

地震工学

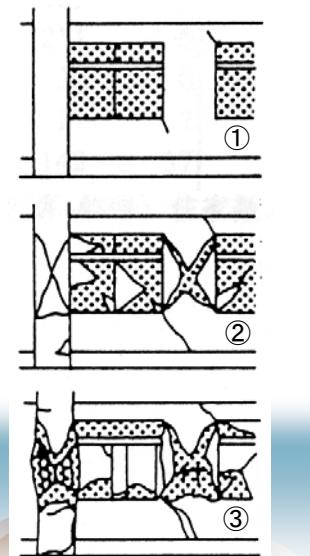
第1回:ガイダンス 建築と地震工学の概要

工学院大学・建築学部・まちづくり学科

久田嘉章・宮村正光・三好勝則

耐震規定:建物の安全とは?

- 「この建物は、最新の建築基準法で建てられているので安全です」と言わされました。
 - 大地震時におけるこの建物の安全について、あなたの考える最も近いイメージは?
 - ① 軽微な被害であり、震災後も使用可能
 - ② かなり大きな被害を受け、修復をしないと使用不可能
 - ③ 大破てしまい、建て替えが必要
- 建築基準法は守るべき最低限の基準(大地震で倒壊・崩壊しないこと)。
従って、③でもok、但し、実力は①~③まで様々。



鉄筋コンクリート造建築物地震被害度判定基準

はじめに:授業の概要

- 建築の役割
- 最近の地震の多さ:活動期に入った?
- 建築と地震防災
- 地震学の基礎
- 被害地震から学ぶ
- 地震工学と地震防災:建築構造・振動論が中心
- 最新の地震防災学、[2011年東日本大震災](#)
→ しっかりとノートをとるように!

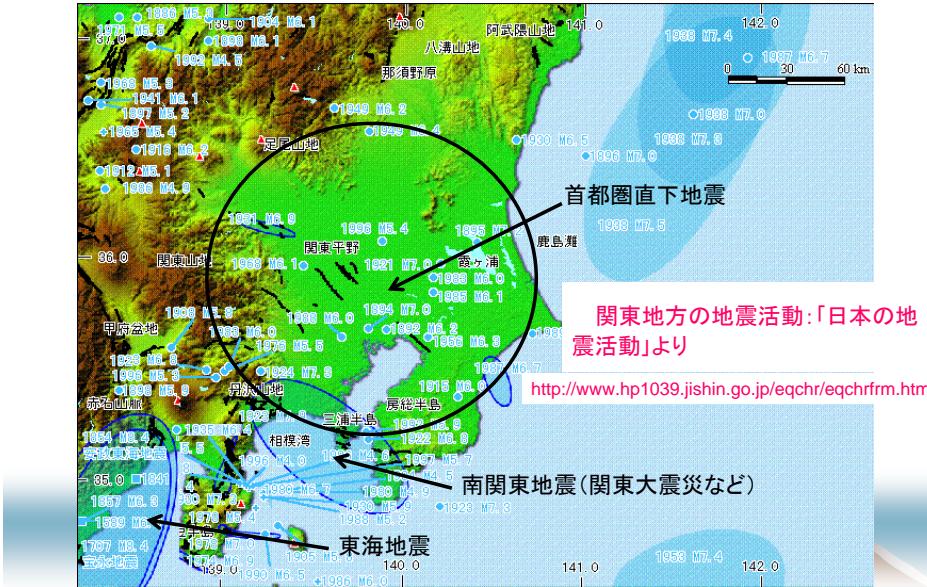
建築の役割:地震防災と建築

- 地震は人を殺さない。
建物が殺す!
- 建築は自然から人を守る
シェルターとして発展
→ 凶器にもなる
- ハムラビ法典
- 目には目を、歯には歯を
- 欠陥建築で家長を死んだ
場合、建築家は死罪

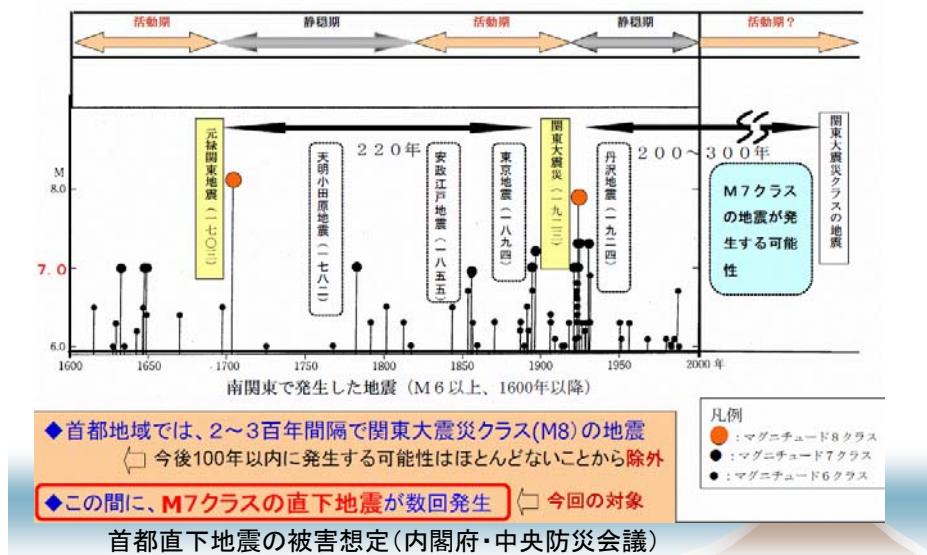


(阪神大震災全記録、毎日ムックより)

