



改めて考える 建築物の耐震安全性

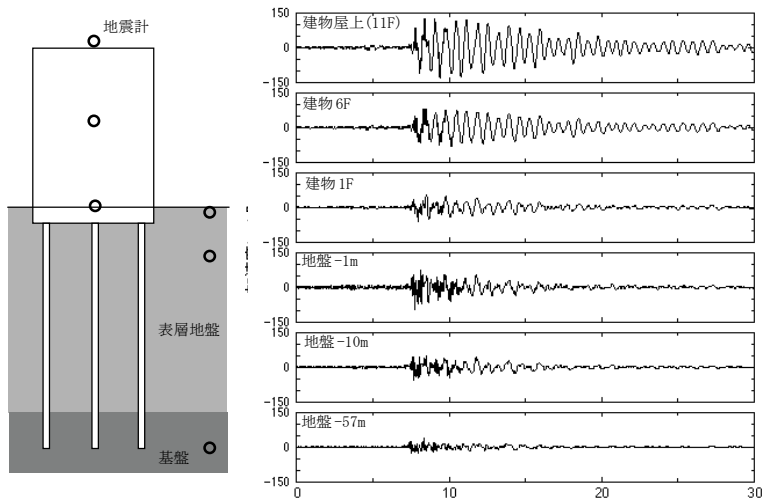
15.11.14 NN会
名古屋大学 福和伸夫



大手町・丸の内地区



地盤の揺れと建物の揺れ



建物に加わる 地震力



高層建物は変形しやすく
特定の周期で
揺れやすい

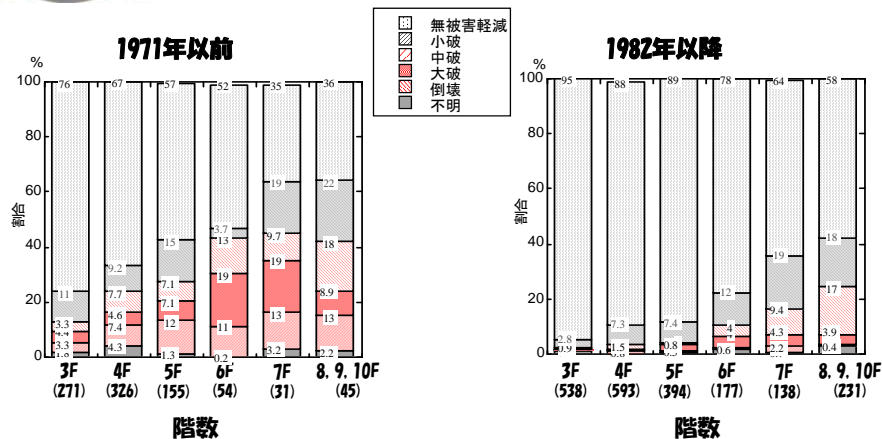


軟かい堆積地盤上の
特定の高層建物は
ある周期で揺れやすい





兵庫県南部地震でのRC建物被害



古い建物の被害大・高い建物の被害大
 低い新しい建物は想定は何倍も強かった
 新耐震は是認された、正しかったか？



日本国憲法と建築基準法

第25条 すべて国民は、健康で文化的な最低限度の生活を営む権利を有する。

