

第8回災害対策セミナー

「神戸1.17、あれから20年、今、そしてこれから」

神戸の建物の今

～震災被害の軽減に向けて～

神戸の減災研究会 地震動・住宅分科会

堀江 啓（インターリスク総研）

# 本日のトピックス

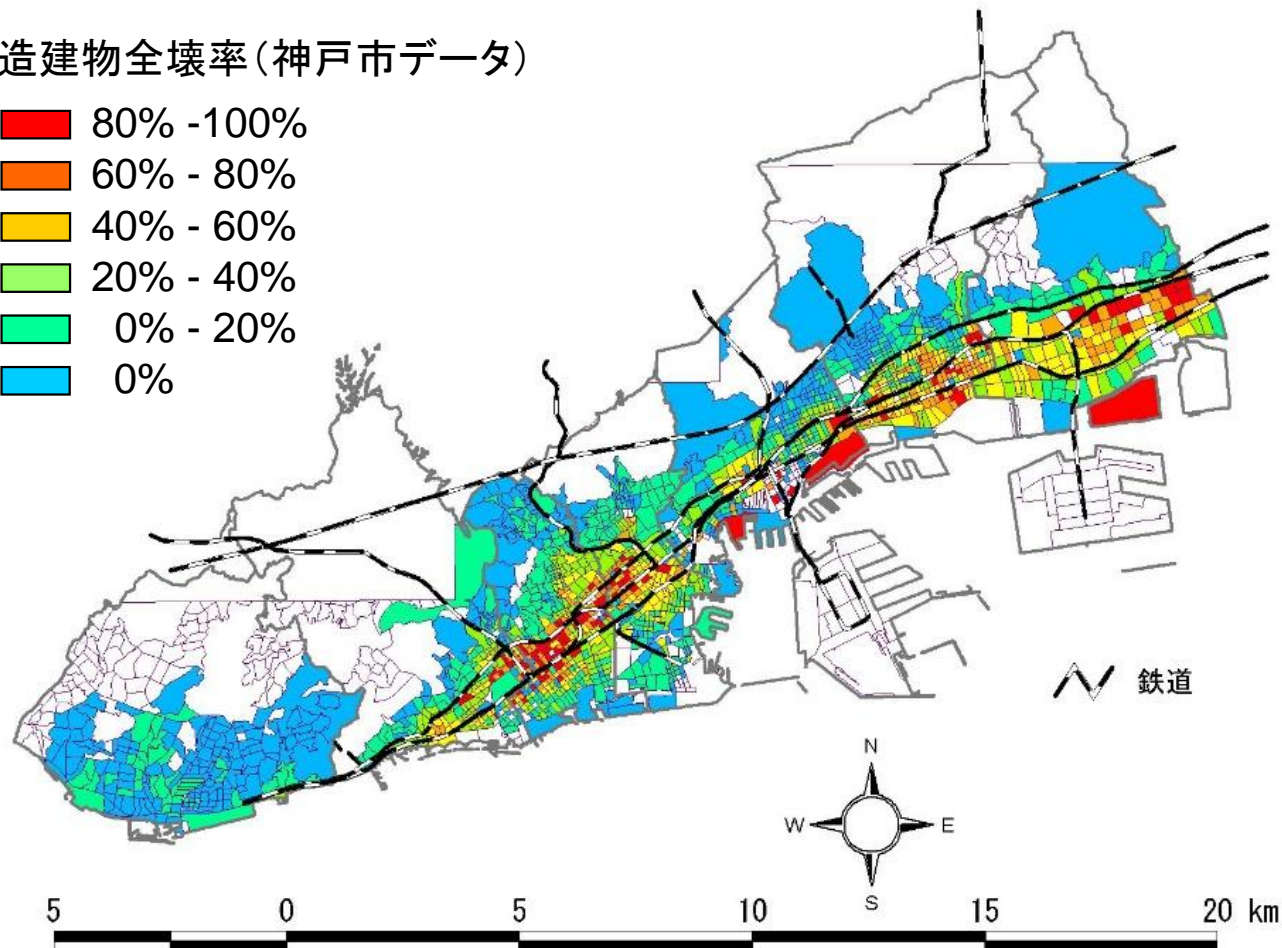
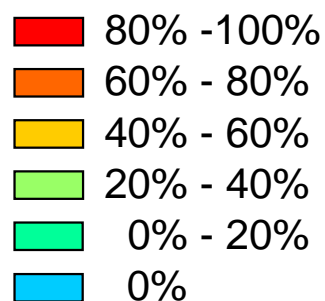
1. 阪神・淡路大震災における建物被害はどのようなであったか
2. どこまで建物の耐震化は進んだか
3. 現在の地震リスクはどの程度か
4. 南海トラフ巨大地震で建物はどうなるのか

## 阪神・淡路大震災

# 建物被害の分布(神戸市による罹災調査結果)

- 「震災の帯」と呼ばれる帯状の被災分布が特徴

木造建物全壊率(神戸市データ)



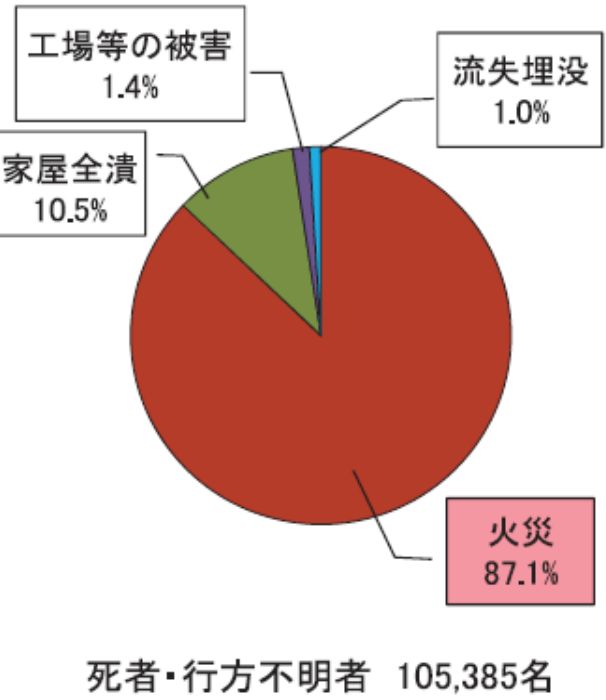
## 阪神・淡路大震災 死者が発生した建物の特徴



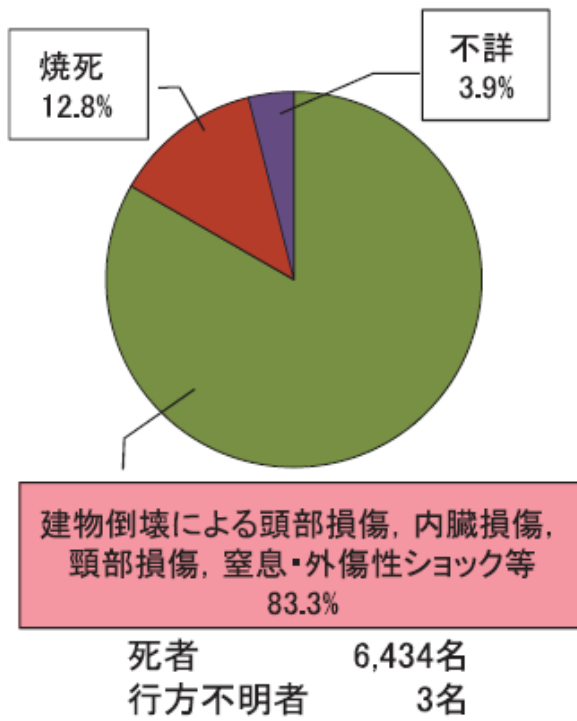
# 我が国を襲った巨大震災における 死者・行方不明者の発生要因

- 阪神・淡路大震災では耐震性が不十分な古い木造住宅が倒壊し、多くの死者が発生

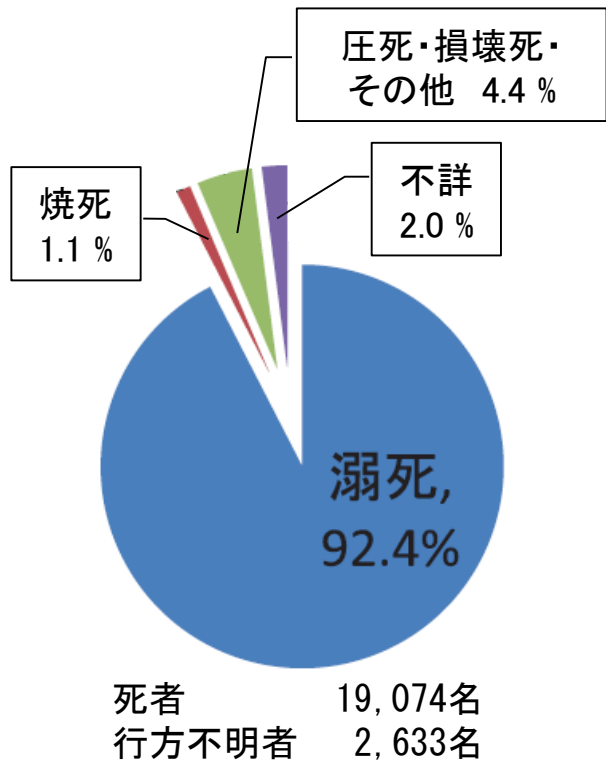
1923年関東大震災



1995年阪神・淡路大震災



2011年東日本大震災



出典：平成23年版防災白書(一部加筆)

