

**臺南市105年度災害防救國際研討會**  
**Prevention and reduction for natural disasters**  
**Case studies: 2016 Tainan earthquake disaster and global warming-induced  
flood/landslide disasters**

In conjunction with the 10th Joint International Symposium on Disaster Risk Management

National Tainan Living Art Center, Tainan City, Taiwan  
September 28, 2016

**結構物耐震設計與補強對策**  
RC造構造物の耐震設計と耐震補強  
**Seismic Design and Retrofit of RC Structures  
for Severe Earthquakes**

東京工業大學 河野進教授  
Prof. Susumu KONO

Urban Disaster Prevention Research Core (UDPRC)  
Laboratory for Future Interdisciplinary Research of Science and Technology (FIRST)  
Institute of Innovative Research (IIR)  
Tokyo Institute of Technology (TIT)

# 謝 辞

- **Organized by**

- 台南市 Tainan City Government
- 成功大學防災研究中心 NCKU-Disaster Prevention Research Center (NCKU-DPRC)
- 世界技術組織連盟 WFEO-Committee on Disaster Risk Management (WFEO-CDRM)
- 日本工学会 JFES

- **Supported by**

- 土木学会 Japan Society of Civil Engineers (JSCE)
- 建築学会 Architectural Institute of Japan (AIJ)

# 謝 辞

## • 台湾地震における被害調査

- 杜怡萱(成功大學) Dr. Yi-Hsuan Tu
- 李宏仁(雲林科技大學) Dr. Hung-Jen Lee
- 黃世建(台湾大學) Dr. Shyh-Jiann Hwang
- 日本建築学会

## • 熊本地震における被害調査と建研での5層載荷実験

- 建築研究所 Dr. Yi-Hsuan Tu
- 国総研
- L建研

## • 資料提供

- 石川裕次(竹中工務店) 谷昌典(京都大学) 福山洋(建築研究所) 五十嵐俊一(構造品質保証研究所) 山野辺宏治(清水建設) 小室努(大成建設)

# 日本における地震と規基準

Important event	Standards and laws in country level		Actions taken by the Japan Building Disaster Prevention Association (JBDPA) and the Architectural Institute of Japan (AIJ)
	Building Standard Law	Seismic retrofit promotion act	
1968: Off the Coast of Tokachi EQ (Shear failure of RC columns)			
	1971: Minor revision of Building Standard Law (to prevent shear failure)		
			1977: Seismic evaluation and retrofit for existing RC buildings (JBDPA)
1978: Off the Coast of Miyagi EQ			
	1981: Major revision of Building Standard Law (A new seismic design code was put into effect.)		
			1983: Seismic evaluation for existing SRC buildings (JBDPA)
			1990: Revised edition of Seismic evaluation and retrofit for existing RC buildings (JBDPA)
1995: Kobe EQ		1995: Seismic Retrofit Promotion Act	
			1997: Revised edition of Seismic evaluation for existing SRC buildings (JBDPA)
			1997: Retrofit for existing SRC buildings (JBDPA)
			1999: Seismic retrofit of RC and SRC buildings by FRP (JBDPA)
			2001: Revised edition of Seismic evaluation and retrofit for existing RC buildings (JBDPA)
			2002: Design and Construction Guidelines of Continuous Fiber Reinforced Concrete (AIJ)
2004: Forgery by a state licensed engineer.			
	2005: Minor revision of Building Standard Law		
		2006: Minor revision of Seismic Retrofit Promotion Act	
			2009: Revised edition of Seismic evaluation and retrofit for existing SRC buildings (JBDPA)
			2010: Revised edition of Seismic retrofit of RC and SRC buildings by FRP (JBDPA)
2011: Tohoku EQ			
			2013: Major revision of Seismic Retrofit Promotion Act

# 新耐震設計法 1981年

# 新耐震設計法 1981年

建築基準法施行令

- 2段階設計法の採用
  - 1次設計で許容応力度設計
  - 2次設計で保有水平耐力の検定
  
- 動的応答特性の導入
  - 固有周期に応じて水平荷重の高さ方向分布決定 ( $A_i$ 分布)
  - 固有周期と地盤に応じて地震入力低減 ( $R_t$ )
  - 建物の粘り強さに応じて入力低減 ( $D_s$ )
  - 平面と立面のバランスで入力割増 ( $F_{es}$ )