2 国は、すべての生活部面について、社会福祉、社会保障及び公衆衛生の向上及び増進に努めなければならない。

第29条 財産権は、これを侵してはならない。

2 財産権の内容は、公共の福祉に適合するやうに、法律でこれを定める。

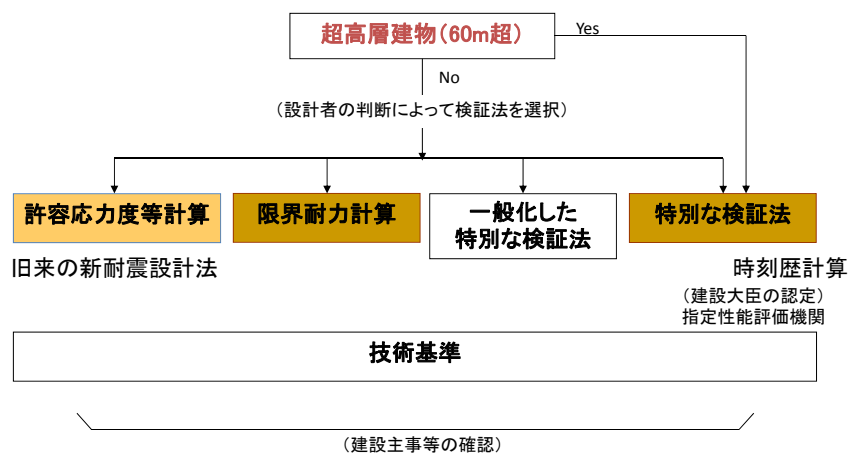
3 私有財産は、正当な補償の下に、これを公共のために用ひることができる。

建築基準法第1条

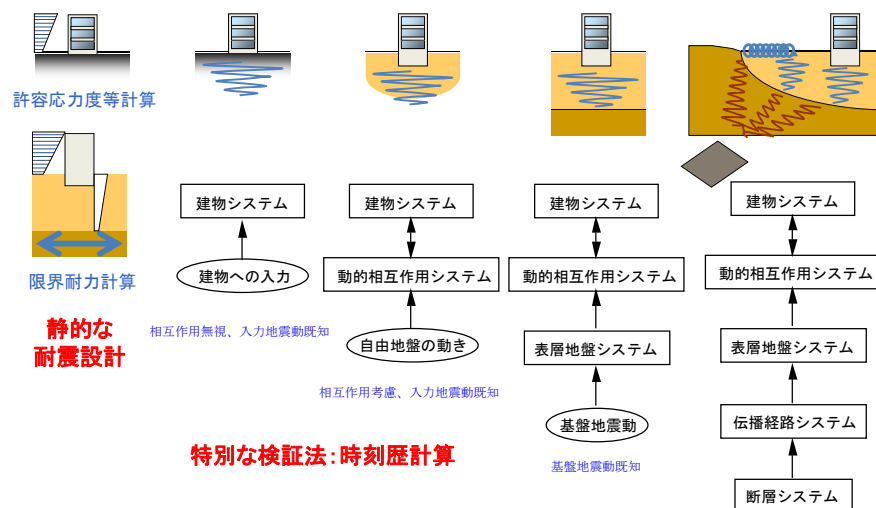
「この法律は、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する最低の基準を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もつて公共の福祉の増進に資することを目的とする。」



