

長周期地震動と建物の対策の現状

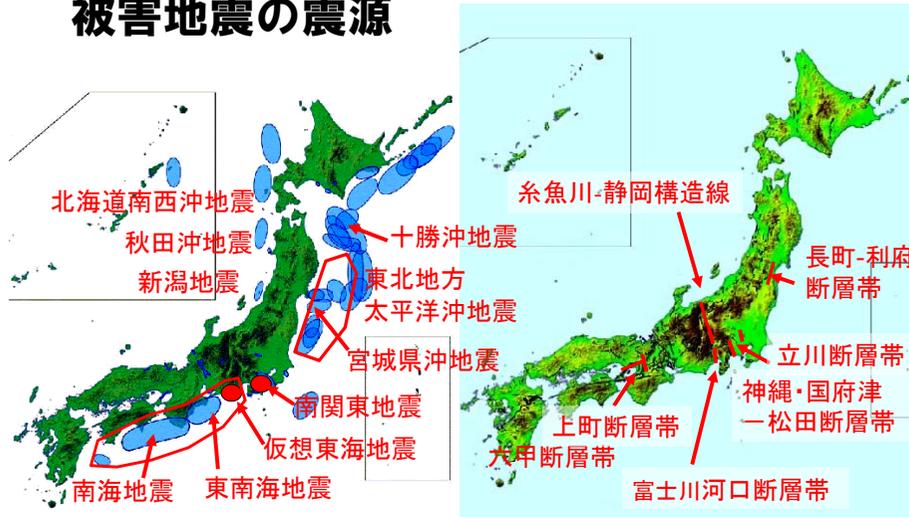


久田嘉章
(工学院大学建築学部)

講演概要

- **巨大地震と長周期地震動**
海溝型巨大地震、平野・盆地、長周期地震動
- **被害事例と被害想定にみる教訓と耐震対策**
1923年関東大震災から2011年東日本大震災
耐震設計・対策の変遷、内閣府報告(2015)より
- **長周期地震動と建物のレジリエント対策**
「中小地震～数千年に1度の地震への備え」
ハード対策：超高層建築等の構造、非構造(天井・間仕切り壁など)、室内の安全対策など
ソフト対策：(次回以降)

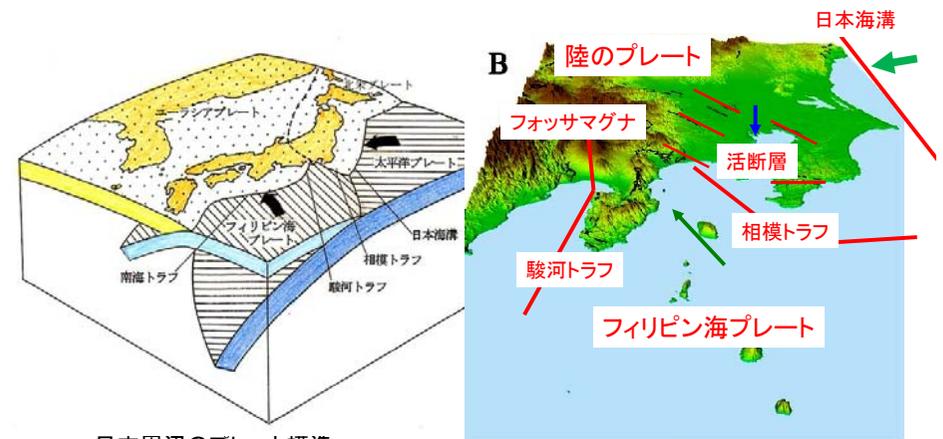
被害地震の震源



プレート境界の海溝型巨大地震 陸プレート内の活断層
⇒ 長周期地震動は浅い巨大地震で効率的に発生

日本周辺の被害地震(「日本の地震活動」より)

日本列島周辺のプレート運動 山地と堆積盆地の生成



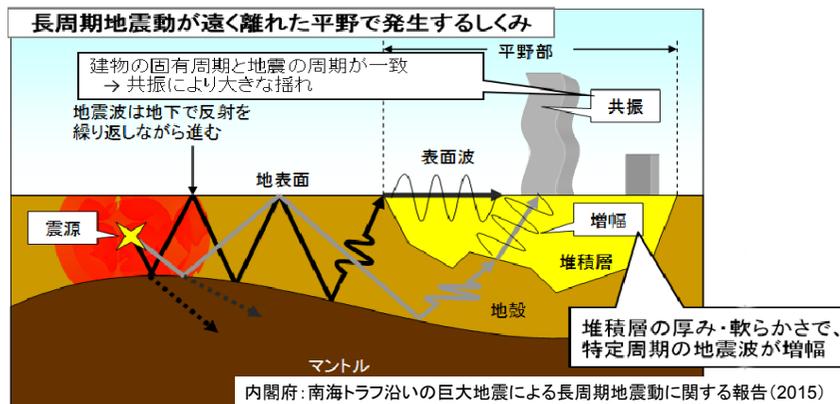
日本周辺のプレート構造

関東平野のプレート構造(「日本の地震活動」)

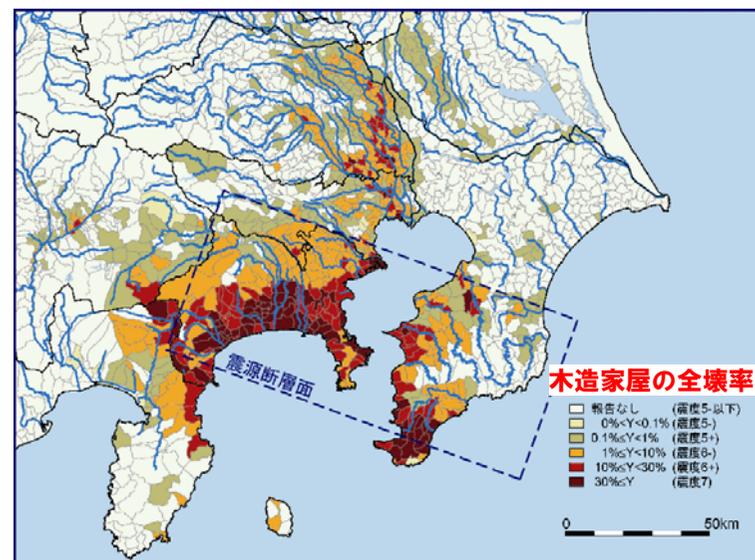
プレート運動により関東平野は約200万年で2~3km沈降し、広大で厚い関東堆積盆地を造成、逆に周辺の山地は隆起し、境界では活断層を形成

長周期地震動とは

- 海溝型巨大地震など大規模な浅い震源で効率的に発生する地震波(主に表面波)が、関東・大阪平野などの厚い堆積層を持つ盆地内で大きく増幅する地震動
- 通常の地震動と異なり、周期は2~3秒程度以上と非常にゆっくりとした揺れであり、継続時間が非常に長い(数分~10分以上)。地盤特性により卓越周期が存在
- 低層建物には殆んど影響しないが、超高層建築・免震建築・大規模タンクなど長周期構造物と共振した場合、大きな揺れとなる。



1923年関東大震災の震源断層 (M7.9) と被害



写真：国立科学博物館資料室 図：武村雅之：関東大震災(鹿島出版会 2003)より

初期の耐震設計法と耐震構造建築

- 高さ制限：100尺規制(約30m, 1919年)
- 設計震度：設計震度(建物に作用する水平力を建物重量で基準化)を導入
- 筋交い・耐震壁：水平力に耐えるための基本となる構造材・構造壁



