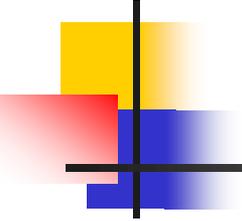


頻発する地震災害に学び 切迫する大地震に備える

2016年9月10日

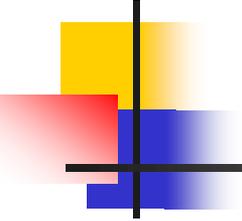
(株)小堀鐸二研究所 副所長

小鹿紀英



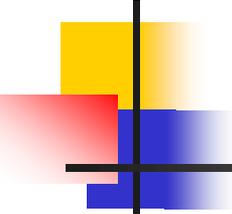
本日の内容

- 1. 地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ**
(1) 構造部材 (2) 非構造部材
- 2. 東日本大震災、熊本地震の被害**
- 3. 今後想定される巨大地震と地震被害**
- 4. 非構造部材の地震対策**
- 5. 構造部材の地震対策**
- 6. 今後に向けて**



本日の内容

- 1. 地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ**
(1)構造部材 (2)非構造部材
2. 東日本大震災、熊本地震の被害
3. 今後想定される巨大地震と地震被害
4. 非構造部材の地震対策
5. 構造部材の地震対策
6. 今後に備えて



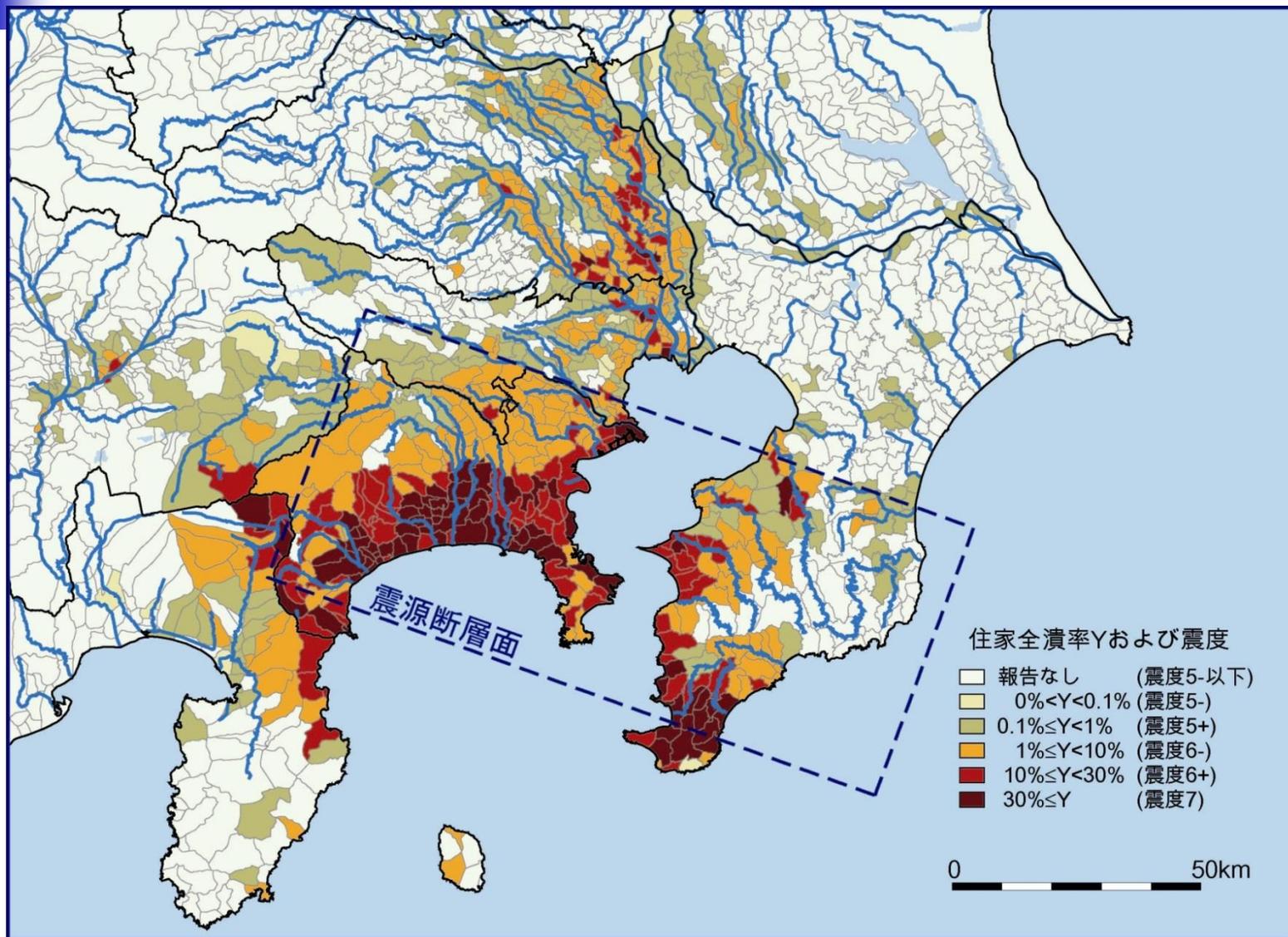
地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ

(1) 構造部材*の被害

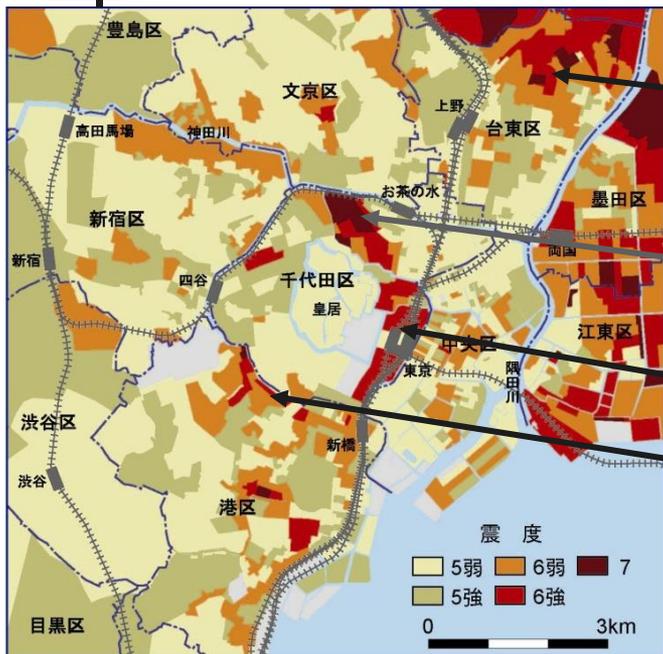
過去の震災では、耐震性が低いマンションが、いろいろな壊れ方をした

* 柱、梁、耐震壁、床、杭、基礎、などの総称で、建物の重量を支え、地震にも抵抗する部材のこと。これらが大きく損傷すると、建物は崩壊する。

1923年関東地震(M7.9)による震度分布



関東大震災の震度分布



隅田川沿いの低地

西神田から大手町

大手町から日比谷

溜池から赤坂見附



いつもよく揺れる場所は、昔は、
入江や沼や川沿いの低地だった。

こんな場所は地盤がよくない。

関東大震災の最大の教訓

地震発生:1923.9.1 11:58

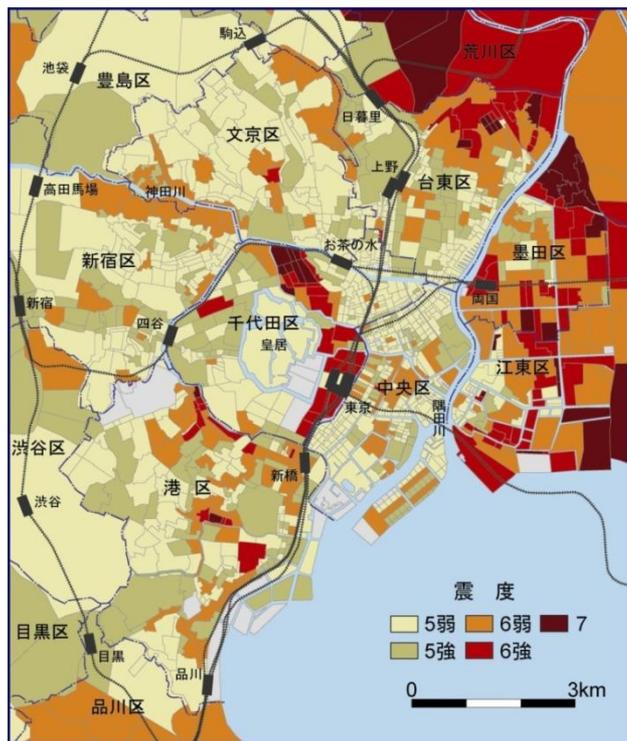
住家全壊で死者 11,000人

火災で死者 92,000人

住家全壊と火災は無関係ではない

悪の根元は住家全壊

→耐震性の確保が最重要



震度分布



9/1 16:00



9/2 3:00

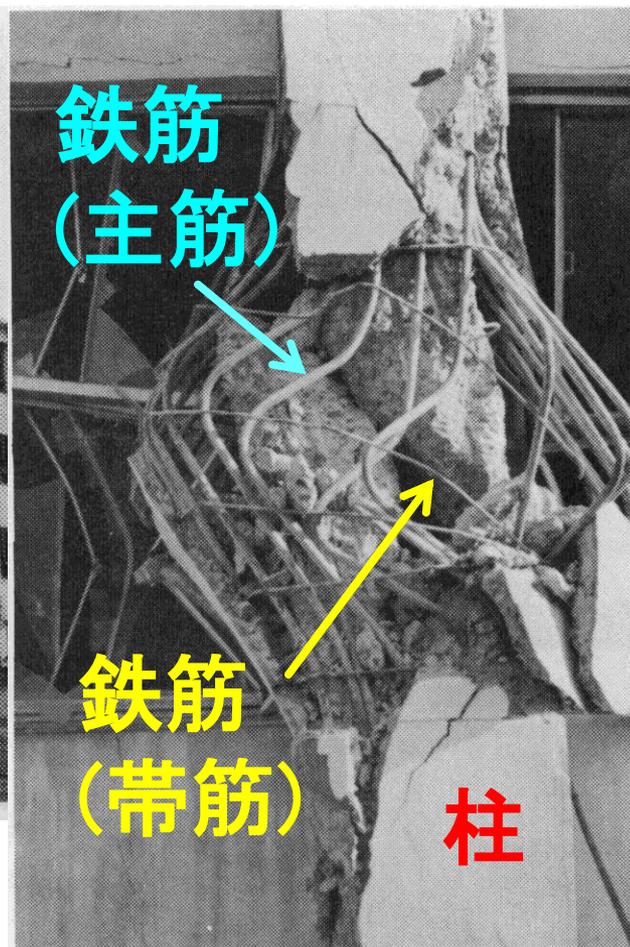
火災分布

1964年新潟地震M7.5(死者26人)



砂地盤の液状化によって倒れたアパート

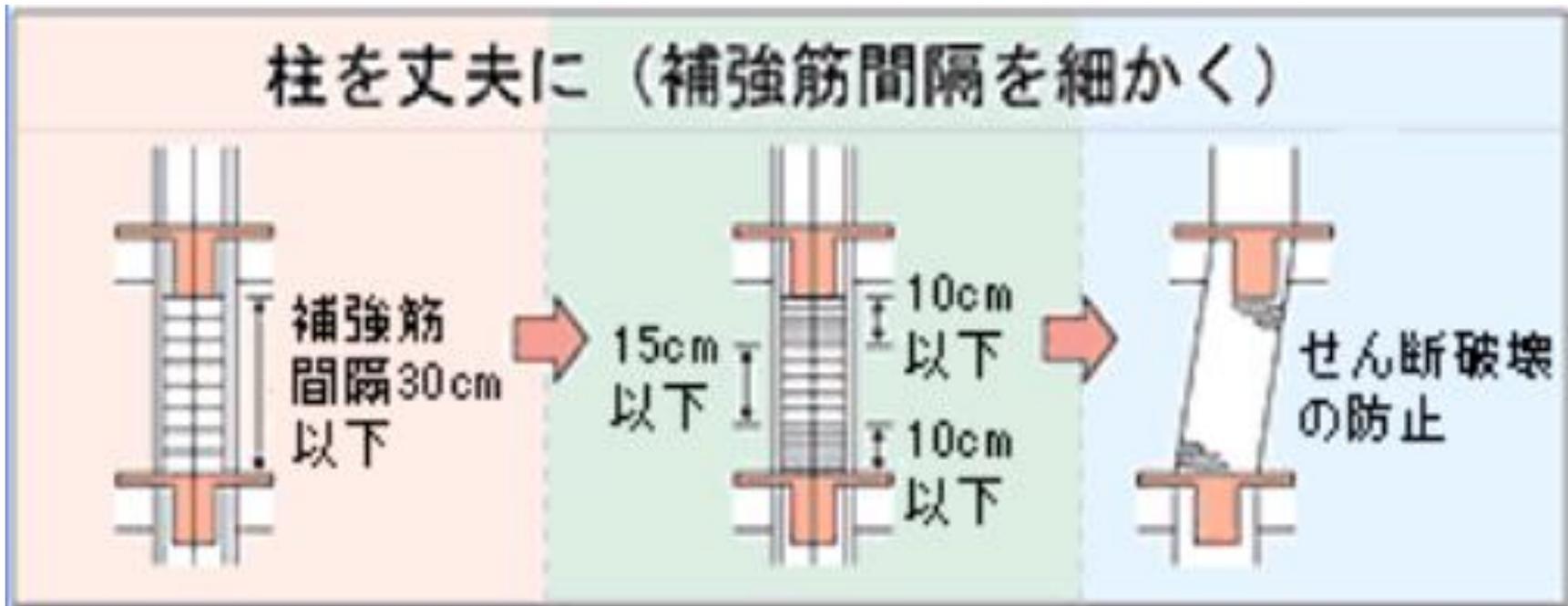
1968年十勝沖地震M7.9(死者52人)



柱の脆性破壊(函館大学)

=小さな水平変形でバラバラに壊れた柱

1971年の建築基準法の改正



鉄筋コンクリート柱
の変形能力に対する
配慮無し
＝脆く壊れる柱

鉄筋コンクリート柱のコンクリートがバラバラにならないように鉄筋で拘束
＝粘り強く壊れにくい柱

建築基準法の変遷

旧耐震設計法(1981年以前)

略称:旧耐震

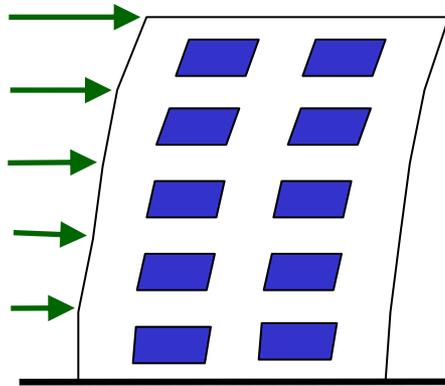
新耐震設計法(1981年以降)

略称:新耐震

中地震

震度5弱

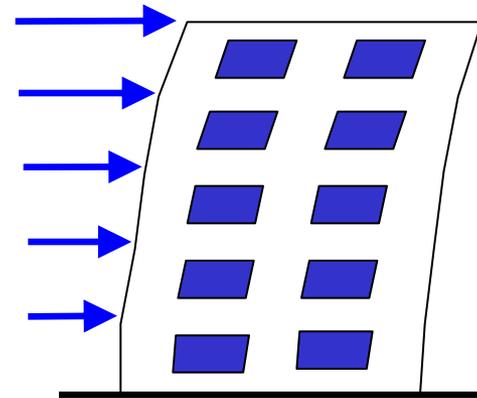
地震力小



中地震

震度5弱

無被害



大地震

設計で考慮せず

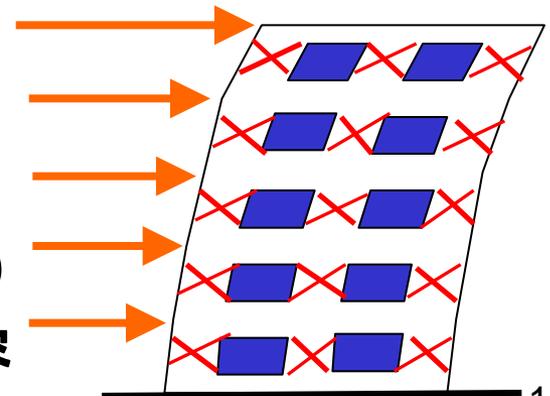
大地震

震度6弱~6強

崩壊しない

(人命を保護)