耐震基準の体系

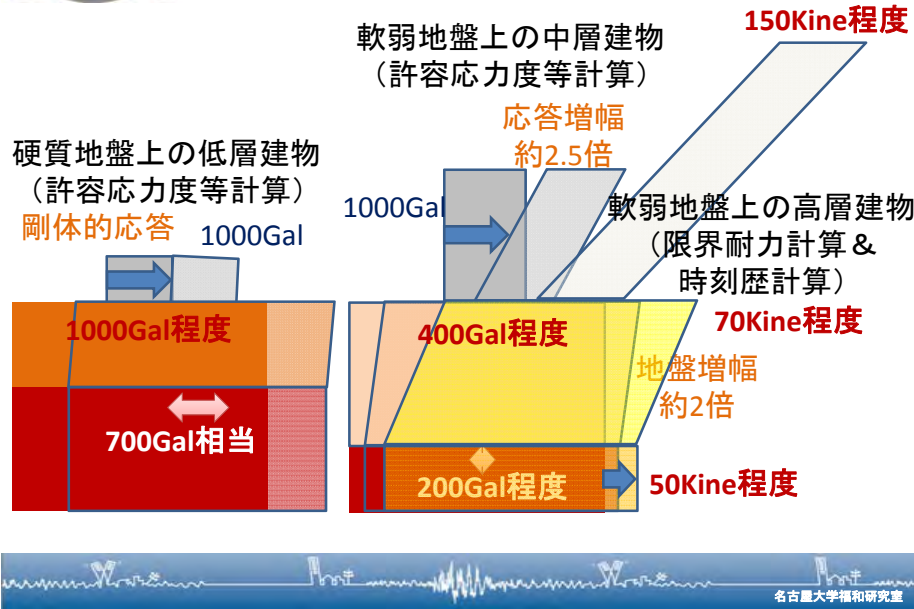


耐震解析の範囲

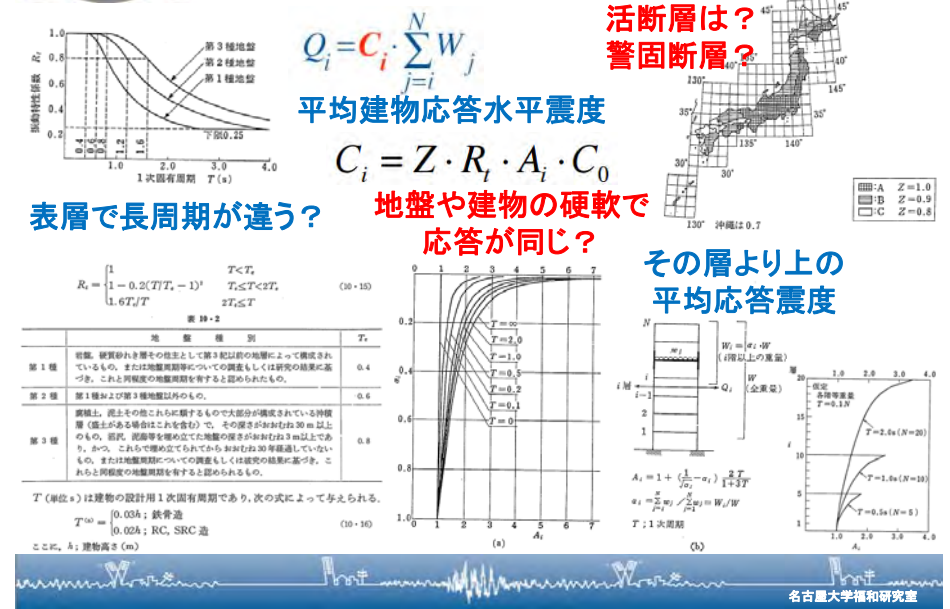




建物・地盤条件と地震力



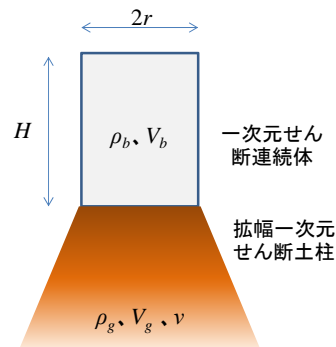
地震力⇒層せん断力



建物応答増幅度の解析表現

$$u_{|a_b = \frac{\pi}{2}} \approx \frac{\alpha_b \left(1 - i \frac{\beta}{\chi}\right)}{\left[1 + \frac{\pi}{2} h \alpha_b \left(1 - i \frac{\beta}{\chi}\right) i\right]}$$

$$C_b \Big|_{a_b = \frac{\pi}{2}} \approx \frac{2 \alpha_b \left(1 - i \frac{\beta}{\chi}\right)}{\pi \left[1 + \frac{\pi}{2} h \alpha_b \left(1 - i \frac{\beta}{\chi}\right) i\right]}$$



