

地震工学

第1回:ガイダンス 建築と地震工学の概要

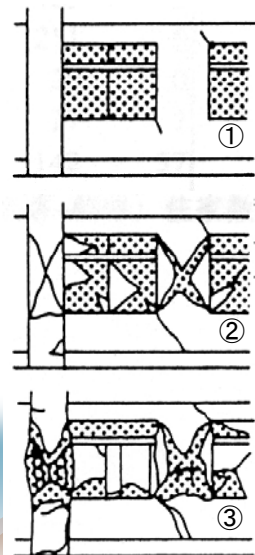
工学院大学・建築学部・まちづくり学科
久田嘉章・宮村正光・三好勝則

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!

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 大破してしまい、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

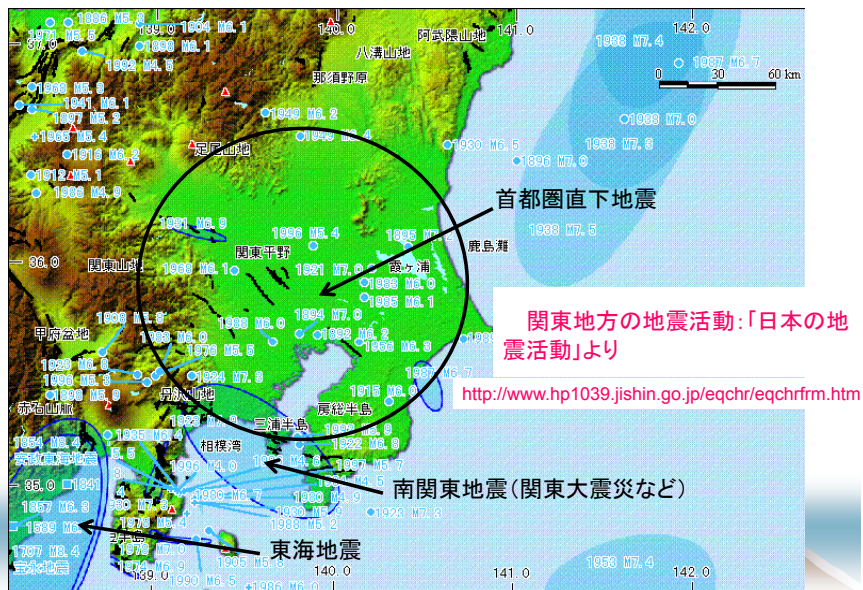
建築の役割:地震防災と建築

- ◆ 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

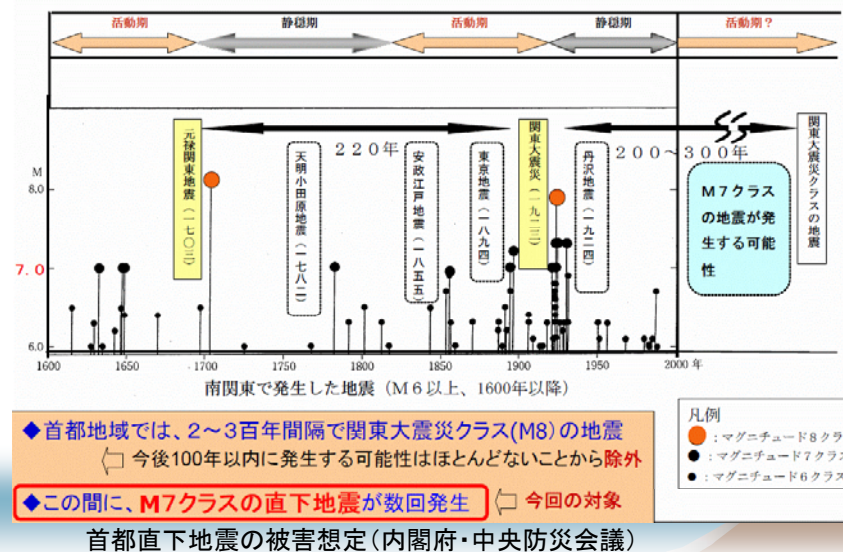


(阪神大震災全記録、毎日ムックより)

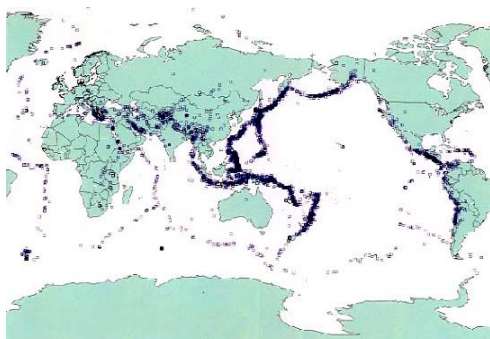
首都圏・関東平野の歴史地震



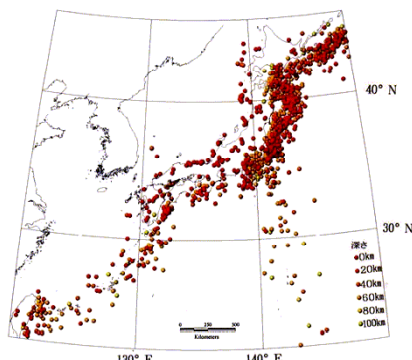
首都直下地震の切迫性



地震防災学に必要な学問: 地震学(敵を知る)



M4以上の地震の分布
(「日本の地震活動」より)



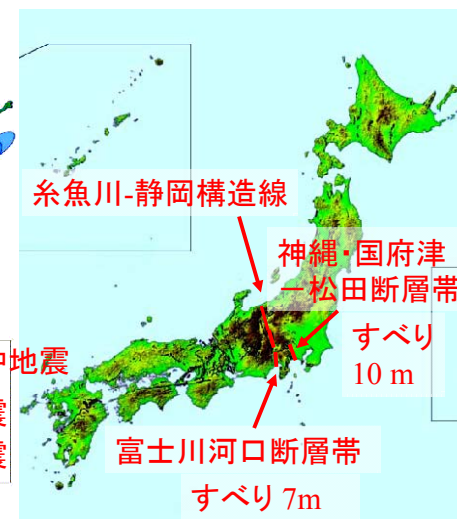
M6以上の地震の分布

被害地震と震源



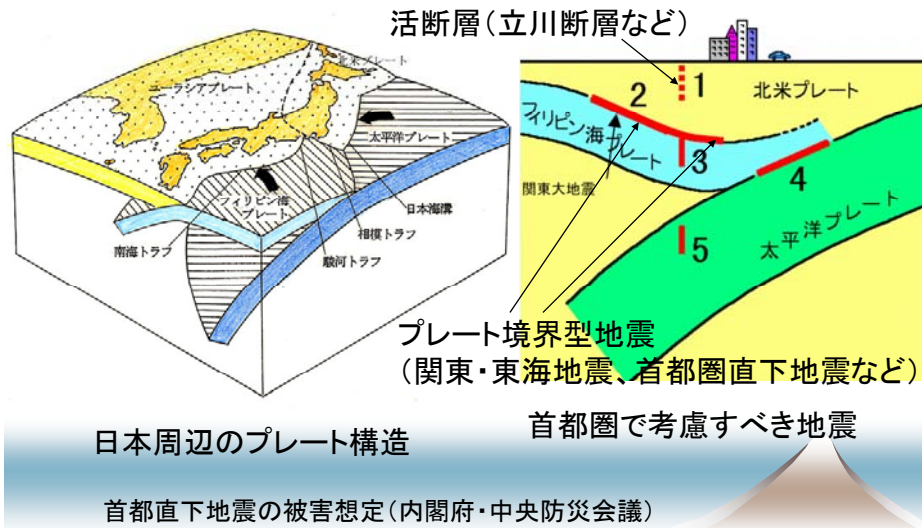
プレート境界の巨大地震

日本周辺の被害地震(「日本の地震活動」より)