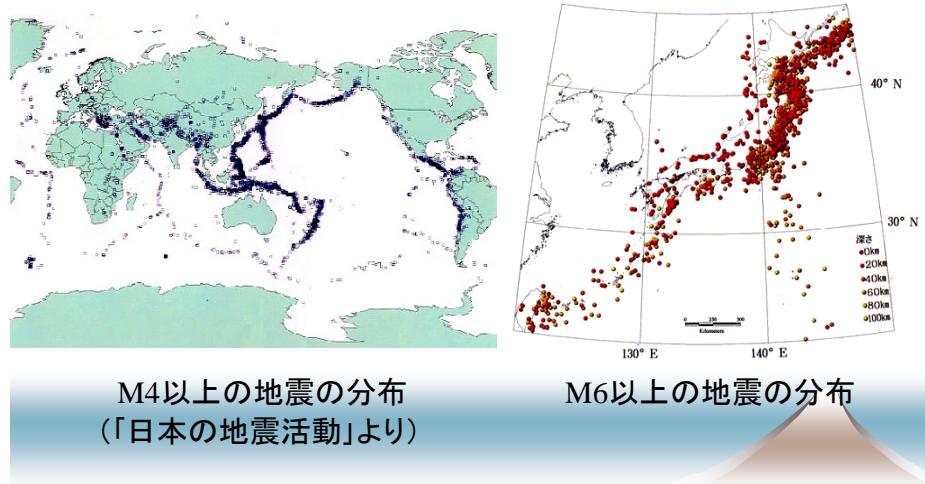
首都圏・関東平野の歴史地震



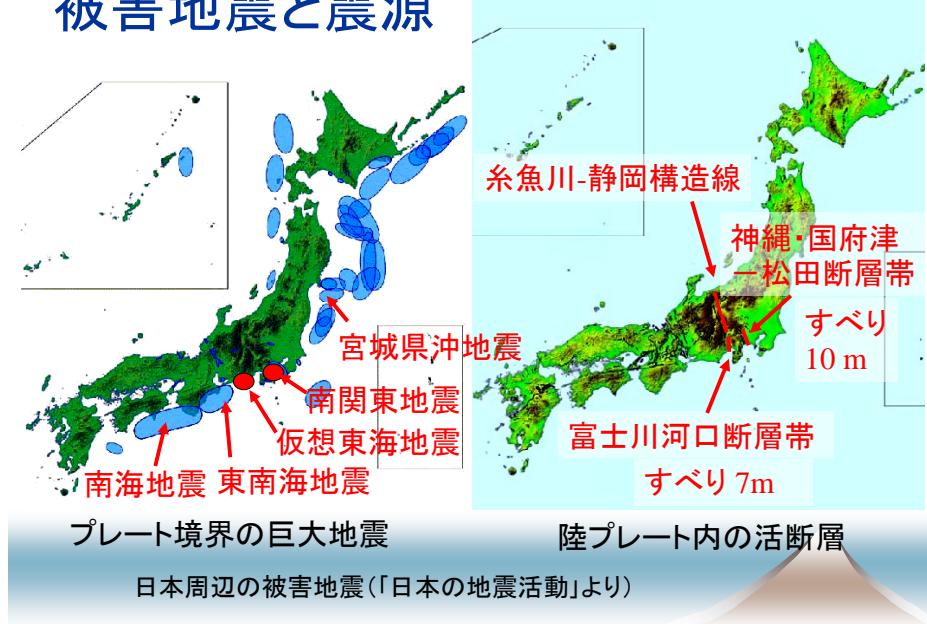
首都直下地震の切迫性



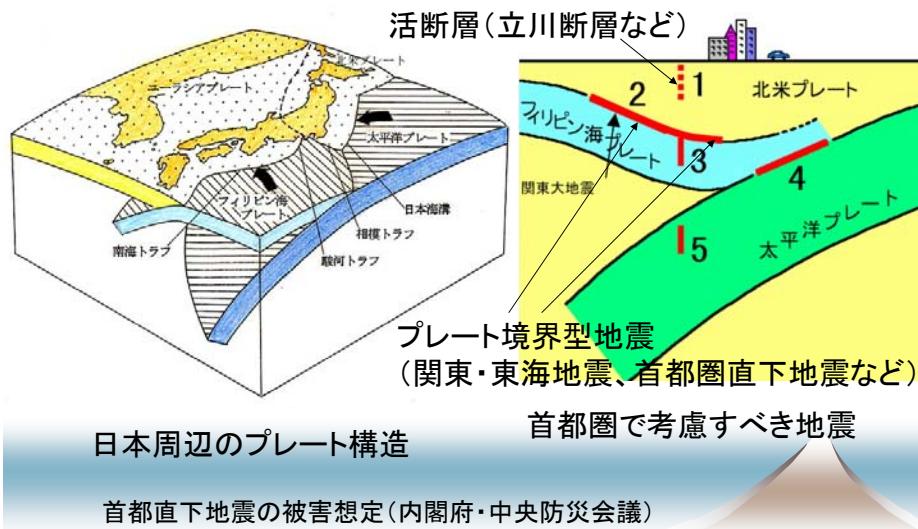
地震防災学に必要となる学問: 地震学(敵を知る)



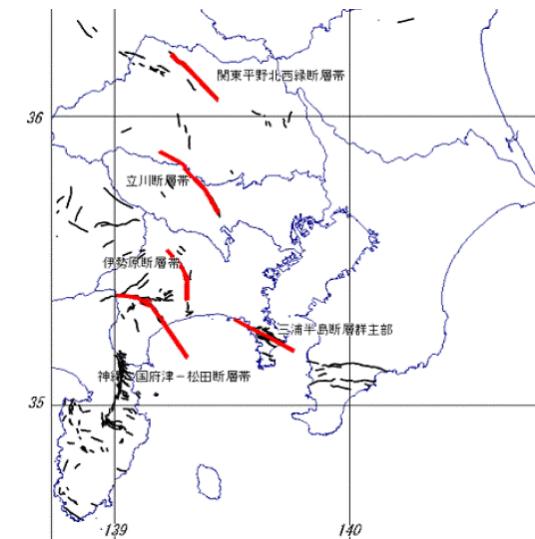
被害地震と震源



切迫する首都直下地震 と海溝型巨大地震



首都圏の活断層



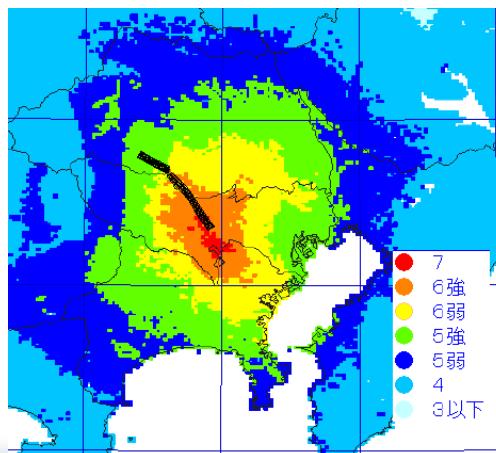
立川断層帯

地震規模 M7.4程度
長さは約33km
北東側が相対的に2-3m
程度高まる可能性あり
発生確率
30年以内 0.5%~2%
50年以内 0.8%~4%
100年以内 2%~7%
地震後経過率 0.9-2.0
平均活動間隔
10000年-15000年程度
最新活動時期
約20000年前-13000年前

中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」資料より

立川断層帯の地震による想定被害

(内閣府、地震調査研究推進本部)



地震規模: M7.3程度
30年発生確率は1-2%程度
(今回の地震で確率上昇?)
震度分布: 断層に近い地域は
6強以上(一部、震度7)
被害概要(18時、風速15 m/s)
・死者数: 約6,300名
・全壊家屋: 約480,000棟
・搖れ家屋: 約120,000棟(24%)
・焼失家屋: 約340,000棟(71%)
・急傾斜崩壊: 約5,700棟(1%)
・液状化被害: 約20,000棟(4%)

→地震動の揺れによる被害。地表断層出現による被害は未考慮

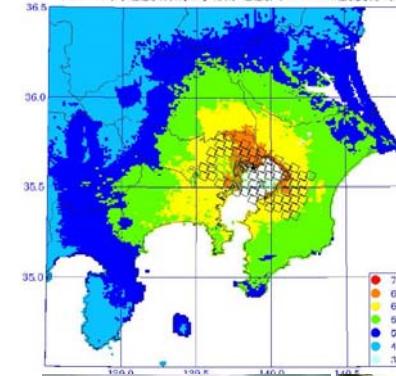
中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会・第13回」資料より

11

首都直下地震(東京湾北部地震)による被害想定

首都圏直下の地震: 全体の30年発生確率は70% (地震調査研究推進本部、2005) (内閣府)

プレート間地震(東京湾北部地震)、M7.3の震度分布



	東京湾北部地震
30年以内の発生確率	70%
全壊住家(震動等)	195,000棟
全壊住家(津波)	—
全焼住家(火災)	650,000棟
死者	11,000人(18時)
上水道(1日後)	1,100万人(26%)
ガス(1週後)	120万軒(12%)
電気(直後)	160万軒(6%)
通信(直後)	110万軒(5%)
直接被害金額(復旧)	67兆円
間接被害金額(生産)	45兆円

負傷者 21万人以上
うち重症者3.7万人
帰宅困難者(650万人、
東京都390万人)
避難者(700万人)
避難生活者(460万人)

地震波の発生と地盤による增幅： (深い地盤と浅い地盤)

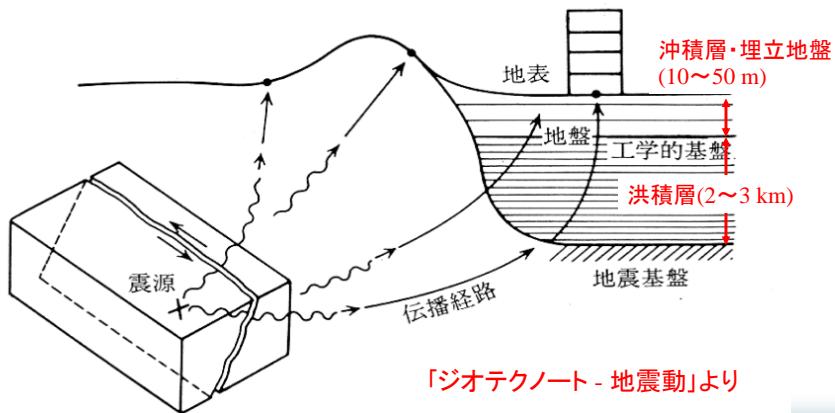
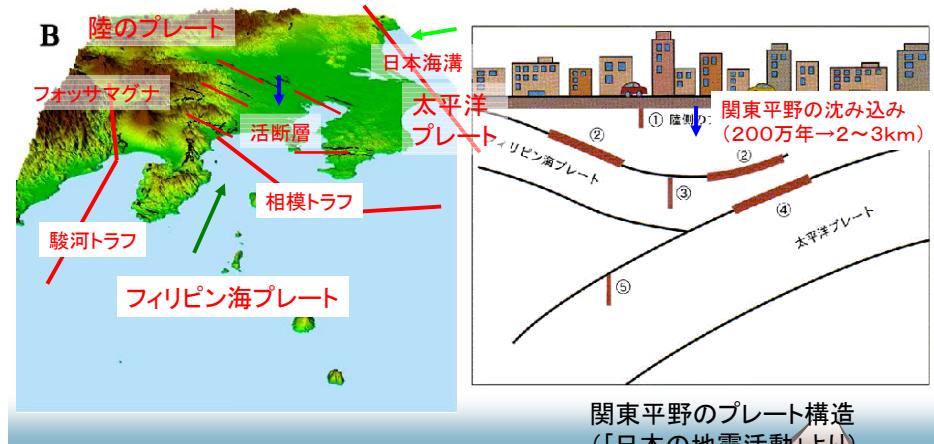


