

国土技術政策総合研究所講演会

2016年12月8日

於いて:ニッショーホール

# 過年の地震被害に重ねる 2016年熊本地震による建築物被害

2016年熊本地震の諸元:

2016年4月14日 21時26分頃: M = 6.5、最大震度 7

2016年4月16日 01時25分頃: M = 7.3、最大震度 7

2016年4月21日発表の「平成28年（2016年）熊本地震について（第23報）」（気象庁）

「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。

本パワーポイント資料は、筆者による写真等に加え、国総研と建研による共同開催による「平成28年熊本地震建築物被害調査報告（速報）に関する発表会」（本年9月29日開催）資料を使わせて戴いた。ここに、担当された国総研研究官、建研研究員の方々に謝意を表す。また、資料中の建物名称、所在地、建築年度等のデータは現在も精査継続中である。確認の結果により、変更されることもある。

久保 哲夫  
東京大学・名誉教授

# 講演内容の概要：

- (1) 2016年熊本地震の地震・被害の概要
- (2) 経験工学としてみる耐震工学からの  
過年の被害地震と  
耐震工学研究・耐震設計の変遷
- (3) 熊本地震による建築物の被害概要
- (4) 熊本地震による建築物の被害から学ぶこと

## 2016年熊本地震の地震・被害の概要

- 内陸活断層を起震断層とする地震  
→ 地表に断層断裂が形成
- JMA震度7の強い地震動が観測  
→ 震度7の強震動が複数回（2回）発生 & 多数の余震
- 地盤液状化の発生
- 既存不適格建築物の被害（Stockとしての建築物被害）  
→ 1981年耐震規定改定前のR/C造、S造、W造の  
既存不適格建築物の被害
- 2000年の仕様規定明確化後のW造建築物の被害
- 1995年兵庫県南部地震以降に普及した免震構造建築物の  
被害
- 天井材の落下等の非構造部材の被害

# 2016年熊本地震の地震・被害の概要

- ・ 内陸活断層を起震断層とする地震  
→ 地表に断層断裂が形成

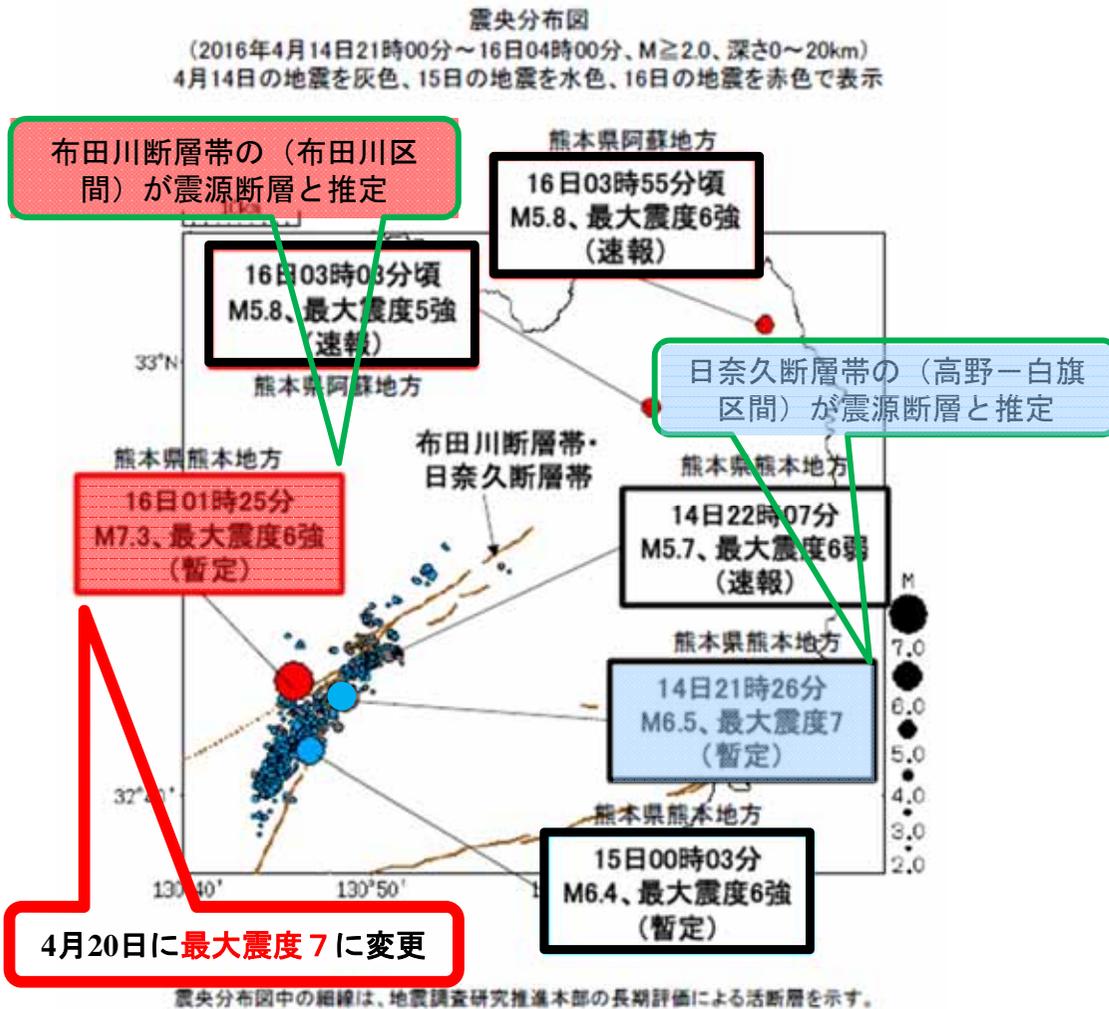


益城町堂園集落の田畑に出現した地表地震断層:「第三報」緊急現地調査報告、平成28年(2016年)4月14日に発生した熊本地方の地震の関連情報、国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター[URL <https://www.gsj.jp/>]より転載.



熊本県南阿蘇村の学校校舎庭に出現した地表地震断層:地裂は校舎棟をつらぬき、校舎棟に損傷を生じ、地裂至近の学生サークル棟に損傷を生じた。(2016年5月18日撮影)

# ・ JMA震度7の強い地震動が観測



気象庁：「平成28年（2016年）熊本地震」について（第8報）、2016年4月16日、07時30分発表資料に筆者が彩色を施した。

## Kumamoto EQ of April 14 & 16 Force Responses at Mashiki Town F.C.D. = 0.05

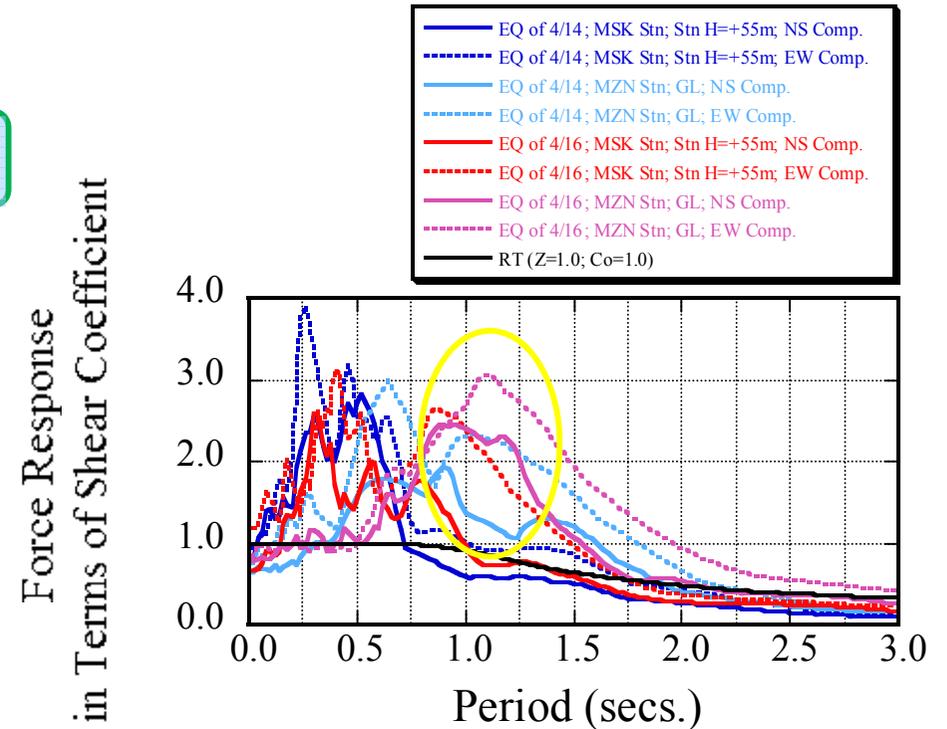


図. 最大復元力応答スペクトル：4月14日地震（寒色系）と4月16日（暖色系）；KMMH16 益城&益城町庁舎（宮園）。

二つの地震の地震モーメント  $M_0$  は、東大震研、京大防災研、防災科研、産総研などの研究機関の解析によると、それぞれ  $M_0 = 2.0 \times 10^{18}$  Nm、 $M_0 = 4.5 \times 10^{19}$  Nm と算定されている。

# 2016年熊本地震の地震・被害の概要

## ・地盤液状化の発生



図. 熊本市内において液状化が認められた地域:  
M病院; 市内を流れる白川沿いの地域.



写真. 液状化発生により建物周りの地盤沈下が認められたM病院棟.