大被害は許容

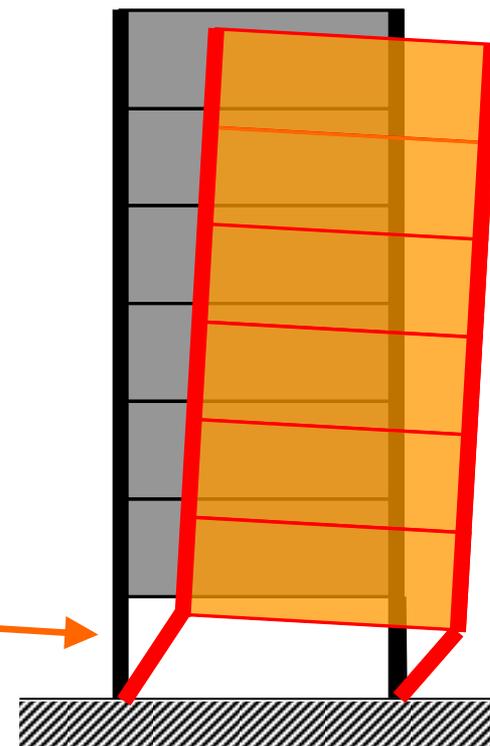
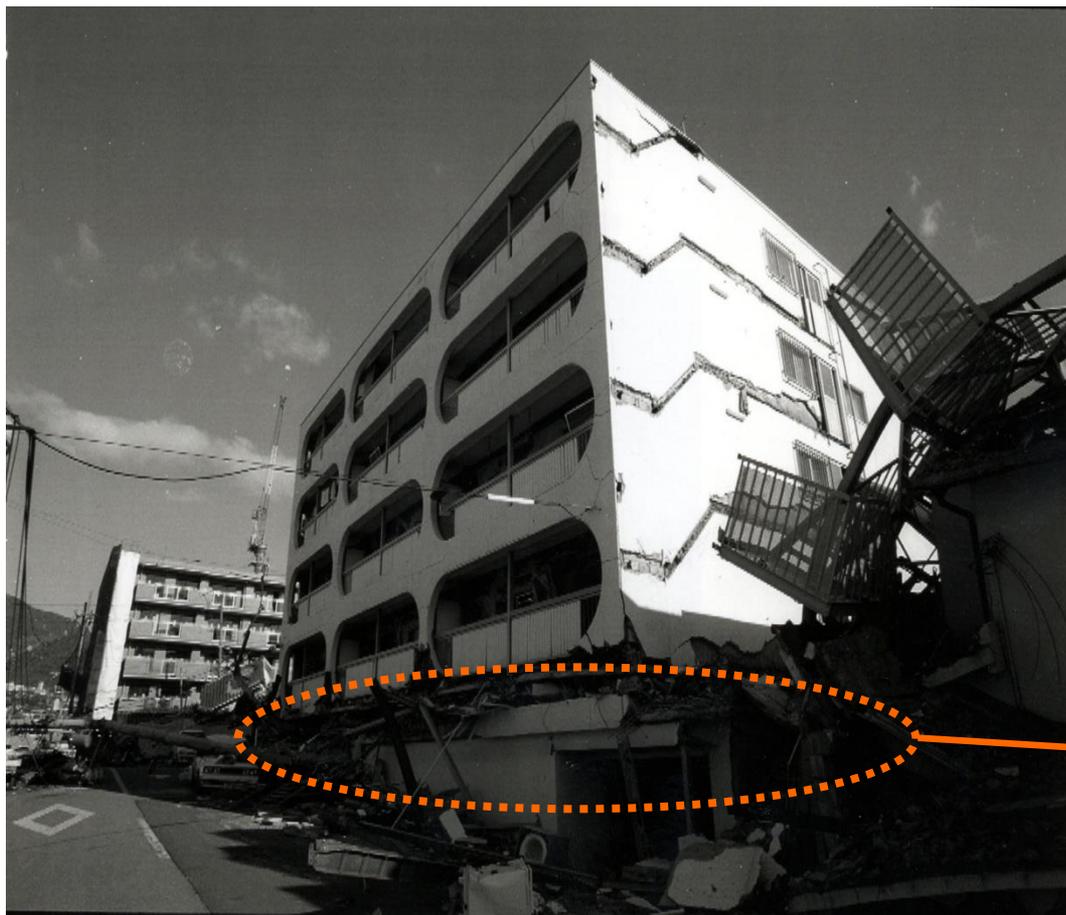


1995年兵庫県南部地震 (M7.3)

TOTAL MEDIA DEVELOPMENT
MITSUBISHI
TOHO E-B

1995年兵庫県南部地震M7.3

(死者6434人)



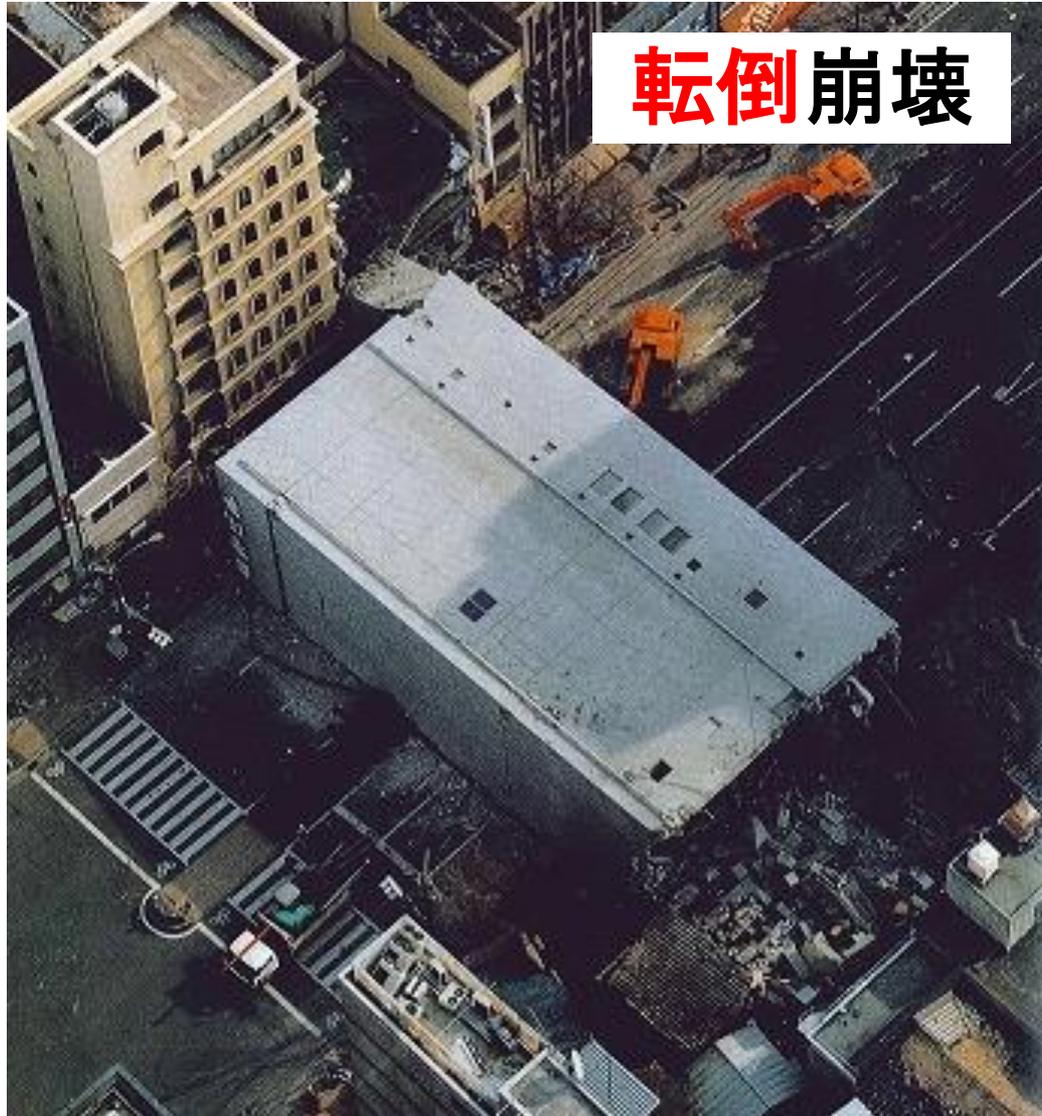
1階ピロティの崩壊

兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)



中間層崩壊

兵庫県南部地震(阪神淡路大震災)



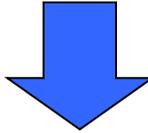
転倒崩壊

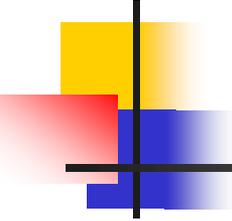
大地震での鉄筋コンクリート造・鉄骨造全壊率

耐震基準	建設年代	震度6強	震度7
旧耐震設計法	1971年以前	2.9%	19%
旧耐震設計法 (鉄筋コンクリート 柱の粘り強さ 改善)	1971 ~1981年	2.6%	15%
新耐震設計法	1981年以降	0.6%	4.6%

内閣府中央防災会議資料より

兵庫県南部地震の建物被害の特徴

- 耐震性能は新しい建物ほど向上している
 - 1981年(新耐震)以降に建設された建物の被害は、それ以前(旧耐震)のものに比べて少なかった
 - **耐震診断&耐震補強**が事前に行われていたら被害はかなり軽減されていたはず
- 
- **1995年12月**
「建築物の耐震改修促進法」 施行
(目的: **新耐震並み**の耐震性を確保)



地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ

(2) 非構造部材*の被害

1978年宮城県沖で問題露見

2005年福岡県西方沖地震で被害顕著

* マンションの共用廊下に面した外壁やベランダ側の外壁のように、ドア、窓などの開口が多く、地震力の負担を期待しない部材。他に天井、外壁、扉などの建具類等もこれに含まれる。

これらの部材に大きな被害が生じても建物が壊れるわけではない。

非構造部材の被害例(福岡県西方沖地震)

ベランダ側外壁

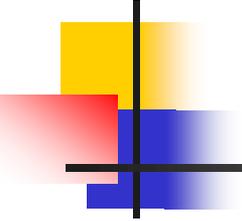


非構造壁の被害



開閉不能の玄関扉





本日の内容

1. 地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ
(1)構造部材 (2)非構造部材
- 2. 東日本大震災、熊本地震の被害**
3. 今後想定される巨大地震と地震被害
4. 非構造部材の地震対策
5. 構造部材の地震対策
6. 今後に備えて

東日本大震災の被害の特徴

被災範囲 広大

=地震学者でも想定できなかったM9.0の巨大地震

沿岸地域の津波被害 甚大

=869年貞観地震で大規模津波:歴史に学ぶ大事さ

構造部材被害小も基礎被害の建物有り

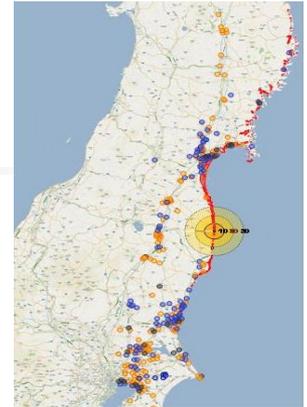
=地盤の影響で大きく揺れたり、基礎被害が出るものも

液状化による建物の沈下・傾斜被害 大

=震度5でも長時間揺されると液状化が起こる

長継続時間による非構造部材破損有り

=天井等が繰り返し揺されると吊り材が破損して落下



横浜の9階建ビルの最上階の揺れの再現



左右600ガル*
前後220ガル

*ガルは加速度の単位で、
重力加速度1Gは980ガル

新宿の29階建ビル(工学院大学)の最上階 の揺れの再現



左右341ガル(片振幅38cm)
前後235ガル(片振幅37cm)

東日本大震災での揺れ方の違い

◆10階建て程度の中層建物

小刻みに激しく揺れて、座りの悪いものはすぐに倒れる。固定していない家具も早い時期に転倒すると想定される。固定していても内容物が飛び出す。

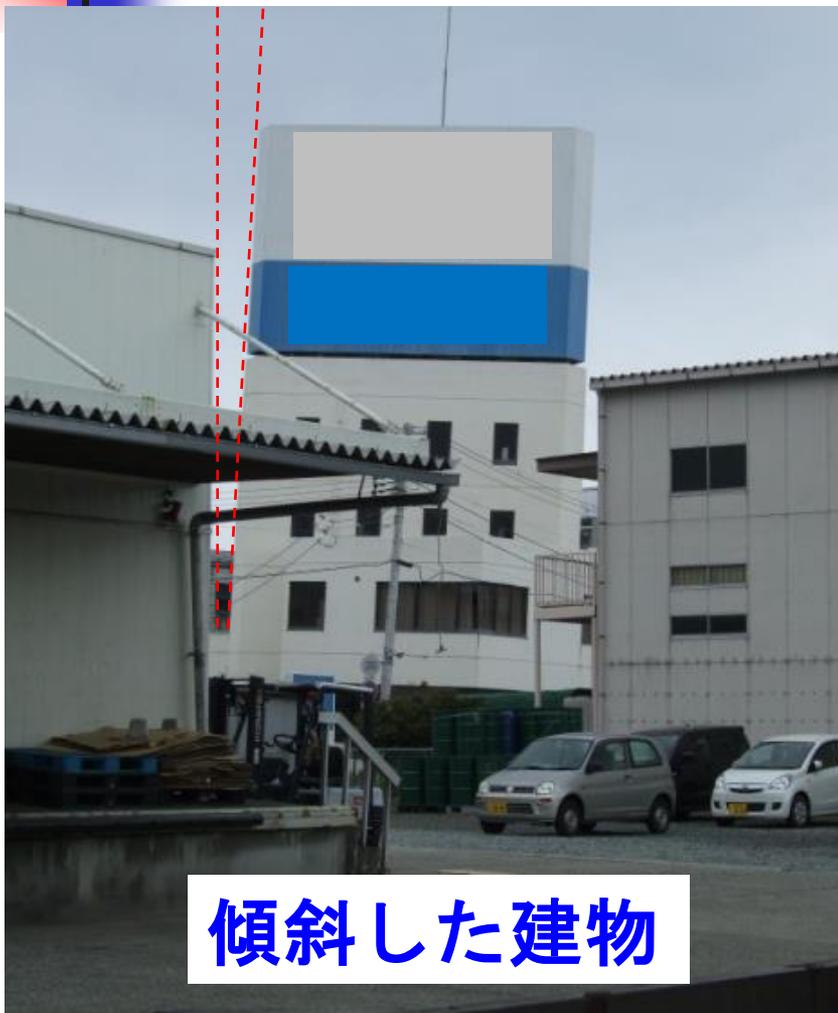
5階建て程度の低層建物も同じ傾向。

◆30階建て程度の高層建物

ゆっくり揺れて、振れ幅が大きいのが特徴。

家具を固定していれば、内容物が飛び出す可能性は低い。ただし、キャスター付きの家具などは大きく移動する。建物高さが高くなればなるほど、この傾向が強まる。

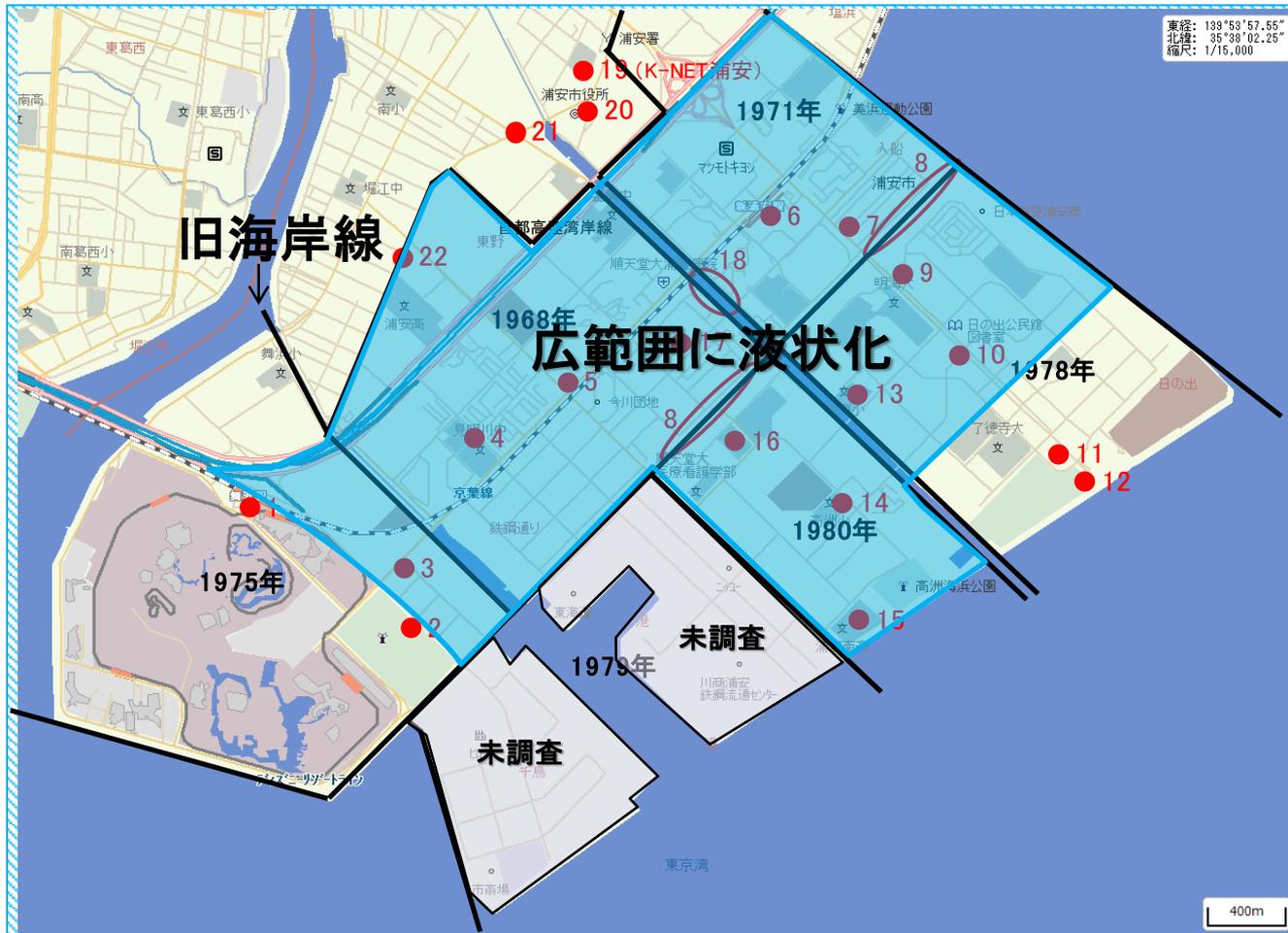
建物被害状況(仙台市) 基礎傾斜



地盤が弱い場合には、杭が壊れることもある。

液状化被害状況(浦安市)