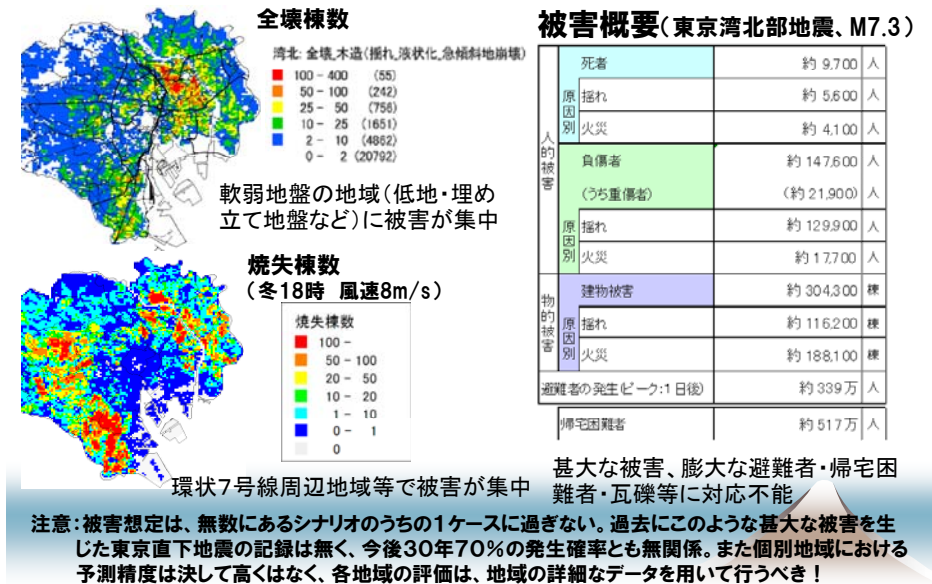


陸プレート内の活断層

切迫する首都直下地震 と海溝型巨大地震



東京湾北部地震(M7.3)による全壊・焼失棟数の分布 (2011年東京都地震被害想定:東京都総務局総合防災部)



地震波の発生と地盤による増幅: (深い地盤と浅い地盤)

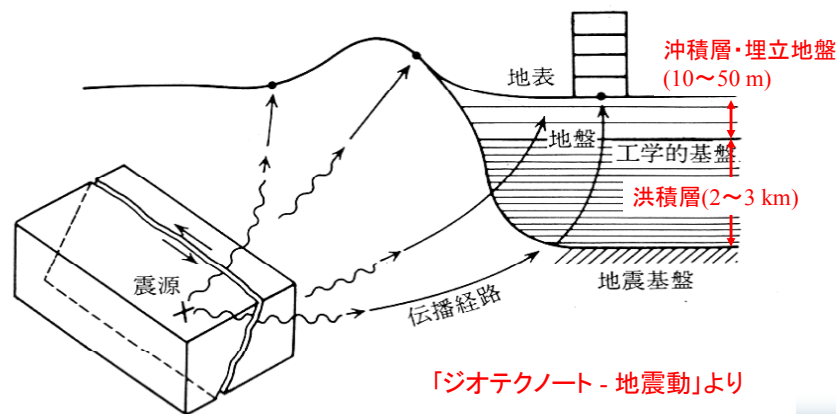
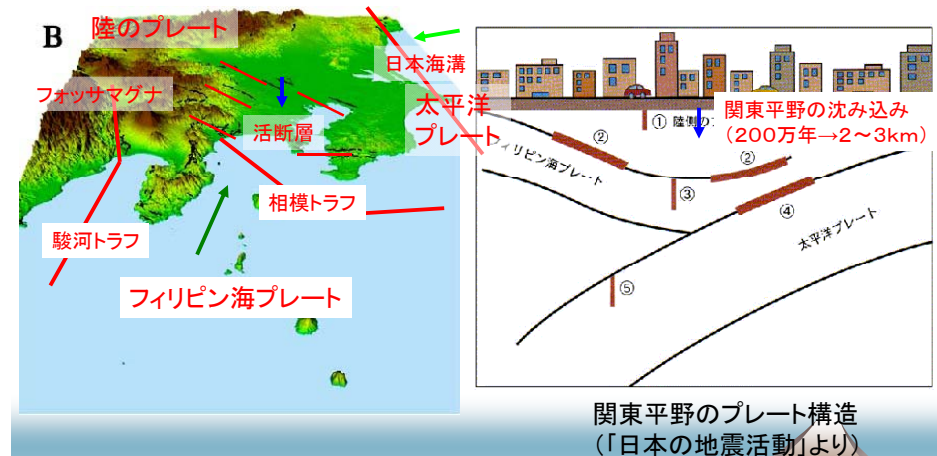


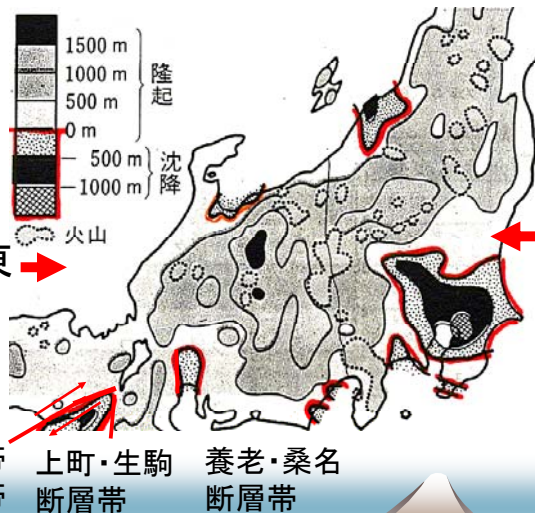
図-3.4 震源から地表までの地震波の伝播

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! ?



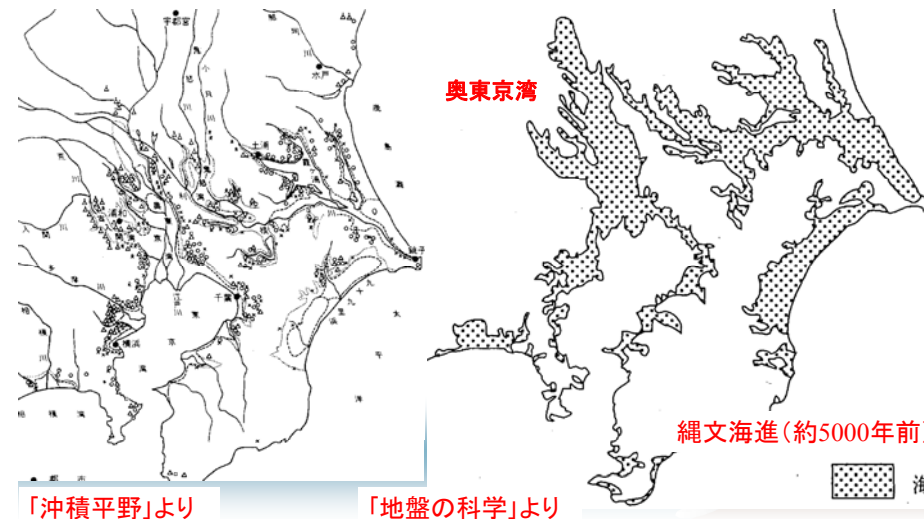
堆積盆地構造 (洪積地盤)

