

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 建築学科
久田嘉章・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!

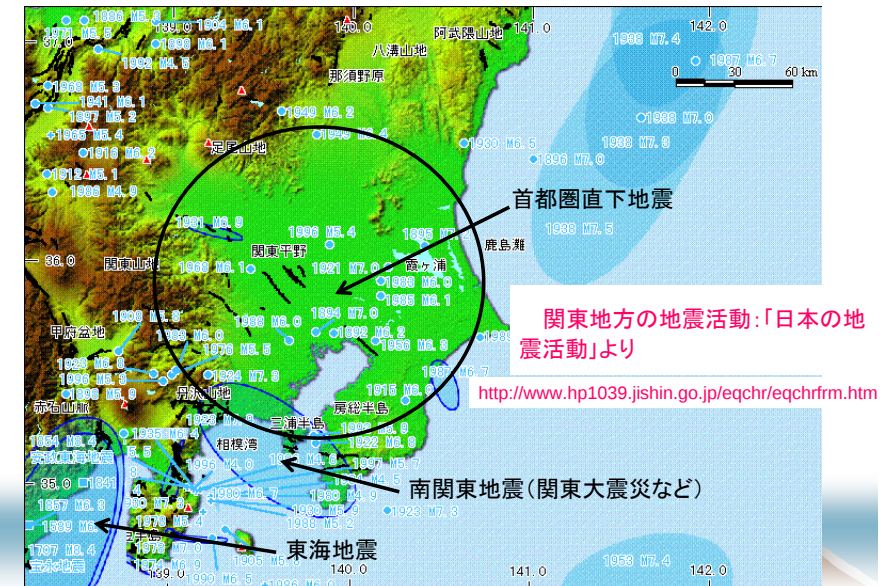
建築の役割: 地震防災と建築

- ◆ 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

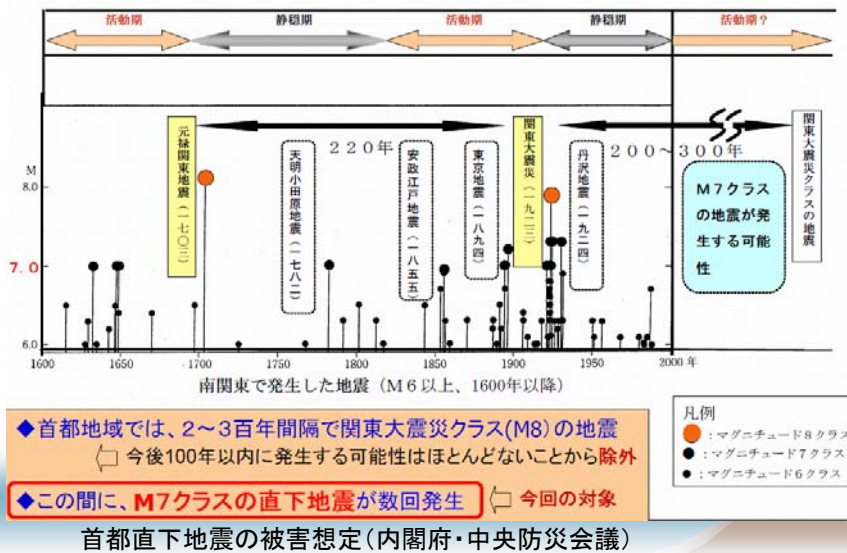


(阪神大震災全記録、毎日ムックより)

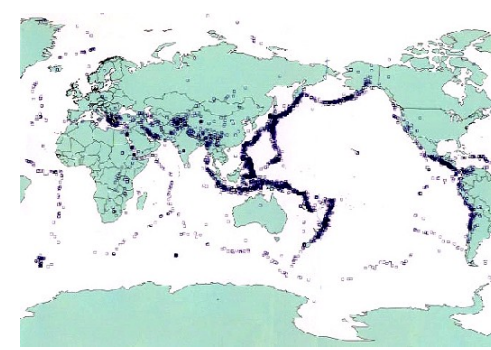
首都圏・関東平野の歴史地震



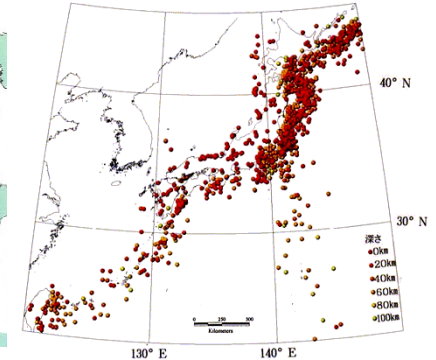
首都直下地震の切迫性



地震防災学に必要な学問: 地震学(敵を知る)

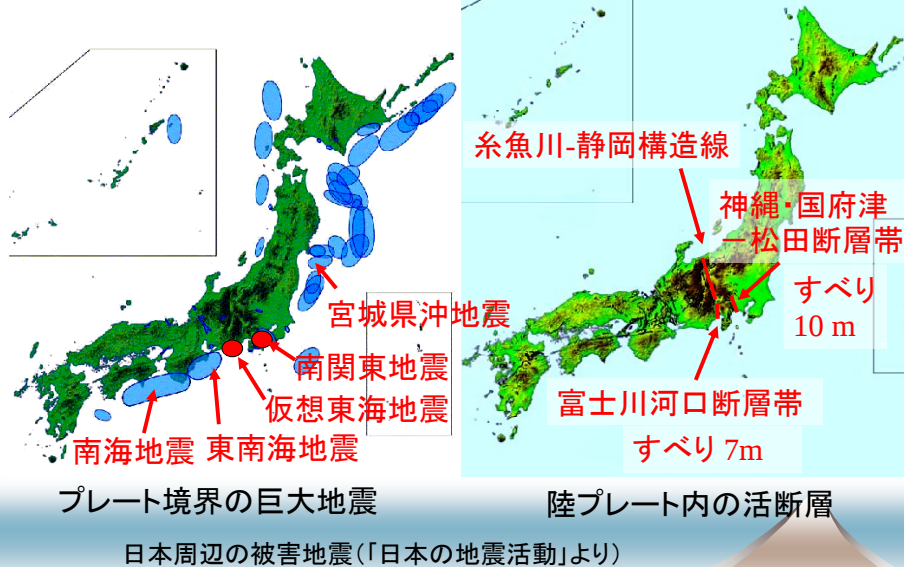


M4以上の地震の分布
 (「日本の地震活動」より)