- 日本初の耐震構造ビル：(旧)日本興業銀行本店(東京・丸の内、1923年竣工)。内藤多仲博士による耐震壁をとり入れた7階建て鉄骨鉄筋コンクリート造の建物で、完成3ヶ月後の関東大震災で軽微な被害。近隣の鉄骨とカーテンウォールによる米国直輸入の内外ビルは倒壊した。使用した設計震度は2/15(0.133)



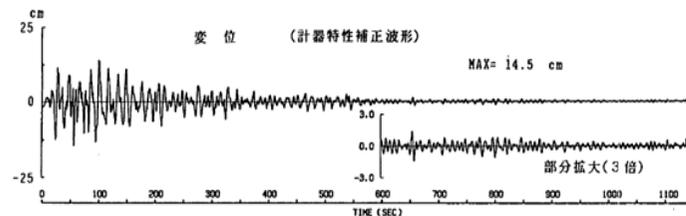
⇒ 筋交い等・耐震壁による剛構造で水平力対策

佐々木茂建築設計事務所

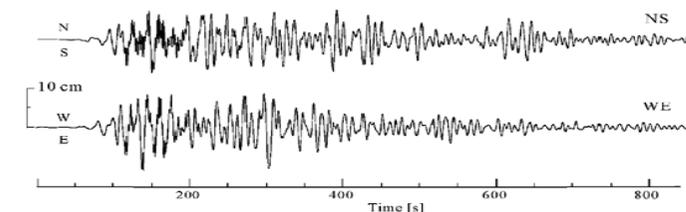
<http://blog.livedoor.jp/shyougaitisekkeisi2581/archives/51452369.html> (旧)日本興業銀行本店

過去の巨大地震による東京の長周期地震動

1923年関東地震 (M7.9)、1944年東南海地震 (M7.9)



1923年関東地震による東京市・本郷における変位記録(横田ほか)



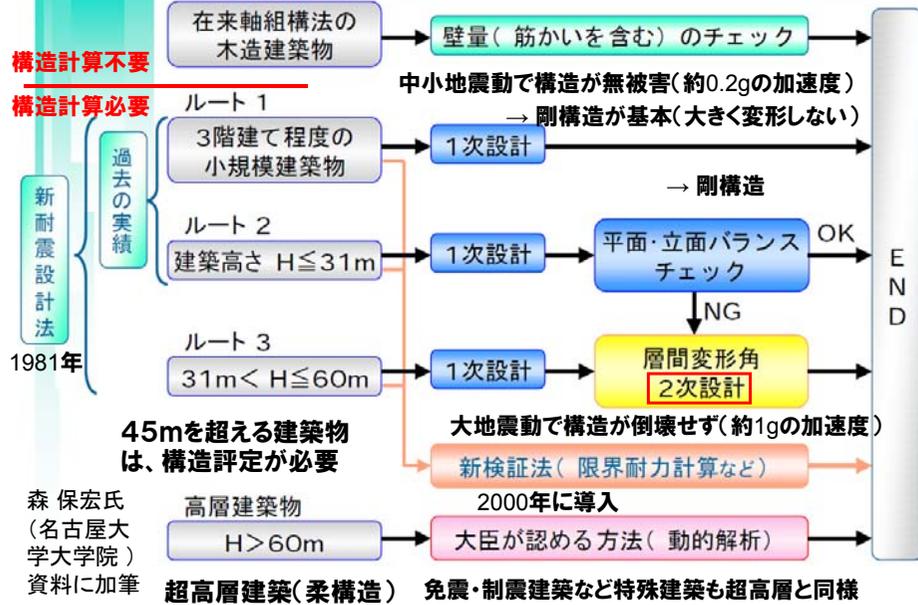
1944年東南海地震による東京市大手町における復元変位記録(古村・中村)

⇒長周期地震動の存在は、昭和初期の柔剛論争でも柔構造が否定された根拠のひとつ



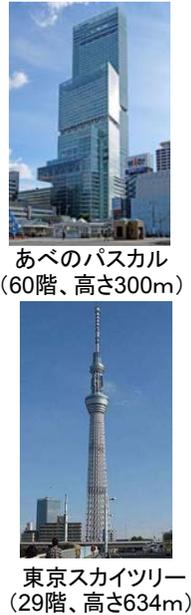
法隆寺の五重塔(7世紀末、世界最古の木造の塔)
Wikipediaより

構造計算のルート(現在の耐震規定)



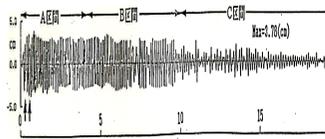
超高層建物の耐震設計(柔構造)

- 1950年建築基準法: 高さ規制(31m)の継続
 - 1940年代: 強震計開発(主として米国)
 - 1960年代: 動的設計法(柔構造の可能性)
 - 1963年建築基準法改正: 容積率導入・高さ制限撤廃
 - 1981年建築基準法改正: 新耐震設計法
 - 主な超高層建物・構造物
- 1958年 東京タワー(333m: S造)
- 1968年 霞が関ビル(36階 156m: S造)
- 1978年 サンシャイン60(60階 240m: S造)
- 1993年 横浜ランドマークタワー(70階 296m: S造)
- 2009年 The Kitahama(54階 209m: RCマンション)
- 2012年 東京スカイツリー(634m: S造)
- 注: S造(鉄骨造)、RC造(鉄筋コンクリート造)
- 超高層建築は柔構造(しなやかに揺れて力を流す) 長周期地震動等で、大きな変形を生じる可能性あり



初期の超高層建築と長周期対策(耐風・耐震)

柔剛論争
 → 剛構造論者 (D値法など)



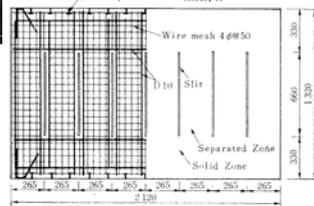
1923年関東大震災による今村式2倍強震計の記録



武藤清先生 (1903-1989)



霞が関ビル(1968)



スリット耐震壁(強風対策→長周期地震動も?)

武藤清ほか、スリット耐震壁の研究、コンクリートジャーナル、Vo.12, No.4, pp.15-25, 1974

柔構造→長周期地震動で共振する可能性あり

建築雑誌、Vol.83, No.1004, 1968

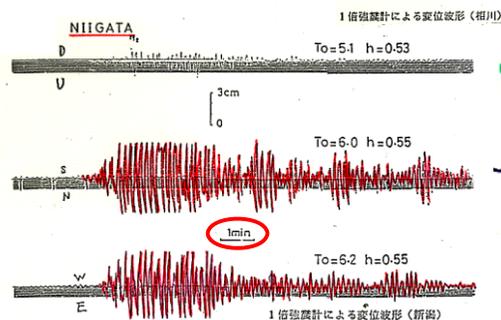
過去に観測された主な地震動と現行基準

- 1964年新潟地震(大規模な液状化、川岸町波) ⇒ 約5秒の卓越周期(当初は液状化、現在は新潟平野の長周期地震動と解釈)、石油タンクの大規模火災
 - 1968年十勝沖地震(八戸港湾波) ⇒ 約2.8秒の卓越周期、耐震設計用の標準波へ
- 耐震設計用の標準3波(50kine基準)と現在の告示スペクトル



1983年日本海中部地震 (M7.7)

- 新潟平野: 石油タンクの溢流 (周期約10秒)
- 東京: 超高層建築のエレベーターの切断



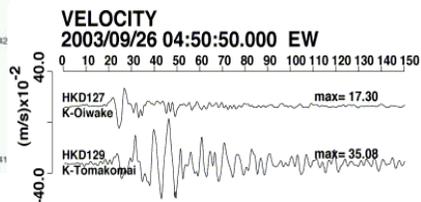
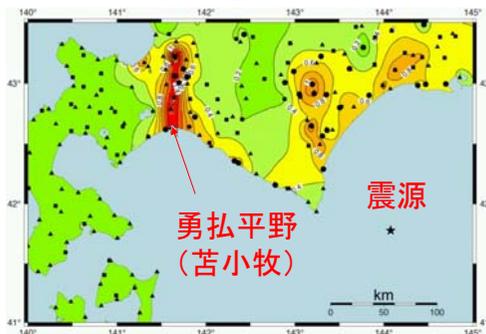
1985年メキシコ地震とメキシコ市における中高層建築の倒壊



