

我が家は大地震に大丈夫？！

—地震を知り、耐震対策を—

2021年3月14日

最上 公彦

地震被害調査活動、略歴

1964年	新潟地震	M7.5	大学1年生で、人生で初めて震度5の地震を体験
1968年	十勝沖地震	M7.9	現地被害調査、被害原因究明
1978年	宮城県沖地震	M7.4	現地被害調査、被害原因究明、補強設計担当
1983年	日本海中部地震	M7.7	現地被害調査、被害原因究明、補強設計担当
1995年	阪神淡路大震災	M7.3	現地被害調査、被害原因究明、補強設計担当
2003年	宮城県北部地震	M6.4	現地被害調査、被害原因究明
2005年	宮城県沖地震	M7.2	現地被害調査、被害原因究明
2003年	十勝沖地震	M7.4	現地被害調査、被害原因究明
2011年	東日本大震災	M9.0	東京で震度6弱を体験、現地被害調査

1963年～1969年	東北大学・同大学院で建築防災工学を勉学、研究、1999年東北大学にて博士（工学）授与
1970年～1992年	竹中工務店設計部にて建築構造設計を担当（超高層から木造住宅まで）
1993年～2000年	同殊構造本部にてドーム・スタジアムの企画・設計を担当（福岡ドーム、ドーム・ドーム・・・）
2001年～2012年	竹中工務店技術研究所長、常務取締役、顧問として研究開発をマネジメント
2007年～2009年	日本建築学会副会長

目 次

1. これまでの大地震とその被害
2. 山中比叡平での大地震の影響
3. どんな家が大地震に弱いのか
4. 地震に強い建物を作るには
5. 大地震への心得、13のポイント

1. これまでの大地震とその被害 阪神淡路大震災（兵庫県南部地震）の被害状況



木造家屋1階の倒壊の原因

1. 重い瓦屋根
2. 土台の腐食、
3. シロアリ被害
4. 玉石基礎
5. 筋違のない土壁



鉄筋コンクリート造の 柱崩壊の原因

1. 耐震壁の不足
2. 帯筋不足（せん断破壊）
3. 大きな建物の偏心
4. コンクリート強度不足



1. これまでの大地震とその被害 これまでの大地震の被害状況



液状化による建物倒壊（新潟地震）



マンション1階の柱崩壊による
建物倒壊（熊本地震）



体育館柱脚部崩壊（熊本地震）



山斜面崩壊（熊本地震）



エキスパンション部分損傷
（設計通り）



天井落下（東日本大震災）
釣り天井取付金物の耐震性がない

1. これまでの大地震とその被害 大地震による建物以外の被害状況



液状化による橋落下（新潟地震）



石油タンク火災（十勝沖地震）



道路亀裂・陥没（熊本地震）



高速道路の崩壊（阪神淡路大震災）



石油タンク火災・爆発（東日本大震災）



杭の破壊（阪神淡路大震災）

1. これまでの大地震とその被害

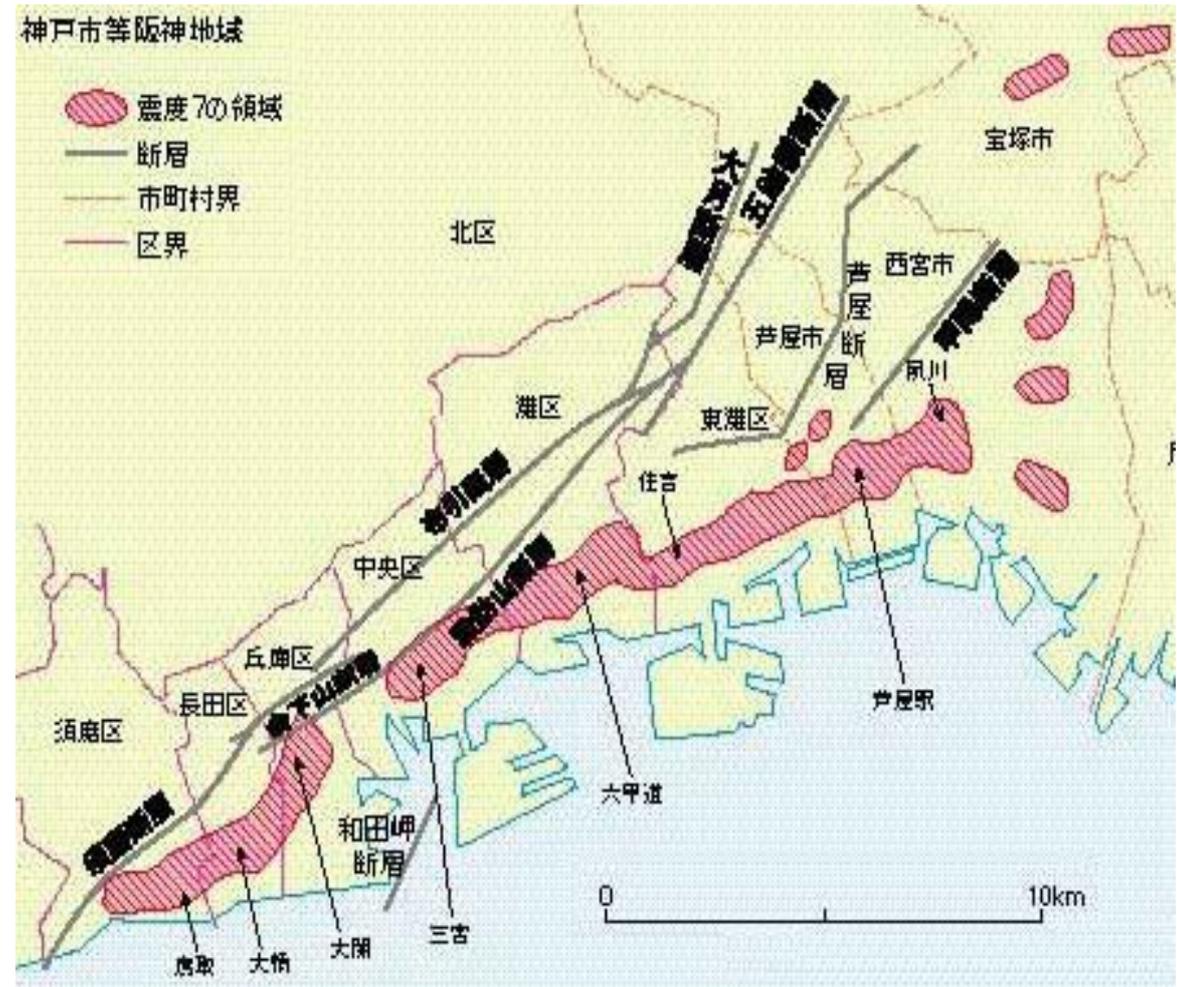
阪神淡路大震災と東日本大震災の被害の比較

阪神淡路大震災 1995年1月17日 (内陸型活断層地震)	地震の概要	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 地震の規模 M7.3 ◆ 震度7の地域 神戸市、芦屋市、西宮市、宝塚市 北淡町、一宮町、津名町
	地震被害	<ul style="list-style-type: none"> ◆ バランスの悪い、また施工不良の建物。土木構築物に大きな被害が出た ◆ 木造建物は瓦屋根家屋、基礎腐朽家屋は倒壊した ◆ 新耐震基準で設計された建物被害は少ない ◆ 犠牲者の多くは木造家屋の倒壊時の圧死である
東日本大震災 2011年3月11日 (海洋型地震)	地震の概要	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 地震の規模 M9.0 ◆ 震度7の地域 宮城県北部、栗原市、栗原市築館 ◆ 震度6強の地域 宮城県、福島県全域 茨城県北部、 栃木県北部
	地震被害	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 新耐震以降の建物が比較的多かったために、地震震度が大きい割には直接の建物被害は少なかった ◆ 繰り返しの大地震の影響を受けた建物に被害が出た ◆ 犠牲者の90%以上、大部分の建物倒壊は直後の巨大津波によるものである ◆ 石油タンク火災による建物消失もかなりあった

1. これまでの大地震とその被害 阪神淡路大震災（1995年1月）における地震の特徴



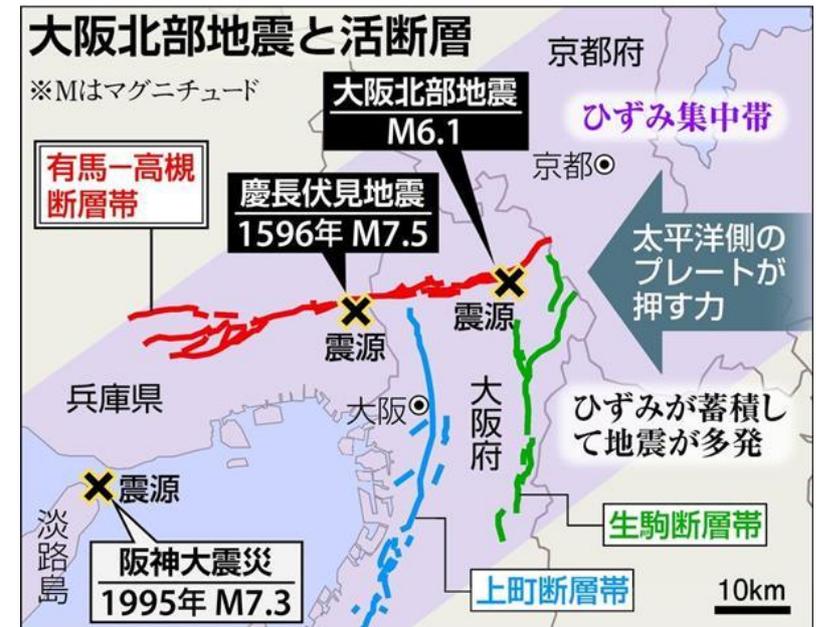
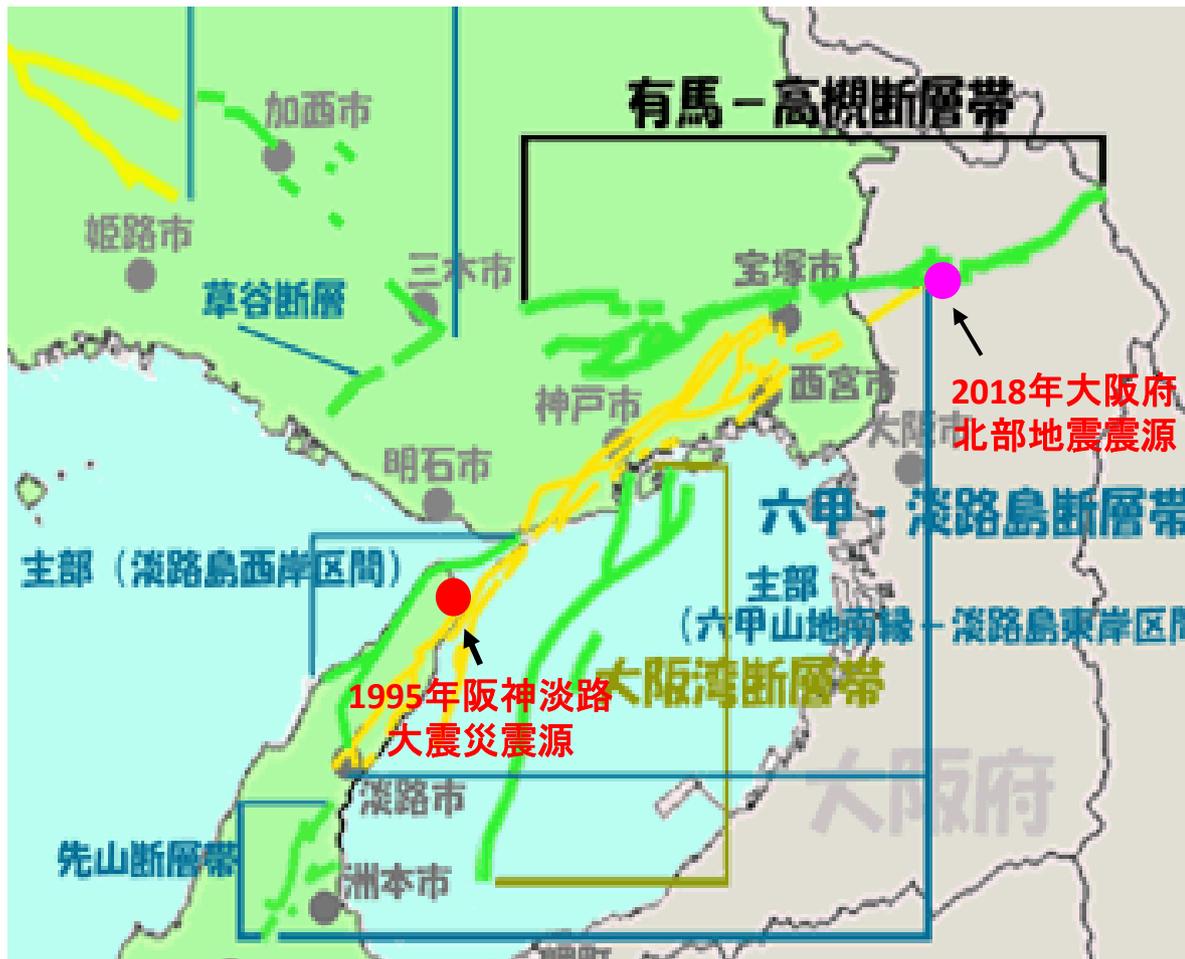
震源地	淡路島北部 北緯 34 度 36 分、東経 135 度 02 分
震源の深さ	16 km
規模	マグニチュード 7.3
発生時刻	午前 5 時 46 分