- 建物の沈下、傾斜、基礎回りの地盤沈下



液状化被害状況(浦安市)

■ 建物の沈下、傾斜、基礎回りの地盤沈下



液状化被害状況(浦安市)

■ 建物の沈下、傾斜、基礎回りの地盤沈下



液状化しても、地中の固い地盤に杭でしっかりと支持されているマンションであれば、被害は少ない

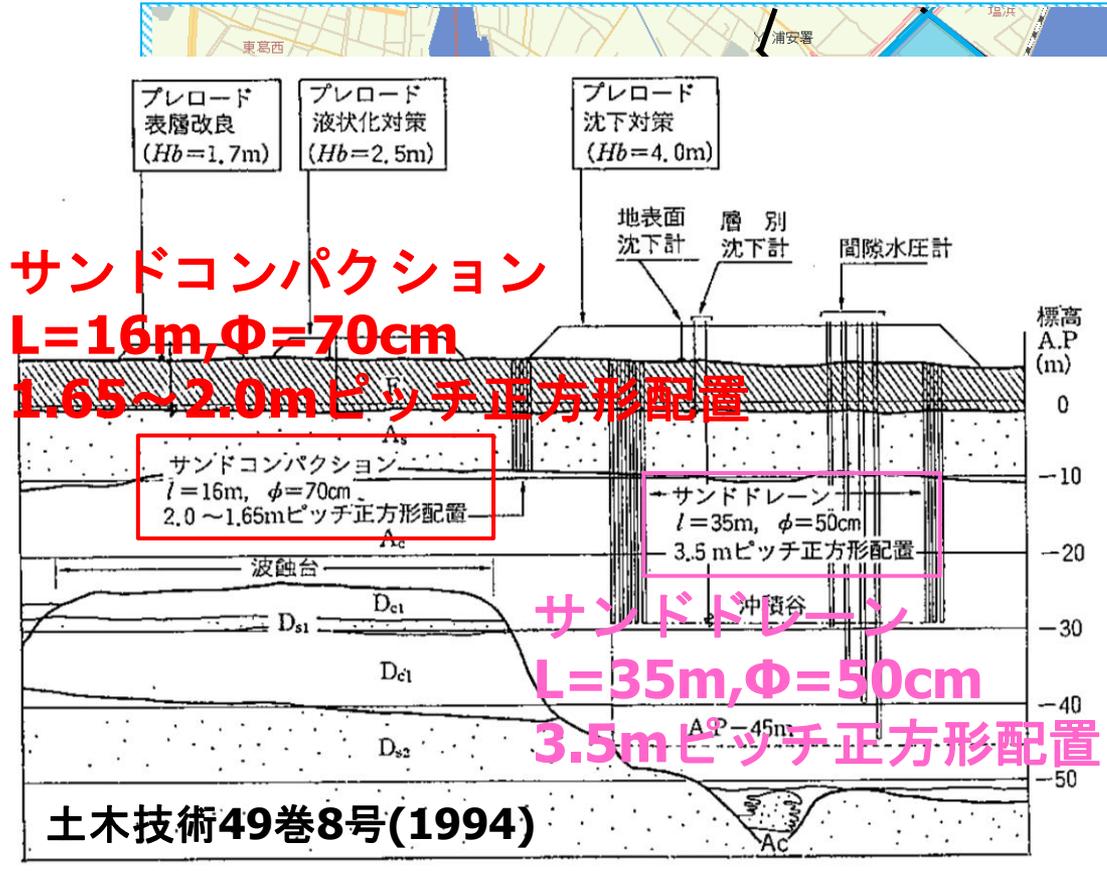


液状化被害の無い地域(浦安市)



液状化被害の無い地域(浦安市)

■ 埋め立て地盤に対して地盤改良実施



サンドコンパクション
L=16m, Φ=70cm
1.65~2.0mピッチ正方形配置

サンドドレーン
L=35m, Φ=50cm
3.5mピッチ正方形配置



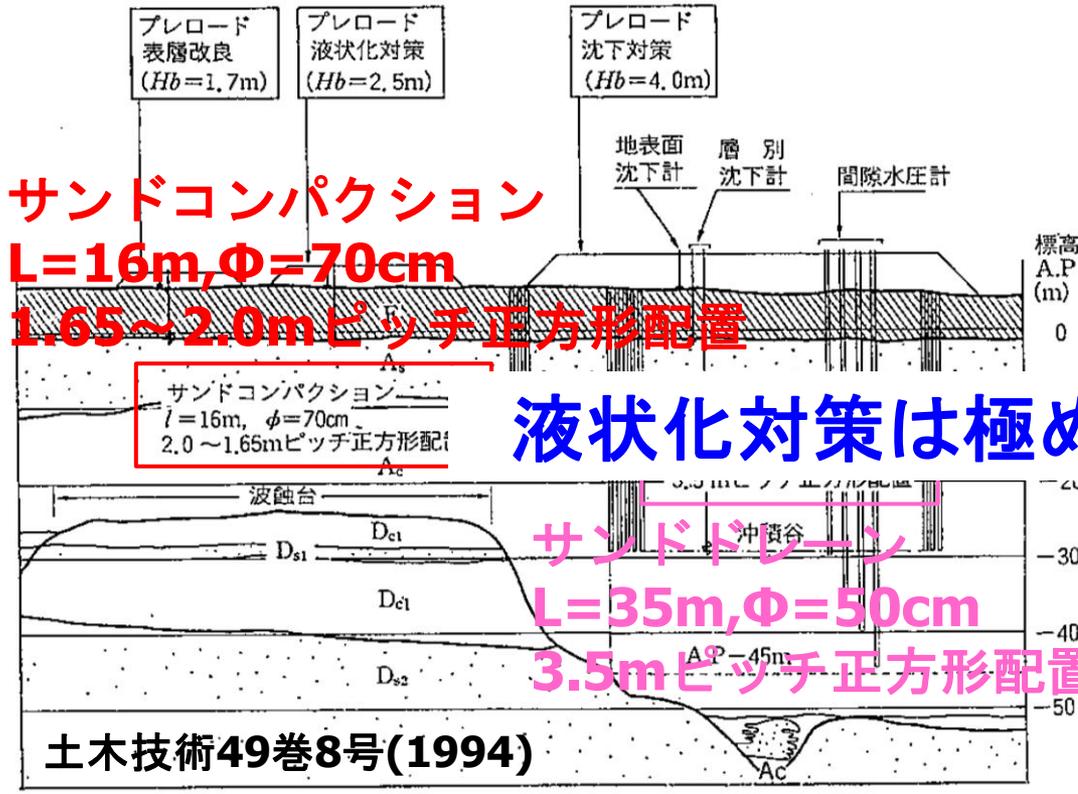
公園近くの建物
浦安市総合公園



歩道の状況 (特に被害なし)

液状化被害の無い地域(浦安市)

■ 埋め立て地盤に対して地盤改良実施



公園近くの建物
浦安市総合公園

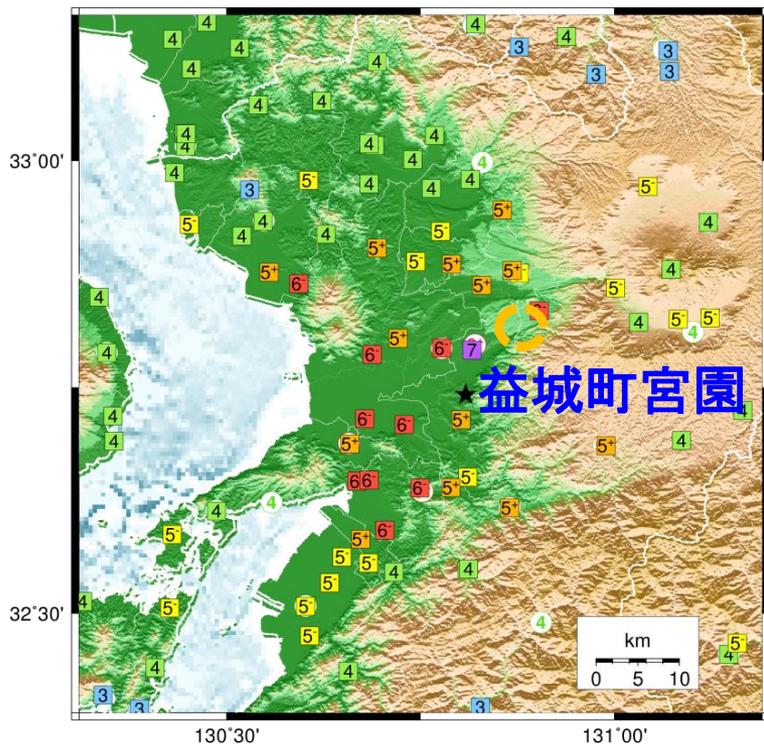


歩道の状況 (特に被害なし)

熊本地震の特徴

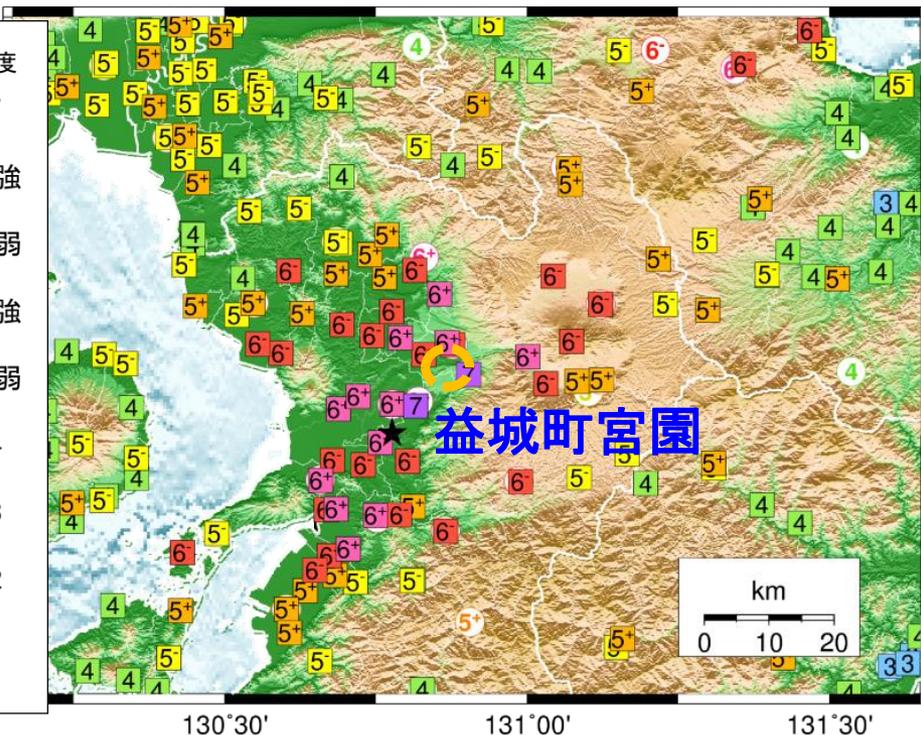
4月14日21時26分 M6.5

4月16日01時25分 M7.3



JMA NIED 震度

7	7	7
6+	6+	6強
6-	6-	6弱
5+	5+	5強
5	5	5弱
4	4	4
3	3	3
2	2	2
1	1	1



2016/4/16 1:25

益城町宮園で震度7が2回発生

気象庁、防災科研

層崩壊（熊本市内：震度6強、宇土市：震度6強）



RCマンション：最下層崩壊

（前震で損傷・本震後に崩壊：消防の適切な避難誘導により死者なし）

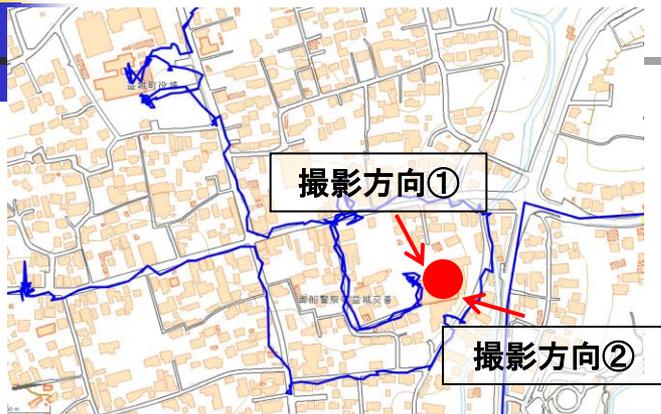


RC3階建て医院：最下層崩壊



宇土市役所：4階層崩壊

益城町役場周辺

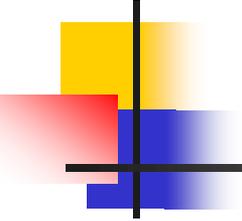


建物南東側の土留壁が崩壊・・・上部構造は無被害だが、建物が傾斜（杭も損傷か？）

➡ 下部構造（基礎構造）の耐震性の配慮がないと、建物機能維持が困難となる例

熊本地震のRC造の被害のまとめ

- 古いRC建物の最下層崩壊の多くがピロティ形式
- 耐震診断でNGだった宇土市役所は4階で層崩壊
- 構造被害は一部の建物で、全体的には構造被害は少（震度7地域にRC造が少なかったことも一因）
- 上部構造は健全でも、盛り土の土留め壁の崩壊により、建物が傾斜した例あり
- 免震構造は今回の地震でも上部構造は無被害でその効果が確認された



本日の内容

1. 地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ
(1)構造部材 (2)非構造部材
2. 東日本大震災、熊本地震の被害
- 3. 今後想定される巨大地震と地震被害**
4. 非構造部材の地震対策
5. 構造部材の地震対策
6. 今後に向けて

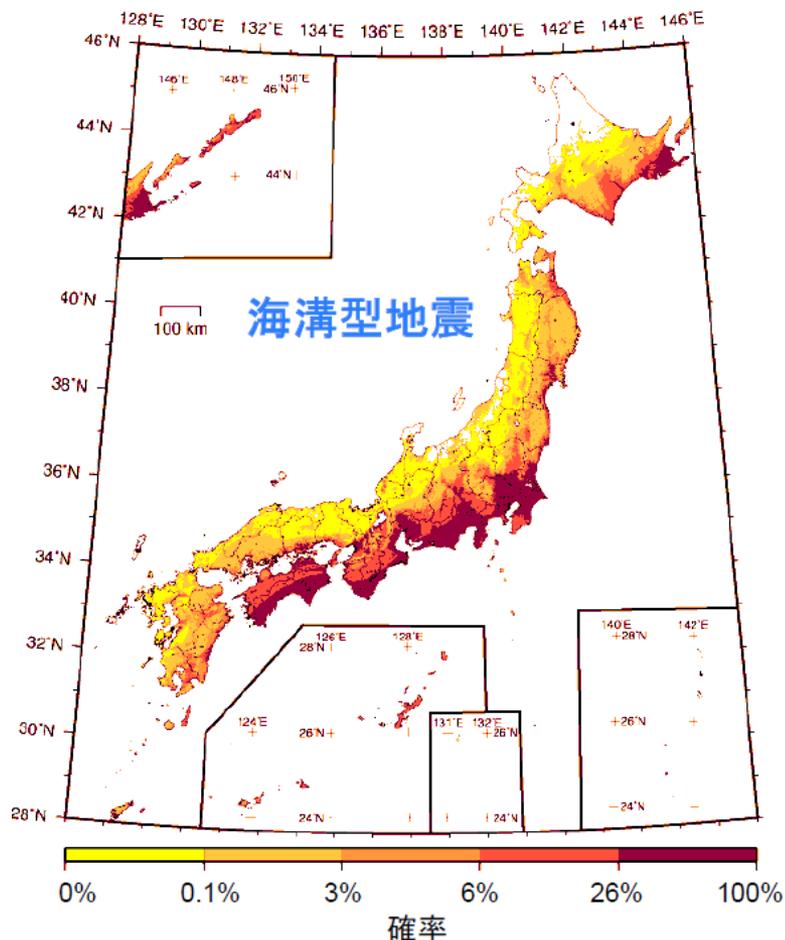
関東における大地震の切迫性

日本では、2000年以降M7以上の地震が多発、地震活動期に入った（日本でのM7以上の地震発生回数を以下の表に示す）

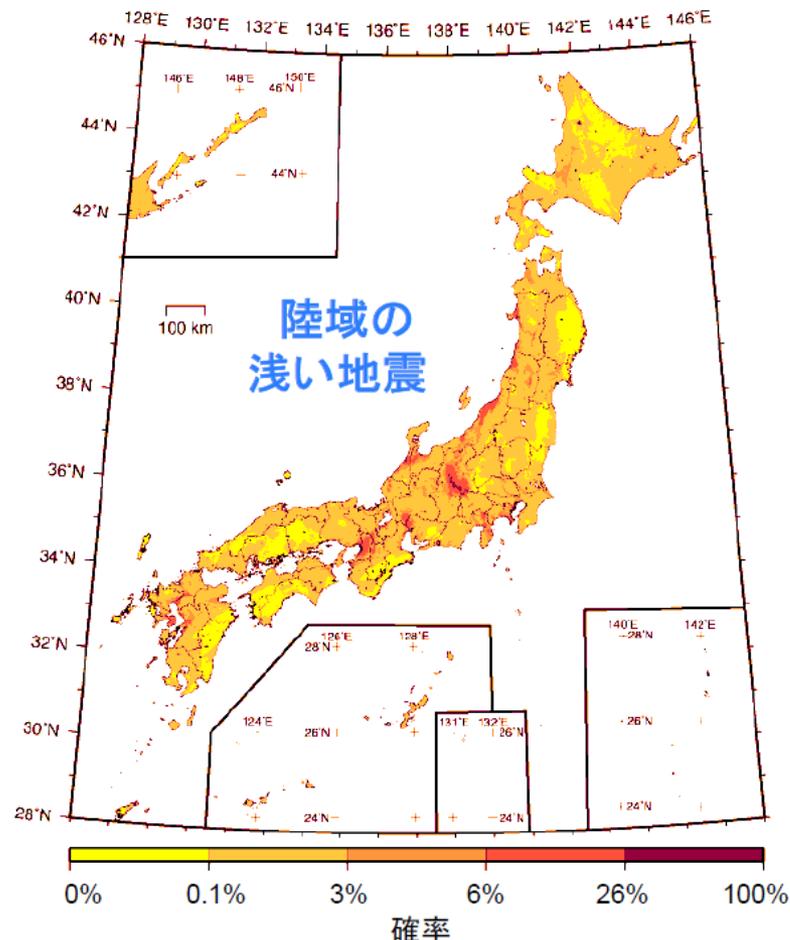
年代	M7以上	内M8以上	主な大地震
1900-1909	8	0	
1910-1919	6	1	
1920-1929	6	0	1923大正関東
1930-1939	7	1	
1940-1949	11	1	1944昭和東南海、46昭和南海
1950-1959	4	2	
1960-1969	9	0	
1970-1979	4	0	
1980-1989	5	0	
1990-1999	6	1	1995兵庫県南部
2000-2009	12	1	
2010-2016	15	2	2011東北地方太平洋沖