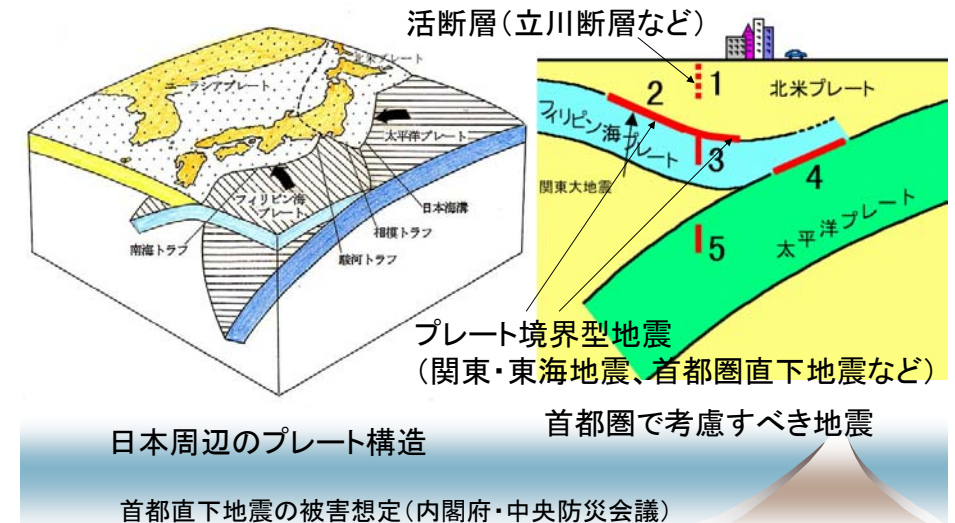


M6以上の地震の分布

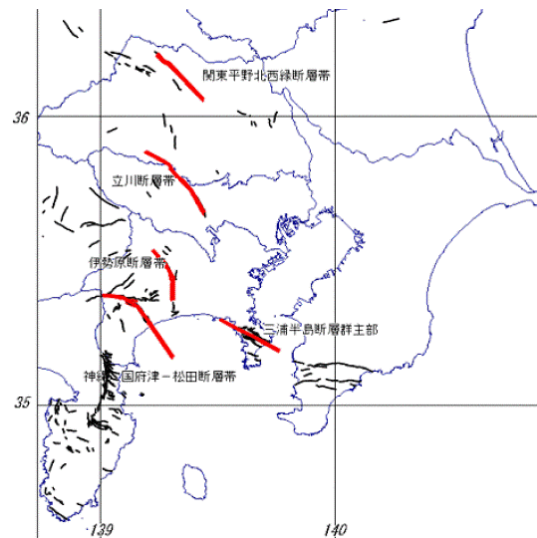
被害地震と震源



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

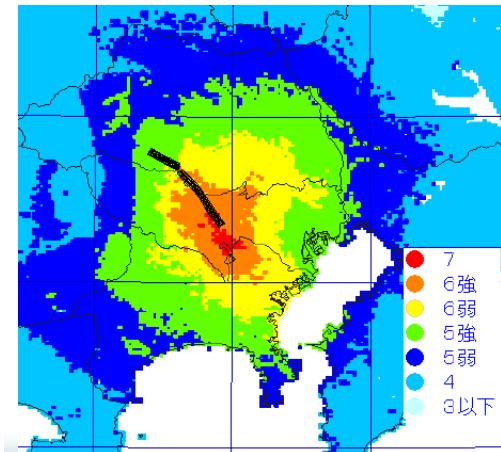


立川断層帯

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

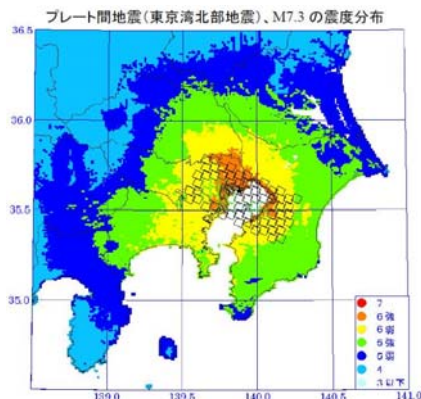


地震規模:M7.3
 震度分布:断層に近い地域は
 6強以上(一部、震度7)
 被害概要(18時、風速15 m/s)
 ・死者数:約6,300名
 ・全壊家屋:約480,000棟
 揺れ家屋:約120,000棟(24%)
 焼失家屋:約340,000棟(71%)
 急傾斜崩壊:約5,700棟(1%)
 液状化被害:約20,000棟(4%)

→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」資料より

首都直下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%
 (中央防災会議, 2004、地震調査研究推進本部、2005)



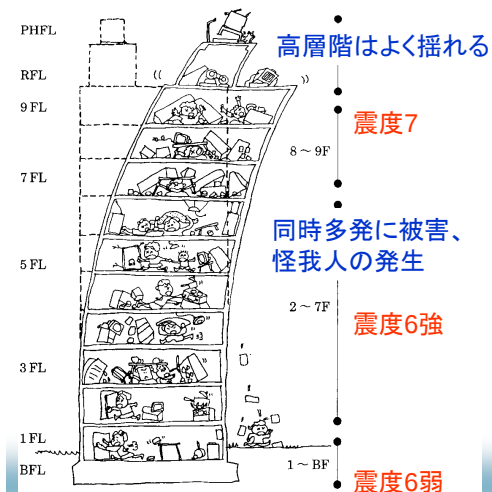
	東京湾北部地震
30年以内の発生確率	70%
全壊住家(震動等)	195,000棟
全壊住家(津波)	—
全焼住家(火災)	650,000棟
死者	11,000人(18時)
上水道(1日後)	1,100万人(26%)
ガス(1週後)	120万軒(12%)
電気(直後)	160万軒(6%)
通信(直後)	110万軒(5%)
直接被害金額(復旧)	67兆円
間接被害金額(生産)	45兆円

(内閣府による被害推定)

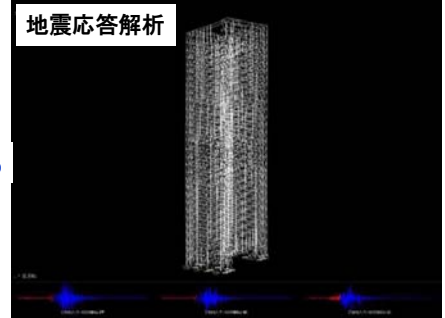
負傷者約16万人、帰宅困難者650万人(12時の場合)、
 避難者約700万人、避難所生活者約460万人

11

高層建築の揺れ



高層建築の揺れ(地表震度6弱の場合)



震動実験(本学28階、東京湾北部地震)

1Fの揺れ

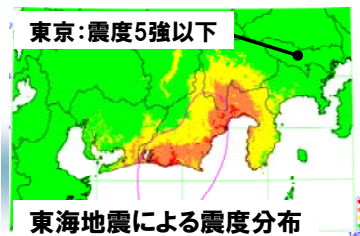
28Fの揺れ

12

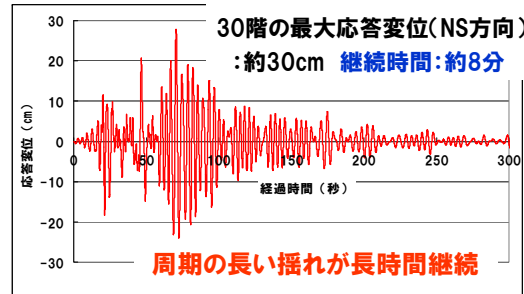
海溝型巨大地震による高層建築の被害

南海トラフ海溝型巨大地震
の30年発生確率

- ・東海地震 → 86%
 - ・東南海地震 → 60%
- (地震調査研究推進本部、2005)



東海地震(M8クラス)
工学院大学:震度5強以下



ゆっくりとした長い時間の揺れと
共振現象により
超高層建物に大きな被害
(被害は未知数)
※低層建物は殆ど無被害



地震波の発生と地盤による増幅: (深い地盤と浅い地盤)