- ・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

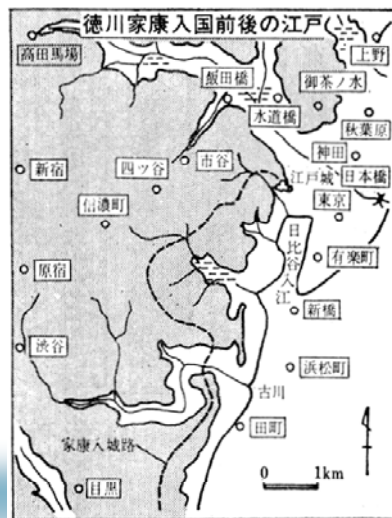


第四紀以降の沈降・隆起

地質学・地盤工学: 関東平野 沖積地盤(浅く柔らかい地盤)

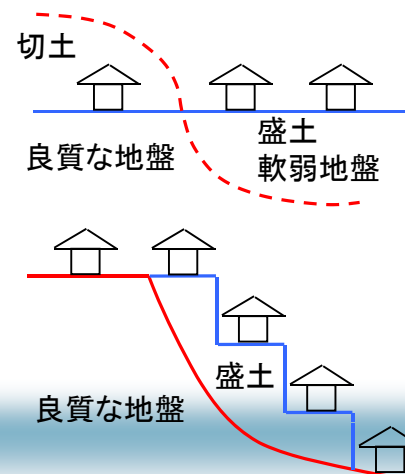


江戸時代の埋め立て地盤



「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

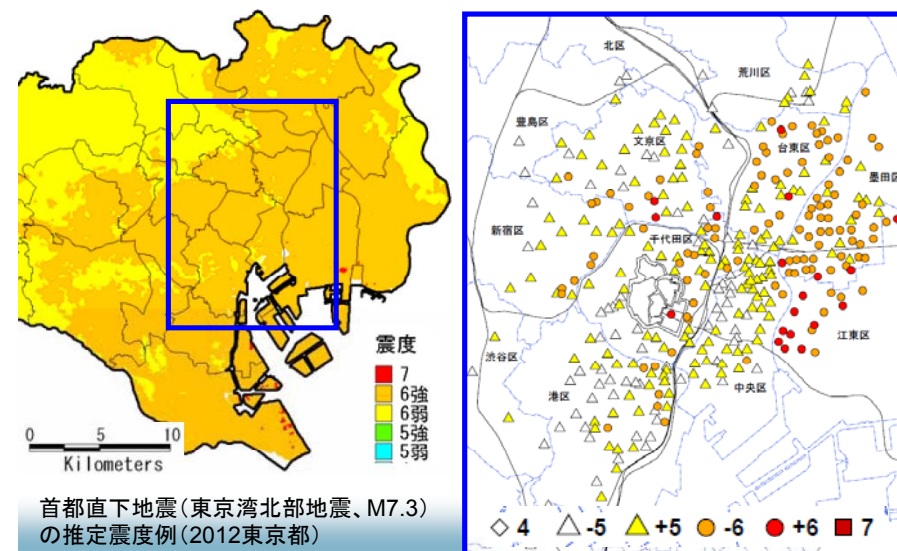
明治以前の被害地震は古文書による

◆ 近代以降の歴史

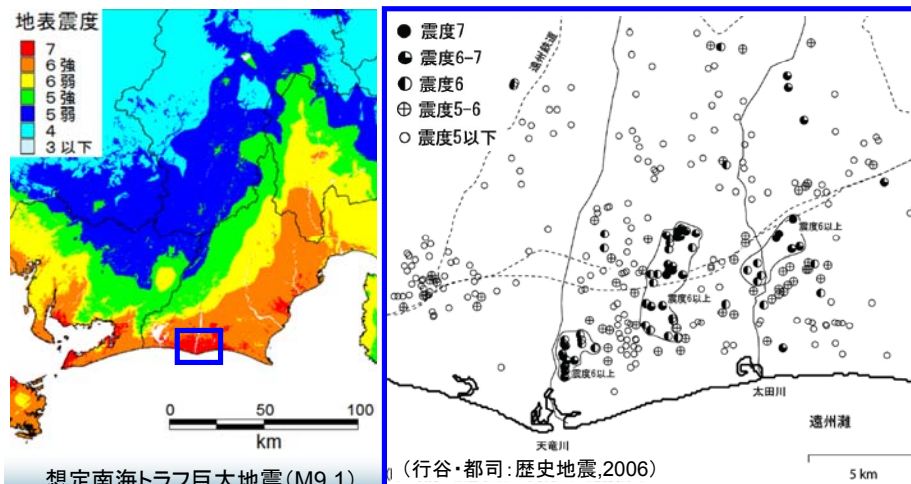
明治以降、学術調査が行われ地震被害の体系化、耐震・地震防災対策へ

- ・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……

首都直下地震と1855年安政江戸地震

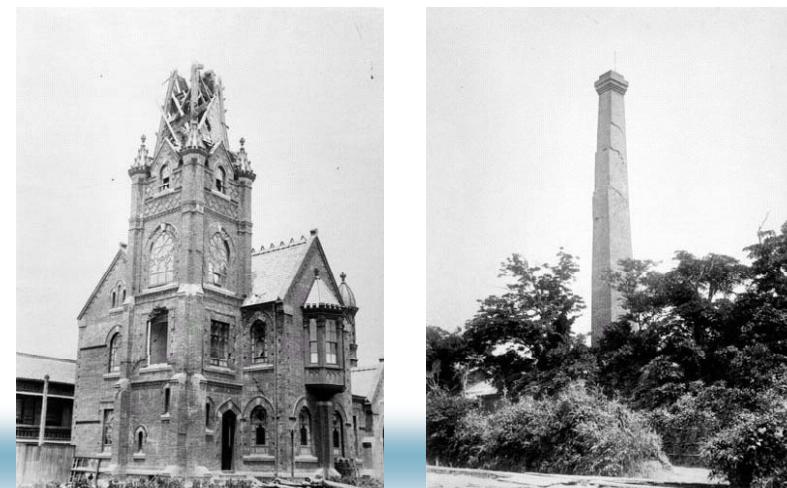


南海トラフ巨大地震の被害想定と実際の震度分布



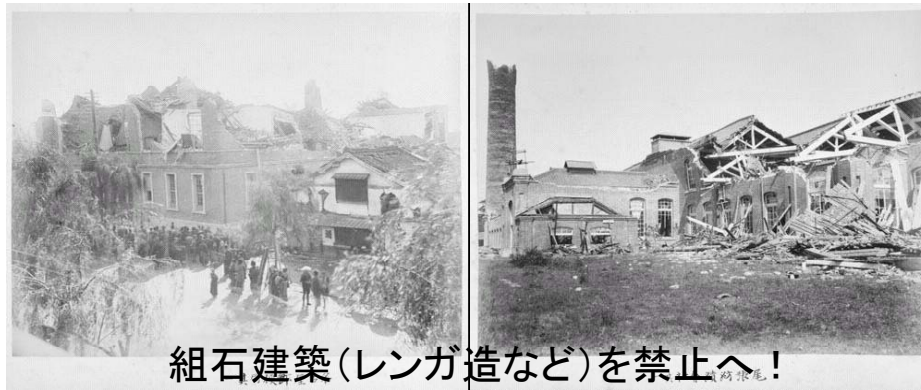
想定南海トラフ巨大地震(M9.1)の推定震度例(2012内閣府防災会議) 1854年安政東海・東南海地震(M8.4)の震度分布

過去の地震被害に学ぶ: 地震工学 1894年明治東京地震(M7)



