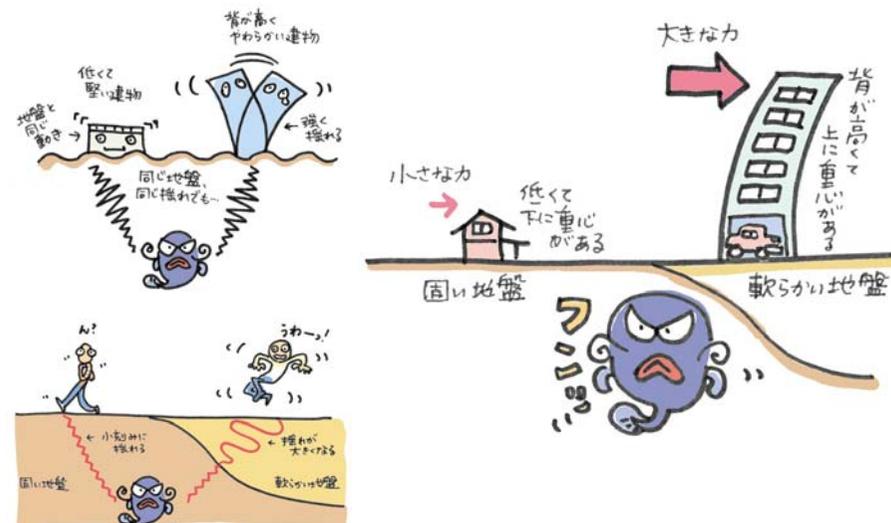




長周期地震動への建物応答特性

130726 気象庁・長周期地震動に関する情報検討会
名古屋大学 福和伸夫

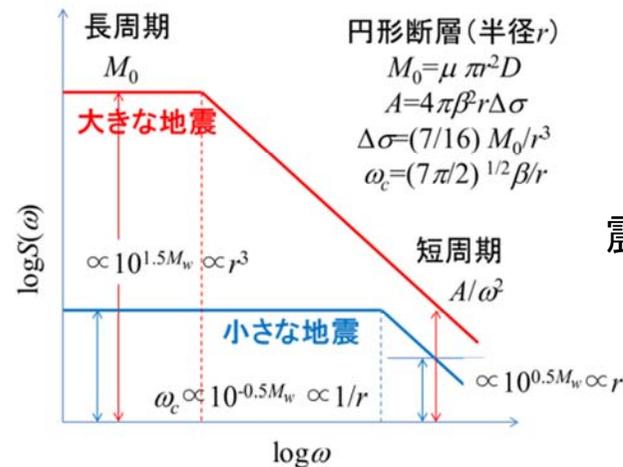
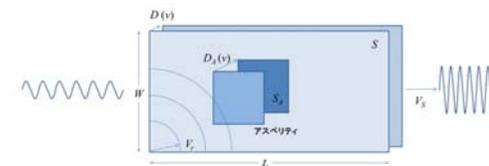


長周期地震動

- 大きな地震では周期の長い波をたっぷり放出
- アスペリティ&方位特性で放出される周期が決まる
- 長周期の揺れ、表面波は減衰しにくい
- 揺れの伝わりやすい経路がある: 堆積層=付加体
- 長周期の揺れを増幅しやすい大規模堆積盆地では、盆地内で揺れをトラップし揺れの長さを伸長
- 低減衰長周期構造物(超高層)は、周期が近接した揺れが繰り返し作用すると、徐々に揺れを増幅。共振に時間がかかり、一旦揺れると減衰しにくい。
- リアルタイム緊急地震速報の効果が極めて大きい。



