

# 建物の地震被害予測手法

2014年4月13日

名古屋大学 減災連携研究センター

宮腰 淳一

1

# 内容

- 建物の地震被害とは
  - 建物の地震被害調査
- 建物の地震被害予測手法の概要
- 被害データに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震のデータに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震以後のデータに基づく被害率曲線
- 地震応答解析に基づく被害率曲線
  - 白瀬・ほか、宮腰・ほか
- まとめ

2

# 建物の地震被害調査

- 応急危険度判定
  - 二次災害防止
  - 危険、要注意、調査済
- 罹災証明
  - 税金の減免、保険の請求
  - 全壊、大規模半壊、半壊、(一部損壊)
- 専門家による詳細な調査
  - 学術的調査(被災度区分判定、悉皆調査)
  - 大破・倒壊、中破、小破、軽微、無被害、など

3

# 応急危険度判定

- 大地震により被災した建築物を調査し、その後に発生する余震などによる倒壊の危険性や外壁・窓ガラスの落下、付属設備の転倒などの危険性を判定することにより、人命にかかわる二次的災害を防止することを目的としている。
- 応急危険度判定士が調査する。



4

# 罹災証明

● 平成13年6月28日府政第518号

住家の被害認定基準			
	全壊	半壊	
		大規模半壊	その他
①損壊基準判定 住家の損壊、焼失、流失した部分の床面積の延べ面積に占める損壊割合	70%以上	50%以上 70%未満	20%以上 50%未満
②損害基準判定 住家の主要な構成要素の <b>経済的被害</b> の住家に占める損害割合	50%以上	40%以上 50%未満	20%以上 40%未満

被害認定は「災害の被害認定基準」等に基づき、市町村等が実施し、上表の①または②のいずれかによって判定を行う。  
「災害に係る住家の被害認定基準運用指針」は、②の損害基準判定（経済的被害）で判定する場合の調査方法を示したものである。

	地震等による被害(第1次調査)		地震による被害(第2次調査) 水害による被害及び風害による被害	
	木造(土/土)			
木造(土/土)	屋根	10%	屋根	10%
	壁(外壁)	80%	柱(又は耐力壁)	20%
木造(土/土)	基礎	10%	床(階段を含む)	10%
	<柱の損傷により判定>		外壁	10%
非木造	柱	60%	内壁	15%
	柱	25%	天井	5%
非木造	柱	15%	天井	10%
	柱	15%	天井	5%
非木造	柱	15%	天井	15%
	柱	15%	天井	15%

# 罹災証明(木造・プレハブ)

第1次・第2次調査

● 外観による判定

⇒ p1-5 1 (1) 外観による判定  
⇒ p1-17 2 (1) 外観による判定

● 一見して住家全部が倒壊している



● 一見して住家の一部の階が全部倒壊している



# 専門家による詳細な調査

● 被災度区分判定

－ 震災建築物の復旧を目的として震災建築物の主として構造躯体に関する被災度を区分判定し**継続使用するための復旧の要否を判定**するために行われる。

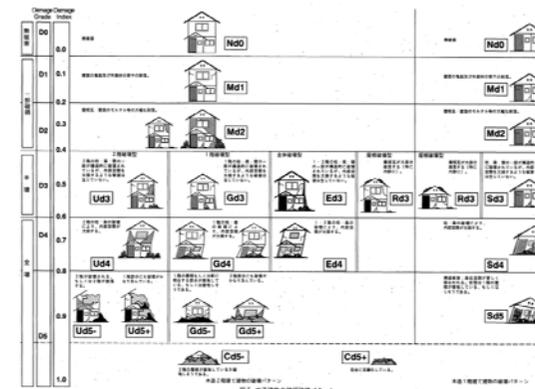
地震動の強さ (JMA震度階)	被災度			
	軽微	小破	中破	大破
V弱以下	△	×	×	×
V強	○	△	×	×
VI弱	○	○	△	×
VI強以上	○	○	○	△

○印：補修により復旧するもの  
△印：補修または補強により復旧するもの（復旧計画策定に関する調査の結果に基づき詳細検討が必要）  
×印：補強により復旧する、または取り壊すもの（復旧計画策定に関する調査の結果に基づき詳細検討が必要）