関東における大地震の切迫性

2016年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率



海溝型地震による揺れに見舞われる確率

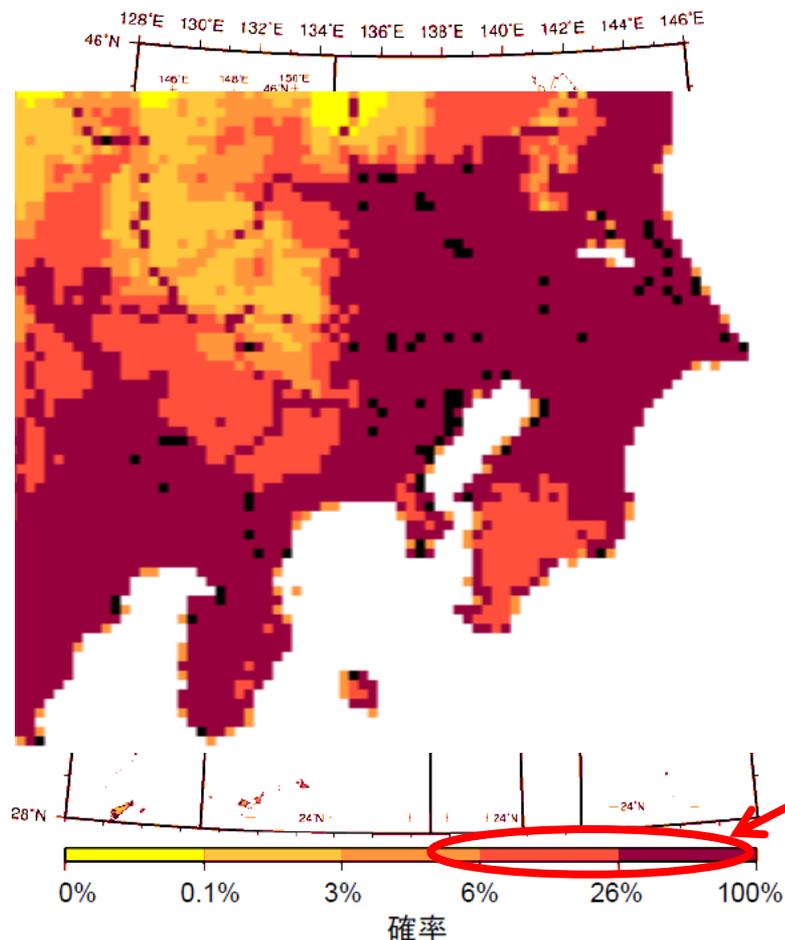


陸域の浅い地震による揺れに見舞われる確率

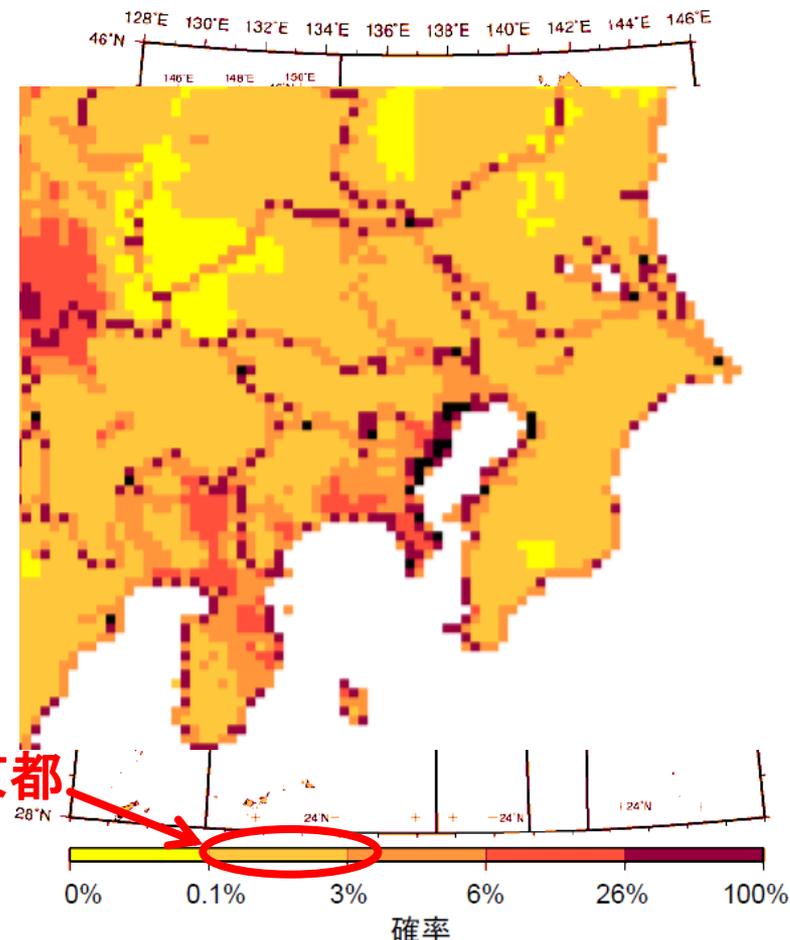
2016年6月10日 文部科学省地震調査研究推進本部

関東における大地震の切迫性

2016年から30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率



海溝型地震による揺れに見舞われる確率



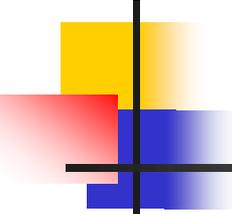
陸域の浅い地震による揺れに見舞われる確率

東京都

2016年6月10日 文部科学省地震調査研究推進本部

(参考)大地震の発生直前における確率

- **東北地方太平洋沖地震** (2011.3.11、M9)
30年以内発生確率 10~20%
- **兵庫県南部地震** (1995.1.17、M7.3)
30年以内発生確率 0.02~8%
- **熊本地震** (2016.4.16、M7.3)
30年以内発生確率
布田川断層帯 ほぼ0~0.9%
日奈久断層帯 ほぼ0~6%



発生が懸念される巨大地震

■ 南海トラフの巨大地震

内閣府 各地震度、人的被害32万人、経済被害220兆円などを公表 (M9地震を想定)

201512.17地震動評価報告書公表

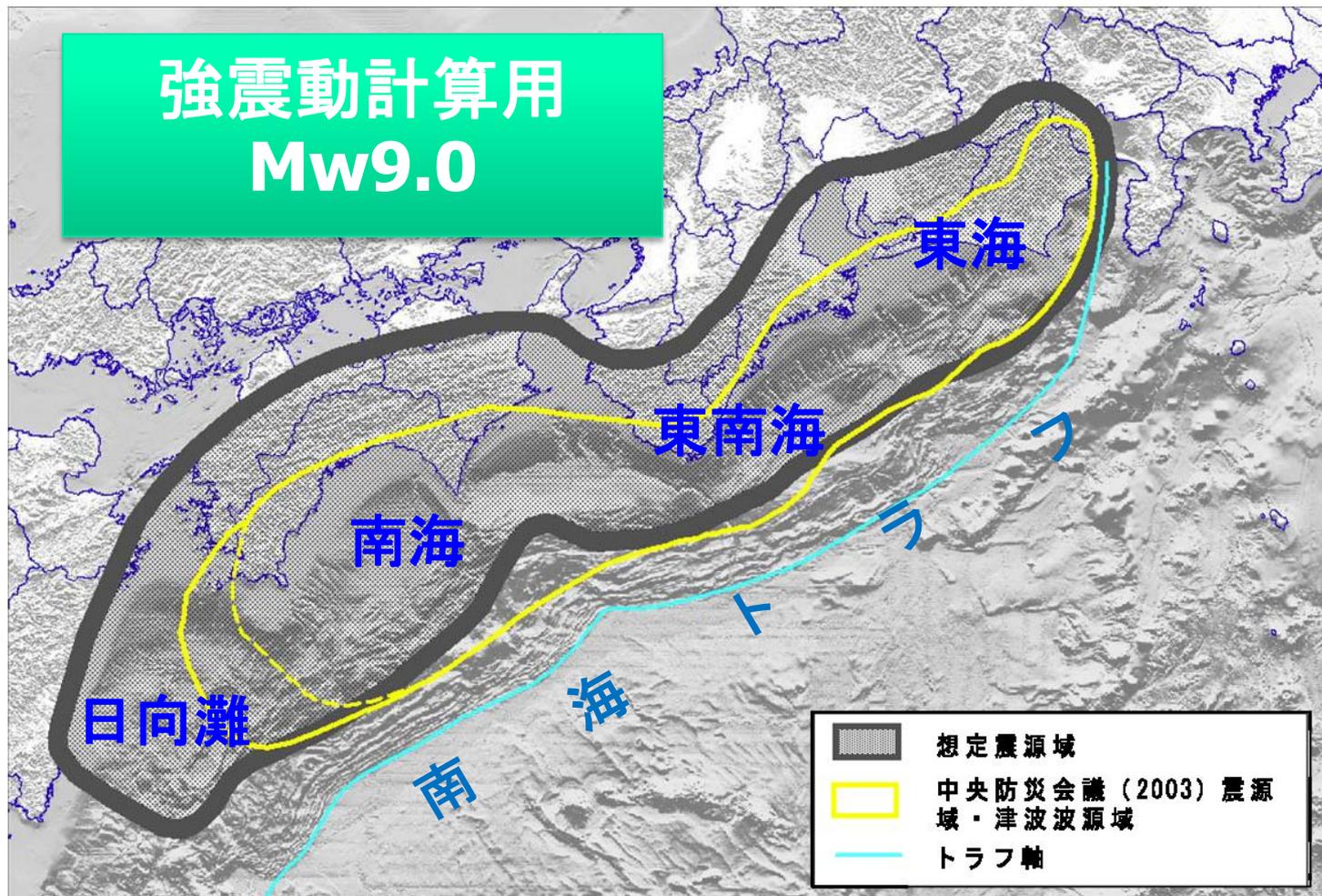
国交省 2016.6.24長周期地震動公表 (M8クラス)

東京都 液状化、震度などを公表

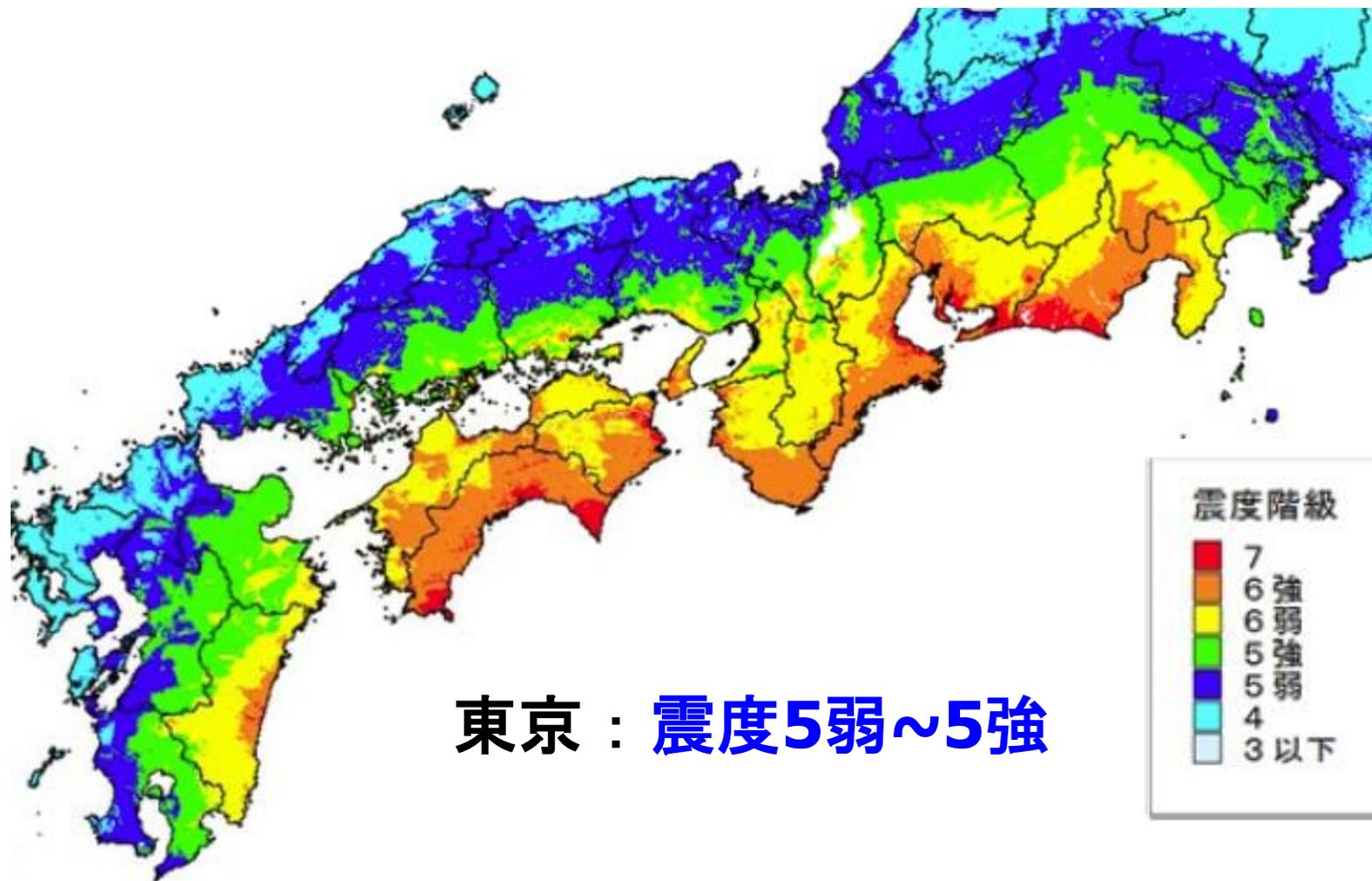
■ 首都直下地震

東京都 震度、地震動の大きさ、津波高さなどを公表 (東京湾北部、元禄関東、立川断層)