活断層地震の大きな被害は活断層付近に集中する

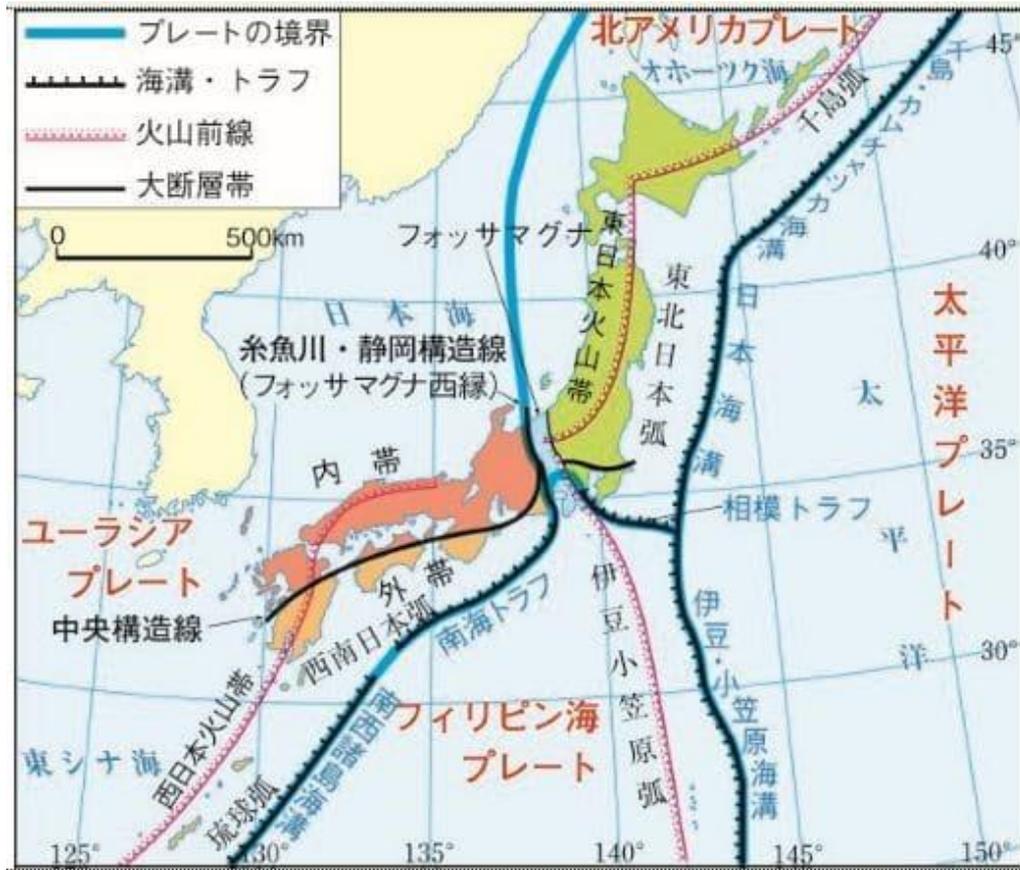
1. これまでの大地震とその被害 阪神淡路大震災と高槻地震は同じ活断層

大阪北部地震は有馬—高槻断層帯で発生した地震である。有馬—高槻断層帯は熊本地震を発生させた布田川断層帯から四国を縦断(中央構造線断層帯)し、阪神淡路大震災を発生させた六甲・淡路断層帯につながる断層帯である。

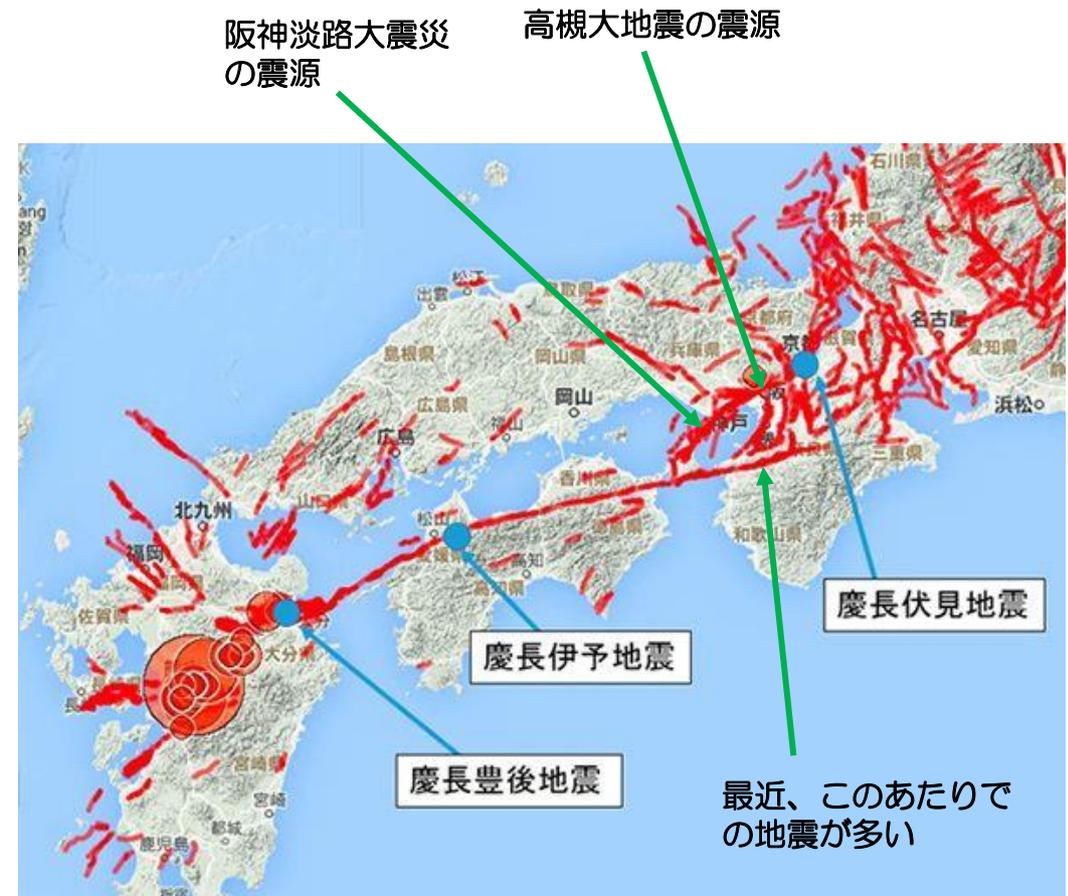


大阪北部地震(高槻地震)ブロック塀倒壊

1. これまでの大地震とその被害 日本周辺のプレートと西日本の活断層



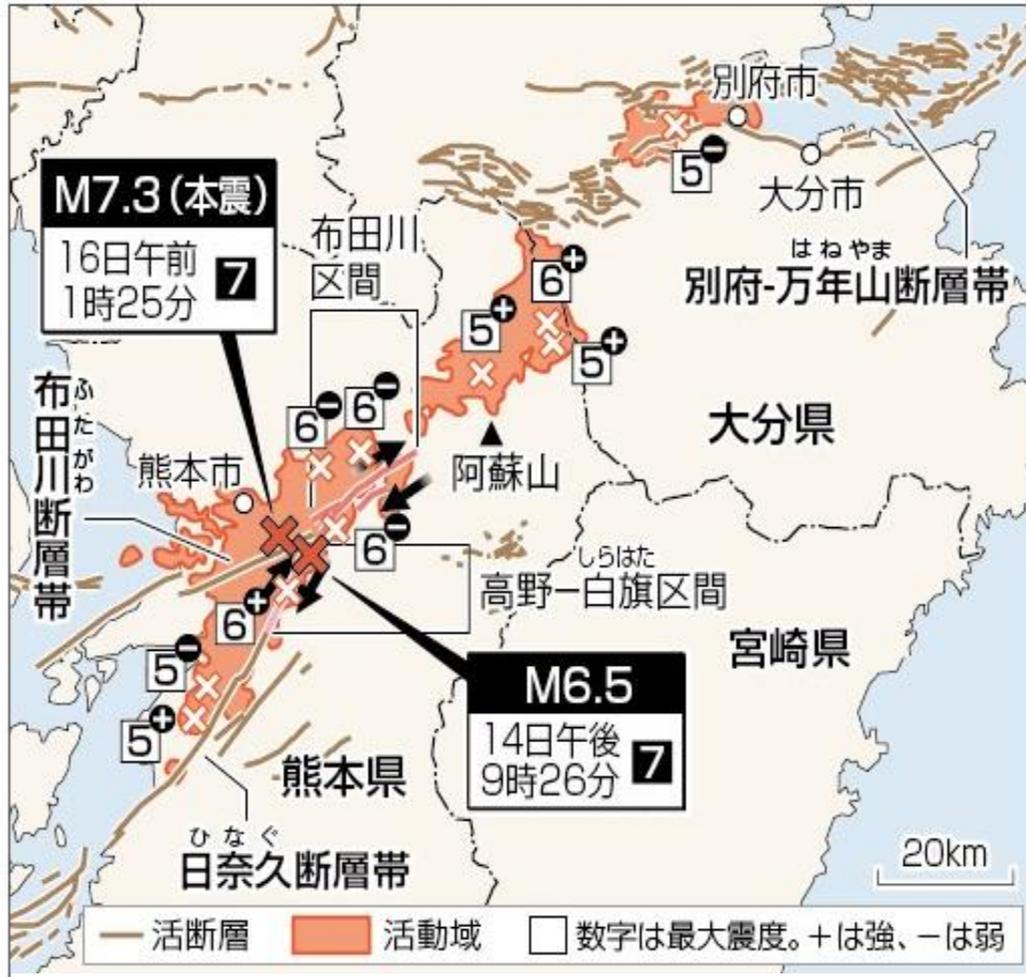
太平洋プレートやフィリピンプレートの沈み込み部分に海溝ができる
大陸プレートは盛り上がり火山帯と活断層ができる