# 2016年熊本地震の地震・被害の概要

## ・ 既存不適格建築物の被害 (Stockとしての建築物被害)



写真. 既存不適格の鉄筋コンクリート造建物の層崩壊: 写真左上 1階駐車場が層崩壊したK0建物; 写真右上 損傷が認められなかった1階店舗のK2建物(奥がK0建物); 写真右下 1階駐車場に鉛直支持サポートが設けられていたK1建物; 建設年代は異なるが、何れも、1981年以前の耐震設計規定による既存不適格建築物である.

# 特徴3) 「溶接部等で破断」の事例

建築物01 (建設年1987年頃) :  
「倒壊」

4階建ての店舗併用住宅  
角形鋼管柱とH形鋼梁のラーメン構造



2階が完全に層崩壊している

完全溶け込み溶接にすべき部分をすみ肉溶接し、不適切な溶接施工が要因と考えられる



柱梁接合部パネルとダイアフラム間の溶接部の破断

# 2000年以降倒壊建物



# 現地調査結果(免震建築物の被害の特徴)

## ① 構造耐力上主要な部分の損傷

- ダンパー取付け基部の損傷(2棟)
- 外付け階段部分の損傷(3棟)



## ② 免震材料の変状(多数)

- 化粧部分の変状
- 被覆等の変状
- 部材の残留変形 等



## ③ クリアランス部(エキスパンションジョイント等)の変状(多数)

- 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



# ■ 吊り天井の被害① 特定天井



## 被害地震と関連する主な耐震構造研究／構造規定の制定・改定等

年	被害地震	耐震構造研究／構造規定等
1880	横浜地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本地震学会の設立(1880)</li> <li>・造家学会(現:日本建築学会)の設立(1886)</li> </ul>
1891	濃尾地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>・震災予防調査会の設置(1892)</li> <li>・市街地建築物法の制定(1919)</li> </ul>
1923	関東大震災	<ul style="list-style-type: none"> <li>・市街地建築物法施行規則の改正(1924)</li> <li>「水平震度 0.1 以上の規定:世界初の法的震度規定」</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・R/C造構造計算規定の制定:日本建築学会(1933)</li> <li>「横力分布係数法」の提示</li> </ul>
1943-46	鳥取・東南海・三河・南海地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>・日本建築規格建築第3001の制定(1947)</li> <li>「長期・短期の許容応力度を導入」</li> <li>「設計用水平震度を0.2以上に引き上げ」</li> </ul>
1948	福井地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建築基準法の制定(昭和25年(1950年)5月24日法律第201号)</li> </ul>
1964	新潟地震	
1968	土勝沖地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>・基準法施行令の改正(1970):「帯筋規定、高さ制限の撤廃」</li> <li>・日本建築学会R/C計算規準の改定(1971):「せん断補強筋に関する規定」</li> <li>・建設省総プロ「新耐震設計法の開発」(1972-1976)</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>・新耐震設計法(案)の提示(1977)</li> </ul>
1978	宮城県沖地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建築基準法耐震規定の改正(1981)</li> </ul>

年	被害地震	耐震構造研究／構造規定等
1995	兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・建築物の耐震改修の促進に関する法律の制定(10月27日法第123号公布)</li> <li>・昭55年建告第1791号及び第1792号の改正:R/C造等の建築物の特定階における崩壊防止措置に係わる措置(12月11日付改正、12月25日付施行)</li> </ul>
1998		<ul style="list-style-type: none"> <li>・建築基準法の一部を改正する法律(即時、1年目、2年目施行分より構成)</li> </ul>
2000		<ul style="list-style-type: none"> <li>・住宅の品質確保の促進等に関する法律</li> <li>・改正建築基準法(2年目の施行:2000年6月施行／仕様の明確化)                         <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 建築物の基礎の仕様規定の明確化(令第38条)</li> <li>(2) 木造建築物の耐力壁の配置規定の整備(令第46条)</li> <li>(3) 木造建築物の継手、仕口等に係わる仕様規定の明確化(令第47条)</li> <li>(4) S造の柱脚の仕様規定の明確化(令第66条)</li> <li>(5) S造の溶接等に係わる規定の整備(令第67条)</li> <li>(6) R/C造建築物の主筋等の継ぎ手に係わる規定の明確化(令第73条)</li> </ol> </li> </ul>
2000	鳥取県西部地震	
2001	芸予地震	<ul style="list-style-type: none"> <li>・「芸予地震被害調査報告の送付について」(技術的助言)にて落下防止対策を助言(国住指第357号、平成13年6月1日)</li> </ul>
2004	新潟県中越地震	
2011	東北地方 太平洋沖地震 (東日本大震災)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・設備機器類の転倒防止:平成24年国交省告示第1447号:平成12年建告第1388号「建築設備の構造耐力上安全な構造方法を定める件」を改正</li> <li>・天井の落下防止:平成25年国交省告示第771号「特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件」</li> <li>・エスカレータ等の落下防止:平成25年国交省告示第1046号「地震その他の震動によってエスカレータが脱落のおそれがない構造方法を定める件」</li> </ul>

## 濃尾地震(1891年11月28日:M=8.0)による被害



写真。岐阜市内の被害状況:時代は異なるが、木造住戸は全壊し、その後の火災で被災した。  
(写真:飯田汲事氏提供)



写真。名古屋市内のレンガ造建物の被害状況:明治時代の近代化産業となる紡織業に打撃を与えたとされ、明治政府による地震学・耐震工学の推進につながったといわれている。  
(写真:飯田汲事氏提供)



写真。落橋した長良川鉄橋。  
(写真:東京大学工学部武藤研究室蔵)

## 濃尾地震(1891年11月28日:M=8.0)による被害



写真。岐阜県根尾谷水鳥に出現した地震断層。  
(写真:原本 小藤文次郎による撮影;飯田汲事氏提供)



写真。地震後100年を経た岐阜県本巣市根尾水鳥に認められる地震断層跡。(飯田汲事氏の指導・案内による。)



写真。岐阜県本巣市根尾水鳥に認められる地震断層痕:約8mの左横ずれ跡。



写真。岐阜県本巣市の竹林に認められる大森の亀裂。(飯田汲事氏の指導・案内による。)

## 関東大震災(1923年9月1日:M=7.9)による被害



写真。全壊した内外ビル。(写真:東京大学工学部武藤研究室蔵)



写真。工業倶楽部ビル外観:現在はFaçadeの一部を保存して高層ビルに建て替え。(写真:東京大学工学部武藤研究室蔵)



写真。工業倶楽部ビル内観。(写真:東京大学工学部武藤研究室蔵)



写真。工業倶楽部ビル建て替え解体時に切り出された被災した柱:主筋が曲がっているのが認められる。(2001年1月11日撮影;清水建設協力)

## 新潟地震(1964年6月16日:M=7.5)による被害



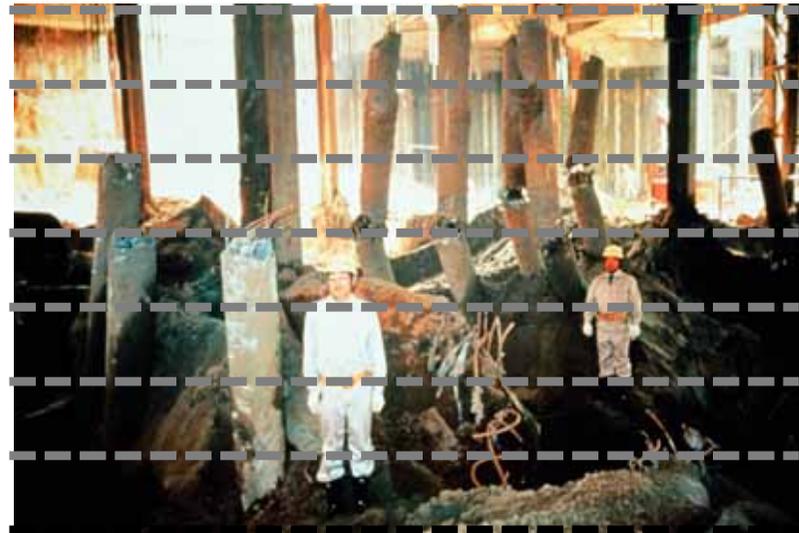
写真。信濃川にかかる昭和大橋の落橋。(写真: 東京大学工学部梅村・同地震研究所大澤研究室蔵)



写真。液状化で転倒した川岸町アパート。(写真: 東京大学工学部梅村・同地震研究所大澤研究室蔵)



写真。液状化により片側沈降による上部構造の損傷。(写真: 東京大学工学部梅村・同地震研究所大澤研究室蔵)



写真。建て替え解体工事中に認められた杭の破損。(大成建設河村壮一氏提供)

## 十勝沖地震(1968年5月16日:M=7.9)による被害



写真。短柱のせん断破壊を生じた八戸工業高等専門学校。(写真:東京大学工学部梅村・青山、同震研大澤研究室、同生研岡田研究室蔵)



写真。せん断破壊した校舎北構面の柱:八戸工業高等専門学校。(写真:東京大学工学部梅村・青山、同震研大澤研究室、同生研岡田研究室蔵)



写真。短柱のせん断破壊を生じた三沢商業高等学校。(写真:東京大学工学部梅村・青山、同震研大澤研究室、同生研岡田研究室蔵)



写真。2方向外力による柱脚の損壊:八戸図書館(写真:東京大学工学部梅村・青山、同震研大澤研究室、同生研岡田研究室蔵)



## 宮城県沖地震(1978年6月12日:M=7.4)による被害



写真 立面方向の剛性分布がアンバランスな建物  
 損傷: 仙台市若林区卸町団地建物O.



