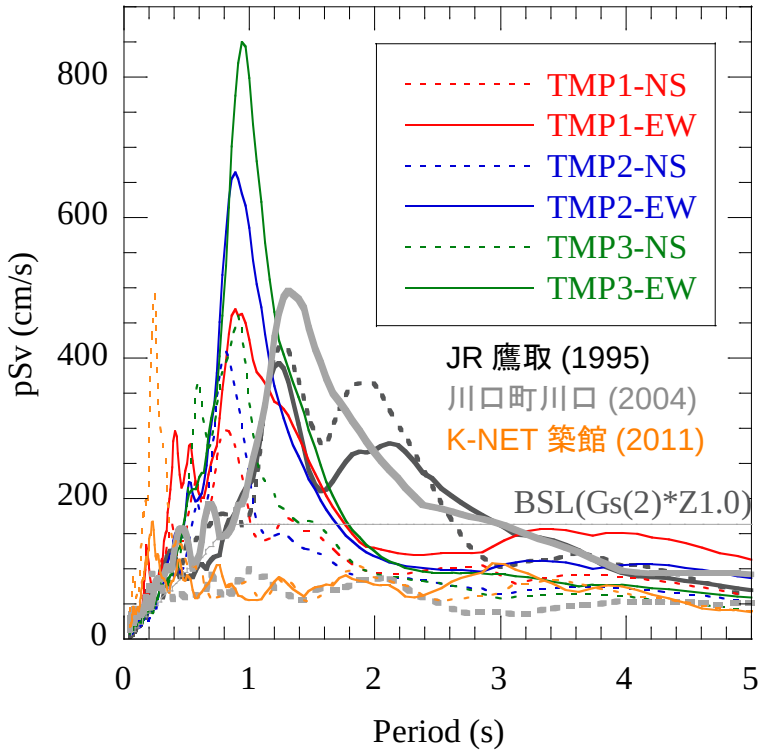
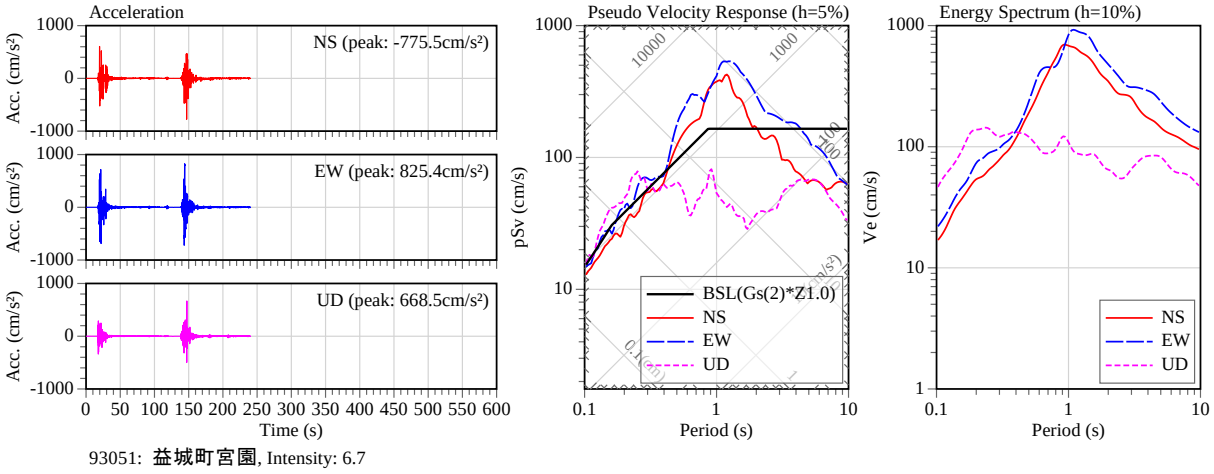


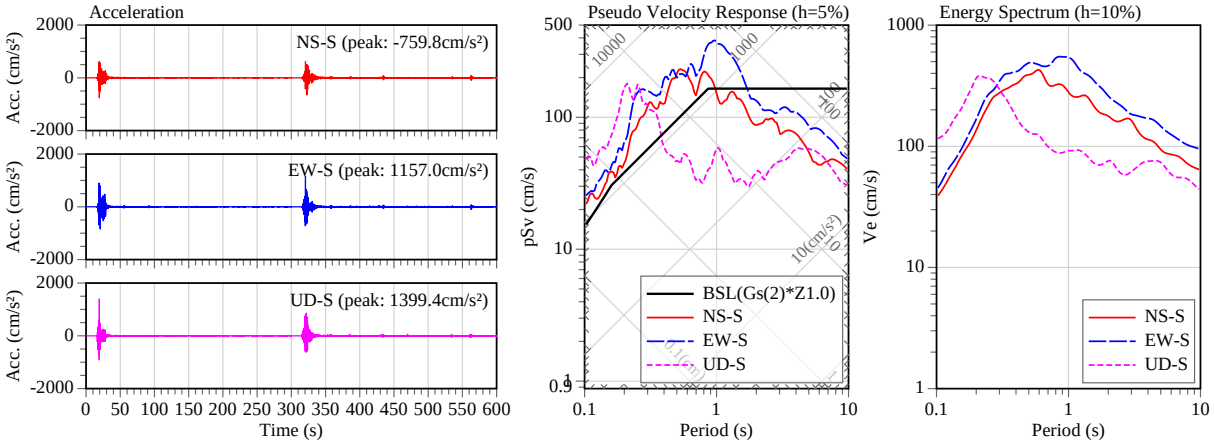
図 4.3-7　秦ほかによる本震の観測記録[4.3-5)]と過去地震の擬似速度応答スペクトルの比較
（破線は NS 方向、実線は EW 方向を表す）

益城町宮園にある自治体震度計では、震度 7 が前震および本震で 2 度観測された。 2 回の地震動を一連の地震動と考えた場合の地震動特性を検討した。用いた地震記録は、上記と同じ益城町宮園、KiK-net 益城、西原村小森における前震および本震の観測記録である。図 4.3-8 に、 3 地点で得られた前震と本震の地震記録を繋げた場合（以降、前震＋本震と記す）の加速度波形、擬似速度応答スペクトル、エネルギースペクトル（10%）を示す。また、前震、本震、前震＋本震のエネルギースペクトルを図 4.3-9 に示す。加速度波形長が異なるのは、元波形の長さが KiK-net 益城は 300 秒、益城町宮園と西原村小森は 120 秒であるものを調整せずにつなげているためである。

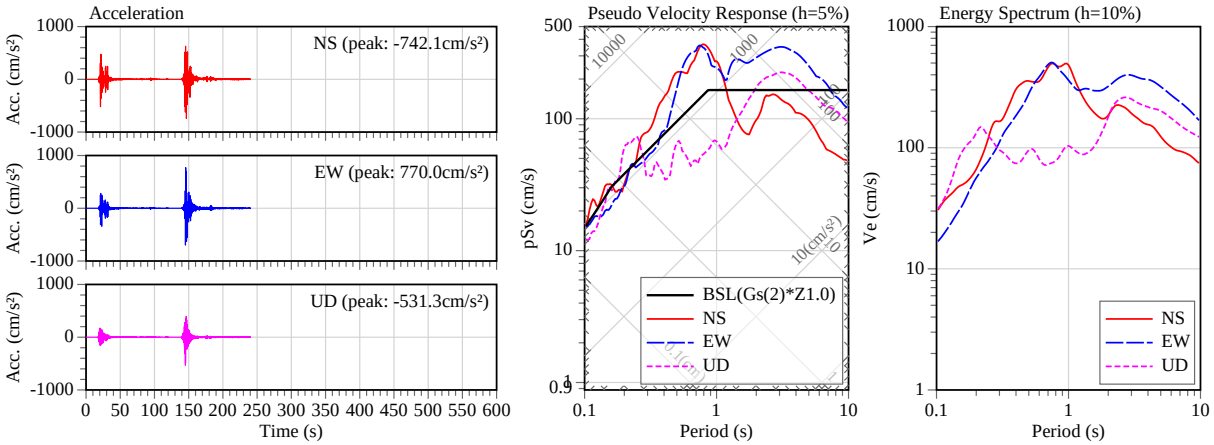
図 4.3-2、3 に示す擬似速度応答スペクトルと、図 4.3-8 のそれを比較する。前震＋本震の擬似速度応答スペクトルは、前震と本震のそれを包絡した形状をしていた。一方、図 4.3-9 のエネルギースペクトルは、エネルギースペクトル振幅は地震入力エネルギーの平方根に比例することから、前震のエネルギースペクトル振幅の 2 乗と本震のエネルギースペクトル振幅の 2 乗の和が前震＋本震のスペクトル振幅の 2 乗とほぼ一致していた。



93051: **益城町宮園**, Intensity: 6.7



KMMH16: KiK-net station, Intensity: 6.4



93048: **西原村小森**, Intensity: 6.6

図 4.3-8　前震＋本震の加速度波形、擬似速度応答スペクトル、エネルギースペクトル

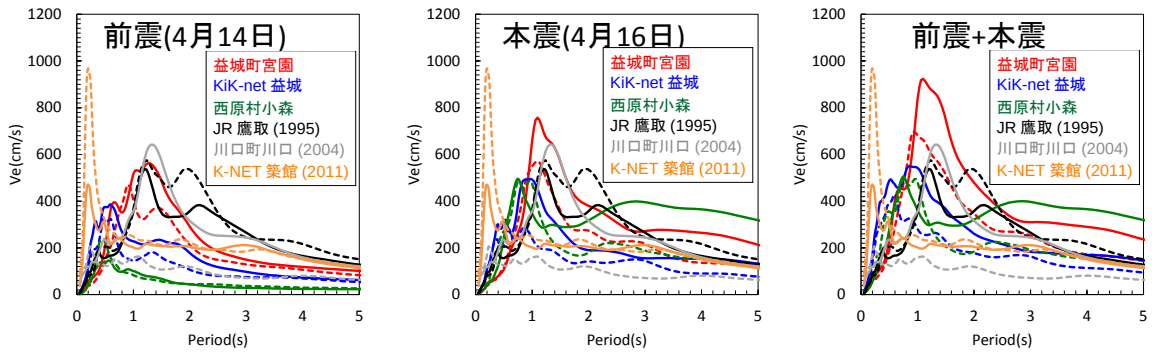


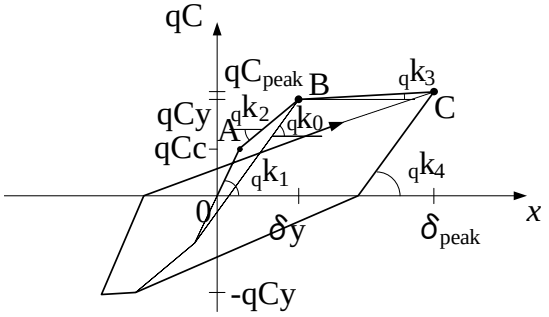
図 4.3-9　前震、本震、前震＋本震のエネルギースペクトル

4.3.2　弾塑性応答解析に基づいた特徴

建築物に地震力が作用した場合、水平変形と水平方向の復元力が建築物に生じる。この変形と復元力の関係は、復元力特性と言われ、変形の小さいうちは、弾性関係にあり、変形が大きくなるにつれて、建築物の一部分の塑性化が進むことにより、弾塑性関係となる。復元力特性は、建築物の構造種別、構造形式、部材等に応じて異なるが、建築物全体を 1 質点に模擬した 1 質点時刻歴弾塑性応答解析を行うことにより、建築物の水平変形を大まかに推定することができる[4.3-7)]。そこで、自治体震度計の熊本県益城町宮園 EW、西原村小森 EW と、KiK-net 益城の地表観測波 EW2 (以降、KiK-net 益城 EW2) の前震および本震の観測地震波の水平 1 方向を外力とし、1 質点弾塑性時刻歴解析により変位応答スペクトル(cm)を求めた。

図 4.3-10 に、復元力特性を示す。復元力特性は、鉄筋コンクリート部材実験を基に作成され、最大点指向型のトリリニア武田モデルとした。このモデルの特徴は、ひび割れ点 A、降伏点 B で剛性が低下すること、降伏点後の除荷時剛性 qk4 がピーク点の変位 δ peak に応じて低下することである。他の設定は、これまでの応答値の検討結果により、降伏点のせん断力係数(qCy)を 0.2 (-)、剛性低下率を 1/1000 (-)、減衰定数(*h*)を 5 (%)等とする[4.3-8)]。地震波の継続時間は、データが用意されている時間(120、300 秒)とする。

図 4.3-11 は、式(4.3-1)により定まる周期 0.1～5.0(s)について求めた変位応答時刻歴のうち、絶対値の最大値(peak 値)をスペクトル表示している。周期 0.5 秒において比較すると、本震の益城町宮園は低層建築物の固有周期と考えられる周期 0.5 秒程度において変位応答が最大を示し、次いで前震の益城町宮園 EW、本震の KiK-net 益城 EW2、本震の西原村小森 EW、前震の KiK-net 益城 EW2、前震の西原村小森の順に大きい。なお、本震の益城町宮園 EW、西原村小森 EW、KiK-net 益城 EW2 の変位応答は周期5秒を超えた解析結果でも増大しているが、同じ傾向は2015年カトマンズ地震の観測波(CESMD, USGS 提供)でも見られた[4.3-9)]。観測地震波は観測点周辺の地盤や構造物の影響も記録しており、特に柔らかい地盤で観測された地震波の変位応答スペクトルは長周期において大きくなる傾向にあることが知られている。



トリリニア武田モデル

降伏点後の除荷時剛性: $_{q}k_4 = {}_{q}k_0 \left(\frac{\delta y}{\delta peak} \right)^{0.4}$

他の関係式:

$$ {}_{q}k_1 = 2.2 \cdot \frac{qCy}{\delta y} \qquad {}_{q}k_2 = \frac{{}_{q}k_1}{3} $$

$$ {}_{q}k_3 = \frac{1}{1000} \frac{qCy}{\delta y} \qquad \frac{qCy}{\delta y} = \frac{ky}{mg} = {}_{q}k_y $$

qCc=0.4·qCy

注)

(1) qC ： せん断力係数

$$ \left(qC = \frac{\text{せん断力}(Q)}{\text{重量}(m \cdot g)} \right) $$

(2) qCc ， qCy ： ひび割れ点 A，降伏点 B におけるせん断力係数

(qCy = 0.2)

(3) qC_{peak} ： ピーク点Cにおけるせん断力係数

(4) Q ： せん断力(kN) (= $k \cdot x$)

(5) $_{q}k_1, {}_{q}k_2, {}_{q}k_3$： 剛性係数(1/cm)

$$ \left({}_{q}k_i = \frac{\text{初期剛性 } k_i}{\text{重量}(m \cdot g)} \right) $$

(6) 剛性低下率: 1/1000

$$ \left({}_{q}k_3 = \frac{1}{1000} \times {}_{q}k_y \right) $$

(7) h ： 減衰定数h (= 0.05)

(8) g ： 重力加速度(=980 (cm/sec^2))

図 4.3-10 トリリニア武田モデルの復元力特性 [4.3-8)]

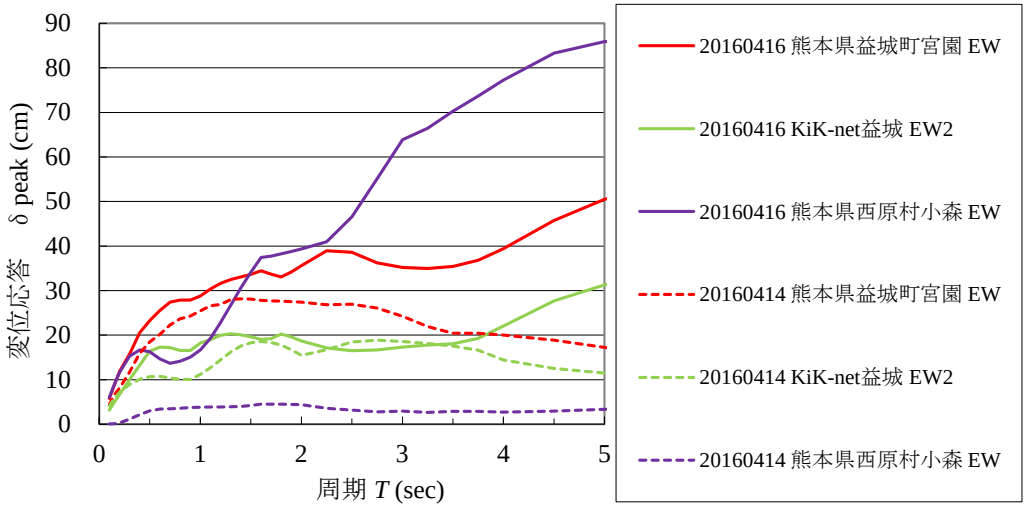


図 4.3-11 前震および本震による変位応答スペクトル(qCy=0.2, h =0.05)

$$ T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{ky}} = \frac{2\pi}{\sqrt{{}_{q}k_y \cdot g}} = 2\pi \sqrt{\frac{\delta y}{qCy \cdot g}} \qquad \text{式(4.3-1)} $$

前震および本震の地震波と、他の地震波とを比較するため、過去の地震波 9 波（2011 年東北地方太平洋沖地震時の建築研究所強震観測点[BRI 東北大-1FN192E]、K-NET の 2 地点[K-NET 築館 NS、K-NET 仙台 NS]、JMA 強震観測点[JMA 涌谷町新町 EW]、2007 年新潟県中越沖地震時の K-NET 柏崎 NS、2004 年新潟県中越地震時の新潟県川口町川口 EW、K-NET 小千谷 EW、1995 年兵庫県南部地震時の JMA 神戸中央区中山手 NS、JR 鷹取駅 NS、および人工地震波である(一財)日本建築センター模擬波[BCJ-Level2

（bedrock）］）による変位応答スペクトルを図 4.3-12、図 4.3-13 に示す。

図 4.3-12 より、周期 0.5 秒程度において、前震の益城町宮園 EW は過去の地震波等よりも大きな変位応答を示している。図 4.3-13 より、周期 0.5 秒程度において、本震の益城町宮園 EW および西原村小森 EW は過去の地震波等よりも大きな変位応答を示し、本震の KiK-net 益城 EW2 は 2004 川口町 EW または 1995 鷹取駅 NS と同程度に大きい。さらに、周期 5 秒では、本震の益城町宮園 EW および西原村小森 EW は 2007K-NET 柏崎 NS よりも大きな変位応答を示している。一方、限界変形時の層間変形角は、超高層建築物の時刻歴応答解析または限界耐力計算において一定値以下となることが設計規基準で求められている [4.3-10]。例えば、階高が 3m の場合、限界耐力計算における安全限界時の層間変位は、木造以外では 4cm 以下、木造では 10cm 以下となる。周期 0.5～1.5 秒において、変位応答が 10cm を超えていた地震波は、前震の益城町宮園 EW、KiK-net 益城 EW2、本震の 3 波（益城町宮園 EW、西原村小森 EW、KiK-net 益城 EW2）、2011K-NET 仙台 NS、2011JMA 涌谷町新町 EW、2004 新潟県川口町川口 EW、2004K-NET 小千谷 EW、1995JMA 神戸中央区山手 NS、1995JR 鷹取 NS である。

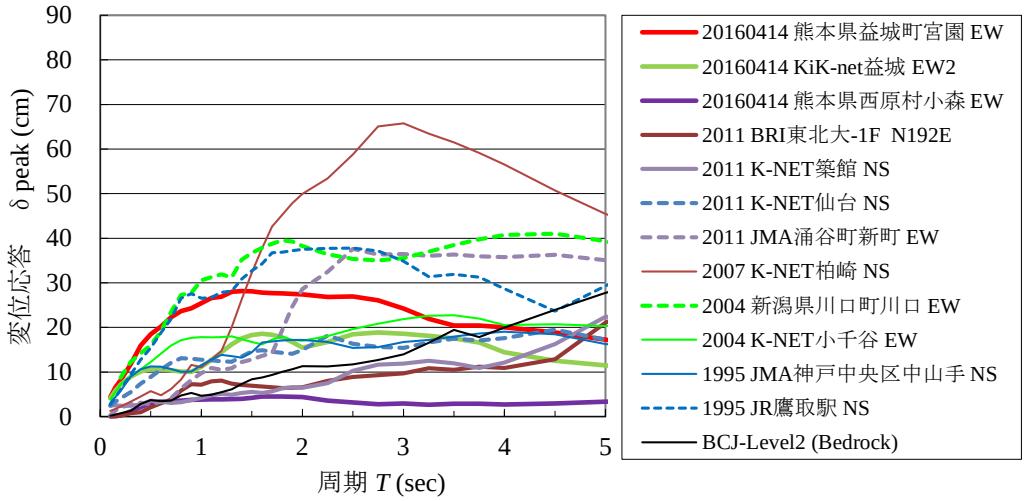


図 4.3-12　前震と過去の観測波等による変位応答スペクトル(qCy=0.2, *h* =0.05)

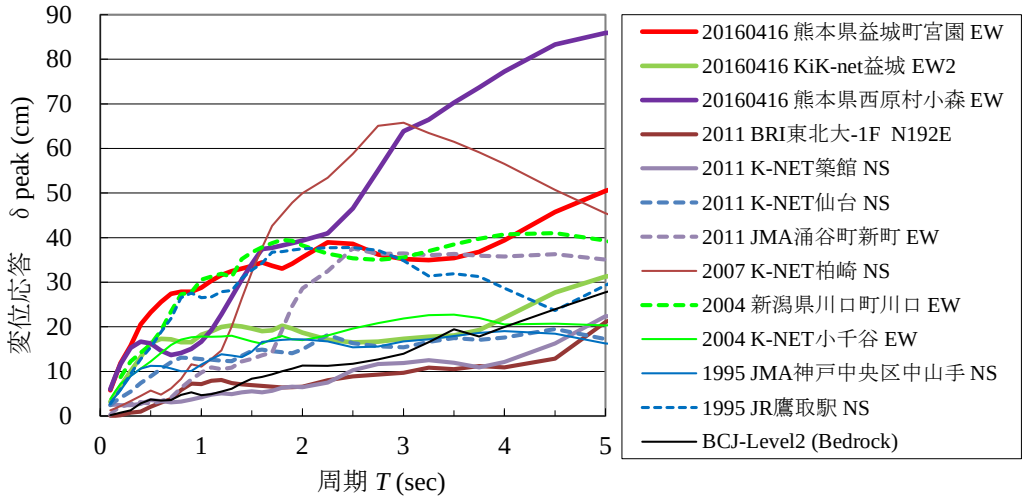


図 4.3-13　本震と過去の観測波等による変位応答スペクトル(qCy=0.2, *h* =0.05)

平成 28 年（2016 年）熊本地震では、前震の 2 日後に本震が発生したことから、これらの 2 波を継続した地震波についても、1 質点弾塑性時刻歴解析により変位応答スペクトルを求める（図 4.3-14）。

益城町宮園および西原村小森の観測波は、前震、本震ともに継続時間 120 秒であり、KiK-net 益城の継続時間は 300 秒であることから、前震および本震を継続した地震波の継続時間はそれぞれ 240 秒、600 秒としている。図 4.3-14 より、益城町宮園および KiK-net 益城の前震+本震(20160414+16)が、周期 0.1～4 秒において、本震の変位応答よりも大きい。それに対して、西原村小森の前震+本震の変位応答は、周期 1 秒以下で、本震よりも小さい。なお、前震+本震では、地震波を継続しているので、本震開始時に、解析モデルの原点に戻らず、前震の解析終了時点から続けて、本震を解析している。そのため、前震+本震の解析結果が、本震と異なる場合があり、変位応答が大きくなる場合と、わずかだが、小さくなる場合の両方がある。

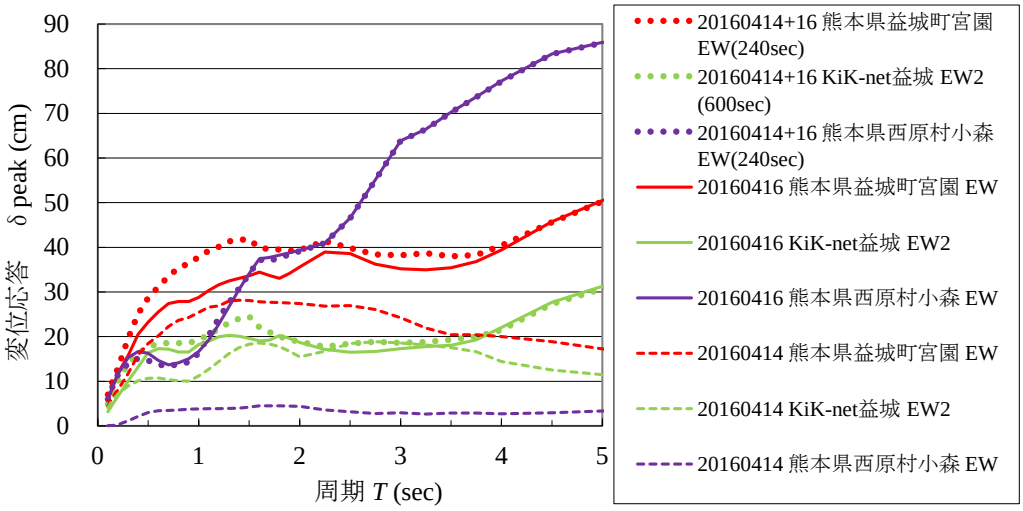


図 4.3-14　前震、本震および前震と本震の 2 波継続(20160414+16)の変位応答スペクトルの比較 (qCy=0.2, *h* =0.05)

参考文献

4.3-1)　国立研究開発法人防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net) 、平成 28 年 8 月閲覧 (http://www.kyoshin.bosai.go.jp/)

4.3-2)　気象庁　強震波形 (熊本県熊本地方の地震)、平成 28 年 8 月閲覧 (http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1604160125_kumamoto/index.html)

4.3-3)　地方公共団体震度計の波形データ、平成 28 年 8 月閲覧 (http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/jishin/1604160125_kumamoto/index2.html)

4.3-4)　気象庁、計測震度の算出方法、平成 28 年 8 月閲覧 (http://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc_sindo.htm)

4.3-5)　Hata, Y., H. Goto, and M. Yoshimi, Preliminary Analysis of Strong Ground Motions in the Heavily Damaged Zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the Mainshock of the 2016 Kumamoto Earthquake (M_w 7.0) Observed by a Dense Seismic Array, Seismo. Res. Lett., Vol. 87, No.5, 2016

4.3-6)　山田真澄、大邑潤三、後藤浩之、2016 年熊本地震における前震と本震の益城町の建物被害、日本地球惑星科学連合 2016 年大会、MIS34-P82、2016

4.3-7)　国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所 ： 平成 23 年 (2011 年) 東北地方太平洋沖地震被害調査報告、国土技術政策総合研究所資料 No.674、建築研究資料 No.136、

2012年3月

4.3-8) Inukai M., Kashima T., Saito T., Azuhata T. : Predominant periods of multi-degree-of-freedom system analysis and dynamic soil-structure interaction for building structures, Proceedings of the VI International Conference on Coupled Problems in Science and Engineering, International Center for Numerical Methods in Engineering (CIMNE) Barcelona, Spain, E-book, May 2015, pp.278-289

4.3-9) Inukai M., Azuhata T., Morita K., Noguchi K., Tani M.: Out-of-plane Dynamic Test of Unreinforced Masonry Walls Retrofitted and Response Values of Recent Acceleration Records, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, Santiago Chile, Jan. 2017(Publishing)

4.3-10) 建築物の構造関係技術基準解説書編集委員会: 2015 年版建築物の構造関係技術基準解説書、全国官報販売協同組合、2015年6月

4.4　建築研究所強震観測ネットワークの強震記録

建築研究所では、全国 85 か所の地点で、強震観測を行っている。観測の対象は主に建築物である。平成 28 年（2016 年）熊本地震では、東京から西の 18 の観測地点で強震記録が得られた。得られた計測震度と最大加速度の一覧を表 4.4-1 に、観測地点位置を図 4.4-1 に示す。なお建築物の場合、建築物の軸に合わせて設置方位(北から時計回りの角度)で示した方向に強震計を設置しており、図 4.4-2 から図 4.4-24 の凡例の 3 桁の数字はその方位を表している。建築研究所の強震観測網の中では、宮崎県の延岡県税・総務事務所の 1 階で、計測震度が 5.0(震度 5 強)と最大を記録した。他の九州の観測地点では震度 4、中国、四国、関西、そして名古屋では震度 2 から 3、東京周辺では震度 1 であった。以下、震央に近い 5 つの観測地点で得られた強震記録について、詳細にみる。

宮崎県延岡県税・総務事務所の 1 階および 4 階で得られた加速度波形を図 4.4-2 と 4.4-3 に、1 階の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-4 に、4 階の記録の 1 階の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-5 に示す。加速度波形を見ると、主要動の継続時間は 10 秒弱と短く、55 秒過ぎには、別の地震によると思われる波群が見える。フーリエ振幅スペクトル比は幅 0.1Hz の Parzen Window によって平滑化し、横軸を周期として描画している。1 階の記録の擬似速度応答スペクトルは、周期 1 秒辺りに大きな山を有し、応答速度は 100cm/s 近くと大きな値となっている。フーリエ振幅スペクトル比には、0.17 秒と 0.12 秒に建築物の 1 次固有周期とみられる明瞭なピークが表れている。

大分市庁舎の 1 階および 9 階で得られた加速度波形を図 4.4-6 と 4.4-7 に、1 階の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-8 に、9 階の記録の 1 階の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-9 に示す。主要動の継続時間は 40 秒超と長くなっており、直後に発生した大分県中部の地震の影響が大きいと考えられる。1 階の記録の擬似速度応答スペクトルには、N264E 方向の周期 7 秒辺りに緩やかなピークがあり、比較的長周期が卓越した地震動であった。フーリエ振幅スペクトル比の 0.66 秒と 0.54 秒の鋭いピークが、建築物の 1 次固有周期対応する。

福岡第 2 合同庁舎の地表、地下 1 階および 10 階で得られた加速度波形を図 4.4-10 から図 4.4-12 に、地表および地下 1 階の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-13 に示す。また、地表と地下 1 階､地表と 10 階､および地下 1 階と 10 階の記録のフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-14 から図 4.4-16 に示す。主要動の継続時間は 30 秒程度で、大分市庁舎よりは短く見える。地表および地下 1 階の記録の擬似速度応答スペクトルは、比較的平坦な形状で、応答値は 10cm/s 以下である。地表と 10 階、および地下 1 階と 10 階のフーリエ振幅スペクトル比には、建築物の固有 1 次周期に対応する 0.69 秒と 0.80 秒に明瞭なピークが表れる。

宮崎県庁 1 号館の 1 階および 9 階で得られた加速度波形を図 4.4-17 と 4.4-18 に、1 階の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-19 に､9 階の記録の 1 階の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-20 に示す。加速度波形を見ると、加速度波形を見ると、主要動の継続時間はやはり 30 秒程度である。1 階の記録の擬似速度応答スペクトルは、両水平方向とも周期 0.7 秒から 1 秒辺りに卓越がみられる。フーリエ振幅スペクトル比には、0.55 秒と 0.64 秒に 1 次固有周期と思われるピークが見られる。

広島第 2 合同庁舎の地下 1 階および 11 階で得られた加速度波形を図 4.4-21 と 4.4-22 に、地下 1 階の記録の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 4.4-23 に、11 階の記録の地下 1 階の記録に対するフーリエ振幅スペクトル比を図 4.4-24 に示す。揺れの継続時間は優に 80 秒を超えている。地下 1 階の記録の擬似速度応答スペクトルは、0.8 秒と 10 秒辺りの卓越が特徴的である。フーリエ振幅ス

ペクトル比には、両水平方向とも 1 秒弱に明瞭なピークが表れ、建築物の 1 次固有周期に対応する。

表 4.4-1 強震記録一覧(1/2)

記号	観測地点	Δ (km)	計測震度	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s^2)			備考
						H1	H2	V	
NBO	宮崎県延岡県税・総務事務所	87	5.0	358°	01F*	102.2	122.8	35.0	RC/3F+P1F
					04F	140.4	141.2	41.9	
OIT	大分市庁舎	96	4.2	174°	01F*	55.4	56.7	36.9	SRC/9F+B2F+P1F
					09F	287.7	113.2	102.9	
FKO	福岡第 2 合同庁舎	98	3.7	233°	GL*	44.4	55.1	16.5	SRC/10F+B1F+P2F
					B1F	25.8	35.7	11.7	
					10F	85.4	68.3	24.6	
MYZ	宮崎県庁 1 号館	112	4.3	177°	01F*	66.5	57.0	20.7	SRC/9F+B1F+P1F
					09F	167.3	240.1	55.0	
HRS	広島第 2 合同庁舎	241	2.7	287°	B1F*	10.7	9.3	4.7	RC/3F+B1F+P2F
					11F	53.9	40.4	10.3	
HMD	島根県浜田合同庁舎別館	267	2.3	160°	01F*	5.4	8.6	2.2	RC/3F+P1F
TKM	高松国税局	352	2.4	188°	GL*	6.9	4.4	2.3	SRC/8F+B1F+P1F
					B1F	5.7	4.0	2.2	
					09F	10.2	18.9	2.4	
YNG	米子市庁舎	380	2.9	040°	B1F*	10.5	9.4	1.4	RC/5F+B1F+P1F
SKS	大阪府咲洲庁舎	479	2.4	229°	01F*	6.1	6.6	2.6	S/52F+B3F+P3F(制振)
					18F	14.6	24.0	3.6	
					38F	21.1	56.8	3.3	
					52FN	34.3	71.3	6.7	
					52FS	35.9	71.1	15.9	
OSK	大阪合同庁舎 3 号館	490	2.2	189°	B3F*	4.4	4.2	2.1	S/15F+B3F+P3F
					18F	28.0	32.6	3.3	
OS1	大阪合同庁舎 1 号館	490	2.3	007°	GL*	4.6	4.6	2.2	SRC/8F+B1F+P2F(免震)
					B1F	4.8	4.6	2.1	
					01F	5.2	5.0	2.1	
					08F	5.7	5.6	2.1	
MTS	三重県松阪庁舎	572	1.6	216°	01F*	1.3	2.3	1.0	SRC/6F+P1F
					07F	1.9	2.3	1.0	
KNY	金山南ビル	625	1.7	026°	B2F*	3.2	2.2	1.5	S/31F+B4F
					11F	11.9	6.7	1.8	
					22F	25.8	13.7	1.8	
					30F	37.5	17.4	2.3	
HSG	アーバンラフレ星ヶ丘 10 号棟	633	1.4	000°	GL*	1.9	1.1	0.7	RC/25F
					01F	2.2	1.1	0.6	
					25F	3.2	2.4	0.6	
YKH2	横浜第 2 合同庁舎	870	0.9	213°	B2F*	1.6	1.0	0.5	S/23F+B3F+P1F
					12F	2.8	4.2	0.5	
					23F	3.9	7.1	0.5	

Δ: 震央距離，計測震度は*位置の記録から算出，最大加速度の H1 は設置方位の方向，H2 は設置方位+90°の方向，V は鉛直方向，備考欄は構造/階数を表す

表 4.4-1　強震記録一覧(2/2)

記号	観測地点	Δ (km)	計測震度	設置方位	位置	最大加速度 (cm/s^2)			備考
						H1	H2	V	
CG7	中央合同庁舎 7 号館	887	0.5	294°	01F*	1.1	1.1	0.5	S/32F+B2F+P1F(制振)
					B2F	1.1	1.2	0.4	
					16F	3.7	3.3	0.6	
					32F	5.9	6.6	0.5	
CG2	中央合同庁舎 2 号館	888	0.8	208°	B4F*	0.0	1.7	0.7	S/21F+B4F+P1F(制振)
					13F	3.2	2.4	0.8	
					21F	4.3	3.4	1.0	
TKD	コーシャタワー佃	891	1.0	180°	01F*	1.7	1.4	0.7	RC+SRC/37F+B1F
					18F	4.3	3.2	0.8	
					37F	7.0	6.2	0.8	

Δ: 震央距離，計測震度は*位置の記録から算出，最大加速度の H1 は設置方位の方向，H2 は設置方位+90°の方向，V は鉛直方向，備考欄は構造/階数を表す

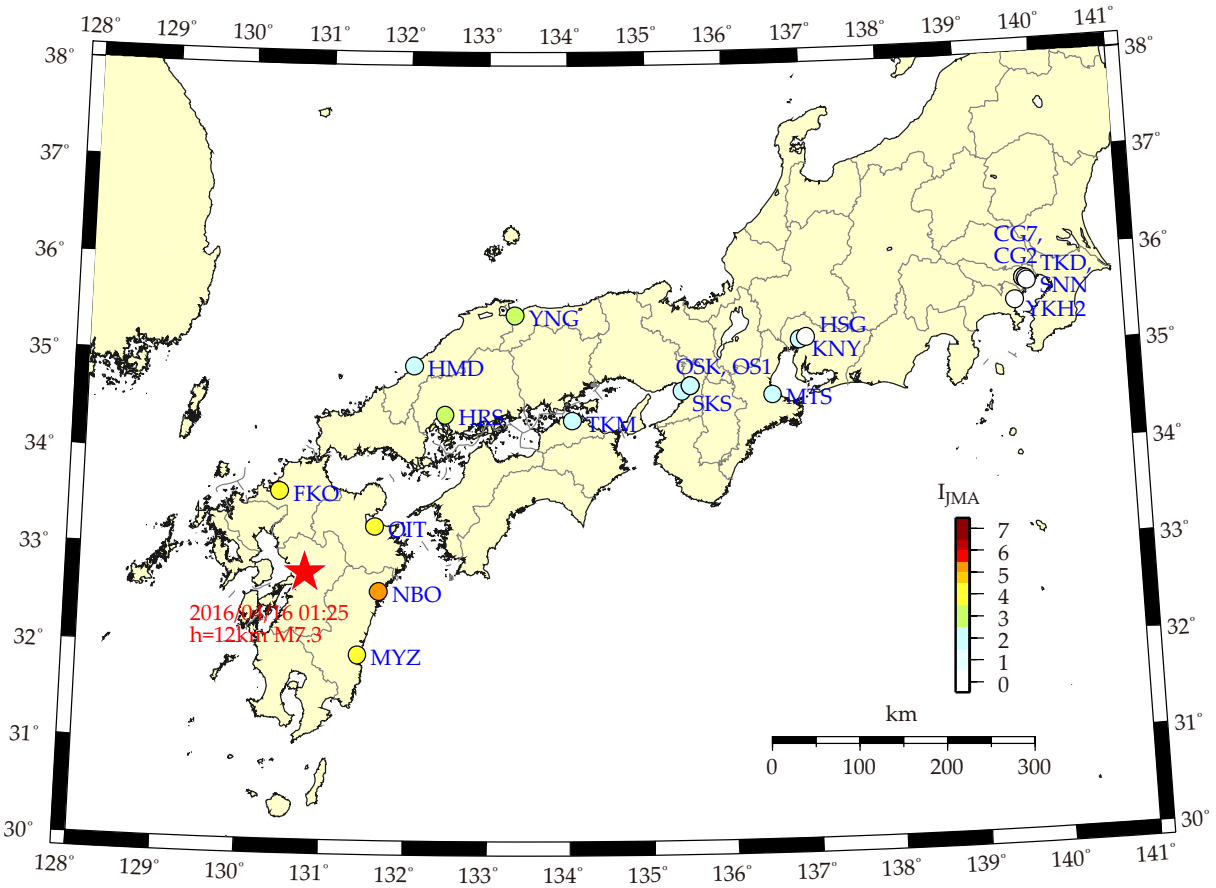


図 4.4-1　震央位置(★)と強震観測地点

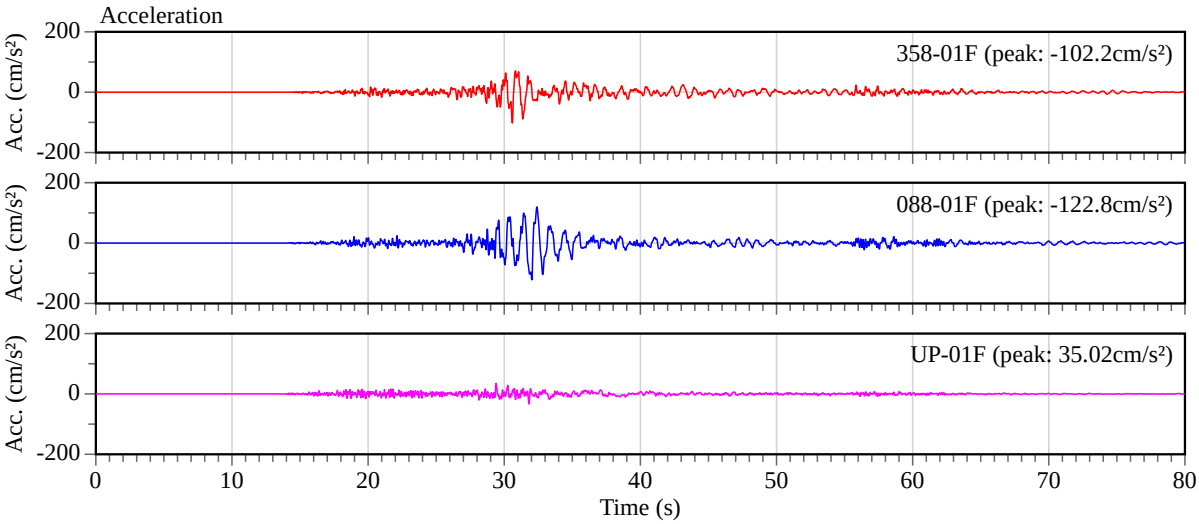


図 4.4-2　宮崎県延岡県税・総務事務所 1 階(01F)の加速度波形

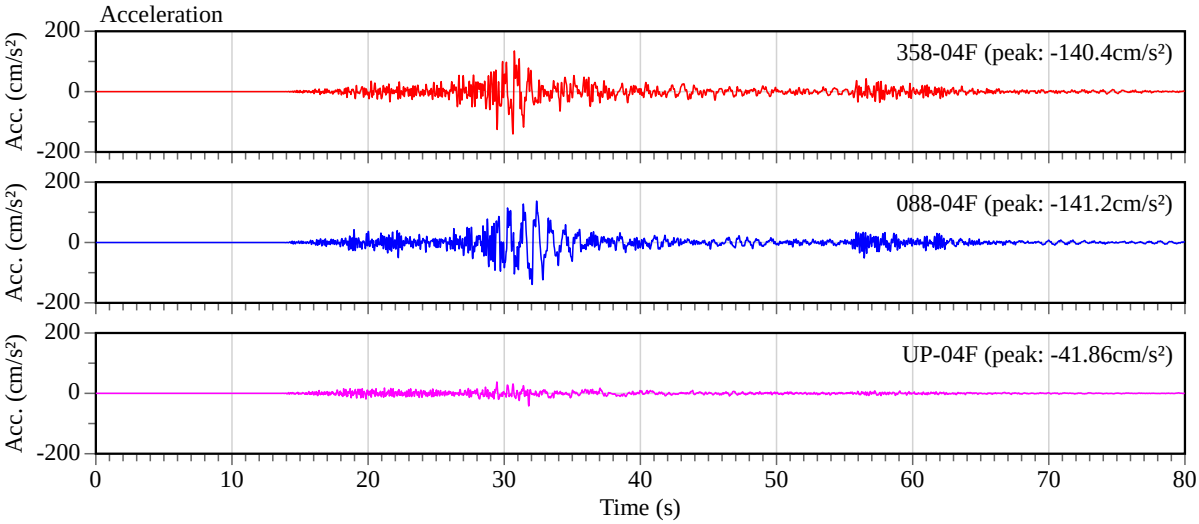


図 4.4-3　宮崎県延岡県税・総務事務所 4 階(04F)の加速度波形

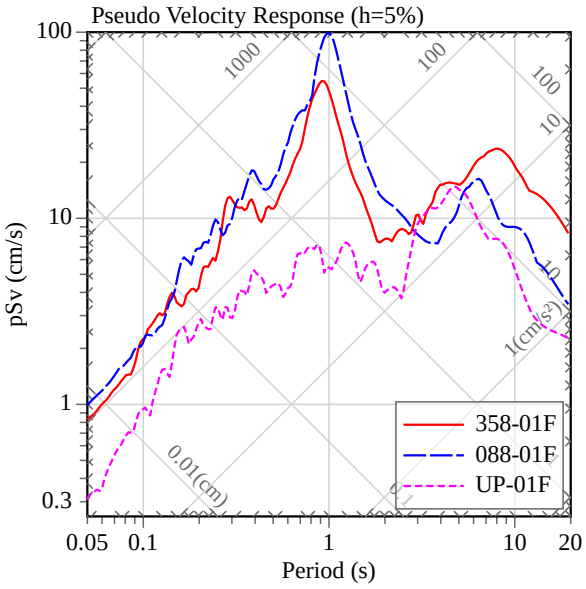


図 4.4-4　延岡県税・総務事務所 1 階(01F)の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

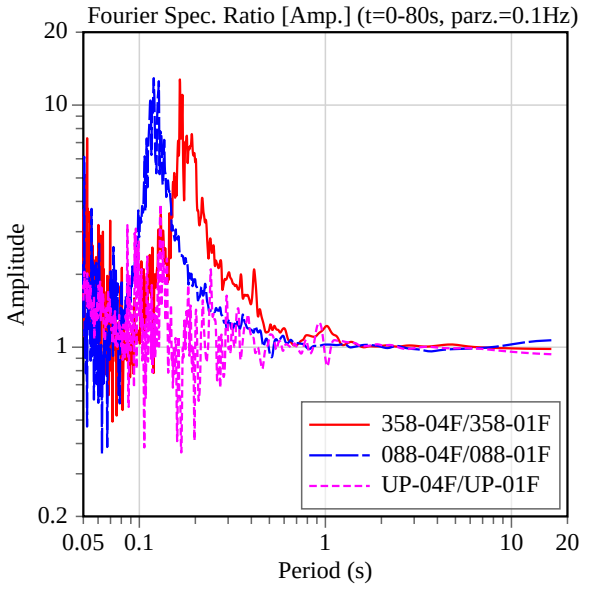


図 4.4-5　延岡県税・総務事務所のフーリエ振幅スペクトル比(04F/01F)

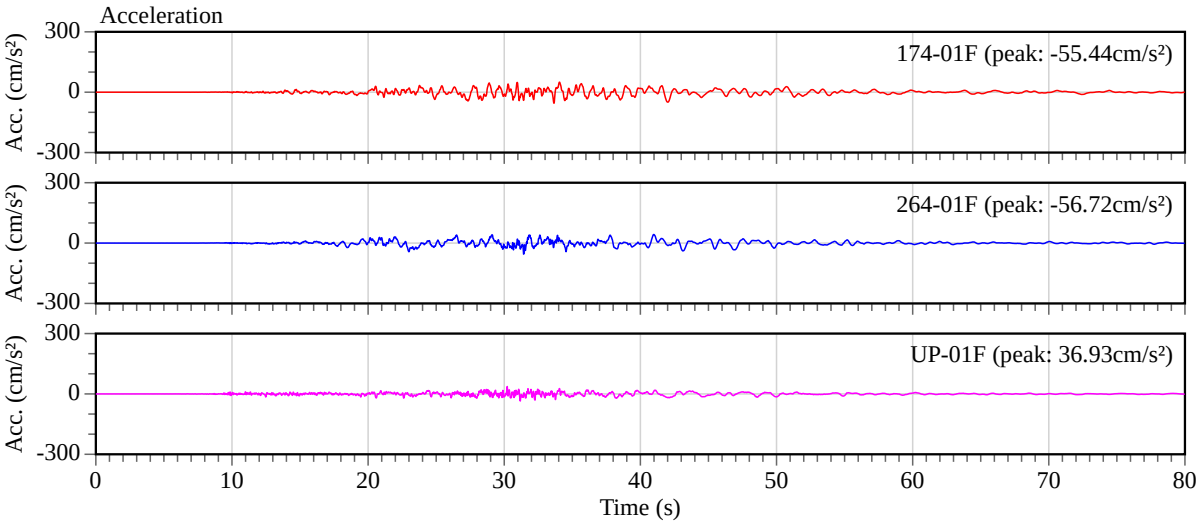


図 4. 4-6　大分市庁舎 1 階(01F)の加速度波形

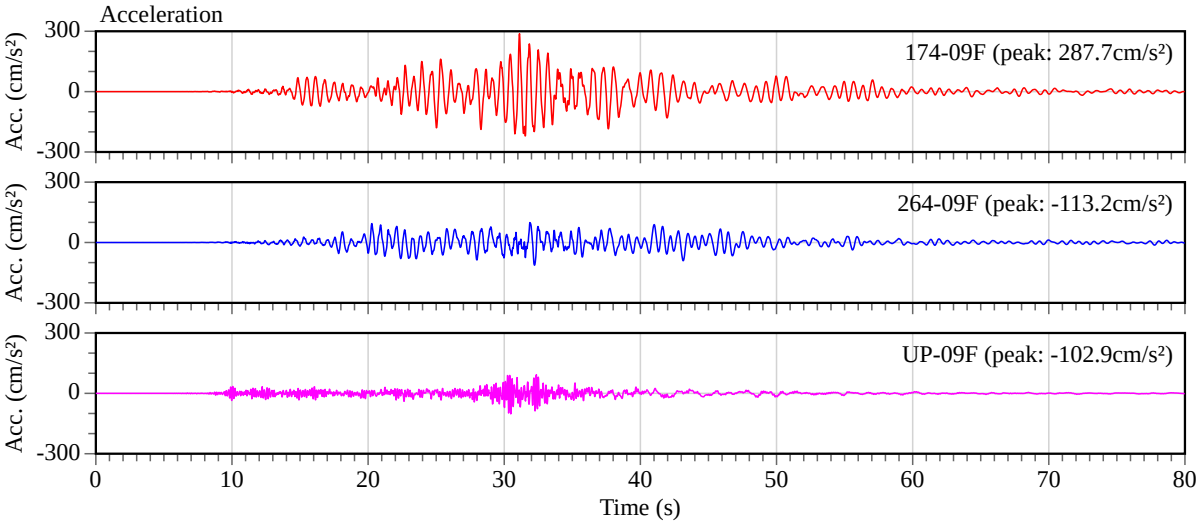


図 4. 4-7　大分市庁舎 9 階(09F)の加速度波形

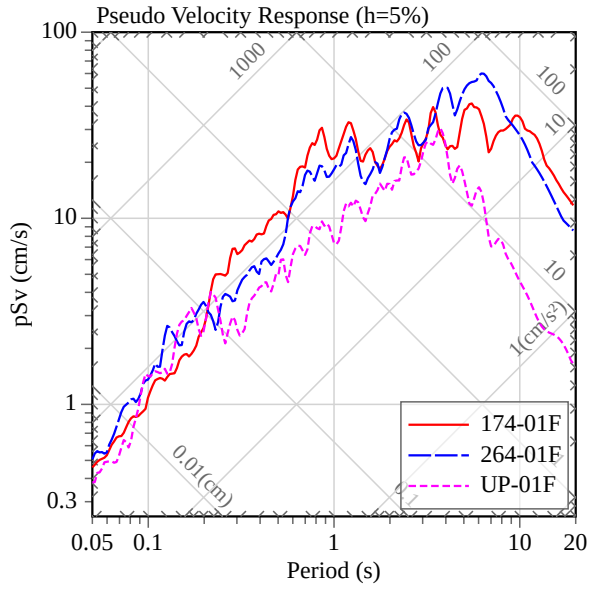


図 4. 4-8　大分市庁舎 1 階(01F)の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

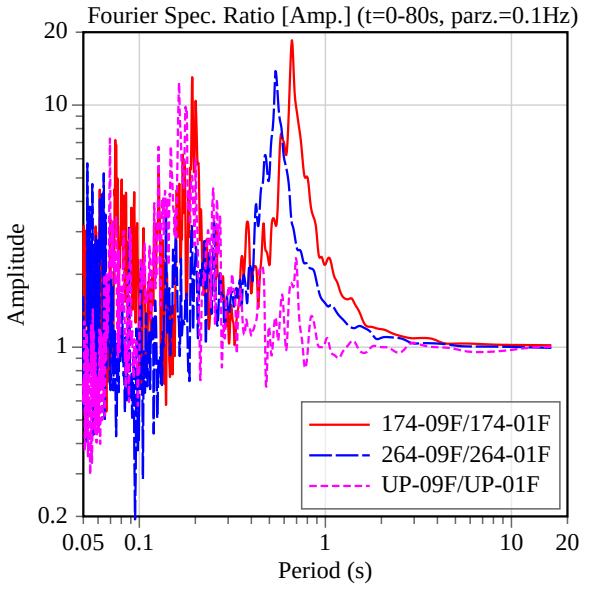


図 4. 4-9　大分市庁舎のフーリエ振幅スペクトル比(09F/01F)

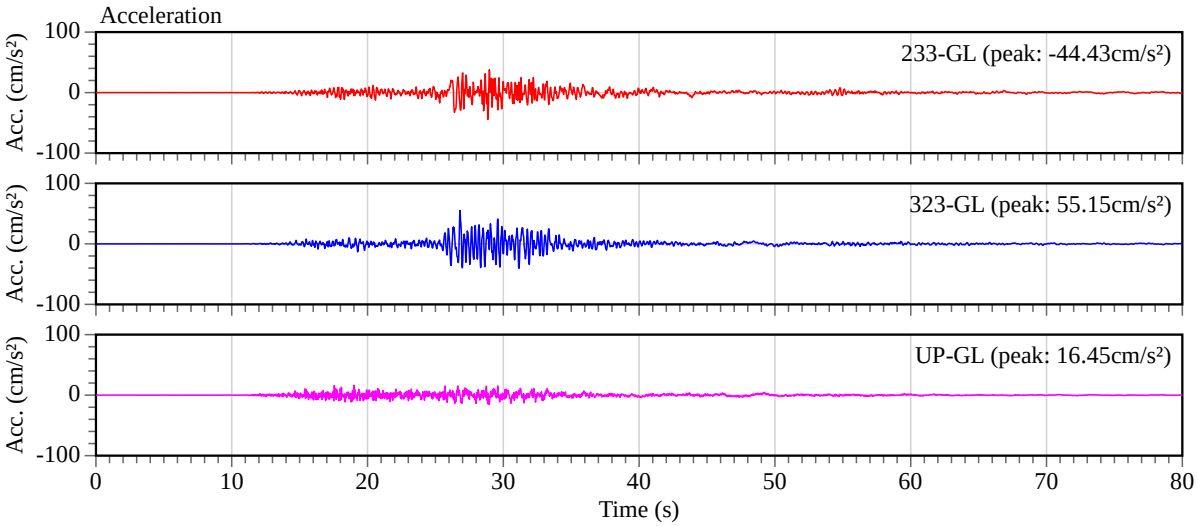


図 4.4-10 福岡第 2 合同庁舎地表(GL)の加速度波形

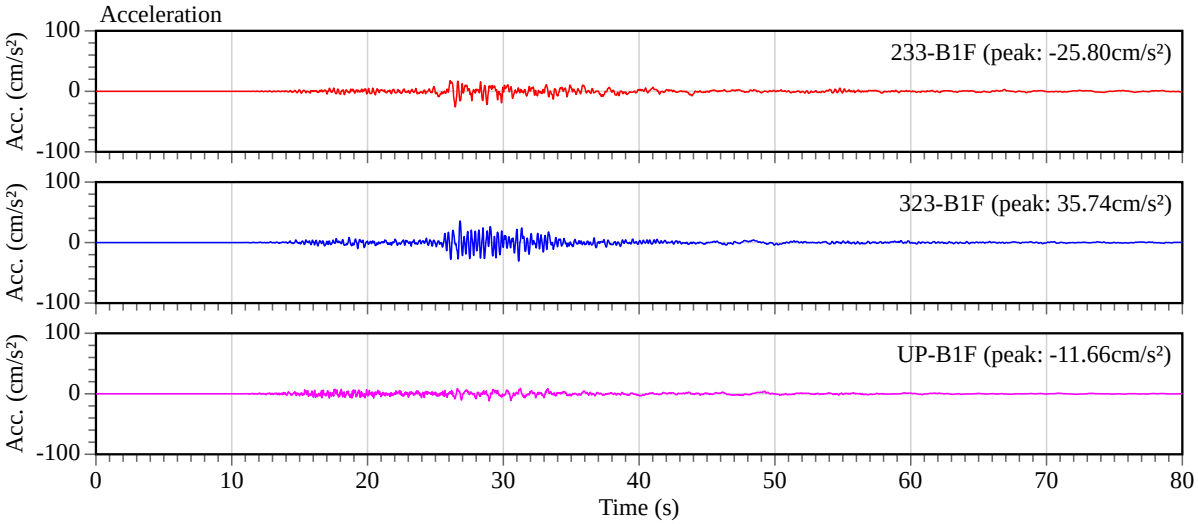


図 4.4-11 福岡第 2 合同庁舎地下 1 階(B1F)の加速度波形

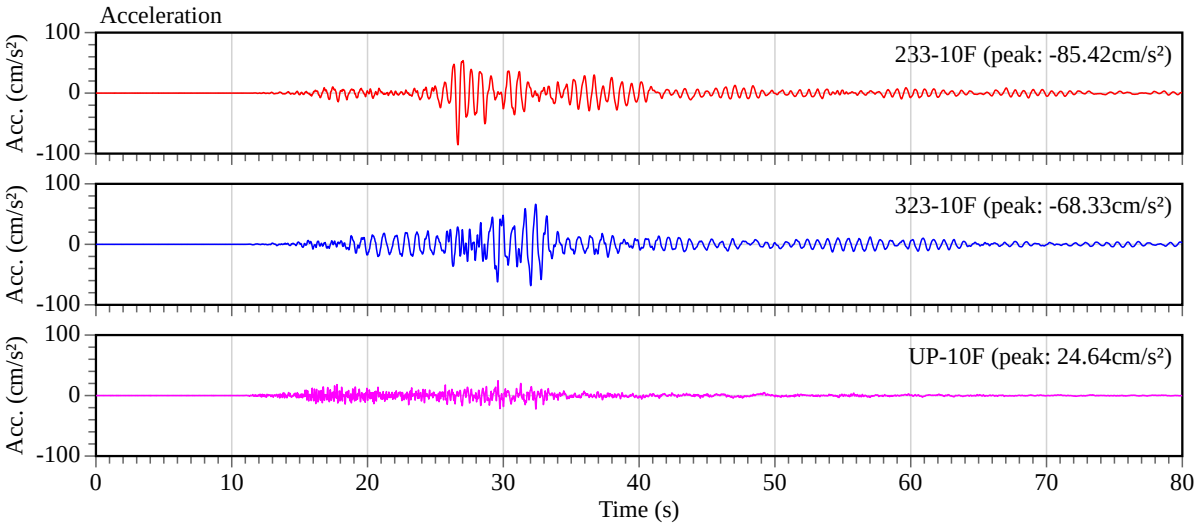


図 4.4-12 福岡第 2 合同庁舎 10 階(10F)の加速度波形

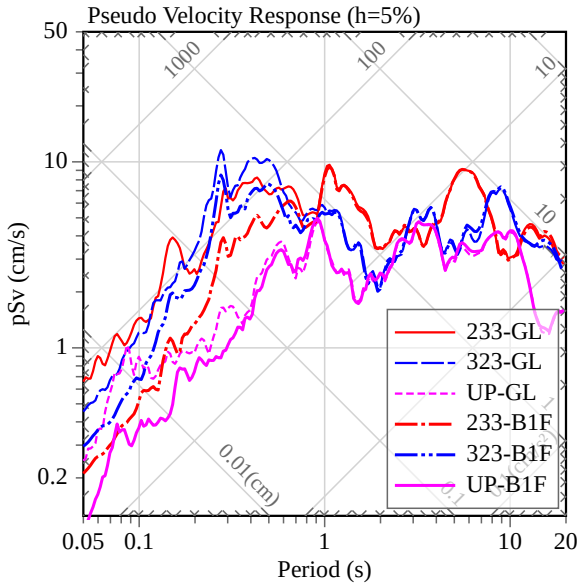


図 4.4-13 福岡第 2 合同庁舎地表(GL)と地下 1 階(B1F)の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

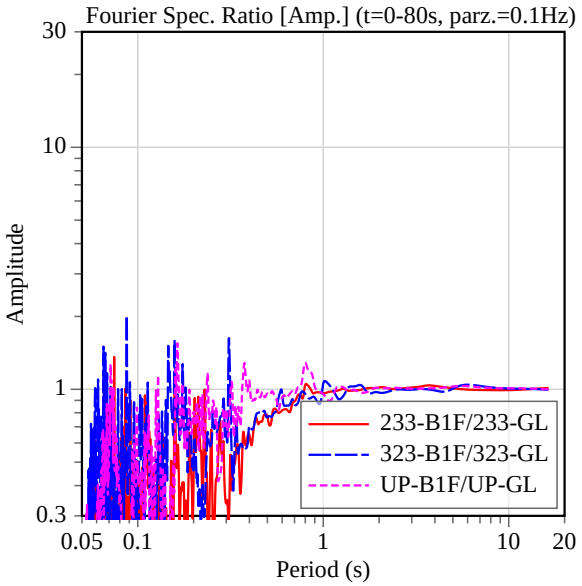


図 4.4-14 福岡第 2 合同庁舎のフーリエ振幅スペクトル比(B1F/GL)

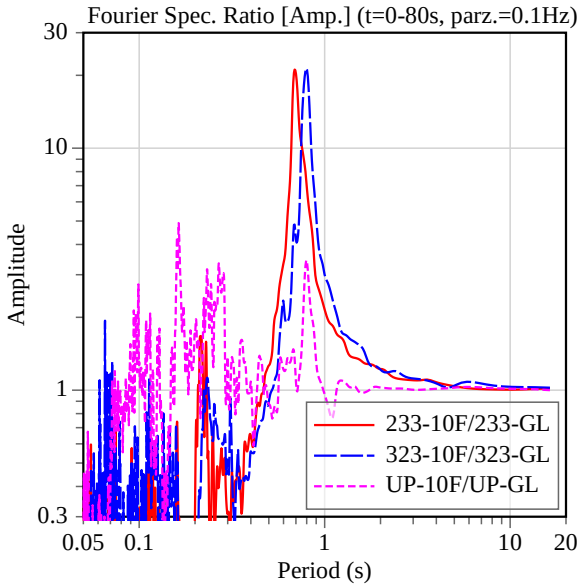


図 4.4-15 福岡第 2 合同庁舎のフーリエ振幅スペクトル比(10F/GL)

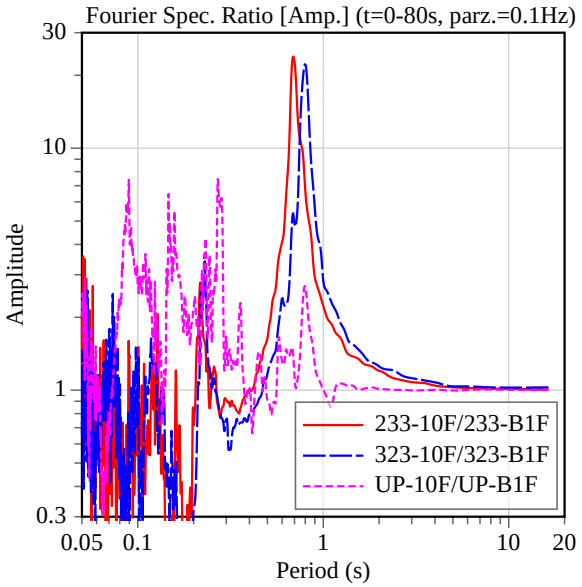


図 4.4-16 福岡第 2 合同庁舎のフーリエ振幅スペクトル比(10F/B1F)

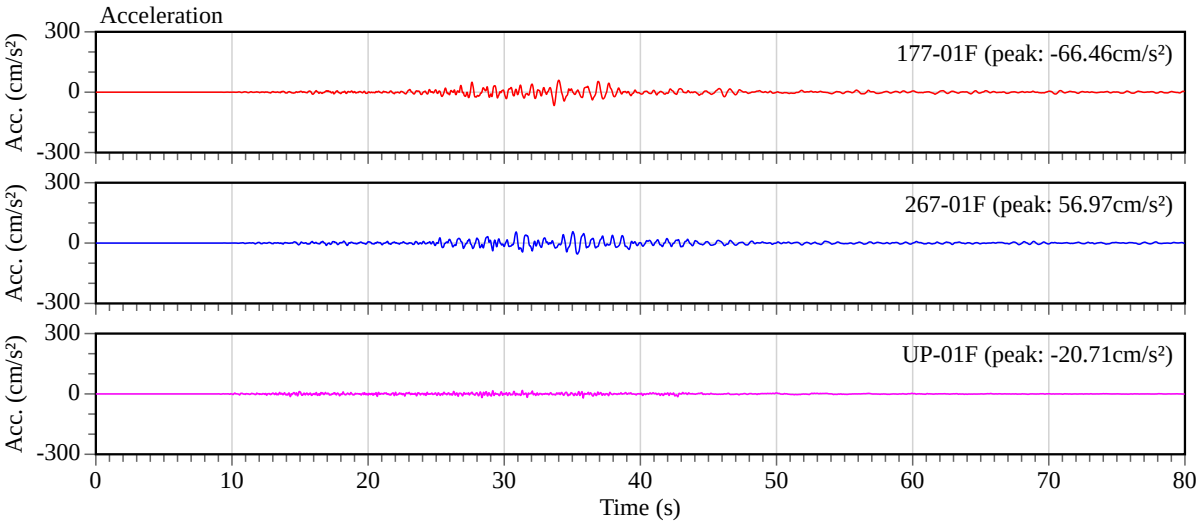


図 4. 4-17 宮崎県庁 1 号館 1 階(01F)の加速度波形

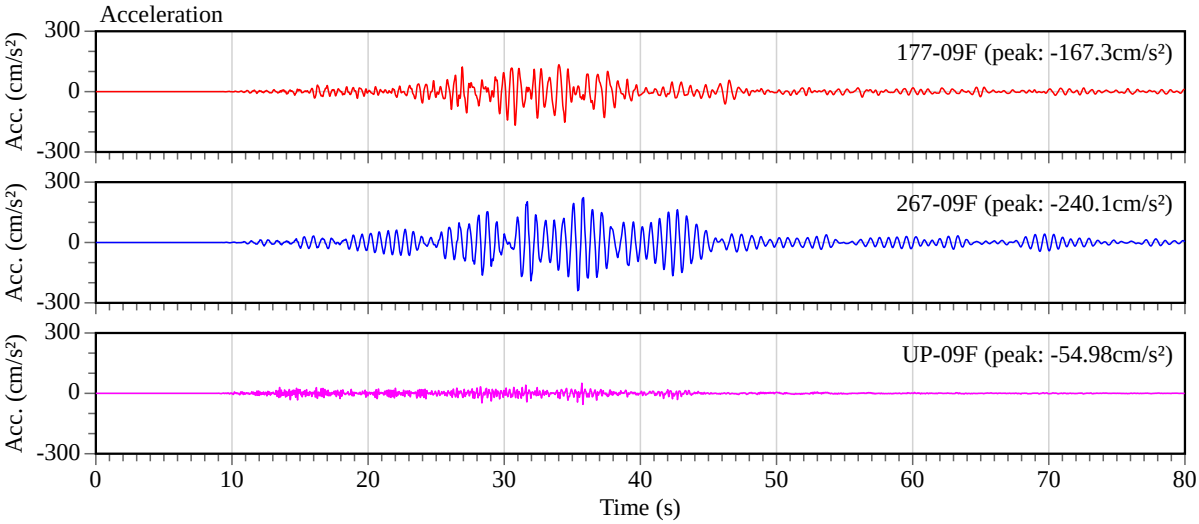


図 4. 4-18 宮崎県庁 1 号館 9 階(09F)の加速度波形

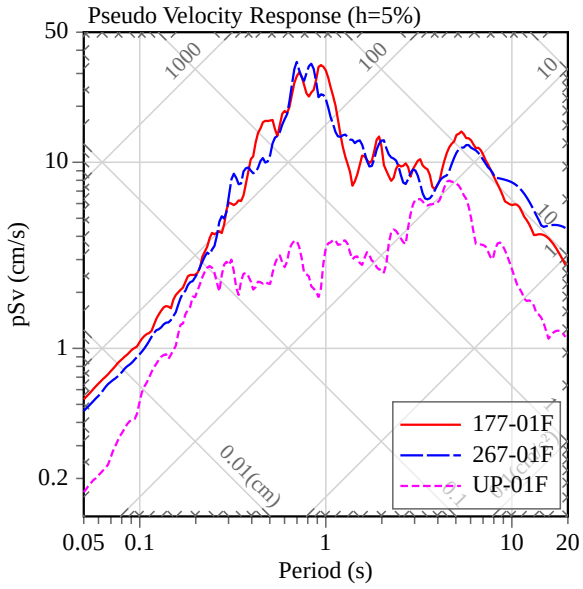


図 4. 4-19 宮崎県庁 1 号館 1 階(01F)の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

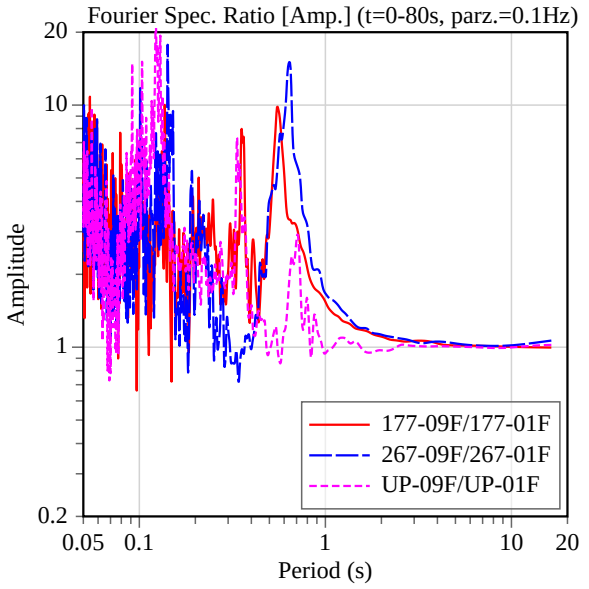


図 4. 4-20 宮崎県庁 1 号館のフーリエ振幅スペクトル比(09F/01F)

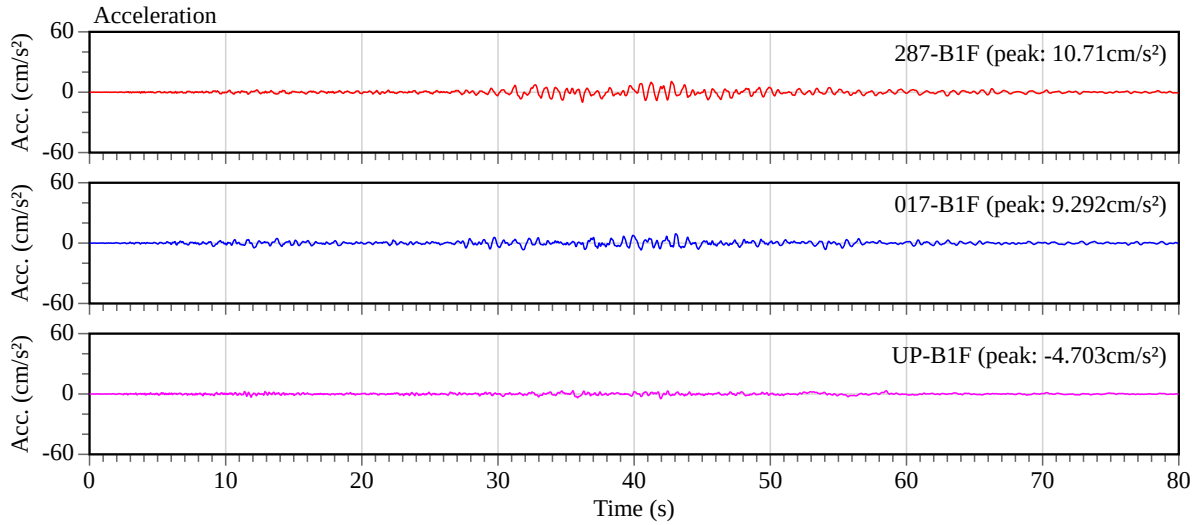


図 4. 4-21　広島第 2 合同庁舎地下 1 階(B1F)の加速度波形

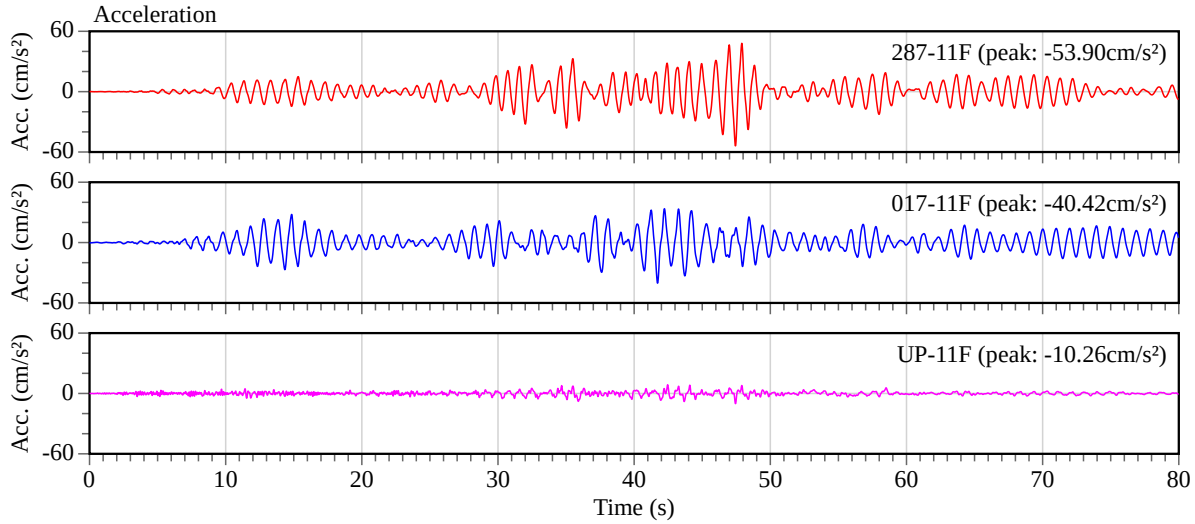


図 4. 4-22　広島第 2 合同庁舎 11 階(11F)の加速度波形

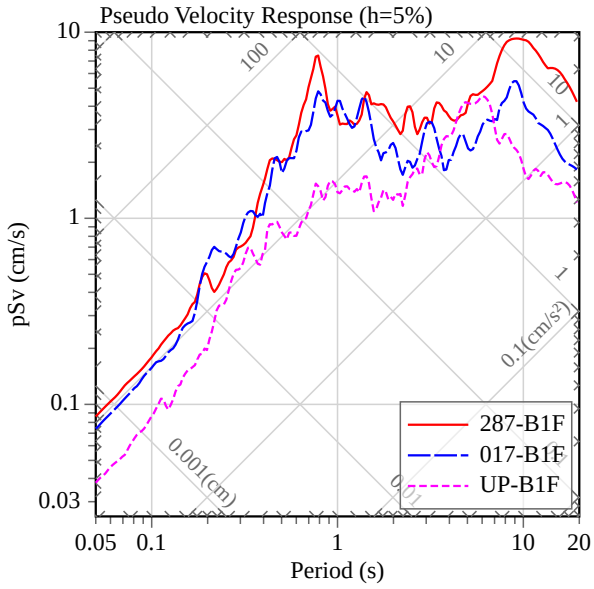


図 4. 4-23　広島第 2 合同庁舎 B1 階(B1F)の擬似速度応答スペクトル(h=5%)

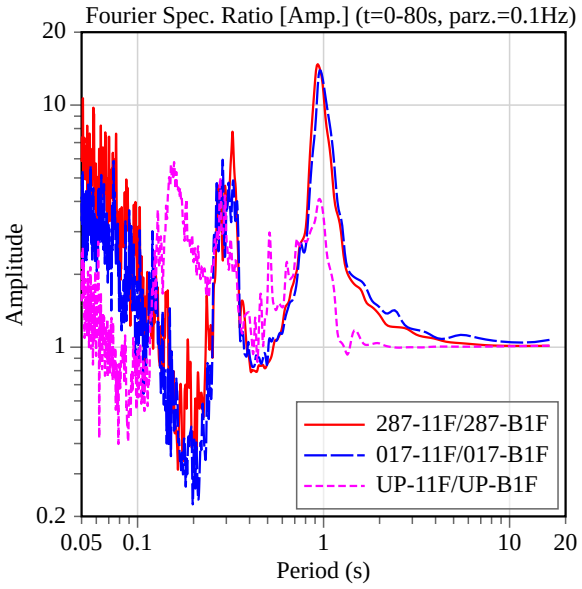


図 4. 4-24　広島第 2 合同庁舎のフーリエ振幅スペクトル比(11F/B1F)

4.5 まとめ

本章における検討結果を、以下のようにまとめる。

平成 28 年（2016 年）熊本地震の特徴は、内陸の活断層の活動に因ること、震源の近くでは強い揺れに何度も襲われた地区があること（最大震度 7 が複数回あるいは複数地点で観測された）、地表に地震断層が出現したこと、誘発された地震を含めた余震の活動域が九州をほぼ横断する長さを持つこと、が挙げられる。

被災地域の地形および地質は、甚大な被害を受けた熊本市、益城町、西原村は別府－島原地溝帯に重なること、益城町で木造建築物の被害が甚大であった県道 28 号から秋津川に掛けての範囲は周辺とは区別・分類されている区域とほぼ一致していること、が挙げられる。

気象庁の震度計、防災科学技術研究所の K-NET や KiK-net の強震計、および熊本県等の震度情報ネットワークの震度計で多くの強震観測記録が得られ公開されている。震度 7 が観測された益城町および西原村で得られた地震動は、擬似速度応答スペクトル（減衰定数 5%）において過去地震および建築基準法令で規定する地震動（告示波）と比較した場合、周期１～２秒の範囲で、前震については過去地震と同程度以下であったが、本震については過去地震（ＪＲ鷹取(1995)、川口町川口（2004)）を超える記録が観測されている。前震および本震を一連の地震動と考えた場合、擬似速度応答スペクトルは前震と本震のそれを包絡した形状、エネルギースペクトルは前震のスペクトル振幅の２乗と本震のスペクトル振幅の２乗の和が前震＋本震のスペクトル振幅の２乗とほぼ一致していた。弾塑性応答解析に基づいた弾塑性変位応答スペクトルにおいても、特定の周期帯域に限定すれば、過去の地震における大きなレベルのものと同程度または超えるものであった。

建築研究所強震観測ネットワークは、東京から西の 18 の観測地点で強震記録が得られた。震央距離が最も短い宮崎県の延岡県税・総務事務所 1 階で最大の計測震度 5.0(震度 5 強)を記録したほか、他の九州の観測地点では震度 4、中国、四国、関西、そして名古屋では震度 2 から 3、東京周辺では震度 1 であった。

第5章　地震動による建築物等の被害

5.1　建築物等の地震被害調査の方針

熊本地震は、震度7を記録した地震が、4月14日21時26分の前震*1と、4月16日1時25分の本震*2の2回発生したことに加えて、震度6弱以上を記録する地震も5回*3発生し、さらに余震の回数が過去の地震に比べても多いことが特徴である。これらの地震による建築物の被害は、震度7を記録した益城町や西原村に集中して見られるが、震度6弱以上の震度を経験した行政区域も多く、被害は上記以外の比較的広い地域にも広がっている。

建築物等の被害調査は、4月14日21時26分の前震が発生したことを受け、まず初動調査として、基本的な被害情報を把握し追加調査等の必要性を検討するために4月15～17日の予定で第1次調査班を派遣した。しかし、この派遣途中に本震が発生し被害がさらに拡大したことを受け、4月16日から順次、木造、鉄筋コンクリート（RC）造等、鉄骨造、地盤・基礎、免震建築物、非構造、建築設備、火災の分野ごとに、被害の原因究明や今後の対策につなげるための被害状況調査として調査班を派遣することとした。なお、これらの調査は、国土交通省住宅局の要請に基づくものと位置づけられ、上記の方針により8月までに14次に亘る調査班を派遣した。それらの調査結果は、随時国土交通省住宅局に対して報告を行うとともに、その多くは国総研・建研のHPで公表してきた。また、その他の補足的な情報収集等を国総研・建研の自主調査として行っている。

木造建築物の調査では、住宅の倒壊等が多く見られた益城町、西原村、南阿蘇村の被害調査を第2次調査として行ったほか、益城町における日本建築学会九州支部熊本地震災害調査委員会の悉皆調査とそれらの建築物を対象とした国土交通省住宅局における建設年代調査の情報提供を受け、集計や分析作業を行うとともに、特に築年数が浅い木造建築物で倒壊・崩壊の被害が生じた建築物を抽出し、その被害原因の究明に資する調査を第6次および第10次調査として実施した。なお、日本建築学会九州支部熊本地震災害調査委員会および国土交通省住宅局とは予め覚え書きを締結し、これらの機関との間で情報を共有することで調査を効率的に進めることとした。

鉄骨造建築物の調査では、熊本市内と益城町において、外観からの被害概要調査を第3次調査として実施した。なお、鉄骨造建築物は通常は構造躯体が外装材に被覆されているため、被害が大きなものでなければ躯体の被害状況を確認することは難しい。そこで、第8次調査では鉄骨造建築物の倒壊や大破などの被害が見られた益城町において、鉄骨造建築物の被害原因を特定するための調査を行った。また、第13次調査として、建築物の内部調査が可能である学校体育館等の被害調査を行い、東日本大震災における学校体育館の被害パターンとの比較などを行った。

RC造等建築物の調査では、第2次調査として倒壊などの比較的大きな被害の情報が得られた建築物の被害概要調査を行い、既往の地震で見られた被害パターンとの比較を行った。さらに、第7次および第12次調査として、新耐震基準が適用されたRC造建築物の被害原因の究明に資する調査を実施した。

地盤・基礎の調査では、第4次調査として益城町での地盤・基礎の被害状況を調べるとともに、熊本市南区において地盤の液状化による建築物被害の状況調査を行った。

免震建築物の調査では、第9次調査として、個々の免震建築物が経験した変位等を調べるとともに、被害が生じたものについてはその原因の究明に資する調査を実施した。

非構造部材の調査では、第3次調査で鉄骨造の調査と一緒に非構造部材の被害概要調査を行った。

さらに、第 11 次調査において、ホールなどの大空間を有する建築物における天井や非構造部材の、第 13 次および第 14 次調査において、学校や自治体の体育館における天井や非構造部材の被害原因の究明に資する調査をそれぞれ実施したほか、吹付けアスベスト等の被害状況に関する補足調査を自主調査として行った。

＊1　4 月 14 日 21 時 26 分の前震：益城町で震度 7、玉名市、西原村、宇城市、熊本市西区、熊本市東区、熊本市南区で震度 6 弱を記録

＊2　4 月 16 日 1 時 25 分の本震：益城町、西原村で震度 7、南阿蘇村、菊池市、宇土市、大津町、嘉島町、宇城市、合志市、熊本市中央区、熊本市東区、熊本市西区で震度 6 強、阿蘇市、八代市、玉名市、菊陽町、御舟町、美里町、山都町、氷川町、和水町、熊本市南区、熊本市北区、上天草市、天草市、別府市、由布市で震度 6 弱を記録

＊3　4 月 14 日 22 時 7 分の地震：益城町で震度 6 弱を記録
4 月 15 日 0 時 3 分の地震：宇城市で震度 6 強、氷川町、熊本市南区で震度 6 弱を記録、
4 月 16 日 1 時 45 分の地震：菊陽町、合志市、熊本市東区で震度 6 弱を記録
4 月 16 日 3 時 55 分の地震：産山村で震度 6 強を記録
4 月 16 日 9 時 48 分の地震：菊池市で震度 6 弱を記録

5.2　益城町中心部における悉皆調査

5.2.1 調査の目的と概要

今回の地震で建築物の被害が大きかった益城町中心部において建築物の建築年代別の被害状況を整理し、各年代の耐震基準による建築物の被害の全体傾向の把握を目的として、発災直後（5 月 3 日～8 日)に日本建築学会により実施された益城町中心部における建築物の被害状況の悉皆調査の情報と、建築確認台帳や航空写真等の情報を用い、構造別・建築時期別の建築物被害状況の整理を行った。なお、被害状況等の調査結果[5.2-1)]は 9 月 8 日時点のデータを元にしており、日本建築学会において継続して精査中であり、ここに示す数値は暫定的なものである。

5.2.2　調査結果

(1) 被害分布

日本建築学会九州支部熊本地震災害調査委員会（委員長：高山峯夫 福岡大学教授）では、強震記録が得られている益城町役場周辺、KiK-net 益城周辺、及び県道 28 号の南側の秋津川までのエリア（益城町大字安永、大字宮園、大字木山、大字辻の城、大字馬水、大字寺迫の一部）の建築物 2,652 棟で調査がされている。これらのうち、用途が倉庫、神社等のものを除いた 2,340 棟について集計を行った。日本建築学会悉皆調査にて判断されている Damage Grade[5.2-2), 5.2-3)]を参考に、表 5.2-1 の通り、建築物の被害レベルを設定した。

表 5.2-1　悉皆調査の Damage Grade と建築物の被害レベルの関係

建築物の被害レベル	悉皆調査の Damage Grade
無被害	D0
軽微・小破・中破	D1/D2/D3
大破	D4
倒壊・崩壊	D5/D6

図 5.2-1、図 5.2-2 に調査エリアにおけるメッシュごとの大破率（＝メッシュエリア内の大破、以上の建築物の数／メッシュエリア内の全建築物数)、及び倒壊率（＝メッシュエリア内の倒壊・崩壊の建築物の数／メッシュエリア内の全建築物数）を示した。メッシュは総務省基準地域メッシュを東西方向は 20 分の 1、南北方向は 16 分の 1 した区分（＝約 57×57m）とした。倒壊率については県道の南側で 50%以上のエリアが多く、調査エリアの北東の辻の城地域と、南側の秋津川に近い地域では倒壊率 0%のエリアが多くなっている。大破率については県道の北側～益城町役場周辺にも 50%以上のエリアが広がっている。

図 5.2-3、図 5.2-4 に国土地理院の治水地形分類図と倒壊建物が存在するエリア、倒壊率 0%のエリアを重ねあわせて示した。益城町中心部は県道 28 号沿いから北側にかけて、河岸段丘の段丘面が広がり、秋津川に近いエリアは旧河道と氾濫平野となっている。県道の南側のエリアでは，倒壊・崩壊した建築物が段丘面に存在し、倒壊率 0%のエリアが氾濫平野・旧河道に存在する傾向が見られた。一般的に考えられている地盤と建築物の被害の関係と異なる傾向にあり、今後、地盤調査等による詳細な分析が待たれる。図 5.2-5 の益城町中心部の 1901 年～1977 年の地形図の通り、1901 年～1960 年代までは県道沿いに住宅地が存在し、住宅地から南部に向けて田園地帯が広がる。1970 年代からの人口増

加に伴い、秋津川の北側の田園地帯、北東の傾斜地にも住宅地が拡大したことが分かる。図 5.2-6、図 5.2-7 に 1926 年の地形図と倒壊建物が存在するエリア、倒壊率 0%のエリアを示したが、倒壊した建物は、1926 年の住宅地と同じエリアに存在することが分かった。