部位	検査項目	検査算式・検査方法	判定
基礎	基礎面積率	$\frac{A}{A_0} \times 100 = \%$	判定
	基礎深さ	$\frac{D}{D_0} \times 100 = \%$	判定
	基礎形状	判定	判定
床組	床面積率	$\frac{A}{A_0} \times 100 = \%$	判定
	床深さ	$\frac{D}{D_0} \times 100 = \%$	判定
	床形状	判定	判定
軸組	柱面積率	$\frac{A}{A_0} \times 100 = \%$	判定
	柱深さ	$\frac{D}{D_0} \times 100 = \%$	判定
	柱形状	判定	判定
耐力壁	耐力壁面積率	$\frac{A}{A_0} \times 100 = \%$	判定
	耐力壁深さ	$\frac{D}{D_0} \times 100 = \%$	判定
	耐力壁形状	判定	判定
仕上材	仕上材面積率	$\frac{A}{A_0} \times 100 = \%$	判定
	仕上材深さ	$\frac{D}{D_0} \times 100 = \%$	判定
	仕上材形状	判定	判定
屋根	屋根面積率	$\frac{A}{A_0} \times 100 = \%$	判定
	屋根深さ	$\frac{D}{D_0} \times 100 = \%$	判定
	屋根形状	判定	判定
<b>総合被災度</b>			

# 専門家による詳細な調査

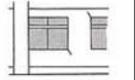
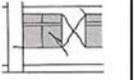
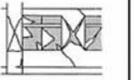
● 悉皆調査(主として外観調査)



岡田・高井(1999)

# 専門家による詳細な調査

■  $I_s$  値=0.6の建物が受ける地震被害予測

被害ランク	軽微	小破	中破	大破	倒壊
被害状況概要					
被害状況概要	柱・耐力壁・二次壁の損傷が軽微か、もしくは、ほとんど損傷がない	柱・耐力壁の損傷は軽微だが、RC二次壁・階段室のまわりにせん断ひびわれが見られる	柱に典型的なせん断ひびわれ・曲げひび割れ、耐力壁にひび割れが見られ、RC二次壁・非構造体に大きな損傷が見られる	柱のせん断ひび割れ・曲げひび割れによって鉄筋が座屈し、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	柱・耐力壁が大きく破壊し、建物全体または建物の一部が崩壊に至る
中地震震度5強程度	$I_s$ 値=0.6				
大地震震度6以上	$I_s$ 値=0.6				

日本建築学会「1978年宮城県沖地震被害調査報告書」

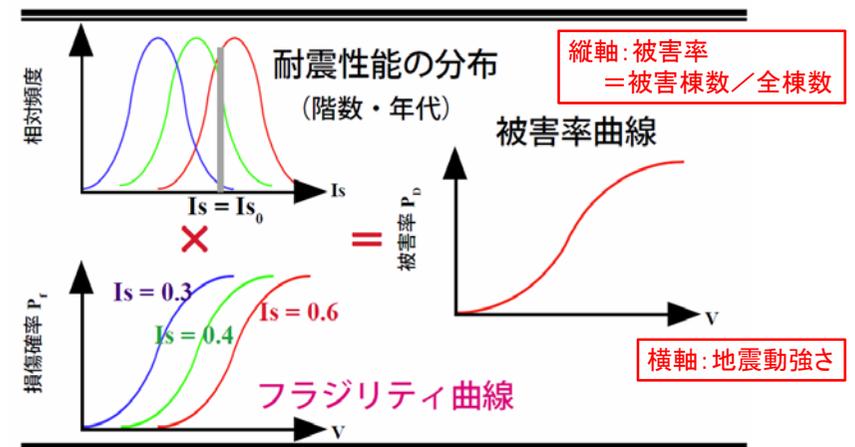
# 内容

- 建物の地震被害とは
  - 建物の地震被害調査
- 建物の地震被害予測手法の概要
- 被害データに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震のデータに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震以後のデータに基づく被害率曲線
- 地震応答解析に基づく被害率曲線
  - 白瀬・ほか、宮腰・ほか
- まとめ