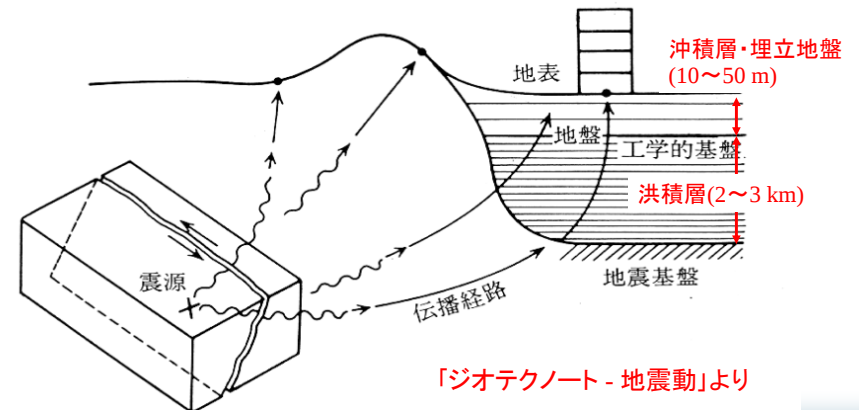


図-3.4 震源から地表までの地震波の伝播

地盤と地震被害

- ◆ 古くから地盤と地震被害は密接に関連していることが知られている
- ◆ 地盤の分類(地震学、地震工学)
 - ・地震基盤: かちかちの岩盤(関東山地など)
 - ・堆積地盤(関東平野、大阪平野などの骨格): 洪積地盤(工学的基盤)、厚さ数kmの軟岩、200万年
 - 長周期地震動を増幅(超高層ビル、石油タンク)
 - ・沖積地盤: 縄文海進(5000年)、軟弱地盤、地震被害大
 - ・人工地盤: 埋め立て地盤、平坦化地(埋土・盛土)
 - 地震被害大(地震動大、砂地盤での液状化、地すべり)

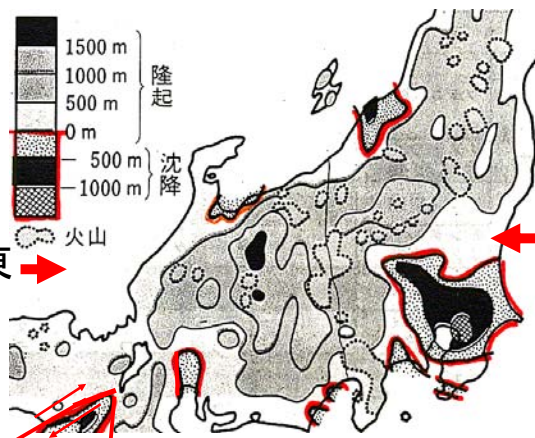
プレート運動と関東平野の深い地盤 : 関東平野は沈んでいる! ?



関東平野のプレート構造
(「日本の地震活動」より)

堆積盆地構造 (洪積地盤)

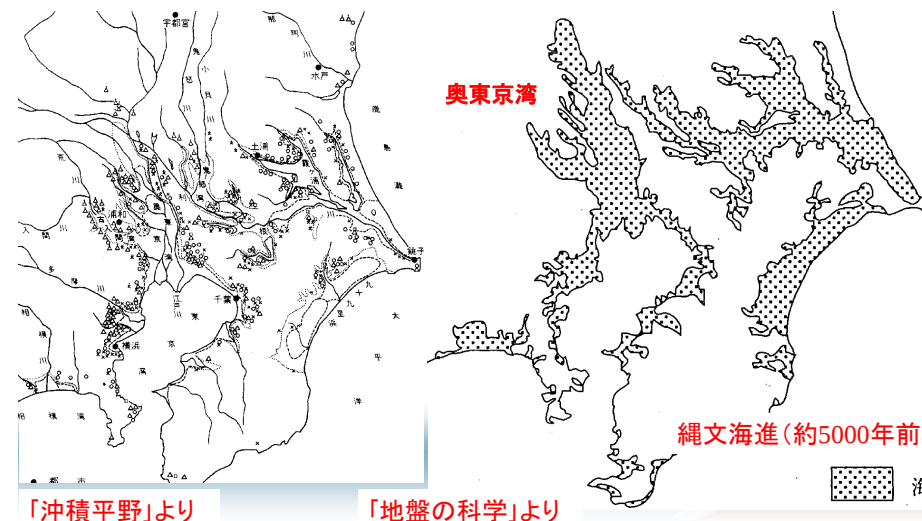
- ・プレートテクトニクス
による東西圧縮
→ 南北: 逆断層
北東-南西、北西-南東
: 横ずれ断層
- ・全国の平野・盆地



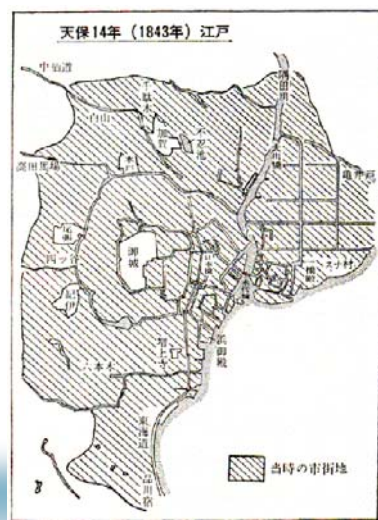
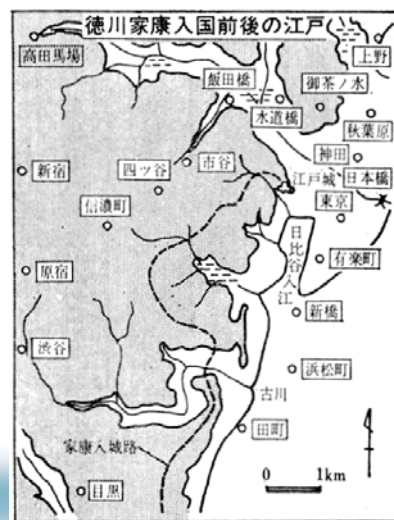
六甲・淡路断層帯 上町・生駒 養老・桑名
有馬・高槻断層帯 断層帯 断層帯

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)