レンガ建築や煙突(組石建築)の被害

1891年濃尾地震 (M8活断層地震)

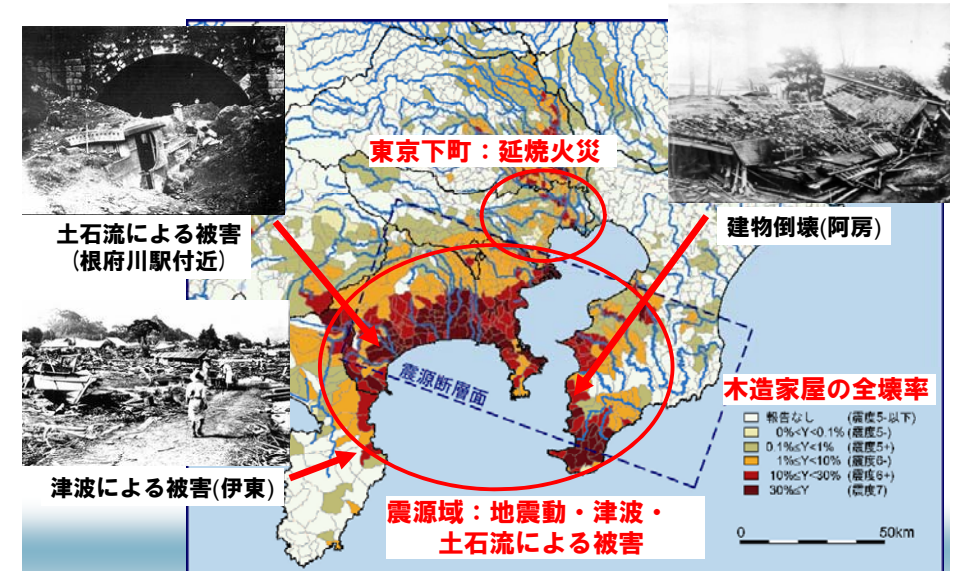


尾張紡績会社其一

名古屋郵便局其一

<http://research.kahaku.go.jp/rikou/namazu/index.html>

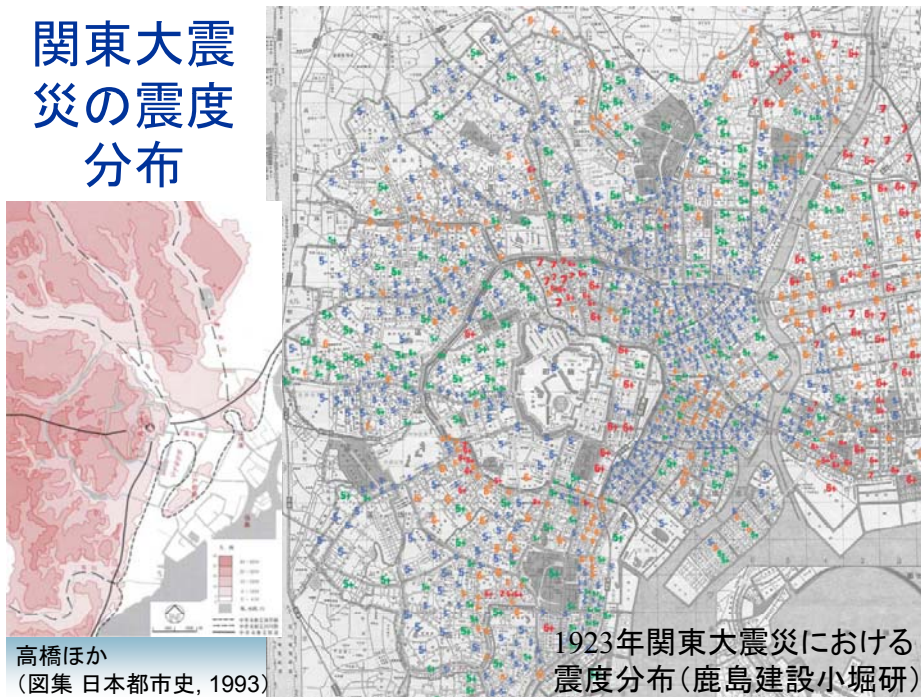
1923年関東大震災の震源断層と被害



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

関東大震災の震度分布



高橋ほか
(図集 日本都市史, 1993)

1923年関東大震災における
震度分布(鹿島建設小堀研)

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)



被服廠跡
(現横網町公園)
: 死者数 3万8千

火災被害状況

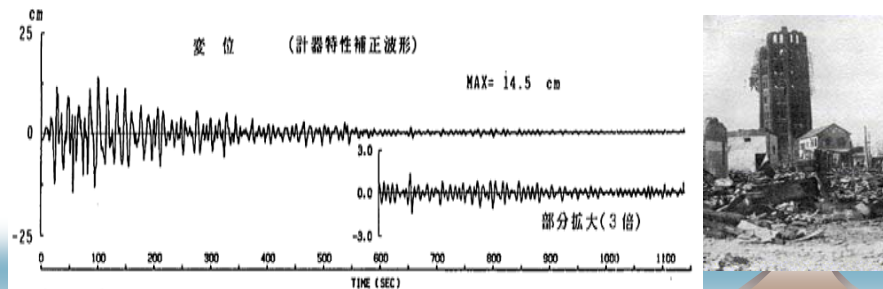
● 火災地蔵(橋略)
● 罹災者集約地

- ・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")

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・ユース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)

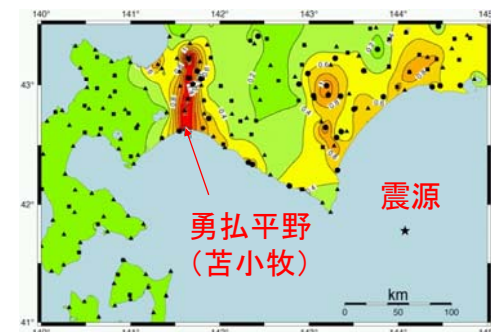
→ 真島(柔構造)×佐野・武藤(剛構造)の剛柔論争



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) 浅草12階の倒壊

堆積盆地における長周期地震動

- ◆ 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



苫小牧の石油タンクの被害

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



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



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/kikikanri/ekijouka_map/q&a.html)

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) 1978年宮城県沖地震(ピロティ被害)

1971年建築基準法改定

1981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>)

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)→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/sdhyoboku/furaidayori/furaidayori01/furaidayori01-3.htm>

(瀬尾和大氏・東工大名誉教授より)

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

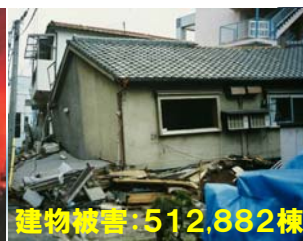
災害復興住宅孤独死者数:396名



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

木造建物の被害



古い木造住宅の破壊(特に1階部分)

RC建物の被害



古いRC建築の破壊(柱や中間層)