震源

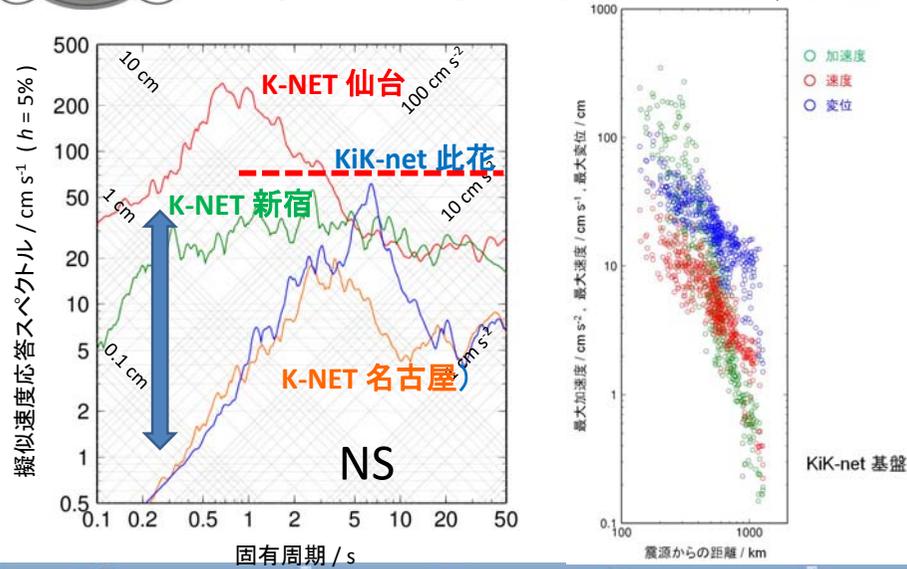


震源スペクトル

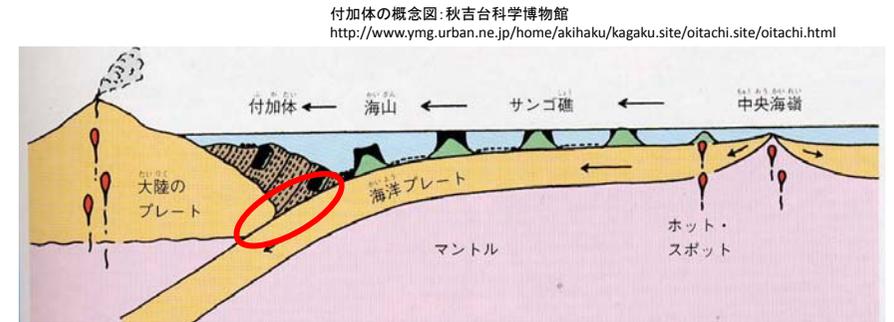




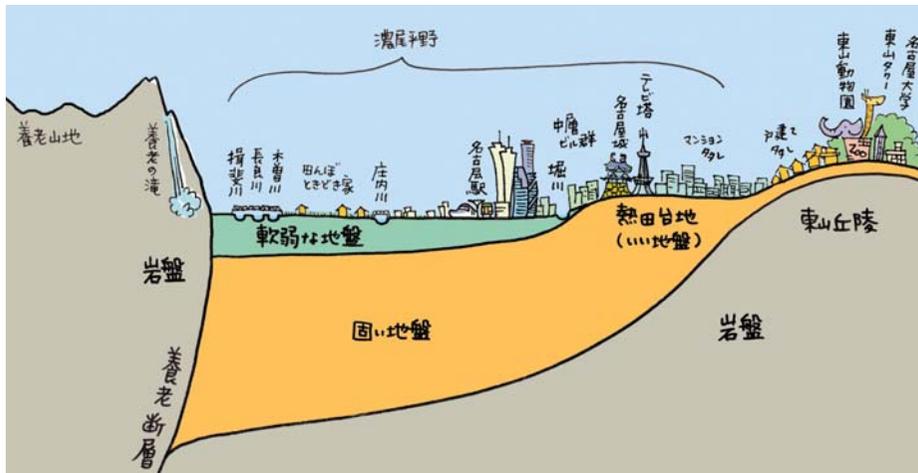
東北地方太平洋沖地震



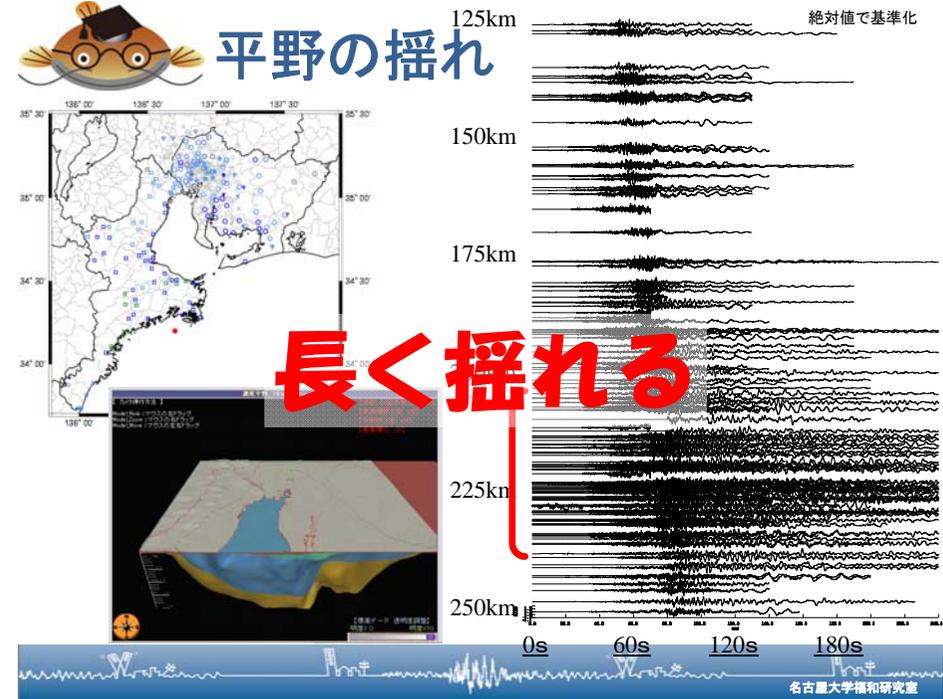
付加体



堆積盆地=名古屋



平野の揺れ



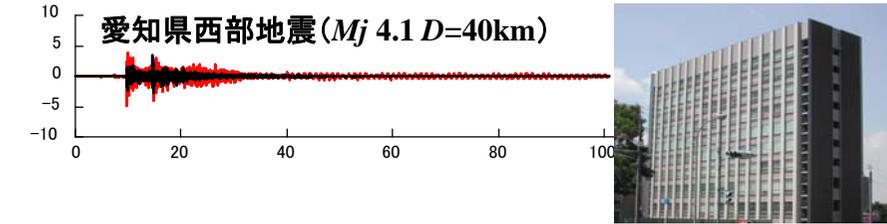


遠くの大きな地震で良く揺れる

IB電子情報館 黒:1階 赤:屋上
東海道沖地震 (Mj 5.1 D=40km)

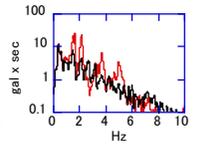