# 建物の地震被害予測手法

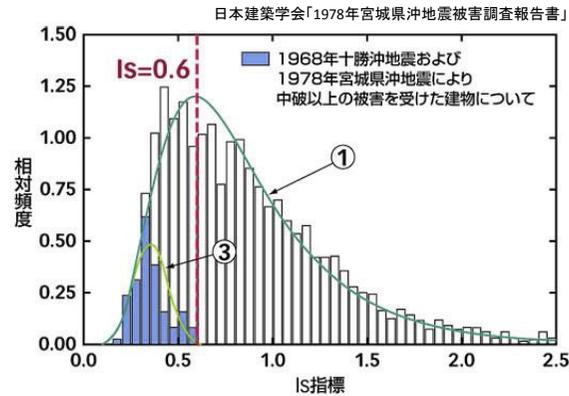
- ミクロ → マクロ
  - 1棟毎に被災度を予測 → 被災建物数を積算
  - 1棟毎の被災度の予測が極めて困難
    - 個々の建物の特性、被災度の判定、など
  - 地震応答解析を用いた手法
- マクロ → マクロ
  - あるカテゴリーの複数建物の被災割合を予測
  - 全建物数 × 被災割合 = 被災建物数
  - 被害率曲線による手法

# 被害率曲線とは



和京研究室研究懇談会「地震動強さと建物被害の関係に基づく建物の耐震性能に関する研究」2002.07.26 Jun'ichi MIYAKOSHI

## Is値：構造耐震指標



- ① 静岡県におけるRC造建物のIs値分布
- ③ 中破以上の被害を受けたRC造建物のIs値分布

13

## 建物被害の違いの要因

- 地震動特性
  - 地震動強さ(震度、最大振幅、など)
  - 継続時間
  - 地震のタイプ(内陸地震、海溝型地震)
- 建物特性(耐力、変形性能、ほか)
  - 構造、用途、建築年代(築年数)、階数、屋根(木造)
  - 地域
- 被災度
  - 罹災証明： 全壊、半壊、一部損壊
  - 被災度判定： 倒壊、大破、中破、小破、軽微

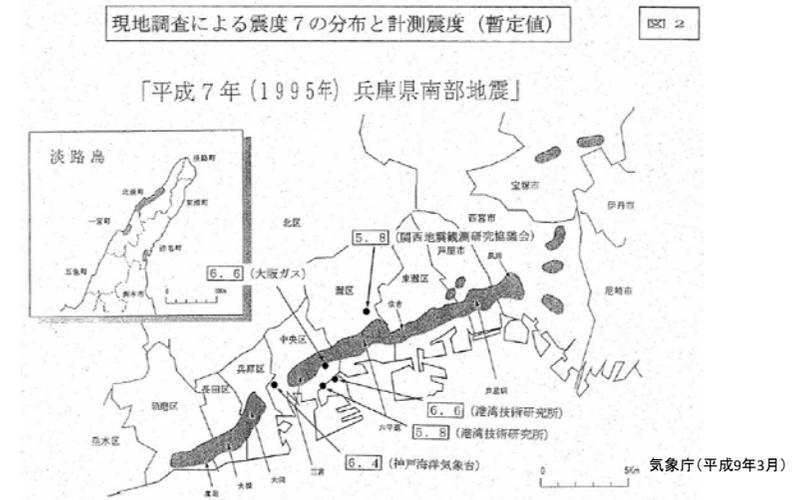
14

## 内容

- 建物の地震被害とは
  - 建物の地震被害調査
- 建物の地震被害予測手法の概要
- 被害データに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震のデータに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震以後のデータに基づく被害率曲線
- 地震応答解析に基づく被害率曲線
  - 白瀬・ほか、宮腰・ほか
- まとめ

15

## 兵庫県南部地震

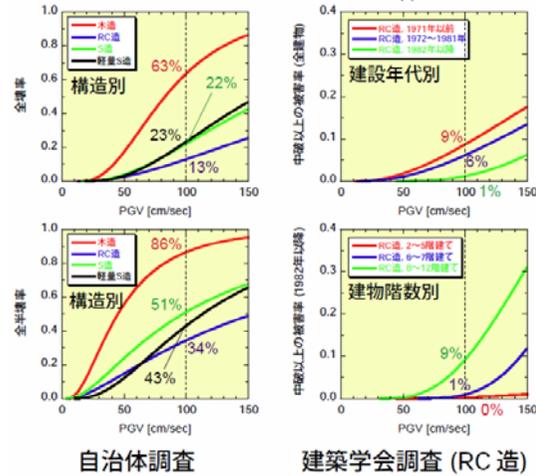


16



# 被害率曲線の例

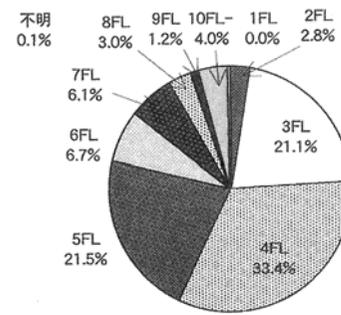
構造工学論文集, Vol43B, pp.369-376, 1997; ICOSSAR '97, pp.349-354, 1998.