長周期地震動による石油タンクの火災

2004年NHKスペシャル「地震波が巨大構造物を襲う」で長周期地震動が取り上げられ、全国的に大きな注目

2003年十勝沖地震



速度応答スペクトル (h=1%, 7秒 EW成分: 畑山・座間, 2004)

http://www.fri.go.jp/bosai/tokachi_lpgm.html

2011年東北地方太平洋沖地震の教訓

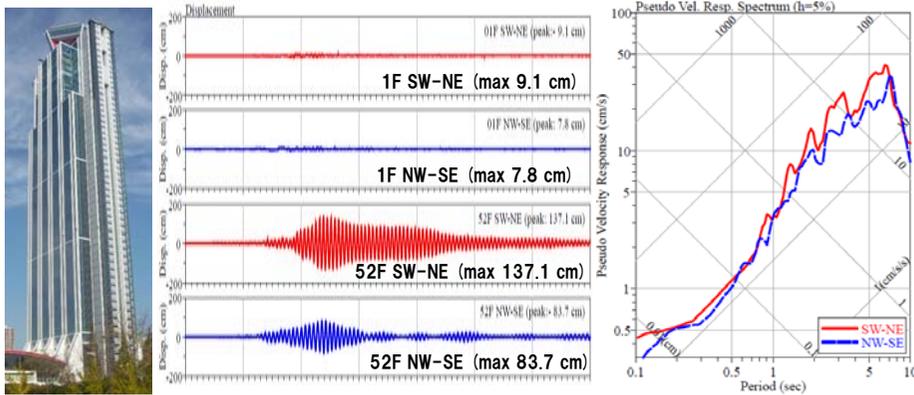
地震活動の長期評価: 固有地震から最大級を含む多様な地震へ
⇒地震は良く分からなかったことが良く分かった



地震調査研究推進本部: 三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価について, 2009.3

大阪府咲洲庁舎(55階 高さ256 m)と長周期地震動

- 建物の固有周期と地盤の卓越周期が一致(約7秒で共振)
- スプリンクラー破損による漏水、階段壁面のパネル落下、100カ所以上のひび割れ、エレベータによる閉じ込めなど多数の被害
- 震災直後、上層階の被害を防災センターで全く理解できなかった

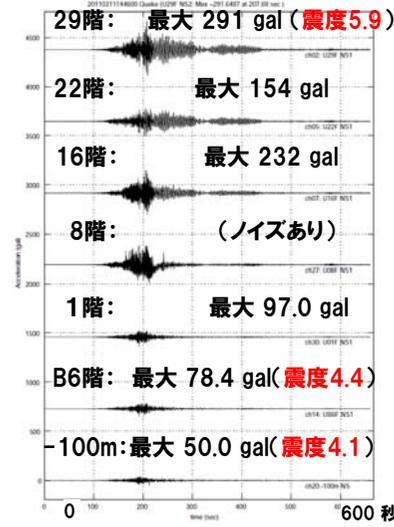


小山(2011):第39回地盤震動シンポジウム資料(2011/11/15(火))

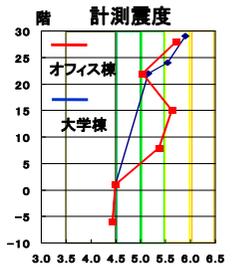
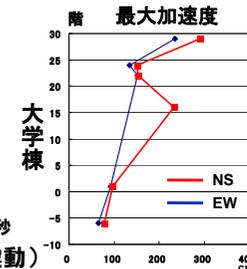
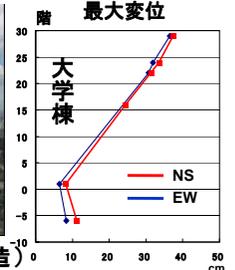
2011年東日本大震災における 工学院大学新宿キャンパスでの揺れ



3D揺れ



工学院大学新宿(28階S造)

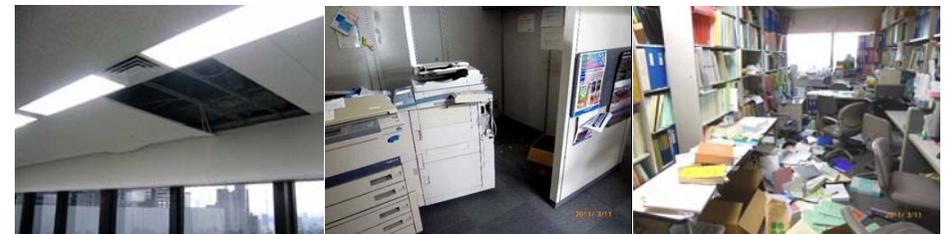


南北方向の揺れ:加速度(短周期地震動)

鉄骨造・高層の建物断面 構造部材(柱・はり)と非構造部材



2011年東日本大震災 工学院大学・新宿校舎の被害



24F(固定していなかった本棚の転倒、間仕切り壁の大変形)

エレベーターケーブルの絡まり (本学の写真ではありません)

2011年3月11日:工学院大学校舎内や周辺地域の様子



工学院大学の災害対策本部



帰宅困難者の受入(約700名)



非常食・水の配布(4階)



新宿駅周辺の様子(滞留者)



主要街道の渋滞(青梅街道)



新宿駅地下街(帰宅困難者)

逃げない対策:東京都帰宅困難者対策条例(2013年3月施行) → 首都圏で515万人(幹線道路麻痺・大群衆が危険因子に)

○ 一斉帰宅の抑制

- 都民の取組 **むやみに移動しない**、
家族との連絡手段を複数確保するなど事前準備(171、携帯伝言・・・)

• 事業者の取組 **従業員の一斉帰宅の抑制**

- 施設の安全確保、3日分の水・食糧など、従業員との連絡手段の確保など事前準備、駅などにおける利用者の保護、生徒・児童等の安全確保

○ 安否確認と情報提供のための体制整備

○ 一時滞在施設の確保(国や自治体、民間施設)

○ 状況安定後の帰宅支援(帰宅支援ステーション、代替輸送手段など)

→ 住宅・マンションも同様に、避難民にならない・自宅に留まる対策を

- 最大340万人(含:ライフライン停止)。本来、避難所は家を失った人へ!

