

高層ビルの揺れと想定される被害

新宿駅周辺防災対策協議会・2014年度第1回セミナー
2014年7月3日(木) 工学院大学3階アーバンテックホール



久田嘉章
(工学院大学建築学部)

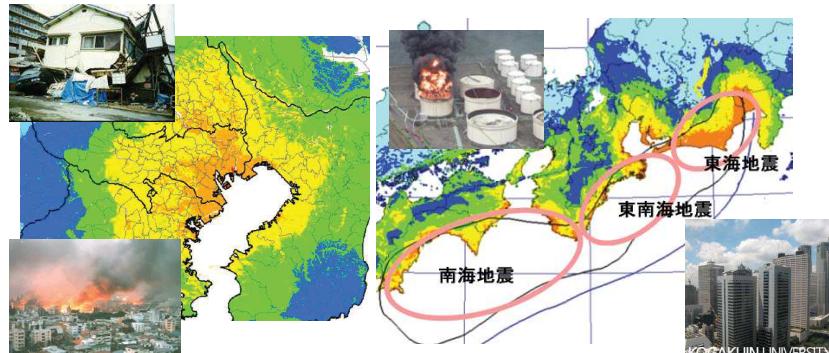


概要

- ・首都圏で想定すべき地震と地震動
 - ・首都直下地震と海溝型巨大地震
 - ・長周期地震動と被害事例
- ・2011年東日本大震災による工学院大学の揺れと被害
- ・想定南海トラフ巨大地震の揺れと被害
- ・即時被災度判定と構造ヘルスモニタリングシステム

2

首都圏で想定すべき地震と被害想定（内閣府）



震源域の強い地震動(震度6弱・6強)
都心南部直下地震(中央防災会議、2013)

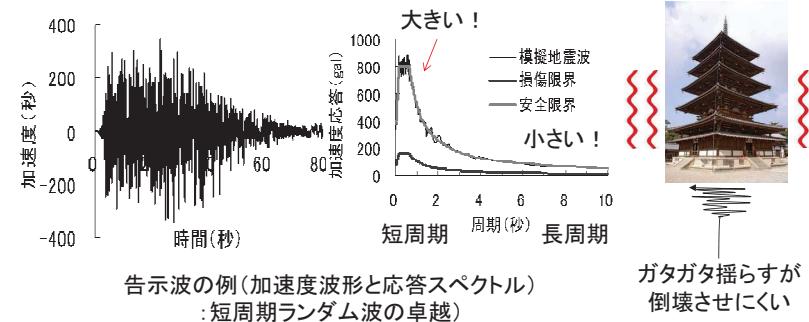
長周期地震動(高層建築の大きな揺れ)
南海トラフによる海溝型巨大地震

首都直下地震(都心南部直下地震)の最悪想定では、死者2万以上、負傷者約12万人、(うち重傷者約2.4万人)、要救護者7万人以上全壊・焼失家屋約61万棟、帰宅困難者800万人(東京で500万人)
→あくまでのひとつの想定結果、次の首都直下地震とは限らない

地震動特性と高層建物の揺れ

標準的な地震動では高層建物の耐震性は高い…

- ・ランダム特性(短周期側):標準的入力地震動
→ガタガタと揺れる短周期強震動が卓越、建物への破壊力は特に大きくなく、高層建物は「風に柳」で力を受け流す
- ・課題:長周期地震動では? 館内の安全性・使用継続性は?



地震動特性:震源・伝播・サイト

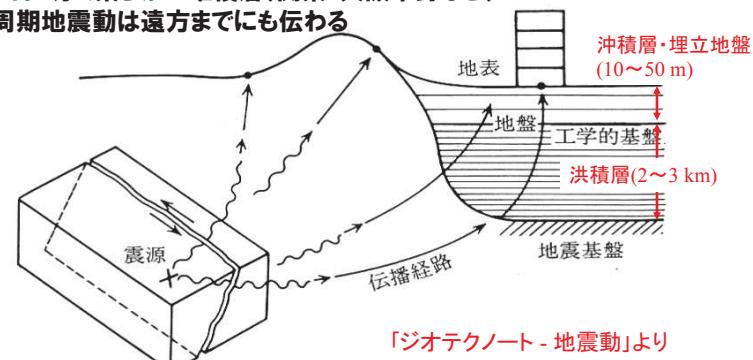
大きな長周期地震動の生成には

震源:浅く、規模が大きい震源(海溝型巨大地震)