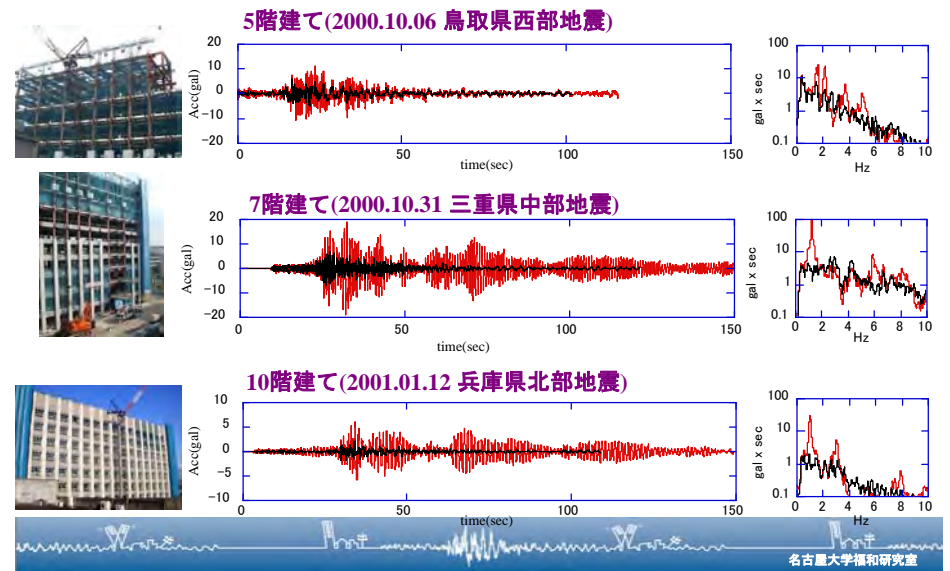
$$\alpha_b = \frac{\rho_g V_g}{\rho_b V_b} \quad \beta = \frac{8}{\pi(2-\nu)}$$

$$k_g = \frac{\omega}{V_g} \quad a_0 = \frac{\omega r}{V_g} = k_g r \quad a_b = \frac{\omega H}{V_b} = k_b H$$

$$\chi = a_0 \Big|_{a_b = \frac{\pi}{2}} = \frac{a_b r V_b}{H V_g} = \frac{\pi r V_b}{2 H V_g}$$



建設途中の観測記録(短辺)

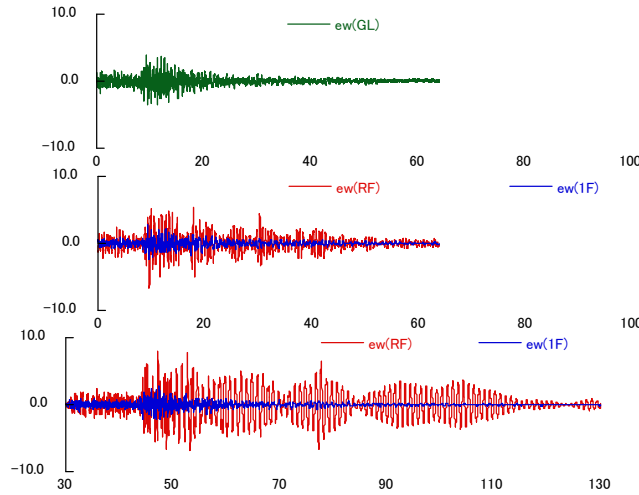




SRC造とS造の応答特性の違い

静岡県中部地震(2001.6.1, M4.8): 名大

地盤



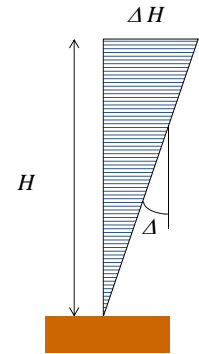
超高層ビルのご設計想定応答

層間変形角 Δ
逆三角形モードを仮定
建物周期 $T = \alpha H$

$$y = \Delta H$$

$$\dot{y} = \frac{2\pi}{T} \Delta H = 2\pi \frac{\Delta}{\alpha}$$

$$\ddot{y} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \Delta H = 4\pi^2 \frac{\Delta}{\alpha^2} \frac{1}{H}$$



$\alpha=0.03, \Delta=0.01$ then $V_{\max} = 2.1\text{m/s}$
 200m 2.0m & 2.2m/s²
 25m 0.2m & 22m/s²