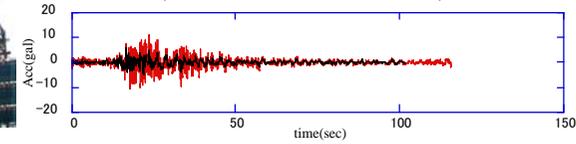


愛知県西部地震 (Mj 4.1 D=40km)

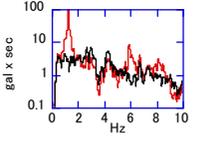
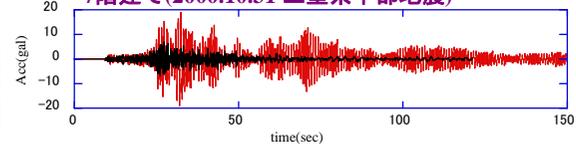


建物が高くなると揺れやすくなる (地下逸散減衰低下)

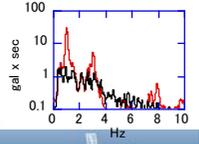
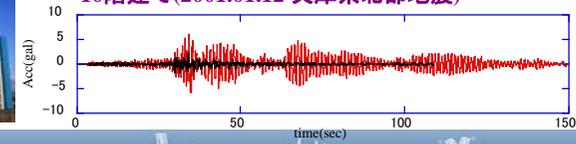
5階建て(2000.10.06 鳥取県西部地震)



7階建て(2000.10.31 三重県中部地震)



10階建て(2001.01.12 兵庫県北部地震)



