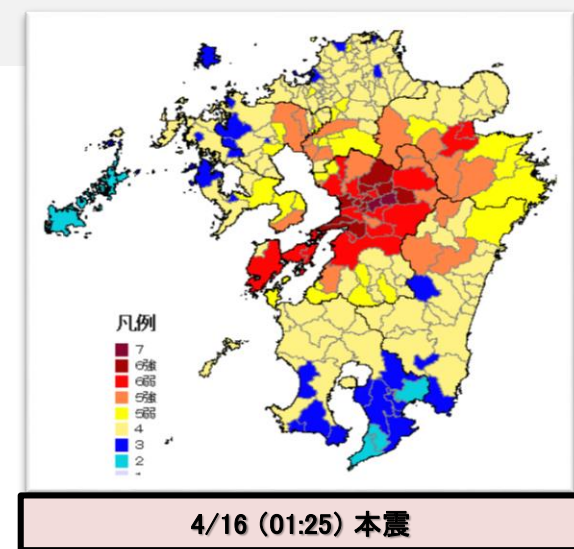
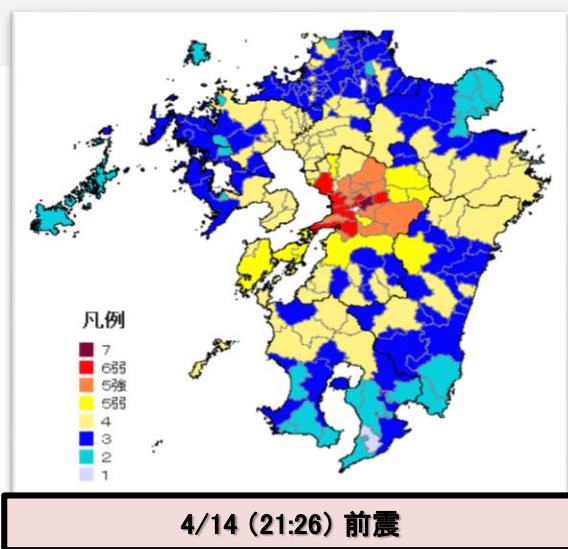


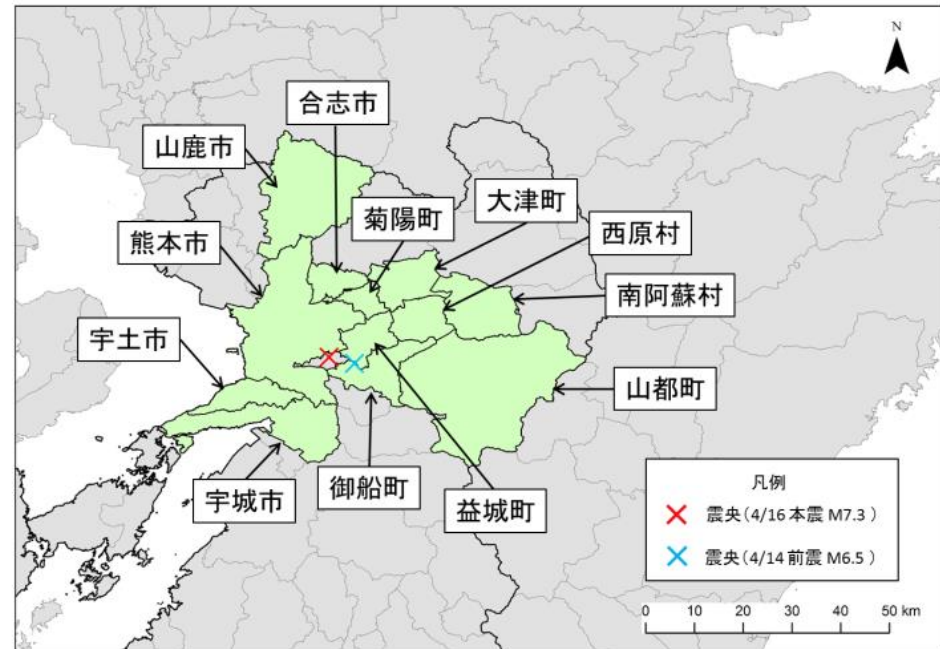
平成28年(2016年)熊本地震による建築物の被害調査及び要因分析等の対応 (構造関係)

構造研究グループ
井上 波彦



調査の概要及び体制

- 建研、国総研合同で「**熊本地震建築物災害対策会議**」を立ち上げ、現地調査を4月15日から開始
- **国土交通省住宅局からの要請に基づき**、熊本県内の5市5町2村に、14次に亘る調査班を派遣(延べ44人)
- **その他自主調査も実施**
 - ◆ 継続使用性
 - ◆ アスベスト、等
- 今後も調査は実施予定



熊本県内調査対象市区町村

調査の目的と概要

■ 建築基準は建築物(人命)の安全を確保できているか

■ 被害の特徴の抽出と原因分析

◆ 年代別

- 旧耐震基準・・・1981年5月まで
- 新耐震基準・・・1981年6月以降
- 現行規定※・・・1995～1997年以降(木造以外)
2000年以降(木造)

※昭和56年に導入された「新耐震基準」に、1995年兵庫県南部地震などの震害による経験と被害分析を踏まえて改善を加えた、現在建築物を新築する際に適用される基準等

◆ 構造別

- 木造
- 鉄骨造
- 鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造
- 免震建築物
- 内装材・外装材

■ その他の課題の把握

◆ 被災後の継続使用性の確保

調査結果の公表

月日	回数	内容 (国土交通省との連携によるもの) ※これらのほか、地震後継続使用に関する自主調査などを随時実施
4/14		地震 (前震) 発生 (M6.5)
4/15	第1次	初動調査 (熊本市・益城町・南阿蘇村・西原村・山都町)
4/16		地震 (本震) 発生 (M7.3)
4/16	第2次	木造 (熊本市・益城町・南阿蘇村)、RC造 (熊本市・益城町・宇土市・宇城市)
4/19	第3次	鉄骨造・非構造・設備 (熊本市・益城町・西原村)
4/22	第4次	基礎・地盤 (熊本市・益城町)
4/26	第5次	火災 (熊本市・益城町・大津町・御船町)
4/26	第6次	木造 (益城町・南阿蘇村)
4/28	第7次	RC造 (熊本市・益城町・宇土市)
4/28	第8次	鉄骨造 (益城町)
4/29	第9次	免震 (熊本市・阿蘇市・山鹿市・大津町)
5/19	第10次	木造・基礎・地盤 (益城町)
5/23	第11次	非構造 (熊本市・益城町)
5/26		第1回 熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会*
6/6	第12次	RC造 (熊本市)
6/8	第13次	鉄骨・非構造 (熊本市・宇城市・山都町) (体育館)
6/30		第2回 熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会*
8/3	第14次	非構造 (熊本市・大津町・菊陽町・合志市)
9/12		第3回 熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会*
10/14		平成28年熊本地震 建築物被害調査報告 (速報) 公表