建物の基本的応答特性

調和波に対する応答増幅
(外乱振動数 p 、減衰振動数 ω')

$$y = A \left[\cos(pt - \theta) - e^{-h\omega t} \left(\cos \theta \cos \omega t + \frac{h \cos \theta + (p/\omega) \sin \theta}{\sqrt{1-h^2}} \sin \omega t \right) \right]$$

$$A = \frac{(p/\omega)^2}{\sqrt{1 - (p/\omega)^2 + 4h^2 (p/\omega)^2}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{2h(p/\omega)}{1 - (p/\omega)^2} \quad \omega' = \omega \sqrt{1 - h^2}$$

共振時の応答

$$y = \frac{1}{2h} \left[\sin \omega t - \frac{e^{-h\omega t}}{\sqrt{1-h^2}} \sin \omega t \right]$$

$$\approx \frac{1}{2h} (1 - e^{-h\omega t}) \sin \omega t$$

共振振幅の β 倍に成長するのに必要な波の数

$$n = -\ln(1 - \beta) / 2\pi h$$

h=1% だと45 倍の応答になるのに37 波
h=20%だと、2.25 倍の応答になるのに2 波
 周期5 秒(250m の高層建物)では3 分で、
 周期5 秒の免震建物では10秒で共振状態。

1周期共振パルスに対する応答

$$y \approx \frac{1}{2h} (1 - e^{-h\omega t}) \sin \omega t \quad t \leq T_0 = \frac{2\pi}{p}$$

$$y \approx \frac{1}{2h} e^{-h\omega t} (e^{2\pi h} - 1) \sin \omega t \quad t > T_0 = \frac{2\pi}{p}$$

h=1% だと入力振幅の3倍の応答
h=20%だと入力振幅の1.5倍の応答



1周期パルス入力

$p = \omega, h = 0$

$$y = 1 - \cos pt \quad t \leq T_0 = \frac{2\pi}{p}$$

$$y = -\frac{2\pi\omega}{p} \sin \omega t \quad t > T_0 = \frac{2\pi}{p}$$

$p > 0.54\omega, h = 0$

$$y_{\max} = \text{Max} \left[\frac{2p^2}{\omega^2 - p^2} \sin \frac{\pi\omega}{p}, 2 \right]$$

$p \doteq 0.8\omega \rightarrow 2.5$ 倍、 $p = \omega \rightarrow 3.14$ 倍、 $p \doteq 1.2\omega \rightarrow 3.27$ 倍、 $p \doteq 1.5\omega \rightarrow 3.1$ 倍、 $p \doteq 2\omega \rightarrow 2.6$ 倍、 $p \doteq 3\omega \rightarrow 2$ 倍

$p = \omega, h > 0$

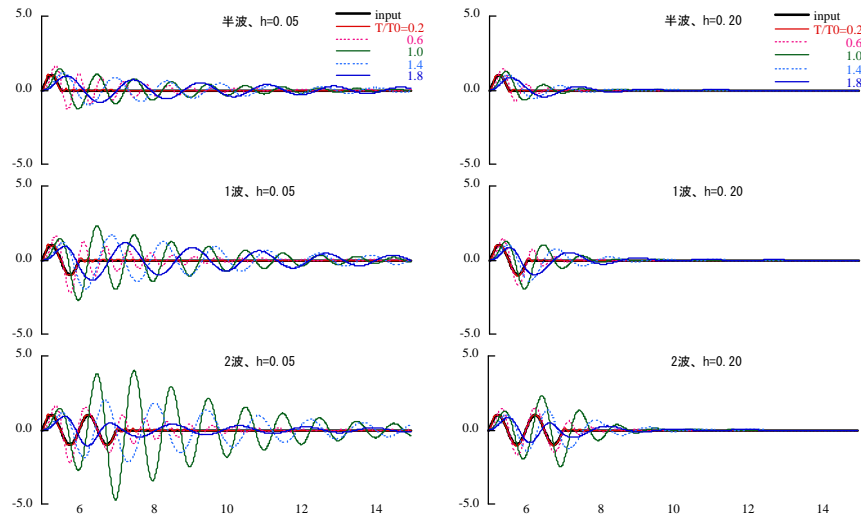
$$y \approx \frac{1}{2h} (1 - e^{-h\omega t}) \sin \omega t \quad t \leq T_0 = \frac{2\pi}{p}$$