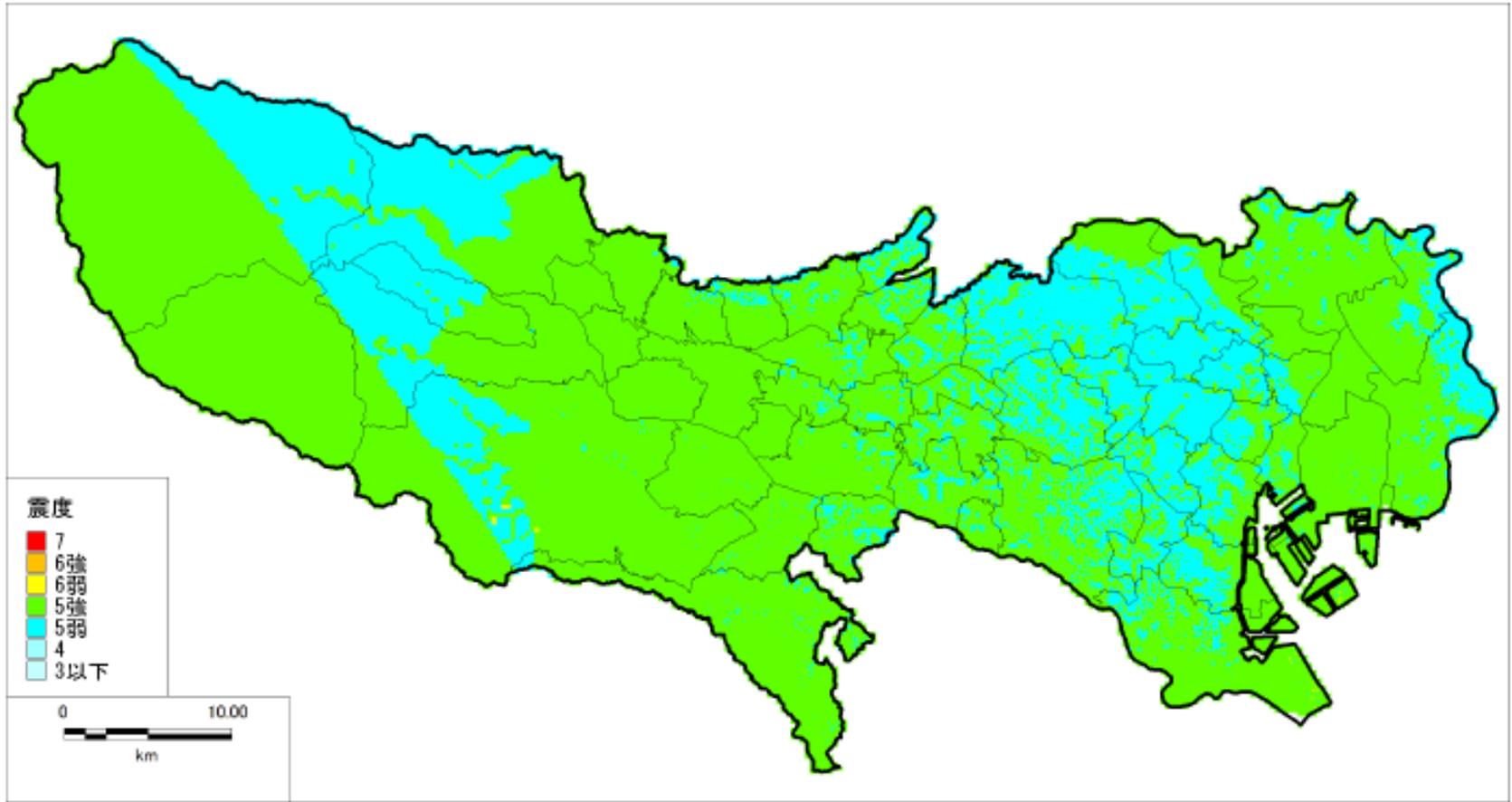
南海トラフの想定震源断層域



南海トラフの巨大地震:M9.0時の震度

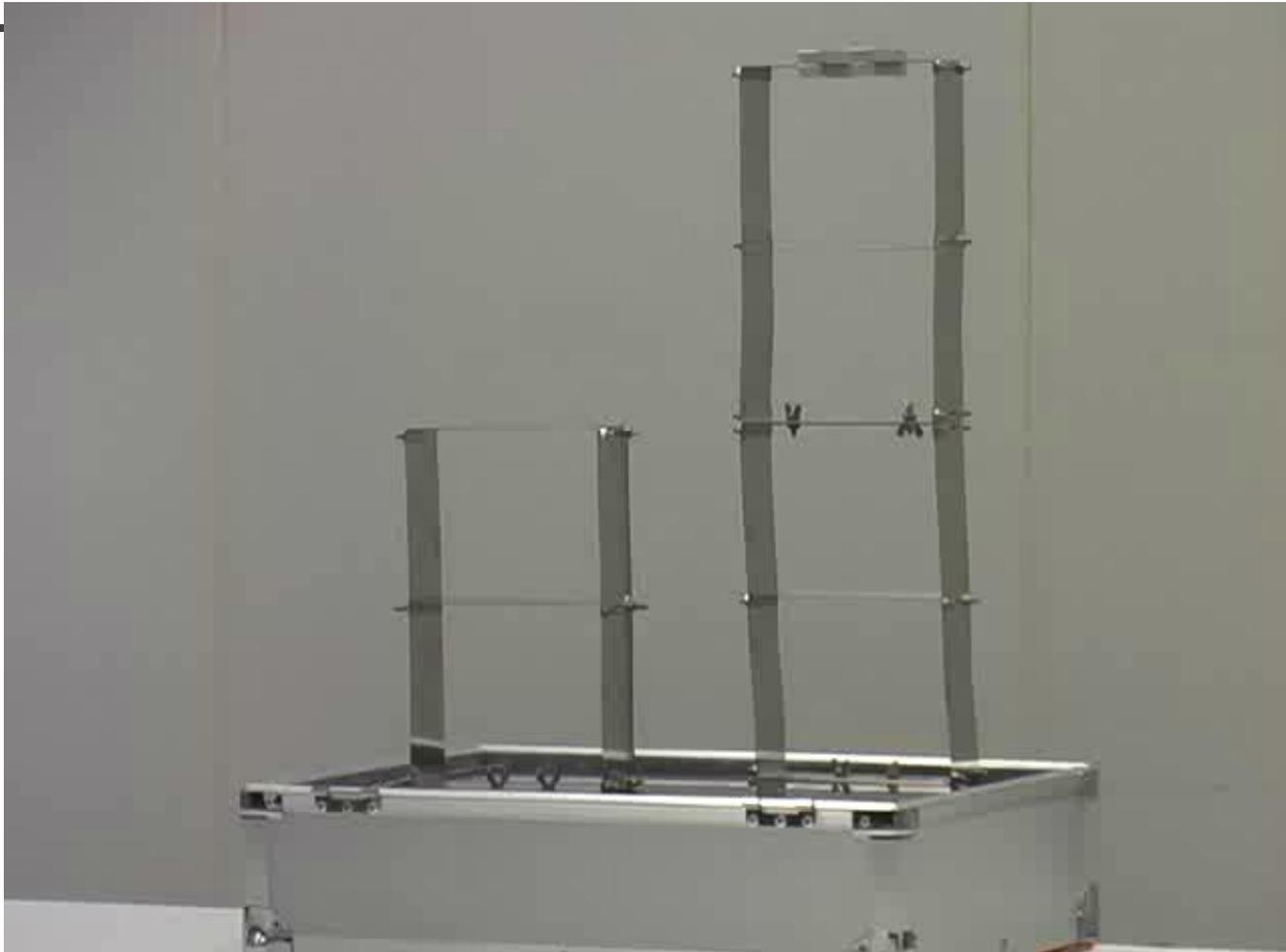


南海トラフの巨大地震:M9.0時の震度



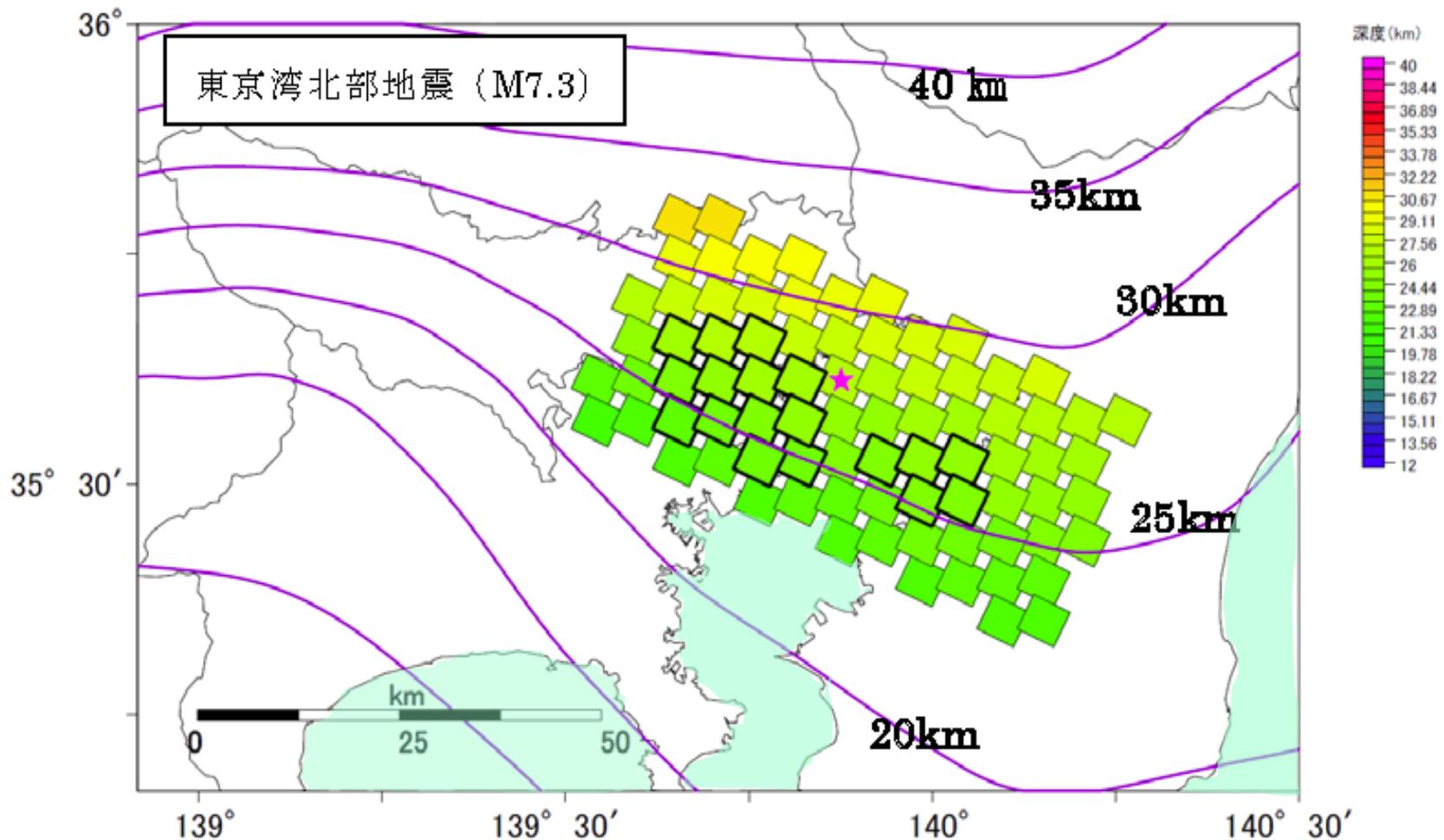
東京の震度：5弱～5強

南海トラフ地震時の東京の建物の揺れ方



**震度は小さくても、40階建て以上の
高い建物が大きく揺れる**

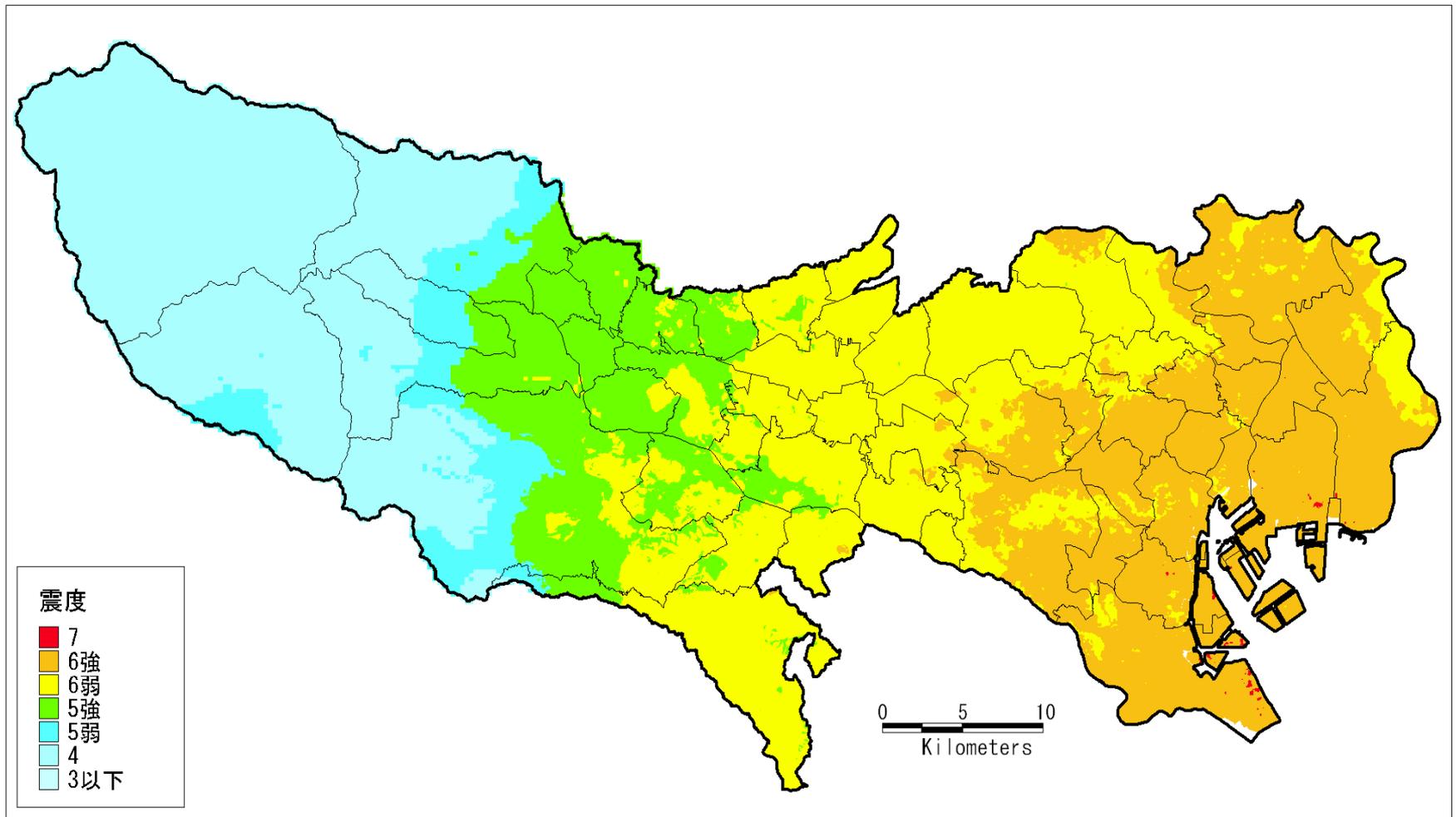
直下地震：東京湾北部地震(M7.3)