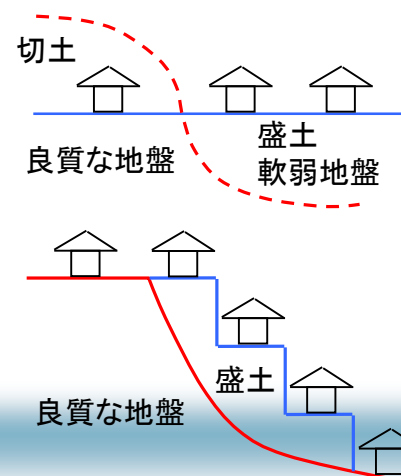


江戸時代の埋め立て地盤



「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

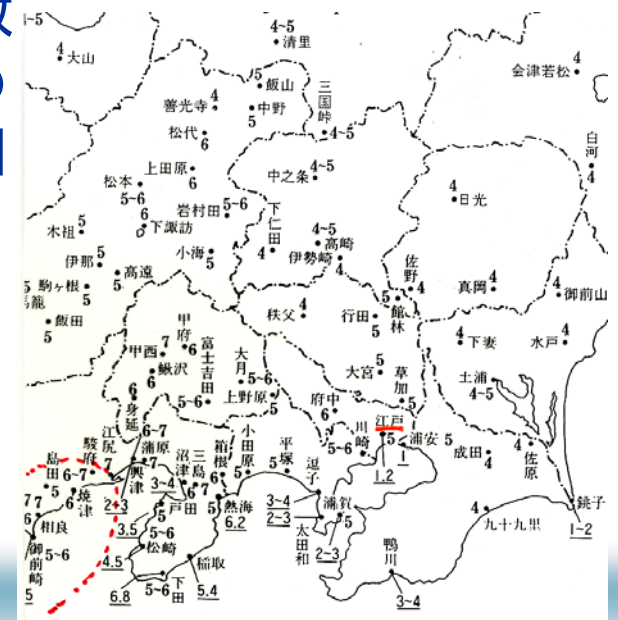
◆ 近代以降の歴史

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……

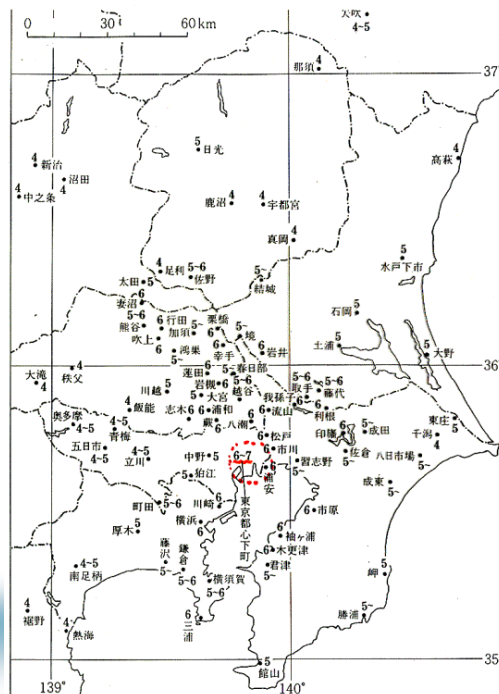
1854年安政 東海地震の 震度分布図

・プレート境界の M8クラスの 地震

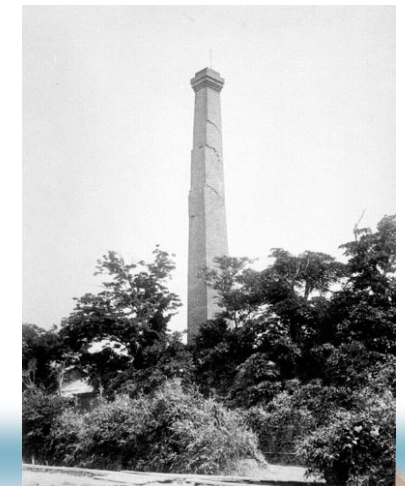


1855年安政 江戸地震の 震度分布図

・プレート境界の M7クラスの 地震？



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)



組石建築(レンガ造など)を禁止へ！

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>

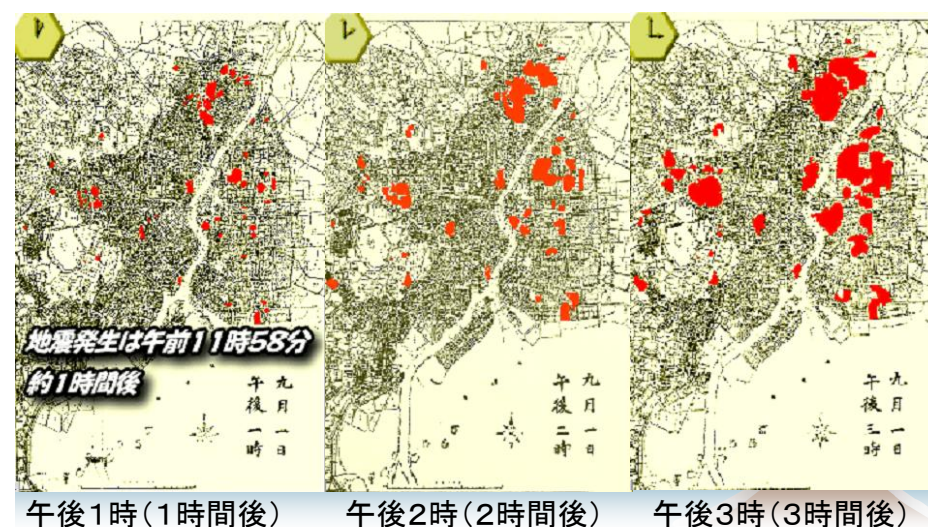
1923年関東大震災の震源断層と被害



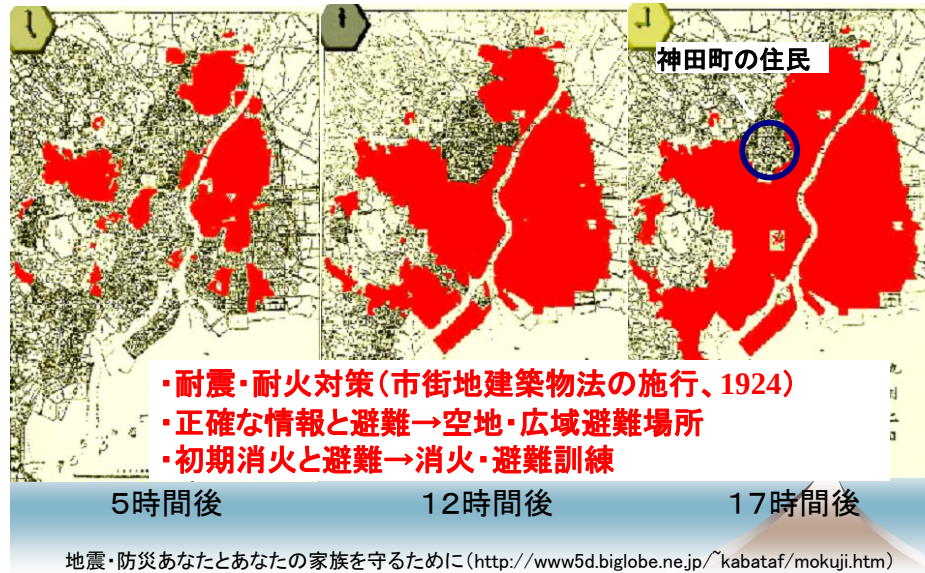
関東地震：大火災



関東大震災：火災の進展状況1



火災の進展2



一時避難場所・広域避難場所の整備と防災訓練



神奈川県・茅ヶ崎にて



1923年関東地震の長周期地震動 ：関東平野のゆったりとした長時間のゆれ

- ◆ 1923年関東地震の本郷の今村式・ユース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

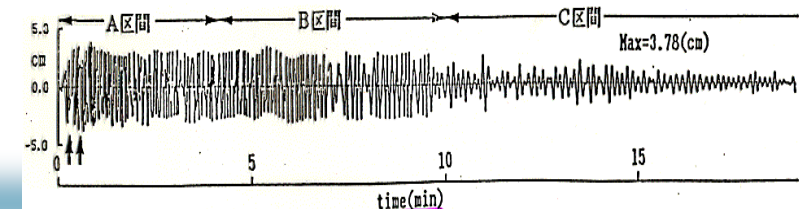
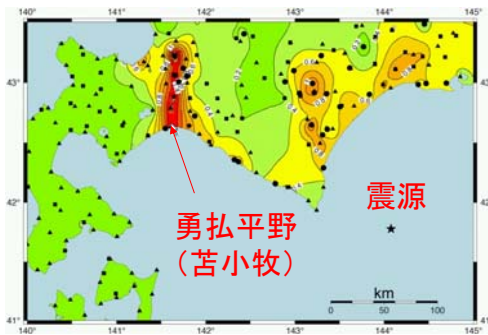