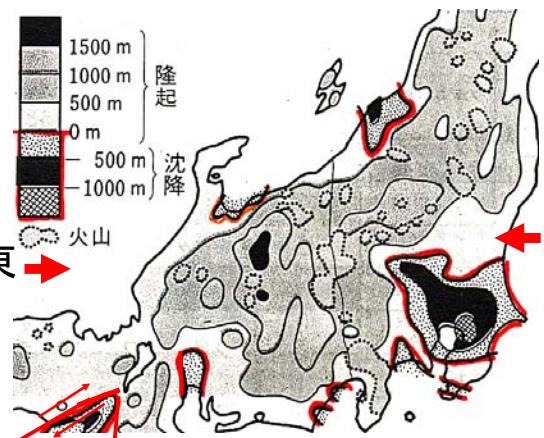
図-3.4 震源から地表までの地震波の伝播

プレート運動と関東平野の深い地盤 ：関東平野は沈んでいる！？



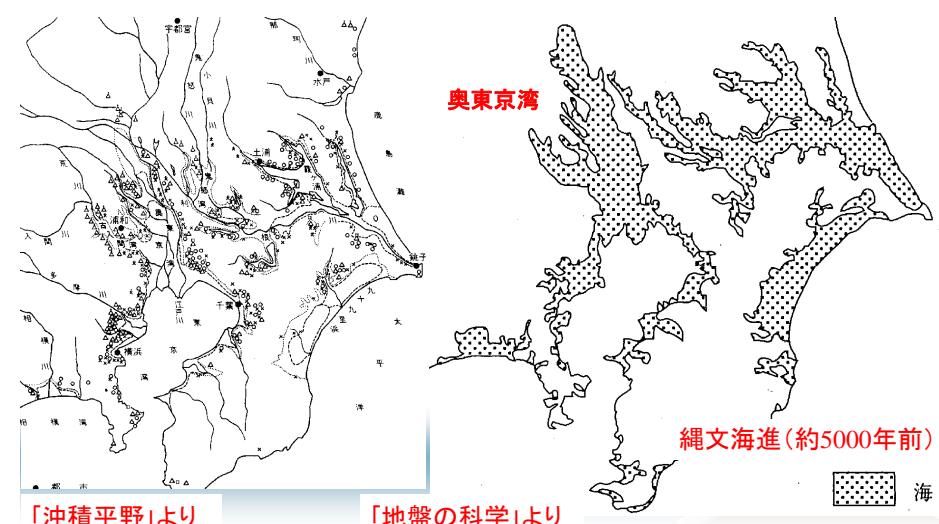
堆積盆地構造 (洪積地盤)

- ・プレートテクトニクスによる東西圧縮
→ 南北：逆断層
北東-南西、北西-南東
:横ずれ断層
- ・全国の平野・盆地

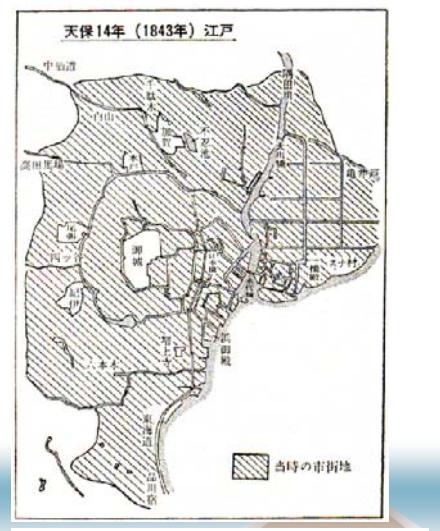
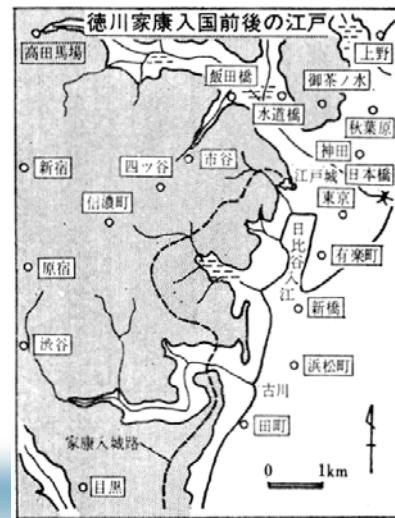


第四紀以降の沈降・隆起

地質学・地盤工学：関東平野 沖積地盤(浅く柔らかい地盤)

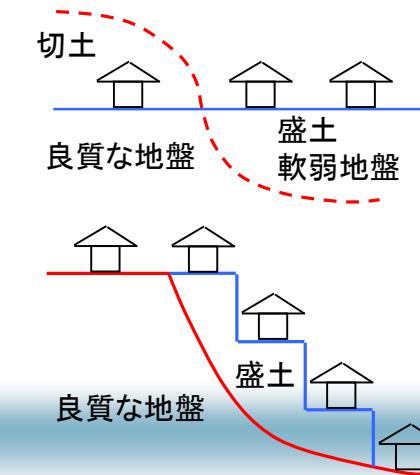


江戸時代の埋め立て地盤



「古地図が教える地震危険地帯」より

宅地造成地と地震被害 (2003年新潟県中越地震の被災例)