写真 立面方向の剛性分布がアンバランスな建物  
 損傷: 仙台市若林区卸町団地建物T.



写真 平面内の剛性分布がアンバランスな建物の  
 損傷: 仙台市若林区卸町団地建物M.



写真 平面内の剛性分布がアンバランスな建物の  
 損傷: 仙台市若林区卸町団地建物M.

## 宮城県沖地震(1978年6月12日:M=7.4)による被害

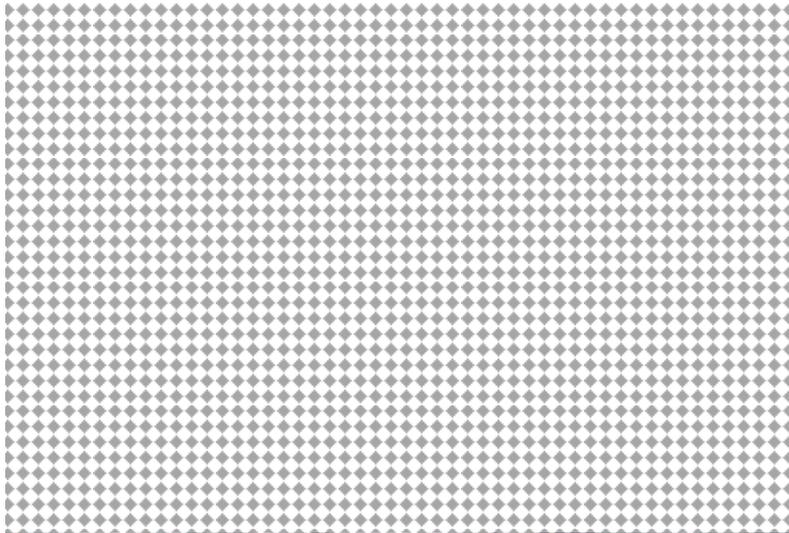


写真 外装パネルが落下した建物S.

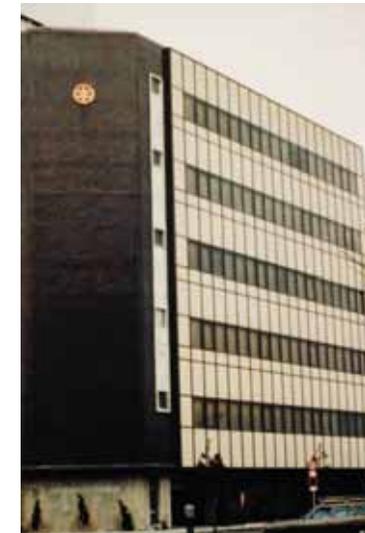


写真 宮城県沖地震で建物外周部に損傷を生じた建物の地震時(左)と改修後(右).

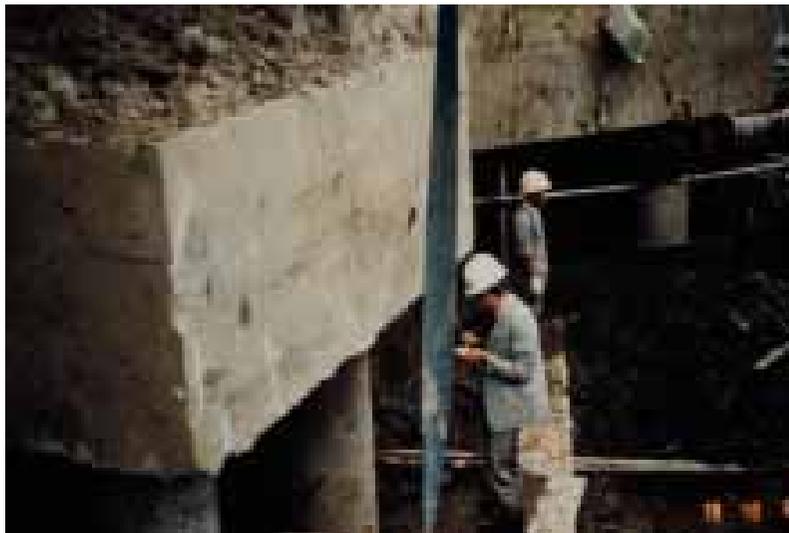


写真 震後に傾斜が生じた建物の杭被害の調査:  
仙台市太白区长町の集合住宅;1979年10月6日.

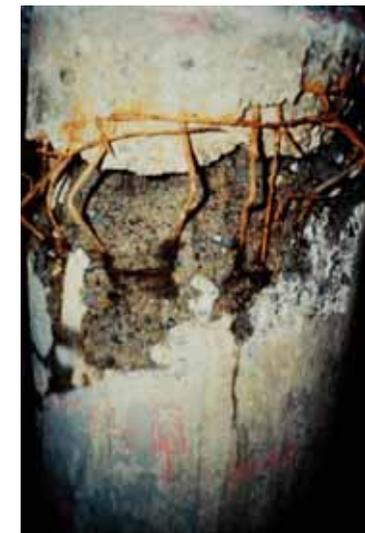
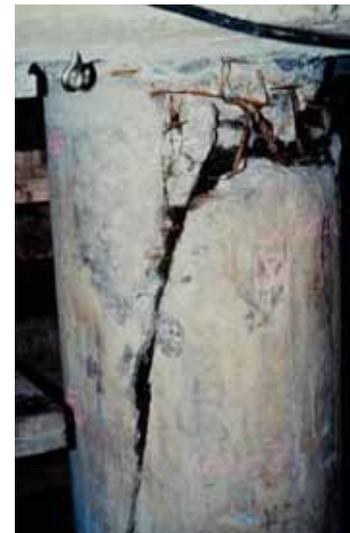


写真 杭体頂部に認められた被害:仙台市太白区  
長町の集合住宅;1979年10月6日.

## 兵庫県南部地震(1995年1月17日:M=7.3)による被害



写真 木質系住宅の崩壊:神戸市東灘区.



写真 火災後の神戸市長田区长田地区.



写真 1階が駐車場として使われているR/C造共同住宅の層崩壊.



写真 中間層に発生した層崩壊.

## 兵庫県南部地震(1995年1月17日:M=7.3)による被害



写真 R/C造柱の損壊:左 せん断補強筋規定改定前の柱のせん断破壊;右 せん断補強筋規定改定後の柱の曲げせん断破壊.



写真 神戸ポートアイランドの鉄道橋橋脚部に認められた液状化現象.



写真 比較的新しい中層マンションに生じた被害:左 隣接棟への渡り廊下部;右 玄関ドアに生じたひずみ.

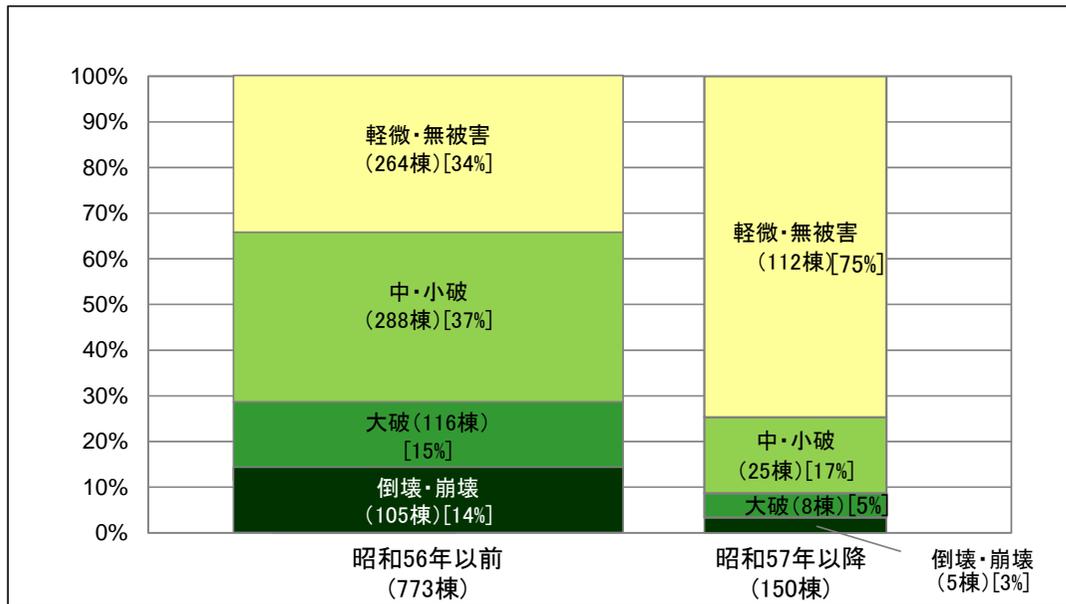


写真 比較的古い中層マンションに生じた被害:左 廊下側の非構造壁に生じたせん断亀裂;右 玄関ドアに生じたひずみ.