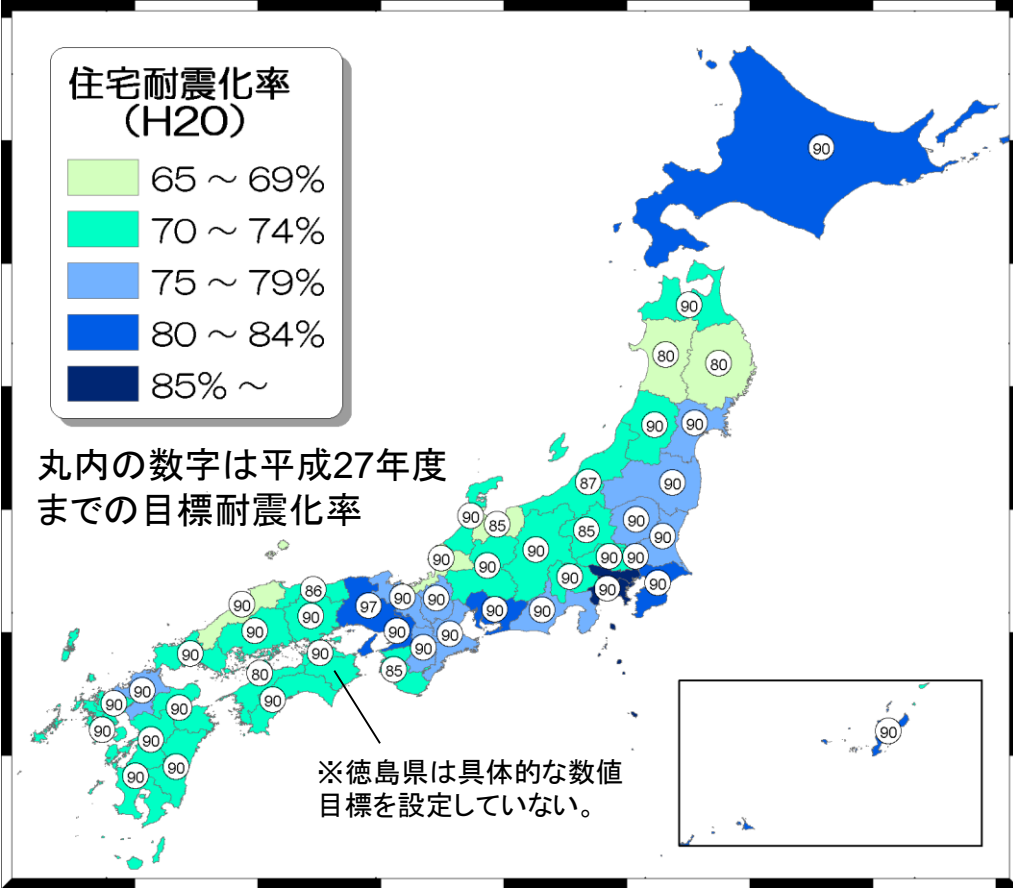


# 阪神・淡路大震災の教訓 建物の耐震化の促進

## 住宅の耐震化率の現状と将来目標

	H15	H20	H27 (目標)
全国平均	75%	79%	90%
兵庫県	78%	82%	97%
神戸市	84%	86%	95%

○耐震化率の数値目標  
中央防災会議「地震防災戦略(2005)」は、平成27年度(2015年度)までに想定死者数及び経済被害額の半減達成を減災目標に掲げ、全国の耐震化率を現状の75%から90%に引き上げることを具体数値目標に設定



出典：国土交通省資料を基に作成

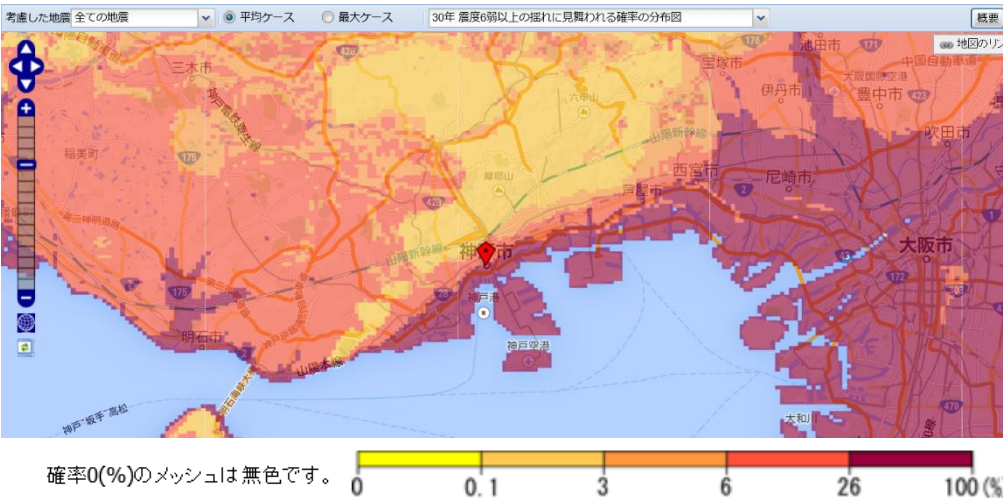
- 神戸市の住宅の耐震化率は全国平均に比較して高い
- 耐震化率の伸びはやや低調で、目標達成には一層の耐震化促進が必要

# 神戸市において今後予想される揺れの大きさと確率 地震リスクの現状

- 確率論的地震動予測地図によると、神戸市の沿岸地域で今後強い揺れに見舞われる可能性が高いと評価されている
- 震度6弱以上の揺れを発生させる可能性が最も高い地震は南海トラフの地震とも評価されている



神戸市役所付近の今後30年間の発生確率  
震度6弱以上:43.4%、震度5強以上:75.3%



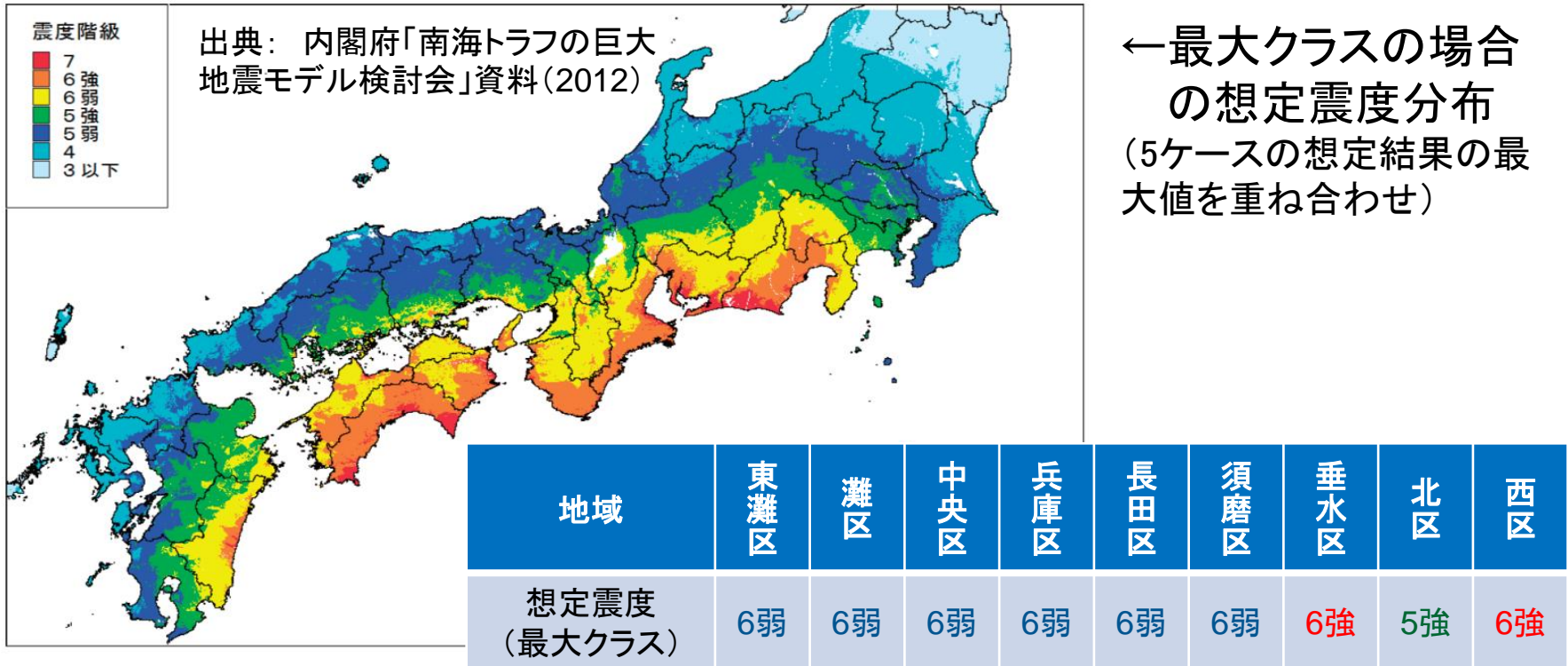
No.	地震名	震度6弱以上の影響度[%]
1	南海トラフの地震(南海地震・東南海地震・想定東海地震)	71.2
2	主要活断層帯に発生する固有地震	13.9
3	フィリピン海プレートのプレート間及びプレート内の震源を予め特定しにくい地震	7.0

