

# 建築物被害

## ～なぜ木造住宅は倒壊したか～

京都大学生存圏研究所 五十田博

本資料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報告書からの引用を含む。



Hiroshi ISODA  
Research Institute for Sustainable Humanosphere Kyoto University, Japan



## 耐震性能レベルと地震被害

		
<b>等級1試験体</b>	<b>等級2試験体</b>	<b>等級3試験体</b>
地震力算定用重量：176.0kN	地震力算定用重量：173.4kN	地震力算定用重量：206.4kN
外壁：構造用合板t=7.5mm	外壁：構造用合板t=9.0mm	外壁：火山性ガラス質複層板
内壁：筋かい45×90mm せっこうボードt=12.5mm	内壁：筋かい45×90mm せっこうボードt=12.5mm	t=9.0mm 内壁：筋かい45×90mm せっこうボードt=12.5mm
通し柱：120角 管柱：105角	通し柱：120角 管柱：105角	通し柱：135角 管柱：120角
内外装仕上げなし	内外装仕上げなし	内外装仕上げあり

等級1は品確法の等級2/1.25として設計

加振映像(JMA神戸100%)

等級1試験体



加振映像(JMA神戸100%)

等級2試験体



# 加振映像 (JMA神戸100%)

等級3 試験体



## 大地震の結果 損傷状況

### ◇等級1試験体

合板のはがれ、筋かいの座屈、  
通し柱の割れ等



倒壊



## 大地震の結果 損傷状況

### ◆等級2試験体

合板のはがれ、金物の変形、土台の割れ、かすがいの抜け



全体的に損傷が少ない



## 大地震の結果 損傷状況

### ◆等級3試験体

クロスの破れ、開口部付近のサイディングの亀裂

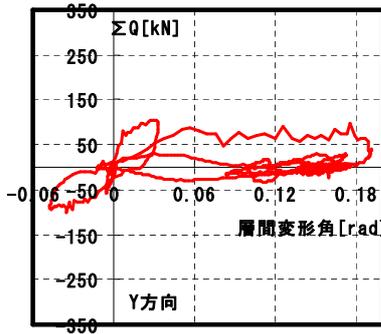


損傷は仕上げ材のみ

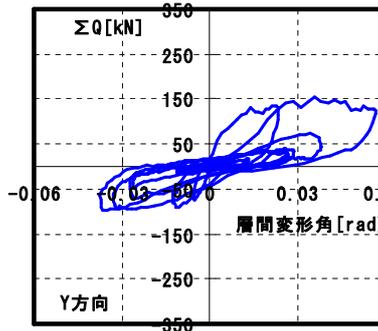


# 大地震の結果

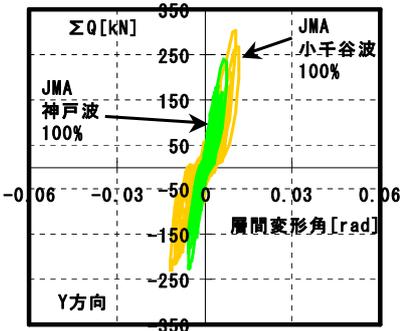
## 等級1



## 等級2



## 等級3



### 最大耐力の比較

等級1(仕上げなし):等級2(仕上げなし):等級3(仕上げあり) = 1:1.25:2.5以上  
本来であれば1:1.25:1.5になる。

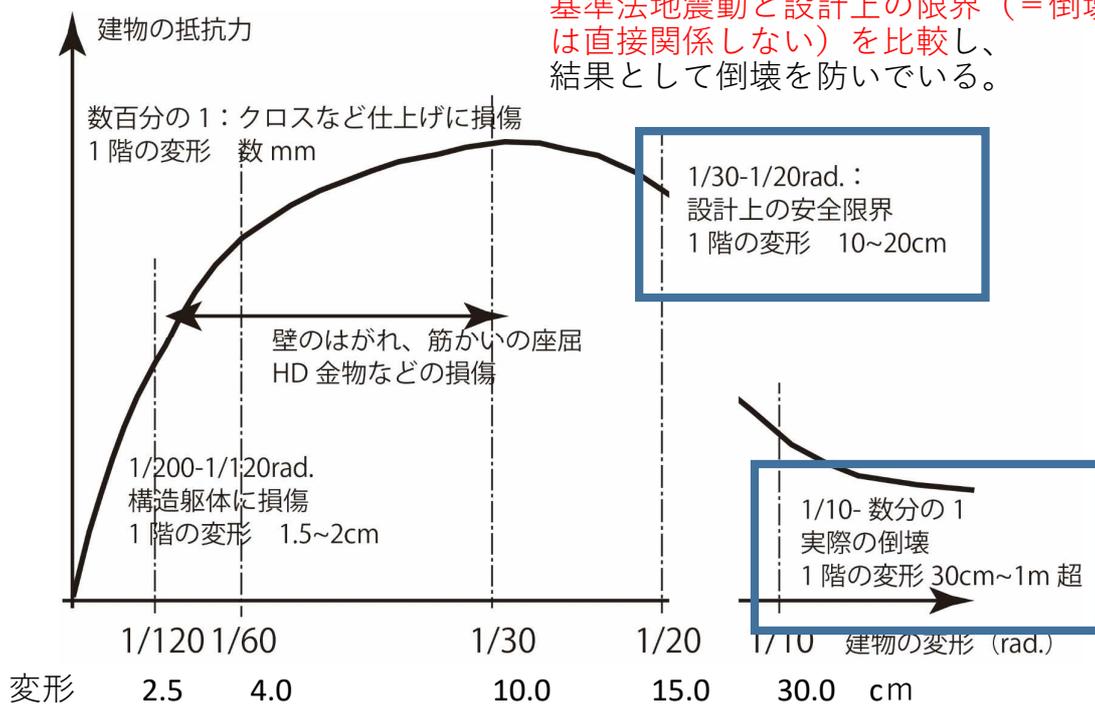
**仕上げ材の寄与が極めて大きい**

**$\Sigma W_i = 175\text{kN}$ 程度 等級1  $C_u = 0.5$ 、等級2  $C_u = 0.8$ 、  
等級3  $C_u > 1.15$**

## 変形と倒壊

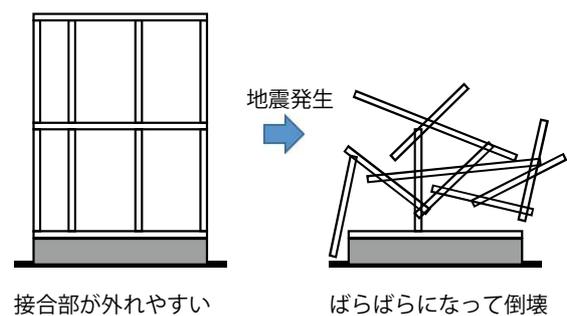
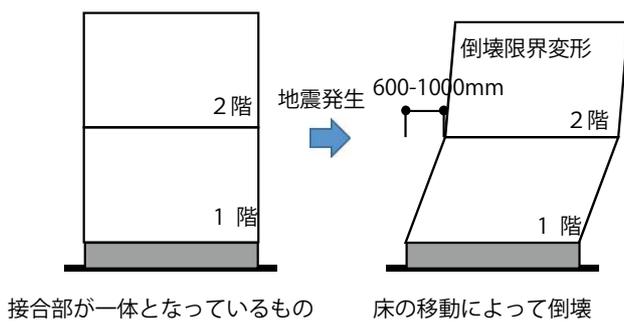
基準法地震動 < 観測地震動  
設計上の限界 < 倒壊限界