- ・構造別：  
木造 > S造 > RC造
- ・年代別：  
古い方が被害率大
- ・階数別：  
高い方が被害率大

# 建物階数の違い

## ・神戸市中央区RC造建物



日本建築学会 (1997)

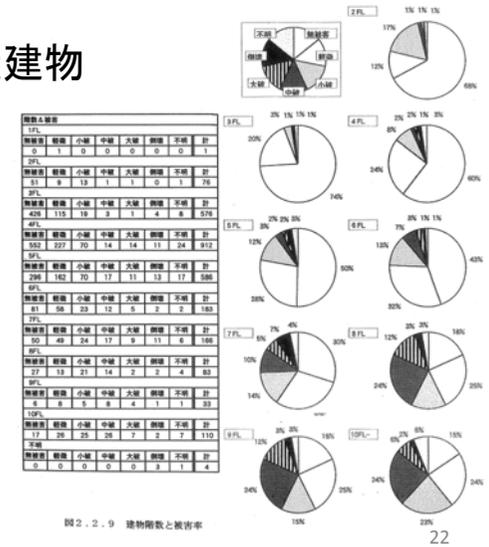


図 2.2.9 建物階数と被害率

# 中央防災会議(2003)

## 被害想定手法

### <揺れによる木造建物の被害>

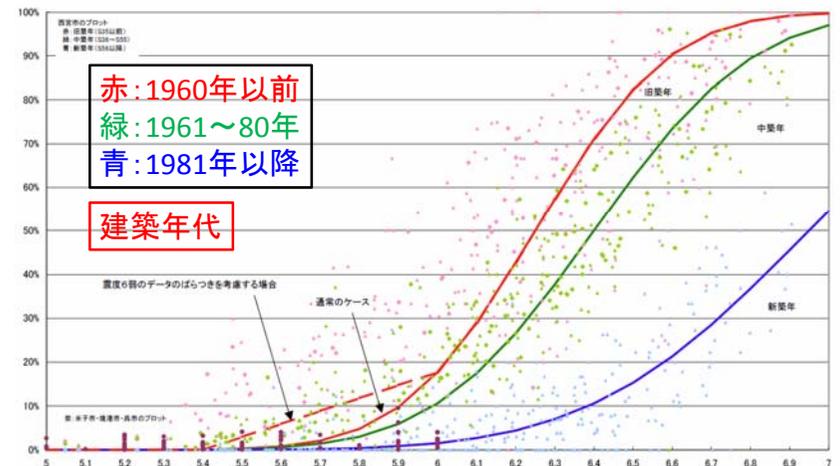
- ➡ 計測震度と被害率との関係(被害率テーブル)から、揺れによる建物被害を算出する。
- ➡ 兵庫県南部地震における西宮市のデータ(町丁目別)、鳥取県西部地震における鳥取市のデータ、芸予地震における呉市のデータを活用する。(別紙1)
- ➡ 木造建物全壊率については、山崎の手法(1999)に代表される多くの有識者の提案に従い、標準正規分布の累積確率密度関数を用いて表現する。
  - ▶  $P(I) = \Phi \left[ \frac{(I - \lambda)}{\zeta} \right]$
  - ▶ ここで、P(I): 被害が発生する確率、I: 計測震度、Φ(x): 標準正規分布の累積確率密度関数、λ: Iの平均値、ζ: Iの標準偏差
  - ▶ ただし、1kmメッシュ単位で震度分布を表現していることに対し、被害を推定する際は1kmメッシュ内の地質等の状況を考慮し補正。
  - ▶ 震度6弱の部分については、プロットデータに大きなばらつきが見られるため、部分的に直線を使用して、これらのばらつきを考慮した被害率テーブルを用いた場合も計算する。