RC建物の被害



新しいRC建築の1階ピロティー層の破壊



その他の被害



埋め立て地盤の液状化

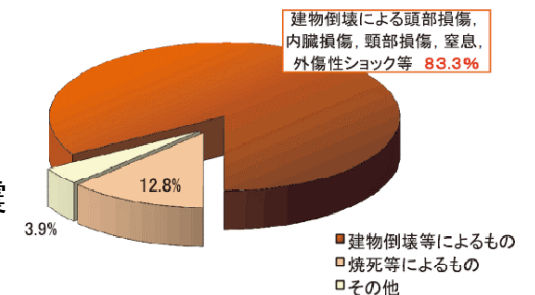


渡り廊下の破壊

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

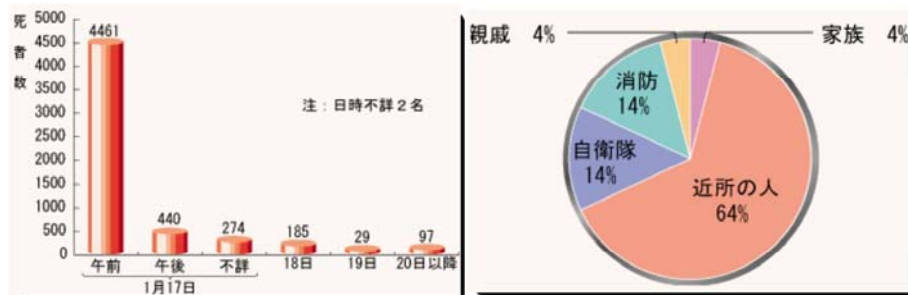


出典:「神戸市内における検死統計」(兵庫県監察医、平成7年)

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

救助した人の内訳

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

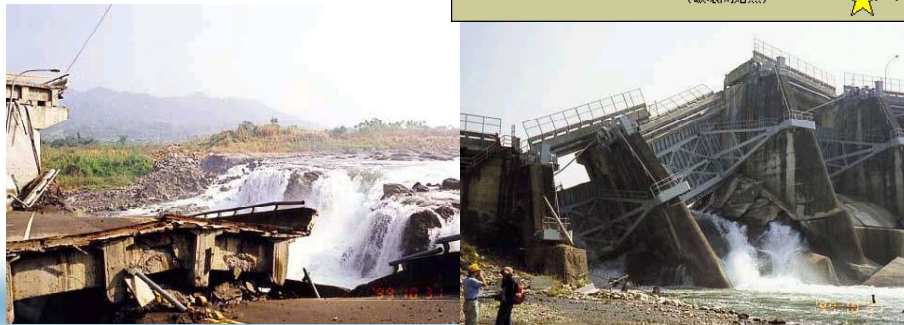
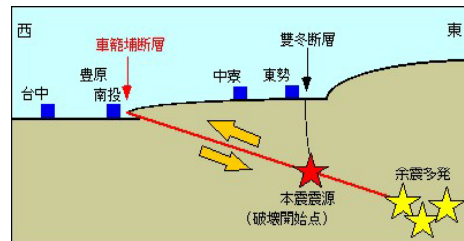
大規模震災→公助から自助・共助へ

2004年新潟県中越地震(川口町:震度7)



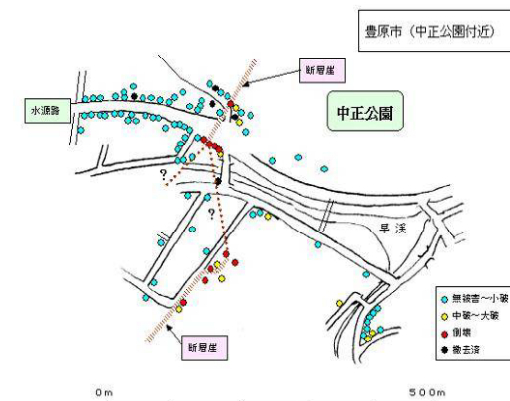
1999年台湾集集地震

◆ 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年以内の発生確率	平均発生間隔
三陸沖北部	M8.0 前後 (過去に大地震がなく評価不能)	0.5%~10%	約97年
三陸沖中部	M7.7 前後	連動時は80%~90%	105年程度
三陸沖南部海溝寄り	M7.5 前後	M8.0 前後	37年
宮城県沖	M7.4 前後 (複数地震が連続)	7%程度以下	400年以上
福島県沖	M6.7~M7.2 (過去に大地震がなく評価不能)	90%程度以上	約21年
茨城県沖			
房総沖			
三陸沖北部から 房総沖の海溝寄り	M8.2 前後 (津波地震) M8.2 前後 (正断層型地震)	20%程度 4%~7%	133年程度 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



釜石の奇跡と津波避難3原則 (群馬大・片田教授)

- ◆ 釜石の奇跡: 岩手県釜石市にて「避難3原則」を実践。東日本大震災では、想定外の津波に対して市内の小中学14校の生徒約3000人が避難。生存率は99.8%に達した。
- ◆ 避難3原則
 1. 想定にとらわれるな: 過去の1事例に過ぎないハザードマップにとらわれず、自分で判断せよ
 2. 最善を尽くせ: 「ここまで来ればもう大丈夫だろう」ではなく、そのときできる最善の対応行動をとること。
 3. 率先避難者たれ: 勇気を持って一番はじめに逃げる。そうすれば群衆心理でみんながついてくる。はじめに逃げるということが、多くの人の命を救うことになる
- 一般化は、率先リーダーたれ! (正しい知見、正確な情報・判断..)

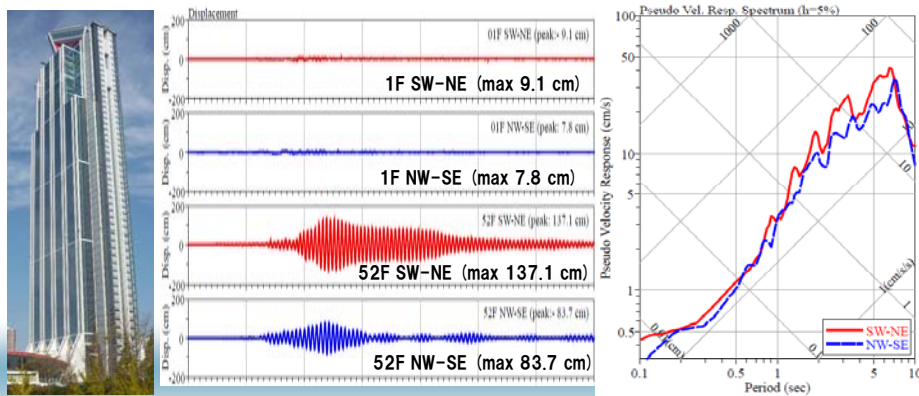
自主的な判断により、津波から逃れた船住居地区の小中学生



Wedge Report
http://wedge.ismedia.jp/articles/-/1312?page=1

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

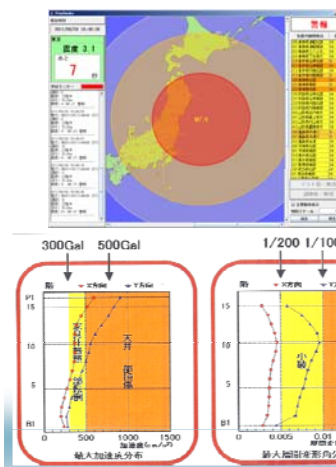


小山(2011):第39回地盤震動シンポジウム資料(2011/11/15(火))