基準法地震動と設計上の限界 (= 倒壊とは直接関係しない) を比較し、結果として倒壊を防いでいる。





## 耐震性のレベルと倒壊



接合 基準法を守っている  
 =倒壊までの余裕がある  
 限界変形1/5radくらいか

$$\text{rad} = \text{層間変形} / \text{階高} \quad 1/5 = 600 / 3000$$

本震で倒壊したもの

接合部が十分ではない  
 =劣化も同じ現象  
 限界変形が1/20radとか、  
 もっと小さいかも

前震で倒壊したもの  
 (本震だけでも倒壊) 12

# 現行耐震基準「妥当」 国交省委

## 熊本地震の被害分析

9月11日

熊本地震での建物被害の原因を分析している国土交通省の有識者委員会は、2000年に強化した現行の建築基準法の耐震基準について「おおむね妥当」と評価する方針を固めた。震度7が連続して被害が最も激しかった熊本県益城町で、同年以降に建築された住宅が7棟倒壊したものの、詳細な分析で施工不備などが主な要因と推定されたため。国交省は、有識者委が12日にまとめる報告書を踏まえて耐震基準の見直しが必要か検討するが、大幅な改定は見送られる方向だ。

### 2000年に強化した現行の建築基準法の耐震基準について概ね妥当と評価する方針を固めた。

を測らしていきながらつたのがはこんと」この見解に一致。国交省は現行の基準が有効に機能している見通しだ。

熊本地震 ≒ 基準法大地震 × 2~3  
木造住宅の実力 = 設計値 × 2~3

	基準法中地震(50年に1回)	基準法大地震(200年に1回)	極大地震(過去最大級:2016熊本地震、1995兵庫県南部地震)
仕上げにわずかな損傷	◎		
構造損傷せず	基準法	◎	
構造損傷するが容易に修復できる		①基準法 1/20rad	◎
倒壊をしない		①の計算で②を代替 結果オーライであった	(②基準法) 1/3rad