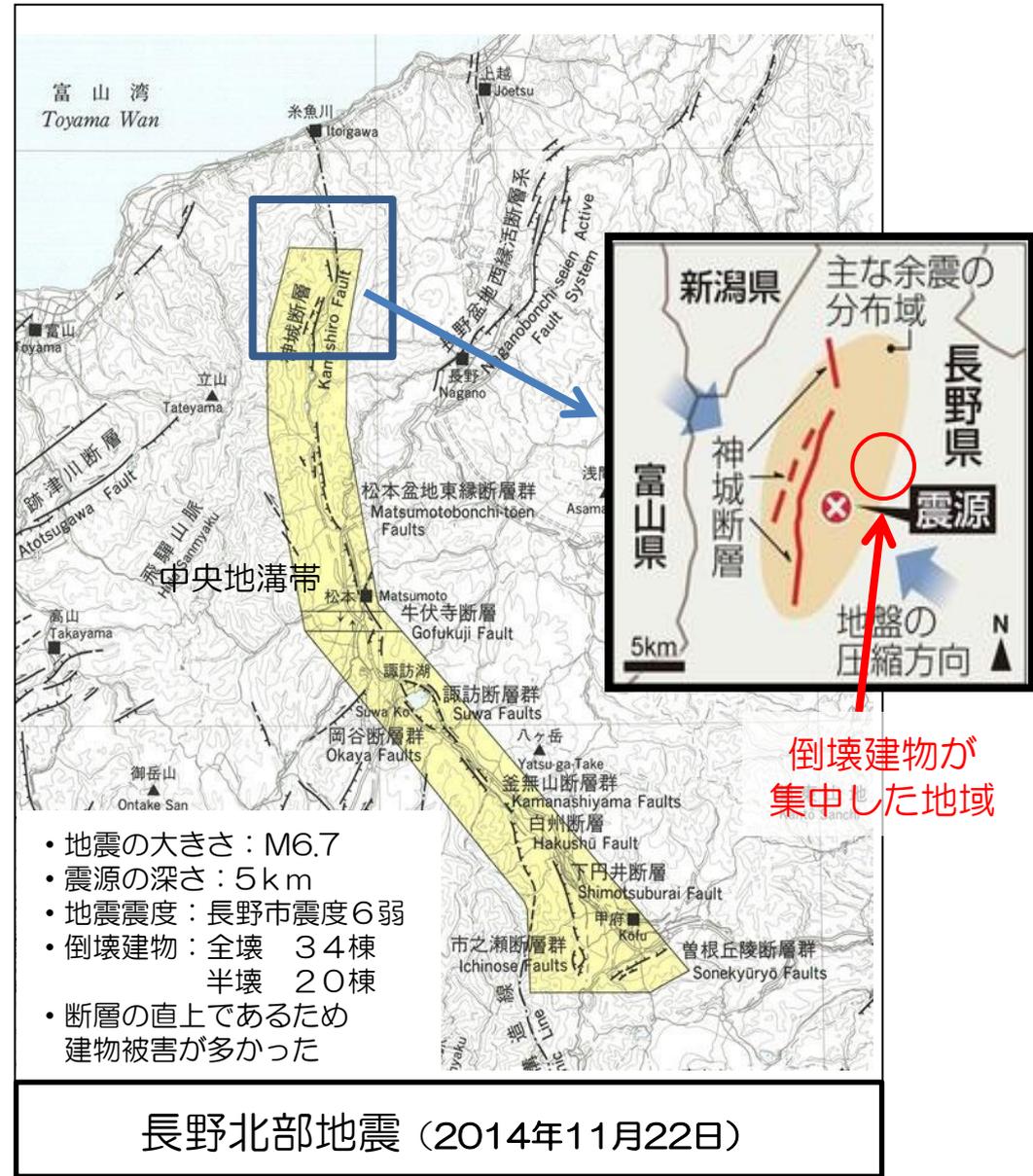
西日本では九州と近畿の中央構造線上に活断層が集中している

最近、このあたりでの地震が多い

1. これまでの大地震とその被害 阪神淡路大震災と熊本地震の活断層は繋がっている



熊本地震の断層と震度 (2016年)

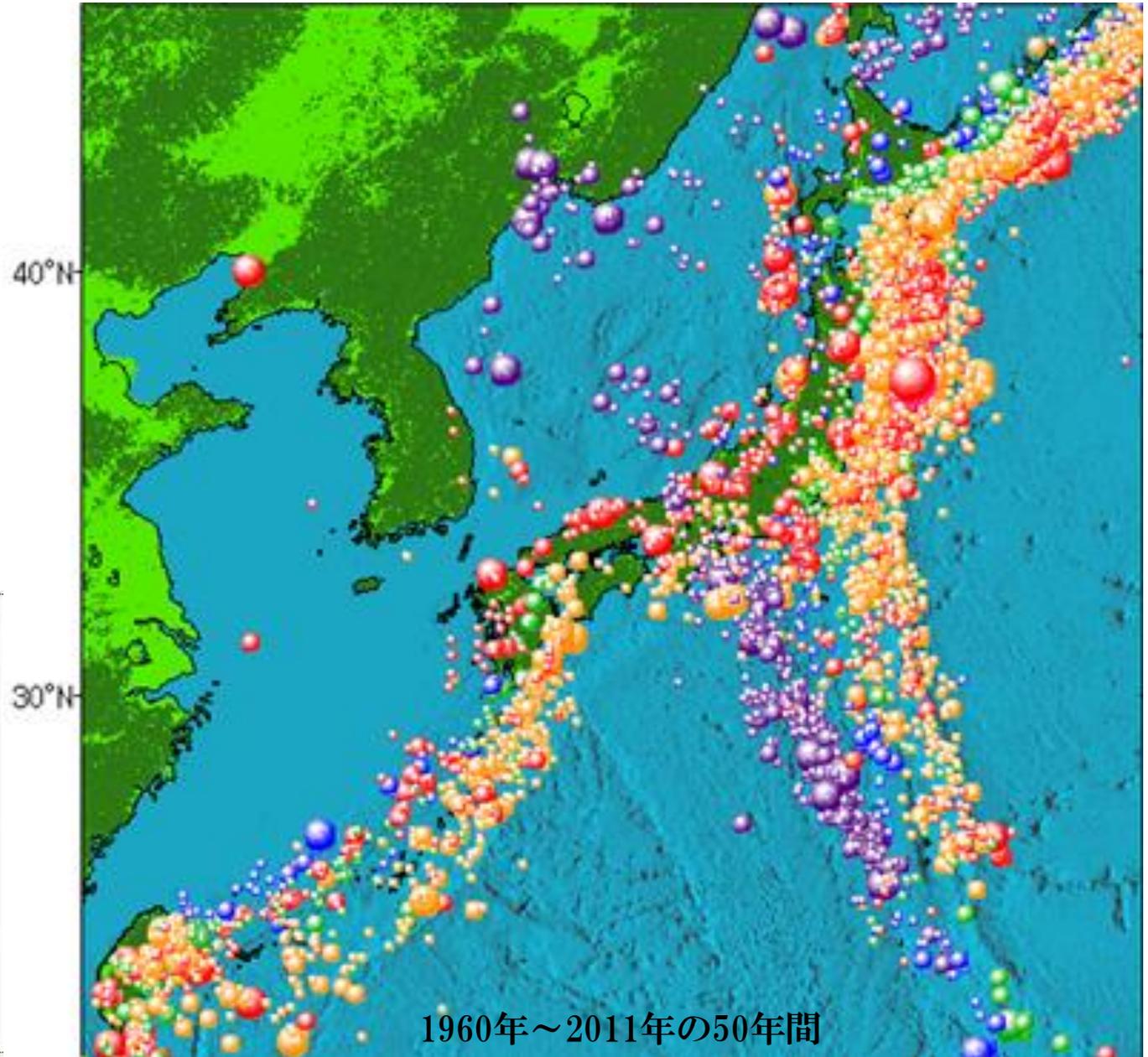
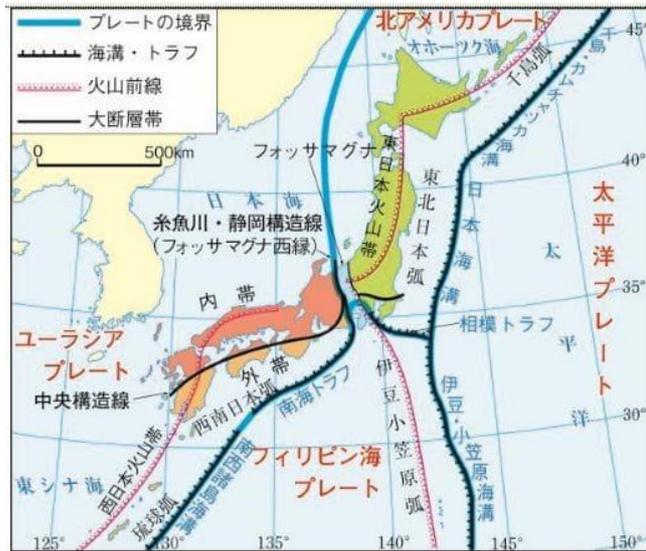