# 兵庫県南部地震(1995年1月17日:M=7.3)による被害 兵庫県南部地震のImpact

## 既存建築物への対策:耐震改修促進法の制定

1995年兵庫県南部地震における  
震度7と推定される三の宮地域の悉皆調査による建築物の被害割合



(出典)平成7年阪神・淡路大震災建築震災調査委員会中間報告  
神戸市中央区のJR三宮駅近辺及び主に木造建築物より構成される住宅・商業地域の一定の地域における悉皆調査(923棟)。この調査地域はほぼ震度7の地域だったと推定される。

大破:耐力壁に大きなせん断ひび割れが生じて耐力に著しい低下が認められる等(ただし、崩壊・倒壊には至らないレベル)

中破:耐力壁にせん断ひび割れ、非構造体に大きな損傷が見られる等

小破:柱・耐力壁の軽微な損傷であり、非耐力壁又は階段室のまわりにせん断ひび割れが見られる等

軽微:柱・耐力壁・非耐力壁の損傷が、軽微又はほとんど損傷がない等

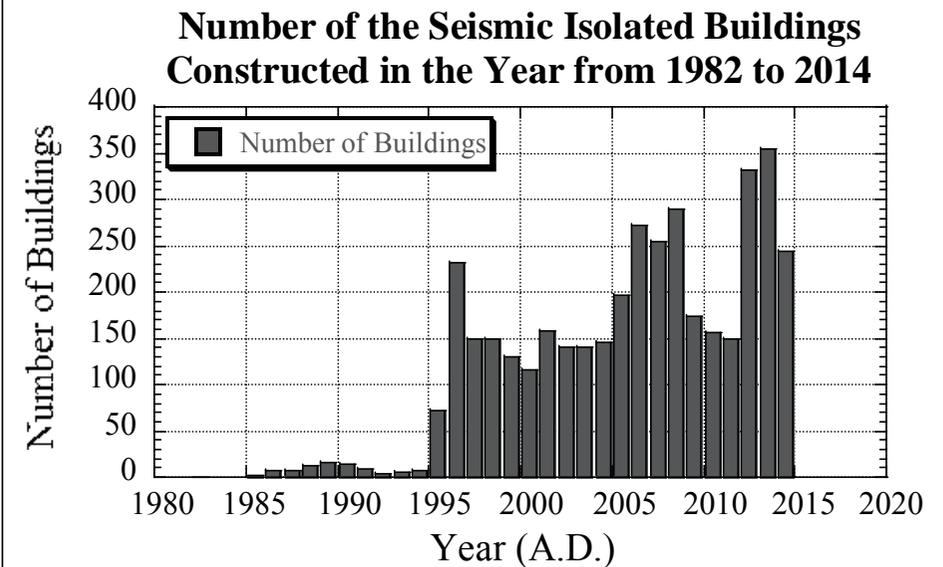


図 免震構造建築物の年代別建設棟数:1982年から2014年まで;時刻歴による性能評価+告示による. データ提供 (一財)免震構造協会による/2016年6月8日

# 鳥取県西部地震(2000年10月6日:M=7.3)による被害



図 直下地震である鳥取県西部地震による地震動の最大値分布. (EdM[防災科学技術研究所地震防災フロンティア研究センター]研究会資料より転載)

## 鳥取県西部地震(2000年10月6日:M=7.3)による被害



写真. 倒壊した木造住宅. (EdM (地震防災フロンティア研究センター) 日比野浩氏提供)



写真. R/C造建物1階柱のせん断破壊:日野郡溝口町役場. (EdM 日比野浩氏提供)



写真. R/C造建物1階柱のせん断破壊:日野郡溝口町役場. (EdM 日比野浩氏提供)



写真. 体育館の天井板のずれ:境小学校、境港市. (EdM 日比野浩氏提供)

## 芸予地震(2001年3月24日:M=6.7)による被害



写真。学校校舎北側構面の柱のせん断破壊:松山市&東広島市の文教施設。(EdM(地震防災フロンティア研究センター)資料より転載)



写真。落階した建物1階の柱:R/C造3階建物(昭和45年竣工);愛媛県今治市内。(EdM(地震防災フロンティア研究センター)資料より転載)



写真。鉄骨屋根からの石膏ボード張りの天井材の落下:B体育館。(国土交通省住宅局建築指導課提供)



写真。鉄骨屋根から軽量の天井および金具が落下:C体育館。(国土交通省住宅局建築指導課提供)

# 振動による被害建物： 若林区卸町団地内建物

1978年宮城県沖地震で損壊をしなかった旧基準のR/C造建築物が被害を生じた。



仙台市若林区卸町  
東北Iビル

1978年宮城県沖地震時のMビルに類似。  
片側に階段室があり、平面の不整形。



1978年宮城県沖地震(1978年月12日)  
による仙台卸町“Mビル”の被害。

# 高層集合住宅に認められる被害

## A集合住宅

- 1979年建設(SRC造11階建)
- 耐震診断の結果OK(補強不要)



**被害:**中高層階まで2次壁がせん断破壊  
 構造骨組は、はり曲げ降伏型で、大きな  
 損傷は認められない。

**対応:**住民は退去し、改築の方向。

前田匡樹・東北大学教授より提供の資料より作成した。

# 2011年東日本大震災における被害事例

## 新しいタイプの被害

### 天井(非構造部材)の落下



コンサートホール:(一財)日本建築防災協会提供.

### 天井(非構造部材)の落下

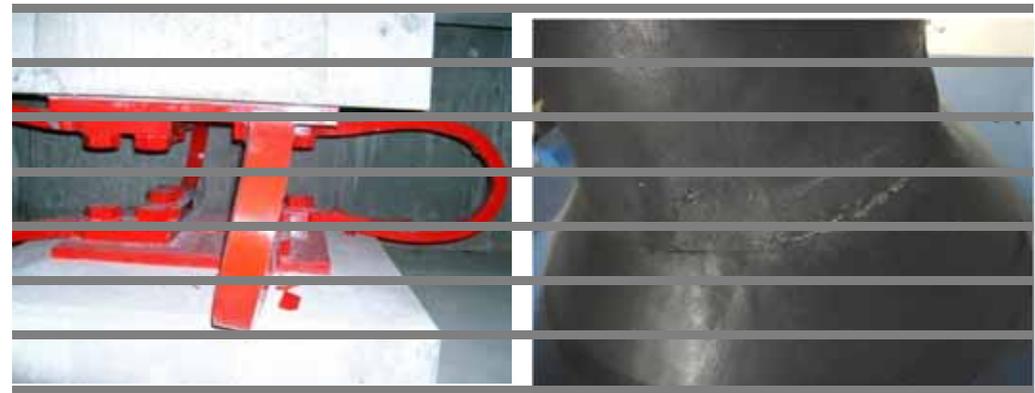


文化施設:国土交通省東北地方整備局撮影.

### Escalator(設備機器)の落下



エスカレータの落下:国土交通省住宅局資料より.



免震構造建築物の免震部材に認められた変形の痕跡:左写真 鋼材ダンパーに残る残留変形と塗料の落下;右写真 鉛ダンパー脚部に残るきれつ。(一財)免震構造協会提供)

# 2016年熊本地震の被災地の位置関係 (木造住宅被害の大きい益城町を中心として)



Google mapより地域を選択して転載.

# 益城町における調査区域 (2016年5月19日、6月20日 & 7月9日)

熊本県上益城郡益城町  
面積： 65.68 km<sup>2</sup>  
人口： 34,229人(H27/3/31)  
世帯数： 13,221(H27/3/31)  
益城町HPより転載



**調査域 4**  
比較的新しい開発域  
新しい木造住戸

**調査域 3**  
(古い & 新しい)  
木造住戸

市営辻団地

**調査域 2**

益城町庁舎

益城町町民体育館

**調査域 2**  
新しい木造住戸

**調査域 1**  
町で初期段階で開発された地域  
比較的古い木造住戸が密集

木山神宮

秋津川

秋津川の南側には住戸は少ない。

Google Mapより転載.  
URL: <https://www.google.co.jp/>

# 調査域1: 益城町安永、木山下町付近



地域内において、倒壊建物  
にならび外観  
無損傷の住宅  
も認められる。



# 益城町 寺泊地区 地盤変状が認められた近傍に於ける住宅被害 住宅(2000年以降の新しい住宅)



住宅基礎には損傷は認められない。

庭先に地震による地変(亀裂)が認められる。



隣接する住宅には外見上顕著な損壊は認められない。

Photos taken on June 20 and July 9, 2016.