図 今村式2倍強震計による1923年関東地震の記録 矢印は欠落部分

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)



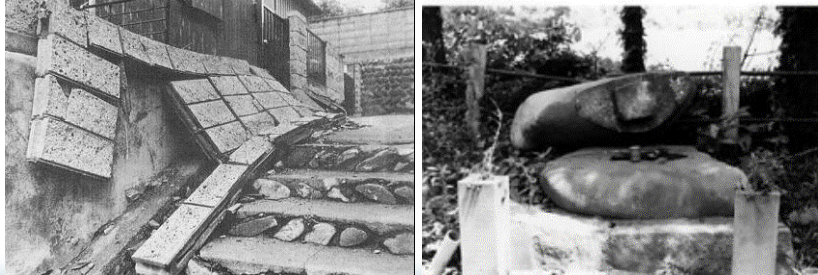
1971年建築基準法改定

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 :ブロック塀による死傷

- ◆ 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になって死亡した



宮城県:

<http://www.pref.miyagi.jp/sdh-doboku/fureaidayori/fureaidayori01/fureaidayori01-3.htm>

1995年阪神淡路大震災(M7.3)



震度7の領域(「日本の地震活動」より)



M7、活断層地震、震度7

阪神大震災写真20選(左上) http://web.kyoto-inet.or.jp/org/gakugei/kobe/photo20.htm#01phot_h

- ◆ 被害概要(平成12年消防庁災害対策本部)
 - ・同時多発火災(285件)
 - ・死者:6,432名(約9割は建物倒壊)
 - ・負傷者:43,792名
 - ・建物被害:512,882棟

阪神淡路大震災:延焼火災



同時多発火災(285件)

災害情報の遅れ

- ◆ 1995年阪神淡路大震災では地震防災上、様々な問題点が浮き彫りとなった。
- ◆ まず大きな問題点として注目されたのは地震後の災害情報の欠如と初動体制の遅れである。



1995年1月17日読売新聞夕刊より

震災の帯について

- ◆ この地震の被害の特徴は、被害の集中した「震災の帯」が発生したことであつた。
- ◆ 「震災の帯」の発生の原因は、震源、地盤、建物の各特性による。



震度7の領域(「日本の地震活動」より)

木造建物の被害



RC建物の被害



RC建物の被害

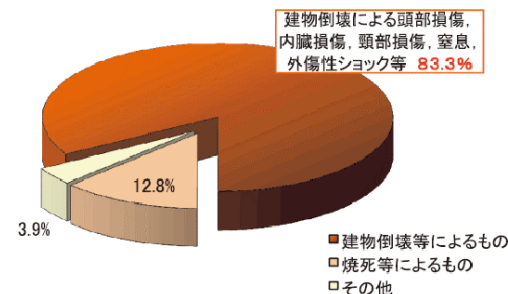


その他の被害



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

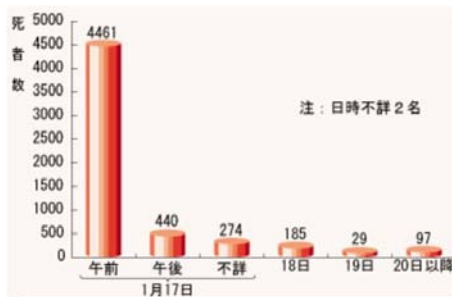


出典:「神戸市内における検死統計」(兵庫県監察医、平成7年)

防災白書(H21)

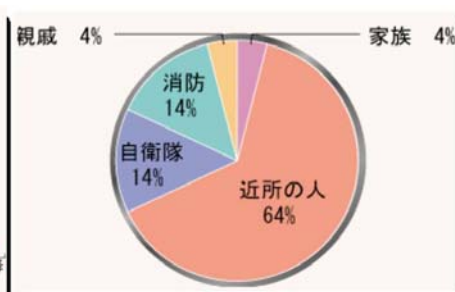
http://www.bousai.go.jp/hakusho/h21/bousai2009/html/honbun/1b_fuzoku_siryo_12.htm

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

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

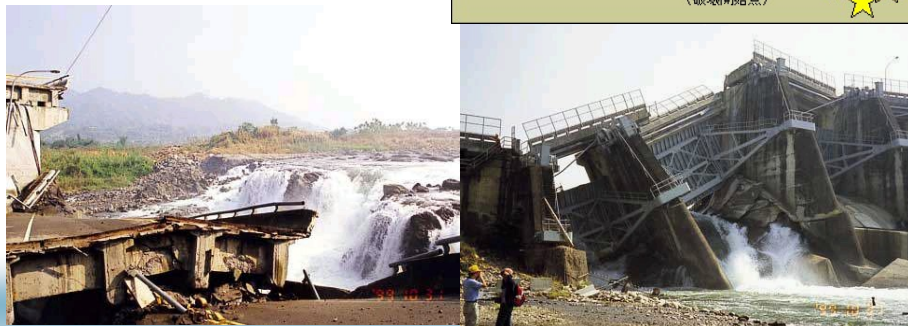
2004年新潟県中越地震(川口町:震度7)



大規模震災→公助から自助・共助へ

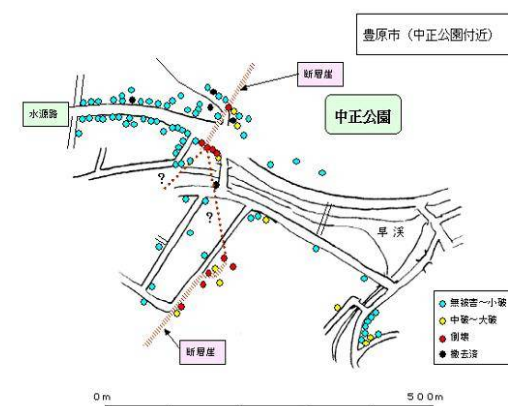
1999年台湾集集地震

◆ 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)