1. これまでの大地震とその被害 日本周辺で50年間に発生した地震

地震の大きさ
マグニチュード

震央の深さ
km

M9		0~30	
M8		30~80	
M7		80~150	
M6		150~300	
M5		300~700	



1960年~2011年の50年間

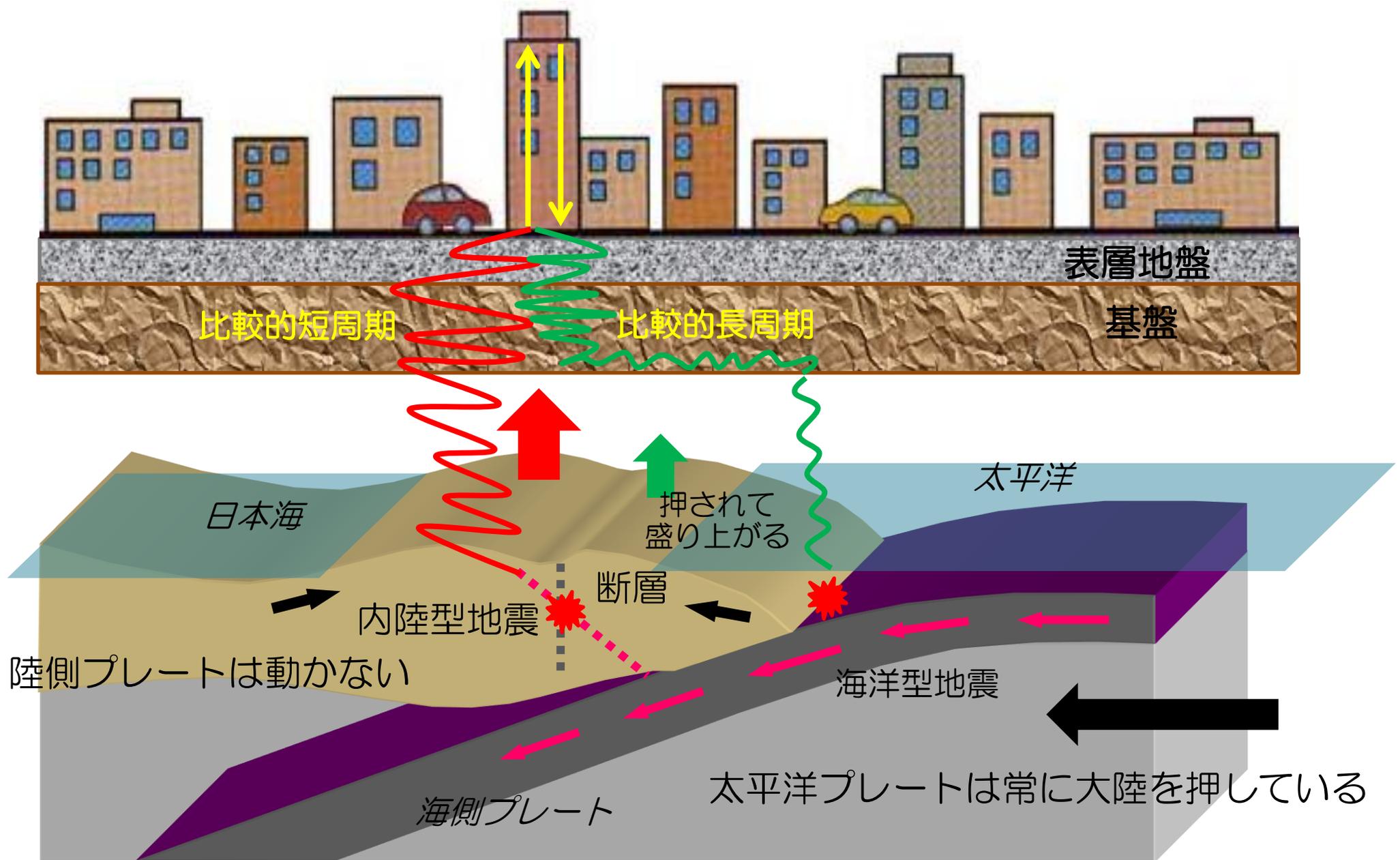
1. これまでの大地震とその被害

有史以来京都・琵琶湖周辺で発生した大地震

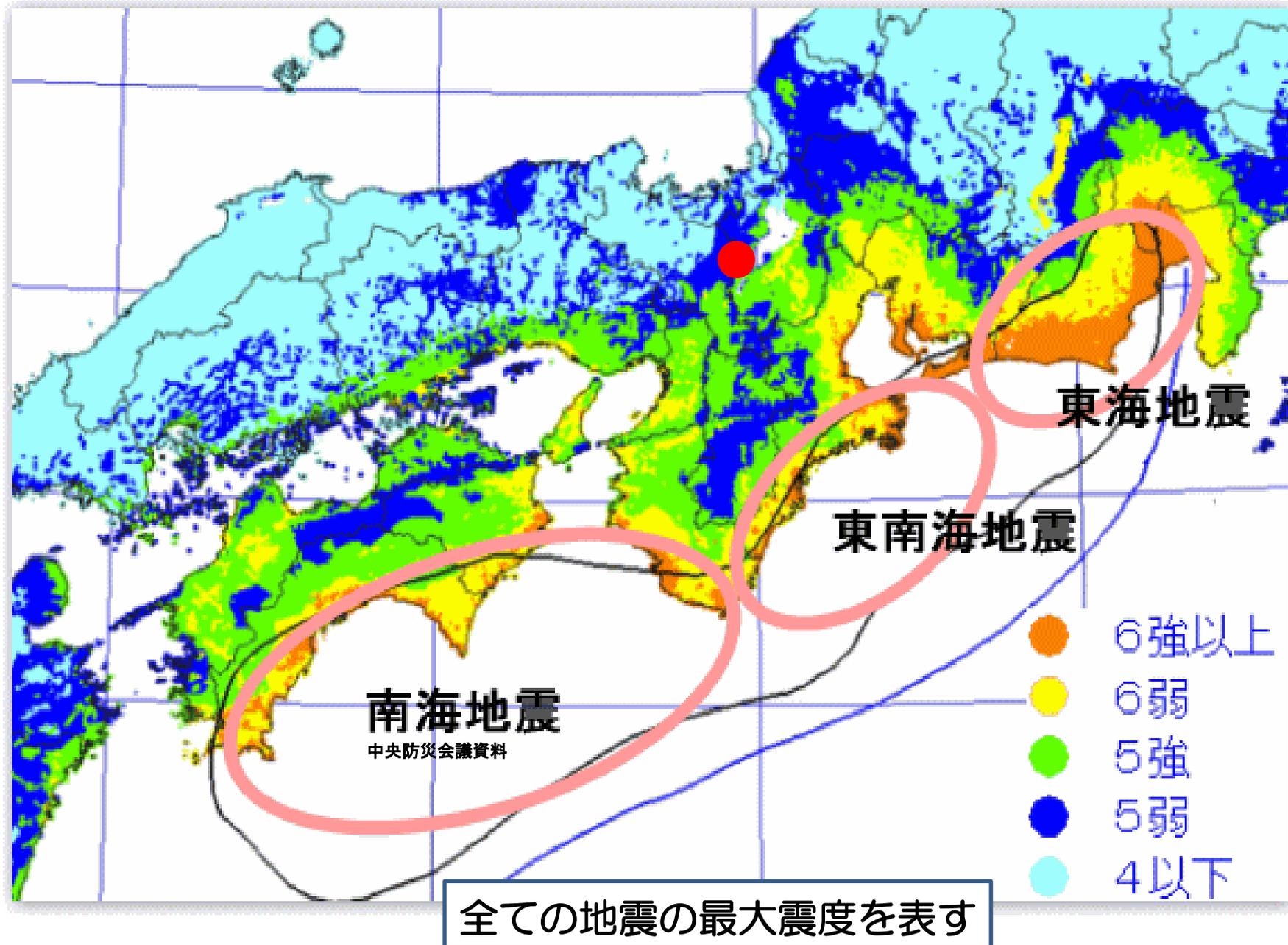
発生年	地震の通称	推定地震規模	推定被害
684	白鳳地震（天武地震）	M8.0以上	南海トラフ連動型地震？
887	仁和地震（五畿七道大地震）	M7.4	京都、摂津で被害、死者多数
976	山城・近江地震	M6.7以上	死者50人超
1185	文治地震（元暦大地震）	M7.4	琵琶湖の水が北流の記録あり
1241	京都で地震	震度5以上（京都）	死者多数
1299	大阪、京都で地震	震度5以上	
1317	京都で地震	M6.5～7.0	
1449	山城・大和地震	M6.5	死者多数
1474	京都で大地震	不明	
1510	摂河内地震	M6.5～7.0	余震が2ヶ月ほど続く
1520	永正地震	M7.0以上	

発生年	地震の通称	推定地震規模	推定被害
1585	大阪・京都・伊勢で地震	不明	
1596	慶長伏見地震（慶長伏見大地震、文禄の大地震）	M7.5	京都や堺で死者計1000人超
1662	寛文近江・若狭地震（寛文琵琶湖西岸地震）	M6.5	死者数千人
1819	文政近江地震	M7.2	死者多数
1830	京都地震	M6.5	二条城損壊
1909	江濃地震（姉川地震）	M6.8	死者41人
1925	北但馬地震	M6.8 最大震度6	死者428人
1927	北丹後地震	M7.3 最大震度6	死者2925人
1995	兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）	最大M7.3 最大震度7	死者、行方不明者6437人
2013	淡路島地震	M6.3 最大震度6弱	津波無し、負傷者35人
2018	大阪北部地震（高槻地震）	M6.1 最大震度6弱	ブロック塀倒壊死者6名