# 中央防災会議(2003)

## 別紙1

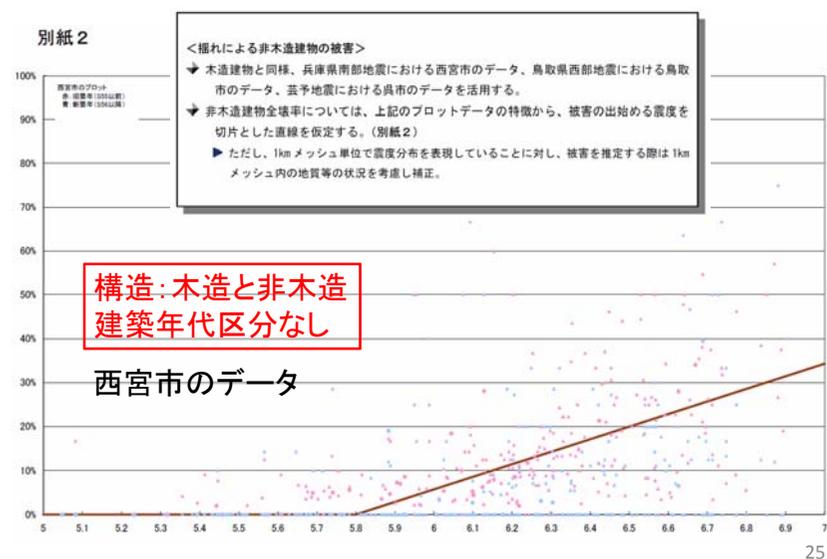
木造家屋全壊率

西宮市のデータ+α

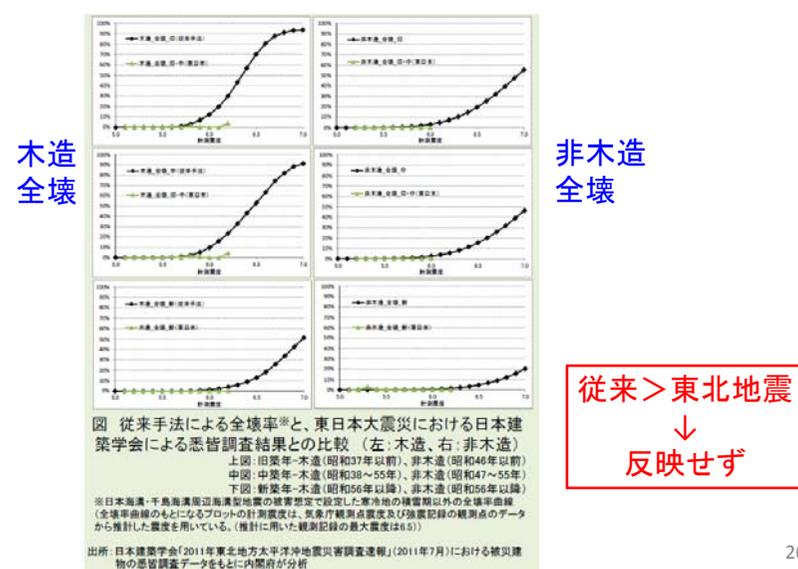


- 赤: 1960年以前
  - 緑: 1961~80年
  - 青: 1981年以降
- 建築年代

# 中央防災会議(2003)



# 内閣府(2012)



# 内閣府(2012)

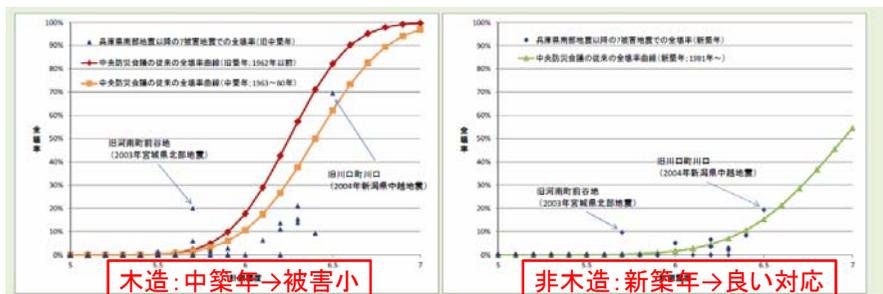


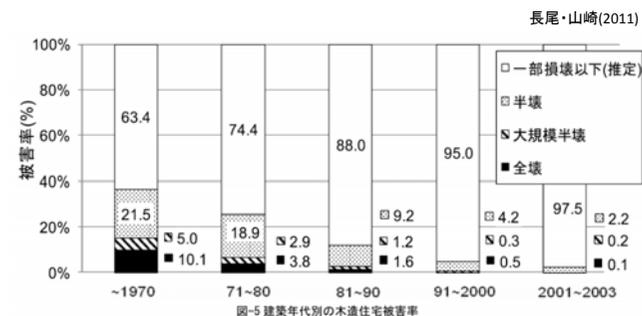
図 2003年~2008年の7地震での木造全壊率と、中央防災会議による木造全壊率曲線※との関係 (左図: 旧中築年、右図: 新築年)