# 新耐震設計法 1981年

## • 一次設計

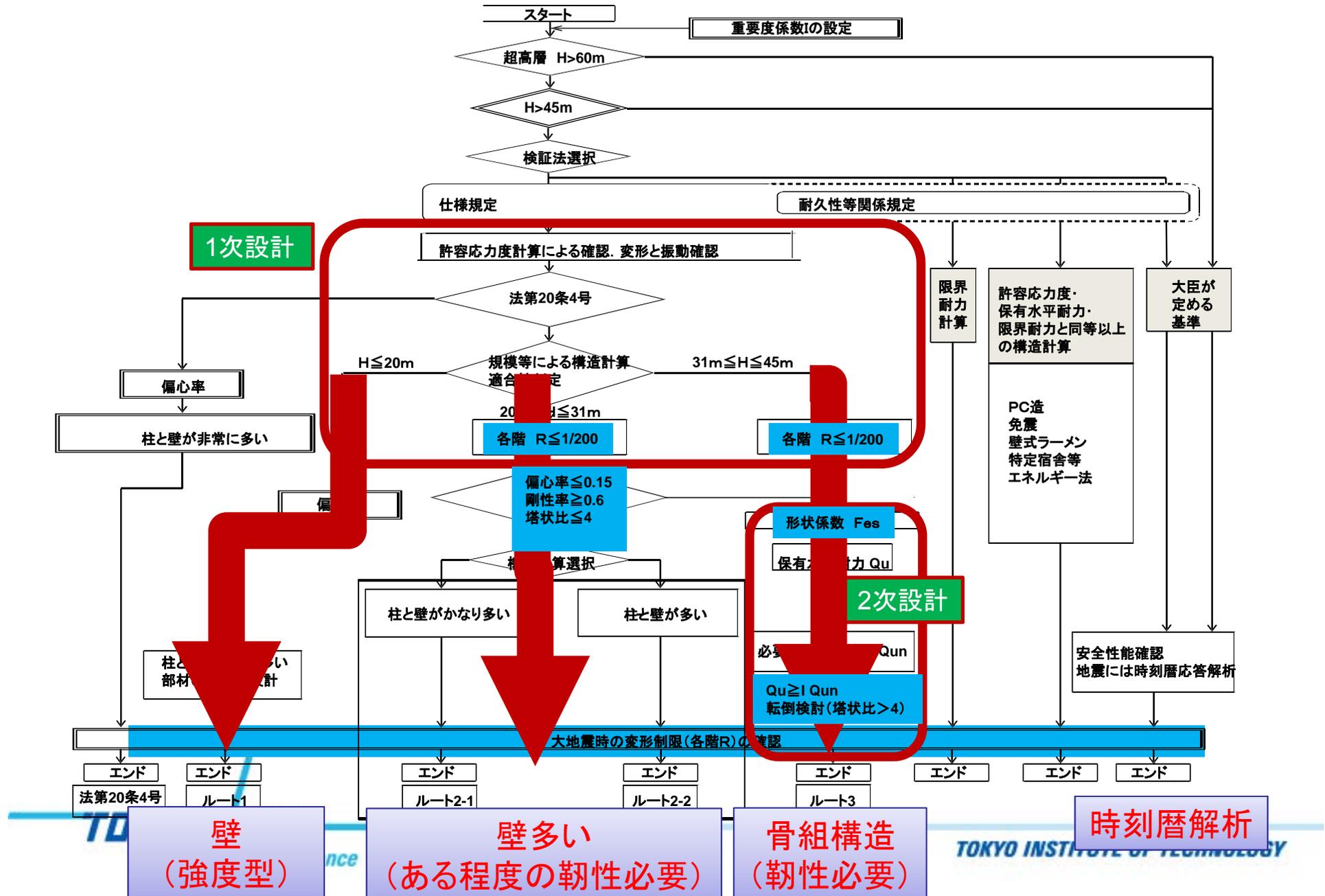
- 比較的頻度の高い中小地震動に対して、ほとんど被害がない。(許容応力度設計により、使用性に必要な建物の強度を確保する。)
- 中小地震:耐用年限中に数度  $80\text{cm}-100\text{cm}/\text{s}^2$ , (震度V弱)