# 2000年以降倒壊建物



## 2000年以降の新しい宅の被害（調査域3）

### 2000年以降の平屋建て

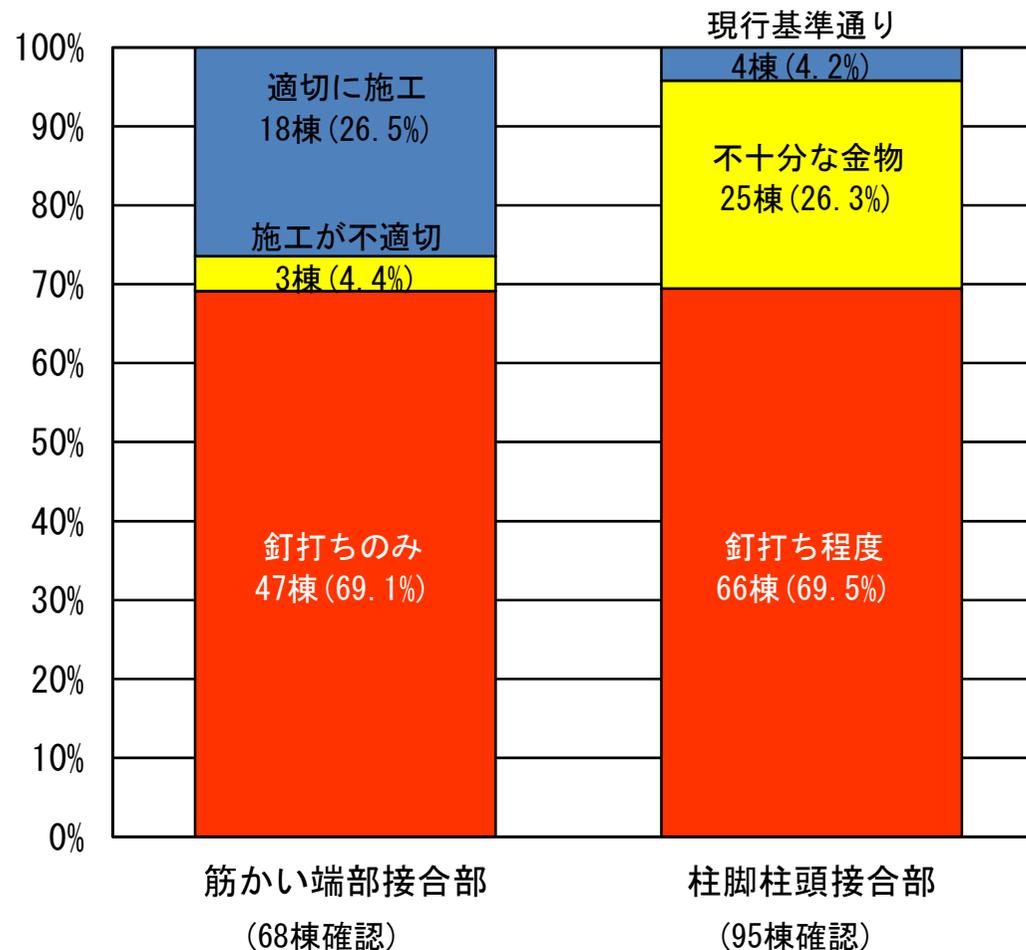


筋交いの破断。筋交いの配置(方向)にバランスが欠けているとの見解があり。

上記の平屋建て住宅の南側擁壁下の住宅被害の状況。



# 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)

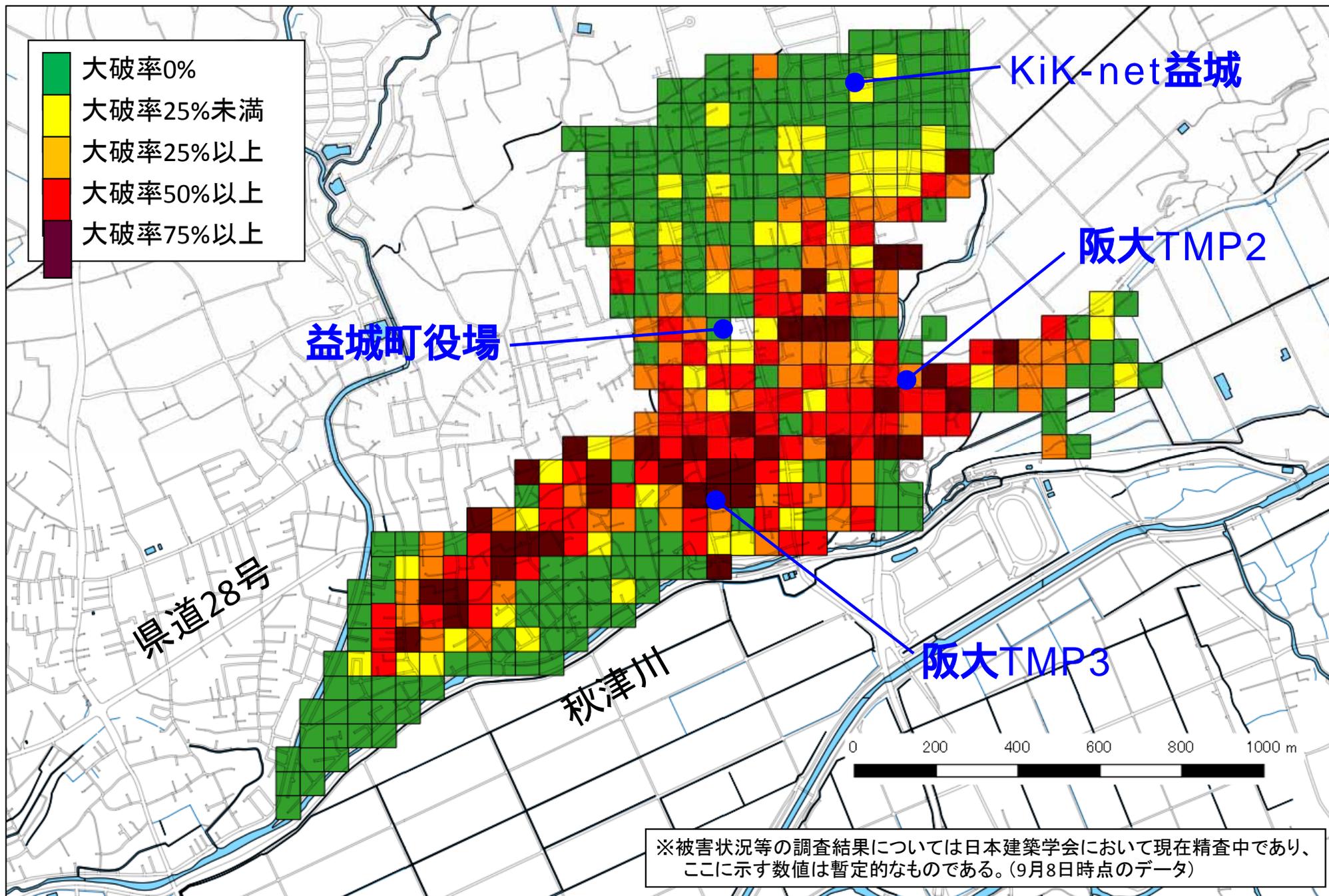


※不十分な金物＝現行基準に適合しない金物等

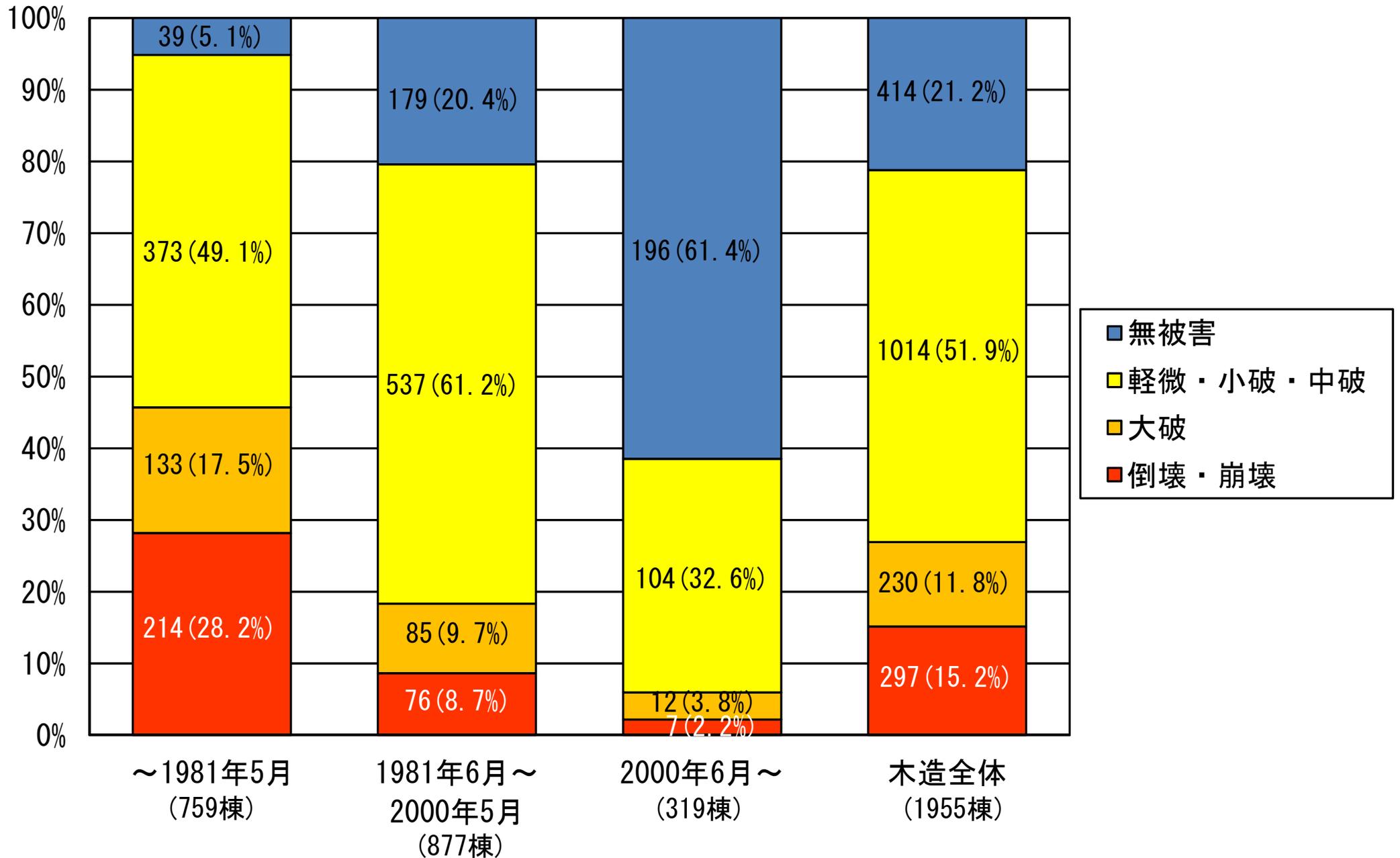
# 益城町の被害状況（まとめ）

- 築年数40年超と推測される木造住宅、県道沿いの店舗併用住宅の倒壊・部分破壊
- 築年数20～40年と推測される木造住宅の倒壊・部分破壊が多い。柱脚柱頭、筋かい端部を確認できたものは釘打ち程度の比較的軽微な接合方法。
- 木造住宅の被害が多いエリアで外観上無被害の木造住宅が存在
- 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