被害地震に学ぶ

◆歴史地震

明治以前の被害地震は古文書による

◆近代以降の歴史

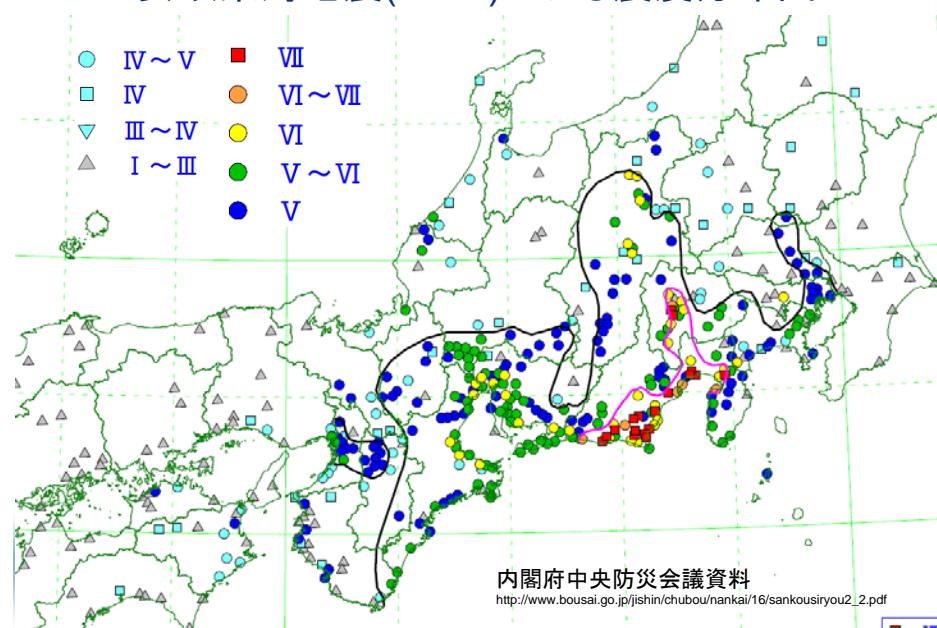
明治以降、学術調査が行われ地震被害の体系化、耐震・地震防災対策へ

- ・日本地震学会：1880年横浜地震を契機

- ・震災予防調査会：1891年濃尾地震を契機

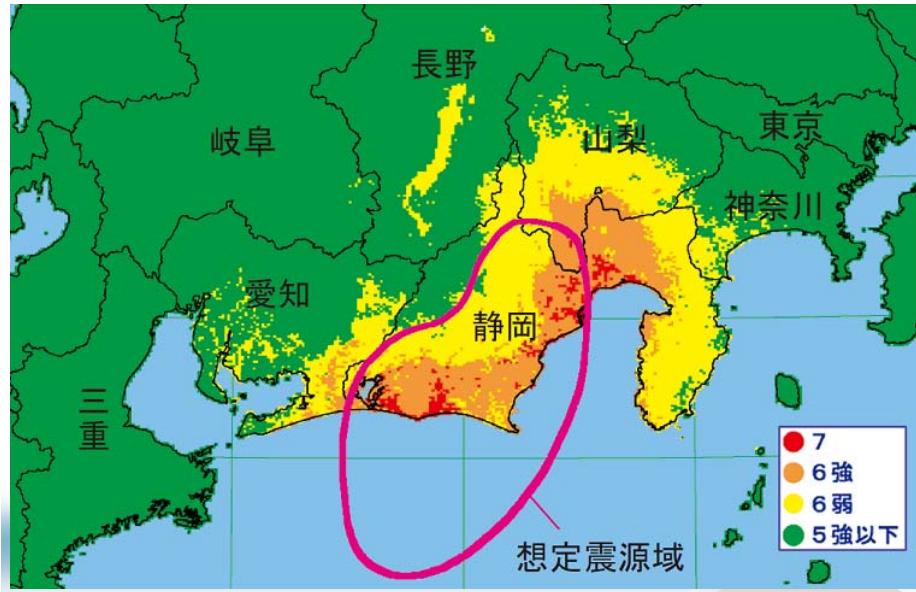
- ・市街地建築物法：1920年施行……

安政東海地震(1854)による震度分布図

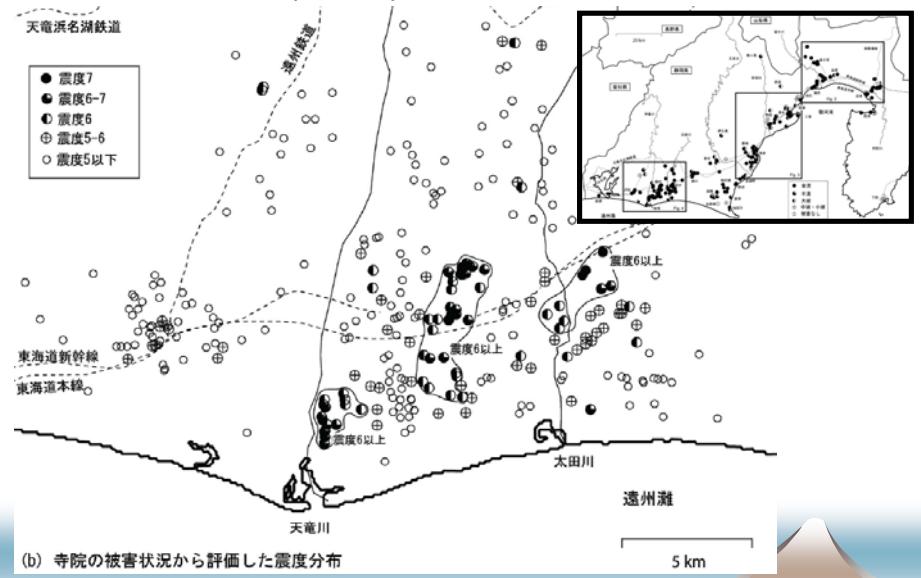


内閣府中央防災会議資料
http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/nankai/16/sankousiryou2_2.pdf

想定東海地震による予想震度分布(内閣府)

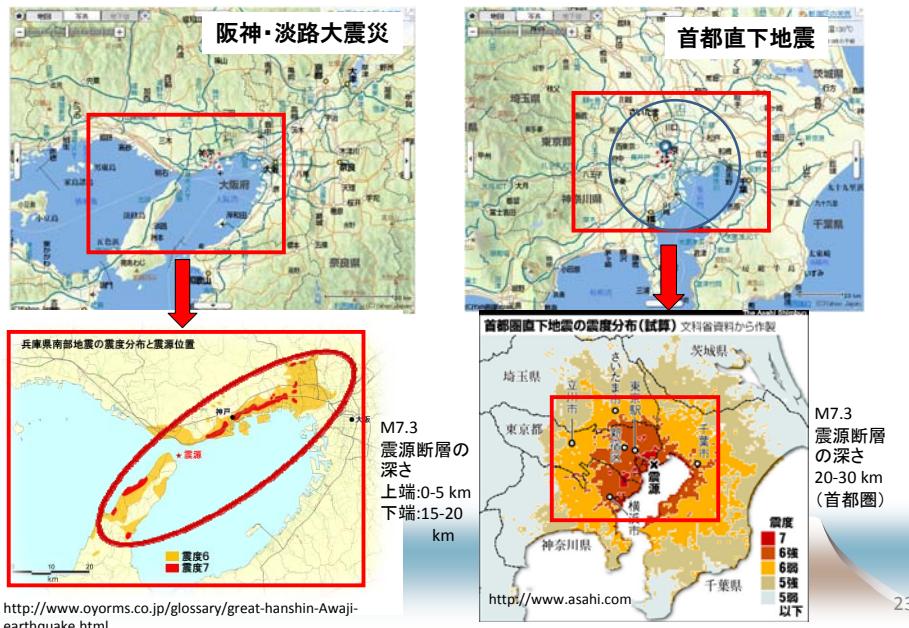


安政東海地震(1854)による静岡県内の震度分布



寺院の被害記録から見た安政東海地震(1854)の静岡県内の震度分布(行谷、都司:歴史地震)

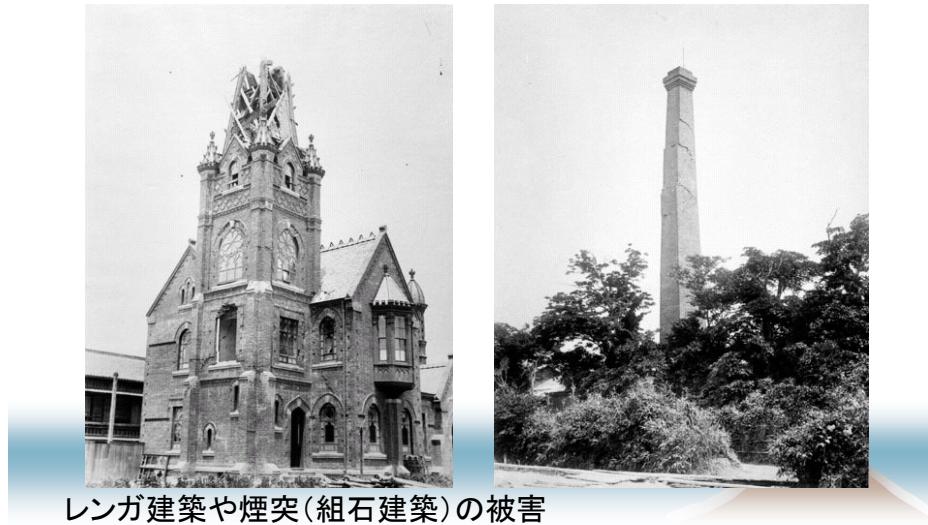
阪神・淡路大震災と首都直下地震(2012版)の比較



1855年安政江戸地震の震度分布図



過去の地震被害に学ぶ：地震工学 1894年明治東京地震(M7)



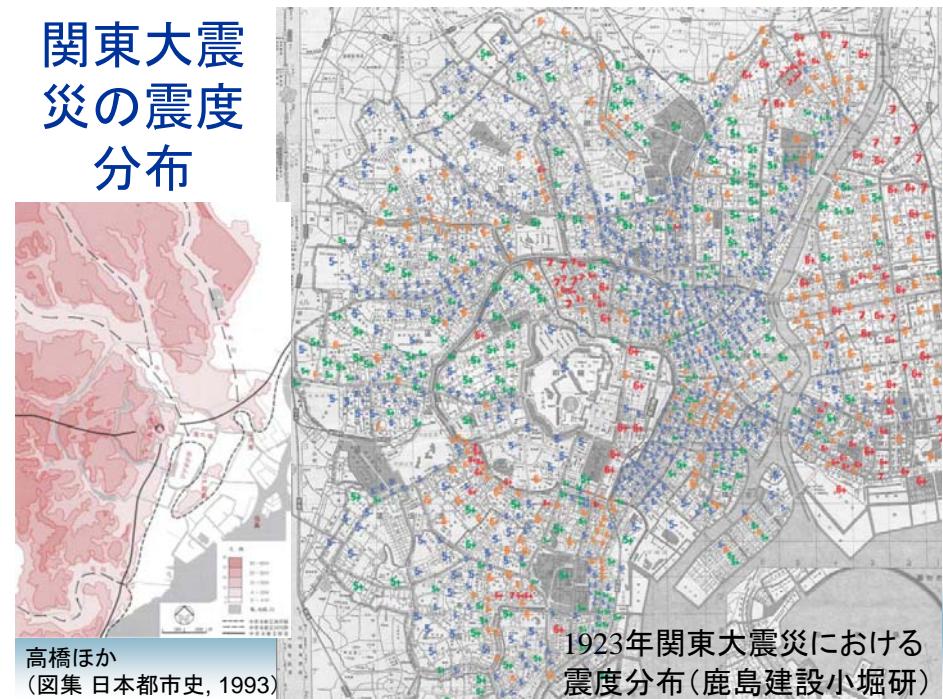
1891年濃尾地震 (M8活断層地震)