## • 2次設計

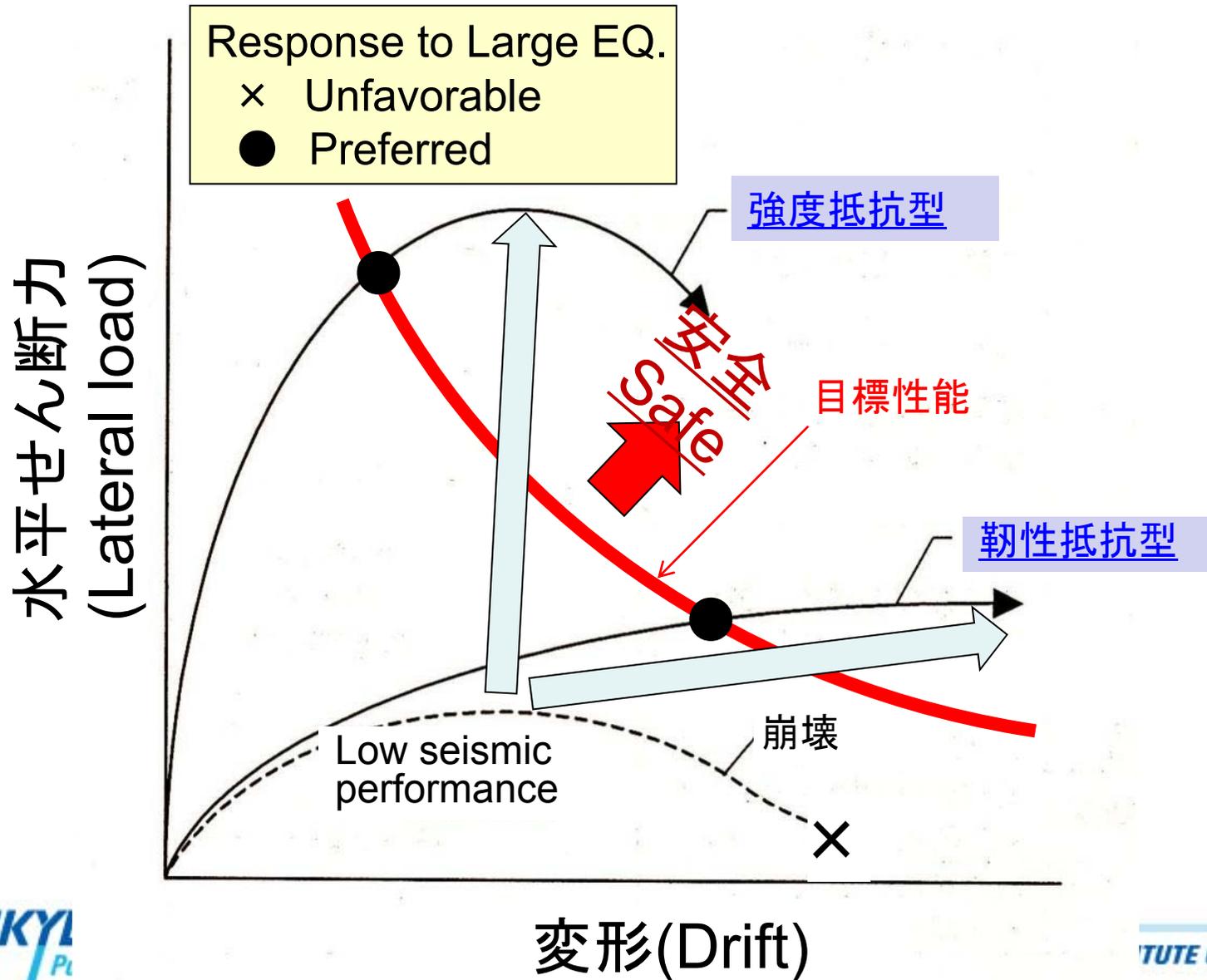
- 極めて稀な大地震に対して、重大な損傷がなく崩壊しない。(建物の崩壊から人命を守るため、保有水平耐力を検定する。)
- 大地震:耐用年限中に1度程度  $300\text{cm}-400\text{cm}/\text{s}^2$ , (震度VI以上)