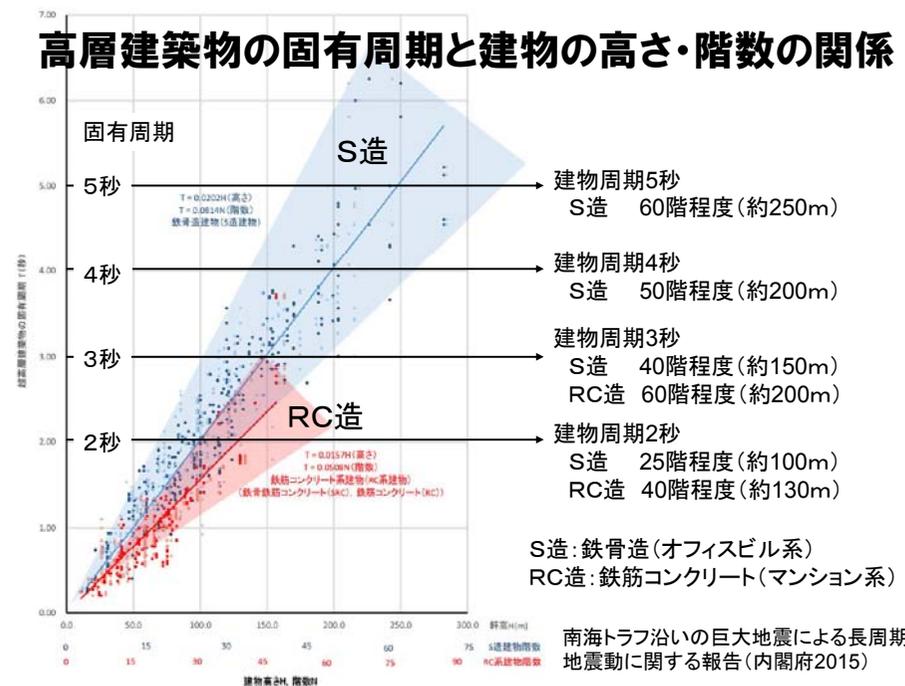
→ 大震災時に家族との連絡は困難、家庭・職場・学校で万全な対策を

- 耐震性能の向上、家具類の落下・転倒防止、最低3日分の備蓄、普段から地域での共助体制、171などに加えて被害外への共通の連絡先など

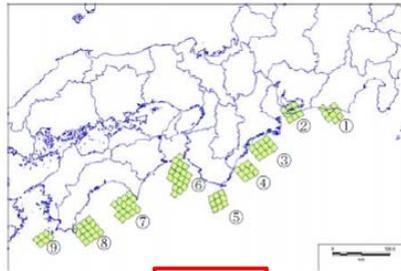
「南海トラフ沿いの巨大地震による 長周期地震動に関する報告」(内閣府、2015年12月)

- **概要**: 2011年東日本大震災(東北地方太平洋沖地震)の知見をもとに、南海トラフ沿いの歴史的巨大地震・想定最大級地震による全国の長周期地震動を推定し、超高層建築物の構造躯体への影響や、室内への影響として家具類等の転倒や移動、人の行動への影響を概観
(大正関東地震など、相模トラフ沿いの巨大地震は今年から検討を開始)
- **対象地震動**: 宝永地震や安政東海地震など**5つ**のM8級歴史地震と、M9の仮想最大級地震による長周期地震動(周期約2秒以上)を推定
- **想定震源**: 断層モデルのうち、SMGA(強震動生成域)のみモデル化
- **検証**: 2011年東北地方太平洋沖地震の計算波と観測波の比較
⇒ ほぼ同じパラメータを使用。但し、震源近くは検証されていない
- **手法**: 改良した3次元地盤モデルによる周期2秒以上を差分法で解放工学的基盤における地震動を計算。超高層建築物の構造躯体や家具類等への影響は簡易法を使用して評価
⇒ 国土交通省「超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動への対策案」(2015年12月)に影響

高層建築物の固有周期と建物の高さ・階数の関係

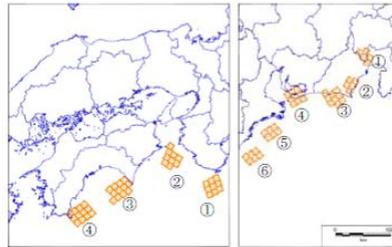


長周期地震断層モデルの強震動生成域(SMGA)の位置



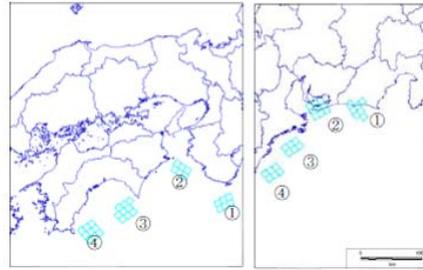
宝永地震

1707年宝永地震
(M8.6:歴史上最大)
1854年安政東海地震
(M8.4:東海・東南海連動地震)
1946年昭和南海地震
(M8.0:最新の南海トラフ地震)
仮想M9最大級地震(万が一の備え)、など



安政南海地震

安政東海地震

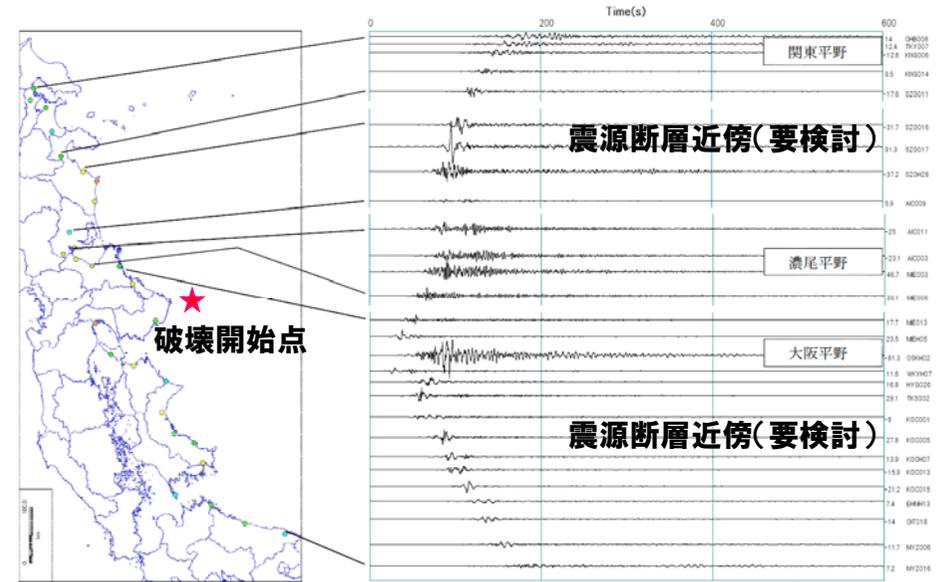


昭和南海地震

昭和東南海地震

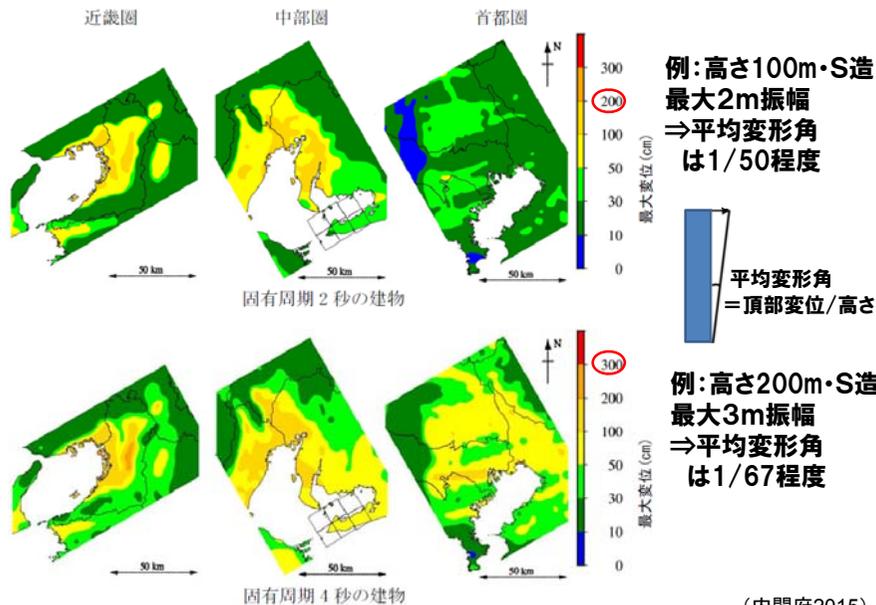
(内閣府2015)

宝永地震の長周期地震動(速度波形・南北成分)