1923年関東大震災の震源断層と被害



関東大震災の震度分布



1923年関東大震災

東京市の大火災：震災対策の原点

地震発生: 1923年9月1日正午

東京市: 死者数 71,615名

圧死者数 3,668名 (5%)

焼死者数 56,774名 (78%)

水死者数 11,233名 (16%)

→ 95%の死者は火災による
(ただし、大規模延焼火災発生は
震災発生から4~5時間後)

・耐震・耐火対策(市街地建築物法の改正、1924)

・初期消火と避難→空地・広域避難場所の整備
→ 消火・避難訓練("逃げる対策・訓練")



一時避難場所・広域避難場所の整備と防災訓練



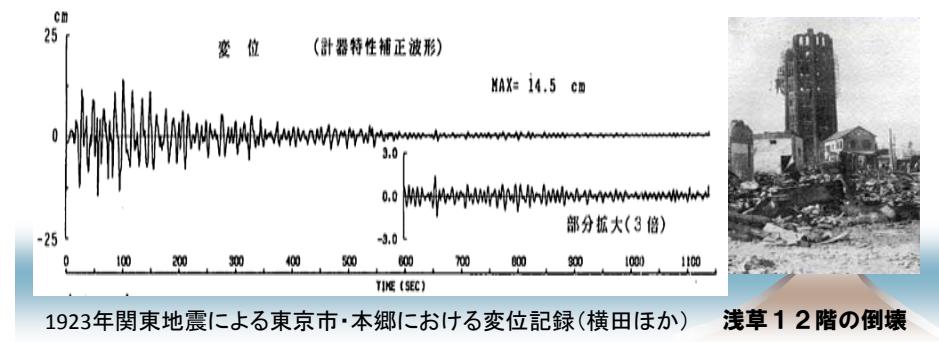
初期消火・避難を主目的とした防災訓練→“関東大震災タイプ”訓練

防災マップ・避難所とは？



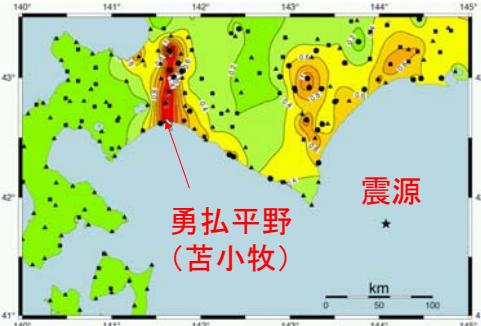
1923年関東地震の長周期地震動

- ◆ 1923年関東地震の本郷の今村式・ユーイング式変位計による記録(振り切れているものの長周期地震動を記録)
→ 真島(柔構造)×佐野・武藤(剛構造)の剛柔論争



堆積盆地における長周期地震動

◆ 2003年十勝沖地震



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



苦小牧の石油タンクの被害

関東大震災以降の主な日本の地震被害



1948年福井地震(直下型地震)



1964年新潟地震(液状化)

1950年建築基準法施行
震度7を追加

横浜市: 「液状化マップと対策工法」(ぎょう
せい)より抜粋
([http://www.city.yokohama.jp/me/anzen/kikik
anri/ekijouka_map/q&a.html](http://www.city.yokohama.jp/me/anzen/kikik
anri/ekijouka_map/q&a.html))

長周期地震動 高層建築の被害

- ◆ 遠地地震による超高層ビルの船酔い現象
- ◆ 1983年日本海中部地震、1984年長野県西部地震、2003年新潟県中越地震による超高層ビル管制ケーブル切断事故
- ◆ 高層ビル難民対策



ガードン・プレイスの怪
恵比寿超高层ビルでバラク
島取西部地震が起きた時、東京は震度1。が地上100メートルでは大揺れ。
オフィスで船酔い状態になつた人たちがいた。高層生活への警鐘だ。

2000年鳥取県西部地震による
船酔い現象(Aera, 2000/11/13)

関東大震災以降の主な日本の地震被害



1968年十勝沖地震(RC造被害)



1971年建築基準法改定

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

1981年建築基準法改定

1978年宮城県沖地震(M7.4)

- ◆ 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)



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り)→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…
宮城県 : <http://www.pref.miyagi.jp/sdix/doboku/fureaidayori/fureaidayori01/fureaidayori01-3.htm>



1995年阪神・淡路大震災の被害

1995年1月17日 5時46分
阪神・淡路大震災(M7.3)
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



震災の帯に被害が集中



同時多発火災(285件)



建物被害: 512,882棟



多くの病院も被災

RC建物の被害



古いRC建築の破壊(柱や中間層)



木造建物の被害



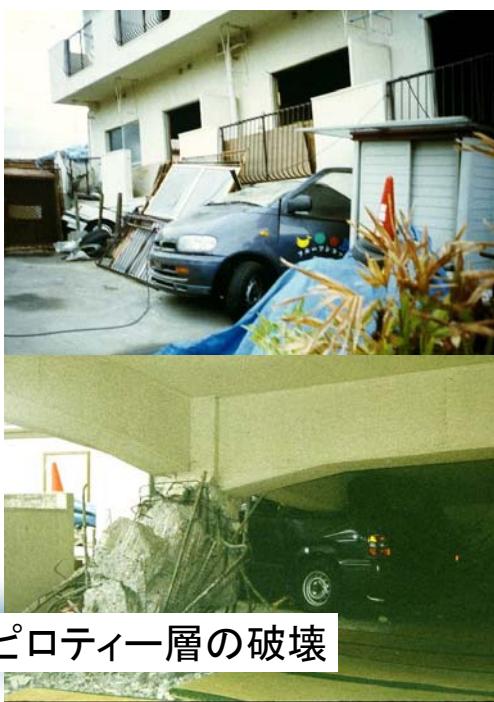
古い木造住宅の破壊(特に1階部分)

38

RC建物の被害



新しいRC建築の1階ピロティ一層の破壊



その他の被害



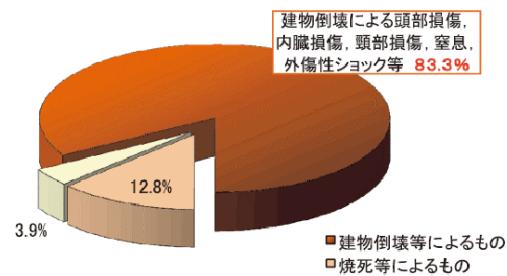
渡り廊下の破壊



倒壊建物による
救援活動の支障

既存不適格建築(古い建築基準で 建てられた建物)に被害が集中

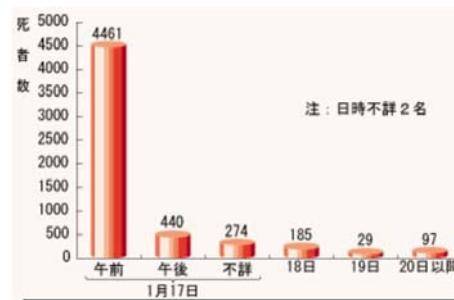
- ◆ 教訓: しっかりと設計施工された建物の被害は軽微
- ◆ 既存不適格建築の耐震診断と耐震補強をどうやって進めるか?
- ◆ 情報収集・共有、応急対応体制の不備



防災白書(H21)

http://www.bousai.go.jp/hakusho/h21/bousai2009/html/honbun/1b_fuzoku_siryo_12.htm