伝播:効果的な表面波の伝播(ゆっくりと伝播)

サイト:厚く柔らかい堆積層(関東・大阪平野など)

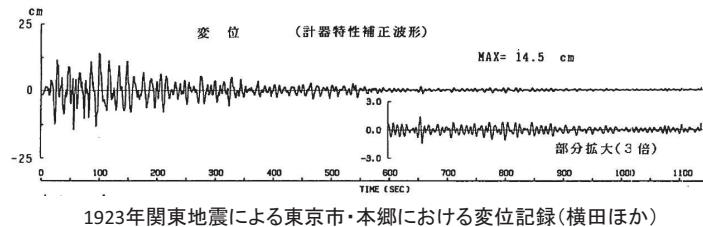
長周期地震動は遠方までにも伝わる



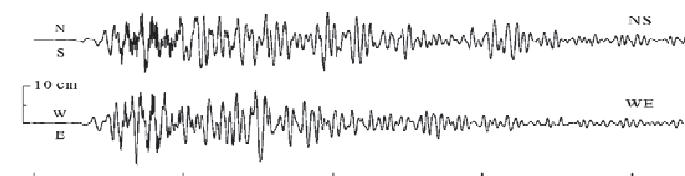
「ジオテクノート - 地震動」より

図-3.4 震源から地表までの地震波の伝播

過去の巨大地震による首都圏の地震動 (長周期地震動:長周期の継続時間の長い揺れ)

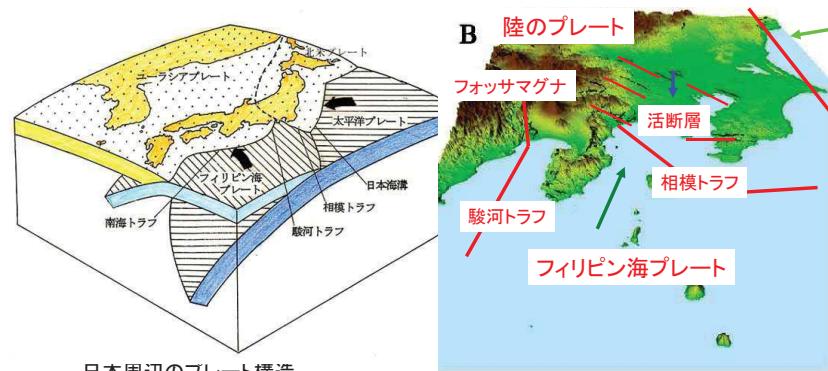


1923年関東地震による東京市・本郷における変位記録(横田ほか)



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)

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

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



1985年に発生(M8.1)

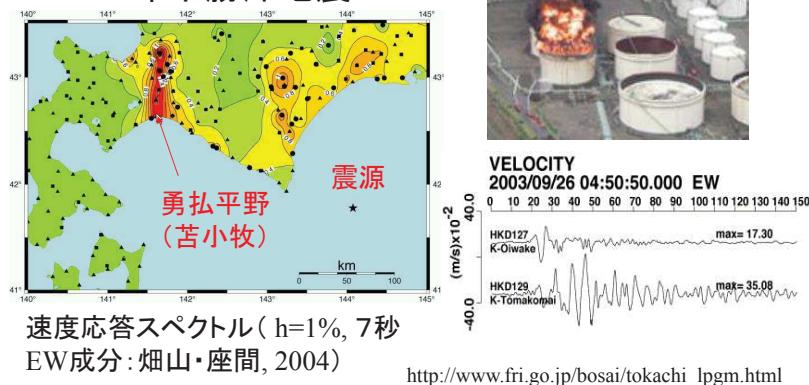
震源から400 km以上離れたメキシコ市で周期2~3秒の長周期地震動が卓越し、多数の中高層アパートが倒壊、8000名以上の死者が発生