壁量計算の約2.5倍の壁量を持つ2階建て模型建物(Co=0.50)の振動実験) 震度7 前震



共同研究 住友ゴム工業株式会社、京都大学

壁量計算の約2.5倍の壁量を持つ2階建て模型建物(Co=0.50)の振動実験) 震度7 本震



共同研究 住友ゴム工業株式会社、京都大学

# 先ほどの試験体に+合板2枚の性能を追加 震度7 本震



仕上げ材を含めて3倍くらいの性能になっている 共同研究 住友ゴム工業株式会社、京都大学生存圏研究所

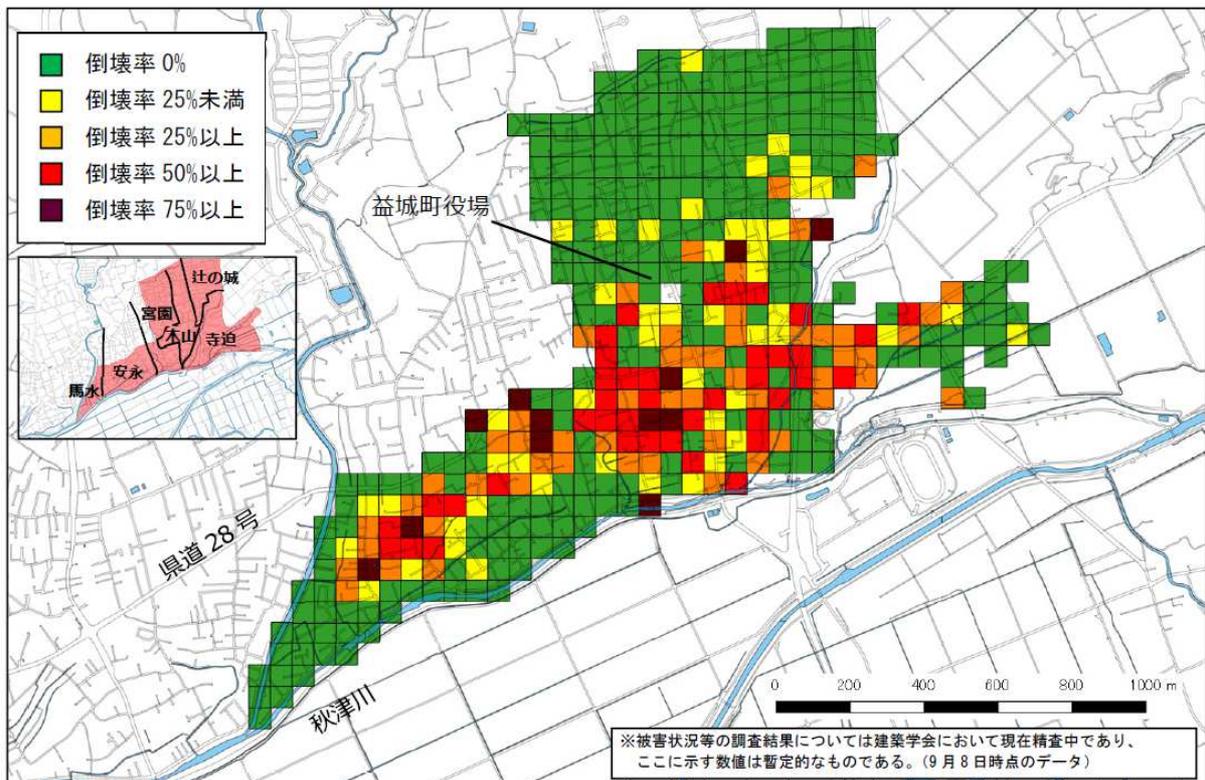
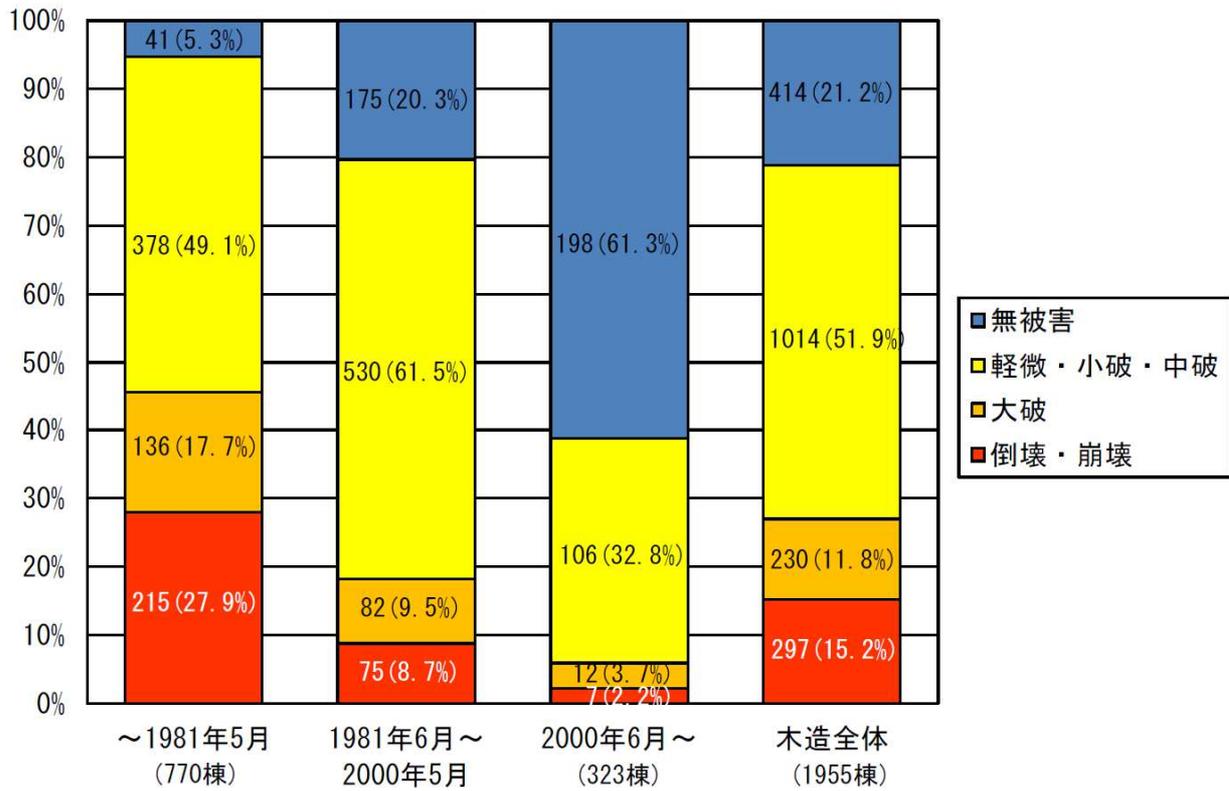
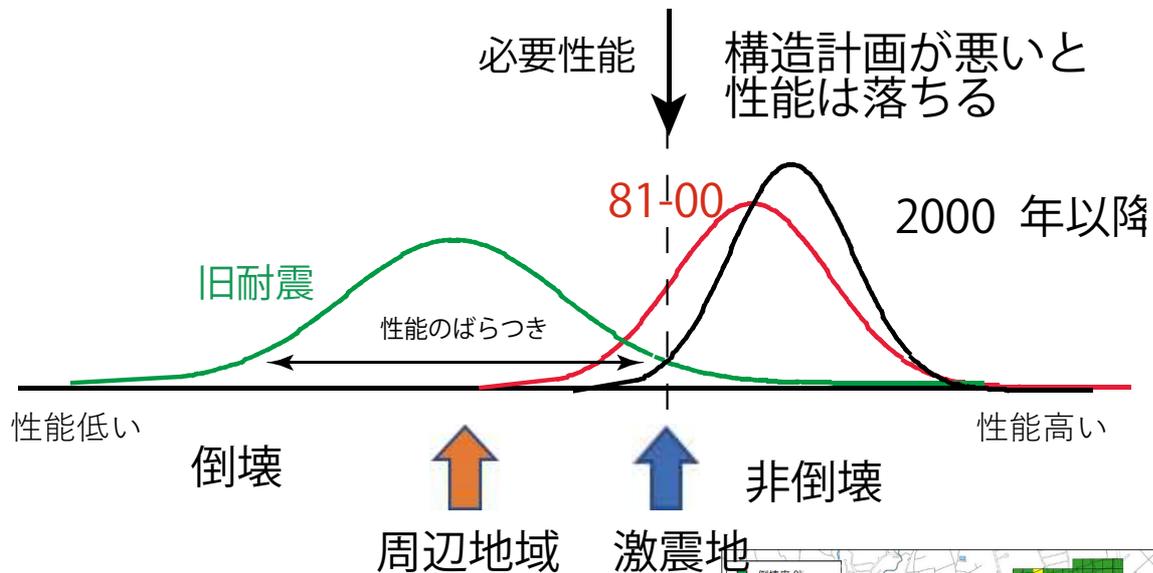