# 大破率(エリア内の大破以上建物数/エリア内建物数)の分布



# 木造建築物の建築時期別の被害状況



\* 2016年9月8日時点の取りまとめデータ。[NILIM 中川貴文研究官提供]

# まとめ

- 倒壊率[大破率]は県道28号南側で50%以上のエリアが多い。
- 北東の辻の城地域と、県道28号南側の秋津川に近い地域では倒壊率[大破率]0%のエリアが多い。
- 県道28号の南側では、倒壊建築物が段丘面に存在し、倒壊率[大破率]0%のエリアが氾濫平野・旧河道に存在。
- 倒壊・崩壊建築物の位置は20世紀初頭から住宅地であったエリアに存在。
- 今後の地盤調査等による詳細な分析が待たれる。

## (5) R/C造建築物の被害

(a) 益城町内のR/C造建物  
R/C造壁式の共同住宅 → 構造被害は無

(b) 熊本市内（主に、西区・東区）における  
ピロティ形式マンション

旧耐震基準 → ピロティ構造の1階部分の層崩壊

現行耐震基準 → そで壁等の“非”構造壁の損壊

熊本県内のみ：  
中破以上： 49/566 10%  
小破以上： 397/566 70%  
軽微以上： 527/566 90%

九州地方における会員受託マンションの被災状況の概要について：(一社)マンション管理業協会より。

### 2. 県別の会員受託マンションの被災状況内訳

(平成28年6月14日現在)

	建物の被害状況					回答 県別小計	動向調査 <sup>※</sup> による 管理棟数	不明・ 未回答
	大破	中破	小破	軽微	被害無			
福岡	0	16	38	32	4,965	5,051	5,511	460
佐賀	0	0	7	0	127	134	161	27
長崎	0	0	0	0	295	295	319	24
熊本	1 (0.18%)	48 (8.48%)	348 (61.48%)	130 (22.97%)	39 (6.89%)	566 (100.00%)	572	6
大分	0	1	30	10	303	344	374	30
宮崎	0	0	0	0	148	148	148	0
鹿児島	0	0	0	0	388	388	388	0
合計	1 (0.01%)	65 (0.94%)	423 (6.11%)	172 (2.48%)	6,265 (90.46%)	6,926 (100.00%)	7,473	547

※：当協会が公表する平成27年マンション管理受託動向調査結果報告書より。会員の退会があった場合には、その棟数を減じています。

注1：本調査結果は回答のあった会員からの申告をもとに、被災状況について集計したものです。

注2：本調査結果は、6月14日時点の集計値です。今後継続して実施する詳細調査の結果により変動する場合があります。

# 旧耐震基準(建築時期 1981年6月以前)で倒壊したピロティ構造のR/C造建築物



Photo 共同住宅 K2(熊本市西区:1974年建設).  
(2016/06/21撮影)



Photo 共同住宅 K2(熊本市西区:1974年建設).  
(2016/06/21撮影)

Pilotis構造  
の駐車場  
階が層崩  
壊.

Pilotis構造  
の駐車場  
に損壊.支  
保工が組  
まれていた.



Photo 共同住宅 K0(熊本市西区:1973年建設).  
(2016/06/21撮影)



Photo 共同住宅 K3(熊本市西区:1978年建設).  
(2016/06/21撮影)

K-2建物に  
隣接. 1階  
は店舗とし  
て利用. 外  
観上は無被  
害.

# 現行耐震基準(建築時期 1981年6月以降)のピロティ構造R/C造建築物



Photo 共同住宅 M (熊本市西区:建設時期不明). (2016/06/21撮影)



Photo 共同住宅 M (熊本市西区:建設時期不明):柱せん断補強筋より81年以降と推測される。(2016/06/21撮影)



Photo 共同住宅 S (熊本市東区:1986年建設). (2016/07/09撮影)



Photo共同住宅 S (熊本市東区:1986年建設):ピロティ階柱のせん断破壊。(2016/07/09撮影)

柱頭に曲げ降伏ヒンジが形成.

柱にせん断破壊が形成.

# R/C系建築物(共同住宅)の非構造壁の損壊:10階建てSRC構造



Photo 共同住宅 G (熊本市中央区:1990年建設). (2016/06/21撮影)



Photo 共同住宅 G (熊本市中央区:1990年建設):廊下側外構面壁のせん断破壊.  
(2016/06/21撮影)

廊下側の外構面の非構造壁(雑壁)に認められるせん断破壊.

ベランダ側非構造壁(方立壁)に認められるせん断きれつ.



Photo 共同住宅 G (熊本市中央区:1990年建設):ベランダ側非構造壁のせん断破壊.  
(2016/07/08撮影)



Photo 共同住宅 G (熊本市中央区:1990年建設):廊下側構面のドア開口周りのせん断きれつ.  
(2016/07/08撮影)

廊下側構面(上Photoの外構面の内側構面)の壁(ドア開口周辺)に認められるせん断きれつ. ドアは耐震ドア仕様と推測される.

## R/C造建築物(共同住宅)の非構造壁の損壊



Photo 共同住宅 C (熊本市東区:1991年建設).  
(2016/06/21撮影)



Photo 共同住宅 C (熊本市東区:1991年建設):  
廊下側非構造壁のせん断破壊. (2016/06/21撮影)

廊下側の  
非構造壁  
(雑壁)に  
認められる  
せん断破  
壊.

ベランダ  
側非構造  
壁(方立  
壁)に認め  
られるせん  
断され  
つ.



Photo 共同住宅 C (熊本市東区:1991年建設):  
ベランダ側非構造壁のせん断破壊.  
(2016/06/21撮影)



廊下側の  
非構造壁  
(雑壁)に認  
められるせん  
断破壊.  
上Photoの  
詳細.

Photo 共同住宅 C (熊本市東区:1991年建設):  
廊下側非構造壁のせん断破壊. (2016/06/21撮影)

## R/C造建築物(共同住宅)の非構造壁の損壊

この建物は解体準備中。非構造壁の損傷は著しいが、フレーム構造としての構造躯体には顕著な損傷は認められていない。



Photo 共同住宅 AG(熊本市東区:1993年建設). (2016/06/21撮影)

廊下側の非構造壁(雑壁)に認められるせん断破壊.



Photo 共同住宅 AG(熊本市東区:1993年建設):廊下側非構造壁の損壊. (2016/06/21撮影)

ベランダ側の非構造壁(方立壁)に認められるせん断破壊。ただし、躯体構造としての柱には損壊が認められない。



Photo 共同住宅 AG(熊本市東区:1993年建設):ベランダ側非構造壁の損壊. (2016/06/21撮影)

廊下側非構造壁(雑壁)に認められるせん断きれつ。上Photoの詳細。ただし、躯体構造としての柱には損壊が認められない。



Photo 共同住宅 AG(熊本市東区:1993年建設):廊下側非構造壁の損壊. (2016/07/08撮影)

## その他の被害: 免震構造建築物の被害(中間免震の課題)

右棟が基礎免震構造、左棟が1階と2階間の中間免震構造(裏からのアプローチによる)。

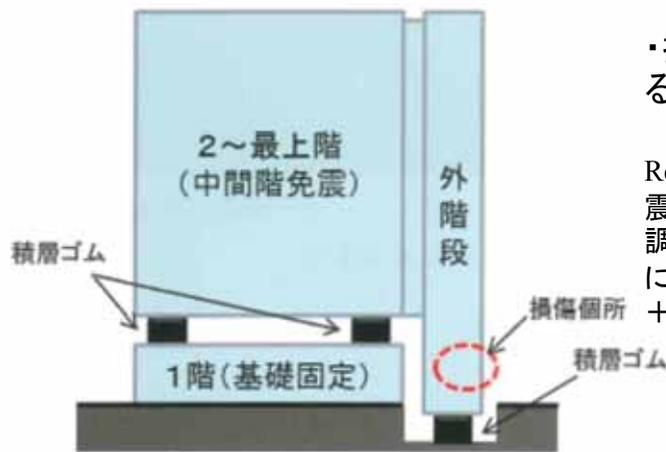


Photo 免震構造の共同住宅PS: 免震構造(熊本市中心区:1998年建設).  
(<http://image.search.yahoo.co.jp/> より転載)



中間免震層.

Photo 免震構造の共同住宅PS: 中間免震構造(熊本市中心区:1998年建設). (2016/07/09撮影)



・損壊が生じたと考えられるメカニズム。

Ref. 平成28年(2016年)熊本地震による建築物等被害第九次調査報告(速報)(免震建築物に関する調査)、国交省国総研+建研、平成28年6月。

図1 中間階免震の上部構造に対する外階段の配置と損傷位置。



中間免震層. 上部構造から吊られている階段室に損壊が生じた。

Photo 免震構造の共同住宅PS: 中間免震構造の吊られている階段室の損壊(熊本市中心区:1998年建設). (2016/07/09撮影)

## 免震クリアランスの計画・設計にあたっての課題点



Photo 免震クリアランス: 変形に対する設計は難しい、特にコーナー部.

