

地震工学

第1回:ガイダンス

建築と地震工学の概要

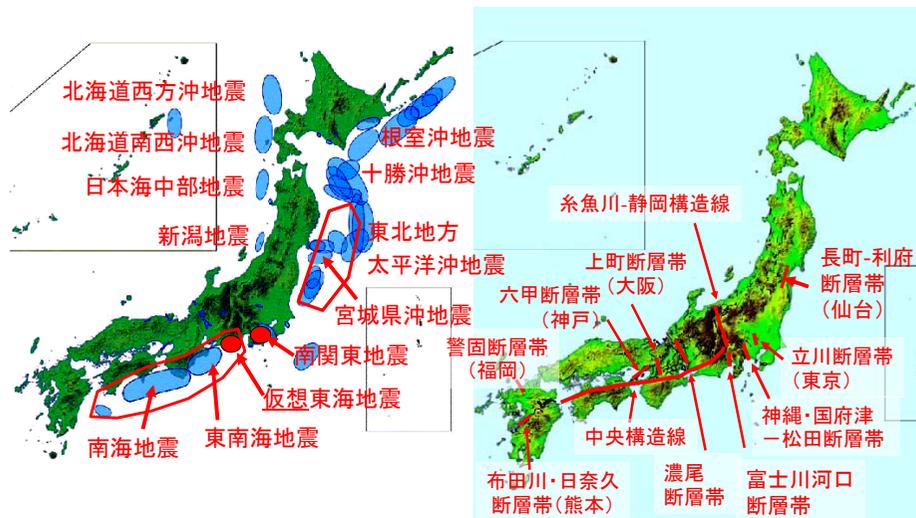
2018年4月12日

工学院大学 建築学部 まちづくり学科
久田嘉章

はじめに:授業の概要

- 地震工学と地震防災・減災:耐震工学や建築振動論などを基礎とする建物のハード対策に加えて、最近では地域連携や災害対応力の向上などのソフト対策、さらに、建物・まちの防災・減災:震災・火災でなく、風水害や都市の群集などによる複合災害も重要
⇒まずは自分・家族を災害から守る方法を学ぶ、次に建築・まちの防災専門家・地域リーダーを目指す
- 守るのは「建築」ではなく「人の生活」:「構造」から「非構造(建物内外装・設備など)」、被害が出た時の確認・修復のしやすさ
⇒最低基準である建築基準法の「大地震で倒壊せず」から「大地震でも継続使用」、「巨大地震でも修復可能」など
- 本質的に大災害は予測不能(ブラック・スワン!?):「被害を出さない対策」から「レジリエンスな対策」⇒抑止力(被害を出さない対策)と回復・修復力(被害が出た場合の対応策)
⇒「自助」に加えて「共助」:自分の家・会社、まちは自分たちで守り、守られている⇒安全から安心へ、但し、安心は安全の敵でもある
- 最新の知見:2011年東日本大震災や風水害等
→ しっかりとノートをとるように!

