

地震工学

第9回:ガイダンス

建築とハード対策(構造と非構造)

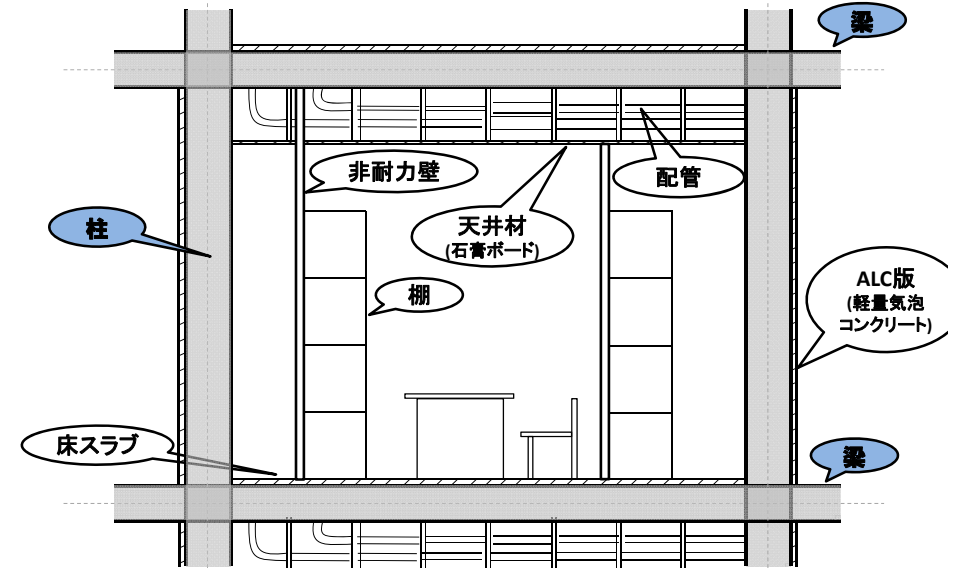
2018年6月28日

工学院大学 建築学部 まちづくり学科

久田嘉章

構造と非構造:高層建物の建物断面

部材:構造(柱・はり等)と非構造(非耐力壁・内外装・什器等)



1948年福井地震と建築基準法の制定

・1948年福井地震(M7.1):福井市直下の活断層により、福井市は壊滅的な被害(死者3769名)。気象庁は震度7を追加。

・1950年建築基準法の制定:

○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、もって**公共の福祉の増進に資する**ことを目的とする。

⇒ 建物の倒壊などで多数の死者が生じない⇒主に「**構造**」規定



小林啓美氏撮影



1945年太平洋戦争の敗戦による東京のバラック家屋(昭和22年)

1948年福井地震による大和デパートの倒壊

<http://kanazawa.typepad.jp/weblog/2010/03/post-551f-1.html>

早稲田大学 よく分かる!

<http://www.waseda.jp/student/weekly/contents/2006b/109e.html>

地震被害と建築基準法・耐震規定改正

「安全とは無被害ではなく、許容限界以下の被害であること」



1968年十勝沖地震
(RC造短柱被害など)



1978年宮城県沖地震
(ピロティ・偏心などバランス悪い建物)

1971年建築基準法改正 1981年改正(新耐震設計法の導入)

○1981年建築基準法改正:新耐震基準の導入

- 1) **中地震**(建物の供用期間中に数回遭遇する程度の地震)に対して
損傷せず、地震後も特に修復を要しないこと(損傷限界)
- 2) **大地震**(建物の供用期間中に一度遭遇するかも知れない程度の地震)に対して
倒壊・崩壊せず、人命が守られること(安全限界) ⇒ 被害は必ず生じる!

写真: 鹿島建設:「地震による教訓」(<http://www.kajima.co.jp/tech/seismic/higai/030604.html>)

1978年宮城県沖地震(M7.4)の被害

- ・ 仙台市内の最大震度は5
- ・ 28人の死者のうち16人が、倒れたブロック塀などの下敷き
- ・ 宅地造成地(緑ヶ丘など)の地盤崩壊
- ・ 高層建物の被害(エレベータ閉じ込め、非構造壁の被害)



1981年改定(耐震規程導入)



宮城県: <http://www.pref.miyagi.jp/sdh-doboku/fureaidayori/fureaidayori01/fureaidayori01-3.htm>

(瀬尾和大氏・東工大名誉教授より)



高層マンションの被害(ほぼ全戸で非構造壁が、せん断破壊し玄関ドアが開かなくなった)→補修したが、東日本大震災でさらに大きな被害、取り壊しに...