■ 平成28年熊本地震 建築物被害調査報告 (速報)

- ◆ <http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/data/173/index.html> (建築研究資料 No.173)
 - 第1章 はじめに
 - 第2章 調査研究の概要
 - 第3章 被害一般
 - 第4章 地震および地震動
 - 第5章 地震動による建築物等の被害
 - 第6章 火災による建物被害
 - 第7章 おわりに

■ 熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会 報告書

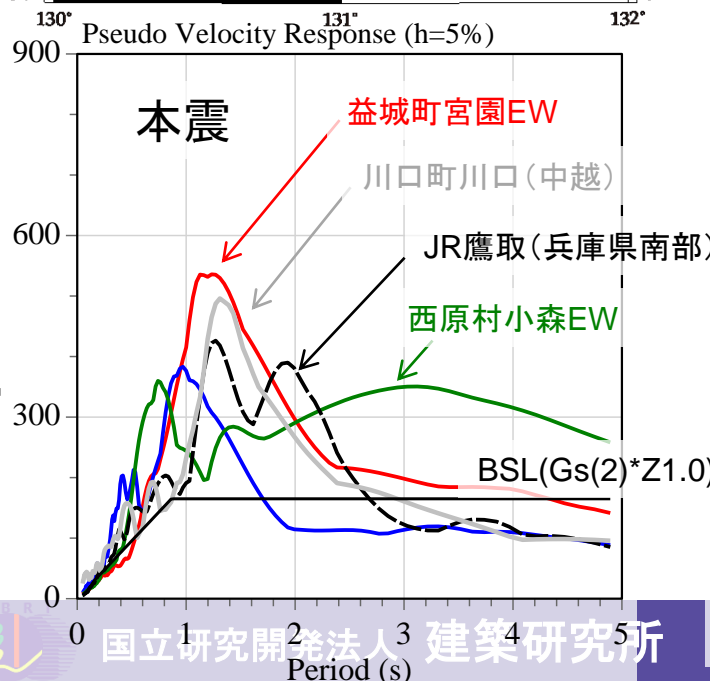
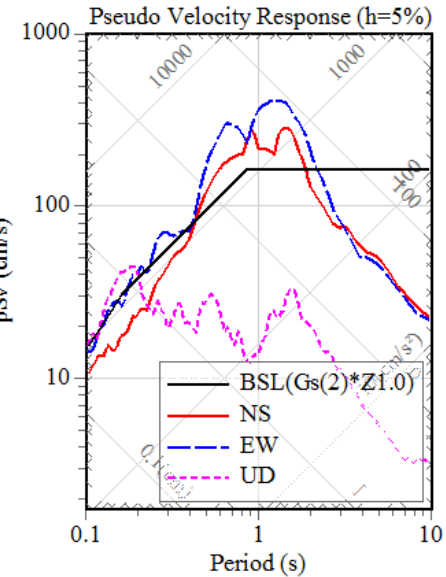
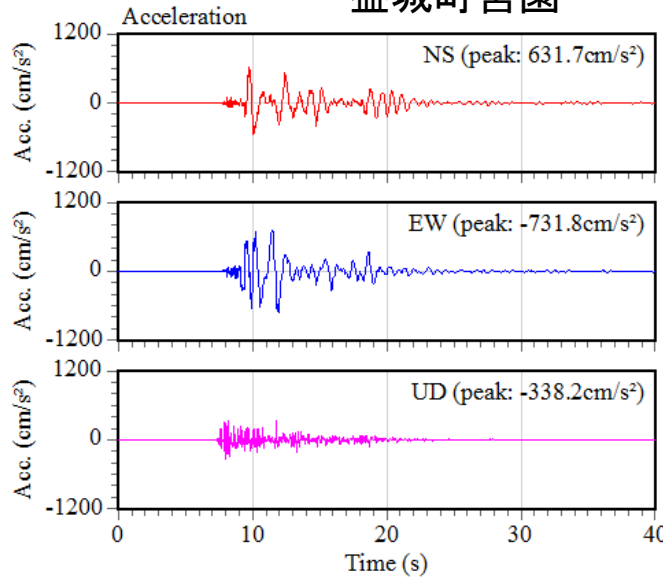
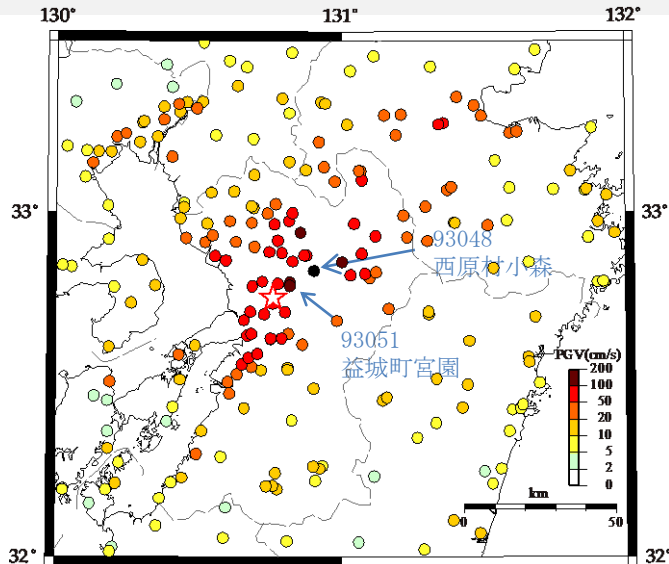
- ◆ <http://www.nilim.go.jp/lab/hbg/0930/report.htm>
 1. 委員会設置の目的・経緯
 2. 地震及び地震動の特徴
 3. 被害状況・被害要因等の分析
 4. 調査結果を踏まえた総括