東北地方太平洋沖地震(M9.0)の概略

一防災科学技術研究所 岡田義光氏の速報(2011/3/25)より一

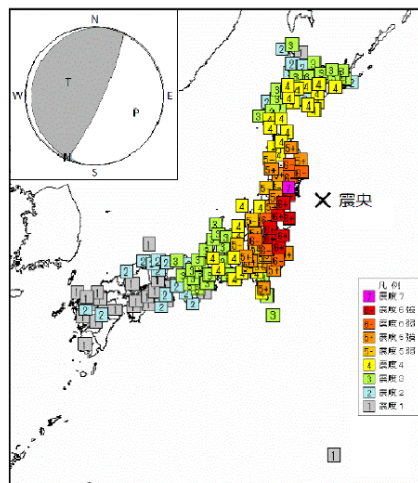
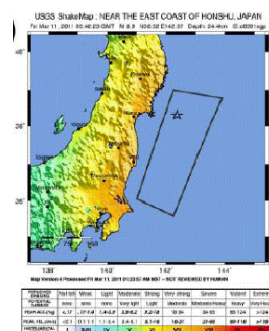


図1 2011年東北地方太平洋沖地震の発震機構解(左上)と震度分布(気象庁資料より合成)



(b)米国 USGS による東北地方

東北地方太平洋沖地震(M9.0)の概略

一防災科学技術研究所 岡田義光氏の速報(2011/3/25)より一

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	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	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	M8.2 前後 (津波地震)	20%程度	133年程度
房総沖の海溝寄り	M8.2 前後 (正断層型地震)	4%~7%	400~750年

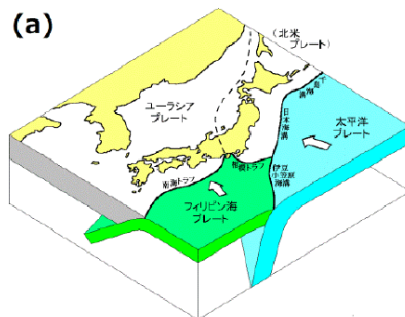
・「宮城県沖」は、過去200年間にM7クラスの6回の地震が平均37.1年間隔で繰り返されており、今後30年間の発生確率は99%という我が国で最も高い値と推定されていた。
 ・本年3月9日には、沖合の「三陸沖南部海溝寄り」の海域でM7.3の地震が発生した。これによって「宮城県沖」と「三陸沖南部海溝寄り」が連動するM8級の大地震の危険性はやや薄らいだとも考えられていた。



→物理的な裏付けの無い統計的ハザードモデル!

東北地方太平洋沖地震(M9.0)の概略

誘発地震活動



・南北500kmの断層面の北方・南方延長が要注意。北方の「三陸沖北部」では1994年三陸はるか沖地震(M7.5)などがすでに発生。南方では、1677年(延宝)房総沖地震(M8.0)が発生し、千葉から茨城の沿岸の津波がで死者200名を数えた。少なくとも1年くらいは、この海域での地震に対して警戒を要する。

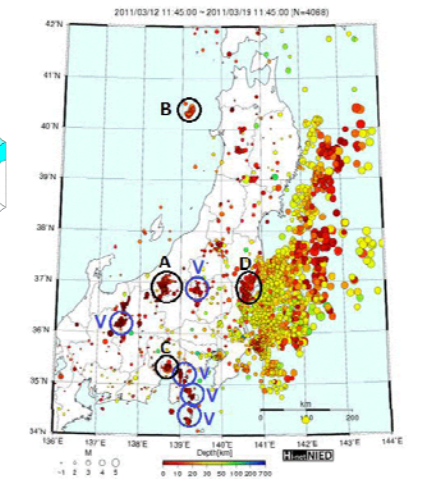
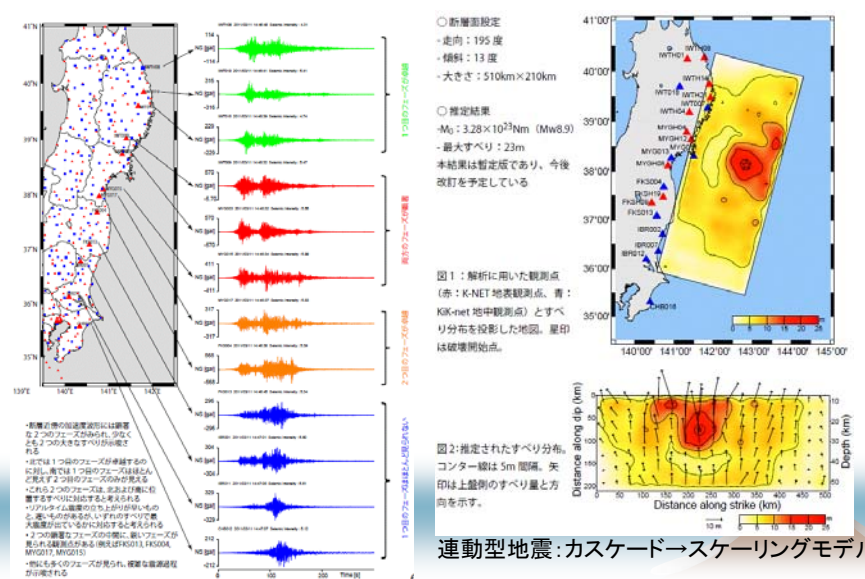


図 11 今回の地震発生の翌日から 1 週間の間における東日本の地震活動 (防災科研 Hi-net の自動地震源による)。A,B,C,D は M6 級を含む浅発地震活動, V は火山関連の地震活動を示す。

東北地方太平洋沖地震(M9.0)の概略

強震記録と断層震源モデル(防災科研・青井氏による)

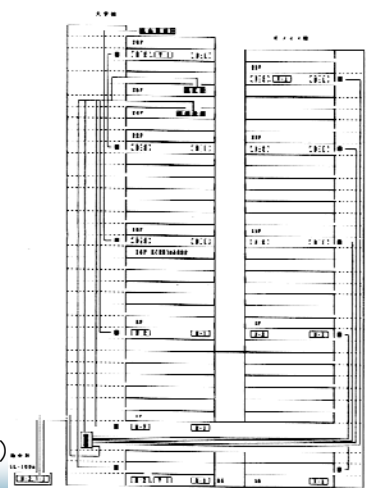


運動型地震:カスケード→スケーリングモデル?

工学院大学新宿校舎と強震観測

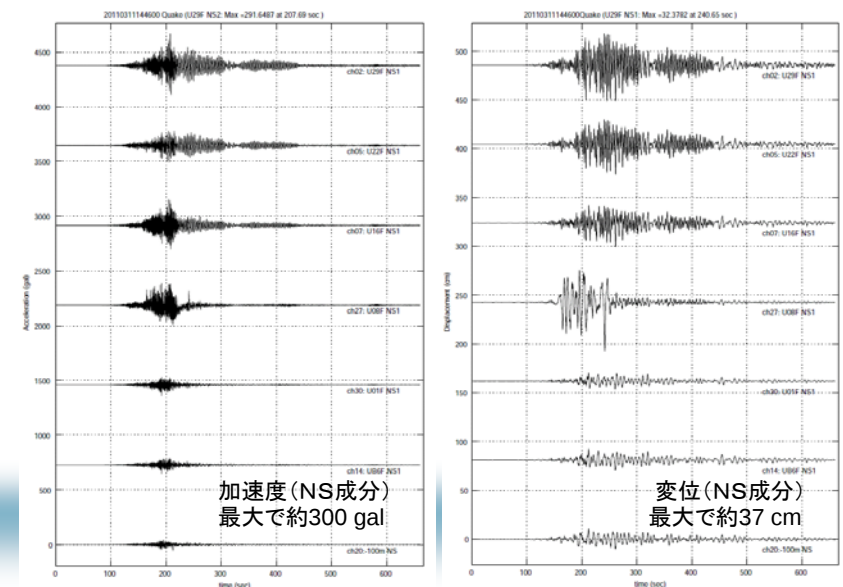


新宿校舎: S造28階(1989年竣工)
エステック情報ビル: S造27階(1989年竣工)...