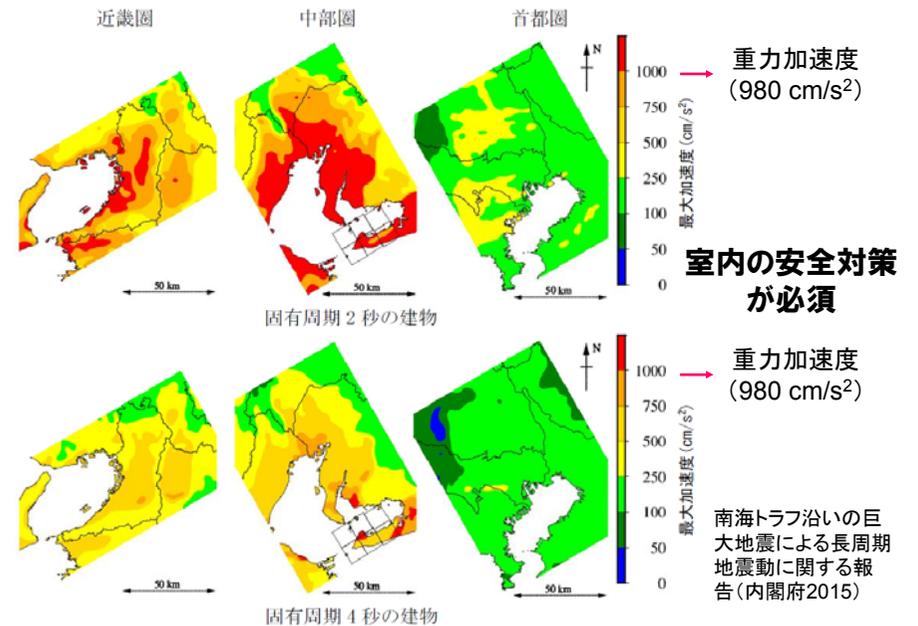


(内閣府2015)

宝永地震による高層建物の最上階の最大変位

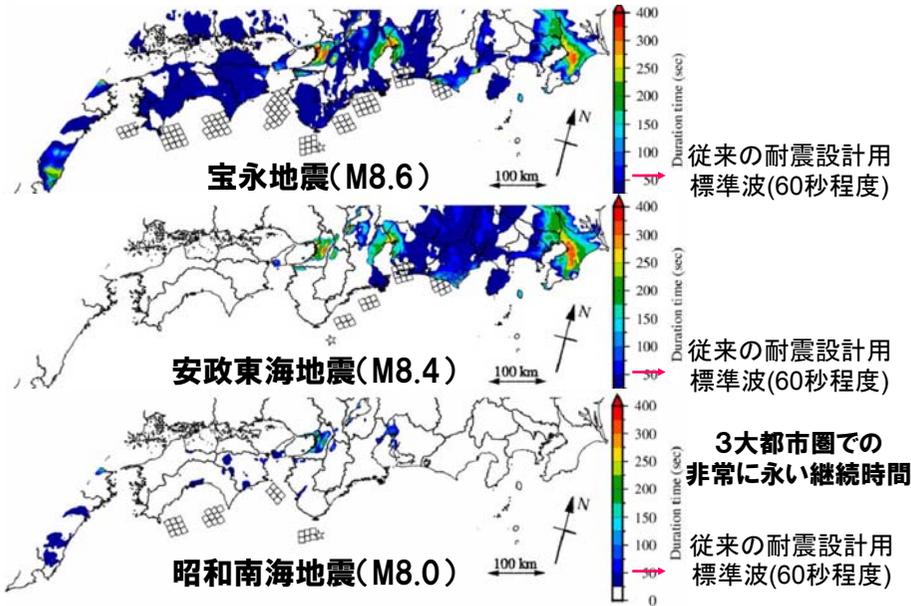


宝永地震による高層建物の最上階の最大加速度



宝永・安政東海・昭和南海地震の速度波形の継続時間

(周期2～10秒のバンドパスフィルタ処理後の速度値5cm/s以上かつ最大値の10%以上)



超高層建築物の構造躯体への影響に関する実証的研究

文部科学省「都市の脆弱性が引き起こす激甚災害の軽減化プロジェクト」
～鉄骨造高層建物の崩壊余裕度の定量化～



最終崩壊形(試験体は倒壊して防護フレームに寄りかかっている)



梁端フランジの破断



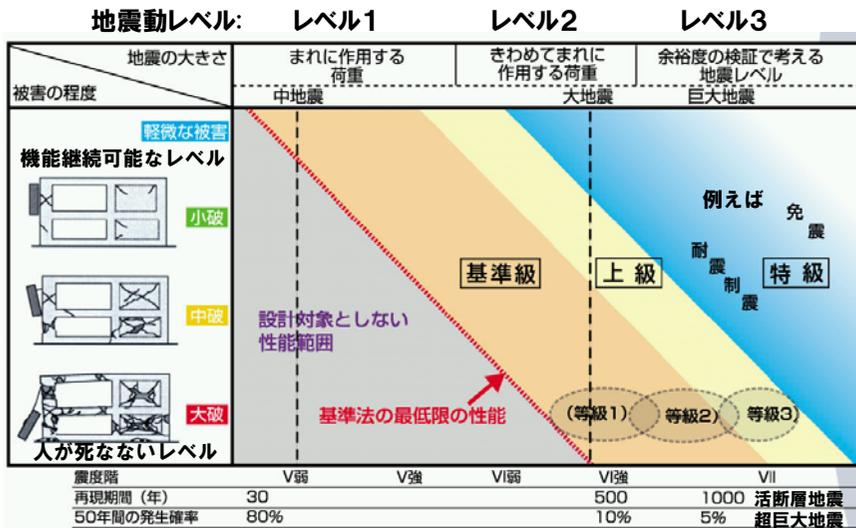
1階柱脚の局部座屈(四角い柱がへこんでいる)

18階建てS造の1/3縮尺モデル対象とした長周期地震動による振動台実験
(1×3スパン、平面5×6m、高さ25.3m、重量約420トン)

南海トラフ3連動地震(M8.7)による3大都市圏の平均的特性の計算波形を入力
(pSv=110 cm/s)
・入力レベル(pSv) 40 cm/s(告示1/2) ~420 cm/s(同5倍)

鉄骨造高層建物のE-ディフェンス振動台実験結果について(京都大学、2014年2月25日)

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



建物の耐震性能(日本構造技術者協会)

関東大震災(東京大手町地区)

阪神・淡路大震災(神戸三宮地区)

数千年に1度の地震対策:構造設計指針・同解説

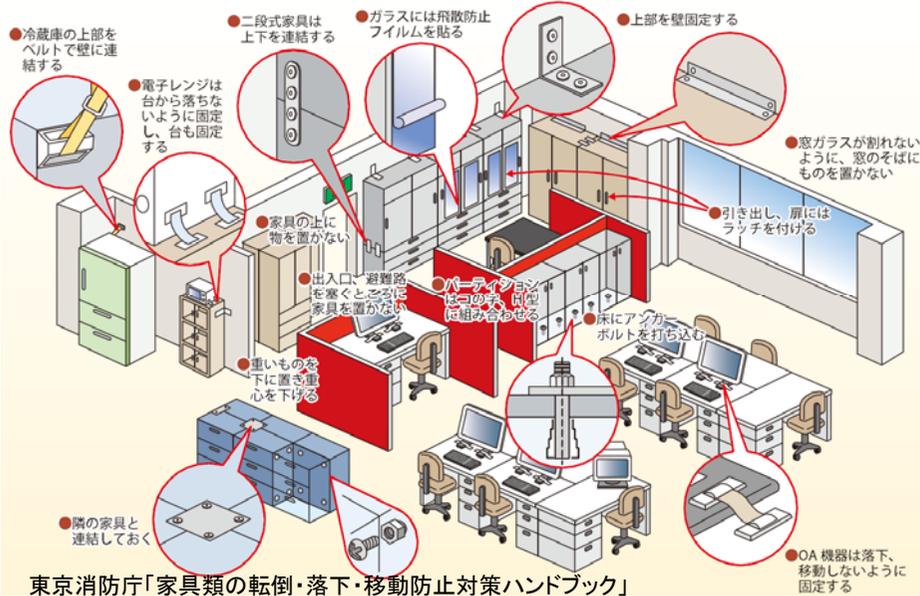
(東京都財務局、2016.1)