- ・外部機関による観測
- ・建築研究所による観測

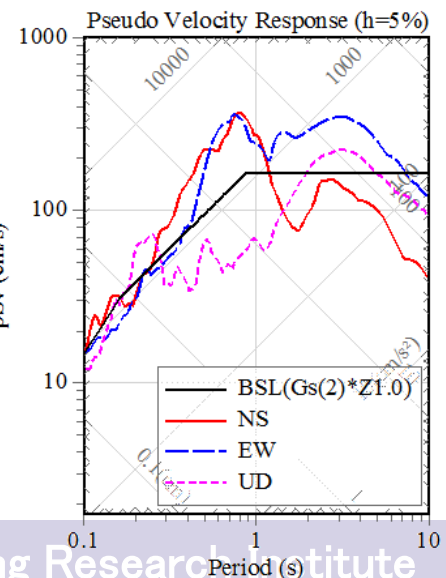
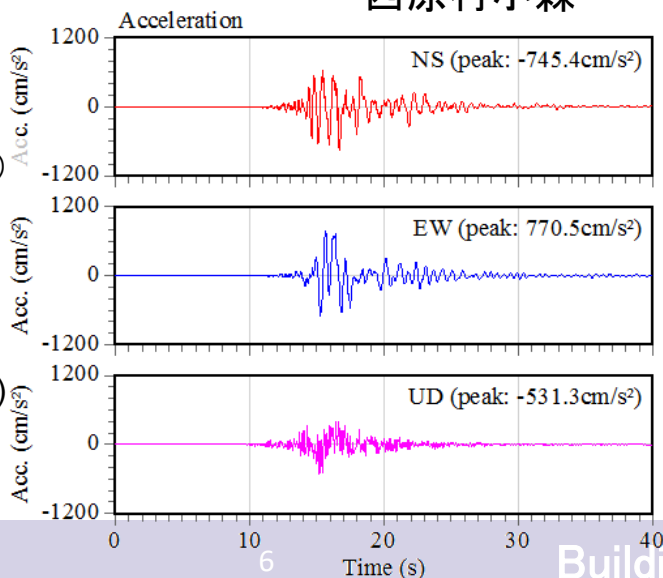
地震及び地震動

本震の地震動特性

益城町宮園

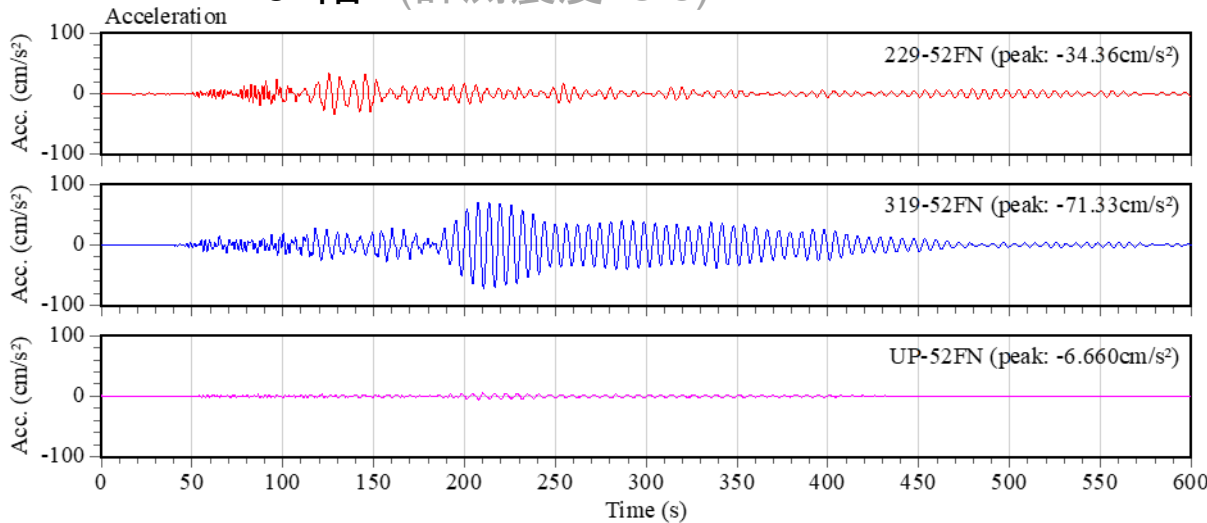


西原村小森

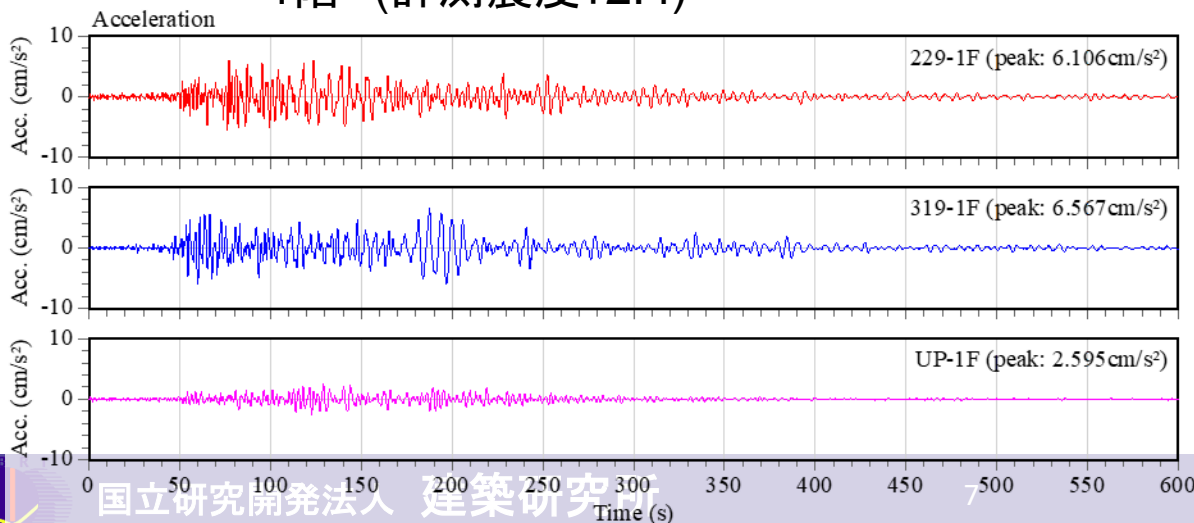


長周期地震動(建築研究所による観測)