1995年阪神・淡路大震災の被害と教訓

1995年兵庫県南部地震

(M7.3、1月17日 5時46分)

死者:6,434名 負傷者: 43,792名

直接死 5,520名

約8割:建物倒壊による圧死

約1割:家具類等の転倒による圧死

約1割:焼死

関連死 914名

仮設住宅孤独死者数:233名

災害復興住宅孤独死者数:396名

活断層地震、震度7

約20秒の揺れ

周期約1秒のキラーパルス

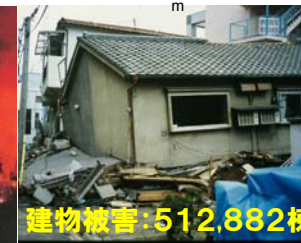


建物倒壊と火災発生が震災の帯の集中

http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/kasai/f5.htm



同時多発火災(285件)



建物被害:512,882棟



多くの病院も被災

1995年阪神・淡路大震災の被害(既存不適格建築が注目)



被害は古い弱い建物に集中

(阪神大震災全記録、毎日ムックより)



家具の転倒防止対策など

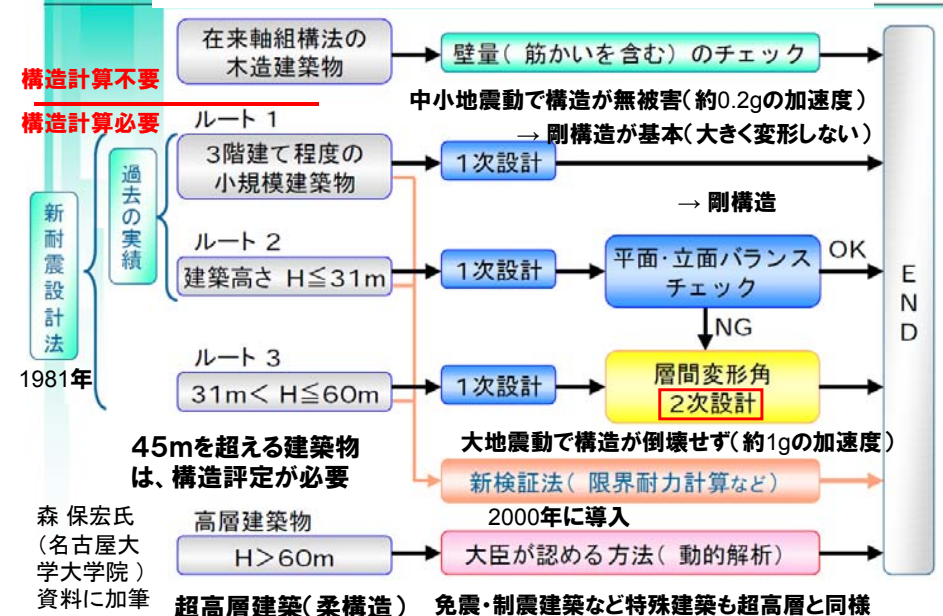
(神戸市・「1.17の記録」HPより)

1995年「建築物の耐震改修の促進に関する法律(耐震改修促進法)」施行

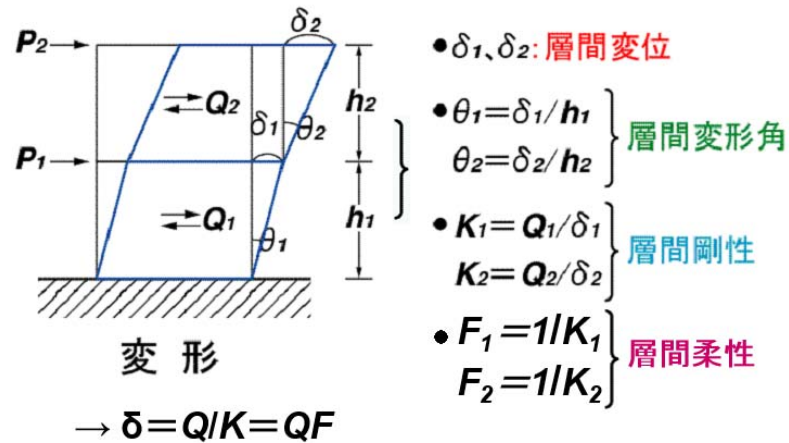
2000年「建築基準法改定」、「住宅の品質確保促進法(品確法)」制定

・木造住宅:地盤調査義務化、地盤耐力に応じた基礎、接合部の仕様規定、耐震壁の配置計算など

「構造」計算のルート(現在の耐震規定)