(翠川・伊東・三浦(2011)で使用された分析データをもとに内閣府が作成)

※東海地震、東南海・南海地震の被害想定で使用した手法を改良した首都直下地震、中部圏・近畿圏直下地震の被害想定における手法(全壊率曲線のもとになるプロットの計測震度は、気象庁観測点震度及び強震記録の観測点のデータから推計した震度を用いている。(推計に用いた観測記録の最大震度は6.5))

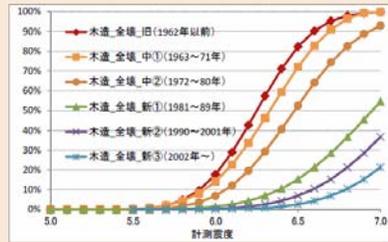
# 内閣府(2012)

## 新潟県中越沖地震(柏崎市)の被害データ



# 内閣府(2012)

## ■ 木造建物の被害率曲線

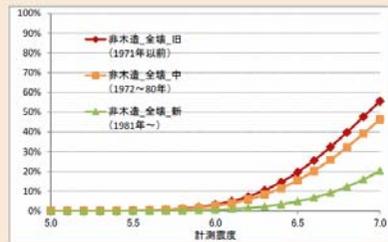


3区分 → 5区分

中築年 → 2区分へ  
新築年 → 3区分へ

図 全壊率曲線(木造)

## ■ 非木造建物の被害率曲線



中防2006から変更なし  
(中防2003は1区分)

図 全壊率曲線(非木造)

# 翠川・ほか(2011)

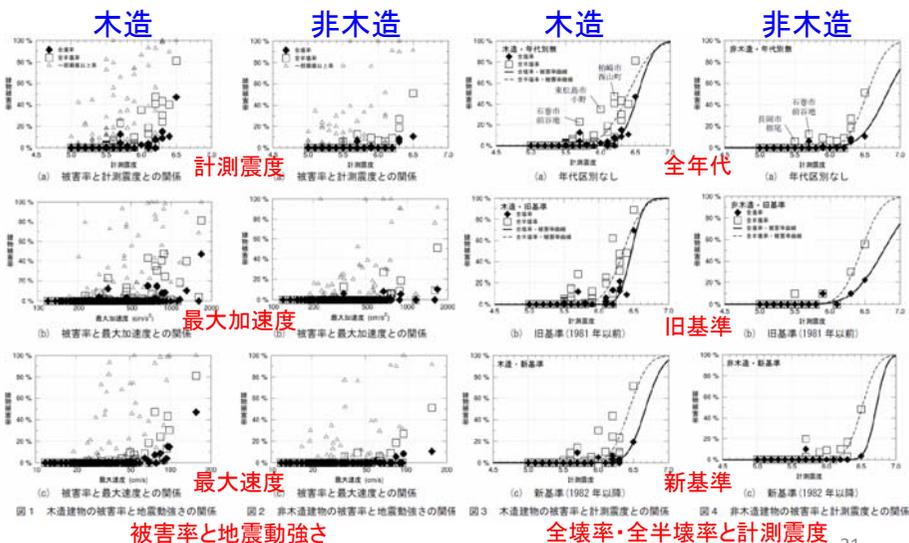
表1 気象庁により整理された震度計周辺の建物被害データ

地震名	観測地点数
2003年7月26日 宮城県北部地震	M <sub>j</sub> 6.2 14
2004年10月23日 新潟県中越地震	M <sub>j</sub> 6.8 24
2005年3月20日 福岡県西方沖地震	M <sub>j</sub> 7.0 22
2007年3月25日 能登半島地震	M <sub>j</sub> 6.9 12
2007年7月16日 新潟県中越沖地震	M <sub>j</sub> 6.8 30
2008年6月14日 岩手・宮城内陸地震	M <sub>j</sub> 7.2 34
2008年7月24日 岩手県沿岸北部地震	M <sub>j</sub> 6.8 40
計	176