図 3.2-2 悉皆調査結果による倒壊率の分布 (国土地理院地図を編集)



国土技術政策総合研究所 益城町の悉皆調査に基づく構造別・建築時期別の建築物被害状況の集計 より



我々は周辺地域で壊れた建物を見る！  
メーカーさんは周辺地域で壊れていない建物を宣伝する。

食器一つ落ちませんでした！？

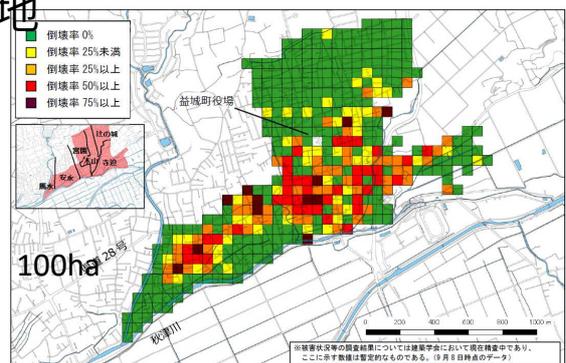


図 3.2-2 悉皆調査結果による倒壊率の分布 (国土地理院地図を編集)

# 大破以上の被害：1981年以前

益城役場周辺から南側の地域で、大半の建物が壊滅的な被害、倒壊、大破であった。被害原因については詳細な調査を実施していないが、これまでの地震被害報告と同様に、

- 壁量不足（瓦屋根に比べて壁の量が圧倒的にすくない）
- 不十分な接合（壊滅的、ばらばらになる破壊）
- 壁の釣り合いの悪い配置
- 劣化
- 地盤変状
- その他