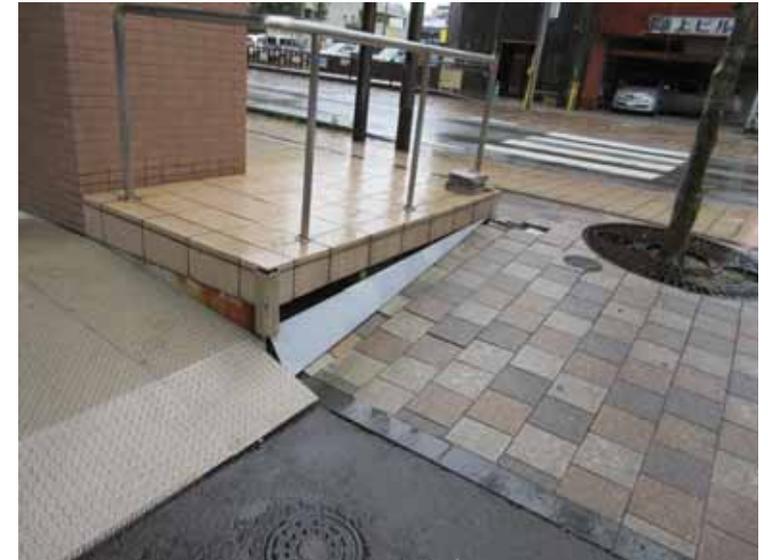


Photo 免震クリアランス部の損傷.



Photo 免震クリアランス: クリアランスを超えた応答変形が生じたと考えられる.



擁壁に建物  
衝突痕が認められる。

## 熊本地震による建築物の被害から学ぶこと

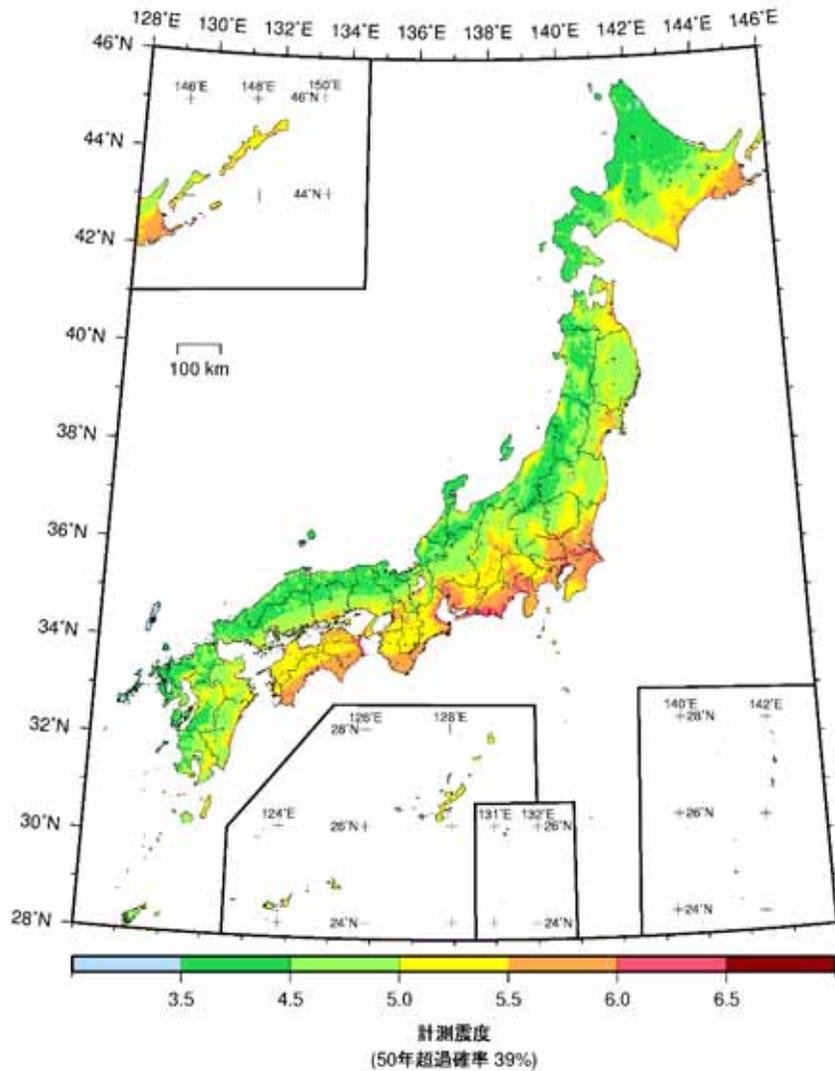
### (1) 内陸活断層を起震断層とする地震による被害

- ・ 益城町、熊本市で記録された地震動は、基準法で規定（倒壊・崩壊防止をはかり、人命保全をはかる2次設計）の設計用地震力を2-3倍上まわる大きさであった。
  - ・ 大破・倒壊した木造住戸は多数生じたが、耐震関係規定改正の1981年以降の建築物（木造では、規定明確化の2000年以降）については、人命保全の目標は得られたと判断される。
  - ・ 規定改正後・規定明確化後の大破・倒壊した建築物には、原因、理由があげられそう。  
→ 今後のより詳細な検討を待つところである。
  - ・ 全国規模、全構造を対象とする設計用地震力の見直しには、国民的議論（建築分野だけでなく、より広汎な分野を巻き込んでとの意味）が必要であると考えている。（耐震性向上をはかるにあたってのCost負担を了解する必要がある。） → 中・長期的な課題として挙げておきたい。
- 建築基準法では、Minimum Requirementが規定されているのである。それを理解し、建築主、設計者が建物用途、地震環境に応じて必要性能をそれぞれに設定する建築界（業界構造）環境を構築する。

#### 建築基準法 第一章 総則

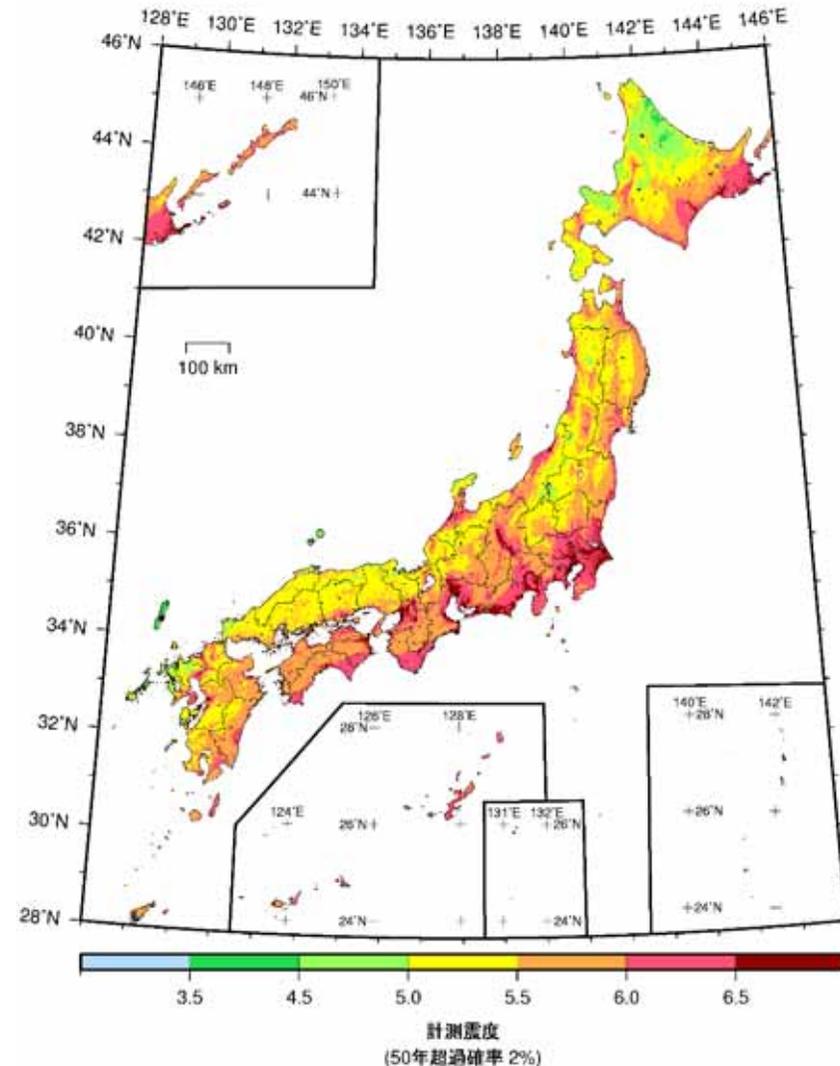
##### （目的）第一条

この法律は、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もって公共の福祉の増進に資することを目的とする。