強震観測センサーの配置

2011年東日本大震災 一工学院大学・新宿校舎の揺れと被害一



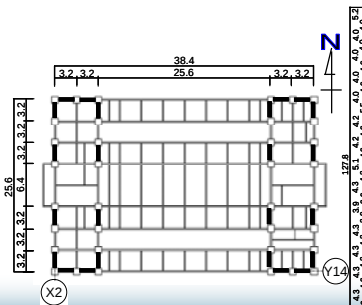
対象建築物及び立体フレームモデル概要

対象建築物概要

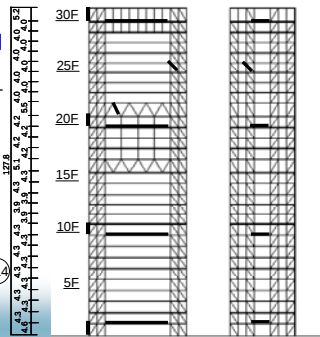
建物名称	大学棟(工学院大学高層棟)
建築場所	東京都新宿区西新宿
竣工年	1989年
基準階面積	1170㎡
階数	地上29階、地下6階、塔屋1階
アスペクト比	NS:5.59、EW:3.72
構造種別	地上:鉄骨造(ブレース付ラーメン架構) 地下1~2階:鉄骨鉄筋コンクリート造 地下3~6階:鉄筋コンクリート造

立体モデル仮定条件

- ・各階の床は剛床と仮定
- ・柱脚の支持条件は固定と仮定
- ・梁は床スラブの剛性、強度を考慮した**合成梁**として評価
- ・パネルゾーンは剛域と仮定



基準階図



軸組図(左Y14、右X2通り)



2011年東日本大震災 —工学院大学・新宿校舎の揺れと被害—



コピー機の移動(25階)



重いキャスター付きラックの移動(21階)



室内の散乱(25階)



薬品入れの引き出しが飛び出し(20階)

—工学院大学・新宿校舎の揺れと被害—



倒壊しそうになった間仕切り壁(24階:固定していない室内の重い本棚が間仕切り壁を押した)



天井の落下:28階



21階



14階

—工学院大学・新宿校舎の様子—



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)

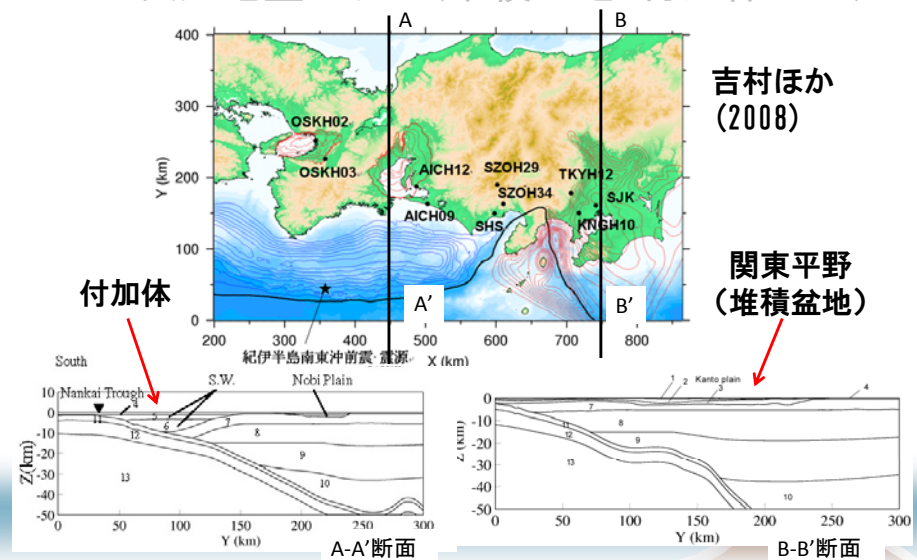


公共交通情報の提供(1階)

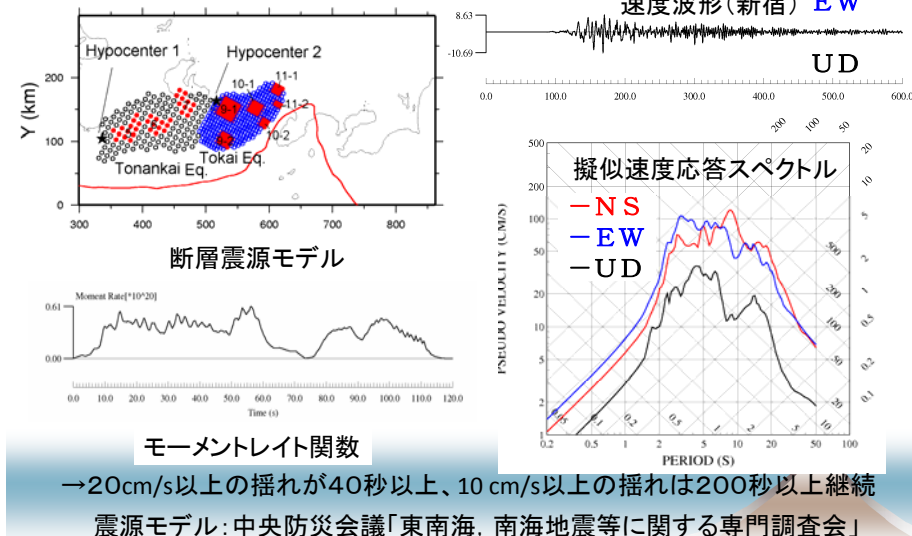


災害対策本部の様子(2階)

長周期地震動の計算例(3次元有限要素法) 3次元地盤モデル(堆積盆地・付加体ほか)



東海・東南海連動型 地震による結果(新宿)