などが考えられる。

21



左上：耐力壁の量が足りない  
左下：耐力壁の量が足りず、偏心  
右：生物劣化により柱が踏み外し

22

# 大破以上の被害：1981年以降

大きく傾斜している建物、大破した建物では何らかの耐震設計上の不備（法令不適合）を、探せばみつけることができる。

- 金物があっても2000年基準を満たしていない
- 金物に対して、所定の釘が使われていない（Zマーク金物と釘の組み合わせ）
- 開口部が大きく取られ、壁のバランスが悪い
- 筋かいの配置（圧縮筋かいと引っ張り筋かい）が悪い
- オーバーハング、重い外壁、ソーラーパネル（平米200N程度とさほど大きくないが）など、想定以上に固定荷重がある。

23



24

# 大破以上の被害：1981年以降

耐震設計上の配慮不足とまではいえないかもしれないが、被害を大きくした原因として、以下の可能性も考えられる。

- 筋かいの壁倍率（2つ割り筋かい=2.0？）面材拘束でOK？
- 2P筋かい（=2.0×2？） 面材拘束でOK？
- 基準法上の壁量<許容応力度計算による壁量（経験工学の結果）  
（想定している固定荷重と実際の固定荷重）
- オーバーハング、重い外壁、ソーラーパネル（平米200N程度とさほど大きくないが）など、想定以上に固定荷重がある。
- 下屋部分に壁を配置したが水平構面の面内荷重伝達能力不足 倒壊家屋に多い印象
- 軟弱な地盤？盛り土？による局所的な増幅？（軟弱地盤：必要壁量=所定の壁量×1.5）

25



# 倒壊の原因：2000年以降

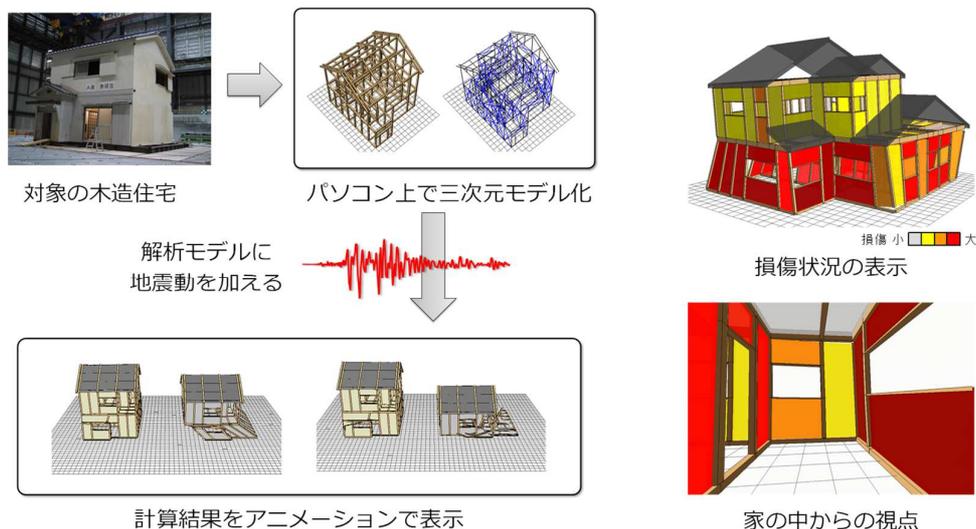
2000年以降で7棟倒壊

- うち3棟に金物なし
- 地盤変状に起因すると考えられる上部構造の被害
- 重い外壁で、結果として設計値を満足せず
- 耐力壁周辺接合部の設計不良
- 局所的に大きな揺れ

27

## *wallstat*（ウォールスタット） 中川貴文（国総研）

- 木造住宅の地震倒壊解析ソフト
- パソコン上で建物の立体骨組によりモデル化、振動台実験のように地震動を与える
- 変形の大きさ、損傷状況、倒壊過程を視覚的に確認