表2 検討に用いたデータ

構造区分 地震動指標 年代区分	木造						非木造					
	計測震度・最大加速度			最大速度			計測震度・最大加速度			最大速度		
	旧基準	新基準	年代区分無	旧基準	新基準	年代区分無	旧基準	新基準	年代区分無	旧基準	新基準	年代区分無
宮城県北部地震	8	10	11	3	4	4	1	7	10	1	4	4
新潟県中越地震	17	16	20	16	15	19	10	12	13	10	11	12
福岡県西方沖地震	12	10	19	3	4	7	6	13	15	4	7	7
能登半島地震	10	8	11	6	5	6	3	3	8	1	2	4
新潟県中越沖地震	22	19	25	20	18	23	9	13	22	8	12	20
岩手・宮城内陸地震	32	31	34	18	18	20	14	19	24	9	13	15
岩手県沿岸北部地震	38	38	39	26	26	26	24	27	29	15	18	20
計	139	132	159	92	90	105	67	94	121	48	67	82

# 翠川・ほか(2011)



被害率と地震動強さ

全壊率・全半壊率と計測震度

# 翠川・ほか(2011)

黒: 兵庫県南部地震  
赤: 兵庫県南部地震以降

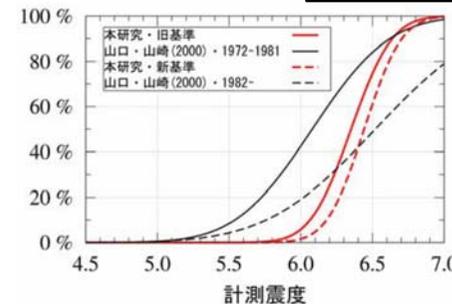


図7 計測震度に対する木造建物の全半壊率の被害率の比較

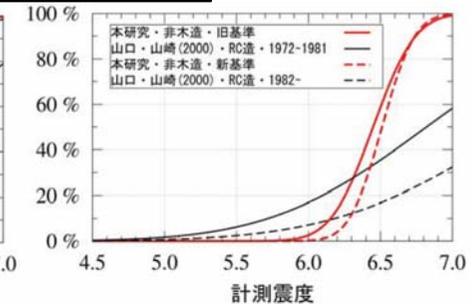


図8 計測震度に対する非木造建物の全半壊率の被害率の比較

最近の地震 → 低震度で被害率が小さい

# 内閣府(2012)

## ○基本的な考え方

- 構造別、建築年次別(木造6区分/非木造3区分)に計算
- 近年の地震(東北地方太平洋沖地震含む)では、兵庫県南部地震に比べて同一震度における被害率が小さいという傾向が見られるが、地震動の周期特性の違い、気候による建物の腐朽や経年劣化等の違いなども考えられることから、今回の想定では、これをそのままは適用しないものとし、従来型の手法を基本とする。
- 一方、最近の調査において、建物の築年により被害に違い(新しい築年の建物ほど被害が小さい傾向)が見られることを踏まえ、これを考慮した手法とする。
- また、旧築年、中築年の建物の耐震改修の効果を考慮した手法とする。
- なお、今回の想定では、非木造建物の階数による被害傾向は考慮しないものとするが、階数の違いにより被害率が異なるという調査結果もあることには留意する必要がある。