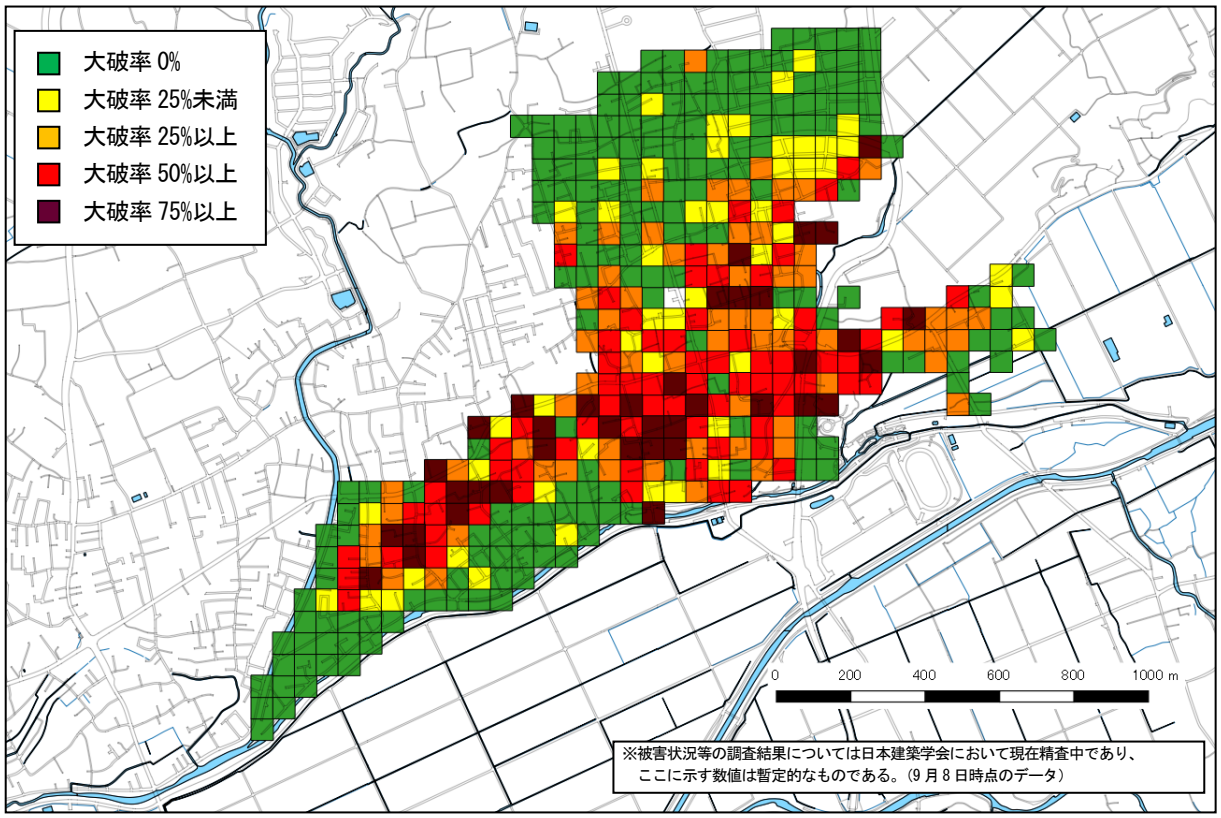


図 5.2-1 悉皆調査結果による大破率の分布（国土地理院地図を編集）

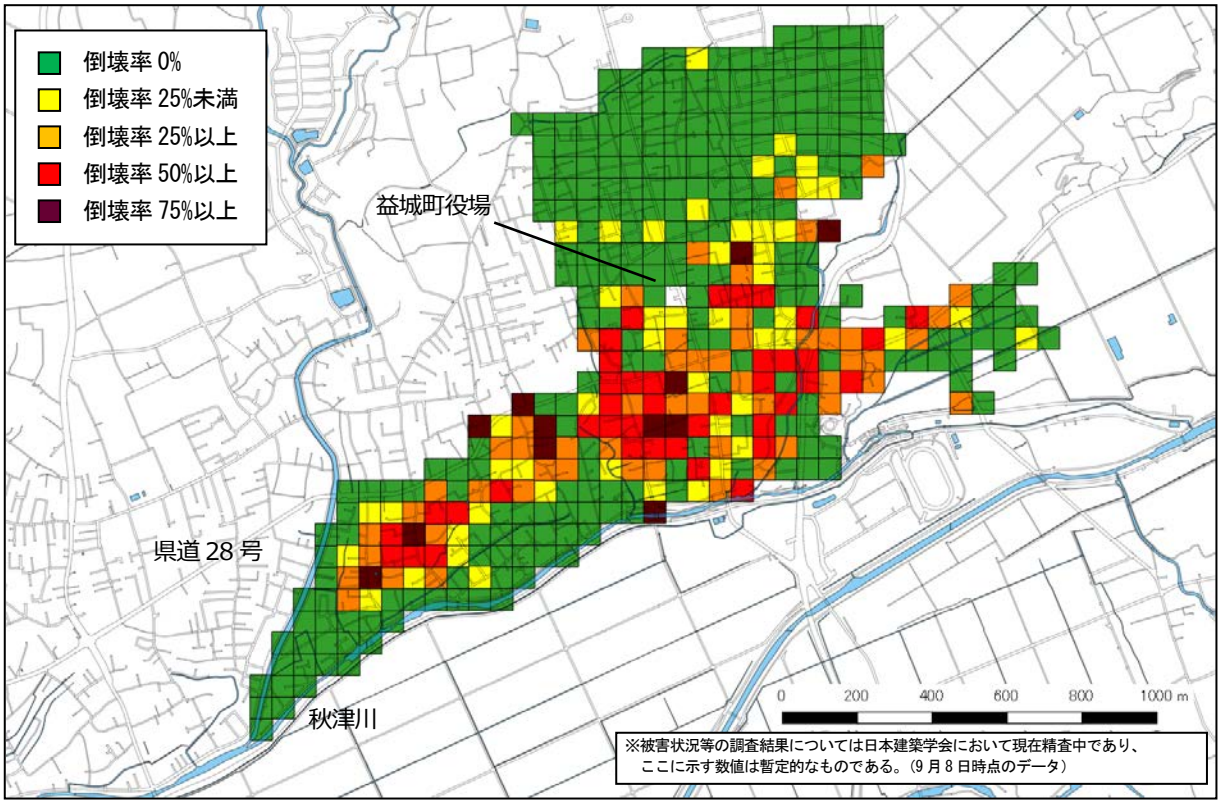


図 5.2-2 悉皆調査結果による倒壊率の分布（国土地理院地図を編集）

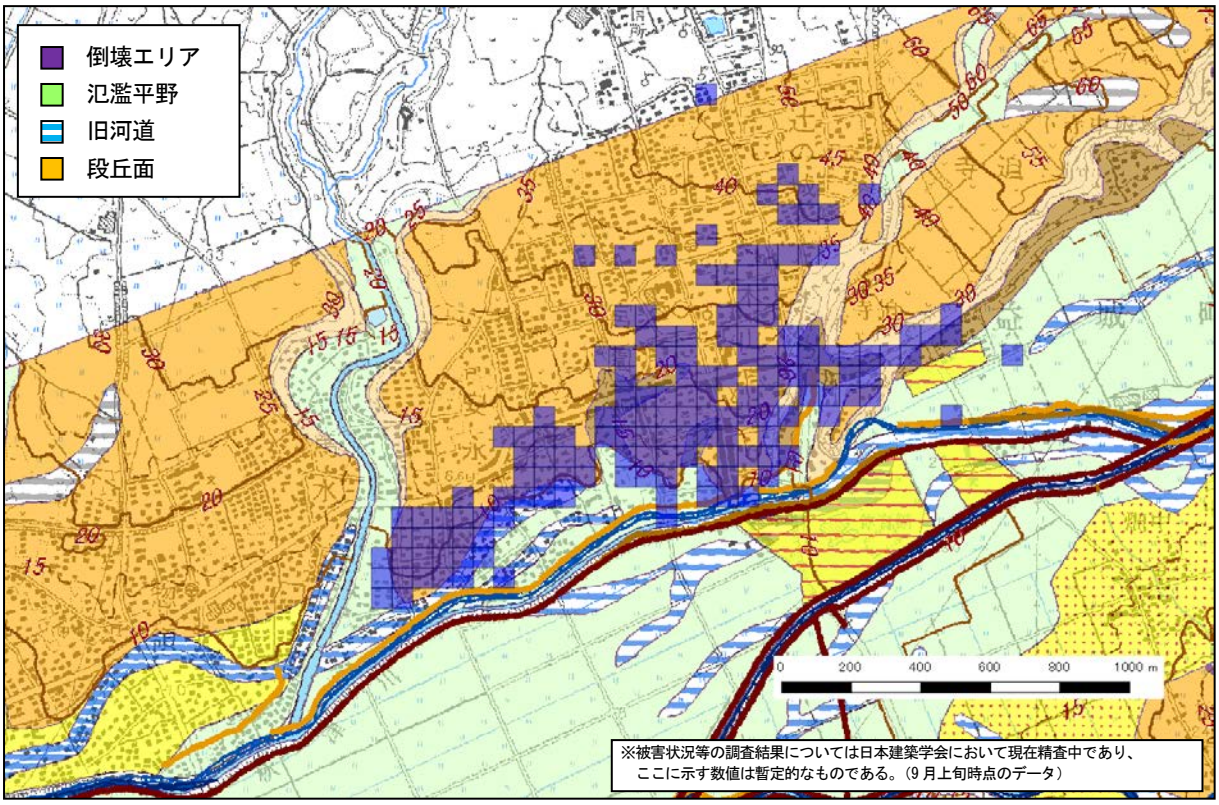


図 5.2-3 治水地形分類図（国土地理院）と倒壊建物が存在するエリア

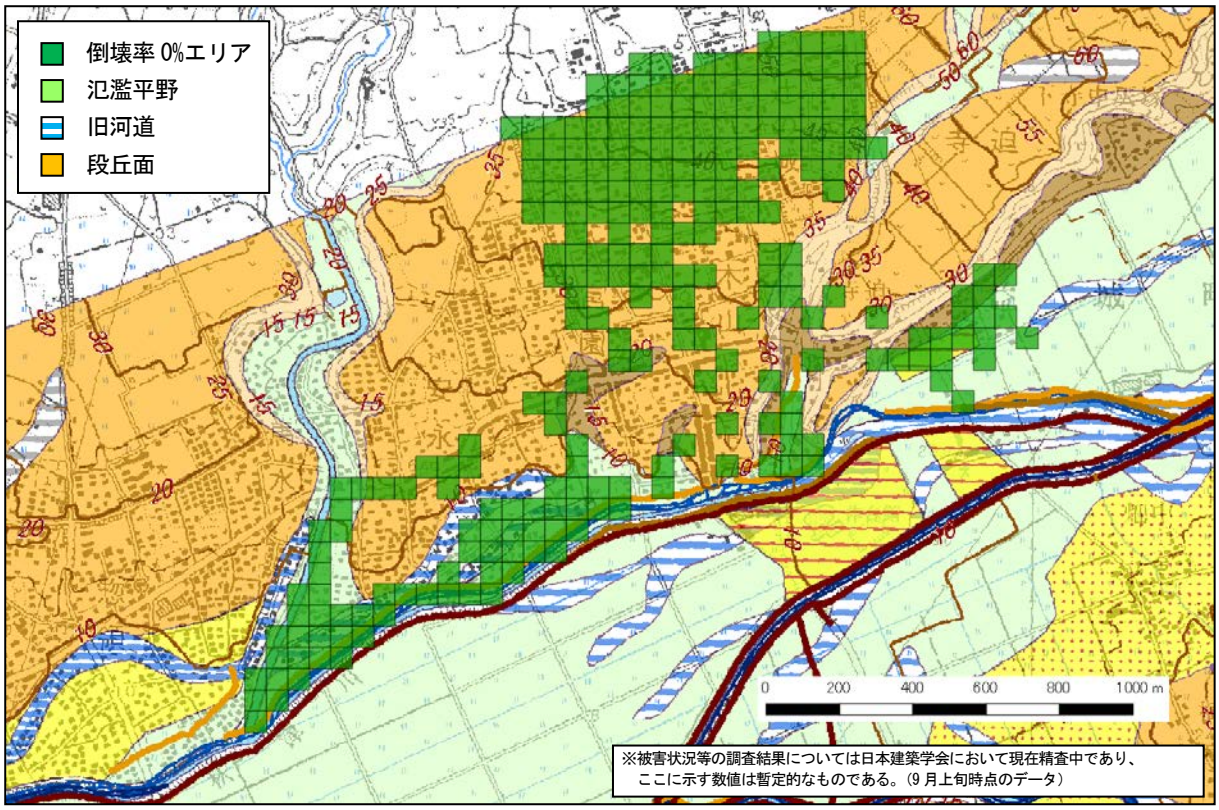


図 5.2-4 治水地形分類図（国土地理院）と倒壊率 0%のエリア

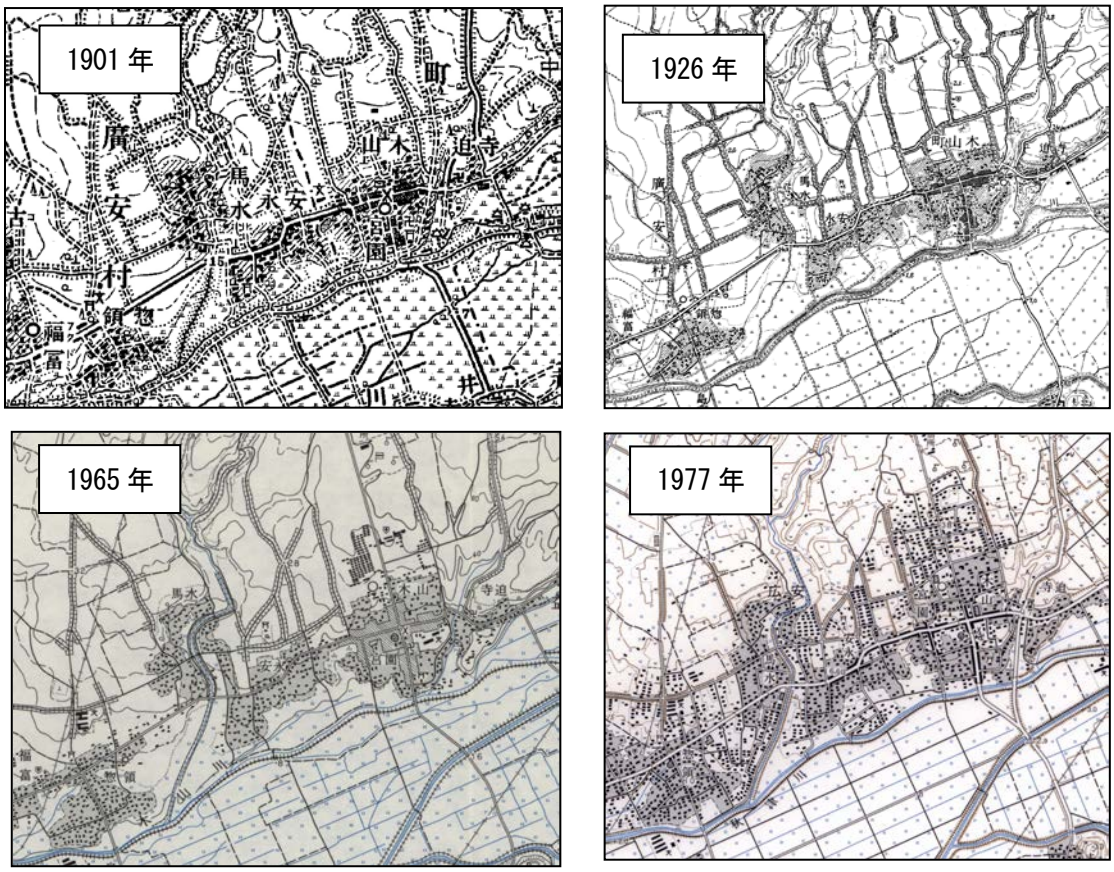


図 5.2-5 益城町中心部における宅地の変化（国土地理院地形図）

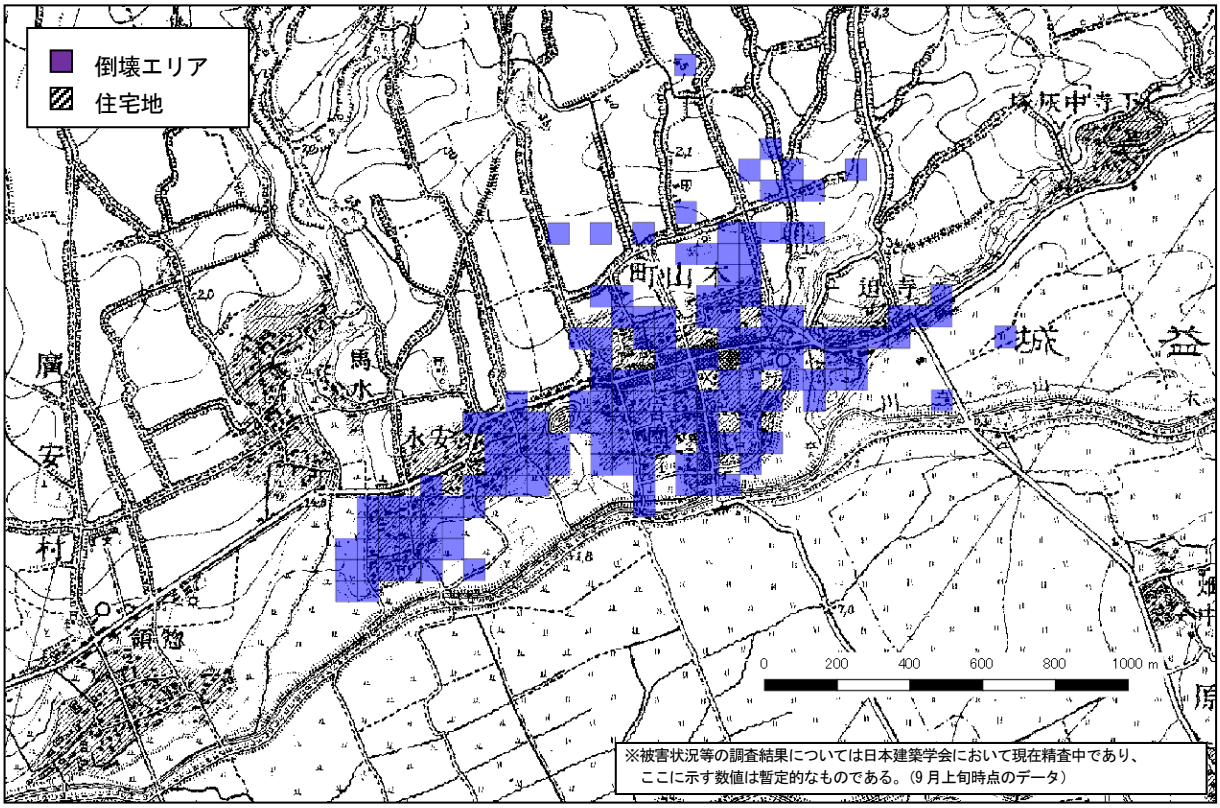


図 5.2-6 1926 年の地形図（国土地理院）と倒壊建物が存在するエリア

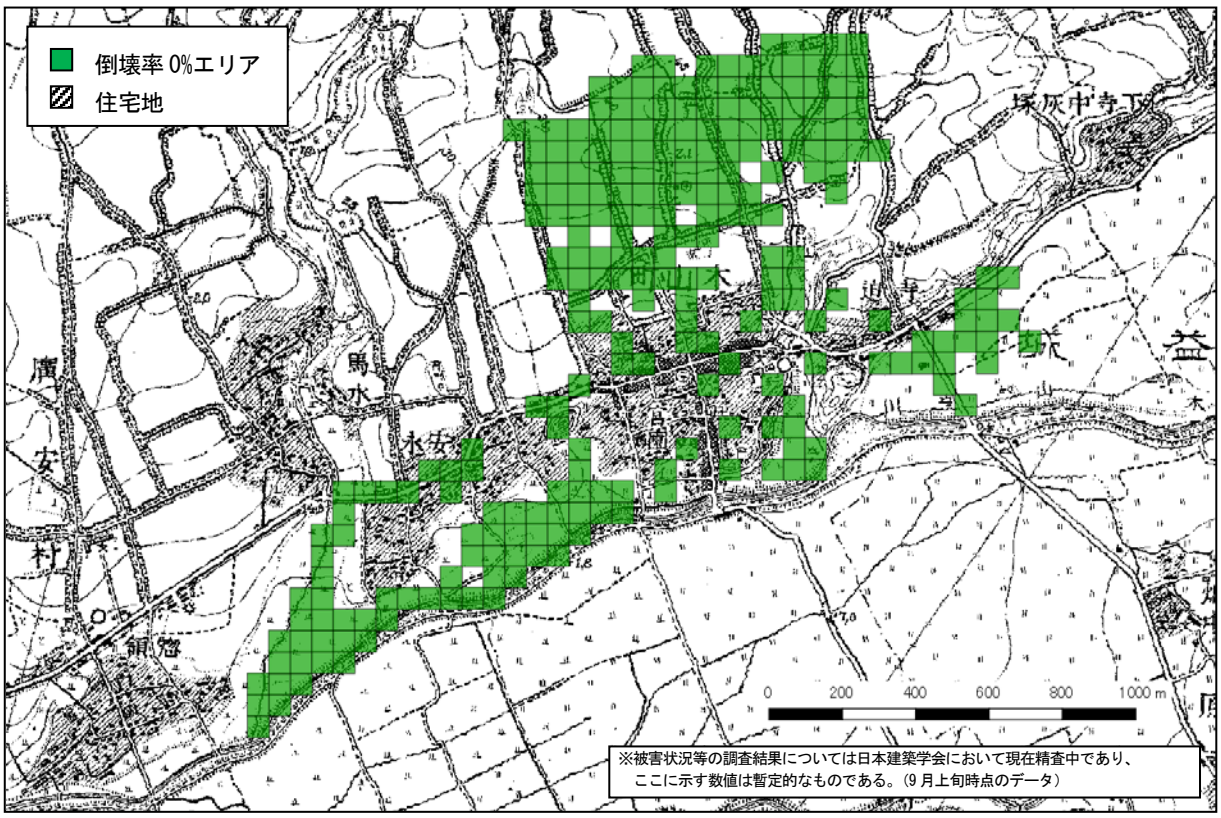


図 5.2-7 1926 年の地形図（国土地理院）と倒壊率 0%のエリア

(2) 年代・構造別の被害の概要

日本建築学会九州支部熊本地震災害調査委員会、及び日本建築学会木質構造災害 WG と協力し、悉皆調査結果と、熊本県から国土交通省に提供された建築確認台帳や各年代の国土地理院が撮影した航空写真等の情報を用い、構造別・建築時期別の建築物被害状況を整理した。表 5.2-2 に構造別・建築時期別の被害状況の集計結果を示した。建築時期については、新耐震基準が施行された 1981 年 6 月と木造の構造関係の基準が改正された 2000 年 6 月を分岐点として、①：1981 年 5 月以前、②：1981 年 6 月～2000 年 5 月、③：2000 年 6 月以降の 3 つの建築年代に分類し、集計した。なお、航空写真による年代区分では、1982 年の航空写真にあるものは旧耐震とするなど、年代区分の境界付近で正確に建築年代を特定できないものは古い年代に分類している。1981 年 6 月施行の新耐震基準では、木造は必要壁量が増加し、2000 年 6 月の基準改正では、つり合い良い壁配置の方法、筋かい及び柱脚柱頭接合部の緊結方法が明確化され、地耐力に応じて採用できる基礎の種類が規定されている。倒壊・崩壊の棟数は木造が 297 棟で最も多く、S 造の倒壊・崩壊 10 棟で、RC 造は 2 棟であった。倒壊・崩壊の割合も木造が 15.2%で最も高く、S 造が 3.6%、RC 造が 3.8%であった。

図 5.2-8 に旧耐震の建築物の割合（メッシュエリア内の旧耐震の建築物の数／メッシュエリア内の全建築物数）、図 5.2-9 に 2000 年 6 月以降建築の建築物の割合（メッシュエリア内の 2000 年 6 月以降建築の建築物の数／メッシュエリア内の全建築物数）を示した。旧耐震の建築物は辻の城地区の北東と、馬水地区の南西に少ない傾向がみられるが、その他のエリアでは明確な差はみられない。2000 年以降建築の建築物は辻の城地区、宮園の北部、寺迫地区、秋津川沿いに局所的に多いエリアがみられるが、その他のエリアでは明確な差はみられない。図 5.2-10 に旧耐震の建築物の倒壊率（メッシュエリア内で倒壊した旧耐震の建築物の数／メッシュエリア内の全建築物数）の分布、図 5.2-11 に新耐震

の建築物の倒壊率（メッシュエリア内で倒壊した新耐震の建築物の数／メッシュエリア内の全建築物数）の分布を示した。新耐震で倒壊した建築物は県道南側の宮園のエリアと、県道と秋津川のほぼ中間に近いエリアに多い傾向が見られる。

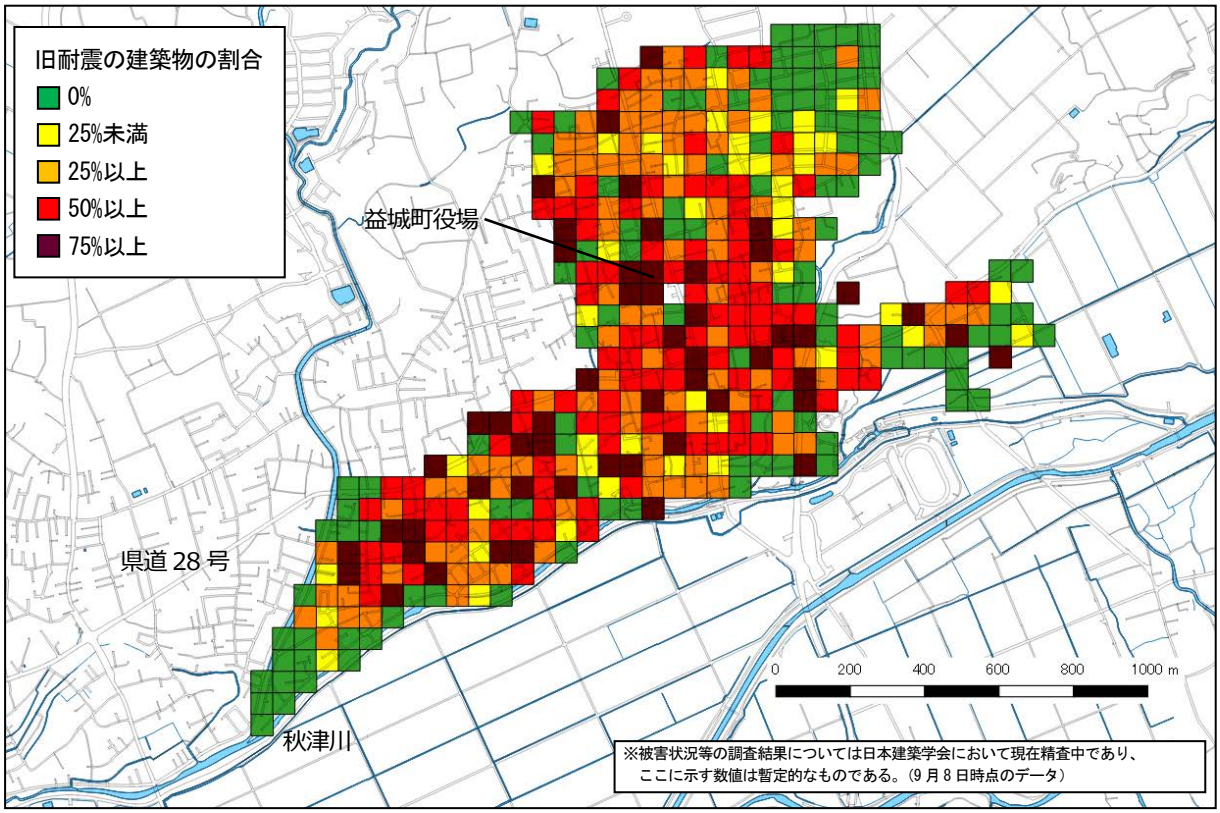


図 5.2-8 1981 年 5 月以前建築（旧耐震）の建築物の割合（国土地理院地図を編集）

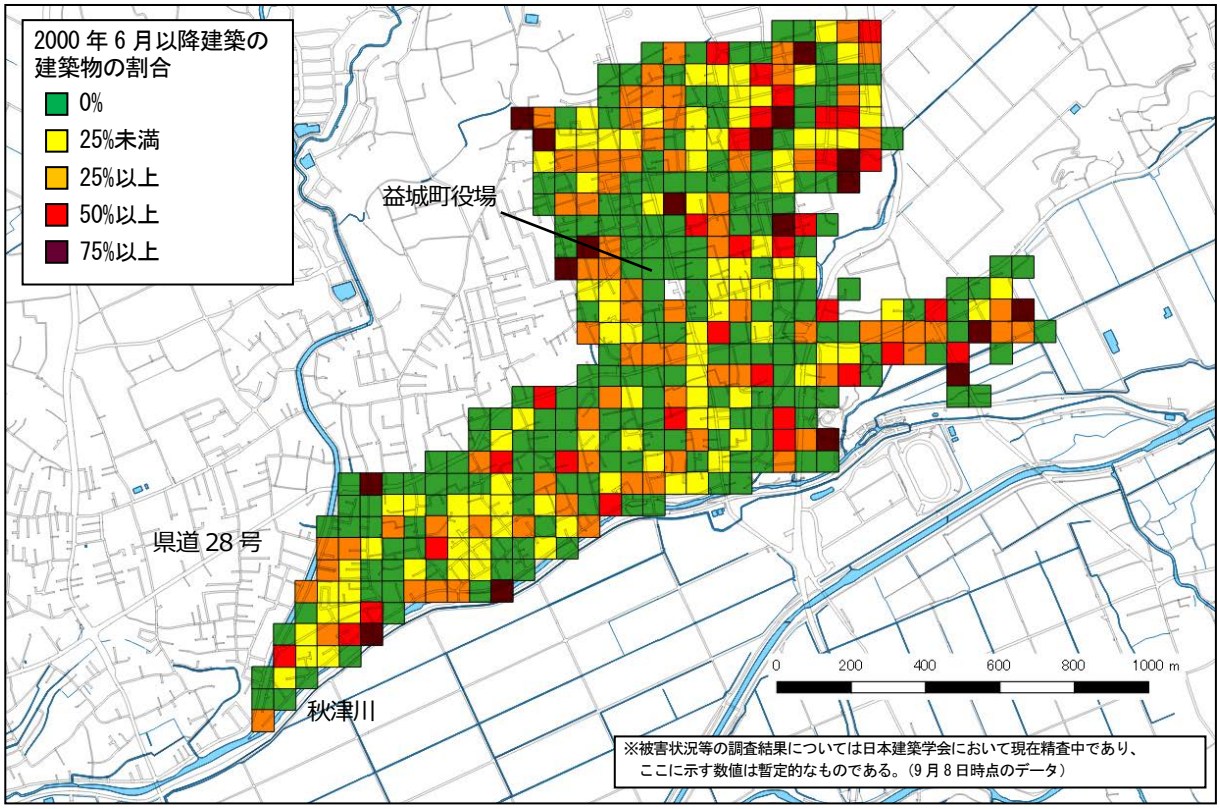


図 5.2-9 2000 年 6 月以降建築の建築物の割合（国土地理院地図を編集）

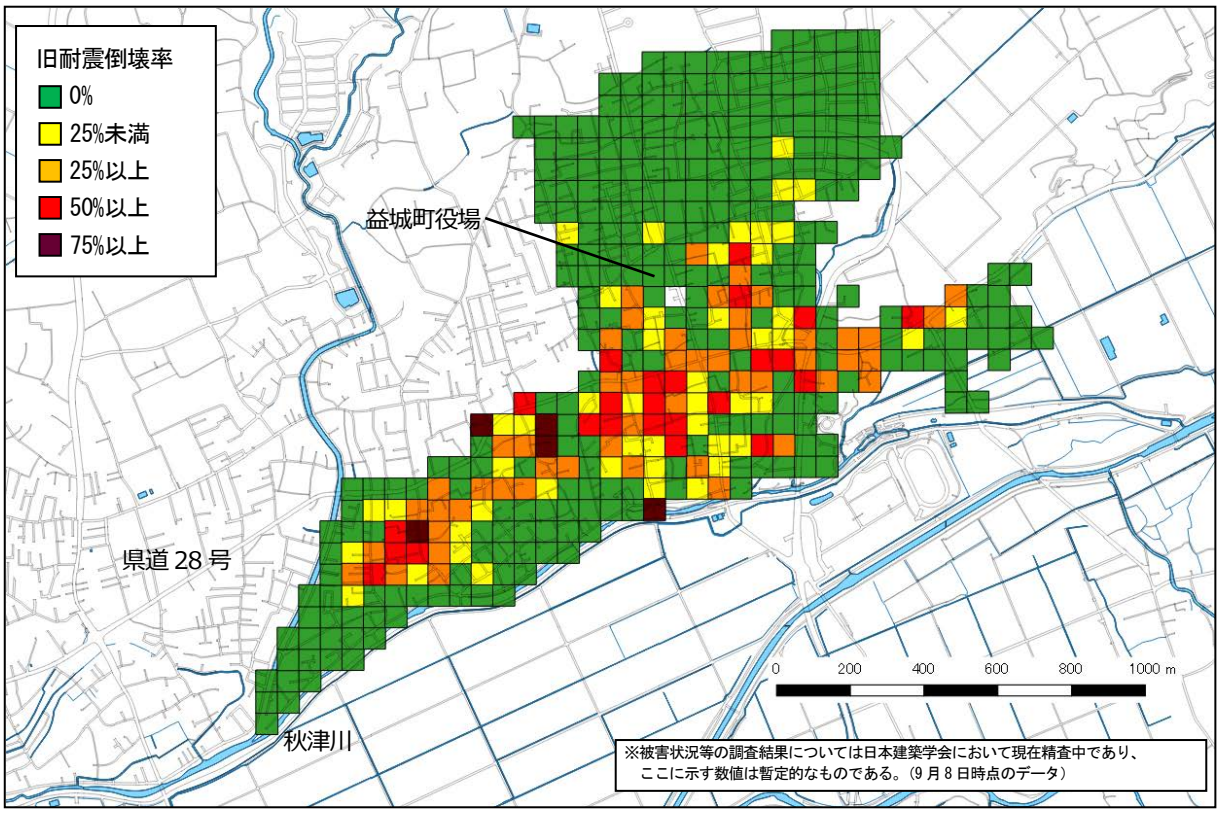


図 5.2-10 1981 年 5 月以前建築（旧耐震）の建築物の倒壊率の分布（国土地理院地図を編集）

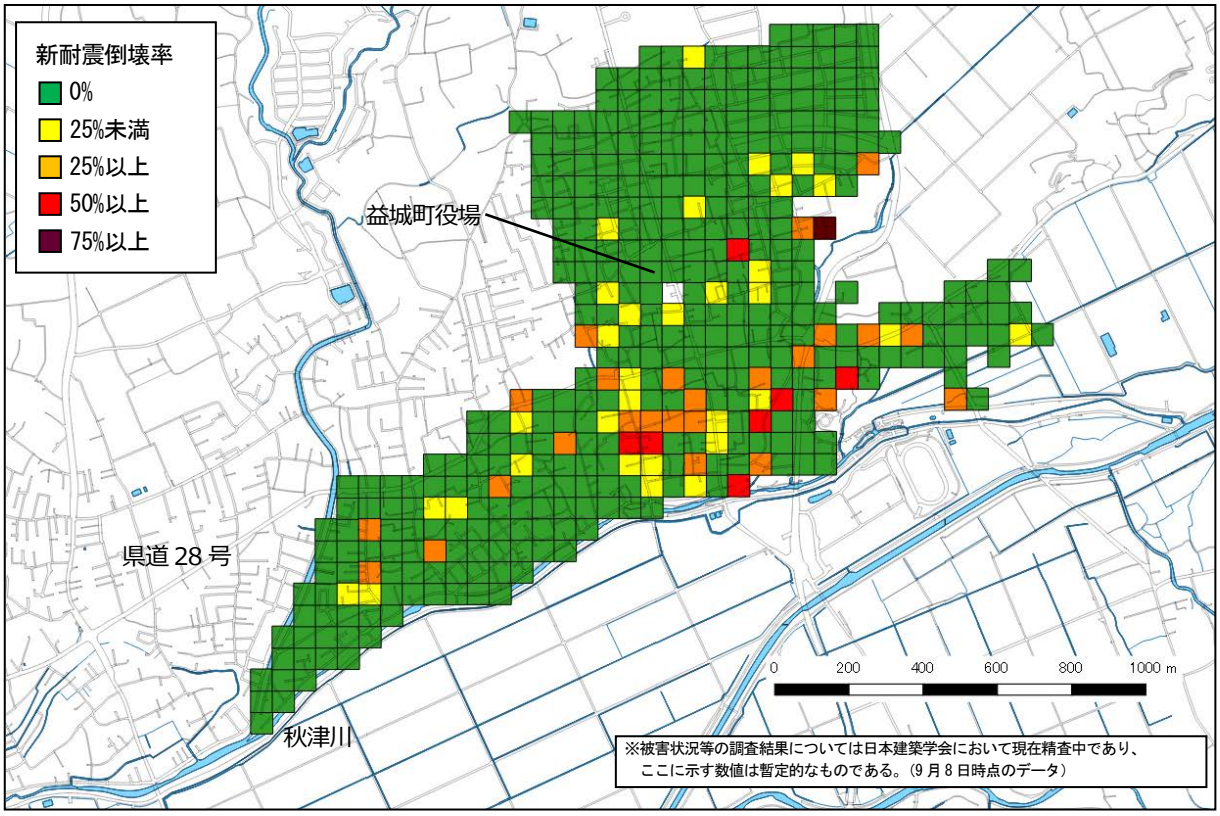


図 5.2-11 1981 年 6 月以降建築（新耐震）の建築物の倒壊率の分布（国土地理院地図を編集）

図 5.2-12 に木造の年代ごとの被害状況を示したが、新耐震以前の木造の倒壊・崩壊は 28.2%、新耐震以降 2000 年改正以前の木造の倒壊・崩壊は 8.7%、2000 年改正以降の木造の倒壊・崩壊は 2.2%であった。

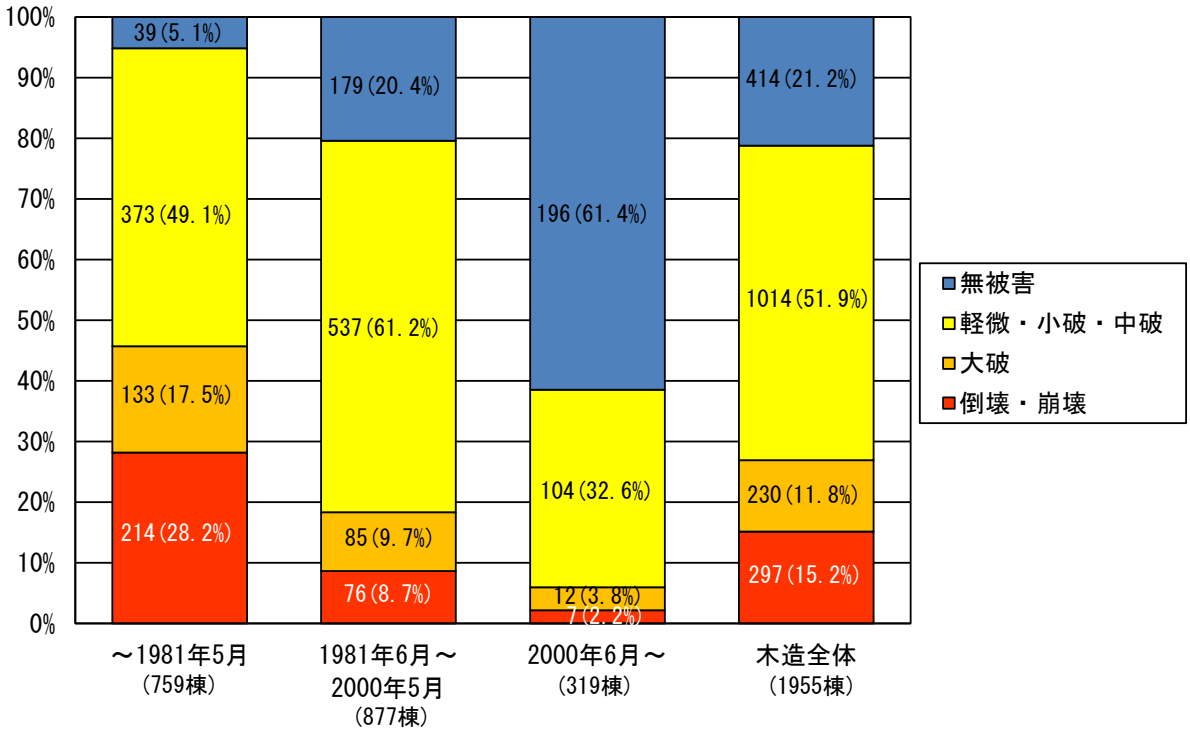


図 5.2-12 木造の建築時期別の被害状況

表 5.2-2 構造別・建築時期別の建築物被害状況

構造	建築物の被害レベル	建築時期			総計
		～1981年5月	1981年6月～2000年5月	2000年6月～	
木造	無被害	39 (5.1%)	179 (20.4%)	196 (61.4%)	414 (21.2%)
	軽微・小破・中破	373 (49.1%)	537 (61.2%)	104 (32.6%)	1014 (51.9%)
	大破	133 (17.5%)	85 (9.7%)	12 (3.8%)	230 (11.8%)
	倒壊・崩壊	214 (28.2%)	76 (8.7%)	7 (2.2%)	297 (15.2%)
	小計	759 (100.0%)	877 (100.0%)	319 (100.0%)	1955 (100.0%)
S造	無被害	26 (45.6%)	83 (54.2%)	49 (74.2%)	158 (57.2%)
	軽微・小破・中破	22 (38.6%)	55 (35.9%)	14 (21.2%)	91 (33.0%)
	大破	5 (8.8%)	10 (6.5%)	2 (3.0%)	17 (6.2%)
	倒壊・崩壊	4 (7.0%)	5 (3.3%)	1 (1.5%)	10 (3.6%)
	小計	57 (100.0%)	153 (100.0%)	66 (100.0%)	276 (100.0%)
RC造	無被害	5 (33.3%)	33 (89.2%)	0 (－)	38 (73.1%)
	軽微・小破・中破	8 (53.3%)	4 (10.8%)	0 (－)	12 (23.1%)
	大破	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (－)	0 (0.0%)
	倒壊・崩壊	2 (13.3%)	0 (0.0%)	0 (－)	2 (3.8%)
	小計	15 (100.0%)	37 (100.0%)	0 (－)	52 (100.0%)
混構造	無被害	3 (20.0%)	3 (18.8%)	0 (0.0%)	6 (18.8%)
	軽微・小破・中破	9 (60.0%)	10 (62.5%)	1 (100.0%)	20 (62.5%)
	大破	3 (20.0%)	2 (12.5%)	0 (0.0%)	5 (15.6%)
	倒壊・崩壊	0 (0.0%)	1 (6.3%)	0 (0.0%)	1 (3.1%)
	小計	15 (100.0%)	16 (100.0%)	1 (100.0%)	32 (100.0%)
その他	無被害	0 (0.0%)	4 (57.1%)	10 (90.9%)	14 (66.7%)
	軽微・小破・中破	2 (66.7%)	2 (28.6%)	1 (9.1%)	5 (23.8%)
	大破	1 (33.3%)	1 (14.3%)	0 (0.0%)	2 (9.5%)
	倒壊・崩壊	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (0.0%)
	小計	3 (100.0%)	7 (100.0%)	11 (100.0%)	21 (100.0%)
不明	無被害	0 (0.0%)	1 (33.3%)	0 (－)	1 (25.0%)
	軽微・小破・中破	1 (100.0%)	1 (33.3%)	0 (－)	2 (50.0%)
	大破	0 (0.0%)	1 (33.3%)	0 (－)	1 (25.0%)
	倒壊・崩壊	0 (0.0%)	0 (0.0%)	0 (－)	0 (0.0%)
	小計	1 (100.0%)	3 (100.0%)	0 (－)	4 (100.0%)
全体	無被害	73 (8.6%)	303 (27.7%)	255 (64.2%)	631 (27.0%)
	軽微・小破・中破	415 (48.8%)	609 (55.7%)	120 (30.2%)	1144 (48.9%)
	大破	142 (16.7%)	99 (9.1%)	14 (3.5%)	255 (10.9%)
	倒壊・崩壊	220 (25.9%)	82 (7.5%)	8 (2.0%)	310 (13.2%)
	小計	850 (100.0%)	1093 (100.0%)	397 (100.0%)	2340 (100.0%)

5.2.3 まとめ

日本建築学会によって益城町中心部の建築物 2,652 棟について調査が実施され、国総研・建研が実施した詳細調査等に基づき内容の精査を行った上で、用途が簡易な倉庫、神社等を除いた 2,340 棟について集計が行われている。最終的な内訳は、木造 1,955 棟、鉄骨造 276 棟、鉄筋コンクリート造 52 棟である。

(1) 倒壊率は県道の南側で 50%以上のエリアが多く、調査エリアの北東の辻の城地域と、南側の秋津川に近い地域では倒壊率 0%のエリアが多くなっている。

(2) 県道 28 号の南側のエリアでは，倒壊・崩壊した建築物が段丘面に存在し、倒壊率 0%のエリアが氾濫平野・旧河道とよく一致する傾向があった。

(3) 倒壊･崩壊した建築物の位置は 20 世紀初頭から住宅地であったエリアとよく一致する傾向にあった。

参考文献

5.2-1) 菊池健児，田中 圭：益城町の悉皆調査，2016 年熊本地震災害調査報告会資料，2016 年度日本建築学会大会（九州）災害部門 緊急報告会，2016.8

5.2-2) 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.65-72，1999.10

5.2-3) 高井伸雄，岡田成幸：地震被害調査のための鉄筋コンクリート造建物の破壊パターン分類，日本建築学会構造系論文集，第 549 号，pp.67-74，2001.11

5.3　木造建築物の被害

5.3.1 調査の目的と概要

これまで、国総研・建研では、木造建築物の被害状況を把握するために 4 回の現地調査（第 1 次、第 2 次、第 6 次及び第 10 次）を実施している。調査の中心となっているのは、震度 7 を観測し、多数の木造建築物が倒壊・崩壊等の被害を受けた益城町、西原村及び報道等で大きな被害の報告された南阿蘇村である。調査の概要を表 5.3-1 に、調査地域を図 5.3-1 に示した。本節では国総研・建研による調査地域ごとの被害について報告する。各調査の詳細については国総研・建研のウェブサイト[5.3.1-5.3.3)]を参照されたい。日本建築学会等で行われている調査もほぼ同様の地域が対象となっているが、上記以外の地域での被害の把握状況については、次の通りである。

①建築学会等により、熊本市内、阿蘇市等での文化財の被害の報告がある。

②国総研・建研による調査で熊本市内、嘉島町周辺で倒壊・大破の木造住宅を数棟確認したが、上記 3 地域よりは被害が少ない印象であり、築年数が概ね 40 年超と推定される木造住宅の被害が多かった。

また、木造住宅の被害原因の把握を目的として、特に新耐震以降の建築確認がなされたもので倒壊・崩壊した木造住宅について現地調査に基づき構造的特徴を把握すること、及び、各種構造計算による耐震性能を把握することによって被害要因の分析を行った。

表 5.3-1 木造建築物の被害調査概要

第 1 次：前震に対する初動調査	
目的	4 月 14 日発生の地震（前震）による建築物被害について、被災原因等の検討に資する情報入手、追加調査の必要性の検討、4 月 16 日発生の地震（本震）による建築物の被害調査
調査地域	4 月 15 日（金）熊本県庁周辺、益城町役場周辺 4 月 16 日（土）南阿蘇村宿泊施設周辺、山都町、西原村、益城町役場周辺
第 2 次：本震に対する初動調査	
目的	4 月 16 日発生の地震（本震）による建築物被害について、被災原因等の検討に資する情報入手、追加調査の必要性の検討、南阿蘇村の学生アパートの詳細調査
調査地域	4 月 17 日（日）益城町宮園・木山・安永・馬水・惣領地区 4 月 18 日（月）西原村畑・風当・古閑・布田・大切畑地区、南阿蘇村河陽黒川地区
第 6 次：築年の浅い木造の調査	
目的	比較的築年が浅いと思われる被害の大きい木造住宅について、区域を限定して悉皆的に捜索し被害状況の把握と構造仕様の特定
調査地域	4 月 26 日（火）益城町宮園・木山・安永・寺迫・辻の城・馬水・惣領地区 4 月 27 日（水）南阿蘇村河陽黒川地区、益城町宮園・木山地区
第 10 次：被害要因分析のための追加調査	
目的	応急危険度判定、建築学会悉皆調査結果と建築確認台帳の紐付けにより、新耐震以降と判明した被害の大きい木造住宅と、建築確認の図面等の情報に基づき、被害状況の把握、構造仕様の分析、施工状況の確認
調査地域	5 月 20 日（金）益城町宮園・木山・安永・寺迫・辻の城・馬水・惣領地区

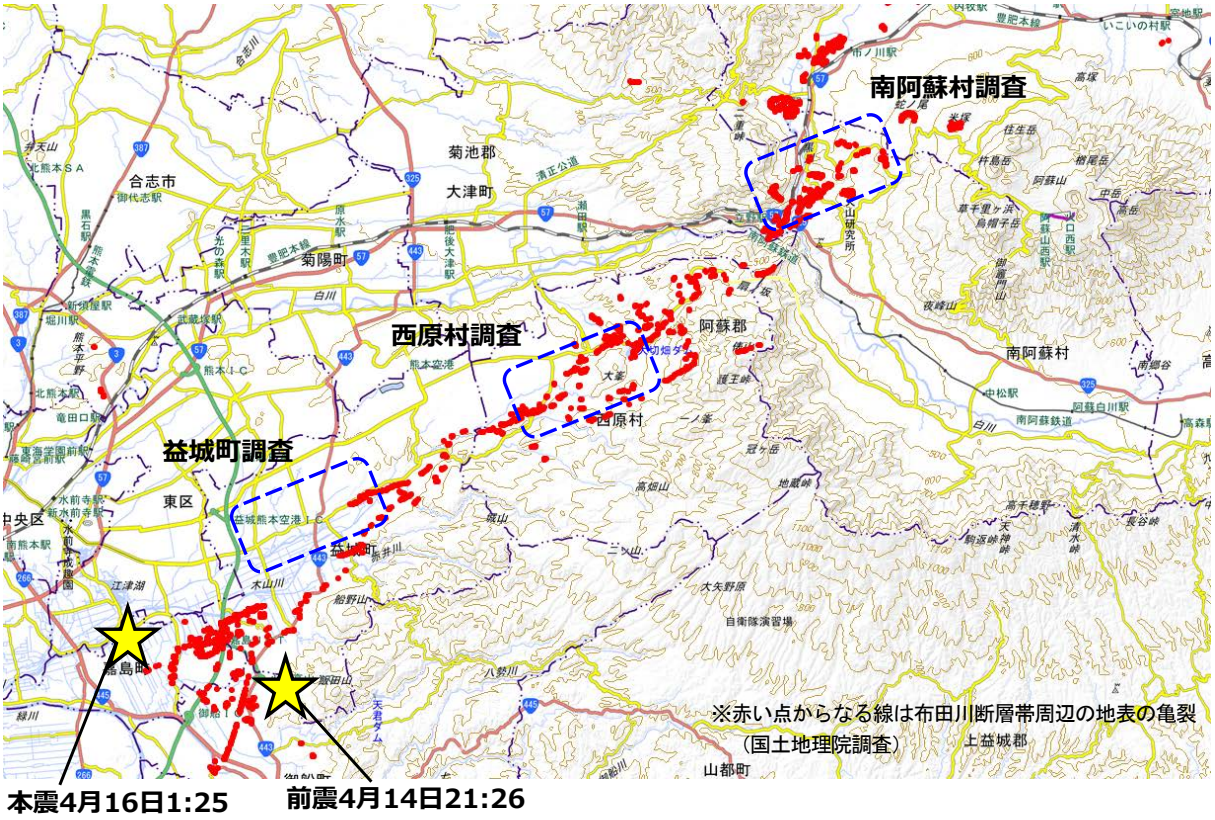


図 5.3-1 木造建築物の被害調査地域（国土地理院地図を編集）

5.3.2 調査結果

木造建築物については、主として倒壊・崩壊等したものについての調査・分析を行っている。以下、調査地域ごとに被害の特徴を示す。

(1) 益城町中心部の被害の概要

木造建築物の倒壊が集中していた益城町中心部において、被害の全体像を把握するための概要調査と、日本建築学会による悉皆調査（以下、悉皆調査）の結果、応急危険度判定の結果、建築確認台帳の建築確認年月の情報等を参考に、新耐震以降の建築確認がなされたもので倒壊した木造住宅の現地調査や図面等による構造的特徴の把握、被害要因の分析を行った。被害要因については 5.3.3 に分析結果を報告する。益城町中心部の被害の概要は下記の通りである。

① 益城町役場周辺、県道 28 号沿い、県道の南側の地域に木造住宅の被害が比較的多かった。

② 前震で被害が軽微であった木造住宅が本震で倒壊した例が多数確認された（写真 5.3-1）。

③ 新耐震以前の建築確認の木造住宅、店舗併用の 2 階建て木造住宅の倒壊が多数確認された（写真 5.3-2～5.3-7）。

（悉皆調査エリアでは新耐震以前の木造は 759 棟あり、そのうち 214 棟（28.2%）が倒壊[*1]）

④ 新耐震以降の建築確認の木造の倒壊が 102 棟[※1] 確認された。筋かい端部が釘打ち程度の軽微な接合方法であったものが多く確認された（写真 5.3-8～5.3-15）。

（悉皆調査エリアでは新耐震以降の木造は 1196 棟あり、そのうち 83 棟（6.9%）が倒壊[*1]）

⑤ 2000 年の建築基準法改正以降の建築確認の木造の倒壊が 7 棟[※1] 確認された。筋かい端部、柱脚・柱頭接合部に金物が施工されているものがあった（写真 5.3.18～5.3-21）。

（悉皆調査エリアでは 2000 年改正以降の木造は 319 棟あり、そのうち 7 棟（2.2%）が倒壊[*1]）

⑥悉皆調査エリア内に住宅性能表示制度を活用した木造住宅は 19 棟あり、このうち、構造躯体の耐震等級（構造躯体の倒壊等防止）が等級 3 であった 16 棟は 14 棟が無被害、2 棟が軽微又は小破の被害、等級 2 であった 2 棟は 1 棟が無被害、1 棟が軽微の被害、等級 1 であった 1 棟は軽微の被害であった。

⑦ 木造住宅の被害が多いエリアで比較的最近の建築と推測される木造住宅が外観上無被害である例や、最近開発されたと推測される新興住宅地における外観上無被害の木造住宅が確認された（写真 5-3.22～5.3-23）。

（※1）2016 年 9 月 8 日時点で把握している情報



写真 5.3-1 4/15 時点では壁が外れただけの木造住宅（左）が本震で倒壊（右）した例



写真 5.3-2 倒壊した木造住宅



写真 5.3-3 倒壊した木造住宅



写真 5.3-4 倒壊した木造住宅



写真 5.3-5 倒壊した木造住宅



写真 5.3-6 倒壊した店舗併用木造住宅



写真 5.3-7 大きく傾斜した店舗併用住宅



写真 5.3-8 倒壊した木造住宅



写真 5.3-9 倒壊した木造住宅



写真 5.3-10 倒壊した木造住宅



写真 5.3-11 倒壊した木造住宅



写真 5.3-12 倒壊した木造住宅



写真 5.3-13 倒壊した木造住宅



写真 5.3-14 倒壊した木造住宅



写真 5.3-15　写真 5.3-13 の住宅の柱頭部
（柱脚柱頭金物確認できず）



写真 5.3-16 倒壊した木造住宅

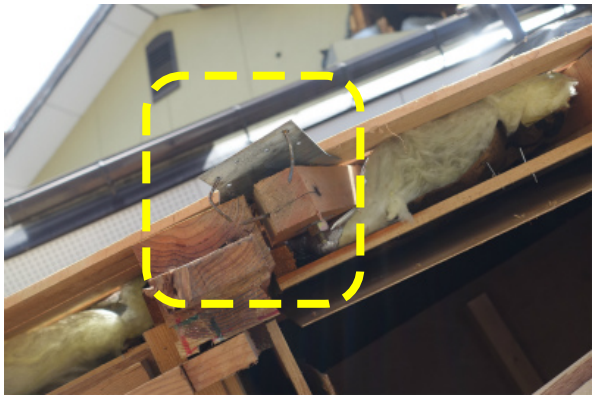


写真 5.3-17　写真 5.3-16 の住宅の柱脚部
（柱脚柱頭金物確認できず、筋かい金物あり



写真 5.3-18　倒壊した木造住宅



写真 5.3-19　写真 5.3-18 の建物の筋かい端部、
柱脚接合部（金物を確認）



写真5.3-20　倒壊した木造住宅



写真5.3-21　写真5.3.20の建物の写真筋かい端部、柱脚接合部（金物を確認）



写真 5.3-22 外観上無被害の木造住宅



写真 5.3-23 新興住宅地の木造住宅

（2）西原村の被害の概要

西原村役場における調査時点（4月18日）でのヒアリングでは、消防団の調べで建物の全壊が344棟、半壊が1087棟との説明であった（棟数には倉庫等の非住家も含まれる）。倒壊の棟数が多かった畑、風当、大切畑、古閑、布田地区において調査を行った。また、西原村役場の庁舎で震度計の位置を確認した（写真 5.3-24～5.3-25）。調査地域を図 5.3-2 に示した。西原村の調査地域における被害の概要は下記の通りである。

① 畑・風当地区は緩やかな傾斜地で盛土＋擁壁の敷地に建つ木造住宅が多く、築年数が概ね40年超と推測される木造住宅の倒壊、敷地の被害や擁壁の崩壊が多数確認された（写真 5.3-26～5.3-31）。

② 大切畑･古閑地区は傾斜地で盛土＋擁壁の敷地に建つ木造住宅が多く急傾斜地崩壊危険区域に指定されているエリアがあり、地盤に亀裂が生じている箇所が見られた（写真 5.3-32～5.3-35）。築年数が概ね 40 年超と推測される木造住宅の倒壊、擁壁の崩壊が多数確認された（写真 5.3-36～5.3-41）。

③ 布田地区は布田川のすぐ南の平地に位置する集落で、西原村では住宅が多い地域で、溜池が隣接している（写真 5.3-42）。ここでも、築年数が概ね 40 年超と推測される木造住宅の屋根の被害や、部分破壊・倒壊、倉庫の倒壊が確認された（写真 5.3-43～5.3-45）。

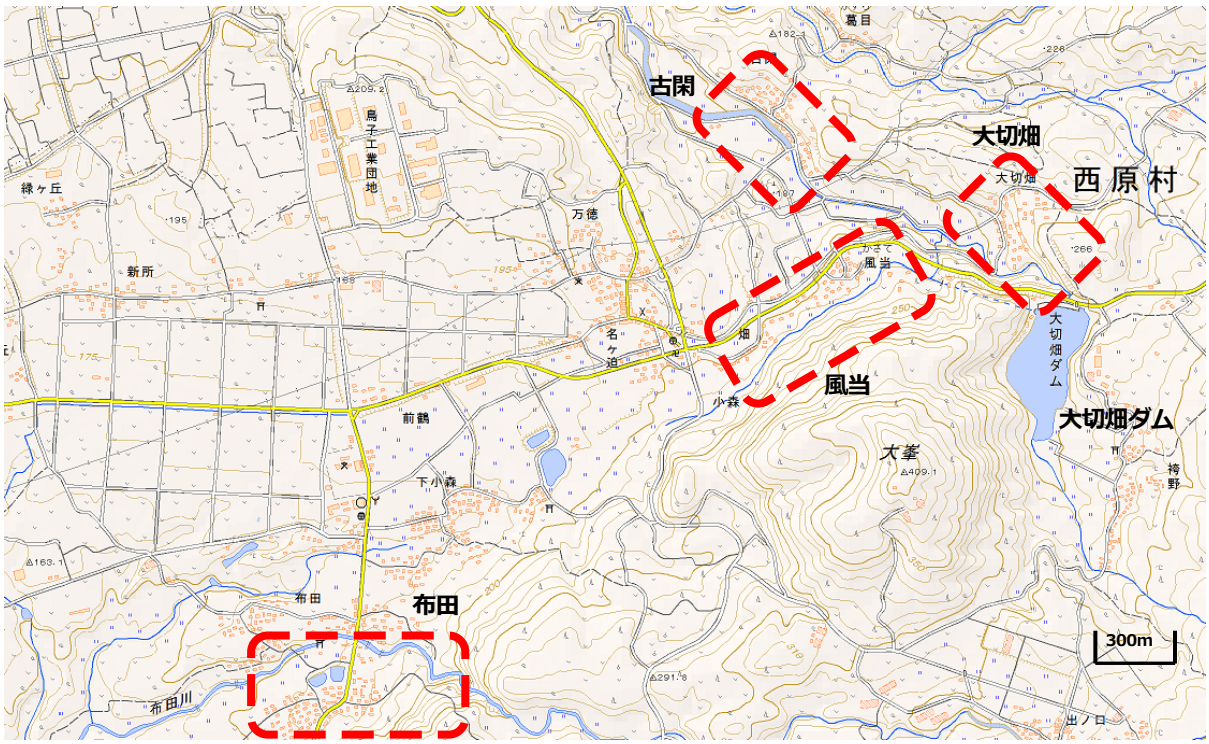


図 5.3-2　西原村の調査地域（国土地理院地図を編集）



写真 5.3-24 震度計の位置



写真 5.3-25 震度計の設置状況



写真 5.3-26 倒壊した木造住宅



写真 5.3-27 倒壊した木造住宅



写真 5.3-28 分離した木造住宅



写真 5.3-29 玄関部分が部分破壊した木造住宅



写真 5.3-30 崩壊した擁壁



写真 5.3-31 崩壊した擁壁



写真 5.3-32 古閑地区の遠景



写真 5.3-33 古閑地区の危険区域標識



写真 5.3-34 大切畑地区の危険区域標識



写真 5.3-35 地盤に生じた亀裂



写真 5.3-36 倒壊した木造住宅



写真 5.3-37 倒壊した木造住宅



写真 5.3-38 倒壊した木造住宅



写真 5.3-39 倒壊した木造住宅



写真 5.3-40 倒壊した木造住宅



写真 5.3-41 崩壊した擁壁



写真 5.3-42 布田地区の池



写真 5.3-43 大破した木造住宅



写真 5.3-44 倒壊した木造住宅



写真 5.3-45 倒壊した倉庫

(3) 南阿蘇村の被害の概要

南阿蘇村役場における調査時点（4 月 18 日）でのヒアリングでは、東海大学阿蘇キャンパス周辺の河陽黒川地区（以下、黒川地区）に建物の被害が集中しているとの説明であった。情報に基づき図 5.3-3 の黒川地区の調査を行った。南阿蘇村黒川地区の調査地域における被害の概要は下記の通りである。

① 黒川地区には東海大学の学生用アパートが多数存在する。2 階建て軸組構法による木造アパートが多く、そのうち 7 棟の倒壊を確認した。部分破壊や大破したアパートも多数確認された。これらの木造アパートのうち、柱脚・柱頭、筋かい端部が確認できたものの多くは接合方法が釘打ち程度の比較的軽微な接合方法であった（写真 5.3.46～5.3.63）。

② 木造アパートの他、築年数が概ね 20～40 年程度と推測される木造住宅の倒壊が数棟確認された（写真 5.3.64～5.3.67）。木造アパートと同様に柱脚・柱頭、筋かい端部の接合方法が比較的軽微な建物が多かったが、中には金物により緊結されている建物も確認された（写真 5.3.68～5.3.71）。

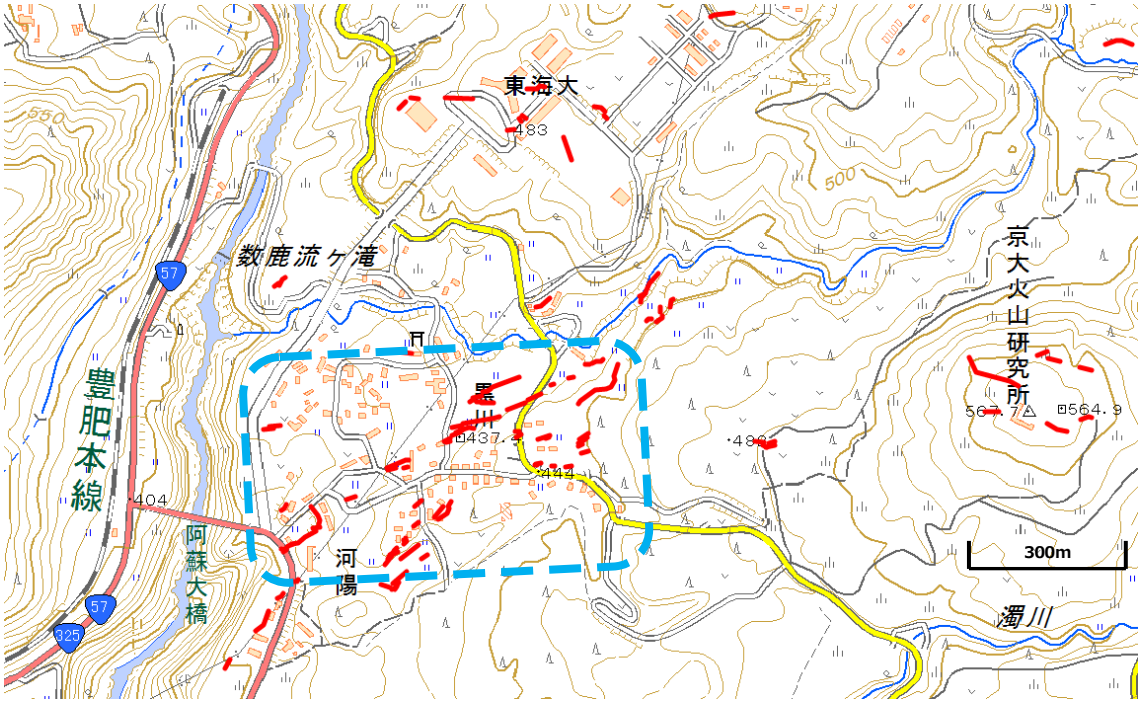


図 5.3-3 南阿蘇村の調査地域（国土地理院地図を編集）



写真 5.3-46　倒壊したアパート A



写真 5.3-47　アパート A の筋かい端部
(N70 釘 1～2 本打ちによる接合)



写真 5.3-48　アパート A の筋かい端部
(蟻害による著しい断面欠損)

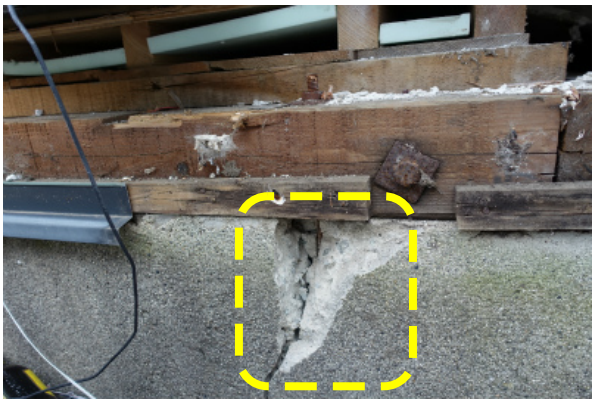


写真 5.3-49　アパート B の基礎亀裂部
(無筋コンクリート基礎＋アンカーボルト)



写真 5.3-50　倒壊したアパート B

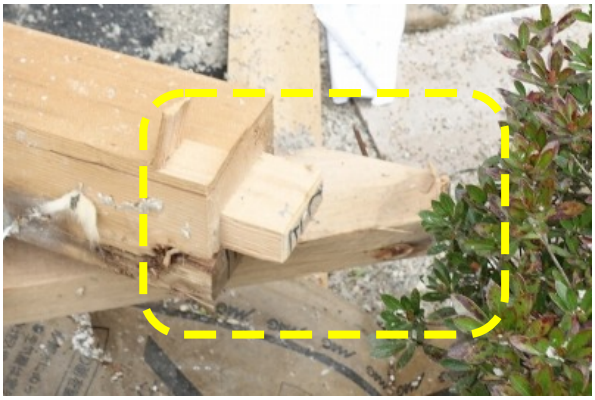


写真 5.3-51　柱頭部（釘打ちによる接合）



写真 5.3-52　倒壊したアパート C



写真 5.3-53　アパート C の筋かい端部（釘打ち）



写真 5.3-54 倒壊した木造アパート D



写真 5.3-55 アパート D の柱頭部
（柱脚、筋かい端部は釘打ちのみ）



写真 5.3-56 倒壊した木造アパート E



写真 5.3-57 アパート E の柱頭部
（柱脚、筋かい端部は釘打ちのみ）



写真 5.3-58　倒壊した木造アパート



写真 5.3-59　横ずれした木造アパート



写真 5.3-60 傾斜した木造アパート



写真 5.3-61 傾斜した木造アパート



写真 5.3-62 大破した木造アパート



写真 5.3-63 倒壊した木造アパート



写真 5.3-64 倒壊した木造住宅



写真 5.3-65 倒壊した木造住宅



写真 5.3-66 倒壊した木造住宅



写真 5.3-67 倒壊した木造住宅



写真 5.3-68 倒壊した木造住宅（金物あり）



写真 5.3-69 写真 5.3-68 の住宅の柱頭部
（柱脚柱頭は金物あり）



写真 5.3-70　倒壊した木造住宅（金物あり）

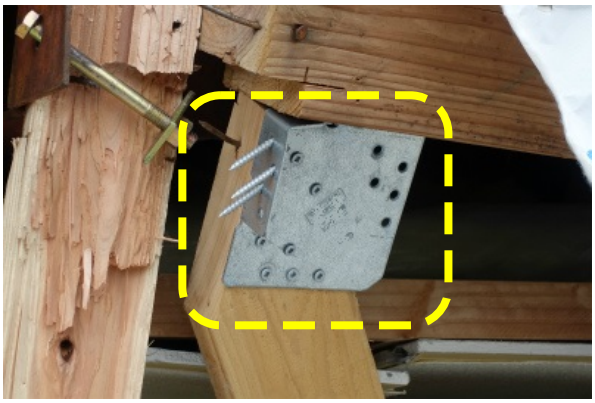


写真 5.3-71　写真 5.3-.16 の住宅の柱頭部
（壁倍率 2 倍用筋かい金物）

5.3.3 益城町中心部において倒壊した木造建築物の被害要因の分析

（1）新耐震以降の建築確認で倒壊した木造建築物の構造的特徴と被害要因の集計

国総研・建研では、益城町中心部における現地調査（表 5.3-1 の第 6 次、第 10 次調査）を実施し、新耐震の木造住宅で倒壊・崩壊したものを中心に被害状況の把握、構造仕様の確認を行った。その結果、分析対象として 102 棟の木造住宅を選定し、構造的特徴の把握と被害要因の分析を行った。図 5.3-4 に調査対象の木造住宅の大凡の位置を示したが、分析対象には悉皆調査の調査エリアの木造住宅の他、悉皆調査エリア外の木造住宅 19 棟を含んでいる。

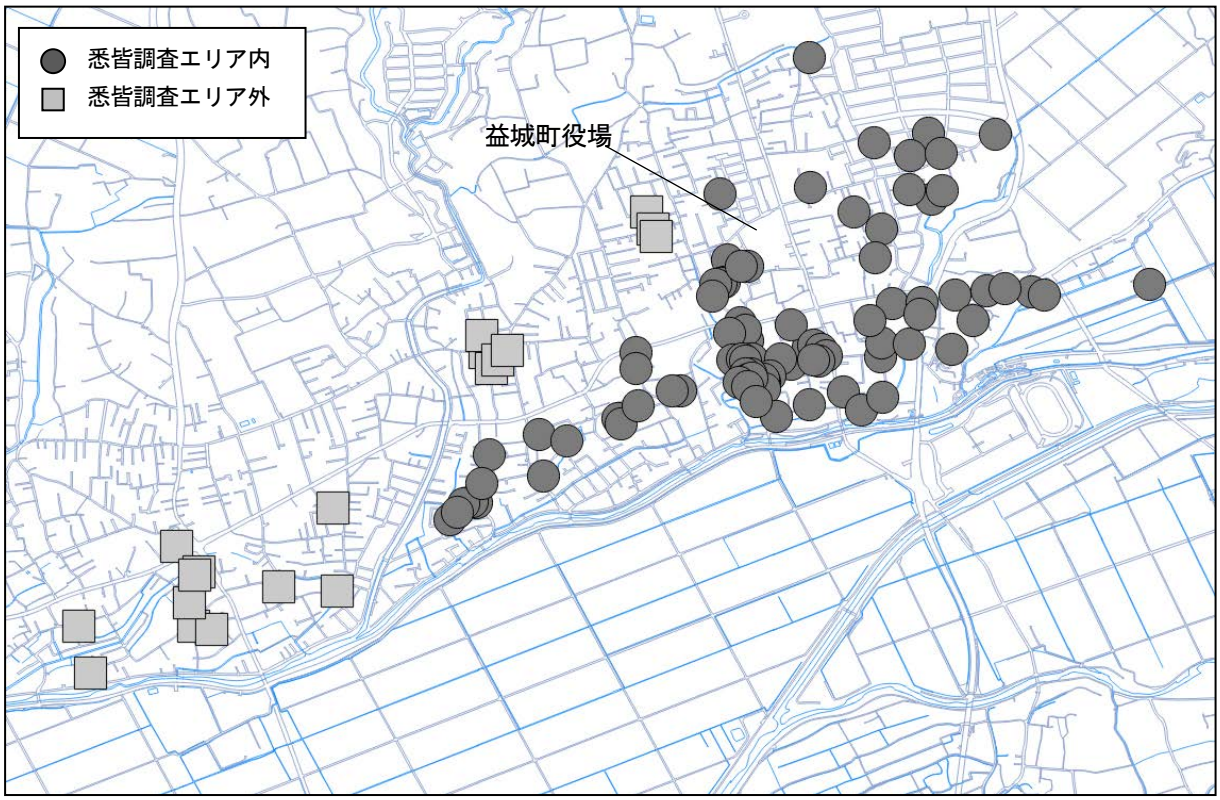


図 5.3-4 分析対象の木造建築物の位置（国土地理院地図を編集）

被害の概要・構造的特徴等を表 5.3-2 に示した。図中の被害要因には柱脚・柱頭接合部の金物の有無のほか、平面不整形、隣の建物の衝突など、被害が大きくなった要因について集計を行った。集計の結果、下記のことが明らかとなった。

・分析対象の 102 棟のうち、筋かい端部の接合部仕様を確認したものが 68 棟（2000 年以降 7 棟）で、その中で接合部仕様が不十分であったものが 50 棟（73.5%、2000 年以降 2 棟）であった。

・分析対象の 102 棟のうち、柱脚柱頭の接合部仕様を確認したものが 96 棟（2000 年以降 7 棟）で、その中で接合金物が施工されていることを確認したものが 29 棟（30.2%）、現行基準通りの接合部仕様と推定されるものが 4 棟（4.2%、2000 年以降 4 棟）であった。残りの 92 棟（95.8%）は現行基準の接合部仕様を満たしていない可能性が考えられる。図 5.3-5 に接合部仕様の施工状況についてグラフで示した。

・分析対象の 102 棟のうち、接合部仕様以外の被害を大きくした要因（隣棟の衝突、立面・平面不整形等）に該当するものは 31 棟であった。

・2000 年改正以降で倒壊した 7 棟については、入手した図面等から被害要因の分析を行った。次項に詳細を報告する。

・文献における分析結果[5.3-4]に基づき、前震と本震の間の 4 月 15 日に斜め方向から撮影された益城町中心部の航空写真（国土地理院電子国土 WEB）により、前震で倒壊した木造住宅の確認を行った。悉皆調査エリア内で前震により倒壊した木造住宅を 35 棟確認した。そのうち旧耐震が 30 棟であった。残りの新耐震 5 棟は新耐震の木造建築物であった。5 棟全てにおいて接合部仕様が不十分、隣接した新耐震以前の建物の衝突等が主な倒壊要因の一つであることが推定された。

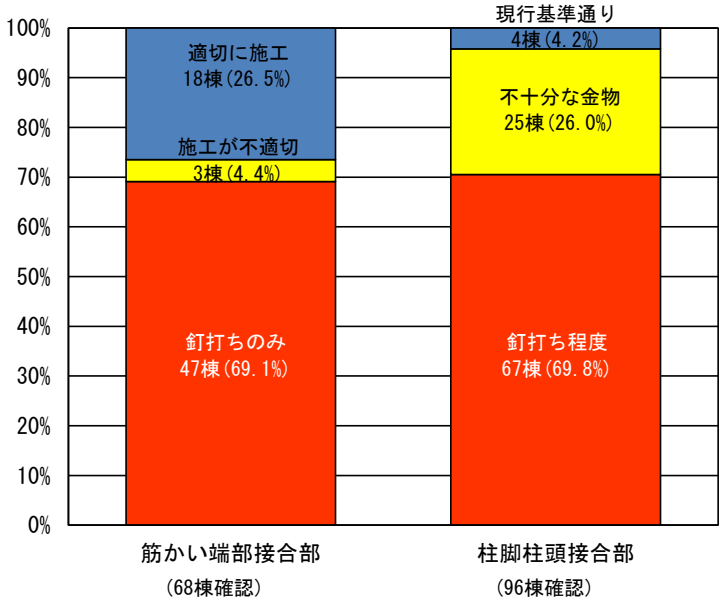


図 5.3-5 筋かい端部接合部と柱脚柱頭接合部の仕様

表 5.3-2 分析対象の木造建築物の構造的特徴と被害要因

番号	建築年	前震で倒壊	被害概要	階数	構法	被害要因（仕様規定不適合、既存不適格の可能性）							被害要因（他の要因）						柱脚柱頭金物	筋かい金物
						筋かい端部の金物が釘打ち程度	筋かい端部の金物の施工が不適切	柱脚・柱頭の接合方法が釘打ち・かすがい程度	柱脚・柱頭の仕様未確	柱脚・柱頭金物が不十分な可能性（現行基準の金物を未確認）	柱脚柱頭金物が施工が不適切	壁量不足	2階の床面積が極めて小さい	隣の建物の衝突	増築・改修の影響	鉄骨梁等により重量が重い	生物劣化	平面不正形（構造体分離）		
1	2000年以降		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○											○	○
2	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○												○
3	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○											かすがい	
4	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
5	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	○
6	新耐震		倒壊（敷地の崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
7	2000年以降		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組														○	○
8	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○										○		
9	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	○
10	新耐震		倒壊（全体崩壊）	2	2X4材使用										○				○	
11	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
12	2000年以降		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○												○
13	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	1	在来軸組			○												
14	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
15	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
16	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○												
17	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○		○								○	かすがい	
18	2000年以降		倒壊（1層の層崩壊）	1	在来軸組	○		○								○		○		釘打ち
19	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○												
20	新耐震		倒壊（全体崩壊）	1	在来軸組				○											
21	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	1	在来軸組				○											
22	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）		在来軸組	○		○							○					釘打ち
23	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組		○			○									○	○
24	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
25	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	
26	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○								○	○	
27	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
28	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
29	新耐震		倒壊	2	在来軸組			○												
30	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	
31	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	
32	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	○
33	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
34	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	○
35	新耐震		倒壊（2層の崩壊）	2	在来軸組			○					○							
36	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	1	在来軸組			○										○		
37	2000年以降		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組														○	○
38	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○	○								○	○
39	新耐震		倒壊	2	在来軸組			○							○			○		
40	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○	○								○	○
41	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	1	在来軸組				○											
42	2000年以降		倒壊（1層の層崩壊）	1	在来軸組	○		○							○			○	かすがい	釘打ち
43	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	○
44	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	2X4材使用														○	
45	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	2X4材使用														○	
46	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組						○								○	○
47	新耐震	前震			在来軸組	○		○									○			釘打ち
48	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組				○									○		
49	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	○
50	新耐震				在来軸組			○												
51	新耐震		倒壊（2層の層崩壊）		在来軸組	○		○												釘打ち
52	2000年以降		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組														○	○
53	新耐震				在来軸組	○		○												釘打ち
54	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○										○		釘打ち
55	新耐震				在来軸組	○		○												釘打ち
56	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）		在来軸組			○				○								
57	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）		在来軸組	○		○								○				釘打ち
58	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
59	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
60	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○												釘打ち
61	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
62	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○	○								○	○
63	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	2X4材使用				○											
64	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○	○								○	○
65	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組					○									○	
66	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
67	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	1	在来軸組	○				○									○	釘打ち
68	新耐震		倒壊（全体崩壊）	1	在来軸組			○									○			
69	新耐震	前震	倒壊（1層の層崩壊）		在来軸組	○		○												釘打ち
70	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○										○		
71	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
72	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○							○					釘打ち
73	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
74	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）		在来軸組	○		○												釘打ち
75	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○							○			○		
76	新耐震	前震	倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
77	新耐震	前震	倒壊（1層の層崩壊）	2	2X4材使用									○					○	
78	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）		在来軸組	○		○							○					釘打ち
79	新耐震				在来軸組	○		○												釘打ち
80	新耐震				在来軸組	○		○												釘打ち
81	新耐震	前震	倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
82	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）		在来軸組				○						○			○		
83	新耐震		倒壊	2	在来軸組			○		○									かすがい	
84	新耐震		倒壊	2	在来軸組	○				○									○	釘打ち
85	新耐震		倒壊	2	在来軸組	○				○									○	釘打ち
86	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組		○	○											込栓	○
87	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
88	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
89	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○				○						○		
90	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
91	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組		○	○				○						○		○
92	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○									○			釘打ち
93	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
94	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○										○		釘打ち
95	新耐震		倒壊（全体崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
96	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○				○									○	釘打ち
97	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組			○												○
98	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○						○						釘打ち
99	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
100	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○												釘打ち
101	新耐震		倒壊（1層の層崩壊）	2	在来軸組	○		○										○		釘打ち
			要因数		**棟数**	**47**	**3**	**66**	**6**	**22**	**5**	**3**	**1**	**2**	**8**	**2**	**3**	**16**	**29**	**21**
			割合		**割合(%)**	**46.5**	**3.0**	**65.3**	**5.9**	**21.8**	**5.0**	**3.0**	**1.0**	**2.0**	**7.9**	**2.0**	**3.0**	**15.8**	**28.7**	**20.8**

(2) 2000 年 6 月以降の建築確認で倒壊した木造建築物の構造的特徴と被害要因の分析

益城町中心部で、2000 年 6 月の接合部等の基準の明確化を図った現行基準導入以降の木造住宅 322 棟のうち 7 棟（約 2.2%）の倒壊が確認された。倒壊の原因究明を目的として入手した図面等による分析を行った。倒壊した 7 棟のうち 4 棟については現地調査により、不十分な接合部の仕様、地盤変状の影響等の被害要因が見られた。残りの 3 棟と参考までに接合部仕様が不十分であった 1 棟を分析対象として、建築基準法施行令 46 条の壁量計算、品確法評価方法基準における壁量計算 [5.3-5]、許容応力度計算、保有水平耐力計算、及び限界耐力計算により耐震性能の確認を行った。また、3 棟について、近隣で観測された地震波を用いて、限界耐力計算、時刻歴応答解析を行った。以下、分析対象の 4 棟を A-1～A-4（接合部仕様が不十分であった 1 棟が A-4）と呼称する。4 棟の概要を表 5.3-3 に示した。

表 5.3-3 2000 年 6 月以降の建築確認で倒壊した木造建築物の構造的特徴

名称	A-1	A-2	A-3	A-4
構造的被害	1 層の層崩壊	1 層の層崩壊	1 層の層崩壊	1 層の層崩壊
敷地・基礎の被害	基礎被害：無し 地盤変状：無し	基礎被害：確認できず 地盤変状：無し	基礎被害:確認できず 地盤変状：無し	基礎被害:軽微な亀裂 地盤変状：無し
構法	軸組構法 2 階建て	軸組構法 2 階建て	軸組構法 2 階建て	軸組構法 2 階建て
外壁	サイディング	サイディング	ALC サイディング	サイディング モルタル
内壁	せっこうボード	せっこうボード	せっこうボード	せっこうボード
屋根	スレート瓦	桟瓦葺	桟瓦葺	桟瓦葺
耐震要素	2 つ割り筋かい	2 つ割り筋かい	2 つ割り筋かい	2 つ割り筋かい
接合部	ホールダウン金物 筋かい金物	ホールダウン金物 筋かい金物	ホールダウン金物 筋かい金物	筋かい金物
1F 床面積	90.18m^2	86.00m^2	76.96m^2	53.89m^2
2F 床面積	84.47m^2	50.00m^2	69.99m^2	45.16m^2
その他	・細径鋼管による地盤補強を行っているとのこと（鋼管 100 本程度） ・杭は住宅の真下のみ ・前震では被害軽微、本震で倒壊			・RC 造の杭を確認 ・敷地に大きな亀裂 ・接合部仕様が不十分

①壁量計算による検討

分析対象の 4 棟の他、益城町中心部において被害が軽微な建築物についても図面の入手を行った。入手した図面から建築基準法施行令 46 条における必要壁量と、品確法評価方法基準の等級 2 に相当する必要壁量を 1.25 で除した値を分母として、存在壁量の余裕率の検討を行った。表 5.3-4 に計算結果を示した。A-1～A-4 以外の B-1～B-17 は無被害か被害軽微であった木造住宅、C-1～C-6 は分析対象 4 棟の近隣のエリアで無被害か被害軽微であった木造住宅である。なお、品確法の存在壁量には準耐力壁は加算してない。図 5.3-6 に令 46 条の壁量計算と、評価方法基準の壁量余裕率を比較して示した。赤色プロットは分析対象 4 棟（倒壊した方向の壁量余裕率）、緑色プロットは無被害か被害軽微であった木

造住宅、黄色プロットは分析対象 4 棟の近隣のエリアで無被害か被害軽微であった木造住宅の 1 階の X 方向、Y 方向の壁量余裕率である。倒壊した A-1～A-4 は他の無被害か被害軽微であった木造住宅と同程度の壁量を有していたことが分かる。

表 5.3-4 分析対象の木造建築物の壁量余裕率（地震力）

ID	令46条 壁量余裕率(地震力)				評価方法基準　壁量余裕率(地震力)			
	1F X方向	1F Y方向	2F X方向	2F Y方向	1F X方向	1F Y方向	2F X方向	2F Y方向
A-1	1.41	1.36	2.01	1.94	1.31	1.26	1.69	1.63
A-2	1.04	1.06	1.33	2.62	1.10	1.11	1.09	2.15
A-3	1.50	1.42	2.05	2.07	1.25	1.18	1.73	1.75
A-4	1.42	1.85	1.64	2.05	1.24	1.62	1.37	1.72
被害軽微、無被害								
B-1	1.37	1.83	3.10	2.91	1.27	1.69	2.61	2.45
B-2	1.07	1.02	2.29	1.14	1.01	0.97	1.92	0.96
B-3	1.19	1.65	1.74	2.13	1.11	1.54	1.46	1.78
B-4	1.23	1.48	2.02	1.77	1.14	1.36	1.70	1.48
B-5	1.83	2.19	2.00	2.35	1.48	1.77	1.70	2.00
B-6	1.17	1.44	3.24	2.60	1.24	1.53	1.97	1.57
B-7	1.95	1.72	2.89	2.67	1.99	1.76	2.40	2.22
B-8	1.27	1.27	1.55	1.75	1.14	1.14	1.30	1.46
B-9	1.67	1.50	2.44	1.22	1.83	1.63	2.01	1.00
B-10	1.17	1.43	1.60	2.16	1.14	1.40	1.33	1.79
B-11	1.42	1.42	1.53	1.84	1.18	1.18	1.29	1.55
B-12	1.25	1.10	1.17	1.10	1.17	1.02	0.98	0.92
B-13	1.58	1.83	1.39	2.21	1.42	1.64	1.16	1.85
B-14	1.56	1.90	1.60	1.81	1.25	1.52	1.35	1.54
B-15	1.37	1.62	1.73	1.90	1.34	1.59	1.43	1.58
B-16	1.29	1.01	1.74	1.19	1.28	0.99	1.45	0.99
B-17	1.34	1.29	2.12	2.00	1.37	1.32	1.76	1.67
分析中4棟の近隣								
C-1	1.39	1.37	1.45	1.43	1.11	1.10	1.23	1.21
C-2	1.77	2.74	3.16	4.66	1.54	2.37	2.67	3.94
C-3	1.97	2.78	4.47	4.47	2.04	2.87	3.72	3.72
C-4	1.28	1.11	1.50	1.72	1.14	0.98	1.26	1.44
C-5	1.06	1.04	1.65	1.03	0.92	0.90	1.39	0.86
C-6	1.31	1.57	2.62	2.14	1.19	1.42	2.19	1.79

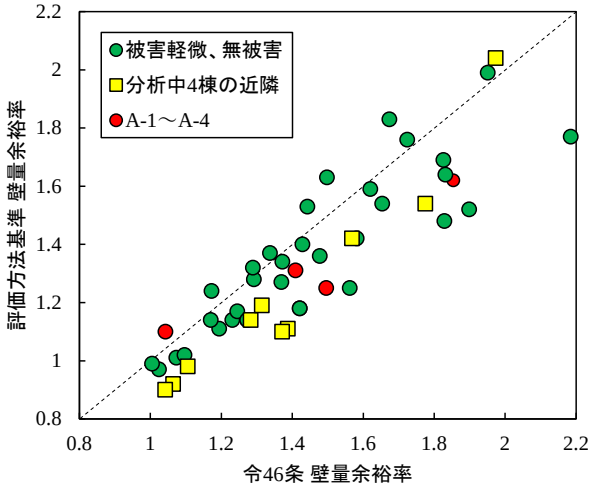


図 5.3-6 壁量余裕率の比較

②許容応力度計算による検討

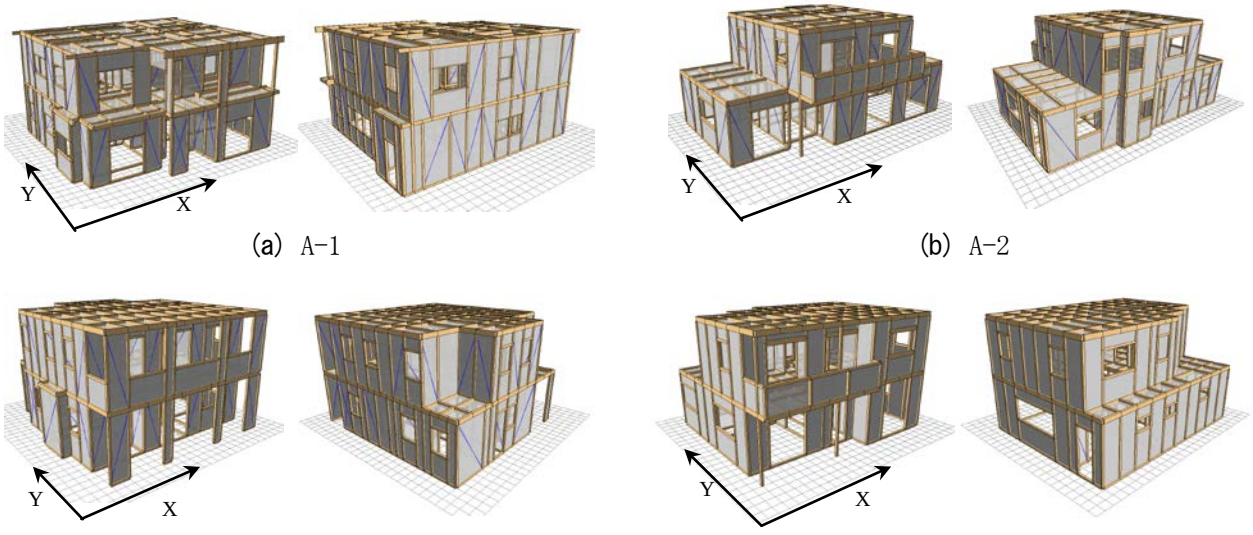
分析対象の 4 棟について、許容応力度計算による地震力の検討を行った。図面から重量を拾うことにより地震力 Q_E を算出し、短期許容せん断耐力 Qa は令 46 条の存在壁量に 1.96 を乗じた値とした。なお、本項における検討は鉛直構面の許容せん断耐力のみとし、接合部や横架材等の検討は行っていない。検討結果を表 5.3-5 に示した。A-3 のみ検定比が 1 を超える結果となった。A-3 は外壁、屋根の固定荷重が重く、壁量計算の想定する重量よりも構造計算の重量が重かったため、検定比が 1 を超えたと考えられる。

表 5.3-5 許容応力度計算による検定比

ID	層	方向	層の荷重 Wi (kN)	層の支持荷重 ΣWi (kN)	αi	高さ h (m)	固有周期 T (s)	Ai	Z	Rt	Ci	地震力 Q_E (kN)	許容せん断耐力 Qa (kN)	検定比 Q_E/Qa
A-1	1	X	175.4	287.0	1.00	7.3	0.22	1.00	0.9	1.0	0.18	51.7	72.2	**0.72**
		Y	175.4	287.0	1.00	7.3	0.22	1.00	0.9	1.0	0.18	51.7	69.6	**0.74**
	2	X	111.6	111.6	0.39	7.3	0.22	1.32	0.9	1.0	0.24	26.5	49.9	**0.53**
		Y	111.6	111.6	0.39	7.3	0.22	1.32	0.9	1.0	0.24	26.5	48.2	**0.55**
A-2	1	X	191.2	274.6	1.00	6.0	0.18	1.00	0.9	1.0	0.18	49.4	58.0	**0.85**
		Y	191.2	274.6	1.00	6.0	0.18	1.00	0.9	1.0	0.18	49.4	58.8	**0.84**
	2	X	83.4	83.4	0.30	6.0	0.18	1.35	0.9	1.0	0.24	20.3	27.4	**0.74**
		Y	83.4	83.4	0.30	6.0	0.18	1.35	0.9	1.0	0.24	20.3	53.9	**0.38**
A-3	1	X	267.1	459.4	1.00	6.2	0.19	1.00	0.9	1.0	0.18	82.7	74.5	**1.11**
		Y	267.1	459.4	1.00	6.2	0.19	1.00	0.9	1.0	0.18	82.7	70.7	**1.17**
	2	X	192.3	192.3	0.42	6.2	0.19	1.27	0.9	1.0	0.23	43.9	59.2	**0.74**
		Y	192.3	192.3	0.42	6.2	0.19	1.27	0.9	1.0	0.23	43.9	59.7	**0.74**
A-2	1	X	159.3	253.2	1.00	5.6	0.17	1.00	0.9	1.0	0.18	45.6	49.4	**0.92**
		Y	159.3	253.2	1.00	5.6	0.17	1.00	0.9	1.0	0.18	45.6	64.6	**0.71**
	2	X	93.9	93.9	0.37	5.6	0.17	1.28	0.9	1.0	0.23	21.7	30.4	**0.71**
		Y	93.9	93.9	0.37	5.6	0.17	1.28	0.9	1.0	0.23	21.7	38.0	**0.57**

③保有水平耐力計算による検討

分析対象の 4 棟のうち被害要因が特定できていない 3 棟（A-1～A-3）と、A-2、A-3 の近隣で無被害だった C-6 について、立体骨組モデルを用いた保有水平耐力計算を行った。解析モデルを図 5.3-7 に示した。



(a) A-1　(b) A-2

(c) A-3　(d) C-6

図 5.3-7 解析モデルの概要

立体骨組のモデル化とプッシュオーバー解析、及び、以降で説明する時刻歴応答解析は国土技術政策総合研究所のホームページにおいて無償公開している木造住宅用の数値解析プログラム「wallstat（ウォールスタット）」[5.3-6]を用いた。解析モデルの耐震要素として筋かい、サイディング、せっこうボードの鉛直構面壁を考慮し、筋かいは両側に面材が張られている場合の座屈拘束効果を考慮してモデル化を行った[5.3-7)～5.3-8)]。垂壁・腰壁における内外壁も耐震要素として考慮した。壁倍率の大臣認定を取得している耐力壁については、性能評価実験の荷重変形関係からモデル化を行った。プッシュオーバーは Ai 分布に応じて、解析対象の建築物が倒壊した方向に、該当する解析モデルの各階の床・小屋組レベルを荷重増分させることで各層の層せん断力を算出した。必要保有水平耐力算出の際の Ds は解析モデルの荷重変形関係を完全弾塑性で置換（1 層の 1/200rad を降伏変位、1/15rad または 0.8Pmax 時の変位を終局変位と仮定）し、塑性率 μ から $Ds=1/(2\mu-1)^{0.5}$ として算出した。図 5.3-8 に 1 層の荷重変形関係、保有水平耐力計算による検討結果を表 5.3-6 に示した。表中の終局せん断耐力 1 は令 46 条の存在壁量を 1.5 倍し、1.96kN/m を乗じた値で、終局せん断耐力 2 は解析モデルの荷重変形関係から、完全弾塑性に置換した際の Qu を示した。令 46 条の耐力壁のみ考慮した終局せん断耐力 1 の検定比では A-1 以外は全て 1 を超える結果となったが、余力を考慮した終局せん断耐力 2（保有水平耐力）では、検定比は全て 1 を下回る結果となった。

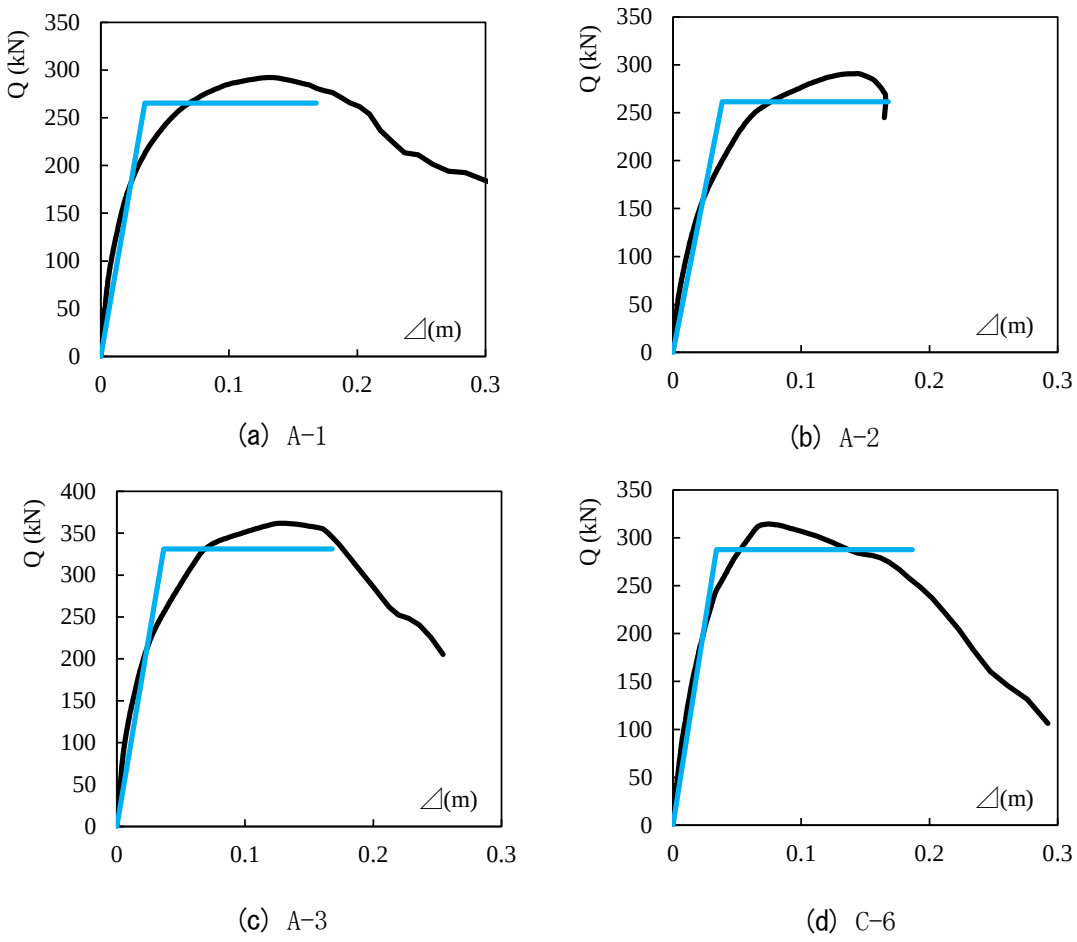


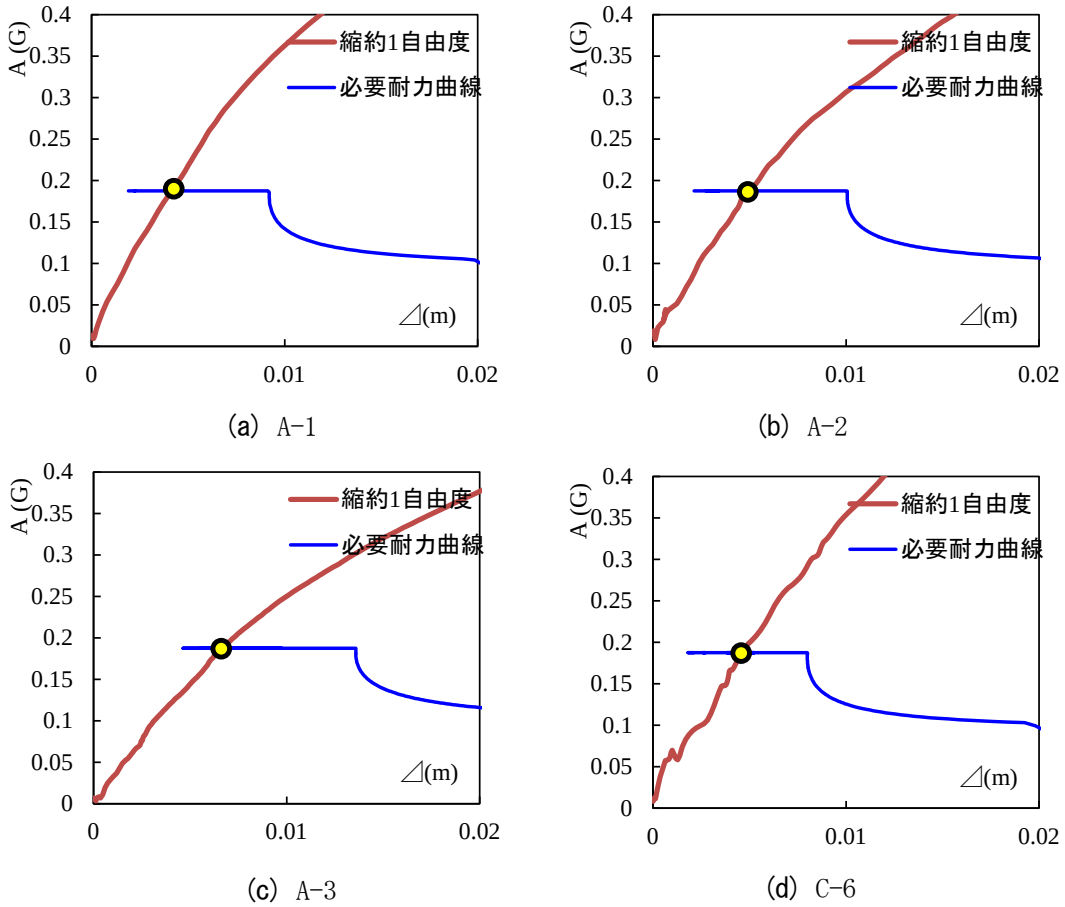
図 5.3-8 解析モデルの 1 層の荷重変形関係

表 5.3-6 保有水平耐力計算による検定比

ID	層	方向	層の荷重 Wi (kN)	層の支持荷重 ΣWi (kN)	αi	高さ h (m)	固有周期 T (s)	Ai	Z	Rt	Ci	Fes	Ds	必要保有水平耐力 Qun (kN)	終局せん断耐力1 Qu (kN)	終局せん断耐力2 Qu (kN)	検定比 Qu_1/Qun	検定比 Qu_2/Qun
A-1	1	X	175.4	287.0	1.00	7.3	0.22	1.00	0.9	1.0	0.90	1.00	0.34	87.0	108.4	265.5	**0.80**	**0.33**
		Y	175.4	287.0														
	2	X	111.6	111.6														
		Y	111.6	111.6														
A-2	1	X	191.2	274.6	1.00	6.0	0.18	1.00	0.9	1.0	0.90	1.00	0.36	88.8	87.0	261.6	**1.02**	**0.34**
		Y	191.2	274.6														
	2	X	83.4	83.4														
		Y	83.4	83.4														
A-3	1	X	267.1	459.4	1.00	6.2	0.19	1.00	0.9	1.0	0.90	1.00	0.35	144.3	111.7	331.3	**1.29**	**0.44**
		Y	267.1	459.4														
	2	X	192.3	192.3														
		Y	192.3	192.3														
C-6	1	X	159.3	253.2	1.00	5.6	0.17	1.00	0.9	1.0	0.90	1.00	0.33	75.6	74.1	282.5	**1.02**	**0.27**
		Y	159.3	253.2														
	2	X	93.9	93.9														
		Y	93.9	93.9														