# 東日本大震災を教訓とした新しい被害想定結果の公表

## 南海トラフ巨大地震で想定される揺れの大きさ

### 地震および被害の主な特徴

- ・ 地震規模が巨大である(M8～M9クラス)
- ・ 被害は広域かつ甚大となる
- ・ 長周期地震動を経験する
- ・ 発生時期が切迫している(30年内70%程度)
- ・ 各震源領域で時間差で発生するかもしれない
- ・ 揺れだけではなく津波も襲来する



・ 神戸市域においても最大震度5強～6強の強い揺れが想定されている

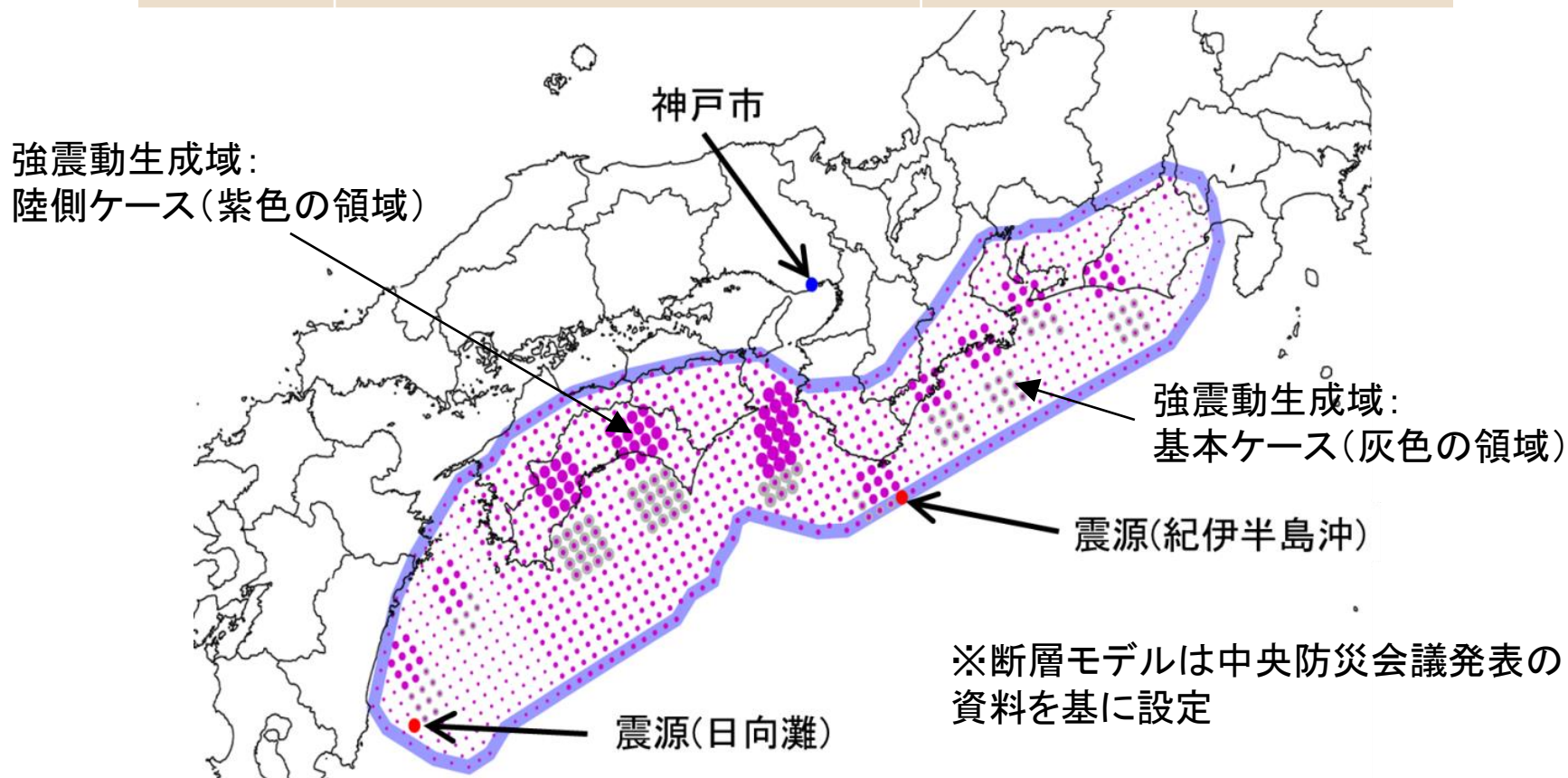


## 南海トラフ巨大地震による 神戸市の建築構造物への影響評価

- **地震動**：久世 益充(岐阜大学 流域圏科学研究センター)
  - 南海トラフ巨大地震(中央防災会議)の被害想定モデルと「神戸 JIBANKUN」を基に、**神戸市内での地震動をより詳細に検討**
- **木造住宅**：堀江 啓((株)インターリスク総研)
  - 解析対象：1972 年～1981 年建設の2 階建住宅
  - 耐震診断および常時微動測定より、**耐震性に優れた住宅と不十分な住宅の2種類**を設定し、**想定波で予想される地震応答の把握**
- **鉄骨造事務所建物(3階建ラーメン)**：難波 尚(神戸大)
  - **地震によって損傷を受けた建築物の耐震安全対策**に関する実験
  - 阪神淡路大震災における鉄骨像建物の接合部破断現象を再現し、接合部破断が地震応答性状に与える影響を把握
  - 数値解析手法の構築

## 研究会による南海トラフの地震動の評価 (1)断層モデルの作成

	震源位置	強震動生成域
ケース1	紀伊半島沖(内閣府と同じ)	内閣府の基本ケースと同じ
ケース2	紀伊半島沖(内閣府と同じ)	内閣府の陸側ケースと同じ
ケース3	日向灘(研究会独自)	内閣府の陸側ケースと同じ



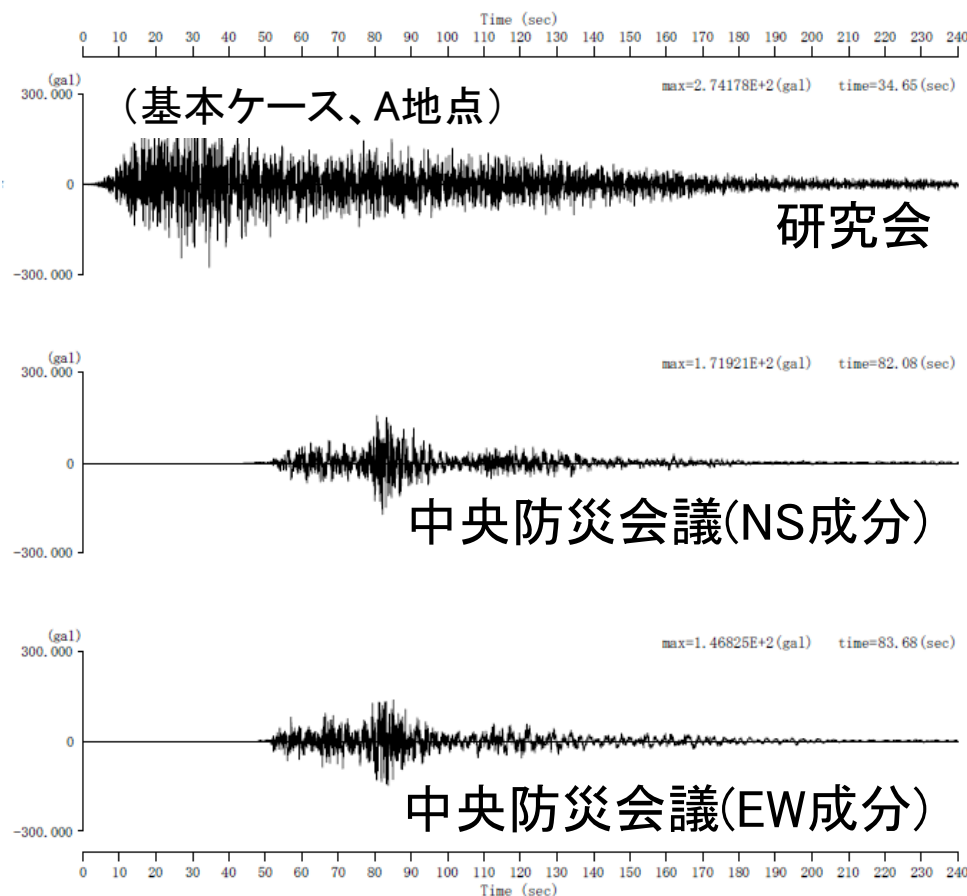
研究会による南海トラフの地震動の評価  
(2)地震動予測手法および利用データの比較