# 新耐震設計法 1981年に基づくRC造の構造計算フロー (2015年版)



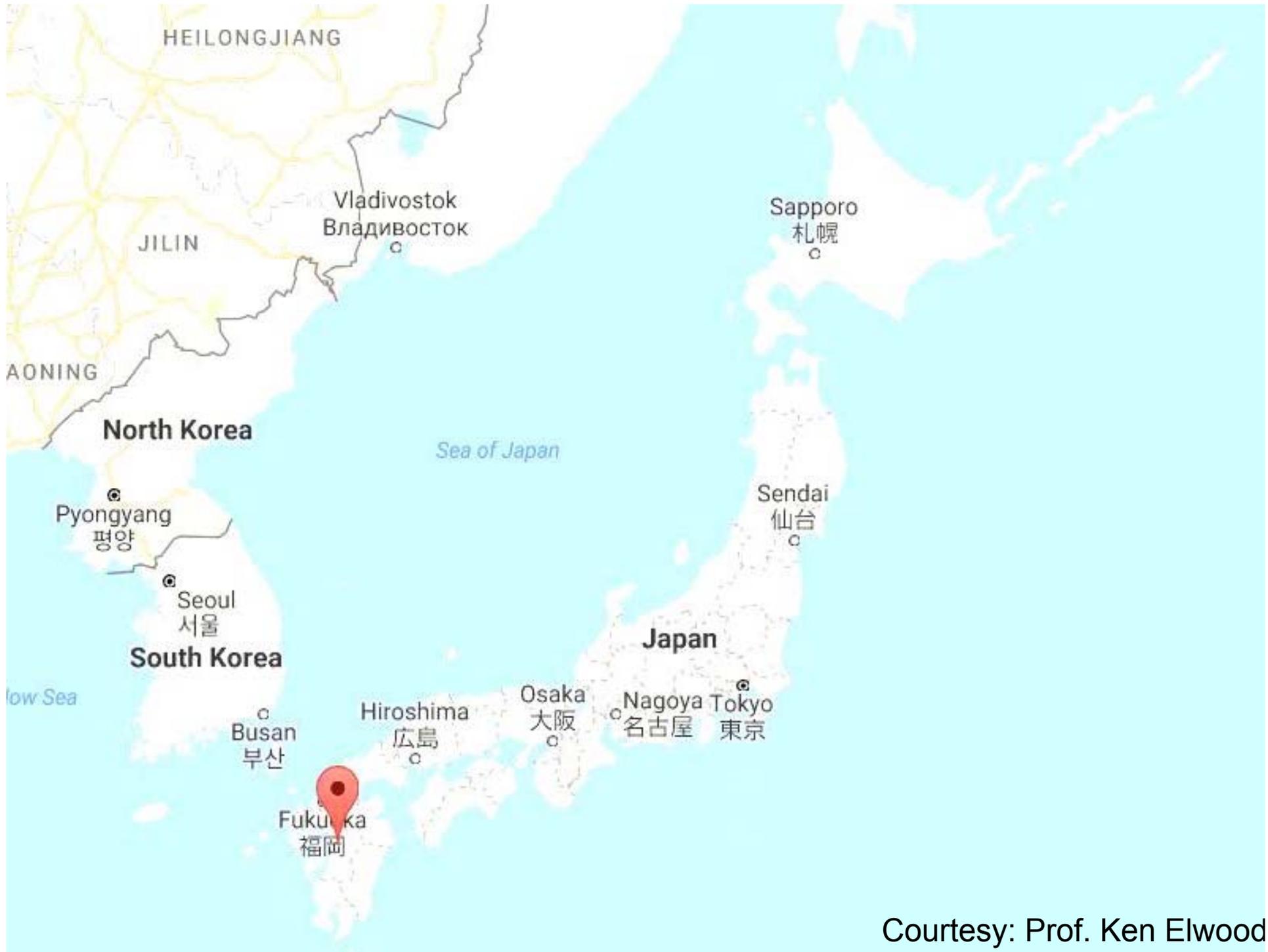
# 日本における耐震設計の考え方



# 新耐震設計法 1981年

- 1995年 兵庫県南部地震(阪神大震災)
  - ピロティ構造の被害
    - 顕著に剛性が低い階では, 保有水平耐力を大きくしておく.
  - ねじれ振動による被害
    - 剛心とと重心位置が大きく離れた偏心が大きい建物では, 大きな変形でも破壊しないように保有水平耐力を確保する.
- 図をのせる.

## 2016年熊本地震での被害状況



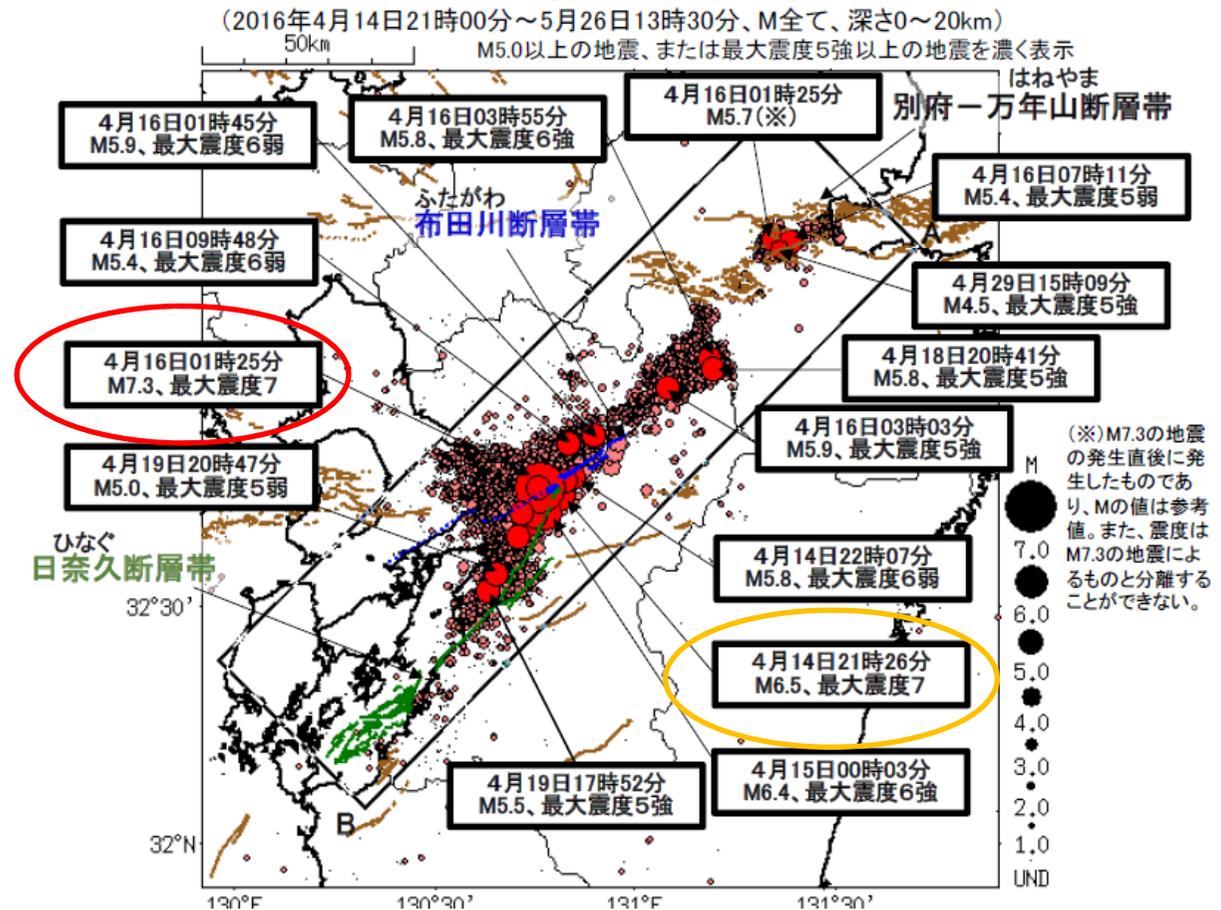
Courtesy: Prof. Ken Elwood

# 2016年熊本地震

- 4月14日の地震
  - 発生場所: 8km SSE of Tamana, JAPAN
  - 発生時間(現地時間): 2016-04-14 21:26:36 at epicenter
  - 発生時間(UTC): 2016-04-14 12:26:36 UTC
  - Location: 32.849° N 130.635° E
  - Magnitude(Mw): 6.2
  - Depth: 10.0km(6.2mi)
- 4月16日の地震
  - 発生場所: 1km WSW of Kumamoto-shi, Japan
  - 発生時間(現地時間): 2016-04-16 01:25:06 at epicenter
  - 発生時間(UTC): 2016-04-15 16:25:06 UTC
  - Location: 32.782° N 130.726° E
  - Magnitude(Mw): 7.0
  - Depth: 10.0km(6.2mi)