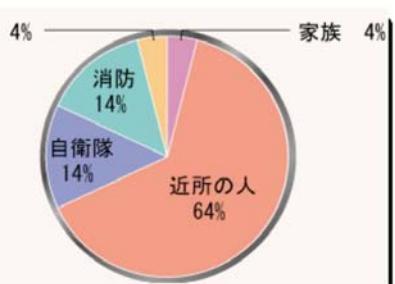
1995年阪神淡路大震災の死者と 人命救助をした人の内訳



死亡時刻

埼玉県消防課: <http://www.pref.saitama.lg.jp/A05/BC00/tenken/point8.htm>

救助した人の内訳



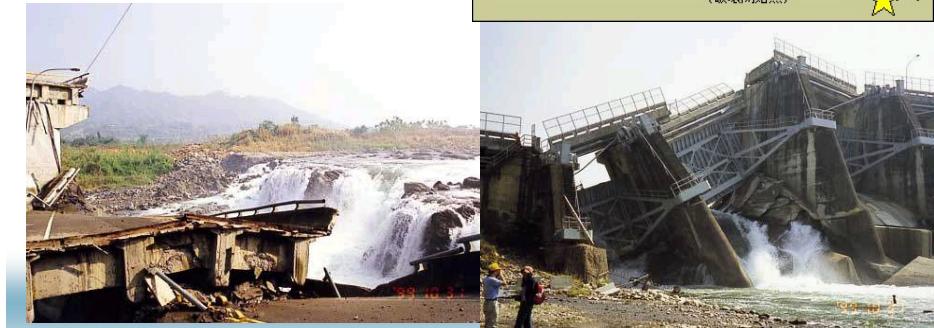
大規模震災→公助から自助・共助へ

2004年新潟県中越地震(川口町:震度7)



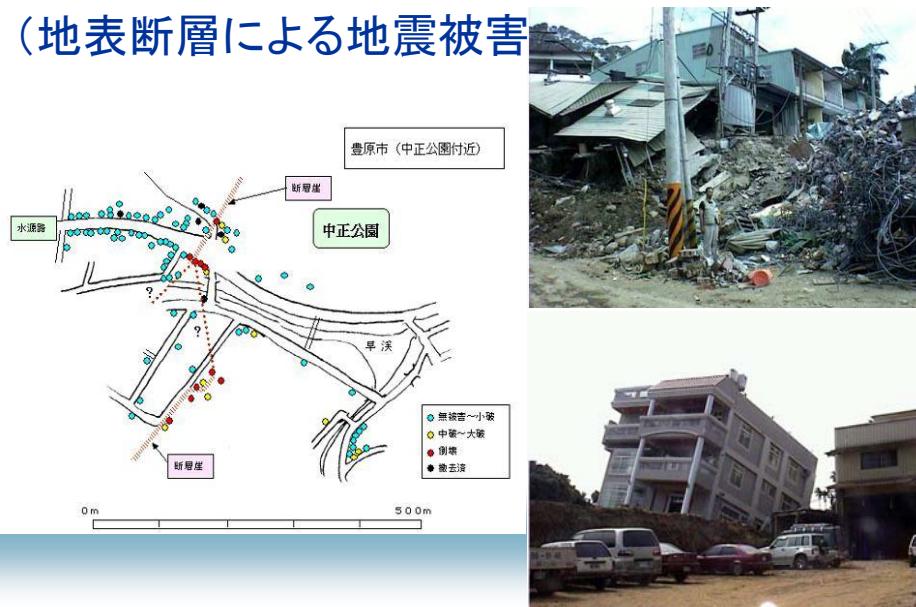
1999年台湾集集地震

◆巨大な地表断層
出現による被害



日本大学理工学部のホームページより

1999 台湾・集集地震 (地表断層による地震被害)



2011年東北地方太平洋沖地震(M9.0)

表1 東日本太平洋沖における海溝型地震の長期発生予測（地震調査研究推進本部による）

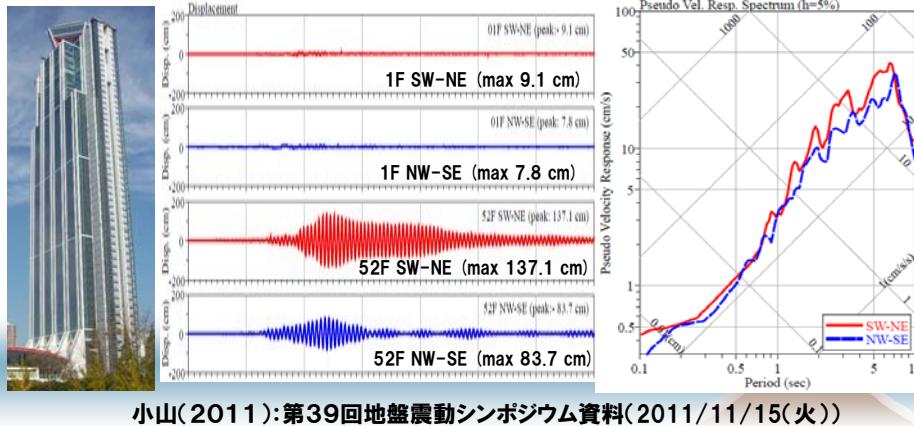
海 域	予想されるマグニチュード	今後30年内の発生確率	平均発生間隔
三陸沖北部	M8.0前後	0.5%~10%	約97年
三陸沖中部	(過去に大地震がなく評価不能)		
三陸沖南部海溝寄り	M7.7前後	連動時は80%~90%	105年程度
宮城県沖	M7.5前後	M8.0前後 99%	37年
福島県沖	M7.4前後 (複数地震が続発)	7%程度以下	400年以上
茨城県沖	M6.7~M7.2	90%程度以上	約21年
房総沖	(過去に大地震がなく評価不能)		
三陸沖北部から房総沖の海溝寄り	M8.2前後 (津波地震)	20%程度	133年程度
	M8.2前後 (正断層型地震)	4%~7%	400~750年

- ・今回の地震は、6つの震源域が連動し、M9の超巨大地震となった
- ・海溝型地震の地震サイクルは、従来の数百年ではなく、数千～万年単位で考える必要がある

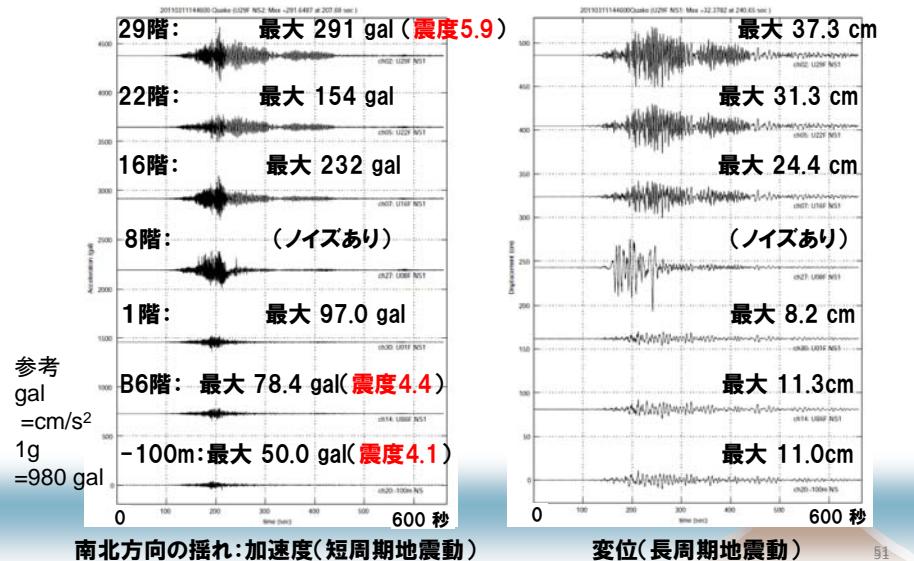


大阪府咲洲庁舎(55階)の揺れと被害

- ◆ 建物の固有周期と地盤の卓越周期が一致(約7秒で共振)
- ◆ スプリングラー破損による漏水、階段壁面のパネル落下、100才以上のひび割れ、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