④限界耐力計算による検討

前項のプッシュオーバー解析により得られた荷重変形関係から限界耐力計算マニュアル[5.3-9]に従い、等価線形化法による応答計算を行った。必要耐力曲線に乗じる係数は p=0.85（2 階建て）、q=1.0、Z=0.9 とし、第二種地盤の稀地震、極稀地震の応答スペクトルを元に計算した。各解析モデルの縮約一自由度の A-⊿曲線と必要耐力曲線の関係について、稀地震を図 5.3-9 に、極稀地震を図 5.3-10 に示した。各層の荷重変形関係と、稀地震、極稀地震の応答を図 5.3-11 に示した。表 5.3-7 に各地震波の応答をまとめて示したが、全ての解析モデルで、損傷限界（1/120rad）、安全限界（1/30rad）を満たす結果となった。



(a) A-1　(b) A-2

(c) A-3　(d) C-6

図 5.3-9 稀地震の必要耐力曲線と解析モデルの A-⊿関係

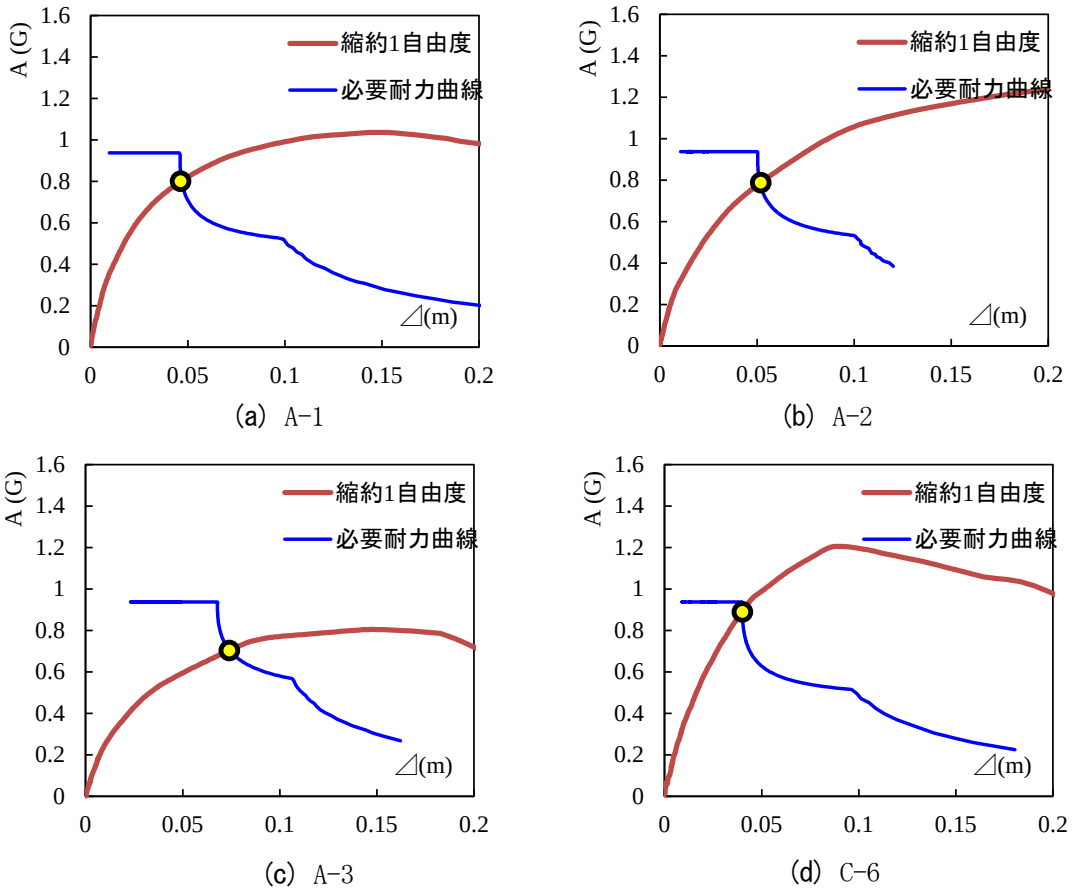


図 5.3-10 極稀地震の必要耐力曲線と解析モデルの A-⊿関係

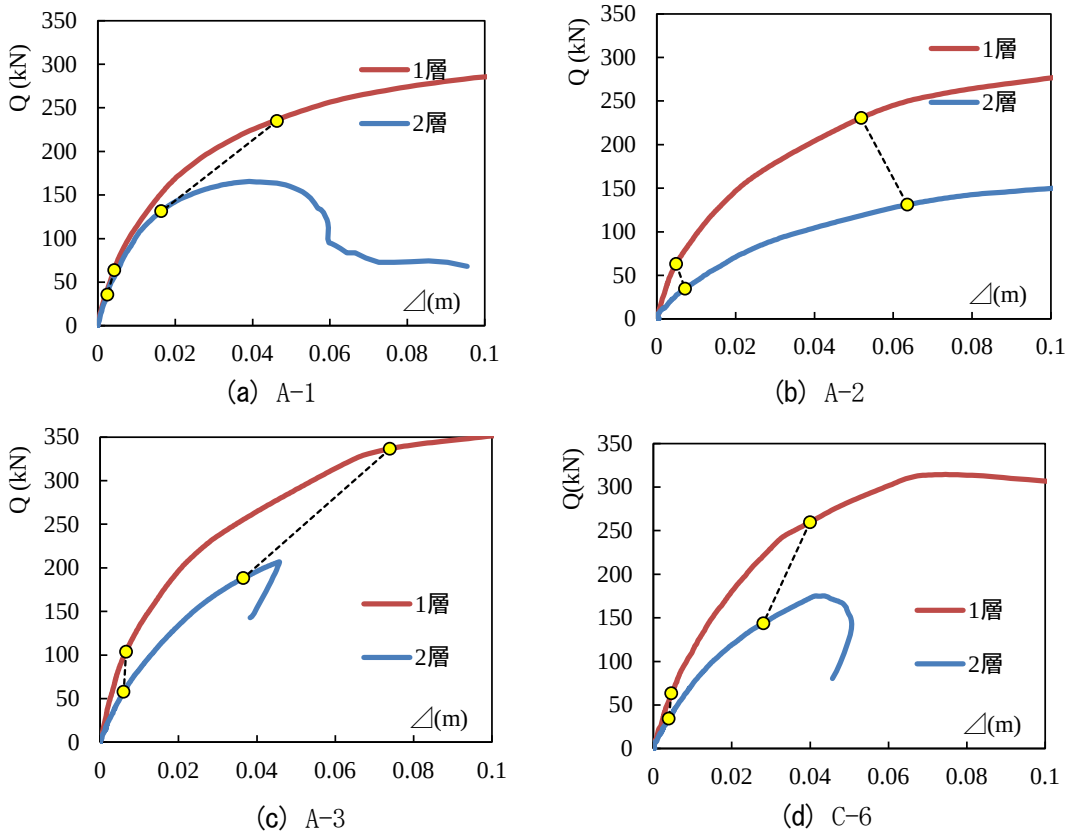


図 5.3-11 各層の荷重変形関係と応答点

表 5.3-7 各層の層間変形角

ID	層	方向	稀地震層間変形角	極稀地震層間変形角
A-1	1	X	1/850	1/71
	2	X	1/1469	1/189
A-2	1	X	1/1008	1/88
	2	X	1/683	1/70
A-3	1	X	1/667	1/48
	2	X	1/683	1/92
C-6	1	X	1/882	1/96
	2	X	1/1023	1/128

⑤実態重量を反映した解析モデルを用いた限界耐力計算、時刻歴応答解析による検討

前項までの各種構造計算では設計用の固定荷重、積載荷重（地震力）を用いて重量の算定を行ったが、木造住宅の実態重量は構造計算用の重量より低いことが知られている[5.3-10]。本項では実際の建築物の被害状況を再現することを目的として、分析対象の木造住宅の実態に近い重量を推定した解析モデルを用いて、限界耐力計算、時刻歴応答解析による被害再現を試みた。具体的には解析モデルの重量について下記の調整を行っている。

1）積載荷重は実態を反映して、600 N/m^2→200 N/m^{2}に減少させる。

2）外壁の開口率 40%、内壁の開口率 50%を考慮して、固定荷重から減少させる。

時刻歴応答解析の入力波として用いた波形は平成 28 年 4 月 14 日 21:26 及び 4 月 16 日 1:25 に国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測点[5.3-11]（KiK-net 益城：コード KMMH16）で観測された波形と、大阪大学大学院工学研究科 秦吉弥氏が記録・公開した本震の記録[5.3-12]である。以降、KiK-net 益城における前震の際の記録を「KiK-net 益城 0414（前震）」、本震の際の記録を順に「KiK-net 益城 0416（本震）」と呼ぶ。大阪大学の波形は「TMP1」、「TMP2」、「TMP3」の 3 種類が公開されているが、

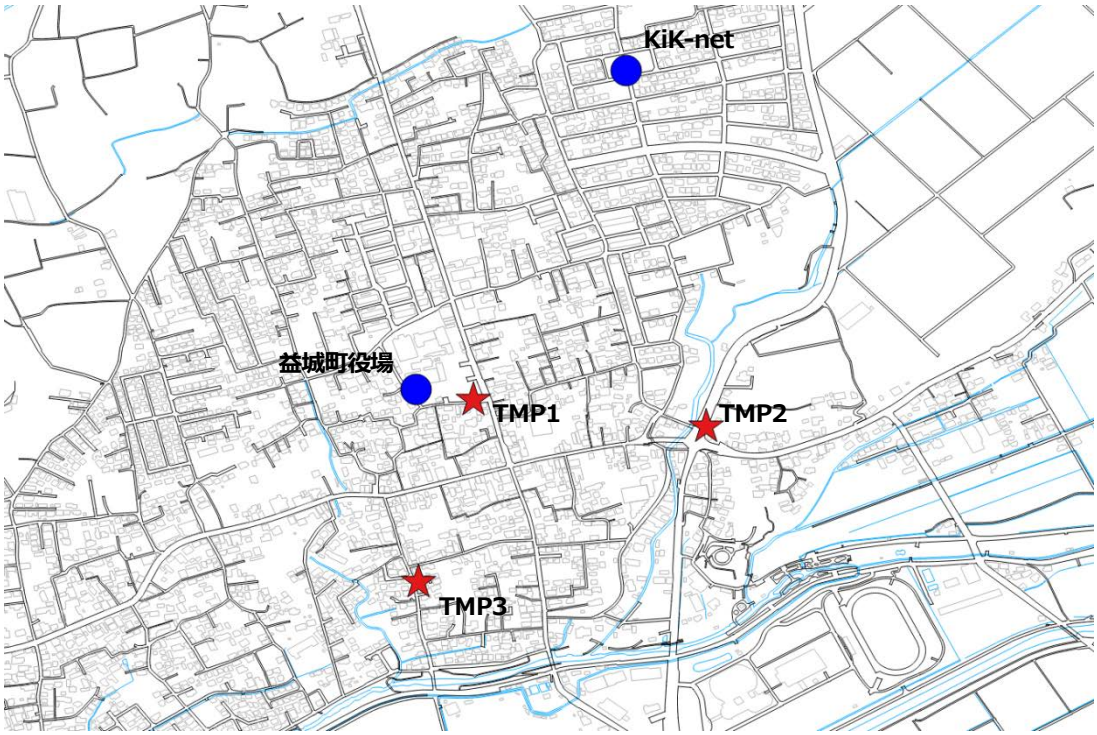
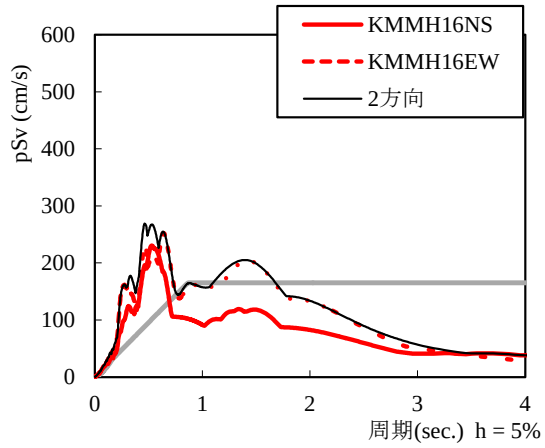
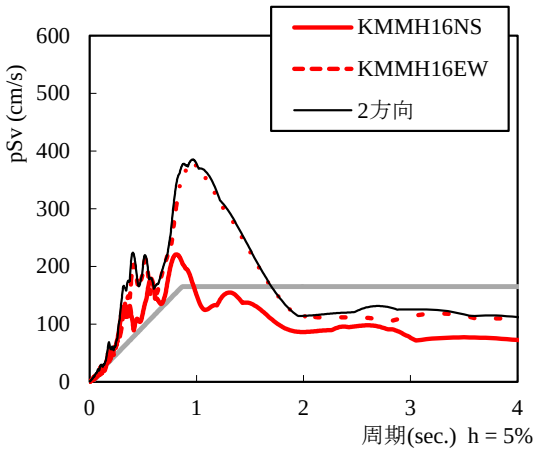


図 5.3-12 観測点の位置

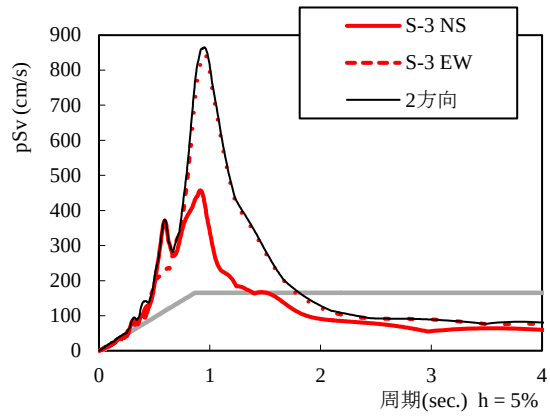
本項では分析対象の A-2、A-3 の近隣に位置する「TMP3」を用いた。KiK-net 益城は A-1 から約 350m 離れた位置にあり、A-1 の検討に用いた。TMP3 は、A-2、A-3、C-6 から 120m～160m 離れた位置にあり、A-2、A-3、C-6 の検討に用いた。強震観測点の位置を図 5.3-12 に示した。各波形の減衰定数 5%の擬似速度応答スペクトルを図 5.3-13 に示した。2 波形とも主要な地震動は 30 秒程度継続する波形である。時刻歴応答解析には、加速度波形を文献[5.3-13, 5.3-14]による方法により変位波形に変換して、波形の主要な領域 30 秒間を抽出し、入力地震波として用いた。



(a) KiK-net 益城 0414（前震）



(b) KiK-net 益城 0416（本震）



(c) TMP3

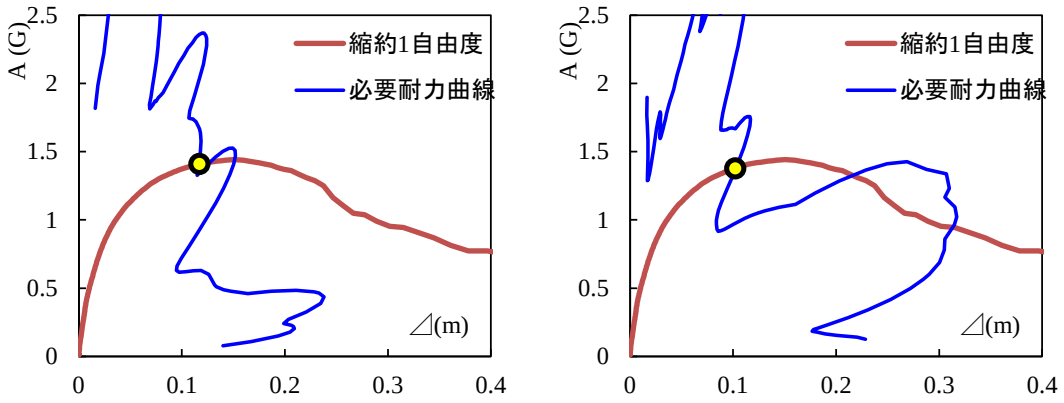
※速度応答スペクトルの灰色の線は建築基準法第 2 種地盤の極稀地震（地域係数 Z=1.0 ）に対応する応答スペクトル
※黒線「2 方向」は水平 2 方向（NS-EW）の最大方向の値

図 5.3-13 検討に用いた地震波の擬似速度応答スペクトル

(a) 地震波を必要耐力曲線とした限界耐力計算による検討

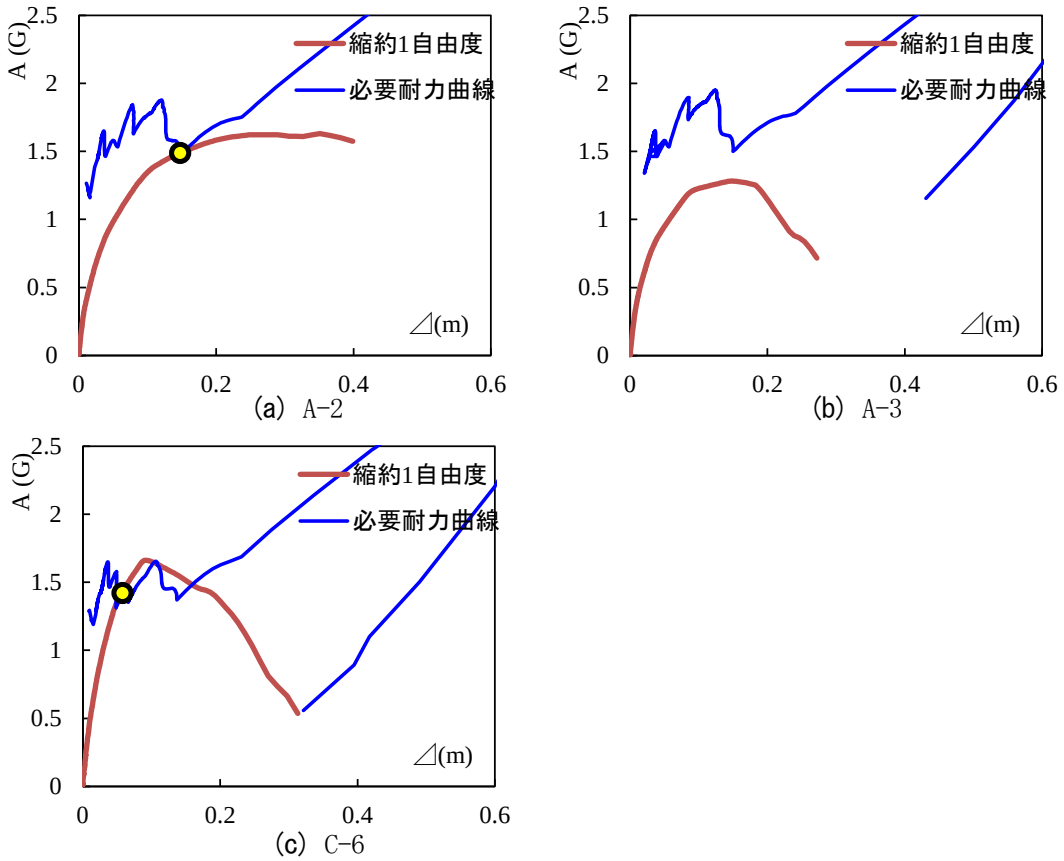
入力地震波の 5%の応答スペクトルを元にして、解析モデルの 1 自由度縮約の荷重変形関係から減衰による低減係数、等価周期を計算し、必要耐力曲線を算定することで応答値の計算を行った。必要耐力曲線等に乗じる係数である p、q、Z、Gs 等は全て 1.0 とした。A-1 については、倒壊した方向の KiK-net 益城の EW 方向の波形を用い、A-2、A-3、C-6 は、A-2、A-3 が倒壊した方向の TMP3 の EW 方向の波形を用いた。図 5.3-14、図 5.3-15 に解析モデルの必要耐力曲線と等価 1 自由度の A-⊿の関係を示し、図 5.3-16、図 5.3-17 に各層の荷重変形関係と応答点を示した。表 5.3-8 に応答点の層間変形角をまとめて示した。A-1 は 1 層 1/28～1/30rad 程度の応答で倒壊しない結果となった。A-2 は 2 層が 1/25rad の層間変形となったが、図 5.3-15(a)に示した通り、応答点が A-⊿の最大荷重手前の変形でかろうじて得られる結果となった。A-3 は応答点が得られず倒壊する可能性が高い結果となった。C-6 は 1/67rad 程度の変形となった。C-6 は耐力壁以外の垂れ壁・腰壁等の耐震要素の影響が大きく、他の解析モデ

ルに比べて剛性・耐力が大きく、TMP3 の EW 方向の必要耐力曲線に対して応答点が得られる結果となっている。



(a) KiK-net 益城 0414 EW　　(b) KiK-net 益城 0416 EW

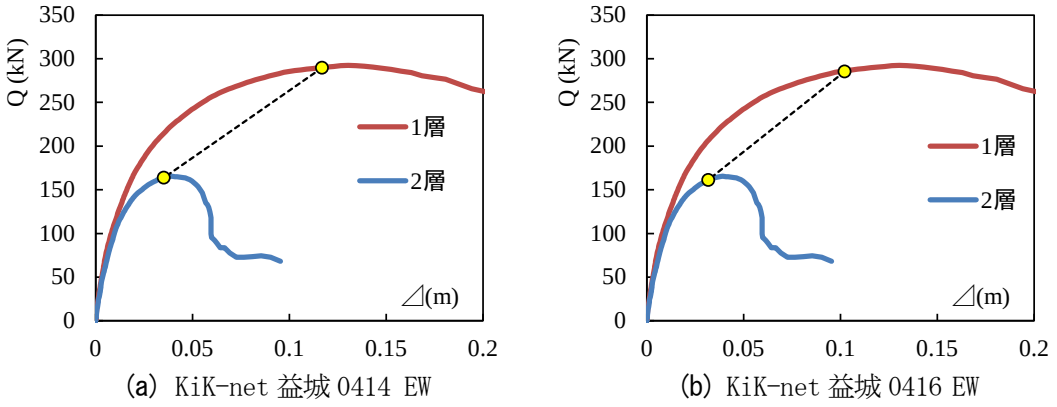
図 5.3-14 KiK-net 益城の必要耐力曲線と解析モデルの A-1 の A-⊿関係



(a) A-2　　(b) A-3

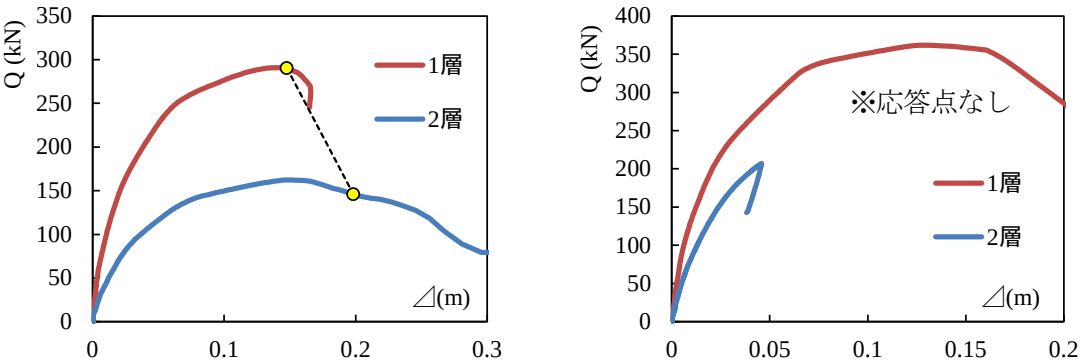
(c) C-6

図 5.3-15 TMP3 EW 方向の必要耐力曲線と解析モデルの A-⊿関係

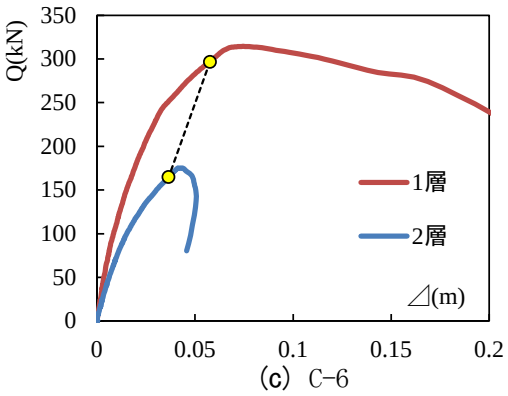


(a) KiK-net 益城 0414 EW　　(b) KiK-net 益城 0416 EW

図 5.3-16 解析モデル A-1 の荷重変形関係と KiK-net 益城の応答点



(a) A-2　　(b) A-3



(c) C-6

図 5.3-17 解析モデルの荷重変形関係と TMP3 EW 方向の応答点

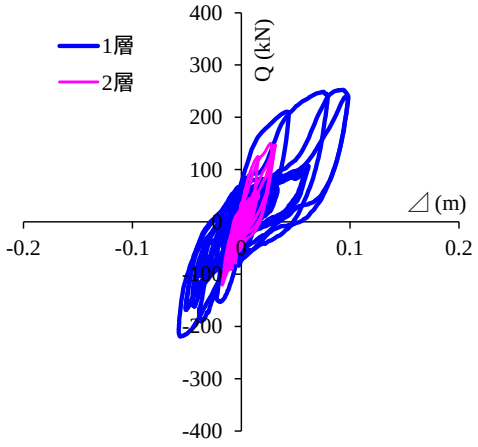
表 5.3-8 解析モデルの層間変形まとめ

ID	地震波	層	方向	層間変形角
A-1	KiK-net益城 0414 EW	1	X	1/28
		2	X	1/88
A-1	KiK-net益城 0416 EW	1	X	1/32
		2	X	1/98
A-2	TMP3 EW	1	X	1/32
		2	X	1/25
A-3		1	X	応答点なし
		2	X	応答点なし
C-6		1	X	1/67
		2	X	1/96

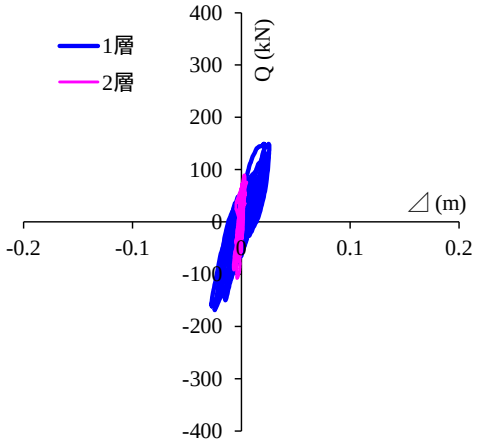
(b) 時刻歴応答解析による検討

限界耐力計算に用いた立体骨組による解析モデルを用いて、観測地震波を入力地震動とした時刻歴応答解析を行った。A-1 は KiK-net 益城の前震、本震を 3 方向に連続入力し、A-2、A-3、C-6 は大阪大学の観測波 TMP3 を 3 方向に入力した。各解析モデルの荷重変形関係を図 5.3-18、図 5.3-19 に、層間変形の時刻歴を図 5.3-20、図 5.3-21 に示した。表 5.3-9 に各解析モデルの各階・各方向の層間変形の最大値を示した。モデル A-1 は限界耐力計算の応答とほぼ同じ最大層間変形となった。モデル A-2 は倒壊する結果となり、限界耐力計算では応答点がぎりぎりあったものが、時刻歴応答解析と 1,2 階の変形状況等が異なったことが原因と推測される。モデル A-3 は限界耐力計算と同様に倒壊する結果となった。モデル C-6 は限界耐力計算よりも変形が大きい結果となったが、時刻歴応答解析では動的なねじれ変形が大きく生じたためと考えられる。

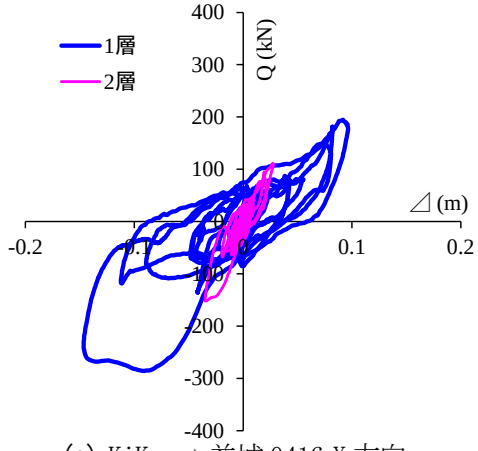
A-1 については限界耐力計算、時刻歴応答解析で倒壊しない結果となり、実際の被害状況と異なる結果となり、A-1 の近隣の KiK-net 益城よりも大きな地震動が作用した可能性が示唆された。表 5.3-10 に A-1 に TMP3 の振幅の倍率を 90%、95%、100%として 3 方向に入力した結果を示した。また、比較検討のために A-1 の接合部の引張バネを全てホールダウン金物とした解析モデル（A-1 接合部補強）を示した。TMP3 の 95%、100%では倒壊し、90%では倒壊しない結果となった。また A-1 接合部補強では TMP3 の 100%で倒壊しない結果となった。A-1 には TMP3 の 95～100%に相当する地震動が作用した可能性、及び接合部補強により、A-1 の耐震性能が向上する可能性があることが示唆された。



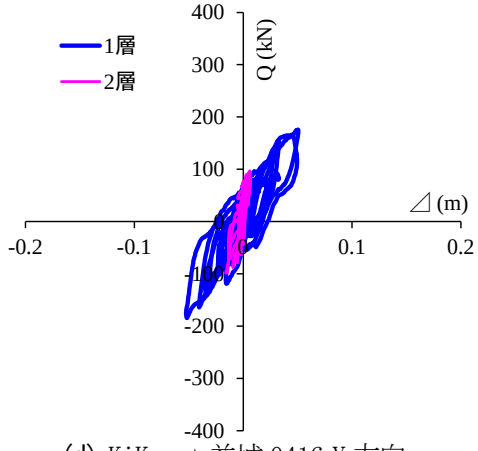
(a) KiK-net 益城 0414 X 方向



(b) KiK-net 益城 0414 Y 方向

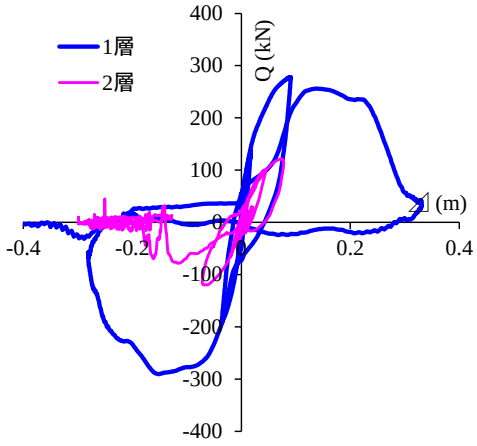


(c) KiK-net 益城 0416 X 方向

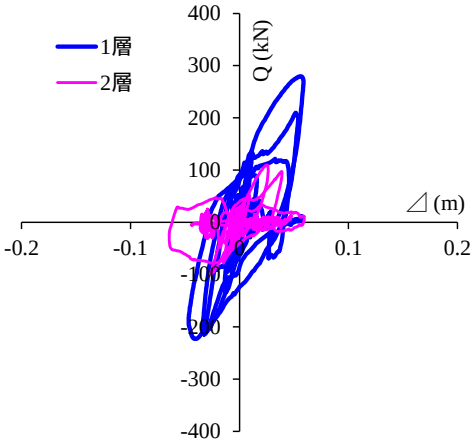


(d) KiK-net 益城 0416 Y 方向

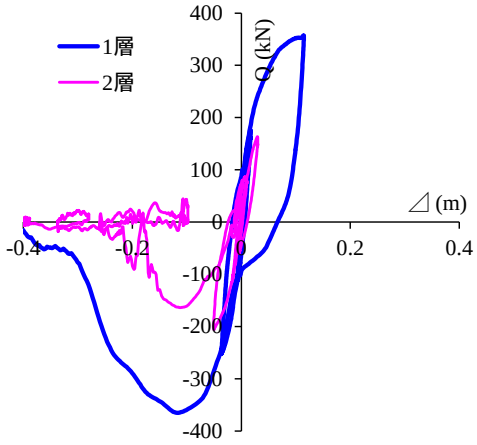
図 5.3-18 解析モデル A-1 の荷重変形関係



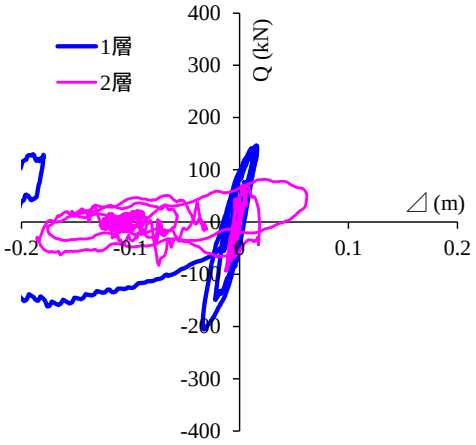
(a) A-2 X 方向



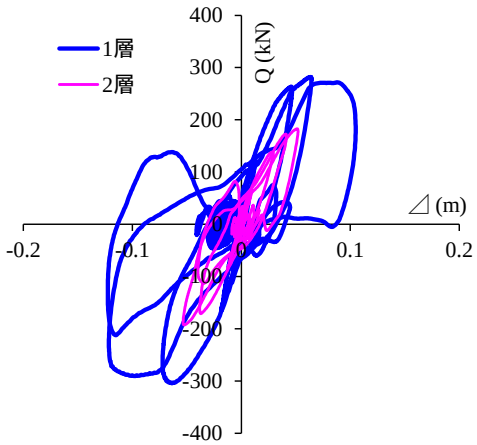
(b) A-2 Y 方向



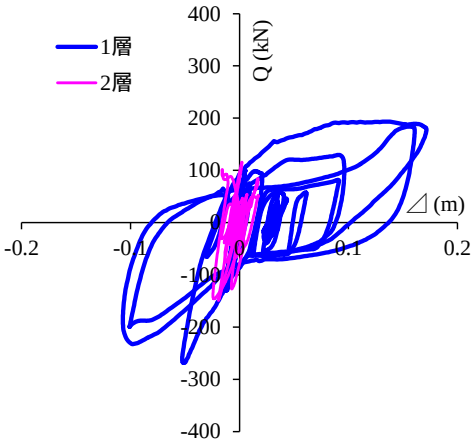
(c) A-3 X 方向



(d) A-3 Y 方向



(e) C-6 X 方向



(f) C-6 Y 方向

図 5.3-19 TMP3 入力時の解析モデル A-1、A-2、C-6 の荷重変形関係

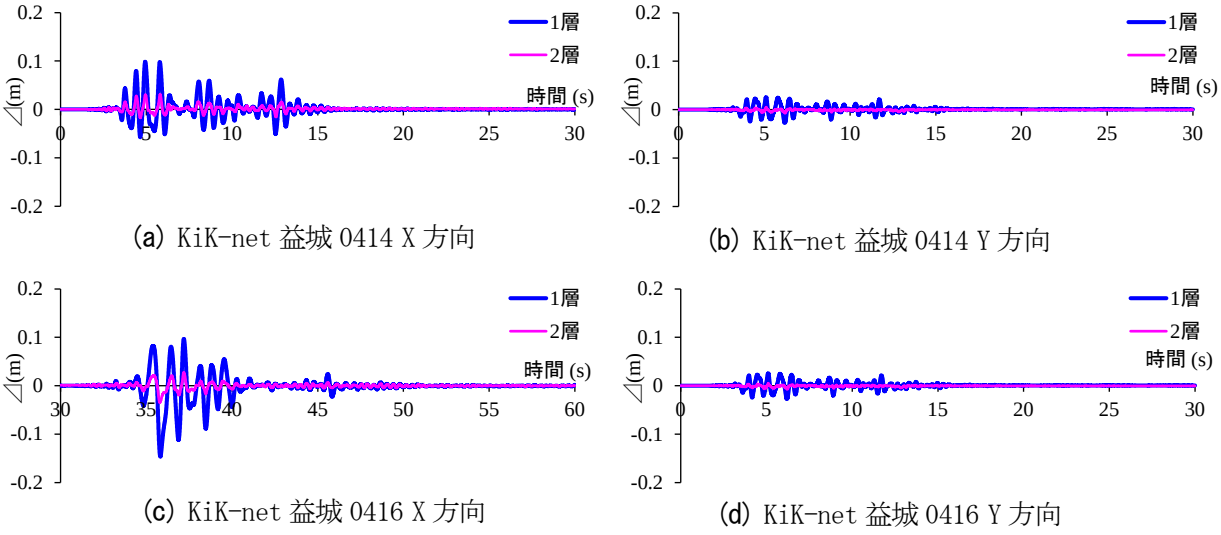


図 5.3-20 解析モデル A-1 の層間変形角の時刻歴

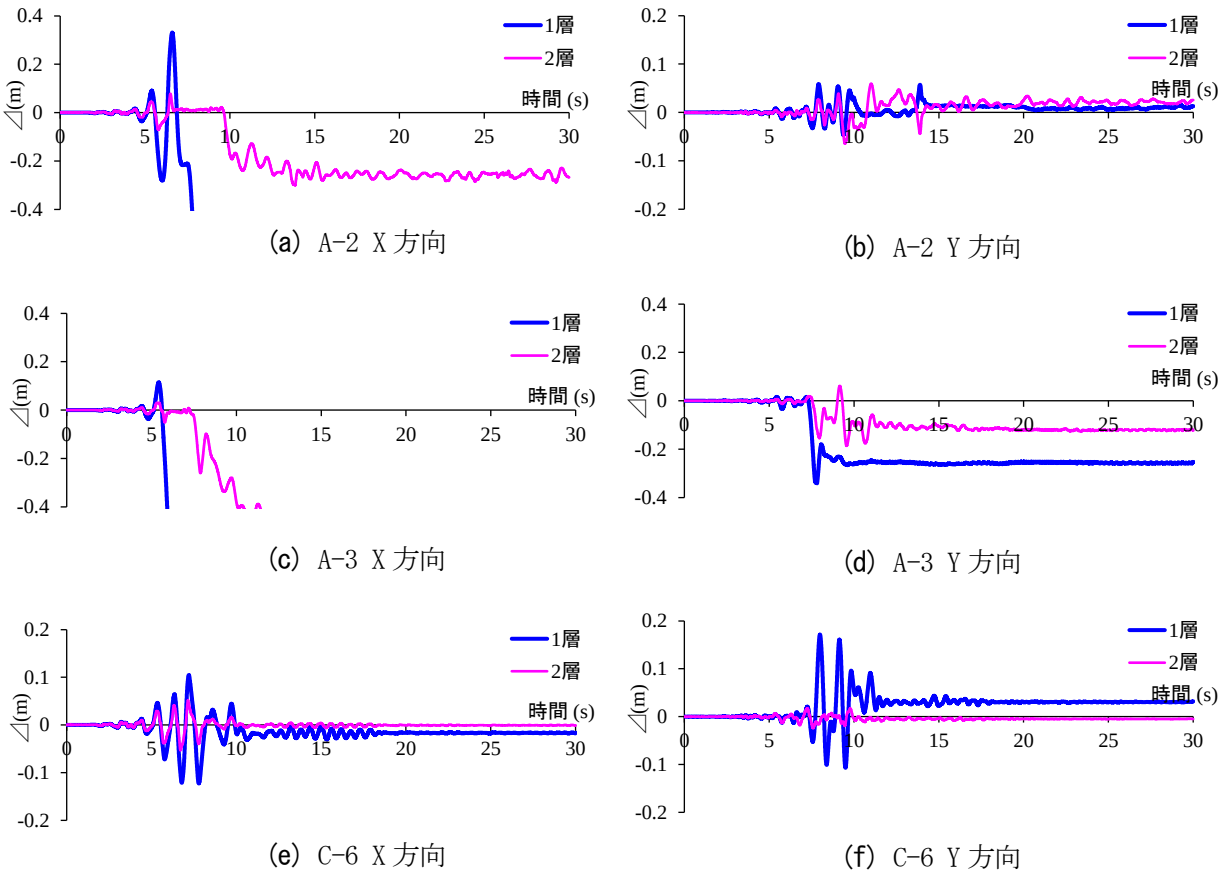


図 5.3-21 TMP3 入力時の解析モデル A-1、A-2、C-6 の層間変形の時刻歴

表 5.3-9 解析モデルの層間変形まとめ

ID	地震波	層	方向	層間変形 (mm)	層間変形角
A-1	KiK-net益城 0414 3方向入力	1	X	98	1/29
			Y	27	1/106
		2	X	31	1/92
			Y	7	1/410
A-1	KiK-net益城 0416 3方向入力	1	X	147	1/19
			Y	53	1/54
		2	X	35	1/82
			Y	16	1/179
A-2	TMP3 3方向入力	1	X	2845	1/1（倒壊）
			Y	59	1/50
		2	X	300	1/9
			Y	65	1/46
A-3		1	X	2896	1/1（倒壊）
			Y	341	1/9
		2	X	785	1/3
			Y	186	1/16
C-6		1	X	123	1/22
			Y	172	1/16
		2	X	53	1/52
			Y	24	1/114

表 5.3-10 解析モデル A-1 の層間変形まとめ

ID	地震波	層	方向	層間変形 (mm)	層間変形角
A-1	TMP3 100% 3方向入力	1	X	3049	1/1(倒壊)
			Y	309	1/9
		2	X	163	1/17
			Y	288	1/9
	TMP3 95% 3方向入力	1	X	3010	1/1(倒壊)
			Y	336	1/8
		2	X	142	1/20
			Y	226	1/12
	TMP3 90% 3方向入力	1	X	310	1/9
			Y	257	1/11
		2	X	63	1/47
			Y	63	1/47
A-1 接合部補強	TMP3 100% 3方向入力	1	X	127	1/24
			Y	56	1/55
		2	X	39	1/78
			Y	7	1/423

5.3.4 まとめ

木造建築物の被害状況を把握するために現地調査や、悉皆調査による集計を行った。概要を以下にまとめる。

〇益城町中心部における悉皆調査によれば、昭和 56 年の新耐震基準導入以降の木造住宅に比べて、それ以前（旧耐震基準）の木造住宅の被害率が顕著に大きい（新耐震基準導入以降の倒壊率約 6.9%に対し、旧耐震基準の倒壊率は約 27.9%）。また、新耐震基準導入以降については、平成 12 年の接合部等の基準の明確化以降の木造住宅の被害率に比べ、それ以前の被害率が大きい（平成 12 年基準の倒壊率：約 2.2%、昭和 56 年基準の倒壊率：約 8.7%）。

○西原村では、築年数が概ね 40 年超えの旧耐震基準と推測される木造住宅の倒壊が多く確認された。また、傾斜地において、敷地の被害や擁壁の崩壊が多数確認された。

○南阿蘇村では、河陽黒川地区に、2 階建ての木造アパートが多く存在し、そのうち 7 棟の倒壊を確認した。これらの木造アパートのうち、柱脚・柱頭、筋かい端部が確認できたものの多くは接合方法が釘打ち程度の比較的軽微な接合方法であった。

また、木造住宅の被害原因の把握を目的として、特に新耐震以降の建築確認で倒壊・崩壊した木造住宅について現地調査に基づき構造的特徴を把握すること、及び、各種構造計算による耐震性能を把握することによる被害要因の分析を行った。分析結果を下記にまとめる。

○益城町中心部における国総研及び建研の調査（悉皆調査エリア外を含む）によれば、新耐震基準導入以降の木造住宅で倒壊・崩壊が確認された 102 棟のうち、接合部の状況等が確認できた木造住宅の全てについて接合部の仕様が不十分と考えられる等の何らかの被害要因が見られた。

○前震で倒壊・崩壊したと考えられる木造住宅は、悉皆調査エリア内で 35 棟確認された。その中には平成 12 年基準の木造住宅は存在せず、昭和 56 年基準の木造住宅が 5 棟あった。この 5 棟については、不十分な接合部の仕様、隣接建築物の倒壊等が倒壊・崩壊の主な要因の一つであったと推定される。

◯悉皆調査エリアでは、平成 12 年基準の木造住宅 319 棟のうち 7 棟（約 2.2%）の倒壊が確認され、入手した図面等による原因分析を行った。比較のため無被害の木造住宅についても図面を入手し分析を行った。

・7 棟のうち 4 棟については、不十分な接合部の仕様、地盤変状の影響等の被害要因が見られた。

・残りの 3 棟と接合部仕様が不十分だった 1 棟を分析対象として、構造計算や応答解析により分析を行った。

・建築基準法施行令 46 条、品確法評価方法基準による壁量計算では、分析対象の 4 棟と、無被害の木造住宅で明確な差は見られなかった。

・許容応力度計算では 4 棟のうち 1 棟で、検定比が 1 を超えるものがあり、建物重量が大きかったことが構造計算で基準を満たさない結果となった原因と考えられる。

・無被害建物を含めた保有水平耐力計算、限界耐力計算では、耐力壁以外の耐震要素を考慮すると、全ての木造住宅で保有水平耐力、損傷・安全限界変形角は基準を満たす結果となった。

・実態重量を考慮した解析モデルによる限界耐力計算、時刻歴応答解析では、KiK-net 益城の近隣の A-1 は倒壊しない結果となった。また大阪大学の観測点 TMP3 の 95%以上の振幅の入力で倒壊する結果となった。A-1 の周辺では倒壊率は他と比較して低いエリアのため、震源や地盤の特性に起因して局所時に TMP3 に相当するような地震動が作用した可能性が考えられる。

・A-1 の TMP3 入力で、接合部を補強した解析モデルの応答に差が生じたことから、A-1 の耐震性能に接合部の特性が影響をあたえることが示唆された。

・大阪大学の観測点 TMP3 の近隣の A-1、A-2 は限界耐力計算、時刻歴応答解析によると倒壊する可能性が高い結果となった。被害が軽微だった C-6 は倒壊しない結果となった。これら 3 棟に入力された地震動が同等であったとすると、C-6 は耐力壁以外の垂れ壁・腰壁等の耐震要素の影響が大きく、他の解析モデルに比べて剛性・耐力が大きいことが被害に差が生じた原因である可能性が考えられる。

参考文献

5.3-1) 平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第一次調査報告(その１　4 月 15 日(本震前)調査結果速報)
http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/01kumamoto_1.pdf

5.3-2) 平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第一次調査報告(その２　4 月 16 日(本震後)調査結果速報)
http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/02kumamoto.pdf

5.3-3) 平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第二次調査報告（速報）(木造住宅及び鉄筋コンクリート造等建築物を中心とした調査)
http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/02-kumamoto-1.pdf

5.3-4) 山田真澄、大邑潤三、後藤浩之：「2016 年熊本地震における前震と本震の益城町の建物被害」日本地球惑星科学連合 2016 年大会

5.3-5) 評価方法基準（平成 13 年国土交通省告示第 1347 号)

5.3-6) 木造住宅 倒壊解析ソフトウェア wallstat
http://www.nilim.go.jp/lab/idg/nakagawa/wallstat.html

5.3-7) 中川貴文「大地震動時における木造軸組構法住宅の倒壊解析手法の開発」建築研究資料, 第 128 号 (2010)　http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/128/

5.3-8) T. Nakagawa, et al., "Collapsing analysis of shake table tests of three story post-and-beam wood houses", 14th World Conference on Timber Engineering, New Zealand (2012)

5.3-9) 日本住宅・木材技術センター「木造軸組工法住宅の限界耐力計算による設計の手引き」2005 年 3 月

5.3-10) 岡崎友也, 五十田博, 小塚直人, 若島嘉朗：家具類の地震時挙動と有効質量に関する実験, 日本建築学会構造系論文集, 74(646), pp.2199-2208, 2009.12

5.3-11) 国立研究開発法人 防災科学技術研究所ホームページ（強震観測網 K-NET、KiK-net)
http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/

5.3-12) Yoshiya HATA, Hiroyuki GOTO, and Masayuki YOSHIMI (2016)：Preliminary Analysis of Strong Ground Motions in the Heavily Damaged Zone in Mashiki Town, Kumamoto, Japan, during the Main Shock of the 2016 Kumamoto Earthquake (Mw7.0) Observed by a Dense Seismic Array, Seismological Research Letters, in printing.

5.3-13) Boore, D. M., C. D. Stephens and W. B. Joyner：Comments on baseline correction of digital strong-motion data: examples from the 1999 Hector Mine, California, Earthquake, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 92, pp.1543-1560, 2002.5

5.3-14) 平井敬、福和伸夫「強震記録に基づく東北地方太平洋沖地震による地殻変動分布の算定」日本建築学会構造系論文集 第 77 巻 第 673 号, pp. 341-350 (2012 年 3 月)

※参考 (時刻歴応答解析の動画)

A-1 KiK-net 益城 0414（前震）：https://youtu.be/LkuChboqgLs

A-1 KiK-net 益城 0416（本震）：https://youtu.be/c7nCzeUo-hg

A-1 TMP3：https://youtu.be/AIBYsqwynCI

A-1 (接合部補強)　TMP3：https://youtu.be/gZ5ijnOo4Rg

5.4. 鉄骨造建築物の被害

5.4.1 調査の目的と概要

熊本地震による鉄骨造建築物の被害状況、被害の特徴、被害要因を把握するために、1)益城町における鉄骨造建築物の調査、2)学校体育館の調査、3)その他の鉄骨造建築物の調査(初動調査を含む)、の 3 つの被害調査を行った。

益城町における鉄骨造建築物の調査は、熊本地震による鉄骨造建築物の被害状況及び倒壊又は大破した鉄骨造建築物の被害要因を把握するため、4 月 14 日（前震）と 16 日（本震）の両方の地震で震度 7 を観測した益城町宮園観測点を中心に、4 月 28～29 日の 2 日間で 96 棟の鉄骨造建築物の被害調査を行ったものである。5.4.2(1)では、この調査で、主として倒壊又は大破と判定された鉄骨造建築物についての調査結果をとりまとめている。

鉄骨造建築物は、工場、倉庫、体育館など大空間の架構を容易に構成することができる構造として用いられることが多く、ここではその代表として、学校体育館等（市民体育館も含む。以下、単に「学校体育館」という）を選び、6 月 8～10 日の 3 日間で被害調査を行った。ここでの学校体育館の調査は、事前の熊本県及び熊本市からのヒアリング調査の情報に基づいて、構造的な被害が大きいと考えられる体育館 15 棟について調査を行ったものであり、熊本地震による学校体育館の被害状況を把握するとともに、被害の特徴と要因を把握することが目的である。5.4.2(2)では、調査した各体育館の被害状況を示すとともに、それらに基づいて、学校体育館の被害の特徴と要因について取りまとめている。

熊本地震の発災直後に、鉄骨造建築物の全般的な構造被害の把握と、被害原因や今後の詳細調査の必要性等について検討することを目的とした調査を実施した。この調査は、熊本地震の発災直後の 4 月 20～21 日の 2 日間で実施し、熊本市内等での比較的大きな規模の鉄骨造建築物や益城町で大きな被害が生じた鉄骨造建物を対象として実施したものである。5.4.2(3)では、この調査のうち、熊本市内の比較的大きな規模の鉄骨造建築物の被害状況について、その他の鉄骨造建築物の調査として示す。

以下に、これらの 3 つの被害調査の結果を示す。

5.4.2 調査結果

（1） 益城町における鉄骨造建築物の調査

（i）調査概要

熊本地震による鉄骨造建築物の被害状況及び、倒壊又は大破した鉄骨造建築物の被害要因を把握するため、益城町宮園観測点近傍の安永・宮園・木山・辻の城・寺迫地区の 96 棟の鉄骨造建築物の被害調査を行った。本報では、この調査で対象となった鉄骨造建築物のうち、主として倒壊又は大破した鉄骨造建築物について、それらの被害調査結果、被害の特徴を分類、整理した結果を示す。

（ii）調査対象の建築物

調査した鉄骨造建築物 96 棟の位置を図 5.4-1 に示す。図中の◎印は強震観測点である益城町役場と KiK-net 益城を示す。観測点近傍の地区と大きな被害が報告されている地区を中心に、事前に Google Map 及びストリートビューの情報等を利用して候補を挙げ、調査後に鉄骨造と確定したものを調査建築物として示している。図中の黒色の🏢マークは倒壊又は大破と判断されたもの（判断の方法については、「5.4.2(1)(iii) 被害の概要」参照）を示し、白色の🏢マークは構造躯体が無被害か、損傷があっても大破に該当しない比較的軽微なものを示す。

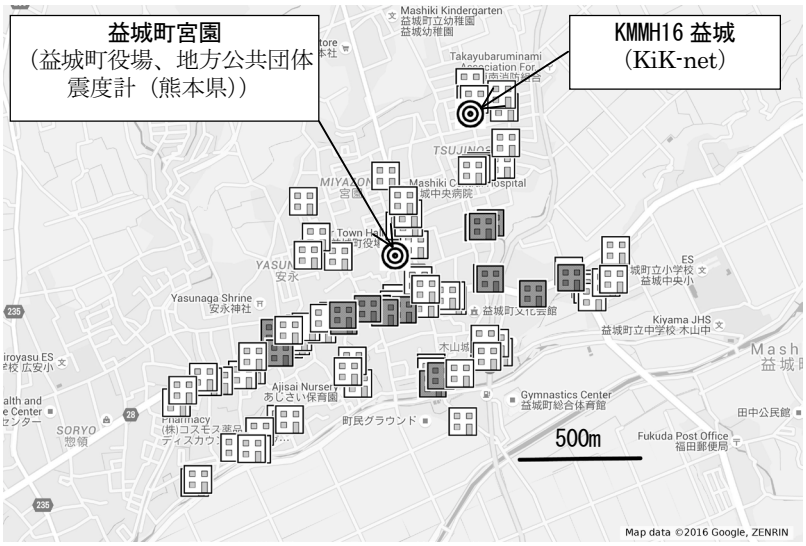
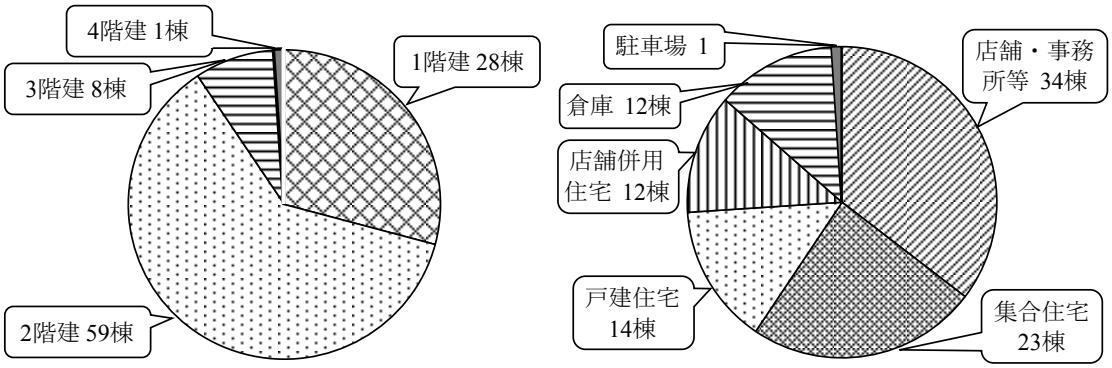


図 5.4-1　調査建築物　全 96 棟（Google Map を利用）

図 5.4-2 に調査建築物の内訳を示す。図 5.4-2（a)は階数を示したもので、1 階建 28 棟、2 階建 59 棟、3 階建 8 棟、4 階建 1 棟である。図 5.4-2（b)は用途で分類したもので、店舗・事務所等 34 棟、集合住宅 23 棟、戸建住宅 14 棟、店舗併用住宅（集合住宅との併用を含む）12 棟、倉庫（車庫、工場を含む）12 棟、立体駐車場 1 棟である。なお、調査建築物には、体育館は含まれていない。



(a) 階数　　(b) 用途

図 5.4-2　調査建築物の内訳

（iii）被害の概要

全体の 96 棟のうち、倒壊は 1 棟（1%)、大破は 15 棟（16%）である。「大破」の判断は被災度区分判定基準 [5.4-1)] に示される柱の残留傾斜角 1/30 を参考にしつつ、外観調査の範囲で確認できる被害状況を勘案して判断した。主に現地調査の情報に基づく暫定的な判断であり、今後の追加調査等により変更される可能性を有している。倒壊や大破といった構造躯体への大きな被害の割合は全体の 17%であった。

（iv）倒壊又は大破した鉄骨造建築物の被害調査結果

倒壊又は大破した建築物 16 棟の被害調査結果を示す。建設年については、国土地理院の航空写真、ウェブサイトの情報、現地でのヒアリングの情報等に基づいて推定を行ったものであり、今後、追加で情報が得られれば変更される可能性がある。

１）建築物 01（建設年 1987 年頃）:「倒壊」

本建築物は 4 階建ての店舗併用住宅である。角形鋼管柱（辺長 200㎜）（2 階）が使用されている。2 階が完全に層崩壊しており、柱梁接合部パネルとダイアフラム間の溶接部で破断が生じている。



写真 5.4-1　外観



写真 5.4-2　パネルーダイアフラム間の溶接部の破断



写真 5.4-3　パネルーダイアフラム間の溶接部の破断

２）建築物 02（建設年 1971 年）:「大破」

本建築物は 2 階建ての共同住宅である。日の字断面柱（以下、日の字柱と呼ぶ）（辺長 250㎜）が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 23 度である。



写真 5.4-4　外観



写真 5.4-5　梁端破断



写真 5.4-6　梁下フランジ添え板の孔欠損部破断

３）建築物 03（建設年 1980 年）:「大破」

本建築物は 3 階建ての住宅である。日の字柱と H 形柱が混在して使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 8 度である。柱脚部にアンカーボルトの伸びが生じている。



写真 5.4-7　外観



写真 5.4-8　柱脚部の損傷状況

４）建築物 04（建設年 1976 年）:「大破」

本建築物は 1 階鉄骨造、2 階木造（2 階はヒアリングによる情報）の店舗併用住宅である。日の字柱（辺長 200㎜）が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 5 度である。ヒアリングによると建設年は 40 年程前とのことであった。



写真 5.4-9　外観

５）建築物 05（建設年 1993 年）:「大破」

本建築物は 2 階建ての店舗併用住宅である。角形鋼管柱が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 30.5 度である。(写真で) 左隣の倒壊した RC 造が寄りかかり力を受けて傾斜したものと推定される。



写真 5.4-10　外観

６）建築物 06（建設年 1986 年）:「大破」

本建築物は 2 階建ての店舗である。角形鋼管柱（辺長 250㎜）が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 8.5 度である。柱の局部座屈、柱とダイアフラム間の溶接部の破断が生じている。



写真 5.4-11　外観



写真 5.4-12　柱の局部座屈

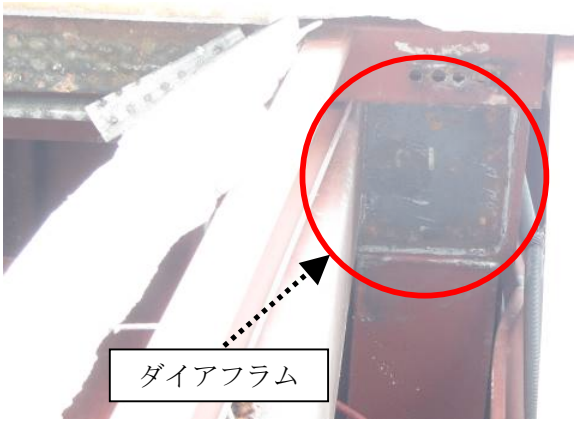


写真 5.4-13　柱とダイアフラム間の溶接部の破断

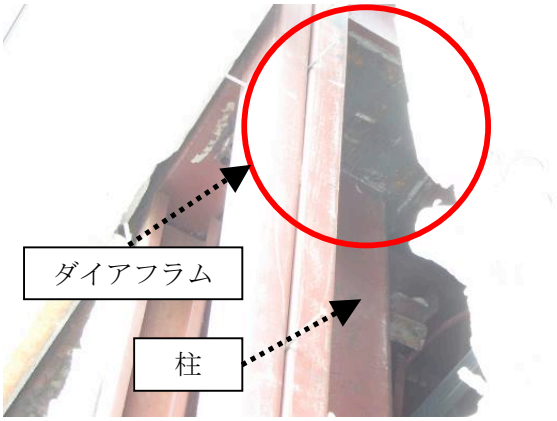


写真 5.4-14　柱とダイアフラム間の溶接部の破断

７）建築物 07（建設年 1982 年以前）:「大破」

本建築物は平屋の車庫である。トラス梁の下弦材の破断が生じている。応急危険度判定によると、建物全体の傾斜、柱の座屈、柱脚の破損、梁継手の破壊が生じているとのことであった。



写真 5.4-15　外観

８）建築物 08（建設年 1982 年以前）:「大破」

本建築物は平屋の倉庫である。大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 7 度である。柱脚部のアンカーボルトの伸び、コンクリートの側方破壊が生じている。



写真 5.4-16　外観



写真 5.4-17　柱脚部の損傷状況

９）建築物 09（建設年 1995 年）:「大破」

本建築物は 2 階建ての共同住宅である。角形鋼管柱（辺長 200㎜）が使用されている。梁せいは 300㎜である。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 3 度である。梁端破断が生じている。また、柱梁接合部パネルとダイアフラム間の溶接部で破断が生じている。



写真 5.4-18　外観



写真 5.4-19　梁端破断



写真 5.4-20 パネルとダイアフラム間の溶接部の破断



写真 5.4-21 パネルとダイアフラム間の溶接部の破断（拡大）

１０）、１１）建築物 10、11（建設年 2006 年）:「大破」

本建築物 10、11 は共に同じタイプの 2 階建ての共同住宅である。大きく傾いており、柱の残留傾

斜角は 4.5 度である（建築物 10 で測定）。ブレース（ターンバックル）の破断、座屈による著しいたわみが、それぞれ建築物 10 及び 11 に生じている。宅地擁壁部分が崩壊しており、それが建築物の損傷に何らかの影響を及ぼした可能性がある。



写真 5.4-22　外観



写真 5.4-23　外観



写真 5.4-24　宅地擁壁部分の崩壊

１２）建築物 12（建設年 1982 年）:「大破」

本建築物は 2 階建ての店舗である。日の字柱（辺長 200㎜）が使用されている。梁せいは 250㎜ である。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 17.5 度である。柱の破断、梁端破断、柱の局部座屈が生じている。



写真 5.4-25　外観



写真 5.4-26　柱の破断



写真 5.4-27　梁端破断



写真 5.4-28　柱の局部座屈

１３）建築物 13（建設年 1985 年）:「大破」

本建築物は 3 階建ての共同住宅である。日の字柱（辺長 175㎜）が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 9 度である。



写真 5.4-29　外観



写真 5.4-30　柱の傾斜

１４）建築物 14（建設年 1992-1997 年）:「大破」

本建築物は平屋の店舗である。角形鋼管柱（辺長 150㎜）が使用されている。大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 10 度である。梁端溶接部の破断、柱梁接合部パネルとダイアフラム間の溶接部の破断が生じている。



写真 5.4-31　外観



写真 5.4-32　柱の傾斜

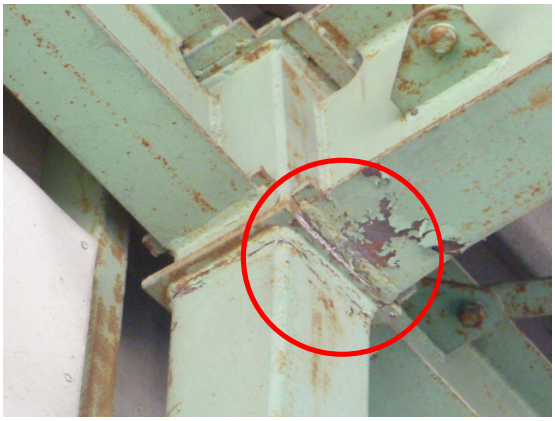


写真 5.4-33　梁端溶接部の破断



写真 5.4-34　パネルとダイアフラム間の溶接部の破断

１５）建築物 15（建設年 2000 年）:「大破」

本建築物は 3 階建ての住宅である。角形鋼管柱（辺長 250㎜）、間柱（辺長 150㎜）、溝形鋼ブレース 150×75 が使用されている。宅地の地盤変状が生じている。1 階に傾斜が生じている。ブレースはほぼ無損傷である。柱脚部にベースモルタルの破損、アンカーボルトの伸びが生じている。柱頭部に損傷が生じている可能性があるが、状況は不明である。1 階のブレースの配置に平面的な偏りがあり、地震時にねじれが生じたことで、ブレースの無い入口側の柱脚の損傷や柱の残留傾斜角が相対的に大きくなったと思われる。また、宅地の地盤変状が建築物の傾斜等に何らかの影響を及ぼした可能性がある。



写真 5.4-35　外観



写真 5.4-36　ブレースの状況（ほぼ無損傷）



写真 5.4-37　柱脚部の損傷状況



写真 5.4-38　宅地の地盤変状

１６）建築物 16（建設年 2003-2008 年）:「大破」

本建築物は 2 階建ての店舗である。角形鋼管柱（辺長 150㎜）、間柱（辺長 100㎜）が使用されている。1 階が大きく傾いており、柱の残留傾斜角は 5 度である。柱に局部座屈、2 階プレハブの柱脚部でボルト破断が生じている。



写真 5.4-39　外観



写真 5.4-40　柱の傾斜



写真 5.4-41　柱の局部座屈



写真 5.4-42　柱脚部ボルト破断

（ｖ）益城町における鉄骨造建築物の調査のまとめ

本報告は、平成 28 年（2016 年）熊本地震で震度 7 を観測した益城町宮園観測点近傍の安永・宮園・木山・辻の城・寺迫地区における鉄骨造建築物の被害調査結果をまとめたものである。調査した鉄骨造建築物の総数は 96 棟である。

調査の結果、倒壊又は大破した鉄骨造建築物の総数は 16 棟（倒壊 1 棟、大破 15 棟）、その割合は 17%であった。また、倒壊又は大破した鉄骨造建築物は、次の特徴のいずれかを有するものであった。

・特徴 1）建設年が 1980 年以前と推定されるもの又は古いタイプの部材（日の字柱）を用いたもの

・特徴 2）隣の倒壊した建築物による力の作用、宅地擁壁部分の崩壊等の当該建築物以外の周辺状況による何らかの影響があったと推定されるもの

・特徴 3）溶接部等で破断が生じていたもの

なお、倒壊又は大破した建築物と特徴 1)，2)，3) との対応関係は表 5.4-1 のとおりであった。ここで、建築物の番号に*印が付いているものは、建設年が新耐震基準以降（1981 年以降）と判明している建築物である。

表 5.4-1　倒壊又は大破した建築物と特徴 1),2),3)との対応関係

建築物	01*	02	03	04	05*	06*	07	08	09*	10*	11*	12*	13*	14*	15*	16*
特徴 1)		○	○	○			○	○				○	○			
特徴 2)					○					○	○				○	
特徴 3)	○	○				○	○		○	○		○		○		○

（２） 学校体育館の調査

（ｉ）調査概要

平成 28 年（2016 年）熊本地震においては、いくつかの学校体育館で構造的な被害が生じていることが、熊本県及び熊本市からのヒアリング調査[5.4-2)]により明らかにされた。それらの被害は、ブレース架構の学校体育館のブレースの座屈や接合部等での破断、屋根面水平ブレースの接合部等の破断、RC 架構に鉄骨屋根が接続された学校体育館における屋根と RC 架構の接続部（支承部）でのコンクリートの破壊､鉄骨トラス屋根のボールジョイントと部材との接合部での破壊等である｡本調査では、国土交通省住宅局の要請を踏まえ、このような被害が生じた学校体育館を対象に、被害状況を把握するとともに、被害の特徴と原因を明らかにすることを目的としている。5.4.2(2)では、調査した各体育館の被害状況を示すとともに、それらに基づいて、被害の特徴と要因について取りまとめている。

（ⅱ）調査対象の体育館

熊本県及び熊本市からのヒアリング調査の情報に基づいて、被害が大きいと思われる体育館を 15 棟選定して現地調査を行った。調査した体育館 15 棟の位置を図 5.4-3 に示す。図中の赤丸印が調査した体育館の位置である。15 棟の体育館のうち、熊本県立高校及び支援学校が 4 校、熊本市立小学校及び中学校が 10 校、熊本市立の運動施設が 1 棟である。これらの体育館では、新耐震基準に基づいて設計された体育館は 5 棟、耐震改修済み 8 棟、耐震診断の結果、補強不要と判断されたものが 2 棟である。

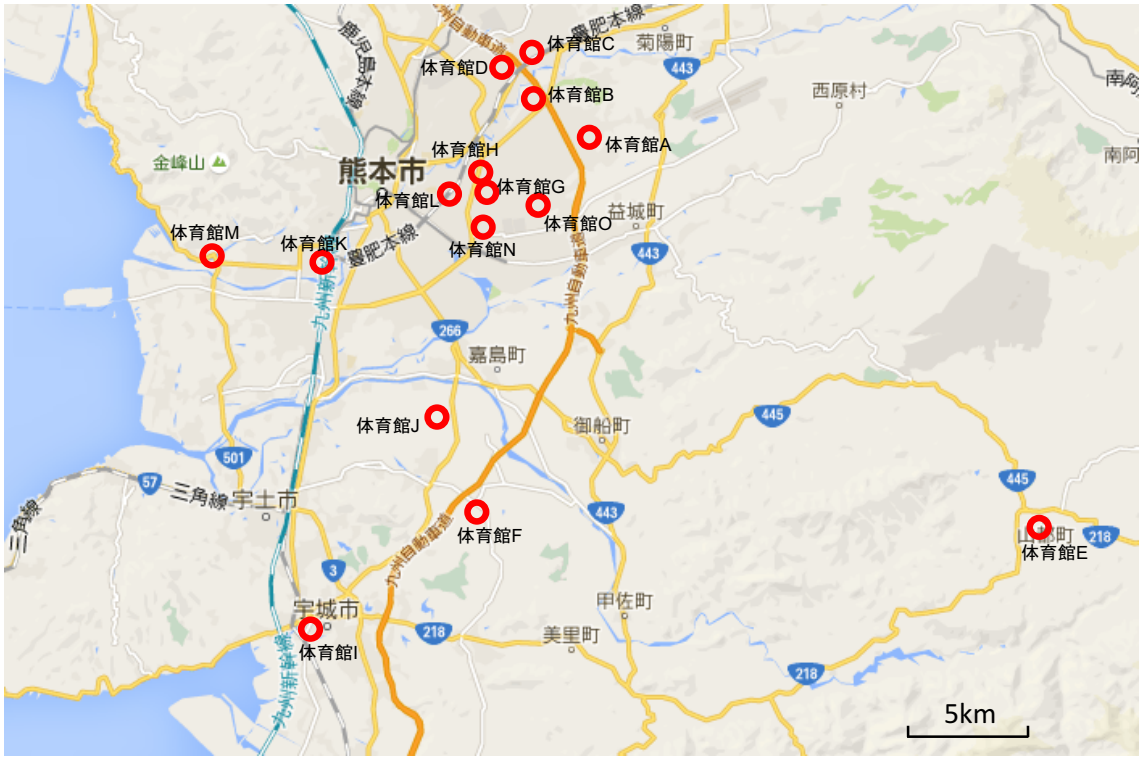


図 5.4-3　調査した 15 棟の体育館の位置（Google Map を利用）

（iii）各体育館の被害の概要

a）体育館Ａ

【建築物の概要】1969 年建設、2011 年度に耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向アーチ形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。

【構造被害】鉛直ブレースでは、何カ所かのガセットプレート及びブレース端部に塑性変形が見られた。また、屋根面水平ブレース（ターンバックル付き丸鋼ブレース）では、２箇所でボルト破断が観察され、ブレースのたわみも観察された。屋根面水平ブレースは、耐震改修前のブレースがそのまま設置されていたものである（耐震改修によって、鉛直ブレースは全て交換されていたが、屋根面水平ブレースは新設または取り替えられておらず、改修前のブレースがそのまま設置されていた）。また、一部の柱脚部のコンクリートのひび割れや周辺地盤の沈下も観察された。

【非構造部材の被害】舞台に向かって右側に位置する掃き出し窓上部の内壁（コンクリートブロックに有孔ベニアで仕上げたもの。）が損傷して傾いていた。コンクリートブロック壁の鉄筋の頂部は、確認した範囲では、梁等への定着は確認されていなかった。その他、吊り下げ式バスケットゴールのテンションリングの脱落、窓ガラスの破損・脱落、ラスモルタル外壁の損傷・脱落などが確認された。



写真 5.4-43 内観



写真 5.4-44 耐震改修された鉛直ブレース（一部の床板が交換されている）



写真 5.4-45 ブレース端部の塑性化



写真 5.4-46 ガセットプレートの曲がり



写真 5.4-47 屋根面水平ブレースの曲がり



写真 5.4-48 屋根面水平ブレースのボルト破断

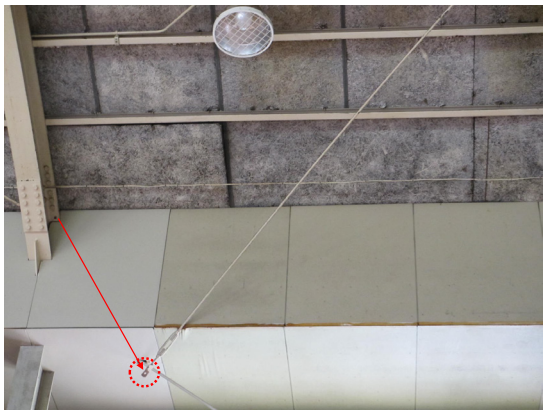


写真 5.4-49 屋根面水平ブレースボルト破断と垂れ下がり

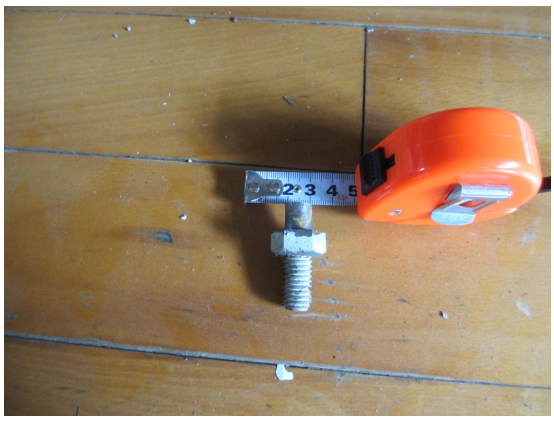


写真 5.4-50 破断した屋根面水平ブレースのボルト



写真 5.4-51 柱脚部のコンクリートひび割れ



写真 5.4-52 周辺地盤の沈下



写真 5.4-53 損傷して傾いた内壁

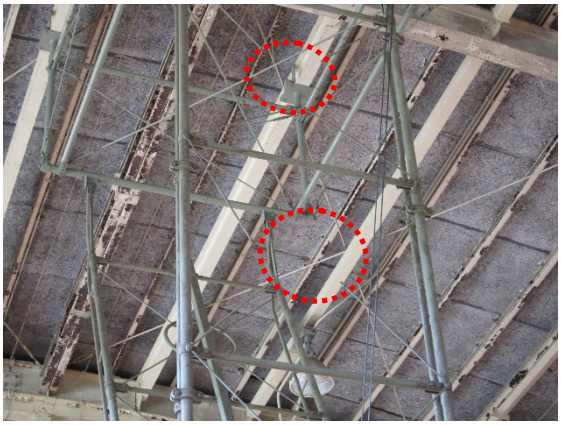


写真 5.4-54 損傷したバスケットゴール
（赤点線箇所のテンションリングが脱落）

b） **体育館Ｂ**

【建築物の概要】2003 年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構は RC 造、屋根が鉄骨造アーチトラス。

【構造被害】RC 造架構と S 造屋根の接合部（支承部）の数カ所で、コンクリートの側方破壊や大きなひび割れ、コンクリートの落下が見られた。また、屋根面の丸鋼ブレースに数カ所たわみが見られた。

【非構造部材の被害】設備を吊り下げていたと思われる吊り下げ金具が１つ床面に落下していた。



写真 5.4-55 内観



写真 5.4-56 支承部のコンクリートの側方破壊



写真 5.4-57 支承部のコンクリートの側方破壊

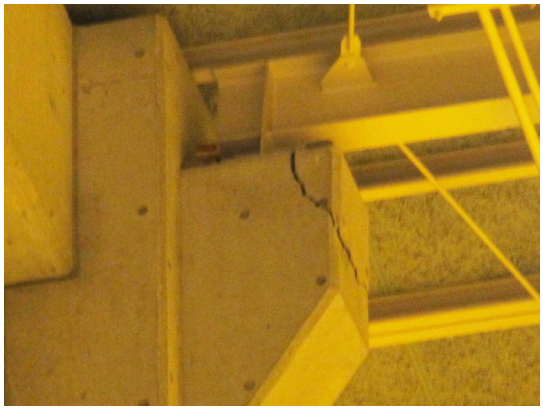


写真 5.4-58 支承部のコンクリートのひび割れ



写真 5.4-59 落下したコンクリート

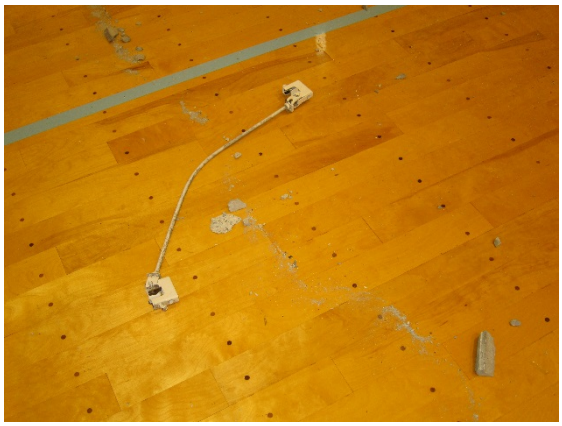


写真 5.4-60 落下した吊り金具

c） **体育館Ｃ**

【建築物の概要】1979 年建設、耐震診断の結果、Is 値は 0.80 で補強不要と判断された。架構は鉄骨

造、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。柱梁部材は変断面H形鋼、桁行方向ブレースはX形で断面はL-75x75x9。

【構造被害】屋根面水平ブレースのうち3本のブレースの片側端部が外れて垂れ下がった状態であった。当該ブレースの羽子板や接合部のガセットプレートは健全のように見え、ボルトが破断したと思われる。

【非構造部材の被害】舞台の天井（ロックウール吸音板1枚張り。のこぎり形状。）の一部が脱落していた。また、舞台裏手外壁のラスモルタルの脱落（幅約3m。厚さ約3.5cm）も確認された。



写真 5.4-61　外観(外壁の被害は写真 5.4-69, 5.4-70 参照)



写真 5.4-62　内観



写真 5.4-63　1階鉛直ブレース（被害なし）



写真 5.4-64　2階（ギャラリーレベル）鉛直ブレース（被害なし）

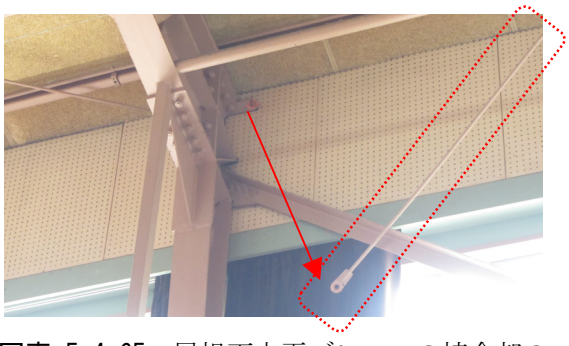


写真 5.4-65　屋根面水平ブレースの接合部の外れ

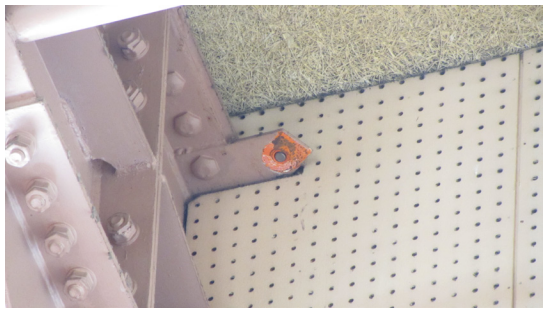


写真 5.4-66　左のガセットプレート拡大（ボルトが残っているように見える）

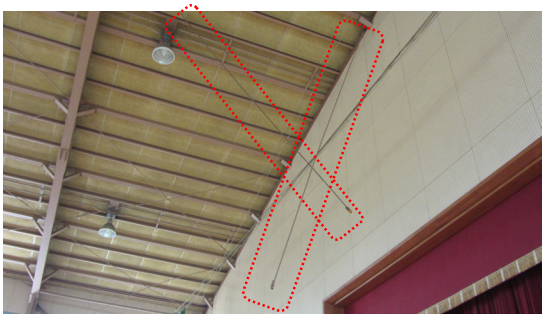


写真 5.4-67　接合部が外れた屋根面水平ブレース

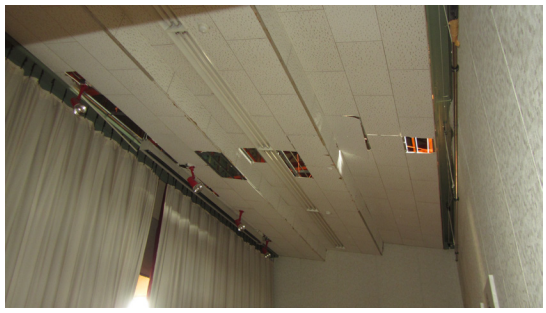


写真 5.4-68　舞台の天井の損傷・一部脱落

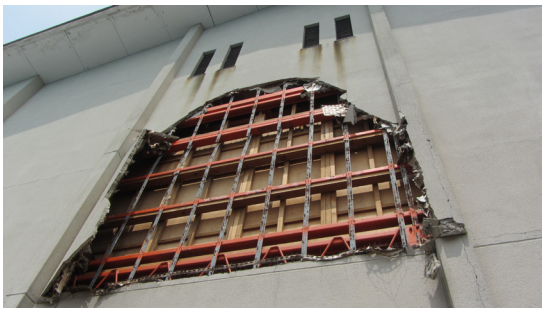


写真 5.4-69　舞台裏　ラスモルタル外壁の落下



写真 5.4-70　左の壁面から脱落したモルタル（厚さ約 3.5cm）

d)　体育館Ｄ

【建築物の概要】1975 年建設、2013 年度に耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。柱梁の部材は変断面 H 形鋼（体育館 C と同様の構造）、桁行方向ブレースはX形でターンバックル付きのφ20 丸鋼ブレース。

【構造被害】2 階レベルの大部分の鉛直ブレースに大きなたわみが見られ、ブレース端部では軸部及び羽子板の変形が確認された。一方、1 階レベルの鉛直ブレースにはたわみは見られなかった。屋根面水平ブレースのうち 4 本でたわみが確認された。

【非構造部材の被害】妻面の仕上げに欠けが見られたものの、大きな被害はなかった。



写真 5.4-71　外観



写真 5.4-72　内観



写真 5.4-73　舞台天井（被害なし）





写真 5.4-74　鉛直ブレース（左：2 階レベル、右：1 階レベル）

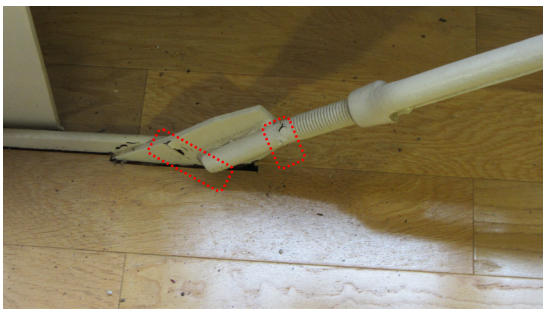


写真 5.4-75　鉛直ブレース（2 階）の軸部及び羽子板の変形

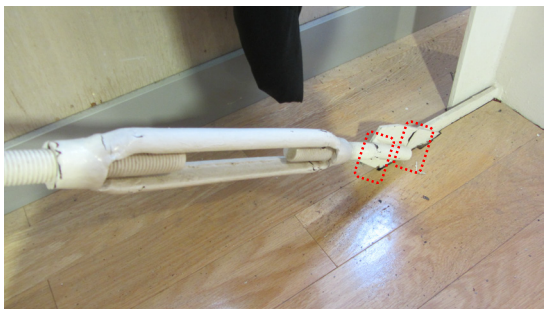


写真 5.4-76　鉛直ブレース（2 階）の軸部及び羽子板の変形

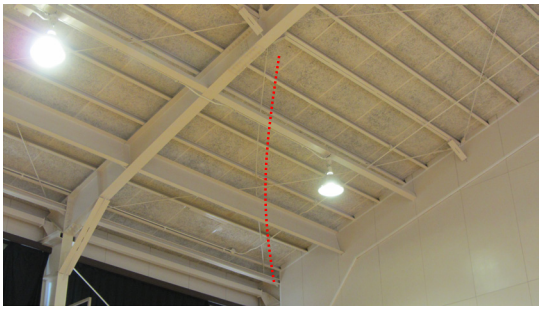


写真 5.4-77　屋根面水平ブレースのたわみ（隅角部）

e） 体育館Ｅ

【建築物の概要】1977 年建設、耐震診断の結果、Is 値は 0.62 で補強不要と判定された。架構は RC 造で、ギャラリーから上部が鉄骨フレーム。鉄骨部分の張間方向は山形屋根のラーメン構造、桁行き方向はターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】ほとんど全ての桁行き方向のブレース構面で、鉛直ブレースのボルト接合部のボルト（中ボルト）が破断している。一部の柱脚部でコンクリートの破壊が見られた。

【非構造部材の被害】ガラス窓の損傷・脱落（5 箇所。ただし落ちかけたためはずしたものを含む）、水銀灯安定器を留め付けた有孔ベニヤの壁板の外れ（3 箇所）、外壁モルタルの脱落、などが確認された。



写真 5.4-78 内観（赤円内が安定器を留め付けた板が外れた箇所）



写真 5.4-79 鉛直ブレース接合部のボルトの破断



写真 5.4-80 鉛直ブレースのボルト破断



写真 5.4-81 鉛直ブレースのボルト破断



写真 5.4-82 柱脚部のコンクリート破壊



写真 5.4-83 窓ガラスの被害



写真 5.4-84 安定器を留め付けた板の外れ

f） 体育館Ｆ

【建築物の概要】1981 年建設、2008 年度耐震改修された体育館。架構の構造は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造で、桁行き方向の１階は平鋼のブレース、２階はターンバックル付き丸鋼ブレースである。

【構造被害】１階の平鋼のブレースでは、多くのブレースで母材破断及びボルト孔欠損部での破断が見られた。ブレースの母材破断は、ブレース端部におけるやや幅広のプレートとブレース軸材の境界部分で生じていた（この破断部分は、溶接で接合後にグラインダー等で仕上げした可能性もあるが、目視では溶接接合されたかどうか確認できなかった)。また、たわみも見られた。これらのブレースでは、引張によるブレース材自体の材軸方向の降伏や伸びの痕跡は、目視からは確認できなかった。２階の被害としては、ほとんど全てのブレースでわずかなたわみが見られ、また、いくつかの羽子板で、わずかな曲がりが見られた。

【非構造部材の被害】舞台壁の広い範囲で仕上げのひび割れ、入り口脇の外壁等の数箇所でひび割れ・タイル剥落などが確認された。



写真 5.4-85 内観



写真 5.4-86 平鋼ブレースのたわみ



写真 5.4-87 平鋼ブレースの端部での破断



写真 5.4-88 平鋼ブレースの端部での破断（写真 5.4-87 の拡大）



写真 5.4-89 ブレース端接合部分はやや幅広のプレート



写真 5.4-90 ブレース母材と端部の幅広プレートの境界がわずかに降伏（写真 5.4-89 の拡大）



写真 5.4-91　ブレースのたわみ



写真 5.4-92　ブレース交差部の塑性化と破断



写真 5.4-93　ブレース交差部の伸び



写真 5.4-94　破断した交差部のボルトとブレースの間に挿入されていたプレート



写真 5.4-95　2 階ブレースのわずかなたわみ



写真 5.4-96　2 階ブレース端部の降伏とブレース端部羽子板のわずかな曲がりが見られた



写真 5.4-97 舞台背面壁の仕上げボード継ぎ目のずれ

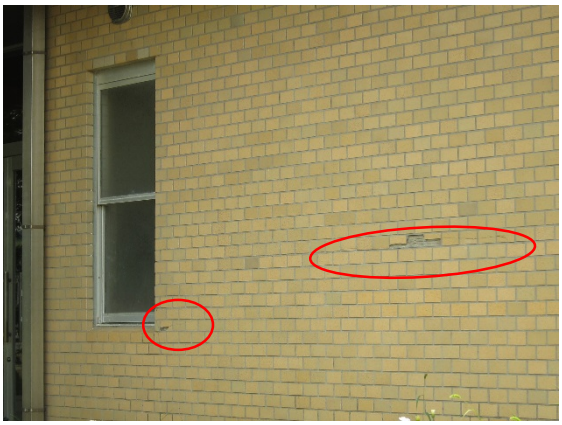


写真 5.4-98 外壁のひび割れ・タイル剥落（赤円内にひび割れ・タイル剥離）

g） 体育館Ｇ

【建築物の概要】1970 年建設、2011 年度に耐震改修された体育館。架構は鉄骨造、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。柱梁は変断面H形鋼。桁行方向はX形のターンバックル付き丸鋼ブレースで、径は 2 階でφ22、1 階でφ24～27。昨年夏にアリーナの天井は撤去（舞台の天井は張られたまま）。

【構造被害】ボルト破断により多数の屋根面水平ブレースが垂れ下がった。現地調査時には 24 本が取り外され、舞台上に置かれていた。ボルトは M12 と M16 の 2 種類の太さがあり、破断したものは M12 のみであった。