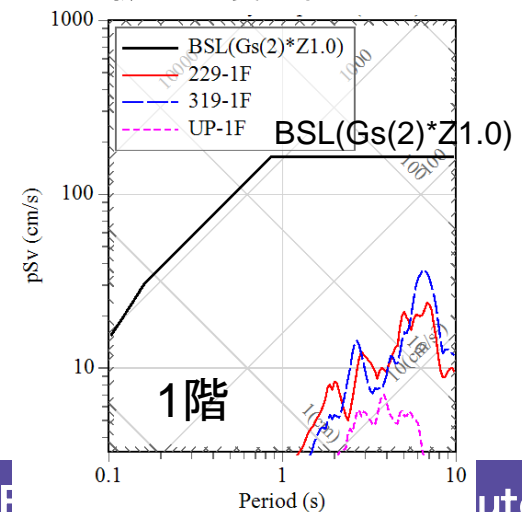
■ 大阪府咲洲庁舎(震央距離:479km 計測震度:2.4[1階])
52階 (計測震度:3.9)



1階 (計測震度:2.4)



擬似速度応答スペクトル

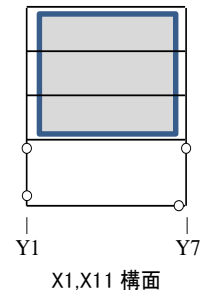


調査結果の概要

委員会報告における「総括」の概要①

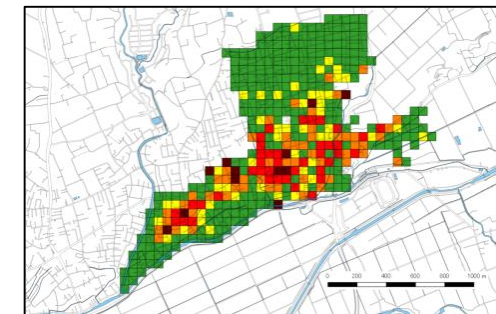
■ 全体的な被害の傾向について

- ◆ 現行規定による、あるいは耐震改修を行った建築物は、適切に倒壊防止性能を確保することができた。
- ◆ 新耐震基準より前の建築物、あるいは現行規定の主旨が徹底できていない建築物については、倒壊・大破等の甚大な被害につながったものがあった。
 - 鉄骨造における接合部
 - RC造等のピロティ構造における設計



■ 木造建築物について

- ◆ 旧耐震基準では多数が倒壊するなど大きな被害を受けた。
- ◆ 新耐震基準以降であっても2000年改正(現行規定)を境に被害状況に差が見られた。
- ◆ 悉皆調査の結果、現行規定によるもので倒壊・崩壊に至った建築物が7棟あり、被害の拡大につながる要因を検討した。
 - 柱頭・柱脚・筋かい端部の不適切な金物等
 - 重量の重い仕様(?)
 - 平面不整形・立面不整形・増改築(?)
 - 地震動そのものの大きさ(?)



現時点では必ずしも今回の倒壊被害に直接影響があったかどうかは不明であり、詳細検討中。

委員会報告における「総括」の概要②

■ その他の被害

- ◆ 大きな被害につながるおそれのある被害(重量物・高所からの落下)が見られた。
 - 鉄骨造: 体育館における鉄骨造屋根(支承部を含む)の被害等
 - 非構造: 大判ガラスによる外装パネルの脱落等



落下した
トラス部位

■ 建築物の機能継続について

- ◆ 庁舎・避難所や共同住宅において、構造安全性は確保されたが、使用の継続が困難となる事例が見られた。
 - 構造体の被害
 - 内装材・外装材・非構造壁等の被害
 - 傾斜等の被害
- ◆ (RC造等)耐震補強を行ったものでも、大破に至ったものが見られた。



大判ガラス(DPG工法)の落下



天井材の落下(講堂)

- ・現地調査(益城町中心部、西原村、南阿蘇村)
- ・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
(新耐震以降及び2000年6月以降)

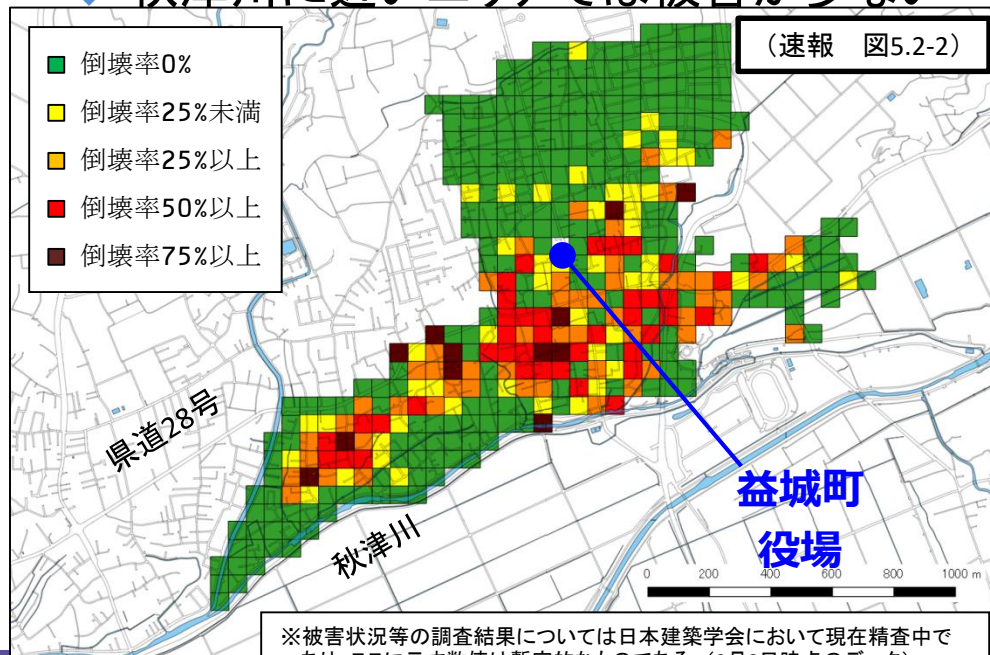
木造(悉皆調査を含む)

木造建築物の被害の特徴①(悉皆調査)