# 熊本県から大分県にかけての地震活動の状況 (5月26日13時30分現在) by 気象庁

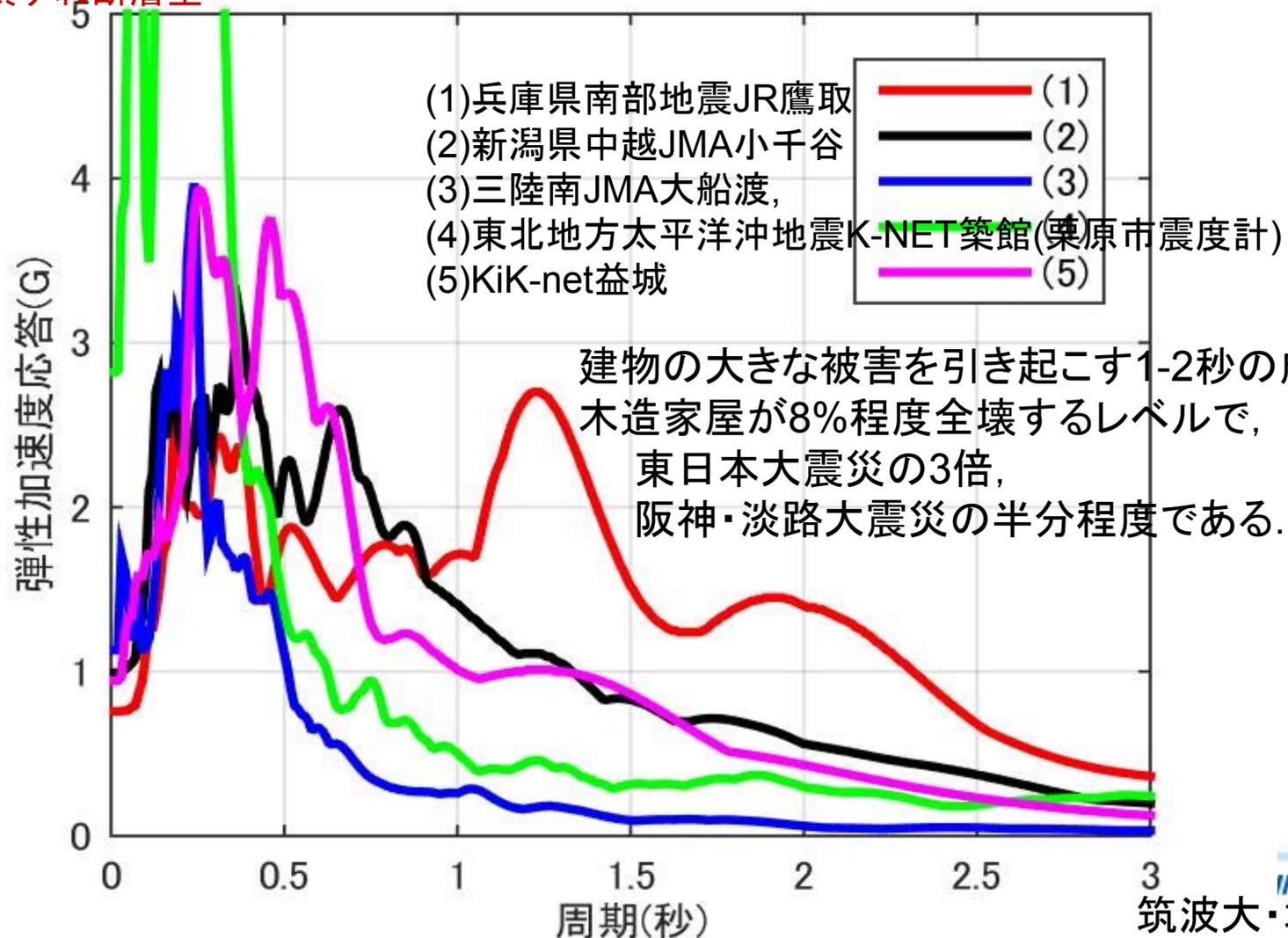
「平成28年（2016年）熊本地震」  
熊本県から大分県にかけての地震活動の状況（5月26日13時30分現在）  
震央分布図



# 前震(2016/04/14)の地震動

弾性加速度応答スペクトル(減衰定数5%, 水平2方向ベクトル和)