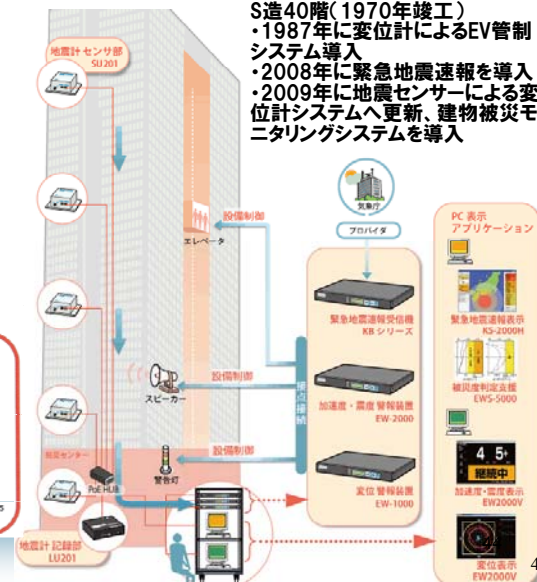
都内超高層オフィスビルにおける対応事例

→ 14:54(地震から8分後)に館内被害なしと認識、速やかに館内放送・テナント対応

●建物被災モニタリングシステムの概要

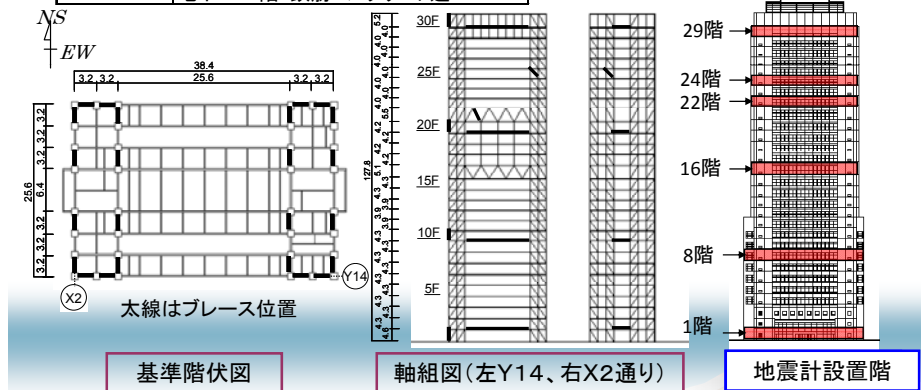


※資料提供: 白山工業株式会社

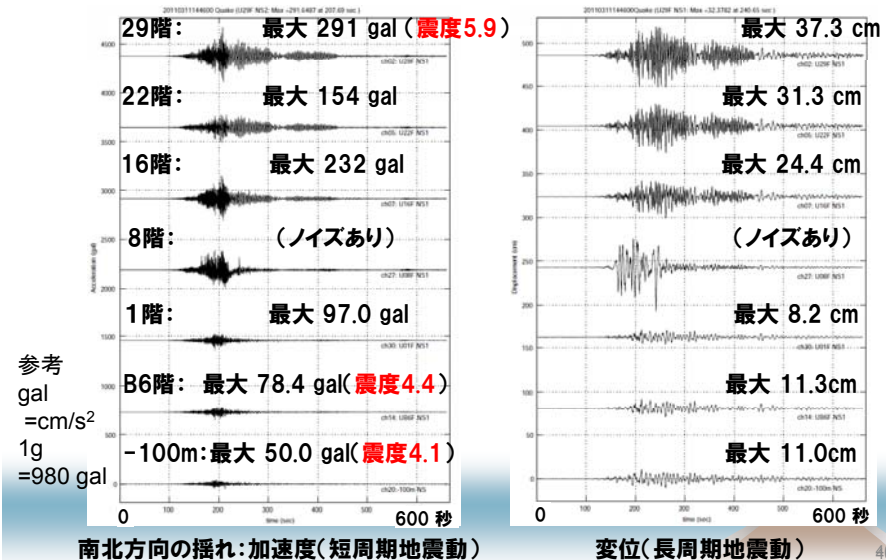


工学院大学・新宿校舎

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	1170㎡
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(ブ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