	内閣府	研究会
工学的基盤地震動	統計的手法による波形計算	統計的手法(EMPR)による波形計算
深部基盤構造の評価	「全国1次地下構造モデル(暫定版)」に基づいたモデル	一様と仮定
地表地震動	基盤震度に表層の震度増分を加えた震度値	一次元応答解析(DYNES)による波形計算
表層地盤データ	微地形データとAVS30に基づいた震度増分の評価	神戸JIBANKUNのデータベースより、対象地点のボーリング柱状図を使用
計算単位	250mメッシュ(基盤地震動は1km単位, データ公開は5km単位)	任意地点で計算可能

解析対象地点: 表層地盤条件と周辺建物分布の特徴を考慮し, 4地点を選定  
A地点: 標準的な地盤、商業地域      B地点: 軟弱な地盤  
C地点: やや軟弱な地盤、木造密集地域      D地点: やや硬質な地盤、木造密集地域

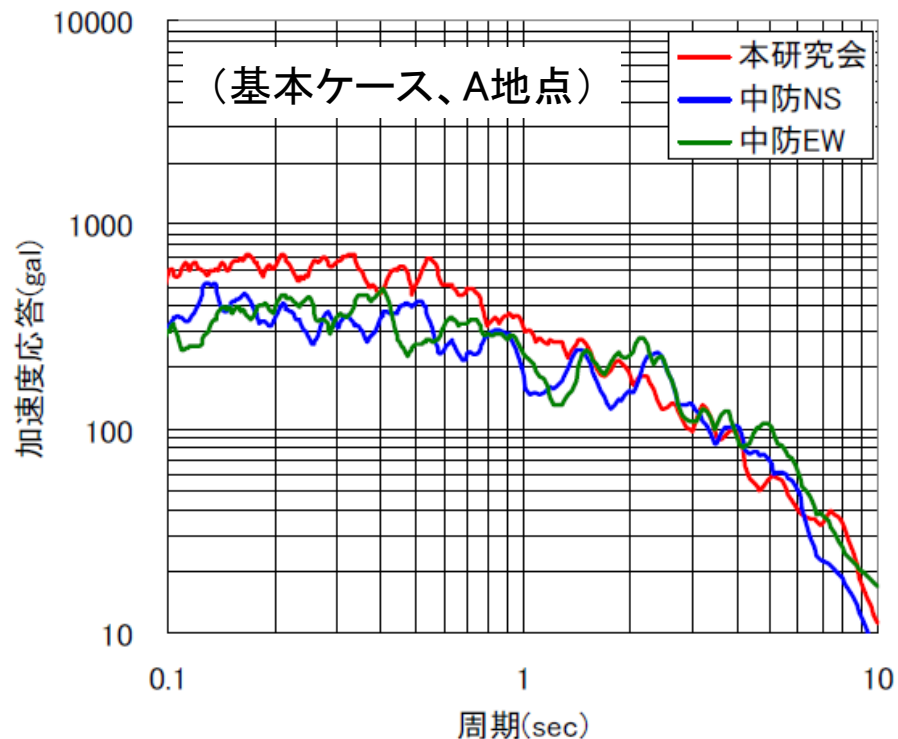
## 研究会による南海トラフの地震動の評価

### (3) シミュレーション波形の比較



時刻歴波形の比較

- 研究会波形: 継続時間が長い  
→ 構造物への影響評価



応答スペクトルの比較

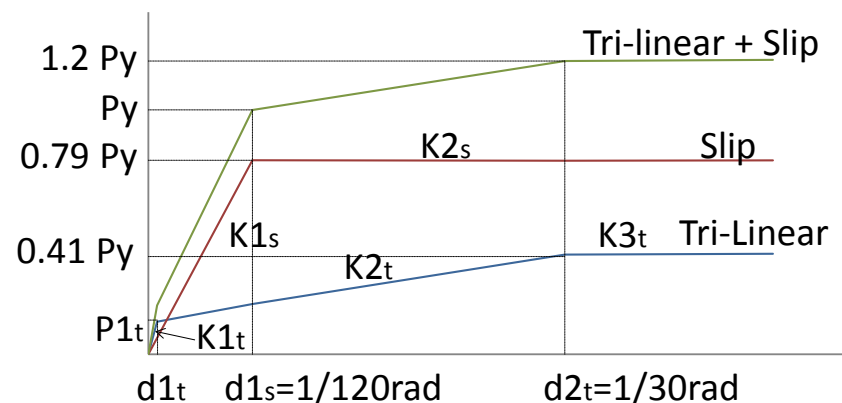
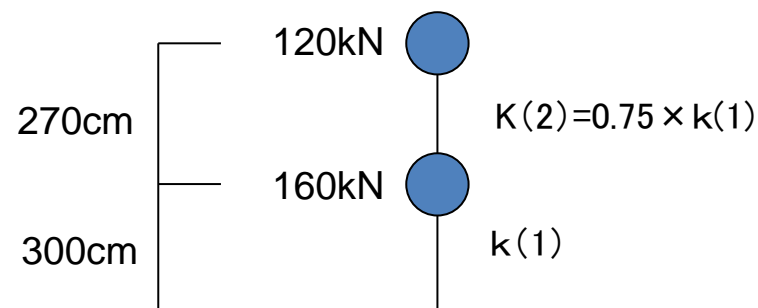
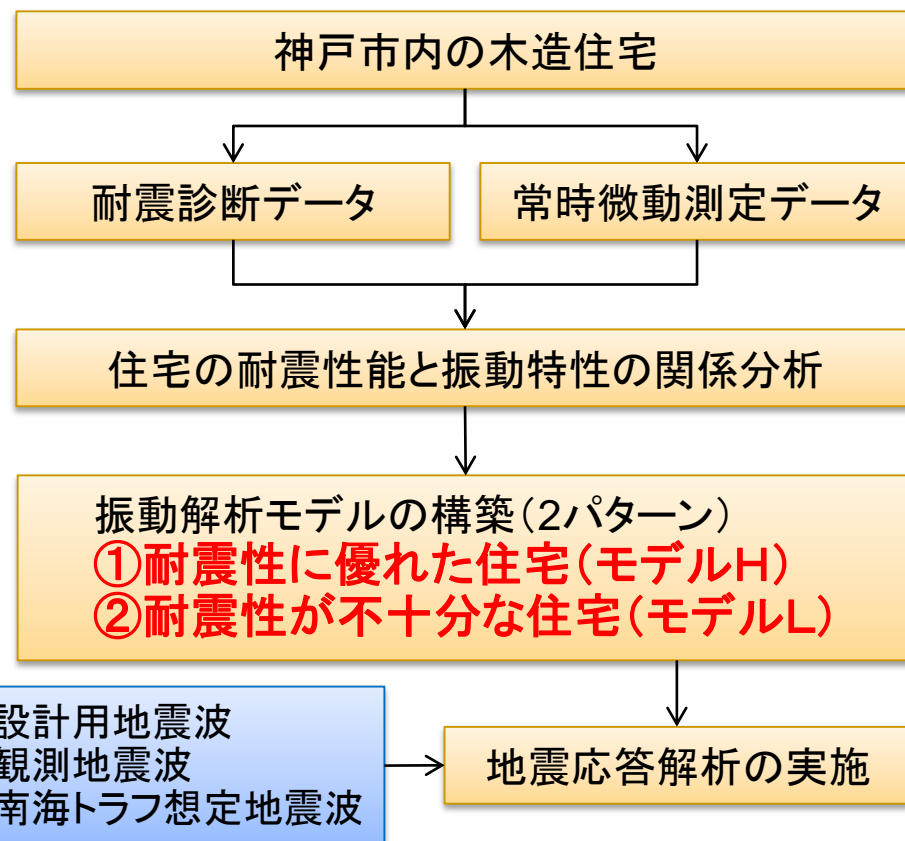
- ほぼ同等の傾向を示す
- 長周期特性に若干の違い(D地点)  
→ 深部地盤構造の影響