【非構造部材の被害】舞台上部の内壁の一部に、落下や浮き上がりが見られた。舞台の照明が外れてぶら下がっていた。外壁にひび割れが生じていた。



写真 5.4-99 内観

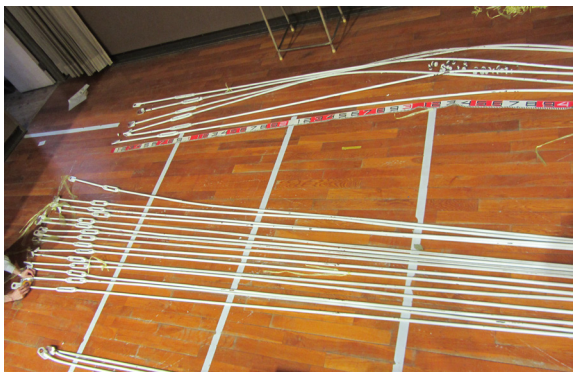


写真 5.4-100 撤去された屋根面の水平ブレース

M16



写真 5.4-101　撤去された屋根面の水平ブレースの羽子板部分（ボルト孔は健全）



写真 5.4-102　屋根面水平ブレース用のボルト

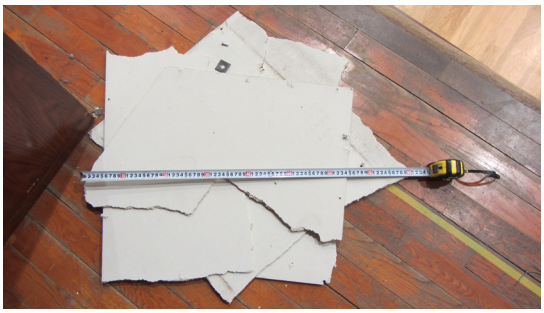


写真 5.4-103　落下した舞台上部内壁の仕上げ材



写真 5.4-104　落下した舞台上部内壁の仕上げ材



写真 5.4-105　舞台の天井（被害なし）と照明のぶら下がり

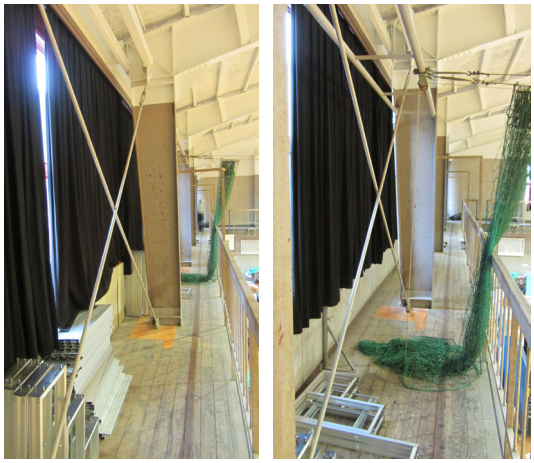


写真 5.4-106　2 階鉛直ブレース（被害なし）



写真 5.4-107　舞台裏妻面（仕上げモルタルにひび割れ（赤線））



写真 5.4-108　1 階鉛直ブレース（被害なし）

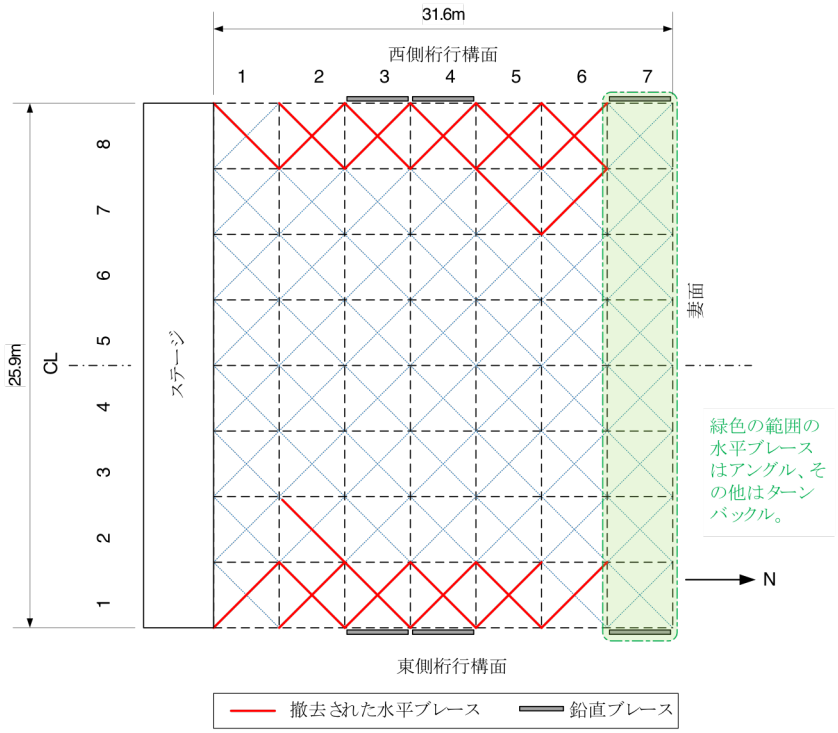


図 5.4-4　撤去されたアリーナ屋根面水平ブレースの位置

h)　**体育館H**

【建築物の概要】1973 年建設、2010 年度に耐震改修された体育館。架構は鉄骨造、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造。柱梁は変断面H形鋼、桁行方向はX形のターンバックル付き丸鋼ブレースで、径は 1 階でφ20、2 階でφ16。アリーナには天井が張られている。1 階の外壁はラスシートにモルタル（厚さ約 3cm）で仕上げたもの。2 階の外壁は新しいサイディング。

【構造被害】桁行ブレースに数箇所程度、ゆるみが生じていた。その他は特に被害は見受けられなかった。

【非構造部材の被害】入口のはめころしガラス 2 枚にひび割れが生じた。1 階外壁のモルタルが一部落下した。



写真 5.4-109　外観



写真 5.4-110　内観



写真 5.4-111　2 階鉛直ブレース



写真 5.4-112　2 階鉛直ブレース（交点での擦れ）



写真 5.4-113　2 階鉛直ブレース下端接合部塗料の剥げ、ブレースの若干の変形



写真 5.4-114　1 階の鉛直ブレース



写真 5.4-115　1 階外壁の水平なひび割れ



写真 5.4-116　入り口脇の外壁モルタルの落下



写真 5.4-117　左の落下したモルタル（厚さ約 3cm）

i） 体育館 I

【建築物の概要】1989 年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造で、ターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】すべてのブレースで降伏及び伸びが観察され、大きくたわんでいる。また、それらのブレース接合部やブレース材で破断は見られなかった。

【非構造部材の被害】舞台後方壁の下部の広い範囲での損傷や引き戸 2 枚の外れ、舞台両脇壁の数箇所のあばれ、引違い窓で障子の 15 箇所の外れやそれに伴うガラスの損傷、その他のガラスのわれ 1 箇所、などが確認された。



写真 5.4-118　内観



写真 5.4-119　1 階の大きくたわんで変形したブレース

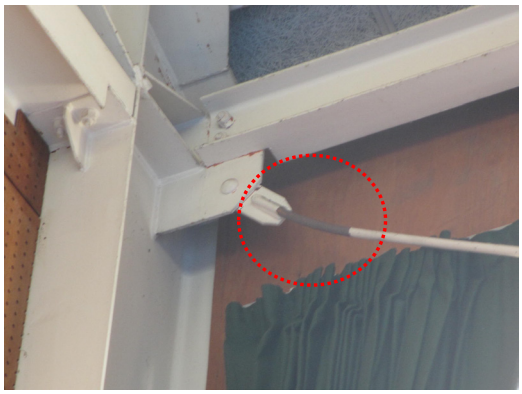


写真 5.4-120　ブレース端部の塑性化の様子



写真 5.4-121　ブレース端部の塑性化と羽子板の曲がり



写真 5.4-122　ブレースの変形状況



写真 5.4-123　1 階のブレースの様子



写真 5.4-124 舞台壁の損傷、引き戸の外れ

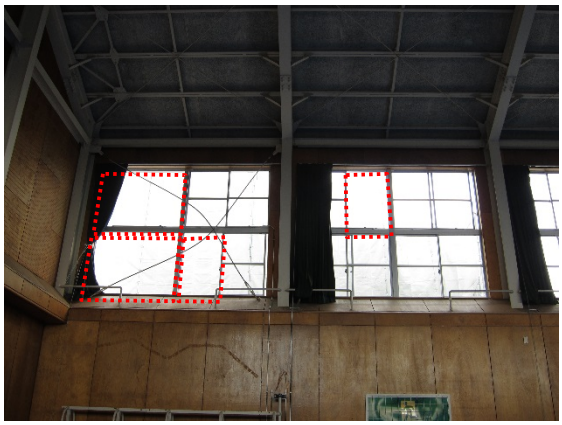


写真 5.4-125 ガラス窓の障子の脱落（赤点線枠箇所）

j） 体育館Ｊ

【建築物の概要】1980 年建設、2008 年度耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造、１階は平鋼のブレース、２階はターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】１、２階とも、数か所程度で、ブレースのたわみやブレース接合部におけるブレースのわずかな滑りが見られた。

【非構造部材の被害】壁や基礎のコンクリートに数箇所ひび割れが確認された。

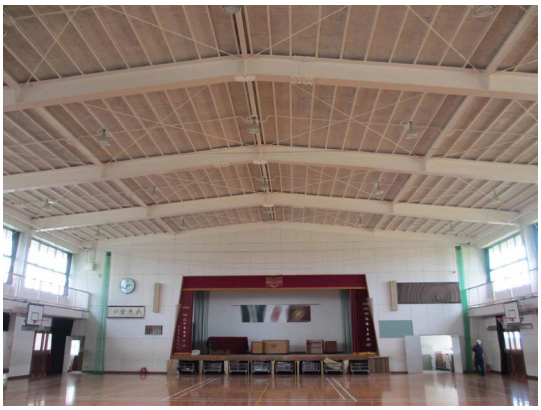


写真 5.4-126　内観



写真 5.4-127　ブレースのわずかなたわみ



写真 5.4-128　ブレース接合部におけるブレースのわずかな滑り



写真 5.4-129　2 階のブレースのわずかなたわみ

k）**体育館Ｋ**

【建築物の概要】1965 年建設で、2009 年度耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造で、ターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】妻面の鉛直ブレースでは丸鋼ブレースで２箇所、ブレースのボルト破断が見られた。桁行き方向の鉛直ブレースでは、２階ブレースにわずかなたわみが生じている程度。また、屋根面水平ブレースでは２箇所でボルト破断が見られた。ボルト破断した妻面の鉛直ブレースと屋根面水平ブレースは、耐震改修前のものがそのまま設置されていたものである（耐震改修により桁行き方向の鉛直ブレースは全て交換されていたが、妻面の鉛直ブレースと屋根面水平ブレースは新設または交換されておらず、改修前のブレースがそのまま設置されていた）。

【非構造部材の被害】妻面の外装材の脱落１箇所、窓ガラスの損傷１箇所などが確認された。



写真 5.4-130　内観



写真 5.4-131　取り替えられていない妻面ブレースのボルト破断



写真 5.4-132 改修で取り替えられたブレースのわずかなたわみ



写真 5.4-133 改修で取り替えられたブレース（被害無し）



写真 5.4-134 改修で取り替えられたブレース（被害無し）



写真 5.4-135 取り替えられていない屋根面水平ブレースのボルト破断



写真 5.4-136 妻面の外装材の脱落



写真 5.4-137 妻面の窓ガラスの損傷

l） **体育館Ｌ**

【建築物の概要】1996 年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構は RC 造で、屋根が鉄骨造立体トラス。1、2 階には剣道場、柔道場、トレーニングルーム、職員室があり、3 階レベルに体育館のアリーナ、4 階レベルにギャラリーがある。アリーナ上部の屋根はボールト（円筒）形状で、鋼管部材とボールジョイントを用いた複層立体トラス。

【構造被害】立体トラスの構成部材に座屈、破断が生じ、アリーナ床面に部材が落下していた（下弦材 5 本、上弦材 1/2 本（部材中央で破断したものの片方）、斜材 0 本）。またトラス支承部の損傷によると思われるモルタル（支承部を直接目視で確認できていない）や、トラスまわりに付いていたと思われる金具がアリーナ床面に多数散乱していた。

【非構造部材の被害】屋根ふき材のずれ等に伴う雨漏りが生じていた（現地調査時にはギャラリーに水が溜まっていた）。



写真 5.4-138　外観



写真 5.4-139　内観（3 階アリーナ）

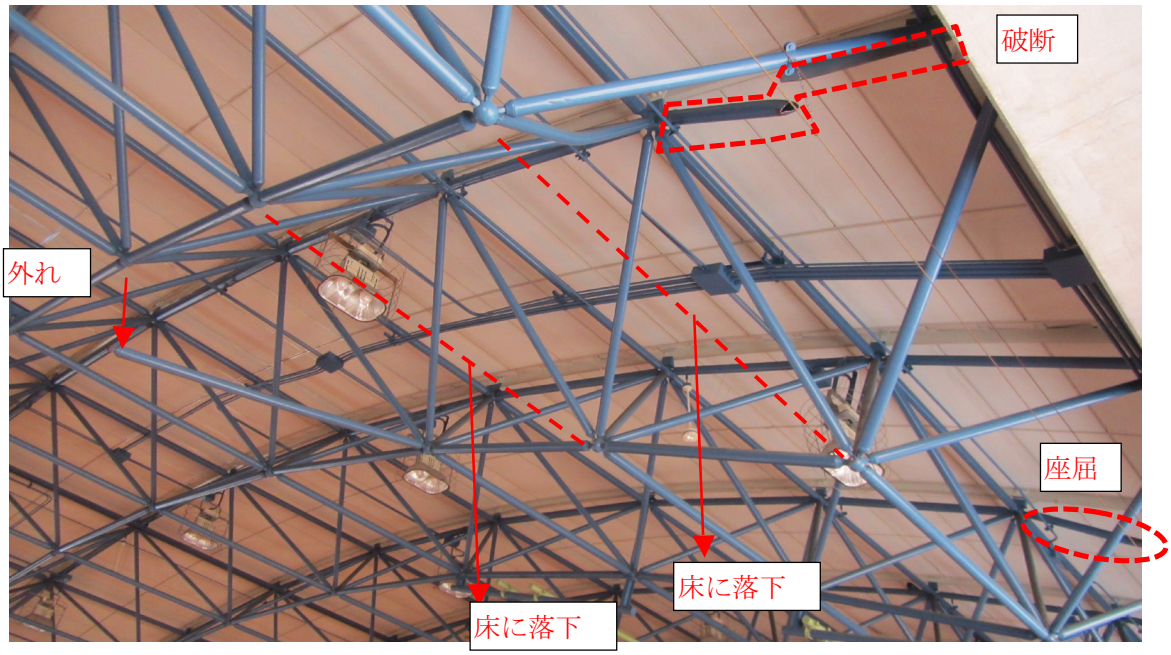


写真 5.4-140　屋根の立体トラス

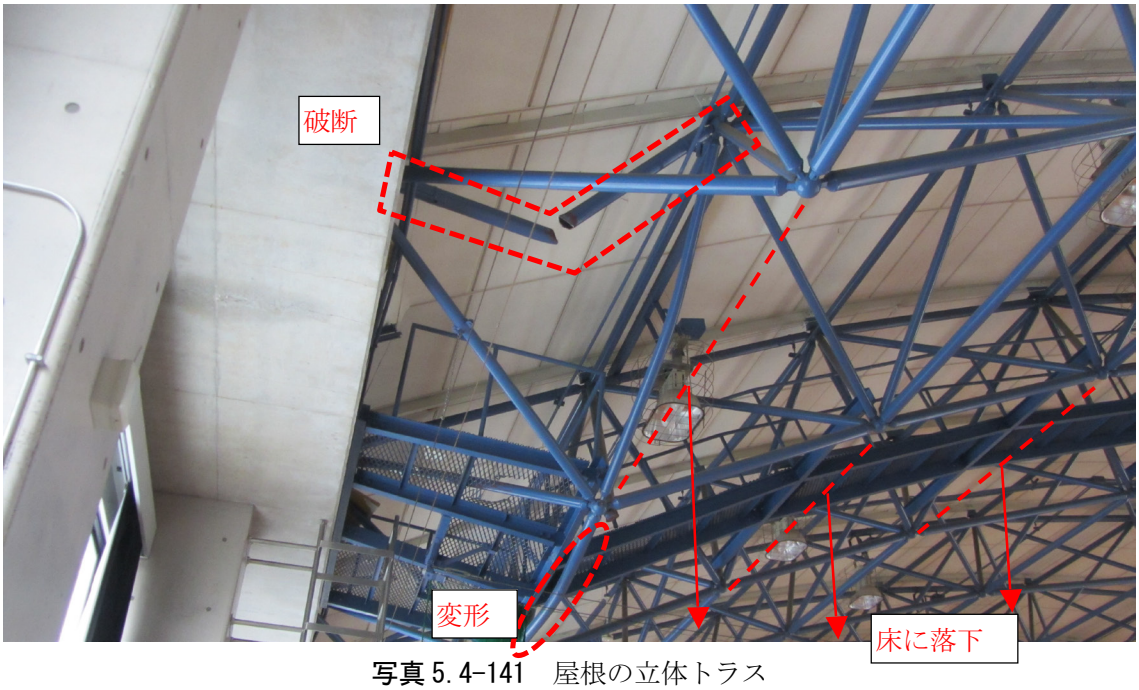


写真 5.4-141　屋根の立体トラス



写真 5.4-142　落下した立体トラスの部材

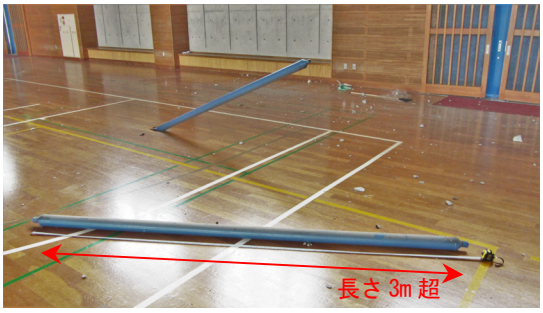


写真 5.4-143　落下した立体トラスの部材（奥の部材は床に突き刺さっている）



写真 5.4-144　落下した立体トラス部材の端部（ボルトの破断）



写真 5.4-145　多数落下していた金具



写真 5.4-146　落下していたモルタル

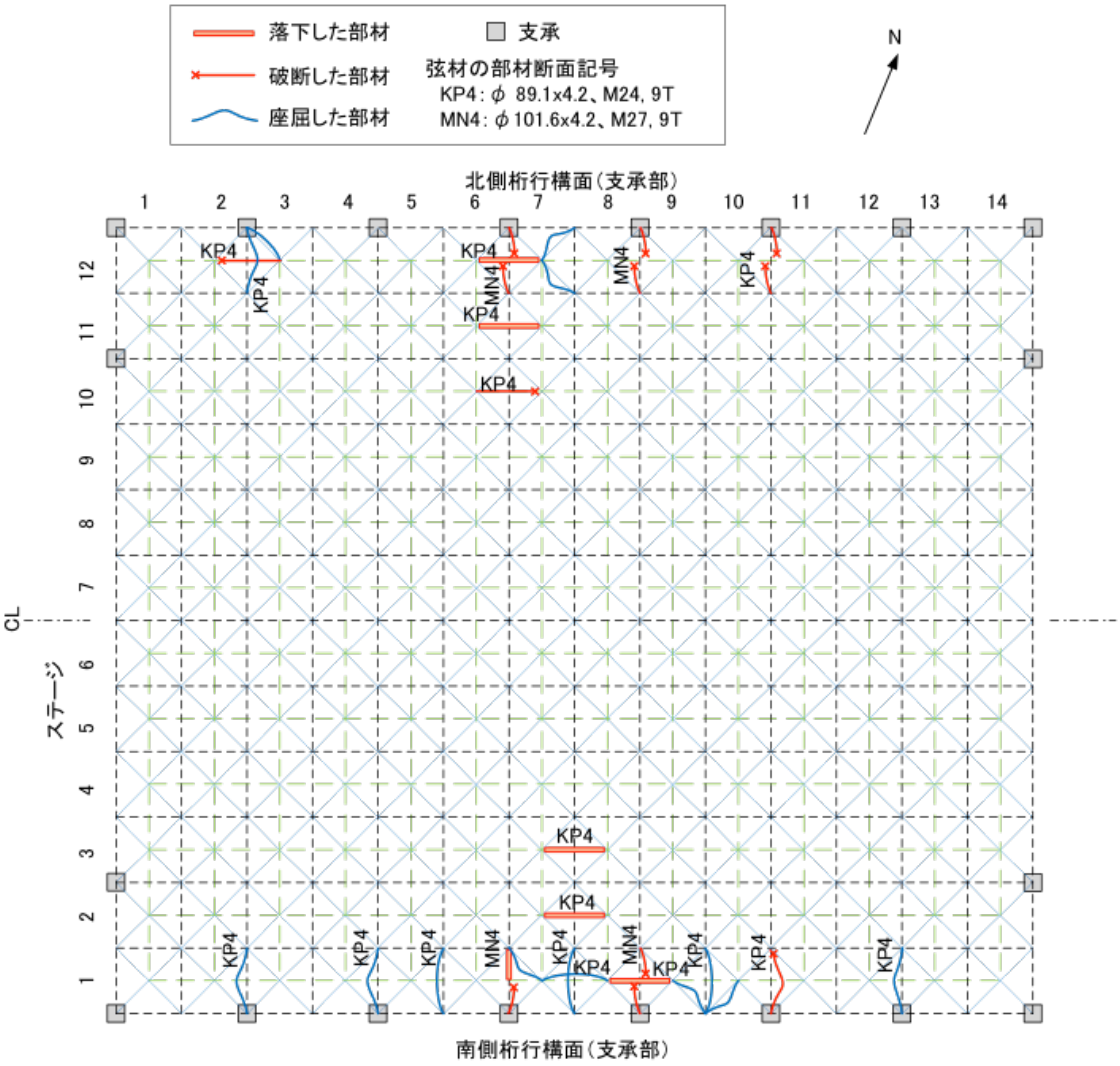


図 5.4-5　落下・破断・座屈した立体トラスの構成部材の位置

m）　体育館M

【建築物の概要】1965 年建設で、2011 年度耐震改修された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向はラチス形式の柱梁の山形屋根のラーメン構造、桁行き方向はブレース構造でターンバックル付き丸鋼ブレース。

【構造被害】桁行き方向の鉛直ブレースは、ほぼ無被害。ラチス形式の柱の柱脚で１箇所アンカーボルトの破断が見られた。屋根面水平ブレースは無被害であった。

【非構造部材の被害】窓ガラス１枚にひび割れが入ったとのことで、調査時点で修復済みであった。その他、モルタル外壁にひび割れが数箇所見られた。



写真 5.4-147　内観

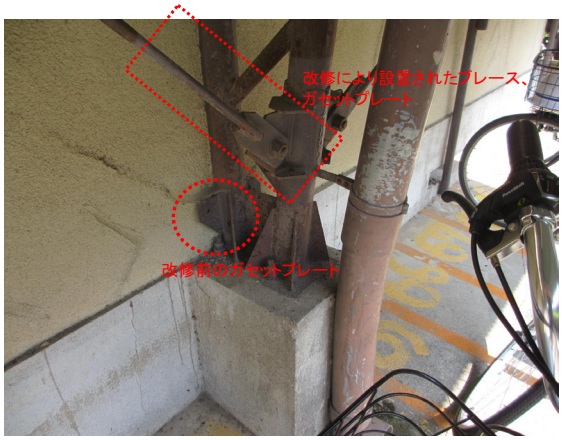


写真 5.4-148　耐震改修で取り替えられたブレース



写真 5.4-149　ラチス形式のフレーム



写真 5.4-150　柱脚のアンカーボルトの破断

n）　**体育館Ｎ**

【建築物の概要】1997 年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構は RC 造で、屋根が鉄骨造アーチ立体トラス。

【構造被害】屋根のトラスで、下弦材が 1 カ所落下し、5 箇所でたわみが観察された。ステージ上の妻壁上部の RC 架構と下屋の屋根の支承部でコンクリートの破壊、落下が見られた。一方、桁行き構面の支承部では被害は見られなかった。

【非構造部材の被害】トラスの下弦材が脱落した近傍で妻面の軒天が一部垂れ下がっていた。その他、２階レベルの外周部の床に一部ひび割れが確認された。



写真 5.4-151　内観



写真 5.4-152　落下したトラス下弦材



写真 5.4-153　落下したトラス部位

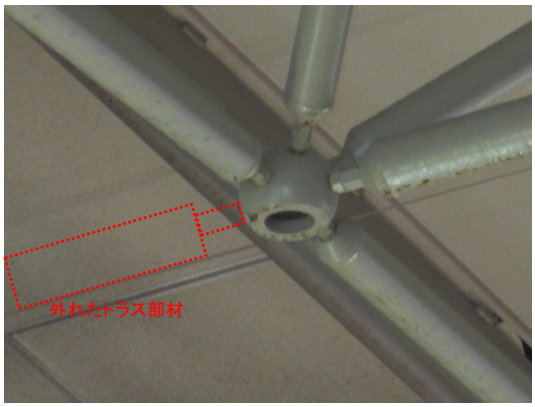


写真 5.4-154　トラス部材が外れたボールジョイント部分

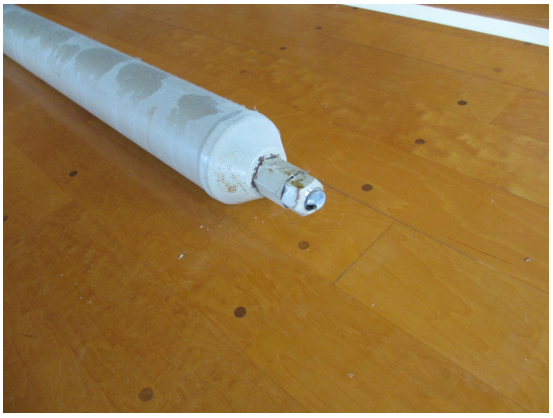


写真 5.4-155　落下したトラス下弦材



写真 5.4-156　少したわんだ下弦材



写真 5.4-157　少したわんだ下弦材



写真 5.4-158　建物の４隅はピン支承部であり無被害



写真 5.4-159　建物桁行構面は長孔の支承部で長孔の端までボルトが移動



写真 5.4-160　ステージ上の下屋の支承部コンクリートの破損



写真 5.4-161　ステージ上の下屋の支承部コンクリートの破損、落下



写真 5.4-162　軒天井の部分的な垂れ下がり

o)　**体育館O**

【建築物の概要】1985 年建設の新耐震基準に基づき設計された体育館。架構は鉄骨造で、張間方向山形屋根のラーメン構造、桁行き方向ブレース構造で平鋼ブレース。

【構造被害】２階の全てのブレース構面でブレース材の破断が観察された。また、１階では１箇所でブレース材の破断が観察された。それらは、ブレース孔欠損部の破断、ブレース端部の母材破断である。ブレースの接合部は、保有耐力接合で設計されていると考えられるが、ブレース材自体の降伏に

よる明確な伸びは、目視では確認できなかった。屋根面水平ブレースには被害は見られなかった。

【非構造部材の被害】山形屋根の棟部分が断面で台形状になっており、その部分について金属メッシュを用いた吊り天井が張られている。この吊り天井について、バー材が壁と取り合う端部付近で変形したり、複数の吊り材が吊り元で外れたり床面まで落下したりしていた。吊り材の長さは現地での計測や脱落した吊り材の計測から、0.4m、1.9m、2.4m の３種類が確認されたが、吊り元の溶接が外れていたのは総て最も短い 0.4m の吊り材であった。その他、ガラス窓の障子の外れ１枚、外装材の脱落１箇所などの被害が確認された。



写真 5.4-163　内観



写真 5.4-164　２階のブレースの破断



写真 5.4-165　孔欠損部近傍での破断



写真 5.4-166　孔欠損部での破断



写真 5.4-167　ブレース端部での母材破断

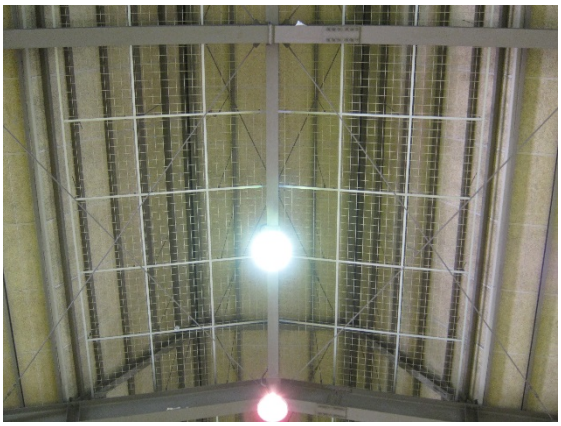


写真 5.4-168　吊り材が脱落した天井



写真 5.4-169 吊り材（円内は溶接痕）

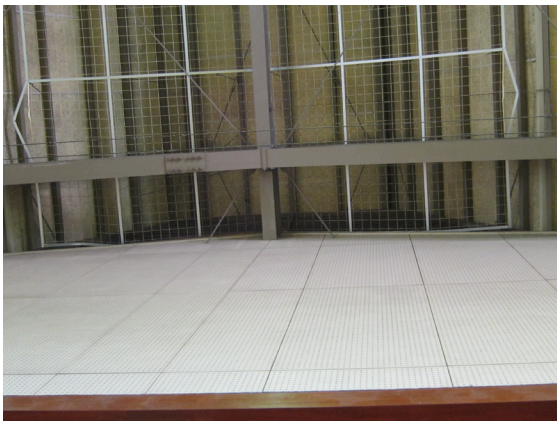


写真 5.4-170 端部付近で変形したバー材（棟部分の形状は台形になっている）



写真 5.4-171 外装材の脱落

（iv）構造被害の特徴

表 5.4-2 に 15 棟の体育館の架構種別、建設年、耐震改修年度、構造被害等の一覧を示す。調査を行った 15 棟の体育館は、熊本県立高校及び支援学校が 4 棟、熊本市立小学校及び中学校が 10 棟、熊本市立の運動施設が 1 棟である。これらの体育館 15 棟のうち、新耐震基準に基づき設計された体育館は 5 棟、耐震改修済みが 8 棟、耐震診断の結果、補強不要と判断されたものが 2 棟である。これらの調査結果に基づいて、体育館の被害部位毎の特徴を以下に示す。

表 5.4-2　15 棟の体育館の架構の構造、建設年、耐震改修年度、構造被害等の一覧

体育館名称	架構の構造	建設年	耐震改修年度	構造躯体の被害				
				鉛直ブレースの被害	柱脚の被害	屋根部分の被害		
						屋根面水平ブレース	屋根トラス	屋根支承部
体育館A	鉄骨造	1969年	2011年度	ガセットプレート及びブレース端部に塑性変形	一部でコンクリートひび割れ	２箇所でボルト破断	―	―
体育館B	RC造架構で屋根鉄骨造	2003年	―	―	―	数カ所でたわみ	被害無し	数カ所でコンクリートひび割れ、破壊、落下
体育館C	鉄骨造	1979年	Is値0.80で補強不要	被害無し	被害無し	外れ、垂れ3本	―	―
体育館D	鉄骨造	1975年	2013年度	大きなたわみ	被害無し	たわみ4本	―	―
体育館E	RC造架構でギャラリーから上部鉄骨造架構	1977年	Is値0.62で補強不要	ほとんど全てのブレース構面でボルト破断	一部の柱脚でコンクリート破壊	被害無し	―	―
体育館F	鉄骨造	1981年	2008年度	平鋼ブレース母材破断及びボルト穴欠損部破断、たわみ	被害無し	被害無し	―	―
体育館G	鉄骨造	1970年	2011年度	被害無し	被害無し	外れ、垂れ24本	―	―
体育館H	鉄骨造	1973年	2010年度	数カ所程度、ゆるみ	被害無し	天井により未確認	―	―
体育館I	鉄骨造	1989年	―	全てのブレースで降伏及び伸び、大きなたわみ	被害無し	被害無し	―	―
体育館J	鉄骨造	1980年	2008年度	わずかなたわみ、滑り	被害無し	被害無し	―	―
体育館K	鉄骨造	1965年	2009年度	わずかなたわみ、妻面ブレース２カ所ボルト破断	被害無し	２カ所でボルト破断	―	―
体育館L	RC造架構で屋根鉄骨造	1996年	―	―	―	―	立体トラスの部材６本落下	モルタル落下（詳細未確認）
体育館M	鉄骨造	1965年	2011年度	被害無し	柱脚１カ所でアンカーボルト破断	被害無し	被害無し	―
体育館N	RC造架構で屋根鉄骨造	1997年	―	―	―	被害無し	立体トラスの部材１本落下、５箇所曲がり	ステージ上の支承部でコンクリート破壊、落下
体育館O	鉄骨造	1985年	―	2階のブレースのブレース穴欠損部破断、ブレース母材破断	被害無し	被害無し	―	―

１）鉛直ブレースの被害

鉛直ブレースについて、破断を伴う大きな被害が見られたものとしては体育館Ｅ、Ｆ、Ｋ、Ｏである。それらの被害は、丸鋼ブレースのボルト破断、平鋼ブレースのボルト孔欠損部またはブレース端部の母材の破断である。平鋼ブレースの被害は、耐震改修により取り替えられたブレースでの被害である。それらの被害写真を、写真 5.4-172～174 に示す。これらの被害では、ブレース材自体の伸びや降伏したと思われる痕跡が目視では確認できなかった。一方、ターンバックル付き丸鋼ブレースが使われていた体育館Ｉでは写真 5.4-175 に示すように、ブレースの大きなたわみ、変形、伸びが観察されたが接合部等で破断していなかった。このような鉛直ブレースの被害は、2011 年東北地方太平洋沖地震等の地震被害でも観察されている[5.4-3)]。



写真 5.4-172　体育館Ｅのボルト破断



写真 5.4-173　体育館Ｆの母材破断



写真 5.4-174　体育館Ｏのブレース孔欠損部の破断



写真 5.4-175　体育館Ｉのブレースの大きなたわみ及び伸び

２）屋根面水平ブレースの被害

屋根面水平ブレースについては、被害のなかったものやたわみなどの比較的小さな被害のものが半数以上の 9 棟であったが、ボルト等の破断を伴うものも 4 棟（体育館Ａ、Ｃ、Ｇ、Ｋ）で観察され、これらの中には、ボルト等の破断が生じていたため、調査時に 20 か所以上の屋根面ブレースが取り外されていたものもあった。これらのブレースは、いずれも耐震改修以前のブレースがそのまま残されていたものである（耐震改修により、鉛直ブレースは交換されていたが、屋根面水平ブレースは新設または取り替えられておらず、改修前のブレースがそのまま設置されていたものや、耐震診断で補強不要と判断されたもの）。被害例を、写真 5.4-176～179 に示す。同様の被害は、2011 年東北地方太平

洋沖地震等の地震被害でも観察されている[5.4-3)]。

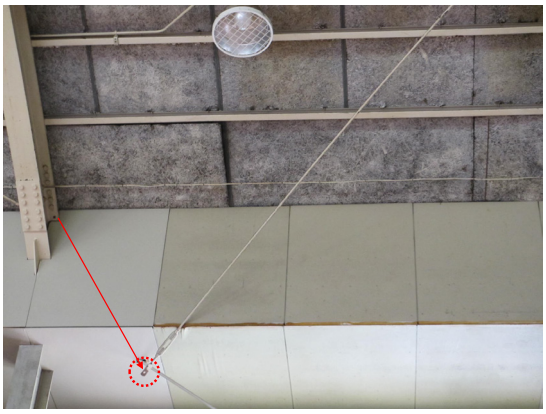


写真 5.4-176 体育館Ａの屋根面水平ブレースのボルト破断

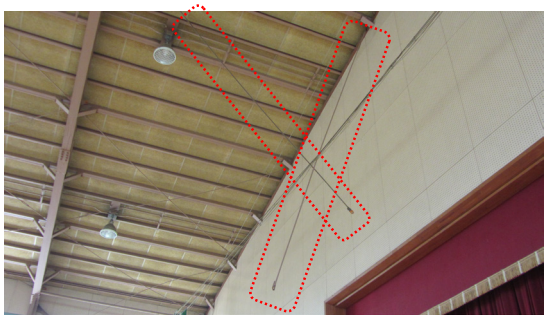


写真 5.4-177 体育館Ｃの屋根面水平ブレースのボルト破断

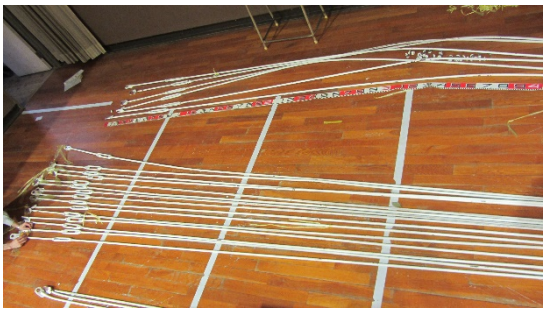


写真 5.4-178 体育館Ｇの撤去された屋根面水平ブレース



写真 5.4-179 体育館Ｇの屋根面水平ブレースのボルト

３）屋根トラスの被害

体育館Ｂ、Ｌ、Ｎは、RC 造架構に立体トラスの屋根が接続された体育館であり、このうち、体育館ＬとＮで、立体トラスを構成する部材の曲がり、破断、座屈、落下等の被害が見られた。被害例を、写真 5.4-180～183 に示す。2011 年東北地方太平洋沖地震では、トラス梁の座屈は見られた[5.4-3)]が、部材の落下は観察されなかった。

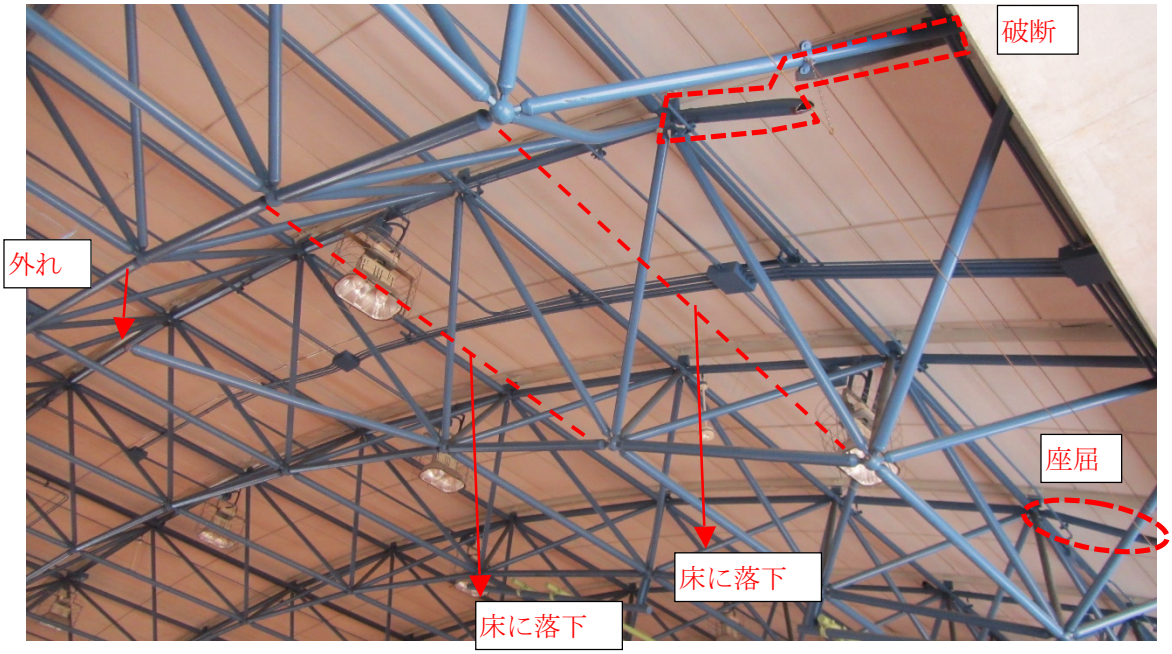


写真 5.4-180　体育館Ｌのトラス屋根の被害状況

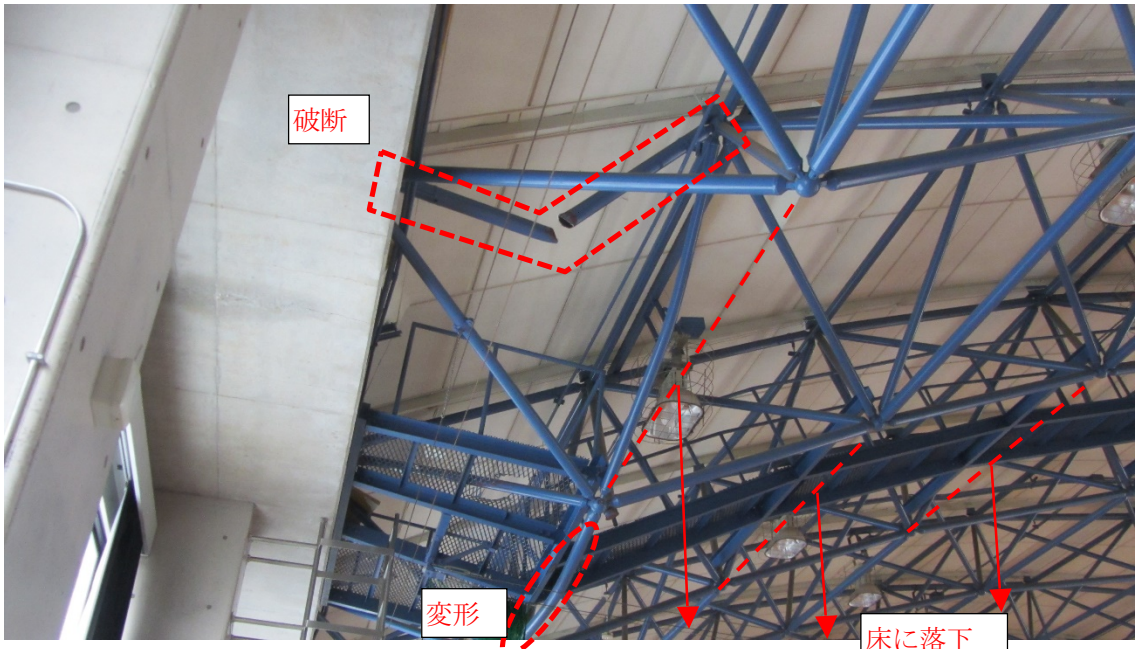


写真 5.4-181　体育館Ｌのトラス屋根の被害状況



写真 5.4-182　体育館Ｎのトラス屋根の下弦材の落下



写真 5.4-183　体育館Ｎのトラス屋根の下弦材の曲がり

４）屋根支承部の被害

体育館Ｂ、Ｌ、Ｎは、RC 造架構に立体トラスの屋根が接続された体育館であり、これらの体育館のうち、体育館ＢとＮで、RC 造架構とＳ造屋根の接続部（支承部）で、コンクリートの側方破壊とそれに伴うコンクリート片の落下やコンクリートのひび割れが観察された。それらの被害を写真 5.4-184～186 に示す。このような被害は、2011 年東北地方太平洋沖地震で見られた被害と同様のものである[5.4-4)]。



写真 5.4-184　体育館Ｂの屋根支承部のコンクリートの側方破壊



写真 5.4-185　体育館Ｂの屋根支承部のコンクリートのひび割れ



写真 5.4-186　体育館Ｎのステージ上の屋根支承部のコンクリートの破壊



写真5.4-187　体育館Ｎの桁行き構面の屋根支承部（長孔の端までボルトが移動）

（ｖ）学校体育館の被害調査のまとめ

学校体育館の調査から得られた体育館の被害形態とその特徴を以下にまとめて示す。

１）鉛直ブレースの被害：耐震改修により取り替えられた平鋼ブレースでボルト孔欠損部等での破断の被害が見られた。一方で、新耐震基準に基づき設計された体育館のターンバックル付き丸鋼ブレースでは、ブレースの大きなたわみ、変形、伸びが観察されたが接合部等で破断していなかった。これらの被害は、2011 年東北地方太平洋沖地震等の地震でも見られたものである。

２）屋根面水平ブレースの被害：ボルト等の破断の被害が数棟で観察されたが、これらの中には 20 か所以上でボルト破断が観察されたものもあった。これらのブレースはいずれも、耐震改修以前のブレースがそのまま残されていたものであった。これらの被害は、2011 年東北地方太平洋沖地震等の地震でも見られたものである。

３）屋根トラスの被害：RC 架構に立体トラスの屋根が接続された２棟の体育館で、立体トラスを構成する部材のたわみ、破断、座屈、落下等の被害が見られた。このような立体トラス屋根の部材の落下は、これまでの地震では、ほとんど観察されなかったものである。

４）屋根支承部の被害：RC 架構とトラスの屋根の接続部（支承部）で、コンクリートの側方破壊とコンクリート片の落下、ひび割れが見られた。このような被害は、2011 年東北地方太平洋沖地震でも見られたものである。

（３）その他の鉄骨造建築物の調査

（ｉ）調査概要

熊本地震の発災直後に、鉄骨造建築物の構造被害の全般的な被害概要の把握と、被害原因や今後の詳細調査の必要性等について検討することを目的とした調査を実施した。この調査は、4 月 20～21 日の 2 日間で実施し、熊本市内等での比較的大きな規模の鉄骨造建築物や益城町で大きな被害が生じた鉄骨造建築物について、それらの被害の状況を把握するために行ったものである。このうち、5.4.2(3)では、熊本市内及び西原村における比較的大きな規模の鉄骨造建築物の被害状況について記す。

（ⅱ）調査結果

１）熊本市内の立体駐車場の被害

a）立体駐車場Ａ（建設年不明）

4 階建ての鉄骨造の立体駐車場である。構造形式はブレース付きラーメン構造であり、角形鋼管柱とH形鋼梁に、溝形鋼ブレースが用いられている。外観からは構造被害は観察されなかったが、内部の階段室コア部分を形成するブレースに座屈の被害が見られた。特に2階の階段室周りのブレースで比較的座屈が大きく、ブレース端部とブレース交差部のガセットプレートに座屈が生じていた。また、座屈が大きい部分ではブレースの耐火被覆が剥離していた。



写真 5.4-188　外観



写真 5.4-189　建築物内のブレースの様子



写真 5.4-190　ブレースの座屈



写真 5.4-191　ブレースの耐火被覆の剥落



写真 5.4-192　溝形鋼ブレースの座屈



写真 5.4-193　溝形鋼ブレース端部の座屈



写真 5.4-194　ブレース交差部のガセットプレート接続部の座屈

b）立体駐車場 B（建設年不明）

6 階建ての鉄骨造の立体駐車場である。構造形式はブレース付きラーメン構造であり、角形鋼管柱と H 形鋼梁で、H 形鋼ブレースが用いられている。塔屋で外装材が脱落していた。ブレース交差部やブレース端部では耐火被覆の亀裂や剥離が観察されたが、建築物の外側からは構造的な被害は観察されなかった。



写真 5.4-195　外観



写真 5.4-196　塔屋の外装材の脱落



写真 5.4-197　ブレース端部の耐火被覆の亀裂



写真 5.4-198　ブレース交差部の耐火被覆の剥離

c）立体駐車場 C（建設年不明）

3 階建ての鉄骨造の立体駐車場である。構造形式は角形鋼管柱と H 形鋼梁のラーメン構造である。塔

屋で外装材が脱落し、ブレースが破断しているのが観察された。柱梁等の構造部材は、耐火被覆に覆われていることもあり、構造被害は観察されなかった。



写真 5.4-199　外観



写真 5.4-200　塔屋のブレースの破断



写真 5.4-201　塔屋のブレースの破断



写真 5.4-202　建築物内観

２）西原村の工場建屋の被害

西原村の工業団地内の２階建て鉄骨造の工場である。構造形式は角形鋼管柱とＨ形鋼梁のラーメン構造である。外壁が一部脱落し、柱梁接合部部分が露出している。露出した部材や接合部には構造的な被害は無いと思われる。なお、周辺では、このほかにも外装材の一部が落下している工場建築物がいくつか見られたが、これらの建築物でも、外観からは構造的な被害は確認されなかった。



写真 5.4-203　外観



写真 5.4-204　外壁落下で露出した柱梁接合部

（iii）その他の鉄骨造建築物の調査のまとめ

熊本市内の立体駐車場で、構造躯体及び非構造部材の被害が観察された。構造的な被害として、溝形鋼ブレースの端部とブレース交差部のガセット部分で座屈の被害が観察された。また、塔屋のブレースが破断している被害も観察された。西原村の工業団地では、外装材の一部が落下している工場建築物がいくつか見られたが、外観からは構造的な被害は確認されなかった。これらの建築物の被災度は、中破程度以下のものであり、大破に相当する大きな構造被害は観察されなかった。

5.4.3 まとめ

熊本地震による鉄骨造建築物の被害状況、被害の特徴、被害要因を把握するために、1）益城町における鉄骨造建築物の調査、2）学校体育館の調査、3）その他の鉄骨造建築物の調査、の 3 つの被害調査を行った。以下に、それぞれの調査から得られた結果をまとめて示す。

(1) 益城町における鉄骨造建築物の調査

平成 28 年（2016 年）熊本地震で震度 7 を観測した益城町宮園観測点近傍の安永・宮園・木山・辻の城・寺迫地区における鉄骨造建築物 96 棟の被害調査を行った。調査の結果、倒壊又は大破した鉄骨造建築物の総数は 16 棟（倒壊 1 棟、大破 15 棟）、その割合は 17%であった。また、倒壊又は大破した鉄骨造建築物は、次の特徴のいずれかを有するものであった。

・特徴 1）建設年が 1980 年以前と推定されるもの又は古いタイプの部材を用いたもの
・特徴 2）隣の倒壊した建築物による力の作用、宅地擁壁部分の崩壊等の当該建築物以外の周辺状況による何らかの影響があったと推定されるもの
・特徴 3）溶接部等で破断が生じていたもの

なお、倒壊又は大破した建築物と特徴 1),2),3)との対応関係は表 5.4-1 のとおりである。

(2) 学校体育館の調査

15 棟の学校体育館の調査から得られた体育館の被害形態とその特徴は以下である。

1) 鉛直ブレースの被害：耐震改修により取り替えられた平鋼ブレースでボルト孔欠損部等での破断の被害が見られた。一方で、新耐震基準に基づき設計された体育館のターンバックル付き丸鋼ブレースでは、ブレースの大きなたわみ、変形、伸びが観察されたが接合部等で破断していなかった。これらの被害は、2011 年東北地方太平洋沖地震等の地震でも見られたものである。
2) 屋根面水平ブレースの被害：ボルト等の破断の被害が数棟で観察されたが、これらの中には 20 か所以上でボルト破断が観察されたものもあった。これらのブレースはいずれも、耐震改修以前のブレースがそのまま残されていたものであった。これらの被害は、2011 年東北地方太平洋沖地震等の地震でも見られたものである。
3) 屋根トラスの被害：RC 架構に立体トラスの屋根が接続された２棟の体育館で、立体トラスを構成する部材のたわみ、破断、座屈、落下等の被害が見られた。このような立体トラス屋根の部材の落下は、これまでの地震では、ほとんど観察されなかったものである。
4) 屋根支承部の被害：RC 架構とトラスの屋根の接続部（支承部）で、コンクリートの側方破壊とコンクリート片の落下、ひび割れが見られた。このような被害は、2011 年東北地方太平洋沖地震でも見られたものである。

(3) その他の鉄骨造建築物の調査

熊本市内の立体駐車場の構造的な被害として、溝形鋼ブレースの端部とブレース交差部のガセット部分で座屈の被害が観察された。また、塔屋のブレースが破断している被害も観察された。西原村の工業団地では、外装材の一部が落下している工場建築物がいくつか見られたが、外観からは構造的な被害は確認されなかった。これらの建築物の被災度は、中破程度以下のものであり、大破に相当する大きな構造被害は観察されなかった。

参考文献

5.4-1) 震災建築物の被災度区分判定基準及び復旧技術指針改訂委員会:震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、(一財) 日本建築防災協会、2015

5.4-2) 平成28年 (2016年) 熊本地震による建築物等被害第三次調査報告 (速報) (鉄骨造建築物並びに非構造部材及び設備を中心とした調査)、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所、2016年5月
http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h28/20160420kumamotokentiku4.pdf
http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/03-kumamoto.pdf

5.4-3) 山田哲、伊山潤、島田侑子、松本由香、長谷川隆、清家剛、中野達也、吉敷祥一：東北地方太平洋沖地震および余震による学校体育館の構造被害、日本建築学会技術報告集 第44号、pp.133-138、2014年2月

5.4-4) H23年(2011年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告、国総研資料第674号、建築研究資料第136号、2012年3月
http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0674.htm
http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/0311report.html

5.5 鉄筋コンクリート造等建築物の被害

5.5.1 調査の目的と概要

平成 28 年熊本地震による、鉄筋コンクリート造（以下、RC 造）建築物および鉄骨鉄筋コンクリート造（以下、SRC 造）建築物の被害の概要と特徴を把握するため、図 5.5-1 に示すエリアを対象として現地被害調査を実施した。

本節では、その調査結果と、今回の RC 造等建築物被害の特徴を示す。

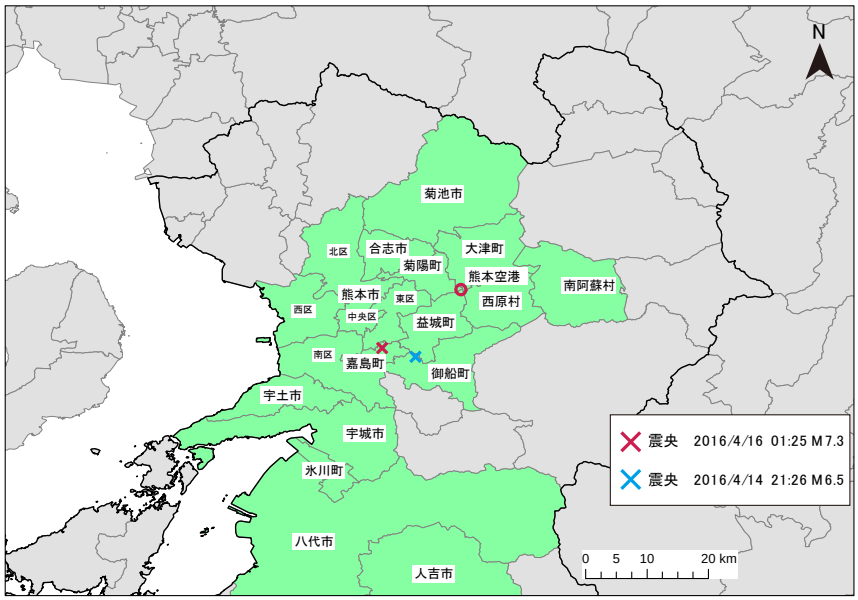


図5.5-1 調査エリア

5.5.2 調査結果

(1) 1981 年以降または耐震改修済みの被災建築物

1) 共同住宅 A（宇土市、建設年 1998 年）

本建築物は、4 階建て RC 造共同住宅である。平面形状は長方形であり、桁行方向は北西-南東方向である。



写真5.5-1 外観（南西側）

平面図を図 5.5-2 に示す。本建築物は、桁行方向 10 スパン、張間方向 1 スパンであり、桁行方向に対称な平面プランである。1 階には、桁行方向両端に壁厚 220㎜ の連層耐力壁が、階段室直下（Y4 構面の北東側）に壁厚 220㎜ の壁柱が複数枚配置されている。それらの壁を除き、1 階は純ピロティ構造となっている。

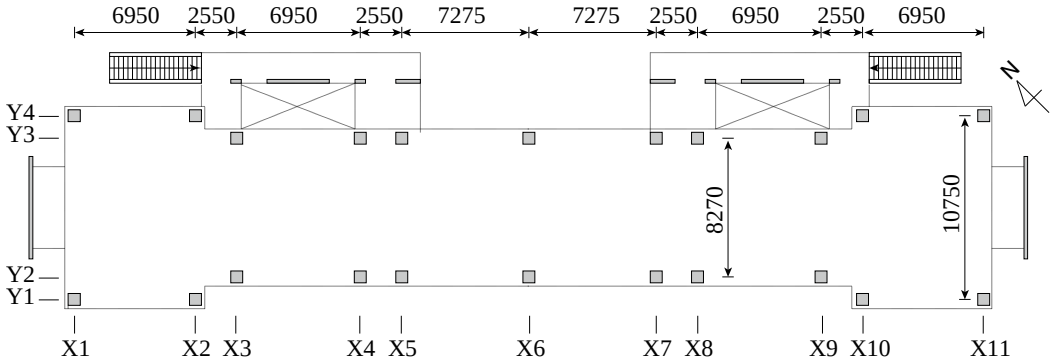


図5.5-2 1 階平面図

現地で計測したところ、1 階の柱は断面が 650×650㎜ である。主筋には D22 が用いられ、せん断補強筋は D13 がおおよそ 100㎜ ピッチで配筋されていることが確認された（写真 5.5-2）。2 階梁は梁下端面とスラブ下面が一致する逆梁形式となっており、スラブ下面がピロティ階の天井面となっている（写真 5.5-3）。柱の内法高さ 2820㎜ である。



写真5.5-2 1 階柱頭部の拡大



写真5.5-3 1 階内部からの見上げ

被災度区分判定基準[5.5-1]に従い、部材損傷度を判定した結果を図 5.5-3 に示す。1 階柱は、主筋の座屈が多数見られ、一部の主筋は破断していることも確認された（写真 5.5-4、写真 5.5-5）。このような被害は主に柱頭部で確認されたが、一部の柱では柱脚部でも同様の被害が生じている。

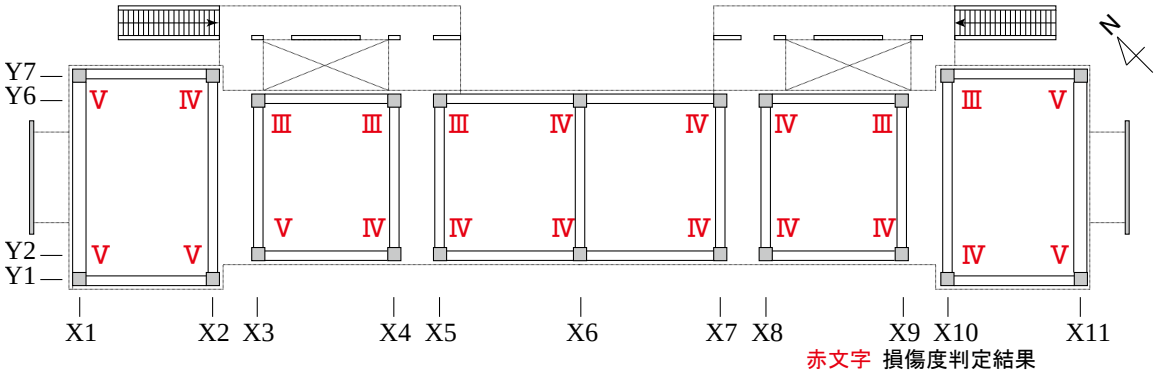


図5.5-3 部材損傷度判定結果



(a) 東側から見た柱全景　　(b) 柱頭部の拡大

写真5.5-4 X11-Y1 柱（柱頭破壊、軸支持能力低下、損傷度Ⅴ）



(a) 東側から見た柱全景　　(b) 柱頭部の拡大

写真5.5-5 X5-Y2 柱（柱頭破壊、主筋の座屈・破断、損傷度Ⅳ）



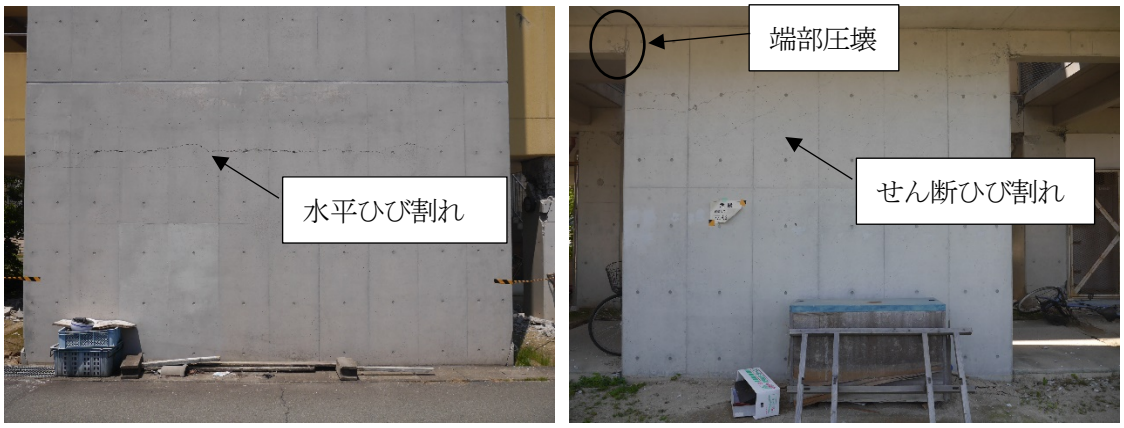
写真5.5-6 X5-Y3 柱（曲げ降伏、損傷度Ⅲ）

部材損傷度の判定結果に従い、被災度区分判定をした結果を表 5.5-1 に示す。部材損傷度の判定結果はいずれの方向でも同一となったため、代表して NE－SW 方向（張間方向）の結果を示す。本対象建築物においては、耐震性能残存率 R=21(%)となり、「大破」の判定となった。

表5.5-1 被災度判定結果(NE-SW 方向)

損傷度	本数	残余性能（曲げ柱）	本数×残余性能
損傷度Ⅴ	6	0	0
損傷度Ⅳ	11	0.2	2.2
損傷度Ⅲ	5	0.5	2.5
損傷度Ⅱ	0	0.75	0
損傷度Ⅰ	0	0.95	0
		合計	4.7
		耐震性能残存率	21 %［大破］

なお、外周部の壁部材には、写真 5.5-7 に示すようにひび割れや圧潰が生じているが、柱に比べて被害程度が小さく、柱と連動して耐震要素として効いていたとは考えづらいため、本検討では、外周部の壁部材を考慮していない。また、同団地内に同時期に建設された 3 階建てないし 4 階建ての壁式 RC 造共同住宅 15 棟の外部からの調査では、構造部材に対する被害は見られない。



(a)桁行外柱連層耐力壁（水平ひび割れ）　(b)階段室下の壁柱（せん断ひび割れ、端部圧壊）

写真5.5-7 壁部材の損傷状況

2)　共同住宅 B（熊本市中央区、建設年 2006 年）

本建築物は 9 階建て RC 造の共同住宅である。平面形状は桁行方向 4 スパン、張間方向 1 スパンの長方形であり、１階が壁の少ないピロティ構造となっている。１階の一部の壁を除き、いずれの壁も構造スリットにより切り離されている。

１階の南側構面の４本の柱および北側構面の２本の柱で、脚部から 900㎜ほどの高さに水平のひび割れが生じていた。そのうち、南側構面の３本の柱では、同高さ付近で全周に渡ってコンクリートが剥落していた。露出面から確認できる主筋(D29)はいずれも溶接継手で継がれていたが、溶接継手部で主筋が破断していることが確認された。破断はいずれも溶接部と母材の境目で生じている。



写真5.5-8 建築物外観



写真5.5-9 １階（ピロティ層）の被害

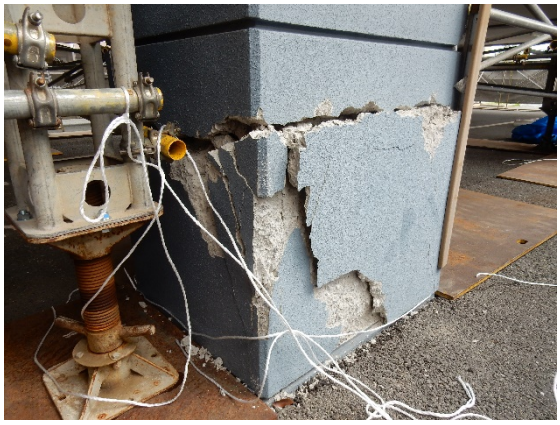


写真5.5-10 １階柱の水平ひび割れ




写真5.5-11 主筋破断部の拡大

3) 共同住宅 C（熊本市西区、建設年 1985 年）

本建築物は、桁行方向 4 スパン、張間方向 1 スパンの 4 階建て RC 造共同住宅である。平面図（および部材損傷度判定結果）を図 5.5-4 に示す。南西面の階段室の壁を除き、1 階は純ピロティ構造となっている。1 階の柱は断面が 650×650mm である。主筋には D25 が用いられ、せん断補強筋は D10 がおおよそ 100mm ピッチで配筋されている。柱の内法高さは、1 階床面から梁下までが 2900mm、2 階床下面までが 3500mm である。



図5.5-4 1 階平面図および部材損傷度判定結果

被災度区分判定基準[5.5-1]に従い、部材損傷度を判定した結果を図 5.5-4 に示す。また、代表的な被害状況を写真 5.5-12～写真 5.5-14 に示す。建築物の被害は、1 階柱に集中しているため、本調査では 1 階の被災度区分判定を実施した。

1 階柱は、北側角の階段室側から遠い構面の柱に被害が集中しており、ねじれ挙動が生じていることが推察される。X2 構面柱がもっとも損傷度が高く、軸支持能力が明らかに低下していることが確認できる(写真 5.5-12)。X1 構面の隅柱は、柱頭部からやや接合部側に入った位置で曲げ破壊が生じている(写真 5.5-13)。X3 構面の柱は付着割裂破壊が生じている(写真 5.5-14)。



(a) 西側から見た柱全景　　(b) 柱中央部の拡大

写真5.5-12 X2-Y1 柱（付着割裂破壊、コアコンクリートの剥落、損傷度Ⅴ）



(a) 北西側から見た柱全景　　(b) 柱頭部の拡大

写真5.5-13 X1-Y1 柱（隅柱、柱頭部曲げ破壊、損傷度Ⅳ）



写真5.5-14 X3-Y1 柱（付着割裂破壊、損傷度Ⅳ）

部材損傷度の判定結果に従い、被災度区分判定をした結果を表 5.5-2 に示す。ここでは、被害が比較的大きい NW－SE 方向（張間方向）を対象としている。本対象建築物においては、耐震性能残存率 R=37(%)となり、「大破」の判定となった。

表5.5-2 被災度判定結果(NW-SE 方向)

損傷度	本数	残余性能（曲げ柱）	本数×残余性能
損傷度Ⅴ	2	0	0
損傷度Ⅳ	4	0.2	0.8
損傷度Ⅲ	2	0.5	1.0
損傷度Ⅱ	0	0.75	0
損傷度Ⅰ	2	0.95	1.9
		合計	3.7
		耐震性能残存率	37 %［大破］

4) 共同住宅 D（熊本市東区、建設年 1992 年）

本建築物は桁行方向 5 スパン、張間方向 1 スパンの 10 階建て RC 造共同住宅であり、1 階は駐車場となっている。また、北側で 10 階建ての別棟とエキスパンションジョイントで接続されている（写真 5.5-15)。桁行方向のスパン長さは外側で 6.0m、内側で 6.4m、張間方向のスパン長さは 11.7m である（図 5.5-5)。本詳細調査では、被害の概要を把握するとともに、被害が大きい 1 階を対象とした被災度区分判定を実施した。



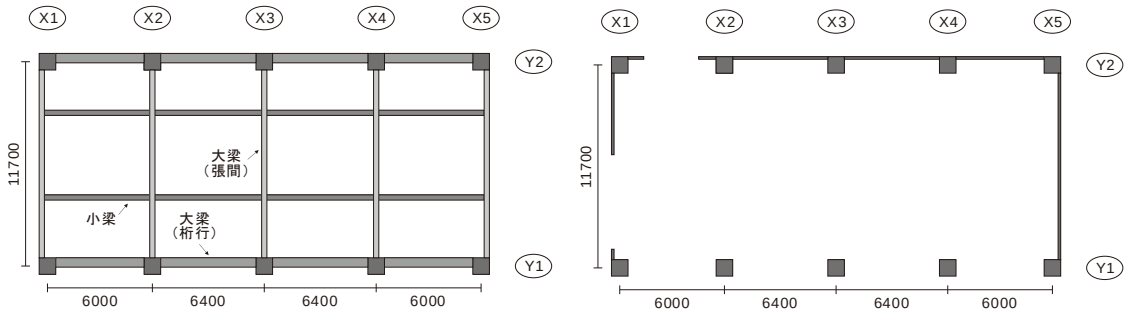
(a)南側



(b)北側（写真の右側の建築物）

写真5.5-15 建築物の外観

現地で計測したところ、1 階柱の断面は 950㎜×950㎜ で、主筋には D25 が用いられており、せん断補強筋は D13 がおよそ 75㎜ ピッチ（柱中央高さ付近）で配筋されていた。また、建築物の外周部では 2 階大梁が 1 階柱に偏心して取り付いており、柱側面と大梁側面が揃っていた。張間方向の大梁は、桁行方向の大梁と比較して、せい、幅共に短かった。張間方向の大梁の下端筋には D25 が用いられており、せん断補強筋は D10 がおよそ 200㎜ ピッチ（梁端部）で配筋されていた（写真 5.5-16)。



(a) 大梁・小梁の配置　　(b) 非構造壁の配置

図5.5-5 1階の平面図



写真5.5-16 1階柱主筋、2階大梁（張間方向）の配筋

1階の外周部には、壁厚150㎜で、柱際に沿って部分スリットが設けられているRC壁が設けられていた（写真5.5-17）。以降、完全スリットを有さない壁を非構造壁と称する。破壊した箇所を見ると、厚さ50㎜程度の部分スリットが埋め込まれており、壁筋はD10がおよそ200㎜ピッチで配筋されていた。したがって、張間方向に関しては、2階以上には耐力壁が配置されているが、その直下の1階には耐力壁がなく、柱だけで構成される純ピロティ構造として設計された可能性がある。



写真5.5-17 柱際に設けられた非構造壁の部分スリット

被災度区分判定基準[5.5-1]に従い、被害が最も大きい 1 階について、部材損傷度の判定を行った。図 5.5-6 中に判定した損傷度を示す。柱の損傷度と比較して、大梁や柱梁接合部の損傷度が大きい場合には、これらの損傷度を柱の損傷度に読み替えた。代表的な部材の損傷状況を写真 5.5-18 に示す。10 本の柱のうち、3 本の柱の損傷度がⅤとなった。1 本（X4Y2）は中心高さ付近で、1 本（X5Y1）は脚部で破壊し、コンクリートが剥落すると共に主筋が座屈した。また、もう 1 本の柱（X3Y2）では、柱自体の損傷度はⅡに留まったが、張間方向の大梁の下端筋が座屈したため、損傷度をⅤとしている。また、隅角部の柱（X1Y1）では、大梁が偏心して取り付いた柱梁接合部でひび割れ幅が 2.0㎜ を超えるひび割れが確認されたため、損傷度をⅣとしている。

表 5.5-3 に被災度区分判定の結果を示す。本建築物は 1982 年以降に建設されており、柱の内法高さを柱せいで除した値が 3.0 未満となるため、1 階柱を「曲げせん断柱」に分類して、残余性能の評価を行った。桁行方向と比較し、張間方向の方が損傷度Ⅴに分類される部材の数が多いため、耐震性能残存率はやや低く、桁行方向の耐震性能残存率は R=35（%）、張間方向の耐震性能残存率は R=31（%）となった。被災度はいずれの方向についても「大破」となった。

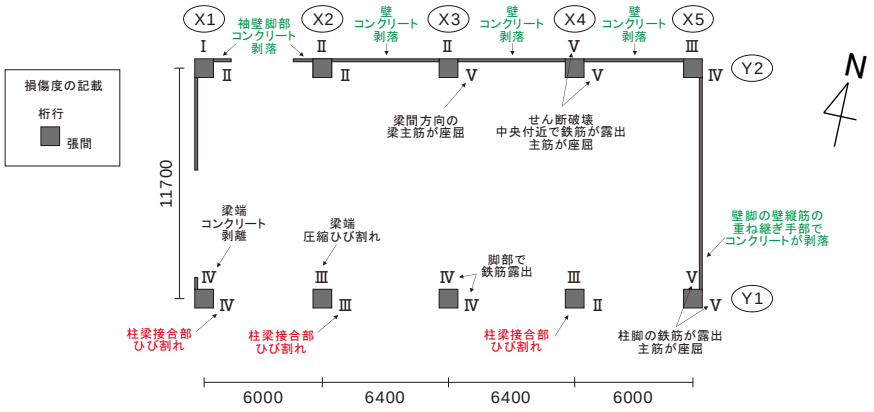


図5.5-6 被災度判定の結果

表5.5-3 被災度判定の結果

(a) 桁行方向

損傷度	本数	残余性能	本数×残余性能
Ⅴ	2	0.00	0.00
Ⅳ	3	0.10	0.30
Ⅲ	2	0.40	0.80
Ⅱ	2	0.70	1.40
Ⅰ	1	0.95	0.95
合計	10		3.45
		耐震性能残存率	35% 大破

(b) 張間方向

損傷度	本数	残余性能	本数×残余性能
Ⅴ	3	0.00	0.00
Ⅳ	2	0.10	0.20
Ⅲ	2	0.40	0.80
Ⅱ	3	0.70	2.10
Ⅰ	0	0.95	0.00
合計	10		3.10
		耐震性能残存率	31% 大破



(a) 柱(X4Y2)



(b) 柱(X5Y1)



(c) 張間方向大梁(X3Y2)



(d) 柱梁接合部(X1Y1)



(e) 非構造壁 (X5 構面)



(f) 非構造壁 (Y2 構面、X3-X4 間)

写真5.5-18 各部材の損傷

上階の桁行方向の共用廊下側の構面でも、1 階と同様に柱際に部分スリットが設けられていたが、特に 2、3 階では、コンクリートの剥落を伴うような袖壁、腰壁、方立壁の被害が見られた。また、柱の損傷度がⅤと判定され、柱や大梁が大きな損傷を受けた張間方向の X3、X4 構面では、スパン中央付近で 2 階大梁に数センチ程度の鉛直たわみが生じていることを確認している。



写真5.5-19 2階共用廊下側の方立壁の被害

5)　庁舎E（上益城郡益城町、建設年1998年）

本建築物はRC造2階建ての消防庁舎であり、庁舎建築物に主訓練塔と副訓練塔が併設されている。庁舎建築物では什器の転倒、損傷等が確認されているが、空調等の設備機器の被害は軽微であった。建築物周辺では最大で30～40cm程度の地盤の沈下が生じている。壁が多く配置されたRC造2階建ての副訓練塔には前震、本震とも目立った被害は見られないが、RC造5階建てで、3～5階がセットバックし、4本柱で構成された主訓練塔では大きな被害が見られた。

前震では、3 階柱梁接合部のコンクリートが剥落しており、内部の鉄筋の露出が見られる。また、一部の柱主筋は座屈していた（写真5.5-21、写真5.5-22)。3階の柱脚や柱頭、4階の大梁でもコンクリートの剥落が見られたが、鉄筋が露出する程ではなかった（写真 5.5-23)。本震では、当該建築物が国道側（西方向）に大きく傾き、余震により変形がさらに増大した（写真5.5-24、写真5.5-25)。変形の様子から3～4階で部分崩壊形が形成されたと考えられ、4階の柱梁接合部には多数のひび割れが発生していた。



写真5.5-20 前震後の主訓練塔の被災状況



写真5.5-21 前震後の主訓練塔の
3階柱梁接合部周辺の被災状況



写真5.5-22 前震後の主訓練塔の
3 階柱脚の被災状況



写真5.5-23 前震後の主訓練塔の
4 階大梁の被災状況



写真5.5-24 本震後の主訓練塔の被災状況



写真5.5-25 本震後の主訓練塔の
3 階柱梁接合部周辺の被災状況

被災度区分判定基準[5.5-1]に従い、被害が最も大きく、本震時に大きな残留変形が生じた 3 階の東西方向（X 方向）について、部材損傷度の判定を行った。なお、当該建築物は 4 月 19 日に解体され、現地で調査することができなかったため、前震と本震の間に撮影された被災写真を基に判定を実施した。図 5.5-7 に判定した柱の損傷度を示す。なお、上下の柱梁接合部や大梁の損傷が大きい場合には、これらの損傷度を柱の損傷度に置き換えた。X1Y3 柱では 3 階柱梁接合部の破壊により、柱主筋の座屈が見られたため、損傷度をⅤとした。X2Y3 柱では柱脚においてコンクリートの剥落は見られるものの、鉄筋の破断や座屈は確認できないため、損傷度をⅣとした。X1Y1 柱、X2Y1 柱は、柱頭や柱に取り付く 4 階の大梁においてカバーコンクリートの剥落が見られたが、剥落の範囲が限定的であるため、損傷度をⅢとした。

表 5.5-4 に被災度区分判定の結果を示す。3 階の各柱を被災度区分判定の「曲げ柱」に分類したところ、耐震性能残存率は R=30（%）となった。したがって、当該建築物の前震後の被災度は「大破」となる。

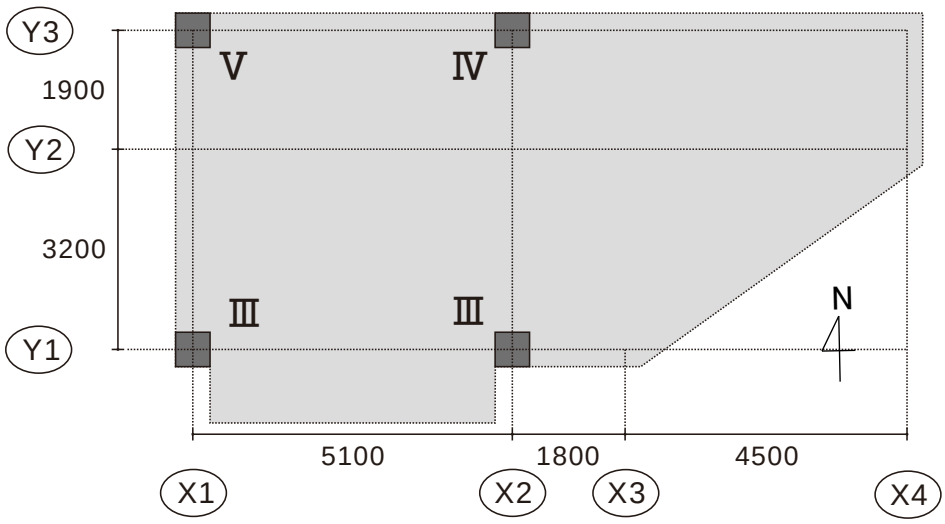


図5.5-7　前震後の部材損傷度判定結果(3 階)

表5.5-4　前震後の被災度判定結果（X 方向）

損傷度	本数	残余性能	本数×残余性能
Ⅴ	1	0.00	0.00
Ⅳ	1	0.20	0.20
Ⅲ	2	0.50	1.00
Ⅱ	0	0.75	0.00
Ⅰ	0	0.95	0.00
合計	4		1.20
		耐震性能	30%
		残存率	大破

6)　共同住宅 F（熊本市東区、建設年 1993 年）

本建築物は桁行方向 4 スパン、張間方向 1 スパンの 9 階建て RC 造共同住宅であり、平面形状は長方形である（図 5.5-8)。柱は 700㎜×800㎜ であり、柱主筋には D25 が、柱帯筋には柱脚部で D13 が 100㎜ ピッチで用いられていることが確認された。また、袖壁や腰壁などの非構造壁は、端部筋に D13 が、壁縦横筋には D10 がダブルで配筋されていた。壁厚は 150㎜ である。

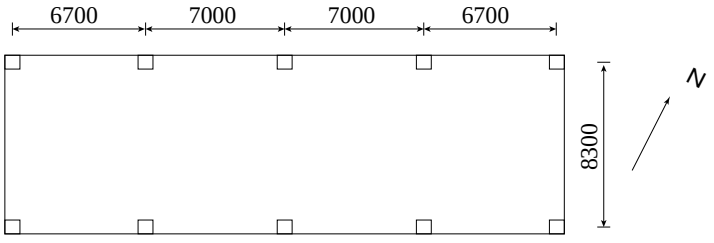


図5.5-8 1 階略平面図



写真5.5-26 柱帯筋の配筋

被害は1階が最も大きく、共用廊下側の構面では、方立壁の多くがせん断破壊しており、ドアや窓枠が大きく変形していた（写真5.5-27)。また、袖壁の柱際には部分スリット（スリット深さ35㎜以上）が埋め込まれており、付近に損傷が集中していた。コンクリートが剥落した箇所では、方立壁の壁筋や腰壁、垂れ壁の曲げ補強筋が座屈していた。柱に関してはカバーコンクリートが剥落した程度であり、主筋の座屈も見られなかったが、柱梁接合部にひび割れが確認された。



(a) 北側から見た全景



(b) 1階部の拡大

写真5.5-27 非構造壁の損傷

バルコニー側でも、方立壁や袖壁のせん断破壊が確認され、一部の柱では柱端部の圧潰が確認された（写真 5.5-28)。方立壁や袖壁によって短スパン化した桁行方向の大梁では、せん断ひび割れや付着割裂ひび割れも確認された。また、1 階のバルコニーではひび割れが開き、部分的に凹凸ができていたが、このような箇所ではバルコニー下の基礎部分（基礎梁ではない）のコンクリートが破壊していた（写真5.5-29)。



(a) 柱端部の圧壊



(b) 2 階梁のひび割れ

写真5.5-28 構造部材の損傷



写真5.5-29 1 階バルコニー下の基礎部分の損傷

被災度区分判定基準[5.5-1]に従い、被害が最も大きい 1 階について、部材損傷度の判定を行った。共用廊下側（南東面）の部材損傷度判定結果を図 5.5-9 に、バルコニー側（北西面）の部材損傷度判定結果を図 5.5-10 に示す。正面側では、柱梁接合部の 1.0㎜～2.0㎜ のひび割れが確認されたため、接合部のひび割れを直下の柱の損傷に読み替えて判定を行った。また、バルコニー側では、柱横の開口上部の梁に、1.0～2.0㎜ のひび割れが確認されたため、これらのひび割れを近傍の柱の損傷に読み替えて判定を行った。

部材損傷度に基づいた被災度区分判定結果を表 5.5-5 に示す。判定した 10 本の柱のうち、5 本が損傷度Ⅲ、5 本が損傷度Ⅱとなり、被災度区分判定結果は耐震性能残存率 R=55 (%)となり、「大破」となった。

また、参考までに、非構造壁の被災度区分判定を実施したところ、判定した 13 枚の袖壁および 8 枚の方立壁の全てが損傷度Ⅳ以上と判定され、被災度区分判定結果は「大破」となった。

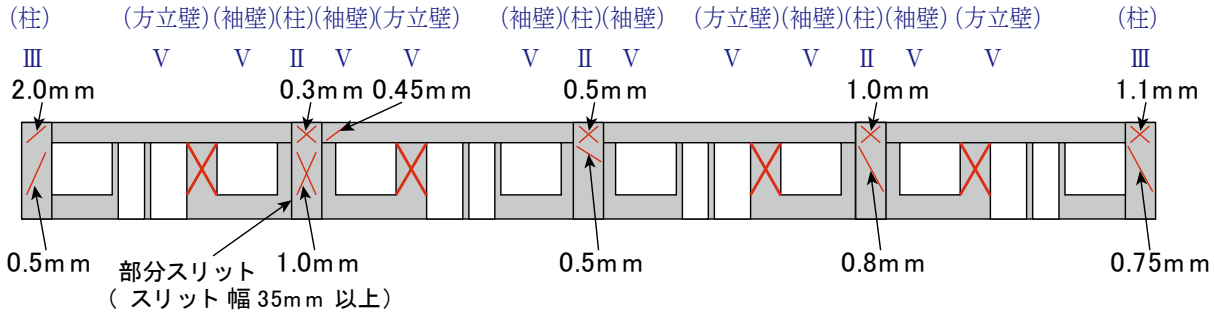


図5.5-9 共用廊下側（南東面）の部材損傷度判定結果

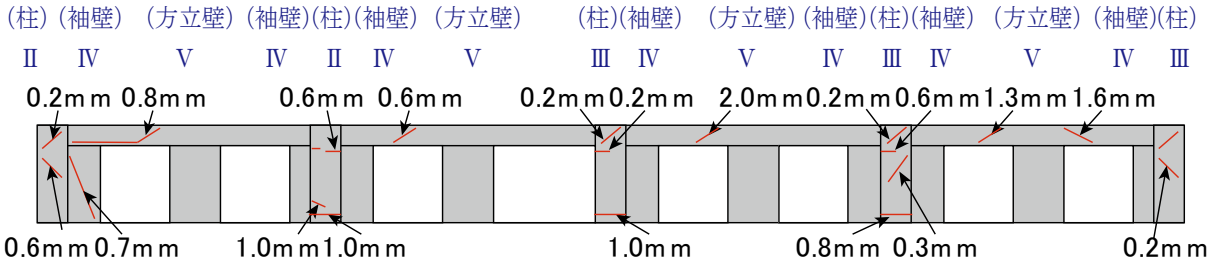


図5.5-10 バルコニー側（北西面）の部材損傷度判定結果

表5.5-5 被災度判定結果(桁行方向)

(a) 柱

損傷度	本数	残余性能(曲げせん断柱)	本数×残余性能
Ⅴ	0	0	0
Ⅳ	0	0.1	0
Ⅲ	5	0.4	2.0
Ⅱ	5	0.7	3.5
Ⅰ	0	0.95	0
0	0	1	0
合計	10		5.5
		耐震性能残存率	55% 大破

(b) 非構造壁

損傷度	本数
Ⅴ	14
Ⅳ	7
Ⅲ	0
Ⅱ	0
Ⅰ	0
0	0
合計	21
	大破

7)　共同住宅 G（熊本市北区、建設年 2000 年）

本建築物は桁行方向 6 スパン、張間方向 1 スパンの RC 造の 6 階建て共同住宅で、平面形状は長方形である（写真 5.5-30）。1 階はピロティ構造となる駐車場階で、北側の桁行方向の一部に耐力壁が設けられている。



写真5.5-30 建築物南東面

被害は 2 階が最も大きく、桁行方向共用廊下側の構面では、柱、袖壁、方立壁の多くがせん断破壊しており、コンクリートの剥落、鉄筋露出、非構造壁縦筋の座屈が見られた（写真 5.5-31、写真 5.5-32）。柱がせん断破壊した原因は、柱に取付く腰壁端部の横筋は柱内に定着されていなかったものの、腰壁が柱の水平変形に抵抗したことで、柱が短スパン化（柱幅 550～600㎜ 程度、柱の可撓長さ 1、000㎜ 程度）したためと思われる。なお、柱の主筋は D25、中間部のせん断補強筋で D13@100 であった。一方、腰壁のないバルコニー側の柱には損傷が見られなかったが、方立て壁は共用廊下側と同様のせん断破壊と袖壁のスリーブ孔位置からの鉛直方向のひび割れが見られた（写真 5.5-33、写真 5.5-34）。また、ピロティ構造である 1 階は桁行方向の柱に取付く耐力壁端部にせん断ひび割れが見られた以外は、顕著な損傷はなかった（写真 5.5-35）。



写真5.5-31 共用廊下側柱のせん断破壊



写真5.5-32 共用廊下側柱に取付く腰壁および袖壁（袖壁横筋は柱内に未定着だが、スリットなし）



写真5.5-33 バルコニー側柱と袖壁の鉛直ひび割れ



写真5.5-34 バルコニー側方立て壁のせん断破壊



写真5.5-35 1階桁行方向耐力壁のせん断ひび割れ

最も被害が大きい2階の桁行方向について、被災度区分判定[5.5-1]を実施した。共用廊下側およびバルコニー側の部材損傷度判定結果をそれぞれ図5.5-11および図5.5-12に示す。また、被災度区分判定結果を表5.5-6に示す。14本の柱のうち損傷度Ⅳが4本であり、被災度は「中破」と判定された。

また、参考までに、39枚の方立壁および袖壁について、非構造壁の被災度区分判定[5.5-1]を行ったところ、21枚の方立壁で損傷度がⅣを上回り、非構造壁の被災度は「中破」と判定された。

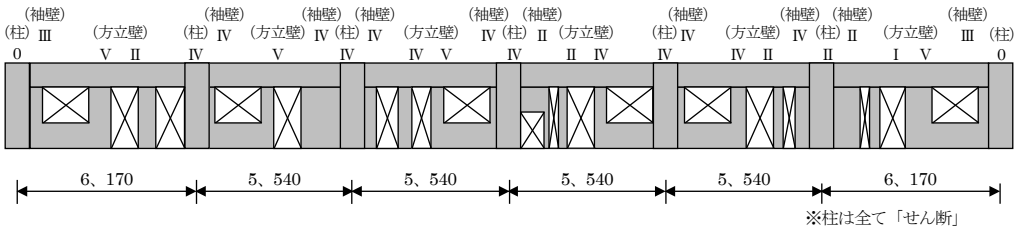


図5.5-11 部材損傷度判定結果（２階桁行方向、共用廊下側）

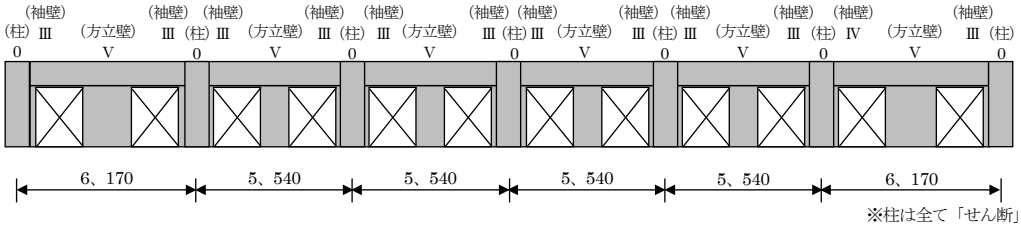


図5.5-12 部材損傷度判定結果（２階桁行方向、バルコニー側）

表5.5-6 被災度区分判定結果（２階）

(a) 柱

損傷度	本数	残余性能（せん断）	本数×残余性能
Ⅴ	0	0	0
Ⅳ	4	0	0
Ⅲ	0	0.30	0
Ⅱ	1	0.60	0.60
Ⅰ	0	0.95	0
0	9	1	9
合計	14		9.60
		耐震性能残存率	68.5%中破

(b) 非構造壁

損傷度	本数
Ⅴ	10
Ⅳ	11
Ⅲ	12
Ⅱ	5
Ⅰ	1
0	0
合計	39
	中破

8) 共同住宅Ｈ（熊本市東区、建設年 1986 年）

本建築物は桁行方向 3 スパン、張間方向 1 スパンの RC 造の 4 階建て共同住宅で、平面形状は長方形である（写真 5.5-36）。1 階は駐車場階で、張間方向の両妻構面に耐力壁が入っているが、中構面には耐力壁が入っていないピロティ構造である。

被害は中構面 1 階の北側の柱 2 本が桁行方向にせん断破壊して、コンクリートの剥落、鉄筋露出が見られた（写真 5.5-37、写真 5.5-38）。柱断面・配筋は、650㎜（桁行方向）×750㎜（張間方向）、主筋は D29、せん断補強筋は D13@100 であった。剥落部分周辺のコンクリートは、粗骨材がやや多い傾向にあり、手で触れるとモルタル部分がボロボロ崩れるなど脆弱な性状を示した。当該柱の張間方向は仕上げ材のタイルの剥落は見られるものの、せん断ひび割れ幅は 0.4 ㎜以下に収まっていた。また、その他の柱および耐力壁は無損傷あるいは 0.2 ㎜以下のひび割れであった。



写真5.5-36 建築物北面



写真5.5-37 1階柱桁行方向のせん断破壊



写真5.5-38 1階柱張間方向のせん断ひび割れ

最も被害が大きい1階について、被災度区分判定[5.5-1]を実施した。部材損傷度判定結果を図5.5-13に、被災度区分判定結果を表5.5-7および表5.5-8に示す。桁行方向では、8本の柱のうち損傷度Ⅳが2本であり、被災度は「中破」と判定された。一方、張間方向では、4本の柱および2枚の両側柱付き壁はいずれも損傷度がⅡを下回り、被災度は「小破」と判定された。

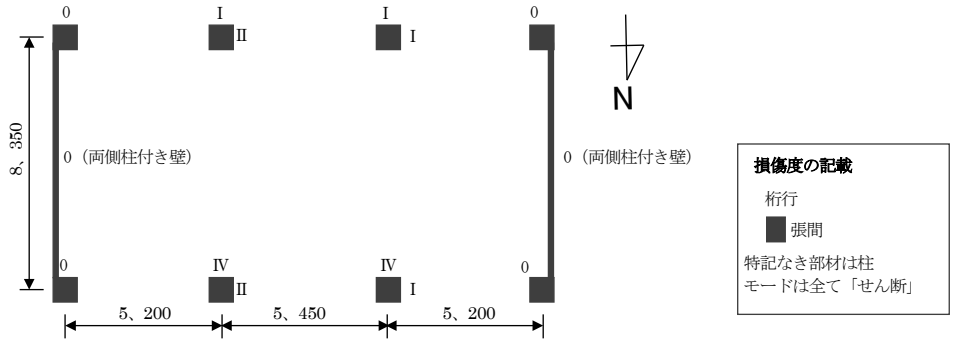


図5.5-13 部材損傷度判定結果（1階）

表5.5-7 被災度区分判定結果（１階桁行方向）

損傷度	本数	残余性能（せん断）	本数×残余性能
Ⅴ	0	0	0
Ⅳ	2	0	0
Ⅲ	0	0.30	0
Ⅱ	0	0.60	0
Ⅰ	2	0.95	1.90
0	4	1	4.00
合計	8		5.90
		耐震性能残存率	73.7% 中破

表5.5-8 被災度区分判定結果（１階張間方向）

損傷度	本数	残余性能（柱・せん断）	本数	残余性能（両側柱付き壁）	本数×残余性能
Ⅴ	0	0	0	0	0
Ⅳ	0	0	0	0	0
Ⅲ	0	0.30	0	1.8	0
Ⅱ	2	0.60	0	3.6	1.20
Ⅰ	2	0.95	0	5.7	1.90
0	0	1	2	6	12
合計	4		2		15.10
				耐震性能残存率	94.3% 小破

9)　共同住宅Ⅰ（熊本市中央区、建設年 2001 年）

本建築物は桁行方向 3 スパン、張間方向 1 スパンの 9 階建て RC 造共同住宅で、平面形状は長方形、上階が一部セットバックしている。1 階がピロティ構造の駐車場階である（写真 5.5-39）。2 階以上は立ち入りができなかったため、1 階の駐車場部分でのみ調査を行った。



写真5.5-39 建築物北面

被害の特徴は、張間方向中構面における 2 階大梁端部でのせん断破壊である（写真 5.5-40）。当該大梁（梁せい 750㎜×梁幅 600㎜）の柱際から 800㎜ 離れた位置の直交方向には、桁行方向大梁に平行して梁が取り付いているが、この梁が当該大梁の地震時の変形を拘束したことで短スパン化し、大梁端部でせん断破壊が生じたものと推定される。また、張間方向両妻構面の大梁には、中構面にあるような梁は取り付いていないものの、その端部にはせん断ひび割れが生じていた（写真 5.5-41）。なお、張間方向の大梁では、このせん断破壊によってたわみが生じているため、その対策として仮設の支保工が設けられていた（写真 5.5-42）。

なお、1 階柱には損傷は確認されず、2 本の柱の張間方向に袖壁が取り付いているが、その袖壁に軽微なひび割れが見られた程度である（写真 5.5-43）。2 階以上での被害としては、方立て壁のせん断ひび割れなどが 1 階部分から確認された（写真 5.5-44）。





写真5.5-40 張間方向中構面 2 階大梁端部のせん断ひび割れ



写真5.5-41 張間方向妻構面 2 階大梁端部のせん断ひび割れ



写真5.5-42 支保工による張間方向大梁のたわみ対策



写真5.5-43 1階柱の張間方向に取付く袖壁



写真5.5-44 方立て壁のせん断ひび割れ

最も被害が大きい1階について、被災度区分判定[5.5-1]を実施した。部材損傷度判定結果を図5.5-14に、被災度区分判定結果を表5.5-9および表5.5-10に示す。桁行方向では、いずれの柱も無損傷であり、被災度は「無被害」と判定された。一方、張間方向では、8本の柱はいずれも梁支配型で損傷度Ⅰが2本、Ⅱが3本、Ⅲが2本、Ⅴが1本あり、被災度は「中破」と判定された。