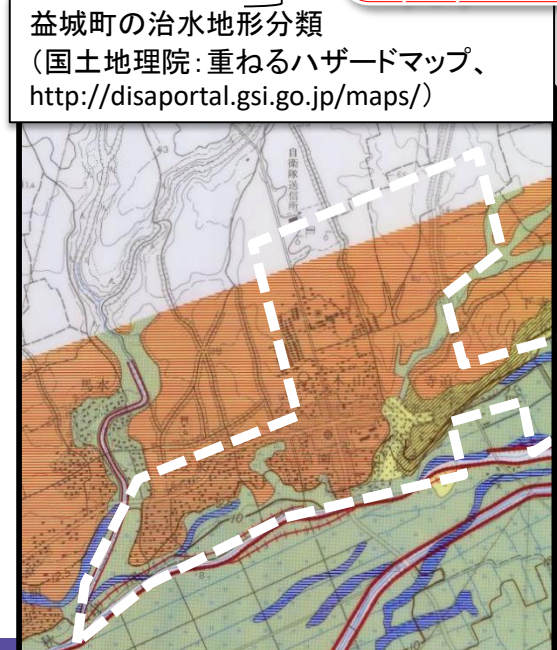
- 日本建築学会による益城町の「悉皆調査」(区域内の全数調査)と連携
 - ◆ 航空写真等を併用した年代特定の精度向上
 - ◆ 学会による判定結果の精査 等を担当

■ 被害分布の特徴

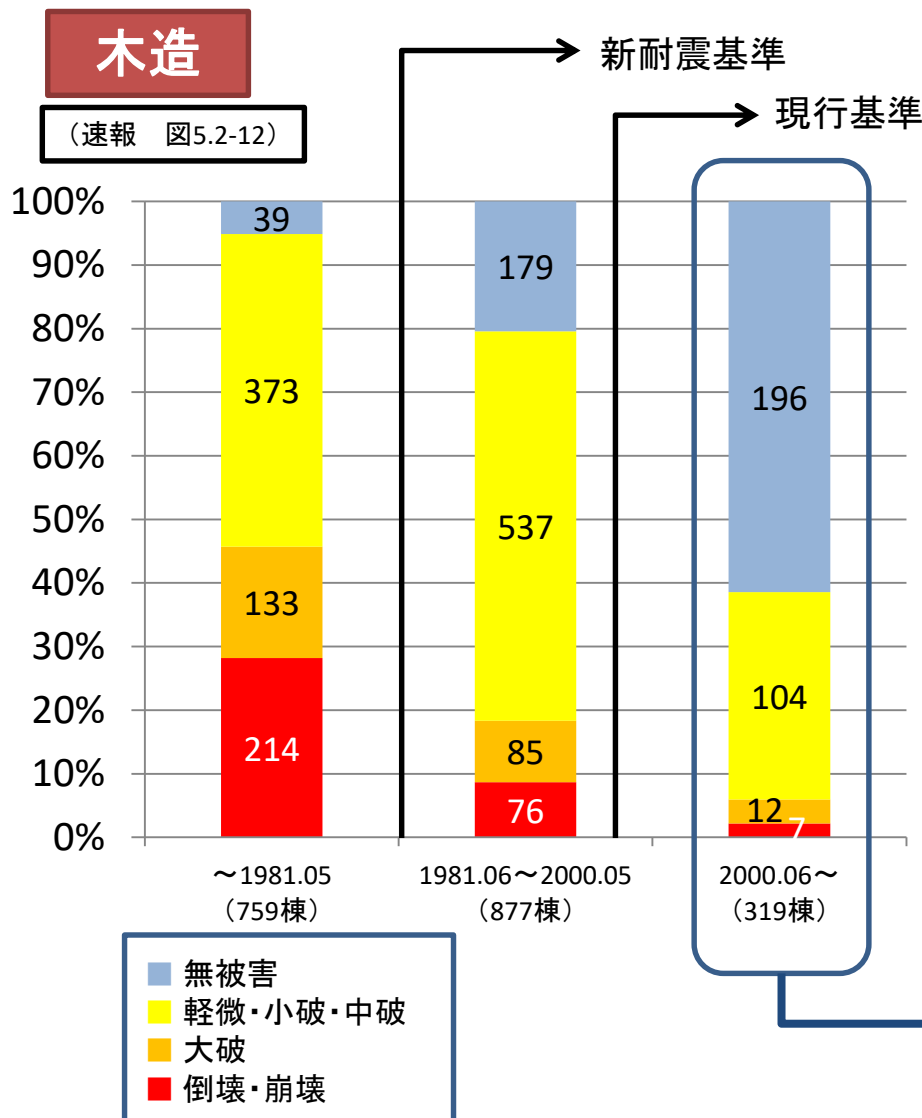
- ◆ 県道28号から北側に500mほど離れると被害が少ない
- ◆ 安永地区では県道28号から南側の被害が大きい
- ◆ 秋津川に近いエリアでは被害が少ない



地盤条件等による地震動の特性の違い (?)



益城町の悉皆調査における年代別被害率(木造)



■ 木造の新耐震基準は一定の効果を発揮した

◆ 2000年改正以前のは改正後に比べて倒壊・崩壊の被害の割合が高く、改善が必要

■ 現行基準でも倒壊した7棟については原因を精査中

◆ うち4棟では、他の倒壊木造と同様の軽微な接合など、被害の拡大要因を確認

◆ 残る3棟について、近隣の無被害の1棟と合わせて、図面の入手・時刻歴応答解析などによる詳細検討を実施

2000年改正

- ・ 接合金具
- ・ 耐力壁配置(1/4ルール)等々

木造建築物の被害の特徴②

- 益城町や南阿蘇などで、新耐震基準より前(築年数40年超)の古い住宅に甚大な被害
- 倒壊等の被害を受けた建物では、接合金具が無かったり、釘打ちなど軽微な接合としたものが多い



益城町(戸建住宅)
1階が崩壊

(速報 写真5.3-14及び15)



柱端部に金具なし



南阿蘇(共同住宅)
1階が崩壊

(速報 写真5.3-54及び55)