約400km

長周期地震動による石油タンクの火災

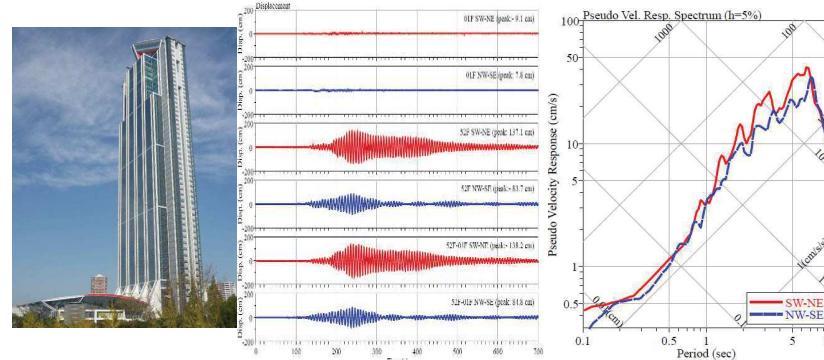
2004年NHKスペシャル「地震波が巨大構造物を襲う」
で長周期地震動が取り上げられ、全国的に大きな注目

- 2003年十勝沖地震



2011年東日本大震災での長周期地震動と 大阪府咲洲庁舎(55階)の被害

- 設計周期は約5.5秒、今回の卓越周期は約6.5秒(深い杭基礎?)
- スプリングラー破損による漏水、階段壁面のパネル落下、100才所以上のひび割れ、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ず…



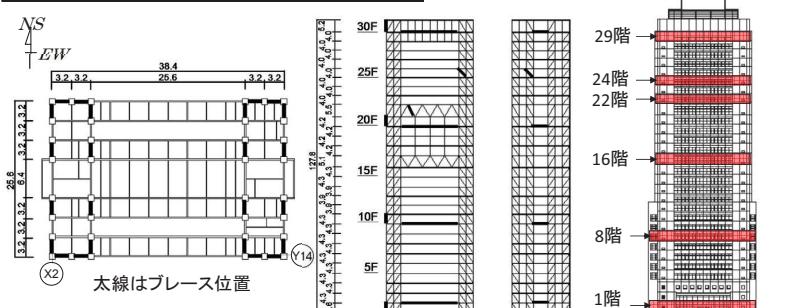
工学院大学新宿校舎概要

建物名称	大学棟(工学院大学高層棟)
建築場所	東京都新宿区西新宿
竣工年	1989年
基準階面積	1170m ²
階数	地上29階、地下6階、塔屋1階
アスペクト比	NS:5.59、EW:3.73
構造種別	地上1~2階:鉄骨造(プレース付ラーメン架構) 地下1~6階:鉄筋コンクリート造

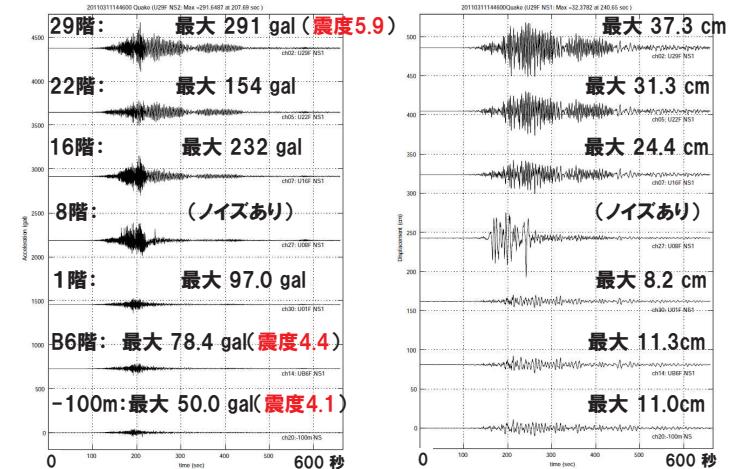
- 東西コアを結ぶ25.6mの大スパン梁
- EW方向16階、21階にスーパーフレーム