層間変位と層間変形角

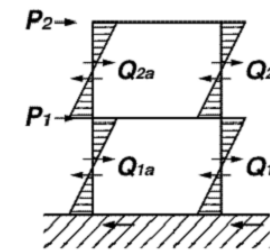


Pi: 各階水平力(地震荷重)
Qi: 各階層せん断力

9

地震荷重(水平力)から 層せん断力へ

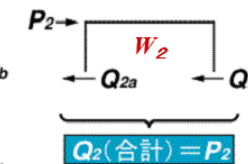
各階水平力
(地震荷重)



水平力を受ける
ラーメン

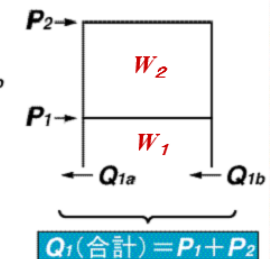
Pi: 各階水平力(地震荷重)
Qi: 各部材せん断力

2階の水平震度
 $k_2 = P_2/W_2$



2階の層せん断力
2階の層せん断力係数
 $C_2 = Q_2/W_2$

1階の水平震度
 $k_1 = P_1/(W_1 + W_2)$



1階の層せん断力
1階の層せん断力係数
(ベースシア係数)
 $C_1 = Q_1/(W_1 + W_2)$

10

層せん断力係数: 建築基準法・新耐震設計法(1981)

- $C_i = Z \cdot R_t \cdot A_i \cdot C_o$
- Z: 地震地域係数
- R_t : 振動特性係数
- A_i : 地震層せん断力分布係数
- C_o : 標準層せん断力係数

1次設計(中小地震): $C_o = 0.2$

2次設計(大地震): $C_o = 1.0$

11

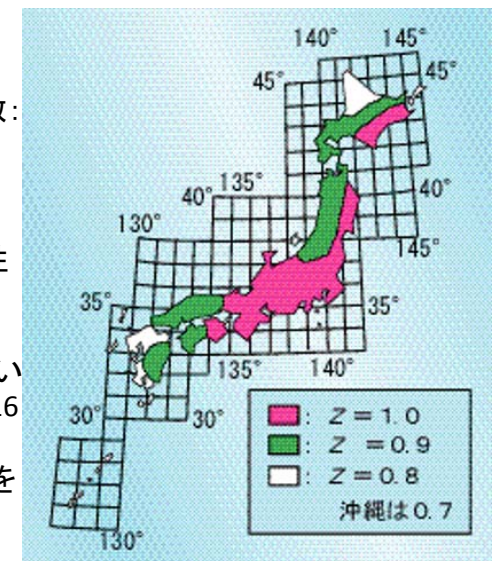
地域係数Z

歴史データから得られた係数:

- ・歴史上、地震の少ない地域の係数は小さい
- ・沖縄県は1972年米国から日本に返還。係数の継続性より値が小さい

⇒活断層など再現期間の長い地震は考慮していない(2016年熊本地震など)

⇒全国どこでも1.0以上の値を用いることが望ましい



12

振動特性係数 R_t

標準的な地震動は周期約1秒以下の短周期成分が卓越するため、長周期での地震荷重を低減可能とする係数。但し、軟弱地盤ほど低減できない。標準的な加速度応答スペクトルを無次元化している。