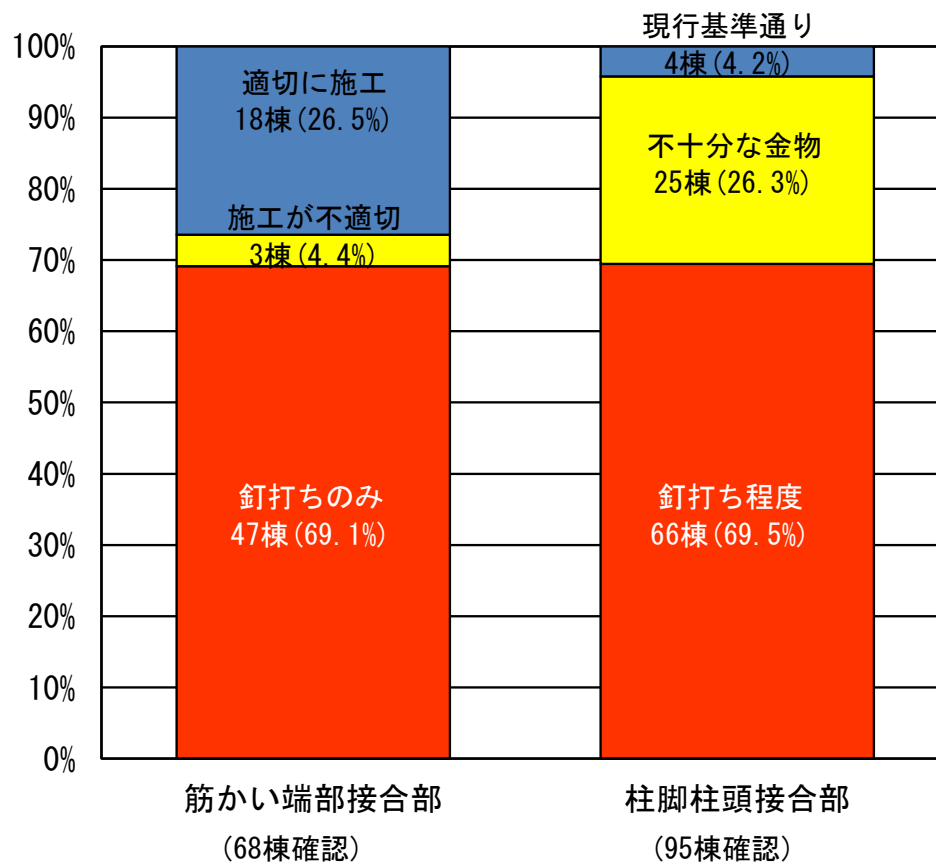
筋かいの軽微な接合

新耐震倒壊木造102棟の構造的特徴と被害要因(速報より)

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、既存不適合の可能性)						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		
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)	1	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層の層崩壊)	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		倒壊	2	在来軸組														
48	新耐震		倒壊	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		倒壊(1層の層崩壊)	2	在来軸組					○								○	○

新耐震以降倒壊建物の構造的特徴と被害要因の推定 (接合部仕様を確認した木造住宅)

※不十分な金物＝現行基準に適合しない金物等



その他(前震で倒壊した木造建築物)

- 悉皆調査エリア内で35棟確認
- 4/15撮影の航空写真(斜めから撮影)
- 5棟は新耐震以降の建築確認の木造住宅
 - ◆ →接合仕様が不十分、隣接した建物の衝突等の倒壊要因



参考: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

- ・益城町における鉄骨造建築物の調査
- ・学校体育館の調査
- ・その他の鉄骨造建築物の調査

鉄骨造

鉄骨造の被害①

- 益城町では、層崩壊した1棟が新耐震基準であったが、性能の不十分な溶接部の破断が見られる
- 他に大破した15棟についても、同様の接合や隣棟の倒壊など、設計基準以外の被害要因と推定



益城町(店舗併用住宅)
2階が崩壊

(速報 写真5.4-1及び3)



倒壊又は大破した建築物と特徴 (水色は新耐震基準以降建設)

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)	○	○					○	○		○	○		○		○	○

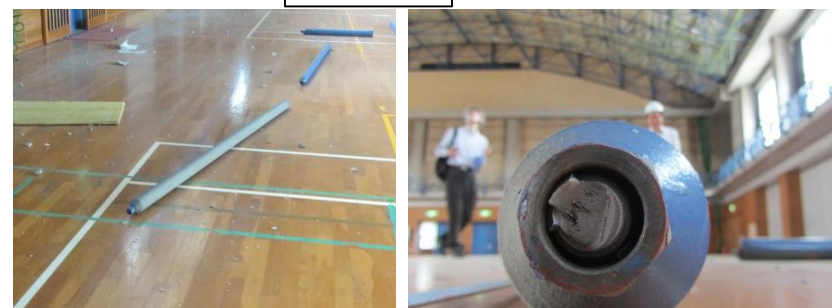
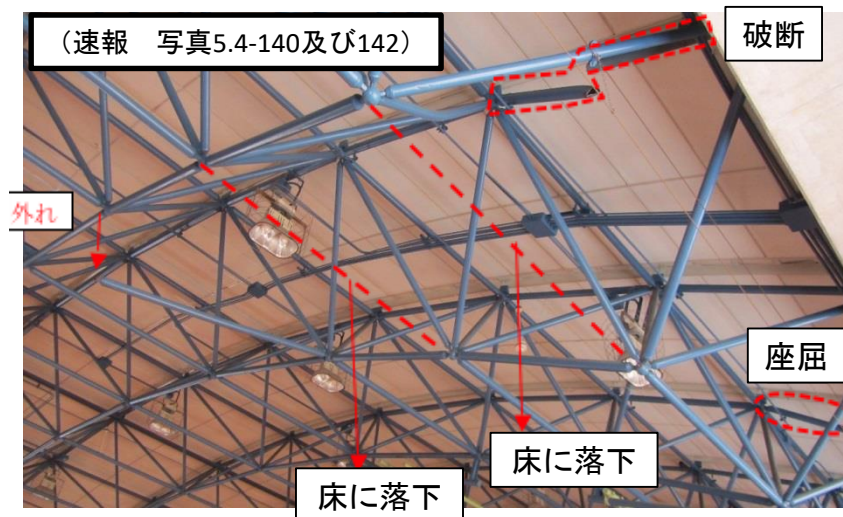
- 1) 建設年が1980年以前と推定されるもの又は古いタイプの部材(日の字柱)を用いたもの
- 2) 隣の倒壊した建築物による力の作用、宅地擁壁部分の崩壊等の当該建築物以外の周辺状況による何らかの影響があったと推定されるもの
- 3) 溶接部等で破断が生じていたもの