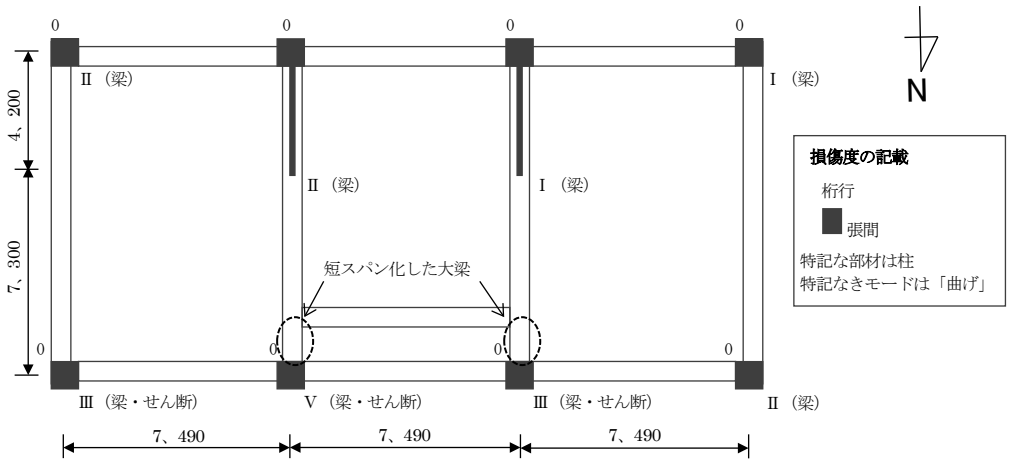


図5.5-14 部材損傷度判定結果（1階）

表5.5-9　被災度区分判定結果（１階桁行方向）

損傷度	本数	残余性能	本数× 残余性能
Ⅴ	0		0
Ⅳ	0		0
Ⅲ	0		0
Ⅱ	0		0
Ⅰ	0		0
0	8	1	8
合計	8		8
		耐震性能 残存率	100% 無被害

表5.5-10 被災度区分判定結果（１階張間方向）

損傷度	本数	残余性能 （梁・ せん断）	本数	残余性能 （梁・ 曲げ）	本数× 残余性能
Ⅴ	1	0	0	0	0
Ⅳ	0	0.10	0	0.20	0
Ⅲ	2	0.40	0	0.50	0.80
Ⅱ	0	0.70	3	0.75	2.25
Ⅰ	0	0.95	2	0.95	1.90
0	0	1	0	1	0
合計	3		5		4.95
				耐震性能 残存率	61.8% 中破

10) 共同住宅Ｊ（熊本市東区、建設年 1992 年）

本建築物は桁行方向 3 スパン、張間方向 2 スパンの RC 造の 6 階建て共同住宅で、平面形状は長方形である。1 階はピロティ構造となる駐車場階で、桁行方向構面外に壁が配置されている（写真 5.5-45）。

1 階の構造被害としては、柱頭の大梁が取り付かない非拘束領域におけるコンクリートの剥落、鉄筋露出、また、柱脚コンクリートのひび割れ、剥落が一部で見られた（写真 5.5-46、写真 5.5-47、写真 5.5-48、写真 5.5-49）。全ての柱および梁端に幅 0.2～0.6㎜ 程度、一部で幅 1㎜ 超のひび割れがあるほか、垂れ壁端部が損傷し、コンクリート剥落、鉄筋露出が見られた。また、桁行方向構面外の非構造壁は、せん断ひび割れが全面的に見られた。本建築物の南東側は、擁壁が設けられた崖地があり、1 階土間スラブにひび割れが見られたが、柱の傾斜は確認されなかった。



写真5.5-45 1階（駐車場）



写真5.5-46 1階柱頭のコンクリート剥落と鉄筋露出



写真5.5-47 1階柱脚のせん断ひび割れ



写真5.5-48 垂れ壁端部のコンクリート剥落、鉄筋露出



写真5.5-49 桁行方向構面外の非構造壁のせん断ひび割れ

最も被害が大きい１階について、被災度区分判定[5.5-1]を実施した。部材損傷度判定結果を図 5.5-15 に、被災度区分判定結果を表 5.5-11 および表 5.5-12 に示す。桁行方向では、12 本の柱のうち損傷度Ⅲが１本、損傷度Ⅳが３本あり、被災度は「中破」と判定された。張間方向では、12 本の柱のうち損傷度Ⅳが２本あり、被災度は同じく「中破」と判定された。

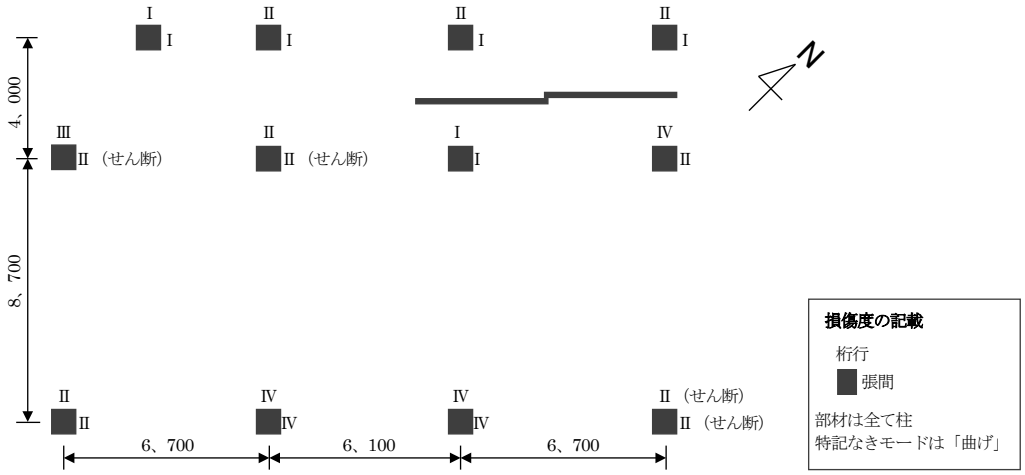


図5.5-15 部材損傷度判定結果（１階）

表5.5-11 被災度区分判定結果（１階桁行方向）

損傷度	本数	残余性能（せん断）	本数	残余性能（曲げ）	本数×残余性能
Ⅴ	0	0	0	0	0
Ⅳ	0	0	3	0.20	0.60
Ⅲ	0	0.30	1	0.50	0.50
Ⅱ	1	0.60	5	0.75	4.35
Ⅰ	0	0.95	2	0.95	1.90
0	0	1	0	1	0
合計	1		11		7.35
				耐震性能残存率	61.2%中破

表5.5-12 被災度区分判定結果（１階張間方向）

損傷度	本数	残余性能（せん断）	本数	残余性能（曲げ）	本数×残余性能
Ⅴ	0	0	0	0	0
Ⅳ	0	0	2	0.20	0.40
Ⅲ	0	0.30	0	0.50	0
Ⅱ	3	0.60	2	0.75	3.30
Ⅰ	0	0.95	5	0.95	4.75
0	0	1	0	1	0
合計	3		9		8.45
				耐震性能残存率	70.4%中破

11） 共同住宅 K（熊本市西区、建設年 1991 年）

本建築物は平面雁行と上階の一部にセットバックがある不整形な形状の SRC 造の 11 階建ての共同住宅で、桁行き方向が南北軸の住棟である（写真 5.5-50）。1 階は駐車場階で一部に耐力壁が取り付いているがほぼ純ピロティ構造である（写真 5.5-51）。

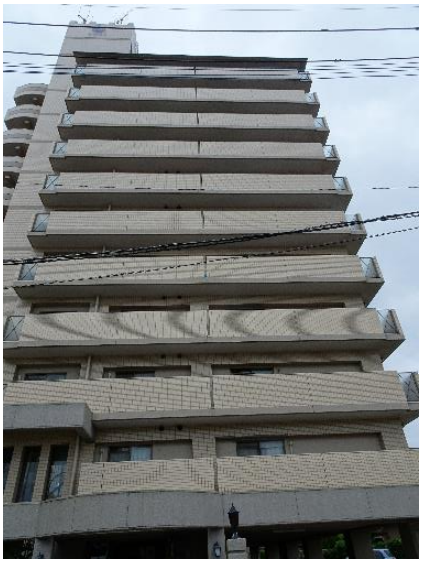


写真5.5-50 建築物北面



写真5.5-51 1 階（駐車場）

1 階の構造被害としては、一部の柱、梁にかぶりコンクリートの剥落が見られたが、多くは 0.2㎜以下の曲げひび割れやせん断ひび割れであった。また、桁行方向の一部の柱には非構造壁が取付けられ、部分スリットと思われる構造目地が設けられていたが、スリット深さが 20～30㎜で十分な絶縁効果を発揮できず壁にせん断破壊が生じていた。このほか、当該壁の柱への振れ止め筋(D13@400～500㎜)が抵抗したことによるものと思われる柱のかぶりコンクリートの剥落が見られた（写真 5.5-52、写真 5.5-53）。

また、2 階以上の住宅階では、方立て壁や袖壁のせん断破壊並びに袖壁端位置における梁下端のコンクリートのひび割れや剥落が見られたが、柱には大きな損傷は確認できなかった（写真 5.5-54、写真 5.5-55）。2 階以上の一部住戸には、持出し長さ 2.5m 程度の片持ち梁と頭繋ぎの梁によって支持されている出部屋がある。片持ち梁先端周辺でコンクリートのひび割れが見られたが、その片持ち梁が支持している非構造壁の回転変形を頭繋ぎの梁が拘束したことによって生じたものと推定される。(写真 5.5-56、写真 5.5-57)。



写真5.5-52 スリット深さ 20～30 ㎜程度の非構造壁が取付く 1 階柱のコンクリートの剥落



写真5.5-53 1 階桁行方向の非構造壁のせん断破壊



写真5.5-54 1 階柱のひび割れ



写真5.5-55 梁端部のかぶりコンクリートの剥落



写真5.5-56 出部屋を支持する片持ち梁先端周辺のひび割れ

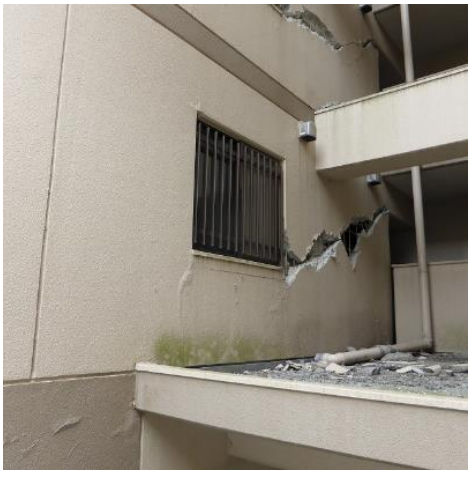


写真5.5-57 2 階方立て壁のせん断破壊

最も被害が大きい 1 階で、被災度区分判定[5.5-1]を実施した。部材損傷度判定結果を図 5.5-16 に、桁行方向および張間方向の被災度区分判定結果をそれぞれ表 5.5-13、表 5.5-14 に示す。桁行方向では、判定した 19 本の柱のうち、損傷度Ⅳの柱が 3 本であり、被災度は「小破」と判定された。また、張間方向では、判定した 16 本の柱のうち、梁支配型で損傷度Ⅲが 1 本、損傷度Ⅳが 2 本であり、被災度は「小破」と判定された。

なお、応急危険度判定の結果は「危険」であり、建築物エントランスには、内部への立入り禁止テープが貼られていたが、一部居住者は生活を継続している様子が確認された。

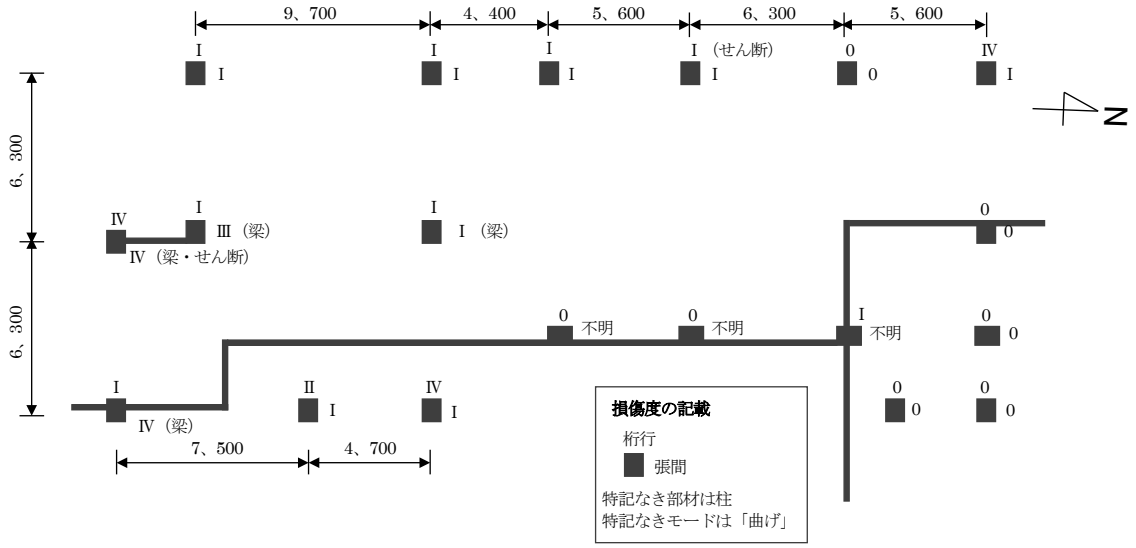

9、700
4、400
5、600
6、300
5、600
I
I
I

表5.5-14 被災度区分判定結果（1階張間方向）

損傷度	本数	残余性能（曲げ）	本数	残余性能（梁・せん断）	本数	残余性能（梁・曲げ）	本数×残余性能
Ⅴ	0	0	0	0	0	0	0
Ⅳ	0	0.20	1	0.10	1	0.20	0.30
Ⅲ	0	0.50	0	0.40	1	0.50	0.50
Ⅱ	0	0.75	0	0.70	0	0.75	0
Ⅰ	7	0.95	0	0.95	1	0.95	7.60
0	5	1	0	1	0	1	5
合計	12		1		3		13.40
						耐震性能残存率	83.7%小破

12) 共同住宅L（熊本市中央区、建設年1990年）

本建築物は、10階建てSRC造共同住宅である。桁行方向は8スパン、張間方向は最大3スパンで、平面形状はL字形である（写真5.5-58、写真5.5-59）。調査時点において、当該建築物は継続使用されている様子であった。本調査では、被害の概要を把握するとともに、被害が大きい5階の共用廊下側の構面の一部を対象とした被災度区分判定を実施した。



写真5.5-58 外観（東側）



写真5.5-59 建築物（北西側）

桁行方向のバルコニー側の構面では、1～8 階に渡って方立壁がせん断破壊していたが、袖壁の破壊は確認されなかった（写真 5.5-60）。また、当該方立て壁は高さ方向に不規則に配置されており、壁のアスペクト比は 1 から 2 程度となっている。一方で、バルコニーが設けられた張間方向の外側の構面では、方立壁を含めて、目立った損傷は確認できなかった。



写真5.5-60 桁行き方向バルコニー側の方立て壁のせん断破壊

桁行方向の共用廊下側の構面でも、1～10 階の全ての階において、方立壁のせん断破壊が生じており、コンクリートの剥落や鉄筋の露出が見られた（写真 5.5-61）。また、せん断破壊には至らないものの、多くの袖壁でせん断ひび割れが発生していた。現地で実測した方立壁の厚みは 180㎜ で、D10 の壁筋がおよそ 150㎜ ピッチで配筋されていた。

構造的な被害としては、各階の柱や梁、柱梁接合部で、曲げひび割れやせん断ひび割れが見られたが、ひび割れ幅は 0.2㎜ 以下のものが大部分を占めていた（写真 5.5-62）。また、1 階駐輪場内の桁行方向の大梁の端部でもせん断ひび割れが見られた（写真 5.5-63）。



写真5.5-61 桁行方向の共用廊下側の構面における被害



写真5.5-62 ドア開口上の大梁のひび割れ



写真5.5-63 1階駐輪場内の桁行方向の大梁のせん断ひび割れ

被災度区分判定基準[5.5-1]に従い、被害が最も大きい5階について、桁行方向の共用廊下側のおよそ5スパンについて、部材損傷度の判定を行った（図5.5-17）。

構造部材に関しては、柱に生じたせん断ひび割れの幅はいずれも0.2㎜以下であった。大梁の端部では曲げひび割れが、柱梁接合部にはせん断ひび割れが発生したが、いずれもひび割れ幅は0.2㎜以下であった（図5.5-18）。ただ、大梁に関しては、写真5.5-62に示すように、方立壁と袖壁に挟まれたドア開口上部の位置において、幅1㎜のせん断ひび割れが生じていたため、この大梁と隣接する柱の損傷度を評価する際に、大梁の損傷度を柱の損傷度に読み替えた。

表5.5-15に被災度区分判定の結果を示す。新耐震以降に建設された建築物であるため、SRC造の残余性能は、曲げ柱・充腹形で算定した。また、6本の柱のうち、4本の損傷度がⅠ、2本の損傷度がⅡ（大梁のせん断ひび割れの損傷を読み替えたもの）と判定され、当該箇所の耐震性能残存率はR=88(%)、被災度は「小破」の判定となった。

方立壁、袖壁に関しては、2015年改訂版の被災度区分判定基準[5.5-1]で新たに追加された非構造壁の被災度区分判定を別々に実施した。2015年改訂版では、近年の地震被害において、基礎構造や上部構造での被災度が小さい場合でも、非構造壁の損傷により建築物の継続使用が困難となる場合が確認されているため、復旧の要否の判定を明確にするために、従来行われている上部構造の耐震安全性を評価する手法とは別に判定する手法が示された。調査した非構造壁のうち、損傷度Ⅳ以上と判定された非構造壁の割合に応じて、「小破（一部ある場合）」、「中破（半数以上ある場合）」、「大破（ほぼ全数ある場合）」に分類される。ただし、非構造壁の被災度と、建築物の性能や修復経費等の因子との関係は現時点で明確ではなく、今後の課題として示されているため、本稿では参考値として扱うものとする。

方立壁は今回調査した8枚全ての損傷度がⅢを上回り、被災度を評価する際の基準となるⅣ以上の損傷度となったものが全体の 88%を占めたため、非構造壁の被災度は「大破」と判定された。一方、袖壁に関しては、今回調査した5枚全ての損傷度がⅢ以下と判定されたため、非構造壁の被災度は「無被害」となった。

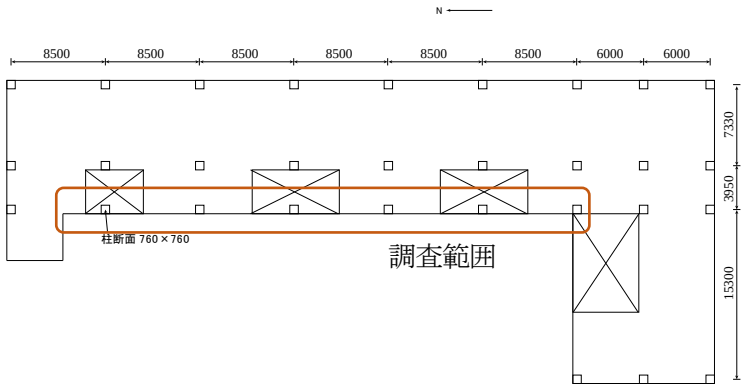


図5.5-17 5階略平面図

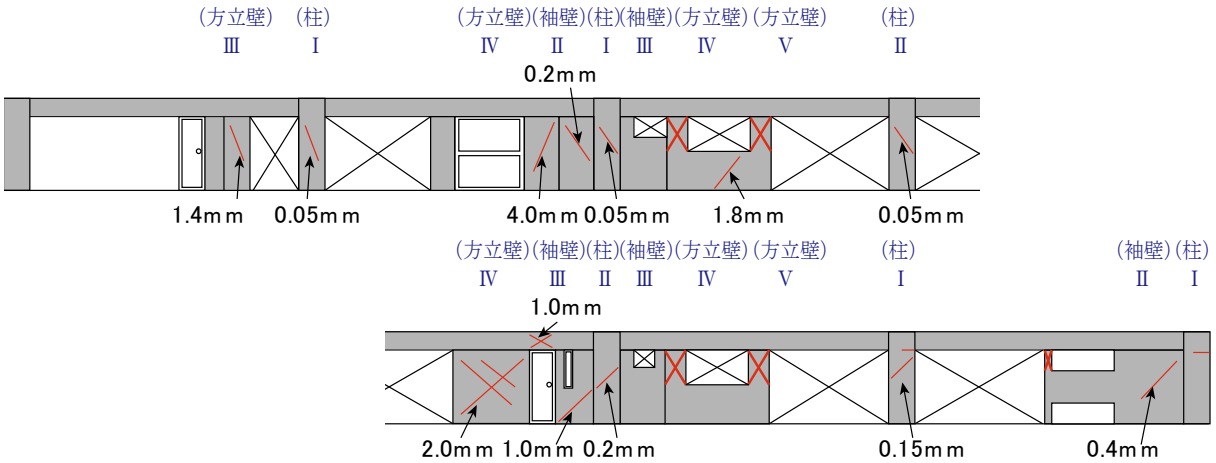


図5.5-18 部材損傷度判定結果(5階)

表5.5-15 被災度判定結果 (桁行方向)

(a) 柱、梁、接合部

損傷度	本数	残余性能	本数×残余性能
Ⅴ	0	0.00	0.00
Ⅳ	0	0.20	0.00
Ⅲ	0	0.50	0.00
Ⅱ	2	0.75	1.50
Ⅰ	4	0.95	3.80
合計	6		5.30
		耐震性能	88%
		残存率	小破

(b) 方立壁

損傷度	本数
Ⅴ	2
Ⅳ	4
Ⅲ	1
Ⅱ	0
Ⅰ	0
合計	7

(c) 袖壁

損傷度	本数
Ⅴ	0
Ⅳ	0
Ⅲ	3
Ⅱ	2
Ⅰ	0
合計	5

13) 共同住宅 M（熊本市中央区、建設年 1986 年）

本建築物は桁行方向 6 スパン、張間方向 1 スパンの 11 階建て SRC 造の共同住宅であり、8 階から上階がセットバックしている（写真 5.5-64）。また、北西側で 4 階建ての別棟とエキスパンションジョイントで接続されている。本詳細調査では、被害の概要を把握するとともに、被害が大きい 4 階の共用廊下側の構面の一部を対象とした被災度区分判定を実施した。



(a)北西側



(b)北側

写真5.5-64 建築物の外観

北側の桁行方向の共用廊下側の構面では、方立壁が多く配置されており、1～8 階において方立壁にせん断ひび割れが発生していた（写真 5.5-65）。一部の方立壁では、コンクリートが剥落し、鉄筋が露出していた。現地で計測した壁厚は 150㎜ であった。一方、南側の桁行方向のバルコニー側の構面では、袖壁が多く配置されていたため、共用廊下側の構面と比較すると損傷が小さかった。また、張間方向の妻壁でも、複数層に渡って、開口に挟まれた部分でせん断ひび割れが発生していた（写真 5.5-66）。



写真5.5-65 桁行方向の共用廊下側の構面における方立壁の被害



写真5.5-66 張間方向の妻壁の被害

被災度区分判定基準[5.5-1]に従い、被害が最も大きい4階について、桁行方向の共用廊下側のおよそ5スパンについて、部材損傷度の判定を行った。図5.5-19中に各部材の名称（C：柱、W：方立壁、袖壁）と判定した損傷度を示す。構造部材に関しては、柱に生じたせん断ひび割れの幅はいずれも0.2㎜以下であり、大梁、柱梁接合部の目立った損傷は確認できなかった。また、窓開口に隣接し、腰壁による短スパン化により、アスペクト比が1.4程度となった方立壁では、損傷度がⅢ～Ⅴと判定されたが、その他の方立壁や袖壁では、損傷度がⅠ～Ⅲに留まっていた。

表5.5-16に被災度区分判定の結果を示す。新耐震以降に建設された建築物であるため、SRC造の残余性能は、曲げ柱・充腹形で算定した。また、5本全ての柱の損傷度がⅠと判定され、当該箇所の耐震性能残存率はR=95（%）、被災度は「軽微」の判定となった。

また、参考までに、方立壁、袖壁に関しては、非構造壁の被災度区分判定を別々に実施した。方立壁は今回調査した9枚のうち、3枚の損傷度がⅣを上回ったため、非構造壁の被災度は「小破」と判定された。また、袖壁に関しては、今回調査した2枚の損傷度がいずれもⅢ以下と判定されたため、非構造壁の被災度は「該当なし」となった。

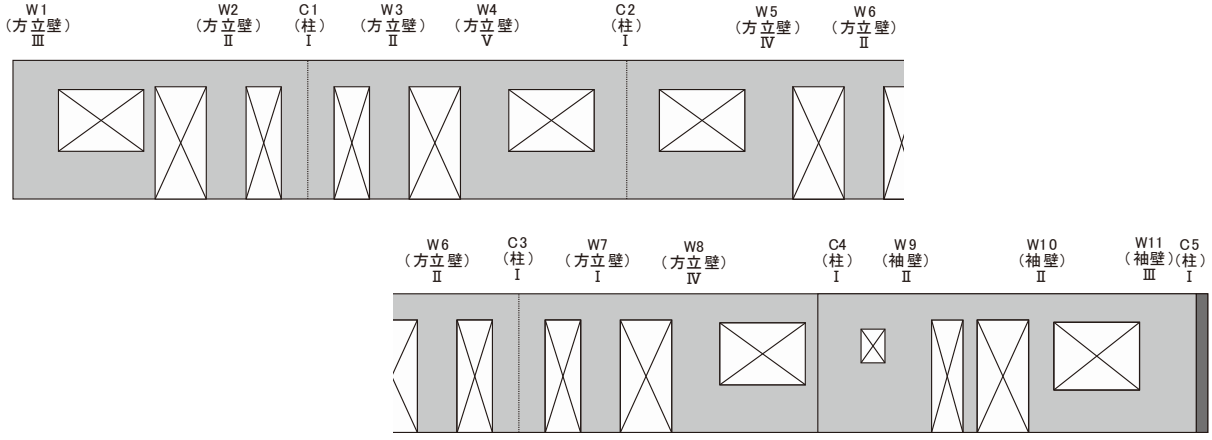


図5.5-19 被災度判定の結果（桁行方向）

表5.5-16 被災度判定の結果（桁行方向）

(a) 柱

損傷度	本数	残余性能	本数×残余性能
Ⅴ	0	0.00	0.00
Ⅳ	0	0.20	0.00
Ⅲ	0	0.50	0.00
Ⅱ	0	0.75	0.00
Ⅰ	5	0.95	4.75
合計	5		4.75
		耐震性能	95%
		残存率	軽微

(b) 方立壁

損傷度	本数
Ⅴ	1
Ⅳ	2
Ⅲ	1
Ⅱ	4
Ⅰ	1
合計	9

(c) 袖壁

損傷度	本数
Ⅴ	0
Ⅳ	0
Ⅲ	1
Ⅱ	1
Ⅰ	0
合計	2

14) 共同住宅 N（熊本市西区、建設年 1982 年）

本建築物は坪井川沿いに建設された SRC 造（一部 RC 造）共同住宅であり、平面的にはおおよそ T 字形であるが、構造的には 3 棟（14 階建て 1 棟、11 階建て 2 棟）が折れ曲がり部に設けられたエキスパンションジョイントによって接続されている（写真 5.5-67）。

主な被害は、方立て壁のせん断破壊（写真 5.5-68）、FRP 受水槽の破損（写真 5.5-69）、エキスパンションジョイント部の損傷・脱落（写真 5.5-70）などである。調査時点においても受水槽の破損は修復されておらず各住戸に水は供給不能になっており、生活を継続している 10 世帯の住民は、ポリタンクを使用して水を運搬していた。

最も方立て壁の損傷が大きかった住棟は、坪井川と平行するほぼ南北軸の 14 階建てで、桁行方向 6 スパン、張間方向 1 スパンである。3～14 階が桁行き方向に方立て壁がある住宅階で、4～10 階にかけてコンクリートの剥落や鉄筋の露出が見られた。

当該住棟の 1、2 階はピロティ構造の駐車場階であるが、桁行方向の構面外の一部の非構造壁脚部にコンクリートの剥落や鉄筋露出が見られた他は、張間方向には袖壁や RC ブレースが配置されており、構造的な被害としては、一部の柱、袖壁端部、梁端部に 0.3㎜ 以下の曲げひび割れやせん断ひび割れが見られた程度であった。



写真5.5-67 14 階建て建築物西面



写真5.5-68 方立て壁のせん断破壊



写真5.5-69 FRP 受水槽の破損



写真5.5-70 エキスパンションジョイント部の損傷・脱落



写真5.5-71 駐車場階（1 階）全景



写真5.5-72 駐車場の桁行方向非構造壁の損傷

桁行方向で最も被害が大きい 6 階の共用廊下側にて、被災度区分判定[5.5-1]を実施した。部材損傷度を判定した結果を図 5.5-20 に、被災度区分判定結果を表 5.5-17 に示す。7 本の柱全てが損傷度 0 となり、最も被害が大きい 6 階の共用廊下側でも、構造部材の被災度は「無被害」と判定された。

また、参考までに、12 枚の方立壁について、非構造壁の被災度区分判定[5.5-1]を行ったところ、9 枚の方立壁で損傷度がⅣを上回った。当該部分の方立壁の被災度は「大破」と判定された。

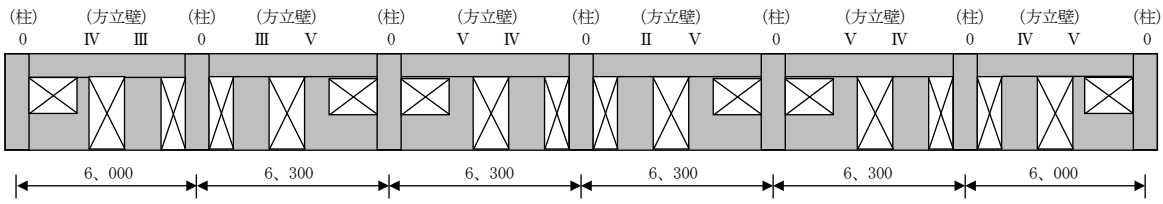


図5.5-20 部材損傷度判定結果（桁行方向 6 階共用廊下側）

表5.5-17 被災度区分判定結果

(a) 柱

損傷度	本数	残余性能	本数×残余性能
Ⅴ	0		0
Ⅳ	0		0
Ⅲ	0		0
Ⅱ	0		0
Ⅰ	0		0
0	7	1	7
合計	7		7
		耐震性能残存率	100%無被害

(b) 非構造壁

損傷度	本数
Ⅴ	5
Ⅳ	4
Ⅲ	2
Ⅱ	1
Ⅰ	0
0	0
合計	12
	大破

15) 共同住宅 0（熊本市中央区、建設年 1987 年）

本建築物は白川から約 100m 程度離れた場所に建設された SRC 造の 11 階建て共同住宅であり、構造的には南側と北側にある 2 棟がエキスパンションジョイントによって接続されている（写真 5.5-73、写真 5.5-74）。



写真5.5-73 南側建築物の北面とエキスパンションジョイント部



写真5.5-74 隣接建築物から撮影した外観

主な被害は、南側にある住棟の張間方向が南面（白川側）に傾斜していることと、エキスパンションジョイント部の損傷・脱落である。一部の階の方立て壁および戸境壁に軽微なせん断ひび割れが見られた以外は、柱、梁に構造的な損傷は見られなかった。また、北側の住棟はほぼ無被害である。

周辺の状況は、表層のアスファルト路盤に若干の凹凸が見られたが、建築物外周と地盤面には明らかな高低差や段差などは生じておらず、建築物もしくは地盤が沈下していることを示す事象は確認できなかった（写真 5.5-75）。本建築物の 1 階柱が傾斜する方向に近接して設けられているコンクリートブロック壁には、その頂部から組積体の破壊を伴うせん断ひび割れが生じていた（写真 5.5-76）。なお、周辺にある建築物で、沈下や傾斜が生じているとの情報は確認されていない。

写真 5.5-78 に示すように、柱側面に曲尺を当て、下げ振りを用いて南側住棟 1 階南側の柱 2 本および 11 階南側の柱 1 本で傾斜を測定した結果、1 階南側の柱では張間方向に 1/100、11 階南側の柱で

は張間方向に 1.5/100 の傾斜が確認された（図 5.5-21、図 5.5-22)。なお、いずれも桁行方向側への傾斜は確認されなかった。基礎構造の沈下・傾斜による被災度区分判定 [5.5-1] によれば、1.5/100 の傾斜は「大破」に該当する。しかし、傾斜を測定した柱の仕上げ面には若干の不陸があり、本測定方法による精度は必ずしも十分ではないので、判定結果は参考扱いとする。

一方､エキスパンションジョイント部で､共用廊下スラブの 2 棟間の躯体離隔距離を測定した結果、11 階が 400㎜、8 階が 300㎜、5 階が 215㎜、2 階が 115㎜ であった。これは、地震の発生前にはエキスパンションジョイント部の離隔距離が各階でほぼ同一であったと仮定すれば､階高 3m 弱で一方の建築物に 1/100 の傾斜が生じた場合の離隔距離とほぼ等しい結果となる。なお、エキスパンションジョイント部の離隔距離については、居住者が地震後継続的に計測をしているとのことであったが、傾斜の進行は確認されていないようである。また、1 階のエキスパンションジョイント部の 2 棟の床面に高低差は生じていなかった。

住戸内部の状況を確認したところ、1 階の和室の襖が大きく折れ曲がっていた。また、11 階の部屋のドアが傾斜方向に自動的に開くことを確認しており、居住者の体感としても傾斜があることが明らかに感じられ、気分が悪くなっている住民もいるとのヒアリング結果を得ている。



写真5.5-75 表層アスファルト路盤の凹凸



写真5.5-76 柱の傾斜方向（写真矢印）にあるコンクリートブロックの破壊とせん断ひび割れ



写真5.5-77 エキスパンションジョイント部の損傷・脱落



写真5.5-78 下げ振りによる柱の傾斜測定

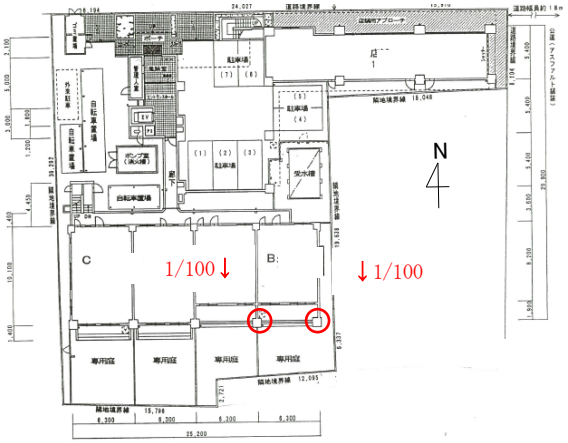


図5.5-21 傾斜の測定位置・傾斜角(1 階)

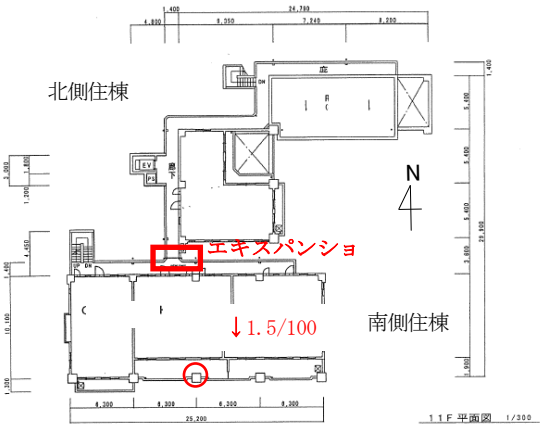


図5.5-22 傾斜の測定位置・傾斜角(11 階)

16) 共同住宅 P(熊本市東区、建設年 1996 年)

本建築物は桁行方向 8 スパン、張間方向 1 スパンの RC 造の 10 階建て共同住宅である(写真 5.5-79)。平面形状は長方形で、共用廊下側の 1 階には住棟本体と構造的に接続した下屋がエントランスホールとして使用されている。本敷地は、ほぼ東西方向に走る県道 28 号線の南側に位置し、住棟はやや西側に角度が振れた南北軸配置となっている。県道 28 号線の南側は緩やかな斜面地で、南側にかけて地盤面が下がるため、建築物外周部は敷地北側の地盤面高さに合わせて南側にかけて盛り土を行い、敷地内の地盤面の高さをほぼ一定にしていると思われる。敷地南側とその周辺地盤では、おおよそ 1.5～2m 程度の高低差がある。



写真5.5-79 建築物東面

1 階エントランスホールと住棟本体をつなぐ小梁は、住棟側端部の下端から上端にかけて幅 30mm 程度の亀裂が生じていた。また、小梁周辺のスラブの下端にも、小梁端部位置から桁行方向大梁に沿って 2.5m ほどの長さで最大幅 50mm ほどの亀裂が生じていた(写真 5.5-80、写真 5.5-81、写真 5.5-82)。

1 階駐輪場土間スラブは、スラブ端部とスラブ中央では 300mm 程度の高低差が生じ、亀甲状の亀裂が見られた(写真 5.5-83)。なお、土間スラブは無筋コンクリートである。1 階住戸のフローリング床は、スラブ端部とスラブ中央では 120mm 程度の高低差が生じていた。木間仕切り壁は軸方向の圧縮側の変形によって損壊していた(写真 5.5-84)。なお、桁行方向構面内に玄関ドアがあるが、その開閉

に不具合は生じていなかった。

また、上階の住戸から 1 階スラブ下に設けられていた排水管が 1 階スラブ下で損壊したため、1 階住戸内で排水管を横引きして外部配管と接続させる応急処置が施されていた。上記以外には顕著な構造被害は見られず、柱の傾斜も確認されなかった。

本建築物は杭基礎であるが、建築物とその外周地盤面には 300㎜ 程度の段差が地震によって生じていた。また周辺地盤は地割れや凹凸などの地盤変状が広く確認された（写真 5.5-85、写真 5.5-86、写真 5.5-87）。

被害程度の大きい 1 階住戸の一部については使用されていなかったが、それ以外の住戸については使用されている様子であった。



写真5.5-80 1 階エントランスホールの外観



写真5.5-81 1 階エントランスホール内部と住棟本体（左側）をつなぐ梁端の大きな残留ひび割れ



写真5.5-82 1 階エントランスホールと住棟本体をつなぐ小梁およびその周辺スラブに生じた曲げひび割れ



写真5.5-83 1 階駐輪場土間スラブの上方向への残留変形と大きなひび割れ



写真5.5-84 1階住戸木間仕切り壁の損壊



写真5.5-85 建築物と外周地盤の段差



写真5.5-86 建築物と外周地盤の段差



写真5.5-87 周辺地盤の地割れ

17) 共同住宅Q（熊本市東区、建設年1983年）

本建築物は桁行方向がラーメン構造で9スパン、張間方向が連層耐力壁構造で1スパンのRC造の5階建て共同住宅で、平面形状は長方形である（写真5.5-88）。基礎形式は支持杭で、杭種はAC杭、杭径500φ、杭長は39m程度である。



(a)建築物北東面



(b)建築物南面

写真5.5-88 建築物外観

被害は、北側への建築物の傾斜である。柱側面に曲尺を当て、下げ振りを用いて 1 階の柱 5 本および 3 階の柱 7 本で傾斜を測定した結果、張間方向北側に向けて 1.5/100 前後の傾斜が確認された（図 5.5-23、図 5.5-24）。また、桁行方向においても向きは一定ではないが、0～1/100 程度の傾斜が確認された。両方向の傾斜の合成値で最大は 1.8/100 程度である。基礎構造の沈下・傾斜による被災度区分判定 [5.5-1] によれば、1.8/100 の傾斜は「大破」に該当する。しかし、傾斜を測定した柱の仕上げ面には若干の不陸があり、本測定方法による精度は必ずしも十分ではないので、判定結果は参考扱いとする。

なお、周辺地盤は若干の沈下が見られ、階段室へと接続されている土間スラブ端部のコンクリート製ブロックが押し出されている状態が確認された。

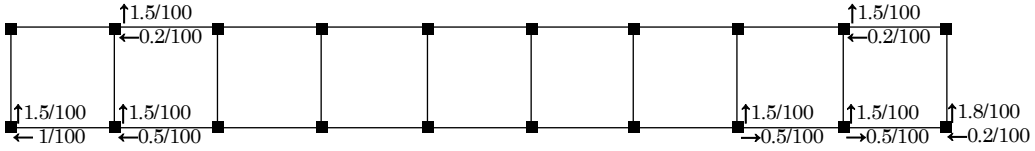


図5.5-23　3 階の概略平面図と柱の傾斜角

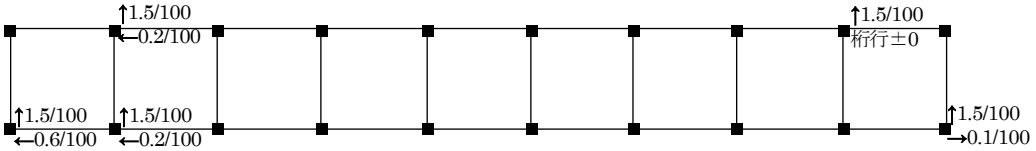


図5.5-24　1 階の概略平面図と柱の傾斜角

18) 共同住宅 R（熊本市東区、建設年 1984 年）

本建築物は桁行方向がラーメン構造で 9 スパン、張間方向が連層耐力壁構造で 1 スパンの RC 造の 5 階建て共同住宅で、平面形状は長方形である。基礎形式は支持杭で、杭種は PHC 杭、杭径 500φ、杭長は 39m 程度である。



(a)建築物東面　　(b)建築物南面

写真5.5-89 建築物外観

被害は、北側への建築物の傾斜である。柱側面に曲尺を当て、下げ振りを用いて 1 階の柱 2 本および 2 階の柱 4 本で傾斜を測定した結果、張間方向北側に向けて 2.5/100 前後の傾斜が確認された（図

5.5-25、図 5.5-26)。桁行方向の傾斜は極めて小さい。両方向の傾斜の合成値で最大は 2.7/100 程度である。基礎構造の沈下・傾斜による被災度区分判定 [5.5-1] によれば、2.7/100 の傾斜は「大破」に該当する。しかし、傾斜を測定した柱の仕上げ面には若干の不陸があり、本測定方法による精度は必ずしも十分ではないので、判定結果は参考扱いとする。

なお、周辺地盤は若干の沈下が見られ、階段室へと接続されている土間スラブ端部のコンクリート製ブロックが押し出されている状態が確認された。

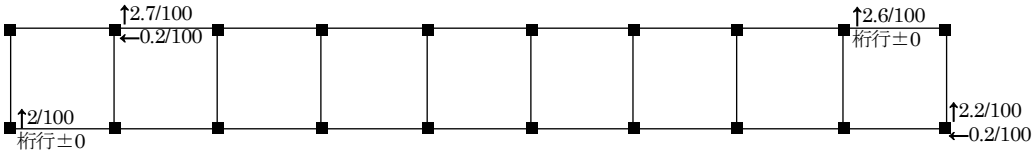


図5.5-25　2 階の概略平面図と柱の傾斜角

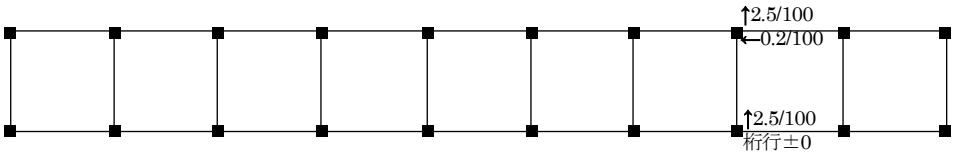


図5.5-26　1 階の概略平面図と柱の傾斜角

19) 共同住宅 S（熊本市東区、建設年 1984 年）

本建築物は桁行方向がラーメン構造で 9 スパン、張間方向が連層耐力壁構造で 1 スパンの RC 造の 5 階建て共同住宅で、平面形状は長方形である。基礎形式は支持杭で、杭種は PHC 杭、杭径 500φ、杭長は 39m 程度である。



(a)建築物東面　(b)建築物北面　方立て壁のせん断ひび割れ

写真5.5-90 建築物外観

被害は、南側への建築物の傾斜である。柱側面に曲尺を当て、下げ振りを用いて 1 階の柱 4 本および 2 階の柱 4 本で傾斜を測定した結果、張間方向北側に向けて 1.2/100～2.3/100 程度の傾斜が確認された（図 5.5-27、図 5.5-28)。傾斜は東から西側に向けて大きくなる傾向にあった。また、桁行方向においても東側に、0～1/100 程度の傾斜が確認された。北側桁行方向の方立て壁の一部には、せん断

ひび割れが見られた。両方向の傾斜の合成値で最大は 2.5/100 程度である。基礎構造の沈下・傾斜による被災度区分判定 [5.5-1] によれば、2.5/100 の傾斜は「大破」に該当する。しかし、傾斜を測定した柱の仕上げ面には若干の不陸があり、本測定方法による精度は必ずしも十分ではないので、判定結果は参考扱いとする。

なお、周辺地盤は若干の沈下が見られ、階段室へと接続されている土間スラブ端部のコンクリート製ブロックが押し出されている状態が確認された。

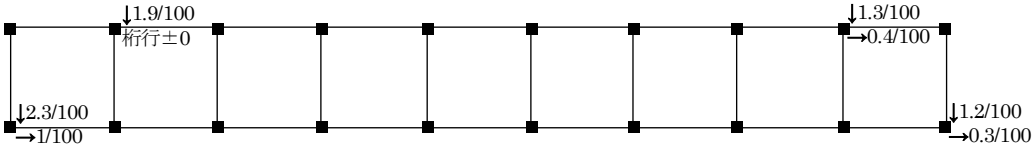


図5.5-27　2 階の概略平面図と柱の傾斜角

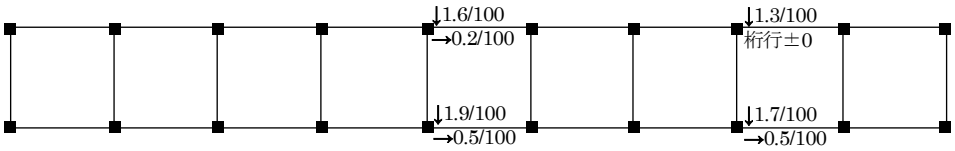


図5.5-28　1 階の概略平面図と柱の傾斜角

20) 共同住宅 T（熊本市東区、建設年 1985 年）

本建築物は壁式 RC 造の 5 階建て共同住宅で、平面形状は 2 階段室型の長方形である(写真 5.5-91)。



写真5.5-91 建築物北面

被害は、建築物外周部の地盤の亀裂(写真 5.5-92 、写真 5.5-94)と基礎立上り部の損傷(写真 5.5-93)である。建築物外周部の地盤の亀裂は、南面および北面の桁行方向の基礎立上り部に接する範囲に沿って顕著であり、最大で 0.6m 程度の幅の亀裂が見られた。しかし、東面および西面の張間方向の基礎立上り部周辺には同様の地盤変状は見られなかった。

建築物の被害としては、西面の基礎立上り部の換気口周辺にコンクリートのひび割れおよび剥落が見られたほかは、塩化ビニル製の雨水管に位置のずれや継手部での損傷があった程度で、上部構造としての被害は傾斜も含めて外観からは確認できなかった。



写真5.5-92 建築部外周部の地盤の亀裂



写真5.5-93 基礎立上り部の損傷





写真5.5-94 建築部外周部の地盤の亀裂

21) 共同住宅 U（熊本市中央区、建設年 1998 年）

本建築物は、13 階建ての RC 造共同住宅である。建築物平面は L 字型の形状をしている。１階はピロティ構造となっていたが、張間方向に耐力壁が配されており、目立った損傷は確認されなかった。２階より上階では、開口部周辺の方立壁が損傷していることが確認された（写真 5.5-95）。



写真5.5-95 建築物外観



写真5.5-96 非構造壁の損傷

22) 共同住宅Ⅴ（熊本市東区、建設年 1991 年）

本建築物は 11 階建て SRC 造（一部 RC 造）の共同住宅である（写真 5.5-97、写真 5.5-98）。桁行方向の共用廊下側、バルコニー側のいずれの方立壁でもせん断破壊が生じているが、特に共用廊下側の損傷が激しい（写真 5.5-99、写真 5.5-100）。また、張間方向の一部の方立壁にもせん断ひび割れが発生していた。



写真5.5-97 建築物北西側



写真5.5-98 建築物南東側



写真5.5-99 共用廊下側の方立壁の損傷



写真5.5-100 バルコニー側の方立壁の損傷

23) 共同住宅 W（熊本市中央区、建設年 1998 年）

本建築物は、13 階建て SRC 造共同住宅である。平面形状は L 字形であり、2 棟の建築物が渡り廊下部分に設けられたエキスパンションジョイントを介して接続されている。

当該建築物では、エキスパンションジョイント部及びその周辺のコンクリートの破壊が見られる。エキスパンションジョイントで分割された 2 棟の建築物が地震時に衝突したものと推察される。



写真5.5-101 外観（北側）



写真5.5-102 エキスパンションジョイント部の破壊

24) 共同住宅 X（熊本市東区、建設年 2003 年）

本建築物は、20 階建て SRC 造共同住宅である。当該建築物の平面形状はおおよそ長方形である。本建築物と隣接する 10 階建て中層住棟は、渡り廊下部分に設けられたエキスパンションジョイントを介して接続されているが、11 階以上の当該部分には RC 造手摺壁がある。当該建築物ではその手摺壁にせん断破壊（写真 5.5-103）が生じている。調査時点において、当該建築物は継続使用されていた。

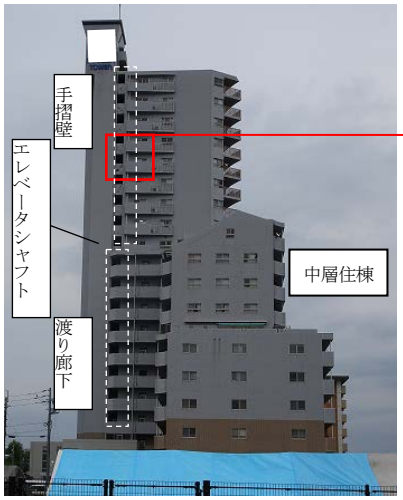


写真5.5-103 外観（西側）



写真5.5-104 廊下手摺壁のせん断破壊

25) 病院Y（熊本市東区、建設年1979年（南側病棟）、1984年（北側病棟）、2001年（管理棟））

本建築物は、8階建て（地下1階）の病棟2棟及び7階建ての管理棟1棟からなるSRC造病院建築物である（写真5.5-105）。病棟は低層部分がエキスパンションジョイントで分割された南側病棟と北側病棟の2棟からなっており、内部調査ができたのは南側病棟である。北側病棟は現行の耐震基準を満足しているが、南側病棟は満足していないと関係者から情報が得られている。

当該建築物では、管理棟や南側病棟の外壁タイルの剥落（写真5.5-106）、渡り廊下のガラス破損並びに南側病棟の中間階の廊下に面する非構造壁のせん断破壊（写真5.5-107）、柱の軽微な曲げひび割れ及び1階天井仕上げ材の脱落（写真5.5-108）が確認された。その他、南側病棟の病床ベッド等内容物の移動・散乱によって病院機能が喪失したことから、入院患者を移動したとのことである。調査時点において、当該建築物は1階のロータリーエリアで外来患者への対応がなされていた。



写真5.5-105 外観
（写真奥から北側病棟、南側病棟、管理棟）



写真5.5-106 外壁タイルの剥落
（管理棟南側）

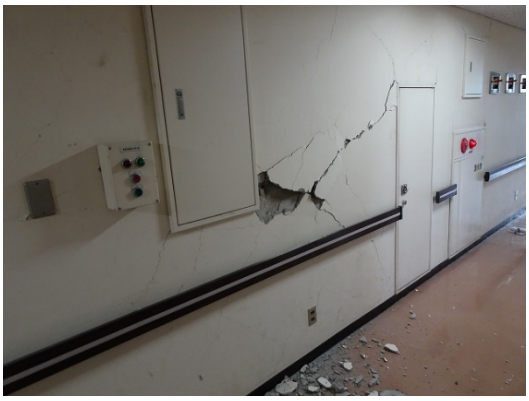


写真5.5-107 中間階の非構造壁のせん断破壊（南側病棟）



写真5.5-108 天井仕上げ材の脱落（南側病棟）

26） 病院 Z（宇城市、建設年 2012 年）

本建築物は、4 階建て（地下 1 階）RC 造病院である。当該建築物では、一部の耐力壁にせん断ひび割れと脚部のかぶりコンクリートの剥落（写真 5.5-110、写真 5.5-111）が見られる他は、窓ガラスの破損（写真 5.5-112）・落下や外壁タイルの剥落など非構造部材の損傷が中心である。調査時点において、破損した窓ガラス部分は木製パネルで応急的に養生がなされ、病院としては継続使用されていた。



写真5.5-109 外観（西側）



写真5.5-110 耐力壁脚部の損傷



写真5.5-111 耐力壁のせん断ひび割れ



写真5.5-112 境界梁部分にある窓ガラスの破損・落下

27) 庁舎 AA（阿蘇郡西原村、建設年 1987 年）

本建築物は、RC 造 2 階建て建築物が渡り廊下でつながる構造となっている（写真 5.5-113）。建築物脇に地震計が設置されており、4 月 16 日の地震で震度 7 を記録している。外壁面に軽微なせん断ひび割れが生じているが、全体的に構造部材の被害は少ない（写真 5.5-115）。増設された鉄骨造のエレベータ棟は本庁舎とエキスパンションジョイントで接続されているが、エキスパンションジョイント部が破損している（写真 5.5-116）。設備被害としては、会議室や居室の天井部の換気口が破損し、一部落下している。



写真5.5-113 外観



写真5.5-114 地震計



写真5.5-115 壁面のせん断ひび割れ



写真5.5-116 エキスパンションジョイントの破損

28) 庁舎 AB（上益城郡御船町、建設年 1982 年）

本建築物は、3 階建て RC 造庁舎である（写真 5.5-117）。建築物に構造的な被害は発生していないことが確認されている。議会場の一部で天井が落下した。隣接する体育館やカルチャーセンターでは、天井被害が報告されたが、応急復旧をし、避難所として使用している。

設備被害としては、発災直後に停電したため、自家発電に切り替わったが、冷却水が機能せず自家発電の維持が困難となった。その後、4 月 26 日ごろに、九州電力の発電車が設置され電力が確保された。



写真5.5-117 外観



写真5.5-118 隣接する体育館

29) 庁舎 AC（上益城郡嘉島町、建設年 1997 年）

本建築物は、3 階建ての RC 造庁舎である（写真 5.5-119)。エントランス屋上や 3 階渡り廊下の鉄骨梁を支える RC 造コーベルが損傷を受け、コンクリート片が落下したため、一時、建築物の使用を制限していた（写真 5.5-120、写真 5.5-121)。現在、損傷を受けた箇所の補強工事を行っている。その他の部材に目立った被害は生じていない。



写真5.5-119 外観



写真5.5-120 エントランス屋根上の鉄骨梁を支える RC 造コーベルの損傷



写真5.5-121 エントランス屋根上の鉄骨梁を支える RC 造コーベルの損傷

30) 庁舎 AD（熊本市西区、建設年 2012 年）

本建築物は、3 階建て RC 造庁舎である。南北に並ぶ 2 棟の庁舎がエキスパンションジョイントで接続されており、調査は主として北側の庁舎を対象として行った。

当該建築物では、外周部分の床に周辺地盤の変状によるものと推察されるひび割れが生じている写真 5.5-123、写真 5.5-124)。また 2 棟をつなぐ 1 階廊下に設置された自動扉が開閉障害を起こしていた。構造体には目立った被害は見られない。調査時点において、当該建築物は庁舎として機能していた。



写真5.5-122 外観（北側）



写真5.5-123 エントランス部分の床ひび割れ



写真5.5-124 南側外構のひび割れ



写真5.5-125 建築物に接する地盤のひび割れ

31) 庁舎 AE（熊本市東区、建設年 2012 年）

本建築物は、3 階建て SRC 造庁舎である（写真 5.5-126)。平面形状は長方形で、桁行方向が東西方向である。

当該建築物では、1 階から 2 階にかかる階段底面にひび割れ及び被りコンクリートの剥落（写真 5.5-127）が確認された。また構造体に目立った被害はなかったが、1 階の非構造壁脚部のかぶりコンクリートが一部剥落（写真 5.5-128）し、内部の鉄筋が見える状態となっていた。調査時点において、当該建築物は庁舎として機能していた。



写真5.5-126 外観（南側）



写真5.5-127 階段底面に見られたひび割れ





写真5.5-128 外壁端部のひび割れ

32) **庁舎 AF（八代郡氷川町、建設年 1986 年）**

本建築物は 2 階建て RC 造庁舎である。敷地内には地震計が設置されていた。建築物の被害としては、非構造壁の一部に軽微なひび割れが確認された。また、渡り廊下が接続される部分のエキスパンションジョイントの保護カバーに変形が確認された。



写真5.5-129 地震計の設置状況



写真5.5-130 非構造壁のひび割れ



写真5.5-131 エキスパンションジョイント保護カバーの変形（外側）



写真5.5-132 エキスパンションジョイント保護カバーの変形（内側）

33） 庁舎 AG（阿蘇郡南阿蘇村、建設年 1983 年）

本建築物は 2 階建て RC 造である。構造躯体の大部分は仕上材が施されており、仕上材の剥離や脱落を伴うような損傷は確認されなかったが、一部の内装仕上材が施されていない腰壁付き柱に曲げひび割れが確認された。構造躯体以外の被害としては、エントランス部分の窓ガラスの損傷、天井材の脱落が確認された。また調査に入った時点で当該庁舎は機能していた。同じ敷地内の建築物の脇に地震計が設置されていた。



写真5.5-133 建築物西側

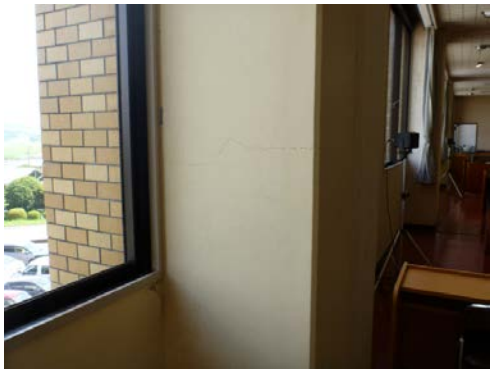


写真5.5-134 腰壁付き柱の曲げひび割れ



写真5.5-135 天井材の脱落



写真5.5-136 地震計設置状況

34) **公共施設 AH（上益城郡益城町、建設年 1990 年）**

本建築物は 2 階建て SRC 造である。敷地南面は急斜面があり、擁壁が損傷し地盤が沈下しているため、建築物が傾斜している。なお、気象庁の地震計は、当該建築物の 1 階床上に設置されていた。



写真5.5-137 建築物正面



写真5.5-138 建築物北側



写真5.5-139 建築物北東面の地盤沈下



写真5.5-140 建築物内の地震計

35) **庁舎 AI（宇城市、建設年 1994 年）**

本建築物は、RC 造 3 階建て庁舎建築物である。構造部材には大きな被害は見られないが、建築物周辺の地盤が 20～30cm 沈下しており、配管の漏水が起こった。また、2007 年に建設された RC 造 3 階建ての新館との接続部分（エキスパンションジョイント）周辺で目地部分やカバーに損傷が発生してい

る。建築物内部では、一部の天井材や防煙ガラスの落下、天井の衝突による照明器具の変形等が確認されている。外装や内装に使われているタイルは被災前の調査で浮きがあることが確認されており、1F エントランス内の丸柱では余震で脚部のタイルが脱落している。天井材やタイルに関しては、被災後に落下の恐れがあるものを取り除く作業が行われている。



写真5.5-141 外観



写真5.5-142 建築物周辺の地盤変状

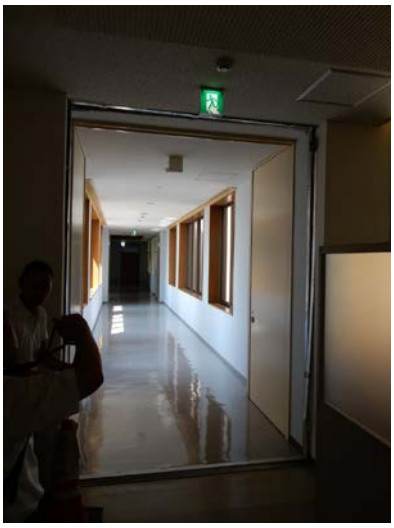


写真5.5-143 エキスパンションジョイントのカバー等の損傷



写真5.5-144 1F エントランス内の丸柱のタイルの剥落

36) 庁舎 AJ（宇城市、建設年 1998 年）

本建築物は SRC 造 4 階建てであり、図書館、文化ホールを有する複合施設として設計、施工された。隣接する RC 造 2 階建て旧庁舎（写真 5.5-167）の老朽化が進んでいたため、2014 年に同建築物の一部を改修し、庁舎機能が移転された。建築物周辺では若干の地盤変状が見られたが、庁舎の執務室では目立った被害は確認されておらず、被災後も継続使用がなされた。文化ホールでは天井からの落下物や、上階の舞台裏のＲＣ造壁でせん断ひび割れが確認されたため、一時、立ち入り禁止の措置が取られた。旧庁舎に関しても、今回の震災による大きな損傷は見られないとのことである。



写真5.5-145 新庁舎の入り口周辺の様子



写真5.5-146 外観（旧庁舎）

37） 庁舎 AK（宇城市、建設年 2007 年）

本建築物は RC 造２階建ての庁舎である。1 階に設置していた金庫（写真 5.5-148）の転倒があったものの、構造、非構造、設備の被害や建築物周辺の地盤変状は確認できない。



写真5.5-147 外観



写真5.5-148 転倒した金庫

38） 学校 AL（阿蘇郡南阿蘇村、建設年不明）

本建築物は RC 造 4 階建ての隣接した 2 棟の校舎であり、建設時期は異なるものの、いずれも新耐震建築で、ルート 1 で設計されているとのことである。建築物自体の被害は小さいものの、地盤変状による傾斜とエキスパンションジョイントの被害が報告されている。



写真5.5-149 建築物外観



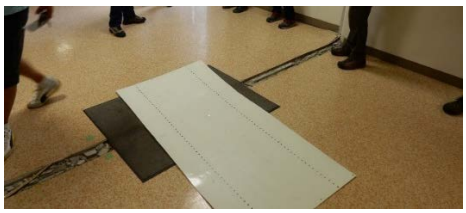


写真5.5-150 建築物周辺の地盤変状とエキスパンションジョイントの被害

39） 学校 AM（阿蘇郡南阿蘇村、建設年 2013 年）

本建築物は 3 階建て RC 造の学校校舎である。運動場には自衛隊の車両が駐車していた。

外観調査の結果、建築物被害としては、非構造壁のせん断ひび割れ、エキスパンションジョイントの損傷がある程度で大きな被害は確認されなかった。



写真5.5-151 建築物外観



写真5.5-152 建築物北東側



写真5.5-153 非構造壁のひび割れ



写真5.5-154 エキスパンションジョイントの損傷

40） 共同住宅 AN（熊本市中央区、建設年 2008 年）

本建築物は、15 階建て RC 造共同住宅であり、地下に免震層がある。平面は、3×3 スパンの正方形である。地下の免震層には、積層ゴムアイソレータが 0 基（柱直下に 16 基、そのほか小型のものが 4 基）、鉛ダンパーが 8 基（四隅に 2 基ずつ）、U型ダンパーが 8 基（四隅に 2 基ずつ）設置されている。

これらの取付け基部であるコンクリートに大きな損傷が確認されている。詳細は、5.7.2（９）を参照されたい。

41） 共同住宅 AO（熊本市中央区、建設年 1998 年）

本建築物は、14 階建て RC 造共同住宅である。１階と２階の間に免震層が設けられている中間階免震であるが、階段棟は１階床面下に免震層が設けられている。当該建築物では、１階階段部の RC 造壁のせん断破壊が確認されている。詳細は、5.7.2（７）を参照されたい。

42) 庁舎 AP（上益城郡益城町、建設年 1980 年、耐震改修年不明）

本建築物は、3 階建ての RC 造庁舎であり、外付けフレームによる耐震改修がなされている（写真 5.5-155)。庁舎は 2 棟あり、渡り廊下で接続されている。敷地内に設置された地震計では、4 月 14 日の地震、4 月 16 日の地震ともに、震度 7 を記録している。



写真5.5-155 建築物外観

建研・国総研による熊本地震第一次調査[5.5-2、5.5-3]では、4 月 14 日の地震では構造躯体の損傷は確認されず、周辺地盤の亀裂や移動などが見られたこと、4 月 16 日の地震で、エレベータ棟の損傷、地盤変状の悪化が確認され、渡り廊下部分の壁部材が大きく損傷し、また柱梁接合部の破壊（写真 5.5-156、写真 5.5-157）を確認している。

外付け架構と既存架構をつなぐ短スパンの梁部材にわずかなせん断ひび割れを確認している。建築物内部の被害は廊下についてはほとんど見られなかった（写真 5.5-158）ものの、電算室内の什器や窓ガラスの破損（写真 5.5-159）が確認されている。また庁舎棟の南側の既製コンクリート杭の杭頭部が大きく損傷（写真 5.5-160）していることを確認した。1 階西側の床上に気象庁の地震計は設置されていた（8 月中旬時点)。

庁舎棟の北側に議会棟があり、2 階で渡り廊下が接続されている。議会棟 2 階の議場の天井が全体的に崩落（写真 5.5-161）していた。天井パネルは 2 枚貼りで施工されていた。また屋外に設置されていた設備機器が破損（写真 5.5-162）していた。 5 月 10 日時点では、東側に設けられていたエレベータ棟は既に撤去されていた（写真 5.5-163)。



写真5.5-156 渡り廊下被害



写真5.5-157 渡り廊下被害柱梁接合部被害



写真5.5-158 庁舎棟廊下

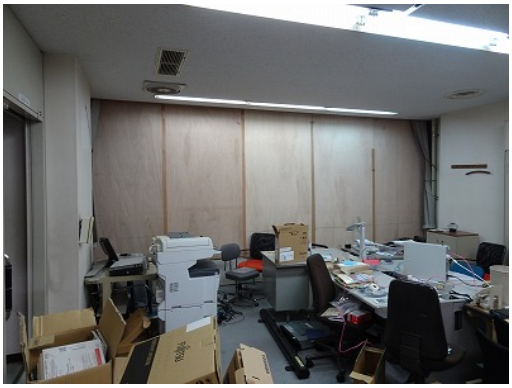


写真5.5-159 庁舎棟電算室



写真5.5-160 庁舎棟南西側コンクリート杭



写真5.5-161 議会棟議場の崩落した天井



写真5.5-162 破損した設備機器



写真5.5-163 外観（5 月 10 日時点）

43） 庁舎 AQ（菊池郡菊陽町、建設年 1977 年、耐震改修 2011 年）

本建築物は、一部 3 階建ての RC 造庁舎（写真 5.5-164）であり、外付けフレームによる耐震改修（写真 5.5-165）が行われている。外観調査の結果、建築物南西側 2 階のガラスの破損が確認された（5 月初旬の調査時点）。

室内の調査は 8 月中旬に実施した。西側 3 階の議場は一部の天井材が脱落したため応急措置（写真 5.5-166、写真 5.5-167）がなされていた。天井材は石膏ボード 1 枚貼りであった。また円形の照明を覆うプラスチックの板材が脱落していた。3 階の廊下部分にある非構造壁のひび割れ損傷やトイレ内のタイルの剥落が確認された（写真 5.5-168）。また同 3 階の室内に設置されたキャビネットの天端部分の天井材に損傷（写真 5.5-169）が確認された。2 階部分においては、破損したガラスは既に新しく

更新されていた。また執務室内の天井材の脱落の脱落（写真 5.5-170）が確認された。防炎垂壁は 2 階及び 1 階で脱落、1 階防火戸（写真 5.5-171）が開閉できない状態であったが調査時点では既に応急措置がなされていた。

自治体ネット地震計は敷地内に設置されている。



写真5.5-164 建築物外観



写真5.5-165 外付けフレーム側面



写真5.5-166 斜めに配置された天井材脱落に対する応急措置

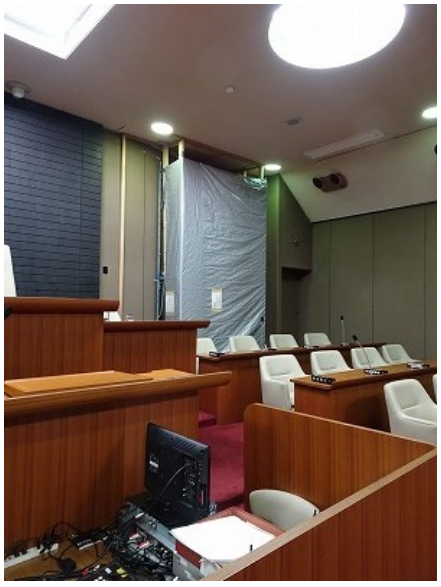


写真5.5-167 端部の天井材の脱落に対する応急措置



写真5.5-168 非構造壁の損傷



写真5.5-169 什器天端の天井材の被害



写真5.5-170 2階天井の脱落



写真5.5-171 応急措置された防火戸

44) 庁舎 AR（上益城郡御船町、建設年 1968 年、耐震改修 2010 年）

本建築物は、RC 造３階建てであり、2010 年に枠付き鉄骨ブレースによる耐震改修が施されている（写真 5.5-172)。1998 年に実施された耐震診断では、桁行方向は Is 値が 0.30～0.35、張間方向は 0.54～1.04 となり、桁行方向は全層が、張間方向は 1、2 階が基準値を満たさない結果となっている。耐震改修に当たっては、強度・靭性型の枠付き鉄骨ブレース補強が採用され、Is 値は 0.8 前後まで改善されている。

建築物内の耐力壁に大きな損傷が生じており、外装材やコンクリートが剥落している（写真 5.5-173)。また、張間方向における外周柱と建築物外壁構面の間の梁にせん断ひび割れが発生しており、特に建築物北側において戸境壁（耐力壁）が設けられた部分の短スパン梁のひび割れが顕著である（写真 5.5-174)。被害の程度は、３階と１階が大きい。

設備被害としては、天井部が大きく脱落している箇所が多数ある。また、窓サッシが変形し、開閉ができなくなった窓や、ガラスが破損・脱落した窓が多数ある（写真 5.5-175)。設備被害の詳細は、建研・国総研の熊本地震第５次調査[5.5-4]で報告されている。被害は大きいものの、３階の一部の部署を除き、大半の部署で建築物内の業務を継続している。



写真5.5-172 外観



写真5.5-173 耐力壁のせん断ひび割れ



写真5.5-174 短スパン梁のせん断ひび割れ



写真5.5-175 窓ガラスの破損

45) 庁舎 AS（宇城市、建設年 1972 年、耐震改修 2011 年）

本建築物は RC 造 3 階建ての庁舎建築物であり、隣接する敷地に鉄骨造の会議棟の増築が行われている（写真 5.5-176、写真 5.5-177）。増築の際、3 階建てのエレベータホールも設置されている。2011 年に耐震改修が行われ、桁行方向に外付け骨組が、張間方向にブレースが増設されている。建築物周辺の地盤には 10cm 程度の沈下が起こっており、給水管の漏水や鉄骨階段基部のコンクリートの損傷の原因となっている（写真 5.5-178）。建築物の内部では、RC 造壁のひび割れが確認されているものの、主要部材には大きな損傷は確認されておらず、地震後も建築物が継続使用されているが、外周部にある 3 階手すりの一部が損傷を受けて宙づりの状態となったため、地震後に撤去が行われている（写真 5.5-179）。また、本建築物と会議棟を接続するエキスパンションジョイント周辺のカバーや天井材の一部が脱落しており（写真 5.5-180）、会議棟 2 階の会議室では、天井材の落下や間仕切り壁の転倒があり（写真 5.5-181）、一部の部屋が使用禁止となっていた。



写真5.5-176 外観



写真5.5-177 会議棟の外観



写真5.5-178 建築物周辺の地盤変状



写真5.5-179 3F 外周部の手すりの撤去



写真5.5-180 エキスパンションジョイント周辺の損傷



写真5.5-181 間仕切り壁の転倒

46) 郵便局 AT（熊本市中央区、建設年不明、耐震改修年不明）

本建築物は、川沿いに建設された RC 造 3 階建ての郵便局である（写真 5.5-182）。北側構面には鉄骨ブレースによる耐震改修、東側構面には増設耐力壁による耐震改修がなされている（写真 5.5-183）。増設耐力壁を設置した東側構面にて、増設耐力壁のひび割れおよび側柱のせん断破壊、独立柱の顕著なせん断ひび割れが確認されている。



写真5.5-182 建築物外観（西側）



写真5.5-183 建築物外観（東側）

47) 学校 AU（阿蘇郡南阿蘇村、建設年 1973 年、耐震改修年不明）

本建築物は RC 造３階建ての校舎であり、枠付き鉄骨ブレースによる耐震改修が施されているが、今回の地震で建築物周辺の地盤変状が多く確認されている（写真 5.5-184）。いずれの構面でも、鉄骨

ブレースによる耐震改修が行われていない中央付近のスパンにおいて、連層に渡って、大梁の破壊が起こっていた（写真 5.5-185）。また、南西構面の正面入り口に近い位置の 1 本の柱がせん断破壊していた（写真 5.5-186）。この柱には鉄骨ブレースによる耐震改修は行われておらず、腰壁によって短柱化していた。室内側の床スラブを見ると、せん断破壊した柱の近傍から部屋の奥の方に床スラブが盛り上がっている箇所があり、地盤変状の影響で破壊した可能性がある（写真 5.5-187）。正面入口内のロビーでは、柱のカバーコンクリートの剥落や大梁の破壊が見られ、地盤変状の影響によって床のタイルが割れていた。また、柱も一部鉛直方向に沈下したと思われる損傷も確認した。なお、建築物の左右と中央で建築物の沈下量を計測したところ、左右は 15cm、30cm の沈下があったが、建築物の中央部分は殆ど沈下がなかったとのことである。

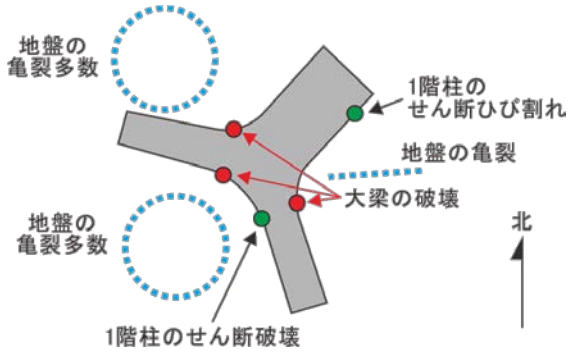


図5.5-29 配置図



写真5.5-184 建築物北西側における地盤変状



写真5.5-185 大梁の破壊



写真5.5-186 柱のせん断破壊



写真5.5-187 せん断破壊した柱の室内側の様子

48） 学校 AV（阿蘇郡南阿蘇村、建設年不明、耐震改修年不明）

本建築物は RC 造の躯体と S 造の屋根からなる体育館である。RC 造の柱の外側にはバットレスが設けられている。鉄骨屋根には耐震改修により、水平ブレースが設置されている（写真 5.5-189）。また、

RC 柱と鉄骨屋根の接続部分は、片側の構面がピン、もう片方の構面がローラーとなっており、接合部の損傷の軽減に寄与した可能性がある。部材の幅や配筋から非構造壁と思われる桁行方向の部材がせん断破壊していた（写真 5.5-190）。また、建築物に隣接する煙突の作業用の梯子が建築物の屋根部分に近いところで大きく変形しており、建築物（の屋根部分）と煙突の両者もしくはいずれかが地震時に大きく変形した可能性がある（写真 5.5-191）。



写真5.5-188 外観



写真5.5-189 鉄骨屋根（白色の部材が耐震改修による水平ブレース）



写真5.5-190 非構造壁のせん断破壊



写真5.5-191 隣接する煙突の梯子の変形

(2) 1981 年以前の被災建築物

1) 庁舎 AW（宇土市、建設年 1965 年）

本建築物は、5 階建ての RC 造庁舎である。平面形状は五角形の庁舎棟と長方形のコア棟（階段室、エレベーター、トイレ）から構成（図 5.5-30）される。前者は主としてラーメン架構（上階ほど柱の断面が小さい)、後者は連層耐力壁架構である。

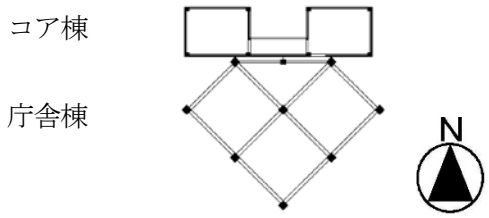


図5.5-30 基準階の概略伏図

2003 年に実施された耐震診断では、Is 値は 0.20～0.43 となり、3 階が最も低い Is 値となっている。庁舎棟とコア棟が４５度に傾く複雑な平面形状をしており、スラブで接続されていること、コア棟に耐力壁が集中していることから、平面的なバランスを示す SD 指標が 0.62 という低い数値となっている。また、柱断面が小さく、配筋量も少ないことが指摘され、耐震改修が必要であることが指摘されている。

当該建築物の庁舎棟は 4、5 階の内柱及び十字形柱梁接合部の大破により局部崩壊している。また当該柱に接続されている梁も大破し、庁舎棟 2 階柱脚部に損傷（写真 5.5-192）が確認された。さらにコア棟の北構面の 2 階壁脚部で曲げ圧縮破壊（写真 5.5-195）を起こし、一部は鉄筋座屈が生じている。庁舎棟とコア棟とは厚さ 110㎜の床スラブで接続されているが、その接続部には大きなひび割れが発生しており、それらの一体性がどの程度確保されているかは不明である。

なお 8 月中旬の調査において、外壁面の飾り壁および 2 階庭園部分の解体作業が実施され、外壁面の剛節架構の被害（写真 5.5-199～写真 5.5-204）が明らかになった。南東南西いずれの 4 階柱梁接合部が大きく損傷しており、特に南西側 4 階中央柱両端部の被害が激しい（写真 5.5-201)。また東側の 4 階梁に大きなせん断ひび割れ（写真 5.5-204）が確認された。



写真5.5-192 外観（南西側）



写真5.5-193 外観（南東側）



写真5.5-194 西側4階柱-5階梁接合部



写真5.5-195 4階柱-5階梁接合部



写真5.5-196 5階柱頭部の破壊



写真5.5-197 南側2階柱脚部の破壊



写真5.5-198 北東側2階脚部



写真5.5-199 一部解体後の外観（南西側）



写真5.5-200 一部解体後の外観（南東側）



写真5.5-201 4、5階十字形柱梁接合部の損傷（南西側）



写真5.5-202 4階十字形柱梁接合部の損傷（南東側）



写真5.5-203 一部解体後の外観（東側）

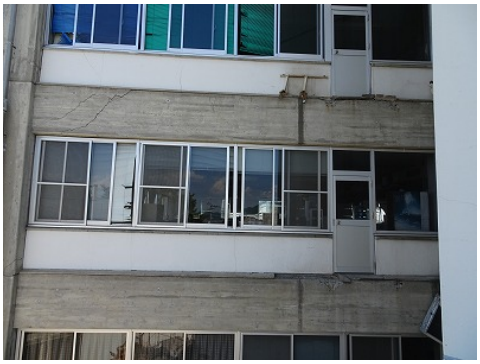


写真5.5-204 4階梁のせん断ひび割れ（東側）

2)　**共同住宅兼店舗AX（熊本市西区、建設年1974年）**

本建築物は、7階建てRC造共同住宅兼店舗である。県道303号線に面しており平面形状はL字形であるが、エキスパンションジョイントによる分割は見られない。用途は、1階が店舗、2階以上が住宅である。

当該建築物は、南北軸の住棟が層崩壊（写真 5.5-205、写真 5.5-206）しており、それに伴って東西軸の北東側の1階柱も大きく損傷（写真5.5-207）している。南北住棟の1階部分は主として駐車場として利用されており、その階に耐力壁がないことが層崩壊の原因と考えられる。なお、当該建築物の東側の裏手には墓地が広がっており、半数以上の墓石が南北方向に転倒していた。



写真5.5-205 外観（南西側、県道側、東西軸住棟）



写真5.5-206 L字型平面形状の入り隅部



写真5.5-207 東西軸住棟の北側



写真5.5-208 南北軸住棟の西側柱

3)　**診療所 AY（熊本市中央区、建設年不明）**

本建築物は、3 階建て RC 造診療所である。平面形状は長方形で、白川沿いに建設されている。

当該建築物は、1 層が完全に崩壊している。南東構面には壁が少ない（写真 5.5-209）一方、北構面には開口壁が多い（写真 5.5-210）ことから、ねじれ振動を伴って東西方向に大きく変形したものと考えられる。1 階の柱は全て破壊されて軸方向に大きく縮んでいるが、南構面の柱の軸方向の変形がより大きい（写真 5.5-211、写真 5.5-212）。なお、主筋は異形鉄筋であるが、せん断補強筋は丸鋼で、その間隔はおおよそ 200㎜-300㎜ 程度である。よって建設年は建築基準法施行令の柱のせん断補強筋の間隔の規定が改正された 1971 年以前と推測される。



写真5.5-209 外観（南東側）



写真5.5-210 外観（北西側）



写真5.5-211 破壊した南側の 1 階柱



写真5.5-212 破壊した北側の 1 階柱

4)　店舗 AZ（熊本市中央区、建設年不明）

本建築物は、3 階建て RC 造店舗で、ほぼ南北方向に走る国道 3 号線に面して建設されている。平面形状は長方形であり、桁行方向は南北方向である。主要道路に面している側の構面には室内にある商品を展示するために一面にガラスが配置されていることから耐力壁はないが、それ以外の立面には比較的耐力壁が配置されている。

当該建築物は、1 層が崩壊（写真 5.5-213）している。北構面に壁部材が配置（写真 5.5-214）されているが、南構面の柱が完全に軸方向に変形している。よって、ねじれ変形を伴って、壁のない柱部材の変形が大きくなり破壊に至ったものと推察される。なお、柱の主筋及びせん断補強筋ともに丸鋼である。ちなみに、本建築物同様に一面ガラスが配置された隣接する店舗では、それらのガラスが破損（写真 5.5-216）しているが、構造的な損傷は見られていない。これ以外にも近傍の一面ガラスが配置された店舗でガラスの破損を確認している。



写真5.5-213 外観（西側）



写真5.5-214 外観（北側）



写真5.5-215 柱の軸崩壊、鉄筋座屈



写真5.5-216 隣接店舗はガラス破損のみ

5)　**店舗 BA（熊本市東区、建設年不明）**

本建築物は、3 階建て RC 造店舗である。平面形状は長方形で、桁行方向は東西方向である。またエキスパンションジョイントによって東側と西側とに分離されている。

当該建築物では、エキスパンションジョイントで分割された西側の RC 造建築物が西側へ層崩壊（写真 5.5-217、写真 5.5-218）している。エキスパンションジョイント部（写真 5.5-220）近くに配置された柱頭部が大きく変形し、鉄筋がむき出し（写真 5.5-221）になっている。



写真5.5-217 外観（北東面）

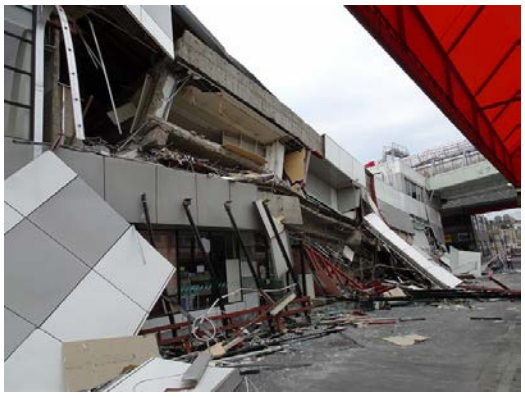


写真5.5-218 外観（北西面）





写真5.5-219 外観（南西面）



写真5.5-220 エキスパンションジョイント部（南面）



写真5.5-221 柱頭部の破壊（南面）

6)　共同住宅兼店舗 BB（熊本市東区、建設年 1971 年）

本建築物は、6 階建て RC 造共同住宅兼店舗である。平面形状はほぼ長方形であり、桁行方向は東西方向である。

当該建築物では、南側外観を見ると向かって左手（西側）の損傷が激しい（写真 5.5-222)。西側からみると 2 階部分で局所的に崩壊している（写真 5.5-224)。桁行方向の梁端部は曲げ破壊が生じ、また局部崩壊した部分に近い柱及び方立壁にせん断破壊を生じている。また北東側の店舗の 2 階以上にバルコニーがあり、その端部にひび割れ（写真 5.5-223）が発生している。これはバルコニーの一辺が住宅側にも固定されていることから、前述の住宅の局所的な崩壊に伴ってバルコニーも強制的に変形したためと思われる。





写真5.5-222 外観（南側）



写真5.5-223 外観（北東側）
バルコニー端部のひび割れ

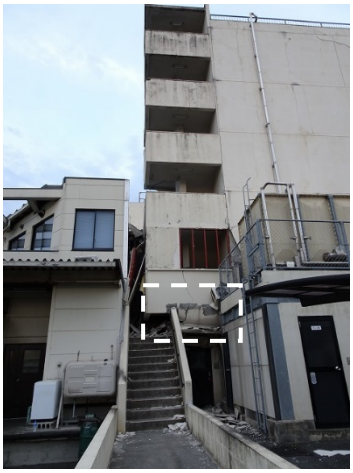


写真5.5-224 外観（西側）
2 階部分の局部的崩壊

7) 寺社 BC（上益城郡益城町、建設年不明）

本建築物は RC 造の寺社である。現地で柱の配筋状況を確認したところ、主筋に丸鋼が用いられており、建設年代は古く、旧耐震の建築物であると推定できる。



写真5.5-225 外観



写真5.5-226 柱頭部の配筋

8) 事務所 BD（熊本市西区、建設年不明）

本建築物は 3 階建ての RC 造事務所である。建築物の 1 階ピロティ部分に被害が集中し、層崩壊している(写真 5.5-227)。上階でも、柱にせん断ひび割れが生じていることが確認された(写真 5.5-228)。隣接する RC 造 4 階建て建築物（写真 5.5-227、左奥の建築物）の 1 階部分もピロティ構造となっており、その柱にはせん断ひび割れが生じている（写真 5.5-229)。



写真5.5-227 外観



写真5.5-228 2階柱のせん断ひび割れ



写真5.5-229 隣接建築物のピロティ柱のせん断ひび割れ

9)　共同住宅兼店舗 BE（熊本市東区、建設年 1977 年）

本建築物は、5 階建ての RC 造で、1 階が商業施設、2～5 階が共同住宅である。平面形状は長方形である。当該建築物は、1 階部分に被害が集中し、層崩壊している（写真 5.5-230）。1 階柱主筋は D25 であり、帯筋はφ9(丸鋼)が 200mm ピッチ（写真 5.5-231）で配されていた。

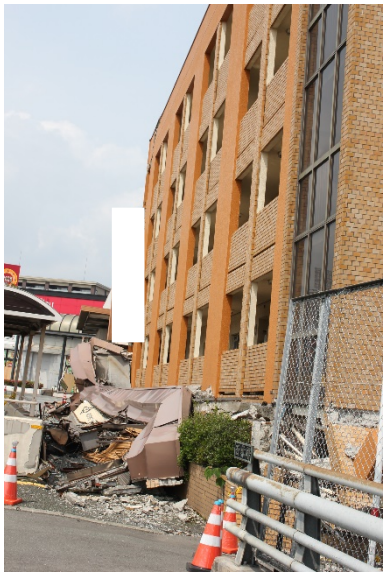




写真5.5-230 1階の層崩壊

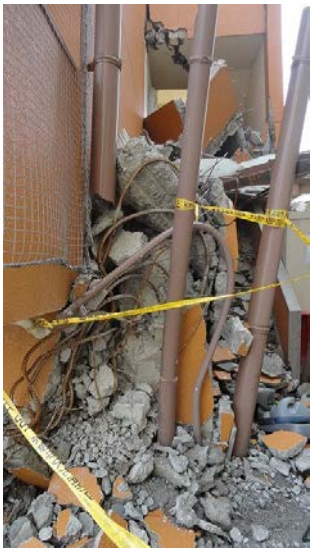



写真5.5-231 層崩壊した１階柱

10) 住宅 BF（上益城郡益城町、建設年不明）

本建築物は 3 階建ての RC 造住宅である。現地で柱の配筋状況を確認したところ、主筋に丸鋼が用いられており、建設年代は古く、旧耐震の建築物であると推定できる。



写真5.5-232 外観



写真5.5-233 1 階柱の配筋

11) 共同住宅 BG（熊本市中央区、建設年 1979 年）

本建築物は、11 階建て SRC 造共同住宅である。平面形状は、くの字形であるが、折れ曲がり部にエキスパンションジョイントが設けられ、構造的には 2 棟に分割されている。1 棟は桁行方向が南北方向で、もう 1 棟は北東方向に建設されている。耐震診断の結果は 0.3×Z≦Is＜0.6×Z（Z:地域係数=0.9)であり、耐震改修が必要であるものの未了である。

当該建築物では、非構造壁の損傷が見られた。具体的には桁行方向の共用廊下側の方立て壁のせん断破壊（写真 5.5-235、写真 5.5-236）である。一方で、バルコニー側の袖壁の損傷は小さい（写真 5.5-237)。エキスパンションジョイント部及びその周辺のホールのガラスが破損している。2 階以上に連層の壁があり 1 階はその壁がない柱（以下「下階壁抜け柱」）を有する構造であるが、当該柱に被害は見られない。

なお、本建築物は建研・国総研の熊本地震第５次調査[5.5-4]にて、共用廊下側の方立壁の損傷および

玄関扉の開閉障害の発生状況について調査されており、方立壁の損傷が大きいほど玄関扉の開閉障害が多く発生していることが報告されている。



写真5.5-234 外観（西側）

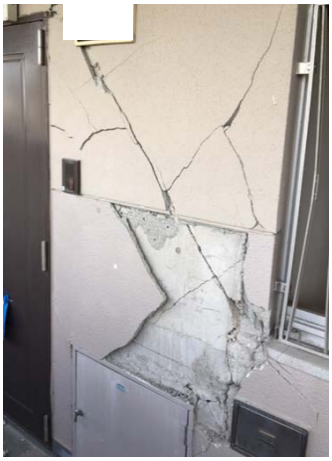


写真5.5-235 桁行き方向外廊下側玄関脇の方立て壁のせん断破壊



写真5.5-236 桁行方向1階の方立て壁のせん断破壊

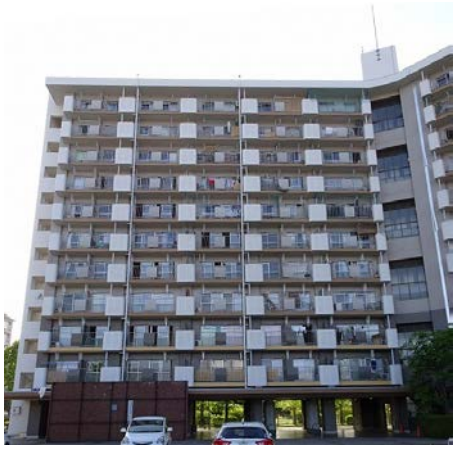


写真5.5-237 バルコニー側の袖壁の損傷

12） **共同住宅兼店舗 BH（熊本市西区、建設年 1973 年）**

本建築物は、7 階建て RC 造共同住宅兼店舗である。共同住宅 AZ と同じ県道に面しており、平面形状もほぼ同様の L 字形である。1 階部分は店舗及び駐車場で利用され、共同住宅 AX と同様に下階壁抜け柱を有する構造であるが、店舗側に多少の耐力壁がある。

当該建築物で確認された被害の特徴は、1 階柱のせん断ひび割れ（写真 5.5-240）であり、層崩壊している共同住宅 AX とは異なる損傷性状である。なお隣接する共同住宅（写真 5.5-241）も 1 階部分の壁がない下階壁抜け柱を有する構造であったが、損傷は軽微であった。

調査時点において、当該建築物は継続使用されている様子であった。



写真5.5-238 外観（南西側）



写真5.5-239 外観（北西側）



写真5.5-240 1階柱のせん断ひび割れ



写真5.5-241 隣接する共同住宅

13) **共同住宅兼店舗 BI（熊本市西区、建設年 1977 年）**

本建築物は、8 階建て RC 造共同住宅兼店舗である。共同住宅 AX と同じ県道に面しており、平面形状もほぼ同様の L 字形である。1 階部分は店舗（西側）及び駐車場（東側、写真 5.5-243）で利用されているが、店舗側と駐車場側に耐力壁がある。

当該建築物では、2 階張間方向妻構面の耐力壁にせん断ひび割れ（写真 5.5-244）が、2 階の梁にもせん断ひび割れ（写真 5.5-245）が生じている。1 階の耐力壁が隣接する共同住宅 AX に比べて比較的多く配置されていることから、層崩壊を免れたものと推察される。

調査時点において、当該建築物の 1 階店舗は継続使用されていた。



写真5.5-242 外観（北側）



写真5.5-243 外観（東側）



写真5.5-244 張間方向2階の耐力壁と思われる耐力壁のせん断ひび割れ



写真5.5-245 桁行方向の梁端のせん断ひび割れ

14） 共同住宅兼店舗BJ（熊本市中央区、建設年不明）

本建築物は7階建てRC造で、1、2階が商業施設、3～7階が共同住宅であり、国道3号線に面した位置に建築されている。3～7階の共同住宅の平面はコ形形状であり、1、2階から部分的にセットバックしている。当該建築物は1階の一部が駐車場となっており、壁量が少ない1階の耐力壁にせん断ひび割れが見られる。1、2階では、階段室横の柱が損傷を受け、コンクリートの剥落が生じており、非構造壁のせん断ひび割れや外装パネルの剥落も確認できる。また、3～7階でもバルコニーや窓横の方立壁において、せん断ひび割れが見られる。



写真5.5-246 建築物北側



写真5.5-247 建築物南側



写真5.5-248 1 階耐力壁のせん断ひび割れ

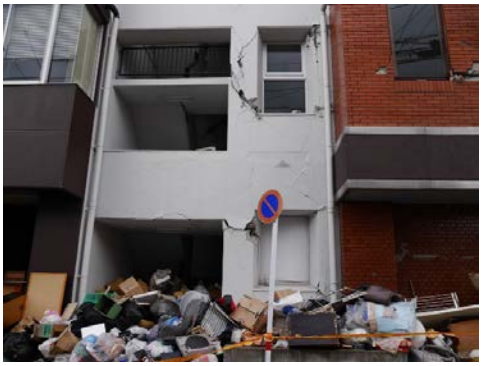


写真5.5-249 2 階階段室の柱の損傷

15) **共同住宅 BK（熊本市中央区、建設年 1974 年）**

本建築物は、10 階建て（地下 1 階）RC 造共同住宅である。平面形状はおおよそ長方形で、桁行方向は南北方向である。当該建築物では、5 階の張間方向南側妻構面の 1 スパン内にある袖壁付き柱部材が、大きくせん断破壊（写真 5.5-251）している。また上記と同じ張間方向南側妻構面にある地下階につながる斜路に面した耐力壁に、せん断ひび割れ（写真 5.5-252）が生じている。なお、本建築物の周辺の地盤も変状し当該建築物床位置と地盤の間に段差（写真 5.5-253）が発生している。