太枠線はアスペリティ (※)、★は破壊開始点

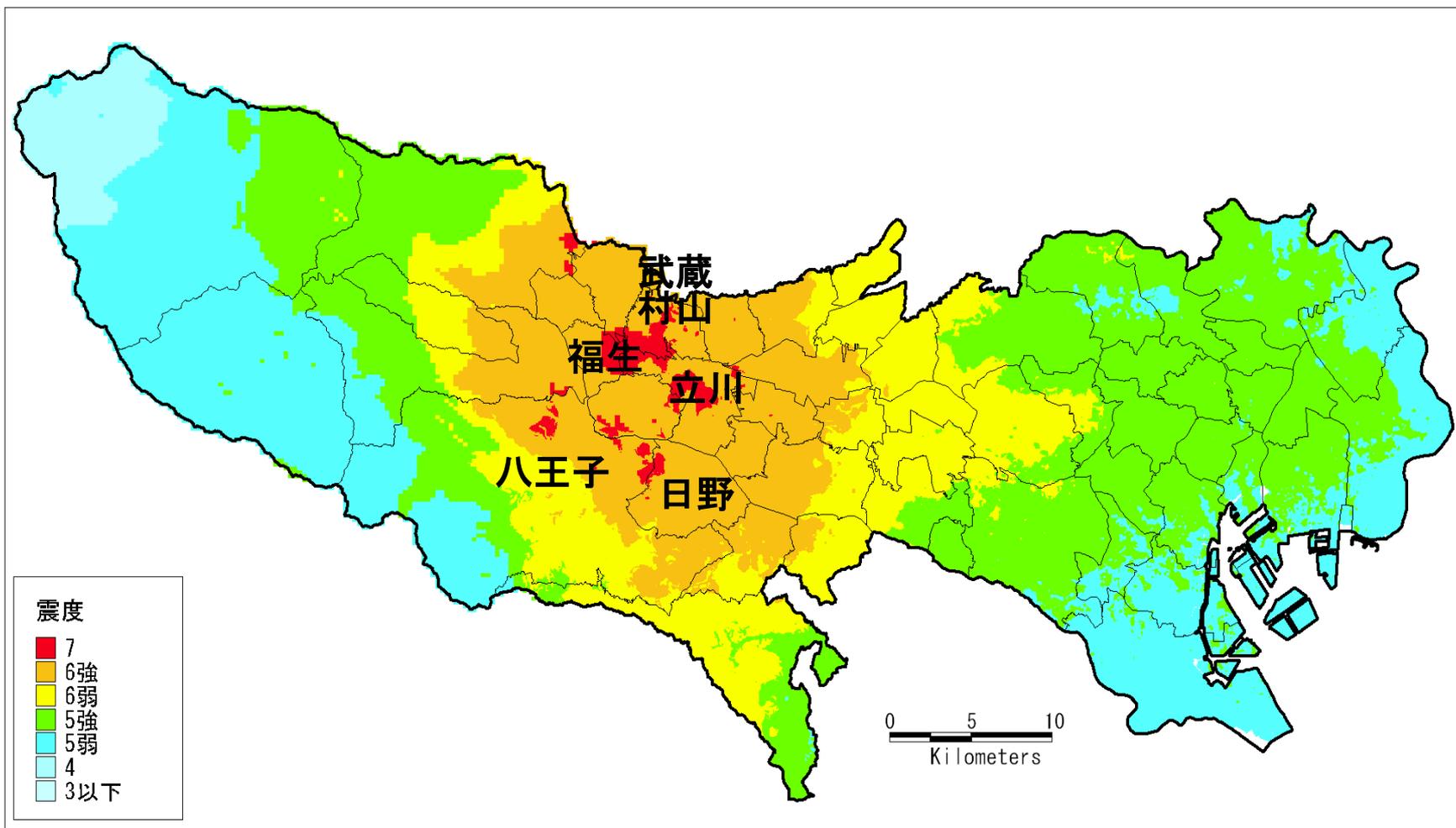
(※) アスペリティ：震源断層の中で特に強い地震波を生成する領域

東京湾北部地震(M7.3)の震度分布



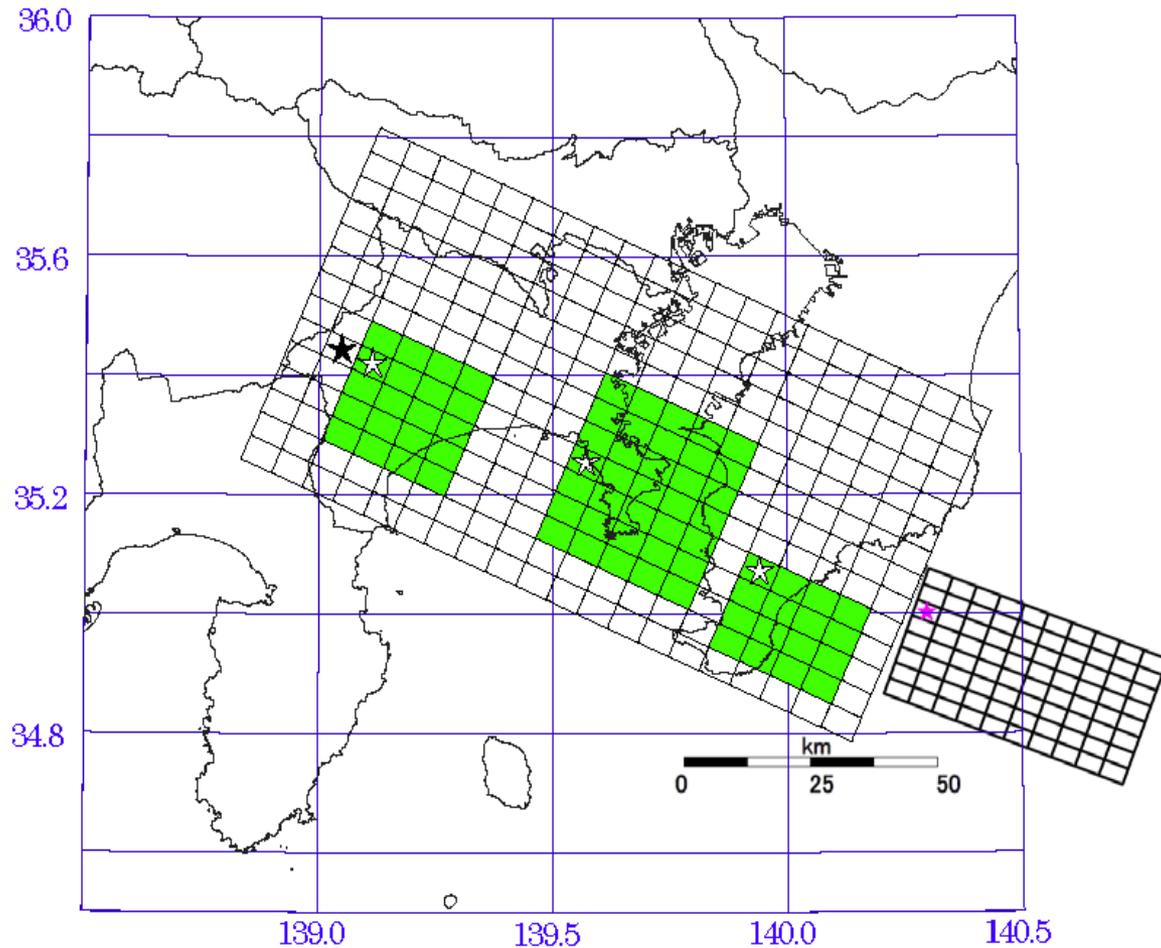
東京湾北部地震 (M7.3)

立川断層帯地震(M7.4)による震度分布



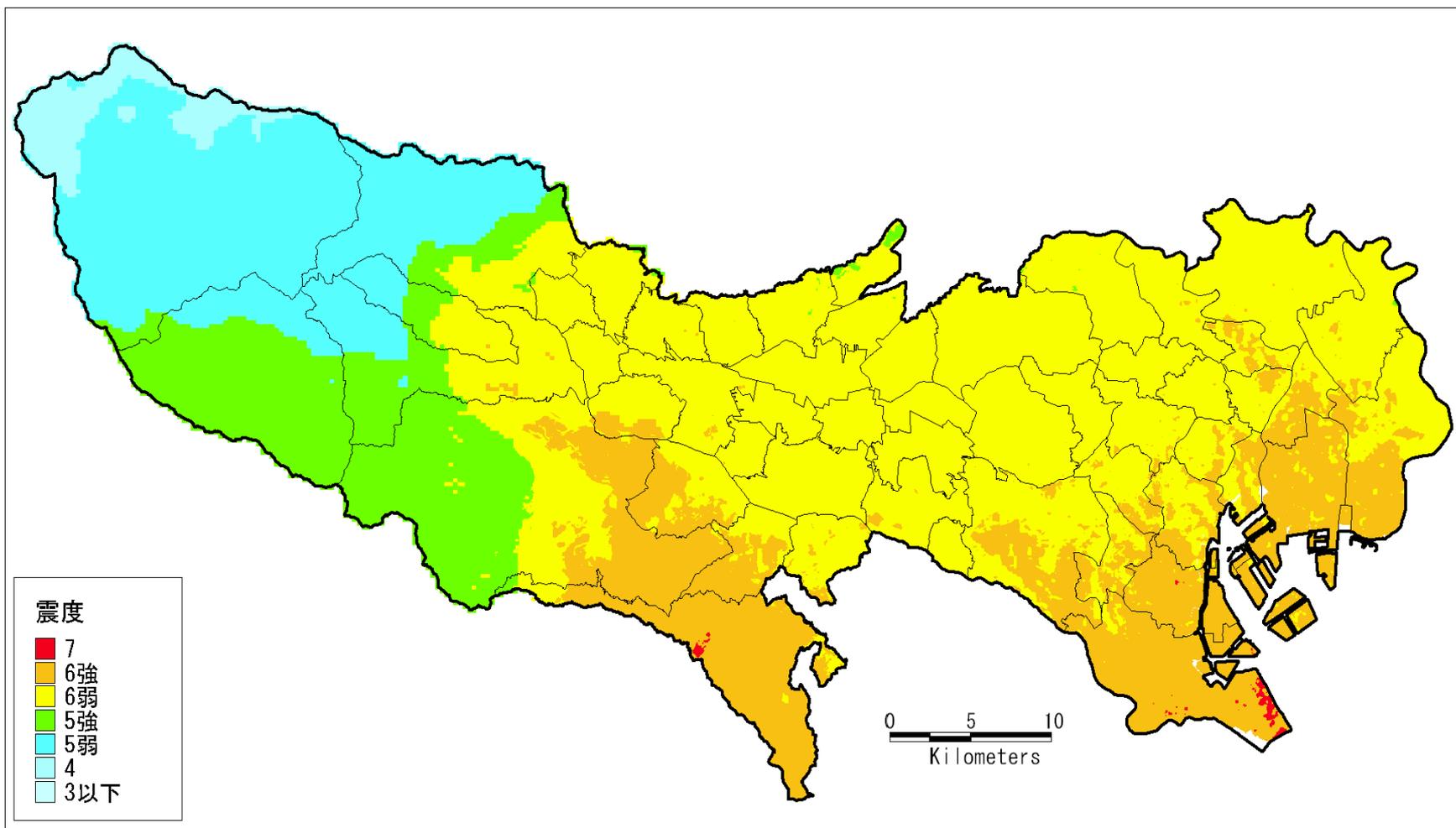
立川断層帯地震 (M7.4)

直下地震：元禄型関東地震(M8.2)



緑部分はアスペリティ、★は破壊開始点

元禄型関東地震による震度分布



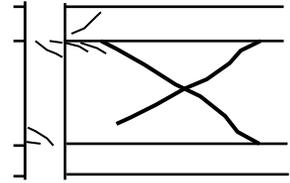
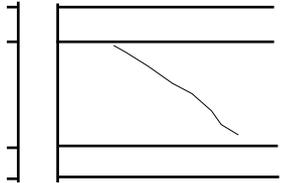
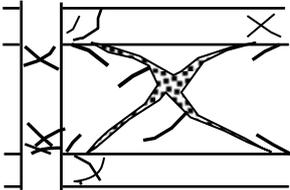
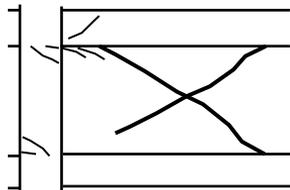
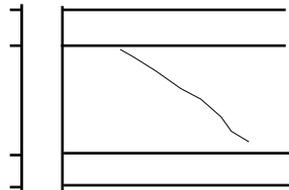
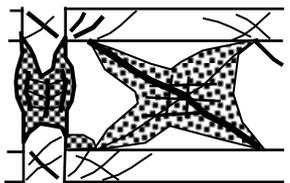
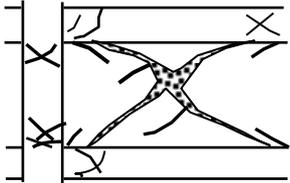
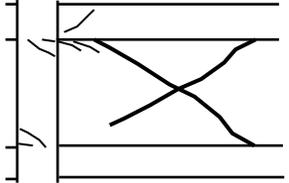
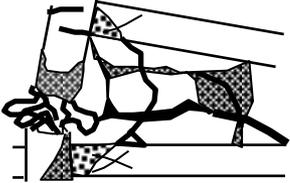
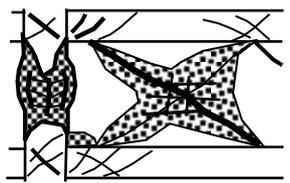
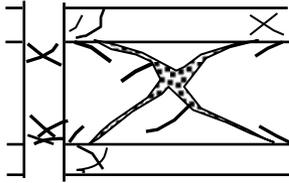
元禄型関東地震 (M8.2)

直下地震時の建物の揺れ方



15階建て以下の低い建物が大きく揺れる

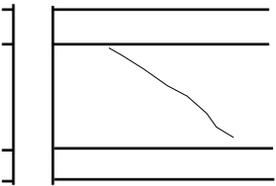
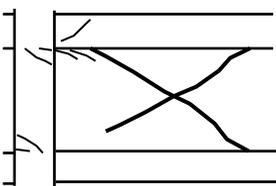
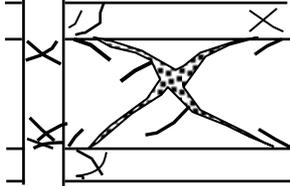
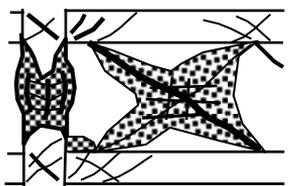
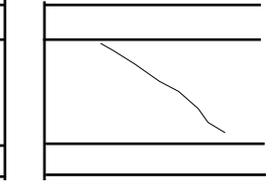
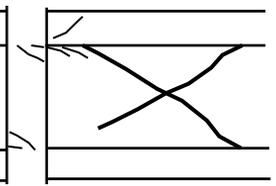
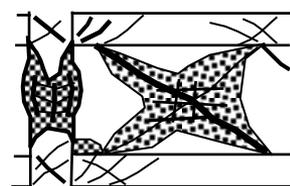
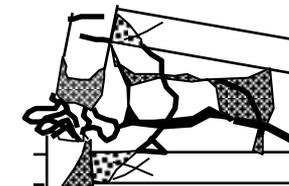
構造部材の被害想定

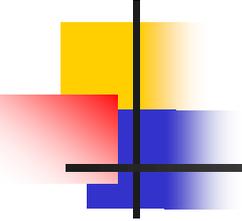
震度	主な地震例	1981年以前	1981年以後	超高層
5強	東北太平洋 (東京) 2011.3.11			
6弱	福岡西方 2005.3.20			
6強	宮城北部 2003.7.26			
7	兵庫南部 1995.1.17			

サーツ「あなたが知りたいマンションの耐震性」より抜粋

大地震の連発の影響(熊本地震)

- ◆熊本地震での新たな研究課題で検討はこれから
- ◆個人的見解としては以下の通り(前震と本震が同程度の場合のイメージ)

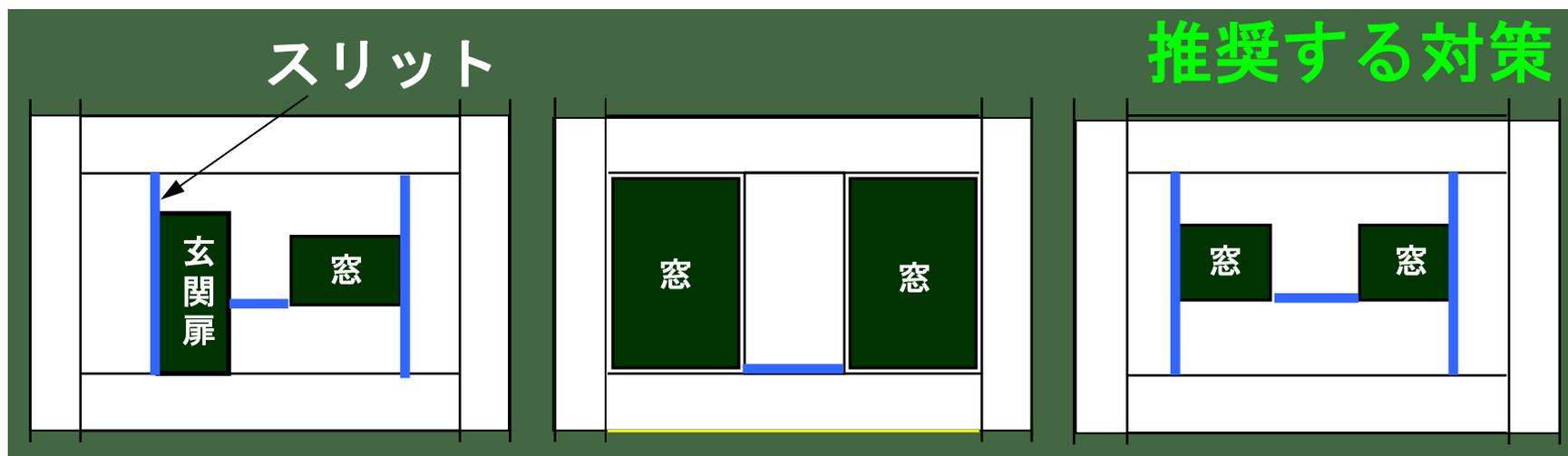
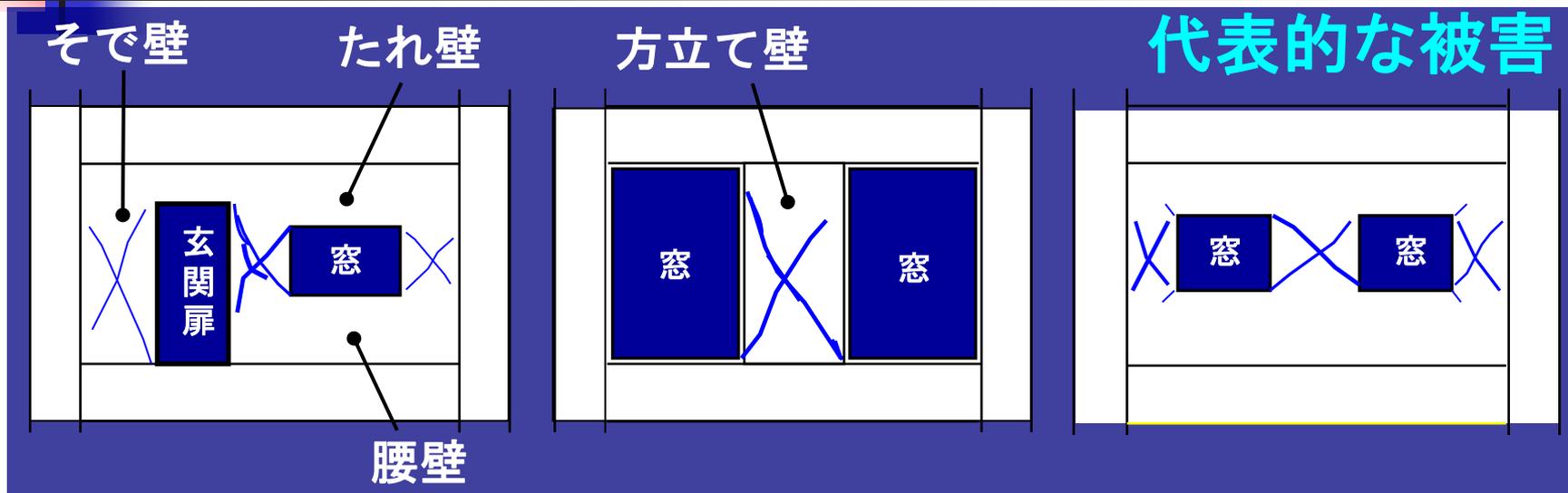
	軽微	小破	中破	大破
前震				
本震	軽微	小破	大破	倒壊
				



本日の内容

1. 地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ
(1)構造部材 (2)非構造部材
2. 東日本大震災、熊本地震の被害
3. 今後想定される巨大地震と地震被害
- 4. 非構造部材の地震対策**
5. 構造部材の地震対策
6. 今後に向けて