$T > T_c$ の場合

$$R_t = 1 - 0.2 \left(\frac{T}{T_c} - 1 \right)^2$$

$T \leq T_c$ の場合

$$R_t = 1.0$$

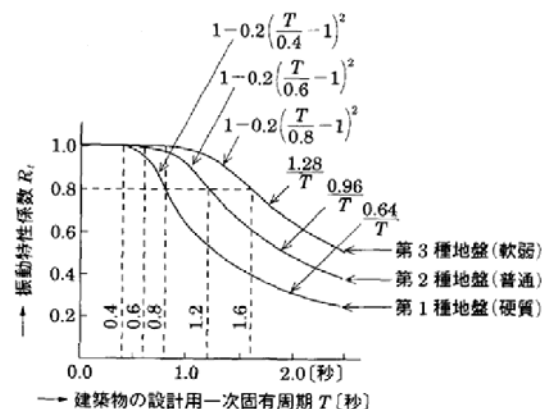
T : 設計用一次固有周期

T_c : 地盤特性係数

第1種地盤 $T_c = 0.4$

第2種地盤 $T_c = 0.6$

第3種地盤 $T_c = 0.8$



層せん断力係数の高さ方向分布 A_i

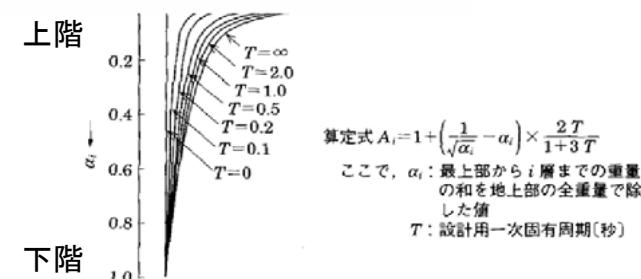
建物の揺れを考慮し、低層階より上層階で層せん断力係数が大きくなることを考慮した係数。長周期の建物ほど、上階の増幅が大きい。

$$A_i = 1 + \left(\frac{1}{\sqrt{\alpha_i}} - \alpha_i \right) \times \frac{2T}{1+3T}$$

$$\alpha_i = \frac{\sum W_i}{W} \quad (W : \text{地上部より上の全重量,}$$

$$\sum W_i : \text{その層より上部の全重量})$$

T : 設計用一次固有周期



荷重の組み合わせ

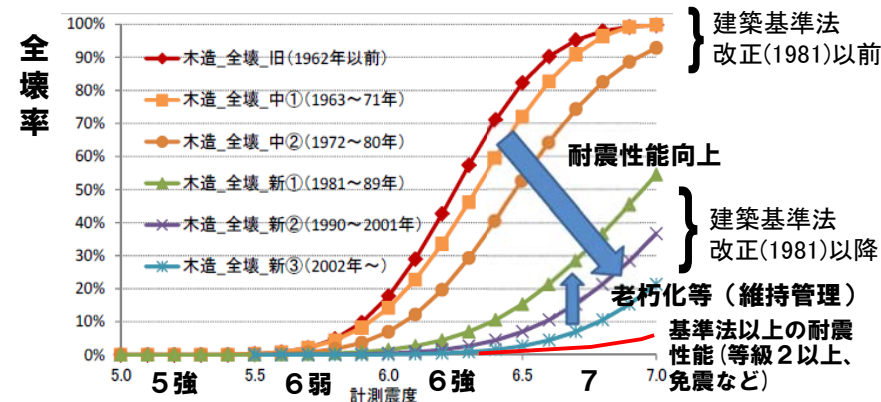
応力の種類	荷重および外力の状態	一般の場合	多雪区域
長期	常時	$G + P$	$G + P$
	積雪時	$G + P$	$G + P + 0.7S$
短期	積雪時	$G + P + S$	$G + P + S$
	暴風時	$G + P + W$	$G + P + W$
	地震時	$G + P + K$	$G + P + 0.35S + K$