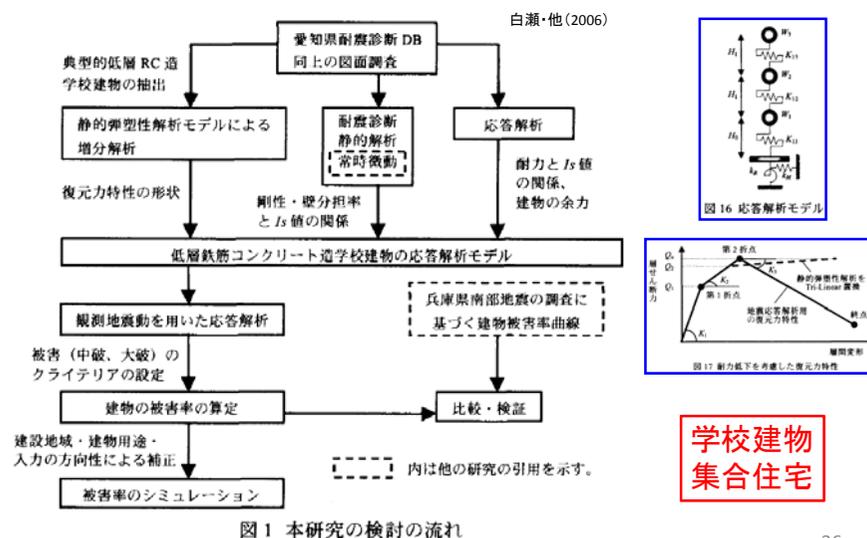
# 被害率曲線のまとめ

- 兵庫県南部地震以降の被害データを用いた被害率曲線
  - 地震動特性
    - 兵庫県南部地震と他の内陸地震: やや考慮
    - 海溝型地震(東北地方太平洋沖地震など): 未考慮
  - 建物特性
    - 構造(木造と非木造)、建築年代、(地域): 考慮
    - 階数、用途、詳細な構造(RC造とS造): 未考慮

# 内容

- 建物の地震被害とは
  - 建物の地震被害調査
- 建物の地震被害予測手法の概要
- 被害データに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震のデータに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震以後のデータに基づく被害率曲線
- 地震応答解析に基づく被害率曲線
  - 白瀬・ほか、宮腰・ほか
- まとめ

# 地震応答解析による被害率曲線



# 地震応答解析による被害率曲線

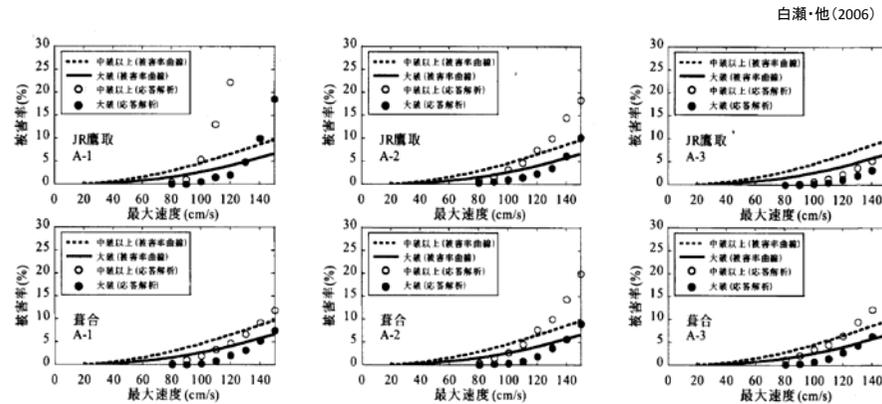


図24 地震応答解析より算定した入力地震動の方向性による補正方法別の補正被害率と被害率曲線の比較

# 地震応答解析による被害率曲線

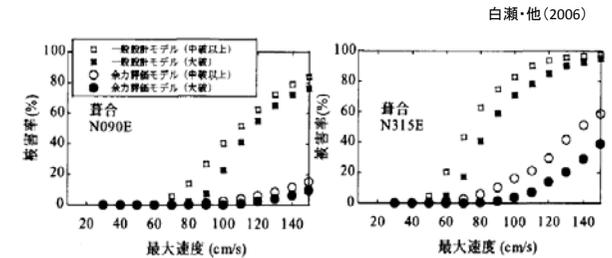


図26 建物の余力の有無による被害率の比較(舞合)

## 一般設計モデルと余力評価モデルの比較

# 内容

- 建物の地震被害とは
  - 建物の地震被害調査
- 建物の地震被害予測手法の概要
- 被害データに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震のデータに基づく被害率曲線
  - 兵庫県南部地震以後のデータにも基づく被害率曲線
- 地震応答解析に基づく被害率曲線
  - 白瀬・ほか、宮腰・ほか
- まとめ

# まとめ(今後に向けて)

構造別(木造・非木造)  
建築年代別に構築

より詳細な特性格別に  
被害率曲線を構築

地震動特性格別(地震のタイプなど)

構造別(木造、RC造、S造、ほか)

建築年代別

階数別

地域別

用途別

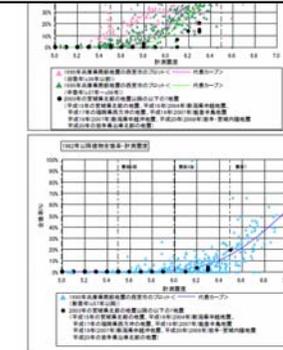


図5-2 木造・RC造・S造の被害率曲線の比較(兵庫県南部地震の被害率との重ね合わせ)

内閣府による被害率曲線

内閣府(2012)

解析的手法も併用