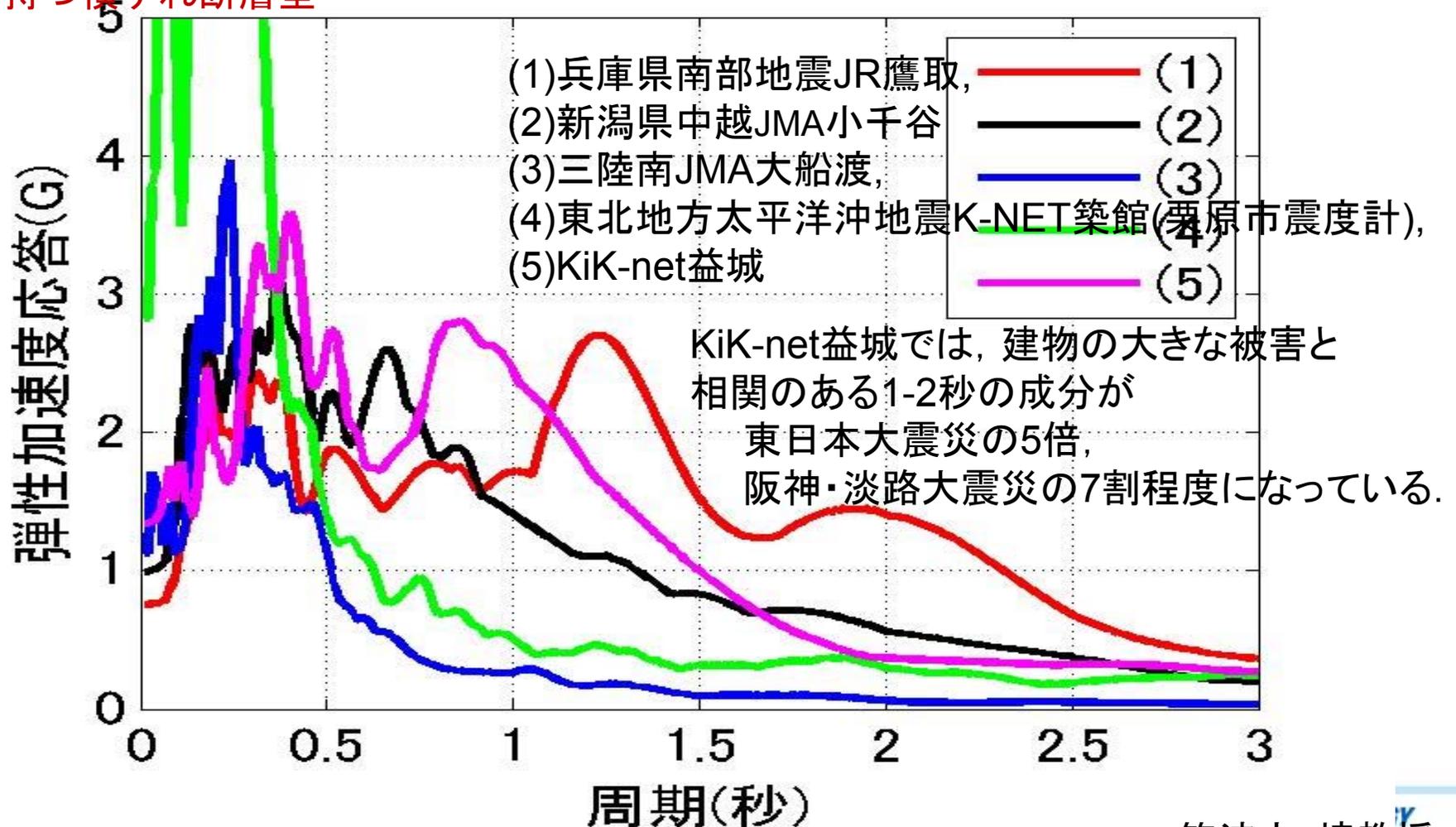
発震機構は北北西-南南東方向に  
張力軸を持つ横ずれ断層型



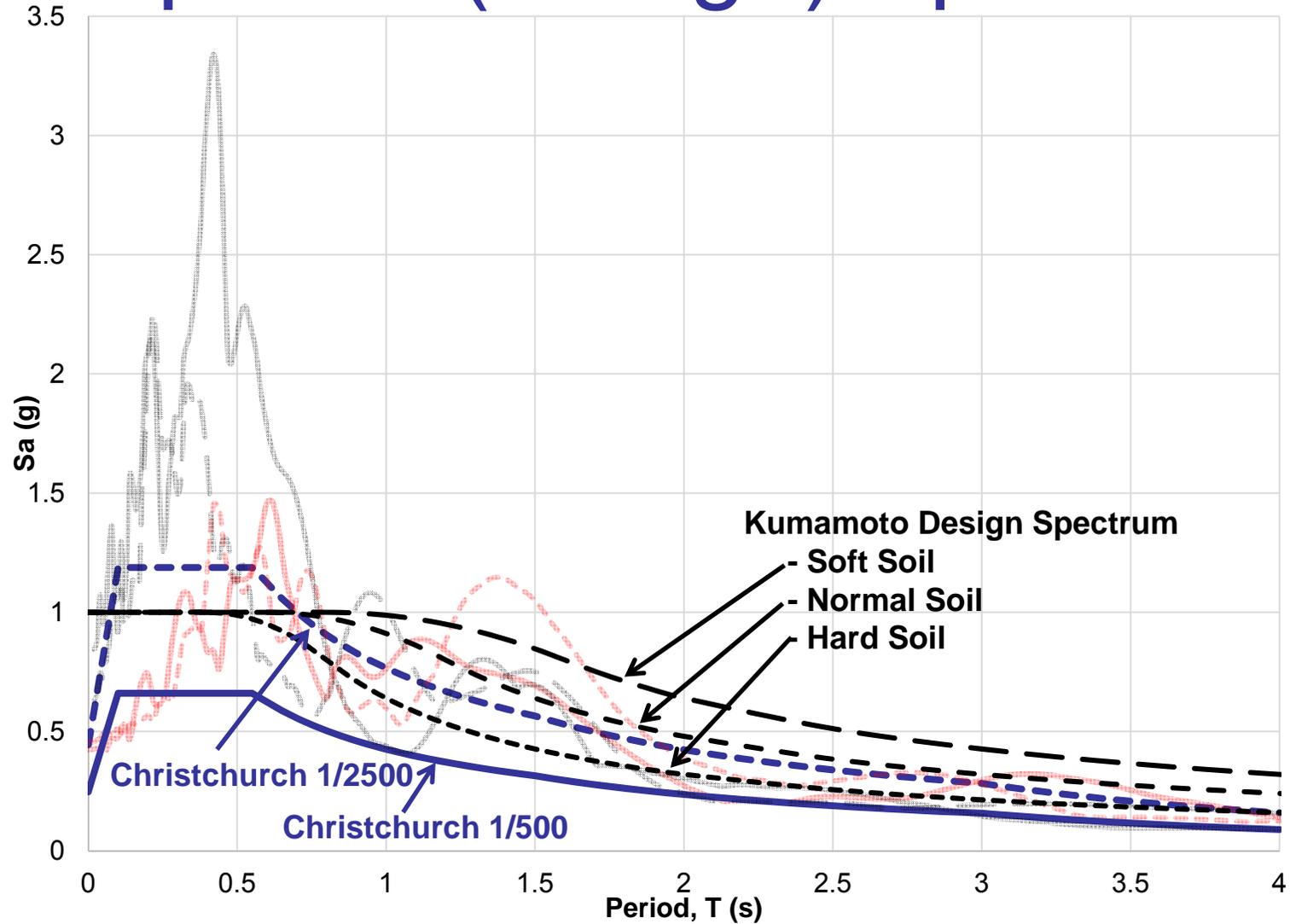
# 本震(2016/04/16)の地震動

弾性加速度応答スペクトル(減衰定数5%, 水平2方向ベクトル和)