G : 固定荷重による応力
 P : 積載荷重による応力
 S : 積雪荷重による応力
 W : 風圧力による応力
 K : 地震力による応力

雪、風、地震が同時に作用する可能性は低い。

中小～巨大地震対策:レジリエントな震災対策の概念

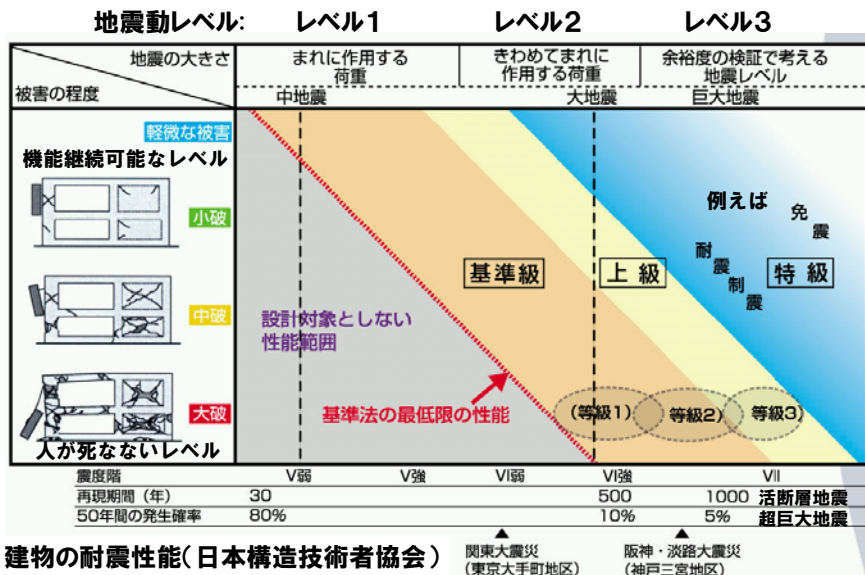
レジリエントな対策: **事前の減災対策** + 事後の柔軟な対応力向上



木造建物の被害関数 (内閣府被害想定2013)

事前の抵抗力向上 $\Rightarrow$ 建物・まちの耐震性能向上・維持管理
 (構造の耐震設計 $\Rightarrow$ 人の生活のための機能維持・早期復旧設計へ)

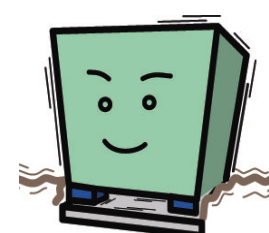
建物の耐震性能(日本構造技術者協会) 一建築基準法(最低限の基準)より高い耐震性能を一



建物の地震防災・耐震設計:耐震・免震

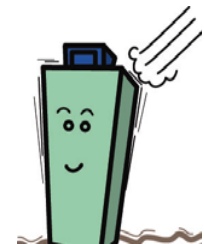


耐震構造
(耐震壁・筋交いなどで抵抗)



免震構造

(免震層で揺れを逃がす)



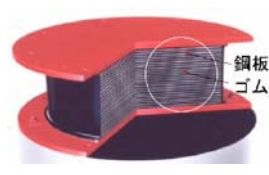
制振構造

(制振装置で揺れを吸収)



耐震補強の例

http://bousai.kke.co.jp/management/2005/08/post_1.html



免震積層ゴムの例

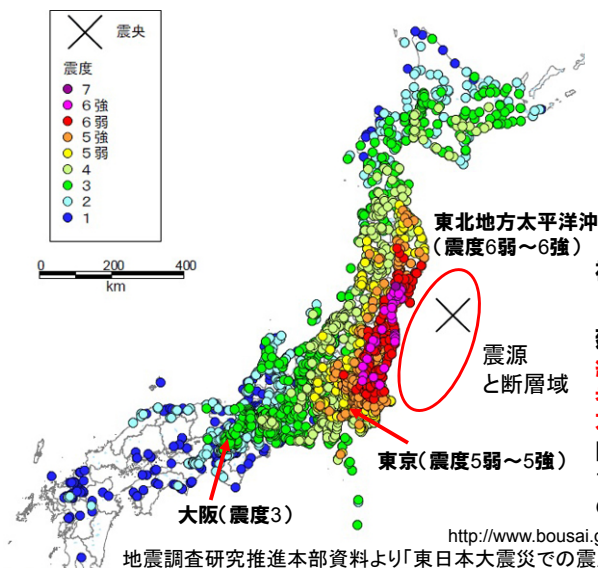
<http://www.jssi.or.jp/gaiyou/shoshin/cutmodel.jpg>



制震補強の例

<http://www.jisf.or.jp/business/tech/build/photo/low.html>

2011年東日本大震災 震度分布と建物・人的被害



消防庁発表(2017年3月)

人的被害
死者: 19,533
(約9割は溺死)
行方不明: 2,585
負傷: 6,230、重傷: 700

住家被害
全壊: 121,768
半壊: 280,160
一部破損: 744,396
火災: 330

被害額(直接被害、内閣府):
約16兆9000億円

建物被害と死者数(内閣府)
約1万9千人の死者・行方不明者のうち、内陸での死者・行方不明数は、125人(総務省消防庁発表被害報平成24年3月11日現在、死者・行方不明者の0.6%)