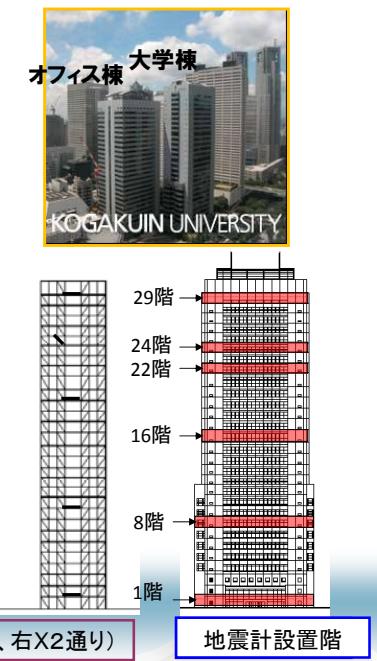


2011年東日本大震災(本震)による揺れ —工学院大学・新宿校舎の加速度と変位波形—



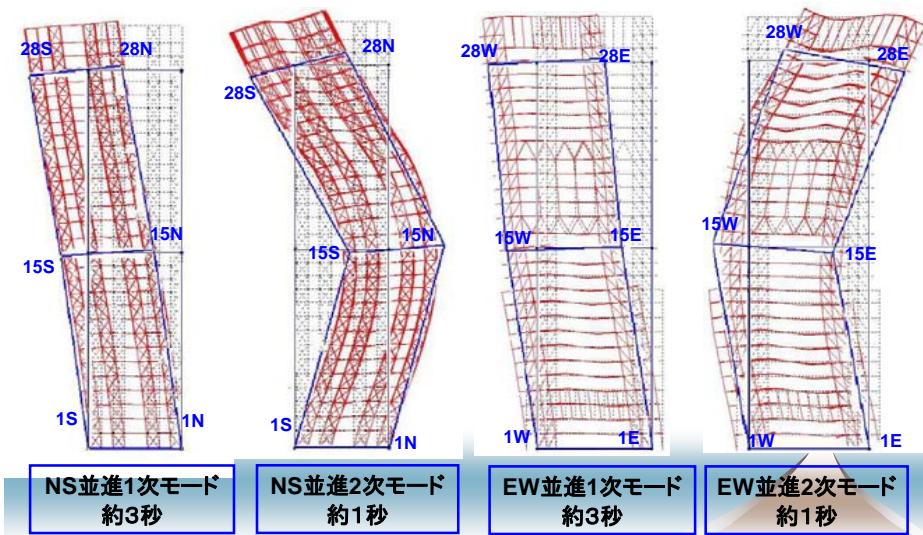
工学院大学・新宿校舎

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: 鉄骨造(プレース付ラーメン架構) 地下1~2階: 鉄骨鉄筋コンクリート造 地下3~6階: 鉄筋コンクリート造

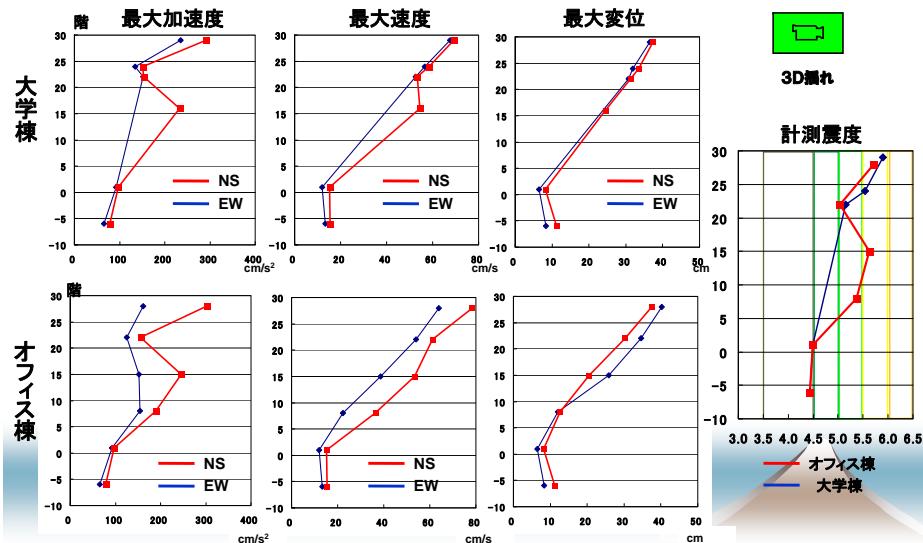


新宿校舎の揺れ方(固有モード)と固有周期

(周期: 1往復にかかる時間、固有モード: 建物固有に持つ最も揺れやすい振動形状
固有周期: 固有モードに対応する周期)



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)



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（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）



一工学院大学校舎内や周辺地域の様子ー



帰宅困難者の受入(外部者の総数約700名)



非常食・水の配布(4階)1



新宿駅西口の様子(滞留者)



主要街道の渋滞(青梅街道)

57

東日本震災の教訓と対策

西口地域アンケート・ヒアリング調査等より(1)

- ・**新宿高層ビルの揺れ**: 地下・震度4～地表・震度5弱
超高層ビルの中層～高層階では震度5強～6弱
構造躯体・火災・重傷者・ライフラインなどの重大な被害なし
- ・**高層ビル(管理会社・テナント)における教訓と対策**・:
非構造部材・設備・什器の被害→転倒・落下防止対策の徹底
エレベーター→最新の指針(2009年)での耐震補強が必要
初動判断→緊急地震速報など(但し、学習・訓練・経験必要)
建物被害・避難の判断→地震計を設置、即時被害推定の機能必要
通信障害・状況把握→館内通信(内線・携帯無線)も拡充
安否確認・被災対応→自衛消防組織(助けが来ない前提)
宿泊・帰宅の判断→原則として状況が分かるまで留まる、備蓄整備
駅周辺滞留者→余裕があれば受け入れ、備蓄など公助が必要

58

東日本震災の教訓と対策 西口地域アンケート・ヒアリング調査等より(2)

・今日は大丈夫だったが、その日に備えて..

構造被害→制震・耐震補強など。即時被害推定システム、応急判定
や詳細な被災度判定は地域連携で

ガスの遮断→今回の地震の際、高層階でガスが止まらない場合あり
→「地震だ、火を消せ」の復活?(かなり余裕がある場合のみ)

火災→初期消火(消火器、屋内消火栓など)と通報、全館避難

閉じ込め→エレベータ・執務室、救援救護訓練..

熱中症→猛暑日などで空調停止.. 全館避難・水分補給..

アスベスト→1988年以前(特に1975年以前)の鉄骨高層建物には
可能性あり、粉塵対策

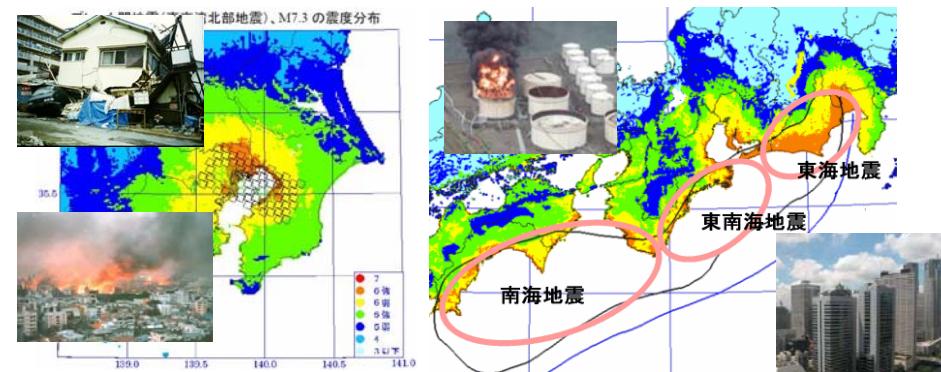
傷病者→動けない重傷者を出さないための対策、応急救護・搬送

帰宅困難者→建物から出ない・出さない(高い耐震性能、備蓄..)、
健常者は自分で、要援護者は地域連携で..

治療難民→医療救護所、地域の医療従事者と事業者・住民の連携

59

東日本大震災の地震動は東京では最悪ではない



震源域の強い地震動(震度6弱・6強)

首都圏直下の地震: 全体の30年発生確率は70%
(中央防災会議、地震調査研究推進本部)

・東京湾北部地震(現在見直し中): 死者1万以上、負傷者約21万人、うち重傷者約4万人
全壊・焼失家屋約85万棟、帰宅困難者650万人(東京で390万人)

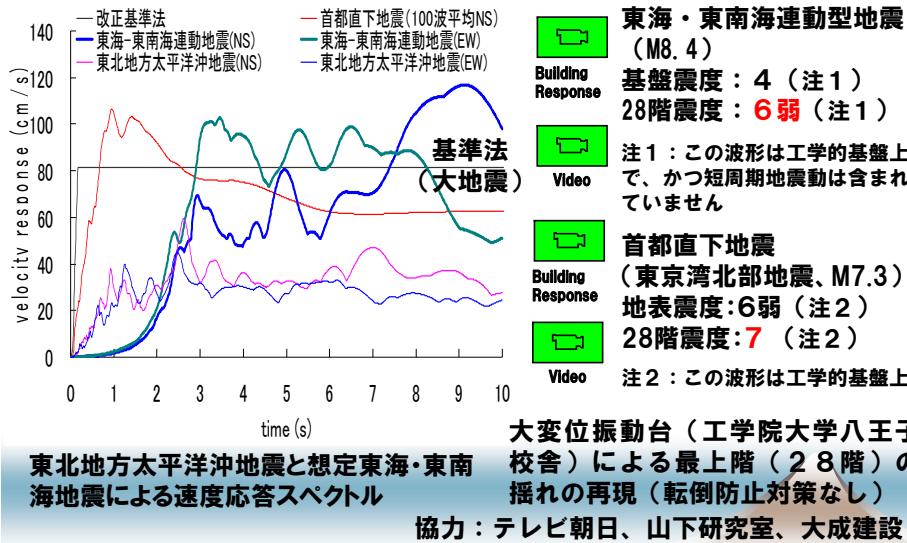
→但し、列車事故や高層ビルの被害・負傷者は含まない

・東海・東南海・南海地震(現在見直し中): 長周期地震動は今回より2~3倍大きい?