固有周期(秒)

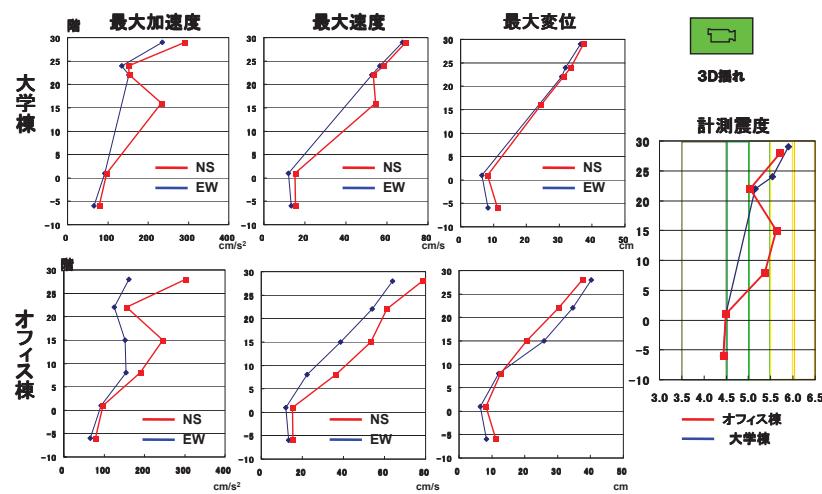
	微動		構造計算書	
	NS	EW	NS	EW
1次	2.8	2.6	3.3	3.1
2次	0.83	0.87	1.08	1.08



2011年東日本大震災(本震)による揺れ —工学院大学・新宿校舎の加速度と変位波形—



工学院大学新宿キャンパスでの揺れについて (最大加速度、最大速度、最大変位、計測震度)