- ◎対象は「設計基準(東京都財務局)」に基づいて建設する都立建物
- ◎時刻歴応答解析:東京臨海部において用途係数がⅠ及びⅡに該当する超高層建築物等を建設する場合には、軟弱地盤等の地域的な特殊性を考慮して、表5.4を目安として、地震動波形、地震動の強さ及び設計目標等を定めること
- ・用途係数Ⅰ:大地震動後、構造体の補修をすることなく使用できる建築物
- ・用途係数Ⅱ:大地震動後、構造体の大きな補修をすることなく使用できる建築物

表5.4 東京臨海部に建設される超高層建築物等の設計目標の目安

耐震レベル	入力地震動	建造物の特性	想定する地震発生頻度	上部構造		基礎	
				部材の状態	最大層間変形角	層の最大塑性性率	部材の状態
中地震(レベル1)	既往波(25 cm/S) 告示波(稀)	無被害 【機能維持】	数十年に1度発生	短期許容応力度内	1/200以内	—	短期許容応力度内
大地震(レベル2)	既往波(50 cm/S) 告示波(極稀) サイト波(個別・包絡) (長周期地震動を考慮)	軽微な補修により事業継続可能 【指定機能維持】	数百年に1度発生	部材の塑性率が4.0以下	1/100以内	2.0以下	脆性の破壊を生じない
巨大地震(レベル3)	告示波(極稀)の1.5倍程度 (長周期地震動を考慮)	倒壊・崩壊させない 【余裕度の検証】	数千年に1度発生	建物の用途・特性に応じて個々に設定 (巨大地震動が建物に入力した場合の性状を把握した上で判断)			

室内の地震対策（作り付け家具がベスト）



東京消防庁「家具類の転倒・落下・移動防止対策ハンドブック」
<http://www.tfd.metro.tokyo.jp/hp-bousaika/kaguten/handbook/all.pdf>

緊急地震速報と長周期地震動情報

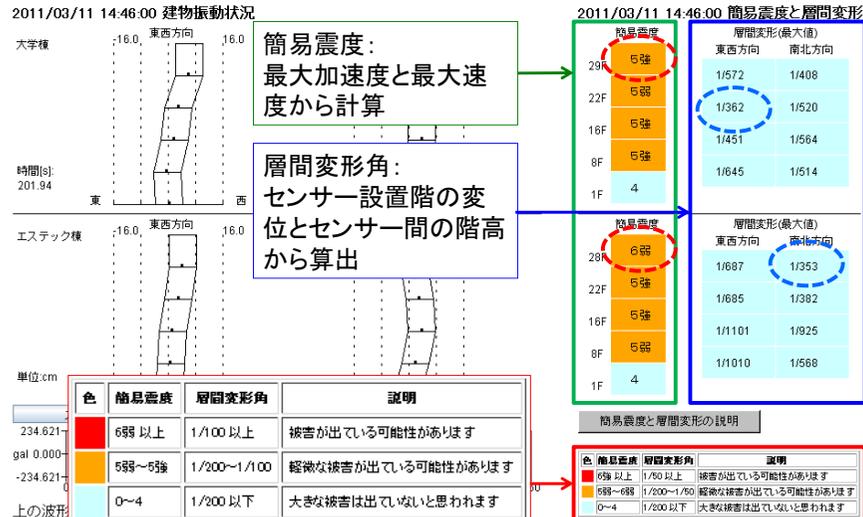


緊急地震速報(ANET)⇒短周期地震動
 ⇒ 高度利用者向け(一般向けと異なる)
 2011年東日本大震災時の新宿

長周期地震動に関する観測情報(試行)
 気象庁⇒2年後に予報を出す計画
<http://www.data.jma.go.jp/svd/eew/data/ltpgml/>

工学院大学新宿キャンパスにおける被災度判定モニタリングシステムの例

●東日本大震災による建物被災モニタリング結果



まとめ

- 巨大地震・長周期地震動と超高層建物
古くて新しい課題、現在の設計基準(最低基準)でも不十分ながら考慮(標準3波、告示波)
- 海溝型巨大地震など極大地震動(千年に1度)の対策
現行の建物でもある程度の余裕が見込まれる(但し、個別建物で要検討)。望ましいのは、告示レベルを上回る構造余裕度を見込む、柱・梁接合部の破断防止、制振装置付与など構造対策、非構造・室内の安全対策の向上などハード的耐震性能向上
- レジリエントな対策(対応力向上、大中小被害への備え)
ソフト対策: 火災と震災の違い(避難と待機)、レベル別被害を想定した事前の対応計画・行動ルール(例: 待機⇒低層階に退避⇒全館避難など)、「大震災の場合、誰も助けに來れない」が前提、館内全員参加の教育・訓練、自助・共助と公助(多重防護: 自分⇒お隣さん同士⇒全館⇒地域⇒公助)

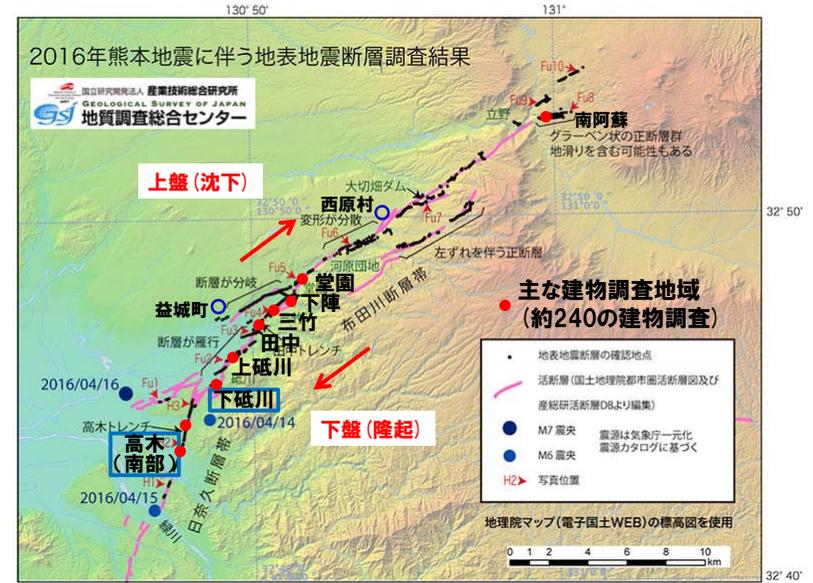
2016年熊本地震における地表地震断層の直上の建物被害と対策

[H-CG37] 熊本地震から学ぶ活断層と地震防災
日本地球惑星連合大会 幕張メッセ
2017年5月20日(土)より

久田嘉章(工学院大学)

謝辞 本調査には著者の他、村上正浩・金田淳平・寺本彩乃・柳田悠太郎・新藤俊弥氏(工学院大)、鱒沢 曜氏(鱒沢工学研究所)、境 茂樹・森 清隆・仲野健一・東條有希子氏(安藤ハザマ)、木本幸一郎氏(SAI構造設計)、大原美保氏(土木研究所)、小林 亘氏(東京電機大)、鈴木 光氏(減災アトリエ)が参加し、田中信也氏(東電設計)には建物被害調査の情報提供を頂きました。また本研究はJSPS科研費 JP16K06586の助成を受けています。