## 木造住宅の地震応答解析

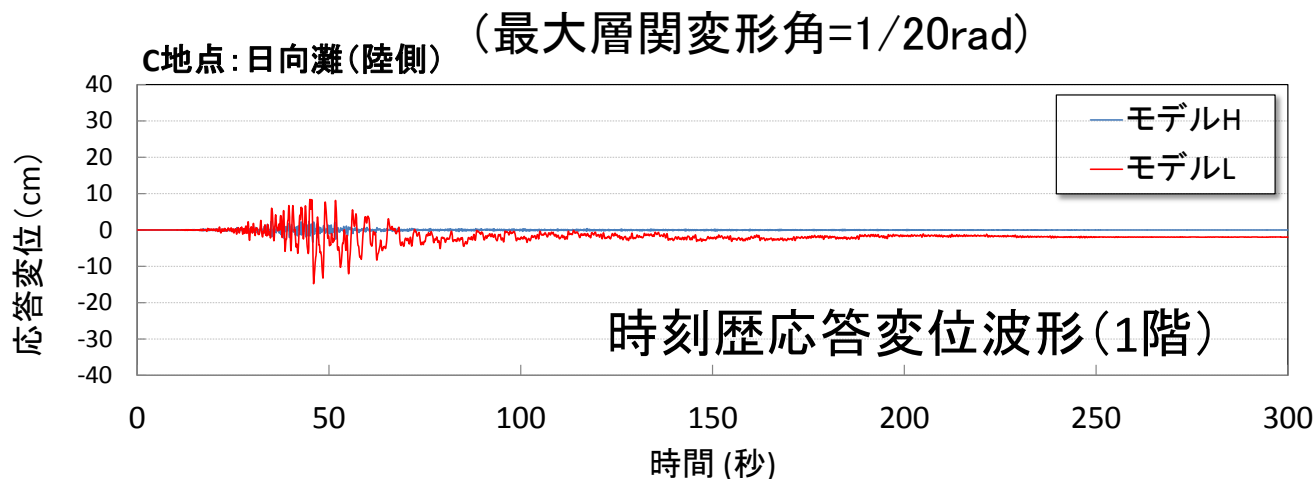
### (1) 解析モデルの構築

神戸市内で行った耐震診断、常時微動測定の結果を用いて、①耐震性に優れた住宅(モデルH)と②耐震性が不十分な住宅(モデルL)を設定して2質点系解析を実施

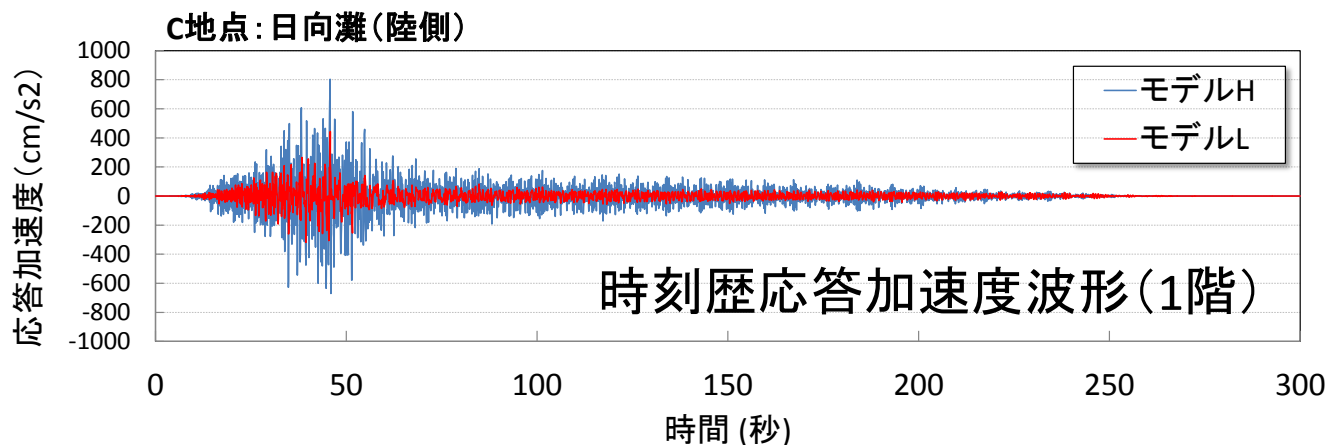


## 木造住宅の地震応答解析 (2) 応答解析結果

耐震性が不十分なモデルLの応答変形は大きい → **耐震化促進**



耐震性に優れたモデルHの方が大きな加速度応答 → **家具の転倒防止**



## 地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究 (1) 実験の概要

- 期間: 2013/7/8～2014/3/31(震動台の占有:2013/9/30～10/18)
- 目的: 阪神・淡路大震災によって損傷を受けた鉄骨建築物に対する
  - ① 南海トラフ巨大地震による影響の検証
  - ② 振動特性に基づく建築物の健全度評価技術の開発