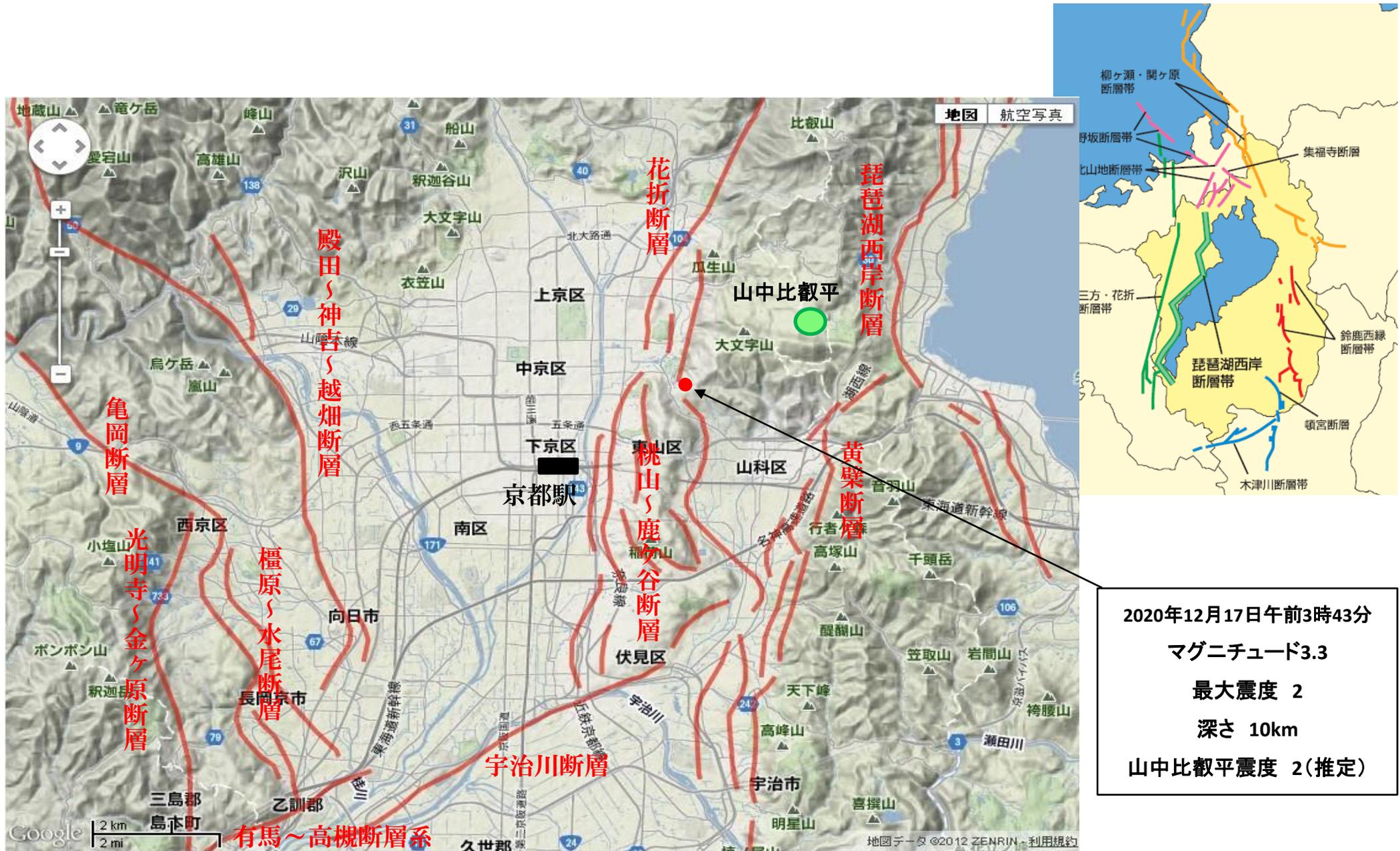
2. 山中比叡平での大地震の影響 地震発生メカニズム



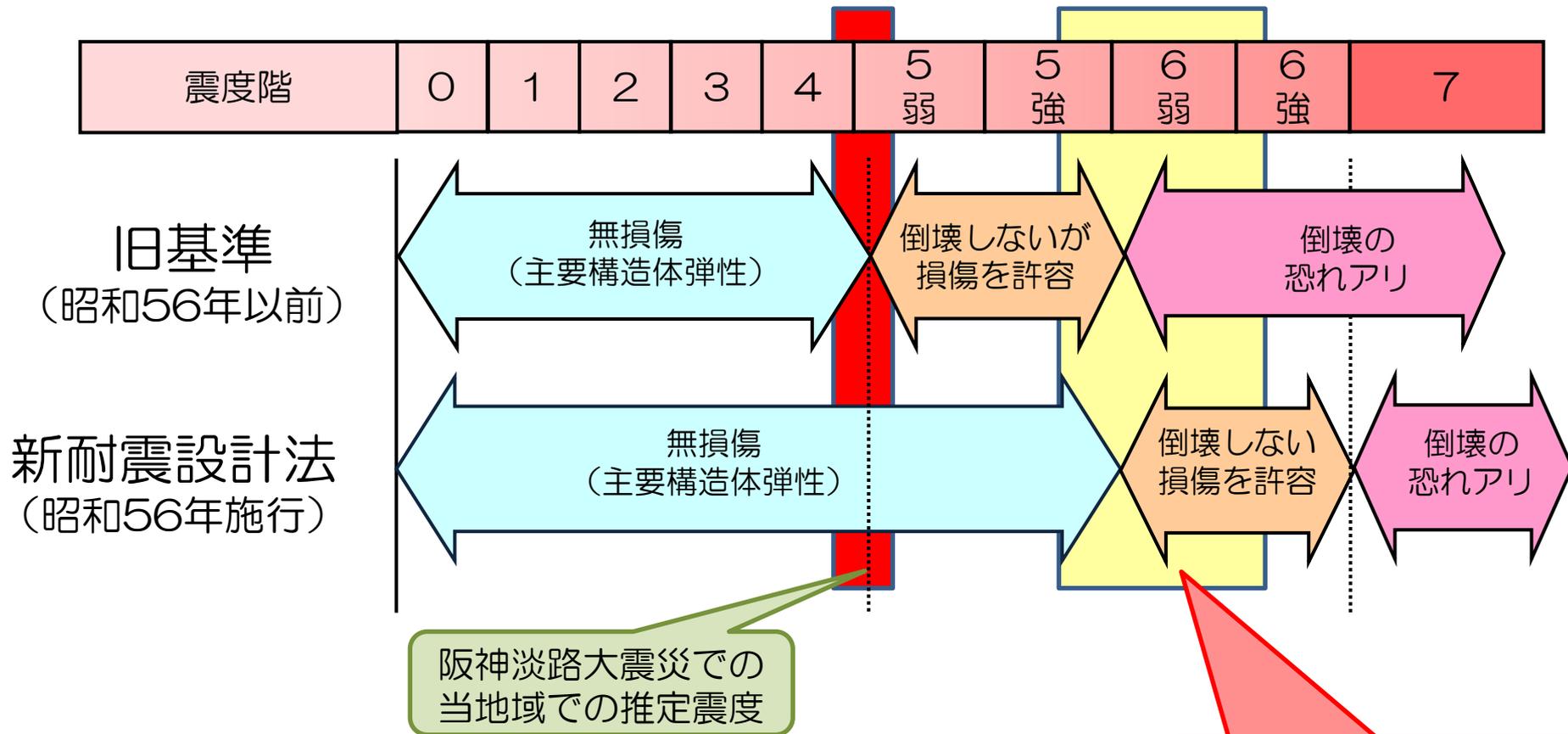
2. 山中比叡平での大地震の影響 近い将来想定される海洋型巨大地震



2. 山中比叡平での大地震の影響 京都・琵琶湖周辺には活断層が多い



3. どんな家が大地震に弱いのか 耐震設計基準と山中比叡平での想定される地震震度

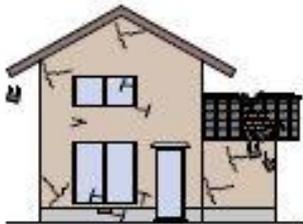


構造体無損傷	倒壊しないが 損傷を許容	倒壊の恐れあり
人命安全 建物資産価値あり	人命安全 建物資産価値無し	人命危険 建物資産価値無し

想定されている大地震が発生した時の当地域の推定最大震度

- 花折断層地震 震度5強～6弱
- 琵琶湖西岸地震 震度6弱～6強
- 南海トラフ地震 震度5強～6弱

3. どんな家が大地震に弱いのか 旧法で設計された建物の地震被害

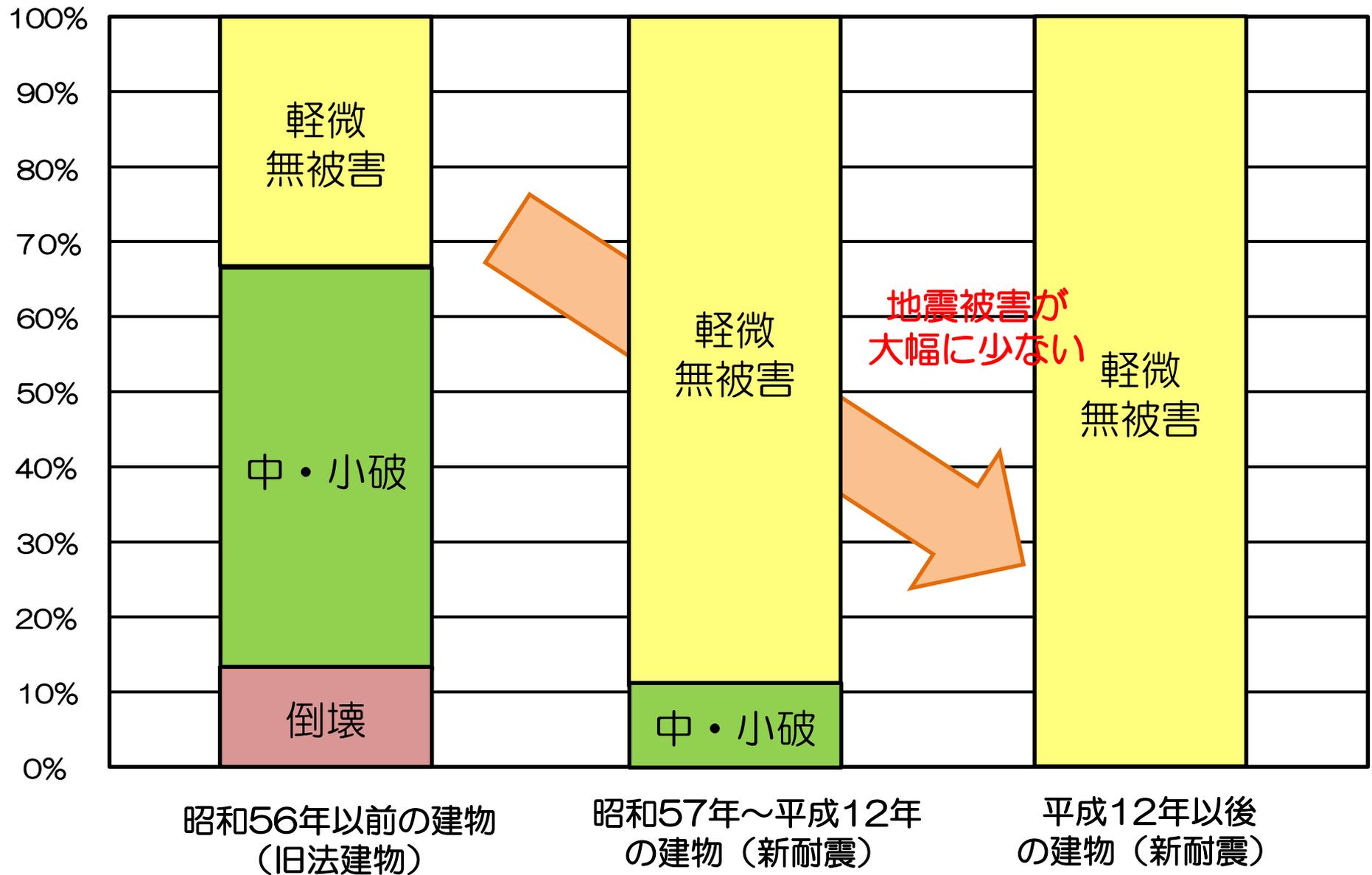
被害予想	地震震度	建物の状態	被害の様子	被害状況
無被害	震度4以下	倒壊しない		<ul style="list-style-type: none"> ● 家具の転倒 ● 壁紙に「しわ」が入る
小被害	震度5弱	一応倒壊しない		<ul style="list-style-type: none"> ● 部分的なタイルのはがれ ● 瓦のずれ、部分落下 ● 壁紙の部分的な破れ
中被害	震度5強	倒壊する可能性がある		<ul style="list-style-type: none"> ● 内部仕上げのはがれ ● 建具枠の変形 ● 外部仕上げのはがれ
倒壊	震度6弱以上	倒壊する可能性が高い		<ul style="list-style-type: none"> ● 柱や梁の破断 ● 人的被害 ● 近隣への影響大

3. どんな家が大地震に弱いのか 耐震関係の建築基準法の改定

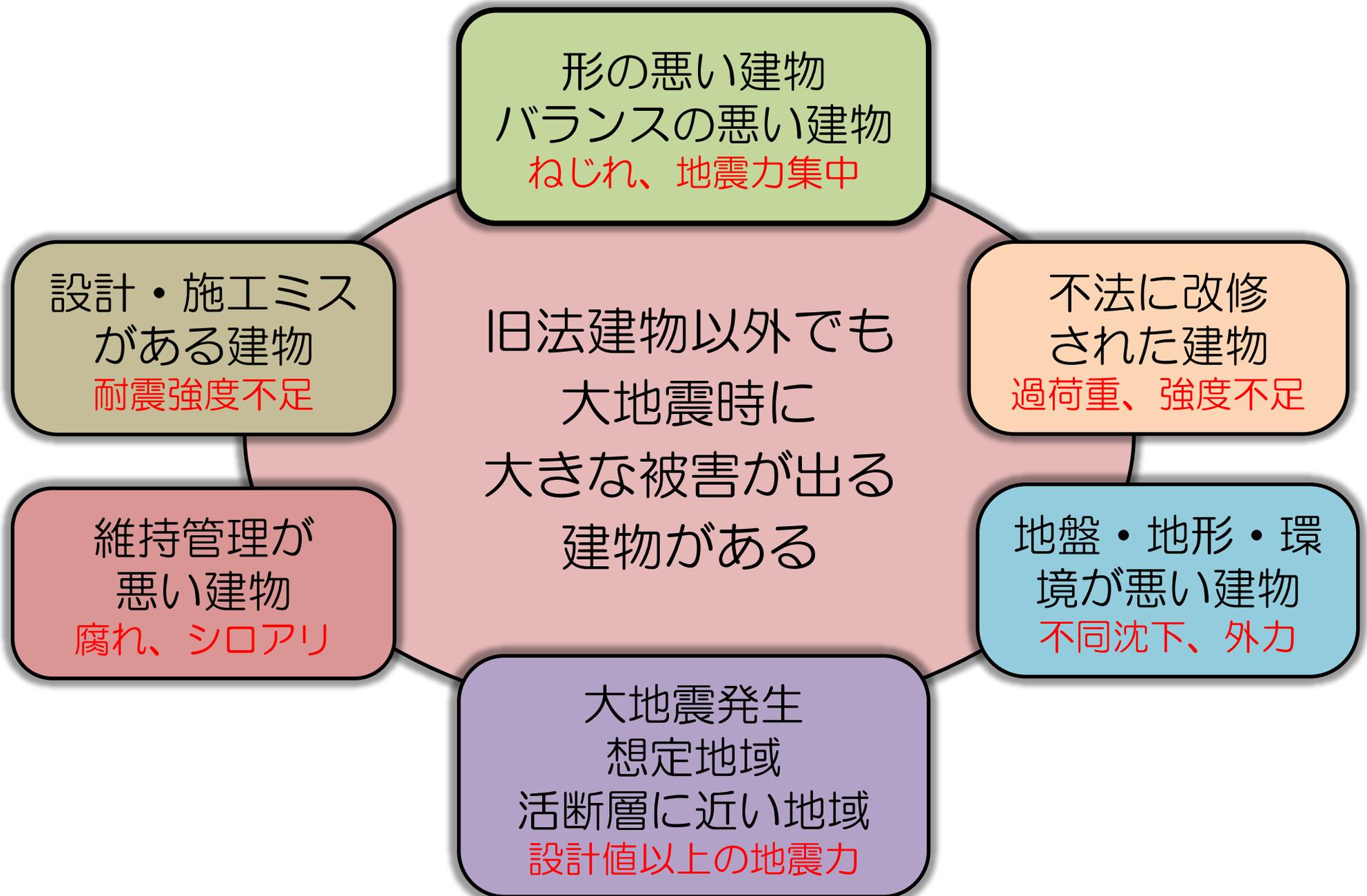
建築基準法における耐震関係規定改正の流れ	
昭和56年建築基準法 施行令改正新耐震基準 (1981年)	<ul style="list-style-type: none"> 昭和53年の宮城県沖地震後、耐震設計基準が大幅に改正され、新耐震設計基準が誕生した。 新耐震設計基準による建築物は、阪神大震災においても被害は少なかったとされている。 これを境に、「昭和56年5月以前の耐震基準の建物」や「昭和56年6月以降の新耐震基準による建物」といった表現がされるようになる。
平成12年建築基準法 改正 (2000年)	<ul style="list-style-type: none"> 住宅の品質確保の促進等に関する法律（住宅性能表示制度） 構造の安定、火災時の安全、高齢者等への配慮など、住宅の性能について評価し、住宅取得者に対して住宅の性能に関する信頼性の高い情報を提供する仕組み 木造住宅においては、 <ol style="list-style-type: none"> 1) 地耐力に応じて基礎を特定。地盤調査が事実上義務化。 2) 構造材とその場所に応じて継手・仕口の仕様を特定。
平成25年11月施行 建築物の耐震改修の促 進に関する法律 (2013年)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建築物の耐震化の促進のための規制措置（耐震診断の義務付け、結果の公表） 2. 建築物の耐震化の円滑な促進のための措置 <p>耐震改修計画の認定、区分所有建築物の耐震改修に係る認定、耐震性に係る表示制度</p>