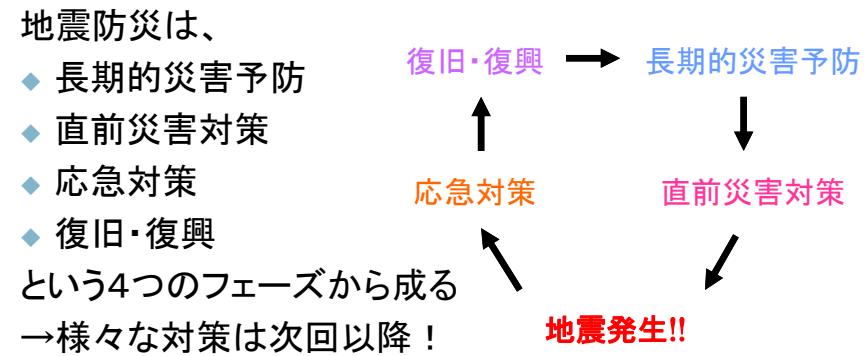
長周期地震動(高層建築の大きな揺れ)

南海トラフ海溝型巨大地震の30年発生確率:
東海地震: 87%、東南海地震: 60%

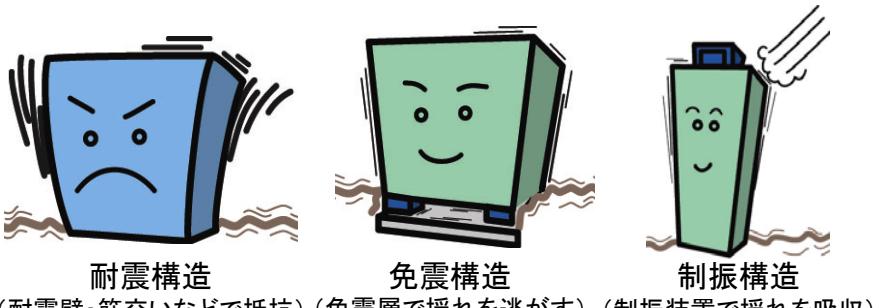
超高層建物内での震度と被害は？ 工学院大学新宿校舎の地震応答解析と振動台実験



地震防災におけるフェーズ



建物の地震防災・耐震設計：耐震・免震



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



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



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

地元自治体・周辺企業・地域住民と協働した 共助・公助による減災対応の仕組みづくり



・自治体および地元事業者と協働による新宿駅前滞留者対策訓練(2008年1月25日)
・2008年10月22日に新宿キャンパスおよび新宿駅周辺を対象とした発災対応・情報共有
のための防災訓練を実施(新宿駅滞留者対策訓練協議会)

2008年度新宿駅周辺地域防災訓練



新宿校舎における発災対応型 防災訓練（2008年10月）

- ・高層階（5階以上）で発災対応訓練の実施
- ・各階で小火・怪我人・閉じ込めなどが発生
- ・教職員・学生全員参加で緊急対応
- ・学科事務室で情報集約、災対本部に連絡
- ・フロア確認の後、避難開始
- ・学科単位で低層階教室に収容、安否確認
- ・その後、体験型訓練（応急救護など）に参加



高層棟	
最上	29階
CPDセンター／会議室／校友会事務局	28階
共通課題事務室／研究室	27階
● 建築系研究室	26階
● 建築系研究室／研究室	25階
建築系研究室／電気系研究室	24階
● 電気系研究室	23階
電気系研究室	22階
大学院生室／会議室（AED）	21階
化学系研究室／会議室	20階
化学系研究室／研究室	19階
機械系研究室	18階
● 機械系研究室／研究室	17階
機械系研究室／情報処理演習室／3Dデザインセンター	16階
情報学研究室	15階
● 情報処理演習室／情報科学研究教育センター／基礎法人事務室（緊急脱出・避難・救助セット）	14階
法人事務室（緊急脱出・避難・救助セット）	13階
大学事務室（AED、緊急脱出・避難・救助セット）	12階
学生相談室／健康相談室／教室／GE学部研究室	11階
CAD室／教室／学習支援センター	10階
建築設計室	9階
8階 ファカルティクラブ	8階
7階 食堂	7階
6階 120名 教室、セキシステムラボリー（渡り廊下）教室（避難所：電気系・情報学部）	6階
5階 120名 教室、専門学校事務室、エクステンションセンター（避難所：機械系）	5階
4階 専門学校事務室、エクステンションセンター（避難所：GE学部）（備蓄倉庫）	4階
3階 図書館	3階
2階 図書館（緊急脱出・避難・救助セ（通路）就職支援センター（災害対策本部）	2階
1階 アトリーム（備蓄倉庫）	1階
B1階 備蓄倉庫（=防災センター）、生協店、学生ホール、学習支援センター（AED、緊急脱出・避難・救助セット・警備室）	B1階

木曜日4限目登録者数想定:約1300人

2008年度防災訓練(10/22)

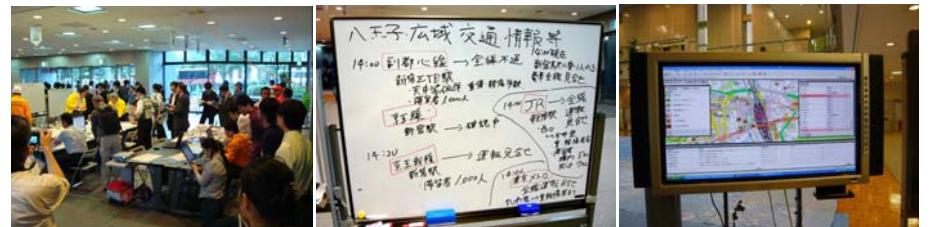


発災対応(上層階:負傷者例)

傷病者対応(1階:DMAT)

要援護者避難・受入(B1)

2008年度防災訓練(10/22)



新宿駅西口現地本部(1階:区・都・事業者、情報収集・共有、Web GIS)



工学院大学・新宿キャンパス災害対策本部(2階:情報収集、重要情報、意思決定)



広域情報収集(八王子、大妻女子大等) 情報提供(新宿中央公園)

体験型訓練(工学院大)

授業の予定(2012年度)

- 1 (4/12:久田) 概論:建築と地震工学
- 2 (4/19:久田) 地震動と地震防災
- 3 (4/26:久田) 地震被害から学ぶ1:歴史地震から1923年関東大震災
- 4 (5/10:久田) 地震被害から学ぶ2:関東大震災から1978年宮城県沖地震
- 5 (5/17:久田) 地震被害から学ぶ3:1995年阪神淡路大震災
- 6 (5/24:久田) 地震被害から学ぶ4:2011年東日本大震災
- 7 (5/31:久田) 振動論と耐震設計1:1層建物の振動(自由振動)
- 8 (6/07:久田) 振動論と耐震設計2:1層建物の振動(強制振動・共振・減衰)
- 9 (6/14:久田) 振動論と耐震設計3:地震応答スペクトルと耐震設計
- 10 (6/21:久田) 振動論と耐震設計4:多層建物の振動
- 11 (6/28:三好) 地震被害想定:地震による被害の想定手法と想定結果
- 12 (7/05:三好) 被害対策計画:被害想定に基づく対策計画の策定
- 13 (7/12:宮村) 企業の防災戦略BCP
- 14 (7/19:宮村) 地震対策を支援する各種の技術
- 15 基礎学力の調査

成績評価

<成績評価方法及び水準>

- ◆ 出席、レポート提出、期末試験、によって行われる。
→ しっかりとノートをとるように！！

<教科書>

- ◆ 建築の振動 初歩から学ぶ建物の揺れ、西川孝夫ほか、朝倉書店

- ◆ その他、適宜プリントを配布する

<参考書>

- ◆ 最新耐震構造解析、柴田明徳著、森北出版、1981年