兵庫県・企画県民部

高見・澤田・小林

神戸大学・建築学専攻

難波・向井・山邊  
・藤谷・谷・多賀・浅田

大阪工大

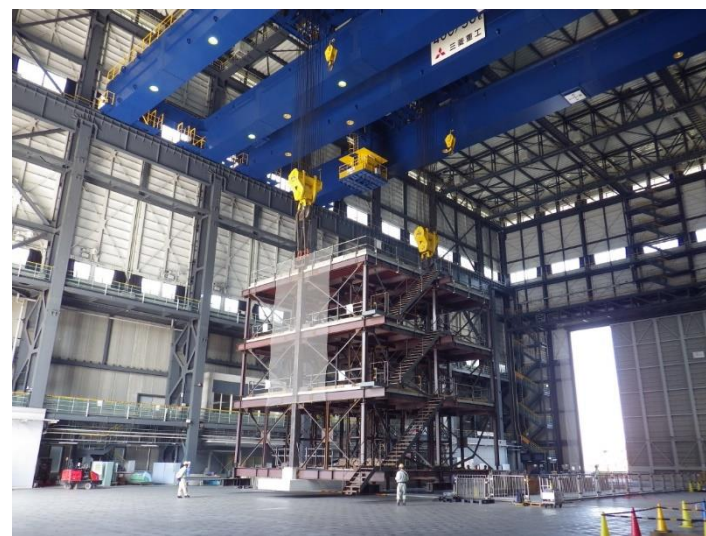
白髪

防災科研・E-ディフェンス

谷・山下・梶原・松森

筑波大

亀田



## 地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究 (2) 試験体



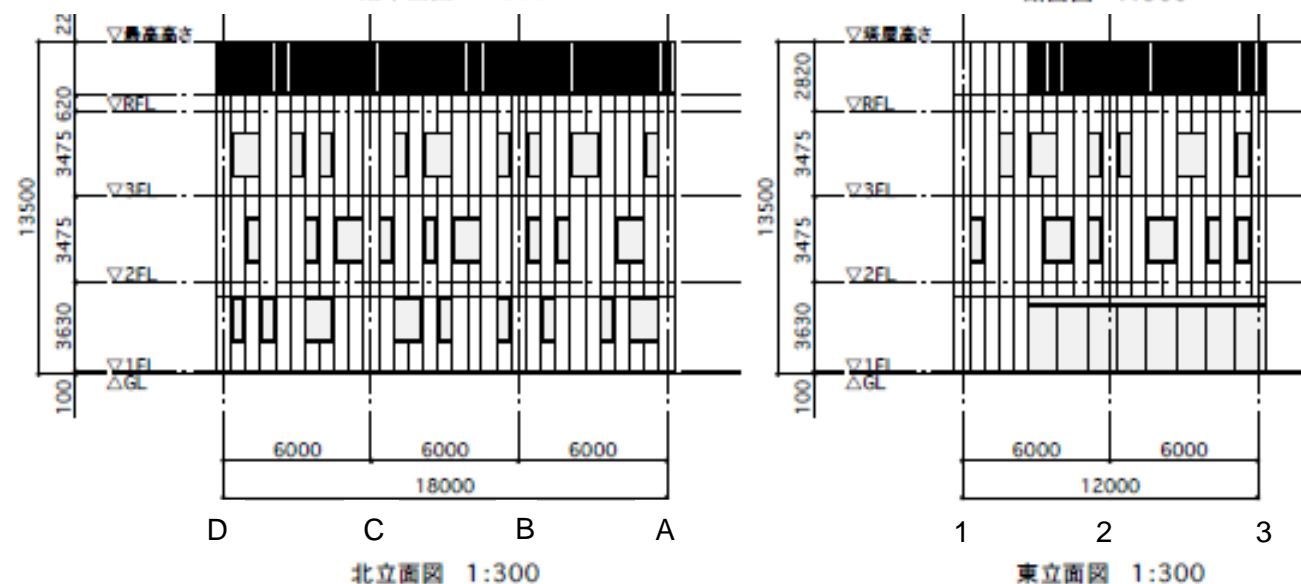
加振実験試験体  
を設計するための  
想定建物を設定



兵庫県南部地震  
以前の耐震規定  
に基づき骨組およ  
び接合部を設計

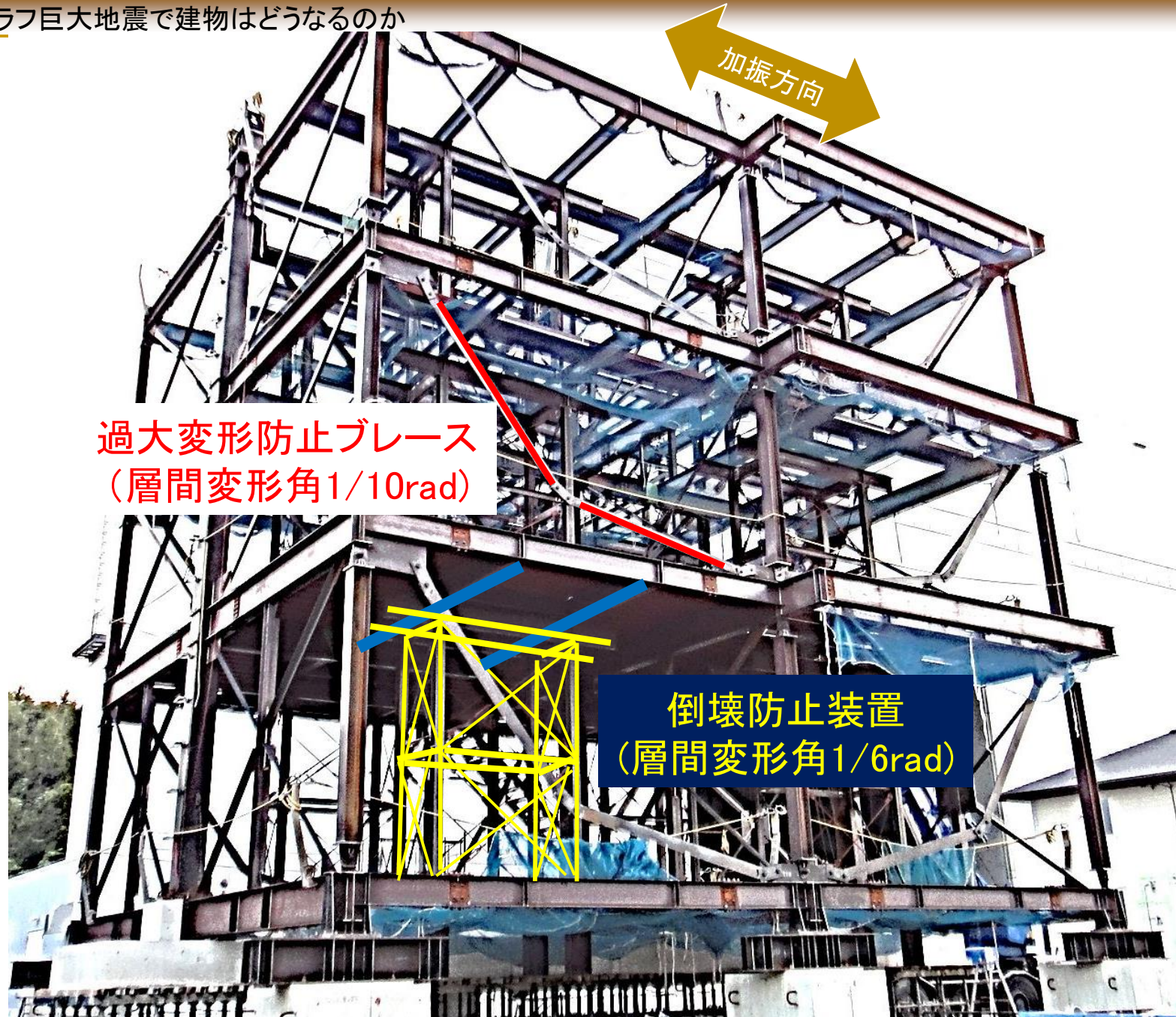
柱部材(STKR400)  
1F, 2F:□-350x12  
3F:□-350x9

梁部材(SS400):  
2F:H-450x200  
3F:H-400x200  
RF:H-350x175





#### 4. 南海トラフ巨大地震で建物はどうなるのか



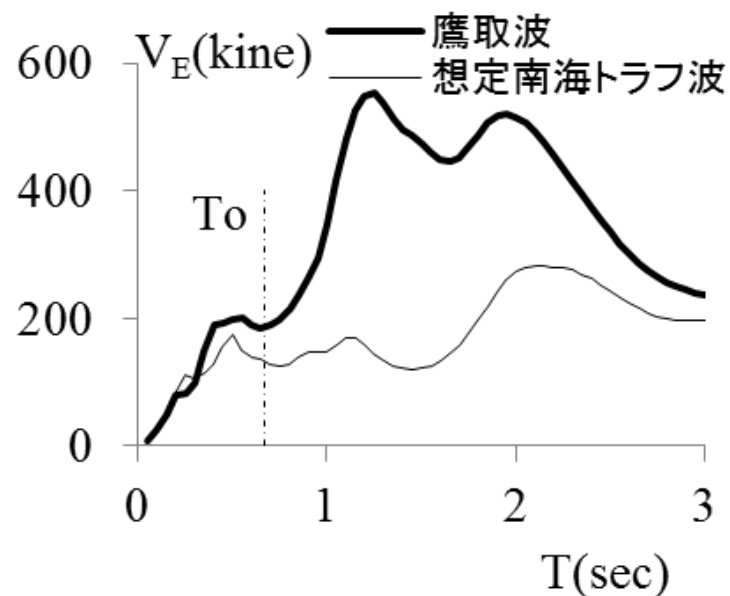
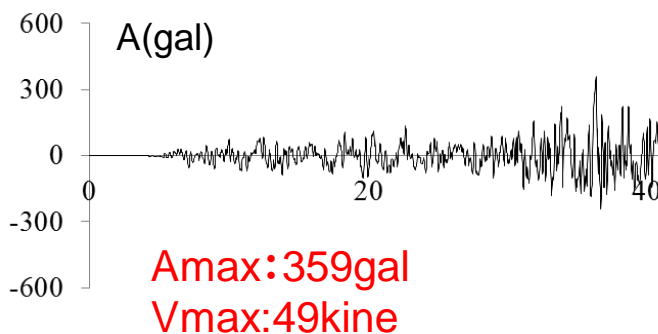
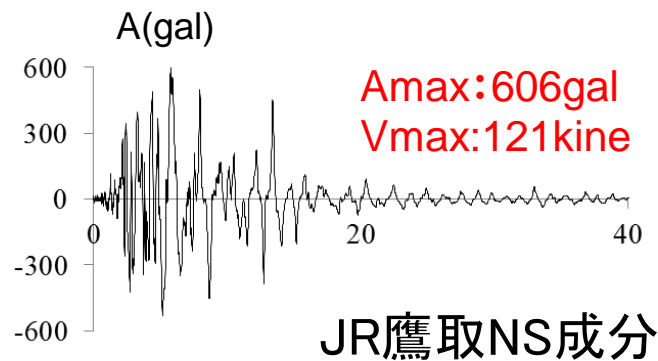
## 地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究 (3) 加振条件

### ■ 加振方法: 1方向水平加振(X方向)

### ■ 加振波:

□ 鷹取波 NS方向

□ 想定南海トラフ波 NS方向

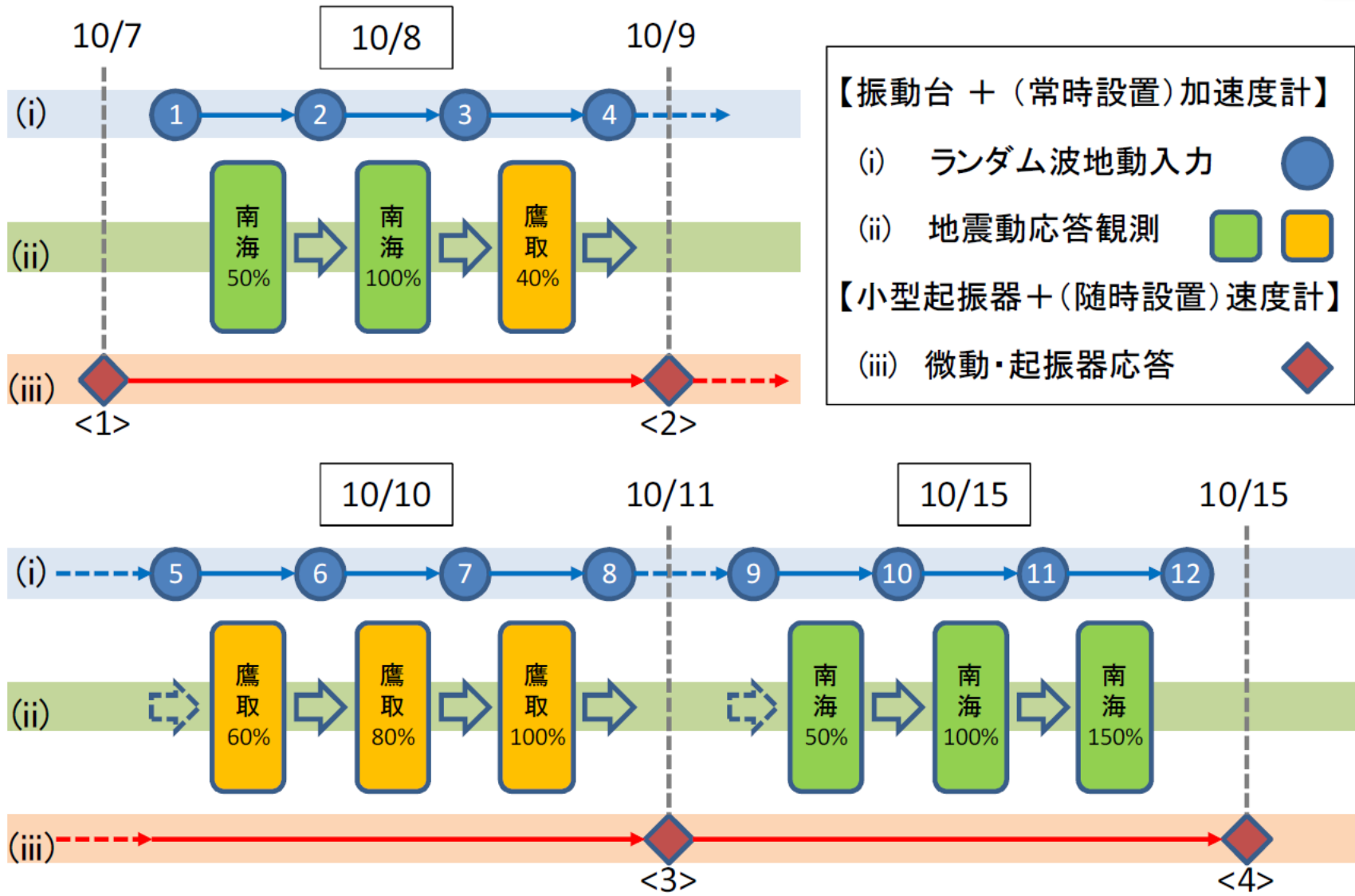


エネルギースペクトル(h=0.1)