$$y \approx \frac{1}{2h} e^{-h\omega t} (e^{2\pi h} - 1) \sin \omega t \quad t > T_0 = \frac{2\pi}{p}$$

h	1波	定常
0%	3.14倍	∞
1%	約3倍	50倍
5%	約2.5倍	10倍
10%	約2倍	5倍
20%	約1.5倍	2.5倍

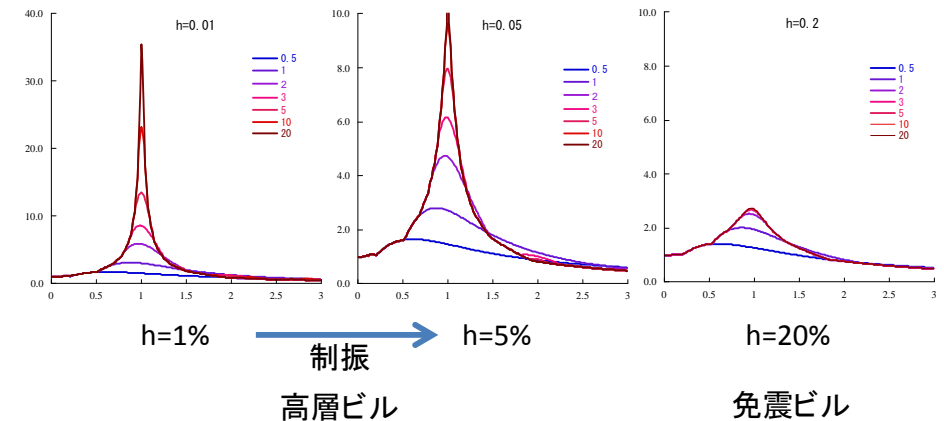


Sin波に対する応答



Sin波に対する応答スペクトル

Sin波が半波、1, 2, 3, 5, 10, 20波作用した時の応答増幅



建築年と安全性

- **新しい耐震基準ほど耐震性能は高い**
RC: 1971 & 1981、木造: 1981 & 2000
- **新しいほど**
戸建住宅はプレハブ・ツーバイフォー比率が高い
→ **堅い** → **戸建住宅の被害率は新しいほど減少**

集合住宅は高層化している
(神戸では、中高層建物の被害が多かった)
コスト至上主義になっている
(バリューエンジニアリングで余裕が減っている)
建設する地盤条件が悪化している
→ **軟かい地盤に軽く軟かい建物** → **実力低下?**



新耐震基準の対応震度

新耐震基準では、建物の平均的な揺れが

- 200Gal程度までは損傷をしない (1次設計)
- 1000Gal程度までは倒壊をしない (2次設計)

ことを保証。

もしも地盤に比べて建物の揺れが2.5倍に増幅するなら、地盤の揺れは、

- 80~100ガル (1次設計) → 震度5弱
- 400ガル (2次設計) → 震度6弱

震度6強以上の安全は必ずしも保証していない。
(震度が2上がると揺れは10倍になる)



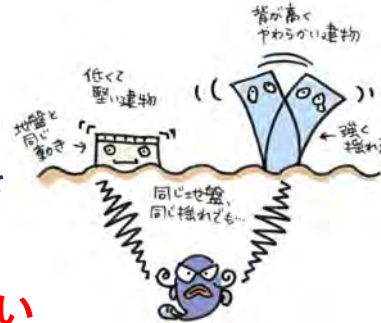
建築物の耐震設計

建物が1000ガルで揺れるときには、

- 建物が堅いと地盤も1000ガル → 震度7下限
- 建物が柔らかいと地盤は300ガル → 震度6弱

建物堅さにより設計で考えている地盤震度は異なる

関東地震では東京本郷は300ガル程度の揺れ。当時は堅い建物なので建物も300ガルの揺れ。当時は安全率3を考えていたので建物は100ガルで設計、戦後、安全率を1.5にしたので200ガルに変更。当時は壁の耐力は無視していた。