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

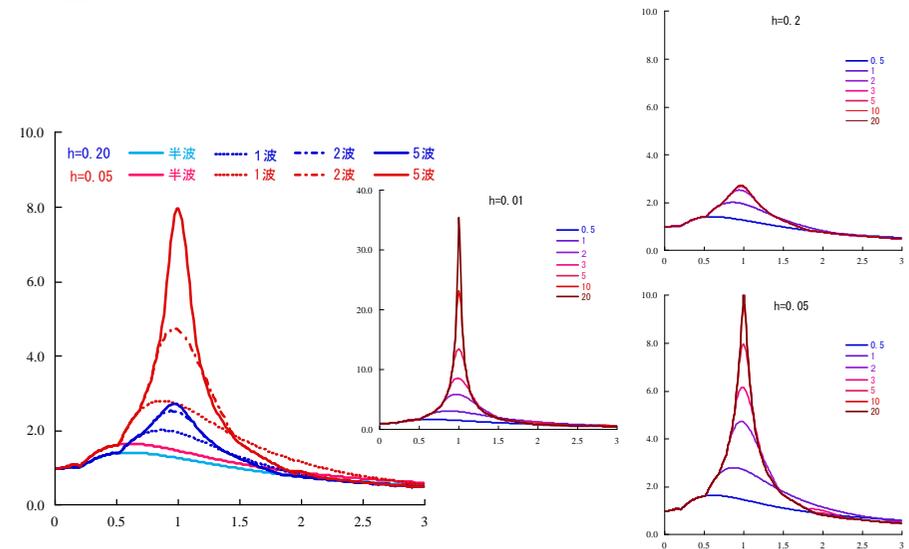
$$y \approx \frac{1}{2h} (1 - e^{-h\omega t}) \sin \omega t \quad t \leq T_0 = \frac{2\pi}{p}$$

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

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

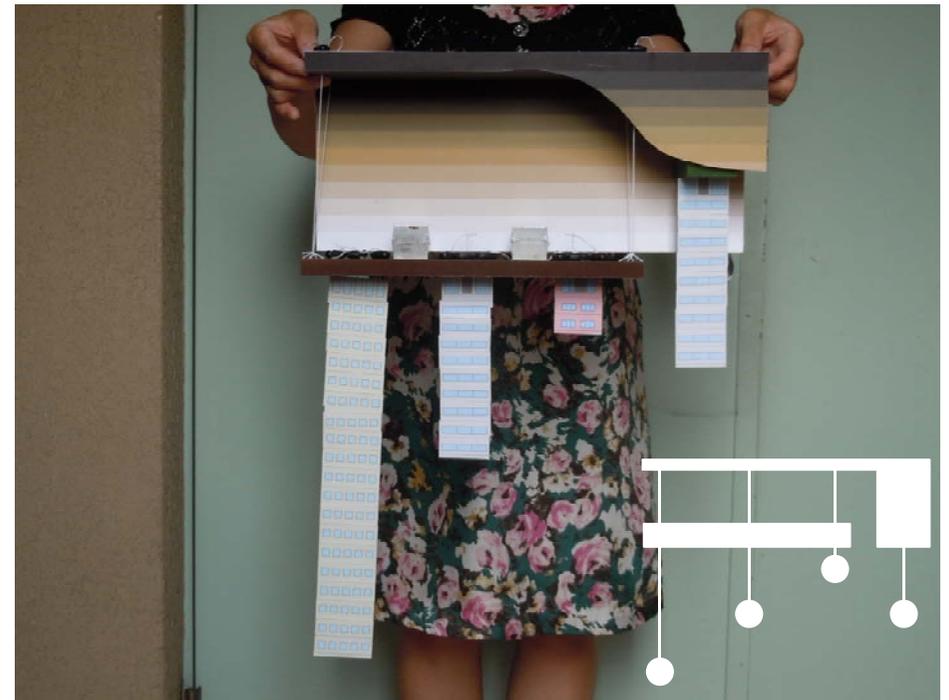
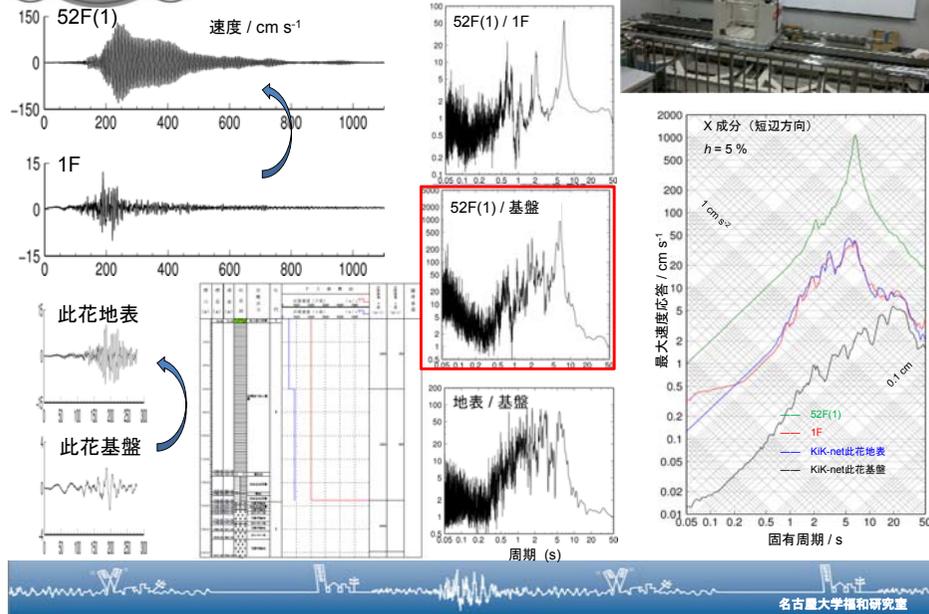