「神戸の減災研究会」作成

想定南海トラフ波 NS成分  
(中央防災会議2012, 陸側ケース, 紀伊半島沖)

地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究  
(4) 実験スケジュール





## 地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究 (5) 損傷観察(柱脚・梁端接合部)

### ➤ 柱脚



南海トラフ波100%-1回目

アンカーボルト伸び0.5-3mm



鷹取波60%

アンカーボルト伸び10mm弱



鷹取波100%

アンカーボルト伸び30mm弱

**JR鷹取波加振後の南海トラフ巨大地震想定波では、損傷の進展みられず。**

### ➤ 梁端接合部



ミルスケールの剥離

鷹取波40%



スカロップ底クラック

鷹取波80%

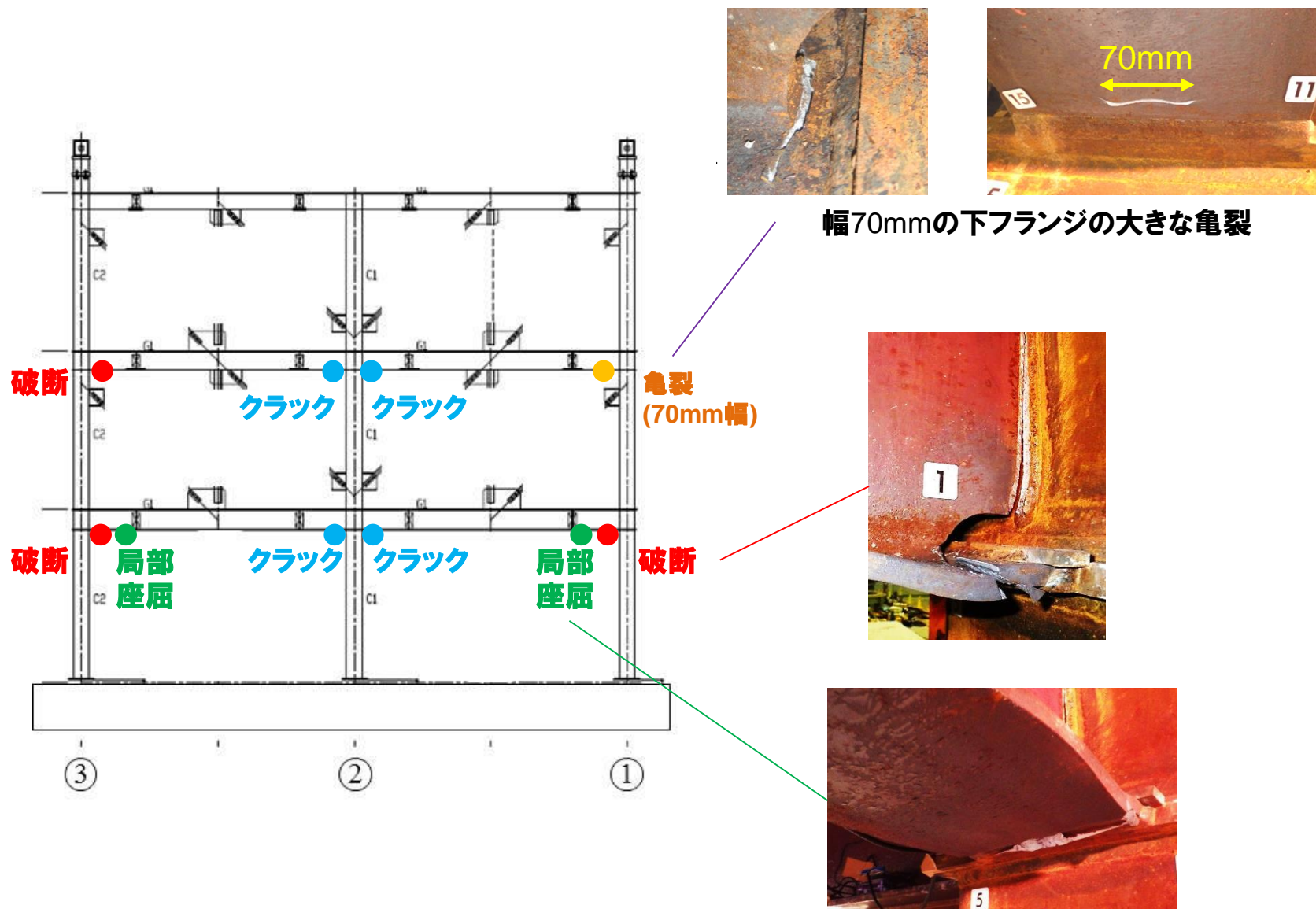


2F, 3Fの側柱接合部で梁下フランジの破断

鷹取波100%



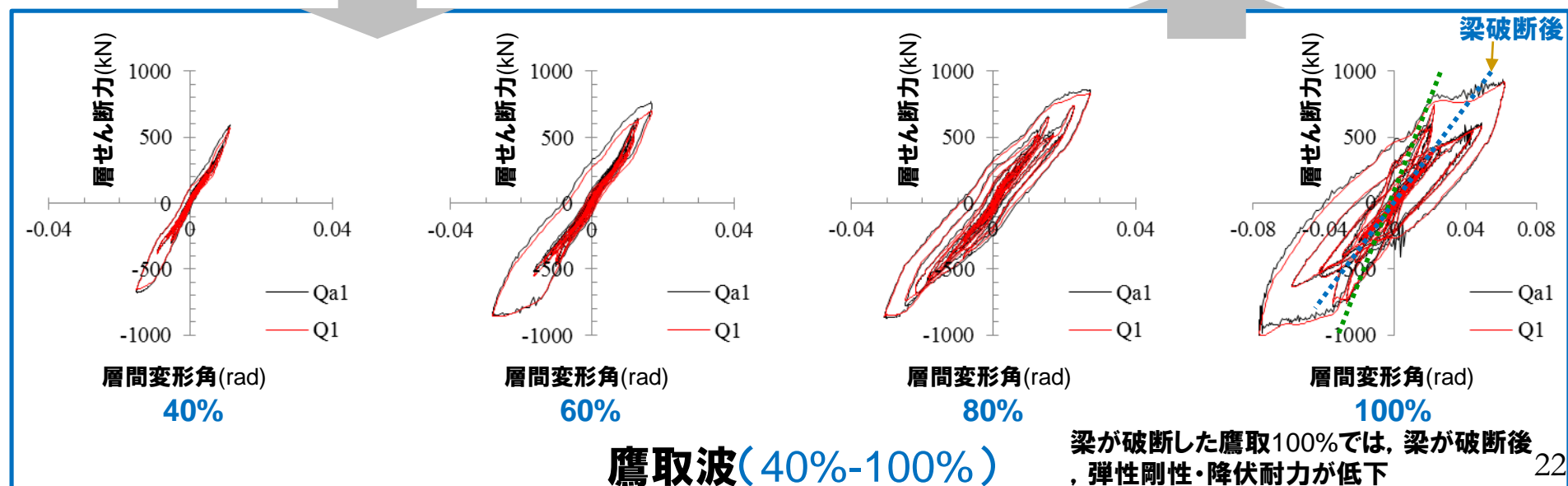
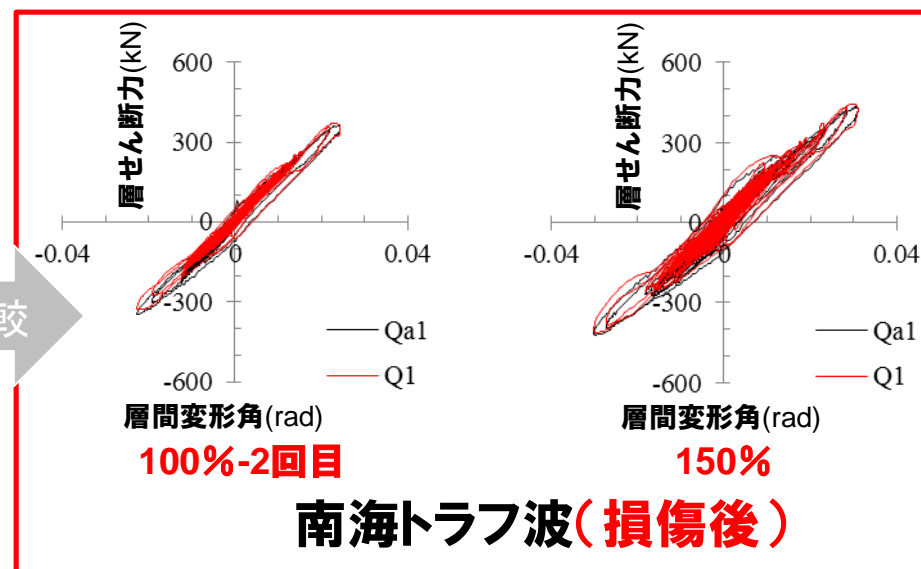
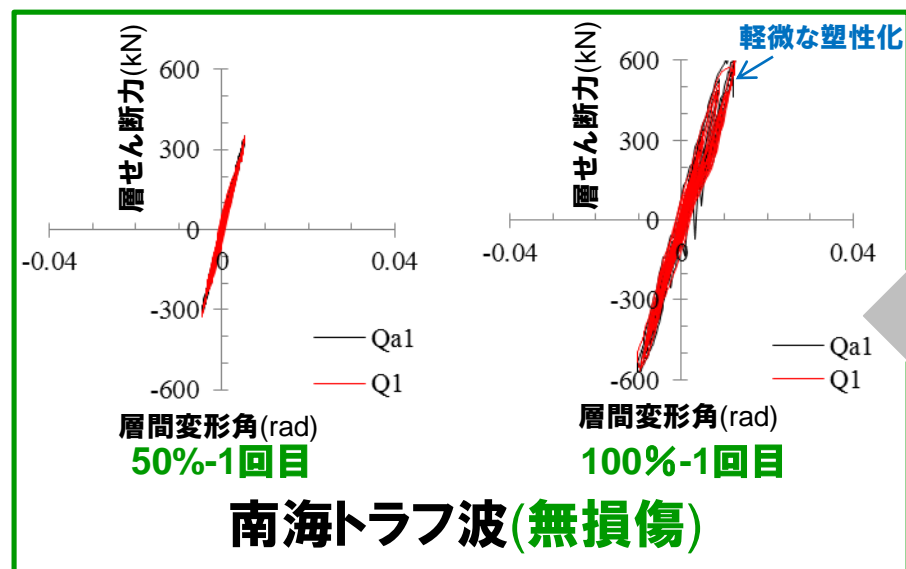
# 地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究 (6) 梁端接合部の損傷(鷹取波100%)