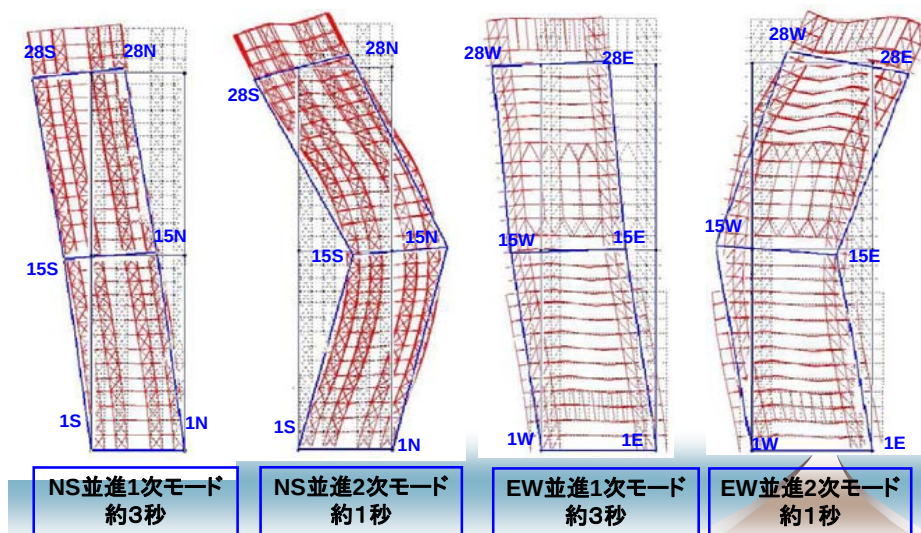


2011年東日本大震災(本震)による揺れ —工学院大学・新宿校舎の加速度と変位波形—

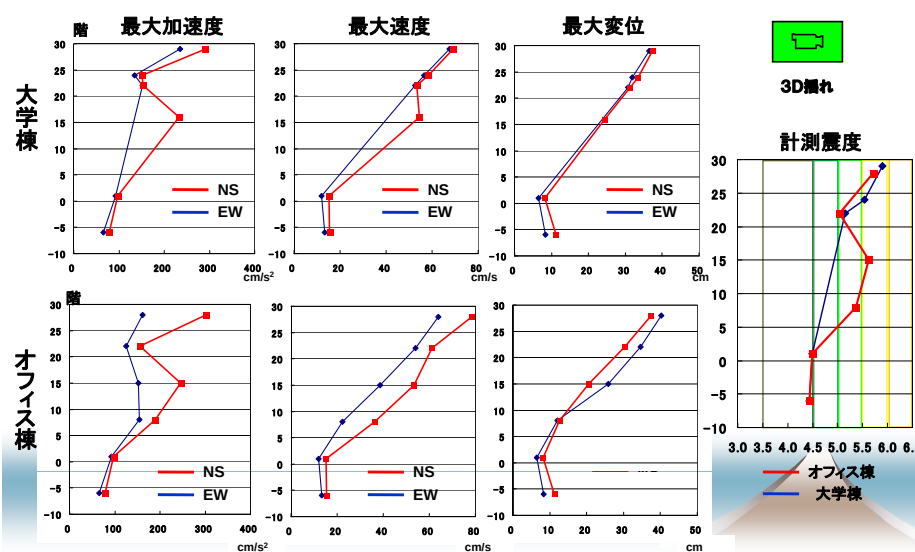


新宿校舎の揺れ方(固有モード)と固有周期

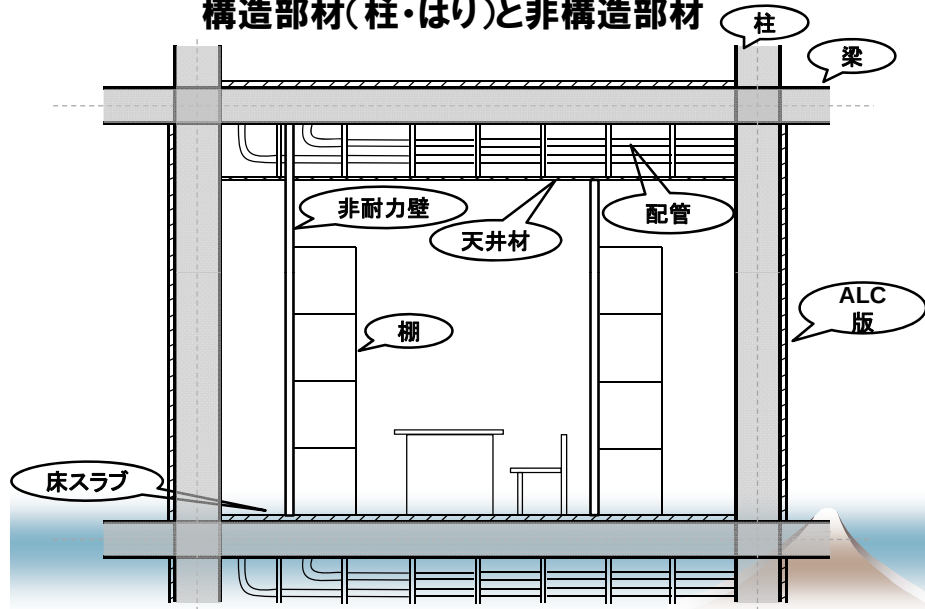
(**周期**: 1 往復にかかる時間、**固有モード**: 建物固有に持つ最も揺れやすい振動形状
固有周期: 固有モードに対応する周期



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)



28F(天井パネルの落下)

25F(コピー機の移動、室内の散乱)



24F(固定していないかった本棚の転倒、間仕切り壁の大変形)

21F(天井パネルの落下)

2011年東日本大震災 工学院大学・新宿校舎の被害(中・低層階)



14F(天井パネルの落下)

12F(事務室階:コピー機移動、室内散乱など)



2F(図書館:蔵書の散乱) 1F(アトリウム:EPJパネルの被害) 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)

ー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

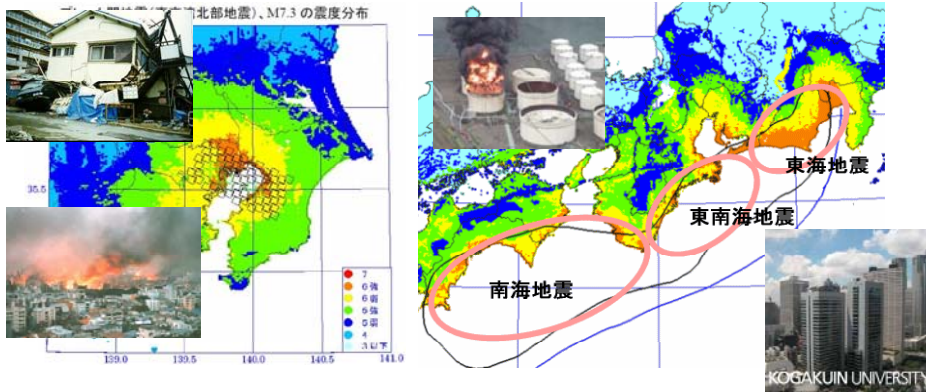


新宿駅西口の様子(滞留者)



主要街道の渋滞(青梅街道)

東日本大震災の地震動は東京では最悪ではない

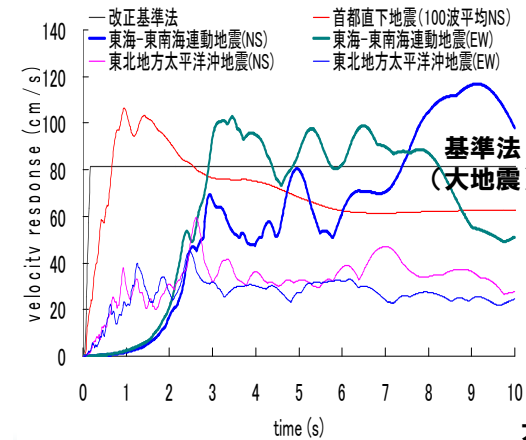


震源域の強い地震動(震度6弱・6強)
首都圏直下の地震:全体の30年発生確率は70%
(中央防災会議、地震調査研究推進本部)

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%

- ・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?

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

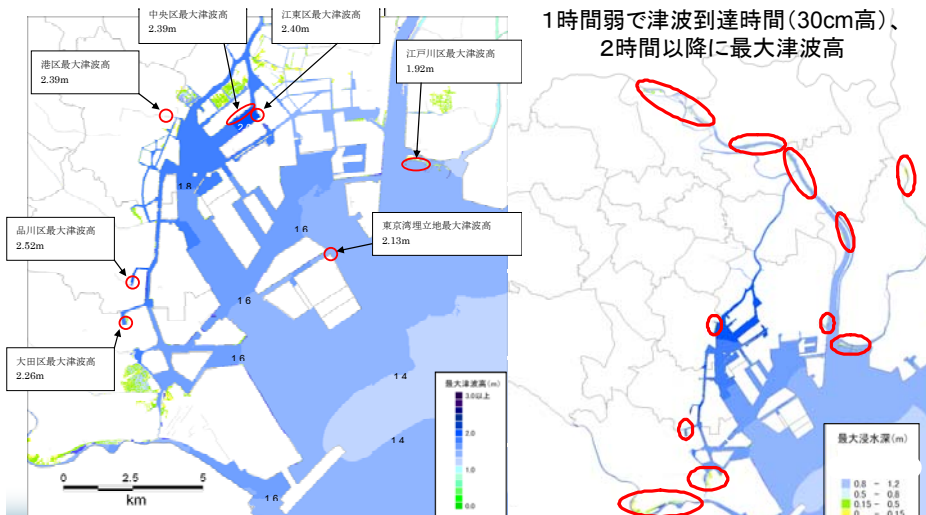


東海・東南海連動型地震 (M8.4)
基盤震度: 4 (注1)
28階震度: **6弱** (注1)
注1: この波形は工学的基盤上で、かつ短周期地震動は含まれていません
首都直下地震 (東京湾北部地震、M7.3)
地表震度: 6弱 (注2)
28階震度: **7** (注2)
注2: この波形は工学的基盤上

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)
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

協力: テレビ朝日、山下研究室、大成建設

津波高及び津波浸水被害(元禄型関東地震)

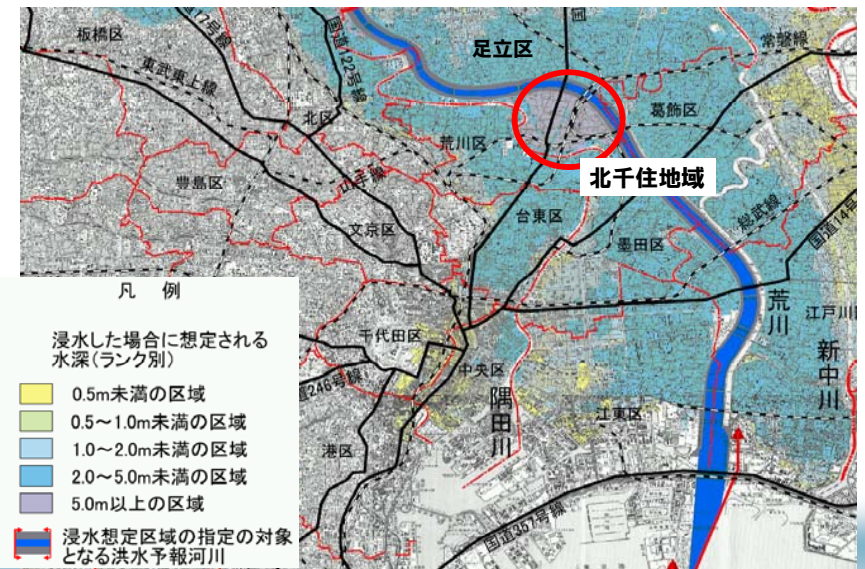


浸水想定図(水門開放の場合)