津波被害

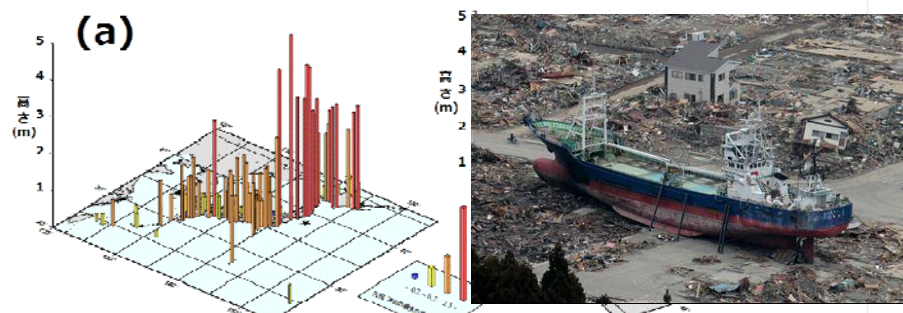
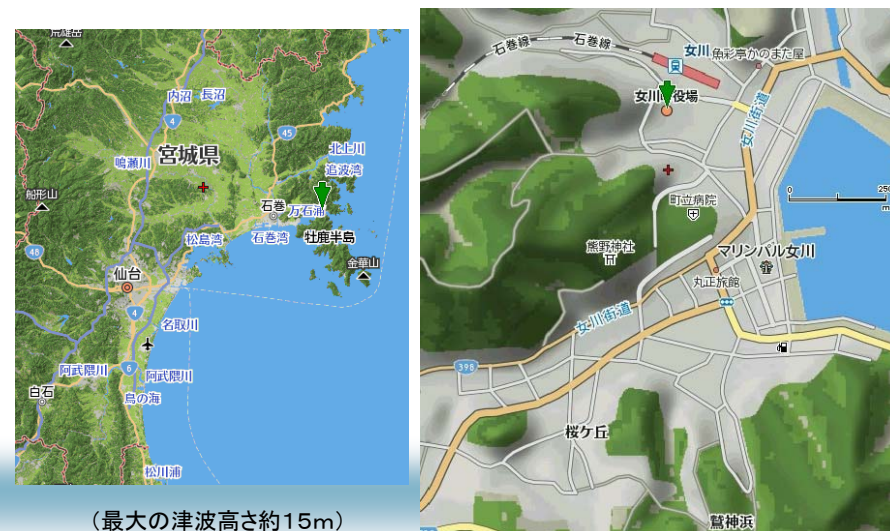


図4 (a)太平洋側、および(b)日本海側から見た津波最大波高の分布(気象庁資料に加筆合成)
8m以上を記録した宮古、大船渡のデータは含まれていない。

- ・岩手県の釜石、石巻、大船渡などでは、津波の第1波が14時46分、地震の発生と同時に到着し、最大波は15時20分前後、地震発生の約30分後にこれらの地を襲った。
- ・気象庁では、地震発生から3分後の14時49分、岩手県、宮城県、福島県に津波警報(大津波)を発令した。そして、15時14分には青森県太平洋沿岸、茨城県、千葉県九十九里・外房、15時30分には北海道太平洋沿岸と伊豆諸島などが対象に加えられた。

宮城県牡鹿郡女川町の津波被害調査 (2011年3月29日)



仙台市若林区荒浜の津波被害調査 (2011年3月30日)



(最大の津波高さ約4～5m)

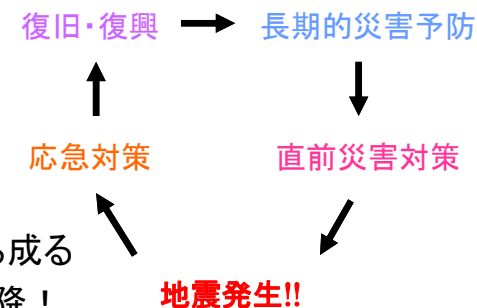


地震防災におけるフェーズ

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！

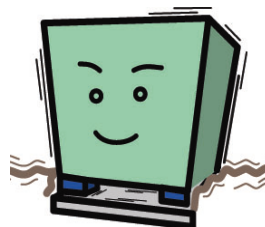


建物の地震防災・耐震設計: 耐震・免震



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)



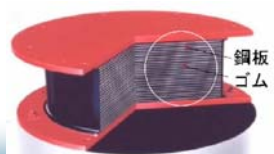
制振構造

(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.jisf.or.jp/gaiyou/shoshin/cutmodel.jpg>



制震補強の例

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

地域防災マップ 東京都北区上十条5丁目(平成14年)



防災情報の探索と地図での確認

白地図への書き込み

防災マップの作成(紙地図) (東京都北区上十条5丁目)



防災訓練(≒避難訓練??)

従来型防災訓練:地震後、まず避難所に行く??



関東大震災以降、「大規模火災からの避難」が防災訓練の主目的に！
本当にそれでいい？ 阪神・淡路大震災では何があった？
炊き出し訓練は防災訓練の付きもの？ 地震時のイメージをもって！

70

北区上十条五丁目の防災訓練(2004) :発災対応型訓練と被災マップ作成訓練

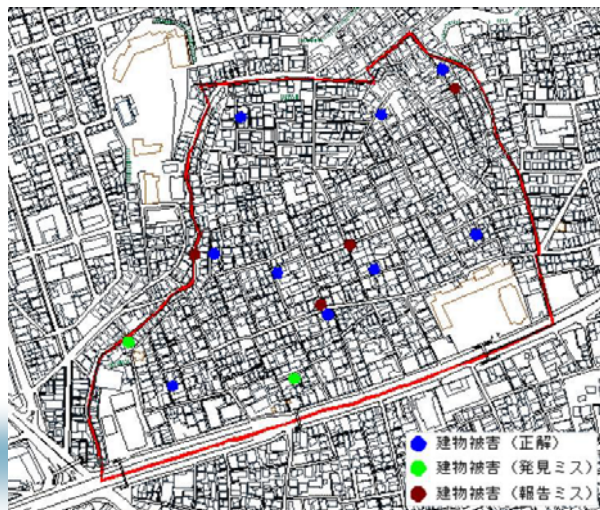


発災対応型訓練:消火器 ・バケツの収集(10分以内)



情報収集・被災マップ作成訓練

→30分以内で被災マップを作成 →災対本部へ



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・議会棟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	
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
● 共通課課室/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/情報科学研究教育センター/事務室	(30名) 14階
法人事務室 (緊急脱出・避難・救助セプト)	(20名) 13階
大学事務室 (AED、緊急脱出・避難・救助セプト)	(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
6階	6階
5階	5階
4階	4階
3階	3階
2階	2階
1階	1階
B1階	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)



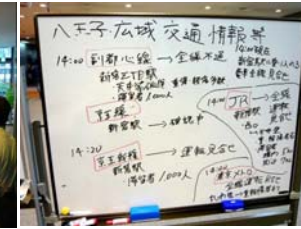
工学院大学・新宿キャンパス災害対策本部(2階:情報収集、重要情報、意思決定)



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(2011年度)

- 第1回(4/28) ガイダンス 建築と地震工学の概要
- 第2回(5/12) 地震・地震動と建物の震災対策
- 第3回(5/19) 過去の震災から学ぶ1:関東大震災等と耐震設計法の基礎
- 第4回(5/26) 過去の震災から学ぶ2:兵庫県南部地震等と耐震設計法
- 第5回(6/2) 過去の震災から学ぶ3:2011年東日本大震災から学ぶ
- 第6回(6/9) 振動論と耐震設計1:1層建物の振動と地震応答解析
- 第7回(6/16) 振動論と耐震設計2:地震応答スペクトルと耐震設計
- 第8回(6/23) 振動論と耐震設計3:多層建物の振動
- 第9回(6/30) 振動論と耐震設計4:最新の耐震設計法の実際
- 第10回(7/7) 耐震・免震・制震:耐震・免震・制震の基礎
- 第11回(7/14) 地震被害想定:国・自治体における地震被害想定(三好)
- 第12回(7/21) 防災計画 公的機関による防災計画の体系と内容(三好)
- 第13回(7/28) 学習成果の確認 試験等による成果の確認

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