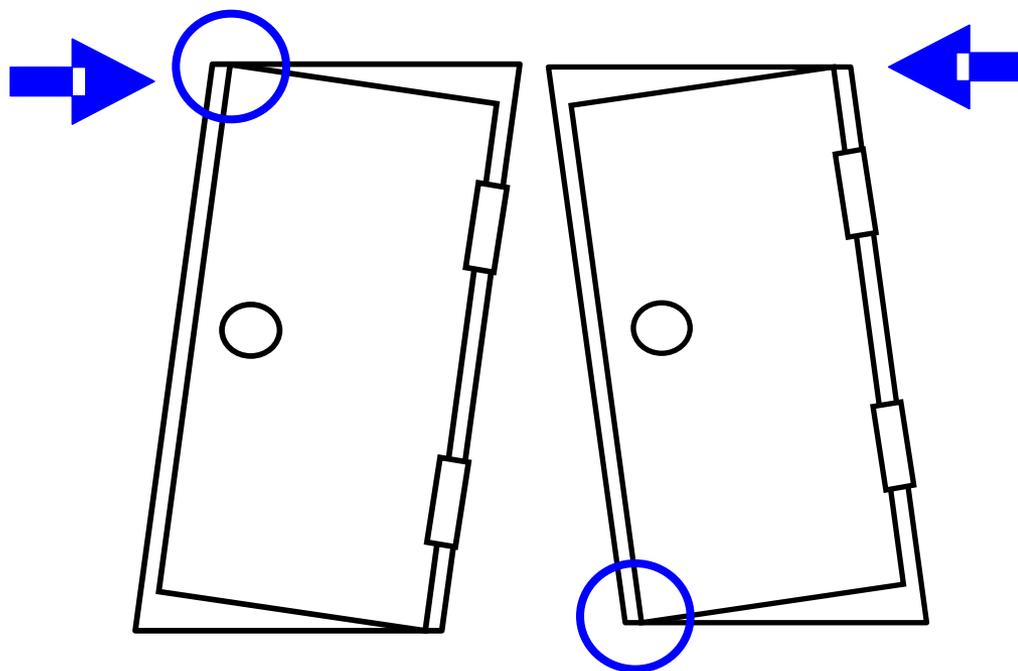
鉄筋コンクリート非構造壁の被害と対策



スリット部分のみが変形し、壁はひび割れない

玄関ドアの被害と対策

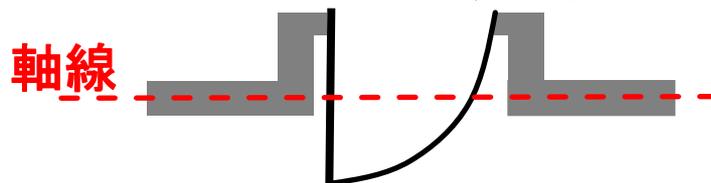
代表的な被害



○部で接触して開閉不能

対策

- ・クリアランス大きく
- ・耐震ドアの採用
(ドア枠が長方形を保つ)
- ・アルコーブタイプ



(ドアが軸線からずれているため、ドアに直接変形が伝わらない)



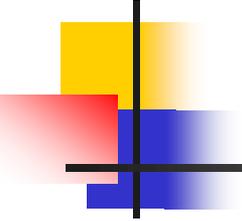
全景

地震時の家具、電化製品、
事務機器などの挙動



TCR 15:08:41:23

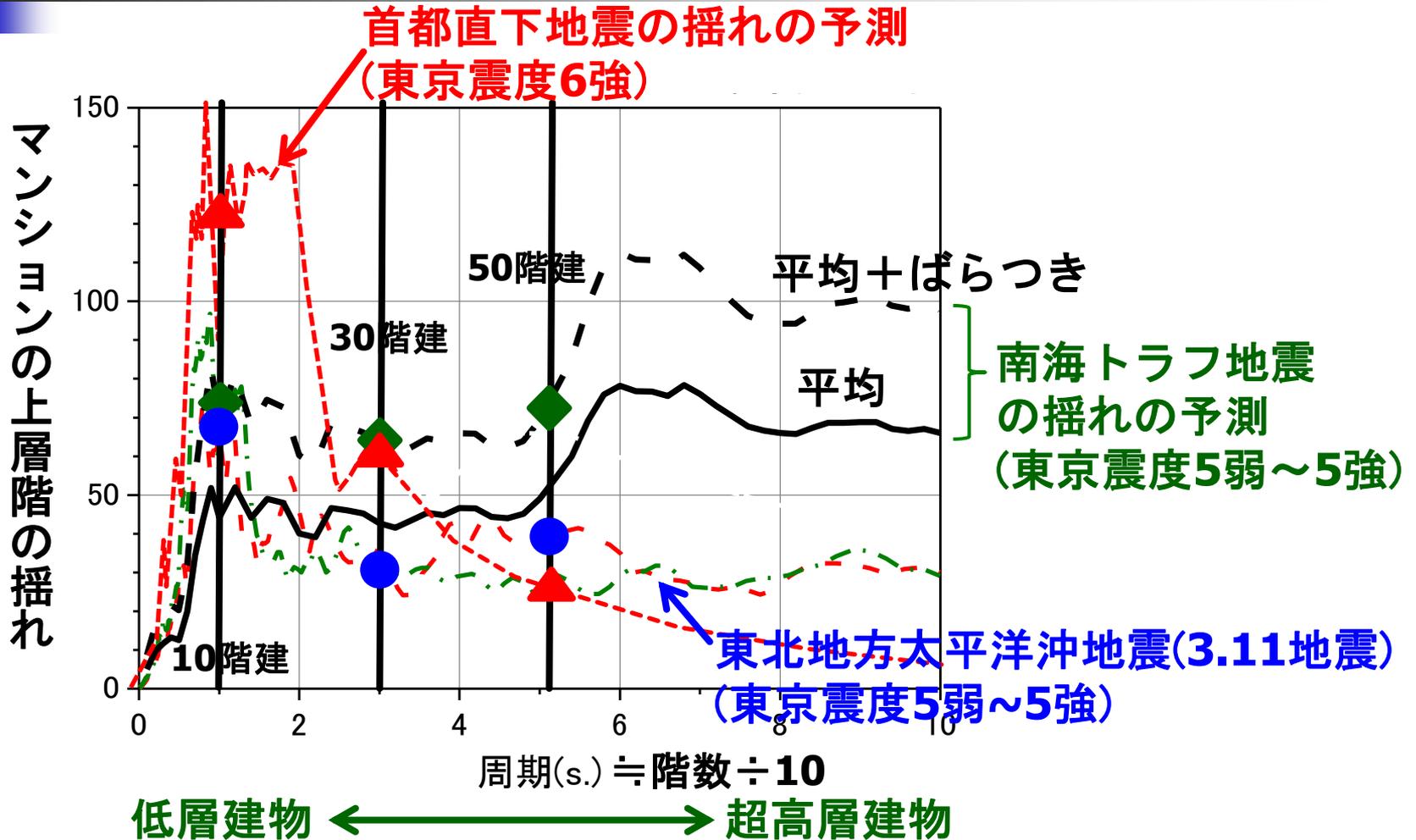




本日の内容

1. 地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ
(1)構造部材 (2)非構造部材
2. 東日本大震災、熊本地震の被害
3. 今後想定される巨大地震と地震被害
4. 非構造部材の地震対策
- 5. 構造部材の地震対策**
6. 今後に向けて

南海トラフ地震・首都直下地震の大きさ



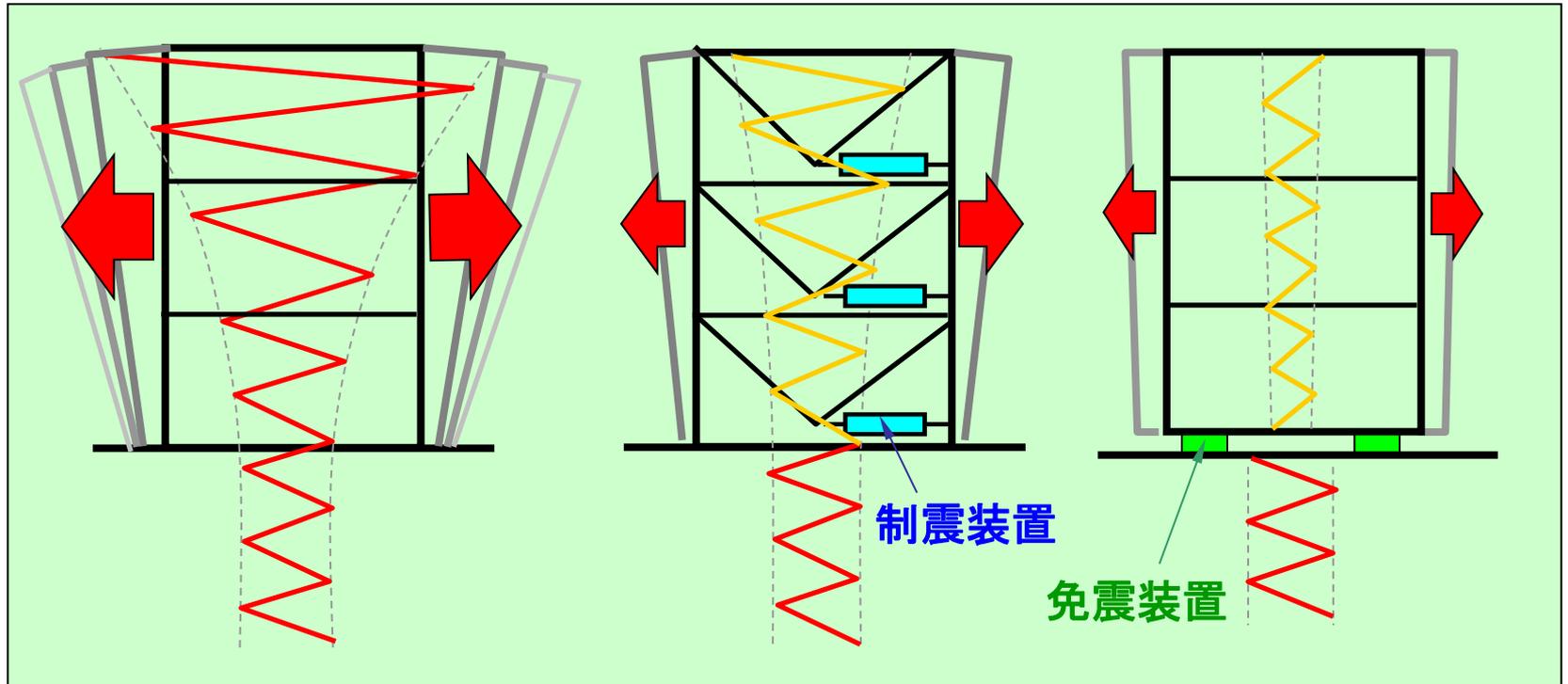
マンションの階数毎に、どの地震でどのくらい揺れるかがわかる図

高耐震の各種構造

耐震構造

制震構造

免震構造

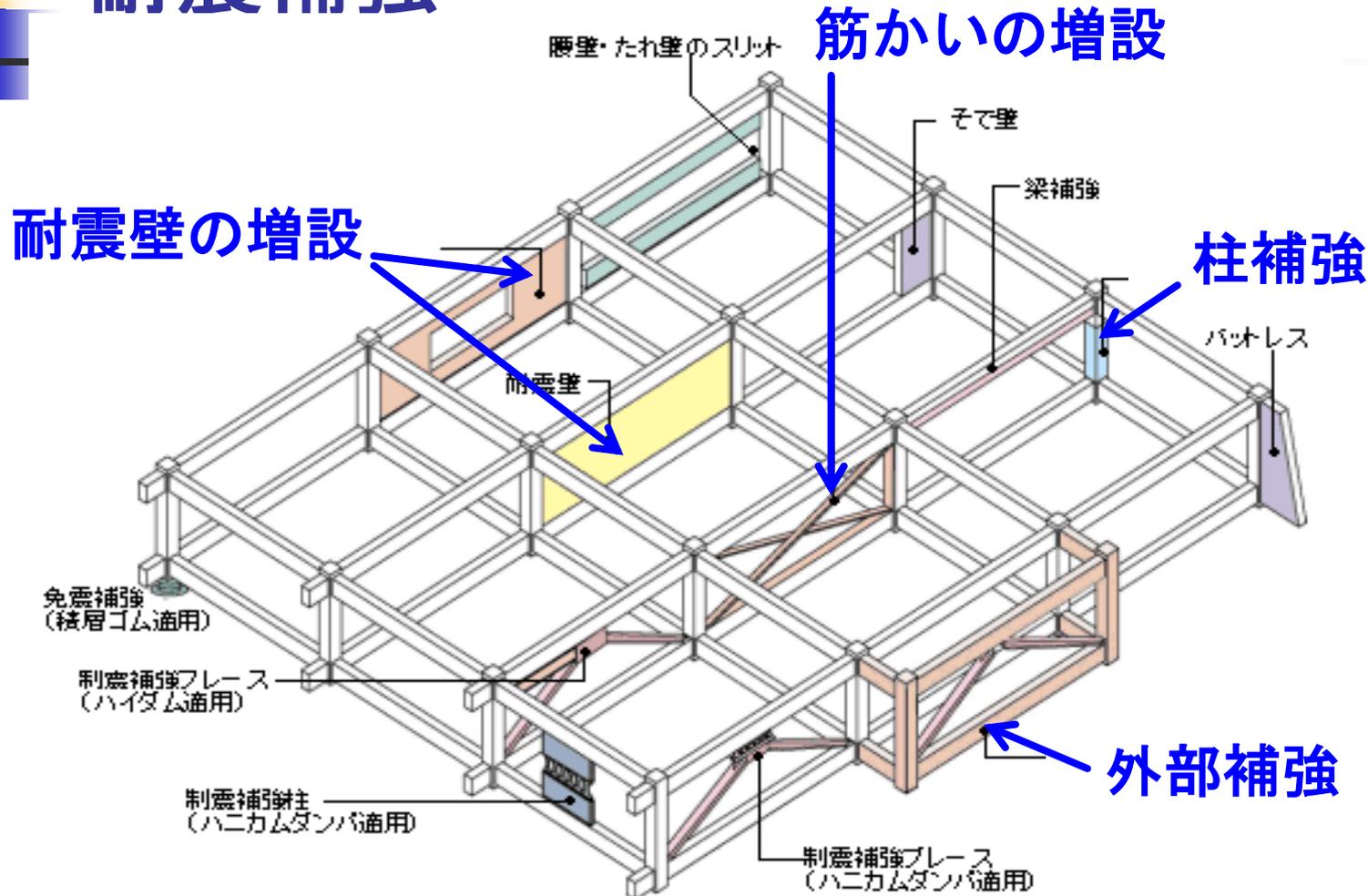


地震の揺れが建物に伝わり、上層階ほど大きく揺れる

建物に伝わった揺れを制震装置が吸収し、建物の揺れを小さくする

激しい震動を免震装置で絶縁し、揺れを劇的に低減

耐震補強



震度6強～7でも、**1981年の新耐震並みに耐震補強**しておけば、少なくとも倒壊は免れる可能性大

耐震補強の例



外付け補強フレーム
を既存バルコニーの
撤去無しに設置、開
口部を遮蔽しない



軽量のアルミブ
レースを外付け
重機不要で低騒
音施工



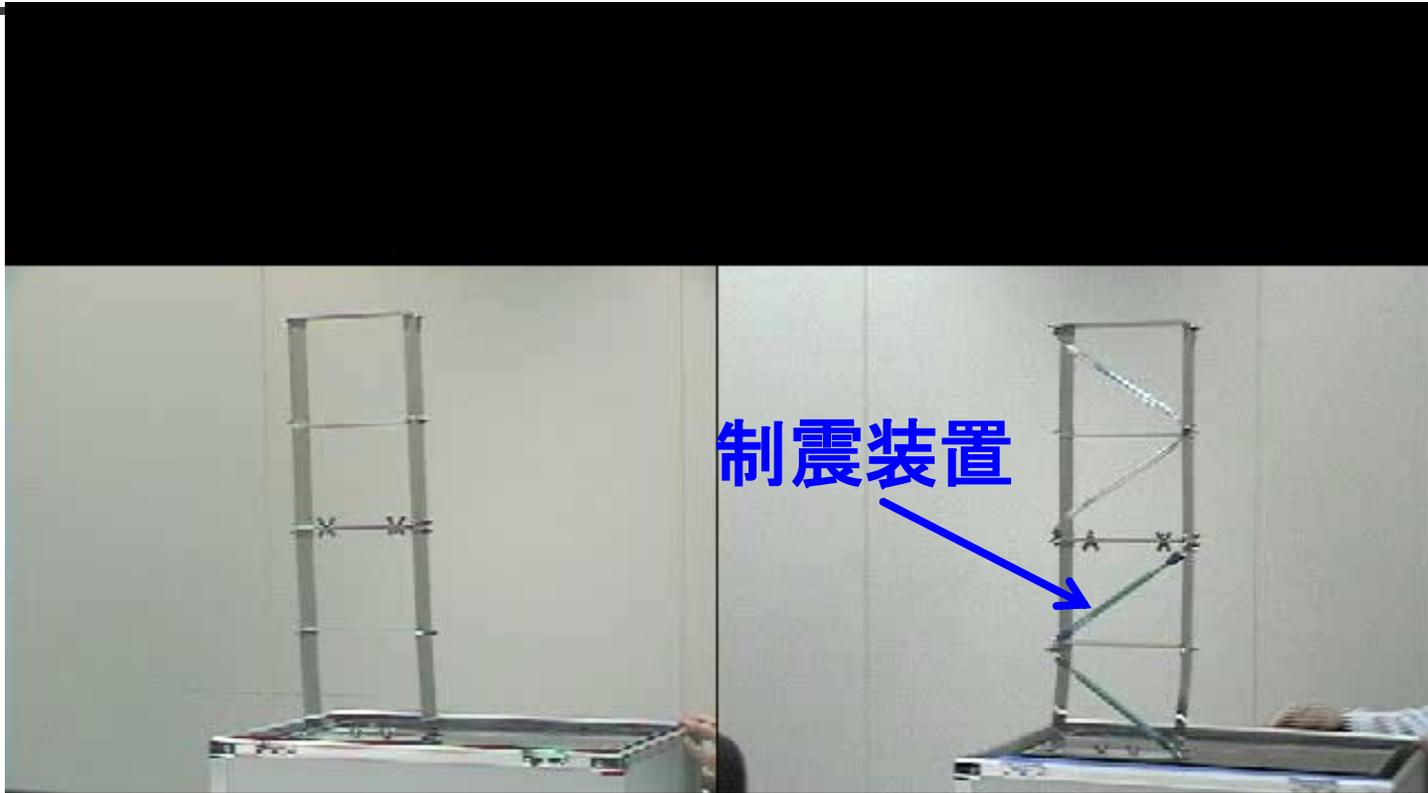
フレームを完全
外付け、開口を
遮蔽しない



工場製作の部材を用
いて工期短縮、ブ
レースが細く採光を
妨げない

出典：東京都都市整備局「ビル・マンションの耐震化読本」
http://www.taishin.metro.tokyo.jp/pdf/dl_006.pdf

制震の原理

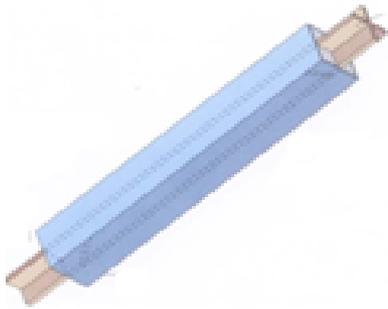


制震装置で揺れのエネルギーを吸収

耐震構造

制震構造

制震の種類



鋼材ダンパ

弾塑性ダンパ (特殊な鋼材等で揺れを吸収:車のバンパやヘルメットと同じ)