東日本大震災における首都圏(震度5)での様々な被害



津波(千葉県旭市)



液状化(浦安市)



天井崩落(九段会館) 基準法改正(特定天井) 帰宅困難者と大渋滞(新宿駅南口)



東京都帰宅困難者対策条例
(2013年3月施行)
⇒帰らない・逃げない対策へ

東日本大震災で東京消防庁管内で発生した火災事例 (東京消防庁、消防科学防災センター)

主な出火原因(全火災32件、6月8日現在)

主な出火原因	件数	火災概要
電気ストーブ	9	地震により室内の取寄物が落下や転倒した際に、電気ストーブのスイッチが入り落下物や周囲の可燃物に接触して出火
配電用変圧器	5	地震により変圧器内の接続部が緩み、発熱して出火
鑑賞魚用ヒータ	3	地震の揺れで水槽が転倒し、観賞魚用ヒータが衣類に接触して過熱され出火
ガステーブル等	2	地震により転倒した棚によって、ガステーブル(押し式)の点火スイッチが入るとともに、棚に積まれていたタオルがこもらる部に落下して出火
白熱灯スタンド	2	地震で白熱灯スタンドが転倒し、布団に接触して出火
その他	11	①震によりガス配管に亀裂が入り、近くの糊付機を作動した際に漏れたガスに引火して出火 ②地震により流し台上の電気こまが落下し、スイッチが入り床板に着火して出火 他9件



2016年熊本地震の被害と教訓

活断層と建築の対策:益城町の市街地復興に向けた
安全対策のあり方等に関する最終報告(国交省2017)

・活断層のズレに対する安全対策(提案)