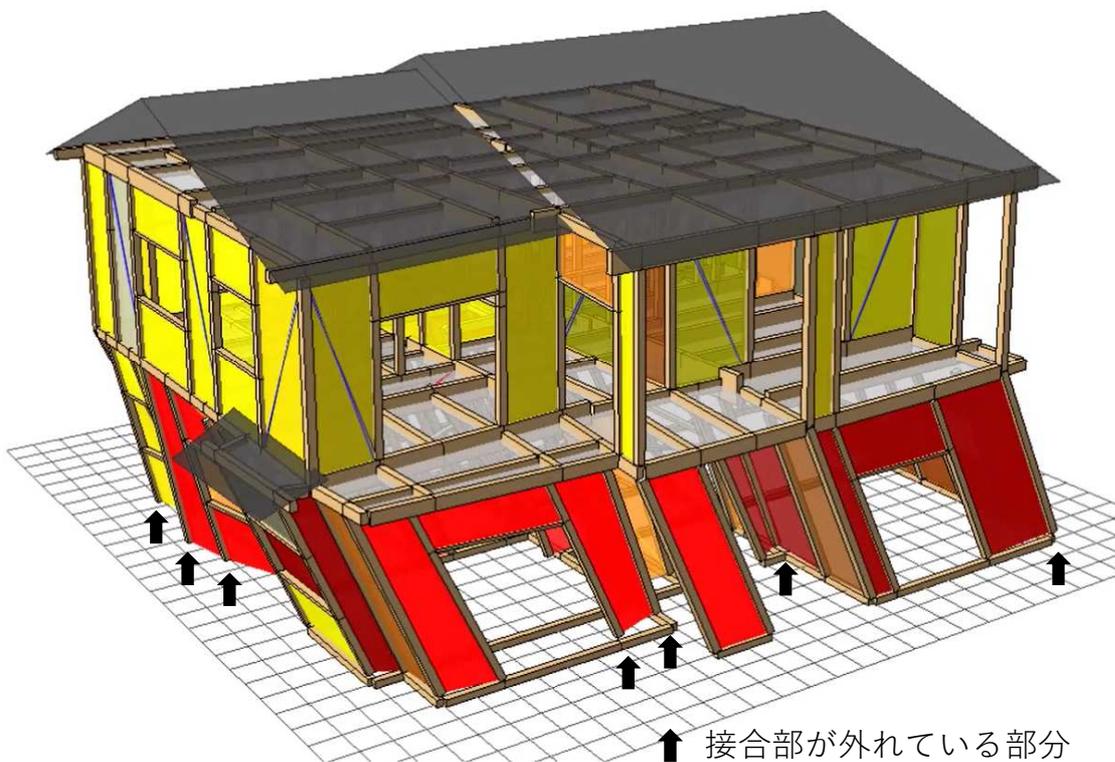


もともとの接合部



接合部を緊結

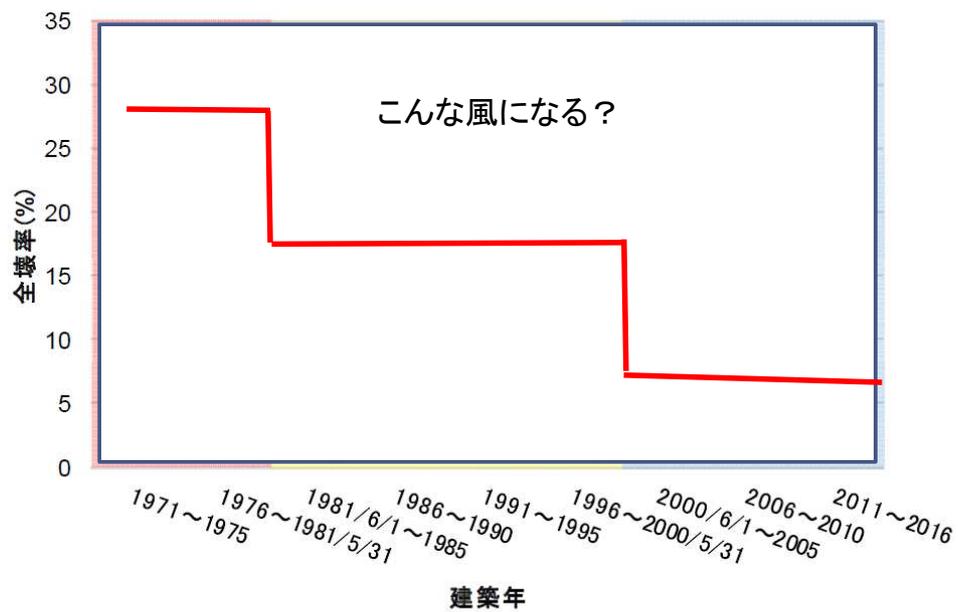
解析：中川貴文



↑ 接合部が外れている部分

Nを求める方法は丘立ちの壁を考慮できない。壁がずれているときは近くの壁の影響を考慮すること。接合部がはずれないだけで性能が1.5倍

# 建築年ごとの全壊率の推移



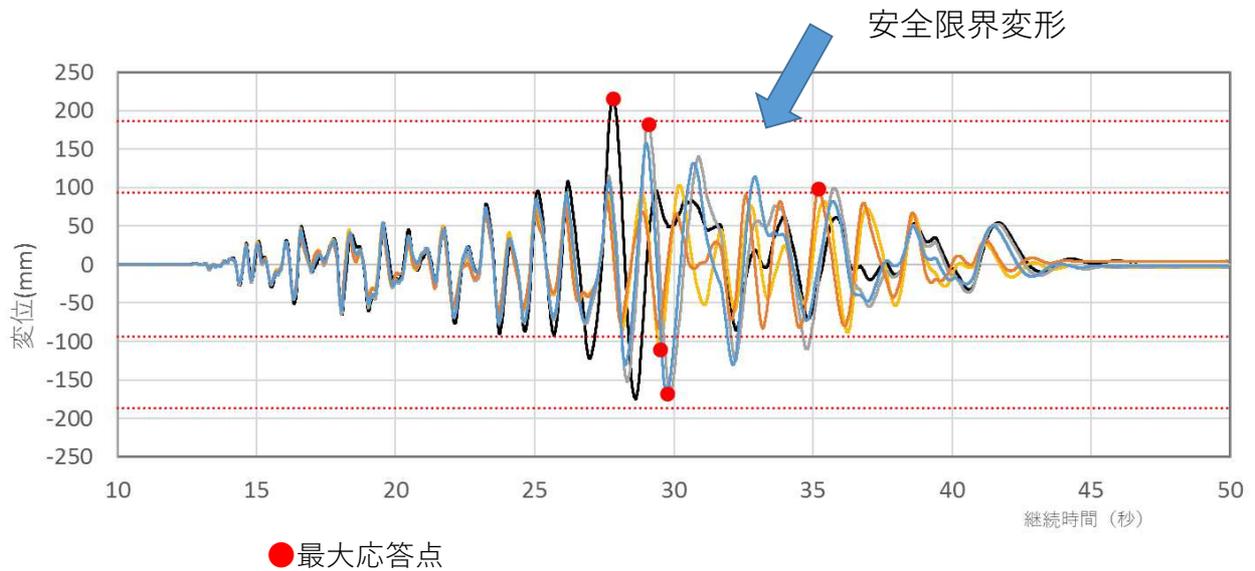
(2016.10.19集計版)

仕上げ材の耐力の寄与が大きい。  
仕上げ材の性能が劣化する？

作成: 田中圭大分大学准教授

同じロッド 同じ職人 同じ仕様の試験体 同じ入力





非線形領域は応答がばらつく = 倒壊と全壊を分けるものはなにか？  
 ⇒学術的な意味は大 設計という行為からはあまり意味を見いだせない。  
 ⇒性能設計では大地震に対して最大荷重程度以下で抑える設計となる  
 (最低基準である法とは別の議論)

33

Co=0.4で設計 70mmほど変形を受けた後 S-3 50%加振



34