摩擦ダンパ



設置例



オイルダンパ

(封入した油で揺れを吸収:自動車のサスペンションと同じ)



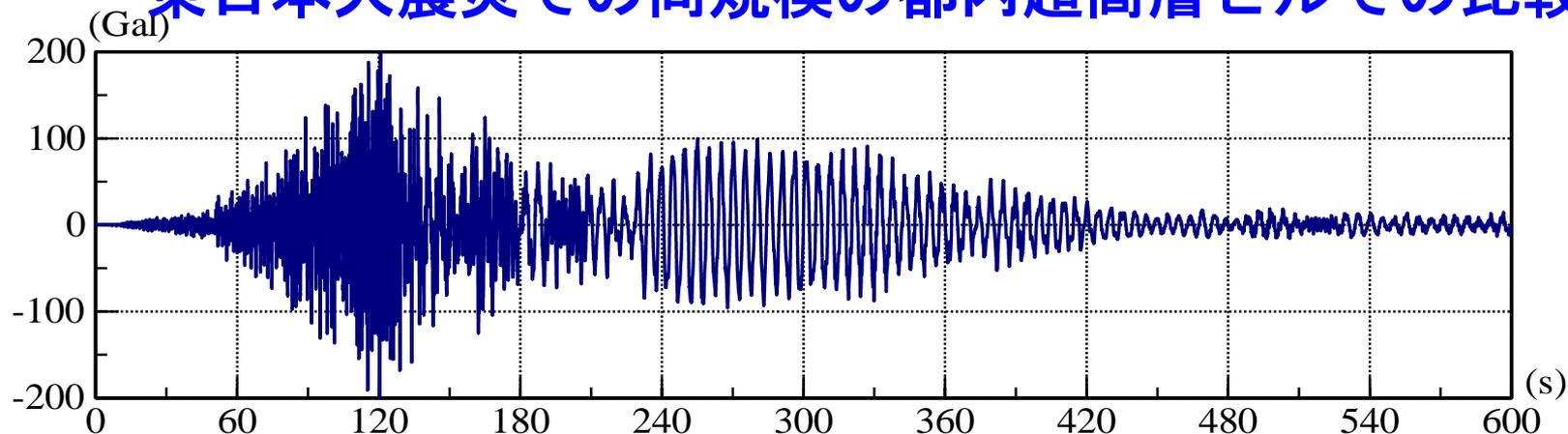
設置例1



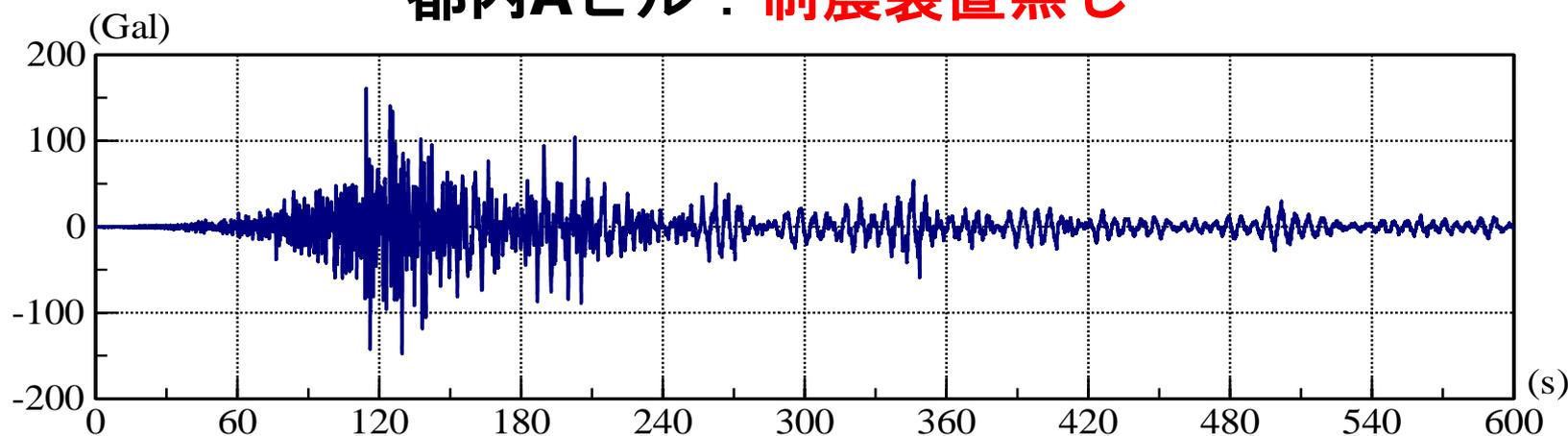
設置例2
(トグル制震)

観測記録による制震装置の効果検証

東日本大震災での同規模の都内超高層ビルでの比較



都内Aビル：制震装置無し



都内Bビル：制震装置有り

制震補強の例



オイルダンパ

(トグル制震：廊下側のみに設置して、長辺方向の耐震性向上)



オイルダンパ

(バットレス型制震：妻面に設置して、長辺方向の耐震性を向上)



弾塑性ダンパ

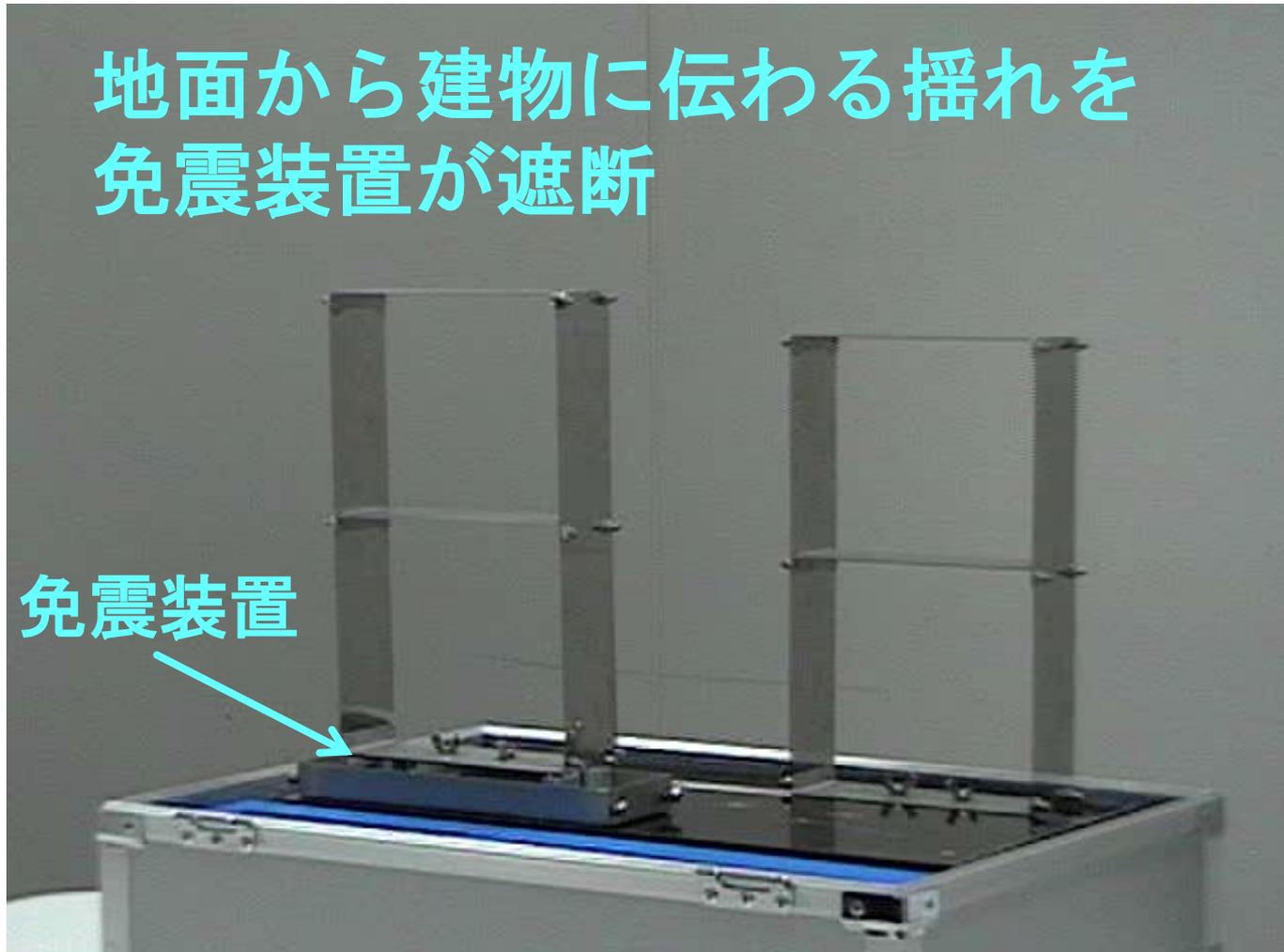
(スリムな摩擦ダンパを居ながら工事で、ベランダに外付け)

出典：東京都都市整備局「ビル・マンションの耐震化読本」
http://www.taishin.metro.tokyo.jp/pdf/dl_006.pdf

免震の原理

地面から建物に伝わる揺れを
免震装置が遮断

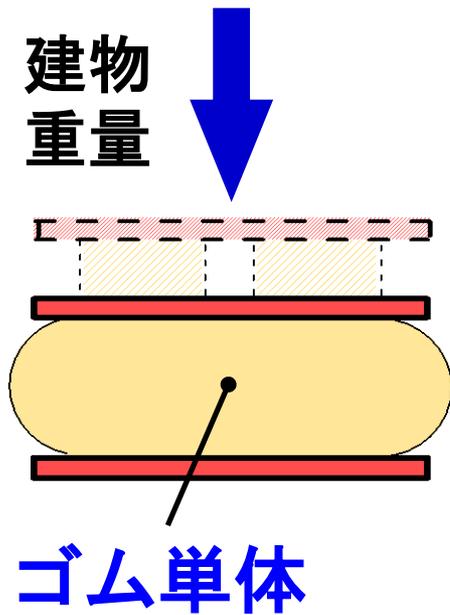
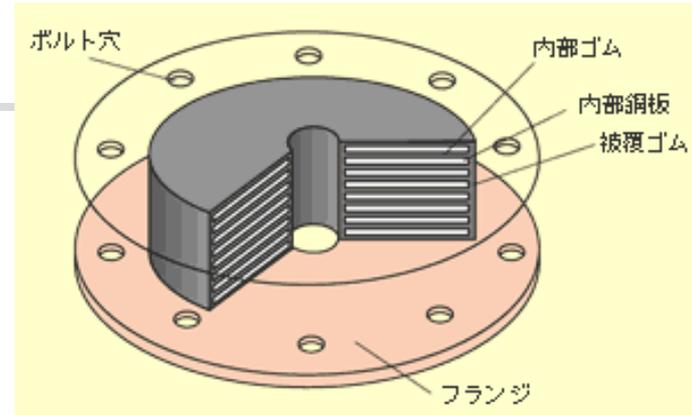
免震装置



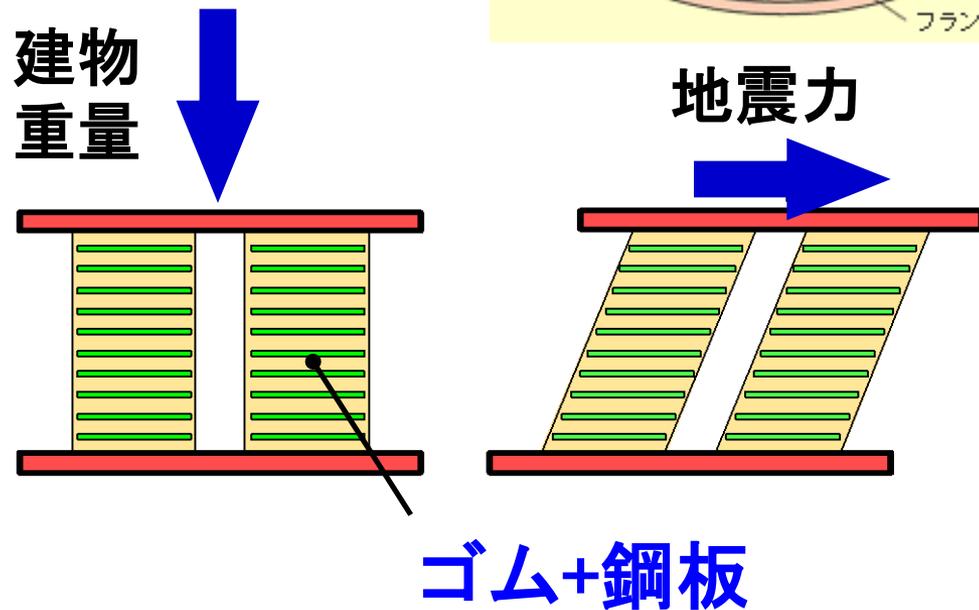
免震構造

耐震構造

免震装置(一般建物用)



× 建物重量を支えられない



- ①鉛直方向に強く、硬い(支持)
- ②水平方向に柔らかく、しなやか(絶縁)
- ③変形しても元に戻る(復元)

免震装置(積層ゴム)の性能



- 積層ゴムにより大変形時(大地震時)に建物重量を支持

免震改修の例

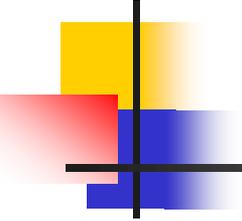
基礎又は1階柱を一旦切断して建物をジャッキで支えながら、免震装置を挟み込む：工事費は高いが、揺れの低減効果は極めて大



1階駐車場の柱を切断し免震装置を設置



出典：東京都都市整備局「ビル・マンションの耐震化読本」
http://www.taishin.metro.tokyo.jp/pdf/dl_006.pdf



本日の内容

1. 地震被害の歴史と耐震設計のあゆみ
(1)構造部材 (2)非構造部材
2. 東日本大震災、熊本地震の被害
3. 今後想定される巨大地震と地震被害
4. 非構造部材の地震対策
5. 構造部材の地震対策
- 6. 今後に備えて**

今後に備えて(構造部材)

- 南海トラフ地震、首都直下地震に対する構造体の備え
 - 東日本大震災では構造被害が少なかったものの、**今後来る巨大地震**では、それより大きな揺れの可能性が高く、**構造被害の可能性有**。まずは**耐震診断が重要**。
 - 首都直下地震では、震度6強以上が想定されるため、**1981年以前建築**の45m以下(15階建以下)の既存中低層マンションでは、**耐震診断の結果がNGなら耐震補強すべき**
= **耐震補強すれば倒壊は免れる**。制震、免震化により更に被害が軽減できる。**制震**は耐震補強と施工手間はさほど変わらない。**免震**は施工が大変、工事費も高いが、効果は大。
 - 南海トラフの**巨大地震**では、40階以上の既存超高層マンションで対策が必要なものもある。特に**2000年以前建築の超高層マンション**は、耐震診断することが望ましい。

今後に備えて(非構造部材・地盤)

- 最低限の備え
 - 家具・電化製品の固定、開扉防止
 - キャスター付き機器の固定の工夫
- 既存建物の非構造部材の対策
 - 天井の耐震化、天井材の落下防止
 - 玄関や窓周りの非構造壁に構造目地を入れる
 - 扉を耐震仕様の扉にする
 - 外壁の変形追従性を確認する
 - エレベーターロープの絡まり防止策を施す
- 今後懸念される大地震での地盤対策
 - 液状化には地盤改良が最も効果的、まずはしっかりと杭で支持されていることが大事
 - 盛り土の土留め壁の耐震化