浸水想定図(水門開放の場合)

→被害想定では人口統計データ上は、死者0。但し、堤防外の広域避難場所等での被害などは考慮無し

荒川水系による浸水ハザードマップ

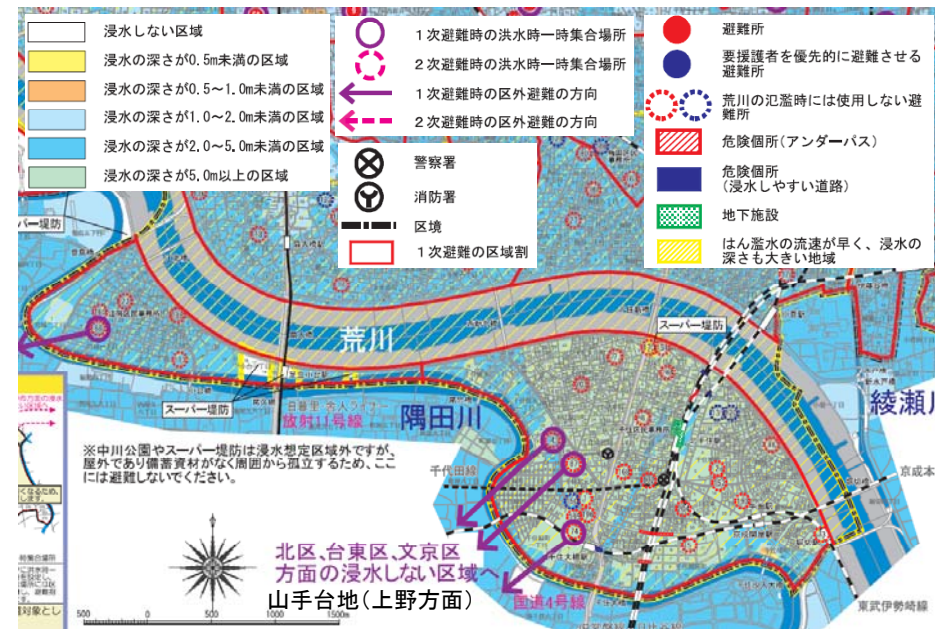


国土交通省関東地方整備局 http://www.ktr.mlit.go.jp/arajo/arajo_index038.html

足立区防災マップ(北千住地域拡大)



足立区洪水ハザードマップ(拡大)



足立区液状化予測図(拡大)



地震防災におけるフェーズ

地震防災は、

- ◆ 長期的災害予防
- ◆ 直前災害対策
- ◆ 応急対策
- ◆ 復旧・復興

という4つのフェーズから成る

→様々な対策は次回以降!

復旧・復興 → 長期的災害予防

↑
応急対策
↓
直前災害対策

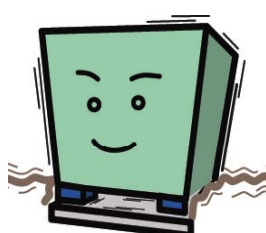
地震発生!!

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)



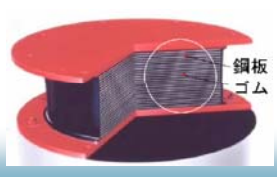
制振構造

(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>

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



東戸山・小石川地域の住民との
協働による防災訓練(2007年9月2日)
→2008年11月に防災対応・情報共有
のための防災訓練を実施



・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防災対応・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

他地域との情報共有

工学院大学八王子キャンパス
・情報受発信訓練(八王子地域情報)
大妻女子大学、星陵女子短期大学
・情報受発信訓練(広域情報)

東京都庁・議会議場1階
・災害時要援護者受入れ訓練
・学生ボランティア活動訓練

非常時通信網を使った相互の情報共有

工学院大学新宿キャンパス

・超高層ビル防災対応型訓練
・西口地域現地本部活動訓練
・傷病者対応訓練(トリアージなど)
・災害時要援護者受入れ訓練
・広域情報共有訓練(八王子など)
・体験型訓練、講演、展示など

新宿中央公園

・角筈特別出張所 現地本部
・西口地域情報提供拠点
・学生ボランティア活動訓練
・体験型訓練

新宿校舎における防災対応型 防災訓練(2008年10月)

・高層階(5階以上)で防災対応訓練の実施
・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	
屋上	29階
学科系列事務室	28階
CPDセンター/会議室/校友会事務局	27階
● 共通課事務室/研究室	(5名) 27階
建築系研究室	(50名) 26階
● 建築系事務室/研究室	(50名) 25階
建築系研究室/電気系研究室	(32名) 24階
● 電気系事務室/研究室	(20名) 23階
電気系研究室	(30名) 22階
大学院生室/会議室(AED)	(20名) 21階
化学系実験室/会議室	(10名) 20階
化学系事務室/研究室	(10名) 19階
機械系研究室	(30名) 18階
● 機械系事務室/研究室	(5名) 17階
機械系研究室/情報処理演習室/3Dデザインセンター	(20名) 16階
情報学部研究室	(20名) 15階
● 情報処理演習室/情報科学研究センター/事務室	(30名) 14階
法人事務室(緊急脱出・避難・救助セット)	(20名) 13階
大学事務室(AED、緊急脱出・避難・救助セット)	(30名) 12階
学生相談室/健康相談室/教室/GE学部研究室	(40名) 11階
CAD室/教室/学習支援センター	(40名) 10階
建築設計室	9階
教室(避難所:建築系)	(140名) 8階
7階	7階
8階	(180名) 7階
6階	(110名) 6階
5階	(180名) 5階
4階	(25名) 4階
3階	(15名) 3階
2階	(10名) 2階
1階	(20名) 1階
B1階	(60名) B1階

木曜日4限目現在座席数想定:約1300人

2008年度防災訓練(10/22)



発災対応(上層階:負傷者例)



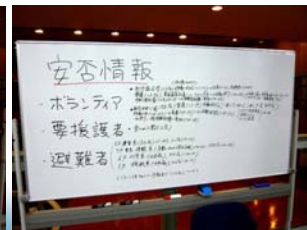
傷病者対応(1階:DMAT)



要援護者避難・受入(B1)



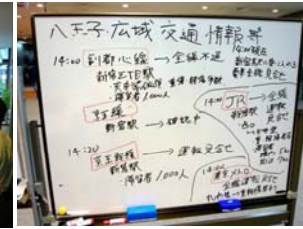
工学院大学・新宿キャンパス災害対策本部(2階:情報収集、重要情報、意思決定)



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)



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(2013年度)

- 1 (4/11: 久田) 概論: 建築と地震工学
- 2 (4/18: 久田) 地震動と地震防災
- 3 (4/25: 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/ 2: 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/ 9: 久田) 地震被害から学ぶ3: 1995年阪神淡路大震災ほか
- 6 (5/16: 久田) 地震被害から学ぶ4: 2011年東日本大震災ほか
(5/23 学会発表のため、休講)
- 7 (5/30: 久田) 振動論と耐震設計1: 1層建物の振動(自由振動)
- 8 (6/ 6: 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 (6/13: 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 (6/20: 久田) 振動論と耐震設計4: 多層建物の振動
- 11 (6/27: 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 (7/04: 三好) 被害対策計画: 被害想定に基づく対策計画の策定
- 13 (7/11: 宮村) 企業の防災戦略BCP
- 14 (7/18: 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、柴田明德著、森北出版、1981年