3. どんな家が大地震に弱いのか 旧基準と新耐震基準の地震被害の比較

(熊本大地震の鉄筋コンクリート造建物被害事例)

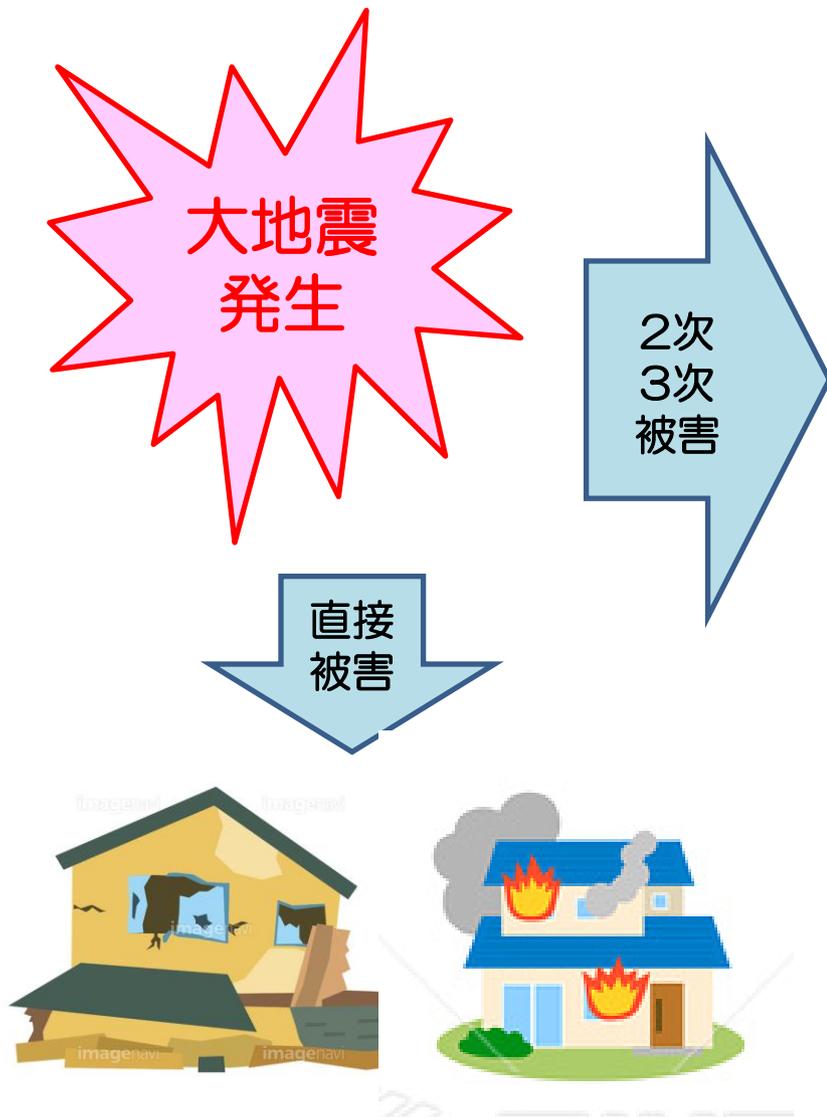


3. どんな家が大地震に弱いのか 地震で建物が壊れる6つの原因



3. どんな家が大地震に弱いのか

山中比叡平地区で起こりうる大地震時の2次・3次被害



大地震の2次被害	起こる可能性
1. 津波被害	起こらない
2. 山崩れがけ崩れの住宅被害	起こる可能性少
3. 液状化、地盤沈下	起こらない
4. 道路通行止め	起こる可能性大
5. 長期間停電	起こる可能性大
6. 上水道遮断	起こる可能性中
7. 下水使用不可	起こる可能性中
8. ガス遮断	起こる可能性大
9. 通信障害	起こる可能性中
10. 倒木、ブロック塀倒壊	起こる可能性大
11. 延焼火災	起こる可能性少