鉄骨造の被害②

- 中～大規模な鉄骨造については、体育館などで(特に継続使用に支障のある)被害



熊本市内(体育館)
鉄骨屋根支承部のコンクリ破損・脱落



熊本市内(体育館)
立体トラス部材の脱落

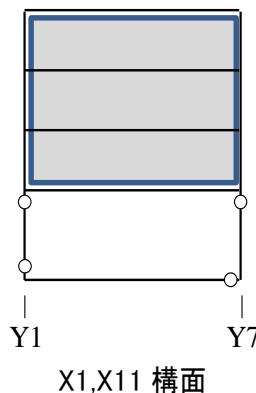
- ・1981年以降または耐震改修済みの被災建築物
- ・1981年以前の被災建築物
- ・その他の被災建築物

鉄筋コンクリート造及び 鉄骨鉄筋コンクリート造

鉄筋コンクリート造の被害①

- 新耐震基準以前の古い共同住宅等で、1階の層崩壊など甚大な被害
- 新耐震基準で大破したものの多くはピロティ的な構造で、現行基準を満たしていない設計であった

宇土市内(共同住宅) 1階柱頭の破壊



問題点

- ・スリットを有する壁のモデル化
- ・部分崩壊形



F_{es} に関する告示改正(1995年12月11日)
1997年版建築物の構造規定(層崩壊防止)

鉄筋コンクリート造の被害②

- 構造体以外の外壁等の被害も多く、継続使用上の支障を生じた
- 地下部分の損傷などで全体が傾斜(1/50超)した可能性のある被害も報告されている

熊本市内(共同住宅)
非耐力壁の破壊



2.5/100程度の傾斜

- ・吊り天井の被害
- ・ガラス開口部の被害
- ・内装の被害
- ・外装の被害
- ・防火戸等の被害
- ・吹付けアスベスト等の被害

非構造部材

非構造部材の被害

- 吊り天井や内壁等の様々な内装材・外装材の落下や、被害に伴う使用禁止措置が講じられていた
- その他、過去の震災と同様に外装材やタイルの落下、大判ガラスの破損、窓サッシなどの被害が多く見られた



(速報 写真5.8.2-19)

熊本市内(体育施設)
吊り天井部材の落下



(合同委員会報告 表3.8-2)

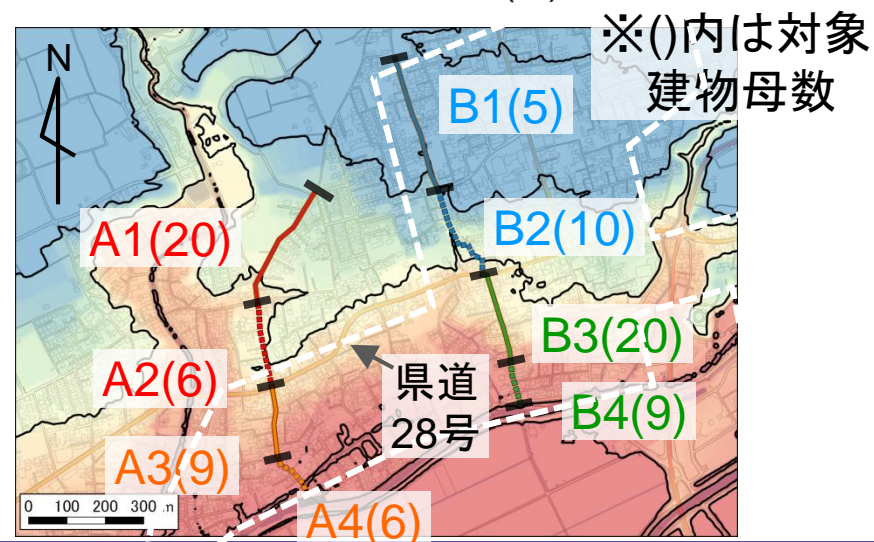
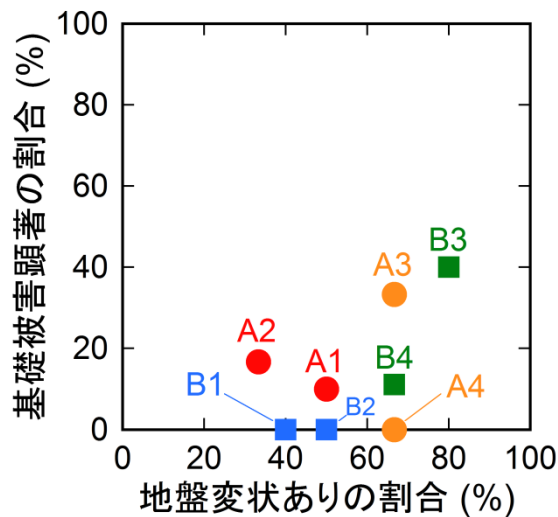
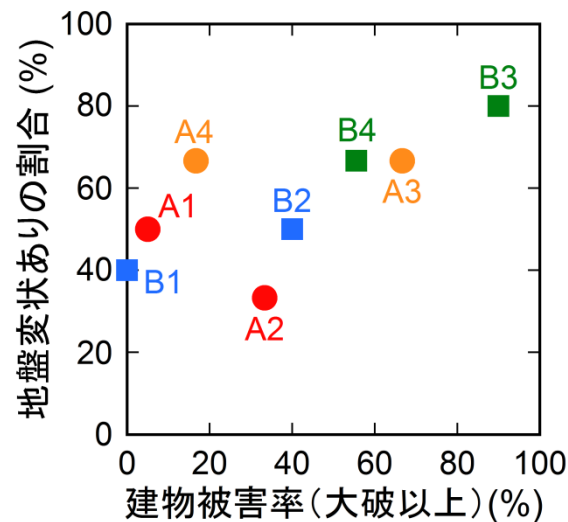
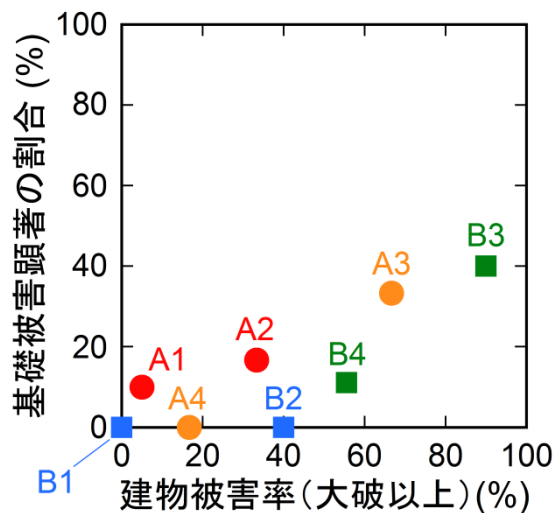
熊本市内(商業施設)
大判ガラス(DPG工法)の落下