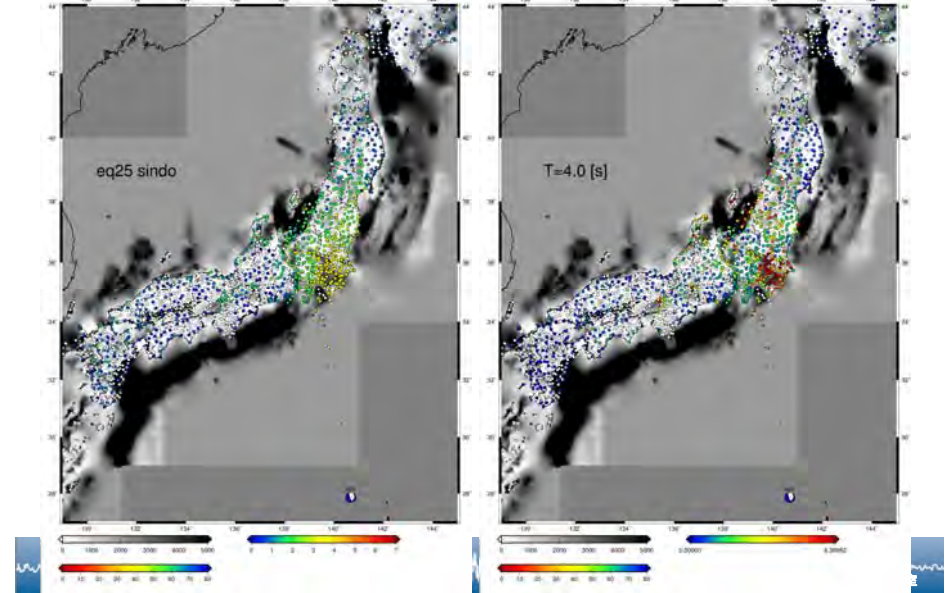


新しい建物が安全とは限らない

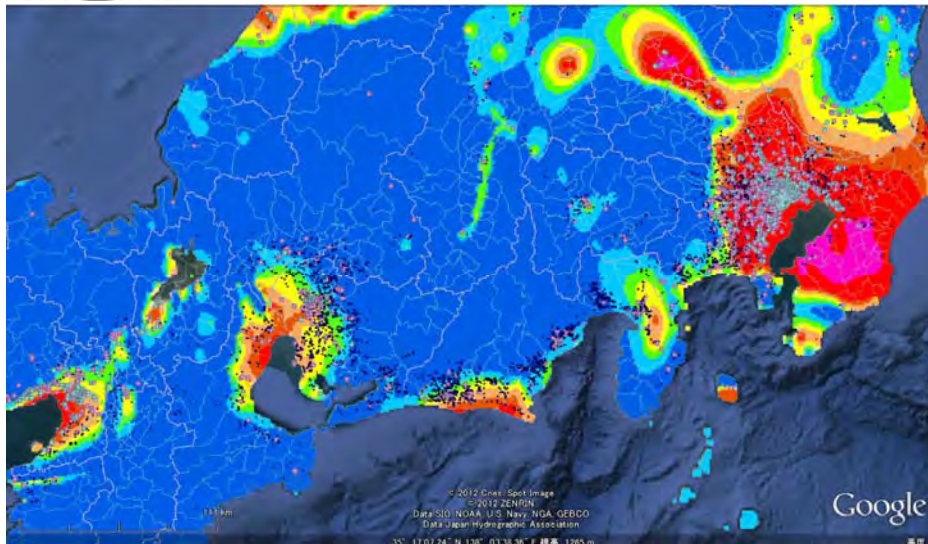


小笠原西方沖地震

2015.5.30 M8.1 深さ682km



長周期建築物の分布



各都道府県の全国割合