3. どんな家が大地震に弱いのか 地震被害が発生した建物の特徴

❑ 地震被害を受ける建物は必ず弱点を持っている

➤ 設計が悪い

建物の形が悪い

硬いところに地震力は集まる

地震力の流れが途切れている

➤ 設計通りの地震耐力を持っていない

❑ 部材の壊れ方次第で建物は倒壊しない

➤ 骨組みの固い所に地震力は集まる

➤ ある構造部材が破壊すればその部分には

地震力はそれ以上はならない

➤ 柱が壊れた場合は建物は倒壊する

➤ 理想的な壊れ方は 壁→梁→柱 で壊れる

建物である

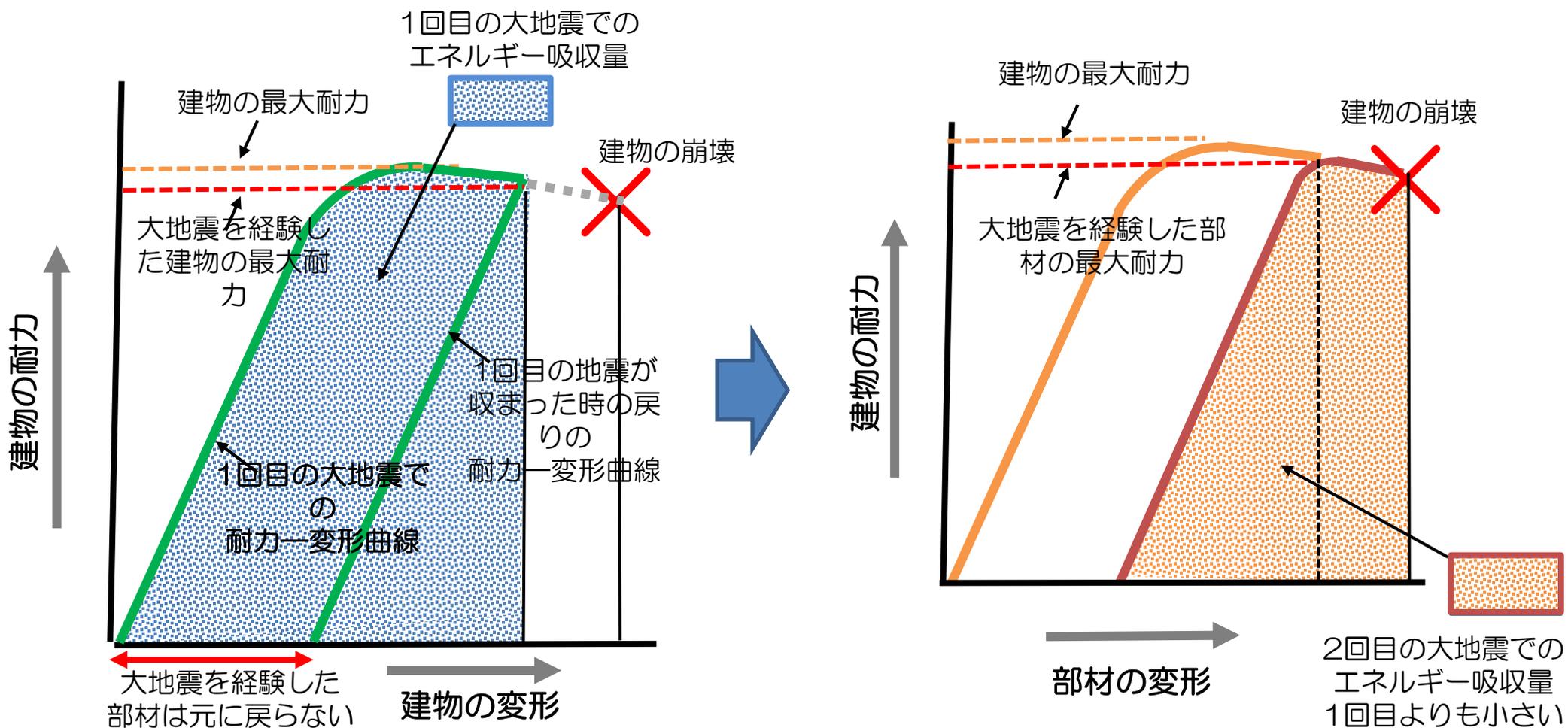
❑ 鉄筋コンクリート壁式構造は地震に強い

➤ 壁式構造は壁量が多いため極端に不正形な建物でなければ

旧法でも十分な耐震性を保持している場合が多い



3. どんな家が大地震に弱いのか 大地震を経験した建物は地震時耐力が低下する



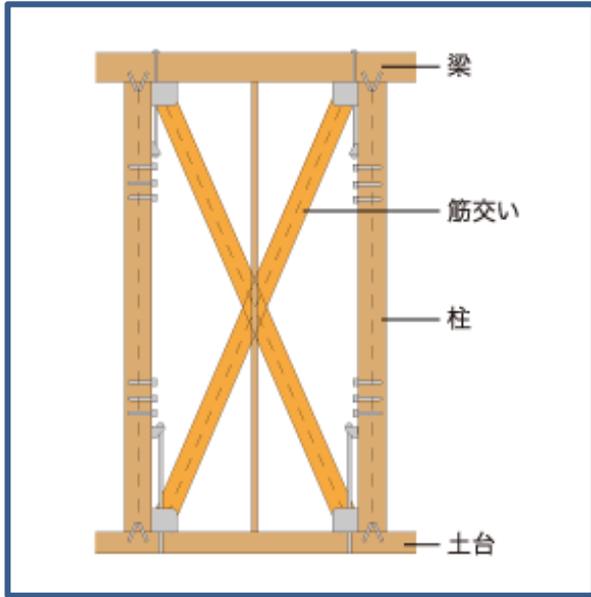
地震時耐力低下の原因1

一般的に木造家屋の固有周期は 0.2~0.5 秒であるが、ダメージを受けると固有周期が延びて、1.0~2.0秒のキラーパルスに近づき共振を起こしやすくなる

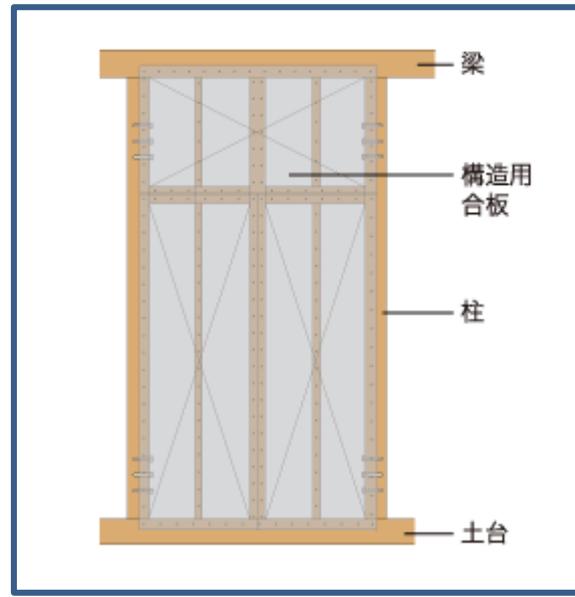
地震時耐力低下の原因2

- 柱梁仕口部金物の耐力低下
- コンクリートの亀裂
- 鉄筋の伸び（降伏点を超える）
- 鉄筋とコンクリートの付着力の低下

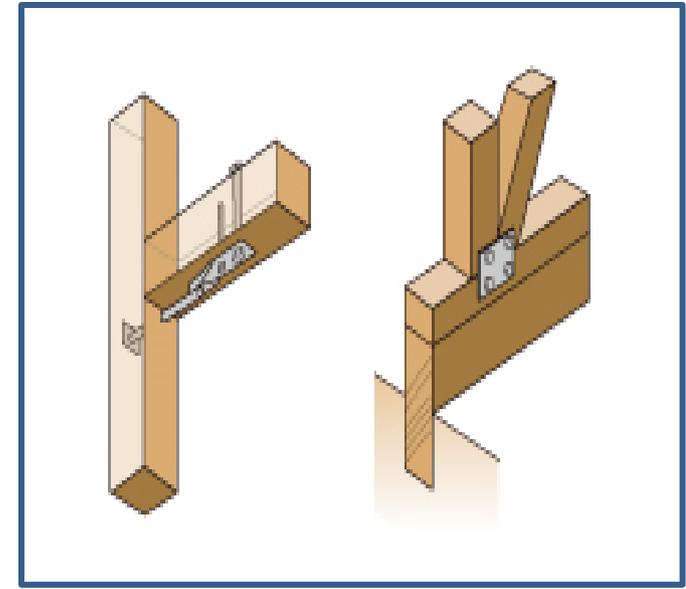
4. 地震に強い建物を作るには 木造住宅の一般的な耐震補強



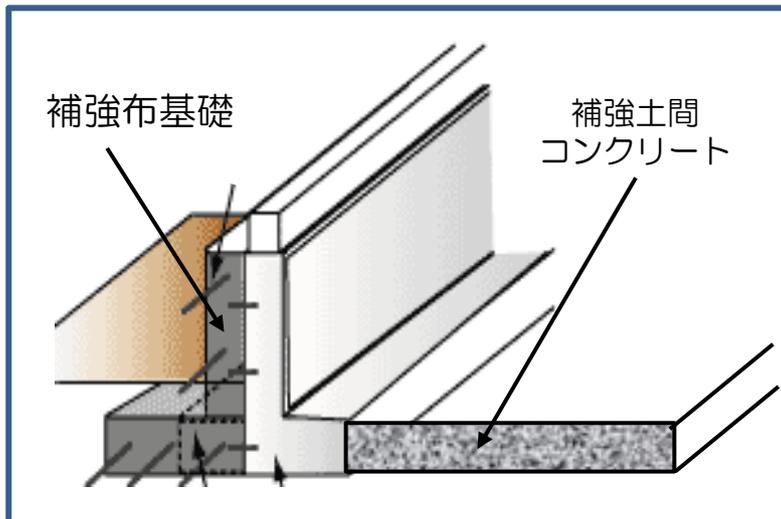
筋かいによる耐震補強



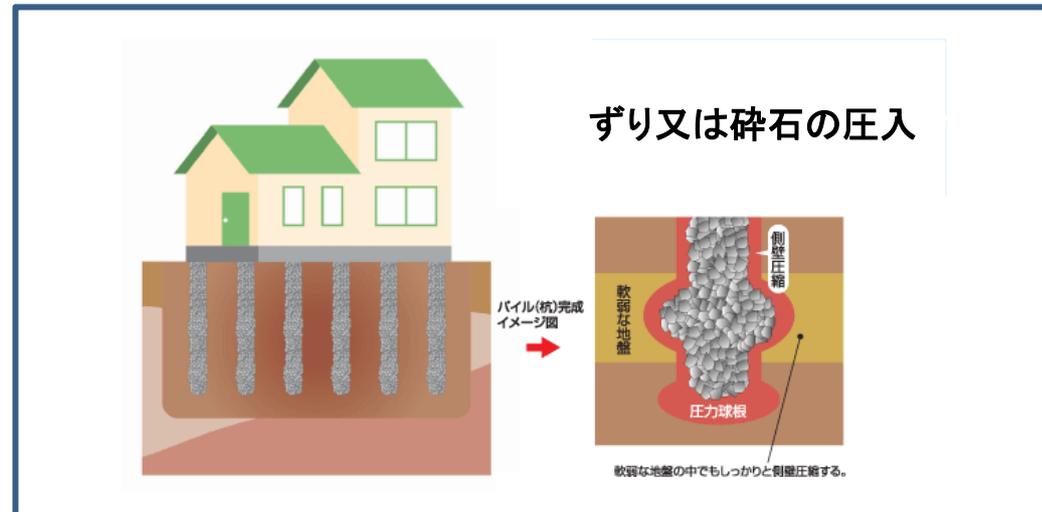
構造用合板による
耐震補強



柱はりの金物補強



無筋布基礎の耐震補強



軟弱地盤の杭補強

4. 地震に強い建物を作るには 木造住宅の特殊な耐震補強



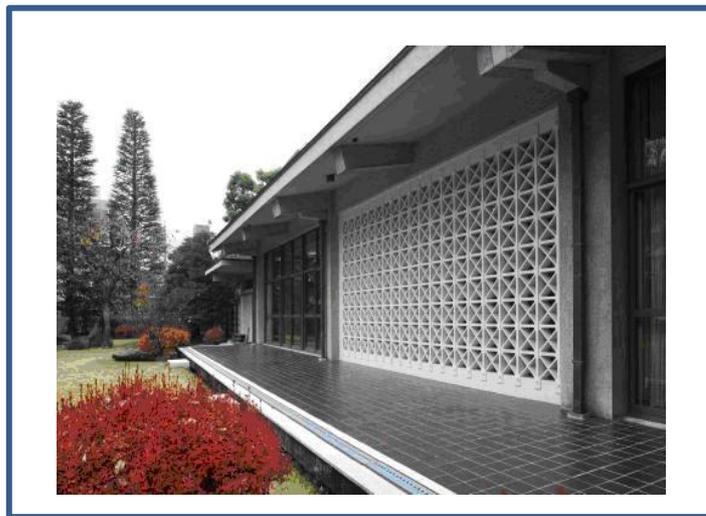
増築補強



屋根の軽量化補強



減築補強



デザインされた耐震壁補強



建物の免震化

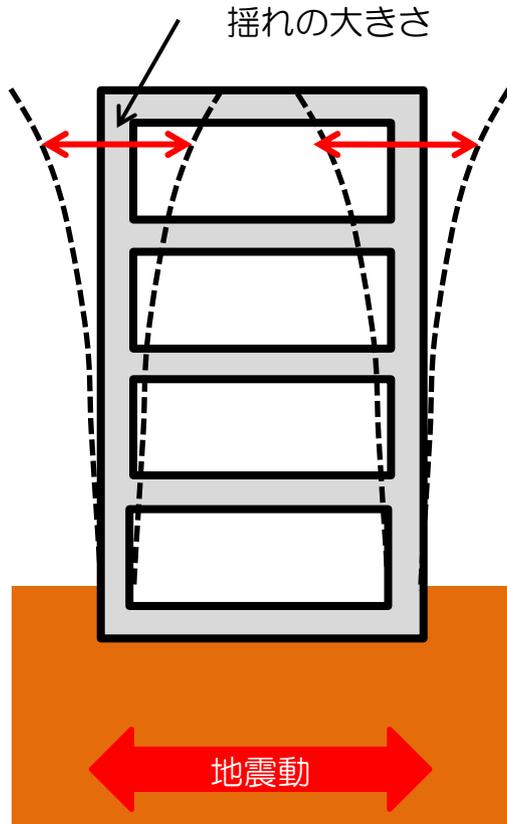


柱はり仕口部の制振化

4. 地震に強い建物を作るには 耐震・免震・制震

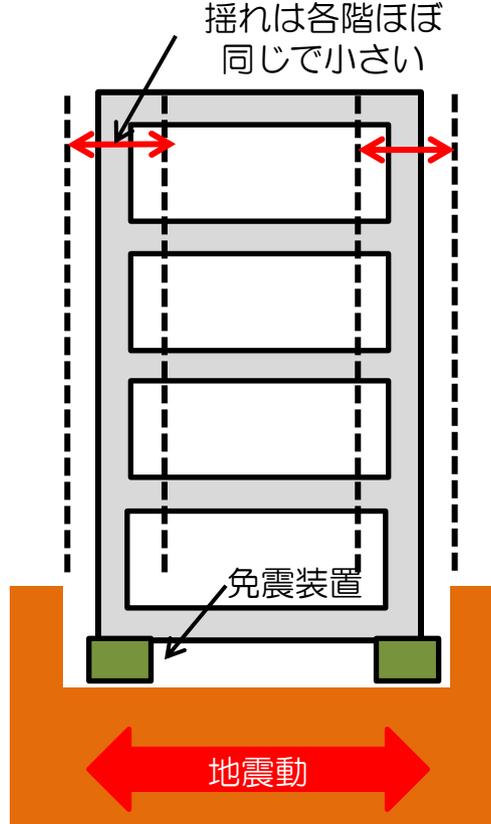
耐震構造

柱、梁、耐震壁で強度と粘りを持たせて地震に耐える構造形式。上階に行くほど揺れが大きい。



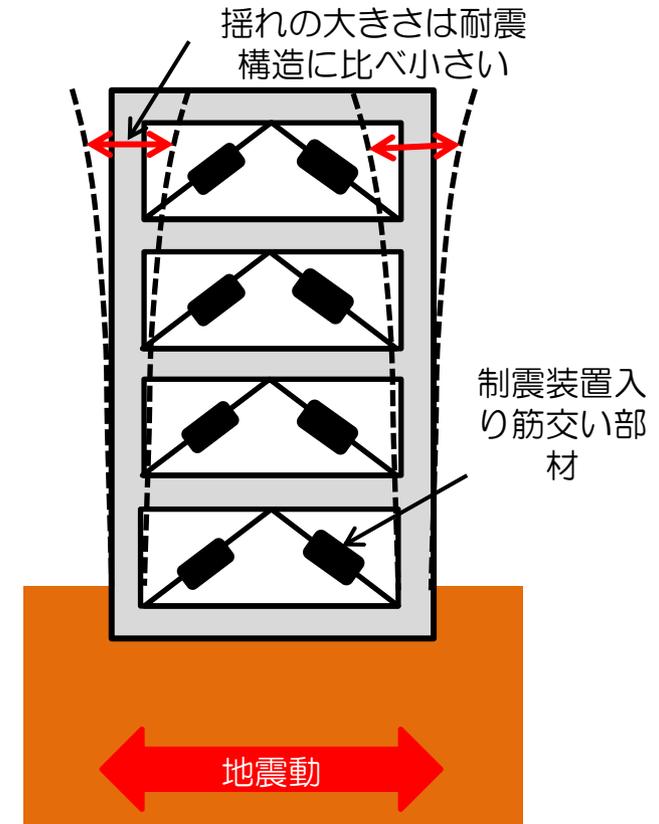
免震構造

建築物を積層ゴム支承などの免震装置で支持し、地震時入力を低減する構造形式。建物の周りに建物変形分の隙間が必要となる。

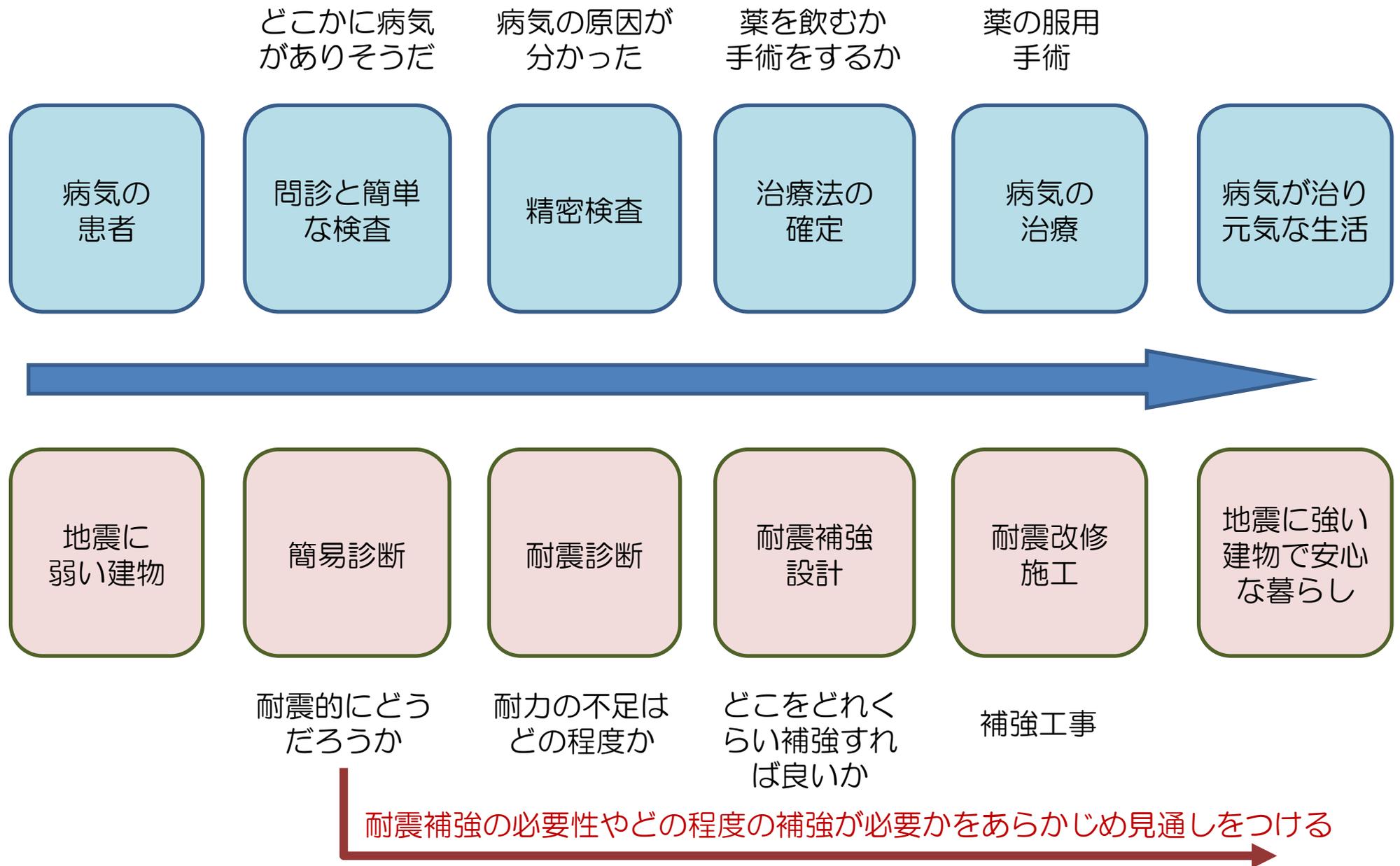


制震構造

各階の耐震壁部分に制震装置を入れ地震力を吸収する構造形式。耐震構造に比べ揺れは小さくなる。



4. 地震に強い建物を作るには 耐震改修とは医者が病気を治すことと同じ



4. 地震に強い建物を作るには 我が家の耐震改修の進め方（建築年からの判定）

建物の建設年		1950年以前	1950年～1981年	1981年～2000年	2000年～
法律上の耐震強度		市街地建築物法 震度5弱以上の地震で倒壊の危険性あり	旧建築基準法 震度5強以上の地震で倒壊の危険性あり	新耐震設計法 震度6強以上の地震で倒壊の危険性があり	品確法 確実な施工がなされることが規定される
建物構造の部位	基礎	玉石基礎が多い	無筋コンクリート布基礎が多い	鉄筋コンクリート布基礎 土間コンクリート無し 基礎は地耐力で算定	鉄筋コンクリート布基礎 +土間コンクリート 基礎地盤の厳密化