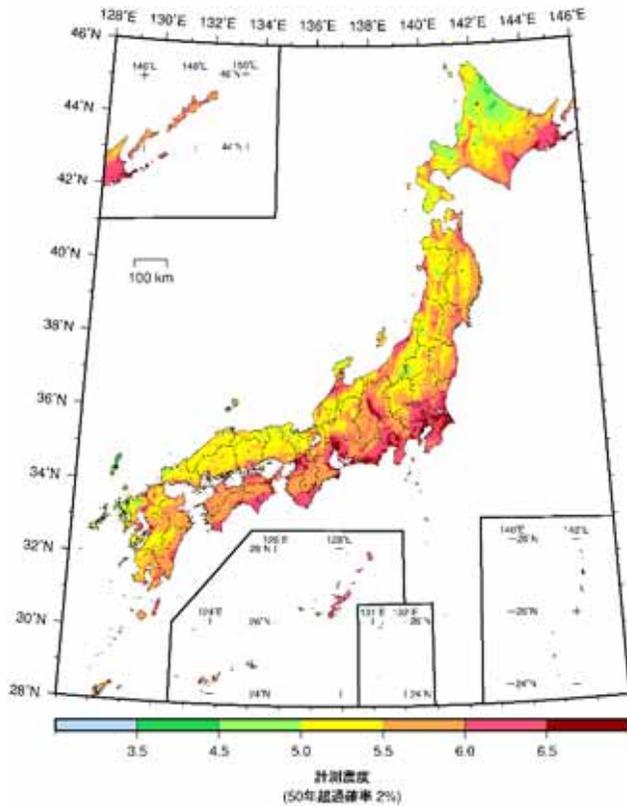
今後50年間にその値以上の揺れに見舞われる  
確率が39%となる震度  
(平均ケース・全地震)

・今後50年間の上記確率39%は、大まかには  
約100年に1回見舞われる揺れの強さに相当。



今後50年間にその値以上の揺れに見舞われる  
確率が2%となる震度  
(平均ケース・全地震)

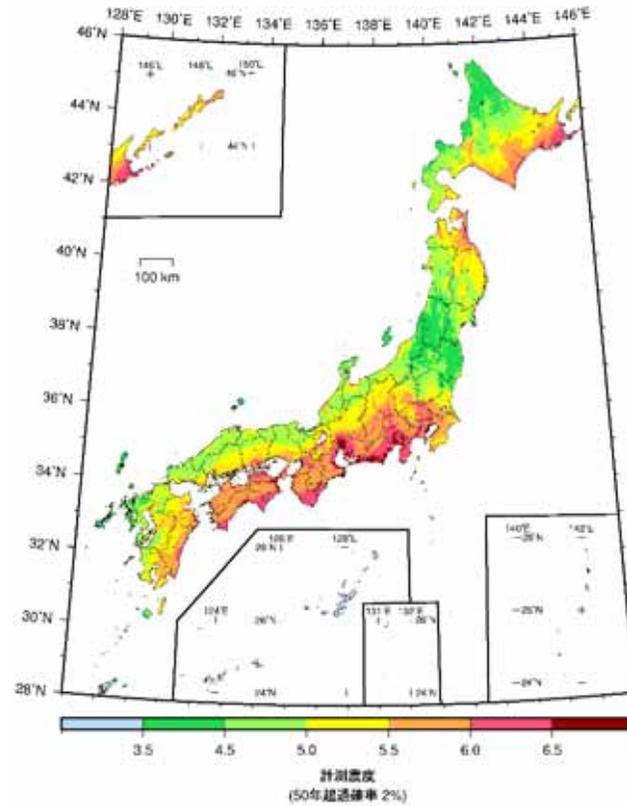
・今後50年間の上記確率2%は、大まかには  
約2500年に1回見舞われる揺れの強さに相当。



カテゴリー : 海溝型地震のうち震源断層を特定できる地震  
 カテゴリー : 海溝型地震のうち震源断層を特定できない地震  
 カテゴリー : 活断層など陸域と海域の浅い地震  
 全地震: カテゴリー + カテゴリー + カテゴリー

今後50年間にその値以上の揺れに見舞われる確率が2%となる震度  
 (平均ケース・全地震)

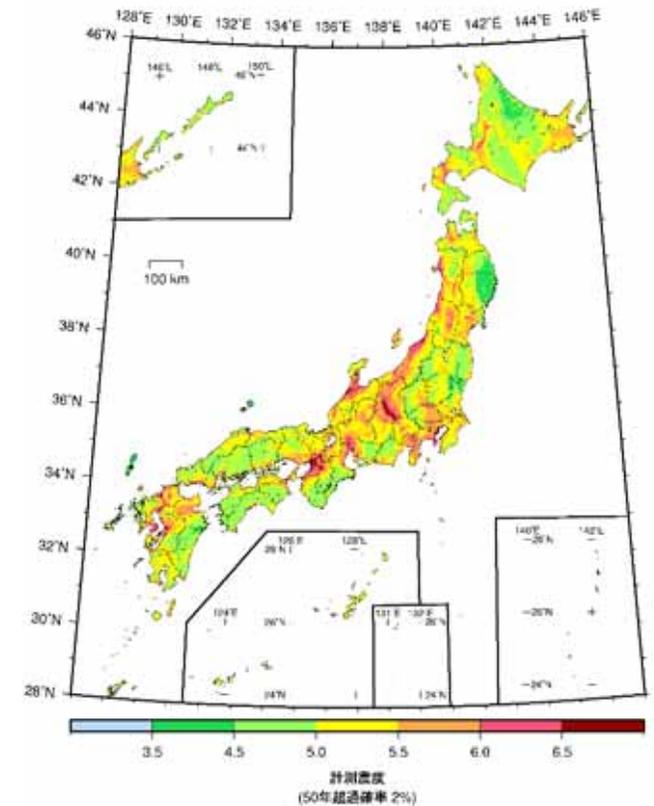
・今後50年間の上記確率2%は、大まかは約2500年に1回見舞われる揺れの強さに相当。



カテゴリー : 海溝型地震のうち震源断層を特定できる地震  
 カテゴリー : 海溝型地震のうち震源断層を特定できない地震  
 カテゴリー : 活断層など陸域と海域の浅い地震  
 全地震: カテゴリー + カテゴリー + カテゴリー

今後50年間にその値以上の揺れに見舞われる確率が2%となる震度  
 (平均ケース・カテゴリー 地震)

・今後50年間の上記確率2%は、大まかは約2500年に1回見舞われる揺れの強さに相当。



カテゴリー : 海溝型地震のうち震源断層を特定できる地震  
 カテゴリー : 海溝型地震のうち震源断層を特定できない地震  
 カテゴリー : 活断層など陸域と海域の浅い地震  
 全地震: カテゴリー + カテゴリー + カテゴリー

今後50年間にその値以上の揺れに見舞われる確率が2%となる震度  
 (平均ケース・カテゴリー 地震)

・今後50年間の上記確率2%は、大まかは約2500年に1回見舞われる揺れの強さに相当。

# 熊本地震による建築物の被害から学ぶこと

## (3) 建築物被害の低減・軽減に向けて

- ・ 今回熊本地震では、人命保護の耐震性能目標は基本的には達成されたと考えられる。

## (1) 既存不適格建築物の耐震改修の一層の促進

(a) 1981年耐震規定改定前のR/C造、S造

(b) 2000年の仕様の明確化以前のW造＋（S造の柱脚&溶接、R/C造の継手）

## (2) 新たに出現する被害発生の予見と事前対応

(a) 設備機器類の転倒防止 : 平成24年国交省告示第1447号により改正

(b) 天井（特定天井）の落下防止 : 平成25年国交省告示第771号

(c) エスカレータ等の脱落防止 : 平成25年国交省告示第1046号

(d) 技術展開が進む免震・制振等の新しい技術を適用した建築物に対し、学習効果を反映させて次の地震で生じると考えられる被害発生防止をはかる。

# 熊本地震による建築物の被害から学ぶこと

## (3) 建築物被害の低減・軽減に向けて (続)

### (3) “余裕”をもった耐震設計の推進

- 今回の強さレベルの地震動に対し、財産保持およびBCP対応をはかる。
  - ← 建築基準法は、最低規定を定めているもので、より高い性能を確保することを規制しているものではない。
  - ← 施主の目的に応じた耐震性能を計画する設計を行う。そのために、必要な情報を収集、理解して適切な助言を施主に与える。

### (4) 耐震性の確保／向上をはかる設計・施工技術の底上げ

- 今回地震では、R/C造・S造 → 主に、設計；W造 → 主に、施工
  - 例-1：方立壁、そで壁等の損傷 → 非構造部材には応力を負担させず、非構造部材は構造部材に影響を与えない構造計画・構造設計
  - 例-2：部材端部、接合部の損傷 → 適切な構造詳細を具現化
  - 例-3：天井材の落下等の損傷 → 天井支持 Details（金物設計と溶接部設計）の設計対象化 & 溶接施工の確実化の体制構築
  - 例-4：Pilotis 構造に対する設計 → 全体崩壊形でエネルギー消費を確保 & 振動モード規制によるモード優遇の考え方等の理解 .....

国土技術政策総合研究所講演会

2016年12月8日

於いて:ニッショーホール

## 過年の地震被害に重ねる 2016年熊本地震による建築物被害

ご清聴  
ありがとうございました

久保 哲夫  
東京大学・名誉教授

本パワーポイント資料は、筆者による写真資料等に加え、国総研と建研による共同開催による「平成28年熊本地震建築物被害調査報告（速報）に関する発表会」（本年9月29日開催）資料を使わせて戴いた。ここに、担当された国総研研究官、建研研究員の方々に謝意を表す。また、資料中の建物名称、所在地、建築年度等のデータは現在も精査継続中である。確認の結果により、変更されることもある。