写真5.5-250 外観（南西側）



写真5.5-251 5 階張間方向南側妻構面の袖壁付き柱せん断破壊



写真5.5-252 1 階張間方向の耐力壁のせん断ひび割れ



写真5.5-253 地盤変状による建築物と地盤面の段差

16) 店舗 BL（熊本市東区、建設年 1976 年）

本建築物は、4 階建て RC 造店舗兼事務所である。平面形状は長方形で桁行方向は東西方向である。桁行構面の南側はラーメン構造であるが、北側は耐力壁付きのラーメン構造である。一方、張間方向は下階壁抜け柱を有する構造である。

当該建築物は、南東部にある 2 本の 1 階柱頭部がいずれも大破（写真 5.5-254）している。また北東側の 1 階柱に付着割裂ひび割れ及び 2 階梁端部に破壊（写真 5.5-257）が生じている。南東側にある 1 階柱頭部が大破した理由として、当該部分が下階壁抜けになっていること、及び北構面に耐力壁が配置されたことでねじれ挙動により大きく変形したためであると思われる。また 1 階の南西部に元の位置から移動したと思われる自動販売機があり、その脚部はコンクリートブロックに固定されていたが、そのブロックそのものが移動していた。

なお 9 月の時点で当該建築物は取り壊されている。



写真5.5-254 外観（南東側）と大破した 2 本の柱



写真5.5-255 耐力壁のせん断ひび割れ（東側）



写真5.5-256 1 階柱の大破（南東側）



写真5.5-257 1 階柱（北東側）の主筋付着割裂ひび割れと 2 階梁端部の破壊

17) 病院 BM（上益城郡益城町、建設年不明）

本建築物は、4 階建て RC 造病院である。本病院は増築が行われたと見られ、既存部と増築部はエキスパンションジョイントによって接続されている。

当該建築物では、敷地周辺の地盤は大きく地割れ、沈下や隆起、液状化の噴砂現象の痕跡（写真 5.5-259、写真 5.5-260）が確認され、コンクリートブロック塀は倒壊（写真 5.5-261）していた。また、敷地南西側の一部において斜面崩壊が確認された。構造部材についてはほとんど損傷が見られない。なお、東側に近接する木造家屋は半壊していたが、西側に近接する店舗は大きな損傷は見られない。

調査時点において、当該建築物は継続使用されていなかった。



写真5.5-258 外観（西側）



写真5.5-259 地盤の亀裂



写真5.5-260 地盤の亀裂と液状化噴砂現象の痕跡



写真5.5-261 コンクリートブロック塀の倒壊

18) 診療所 BN（上益城郡益城町、建設年不明）

本建築物は 3 階建ての RC 造診療所である。正面側の 2 階張り出し部を支える柱がせん断破壊していることが確認された(写真 5.5-262)。これらの柱以外の柱には目立った損傷は確認されない。



正面入り口部



正面入り口部の拡大

写真5.5-262 正面入口部　柱のせん断破壊

19) 庁舎 B0（菊池郡大津町、建設年 1969 年）

本建築物は 1969 年に建設された RC 造４階建て庁舎と、1996 年に増築された S 造４階建て庁舎がエキスパンションジョイントで接続されている。RC 造建築物に関しては、2006 年に耐震診断が実施されており、Is 値は桁行方向で 0.19～0.85、張間方向で 0.18～0.60 となり、両方向とも耐力壁の少ない２階で最も低い Is 値となっている。

正面側から裏手に掛けて地盤面が傾斜しており、正面側では建築物２階部分が入口となっている。２階部分では、玄関両側の柱のせん断破壊、玄関反対側の柱のせん断ひび割れ、エキスパンションジョイントに隣接する耐力壁の脚部曲げ圧縮破壊、その他耐力壁、非構造壁のせん断ひび割れが見られた（写真 5.5-264、写真 5.5-265）。S 造建築物に関しては、構造的な被害は特に見られなかったものの、階段室の化粧パネルの落下等、非構造壁部材の損傷が大きかった。また、室内を横切る形でエキスパンションジョイントが設置されていたため、地震時の変形により、エキスパンションジョイントの周辺の天井材が広範囲に渡って落下していた（写真 5.5-266）。

被災後は、建築物の使用禁止措置が取られ、隣接する 2006 年に建設された電算棟に対策本部を設置した。その後、南側の敷地に仮庁舎を建設し、庁舎機能を仮庁舎にすべて移転した。



写真5.5-263 外観



写真5.5-264 ２階柱のせん断破壊



写真5.5-265 2階耐力壁の曲げ圧縮破壊



写真5.5-266 天井材の落下被害

20) 庁舎 BP（八代市、建設年 1972 年）

本建築物は RC 造地下 1 階、地上 5 階建ての庁舎建築物である。5 階建ての庁舎棟と 2 階建ての議会棟が、それぞれの矩形平面の角の部分で重なるような平面計画となっているが、接続部分にはエキスパンションジョイントは用いられていない。1、2 階と比べ、3～5 階では、柱の断面が明らかに小さい。2009 年に耐震診断が実施されており、庁舎棟の Is 値は張間方向の 3 階が最も小さい（Is=0.18）。また、議会棟の Is 値は桁行方向の 1 階が最も小さい（Is=0.29）。

前震時に 3～5 階で柱や壁にひび割れが確認されたため、2～5 階への市民の立ち入りを禁止した。本震後には、柱や壁のひび割れの進展が見られ、階段室周りの耐力壁の仕上げモルタルが剥落するなどさらに被害が拡大したことから、事前に実施されていた耐震診断の結果も踏まえ、全館の立ち入りを禁止し、周辺の支所に庁舎機能が移転されている。



写真5.5-267 外観



写真5.5-268 柱のせん断ひび割れ



写真5.5-269 RC 造壁のせん断ひび割れ



写真5.5-270 仕上げモルタルの剥落

21） 庁舎 BQ（人吉市、建設年 1962 年）

本建築物は RC 造 3 階建ての庁舎建築物である。2010 年に耐震診断が実施されており、Is 値は桁行方向で 0.41～0.75、張間方向で 0.28～0.82 であった。いずれの方向でも 1 階の値が最も小さい。建築物の被害は 1 階が最も大きく、柱や耐力壁、非構造壁において、新規のひび割れの発生や既存のひび割れの進展が見られた（写真 5.5-272）。また、張間方向では、4 スパンのうち、外側の 2 スパンの柱間の芯々距離が 9.15m と長くなっているが、今回の地震では、同構面の各階の大梁のスパン中央付近で、曲げひび割れが多数発生している（写真 5.5-273）。また、建築物外側では、元々経年劣化が進んでいたと思われる大梁下端やパラペットのコンクリート片が落下している（写真 5.5-274）。建築物の損傷状況と耐震診断の結果を踏まえ、5 月 6 日に同建築物への立ち入りを禁止し、周辺施設に庁舎機能の移転を行っている。



写真5.5-271 外観



写真5.5-272 開口隅角部におけるひび割れ



写真5.5-273 大梁のスパン中央付近のひび割れ



写真5.5-274 大梁下端のコンクリートの剥落

22） 庁舎 BR（阿蘇郡南阿蘇村、建設年 1976 年）

本建築物は 2 階建て RC 造の庁舎である。構造躯体にはほとんど被害は確認されなかった。構造躯体以外の被害としては、正面玄関自動ドアのレールの変形、天井材の脱落が確認された。建築物敷地内に地震計が設置されていた。



写真5.5-275 建築物西側



写真5.5-276 天井材の脱落



写真5.5-277 自動ドアレールの変形



写真5.5-278 地震計設置状況

23) 庁舎 BS（熊本市東区、建設年 1978 年）

本建築物は RC 造 9 階建ての消防庁舎であり、3～9 階が訓練塔となっている。建築物周辺で地盤沈下が起こっており、地中に埋まった給水管が漏水した。庁舎建築物内の 1、2 階では耐力壁、非構造壁、床スラブにひび割れが見られる（写真 5.5-280）。訓練塔の西側の構面には訓練用のバルコニーが各階に設けられており、他の構面と比べて開口が多く、開口横の非構造壁の損傷が目立った（写真 5.5-281）。訓練塔は現在、使用禁止となっている。また、3 階では庁舎建築物の屋上階の RC 造のパラペットが訓練塔と接続する箇所で損傷していた（写真 5.5-282）。



写真5.5-279 外観



写真5.5-280 耐力壁のせん断ひび割れ



写真5.5-281 訓練塔の非構造壁のひび割れ



写真5.5-282 3階パラペットの損傷

24) 学校BT（熊本市中央区、建設年1959年）

本建築物は、3階（一部4階）建てRC造学校校舎で、既に耐震改修が実施されている。校舎は2棟あり、その平面形状はほぼ同規模の長方形であり、東西方向を桁行方向として、南北に平行配置されている。その2棟の校舎に渡り廊下が設けられている。

当該建築物では、1階の校舎入り口からエキスパンションジョイントで分割された階段室回りの1階スラブにひび割れと段差（写真 5.5-284）が見られる。またエキスパンションジョイントで分割されたエリアにまたがって設けられた天井材が落下（写真 5.5-285）している。これらのことは、地盤の変状によって基礎構造で支えられていない上部構造物の一部が沈下したことで、それに追随できなかった部位で損傷が発生したものと推察される。

2階以上の渡り廊下の端部のエキスパンションジョイント部においても破壊（写真 5.5-286）が発生し、一部サッシの開閉が困難な状況であった。その他、廊下に部分的に水溜まりがあること、校舎敷地に入る車道下の地盤が崩れていることを確認した。



写真5.5-283 外観



写真5.5-284 1階スラブのひび割れと段差



写真5.5-285 天井材の落下

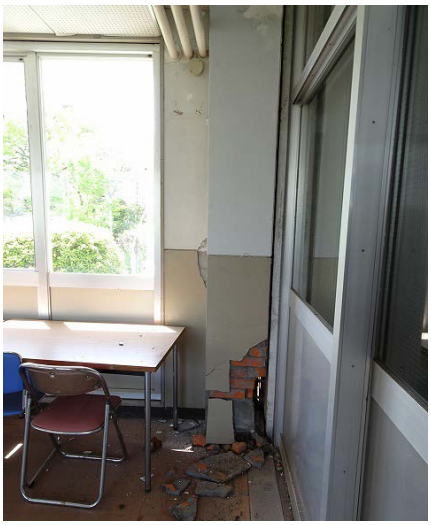


写真5.5-286 エキスパンションジョイント部の破壊

25) **学校 BU（熊本市中央区、建設年 1974 年）**

本建築物は、4 階建て RC 造学校校舎で、既に耐震改修が実施されている。建築物外部から目視による調査を実施した。当該校舎は校門側から全 3 棟平行に配置されており、調査を行った中央に配置された校舎の平面形状は長方形で、渡り廊下が設けられている。

調査した校舎では、非構造壁のせん断破壊（写真 5.5-289）、基礎構造部分のひび割れ（写真 5.5-290）、エキスパンションジョイント部の破壊（写真 5.5-291）が生じている。

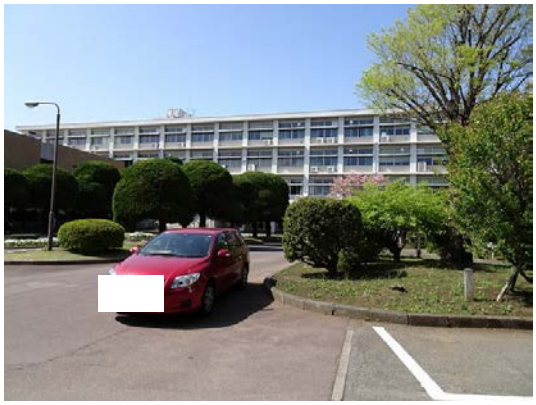


写真5.5-287 校舎外観（校門側）



写真5.5-288 校舎外観（奥 2 棟）



写真5.5-289 非構造壁のせん断破壊

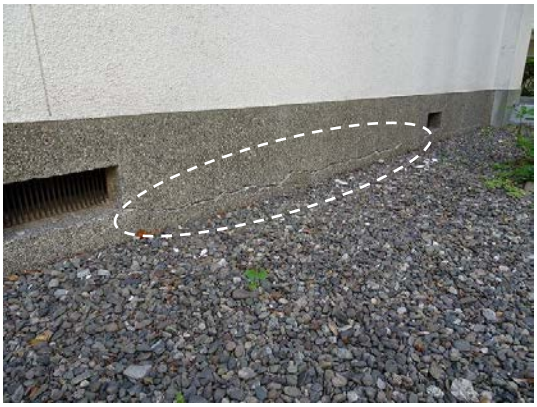


写真5.5-290 基礎部分のひび割れ





写真5.5-291 渡り廊下エキスパンションジョイント部の破壊

26) 学校 BV（熊本市中央区、建設年 1979 年）

本建築物は、2 階建て RC 造学校校舎であり、その平面形状は凸形である。室内で傾斜が生じており、室内の西側が高く、東側が低い状態であった。その他、校舎敷地及び周辺道路の地盤まで広く変状が発生（写真 5.5-293～写真 5.5-295）し、コンクリートブロック塀が倒壊している。

4 月 17 日時点において、当該建築物は継続使用されていなかった。



写真5.5-292 校舎外観



写真5.5-293 傾斜校舎の外構周辺部



写真5.5-294 校舎と外構の段差



写真5.5-295 周辺道路の地盤沈下

27) **学校 BW（熊本市中央区、建設年不明）**

本建築物は 3 階建ての RC 造校舎である。被害としては、階段室の中間階の壁や廊下側の方立壁にせん断ひび割れが多数発生している。



写真5.5-296 建築物外観



写真5.5-297 方立壁の被害





写真5.5-298 階段室の被害

28) **店舗 BX（熊本市中央区、建設年不明）**

本建築物は 4 階建て RC 造で 1 階が店舗となっている。産業通りに面した南東側の構面で 1 階隅柱の材軸方向に沿ったひび割れと、2 階中柱のコンクリートの剥落が見られるが、北東側の構面では目立った損傷は見られなかった。建設年は不明であるが、主筋、せん断補強筋に丸鋼が用いられている

ことから、新耐震以前の建築物と考えられる。



写真5.5-299 建築物西側



写真5.5-300 建築物南側



写真5.5-301 1階柱のせん断ひび割れ



写真5.5-302 2階柱のコンクリートの剥落

29) 学習施設BY（熊本市中央区、建設年不明）

本建築物は4階建てRC造の学習教育施設である。28号線に面した傾斜地に建設されており、建築物のすぐ北西に白川が通っている。南東側の構面に対して壁量が少ない北西面で1、2、3階の中柱でコンクリートの剥落が見られた。1階柱は腰壁によって短柱化しており、せん断破壊により、内部の鉄筋が露出している。同柱のせいは650㎜、主筋径はφ22で一辺に4本が配筋されている。また、せん断補強筋はφ10でせん断補強筋の間隔は約200㎜である。建設年は不明であるが、主筋、せん断補強筋に丸鋼が用いられていることから、新耐震以前の建築物と考えられる。



写真5.5-303 建築物西側



写真5.5-304 建築物北東側



写真5.5-305 建築物北西面における各階柱の損傷



写真5.5-306 1 階柱のせん断破壊

(3) その他の被災建築物

1) 事務所 BZ（熊本市中央区、建設年不明）

本建築物は 4 階建て RC 造の事務所ビルである。当該建築物は 28 号線近くに建設されており、建築物のすぐ北西に白川が通っている。平面は 3×3 スパンで、1 階がピロティ構造となっており、駐車スペースが設けられている。通りに面した北西側の構面では、1 階の 2 本の中柱がせん断破壊している。裏側の南東側の構面でも、1 階の 2 本の中柱が同様にせん断破壊している。北東側と南西側の構面には、1～4 階に連層耐力壁が設けられており、これらの連層耐力壁には目立った損傷は見られなかった。



写真5.5-307 建築物北西側



写真5.5-308 建築物南東側



写真5.5-309 建築物北西構面における 1 階柱のせん断破壊



写真5.5-310 建築物南東構面における 1 階柱のせん断破壊

5.5.3 まとめ

本節では、平成 28 年（2016 年）熊本地震における鉄骨鉄筋コンクリート造建築物を含む鉄筋コンクリート造等建築物の被害の概要と特徴について報告した。

1) 1981 年以降に設計された建築物において、下階壁抜け構造（ピロティ構造）部の柱が曲げ・せん断・軸応力により損傷し、大破と判定された事例が確認された（共同住宅 A、共同住宅 C、共同住宅 D)。このような被害は兵庫県南部地震でも確認されているものであるが、今後、建築物の設計情報等から被害要因の詳細分析を行う必要がある。
2) 1981 年以降に設計された建築物において、部分崩壊形となる純ラーメン架構の中間層に過大な残留変形が生じた（庁舎 E)。さらに、柱梁接合部の損傷も確認されていることから、過大な残留変形が生じた要因の詳細分析を行う必要がある。
3) 1981 年以降に設計された建築物において、杭基礎部の被害に起因すると考えられる建築物の傾斜が確認された（共同住宅 O、共同住宅 Q、共同住宅 R、共同住宅 S)。このような被害は東北地方太平洋沖地震でも確認されている。今後、基礎部での被害状況の把握と、被害要因の詳細な分析を行う必要がある。
4) 1981 年以降に設計された建築物において、構造部材、非構造壁やエキスパンションジョイントおよびその周辺部の損傷により、地震後の継続使用性が阻害される事例が確認された。今後、庁舎をはじめとする被災建築物の管理者等に対してヒアリングを実施し、部位の損傷と地震後の継続使用との関係性について詳細に分析する必要がある。
5) 免震建築物のダンパー取付け部に接続されたスラブやコンクリート部が大きく損傷した事例が確認された（共同住宅 AN、共同住宅 AO)。
6) 耐震改修された建築物において、建築物の損傷が大きい事例が確認された（庁舎 AR、郵便局 AT、学校 AU)。また、上部構造物の損傷は小さいものの、基礎構造の被害などにより継続使用性が阻害された事例も確認された（庁舎 AP)。東日本大震災においても耐震改修された RC 造建築物の構造部材の被害が確認されているが、同じ被害パターンであるかは今後検証が必要である。
7) 1981 年以前に設計された建築物において、柱や柱梁接合部の大きな損傷により、建築物が倒壊または部分崩壊した事例が確認された（庁舎 AW、共同住宅兼店舗 AX、診療所 AY、店舗 AZ、店舗 BA、共同住宅兼店舗 BB、寺社 BC、事務所 BD、共同住宅兼店舗 BE、住宅 BF)。
8) 上記で確認された被災建築物の周辺でほとんど被害の見られない多くの建築物が確認されている。それらの建築物の被害が少なかった要因についての分析を行うことが求められる。

参考文献

5.5-1.　日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、2016.3

5.5-2.　平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第一次調査報告（その１　4 月 15 日（本震前）調査結果速報)、国立研究開発法人建築研究所 HP(http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/01kumamoto_1.pdf)、国土交通省　国土技術政策総合研究所 HP(http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h28/20160415kumamotokentiku.pdf)

5.5-3.　平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第一次調査報告（その２　4 月 16 日（本震後）調査結果速報)、国立研究開発法人建築研究所 HP(http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/02kumamoto.pdf)、国土交通省　国土技術政策総合研究所 HP(http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h28/20160416kumamotokentiku2.pdf)

5.5-4.　平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第五次調査報告（速報）(火災被害ならびに建築設備被害に関する調査)、国立研究開発法人建築研究所 HP(http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/05-kumamoto.pdf)、国土交通省　国土技術政策総合研究所 HP(http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h28/20160426kumamotokentiku7.pdf)

5.6 基礎・地盤の被害

5.6.1 調査の目的と概要

基礎・地盤に関する調査として、国総研・建研で(1)益城町の被害調査、(2)熊本市南区の液状化被害の目視踏査を実施[5.6-1]しており、その調査結果に基づく分析を実施した。(1)益城町の被害調査について、益城町中心部では、県道 28 号からの南北方向の距離に応じて、建築物及び地盤の被害程度に差異が見られるとの報告があった。そこで、被害状況を把握するために、益城町内を南北方向に通る 2 本の道路を抽出し（安永地区：A 通り、宮園地区：B 通り）、道路沿いの建築物に対して、基礎・地盤の地震被害に重点を置いた被害調査（以下、通り悉皆調査と記す）を実施した。また、(2)液状化被害の目視踏査については、地震発生直後に報道された情報や東京電機大学地震・地盤工学研究室による被害調査報告[5.6-2]に基づき、液状化被害が報告された熊本市南区近見地区及び刈草地区について現地調査を実施した。

図 5.6-1 に調査範囲を示す。第 1 次及び第 2 次調査で建築物被害が大きいとされた益城町と、液状化による被害が見られているとされた熊本市南区周辺を調査した。

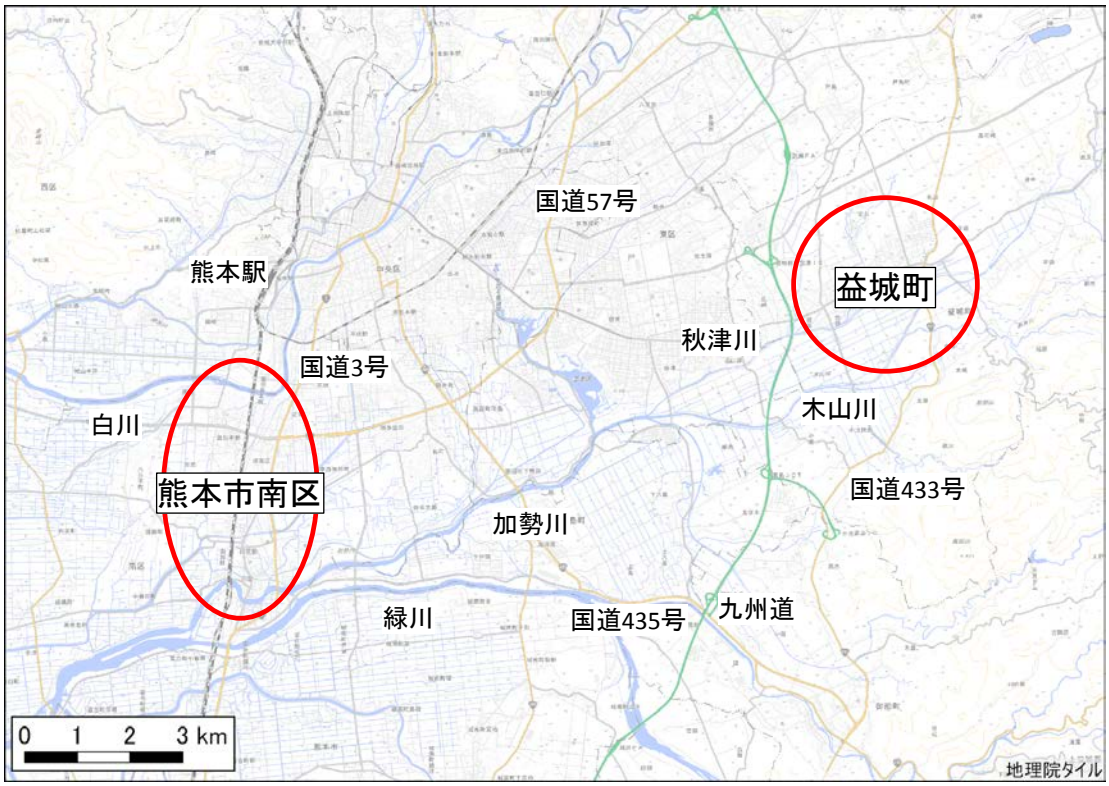


図 5.6-1 調査地域（背景地図：国土地理院電子地形図（タイル））

5.6.2　益城町の調査結果

(1) 調査範囲と調査方法

図 5.6-2 に、益城町で調査対象とした 2 本の道路の位置を示す。図中のコンターは標高を示しており、暖色→寒色で標高が高くなっている。国総研・建研が実施した益城町の調査で対象としたA通り 78 棟、B 通り 67 棟のうち、日本建築学会で実施された悉皆調査（5.2 節）（以降、学会悉皆調査と記す）と重複している建物はA通り 29 棟、B 通り 65 棟となっている。通り悉皆調査は表 5.6-1 に示すクライテリアで実施した。建築年代および構造種別の特定は外観目視を基本とし、必要に応じて学会悉皆調査データを参照した。具体的な被害判定は外観目視により実施しており、上部構造の被災度は文献 5.6-3)の方法に基づいて実施し、倒壊と判断される建築物以外の上部構造の被災度を主として外観から大破、中破、軽微・無被害の 3 区分により判定した。また、基礎・地盤の被災度は地盤変状の有無とコンクリート製基礎の損傷度により判断した。

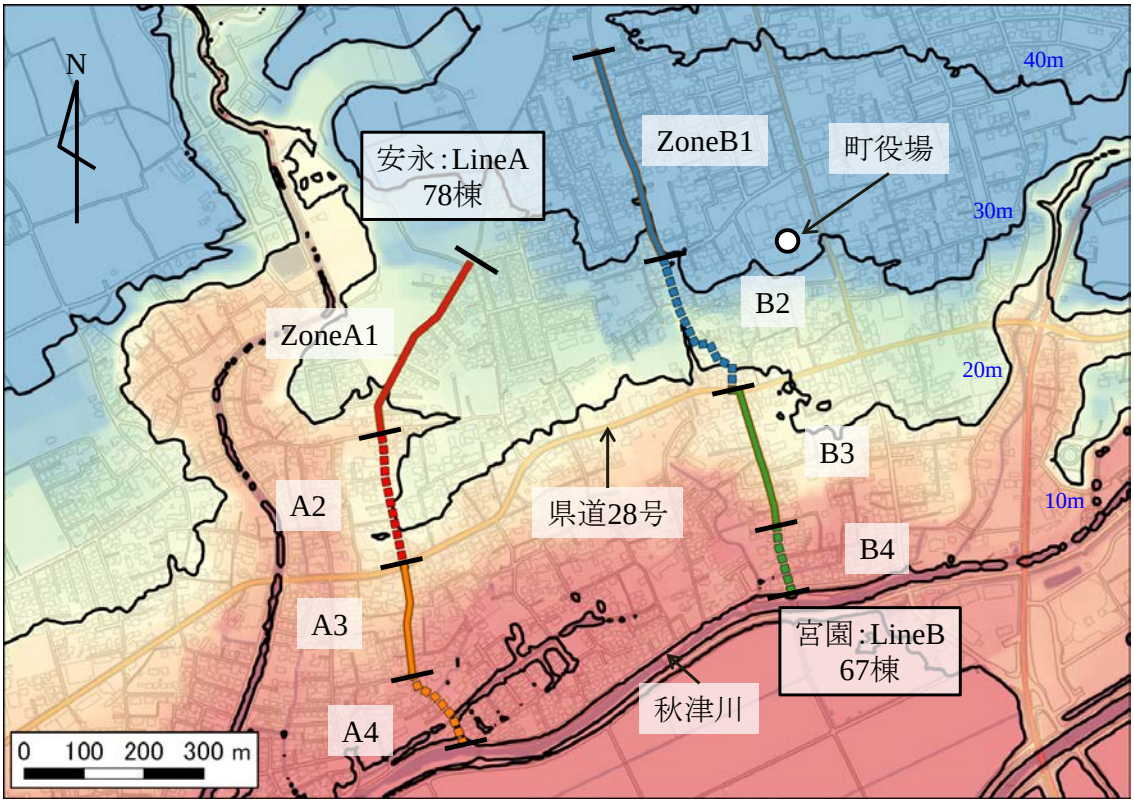


図 5.6-2　調査対象地域と調査対象とした道路（背景地図：国土地理院基盤地図情報を使用）

表 5.6-1　通り悉皆調査の被災度判定のクライテリアと方法

項目	クライテリア	方法
建築年	―	外観目視 学会悉皆調査データ
用途，構造種別 階数，基礎形式	―	外観目視 ヒアリング 学会悉皆調査データ
沈下，傾斜	無 / 有	外観目視 傾斜計等
上部構造の被災度	岡田･高井(1999)[3.6-3)]	外観目視
基礎の被災度	無 / 軽微 / 部分的 / 顕著 / 不明	外観目視
地盤変状の程度	無 / 軽微 / 顕著 / 不明	外観目視

図 5.6-2 に示すように、調査対象とした益城町は南向きの緩斜面に位置しており、調査対象の 2 つの道路も南向きに傾斜している。図 5.6-3 及び図 5.6-4 に調査対象地域の平均標高と平均傾斜量を示す。平均標高は調査対象建物の敷地内の標高を国土地理院発行の基盤地図情報数値標高モデル（5m メッシュ）より読み取り平均値として算出し、平均傾斜量は敷地内の数値標高を最小二乗法で直線近似し、その傾きより算出した。平均標高は LineA、LineB 共に Zone1＞Zone2＞Zone3＞Zone4 となっており、10～30m 程度の標高となっている。また、平均傾斜量についても Zone1＞Zone2＞Zone3＞Zone4 となっており、LineB の県道 28 号線北側（ZoneB1）では傾斜量が大きいため、高い盛土擁壁が多くみられる。

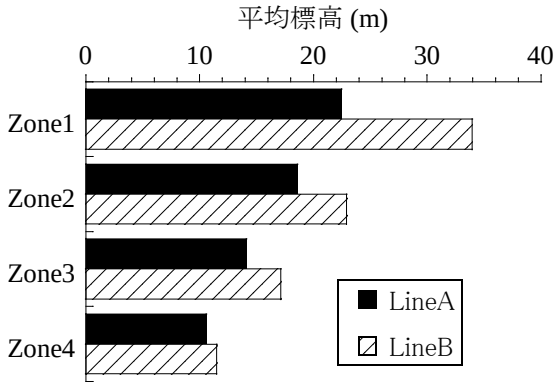


図 5.6-3　調査対象地域の平均標高

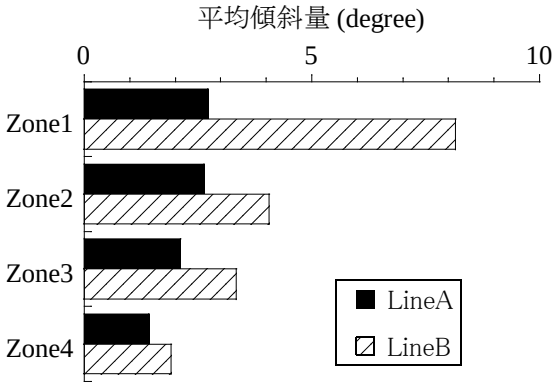


図 5.6-4　調査対象地域の平均傾斜量

(2) 調査結果

写真 5.6-1 に、A 通りの県道 28 号の北側で見られた道路の舗装の様子を示す。舗装の所々で認められるひび割れや段差は、地盤変状が生じた痕跡と考えられる。写真 5.6-2、5.6-3 に 1 階が倒壊している建築物とその基礎の様子を示す。基礎にはひび割れが確認できるが、破壊には至っておらず、大きな地盤変状は確認できなかった。写真 5.6-4、5.6-5 に写真 5.6-2 の近辺の中破と思われる建築物とその基礎の様子を示す。基礎にはひび割れが見られ、地盤変状も確認できる。写真 5.6-6～5.6-8 に、軽微・無被害と思われる建築物（住民からの聞き取りにより築 20 年ほど）と、その基礎・地盤の様子を示す。基礎にはひび割れが見られ、地盤変状も確認できるが、被害の程度は小さい。写真 5.6-9 に新興住宅地と思われる建築物群の様子を示す。建築物の被害は見られず、前面道路に大きな損傷は見当たらない。



写真 5.6-1　A 通り・県道 28 号北側の道路の舗装の様子



写真 5.6-2　1 階が倒壊している建築物



写真 5.6-3　写真 5.6-2 の基礎のひび割れを確認。地盤変状は確認できなかった。



写真 5.6-4　中破と思われる建築物



写真 5.6-5　写真 5.6-4 の基礎のひび割れ及び地盤変状を確認



写真 5.6-6　軽微・無被害に見える建築物



写真 5.6-7　写真 5.6-6 の建築物周辺の地盤変状



写真 5.6-8　写真 5.6-6 の建築物の基礎の様子。ひび割れを確認



写真 5.6-9　新興住宅地と思われる建築物群。建築物は無被害に見える。道路舗装も健全

写真 5.6-10 に、A 通りの県道 28 号の南側で見られた道路の舗装の様子を示す。県道 28 号の北側と同様に、道路舗装には地震によるものと思われるひび割れや段差が見られたが、被害の程度は北側よりも大きい。写真 5.6-11 に軽微・無被害と思われる建築物の様子を示す。写真 5.6-12 に示すように、周囲には地盤変状が認められ、一部に盛土の崩落と思われる被害が認められたが、基礎は無損傷であった。写真 5.6-11 の建築物の建築年代は、比較的新しいように見えるが、写真 5.6-13 に示すような、建築年代が古いと思われる建築物は、県道 28 号の南側で多数倒壊していた。写真 5.6-14 に、造成宅地に立地する軽微・無被害と思われる建築物の様子を示す。建築物の被害は小さいと見られるが、写真 5.6-15 のように、犬走りに多数のひび割れが見られ、地盤変状が生じていると思われる。さらには、写真 5.6-16 に示すように、基礎にひび割れも認められた。写真 5.6-17 に、大破と思われる建築物の様子を示す。写真 5.6-18 に示すように、この建築物では基礎周りに地盤変状が認められ、基礎にも比較的大きなひび割れが認められた。写真 5.6-19 に、秋津川に近い建築物の被害の様子を示す。秋津川に近づくにつれて、建築物の被害は小さくなる印象を受けた。写真 5.6-19 の建築物についても、軽微・無被害と思われる。ただし、秋津川近くの地盤では写真 5.6-20 のように、地震によると思われる地盤変状が多数見られた。



写真 5.6-10　A 通り・県道 28 号南側の道路の舗装の様子。北側に比べて損傷が大きく見える。



写真 5.6-11　軽微・無被害と思われる建築物



写真 5.6-12　写真 5.6-11 の建築物の基礎と周辺地盤。地盤変状が認められるが、基礎は無被害



写真 5.6-13　倒壊した建築物。県道 28 号南側は古く見える建築物が多数倒壊



写真 5.6-14　造成宅地に立地する軽微・無被害と思われる建築物

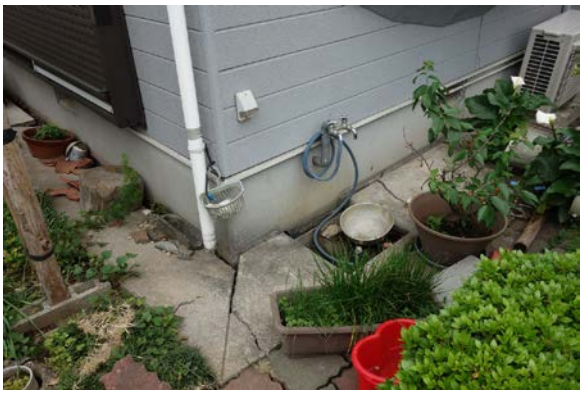


写真 5.6-15　写真 5.6-14 の基礎周りの様子。地盤変状が生じていると思われる損傷が見られる。



写真 5.6-16　写真 5.6-14 の建築物の基礎の様子。ひび割れを確認



写真 5.6-17　大破と思われる建築物



写真 5.6-18　写真 5.6-17 の建築物の基礎周りの様子。基礎にひび割れが見られ、地盤変状も認められる。



写真 5.6-19　秋津川に近い軽微・無被害に見える建築物



写真5.6-20　写真5.6-19の建築物の周辺地盤、秋津川近くは地盤変状が大きい。

写真5.6-21に、B通りの県道28号の北側で見られた道路の舗装の様子を示す。A通りと同様に、舗装には所々でひび割れや段差が認められ、地盤変状が生じた痕跡と考えられる。県道28号より北側では、写真5.6-22に示すように、盛土擁壁上に建てられている建築物が多く見られる。写真5.6-22の建築物は、調査範囲の北端近くに位置するが、建築物の被害は小さく、擁壁にも損傷が見当たらない。写真5.6-22の建築物、写真5.6-23の建築物、写真5.6-25の建築物の順に、B通り沿いに県道28号に向かって並んでいるが、写真5.6-23の建築物では写真5.6-24に示すような盛土擁壁の損傷が認められ、写真5.6-25の建築物では盛土擁壁が崩落しており、県道28号に近づくにつれて盛土擁壁の被害が大きくなる傾向を示す。写真5.6-26の建築物は県道28号の近くに位置しているが、1階が倒壊している。写真5.6-27は、この建築物の基礎の一部分の様子であるが、ひび割れを確認することができた。



写真5.6-21　B通り・県道28号北側の道路の舗装の様子（被害の大きい箇所）



写真 5.6-22　軽微・無被害に見える建築物。擁壁にも損傷が見当たらない。



写真 5.6-23　軽微・無被害に見える建築物。擁壁に損傷あり。



写真 5.6-24　写真 5.6-23 の建築物周辺地盤の様子。盛土擁壁に変位した形跡あり。



写真 5.6-25　軽微・無被害に見える建築物。擁壁は崩落、基礎に損傷なし（写真 5.6-23 より南の建築物）。



写真 5.6-26　倒壊した建築物



写真 5.6-27　写真 5.6-26 の建築物で確認できた基礎の様子。一部にひび割れを確認できる

写真 5.6-28 に、B 通りの県道 28 号の南側で見られた道路の舗装の様子を示す。道路は砂利による応急措置が取られていると思われるが、写真の奥では道路の崩落も確認でき、A 通りと同様に、県道 28 号の南側で見られる舗装の損傷及び地盤変状は北側よりも大きい印象を受けた。写真 5.6-29 に建築年代が新しいと思われる建築物の被害の様子を示す。この建築物は 1 階が倒壊しており、基礎の状態を十分に確認することはできなかったが、写真 5.6-30 に示すように、確認できた範囲では基礎に損傷が見られず、地盤変状も見られなかった。一方、写真 5.6-31 に示すように、建築年代が古く見える建築物は、県道 28 号の南側では多数倒壊していた。写真 5.6-32 に、大破と思われる建築物の様子を示す。写真 5.6-33 に示すように、この建築物の床下では、床束がほとんど外れており、基礎の立ち上がり部が曲げ破壊していた。写真 5.6-34 に示すように、この建築物の周辺地盤には地盤変状が見られる。写真 5.6-35 に、大破と思われる建築物の様子を示す。1 階部分が大きく変形しており、写真 5.6-36 に示すように、基礎の破壊も見られる。また、この建築物は盛土擁壁の上に位置しており、写真 5.6-37 に示すように、近傍の擁壁には大きな亀裂が認められる。一方で、写真 5.6-38 に示す建築物は、写真 5.6-32、35 の近くに位置しており、上部構造の被害が大きい例であるが、写真 5.6-39 に示すような地盤変状が認められるものの基礎の損傷は見当たらない。写真 5.6-40 は、倒壊した建築物の様子であるが、地盤変状が認められ、基礎にも損傷が認められる。写真 5.6-41 は、倒壊には至っていない建築物の様子であるが、ある程度の残留変形が見られると共に、写真 5.6-42 に示すように、基礎のひび割れや地盤変状も見られる。



写真 5.6-28　B 通り・県道 28 号南側の道路の舗装の様子。



写真 5.6-29　建築年代が新しいと思われる倒壊建築物



写真 5.6-30　写真 5.6-29 の建築物で辛うじて確認できる基礎。地盤変状はなく、基礎にも損傷は見当たらない。



写真 5.6-31　倒壊した建築物。A 通りと同様に、県道 28 号南側は古く見える建築物が多数倒壊



写真 5.6-32　大破と思われる建築物



写真 5.6-33　写真 5.6-32 の建築物の基礎。床束は全て外れ、基礎は立ち上がり部で曲げ破壊が生じている。



写真 5.6-34　写真 5.6-32 の建築物の周辺地盤。地盤変状は大きいと思われる。



写真 5.6-35　大破と思われる建築物



写真 5.6-36　写真 5.6-35 の建築物の基礎。破壊しているが打継があるようにも見える。



写真 5.6-37　大破と思われる建築物



写真 5.6-38　写真 5.6-37 の建築物の周辺地盤。変状は認められるが、基礎の損傷は見えない。



写真 5.6-39　被害の大きい建築物。周辺地盤の変状が認められ、基礎の損傷も認められる。



写真 5.6-40　大破と思われるが倒壊には至っていない建築物



写真 5.6-41　写真 5.6-40 の建築物の基礎。ひび割れが認められるが、破壊はしていない。地盤変状は認められる。

(3) 調査結果の整理

県道 28 号線北側の ZoneB1 の被害事例として、盛土擁壁の被害を写真 5.6-42 に示す。図 5.6-4 に示したように、ZoneB1 では平均傾斜量が他の地域に比べて大きく、盛土擁壁上に建物が立地しているケースが多い。ZoneB1 では南に位置する建築物ほど盛土擁壁の被害が大きくなる傾向が認められた。



写真 5.6-42　県道 28 号線北側の ZoneB1 で見られた盛土擁壁の被害事例

県道 28 号線南側の地域では、甚大な被害を受けている建築物が多く見られ、加えて損傷を受けた基礎や地盤変状も多数認められた。地盤の地震時挙動が建築物の被害に及ぼす影響として、静的な地盤変状と動的な地盤震動が考えられるが、ここでは静的な地盤変状に着目し、建築物の被害と基礎・地盤の被害の関係について分析する。益城町内で確認された大破・倒壊に相当する被害を受けた建築物において、確認できた基礎・地盤関連の被害は、次の 3 つのパターンに分類できる。

1)　建築物が倒壊したことにより基礎もしくは敷地地盤全体の状況確認が困難なもの（写真 5.6-43）
2)　地盤変状が認められ、基礎に損傷が著しいもの（写真 5.6-44、写真 5.6-45）
3)　地盤変状が認められ、基礎の損傷が軽微・無損傷なもの（写真 5.6-46）

地盤変状が建築物被害に影響を及ぼすメカニズムを構造力学的な観点から考えると、地盤変状が生じることによって基礎が破壊し、1 階柱脚に強制変位が作用することによって、建築物に構造的被害が生じるメカニズムが考えられる。このとき、基礎固定条件で上部構造が崩壊状態となるような部材変形角を 1 階柱脚の強制変位によって生じさせるためには相当量の変位量が要求され、基礎にはパターン 2)の写真 5.6-45 で見られる程度以上の破壊状態が要求されることになる。しかし、このような基礎被害は調査の中ではほとんど認められなかった。よって、パターン 1)のような倒壊事例に対して基礎の状態を十分に確認できていないため、現時点で断定することはで

きないが、建築物に甚大な被害を生じさせた外力要因として、地盤変状の影響は小さいと思われる。今後、地盤調査等の実施により、地盤震動が地表面地震動の場所による差異に及ぼす影響を解析的に検討するとともに、地震動の違いが建築物の応答とそれに伴う被害発生に及ぼす影響についても分析し、局所的に甚大な建築物被害をもたらした要因を明らかにすることが重要と考えられる。



写真 5.6-43　建築物の倒壊により基礎もしくは敷地地盤全体の状況確認が困難な事例（2 例）



写真 5.6-44　地盤変状が認められ、基礎に損傷が著しい事例 1



写真 5.6-45　地盤変状が認められ、基礎に損傷が著しい事例 2



写真 5.6-46　地盤変状が認められるが、基礎の損傷が軽微・無損傷の事例

（4）建築物と基礎地盤の被害率

建築物の被害と基礎・地盤の被害の関係について、通り悉皆調査結果より得られた被害率より分析する。図 5.6-5 に対象とした建築物の母数を地図上に示す。ここでは、1981 年以降の木造建物を対象として、建築物大破以上の被害率、基礎被害顕著の割合、地盤変状ありの割合をそれぞれ算出する。図 5.6-6 に建築物大破以上に対する基礎被害顕著の割合の関係を示す。建築物大破以上の割合が増大するほど基礎被害顕著の割合も増大するが、同図のほとんどのプロットは 45°の直線、すなわち建築物大破以上＝基礎被害顕著より下側となっており、基礎被害顕著の割合は建築物大破以上の割合よりも小さくなっている。すなわち、被害率の観点からも基礎の損傷が建築物の被害に及ぼした影響は大きくないと言える。図 5.6-7 に建築物大破以上に対する地盤変状ありの割合の関係を示す。基礎被害顕著の場合と同様に、建築物大破以上の割合が増大するほど基礎被害顕著の割合も増大するが、その増加量は小さい。また、建物大破以上の割合が小さい場合でも地盤変状ありの割合は約 40%以上となっている。すなわち、建築物の被害に関係なく、地盤変状が現れていることが分かる。図 5.6-8 に地盤変状ありに対する基礎被害顕著の割合の関係を示す。同図の場合、全プロットが 45° の直線、すなわち地盤変状あり＝基礎被害顕著より下側となっており、基礎被害顕著の割合は地盤変状ありの割合より小さくなっている。(2)で示したように、静的問題において地盤変状が建築物被害に影響を及ぼす場合のメカニズムは、地盤変状の発生→基礎の損傷→建築物の損傷であると仮定すると、同図は地盤変状が生じても基礎の損傷が生じにくいことを示していると考えられる。図 5.6-9 に平均傾斜量に対する地盤変状ありの割合の関係を示す。同図では平均傾斜量と地盤変状ありの割合の間に明確な相関関係は見られない。また、平均傾斜量の大きい ZoneB1 での地盤変状ありの割合は、他の Zone に比べて小さくなっている。

以上、基礎被害顕著の割合が建築物大破以上や地盤変状ありの割合よりも小さいこと、建築物大破以上の割合が小さくても地盤変状ありの割合が約 40%以上あることから、通り悉皆調査の結果は、(2)で示した「建築物に甚大な被害を生じさせた外力要因として地盤変状の影響は小さい」という結論を支持していると考えられる。

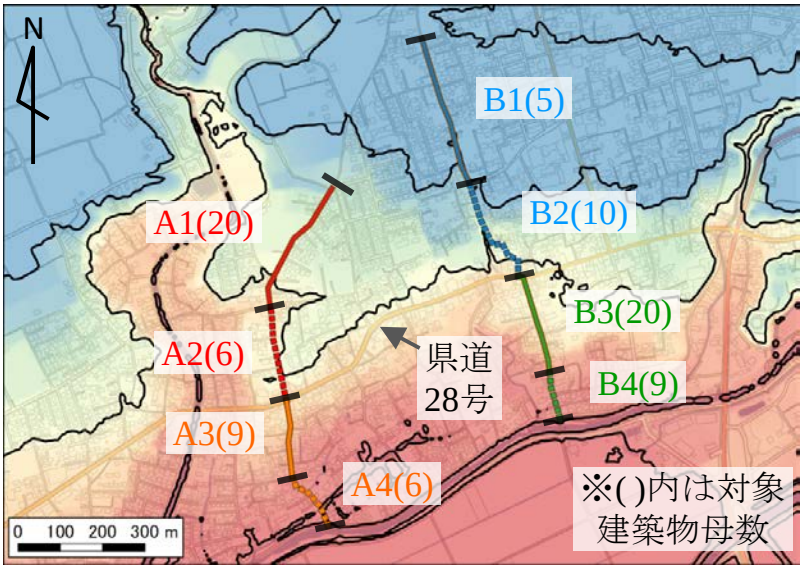


図 5.6-5　Zone 毎の対象建築物母数（1981 年以降の木造建築物）

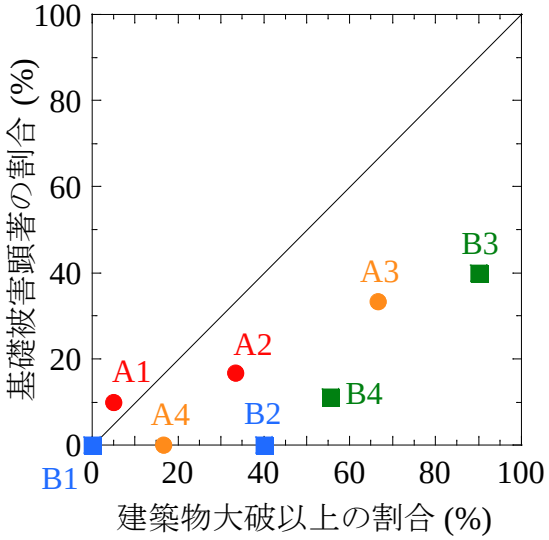


図 5.6-6　建物被害と基礎被害の割合の比較

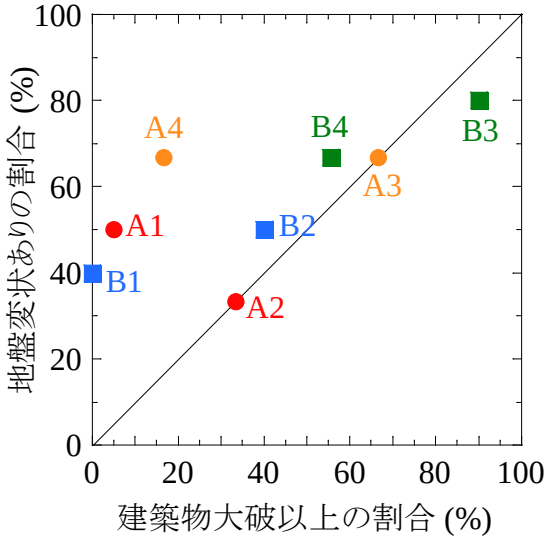


図 5.6-7　建物被害と地盤変状の割合の比較

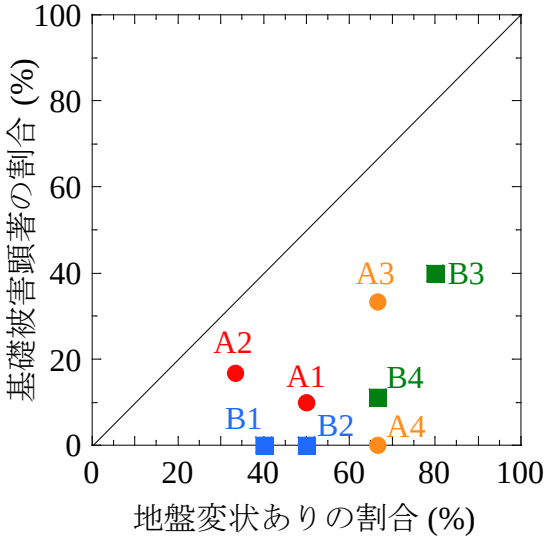


図 5.6-8　地盤変状と基礎被害の割合の比較

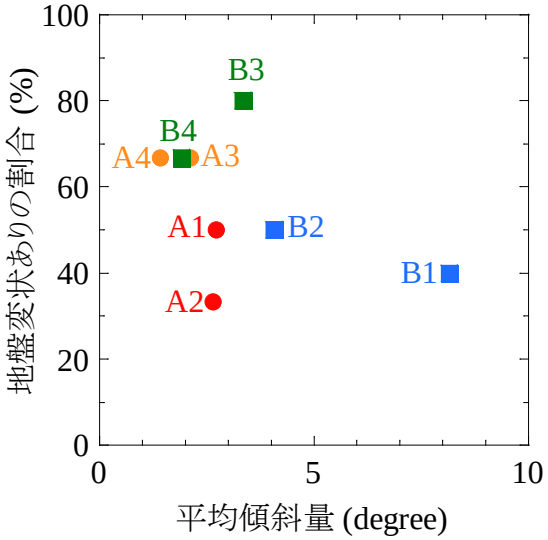


図 5.6-9　平均傾斜量と地盤変状の割合の比較

5.6.3　熊本市南区の調査結果

地盤の液状化及びそれによる建築物の被害の調査は、図 5.6-10 に示す熊本市南区近見地区及び刈草地区の赤点線の範囲を対象に、地上目視により実施した。液状化発生の有無は、地震直後の調査で地表の噴砂痕などにより確認する場合が多いが、調査時(4 月 23 日)は発災後 1 週間が経過しており、その間には調査当日を含めて降雨もあったため、噴砂痕などの痕跡が流失してしまっていることも考えられる。そこで、本調査では顕著な地盤変状の有無と建築物の沈下・傾斜及び周辺地盤の沈下の状況によって液状化の発生の有無を判断した。

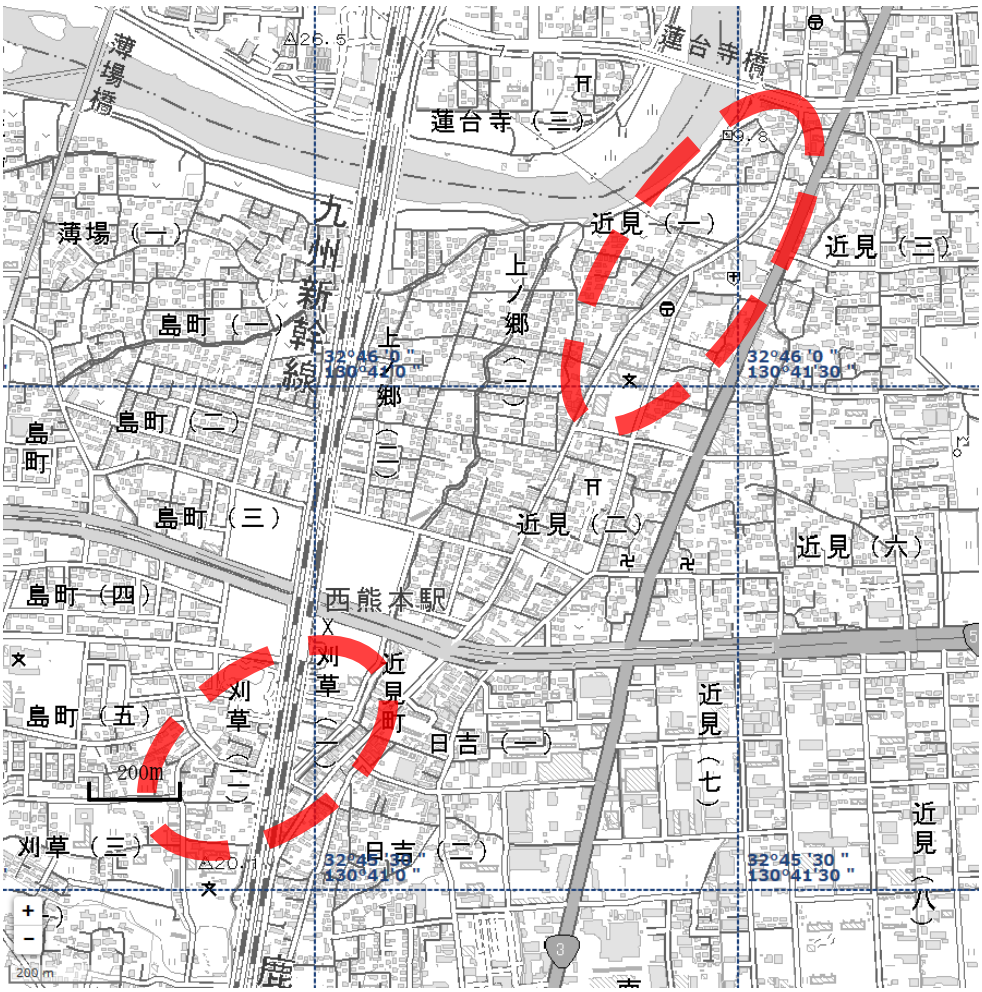


図 5.6-10 熊本市南区近見地区及び刈草地区における液状化被害調査の範囲（赤点線）（背景地図：国土地理院電子地形図（タイル））

写真 5.6-47、5.6-48 に示すように、2 階建て木造住宅が上部構造に損傷のないまま沈下・傾斜している状況が多く見られた。これは、1995 年兵庫県南部地震や 2011 年東北地方太平洋沖地震で液状化した地域においても広く見られた被害であり、地盤の液状化によるものと思われる。また、写真 5.6-49、5.6-50 に示すように、平家建木造住宅でも沈下・傾斜している場合が少なからず見られた。なお、写真 5.6-49 に示すように、この住宅は近傍地表に見られる地割れ痕跡の延長線上に位置している布基礎の立ち上がり部分に地盤変位に起因すると思われる大きな裂傷が認められるが、他の平家建木造住宅でも同様の基礎被害が多いわけではない。また、今回の地震では、液状化被害により、倒壊・崩壊に至ったものがないことが確認している。この地域の木造住宅の基礎形式は、布基礎の比率が高いように見えた。

写真 5.6-51、5.6-52 及び 5.6-53、5.6-54 は、地盤の液状化により沈下・傾斜したと思われる 2 階建て店舗併用住宅及び 3 階建て商業建築物である。写真から、これらの沈下・傾斜の程度は、上述の木造住宅のそれに比べて、大きいように見える。同様の建築物の沈下・傾斜被害は、他にも数棟見られた。なお、これらの建築物の基礎形式は確認できなかったが、沈下・傾斜の状況から、直接基礎と思われる。写真 5.6-55、5.6-56 は、地盤の液状化により周辺地盤が大きく沈下したと思われる病院である。周辺地盤が沈下して建物との間に大きな段差が生じていることから、この建築物は（先端支持による）杭基礎である可能性が高い。なお、写真 5.6-57 は、写真 5.6-55 と概ね同じアングルで平成 28 年 4 月 15 日の午前中に撮影されたものである。写真 5.6-56、5.6-57 の比較から、4 月 14 日以降に発生した複数回の大地震によってこの建築物の周辺地盤が沈下したことが示唆される。一方で、倒壊建築物の比較的近傍に位置する小学校（写真 5.6-58、5.6-59）においても、校舎や体育館の周辺地盤が沈下している状況が見られたが、その程度は写真 5.6-55～57 の病院に比べて明らかに小さい。現時点では、この地域における液状化による地盤沈下量の相異がどんな原因により生じたのかは不明である。



写真 5.6-47　地盤の液状化により沈下・傾斜したと思われる 2 階建て木造住宅



写真 5.6-48　写真 5.6-47 の建築物の 1 階玄関部分の沈下状況



写真 5.6-49　地盤の液状化により基礎の損傷を伴って沈下したと思われる平家建木造住宅



写真 5.6-50　写真 5.6-49 の建築物の縁側部分の沈下状況



写真 5.6-51　地盤の液状化により沈下・傾斜したと思われる 2 階建て店舗併用住宅



写真 5.6-52　写真 5.6-51 の建築物の 1 階部分の沈下状況



写真 5.6-53 地盤の液状化により沈下・傾斜したと思われる 3 階建て商用建築物



写真 5.6-54　写真 5.6-53 の建築物の 1 階部分の沈下状況



写真 5.6-55　地盤の液状化により周辺地盤が大きく沈下したと思われる病院



写真 5.6-56　写真 5.6-55 の建築物の周辺地盤の沈下状況（平成 28 年 4 月 23 日午後撮影）



写真 5.6-57　写真 5.6-55 の建築物の周辺地盤の沈下状況（平成 28 年 4 月 15 日午前撮影）



写真 5.6-58　小学校校舎の周辺地盤の沈下状況（熊本市南区近見）



写真 5.6-59　写真 5.6-58 の小学校の体育館の周辺地盤の沈下状況

JR 線の東側の範囲では、写真 5.6-60、5.6-61 に示すように、地盤の液状化により沈下・傾斜したと思われる 3 階建て店舗併用住宅が数棟見られた。また、液状化被害により、倒壊・崩壊に至ったものがないことが確認している。写真 5.6-60 では、この建築物の沈下・傾斜の程度は、近見地区における同様のケース（写真 5.6-51、5.6-53）に比べて大きいように見えるが、他の建築物では必ずしもそうではない。また、写真 5.6-62 に示すように、隣接する建築物同士が近づくような傾斜形態（いわゆる「おじぎモード」）も見られた。　一方、JR 線の西側の範囲では、建築物の大多数は 2 階建て木造住宅で、地盤にも建築物にも地盤の液状化に起因する被害があるようには見えなかった。



写真 5.6-60　地盤の液状化により沈下・傾斜したと思われる 3 階建て店舗併用住宅



写真 5.6-61　写真 5.6-60 の建築物の 1 階部分の沈下状況



写真 5.6-62　地盤の液状化によると思われる隣接建築物同士が近づくような傾斜形態

5.6.4 まとめ

本節では、建築物の被害要因になりうる基礎の損傷及び敷地地盤の変状の状況を確認するために、1)建築物の被害が特に大きいとされた益城町の通り目視調査（南北方向)、2）別途の情報で液状化被害が見られているとされた熊本市南区の現地踏査、の 2 つの調査結果を報告した。

この中で、益城町の通り目視調査地域における被害事例について、①宮園地区の県道 28 号の北側では、地形の関係上、盛土擁壁で宅地を造成している物件が多いが、県道 28 号に近づくにつれて、建築物被害及び盛土擁壁の被害が大きくなる傾向があること、②安永地区、宮園地区共に、県道 28 号の南側では北側よりも建築物の被害が数多く見られること、③県道 28 号の南側で見られた大破・倒壊の建築物において、地盤変状と基礎の損傷が共に認められる事例、及び地盤変状が認められるものの基礎の損傷が小さい事例が見られたことを示した。現時点で断定することはできないが、構造力学的な観点から地盤変状が建物被害に及ぼすメカニズムを考えると、この地域の建築物被害に対して、地盤変状ではなく振動が大破等の甚大な建築物被害の主要因であった可能性が高いと考えられる。

また、熊本市南区の液状化被害調査については、④液状化被害は南区で広く見られるが、液状化による地盤沈下量には地域差が見られたこと、⑤現時点で液状化による地盤沈下量の大小の原因は不明であること、⑥液状化により倒壊・崩壊に至った事例は見当たらなかったこと、を示した。

今後の主な課題として、益城町の県道 28 号南側で建築物及び盛土擁壁の被害が大きかったことについては、これらが受けた地震動特性を明らかにすることが重要であり、表層地盤の調査と得られた物性値に基づく表層地盤増幅特性を考慮した強震動評価が必要であることが挙げられる。

参考文献

5.6-1)　平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第四次調査報告
(http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/index.html;
http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/2016/index.html)

5.6-2)　東京電機大学理工学部理工学科地震・地盤工学研究室 HP
(http://yasuda.g.dendai.ac.jp/)

5.6-3)　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，No. 524，pp.65-72，1999.10.

5.7　免震建築物の被害

5.7.1　調査の目的と概要

平成 28 年熊本地震の被災地である熊本県内には、病院、共同住宅など確認された範囲で十数棟の免震建築物が存在している。これまでの震災等を通じて免震構造の有効性が実証されつつあるところであるが、実際の大地震（地震動）を経験した免震建築物の事例は少なく、地震時の挙動や地震後の被害状況を把握し、今後の基準の整備や設計に資する知見を取りまとめることの重要性は高い。そこで、過去の大臣認定等における性能評価やウェブで公開されている建築物情報に基づき抽出した免震建築物について、次に掲げる項目について調査・検討を実施した。

(1) 被害状況調査（建築物Ａ～Ｊ）

熊本県内の免震建築物 10 件 12 棟について、地震発生後の状況を把握するための現地調査を行った。対象地域内の建築物及び地震観測点の位置を図 5.7.1 に、また、各種の設計情報を表 5.7.1 に示す。第１次調査を 2016 年 4 月 29 日（金）（建築物Ａ～Ｃ、Ｊ）及び 30 日（土）（建築物Ｄ～Ｉ）、第２次調査を 2016 年 7 月 2 日（土）（建築物Ｇ・Ｉ）、第３次調査を 2016 年 8 月 25 日（土）（建築物Ａ・Ｂ・Ｊ）に、それぞれ実施した。

(2) 地震動特性に関する検討（建築物Ａ・Ｂ・Ｄ・Ｆ～Ｊ）

調査建築物のうち、構造計算書などの情報から設計時に想定（設定）した応答変位が把握できている建築物の設計情報を用いて、各建築物の近傍の観測点における地震記録を元に、被災地における地震動の特性についての検討を実施した。

(3) 免震挙動に関するアンケート調査（建築物Ｃ・Ｉ・Ｇ・Ｋ）

免震構造の特性は、免震層で揺れを吸収することにより、免震層より上部において、構造耐力上主要な部分の被害（損傷）の防止とともに家具の転倒等の室内被害を低減できることにあるとされる。熊本地震において、このような免震構造の特性が発揮されたかどうかを、居住者・使用者へのアンケート調査により検討した。



図 5.7.1 調査建築物（Ａ～Ｊ）及び地震観測点（▼）位置（左図は右図の熊本市内を拡大）

表 5.7.1 調査建築物一覧（建築物Ａ～Ｊは図 5.7.1 と対応）

用途等（＊は告示免震[a]）			クリアランス[b]	上部構造 形式[c]	上部構造 階数	免震材料[d]	評価年[e]（建設年）	罫書き記録	近傍[f]の震度（本震）
A	医療施設*		620mm	RC	4	RB, LRB	(2014)	○	6弱
B	事務所*		650mm	S+SRC	8	RB, SnRB, USD	(2015)	○	6強
C	共同住宅*		550mm	RC	13	RB, USD, LD	2007		6強
D	事務所		600mm	S	5+B1	RB, ESD, USD	2012	○	5弱
E	事務所		600mm	S	5+B1	RB, LRB, LSB, OD	2014		6強
F	宿泊施設		450mm	RC	12	HRB, OD	2001		6強
G	共同住宅	A棟	600mm	RC	14	HRB	1996		6強
		B棟	600mm	RC	11	HRB	1996		
H	共同住宅	E棟	600mm	RC	14	HRB	2000		6強
		W棟	600mm	RC	14	HRB	2000		
I	共同住宅*		600mm	RC	15	RB, USD, LD	2006		6強
J	倉庫		580mm	S+SRC	2	RB, LRB, ESD	2011	○	6強
K	共同住宅		550mm	RC	14	RB, USD, LD	2007		5強

a…平成 12 年建設省告示第 2009 号を満たすものとして設計された免震建築物をいう。

b…免震建築物と周囲に設けられた擁壁等との間の水平距離。免震建築物の地震時の動きを損なわないように設けられる。

c…RC：鉄筋コンクリート造、S：鉄骨造、SRC：鉄骨鉄筋コンクリート造

d…RB：天然ゴム系積層ゴム、HRB：高減衰積層ゴム、LRB：鉛プラグ入り積層ゴム、SnRB：錫プラグ入り積層ゴム、ESD：弾性すべり支承、LSB：直動転がり支承、USD：U形鋼材ダンパー、LD：鉛ダンパー、OD：オイルダンパー

e…告示免震については建築確認の取得年を、時刻歴応答解析を行い指定性能評価機関等において性能評価を実施した建築物については性能評価の取得年を指す。

f…それぞれの建築物の近傍における地震観測点。AはK-NET 一の宮、B及びIはJMA 西区春日、DはK-NET 山鹿、 JはK-NET 大津、KはJMA 八代市松江城町、その他（C・E・F・G・H）はすべて中央区大江（自治体震度計）である。

5.7.2 被害状況調査（現地調査）結果

被害状況調査は、免震層内、免震層周囲及び建築物内の目視確認を中心に実施し、同時に管理者及び使用者への聞き取り調査（ヒアリング）も行った。さらに必要に応じ、後日の追加調査等による情報収集も行っている。以下に各建築物における調査結果を示す。

（1）建築物Ａ（医療施設）

建築物Aは、阿蘇市に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

・天然ゴム系積層ゴム・・・・45 基

・鉛プラグ入り積層ゴム・・・27 基

上部構造は、図 5.7.2-1 に示す通り、併設された鉄筋コンクリート（ＲＣ）造２階建ての中央診療棟とＲＣ造４階建ての病棟が、１階の床版を共有する形で全体として一つの免震層に支えられる形式となっている。また、これらの免震部分は、さらにエキスパンションジョイントを介して平家建ての外来棟に接続されている。

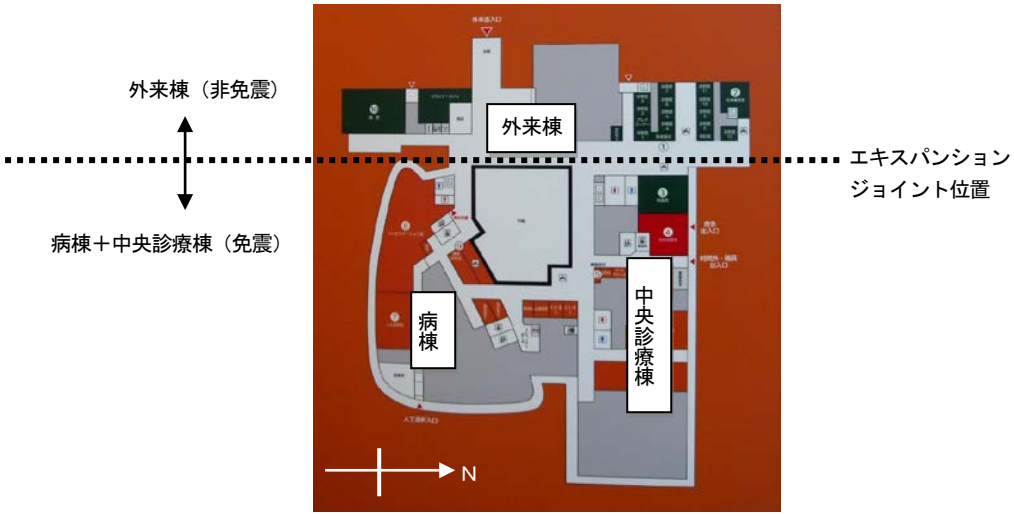


図 5.7.2-1　１階平面図（建築物Ａ）

免震層内に罫書き式の変位計が設置されており、最大で正負約 45cm（トータル約 90cm）の軌跡が記録されていた（写真 5.7.2-1）。建築物の設計変位（地震応答変位）は正負各 33.5cm であり、これを超える数値となっている。ただしこの軌跡は設計上許容される変形量（設計資料に基づく積層ゴム支承の限界変形 56cm に対してその 0.8 倍、すなわち 44.8cm）にはおおむね収まっている。その他、積層ゴム支承について、化粧カバーのずれや胴部保護ゴムの端部のめくれが見られた（写真 5.7.2-2）。外周部では、非免震部分との接続箇所であるエキスパンションカバー周囲の軽微な変状（写真 5.7.2-3：モルタルの欠けや金具の変形）があったが、使用上の問題は見られなかった。

上記のほか、職員の方（１名）へのヒアリングでは、下記の回答があった。

・ライフライン途絶への対応を含め、機能継続上の問題は生じなかった。
・エキスパンションカバーの破損（写真 5.7.2-4：写真 5.7.2-3 の室内側）があった。前震時は軽微な変状で、本震後に破損が確認された。危険はなかったが修繕工事のため取り外した。
・中央診療棟（免震構造）北側緊急外来出入り口のガラス製自動ドア（吊り下げ式）が開いたまま外れていた（写真 5.7.2-5）。
・固定していないロッカー（写真 5.7.2-6，写真 5.7.2-7）の転倒があった。（病棟の２～４階の同じ位置でそれぞれ発生）
・２階で液晶ＴＶの転倒・落下があった。
・中央診療棟１階で手術用器具の棚の転倒があった。

ロッカーの転倒に関して、日本建築学会「非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」[5.7-1)] では転倒物の寸法に基づく簡易な床応答加速度の計算式が示されており、写真 5.7.2-6 のロッカーの寸法（奥行き 37cm、高さ 173cm）を用いると、床応答は 230cm/s^2 以上と推定される。転倒方向は南側である。なお、建築物Ａから東に約４km 離れた地点地震観測点（K-NET 一の宮）があり、そこで記録された本震時の加速度の最大値は、南北方向 261cm/s^2、東西方向 347cm/s^2 と発表 [5.7-2)] されている。

また、当時勤務されていた方々（７名）にヒアリングに代えて記入いただいた免震建築物の挙動に関する質問票によれば、ほとんどの方が地震時に入院患者や室内の様子を見たり周囲のものを抑えたりする等の行動が可能であったことや、２階より上層では吊り下げ物の落下、食器類の落下、家具の転倒などの被害が見られたとの記入があった。

敷地周囲の建築物等の被害は軽微で、住宅の屋根を覆うブルーシートやブロック塀の倒壊が散見される程度であった。

なお、免震建築物が性能を発揮する際には上部構造が大きく水平に動くことになるため、そのとき周囲の人や物に危険等がないよう、免震建築物にはその旨の表示（以下「免震表示」という。）を行っている。本建築物では、免震部分である中央診療棟の救急外来入口と、建築物内部の可動部分（パーティション）周辺に免震表示があった（写真 5.7.2-8、写真 5.7.2-9）。

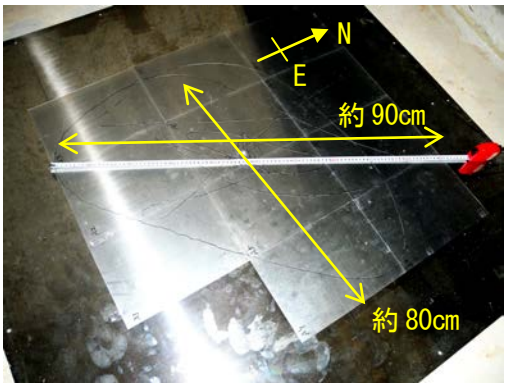


写真 5.7.2-1 罫書き式の変位計（以降の写真では「罫書き」と記す。）の軌跡（フィルムを重ねて写し取ったもの）



写真 5.7.2-2 積層ゴム支承の変状（化粧カバーのずれ、保護ゴムのめくれ）



写真 5.7.2-3 エキスパンションカバー周囲の変状



写真 5.7.2-4 破損したエキスパンションカバー（撤去済み）



写真 5.7.2-5 外れた自動ドアの扉（復旧済み）



写真 5.7.2-6　転倒したロッカー①
（２階病棟内）



写真 5.7.2-7 転倒したロッカー②
（２階病棟内）





写真 5.7.2-8 出入り口周辺における免震表示（右図は左図囲みの表示内容の拡大）





写真 5.7.2-9 建築物内部における免震表示（右図は左図囲みの表示内容の拡大）

（２）建築物Ｂ（事務所）

建築物Ｂは、熊本市中央区に建つ免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

・天然ゴム系積層ゴム・・・・47 基
・錫プラグ入り積層ゴム・・・20 基

・U形鋼材ダンパー・・・・・15 基

上部構造は鉄骨造＋鉄骨鉄筋コンクリート（ＳＲＣ）造の８階建てである。

免震層内に罫書き式の変位計が設置されており、正負約 35cm（トータル 71cm）の軌跡が記録されていた（写真 5.7.2-10）。また、U形鋼材ダンパーの鋼材部分に大きな残留変形（ゆがみ）及びそれに伴う表面の塗装の剥がれが見られた（写真 5.7.2-11）が、いずれも通常の作動範囲内で想定される変状であり、免震挙動への影響はなかったものと考えられる。管理者へのヒアリングでは、実際に地震時に室内では一部のパソコンのモニタが倒れたが、建物として求められている機能は、地震直後から全く支障がなく維持できたとのことであった。

上記のほか、地震応答の痕跡（被害）として、階段室の内装クロスのしわ及び４階の窓サッシ部金具のずれが見られた（写真 5.7.2-12、写真 5.7.2-13）。建物周囲においては、通用口の鋼製扉の取付け部の変形、クリアランスのカバーの端の鉄板の折れ曲がり（写真 5.7.2-14、カバー下に巻き込まれていた）が見られた。管理者によれば、この鉄板部の支障の範囲は前震時にカバー全体のうち 1/3 程度で、本震時にさらにもう 1/3（トータル 2/3）程度拡大したとのことであった。

免震表示（写真 5.7.2-15）は、地下駐車場の出入り口付近の外壁面に設けられていた。

なお上部構造の外観上の変状は調査時点では全く見られなかったが、隣接する建築物では、タイル等の外装材の広範な落下が見られた（写真 5.7.2-16）。

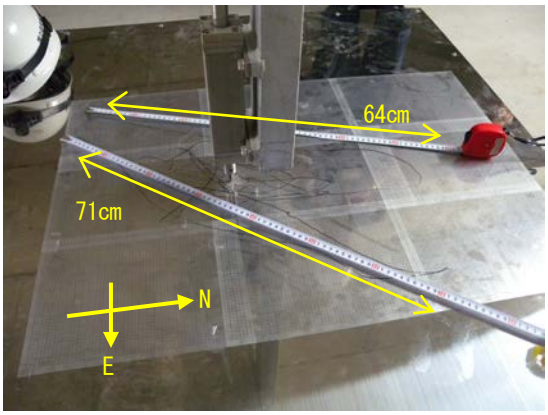


写真 5.7.2-10 罫書きの軌跡（フィルムを重ねて写し取ったもの）

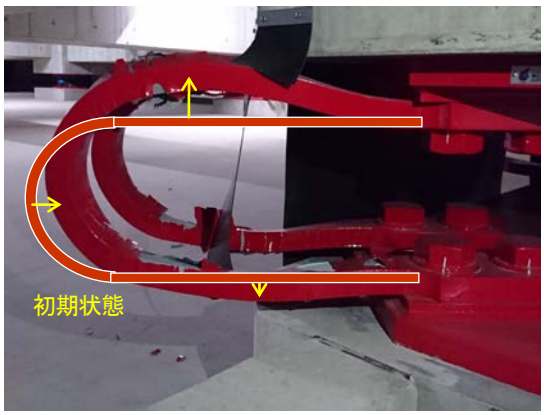


写真 5.7.2-11 鋼材部分の残留変形（ゆがみ）と塗装のはがれ



写真 5.7.2-12 階段室の内装クロスのずれに伴うしわ



写真 5.7.2-13 窓サッシ部金具のずれ

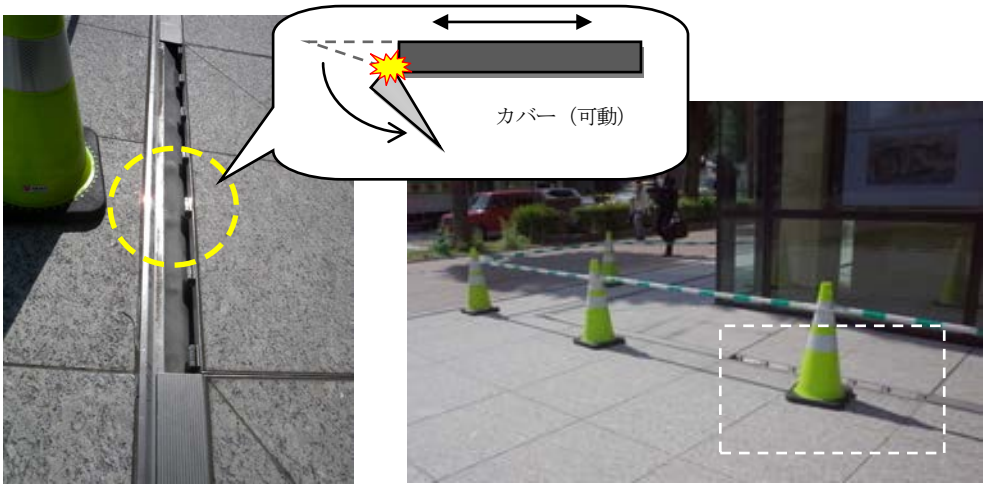


写真 5.7.2-14 外周部エキスパンションカバーの変状（左図は右図囲み部の拡大）



写真 5.7.2-15 免震表示



写真 5.7.2-16 隣接建物（右側）の外装材落下被害

（３）建築物Ｃ（共同住宅）

建築物Ｃは、熊本市中央区に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、図 5.7.2-2 及び次に示すとおりである。

・天然ゴム系積層ゴム・・・14 基
・U形鋼材ダンパー・・・・４基
・鉛ダンパー・・・・・・・６基

上部構造はＲＣ造 13 階建てで、免震層底盤の周囲の立上り部分が約１ｍ程度地表面から露出する形式となっている。

罫書き式の変位計等の設置はなく、最大変位の把握はできていない。免震層内では、構造耐力上主要な部分の被害として、最も外側の床版に直付けして設置されている鉛ダンパーの全て（６基）で、取付け基部と免震層上面のスラブとの定着部が破壊する被害が見られた（写真 5.7.2-17）。鉛ダンパーの屈曲部の表面に生じている皺の目視観察からは、経験した水平変位は 10cm 以内程度と考えられ、破壊した取り付け基部での変形が原因でダンパーが十分にせん断変形できず、設計で想定した性能を発揮できなかった可能性がある。この被害の要因として、スラブ（Fc27、厚さ 220mm、縦横配筋

D13(SD295A)@100,D) の耐力や基部主筋の定着の不足など、当該部分の設計にあたって地震時にダンパーの基部に生ずる応力の想定が十分でなかったことが考えられる。これに対して、取付け基部にはり等が配置されたU形鋼材ダンパーについては、残留変形（ゆがみ）及び塗料の剥がれなど軽微な変状に留まっていた（写真 5.7.2-18、写真 5.7.2-19）。

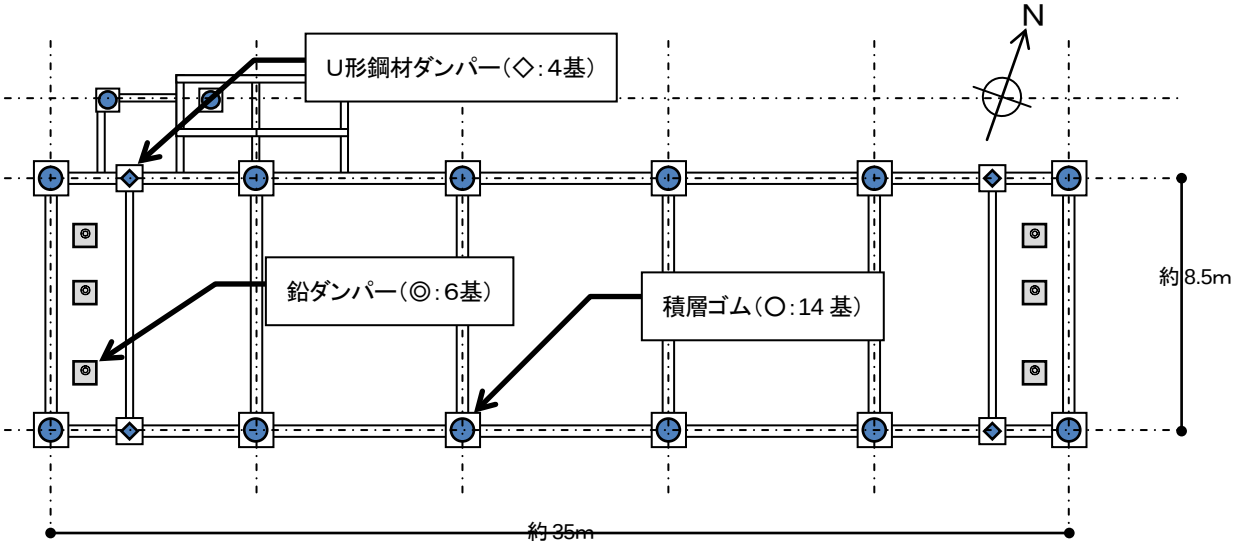


図 5.7.2-2　免震材料配置図（略図）



写真 5.7.2-17 鉛ダンパー取付け基部の被害（床スラブの破損）



写真 5.7.2-18 鋼材ダンパーと鉛ダンパーの比較



写真 5.7.2-19 鋼材ダンパーの変状

その他、積層ゴム支承について、化粧カバーの外れ（写真 5.7.2-20）が見られた。また、免震表示（写真 5.7.2-21）は出入口付近に掲示されていた。

上部構造について、13 階、８階及び７階で構造躯体を目視観察したところ、ひび割れ等の発生は見られなかった。管理会社からのコメントでは、居住者は前震後の時点では内に留まっていたが、本震後には避難所に移動した居住者もいたとのことである。また構造設計者が５階の居住者に行った聞き取り調査では、前震後も本震後も室内のもの（家具等）は転倒していなかったとのことであった。さらに、本建築物については居住者を対象としたアンケート調査も実施しており、その結果からは大半の居住者は免震効果を実感したと考えられる（5.7.4 項参照）。



写真 5.7.2-20 積層ゴム化粧カバーの外れ

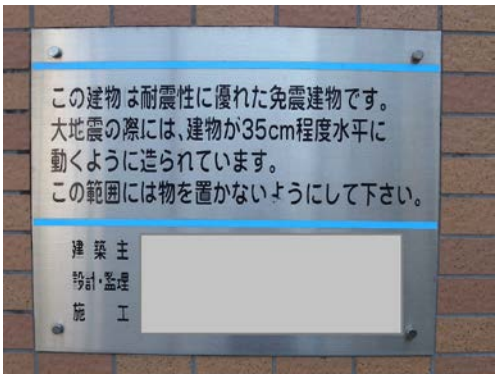


写真 5.7.2-21 免震表示

（４）建築物Ｄ（事務所）

建築物Ｄは、山鹿市に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

・天然ゴム系積層ゴム・・・30 基
・弾性すべり支承・・・・・14 基
・Ｕ形鋼材ダンパー・・・・10 基

上部構造は鉄骨造５階＋地下１階である。

免震層内に罫書き式の変位計が設置されており、両振幅で南北に約 16cm の軌跡を確認した（写真 5.7.2-22）。免震表示（写真 5.7.2-23）は正面玄関周りには見られず、通用口周りに掲示されていた。免震材料及び免震層内外のクリアランス部の変状は、ごく軽微なものに納まっていた。

職員の方へのヒアリングによれば前震・本震とも継続使用上の支障はなかったとのことである。

敷地周囲においては、稀にブルーシートによる屋根覆いが見られる程度で、建築物等の被害は微少と思われる。その他、建築物Ｄより約 500m 北西に位置する K-NET 山鹿観測点の設置状況を確認した。観測点は高台の辺縁部に設置されていた（写真 5.7.2-27）。

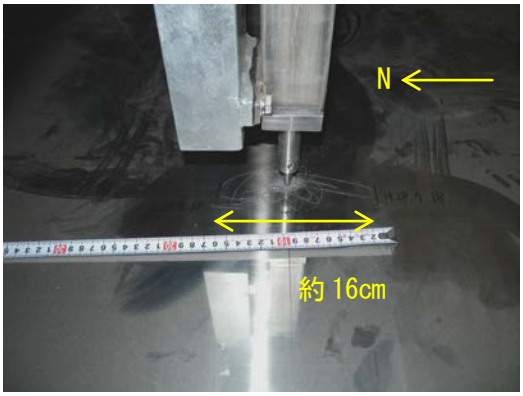


写真 5.7.2-22 罫書きの軌跡



写真 5.7.2-23 免震表示



写真 5.7.2-24 積層ゴム支承の状況



写真 5.7.2-25 弾性すべり支承の状況（すべり面保護材のずれ）



写真 5.7.2-26 U形鋼材ダンパーの状況



写真 5.7.2-27 K-NET 山鹿観測点

（５）建築物Ｅ（事務所）

建築物Ｅは、熊本市中央区に位置する施工中の免震建築物で、上部構造は鉄骨造５階＋地下１階＋屋上工作物（鉄塔）である。

本建築物は施工中（躯体については５階まで及び鉄塔の一部の工事が終了した段階）で敷地外周に鋼板による仮囲いやフェンス等が配置され、免震層内への立ち入り調査等はできなかった。現場担当

者へのヒアリングでは、免震層内には天然ゴム系積層ゴム、鉛プラグ入り積層ゴム、直動転がり支承及びオイルダンパー（いずれも基数未確認）が設置されており、工事中であるため免震層が動かないよう止め付けていたターンバックル等が本震の際には外れてしまったが、上部構造は無傷とのことであった。

（６）建築物Ｆ（宿泊施設）

建築物Ｆは、熊本市中央区に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

・高減衰積層ゴム・・・12 基

・オイルダンパー・・・４基

上部構造はＲＣ造 12 階建てである。

免震層に罫書き式変位計等の設置はないが、免震層の変位の発生に伴う痕跡として、クリアランス部に設けられた配管用の吊り下げボルトの変形（写真 5.7.2-28）、オイルダンパー軸部の摺動痕、オイルダンパーの周囲柵等への接触痕（写真 5.7.2-29）などにより、南に約 28cm、西に約 18cm 程度（北及び東方向については不明）の変位が生じたものと考えられる。さらに、積層ゴムの最上層部分にはわずかな凹凸が見られたが（写真 5.7.2-30）、大きなせん断変形により積層ゴムのゴム部分（積層された鋼板の間にあるゴム）が若干外部に膨らみ出したものと考えられる。

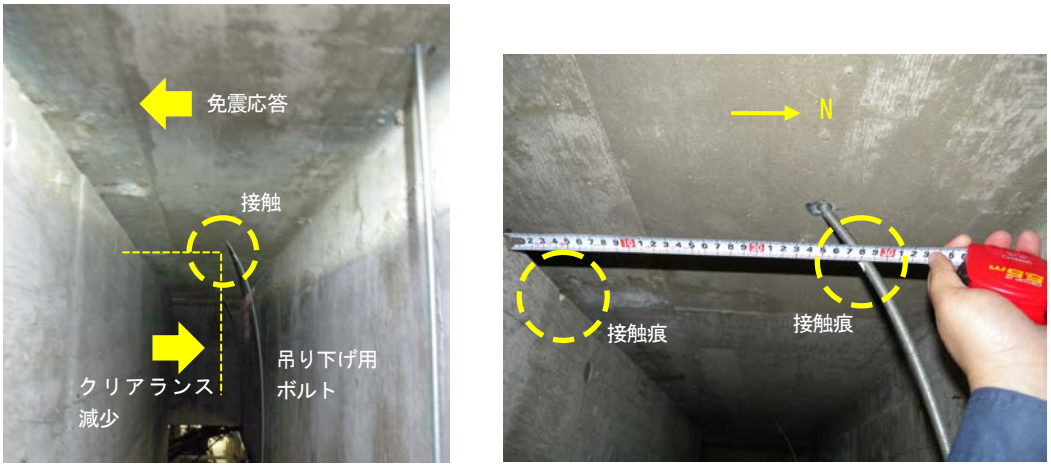


写真 5.7.2-28 配管吊り下げ用ボルトの変形（ボルトの接触痕から擁壁まで約 28cm）

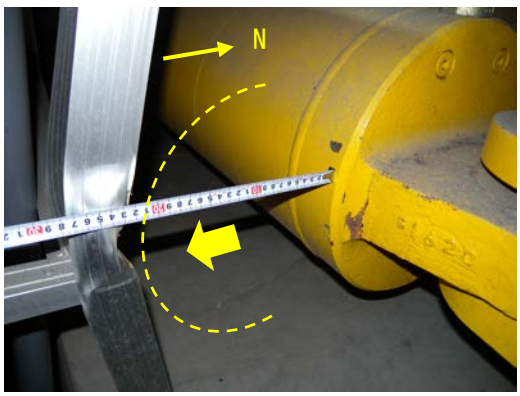


写真 5.7.2-29 オイルダンパー胴部の移動・接触に伴う周囲柵の変形



写真 5.7.2-30 積層ゴムの状況とゴム部分の変状（右図は左図囲み部分の拡大）

事務員（２名）へのヒアリングでは、次の回答があった。

・前震、本震共に宿泊室及び１Ｆ食堂ではいずれも被害（備品落下等も含む）は見られなかった。
・前震時に、１階事務室の隅に置いていたコピー機（写真 5.7.2-31）が約 30cm 移動した。
・本震時に、５階宿泊室での姿見の転倒及び１階事務室のパーティション（写真 5.7.2-32）の転倒があった。
・本震直後には、免震建築物であるとして１階ロビー内に周辺の通行人も含め約 50 人が避難していた。
・他の宿泊施設では、客室のＴＶ転倒やエレベータ停止などの被害で営業できないものがあったが、この施設は継続して営業が可能だった。
・免震建築物の揺れ方は、ゆっくりしているが歩けるほどではなく、免震とわかっていても恐怖感のあるものであった。ただし、継続して営業可能だったことなどから、免震の有効性は高いと感じている。
・本震の特徴として、初期の上下動が大きかった。前震はそのような感じはなかった。



写真 5.7.2-31 移動したコピー機

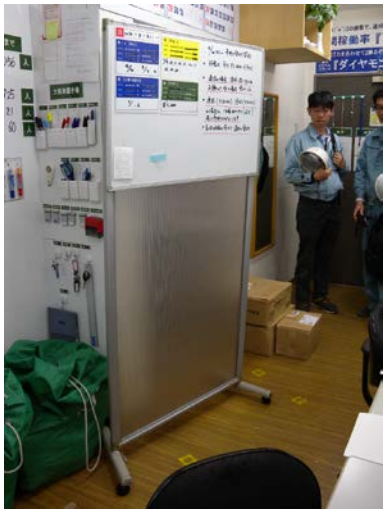


写真 5.7.2-32 転倒したパーティション

（７）建築物Ｇ（共同住宅）

建築物Ｇは、熊本市中央区に位置する２棟の免震建築物で、中間に配置された非免震のＣ棟（渡り廊下兼集会場、地上２階）を挟んで、ＲＣ造 14 階建ての基礎免震であるＡ棟と、ＲＣ造 11 階建ての

中間階免震であるＢ棟（免震層は２階床下）が建てられている。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、図 5.7.2-3 及び次に示すとおりである。

Ａ棟　　・高減衰積層ゴム・・・15 基

Ｂ棟　　・高減衰積層ゴム・・・15 基（中間階免震部分）及び１基（外階段直下）

居住者へのヒアリングでは、前震より本震の方が縦揺れなどを強く感じ、実際に前震では特に使用上の支障がなかった渡り廊下のエキスパンションジョイント部が本震で破損し、避難経路でもあったことから除去の必要が生じたこと、また、Ａ棟とＢ棟が角度を付けて配置されており、南北方向が張り間方向になるＡ棟の方が家具の転倒などの被害の報告が少ないことから、主要な地震動の方向は南北方向と推測されること（張り間方向の戸境壁に家具の背を付けた場合、揺れが南北方向であれば倒れにくい家具の長辺方向で耐えられることになるため）等の回答があった。また外装タイル等について、落下等の被害は見られなかったとのことであった。その他、前震後の時点では建物内に留まっていた住民の多くが、本震後には隣接する駐車場に避難（車中泊）したとのことであった。さらに、本建築物については居住者を対象としたアンケート調査も実施しており、その結果からは大半の居住者は免震効果を実感したと考えられる（5.7.4 項参照）。