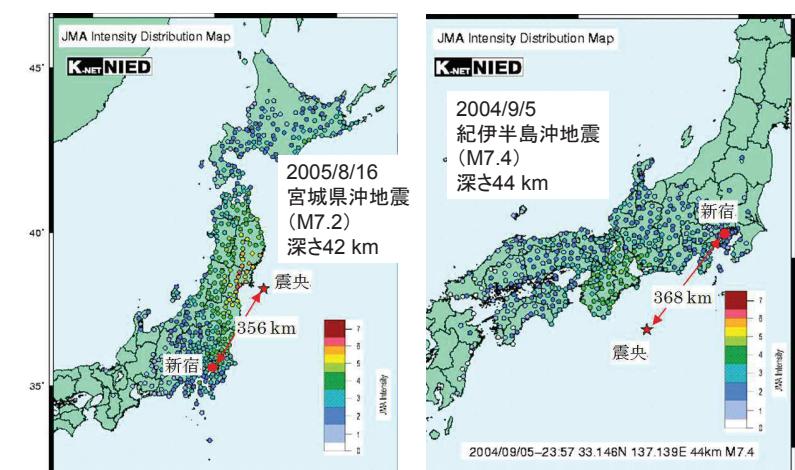
2011年東日本大震災 工学院大学・新宿校舎の被害（高層階）



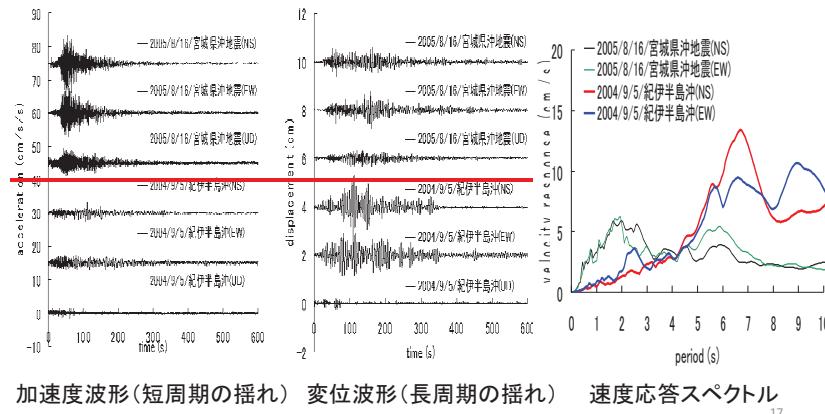
2011年東日本大震災 工学院大学・新宿校舎の被害（中・低層階）



南海トラフ地震の長周期地震動は首都圏でより大きい ：2004年紀伊半島沖地震と2005年宮城県沖地震での揺れの違い



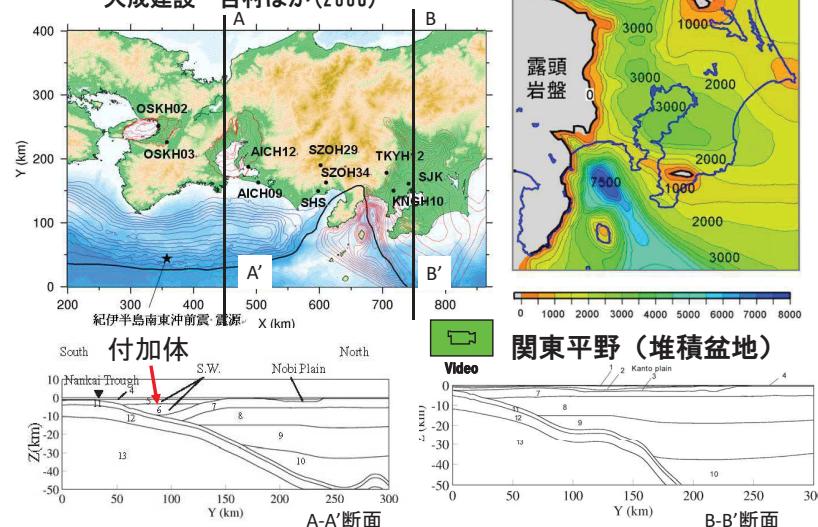
南海トラフで発生する地震の長周期地震動 は首都圏でより大きくなる ：2004年紀伊半島沖地震と宮城県沖地震での揺れの違い



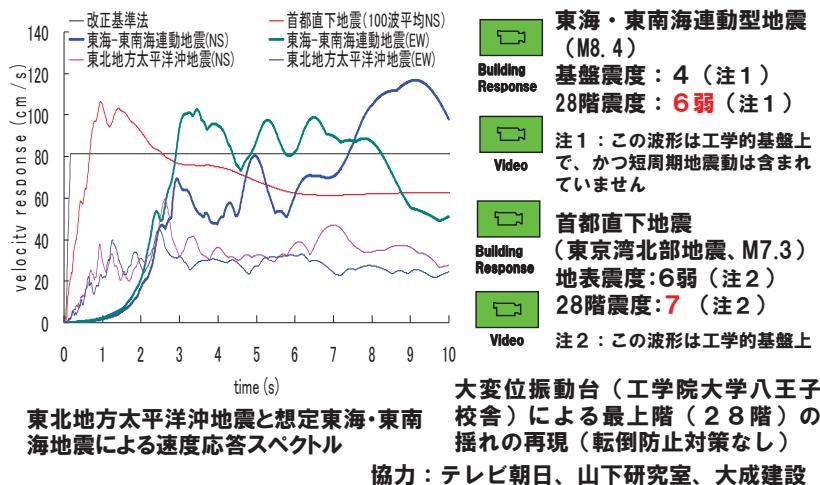
17

3次元地盤モデル

大成建設・吉村ほか(2008)



超高層建物内での震度と被害は？ 工学院大学新宿校舎の地震応答解析と振動台実験



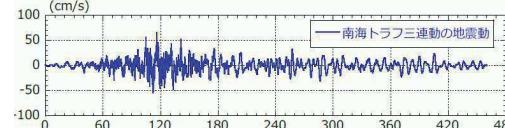
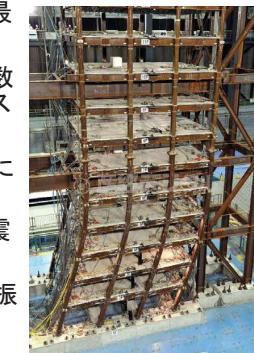
東北地方太平洋沖地震と想定東海・東南海地震による速度応答スペクトル