2016年熊本地震の地表地震断層と建物被害調査



活断層と地表地震断層(地質調査総合センター)

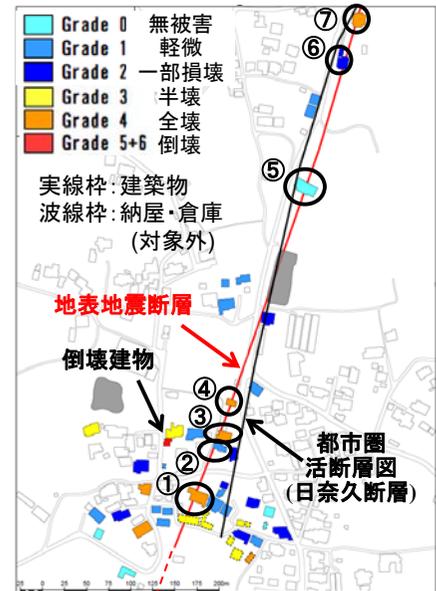
建物被害調査の項目(概観目視を基本)

調査項目: 築年(新しい・10年程度以内、古い・10~30年程度、非常に古い・30程度以上)、構造(木造・S造・RC造)、階数、用途(戸建住宅・共同住宅・オフィスなど)、基礎(独立・布・べた基礎)、屋根(瓦・金属など)、地盤変状有無など

建物被害度	Damage Grade	Damage index	被害状況	被害写真
D0 無被害	D0	0.0	無被害	Nd0
D1 軽微	D1	0.1	壁面や天井の亀裂の発生	Md1
D2 一部損壊	D2	0.2	窓ガラスの破損	Md2
D3 半壊	D3	0.3	1階柱損壊	Ud3
			2階柱損壊	Gd3
			3階柱損壊	Ed3
			4階柱損壊	Rd3
D4 全壊	D4	0.4	2階以上全壊	Ud4
			1階全壊	Gd4
D5 倒壊	D5	0.5	2階以上倒壊	Ud5-
			1階倒壊	Gd5-
			完全倒壊	Gd5+
D6 完全崩壊	D6	0.6	2階以上崩壊	Ud6-
			1階崩壊	Gd6-

岡田・高井 (1999)

上益城郡御船町・高木地域(南部)



調査建物39棟 (1階18、2階21)

構造	棟数	割合
木造	35	90%
S造	3	8%
RC造	1	3%
合計	39	100%

築年	棟数	割合
非常に古い	17	44%
古い	13	33%
新しい	9	23%
合計	39	100%



倒壊した非常に古い在来木造 (D5)

建物①(築80年の伝統木造家屋、D4)



南面道路の地表地震断層 (左建物は納屋)



築約80年の伝統木造農家(南面)



地表地震断層と束基礎・柱のずれ(南面)



断層のずれによる建物変形(北面)

建物④(古い在来木造建物、D4)



地表地震断層と古い在来木造住宅の被害



断層ずれと無筋コンクリートブロックの被害



地表地震断層と同建物の傾斜被害(南面)



無筋コンクリートブロック基礎の被害

建物②(新しい軽量鉄骨造 D1)



正面道路の地表地震断層(約50cmのずれ)



新しい軽量鉄骨造(南面、外観上無被害)



北側は約1.5mの盛土と地表断層のずれ (べた基礎・耐震壁で基礎・建物は変形せず)



基礎隅角部のクラック

建物③(非常に古い鉄骨造工場、D4)



地表地震断層と傾斜した鉄骨造工場



無補強コンクリートブロックの被害



建物内の被害の様子(無筋の土間コンの被害、基礎の破壊により躯体構造も変形)



建物⑤(新しい鉄骨造工場、D0)



敷地南面の地表地震断層による亀裂



建物北面の敷地の亀裂(建物が外観上無被害)



建物柱脚部の地盤亀裂(基礎は無被害)



敷地北面の盛土擁壁の亀裂

建物⑦(古い在来木造家屋、D4)



地表地震断層と建物北面



盛土の被害(北面)



べた基礎と柱接合部の被害



建物南面の被害(壁量の不足)

建物⑥(築約20年の在来木造家屋、D2)



建物南面の概観(瓦の落下)



地表地震断層と建物南面(壁にクラックあり)



建物北面庭の地表地震断層によるずれ変形 建物室内(べた基礎であり、ほぼ無被害)
⇒当時では珍しいべた基礎等で大被害を免れたが、家主は公的援助が得られず後悔している・・・

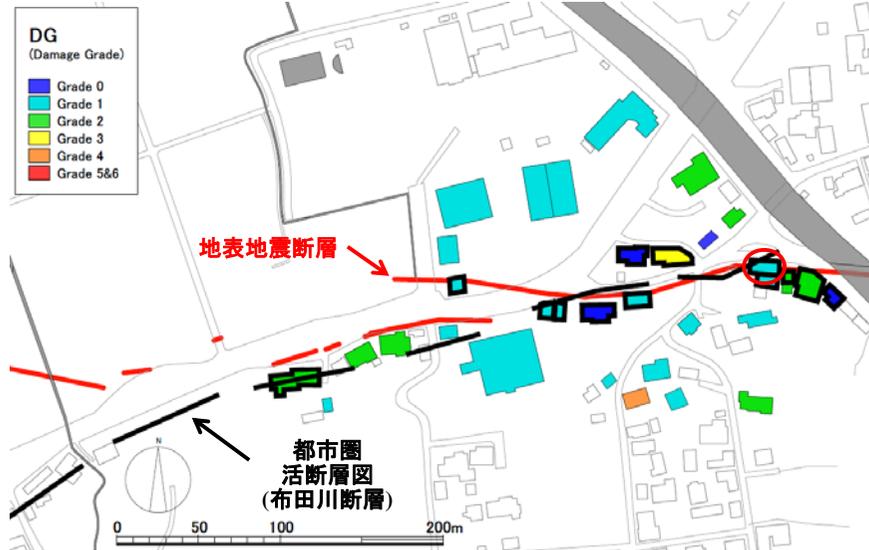


高木地域(南部)の建物被害調査結果

新しい(10年程度以内)			古い(10~30年程度)			非常に古い(30年程度以上)		
被害度	棟数	割合	被害度	棟数	割合	被害度	棟数	割合
D0	4	44%	D0	0	0%	D0	0	0%
D1	5	56%	D1	6	46%	D1	5	29%
D2	0	0%	D2	4	31%	D2	5	29%
D3	0	0%	D3	1	8%	D3	2	12%
D4	0	0%	D4	2	15%	D4	4	24%
D5	0	0%	D5	0	0%	D5	1	6%
D6	0	0%	D6	0	0%	D6	0	0%
合計	9	100%	合計	13	100%	合計	17	100%
全壊	0	0%	全壊	2	15%	全壊	5	29%
倒壊	0	0%	倒壊	0	0%	倒壊	1	6%

全建物			地表地震断層直上			断層直上以外		
被害度	棟数	割合	被害度	棟数	割合	被害度	棟数	割合
D0	4	10%	D0	1	14%	D0	3	9%
D1	16	41%	D1	1	14%	D1	15	47%
D2	9	23%	D2	1	14%	D2	8	25%
D3	3	8%	D3	0	0%	D3	3	9%
D4	6	15%	D4	4	57%	D4	2	6%
D5	1	3%	D5	0	0%	D5	1	3%
D6	0	0%	D6	0	0%	D6	0	0%
合計	39	100%	合計	7	100%	合計	32	100%
全壊	7	18%	全壊	4	57%	全壊	3	9%
倒壊	1	3%	倒壊	0	0%	倒壊	1	3%

上益城郡益城町砥川・下砥川地域 (縦ずれ断層の場合)



縦ずれ断層上の建物(新しい軽量鉄骨住宅、D1)



地表地震断層による段差(建物西面)