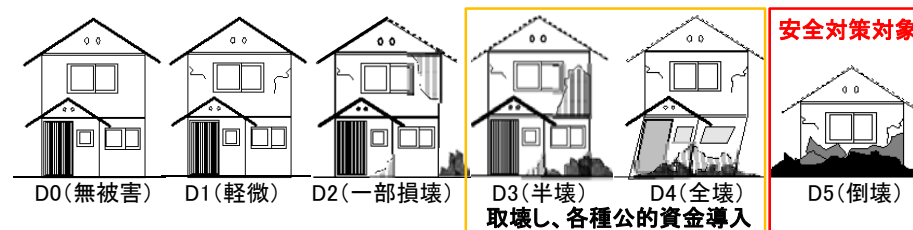
(1)低層建築物について

⇒ 今後、新築される建築物について特段の追加的配慮は必要ない

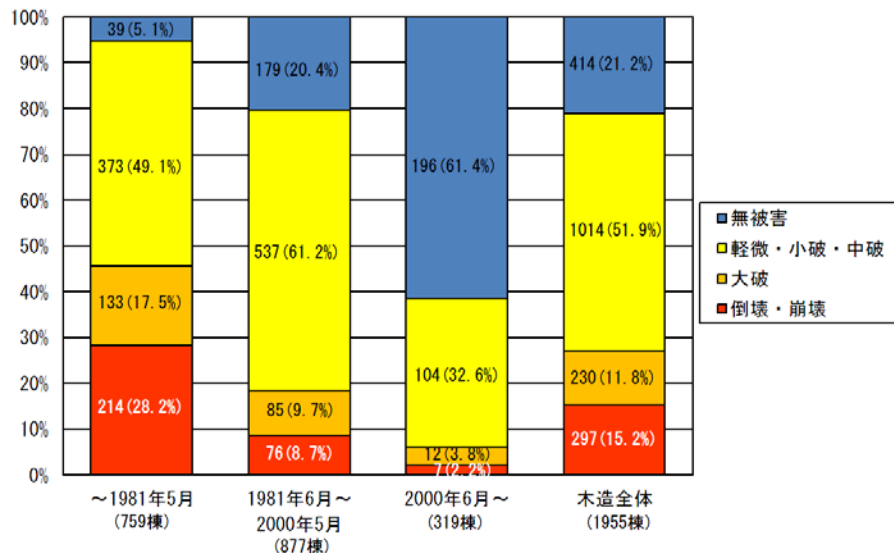
⇒ 一般市民には何もしなくても良いと誤解される可能性あり

・建築基準法(最低基準)の「安全」とは「倒壊しない」の意味

⇒取壊しになれば、避難所・仮設住宅の生活等で死者が増大(直接死は50名、関連死は約210名)、復旧・復興へ膨大な時間・費用

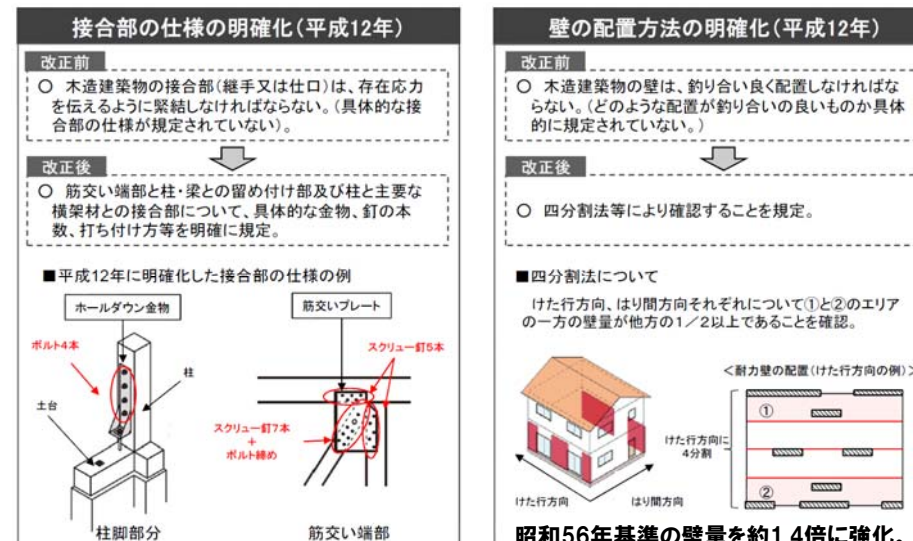


益城町の木造住宅被害:熊本地震建築物被害調査報告 木造の建築時期別の被害状況



国土技術政策総合研究所資料(2016)

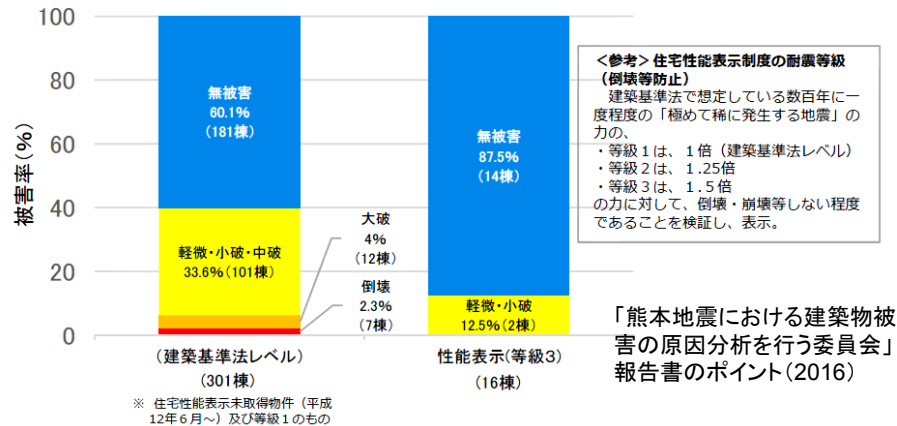
益城町の木造住宅被害:熊本地震建築物被害調査報告 平成12年基準法改正の概要(木造建物)



「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」報告書のポイント(国土交通省2016)

昭和56年基準の壁量を約1.4倍に強化。

益城町の木造住宅被害:熊本地震建築物被害調査報告 現行基準レベルと等級3の木造建物の被害比較



- 旧耐震基準と新耐震基準の木造建築物の倒壊率に顕著な差があったのは、新耐震基準は旧耐震基準の約1.4倍の壁量が確保されているためと考えられる。
- 住宅性能表示制度による耐震等級3 (倒壊等防止) の住宅は新耐震基準の約1.5倍の壁量が確保、これに該当するものは大きな損傷が見られず、大部分が無被害であった。
- 消費者がより高い耐震性能の住宅を選択するために、住宅性能表示制度の活用が有効。

2016年熊本地震の教訓:避難所等の被害の状況

○ 倒壊に至らないまでも、構造部材の部分的な損傷、非構造部材 (天井材、内外装材、ガラス開口部、防煙垂れ壁等) の落下等により、地震後の機能継続が困難となった事例が多く見られた。