Sin波に対する応答スペクトル





咲洲庁舎の揺れ



高層建物の設計用入力地震動

70 75 80 85 90 95 00 05 10

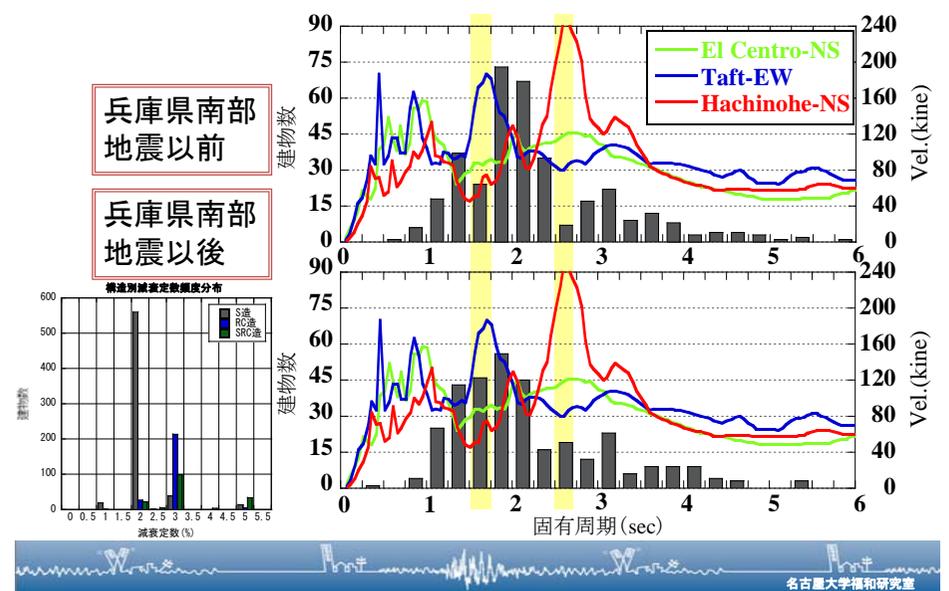
- 観測地震波の加速度評価
- 観測地震波の速度評価
- 応答スペクトルに一致する模擬波
- サイト波(断層モデルなど)
- 告示波
- 長周期地震動