地表地震断層による敷地段差(西面)



基礎の亀裂(西面:べた基礎等で被害軽微)

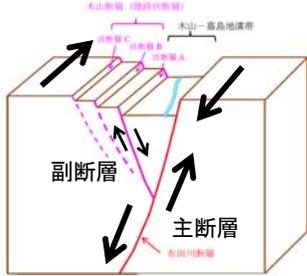
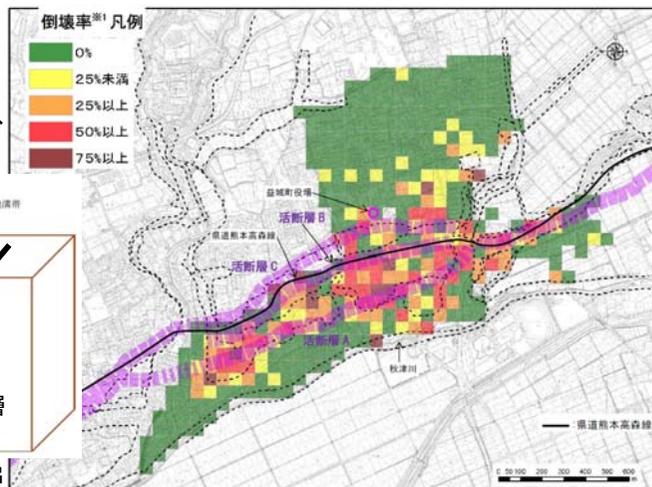


地表地震断層による段差(建物東面)

熊本地震からの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(国土交通省、2017年3月)

⇒ 明日午前のセッション(熊木先生ほか)

⇒ 益城町市街地で3本の活断層A-Cが存在、熊本地震では布田川断層と連動して活断層Aが、最大で35cmの右横ずれ、最大15cmの南落ち上限変位を生じた



右横ずれ・正断層

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)

益城町の市街地復興に向けた安全対策の提案 「活断層のズレに対する安全対策」

(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ものと考えられる。

(2) 杭基礎構造を有する中高層建築物等について

⇒ 活断層による地盤のズレによる被害リスクも想定されるため、新たに建築する場合は、地盤調査等により、活断層の存在の確認等を行うことが考えられる。

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)

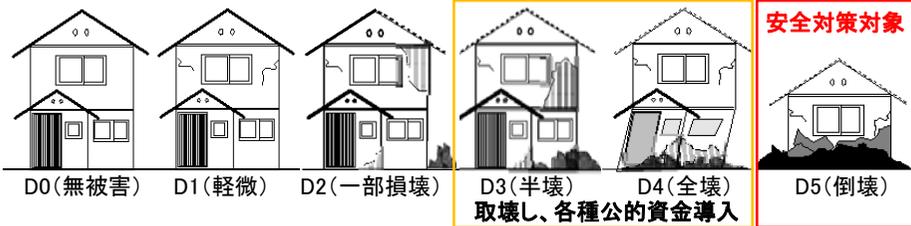
(1) 低層建築物について

⇒ 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170名)、復旧・復興へ膨大な時間・費用

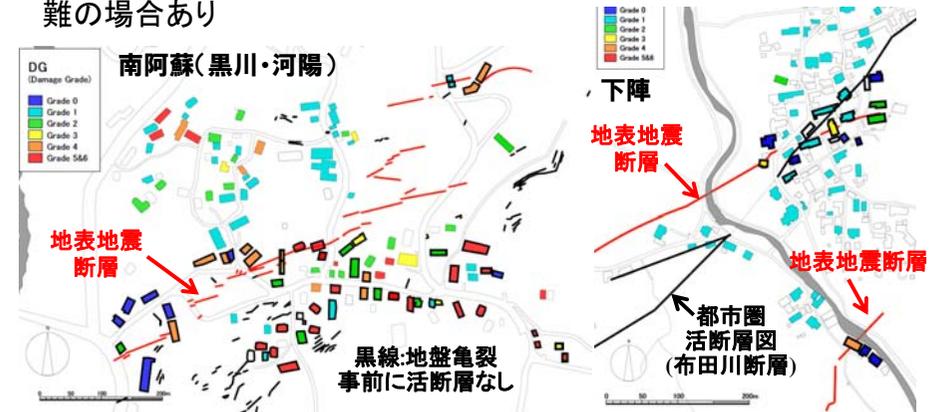


活断層のズレに対する安全対策

(2) 杭基礎構造を有する中高層建築物等について

⇒ 活断層による地盤のズレによる被害リスクも想定され、新建築の場合、地盤調査等により、活断層の存在の確認等を行うこと

⇒ 都市部では厚い堆積・沖積層、地盤改変等で活断層位置が明確にならないことが多く、地盤変状による被害は広範囲に生じ、予測困難の場合あり



新提案: 活断層近傍であれば、建築基準法(全国最低基準)より高い耐震性能を推奨・誘導

○対策1: 機能継続が必須の重要施設(災对本部・病院・避難所等)

・断層調査等を実施、断層を避ける、移設・代替施設など

○対策2: 一般の低層建築物

被害低減には、べた基礎・耐震壁・軽い屋根など変形対策が有効

・地域係数の割増し(静岡県や福岡市・警固断層近傍)

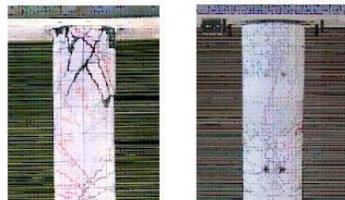
・高い耐震等級への誘導: 耐震等級2(1.25倍)、3(1.5倍)

⇒ 2割程度の荷重増でも一般建築では建設費の数%で可能

○対策3: 中高層建築物等の杭基礎

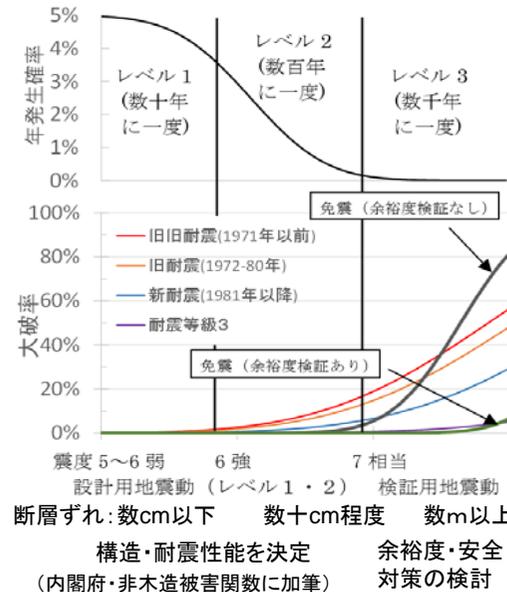
・軟弱地盤活用(ずれの分散・回避)

・断層ズレに対応できる杭の開発を誘導⇒阪神・淡路大震災での軟弱地盤の杭基礎頭部での被害を受け、半剛性やピン支持の様々な技術開発。すべり支持などで、ズレが躯体に入力しない基礎も開発可能では?



「大都市大震災軽減化特別プロジェクト・テーマⅡ」
「杭頭半剛接合構法を採用した建物の地震時挙動に関する研究」より

おわりに



○地表地震断層近傍の建物被害調査

・古い建物に被害集中、新しい建物には大被害なし

・べた基礎・耐震壁等で活断層のずれによる建物の被害を大きく低減することが可能

○活断層近傍の建築対策(数千年以上に1度、建築スケールでは正確な位置が不明確)

・ベストは避けること(特に重要施設など)

・様々な被害低減策が可能

⇒ 建築基準法(全国一律な最低レベル)よりも高い耐震性能を推奨すべき。倒壊だけでなく、全壊・半壊被害を大きく低減