発震機構は南北方向に張力軸を持つ横ずれ断層型



# Response (Design) Spectrum

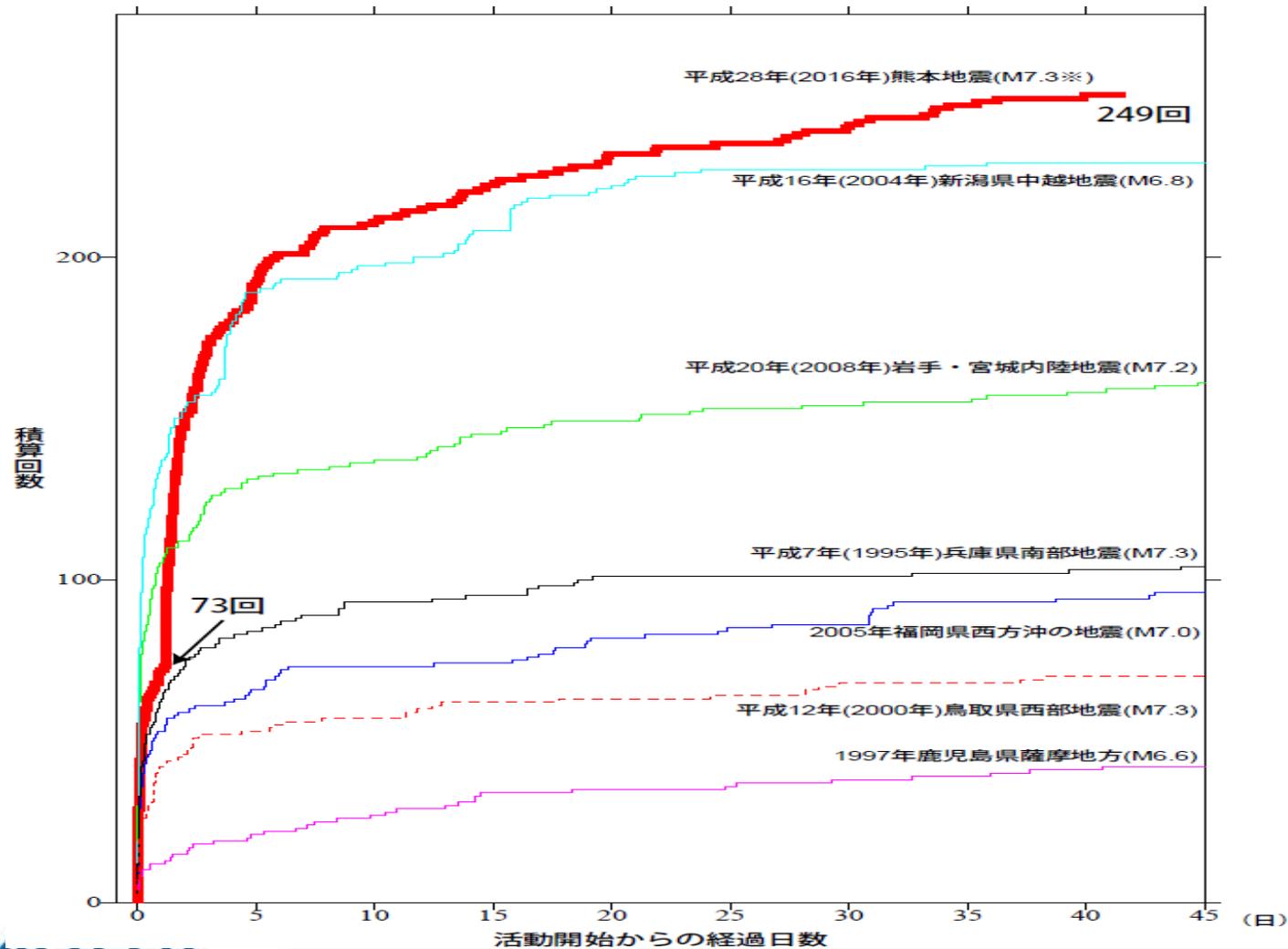


Courtesy: Prof. Ken Elwood

# 内陸及び沿岸で発生した主な地震の 地震回数比較

(マグニチュード3.5以上)

2016年05月26日13時30分現在 気象庁



# 土砂崩れ

Land slide - Aso



# 熊本城の地震被害

Slope failure of historic civil infra



# 熊本城の地震被害



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺



# 益城町役場周辺





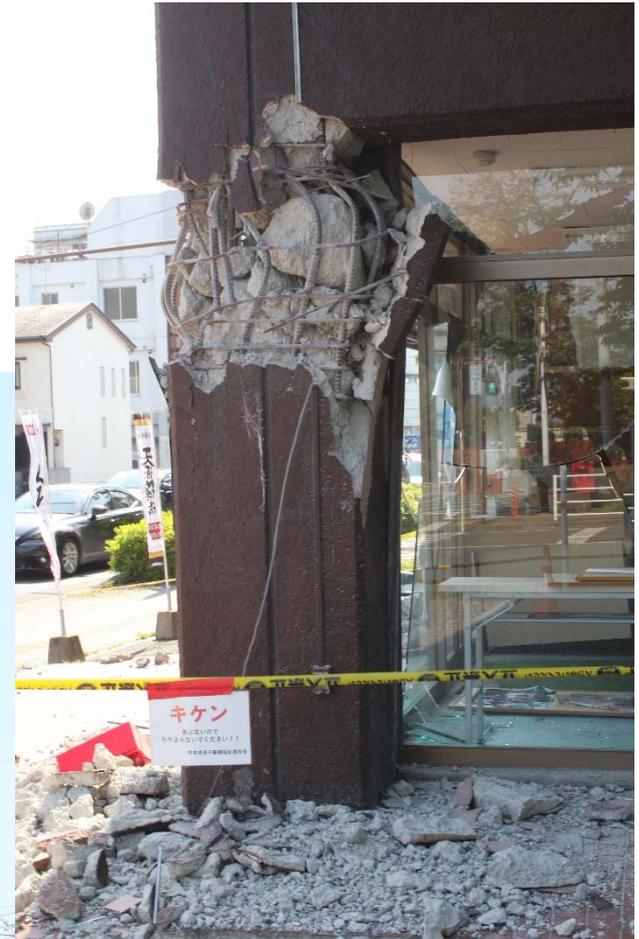


# RC造建物の被害

# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 宇土市



# 宇土市



# 熊本市内



# 熊本市内



# 熊本市内



# 教訓

- 耐震診断および耐震補強の重要性
  - 公共建築物(学校や市庁舎)
  - 一般木造住宅
  - 集合住宅
- 新耐震設計法の不備についての考察
- 二次部材を含めた損傷低減方法の提案

# Observations and Lessons for NZ

- Building performance (建築物の耐震性能)
  - Limited level of damage overall to modern code designed buildings (新耐震設計法の妥当性)
    - Building design focussed on stiffness and lower ductility resulted in limited damage to most buildings. (強度型抵抗機構の損傷制御性能の再確認)
  - Poor performance of timber housing with heavy clay tile roofs, beam and column construction with infill lath and plaster panels (instead of plaster board or ply panels) (木造住宅の脆弱性)
  - Avoidance of damage to non structural elements through the approach of avoidance ie not constructing hung ceilings, fire sprinkler systems etc (二次部材の耐震性は低い)

# Observations and Lessons for NZ

- Post earthquake building assessment processes (被災建物の耐震性能確認)
  - Focus on quickly completing building assessments, (and repairs) (応急危険度判定)
  - Simple residual capacity analysis methodology allowing some damaged buildings to be occupied quickly (被災度区分判定)
- Community resiliency (都市の強靱性)
  - Different approach regards community safety issues. Placards are advisory only , limited fencing, no red zones. (応急危険度判定の強制力について)
  - Emphasis on maintaining community services in place eg city government functions, schools operating in temporary facilities on site (行政の機能継続性)
  - コメント  
NZ and Japan have similar success in terms of Life Safety, but Japan much better in terms of Resilience. (安全性と機能維持)