代表的な観測地震波
 El Centro地震動
 Taft地震動
 Hachinoke地震動

高層免震住宅の普及
 制震建物の普及
 汐留・六本木
 免震建物の普及
 制震建物の登場
 免震建物の登場
 新宿副都心
 高層建物の登場

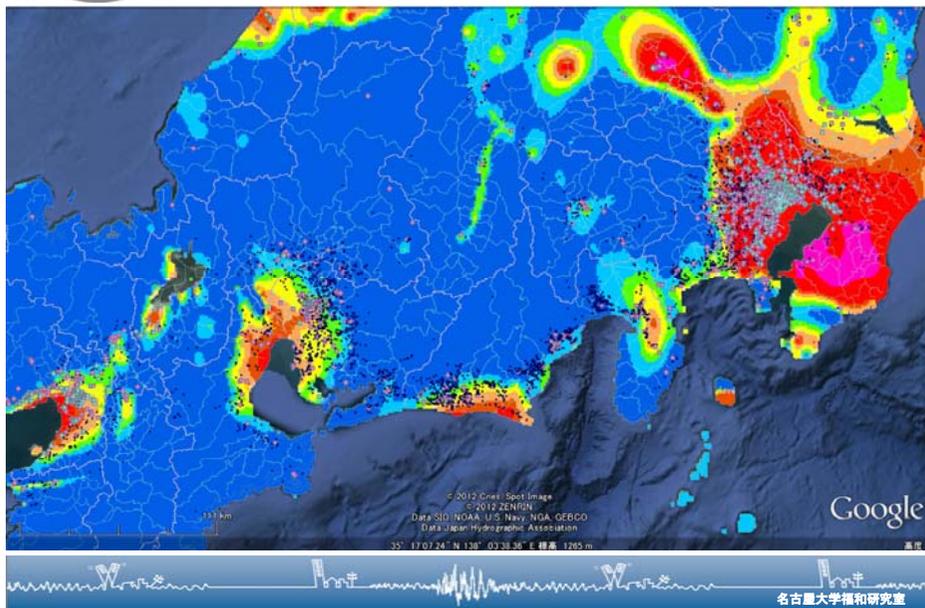


高層建物の設計固有周期

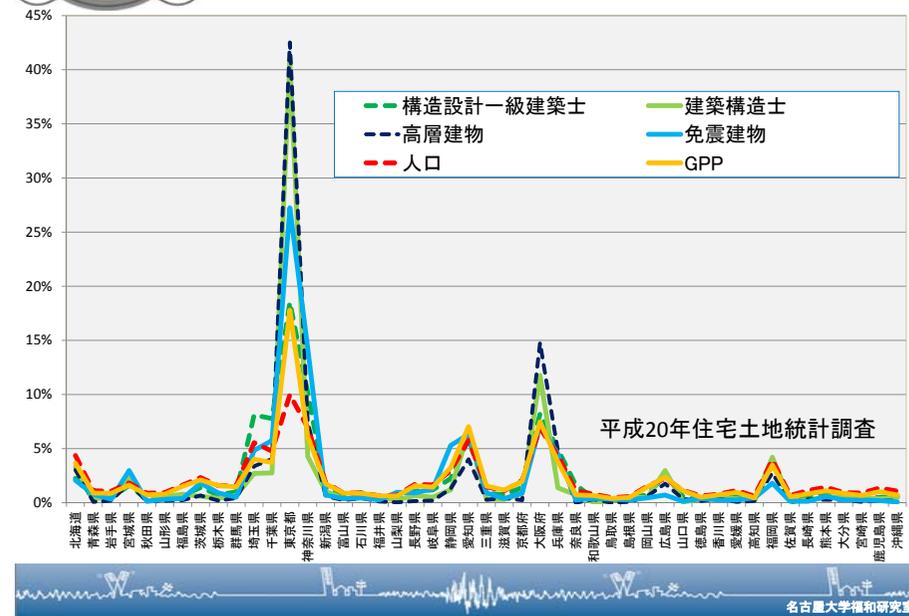




長周期建築物の分布



各都道府県の全国割合



高居家のものがたり

名古屋大学福和研究室



個人・会社でできる防災対策

高層ビルは良く揺れる

- 高層ビルで働いたり高層マンションに住む「作法」を心得る
- エレベータやライフラインの停止
- 非常用エレベータの設置、救出用技術者の養成
- 家具・什器の固定
- 食糧・水・携帯トイレ、イーバックチェアや担架の準備
- 事業継続上重要な設備は下階に（災害対応部署・役員室）。
- 災害対応部署の人間は、長周期の揺れを事前に体感する
- 災害後の建物継続使用の判断: 高度技術者数の不足
- 地震計の設置

高層建物は揺れが育つには時間がかかる

- 緊急地震速報や長周期地震動に関する情報が有用。