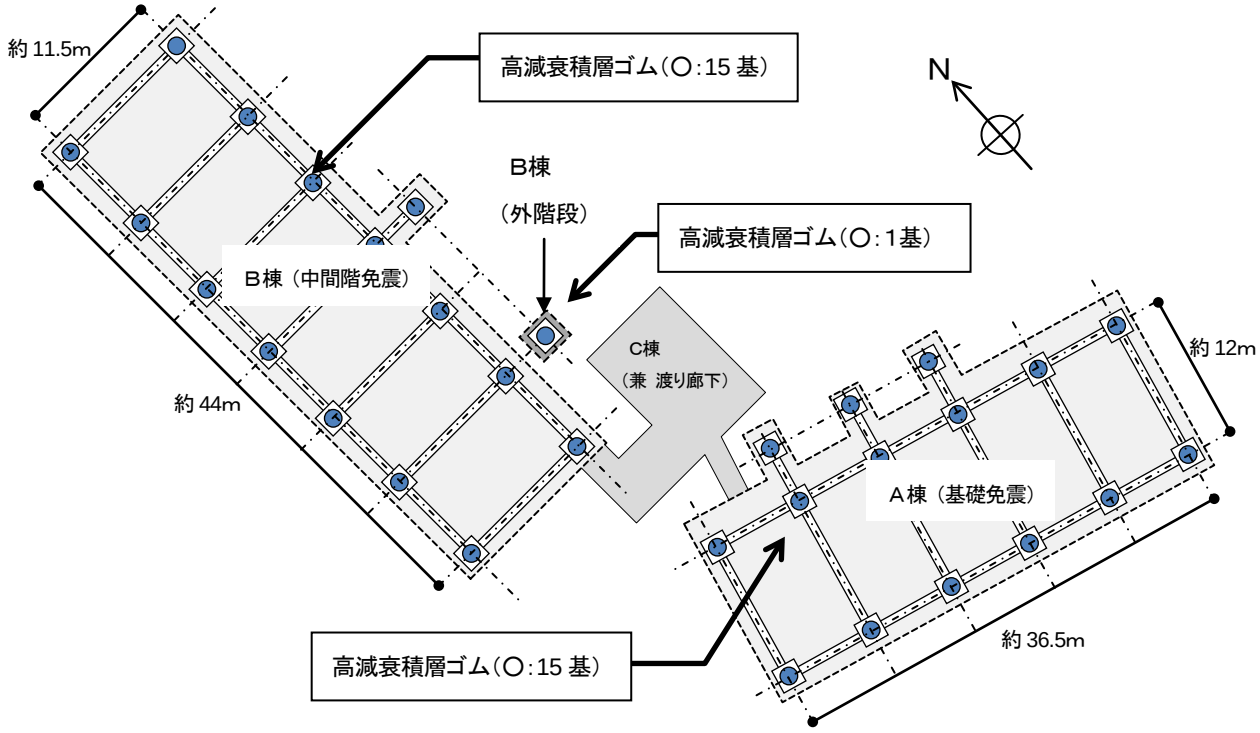


図 5.7.2-3　免震材料配置図（略図）

（i） Ａ棟の被害状況

免震層に罫書き式変位計等の設置はないが、Ａ棟では、免震層の変位に伴うものと見られる痕跡として、自転車置きの金具の変形及び接触、免震層周囲の石の移動、犬走り部分の周囲への接触、エントランス部周囲で柵の脱落等の変状があり（写真 5.7.2-33～写真 5.7.2-36）、北に約 30cm 程度の変位が生じたものと考えられる（他の方向は不明）。

Ａ棟とＣ棟をつなぐ渡り廊下にはエキスパンションジョイントが設けられていたが、本震後に通行に際し脱落等の危険を生ずる恐れがあり、カバー（天井被覆）が撤去された状態であった（写真 5.7.2-37）。

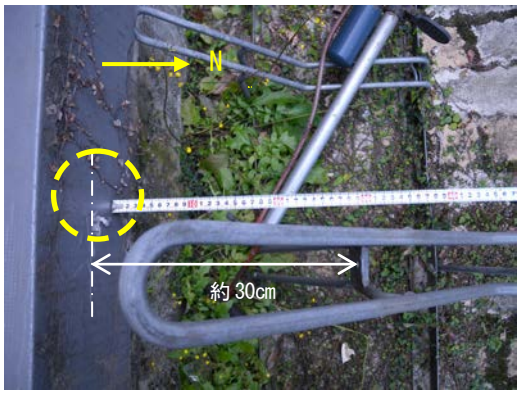


写真 5.7.2-33 自転車置きの金具の接触跡

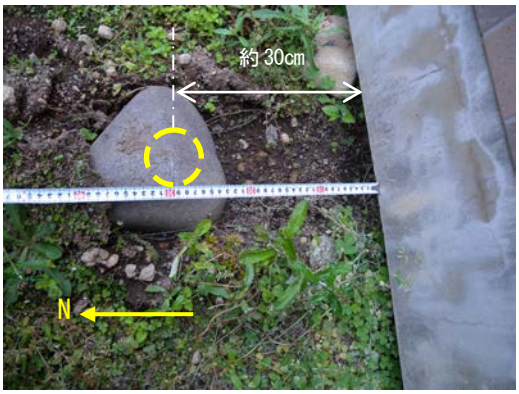


写真 5.7.2-34 免震層周囲の石の移動跡



写真 5.7.2-35 犬走り部分の周囲への接触跡

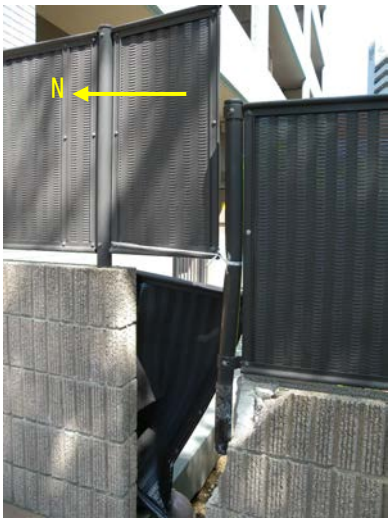


写真 5.7.2-36 エントランス部変形・脱落



写真 5.7.2-37 渡り廊下エキスパンション部の状況（天井被覆を撤去済み）

また、A棟の積層ゴム支承で、北に３cm 程度の残留変位が観察された（写真 5.7.2-38）。この建築物では免震層の定期的な点検の一環として下げ振りを用いた変位の観測を実施しており、管理会社によれば直近の点検時（約一か月前、３月）にはほぼ原点を示していたとのことで、この残留変位は今回の一連の地震で生じたものと考えられる。

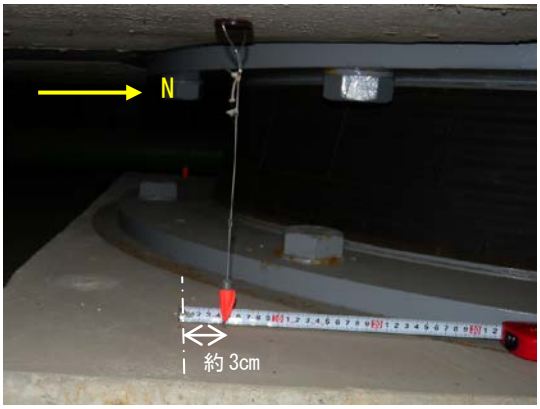


写真 5.7.2-38 積層ゴムの残留変形

（ii） B棟の被害状況

中間階免震となっているB棟は、図 5.7.2-3 及び図 5.7.2-4 に示す通り免震部分から構面外に張り出して立ち下げる形式で外階段を設けており、階段の脚部の地下にも積層ゴム支承が設置されている。この外階段の被害が大きく、１階階段中央の壁部分のせん断破壊によって使用禁止となっていた（写真 5.7.2-39、写真 5.7.2-40）。損傷部分の周囲の階段踊り場に設けられた柵の破損の状況から、上部構造が大きく南側に動いた際に、階段下の積層ゴムに生じた水平変形に対して階段中央の壁部分（厚さ 250mm、縦横配筋 D10(SD295A)@200 ダブル、鉄筋端部は閉鎖なし）が面外方向に追随できず、大きく破壊したものと考えられる。

また、階段下の積層ゴム支承について、上側の取付け基部の損傷（かぶりコンクリート部分の剥落）や鉛直クリアランス部の変状も観察された（写真 5.7.2-41、写真 5.7.2-42）。

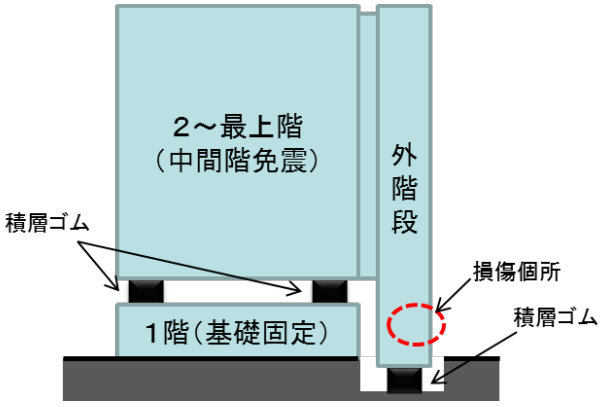


図 5.7.2-4　B棟（中間階免震）及び階段損傷個所



写真 5.7.2-39 外付け階段の被害状況①（階段南側）



写真 5.7.2-40 外付け階段の被害状況②（階段北側）



写真 5.7.2-41 階段下に設置された積層ゴム支承の取り付け基部の損傷（左図は右図囲みの拡大）



写真 5.7.2-42 鉛直クリアランス部分の変状

（８）建築物Ｈ（共同住宅）

建築物Hは、熊本市中央区に位置する２棟の免震建築物で、中間に配置された非免震の渡り廊下（地上２階）を挟んで、いずれもＲＣ造 14 階建ての中間階免震であるＥ棟・W棟（共に免震層は２階床下）が建てられている。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、それぞれ次のとおりである。

Ｅ棟　　・高減衰積層ゴム・・・８基（中間階免震部分）及び１基（外階段直下）

W棟　　・高減衰積層ゴム・・・15 基（中間階免震部分）及び１基（外階段直下）

免震層に罫書き式変位計等の設置はないが、免震層の変位の発生に伴う痕跡として、免震層内の配管について、非免震部分である鉄製の架台との接触部分での断熱被覆に約 70cm にわたる損傷、可動式の配管基部に約 40cm のこすれ跡が見られ（写真 5.7.2-43、写真 5.7.2-44）、北東―南西方向に両振幅 70cm 程度の変位が生じたものと考えられる。

この建築物も 5.7.2（７）項の建築物Gと同様に外側に張り出して独立した免震基部を設ける形式の外階段があり、階段部分の損傷等の被害が生じていた（写真 5.7.2-45）。また、エキスパンション部の損傷として、カバー（天井被覆）の破損及び二次壁の変形等があった（写真 5.7.2-46～写真 5.7.2-48）。天井被覆については、管理会社によれば損傷することを想定していたとのことであったが、避難経路部分であることや損傷後の部材の落下の危険があるため、調査時には除去されていた。

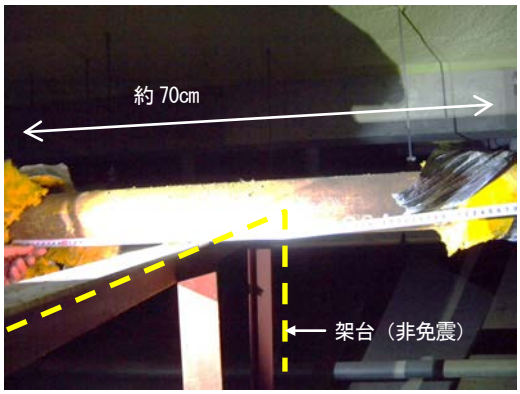


写真 5.7.2-43 配管の断熱被覆の損傷

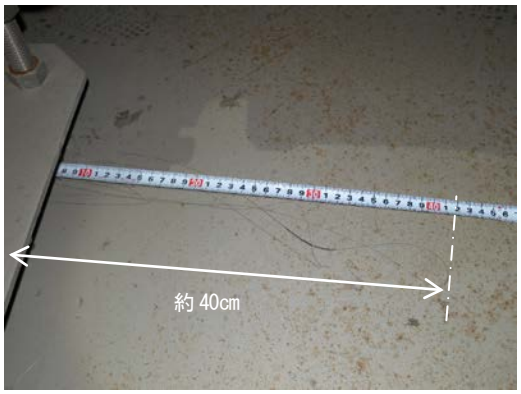


写真 5.7.2-44 可動式の配管基部のこすれ跡



写真 5.7.2-45 外階段の被害



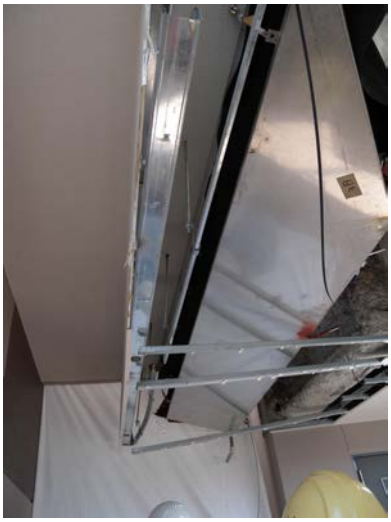


写真 5.7.2-46 渡り廊下エキスパンション部の状況①（天井被覆を撤去済み）

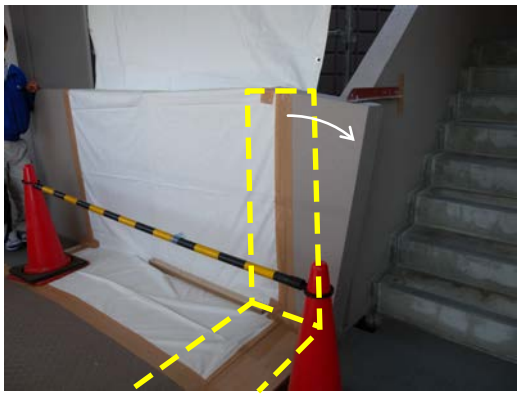


写真 5.7.2-47 同 状況②（二次壁の変形）



写真 5.7.2-48 同 状況③（カバーの変形）

（９）建築物Ｉ（共同住宅）

建築物Ｉは、熊本市中央区に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、図 5.7.2-5 及び次に示すとおりである。

・天然ゴム系積層ゴム・・・20 基
・U形鋼材ダンパー・・・・８基
・鉛ダンパー・・・・・・・８基

上部構造はＲＣ造 15 階建てである。建築物入口付近に掲示されていた免震表示（写真 5.7.2-49）によれば、大地震時の想定（設計）変位は 32cm である。

平面は３×３スパンでほぼ正方形であり、免震層内では、5.7.2（３）項の建築物Ｃと同様の構造的な被害として、８基取り付けられた鉛ダンパーの全てにおいて、取付け基部と床スラブとの接合部で破壊を生じていた（写真 5.7.2-50）。取付け基部の主筋は床スラブ内に折り曲げて定着されていたが、この定着部分（D25、90 度フック、定着長４ｄ）が耐力不足によって抜け出すことで破壊したものと考えられる。設計図書に基づくスラブの厚さは 200㎜ であった。

また、８基のU形鋼材ダンパーが取付け基部を免震層外周の大梁に添わせるように配置されていたが、３基で被害を生じていた。取付け基部が大梁から引き剥がされるように分離し鉛ダンパー同様にスラブとの接合部で破壊を生じたもの（写真 5.7.2-51）があった。他に取付け基部が大梁に対し偏心しないように取り付けられており被害が見られなかった鋼材ダンパー（写真 5.7.2-52）も存在したことから、一体化が十分でなかったために当該部分に想定外の力が作用したためと考えられる。この損傷は床スラブの上面にあたる１階の駐車場部分まで達していた（写真 5.7.2-53）。ただし、大梁との一体化が図られていても、梁下端面とダンパー部の間で損傷を生じている場合があり（写真 5.7.2-54）、基部に対して周囲の部材（大梁）が偏心して取り付けられていることが却って被害を拡大したと考えられる。これらの鋼材ダンパーの被害の要因としては、鉛ダンパーの被害（あるいは建築物Ｃの被害）と同様に当該部分の設計にあたって地震時にダンパーの取付け基部に生ずる応力の想定が十分でなかったことが考えられる。なお、写真 5.7.2-54 ではコアコンクリート部分が落下する重度の損傷に至っているが、この写真は 2016 年７月上旬（本震後約 3 か月後）に撮影したもので、別途本震後から約１か月までの期間に実施した現地調査の時点では顕在化しておらず、その後の余震で被害が拡大したものと考えられる。その他、柱直下の位置にない小型の積層ゴム支承の取り付け基部のスラブ下面にひび割れが確認された（写真 5.7.2-55）。

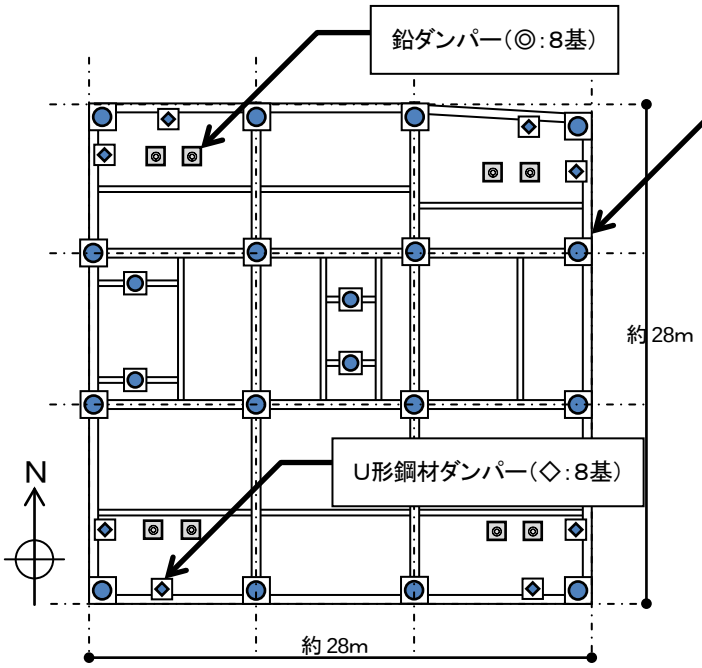


図 5.7.2-5　免震材料配置図（略図）

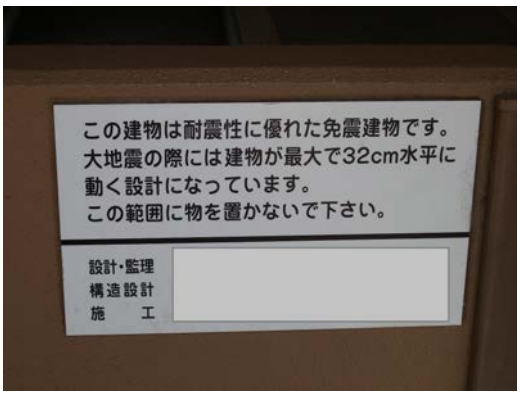


写真 5.7.2-49 免震表示





写真 5.7.2-50 鉛ダンパー取付け基部の損傷



写真 5.7.2-51 鋼材ダンパー取付け基部の損傷①（北西部）



写真 5.7.2-52 無被害と見られる鋼材ダンパー及び取付け基部（北東部）





写真 5.7.2-53 免震層上面の床スラブの損傷（西側外周部の大梁内側にあたる部分）



写真 5.7.2-54 鋼材ダンパー取付け基部の損傷②（南東部）



写真 5.7.2-55 小型の積層ゴム取付け基部のひび割れ

その他、エキスパンション部分で、免震部分と非免震部分の双方に止め付けられていた手すりの変形が見られた（写真 5.7.2-56)。また、このエキスパンション部分の移動痕、犬走り部分と周囲の接触痕（写真 5.7.2-57）からは、少なくとも 10cm 程度、またはそれ以上の免震層の水平変位が生じたことが考えられる。建築物の北西角部ではエキスパンション部分の鉄板に５cm 程度の鉛直方向の隙間が見られたほか、敷地境界の塀の傾斜があり（写真 5.7.2-58)、地盤の沈下に起因する現象と考えられる。



写真 5.7.2-56 エキスパンション部の変状（手すりの変形、移動跡）

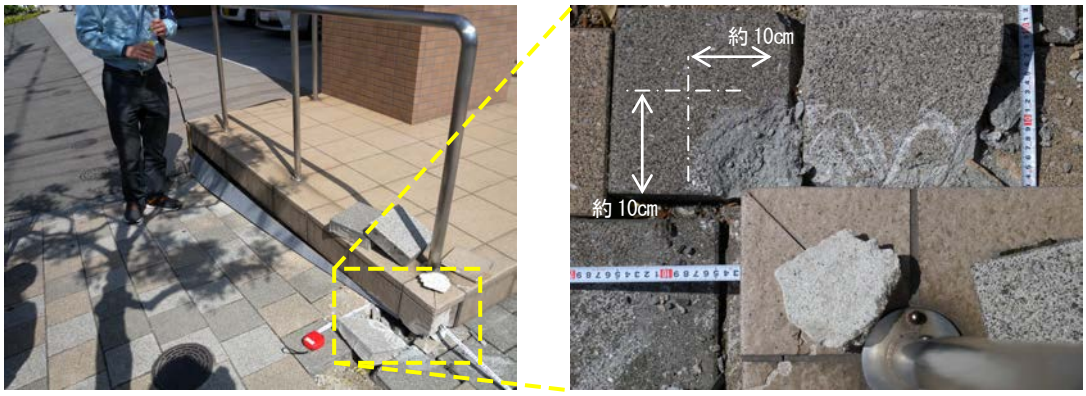


写真 5.7.2-57 犬走り部分の周囲との接触跡（右図は左図囲み部分の拡大）



写真 5.7.2-58 周囲における地盤沈下の痕跡（隣接する塀の傾斜、エキスパンション部の隙間）

管理会社及び住民へのヒアリングでは、上部構造には全くクラックが見られず、本震後もライフラインが止まらず生活が継続できた、室内の被害は周囲の共同住宅と比較しても少なく、家具の転倒の報告もなかった等、免震の効果は発揮されたと思うとの回答があった。さらに、本建築物については居住者を対象としたアンケート調査も実施しており、その結果からは大半の居住者は免震効果を実感したと考えられる（5.7.4 項参照）。

（１０）建築物Ｊ（倉庫）

建築物Ｊは、菊池郡に位置する免震建築物である。免震層に設置されている免震材料の種類及び数は、次のとおりである。

・天然ゴム系積層ゴム・・・・６基
・鉛プラグ入り積層ゴム・・・19 基
・弾性すべり支承・・・・・・９基

上部構造は柱ＳＲＣ造はり鉄骨造の２階建てである。

免震層内に罫書き式変位計が設置されており、東に約 32cm、北西に約 23cm の軌跡が確認された（写真 5.7.2-59、罫書き板取り外し後に別途撮影したもの）。免震材料には異常は見られなかったが、免震層内部及び周辺で、鉛直クリアランス部のゴムカバー（免震スカート）のはみ出し、エキスパンション部の破損などが見られた（写真 5.7.2-60、写真 5.7.2-61）。また、周囲地盤に最大５cm 程度の沈下の形跡があった。

その他、免震材料の周囲、建築物の周囲に、上部構造の可動範囲を示すと思われるマーキングが行われていた（写真 5.7.2-62。写真 5.7.2-60 の白線も同様）。

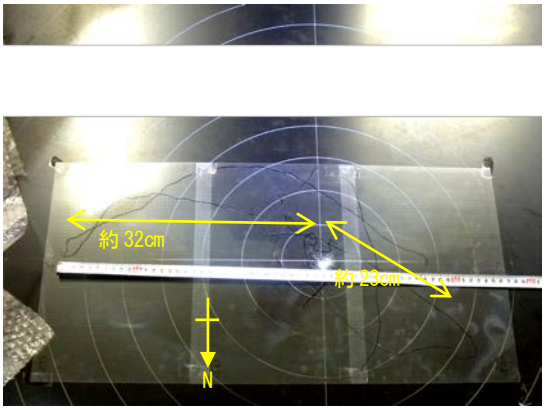


写真 5.7.2-59 罫書きの軌跡（フィルムを重ねて写し取ったもの。同心円は５cm 間隔）



写真 5.7.2-60 免震スカートのはみ出し

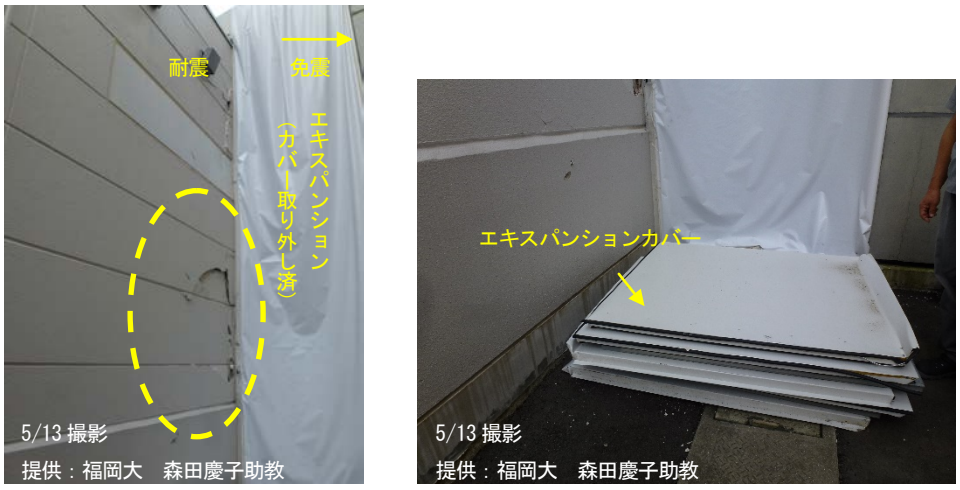


写真 5.7.2-61 エキスパンション部の破損と取り外されたカバー



写真 5.7.2-61 免震材料及び建築物周辺のマーキング

5.7.3　地震動特性に関する検討

今回の被災地域に存する免震建築物に作用した地震動の特性について、各建築物の近傍の観測点のうち５地点での地震記録を用いた検討を実施した。

図 5.7.3-1 に、K-NET 一の宮、JMA 西区春日、中央区大江、K-NET 山鹿及び K-NET 大津で観測された本震時における擬似速度応答スペクトルを示す。参考として、建築基準法令による第二種地盤（地震地域係数Ｚ＝0.9）での擬似速度応答スペクトルを黒点線で示す。建築物Ａの近傍（約４km 東）の K-NET 一の宮において、周期約３秒の長周期成分が大きくなっていることが特徴的である。

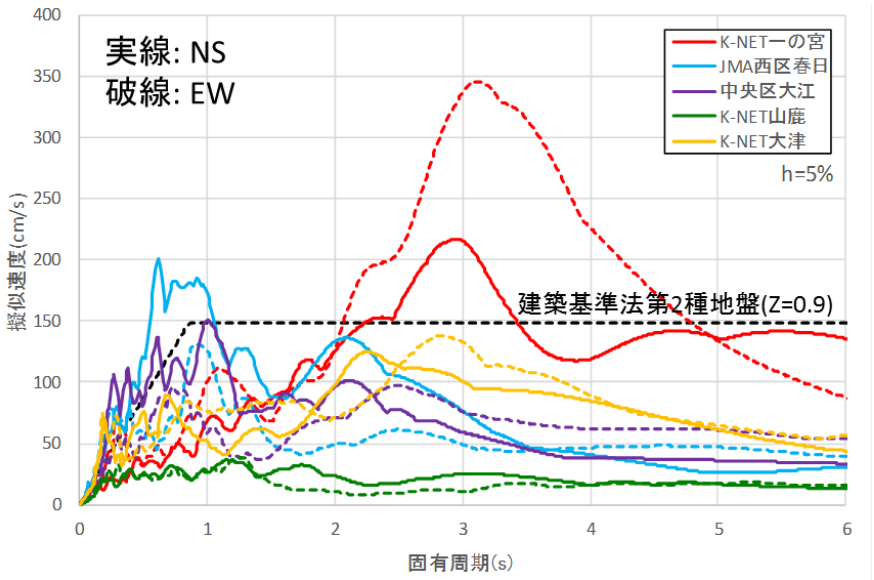


図 5.7.3-1 擬似速度応答スペクトル

図 5.7.3-2 は、各地震記録による変位応答スペクトルである。減衰定数は 20%とした。調査対象とした建築物のうち設計図書等から情報が得られているものについては、設計時における免震層の予測変位（■印）とクリアランス（◇印。建築物Ｇのみ、クリアランス 600mm より免震材料の限界変形 430mm が小さく、免震層の変位がクリアランスに達する前に免震材料の破断等の限界に至るおそれがあるので、当該限界変位を用いて記入）を各建築物の等価周期（免震周期）と対応させた上で、それぞれの建築物の近傍の観測点に対する線の色と同色でプロットしている。また、罫書き変位が得られている建築物Ａ・Ｂ・Ｄ・Ｊについては、その最大振幅（片側、●印）を参考として同色のプロットで記入している。近傍の観測点での地震記録の変位応答スペクトルと、これと同色のプロット点で示す設計時の免震層の予測変位を比較した場合、建築物Ａにおいては K-NET 一の宮の NS と EW の両方向で、建築物Ｊにおいては K-NET 大津の NS と EW の両方向で、それぞれ応答変位が予測変位を上回る結果となっている。

今回の調査により観察された免震層の変位軌跡の大きさと、近傍の観測点での地震記録による変位応答スペクトルの大きさとには、かなりの相関性が認められた。すなわち、周期２秒以上において、明らかに K-NET 一の宮の変位応答スペクトルが他より大きくなっているが、これは、今回調査した建築物の中で最も大きな変位が確認された建築物Ａの罫書き（両振幅で約 90cm）と対応している。一方、K-NET 山鹿の変位応答スペクトルが最も小さいが、その近傍に位置する建築物Ｄの免震層変位は最も小さく、罫書きから観察された変位は両振幅で約 16cm に留まっている。K-NET 大津と、熊本市内の JMA

西区春日及び中央区大江の変位応答スペクトルを比較した場合、K-NET 大津がやや大きくなっているが、これらはほぼ同程度の大きさと言える。これらの観測点の近傍に位置する建築物の免震層では、概ね両振幅で 60cm～70cm の変位が観察されている。

このように、今回各建築物について把握した地震時の変位は、極めて稀に生じる地震動（２次設計レベルの地震動)に対し､設計時において予測した免震層変位とほぼ等しいかやや小さめの値であり、これらの地区の免震建築物には、２次設計レベルの地震力が作用したものと考えられる。

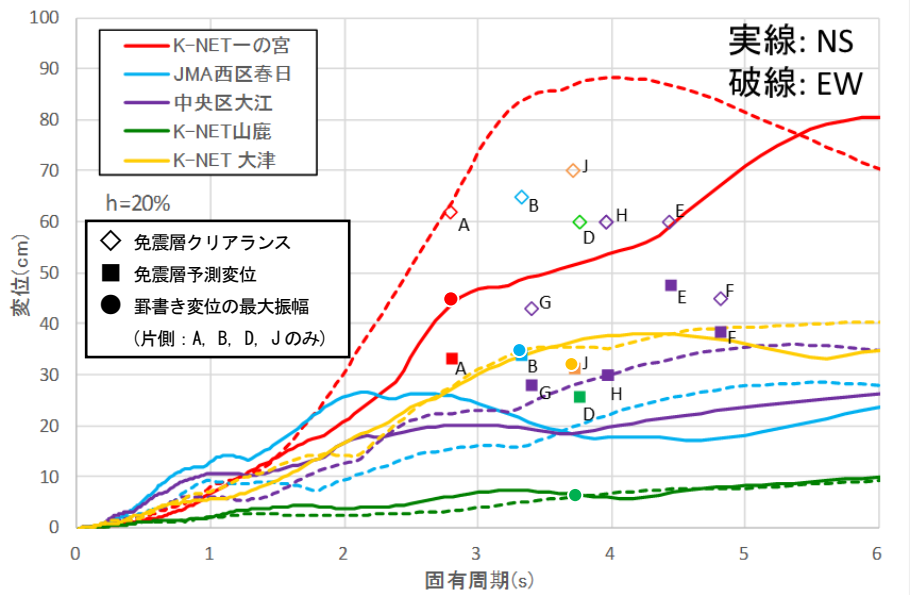
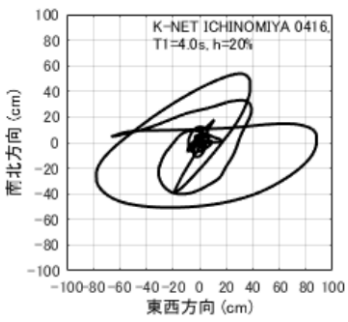
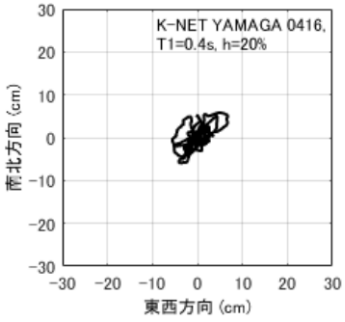


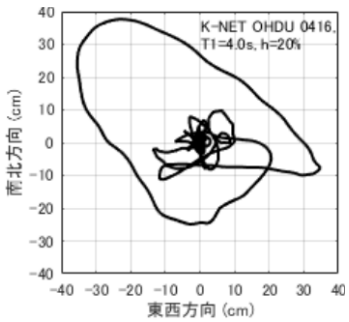
図 5.7.3-2 変位応答スペクトル（h=20%）と免震建築物の設計情報（免震層のクリアランス及び設計時予測変位）・罫書き変位の比較



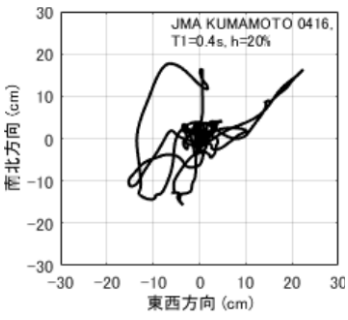
K-NET 一の宮



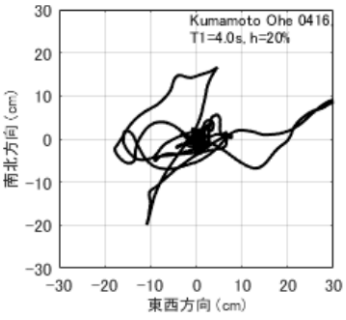
K-NET 山鹿



K-NET 大津



JMA 西区春日



中央区大江

図 5.7.3-3　変位軌跡

図 5.7.3-3 は、各地震動の NS 及び EW 成分を、固有周期 4.0 秒で減衰定数 0.2（20%）の１質点モデルにＸ及びＹの両方向に作用させたときの変位軌跡である。

建築物Ａの罫書き記録（写真 5.7.2-1）と K-NET 一の宮、また建築物Ｂの罫書き記録（写真 5.7.2-10）と JMA 西区春日を比較した場合、これらには類似性が認められる。また、中央区大江と JMA 西区春日の軌跡は類似しているが、中央区大江の方が東西方向の変位がやや大きくなっている。建築物Ｇ（熊本市中央区）の外側避難階段はＥＷ方向にせん断破壊が生じているが、このような地震動の方向性に対応しているとも考えられる。

図 5.7.3-3 の変位軌跡は、１質点モデルの固有周期を 4.0 秒、減衰定数を 0.2（20%）と仮定しており、当然、これらは実際の免震建築物の値とは異なる。しかしながら、図 5.7.3-3 の変位軌跡は、現地調査で観測した変位軌跡や変位の痕跡とある程度対応している。このことは、最寄りの観測点の地震記録から免震建築物の挙動を推定し、建設地に生じた地震動の特性を評価できる可能性があることを示していると言える。

5.7.4　免震挙動に関するアンケート調査

免震構造の特性は、免震層で揺れを吸収することにより、免震層より上部での構造被害とともに、家具の転倒等の室内被害を低減できることにあるとされる。熊本地震において、このような免震構造の特性が発揮されたかどうかを、居住者・使用者へのアンケート調査により検討した。

（1）調査対象建築物の概要

表 5.7.4-1 にアンケート調査対象とした免震建築物４物件（建築物GはA棟・B棟を区別せず調査したため棟数は５棟）を示す。４物件とも共同住宅であり、居住者を対象にアンケートを実施した。なお、表中の建築物の記号は、表 5.7.1 と共通であり、建築物C、建築物G及び建築物Ｉについては現地調査を実施している（5.7.2（３）項、（７）項及び（９）項)。

表 5.7.4-1　アンケートを実施した建築物と回答数

No.	建築物記号	階数	用途	建設地	免震部材‡	回答数	近傍の震度（本震）
1	C	13 階	共同住宅	熊本県熊本市	RB, USD, LD	39	６強
2	G	11 階/14 階	共同住宅	熊本県熊本市	HRB	10	６強
3	I	15 階	共同住宅	熊本県熊本市	RB, USD, LD	64	６強
4	K	14 階	共同住宅	熊本県八代市	RB, USD, LD	16	５強

‡…RB：天然ゴム系積層ゴム、HRB：高減衰積層ゴム、USD：U形鋼材ダンパー、LD：鉛ダンパー

（2）アンケート調査項目

アンケートの調査項目のうち、記入者情報などを除いた設問部を図 5.7.4-1～図 5.7.4-2 に示す。各項目については、平成 16 年（2004 年）新潟県中越地震の被災地で行った同種のアンケート[5.7-3)]の調査票を参考にした。ただし、今回対象とした熊本地震では、前震（4/14）と本震（4/16）があったため、図 5.7.4-1 の項目については、前震と本震に分けて回答を得て集計を行い、前震と本震の傾向の違いについて分析した。

地震時の様子（4 月 14 日の前震の時、または 4 月 16 日の本震の時)

３．地震時にいた階と地震時の行動

階：　　場所(居室、廊下など)：

a. 日常行為をそのまま続行した　b. 就寝中だった　c. 立ち止まって様子を見た

d. ガス栓等の火の元の始末を行なった　e. 机、テーブルの下に潜る等の避難行動を行なった

その他（　　）

図 5.7.4-1(a)　アンケート記入票１（地震時の様子①：地震時にいた階と地震時の行動)

４．揺れの感じ方

(1) 震度にした場合　a. 震度 1～3 程度　b. 震度４　c. 震度５　d. 震度６　e. 震度７　f. 不明

(2) 水平と上下の揺れ　a. 水平＞上下　b. 水平＜上下　c. 水平≒上下　d. その他

(3) 恐怖感　a. まったくない　b. あまりない　c. すこしあった　d. かなりあった

(4) 不快感　a. まったくない　b. あまりない　c. すこしあった　d. かなりあった

図 5.7.4-1(b)　アンケート記入票１（地震時の様子②：揺れの感じ方)

５．室内の揺れの状況

(1) 吊下げ物　a. 揺れなかった　b. わずかに揺れた　c. 大きく揺れた　d. 落下した　e. その他

(2) 食器類　a. 落ちないし音もしない　b. 音を立てたが落ちなかった　c. 一部落ちた
d. かなり落ちた　e. その他

(3) 家具の転倒　a. なかった　b. あった　c. その他

図 5.7.4-1(c)　アンケート記入票 1（地震時の様子③：室内の揺れの状況）

免震建物について

６．免震構造の有効性

(1) この建物が免震構造であることを知っていましたか　a. はい　b. いいえ

(2) 免震構造の有効性を実感できましたか

a. 一般の建物と比較して耐震性に優れている

b. 一般の建物と比較してもあまり変わらない

c. 今回の地震だけではよく分からない

７．その他、免震建物に関する感想をお聞かせください

図 5.7.4-2　アンケート記入票 2（免震建物について）

（３）アンケート調査結果

1）建築物Ｃ（熊本市）におけるアンケート結果

図 5.7.4-3 は建築物Ｃの記入者情報である。８割が女性であり、ほぼ全てが 20 代未満と 20 代であるという特徴がある。また、階数による分布では中間階がやや多く、上層階（11 階以上）・中間階（６～10 階）・下層階（１～５階）と分類して分析しても、揺れの感じ方等の傾向は大きく変わらない。

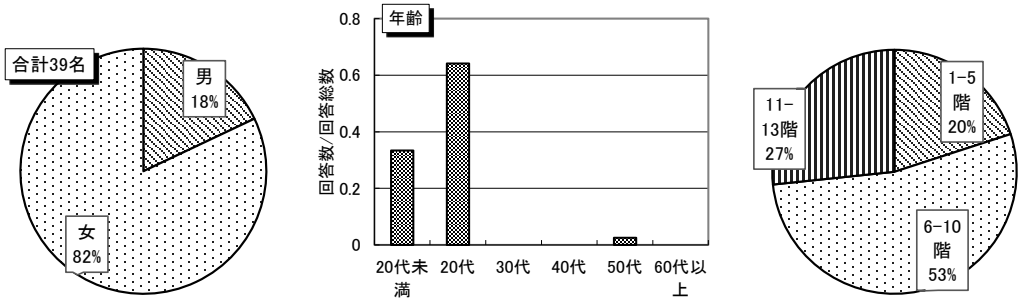
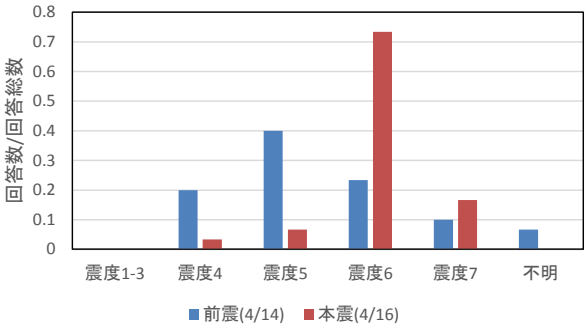
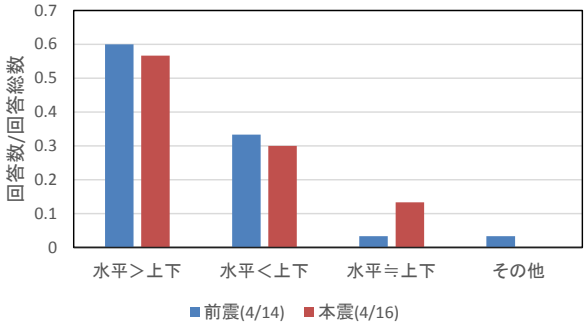


図 5.7.4-3　建築物Ｃの記入者情報

図 5.7.4-4-1 及び図 5.7.4-4-2 は、揺れの感じ方について前震(4/14) と本震(4/16)の比較結果である。(a)の震度にした場合は、前震では震度５を中心に分布しているのに対し、本震では震度６以上が 90%程度を占めた。(b)の上下と水平の揺れの感じ方であるが、上下より水平のほうが大きいと感じる人の方がやや多い。前震と本震で、傾向はほぼ同じである。(c)の恐怖感については、「かなりあった」が前震では 40%程度、本震では 80%程度であった。(d)の不快感については、前震では「あまりない」「少しあった」「かなりあった」それぞれの意見が多いが、本震では 60%が「かなりあった」と回答している。

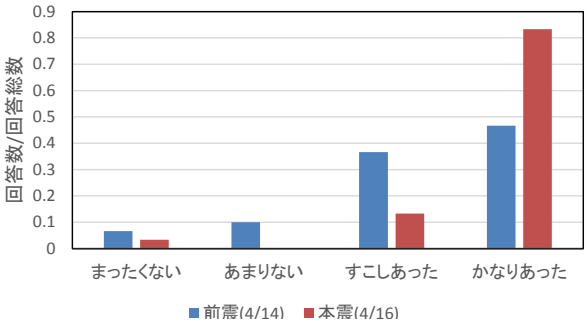


(a) 震度にした場合

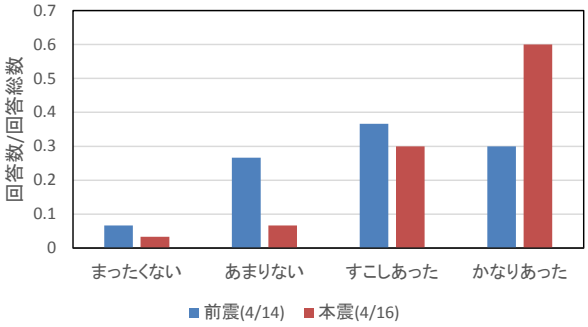


(b) 上下と水平の揺れ

図 5.7.4-4-1　揺れの感じ方①



(c) 恐怖感

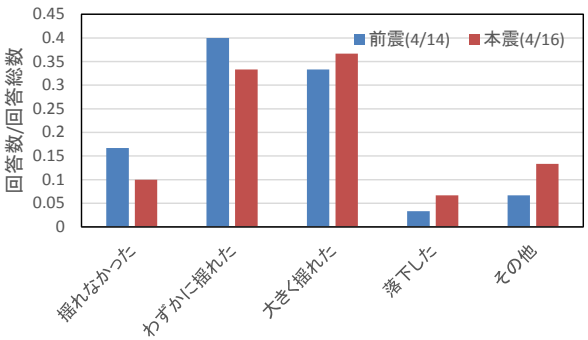


(d) 不快感

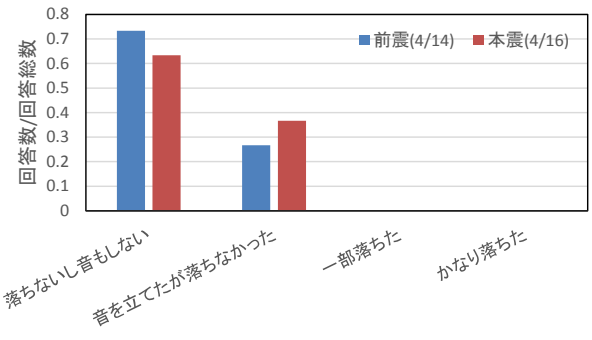
図 5.7.4-4-2　揺れの感じ方②

図 5.7.4-5 は吊り下げ物や食器の状況に関するアンケート回答の比較結果である。(a) の吊り下げ物は、「揺れなかった」「わずかに揺れた」「大きく揺れた」という回答が多いが、「落下した」という回答は前震・本震ともに 10%以下であった。(b) の食器類は、「落ちないし音もしない」「音を立てたが落ちなかった」という回答が全てで、「一部落ちた」「かなり落ちた」という回答はなかった。家具に関しては、前震・本震ともに、「転倒はなかった」という回答が約 98%であった。

回答者のうち、免震構造であったことを事前に知っていた人は、約 92%である。今回の地震を通して、「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と感じた回答が約 98%であった。



(a) 吊り下げ物



(b) 食器類

図 5.7.4-5　室内の揺れの状況

2) 建築物G（熊本市）におけるアンケート結果

図 5.7.4-6 は建築物Gの記入者情報である。回答人数が少ないため、階による違いは分析していない。

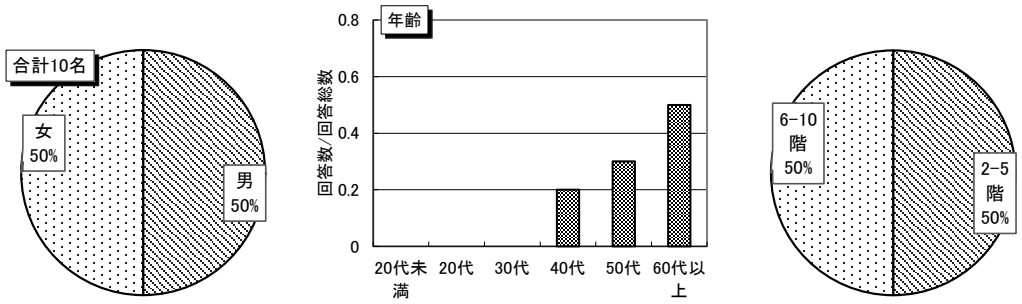
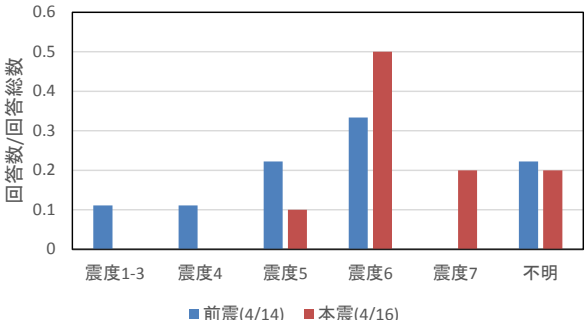
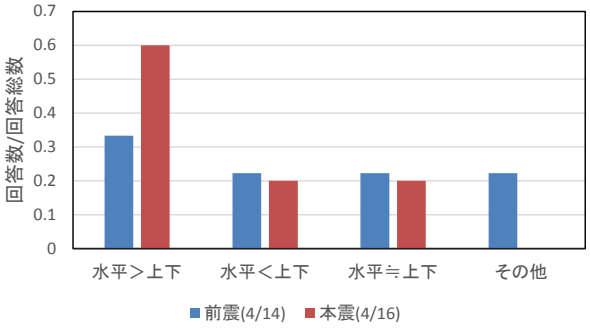


図 5.7.4-6　建築物Gの記入者情報

図 5.7.4-7-1 及び図 5.7.4-7-2 は、揺れの感じ方について前震(4/14) と本震(4/16)の比較結果である。(a)の震度にした場合は、前震では震度５と６が多いのに対し、本震では震度６以上が 70%程度であった。(b)の上下と水平の揺れの感じ方であるが、上下より水平のほうが大きいと感じる人の方がやや多い。(c)の恐怖感については、「かなりあった」が前震では 30%程度、本震では全員であった。(d)の不快感については、前震では「少しあった」「かなりあった」の意見が多いが、本震では 90%が「かなりあった」と回答している。

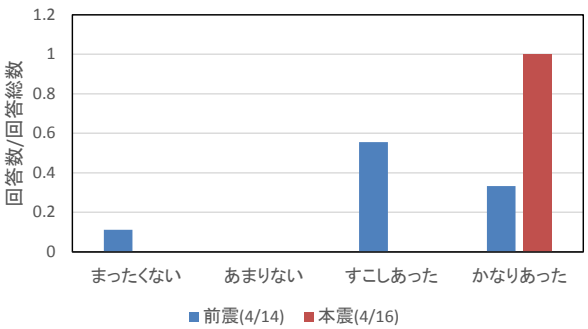


(a)震度にした場合

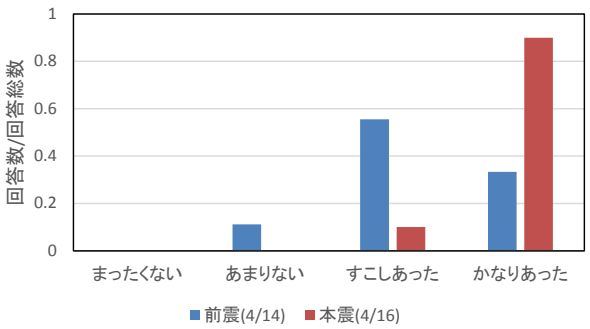


(b)上下と水平の揺れ

図 5.7.4-7-1　揺れの感じ方①



(c)恐怖感



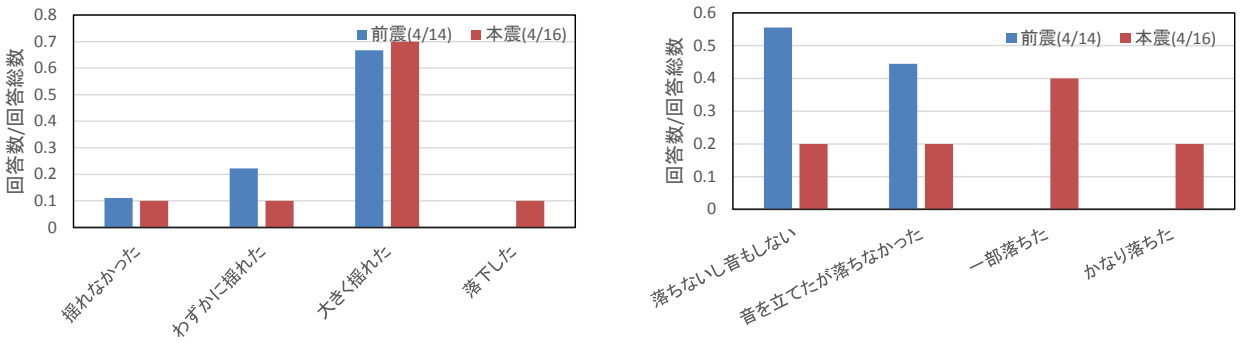
(d)不快感

図 5.7.4-7-2　揺れの感じ方②

図 5.7.4-8 は吊り下げ物や食器の状況に関するアンケート回答の比較結果である。(a)の吊り下げ物は、「大きく揺れた」という回答が多いが、「落下した」という回答は本震で 10%であった。(b)の食

器類は、前震では「落ちないし音もしない」「音を立てたが落ちなかった」という回答が全てで、本震では「一部落ちた」「かなり落ちた」という回答が 60%であった。家具に関しては、前震では、全てが「転倒はなかった」という回答であったが、本震では「転倒はなかった」が 50%であった。

回答者のうち、全員が免震構造であったことを事前に知っていた。今回の地震を通して、「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と感じた回答が 70%であった。



(a) 吊り下げ物　　(b) 食器類

図 5.7.4-8　室内の揺れの状況

3) 建築物Ⅰ（熊本市）におけるアンケート結果

図 5.7.4-9 は建築物Ⅰの記入者情報である。回答者のほとんどが 30 代以上である。上層階（11 階以上）・中間階（６～10 階）・下層階（１～５階）と分類して分析しても、揺れの感じ方等の傾向は大きく変わらない。

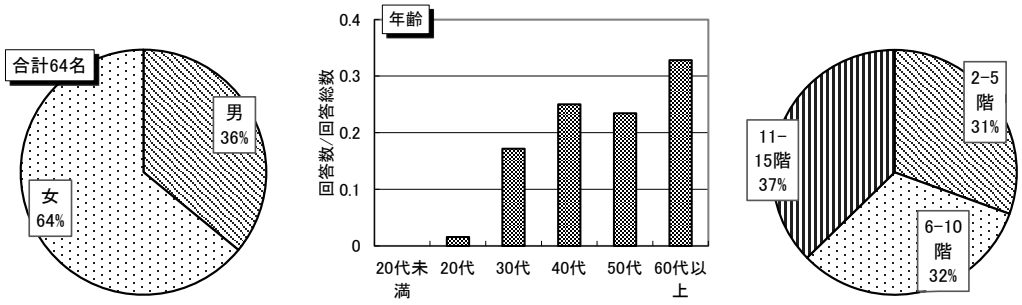
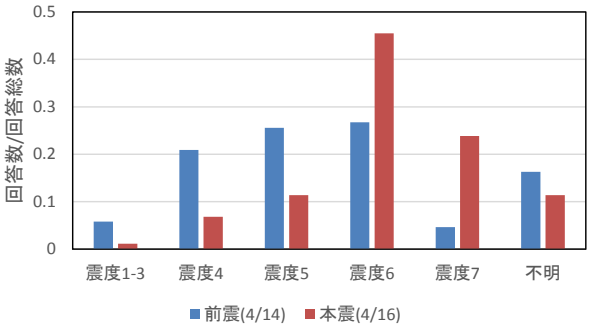
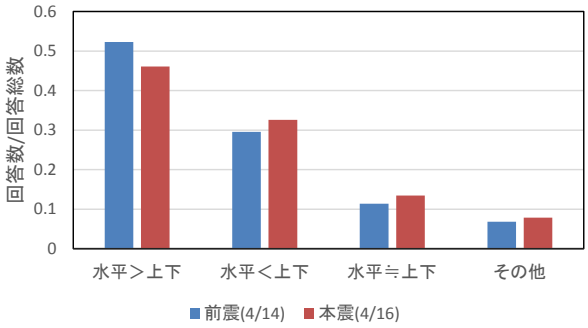


図 5.7.4-9　建築物Ⅰの記入者情報

図 5.7.4-10-1 及び図 5.7.4-10-2 は、揺れの感じ方について前震(4/14) と本震(4/16)の比較結果である。(a)の震度にした場合は、前震では震度４から震度６に均等に分布しているのに対し、本震では震度６以上が 70%程度を占めた。(b)の上下と水平の揺れの感じ方であるが、上下より水平のほうが大きいと感じる人の方がやや多い。前震と本震で、傾向はほぼ同じである。(c)の恐怖感については、「かなりあった」が前震では 50%程度、本震では 70%程度であった。(d)の不快感については、前震では「あまりない」「少しあった」「かなりあった」それぞれの意見が多いが、本震では半数以上が「かなりあった」と回答している。

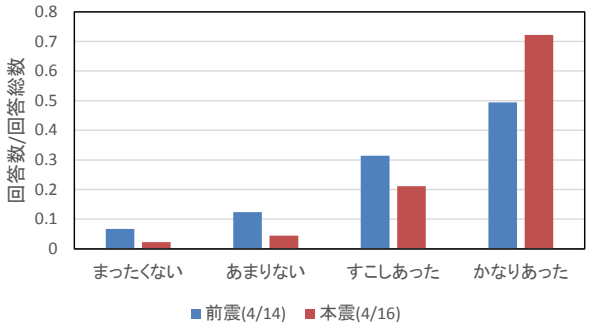


(a) 震度にした場合

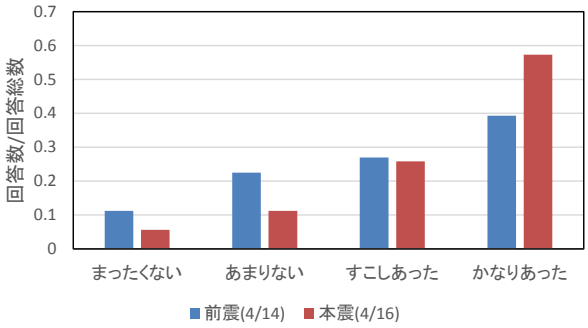


(b) 上下と水平の揺れ

図 5.7.4-10-1　揺れの感じ方①



(c) 恐怖感

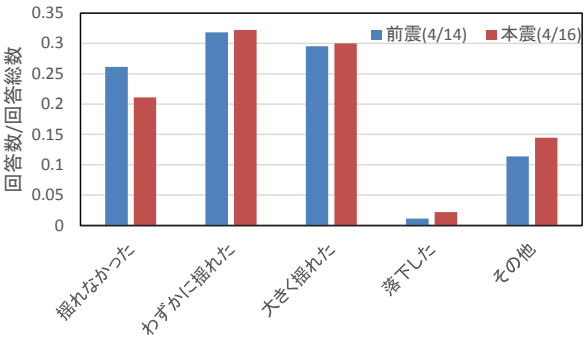


(d) 不快感

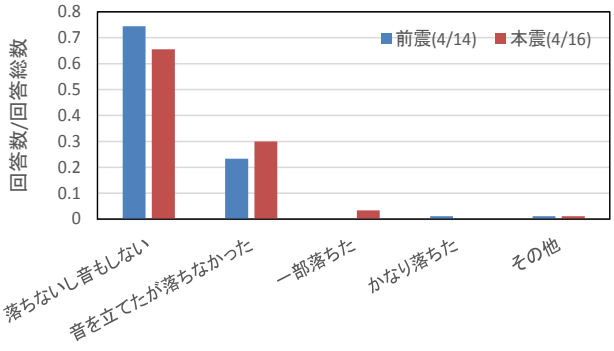
図 5.7.4-10-2　揺れの感じ方②

図 5.7.4-11 は吊り下げ物や食器の状況に関するアンケート回答の比較結果である。(a) の吊り下げ物は、「揺れなかった」「わずかに揺れた」「大きく揺れた」という回答が多いが、「落下した」という回答は前震・本震ともに３％以下であった。(b) の食器類は、「落ちないし音もしない」「音を立てたが落ちなかった」という回答がほとんどで、「一部落ちた」「かなり落ちた」という回答は５％以下であった。家具に関しては、前震・本震ともに、「転倒はなかった」という回答が約 98%であった。

回答者のうち、免震構造であったことを事前に知っていた人は、約 92%である。今回の地震を通して、「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と感じた回答が約 98%であった。



(a) 吊り下げ物



(b) 食器類

図 5.7.4-11　室内の揺れの状況

4) 建築物K（八代市）におけるアンケート結果

図 5.7.4-12 は建築物Kの記入者情報である。男女半々で年代の偏りもない。人数が少ないため、階による違いは分析していない。

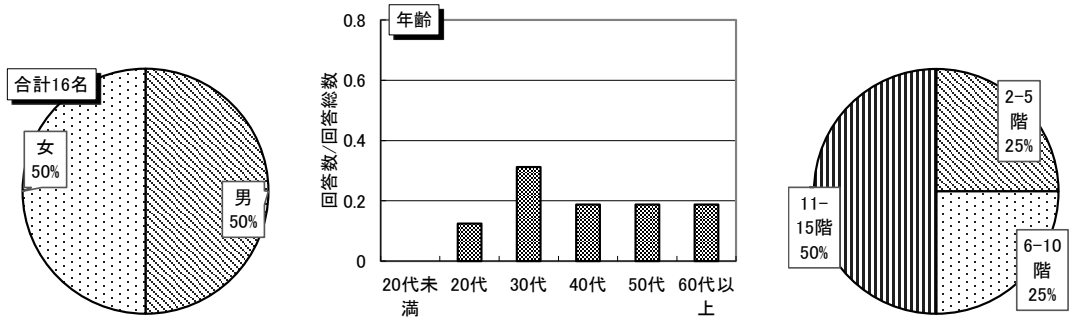
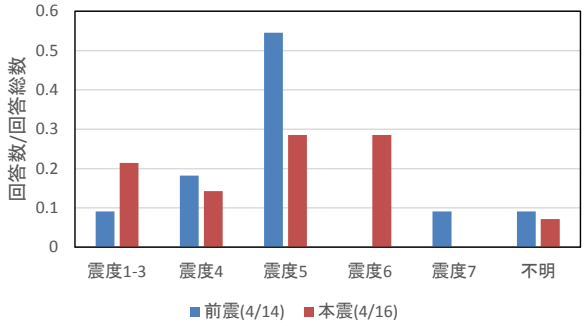
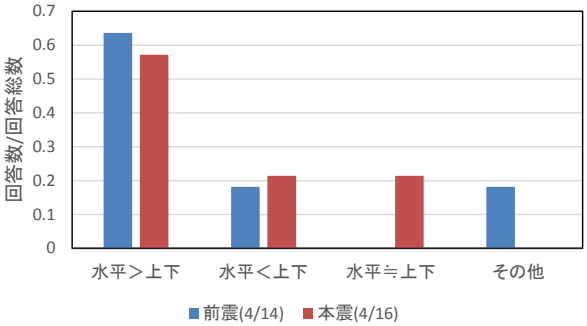


図 5.7.4-12　建築物Kの記入者情報

図 5.7.4-13-1 及び図 5.7.4-13-2 は、揺れの感じ方について前震(4/14) と本震(4/16)の比較結果である。(a)の震度にした場合は、前震では震度５以下が 80%以上であるが、本震では震度 1-3 から震度６までそれぞれ 20%～30%程度であった。(b)の上下と水平の揺れの感じ方であるが、上下より水平のほうが大きいと感じる人の方が多い。(c)の恐怖感については、「かなりあった」が 50%程度、「かなりあった」「すこしあった」の合計で約 90%であった。(d)の不快感については、本震では「すこしあった」と「かなりあった」の合計が 70%以上であった。

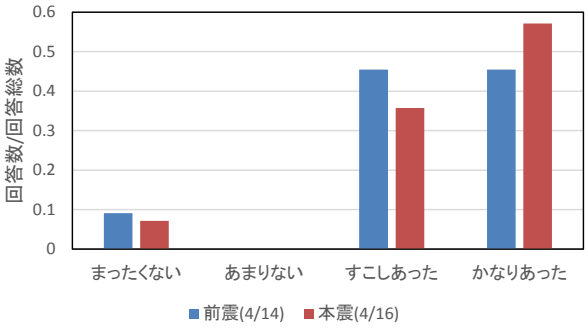


(a)震度にした場合

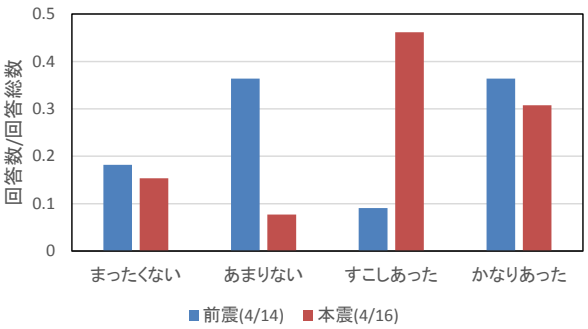


(b)上下と水平の揺れ

図 5.7.4-13-1　揺れの感じ方①



(c)恐怖感

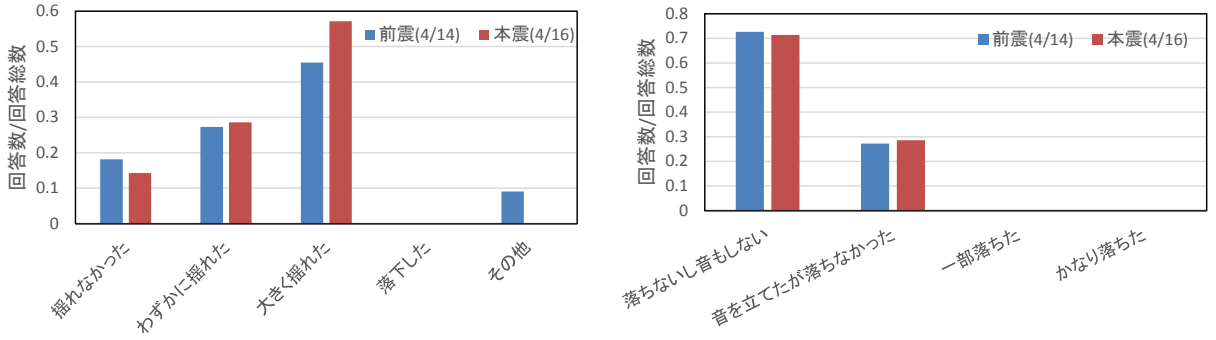


(d)不快感

図 5.7.4-13-2　揺れの感じ方②

図 5.7.4-14 は吊り下げ物や食器の状況に関するアンケート回答の比較結果である。(a)の吊り下げ物は、「揺れなかった」「わずかに揺れた」「大きく揺れた」という回答がほとんどで、「落下した」という回答は前震・本震ともにゼロであった。(b)の食器類は、すべての回答が「落ちないし音もしない」「音を立てたが落ちなかった」であり、「一部落ちた」「かなり落ちた」はゼロであった。家具に関しては、前震はすべての回答が「転倒はなかった」であり、本震では約 90%が「転倒はなかった」という回答であった。

回答者のうち、免震構造であったことを事前に知っていた人は、約 88%である。今回の地震を通して、「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と感じた回答が約 94%であった。



(a) 吊り下げ物　　(b) 食器類

図 5.7.4-14　室内の揺れの状況

5) 免震建築物に対する意見や感想

免震建築物に対するコメントの一部について以下に示す。

①免震建築物の有効性に関する意見

- 免震性の良さが実感出来た。地震後も車中泊なしで部屋で過ごせた。
- 前震、本震共に仕事中で、別の建物の 6F に居ましたがそこはかなり揺れ、物が落ちたり散乱しました。帰ってから物一つ落ちておらず、免震構造のすごさを実感しました。
- 外に出るより室内に居たほうが安全だと感じた。
- 室内の物が殆ど動かず、落ちず、倒れず免震のありがたさを強く感じました。

②その他意見

- 縦揺れ（水平方向の揺れに対する免震構造のためと思われたが）は強く感じた。
- 免震機能が何回持つのか不安だった。業者が点検したか不明で、細かなヒビ等も入っていたため、免震といえ恐怖感があった。
- 台風のときに大きくゆれて地震よりも持続時間が長いので酔いそうで気持ちわるい。
- 今回の地震で免震部のダメージなどを解りやすく住民に説明していただきたい。
- 震度 7 以上の地震では対応出来るのか？又、何度も地震が続いたら免震構造でも有効性はあるのか？不安です。
- 建物の周りに被害が出たので、周囲との兼ねあいをもう少し考えて建ててあれば、さらに安全性が高まるのではと思いました。

5.7.5　まとめと今後の課題

免震建築物の地震時の挙動や地震後の被害状況を把握するために、被害状況に関する現地調査、各地点の観測記録を用いた解析的検討及び居住者を対象としたアンケート調査を実施した。以下にそのまとめと、今回の被害事例等を踏まえた今後の課題を示す。

（１）調査結果のまとめ

1）被害状況調査（現地調査）

・建物使用者・管理者等へのヒアリング等によれば、いずれの免震建築物も継続使用上の大きな支障は見られず、周囲の建築物（耐震設計）と比較して一定の効果が見られたとの回答があった。

・今回の調査で見られた被害は、大きく次の４種類に分類できる。

①ダンパー取付け基部の損傷（建築物Ｃ、建築物Ｉ）

②外付け階段の損傷（建築物Ｇ（Ｂ棟)、建築物Ｈ（Ｅ棟・Ｗ棟))

③免震材料の変状（多数）

④クリアランス部の変状（多数）

・被害①及び②は、構造耐力上主要な部分に関する損傷であり、過去の震災調査では報告されたことのないものである。これらの要因はいずれも、免震材料や架構・部材のモデル化などで構造計算において考慮されていなかった部分があったことから地震時の設計の際に想定した免震材料の変形等に対し当該部位に生ずるせん断応力や曲げ応力等の想定が十分でなく、周囲のはり等の部材の配置、損傷部位の配筋などについて適切な設計が行われなかったことが考えられる。

・被害③は、鋼材ダンパーの屈曲部の残留変形や塗料の剥がれ、積層ゴム支承のカバーのずれ・脱落やゴム部分の膨れなどである。これらの要因は、地震時に免震材料に生ずる一方向又は繰返しの変形と考えられる。なお、今回の地震においては性能評価の範囲を超えるような著しい変形が作用したものはなく、地震時の免震性能の低下などの問題は発生しなかったと考えられる。

・被害④は、免震建築物が免震効果を発揮するために周囲や免震層内に設けられたクリアランス部において見られた変状である。免震建築物が性能を発揮するためには、免震層の水平方向の変形量を確保するため、免震部分の周囲にクリアランス部等を設け、免震挙動を阻害しないようにする必要がある。建築物を使用する上では、このクリアランス部等には居住者や利用者の通行のためのエキスパンションジョイントや、逆に誤って人が立ち入ることによる危険（落下・挟まれ等）防止のための立ち入り禁止措置としてカバーが設置されることが多い。被害はこうした部分を中心に生じており、建築物の応答に合わせて可動するように設計されるが実際には想定したとおりの挙動をしなかったことや、設計者・管理者等が地震時の免震層の可動範囲や動きの影響を適切に想定できなかったことが主な被害の要因と考えられる。その他、今回の調査の範囲では、損傷する前提で設計されているがその後の継続使用にあたって支障となる（通常は予想外の）大きな損傷に至ったものなどがあった。なお、こうしたクリアランス部の被害によって地震時の免震性能の低下などの影響が生ずることはなかったと考えられる。

2）地震時特性に関する検討

・設計情報や罫書きなどの情報のある免震建築物を対象として、作用した地震動の特性の把握のための検討を行った。

・免震建築物の特性を仮定した上で、近傍の地震観測点における記録を用いて推定した応答変位と免

震建築物の設計時に想定した変位とを比較したところ、厳密には一致しないものの一定の対応が見られた。発生した地震に対しその被災地域における免震建築物の状況を推定するために有効な方法となり得ると考えられる。

3）免震挙動に関するアンケート調査

・熊本県内の免震建築物（共同住宅）４棟について、居住者に対するアンケート調査を実施した。
・地震時に居住者が感じた震度は、前震より本震の方が大きい傾向を示した。
・４棟中１棟では70%以上の、他の３棟では90%以上の居住者が、免震建築物について「一般の建物と比較して耐震性に優れている」と答えた。ただし、恐怖感や不快感については「まったくない」「あまりない」より「すこしあった」「かなりあった」とした居住者が多く、本震時には半数以上の居住者が恐怖感を「かなりあった」と答えた。
・室内の揺れの状況として、吊り下げ物の落下があったとした居住者は４棟すべてで10%以下であった。食器類について落下があったとした居住者は、４棟中１棟では50%を超えていたが、他の３棟ではほとんどいなかった。

（２）今後の課題

調査結果を踏まえた今後の課題として、次のような項目が考えられる。

１）構造耐力上主要な部分の被害が見られた項目（ダンパーの取付け基部及び外付け階段の損傷・破壊）については、今回の地震では安全上の支障は生じておらず、また一定の免震性能は発揮されたとみられるものの、場合によっては免震性能の低下など重大な影響につながる可能性がある。ダンパーの取付け基部の被害に類似のものとして、過去に 2005 年福岡県西方沖地震で報告された鉛ダンパーの構造躯体への定着位置における破損被害[5.2-4)]がある。この原因として同報告では、定着部の設計についてダンパーの水平変形に伴って生ずる（せん断力以外の）曲げと引張力に対する配慮不足を指摘しており、2009 年には設計用の資料も整備（最新版は 2014 年の第２版[5.7-5)]）された。被害①が見られた建築物はこの資料以前の設計であるが、今回の被害についても、再発の防止のため、今後注意喚起や適切な設計用の技術資料の整備を行う必要がある。

２）免震材料の変状については、構造性能のほか耐久性への影響も考慮して維持管理に関する規定が整備されていることが多い[例えば 5.7-6)]。今回の地震を踏まえた点検・交換の実績や、過去の定期点検の記録等を収集して、実態を把握する必要がある。

３）免震建築物の周囲に設けるクリアランス部の変状について、免震構造を採用する主要な目的の一つに、構造耐力上主要な部分の損傷を防止し地震直後から（避難等をすることなく）継続的な使用を可能にすることが挙げられるが、エキスパンションジョイントなど人の通行がある部分の損傷が過大であれば、その後の継続使用にあたって支障となることから、注意が必要である。したがってこのような部分における想定外の被害の発生を防止し、適切な設計が行われるよう、被害事例を含めた技術資料[5.7-7)]等に関する周知や構造設計者と意匠・設備設計者及び建物管理者との情報共有のあり方等について検討を行うことが望ましい。

４）免震表示は、必ずしも免震構造であることやどのようにして免震性能が発揮されるかの理解が十分でないままに免震建築物を使用する居住者や所有者に対して、最低限の注意事項としての掲示を行うものである。過去の震災調査も含めて様々な表示が行われていることが報告されているが、危険防止や被害防止の観点から、居住者や所有者が日常的に免震建築物の挙動を意識できるような、

より有効な表示のあり方について検討することが望ましい。

５）地震観測記録に基づく略算的な免震応答の推定手法について、より精度を高めるための検討を行うことが望ましい。

６）今回調査対象としていない戸建て住宅など小規模な免震建築物については、引き続き情報収集を行って被害状況の把握に努める必要がある。

参考文献

5.7-1)(社)日本建築学会:「非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」, p.271, 2003.1

5.7-2) 国立研究開発法人防災科学技術研究所 強震観測網(K-NET, KiK-net), http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin

5.7-3) 小豆畑達哉,飯場正紀,井上波彦,緑川光正:2004 年新潟県中越地震における免震建築物の対地震性能に関する建築物利用者へのアンケート調査, 日本地震工学会論文集, Vol.6 、No.4、p.19-37, 2006

5.7-4) (社) 日本建築学会:「2005 年福岡県西方沖地震災害調査報告」, pp.201～205, 2005

5.7-5) (一社) 日本免震構造協会:「免震部材の接合部・取付け躯体の設計指針」, 2014

5.7-6) (一社) 日本免震構造協会:「免震建物の維持管理基準＜改訂版＞ -2014-」, 2014

5.7-7) (一社) 日本免震構造協会:「免震エキスパンションジョイントガイドライン」, 2013

5.8 非構造部材・設備の被害

5.8.1 調査の目的と概要

国土技術政策総合研究所及び建築研究所による熊本地震の被害調査では、非構造部材・設備の被害状況を確認するために、非構造部材に関する被害調査（第 3 次調査[5.8-2)]、第 11 次調査[5.8-4)]、第 13 次調査[5.8-5)]、吹付けアスベスト等の地震被害に関する補足調査)、建築設備に関する被害調査（第 3 次調査[5.8-2)]、第 5 次調査[5.8-3)]）を行っている。第 3 次調査は報道等で非住宅の非構造部材に被害があるとの情報のあった建築物を対象に、第 5 次調査は給湯設備や防災設備の破損による漏水等の被害情報があった建築物を対象に、第 11 次調査は事前の聴き取り調査で被害情報のあったホール等を有する建築物を対象に、第 13 次は、熊本県と熊本市への事前ヒアリング情報に基づいて被害が大きいと考えられる学校等の体育館を対象に、内部調査をそれぞれ実施している。また、補足調査として吹付けアスベスト等について飛散防止措置のなされた建築物を対象に調査を実施している。調査建築物の所在地は熊本市、宇城市、大津町、益城町、御船町、山都町、菊陽町、高森町であり、調査行程上で建築物の外観から非構造部材・設備の被害調査を行っている。上記調査で内部調査を行った対象は、学校等体育館 15 件、音楽等用ホールを有する施設 5 件、運動施設 4 件、病院、商業施設、行政庁舎が各 2 件、学校校舎、展示用ホールを有する施設、美術館、空港旅客ターミナル、共同住宅が各 1 件である。本節は、上記各調査及びそれら以外の各調査の地震被害調査報告（速報）を踏まえて、非構造部材・設備の被害調査内容について現時点で取りまとめるものである。

5.8.2 非構造部材の被害

(1) 吊り天井の被害

吊り天井については、内部調査を行った建築物を中心に被害を把握している。以下、特定天井（現行の建築基準法施行令第 39 条第３項に規定する「特定天井」。①６ｍ超の高さにあり②水平投影面積 200 ㎡超で③質量 2kg/㎡超である吊り天井が該当する。）と、特定天井以外の天井に分けて被害状況について記述する。

a) 特定天井の被害

特定天井の顕著な被害を確認したのは 6 室であり、その用途は、音楽用ホール 3 室、展示用ホール 1 室、展示室 1 室、剣道場 1 室である。以下、各室のある建築物毎に被害について記述する。

・建築物Ａ（熊本市）

会議室棟とホール棟からなる建築物である。竣工は 1967 年で、構造体は鉄筋コンクリート造である。会議棟１階床とホール棟客席１階床に亀裂があり段差が生じていた。ホールで特定天井に該当する吊り天井が脱落していた（写真 5.8.2-1～5.8.2-4)。前震で舞台上部の天井面が部分的に脱落し、本震でその他の部分が脱落したとのことである。天井面は、吊りボルト下に組んだアングルに鋼線で鉄網を取り付けてモルタルを塗ったもの（ラスモルタル天井）が多くを占めていた。1 階客席に脱落した天井のモルタルの厚さを計測したところ約 4㎝ であり、単位体積重量を 20kN/㎥とすれば平米当たり 800N（約 80kgw）となって単位面積重量は相当に大きい。ラスモルタル天井以外の部分はいわゆる在来工法の天井であり、1 階客席前方や 2 階客席部分等に脱落が生じていた。



写真 5.8.2-1　ホール



写真 5.8.2-2　1 階客席へのラスモルタル天井の脱落



写真 5.8.2-3　ラスモルタル天井（ﾓﾙﾀﾙ厚さ約 4cm）



写真 5.8.2-4　1 階客席前方に落下した天井(せっこうボード(厚さ 12.5mm)＋吹付)

・建築物Ｂ（熊本市）

諸室棟とホール棟からなる建築物である。竣工は 1995 年、構造体は鉄筋コンクリート造（屋根は鉄骨造）である。ホールの特定天井に該当する天井で脱落が生じていた（写真 5.8.2-5、5.8.2-6)。天井は在来工法による吊り天井である。ヒアリングによると、前震では粉がパラパラ降る程度であったが、本震で設備が設置されている箇所で１畳程の大きさで天井面が脱落するとともにその他の箇所でも落ちかけて、5 月 9 日の朝に天井面が大きく脱落しているのが確認された、とのことである。



写真 5.8.2-5　ホール



写真 5.8.2-6　脱落した天井面

・建築物Ｃ（熊本市）

ホールと諸室が入っている建築物である。竣工は 1997 年、構造体は鉄筋コンクリート造（屋根は鉄骨造）である。ホールで、特定天井に該当する吊り天井が破損・脱落していた（写真 5.8.2-7、8)。天井は在来工法による吊り天井である。



写真 5.8.2-7　ホール



写真 5.8.2-8　脱落した天井

・建築物Ｄ（益城町）

展示ホール棟、諸室棟とそれらをつなぐ通路棟からなる建築物である。竣工は 1998 年、構造体は、展示ホール棟と諸室棟は鉄筋コンクリート造（屋根は鉄骨造）であり、通路棟は鉄骨造である。展示ホール棟と諸室棟で鉄骨屋根の支承部のベースプレート下のモルタルが損傷した。展示ホール棟は可動式間仕切りで 4 つの展示スペース（a～d ホール）に区切ることができるようになっており、いずれも特定天井に該当する在来工法の天井が設置されている。天井面の部分的な破損・脱落が吊り物の支持部分や天井面端部で確認され、照明ボックスの脱落などによる落下物が多数確認されたが、b ホールの被害程度が最も大きかった（写真 5.8.2-9、5.8.2-10）。また、通路棟で、吊り天井の被害を確認した。



写真 5.8.2-9　天井（b ホール）

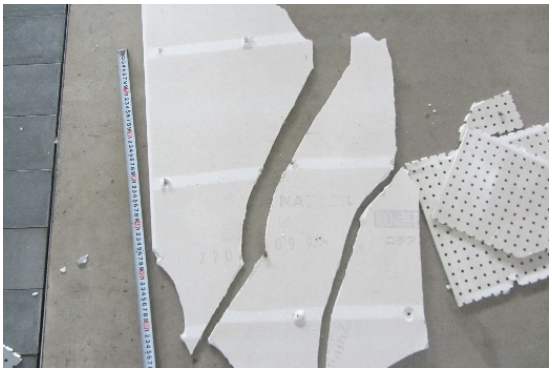


写真 5.8.2-10　脱落した天井板（野縁ピッチ約 30cm、b ホール）

・建築物Ｅ（熊本市）

隣接する鉄筋コンクリート造建築物 2 棟（1958 年竣工の図書館（本館）と 1967 年に北側に増設された別館）に鉄骨造による増床など大幅な増改築・改修工事と用途変更を行い、1992 年に 1 棟の美術館となった建築物である。後述する内装被害のあった展示室は、旧本館部分の最上階 4 階に設けられたホールを改修・用途変更したものである。展示室の諸元は設計図書や現地で確認した内容から以下の通りである。展示室の規模は張り間（東西）方向約 14m、桁行（南北）方向約 26m、天井の高さ約 7m であり、昇降式のパネルにより展示空間を分割できる。天井の水平投影面積は総計で約 300 ㎡であり、特定天井に該当する。パネルは、高さ 7m、幅 2～4m で、桁行方向には展示室を平面的にほぼ二等分する線に沿って 4 枚が、張り間方向には 4 箇所に 2 枚ずつ計 8 枚が設けられており、既存のラチス梁（張り間方向）の上に増設された鉄骨造屋根の内部の天井裏に吊り上げて格納することができる。天井は、ぶどう棚やぶどう棚に固定された軽量形鋼から吊られた鋼製下地材による吊り天井であり、せっこうボード 9㎜の下張りにロックウール化粧吸音板 12㎜で仕上げている。天井面は、張り間方向

のパネルの格納部分に沿って設けられた 4 箇所の高窓を有する吹き抜け空間によって分割されており、その立ち上がり壁は鋼製下地材にせっこうボード 9㎜ の 2 枚張りに塗装仕上げを施している。4 階の展示室で、天井、内壁、高窓への吹き抜け部分の立ち上がり壁等、内装がほぼ全面的に損傷・脱落していたが、大きく損傷・脱落を生じたのは本震の際とのことである（写真 5.8.2-11、5.8.2-12）。

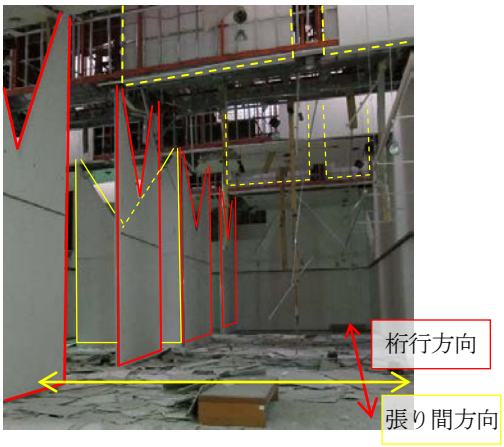


写真 5.8.2-11　展示室の被害状況
※赤色：桁行方向の昇降式パネル
黄色：張り間方向の昇降式パネル

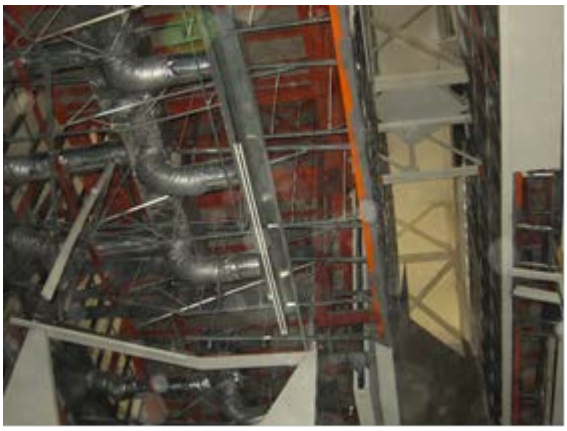


写真 5.8.2-12　天井裏の状況（天井脱落箇所）

・建築物Ｆ（熊本市）

2 層分吹き抜ける剣道場（写真 5.8.2-13）と柔道場がそれぞれ 1 階と 3 階にある 4 階建ての建築物である。その他、1 階には事務室、3 階には第 1、第 2 小道場があり、2 階と 4 階は観覧席となっている。竣工は 1971 年、構造体は鉄筋コンクリート造（屋根は鉄骨造）である。1 階の剣道場の、天井は在来工法による天井で特定天井に該当し、照明周りや壁際で損傷が見られた。屋外で軒天井の一部が損傷して欠けており、詳細が確認できていないが、吊り天井である場合は特定天井に該当する。



写真 5.8.2-13　剣道場（1 階）

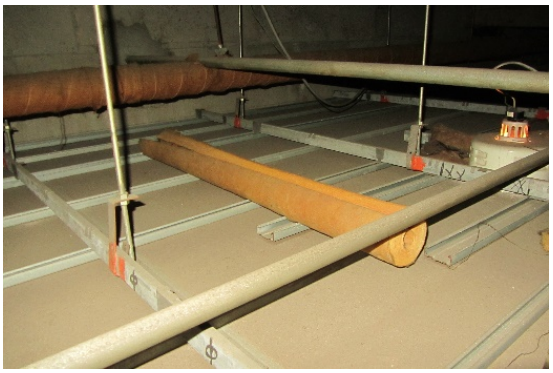


写真 5.8.2-14　剣道場観覧席（2 階）の天井裏

b）特定天井以外の吊り天井の被害

確認した特定天井以外の吊り天井の顕著な被害について記述する。

・建築物Ｇ（熊本市）

昭和 54 年建設の学校体育館。耐震診断の結果 Is 値 0.80 で、耐震性ありと判定された体育館。架構は鉄骨造、張間方向山形ラーメン、桁行き方向ブレース構造。屋根面水平ブレースのうち 3 本の片側端部が外れて垂れ下がった状態であった。当該ブレースの羽子板や接合部のガセットプレートは健全のように見え、ボルトが破断したと思われる。舞台の天井（ロックウール吸音板 1 枚張り。のこぎり

形状。）の一部が脱落していた（写真 5.8.2-16）。



写真 5.8.2-15　内観



写真 5.8.2-16　舞台の天井の損傷・一部脱落

・建築物H（熊本市）

昭和 60 年建設の学校体育館。新耐震基準に基づき設計された。架構は鉄骨造で、張間方向山形ラーメン、桁行き方向ブレース構造で平鋼ブレース。２階の全てのブレース構面でブレース材の破断が観察された。また、１階では１箇所でブレース材の破断が観察された。それらは、ブレース孔欠損部の破断、ブレース端部の母材破断である。ブレースの接合部は、保有耐力接合で設計されていると考えられるが、ブレース材自体の降伏による明確な伸びは、目視では確認できなかった。屋根面ブレースには被害は見られなかった。山形屋根の棟部分が断面で台形状になっており、その部分について金属メッシュを用いた吊り天井が張られている（写真 5.8.2-17）。この吊り天井について、バー材が壁と取り合う端部付近で変形したり、複数の吊り材が吊り元で外れたり床面まで落下したりしていた。吊り材の長さは現地での計測や脱落した吊り材の計測から、0.4m、1.9m、2.4m の３種類が確認されたが、吊り元の溶接が外れていたのは総て最も短い 0.4m の吊り材であった（写真 5.8.2-18）。



写真 5.8.2-17　内観



写真 5.8.2-18　吊り材（円内は溶接痕）

・建築物Ｉ（益城町）

1998 年竣工の平屋建ての鉄骨造建築物（角形鋼管柱とＨ形鋼梁のラーメン構造）である。同建築物の諸元は設計図書や現地で確認した内容から以下の通りである。平面は、張り間方向約 37m、桁行方向約 57m であり、桁行方向に直線上に配置された諸室部分（張り間方向スパン約 8m）を挟んだ両側に、大小２室のライフル射場（張り間方向約 19m×桁行方向約 53m と、同約 10m×同約 57m）が配置されている。張り間方向の断面は、諸室部分は陸屋根であり、ライフル射場は諸室部分側が高くなっている片流れの屋根を有しており、屋根勾配はそれぞれ約 20 度と約 11 度である。桁行方向の屋根の高さは一様である。ライフル射場の天井は鋼製下地材による吊り天井であり、下張りの厚さ約 1mm の金属板の室内側に更に、L-30x30x3 と断面が 40mm 正方の角材（木材）を介して厚さ 12mm の合板を張り、板張りの仕上げとしている。吊りボルトは屋根面に直交するように母屋に金具で取り付けられており、

吊り長さは 0.7～2.2m である。天井裏には断熱材が敷き詰められている。なお、高さが 6m を超える天井の水平投影面積は 200 ㎡以下であり、特定天井には該当しない。調査した範囲では、露出した柱梁接合部には構造的な被害は見られず、屋根面水平ブレースにも、たわみや破断等の構造的な被害は見られなかった。前震により、大きい方のライフル射場の天井が全面的に脱落した（写真 5.8.2-19）。クリップを含めた天井面構成部材が脱落しており（写真 5.8.2-20）、桁行方向の中程ではハンガーの開きや野縁受けの外れが比較的多く確認された。小さい方のライフル射場も、天井面の垂れ下がりが確認されるとのことで、使用禁止となっていた。



写真 5.8.2-19　天井脱落の状況



写真 5.8.2-20　脱落した天井材

・建築物 F

建築物概要等については先述の通り。3 階の柔道場は、照明周りや天井端部等で天井が多く損傷・脱落していた。在来工法による天井であり、高さが 6m を超えないため特定天井に該当しない。



写真 5.8.2-21　柔道場（3 階）

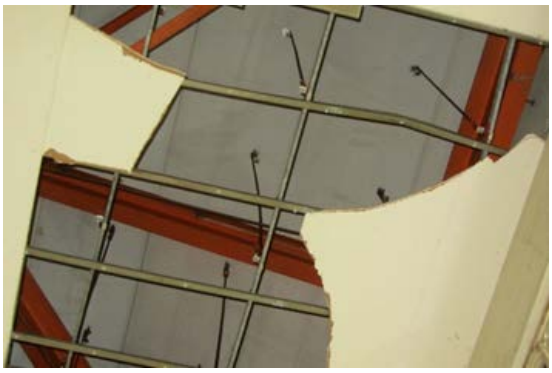


写真 5.8.2-22　柔道場の天井（吊り元は ALC パネル）

・建築物 J（熊本市）

8 階建て（地下 1 階）の病棟 2 棟及び 7 階建ての管理棟 1 棟からなる SRC 造病院建築物である。建設年は、南側病棟 1979 年、北側病棟 1984 年、管理棟 2001 年である。病棟は低層部分がエキスパンションジョイントで分割された南側病棟と北側病棟の 2 棟からなっており、内部が調査ができたのは南側病棟である。北側病棟は現行の耐震基準を満足しているが、南側病棟は満足していないと関係者から情報が得られている。当該建築物では、管理棟や南側病棟の外壁タイルの剝落、渡り廊下のガラス破損並びに南側病棟の中間階の廊下に面する雑壁のせん断破壊、柱の軽微な曲げひび割れ及び 1 階天井仕上げ材の脱落（写真 5.8.2-23）が確認された。



写真 5.8.2-23　天井仕上げ材の脱落（南側病棟）

・建築物Ｋ（御船町）

地上 3 階、地下 1 階の RC 造の行政庁舎で、1974 年（S49 年）に竣工、2010 年（H22 年）に耐震補強を行っている。前震による大きな被害はなかったものの、本震により一部構造でコンクリートの剥落や鉄筋の露出、窓ガラスの破損・脱落が発生する被害を受けている。設計者による調査で構造上の安全性に関する問題は指摘されていないが、天井材が広範囲に落下し（写真 5.8.2-24）、窓ガラスの破損・脱落がある居室もあることから、一部機能を隣の庁舎に移して業務を継続している。



写真 5.8.2-24　天井材の被害

・建築物Ｌ（熊本市）

3 階（一部 4 階）建て RC 造学校校舎で 1959 年に建設、既に耐震補強が実施されている。校舎は 2 棟あり、その平面形状はほぼ同規模の長方形であり、東西方向を桁行方向として、南北に平行配置されている。その 2 棟の校舎に渡り廊下が設けられている。当該建築物では、1 階の校舎入り口からエキスパンションジョイントで分割された階段室回りの 1 階スラブにひび割れと段差が見られる。またエキスパンションジョイントで分割されたエリアにまたがって設けられた天井材が落下している（写真 5.8.2-25）。



写真 5.8.2-25　天井材の落下

・外観調査で確認した吊り天井の被害

鉄骨造建築物の商業施設において、窓際、吹き抜け（写真 5.8.2-26）あるいは軒天（写真 5.8.2-27）等で吊り天井が脱落しているのが確認された。写真 5.8.2-27 の建築物の天井は鋼製下地材による吊り天井であり、前震で建築物内部及び軒天の天井が端部で損傷し、本震で天井が大きく損傷したとのことである。



写真 5.8.2-26　上部から内装材が脱落した吹き抜け（熊本市）



写真 5.8.2-27　軒天井の脱落、ガラスの破損（熊本市）

(2) ガラス開口部の被害

ガラス開口部の被害として、サッシ窓の被害と全面ガラスの被害に分けて以下に記述する。

a) サッシ窓の被害

写真 5.8.2-28 は宇城市の 4 階建て（地下 1 階）RC 造病院（2012 年建設）での被害事例である。一部の RC 壁にせん断ひび割れと脚部のかぶりコンクリートの剥落が見られる他は、窓ガラスの破損・落下や外壁タイルの剥落など非構造部材の損傷が中心である。調査時点において、破損した窓ガラス部分は木製パネルで応急的に養生がなされ、病院としては継続使用されていた。



写真 5.8.2-28　境界梁部分にある窓ガラスの破損・落下

写真 5.8.2-29 は（1）吊り天井の被害で記述した建築物Dにおける被害である。d ホールで、前震で損傷した鉄骨屋根の支承部（妻壁上部）近傍にある開口部のガラスが本震で破損・脱落した。



写真 5.8.2-29　屋根支承部及びガラス（建築物Ｄ ｄホール）

写真 5.8.2-30 は（1）吊り天井の被害で記述した建築物Ｆにおける被害である。鋼製サッシに硬化性パテでとめた窓ガラスが、1 階の剣道場で計 16 枚、3 階の柔道場で計 29 枚、3 階の第 1、第 2 小道場の 2 室で計 7 枚、破損したとのことである。また、建築物周囲の 1 階の外壁にある城壁を模擬したと思われる石積みが全体の 3 分の 2 程度で落石して崩れており、落ちてきた石で 1 階の入り口のガラス扉が損傷していた。