地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究

# (7) 層せん断力一層間変形角関係(1層)

黒実線: 層慣性力  
赤実線: 層せん断力

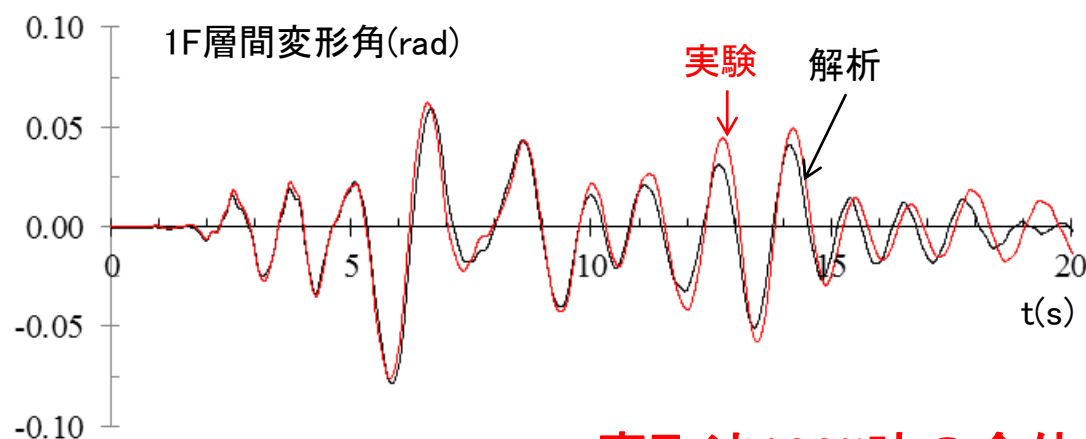


## 地震によって損傷を受けた鉄骨建築物の耐震安全対策に関する実験研究 (8) 地震応答解析結果との比較

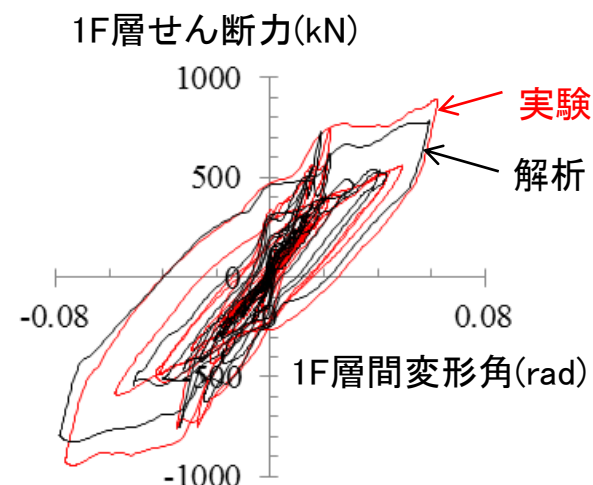
### 解析事例： 7波連続加振

①南海100%②鷹取40%+③鷹取60%+④鷹取80%  
+⑤鷹取100%+⑥南海100%+⑦南海150%

※各加振の間は、減衰乗数を5倍にした状態で5秒間の自由振動により十分に減衰させる



鷹取波100%時の全体挙動



### 主な解析結果

- 鋼材に低サイクル疲労モデルを採用することで、複数回加振で累積損傷を受ける梁の破断現象を含めて、実験結果を概ね再現することができた。
- 破断を考慮する場合、7波入力の解析結果では、累積損傷の影響により最大層間変形角応答が30%弱増大した。

# おわりに

- 阪神・淡路大震災を教訓として、耐震対策が全国的に進められ、**神戸市の住宅耐震化率は高い**現状にある。
- 一方、神戸市の地震リスクは低いわけではなく、特に**南海トラフの巨大地震に対していかに備えていくか**が課題。
- 研究会では、南海トラフ巨大地震の政府想定モデルと「神戸 JIBANKUN」を基に、神戸市内での地震動をより詳細に評価。
- 研究会による地震動を用いたシミュレーション結果によると、**耐震性が不十分な木造住宅に大きな被害が発生する可能性**があり、耐震対策の継続的な推進が必要。
- 実大実験から明らかにされた建築分野における新たな研究課題として、過去の地震で**損傷した建物の対策**の検討が必要。
- また、建築分野では、長周期地震動、液状化、津波などに対する検討や、非構造部材による被害対策も今後の課題。



# (参考)分科会のこれまでの主な研究活動

研究会名	地震動・住宅分科会に関わる内容
【平成11年度～15年度】 神戸の 地盤研究会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地盤情報データベース「神戸JIBANKUN」を活用した研究を推進</li> <li>・木造住宅に焦点を当て、①神戸市被災データの分析、②被害予測手法の整理、③地震応答解析による被害予測を実施</li> </ul>
【平成16年度～18年度】 神戸の 地盤・減災研究会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・木造住宅の振動特性を把握するために、常時微動データを収集</li> <li>・「神戸JIBANKUN」と常時微動情報を基に、①宅地地盤の種別判定手法の提案、②振動特性と耐震診断結果の関係分析、③地震応答解析による耐震性能評価手法の検討、④耐震補強効果の見える化の検討、などを実施</li> </ul>
【平成19年度～21年度】 新・神戸の 地盤減災研究会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・住宅の耐震化促進を目指し、常時微動の活用を中心に検討を実施</li> <li>・①耐震診断に活用できる地盤評価手法の提案、②耐震診断と補強計画の検討、③微小変形領域における木造架構の挙動の定量化、④実在住宅を対象に常時微動を活用した地盤・建物の耐震安全性評価、などを実施</li> </ul>
【平成22年度～26年度】 神戸の 減災研究会	<ul style="list-style-type: none"> <li>・より効果的な減災対策の推進に寄与するため、南海トラフ巨大地震を対象に神戸市の建築構造物への影響を検討</li> <li>・①「神戸JIBANKUN」を活用し、神戸市内で想定される地震動のより詳細な評価、②各種構造の建物を対象とした地震応答解析による被害予測、③複数回の大地震に対する建築物の安全対策の検討、などを実施</li> </ul>

# (参考)現在の分科会メンバー

グループ	氏名	所属など	分担責任
委 員	難波 尚	神戸大学大学院工学研究科	分科会長
	藤永 隆	神戸大学都市安全研究センター	
	久世 益充	岐阜大学 流域圏科学研究センター	副査
	太田 敏一	神戸市職員OB	
	平井 俊之	(株)ニュージェック	
	堀江 啓	(株)インターリスク総研	主査
アドバイザー (学識経験者等)	長谷川信介	応用地質(株)	
	小原 勝彦	岐阜県立森林文化アカデミー	
オブザーバー	神戸市住宅都市局総務部耐震化促進室 神戸市住宅都市局建築技術部技術管理課 神戸市建設局道路部技術管理室		