※ 建築基準法では、中規模地震に対して損傷しないこと、大規模地震に対して倒壊しないことを求めているが、大規模地震に対して損傷しないことは求めている。



⇒ 防災拠点となる建築物については、機能継続に係る対策が必要。
「熊本地震における建築物被害の原因分析を行う委員会」報告書のポイント(国土交通省2016)

2018年大阪北部地震と教訓

・2018年 (平成30年) 6月18日7時58分頃、大阪府北部を震源として発生した地震。地震の規模はMj 6.1 (暫定値) で、震源の深さは13 km

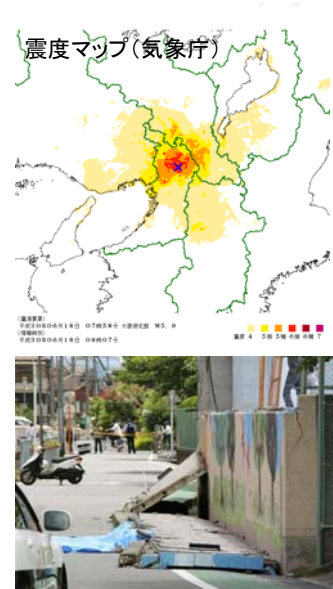
・最大震度6弱を大阪府大阪市北区・高槻市・枚方市・茨木市・箕面市の5市区で観測

・震源の周辺には有馬-高槻断層帯や生駒断層帯、上町断層帯など複数の断層帯が存在

・26日18時までの消防庁の集計によると、大阪府内で死者5名、2府5県で負傷者423名 (うち重傷者10名)、住家の全壊3棟、半壊19棟、一部破損10,802棟、火災発生件数は大阪府と兵庫県で8件が確認されている。死者は大阪市、高槻市および茨木市で発生しており、うち2名はブロック塀の崩壊、2名は家具が倒れたことにより死亡した。

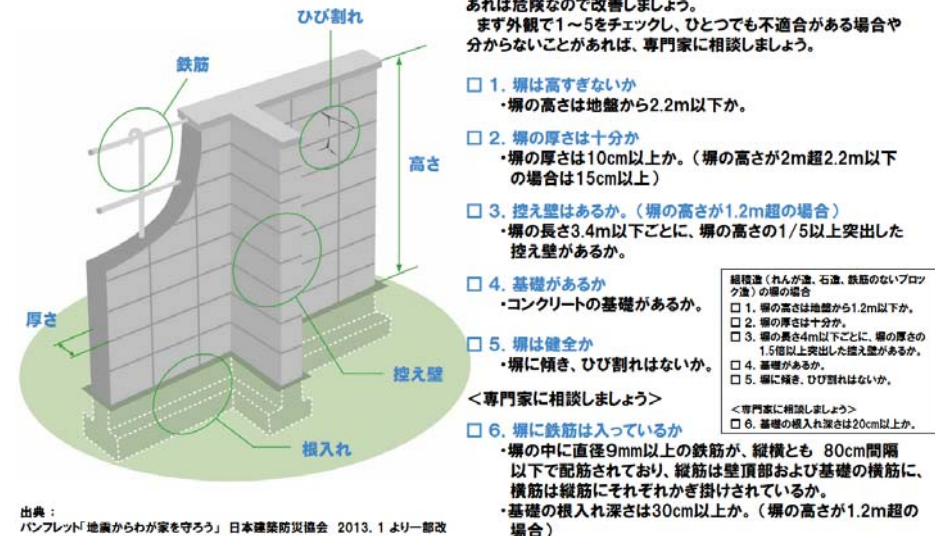
・大阪府を中心とした関西地方の多くの交通機関が運転を見合わせたため、多くの帰宅困難者が発生、新淀川大橋は徒歩で帰宅する人で埋まった

・住宅被害の内訳は全壊3棟、半壊19棟、一部損壊1万802棟。前日同時刻より2735棟増加。



ブロック塀の点検のチェックポイント

ブロック塀について、以下の項目を点検し、ひとつでも不適合があれば危険なので改善しましょう。
まず外観で1～5をチェックし、ひとつでも不適合がある場合や分からないことがあれば、専門家に相談しましょう。



建築物の既設の塀の安全点検について(国土交通省、2018.6.21)