写真 5.8.2-30　剣道場ガラス破損

写真 5.8.2-31 は、比較的新しいと思われる鉄骨造建築物の窓サッシの損傷・外れである。



写真 5.8.2-31　窓サッシの損傷・外れ（熊本市）

第 13 次調査は学校体育館を対象に内部調査を行っており、サッシ窓について、写真 5.8.2-32～5.8.2-34 に示すような被害が確認されている。写真 5.8.2-32 は、RC 造架構でギャラリーから上部が鉄骨フレームの体育館（昭和 52 年建設/山都町）であるが、ほとんど全ての桁行き方向のブレース構面で鉛直ブレースの接合部のボルト（中ボルト）が破断して、一部の柱脚部でコンクリートの破壊が見られ、ガラス窓の損傷・脱落（5 箇所。ただし落ちかけたためはずしたものを含む。）が確認された。写真 5.8.2-33 は、鉄骨造架構の体育館（平成元年建設/宇城市）であるが、すべてのブレースで降伏及び伸びが観察され、大きくたわんでおり（それらのブレース接合部やブレース材で破断は見られなかった）、引違い窓でガラスの損傷や障子の 15 箇所での外れなどが確認された。写真 5.8.2-34 は鉄骨造架構の体育館（昭和 40 年建設、平成 21 年耐震改修/熊本市）であるが、妻面の鉛直ブレースでは丸鋼ブレースで２箇所、ブレースのボルト破断が、桁行き方向の鉛直ブレースでは２階ブレースにわずかなたわみが、屋根面ブレースでは２箇所でボルト破断が見られた（ボルト破断した妻面の鉛直ブレースと屋根面ブレースは、耐震改修前のものがそのまま設置されていたもの。）ものであり、妻面の窓ガラスが損傷していた。



写真 5.8.2-32　体育館の窓ガラスの被害

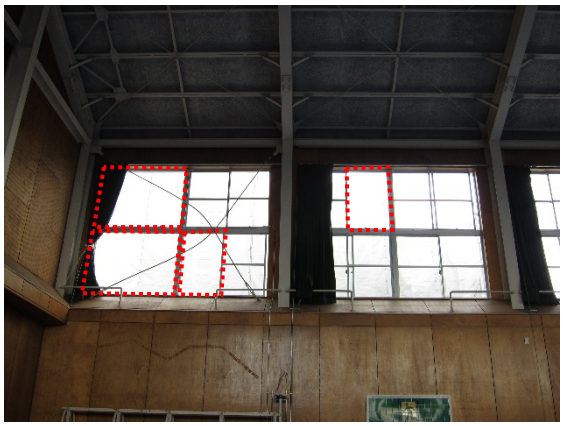


写真 5.8.2-33　ガラス窓の障子の脱落（赤点線枠内が該当箇所）



写真 5.8.2-34　妻面の窓ガラスの損傷

b）全面ガラスの被害

写真 5.8.2-35 は熊本市の店舗建築物での被害であるが、近傍で同様にガラスが配置された店舗でもガラスの破損を確認している。写真 5.8.2-36 は鉄骨造建築物の低層部に設けられた大判のガラスの被害である。写真 5.8.2-37、38 は駅舎のガラス被害である。写真 5.8.2-37 に示す立面の右側で、写真 5.8.2-38 に示すように正方形のガラスを四隅で点支持するような形式のガラスが損傷・脱落していた。写真 5.8.2-37 の赤枠で示した損傷・脱落箇所の左側にあるサッシに入ったガラスには顕著な被害は確認されなかった。



写真 5.8.2-35　店舗でのガラス破損



写真 5.8.2-36　大判ガラスの損傷



写真 5.8.2-37　駅舎のガラスの被害（全体）



写真 5.8.2-38　駅舎のガラスの被害（拡大）

（3）内装の被害

内装の被害として、間仕切り壁等の被害とその他の内装の被害について以下に記述する。

a）間仕切り壁等の被害

写真 5.8.2-39、5.8.2-40 は比較的高所の内壁の被害である。写真 5.8.2-39 は（1）吊り天井の被害で記述した建築物Ｃにおける被害であり、客席工法上部の開口脇で内壁の仕上材が損傷・脱落している。写真 5.8.2-40 は（1）吊り天井の被害で記述した建築物Ｅにおける被害であり、高窓への吹き抜け空間の立ち上がり壁（鋼製下地材にせっこうボード 9㎜の 2 枚張りに塗装仕上げ）の内装材がほぼ全面的に損傷・脱落していたが、大きく損傷・脱落を生じたのは本震時とのことである。

写真 5.8.2-41 は、鉄骨造架構の体育館（昭和 44 年建設、平成 23 年耐震改修/熊本市内）であるが、鉛直ブレースの複数か所のガセットプレート及びブレース端部に塑性変形が見られた。屋根面水平ブレース（ターンバックル付き丸鋼ブレース）で２箇所でボルト破断が観察され、ブレースのたわみも観察された（屋根面ブレースは、耐震改修前のブレースがそのまま設置されていたもの）。このほか、

柱脚部のコンクリートのひび割れや周辺地盤の沈下も観察され、舞台に向かって右側に位置する掃き出し窓上部の内壁（コンクリートブロックに有孔ベニアで仕上げたもの。）が損傷して傾いていた（コンクリートブロックの鉄筋の頂部は梁等への定着は確認されなかった。）。写真 5.8.2-42 は同じくブロック壁が天井裏の界壁に用いられたものであり、空港旅客ターミナル（1971 年の竣工から 2012 年までに 5 次にわたる増改築・改修工事。鉄筋コンクリート造と鉄骨造が混在。/益城町）で確認されたものである。写真 5.8.2-43 は写真 5.8.2-33 と同じ体育館で見られた被害であり、舞台の壁に損傷が見られたものである。



写真 5.8.2-39　客席後方上部の開口脇の内壁の損傷・脱落



写真 5.8.2-40　吹き抜け部の立ち上がり壁の仕上げ材の脱落

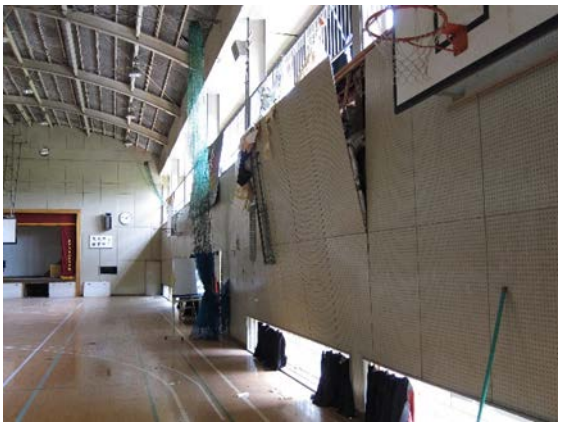


写真 5.8.2-41　損傷して傾いた内壁



写真 5.8.2-42　ブロック壁（天井裏界壁）の被害



写真 5.8.2-43　舞台壁の損傷、引き戸の外れ

b）その他の内装の被害

内部調査を行った建築物で、鉄筋コンクリート造に鉄骨屋根を載せた形式のものについて、写真 5.8.2-44～5.8.2-48 に示すように支承部のコンクリートの損傷が複数確認された。写真 5.8.2-44、45 は（1）吊り天井の被害で記述した建築物Ｄにおける被害であり、写真 5.8.2-44 はホール棟、写真 5.8.2-45 は諸室棟における被害である。写真 5.8.2-46 は、鉄筋コンクリート造 4 階建て（屋根は鉄骨造）の建築物（平成 6 年竣工/熊本市）の最上階で支承部が損傷してコンクリートが割れたり脱落したりした被害である。写真 5.8.2-47 は、鉄筋コンクリート造（屋根が鉄骨造アーチトラス。）の体育館（平成 15 年建設/熊本市）であるが、屋根面の丸鋼ブレースに数カ所たわみが見られ、鉄筋コンクリート造架構と鉄骨造屋根の接合部（支承部）の被害であり、数カ所でコンクリートの側方破壊や大きなひび割れが見られた。写真 5.8.2-48 は、鉄筋コンクリート造架構（屋根が鉄骨造アーチ立体トラス。）の体育館（平成 9 年建設/熊本市）であるが、屋根のトラスで下弦材が 1 カ所落下して 5 箇所で曲がっているのが観察されており、ステージ上の妻壁上部の RC 架構と下屋の屋根の支承部でコンクリートの破壊、落下が見られた（桁行き構面の支承部では被害は見られなかった。）。



写真 5.8.2-44　屋根支承部の被害（d ホール）



写真 5.8.2-45　屋根支承部の被害（諸室棟）



写真 5.8.2-46　S 造屋根支承部の損傷（脱落）



写真 5.8.2-47　支承部のコンクリートの側方破壊



写真 5.8.2-48　ステージ上の下屋の支承部コンクリートの破損、落下

写真 5.8.2-49 は（1）吊り天井の被害で記述した建築物Cにおける被害であり、最後方の客席とその後ろの通路を隔てるように設置された高さ１ｍ程度のコンクリート製の壁が転倒していた。

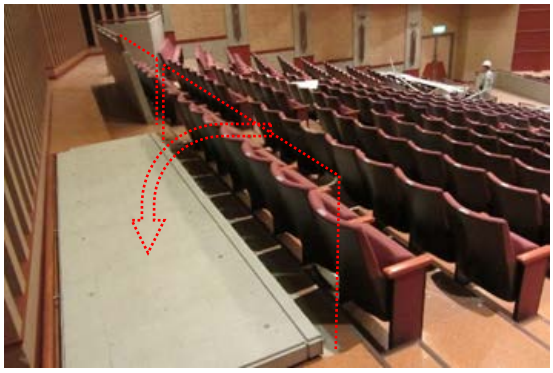


写真 5.8.2-49　最後方の客席とその後ろの通路を隔てる壁の転倒
（写真奥の壁では傾き発生）

（4）外装の被害

外装の被害として、湿式工法による外壁の被害と乾式工法による外壁の被害について記述する。

a）湿式工法による外壁の被害

写真 5.8.2-50～5.8.2-52 はラスモルタル外壁やラスシートモルタル外壁など、比較的古い鉄骨造に用いられた外壁の被害である。写真 5.8.2-50 は 2 階建て鉄骨造（熊本市）の被害である。写真 5.8.2-51 は（1）吊り天井の被害で記述した建築物Dにおける被害であり、舞台裏手外壁のラスモルタルの脱落（幅約 3m。厚さ約 3.5cm）が確認された。写真 5.8.2-52 は鉄骨造架構の体育館（昭和 48 年建設、平成 22 年度耐震改修/熊本市）であるが、桁行ブレースにゆるみが生じていた以外は特に被害は見受けられず、1 階の外壁のラスシートモルタル（厚さ約 3cm）が一部落下した。写真 5.8.2-53 は、商業用途と居住用途が複合する比較的新しいと思われる鉄筋コンクリート造建築物で、下地コンクリートの損傷に伴う外壁タイルの損傷・脱落が確認された。



写真 5.8.2-50　湿式工法による壁の脱落



写真 5.8.2-51　舞台裏　ラスモルタル外壁の落下



写真 5.8.2-52　入り口脇の外壁モルタルの落下



写真 5.8.2-53　外壁タイルの脱落

b）乾式工法による外壁の被害

写真 5.8.2-54～5.8.2-58 は、ALC パネルによる外壁の被害である。写真 5.8.2-54～5.8.2-56 は ALC 縦壁挿入筋構法による外壁の被害であるが、同構法は、比較的古い鉄骨造建築物で多く用いられており、現在の新築では使われない。写真 5.8.2-54 は 4 階建ての鉄骨造の事務所（熊本市）における被害である。写真 5.8.2-55 は 2 階建ての鉄骨造の工場（西原村）であり、周辺でこの他にも外装材の一部が落下している工場建築物がいくつか見られたが、これらの建築物では外観からは構造的な被害は確認されなかった。写真 5.8.2-56 は 6 階建ての鉄骨造の立体駐車場（熊本市）で建築物の外側からは構造的な被害は確認されていないものの塔屋で ALC パネルが損傷・脱落しているものであり、近傍で同様の被害を確認している。写真 5.8.2-57、5.8.2-58 は ALC パネルを横づかいした外壁の被害である。写真 5.8.2-57 は平屋建ての鉄骨造であり、立ち上がった壁が下地材も含めて損傷・傾斜している。写真 5.8.2-58 は 3 階建ての鉄骨造の商業施設の外壁での被害であり、天井レベルのパネルが脱落していた。写真 5.8.2-59 は、2 つのホールと諸室が入った鉄骨鉄筋コンクリート造建築物（昭和 57 年竣工/熊本市）において、外壁の PC パネルで面外方向にずれたものが相当数（全体の 1 割程度）あった。

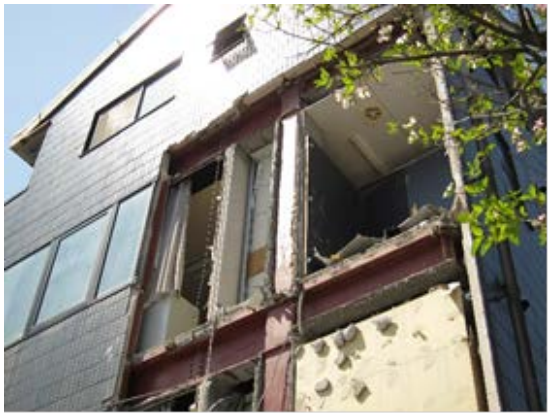


写真 5.8.2-54　乾式工法による外壁の脱落



写真 5.8.2-55　工場の外壁の被害



写真 5.8.2-56　駐車場の塔屋の被害



写真 5.8.2-57　外壁の損傷・傾斜

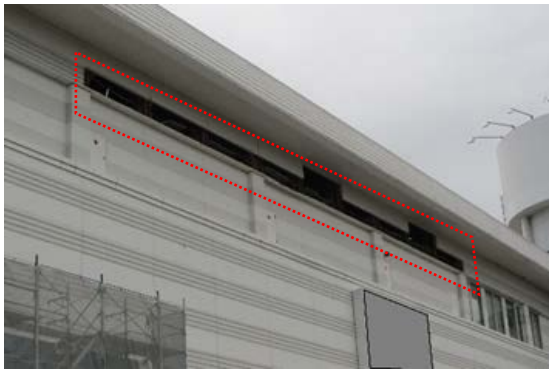


写真 5.8.2-58　商業施設における天井レベルでの ALC パネルの損傷

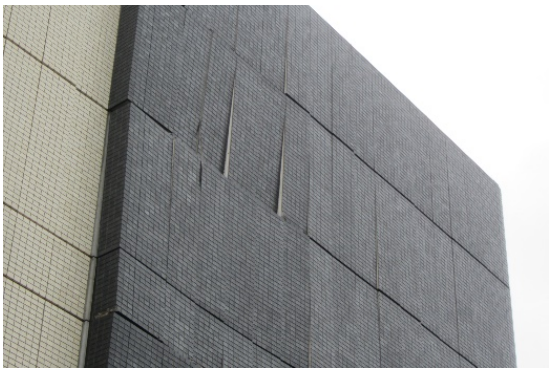


写真 5.8.2-59　PC パネルの面外へのずれ

(5) 防火戸等の被害

防火戸については、扉がヒンジから外れて脱落したものや（写真 5.8.2-60）、扉や戸枠の歪み、床の盛り上がりによる開閉障害が複数確認されている（写真 5.8.2-61）。また、エレベーター前に設置された折り畳み式防火戸が、揺れの影響で戸先が垂れ下がり、開閉ができないものもあった。この例では、エレベーターシャフトと室内空間を隔てていた防火戸の枠板も脱落したため、現在は仮留めをした上でエレベーターの使用が停止されていた（写真 5.8.2-62）。この他、エキスパンションジョイント近くに設置された防火戸が、枠の変形のために完全には閉鎖しない状態となっていた（写真 5.8.2-63）。揺れにより自動閉鎖したものの、付属するモーターの電源が起動せず、開放することができなくなった防火シャッターもあった（写真 5.8.2-64）。



写真 5.8.2-60　ヒンジから脱落した防火戸（益城町、RC+S 造）



写真 5.8.2-61　戸枠の歪みにより開放できなくなった防火戸（益城町、RC+S 造）



写真 5.8.2-62　脱落した折り畳み式防火戸（RC+S 造、大津町）

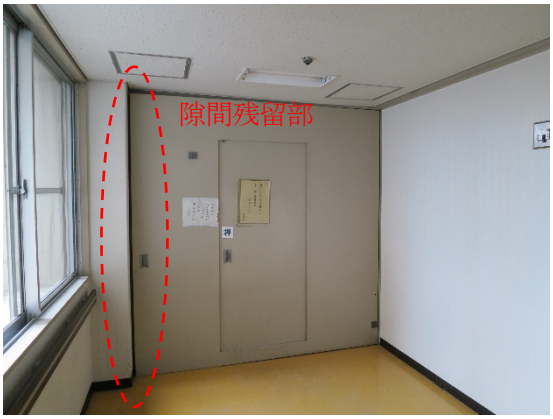


写真 5.8.2-63　完全には閉鎖しなくなった防火戸（SRC 造、熊本市東区）



写真 5.8.2-64　自動閉鎖したのち開放できなくなっていた防火シャッター（RC 造、御船町）

熊本市中央区の共同住宅では、共用廊下に面した方立て壁にせん断破壊が生じている場合、住戸の鋼製玄関扉にも開閉障害が発生している例が多く見られた（写真 5.8.2-65、5.8.2-66）。本施設は、11 階建ての鉄筋コンクリート造であり、1978 年（S53 年）に建設されている。住戸は共用の外廊下に沿って並んでおり、住戸数は 1 階に 5 戸、2 階以上は 10 戸の全 105 戸である。前震翌日の段階で、構造的な安全性は建物管理者により確認されていたが、本震が発生した後にも再度安全性を確認した上で継続使用されている。施設管理者ならびに居住者によると、バールで外側から玄関扉をこじ開けたり、玄関扉を内側から蹴破ったり、ベランダから隣接住戸に避難したりした人もあったとのことであ

る。玄関扉に開閉障害が発生している場合には、火災時などにおける避難上の支障となる可能性があることから、本調査では、各住戸の玄関扉の被害について重点的に調査を行った。具体的には、共用部からの目視調査を行い、方立て壁のせん断破壊の程度[5.8-6)]と鋼製玄関扉の開閉障害との関係を調べた。ただし、実際に玄関扉の開閉を行って障害の有無を確認することはできなかったため、開放されたままで閉鎖ができない状態になっているものを「閉鎖障害あり」、閉鎖はされているものの、ドアノブ周辺で扉と枠の間のクリアランスがなく、開閉に支障をきたしていると見られるものを「開閉障害の疑いあり」とした。また、参照したせん断破壊等級は、鉄筋コンクリート造の耐力壁の損傷程度として定義されたものであるが、ここで対象とした方立て壁は非耐力壁である。方立て壁の被害と玄関扉の開閉障害の有無の関係を整理した結果を図 5.8.2-1、5.8.2-2 に示す。これによると、方立て壁、玄関扉とも、中央階段より南側に被害が集中している。破壊等級がⅣの住戸では、36 戸中に 27 戸で玄関扉の開閉障害が発生しているなど、せん断破壊の程度が大きいほど、より多くの開閉障害が発生していることが確認できる。



写真 5.8.2-65　開閉障害が発生した玄関扉（RC 造、熊本市中央区）



写真 5.8.2-66　方立て壁のせん断被害（等級Ⅳ）（RC 造、熊本市中央区）

階		北側階段	住戸 1	住戸 2	住戸 3	住戸 4	住戸 5	中央階段＋エレベーター	住戸 6	住戸 7	住戸 8	住戸 9	住戸 10	南側階段
階	11	北側階段						中央階段＋エレベーター			Ⅱ			南側階段
			○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	
	10								Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅰ	
			○	○	○	○	○		○	○	×	○	○	
	9			Ⅱ		Ⅱ			Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	
			○	○	○	×	○		○	○	×	○	○	
	8			Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ			Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	
			○	○	○	×	○		○	×	×	×	○	
	7			Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅰ		Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	
			○	×	×	×	○		△	△	×	○	○	
	6		Ⅰ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅰ		Ⅳ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ	
			○	○	×	○	○		×	×	×	×	○	
	5		Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅱ		Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	
			○	○	○	○	○		×	×	×	×	×	
	4		Ⅱ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ		Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	
			○	△	×	×	○		×	×	×	×	×	
	3		Ⅲ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅲ		Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	
			○	△	×	○	○		×	×	×	△	×	
	2		Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅱ		Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	
			○	△	○	○	×		○	○	×	△	○	
	1		Ⅰ	Ⅰ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ							
			○	○	○	○	○							

壁面のせん断破壊等級の定義（文献[5.8-6]を参考にした）
Ⅰ：近寄らないと見えにくい程度のひび割れが発生
Ⅱ：肉眼ではっきり見える斜め方向のひび割れが発生
Ⅲ：せん断ひび割れの幅が比較的大きく、複数発生するも、かぶりコンクリートの剥落はごくわずか
Ⅳ：せん断ひび割れの幅が拡大し、多数発生。かぶりコンクリート剥落や圧縮破壊が著しく、鉄筋が露出していることも
Ⅴ：鉄筋が曲がり、内部のコンクリートも崩れ落ちるなど、部材耐力がほとんど残っていない状態

玄関扉の開閉障害
○：開閉障害なし
△：開閉障害の疑いがある
×：開閉障害あり

図 5.8.2-1　廊下側方立て壁のせん断破壊と玄関扉の開閉障害の状況

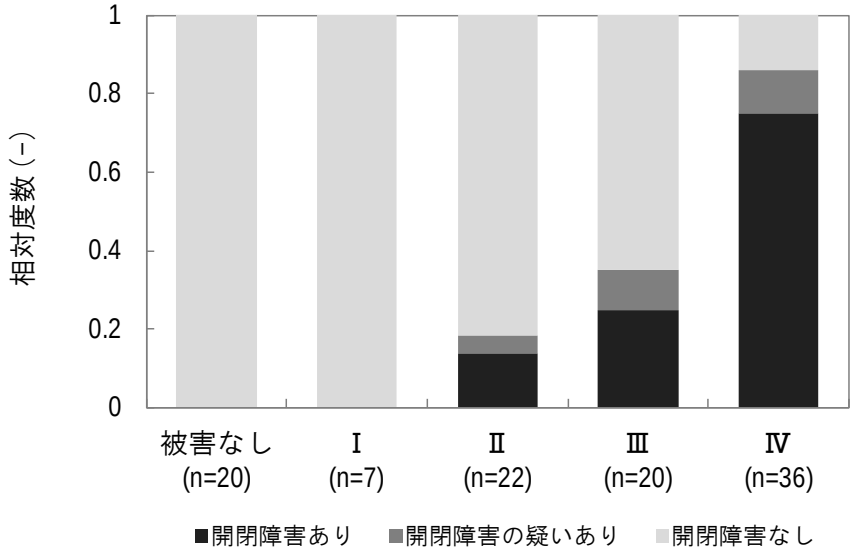


図 5.8.2-2　玄関扉の開閉障害の発生率

この他の防災設備では、線入りガラス製の防煙垂れ壁が落下し、割れたガラスが周囲に散乱した（写真 5.8-67）。また、防火区画を形成すると見られる階段室内の壁では、2 枚重ね合わせたせっこうボードのうち室内側の 1 枚が脱落していた（写真 5.8.2-68）。電気温水器用貯湯槽の配管が揺れにより鉄骨梁に接触し、吹き付けられた耐火被覆が剥落していた（写真 5.8.2-69）。この他、空調ダクト内の防火ダンパーが自動閉鎖したため、手動で開放された例もあった。

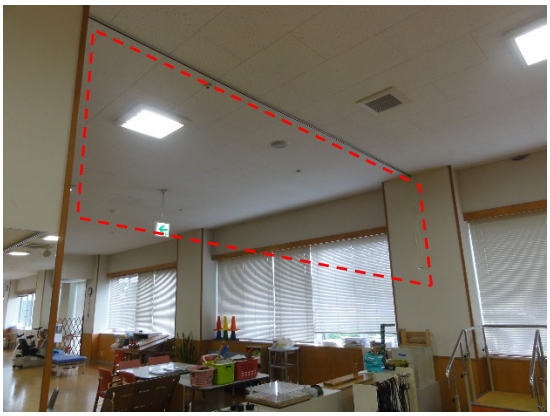


写真 5.8.2-67　防煙垂れ壁の脱落あと（赤線部）（RC+S 造、大津町）



写真 5.8.2-68　階段室内の壁の被害（RC+S 造、大津町）



写真 5.8.2-69　耐火被覆が剥落した鉄骨梁（RC+S 造、大津町）

（6）吹付けアスベスト等の被害

（ⅰ）調査概要

建築基準法では、平成 18 年の改正により、吹付けアスベスト等（吹付けアスベスト及び吹付けロックウール）について、一定規模以上の増改築の際に当該区域は原則除去、それ以外の区域でも封じ込めまたは囲い込みの措置を求めた[注1]。封じ込めまたは囲い込みの措置を行った部分については、その状態が保持されるべく維持管理が必要である。地震による損壊等の状況を把握し、封じ込めまたは囲い込みの状態を確認するとともに、震災後の安全性の確保に向けての課題の把握を行うことが求められる。このため、吹付けアスベスト等及びそれらの封じ込めまたは囲い込み箇所の被害状況について調査を実施した。

[注1]：平成 18 年告示第 1173 号に規定されている。封じ込め措置は“既存の吹付けアスベストはそのまま残し、吹付けアスベストへ薬剤の含浸若しくは造膜材の散布等を施すことにより、吹付けアスベストの表層部又は全層を完全に被覆又は固着・固定化して、粉じんが使用空間内へ飛散しないようにする[5.8-7)]”ものである。囲い込み措置は“既存の吹付けアスベストはそのまま残し、吹付けアスベストが使用空間内に露出しないよう、板状材料等で完全に覆うことによって粉じんの飛散防止、損傷防止等を図る[5.8-7)]”ものである。

（ⅱ）調査行程

平成 28 年 7 月 27 日（水）	平成 28 年 7 月 28 日（木）
午前　建築物イ	午前　建築物ハ
午後　建築物ロ	午後　建築物ニ
	建築物ホ

（ⅲ）対象建築物の選定

応急危険度判定が実施された熊本県内の 18 市町村を対象に、熊本県及び熊本市より提供を受けたアスベスト台帳に基づき、吹付けアスベスト等へ封じ込め、囲い込みの対策が行われた建築物を抽出し、調査への協力の了承が得られた２建築物（建築物イ、建築物ロ）について対象建築物とした。

さらに、自治体のアスベスト対策に関する公表資料により“アスベスト対策済み”または“囲い込み状態”との記載が確認され、自治体による建築物の被災状況調査や報道から当該箇所の損傷が確認された２建築物（建築物ハ、建築物ニ）、建築物ニと同一敷地に立地し、自治体公表資料により“囲い込み状態”の記載がなされている１建築物（建築物ホ）を対象建築物とした。

（ⅳ）調査結果

調査を行った建築物のうち、２件（建築物ニ、建築物ホ）については、断熱材等建築基準法の規制対象である吹付けアスベスト等に該当しない建材を用いたものであった。このため、吹付けアスベスト等に該当する調査対象３件（建築物イ、建築物ロ及び建築物ハ）について報告する。各建築物の諸元や被害状況のまとめは表 5.8.2-1 に示す。

表5.8.2-1 被害状況一覧

No.	名称	用途（所有）	建設年	構造	台帳・自治体公表資料で確認されたアスベスト対策	アスベスト対策年	アスベスト含有建材・部位	封じ込め・囲い込みの措置	室名	アスベスト含有率分析結果	損傷等の状況	備考
1	建築物イ	商業施設（民間）	1977年	S造２階建て	囲い込み	2015年（台帳記載）	アスベスト含有吹付けロックウール・界床裏	吊り天井（囲い込み）※2	１階店舗	－	吊り天井の天井板の一部落下、破損 吹付けロックウールは概ね付着、天井板上に少量落下	外壁材（スレート板）破損・脱落 屋外の総繊維数濃度測定結果から通常の一般大気環境とほぼ変わらないことが確認された。
									１階バックヤード	－	吊り天井の天井板の一部落下	
							アスベスト含有吹付けロックウール※1・屋根折板裏	吊り天井（囲い込み）※2	２階店舗	（参考）クリソタイル、0.1wt%未満※3	吊り天井崩落、吹付けロックウールほぼ崩落（吹付けロックウールの落下は地震の影響かどうか不明）	
2	建築物ロ	商業施設（民間）	1971年	RC造3階建て	封じ込め	2007年（掲示による）	吹付けアスベスト封じ込め処理・天井及び壁	封じ込め	１階倉庫（旧ボイラー室）	－	異常はみられない（地震以外の原因と推定される損傷有り）	
							吹付けアスベスト封じ込め処理・階段上げ裏	封じ込め	階段室	－	異常はみられない（地震以外の原因と推定される損傷有り）	
3	建築物ハ	運動施設（公共）	1973年	RC造２階建て	アスベスト対策	2006年（記録による）	吹付けアスベスト封じ込め処理・天井、吹付けアスベスト・天井RCスラブ上部空間（点検口を介して隣接）屋根折板裏	封じ込め、RCスラブ（囲い込み）※2	２階ギャラリー	－	封じ込め措置が一部はく離し落下、天井ＲＣスラブ上に吹付けアスベスト塊が一部落下	屋外及びアリーナ室内の空気質測定結果からはアスベストの飛散は確認されなかった。
									２階倉庫１	－	一部損傷（地震による影響外）	
									２階倉庫２	－	一部損傷（地震による影響外）	
							吹付けアスベスト・屋根折板裏、吊り天井設置（囲い込み）	吊り天井（囲い込み）※2	アリーナ	－	吊り天井落下（最大20cm程度下がっており、崩落はしていない）、床面に吹付けアスベスト塊が落下、吊り天井裏に吹付けアスベスト塊が一部落下	
							吹付けアスベスト※1・屋根折板裏、吊り天井設置（囲い込み）	吊り天井（囲い込み）※2	ステージ	クロシドライト、26wt%	天井板落下、床面に吹付けアスベスト塊が落下	

※1:　本調査で試料採取及び分析を実施した建材
※2:　囲い込みに該当するか否かは資料等から判断できなかったため、類似の囲い込みの事例と同様である場合は囲い込みと表記した。
※3:　吹付けロックウールは２階の落下したアスベストを採取し、JIS A 1481-3に規定された分析方法に基づきアスベスト含有率の分析を行った。狭い範囲において採取を行った試料であったため参考値とする。偏光顕微鏡によりアスベスト繊維（クリソタイル）が確認されていること、管理者による2015年時点での調査でクリソタイル3.6wt%の含有であったという報告が確認されたことから本報告ではアスベスト含有であるとして取り扱う。

・建築物イ（囲い込み）

建築物イは1977年に竣工した鉄骨造２階建ての商業施設で、最大震度７[5.8-8)]の地点に位置する。現地での調査により１階と２階の界床裏面及び折板屋根裏面にアスベスト含有吹付けロックウールが確認された[注2]。アスベストの種類のうちアモサイト（茶石綿）は飛散性が高い[5.8-9)]が、建築物イで使用されていたアスベスト含有吹付けロックウール中のクリソタイル（白石綿）は相対的に飛散性が高くないアスベストである。それぞれアスベスト含有吹付けロックウール下部に吊り天井を設置する囲い込みの措置が行われていた。

１階天井は、一部の天井板（せっこうボード）において主として設備類の周辺で破損及び落下が見られた（写真5.8.2-70、5.8.2-71）。界床裏面のアスベスト含有吹付けロックウールは全般的には付着しているものの（写真5.8.2-72）、天井内部では落下した綿状物質が部分的に確認された（写真5.8.2-73）。これらの落下の地震との関係は不明である。床上では目視ではアスベスト含有吹付けロックウールの落下は確認できなかったものの、落下していない天井板の上面にアスベスト含有吹付けロックウールが存在している状況から、天井板落下に伴いアスベスト含有吹付けロックウールが床上にも落下した恐れがある。

２階天井は吊り天井が崩落し、床上に天井板（化粧せっこうボード）及び野縁、天井板に敷設されていたグラスウールが落下し（写真5.8.2-74）、さらにその上にアスベスト含有吹付けロックウールが落下していた（写真5.8.2-75）。これらの天井からの落下物の下には２階店舗に設置されていた什器及び商品がある。折板屋根裏には一部にアスベスト含有吹付けロックウールが残存していたが、大部分が落下していた（写真5.8.2-76）。経年により付着力が低下していたと推測されるが、落下の直接の原因が地震によるものか、経年によりはく離し天井内部に落下していたものが地震により天井板とともに落下したものであるかは確認できなかった。

また、２階の外壁材の一部が落下し、１階と２階の界床に施工されたアスベスト含有吹付けロックウールが外部からも視認できる状態となっていた。この部分についてはアスベストの外部空間への飛散が懸念される状況にあるものの、環境省により周辺大気中の総繊維数濃度が確認され、“通常の一般大気環境とほぼ変わらない”ことが報告されている[5.8-10)]。

注2：吹付けロックウールは２階の落下したアスベストを採取し、JIS A 1481-3に規定された分析方法に基づきアスベスト含有率の分析を行った。狭い範囲において採取を行った試料であったため参考値とする。偏光顕微鏡によりアスベスト繊維（クリソタイル）が確認されていること、管理者による2015年時点での調査でクリソタイル3.6wt%の含有であったという報告が確認されたことから本報告ではアスベスト含有であるとして取り扱う。１階と２階の界床裏面、折板屋根裏面の吹付けロックウールは同一の建材であると仮定し記述している。



写真 5.8.2-70　１階天井板落下箇所



写真 5.8.2-71　１階天井板破損箇所



写真 5.8.2-72　界床裏



写真 5.8.2-73　１階吊り天井内部



写真 5.8.2-74　２階天井崩落状況



写真 5.8.2-75　２階床上落下物



写真 5.8.2-76　折板屋根裏

・建築物ロ（封じ込め）

建築物ロは 1971 年に竣工した鉄筋コンクリート造２階建ての商業施設で、最大震度５強[5.8-8)]の地点に位置する。現地での調査により１階旧ボイラー室（現在は使用していない、煙突等が撤去されてい

るがボイラーは残地）の天井、壁（写真 5.8.2-77）及び階段室内部（１階から塔屋）の階段裏面（写真 5.8.2-79）にて吹付けアスベスト[注3]に封じ込め措置を行った箇所が確認された。いずれも対策箇所近傍に封じ込め措置を実施した旨の掲示（写真 5.8.2-78、5.8.2-80）がなされていた。掲示によると、2007 年に封じ込め措置がなされている。

外観目視により状態の確認を行ったところ、ひび割れ、浮き、はく離等の異常は見られなかった。

[注3]：本調査では建築物ロの吹付けアスベストと推定される建材の資料採取及びアスベスト含有率分析は行っていない。封じ込め措置が実施されている事から、封じ込め措置の実施時にアスベスト含有が確認されたと判断し、本報告では吹付けアスベストと表記する。



写真 5.8.2-77　１階旧ボイラー室内壁

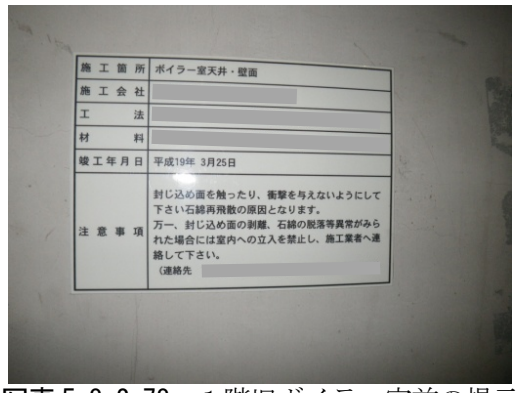


写真 5.8.2-78　１階旧ボイラー室前の掲示



写真 5.8.2-79　階段裏面

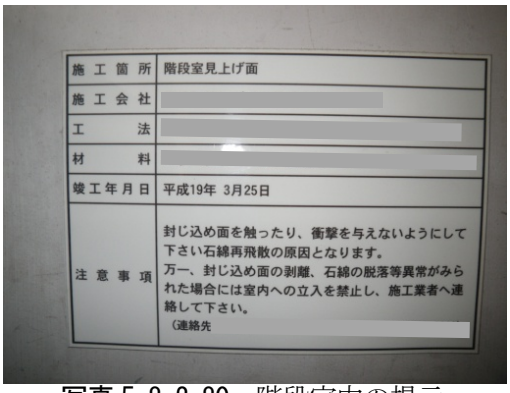


写真 5.8.2-80　階段室内の掲示

・建築物ハ（封じ込め、囲い込み）

建築物ハは 1973 年に竣工した鉄筋コンクリート造（アリーナ部分を除き２階建て）の運動施設で、最大震度６弱[5.8-8)]の地点に位置する。現地での調査により２階のギャラリー及び倉庫として使用されている室の天井のＲＣスラブ裏面及び梁において、吹付けアスベスト[注4]に封じ込め措置がなされていることが確認された（写真 5.8.2-81、5.8.2-82）。管理者の保管する資料からは、封じ込め措置は 2006 年に施工されたものであることが確認された。また、屋根折板裏に吹付けアスベストが確認された[注4]（写真 5.8.2-84）。屋根折板裏の吹付けアスベストは下部にＲＣスラブまたは吊り天井があり、これらによって屋内空間からは視認できない状況であった。

ギャラリー天井においては一部で封じ込め状態の吹付けアスベストに欠損がみられるとともに、床上で封じ込め剤及び吹付けアスベストの塊が確認された（写真 5.8.2-83）。吹付けアスベスト塊は地震により落下したものであるかは不明だが、地震発生前には利用者の往来していた床上に存置されていたことから、落下後あまり時間が経っていないことが推測され、地震による落下である場合も考え

られる。付近の天井では漏水痕が確認され、吹付けアスベストの下地への付着力が低下していたことが伺われる。２階の倉庫として使用されている２室においては封じ込め措置のなされた天井においてひび割れ、はく離等の異常は確認できなかった。

アリーナについては、屋根折板裏の吹付けアスベストは大規模なはく離は見られなかったものの、吊り天井及びＲＣスラブ上で落下した吹付けアスベスト塊が確認された（写真 5.8.2-85)。この落下の原因が経年劣化、地震のいずれであるかは確認できなかった。アリーナ上部の吊り天井は天井面が最大 20cm 程度下がっており、天井面の四辺で天井板の割れ、はがれが発生し、壁面との間に隙間が生じていた（写真 5.8.2-86)。このため、アリーナ床面で天井裏からの落下とみられる吹付けアスベスト塊が確認された（写真 5.8.2-87)。また、アリーナ上部壁面の壁材が落下し、２階ギャラリー天井（ＲＣスラブ）裏の空間が一部開放状態となっていた（写真 5.8.2-88)。アリーナ併設のステージ上部の天井は格子状の吊り天井であり、竣工当時は格子部分に市松状に板状材料が張られた状態だったが、2006 年の改修工事で空いている箇所を新たに板状材料でふさぐ措置がなされたとのことである。改修工事の際に設置された板状材料は吊り天井の部材と緊結されておらず、4 月 16 日の本震により落下した（写真 5.8.2-89)。ステージ床面では板状材料及び多数の吹付けアスベスト塊の落下が確認された（写真 5.8.2-90、5.8.2-91)。

管理者によると、２年前に外壁改修が実施され、外壁面の改修、開口部のシールの打ち替えがなされたとのこと、外壁の脱落等は無く、開口部ガラス１枚に割れが見られた（落下無し）のみであり（写真 5.8.2-92)、地震に起因する内外空間の遮断が損なわれるような破損は確認できなかった。また、地震後、管理者により屋内外の空気質の測定が実施され、空気中のアスベストは定量下限未満であることが確認されたとのことであった。

注4:吹付けアスベストは折板屋根裏面から落下したと推定されるステージ床上の落綿を試料採取し、JIS A 1481-3 に規定された分析方法に基づきアスベスト含有率の分析を行った結果、クロシドライトを 26wt%含有することが確認された。折板屋根裏及び２階天井（RCスラブ）裏の吹付アスベストが同一の建材であると仮定し記述している。



写真 5.8.2-81　２階ｷﾞｬﾗﾘｰ天井(RC スラブ裏)



写真 5.8.2-82　２階ｷﾞｬﾗﾘｰ天井（RC スラブ裏)



写真 5.8.2-83　２階ギャラリー床面落下物

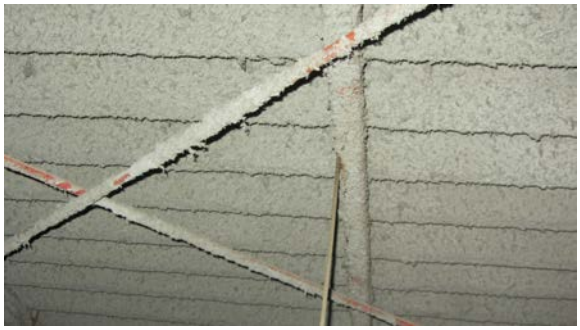


写真 5.8.2-84　屋根折板裏



写真 5.8.2-85　ｱﾘｰﾅ上部吊り天井裏落下物



写真 5.8.2-86　ｱﾘｰﾅ上部吊り天井裏



写真 5.8.2-87　アリーナ床上落下物



写真 5.8.2-88　アリーナ壁面破損状況



写真 5.8.2-89　ステージ天井板



写真 5.8.2-90　ステージ床上落下物



写真 5.8.2-91　ステージ床上落下物



写真 5.8.2-92　開口部ガラス破損箇所

5.8.3　建築設備の被害

(1) 電気設備の被害

受変電設備に関して、空港旅客ターミナル（1971 年竣工：益城町）では、電気室内に複数設置されていた変圧器のうち 1 基が転倒する被害が発生した。転倒した変圧器では、あと施工アンカーが使用されていた。なお、施設管理者によると、本震の際には、短時間の停電が発生したものの、非常用電源は問題なく作動したとのことであった。行政庁舎（1974 年竣工：御船町）では、本震後に漏電のためブレーカーが作動し、4 月 27 日の応急復旧工事までの間、館内の一部で電気が使用できなくなる被害が発生した。また、共同住宅（1996 年竣工：熊本市東区）では、7 階建ての屋上に設置されている受変電設備において、外装パネルの一部損傷が確認された（写真 5.8.3-1）。

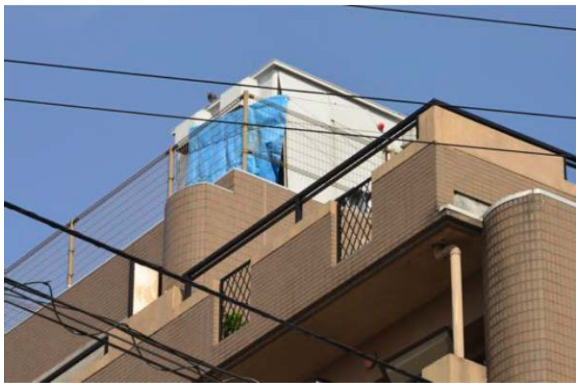


写真 5.8.3-1　屋上設置の受変電設備の被害

照明設備に関して、展示場（1998 年竣工：益城町）では、ホール天井に設置されている照明器具が脱落し、脱落防止ワイヤーにより宙吊り状態となっており、一部の照明器具カバーが落下する被害が生じた。また、会館（1994 年竣工：熊本市中央区）では、ホール天井に設置された照明器具が落下する被害が発生した（写真 5.8.3-2、5.8.3-3）。



(a)　展示場ホールの天井



(b)落下した照明カバー

写真 5.8.3-2　展示場での照明設備被害



写真 5.8.3-3　会館での照明設備落下

(2) 給排水・衛生設備の被害

受水槽、高置水槽に関して、FRP 製の水槽の天板が破損する被害が複数確認（写真 5.8.3-4）されたほか、水槽内部のオーバーフロー管の破損（写真 5.8.3-5）や、水槽パネルのフランジ接合部での破損被害（写真 5.8.3-6）が確認された。



(a) 空港旅客ターミナルにおける被害



(b)病院 A（1979 年竣工：熊本市東区）での被害

写真 5.8.3-4　FRP 製水槽の天板損傷被害

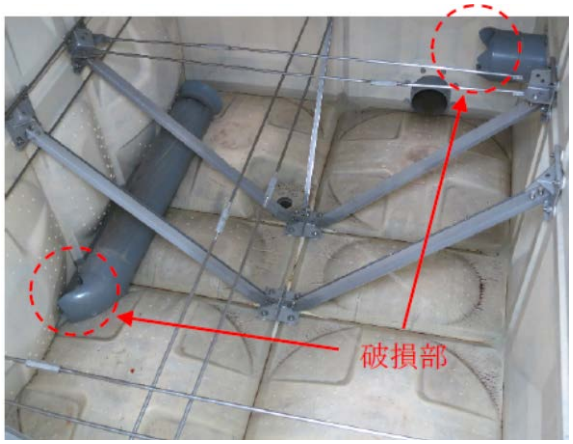


写真 5.8.3-5　病院 A における水槽内部のオーバーフロー管損傷傷

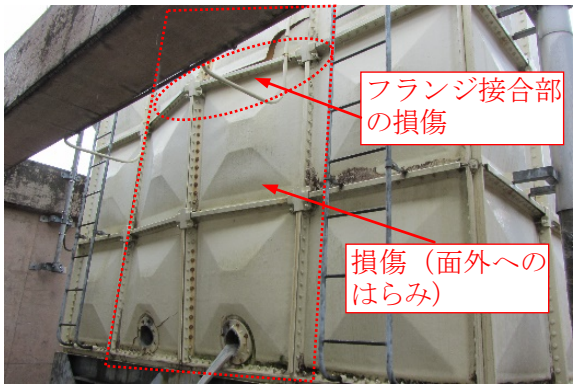


写真 5.8.3-6　劇場（1982 年竣工：熊本市中央区）水槽パネルのフランジ接合部の損傷

また、地下に埋設された給水管が破損し漏水被害が各所で確認された。（写真 5.8.3-7）



(a)商業施設（熊本市東区）付近での被害



(b)学校（1979 年竣工：熊本市中央区）での破損個所付近の様子

写真 5.8.3-7　地下埋設の給水管被害

給湯設備に関して、病院 B（1981 年竣工：大津町）において、屋上設置の貯湯槽据え付け部のアンカーが損傷（写真 5.8.3-8）したほか、7 階機械室内に設置された貯湯槽の基礎が崩れ、給湯配管が外れたことによる漏水が発生した（写真 5.8.3-9、5.8.3-10）。この漏水被害により、下層階に大量のお湯が流れ出し 4 月 27 日時点において居室が使用不能となる被害が生じた。



写真 5.8.3-8　屋上貯湯槽アンカー接合部の損傷



写真 5.8.3-9　機械室内貯湯槽の基礎部の損傷



写真 5.8.3-10　機械室内貯湯槽の配管の損傷

(3) 空調・換気設備の被害

屋上設置の FRP 製冷却塔に関して、本体と冷却水配管との接合部の破断する被害がみられた（写真 5.8.3-11(a)、12(a)）。冷却水配管の置き基礎の移動（写真 5.8.3-11(b)）や、冷却塔基礎部の傾斜（5.8.3-12(b)）により、冷却塔本体と配管の変位に差が生じ、破断部に力が加わったことが原因と考えられる。



(a)　破断箇所の様子



(b)配管置き基礎の移動

写真 5.8.3-11　病院 A における冷却塔の冷水配管の破断



(a)　破断箇所の様子

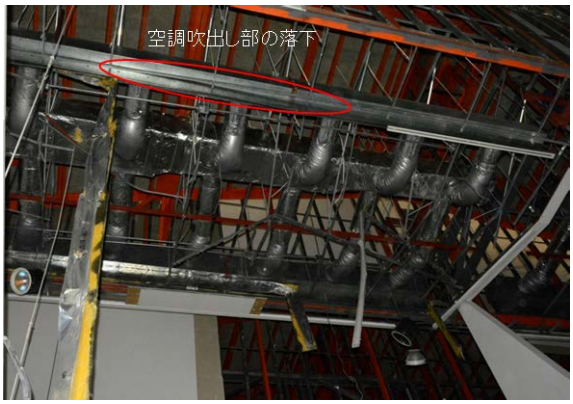


(b)基礎部分から傾斜した冷却塔

写真 5.8.3-12　行政庁舎（1974 年竣工：御船町）における冷却塔の冷水配管の破断



(a)空港旅客ターミナルにおける
アネモスタットの脱落



(b)美術館（1992 年改修/用途変更：熊本市中央区）
における天井落下に伴う吹出し部の落下

写真 5.8.3-13　空調吹出し部の脱落

屋内側の空調吹き出し部に関して、天井設置のアネモスタットの脱落被害や、天井脱落に伴う吹出し部の落下被害（写真 5.8.3-13）が確認された。

(4) 昇降機設備の被害

昇降機設備に関して、空港旅客ターミナルでは、床との接続部が破損したために使用を停止しているエスカレーターが複数確認された。また、エレベーターシャフトと建物とをつなぐ部分で段差が生じたために、使用を停止しているエレベーターがあった（いずれも 4/26 時点での状況）。



写真 5.8.3-14　エスカレーター接続部での被害

また、病院施設 A は、5 基のエレベーターで被害が発生し、使用できない状態となった。建物管理者によると、被害の内訳は、つり合いおもりの脱落が 2 基、綱車のワイヤーの外れが 1 基、機械室内の巻き上げ機の破損が 2 基とのことであった。

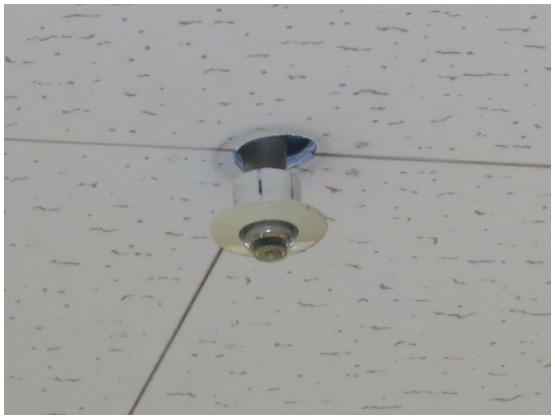
(5) 防災設備の被害

空港旅客ターミナルでは、待合スペースの天井板が落下しており、これによりスプリンクラー設備が誤作動を起こして、水損被害が発生している。施設管理者によると、このスプリンクラー配管には変位吸収型の継手が使用されていなかったとされる。

天井板の振動に追従できず抜け出たり、ゆがんだりしたスプリンクラーヘッドや煙感知器は各所で確認された（写真 5.8.3-15、写真 5.8.3-16）。



(a) 病院 A での被害例



(b)病院 B での被害例

写真 5.8.3-15　スプリンクラーヘッドの抜け



写真 5.8.3-16　病院 B における煙感知器の歪み

屋上に設置された避雷針の支持部が破損し、転倒している例が見られた（写真 5.8.3-17)。



写真 5.8.3-17　病院 A における支持部の破損により転倒した避雷針

なお、ここに挙げた防災設備は、被害の発生状況が目視により確認しやすいものに限定されている。このため、例えば、自動火災報知設備、屋内消火栓設備、機械排煙設備などの防災設備は、被害発生の確認ができていないものもあるものと考えられる。

5.8.4 まとめ

非構造部材・設備の被害について、以下、それぞれまとめる。

(1) 非構造部材の被害について

非構造部材の被害について、部位毎に被害状況についてまとめる。

吊り天井に関しては、特定天井に該当する被害を６棟６室で確認したが、いずれも特定天井に関する技術基準制定以前のものであり、野縁等を用いたいわゆる在来工法によるものが多く、また、単位面積重量の大きなラスモルタル天井の被害も見られた。特定天井以外で被害のあった天井は、いわゆる在来工法による天井やシステム天井も見られ、一般的な室や廊下以外だけでなく、特定天井の要件に対して、天井高さはあるが面積が基準値に満たないもの、面積はあるが全体的に天井高さが基準値に満たないもの、面積はあるが天井高さが部分的に基準値に満たないもの、などが見られた。

ガラス開口部に関しては、サッシ窓では以前から被害が確認されている硬化性パテどめのガラス窓だけでなく、弾性シーリングのガラス窓についても、はめころし窓のガラス破損、引違い窓のガラス破損や障子脱落、窓サッシの損傷・外れ、など、様々な形態の被害が確認された。また、全面ガラスの開口部では、以前から地震被害が確認されている店舗前面に用いられる大判ガラスの損傷や、過去の地震や今回の地震で被害報告があまり見られない板ガラスを点支持する構法のガラスの損傷・脱落が確認された。

内装に関しては、比較的高所の仕上材の損傷・脱落、ブロックを用いた壁の損傷・傾斜、鉄骨屋根支承部のコンクリートの損傷・脱落、自立したコンクリート壁の傾斜・転倒などが確認された。

外装に関しては、比較的古い鉄骨造に用いられた湿式工法や乾式構法の外壁の被害や、鉄筋コンクリート造建築物の下地コンクリートの損傷に伴う外壁タイルの損傷・脱落、横づかいした ALC パネル外壁での壁の傾斜や天井面レベルでのパネルの脱落、PC パネルの損傷、などが確認された。

吹付けアスベスト等に関しては､封じ込め､囲い込み措置のなされた建築物を対象に調査を行った。封じ込め措置のなされた２棟のうち１棟においてはく離、落下がみられたが地震との関係は不明である。はく離、落下がみられた棟における空気質測定の結果からは、アスベスト繊維の飛散は確認できなかった。囲い込み措置のなされた２棟は、いずれも屋根折板裏に吹付けアスベスト等が施工され、その下部に吊り天井（一部ＲＣスラブ）が設置された事例であり、吊り天井の破損または落下により、囲い込まれた吹付けアスベスト等が露出した状態となっていた。なお、破損、落下がみられた棟の外部空間における空気室測定の結果として、通常の一般大気環境と変わらないとの報告がなされたことを確認した。

防火戸等に関しては、防火戸の脱落や開閉障害、防火シャッターの動作障害、共同住宅の鋼製玄関扉の隣接する非構造壁の損傷に伴う開閉障害、防煙垂れ壁の脱落、防火区画を形成すると見られる階段室の壁の内装材の脱落、隣接する配管の接触による耐火被覆の脱落、空調ダクト内の防火ダンパーの自動閉鎖、などが確認された。

(2) 建築設備の被害について

建築設備の被害に関して、熊本市とその近隣にある 11 の建築物について調査を行った。以下に、設備ごとの被害状況をまとめる。

電気設備に関しては、受変電設備における変圧器の転倒被害（旧耐震の建築物）や外装パネルの損傷被害（新耐震の建築物）が確認された。また照明設備の脱落被害が各所で確認された（旧耐震・新耐震の建築物)。

給排水・衛生設備については、FRP 製の水槽の天板パネルの損傷（旧耐震の建築物）や、側壁パネルのフランジ接合部での損傷（新耐震の建築物）、地中埋設された給水管の破損が確認された。給湯設備においては、機器据え付け部の損傷により給湯配管が外れ、下層階にまでおよんだ漏水被害が確認された（旧耐震の建築物）。

空調・換気設備については、屋上設置の冷却塔において、冷却塔本体と配管との接合部で破断し、漏水する被害が確認された（旧耐震の建築物）。また、天井設置の空調吹き出し口の脱落が複数確認された（旧耐震・新耐震の建築物）。

昇降機設備に関しては、エスカレーターと床との接合部における損傷や、エレベーターでのつり合いおもりの脱落等の被害が確認された（旧耐震の建築物）。

防災設備に関しては、スプリンクラーヘッドや煙感知器が天井の変異に追従できず、抜け出たり、ゆがんだりする被害が各所で確認された（旧耐震・新耐震の建築物）。

参考文献

5.8-1) 平成 28 年(2016 年)熊本地震による建築物等被害第 2 次調査報告（速報）（木造住宅及び鉄筋コンクリート造等建築物を中心とした調査)、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所、平成 28 年 5 月

5.8-2) 平成 28 年（2016 年）熊本地震による建築物等被害第 3 次調査報告（速報）（鉄骨造建築物並びに非構造部材及び設備を中心とした調査)、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所、平成 28 年 5 月

5.8-3) 平成 28 年（2016 年）熊本地震による建築物等被害第 5 次調査報告（速報）（火災被害ならびに建築設備被害に関する調査)、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所、平成 28 年 5 月

5.8-4) 平成 28 年（2016 年）熊本地震による建築物等被害第 11 次調査報告（ホール等の特定天井を中心とした非構造部材の被害調査速報)、国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所、平成 28 年 5 月

5.8-5) 平成 28 年（2016 年）熊本地震による建築物等被害第 13 次調査報告（学校体育館の被害調査速報)、平成 28 年 8 月

5.8-6) 日本建築防災協会：震災建築物等の被災度判定基準および復旧技術指針（鉄筋コンクリート造編)、1991

5.8-7) 改訂 既存建築物の吹付けアスベスト粉じん飛散防止処理技術指針・同解説 2006、2006 年 9 月、(財)日本建築センター

5.8-8) 気象庁：震度データベース検索（URL: http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/）による 2016 年 4 月 20 日の最大震度

5.8-9) 平成 21 年度建築基準整備促進補助金事業「保温材、断熱材、スレート等のアスベスト含有建材の劣化等に伴う飛散性に関する調査」報告書、平成 22 年 3 月、清水建設㈱、㈱大林組、鹿島建設㈱、大成建設㈱、㈱竹中工務店、(財)日本建築センター

5.8-10) 平成 28 年熊本地震の被災地におけるアスベスト大気濃度調査の結果について、平成 28 年 7 月 29 日、環境省、URL:http://www.env.go.jp/press/102806.html

第 6 章　火災による建物被害

6.1　調査概要

火災被害については、総務省消防庁により、16 件の地震に起因する火災（以下、地震火災）の発生が報告されている[6.1-1)]。ただし、地震火災とは、直接・間接を問わず、また、時間の経過を問わず、地震を原因とする火災を指している。16 件の火災はいずれも建物火災であり、その内訳は表 6.1-1 に示す通りである（ただし、管轄自治体内で火災の発生した消防本部についてのみ示す）。そこで、本地震に起因する火災の発生状況を把握し、過去の地震における被害との比較や、関連する課題を整理することを目的として、調査を実施した。

本調査では、まず、火災の概要（出火地点や発生日時、被害程度など）について各消防本部への問い合わせを行った。その上で、熊本市消防局管内で発生している 9 件の火災について、より詳細な情報を得るためのヒアリング調査（対象は熊本市消防局と火災現場周辺住民）と現地調査を、平成 28 年 4 月 26 日および 27 日に実施した。

表 6.1-1　火災の発生状況

消防本部	管轄自治体	火災件数	火災件数（計）
上益城消防組合消防本部	嘉島町、甲佐町、御船町、山都町	1	16
熊本市消防局	熊本市、西原村、益城町	9	
八代広域行政事務組合消防本部	氷川町、八代市	2	
阿蘇広域行政事務組合消防本部	阿蘇市、南小国町、小国町、産山村、高森町、南阿蘇村	1	
宇城広域連合消防本部	宇土市、宇城市、美里町	1	
菊池広域連合消防本部	菊池市、大津町、合志市、菊陽町	2	

6.2　火災の発生状況

(1)　出火日時

地震の発生日時と火災の出火推定日時の関係を図 6.2-1 に示す。前震に起因する火災は 5 件発生しているが、その内訳は、前震直後に発生した火災が 2 件、その後時間をおいて本震までに発生した火災が 3 件となっている。本震に起因する火災は 11 件発生しているが、その内訳は、本震直後に発生した火災が 6 件、その後時間をおいて発生した火災が 5 件となっている。

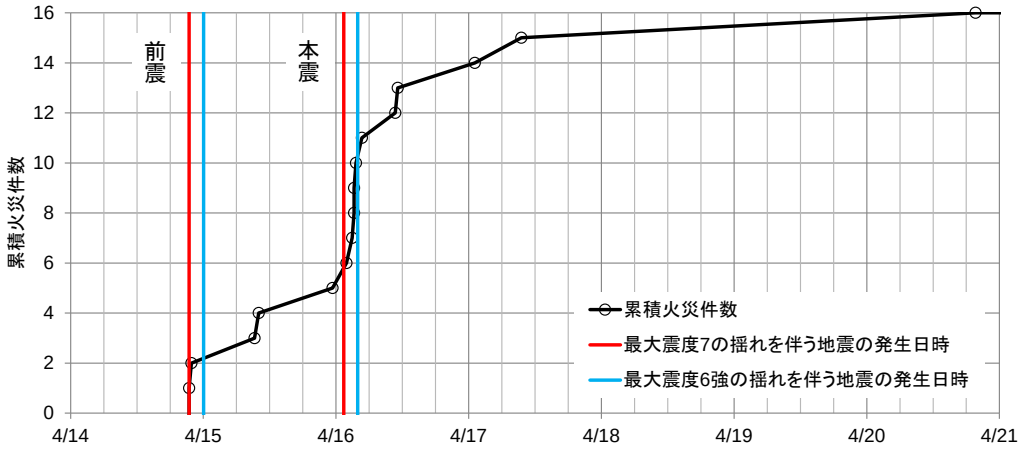


図 6.2-1　地震の発生日時と火災の出火推定日時の関係

(2)　出火確率

出火地点を、前震（4 月 14 日 21 時 26 分発生）の震度分布に重ね合わせたものを図 6.2-2 に、本震（4 月 16 日 1 時 25 分発生）のそれを図 6.2-3 に示す。これらの図からは、震度と出火件数の関係が必ずしも明らかではないが、出火地点は、概ね震度 5 弱以上の領域に分布していることが分かる。同じく、地表面での揺れの強さの指標であるPGV(Peak Ground Velocity:最大地動速度)の面的推定値[6.2-1)]の大きさをもとに九州地方の市町村を分類（0～10、10～20、20～30、30～40、40～80、80～150cm/s の 6 区分)し、平成 22 年国勢調査の結果[6.2-2)]を利用して世帯あたり出火確率を算出した結果を図 6.2.4 に示す。本地震における 16 件という出火件数は、兵庫県南部地震（1995）の 293 件[6.2-4)]や東北地方太平洋沖地震（2011）の 330 件（津波浸水区域内の出火を含む）[6.2-5)]に比べて少ない。しかし、出火確率は、PGVの大きな領域でこそ兵庫県南部地震の記録より小さいものの、東北地方太平洋沖地震の記録から大きく隔たりがあるわけではない。図 6.2-5 は、上記のPGV区分に市町村を分類し、各区分に含まれる世帯数を、本地震と東北地方太平洋沖地震で比較したものである。これによると、本地震において強い揺れ（10cm/s以上とする）を記録した地域の世帯数は、東北地方太平洋沖地震に比べて大幅に少ない。出火件数は、地震の規模や、出火原因の季節的・時間的変動によって左右されるが、出火確率が大きくは変わらないことを考慮すれば、強い揺れを記録した地域の世帯数、すなわち出火の可能性が高くなる世帯数の少なさが、本地震における相対的な出火件数の少なさの原因の一つであったと言える。

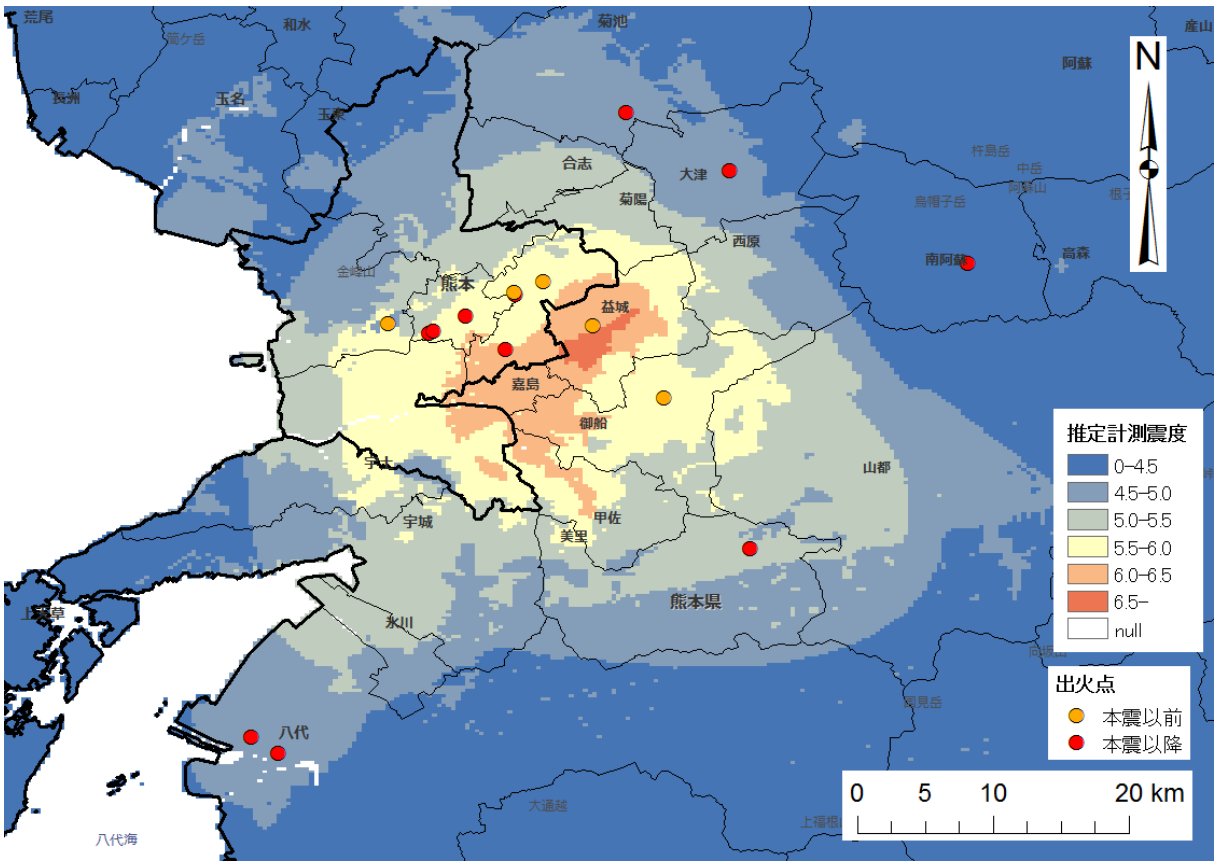


図 6.2-2　前震の推定計測震度分布[6.2-1)]と出火点（背景地図：国土地理院標準地図）

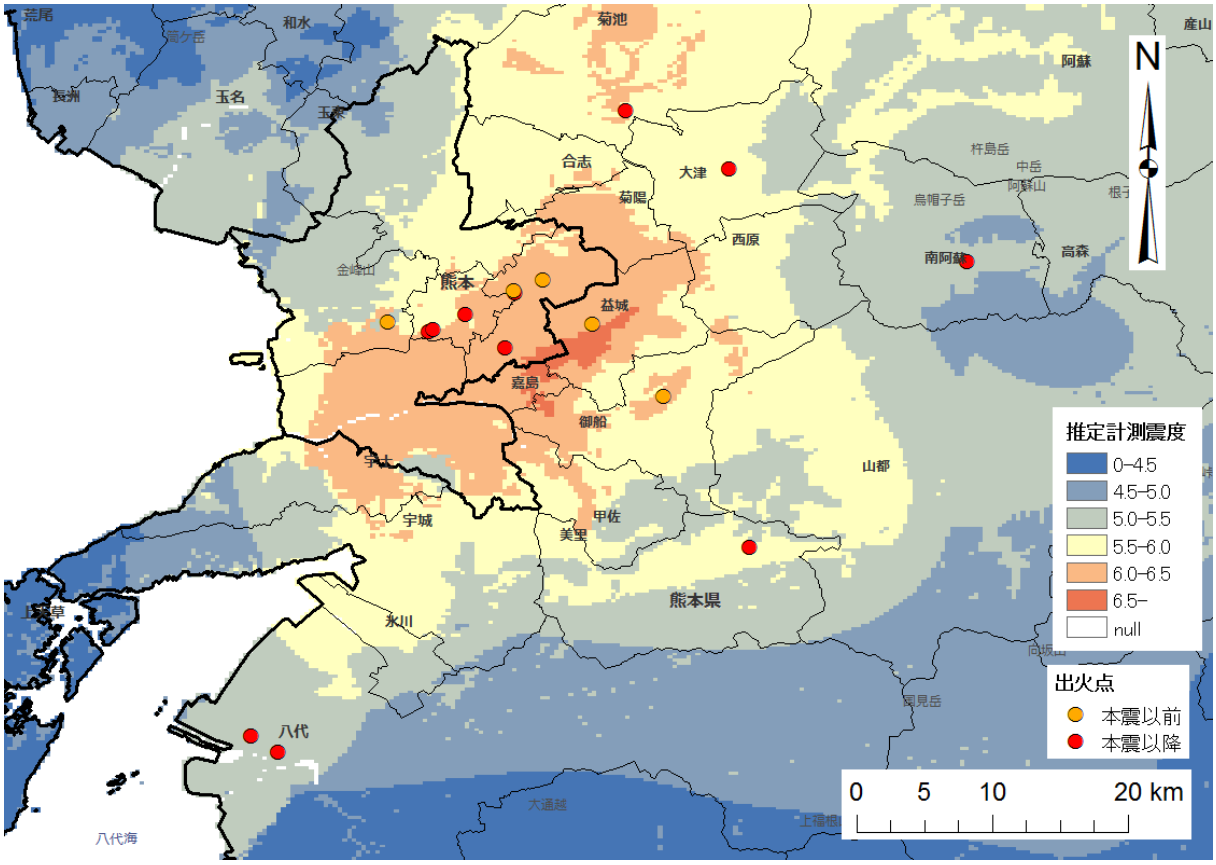


図 6.2-3　本震の推定計測震度分布[6.2-1)]と出火点（背景地図：国土地理院標準地図）

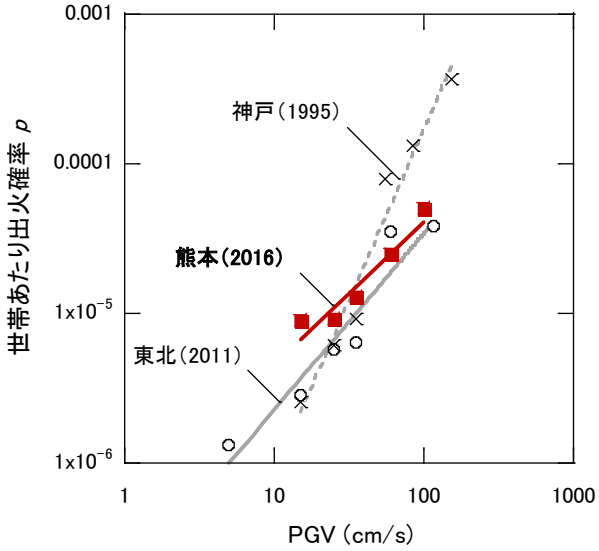


図 6.2-4　世帯あたり出火確率（文献[6.2-3]に追記、図中の直線は回帰式を示す[1]）

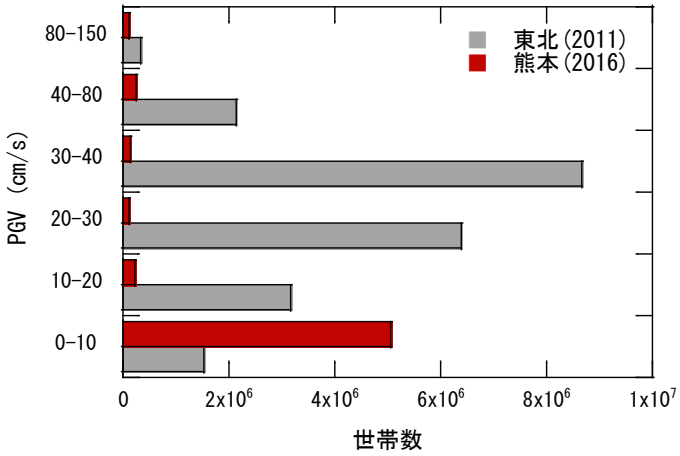


図 6.2-5　PGV 区分ごとの世帯数の比較

(3)　火災の特徴

熊本市消防局管内で発生した 9 件の火災の中には、以下のような事例があった。本震後の深夜にホテルで発生した火災では、自動火災報知設備の鳴動により出火を知った従業員が屋内消火栓設備を使用して消火活動を行い、別の従業員が宿泊客を避難誘導して人的被害の発生を免れている。また、同じく本震後の深夜に共同住宅で発生した火災では、地震の発生を受けて居住者が近隣に避難をしている中で出火したために発見が遅れ、消火器で初期消火を試みたが消し止めることができず、しばらくしてから消防により消し止められている。

本地震に起因する 16 件の火災は、いずれも建物火災であった。出火建物の用途の内訳を図 6.2-6 に示す。これによると、住宅用途の建物（戸建住宅、共同住宅、店舗兼住宅）からの出火が最も多く、10 件（約 6 割）となっている。

出火原因の内訳を図 6.2-7 に示す。これによると、推定や疑いを含め、出火原因が分かっている 13 件の火災のうち、電気関連（屋内配線、電気設備、観賞魚用ヒーター）の出火が 8 件（約 6 割）とな

[1] 1995 年兵庫県南部地震，2011 年東北地方太平洋沖地震，2016 年熊本地震では，PGV の推定方法が異なっている．

っている。

火災による焼損規模の内訳を図 6.2-8 に示す。これによると、焼損規模が分かっている 15 件の火災のうち、6 件がぼやにおさまっている。火災発生件数の多かった熊本市では、揺れによる建物被害が比較的小さかったが、このことは火災発生の早期発見や、居住者自身による初期消火活動の実施にもつながっていたものと考えられる。なお、出火建物から隣接する建物への延焼（出火建物は全焼）は 3 件発生しているが、いずれも隣接する 1 棟もしくは 2 棟の建物への延焼である。

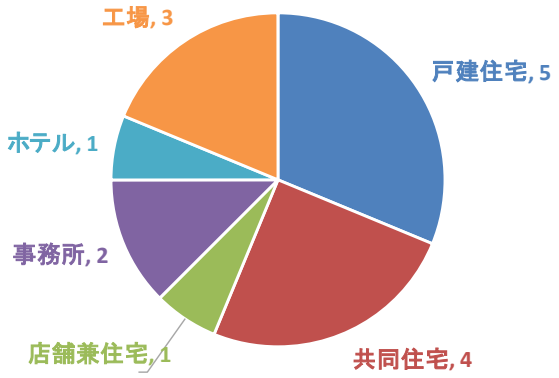


図 6.2-6　出火建物の用途の内訳

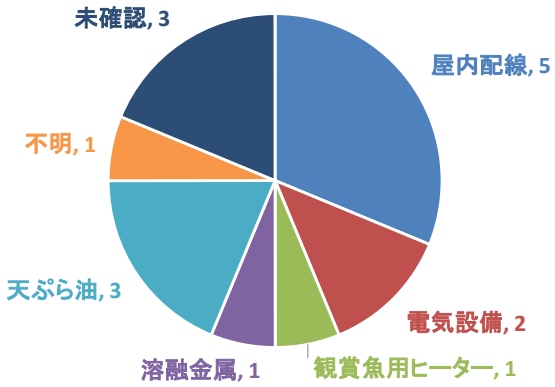


図 6.2-7　出火原因の内訳（推定・疑い含む）

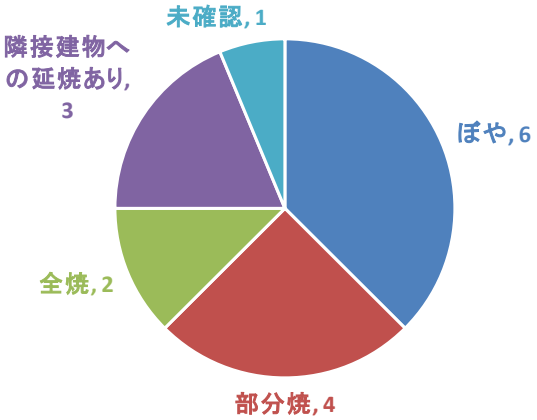


図 6.2-8　焼損規模の内訳

6.3　現地調査結果

熊本市消防局管内で発生した 9 件の火災のうち、益城町内の住宅街で、前震後まもなく発生した火災について現地調査を行った。この火災では、出火した 2 階建て木造住宅が全焼しているが、三方を囲む住宅への延焼は免れている。

出火は建物の 2 階東側と見られているが、その原因は明らかになっていない。火災発生後、直ちに消防に通報され、ポンプ車が駆けつけている。火災現場までの途上、道路の陥没や、地震後の避難に伴うと見られる交通混雑があったものの、駆けつけ時間の遅れにはつながらない程度であったようである。ただし、地震の影響で最寄りの消火栓が使えなかったため、防火水槽から取水して放水が行われている。なお、益城町に設置されたアメダス観測所の記録によると、火災発生当時の風向・風速は、北東の風 1.8m/s であった。

空中写真（国土地理院）をもとに作成した出火建物周辺の状況を図 6.3-1 に示す。

南側の住宅は 2 階建て（構造不明）で、出火建物と最も近接している場所で 0.8m ほどしか離れていなかった。出火建物に面する北側の外壁は変色しており、強い加熱を受けていたものと見られるが、開口部が設けられていなかったことに加え、窯業系サイディングが使用されていたことで延焼を免れたものと考えられる。

東側の住宅は 2 階建て（構造不明）で、出火建物と最も近接している場所で 3.3m ほど離れている。出火建物との間にあった植栽は焼け焦げ、2 階開口部の樹脂製サッシには溶融痕があったものの、外壁や開口部にこの他の目立った被害は確認できなかった。

北側の住宅は 2 階建て（構造不明）で、出火建物と最も近接している場所で 6.3m ほど離れているが、北側の敷地は、出火建物の敷地に比べて 2m ほど高くなっており、実際の離隔距離はさらに大きい。ただし、北側の敷地の植栽は焼け焦げたものも少なくない。2 階の南側屋根の樹脂製雨樋は 2～3m ほどの幅で溶融していたが、外壁や開口部にこの他の目立った被害は確認できなかった。

西側の住宅は木造 2 階建て、金属系サイディング張りである。前震、本震のいずれによるものなのかは確認できていないが、揺れにより建物は傾斜し、屋根や外壁の木製下地が露出した状態になっていた。出火建物とは、最も近接している場所で 6.4m ほど離れている。外構の植栽は茶色く変色しているが、その程度は東側や北側の敷地の植栽に比べると軽い。通りに面して設けられた樹脂製の雨よけ庇は黒く変色し、溶融していたが、外壁や開口部にこの他の目立った被害は確認できなかった。

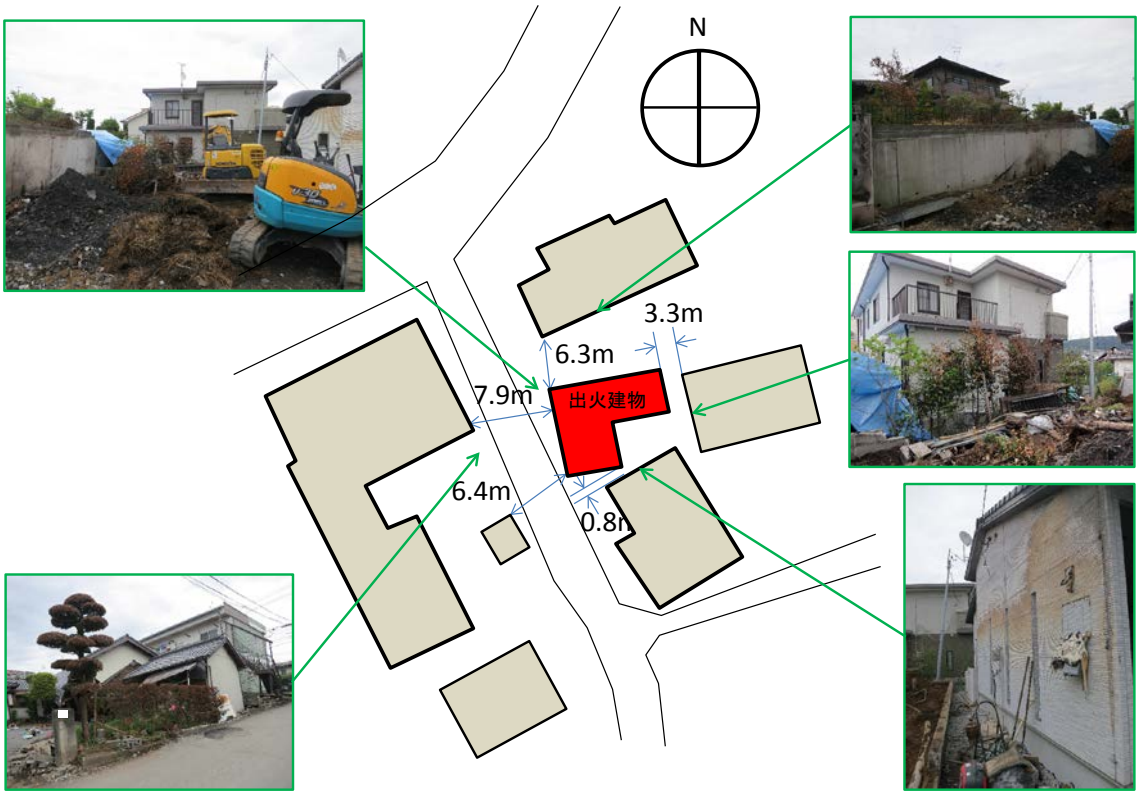


図 6.3-1　住宅火災現場の状況

6.4　まとめ

本章では、2016 年熊本地震で発生した火災被害について調査を行った結果を整理した。火災件数は 16 件と、1995 年兵庫県南部地震の 293 件、2011 年東北地方太平洋沖地震の 330 件に比べて少ないが、出火確率の観点からは大きな違いは見られなかった。この原因は、2016 年熊本地震において、強い揺

れを記録した地域内の世帯数が少なかったためと考えられる。今後も、調査結果の分析を継続し、本地震で大規模な火災被害が発生しなかった理由等の整理を進める。

参考文献

6.1-1) 消防庁：熊本県熊本地方を震源とする地震（第68報)、2016年7月29日

6.2-1) 産業技術総合研究所：地震動マップ即時推定システム（https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/）

6.2-2) 総務省統計局：平成22年国勢調査（http://www.e-stat.go.jp/）

6.2-3) 樋本圭佑・山田真澄・西野智研：2011年東北地方太平洋沖地震における津波浸水区域外の出火傾向の分析、日本建築学会環境系論文集、Vol.79、No.697、pp.219-226（2014）

6.2-4) 総務省消防庁：阪神・淡路大震災について（確定報）（2006）

6.2-5) 総務省消防庁：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について、第153報（2016）

第７章　おわりに

熊本地震は、震度 7 を 2 度経験する初めての震災であり、全壊・半壊・一部損壊した住家は約 17 万棟にのぼった。余震も多く発生したことから、多くの被災者が避難せざるを得なかった。我々の被害調査においても、4 月 15 日に派遣した調査班が、宿泊していた南阿蘇村で 4 月 16 日の本震に遭い、宿泊施設が損傷したため夜中に車への避難を余儀なくされた。これにより、被害調査における安全の確保や派遣者との連絡のやり取りについて再考され、その後の被害調査に反映されることとなった。

本報告書は、このような現地派遣による被害調査の結果を速報として取りまとめたものである。以下、各章ごとの内容をまとめる。

第 1 章では、「はじめに」として、地震発生の後、国総研と建研が連携して被害状況とその要因分析を行う検討体制として「熊本地震建築物災害対策会議」を立ち上げ、国土交通省住宅局からの要請に基づく現地派遣やその調査結果の Web 公開などを行ってきたことなどを記載した。

第２章では、「調査研究の概要」として、具体的に実施した調査研究についてその概要をまとめるとともに、調査結果や原因分析の取りまとめにあたり外部有識者の意見を反映するために「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」を合同で設置したことなどを記載した。

第３章では、「被害一般」として、主として本報告書の取りまとめを行った時点における公式発表資料に基づき、熊本地震の概況、災害関連法の適用状況、人的・物的被害の状況、応急仮設住宅などの確保状況ほかをまとめた。

第４章では、「地震及び地震動」として、地震諸元や震度分布、被災地域の地形および地質、観測された地震動特性、建築研究所強震観測ネットワークの記録などの研究成果をまとめた。

第５章では、「地震動による建築物等の被害」として、建築物の地震被害調査の方針と一般社団法人日本建築学会が実施した益城町中心部における悉皆調査および国土交通省が行ったそれらの年代調査の結果について記載した。さらに、木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造等、基礎・地盤、免震、非構造部材・建築設備のそれぞれの被害調査の結果をまとめた。まだ速報段階ではあるが、以下のように要約される。

１）日本建築学会により実施された益城町の一部地域にて建築物の被害状況を把握している悉皆調査の情報と、建築確認台帳や航空写真等の情報を用い、構造別・建築時期別の建築物被害状況の整理を行った。県道 28 号の南側のエリアでは，倒壊・崩壊した建築物が段丘面に存在し、倒壊率 0%のエリアが氾濫平野・旧河道とよく一致する傾向があり、倒壊した建築物の位置は 20 世紀初頭から続く住宅地のエリアとよく一致する傾向にあった。倒壊・崩壊の棟数が最も多かった木造では、新耐震基準導入以前の建築物の倒壊・崩壊は 27.9%、新耐震基準導入以降、平成 12 年改正以前のものの倒壊・崩壊は 8.7%、平成 12 年改正以降のものの倒壊・崩壊は 2.2%であった。

２）木造建築物の被害状況を把握するために益城町、西原村、南阿蘇村で現地調査を行った。また、特に益城町中心部において新耐震基準導入以降の建築確認で倒壊・崩壊した木造住宅について構造的特徴を把握し、被害要因の分析を行った。その結果、新耐震基準導入以降の木造住宅で倒壊・崩壊が確認された 107 棟のうち、接合部の状況等が確認できた木造住宅の全てについて接合部の仕様が不十分と考えられる等の何らかの被害要因が見られた。平成 12 年基準の木造住

宅では 7 棟の倒壊が確認され、そのうち 4 棟については不十分な接合部の仕様、地盤変状の影響等の被害要因が見られた。残りの 3 棟について、構造計算や応答解析により分析を行った結果、2 棟については建築物の重量、荷重変形関係と、地震動の特性により被害に差が生じた可能性が考えられ、1 棟は敷地を含む限られた範囲での地震入力の周囲との差異など、建築物本体ではない部分の被害要因の影響が考えられる。

3）鉄骨造建築物の被害状況や倒壊、大破した建築物の被害要因を把握するため、益城町を対象にして96棟の鉄骨造建築物の被害調査を行った。調査の結果、倒壊又は大破した建築物の総数は16棟（倒壊1棟、大破15棟）であった。これらの16棟の建築物では、次の３つのいずれかまたは複数の被害要因が見られることがわかった。１）新耐震基準導入以前またはそれに準ずる古いタイプの柱部材の使用、２）隣接建物や周囲擁壁の倒壊等の外的な要因、３）溶接部等での破断。また、工場や倉庫などの鉄骨造大空間構造を代表するものとして、学校体育館の被害調査を行った。被害が大きかった熊本市等の体育館15棟（新耐震基準導入以降5棟、耐震改修済み8棟、耐震診断結果が改修不要2棟）について調査を行った結果、鉛直ブレース（ボルト孔欠損部の破断）、屋根トラス（部材の落下）、屋根支承部（コンクリートの側方破壊）、屋根面水平ブレース（接合部ボルトの破断等）、等で被害が観察され、それらの被害要因などについて検討した。

4）鉄筋コンクリート造等建築物では、地震後に実施した被災調査結果を用いて、建築物の設計年に着目して被害の特徴を纏めた。その結果、倒壊・崩壊は計 10 棟確認されたが、それらは全て新耐震基準導入以前の建築であった。従って、現行基準を満たすもので倒壊・崩壊に至った建築物は確認されていない。また新耐震基準導入以降に設計された建物のうち、ピロティ柱が大きく損傷し大破と判定された建築物が少なくとも 4 棟確認された。これらは、想定する崩壊形の保証設計やスリット付き壁のモデル化等に原因があったと考えられ、今後より詳細な検討を実施する予定である。また構造部材の損傷が顕著でなくとも、非構造部材の被害が大きく、地震後の建物の継続使用性に影響を及ぼしている事例も確認されていることから、それらについても今後詳細な検討を行う予定である。

5）基礎・地盤では、建築物の被害要因になりうる基礎の損傷及び敷地地盤の変状の状況を確認するために、1)建築物の被害が特に大きいとされた益城町の通り目視調査（南北方向)、2）別途の情報で液状化被害が見られているとされた熊本市南区の現地踏査、の 2 つの調査結果を報告した。益城町の通り目視調査地域における被害事例について、①宮園地区の県道 28 号の北側では、地形の関係上、盛土擁壁で宅地を造成している物件が多いが、28 号に近づくにつれて、建築物被害及び盛土擁壁の被害が大きくなる傾向があること、②安永地区、宮園地区共に、県道 28 号の南側では北側よりも建築物の被害が数多く見られること、③県道 28 号の南側で見られた大破・倒壊の建築物において、地盤変状と基礎の損傷が共に認められる事例、及び地盤変状が認められるものの基礎の損傷が小さい事例が見られたことを示した。現時点で断定することはできないが、構造力学的な観点から地盤変状が建物被害に及ぼすメカニズムを考えると、この地域の建築物被害に対して、地盤変状よりも振動が大破等の甚大な建築物被害の主要因であった可能性が高いと考えられる。熊本市南区の液状化被害調査については、④液状化被害は南区で広く見られるが、液状化による地盤沈下量には地域差が見られたこと、⑤現時点で液状化による地盤沈下量の大小の原因は不明であること、⑥液状化により倒壊・崩壊に至った事例は見当たらなかったこと、を示した。

6）免震建築物では、現地調査を行い、ダンパー取付け基部や外付け階段など構造耐力上主要な部

分の被害や免震材料の変状、エキスパンションジョイント等の変状の状況を把握し、それらの特徴と被害要因をまとめた。また、それぞれの免震建築物の近傍で観測された本震時の地震（加速度）記録を用いて解析を行い、構造計算図書との比較を行った。さらに、４件の免震建築物について居住者を対象に地震時の免震挙動に関するアンケート調査を行い、結果を整理した。これらをまとめると、今回の地震では、多くの免震建築物に「大地震」に相当する地震が作用したが、調査の範囲ではすべての免震建築物で居住者・使用者が期待する免震性能をおおむね発揮したと考えられる。

7）非構造部材・建築設備では、現地で内部調査と外観調査を行った。内部調査は、学校等体育館15件、音楽等用ホールを有する施設5件、運動施設2件、病院2件、行政庁舎、学校校舎、展示用ホールを有する施設、美術館、空港旅客ターミナル、共同住宅が各1件について実施した。非構造部材については、吊り天井、ガラス開口部、内装、外装、防火戸等について被害を確認している。東日本大震災後に技術基準が制定された吊り天井では、基準の対象となる特定天井で被害をうけたものはいずれも技術基準制定以前のものであった。その他の被害の多くは以前から地震被害が確認されている種類の被害であった。建築設備については、電気設備、給排水・衛生設備、昇降機設備、防災設備について被害を確認しており、新耐震基準導入以前の建築物だけでなく、導入以降の建築物で確認された被害もあったが、これら被害の多くは、以前から地震被害が確認されている種類の被害であった。

第６章では、「火災による建物被害」として、火災の発生状況を把握するために実施した、消防本部へのヒアリング調査ならびに現地調査の結果をまとめると同時に、本地震で発生した火災の特徴を、出火確率や火災の内訳といった観点から整理した。火災件数は16件と、1995年兵庫県南部地震の293件、2011年東北地方太平洋沖地震の330件に比べて少ないが、出火確率の観点からは大きな違いは見られなかった。この原因は、2016年熊本地震において、強い揺れを記録した地域内の世帯数が少なかったためと考えられる。

本報告書に記載した被害調査は、述べ約 120 人日を費やし、かつ、可能な限り慎重に実施したが、被害が甚大であることを考慮すると、必ずしも地震被害の全体像やその被害原因を十分に把握できたとは言えない。今後、さらに調査検討を進める所存である。

冒頭で、国総研と建研は「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」を設置し、外部有識者の意見も反映するように努めてきたと記載した。この委員会は、建築構造の専門家、建築設計や建築審査の実務者を委員とし、幅広く収集・整理した建築物被害調査の情報を基に専門的、実務的知見を活かして、建築物被害の原因分析を行うことを目的としている。同委員会は、国総研に設置されている「建築構造基準委員会」と建研に新たに設置された「建築研究所熊本地震建築物被害調査検討委員会」の合同開催の形式で、5月26日、6月30日、9月12日の3回開催され、取りまとめがなされているが、その根幹には本報告書の内容が活用されている。なお、国土交通省は、同委員会における分析のとりまとめを踏まえて、建築基準のあり方を含め、建築物における耐震性の確保・向上方策について検討を行うこととしている。

国総研および建研は、国土交通省の検討を技術的に支援するとともに、引き続き、関連する調査研究活動に積極的を取り組んでいく所存である。

最後に、本地震で亡くなられた方とそのご遺族に対し、深く哀悼の意を表するとともに、被災された方々に心からお見舞いを申し上げる。

なお、現地調査に当たって、被災地の困難な状況にも拘わらず調査にご協力戴いた方々、資料を提供して戴いた方々に、ここで厚く御礼申し上げる。

謝辞

本報告書の作成にあたっては、以下の通り、多くの方々からのご協力を頂きました。ここに記して、深甚なる感謝の意を表します。

建築物所有者、管理者及び居住者の方々並びに地方公共団体や国等の行政機関には、調査の主旨をご理解いただき、現地調査や被害分析に必要となる情報の提供などのご協力を頂きました。

現地調査の実施にあたり、（一社）日本建築学会、（一社）日本免震構造協会、（一社）日本建設業連合会をはじめとする関係機関のご協力をいただきました。

益城町中心部の悉皆調査（5.2 節）及び木造（5.3 節）においては、日本建築学会九州支部熊本地震災害調査委員会が実施した益城町中心部の悉皆調査結果を利用させていただきました。

位置表示や図の作成などにおいては、地理院地図、Google Map、GMT などの各プログラムを利用させていただきました。

政府機関、地方公共団体、関係団体等による各種公表資料及び調査データの他、国立研究開発法人防災科学技術研究所が運用している K-NET、KiK-net 及び気象庁、公益財団法人鉄道総合技術研究所による強震観測データ、気象庁により公表された自治体（新潟県、佐賀県、熊本県、大分県、宮崎県）の震度計データ、並びに自治体よりご提供頂いた震度計データを利用させて頂きました。

国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of ＮＩＬＩＭ
No. 929　　September 2016
建築研究資料
Building Research Data
No. 173　　September 2016
編集・発行
©国土技術政策総合研究所
©国立研究開発法人建築研究所

本資料の転載・複写の問い合わせは

国土技術政策総合研究所企画部研究評価・推進課
〒305－0804　茨城県つくば市旭１番地　電話 029-864-2675
国立研究開発法人建築研究所企画部企画調査課
〒305-0802　茨城県つくば市立原１番地　電話(029) 864-2151（代）