- ・基礎及び地盤
- ・免震建築物

その他の被害調査

基礎及び地盤の被害①(通り沿いの悉皆調査)

■ 木造建築物(1981以降)と地盤基礎の被害率



基礎及び地盤の被害②(まとめ)

■基礎及び地盤の被害(益城町)

- ◆ 県道28号北側では、盛土擁壁による造成宅地が多く、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。
- ◆ 県道28号南側で大破／倒壊した建物について、地盤変状と基礎の損傷の両方が見られる場合と、地盤変状は見られるが基礎の損傷は軽微／見られない場合がある。

■液状化の被害(熊本市南区)

- ◆ 地盤の液状化による建物被害は、過去の震災で見られた様相の範囲内のようである。

免震建築物の被害①(概要)

■ 構造耐力上主要な部分の損傷 (これまでに報告のない被害)

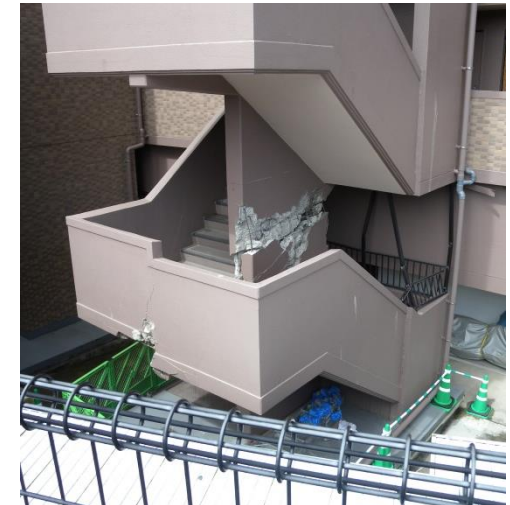
- ◆ ダンパー取付け基部の損傷
- ◆ 外付け階段部分の損傷



免震層の設計における技術資料の不足



ダンパー取付け基部の損傷



外付け階段部分の損傷

■ 免震材料の変状

- ◆ 化粧部分の変状
- ◆ 被覆等の変状
- ◆ 部材の残留変形等

■ クリアランス部(エキスパンションジョイント等)の変状

- ◆ エキスパンションジョイント及びカバーの変形
- ◆ クリアランス部における接触等

免震建築物の被害②(クリアランス部)

- 免震挙動への影響はないと考えられる
- (継続使用が求められる)免震建築物として避けるべき状況
- 損傷を前提とした場合でも、想定以上の被害を生ずる可能性
- 避難上の支障など安全性への影響もあり得る



渡り廊下の天井材の脱落



周囲地盤の沈下に伴う段差



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不足

今後の対応に向けて

まとめと今後の対応①

■ 全体的な被害の傾向について

- ◆ 現行規定による、あるいは耐震改修を行った建築物は、適切に倒壊防止性能を確保することができた。
- ◆ 新耐震基準より前の建築物、あるいは現行規定の主旨が徹底できていない建築物については、倒壊・大破等の甚大な被害につながったものがあった。
 - 鉄骨造における接合部
 - RC造等のピロティ構造における設計



引き続き現状の研究活動を継続し、解説書等を通じて適切な設計の周知・普及に努める。
(新築・改修・補強の各段階)



- 基準解説書
- 運営費交付金課題
- 国交省・国総研課題
- 建築基準整備促進事業

etc.

■ 木造建築物について

- ◆ 旧耐震基準では多数が倒壊するなど大きな被害を受けた。
- ◆ 新耐震基準以降であっても2000年改正(現行規定)を境に被害状況に差が見られた。
- ◆ 悉皆調査の結果、現行規定によるもので倒壊・崩壊に至った建築物が7棟あり、被害の拡大につながる要因を検討した。
 - 柱頭・柱脚・筋かい端部の不適切な金物等
 - 重量の重い仕様(?)
 - 平面不整形・立面不整形・増改築(?)
 - 地震動そのものの大きさ(?)



安全性に及ぼす影響を評価し、適切なルール(仕様規定・計算規定)を検討の上、周知・普及に努める。



益城町内において地盤調査を行って地震動を精査し、倒壊解析など詳細な検討につなげる。

まとめと今後の対応②

■ その他の被害

- ◆ 大きな被害につながるおそれのある被害(重量物・高所からの落下)が見られた。
 - 鉄骨造: 体育館における鉄骨造屋根(支承部を含む)の被害等
 - 非構造: 大判ガラスによる外装パネルの脱落等



脱落を生じた要因の分析を行い、被害防止に必要な適切なルールについて検討する。
既存対策(改修・補強・除去)も検討する。

■ 建築物の機能継続について

- ◆ 庁舎・避難所や共同住宅において、構造安全性は確保されたが、使用の継続が困難となる事例が見られた。
 - 構造体の被害
 - 内装材・外装材・非構造壁等の被害
 - 傾斜等の被害
- ◆ (RC造等)耐震補強を行ったものでも、大破に至ったものが見られた。



被害分析に基づく被災後の継続利用の阻害要因の分析を通して、

- 災害時の要求性能
- その確保に必要な留意事項
- 留意事項を満足するための適切なルール

これらについて検討する。

【参考】 国交省における主な取組方針

(社会資本整備審議会 第23回建築物等事故・災害対策部会2016/10/05)

熊本地震における建築物被害の要因分析及び対応のための取組方針 資料1-2

ここで示した主要な項目以外にも、各分野において、被害要因分析及び被害防止に必要な各種の検討を実施・計画している。

こうした方向性に沿って、調査研究の実施、国土交通省の取組への参画、関係機関への技術指導等の活動を積極的に推進する。

- ② 消費者がより高い耐震性能の住宅を選択できるよう、住宅性能表示制度の普及を推進。