大変位振動台（工学院大学八王子校舎）による最上階（28階）の揺れの再現（転倒防止対策なし）

協力：テレビ朝日、山下研究室、大成建設

最大級の南海トラフ超巨大地震での超高層建築の耐震性

- 超高層建築は、応答速度80 cm/s(レベル2)で最大層間変形角が1/100程度以下で耐震設計
- レベル2を超える地震動では？ 高い不静定次数・余力などで一般に高い耐震性能(E-ディフェンスなど→今後、要検討事項)
- 最も倒壊する可能性があるのは1次モード共振による大変形 → 長周期・長時間共振
- 首都直下地震(M7クラス)は主として短周期地震動→高次モードが励起、大変形は生じにくい
- 海溝型巨大地震の長周期地震動→地盤との共振は要注意、それ以外は大変形が生じにくい



南海トラフ3連動地震(M8.7)による3大都市圏の平均的波形(応答速度約110 cm/s)

E-ディフェンス実験(2013/12/11)
防災科学技術研究所/京都大学
計14回加振、応答速度300 cm/s
で層間変形角1/28、420 cm/sの
3回目で倒壊(写真:産経ニュース)

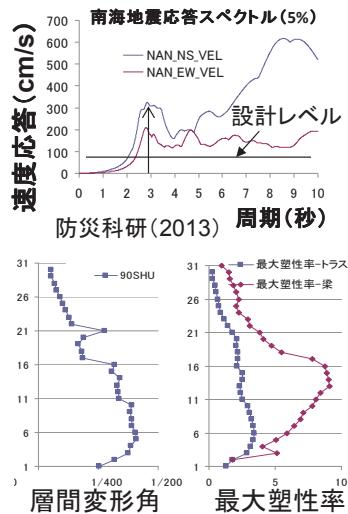
工学院大学新宿校舎での最大級南海トラフ地震の検討

・最大級南海トラフ地震(M9.2: 防災科学技術研究所、2013)による最悪条件の新宿波(現行基準の3倍以上の速度応答比)における地震応答解析

→多数のはり・筋交いが塑性化、大破だが倒壊せず(高い不静定次数・余力)

・最悪シナリオでは火災と併せて、大破・全館避難に至る可能性の検討 → ハード(制振補強など耐震性能の向上、室内被害対策)、ソフト対策(建物の継続使用性の即時判定、全館避難のシナリオ準備)などが必要

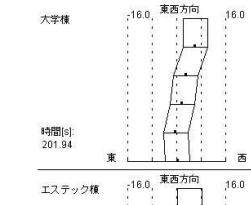
M8.4 M9.2



工学院大学の建物被災度判定モニタリング

●東日本大震災による建物被災度判定モニタリング結果

2011/03/11 14:46:00 建物振動状況



※資料提供:工学院大学 久保智弘氏

簡易震度:
最大加速度と最大速度
から計算

層間変形角:
センサー設置階の変
位とセンサー間の階高
から算出

簡易震度と層間変形			
簡易震度(最大値)	東西方向 南北方向	1/572 1/408	1/362 1/520
5階	5階	1/451 1/564	
22F	8F	1/645 1/514	
16F	4F		
8F			
1F			

層間変形(最大値)			
東西方向 南北方向	1/687 1/353	1/685 1/382	1/1101 1/925
5階	5階	1/1010 1/568	
22F	8F		
16F	4F		
8F			
1F			

簡易震度と層間変形の説明			
色	簡易震度	層間変形角	説明
赤	6deg以上	1/100以上	被害が出ている可能性があります
オレンジ	5deg~6deg	1/200~1/100	軽微な被害が出ている可能性があります
青	0~4	1/200以下	大きな被害は出でないと思われます

22

JSTプログラム「高層ビル耐震診断に基づく帰宅困難者行動支援システムの社会実装」 (2013-2016年度、代表:三田彰・慶應大学教授)

●新宿西口の複数の超高層ビルに構造を試験実装