	耐力壁	ほとんどない	筋かい	筋かい、合板耐震壁	筋かい端部金物取付
	柱梁接合部	ほぞきり仕口部 くさびを入れている場合もある	ほぞきり仕口部 精度が良くない、 木材の乾燥収縮	ほぞきり仕口部 金物を補強している場合もある	金物付きほぞきり仕口部
	建物のバランス	考慮されていない	考慮されていない	偏心率考慮	偏心率考慮強化
	シロアリ対策	考慮されていない	考慮されていない	規定はない	土間コンクリート打設
中古住宅購入時の融資制度		耐震補強を行い、耐震基準適合証明書取得	耐震補強を行い、耐震基準適合証明書取得	設計図書、建物調査で耐震基準適合証明書取得	設計図書の確認

4. 地震に強い建物を作るには 我が家の耐震改修の進め方（現状はどうか）

建物 本体

設計不良
施工不良
建材不良
メンテ不備
旧法建物
不法増改築
軟弱地盤

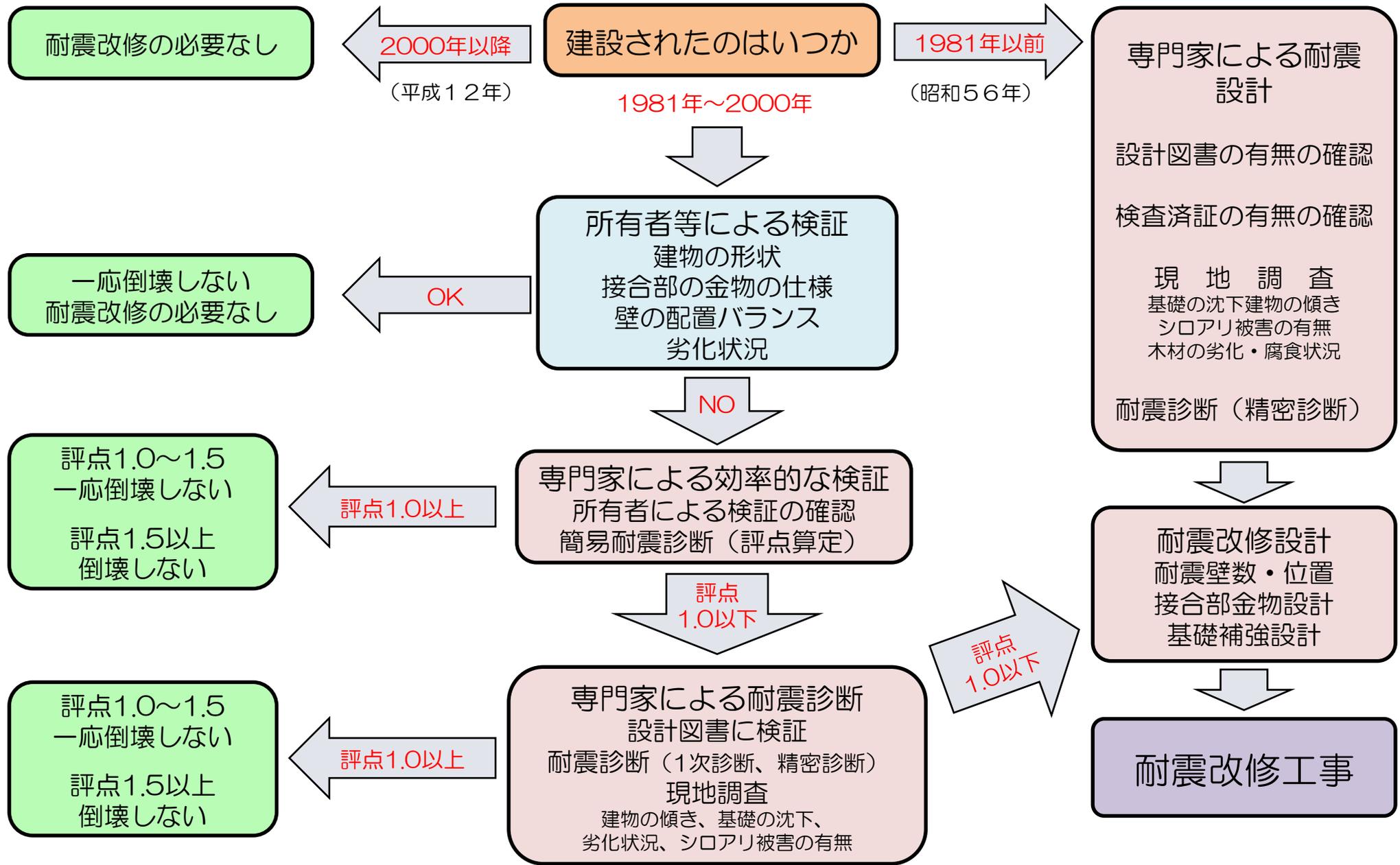
- 見るからに不安定な建物である
- 建物が傾いている
- 柱・梁に亀裂が多い
- 錆が多く発生している
- 重たいものを乗せすぎている
- 不法に柱・梁・壁を取り除いている
- 天井・家具の固定がいい加減である
- シロアリ被害がある

建物 周辺 地域

軟弱地盤
埋土造成地
石垣、塀
巨木
不良工作物
隣接建物
地滑り地帯
断層地帯

- 過去に大地震が起こった地域である
- 活断層に近い地域である
- 地盤沈下がある
- 急な崖が近くにある、過去に土砂崩れがあった
- 近くに川がある
- 宅地開発に不備がある
- ブロック塀、万年塀が傾いている
- 電柱が古くなっている

4. 地震に強い建物を作るには 我が家の耐震改修の流れ（新耐震基準に合致するようにするには）



5. 大地震への心得、13のポイント 日頃の心得

1のポイント 建物の外壁回りに物を置かない

- 木造家屋の地震による倒壊のほとんどは土台の欠損である
- ✓ 欠損の原因はシロアリの被害と木材の腐れ
- ✓ 対策は風通しを良くし、湿気をなくすこと

2のポイント 家具、吊り物の耐震対策

- タンス、本箱の転倒防止金具の取り付け
- 照明器具、装飾の落下防止対策
- 寝るときはタンスや本箱のない部屋に

3のポイント 地震災害時の我が家の生活の在り方を考えておく

- 停電対策、断水対策、食料の確保
- 避難場所と避難場所までの経路を確認しておく
- 地震発生直後に電話をかける人を決めておく
- 地震後の家族の集合場所を決めておく

5. 大地震への心得、13のポイント 地震発生時・直後の行動

4のポイント 地震だ！ まず身の安全を 揺れている間は動かない

- テーブルの下に隠れる、ベットから降りて床に伏せる
- テレビ・ラジオ・携帯で地震の状況を確認する

5のポイント 火の元確認、初期消火

- 使用中のコンロ、ストーブの確認
- 消えていない火には消火器や布団で火を消す

6のポイント あわてた行動ケガのもと

- まずは建物の被害状況を確認する

7のポイント 窓や戸を開け、出口を確保

- 危険がなければ家の中に留まる、余震はすぐには来ない

8のポイント 門や塀には近寄らない

- 門や塀は損傷を受け、倒壊しやすくなっている

5. 大地震への心得、13のポイント 地震が収まった後の冷静な行動

9のポイント 火災やがけ崩れの確認、確かな避難

- 避難場所までの安全確認
- 最小限の荷物での避難を

10のポイント 正しい情報を得、確かな行動をとる

- メディア情報、行政・防災関係者から確かな情報を得る
- 自分勝手の判断は禁物、避難は家族そろって

11のポイント 確かめ合おう我が家の安全、隣の安否

- 隣近所の被害状況の把握、被害にあった人の有無・程度の確認

12のポイント 協力し合って救出、救護

- 被害にあった人がいればすぐに対策本部に連絡、指示を仰ぐ

13のポイント 避難の前に安全確認、電気・ガス

- 避難の時は電気、ガス、水道を止めることを忘れずに