地震学:海溝型巨大地震と内陸の主な活断層帯

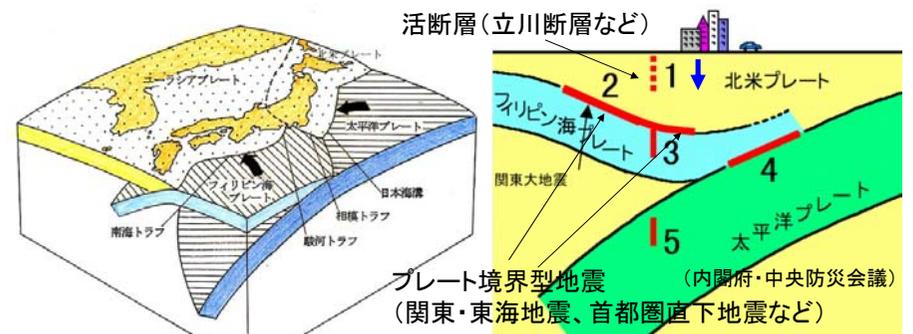


プレート境界の海溝型巨大地震

陸プレート内の活断層

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構造と首都圏の断面 様々なタイプの地震、関東平野の沈降



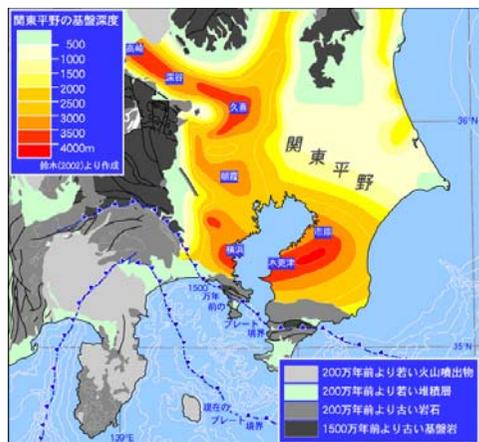
日本周辺のプレート構造

• 太平洋プレートを中心とするプレート運動で日本列島は東西に圧縮(山地の隆起と、平野・盆地の沈降)
→堆積層の厚さは数km
→長周期地震動の発生・増幅

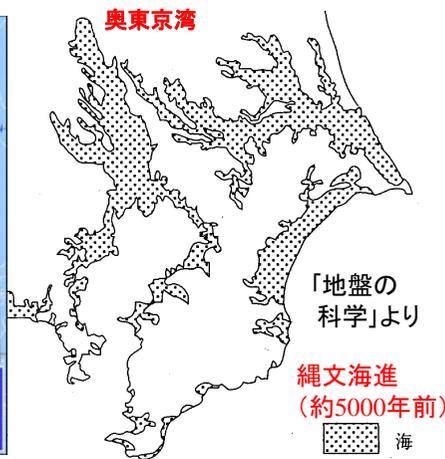
首都圏の地震と関東平野の沈み込み(約200万年で2~3km)

• 日本の大都市は堆積盆地と呼ばれる地質的に軟弱な盆地・地盤上に位置(首都圏→関東堆積盆地、関西圏→大阪盆地、名古屋圏→濃尾平野など)

関東平野・首都圏の地盤(洪積地盤と沖積地盤)

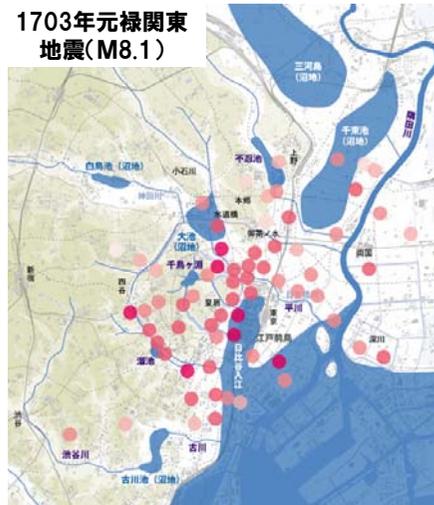


関東平野の地震基盤深度
 (http://staff.aist.go.jp/msk.takahashi/Kanto.html)
 ⇒厚い堆積層(約200万年より若い地盤)
 で長周期地震動が増幅



⇒沖積層(約20万年より若い地盤)で
 短周期地震動が増幅、液状化など
 ⇒河川や火山性堆積物なども軟弱

軟弱地盤:江戸時代以降の東京湾の埋め立て



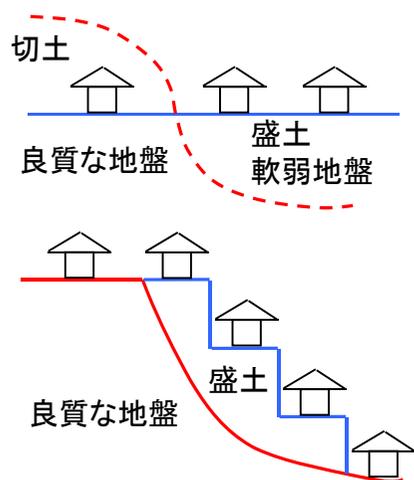
1460年ごろ(室町時代)の東京の地形と、1703年元禄関東地震の震度分布

ミツカン 水の文化センター
http://www.mizu.gr.jp/fudoki/people/047_tsuji.html



遠藤(地学雑誌、2004)

丘陵地: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:明治初期の西洋技術の導入

- ◆ 組石造・鉄骨レンガ造など、西洋建築の直輸入
 → 地震で多大な被害、組石造禁止
- ◆ 木造建物: 中小地震の耐震性は配慮、大地震では倒壊: 地震力(水平力)には筋違等が有効など



名古屋郵便局の被害

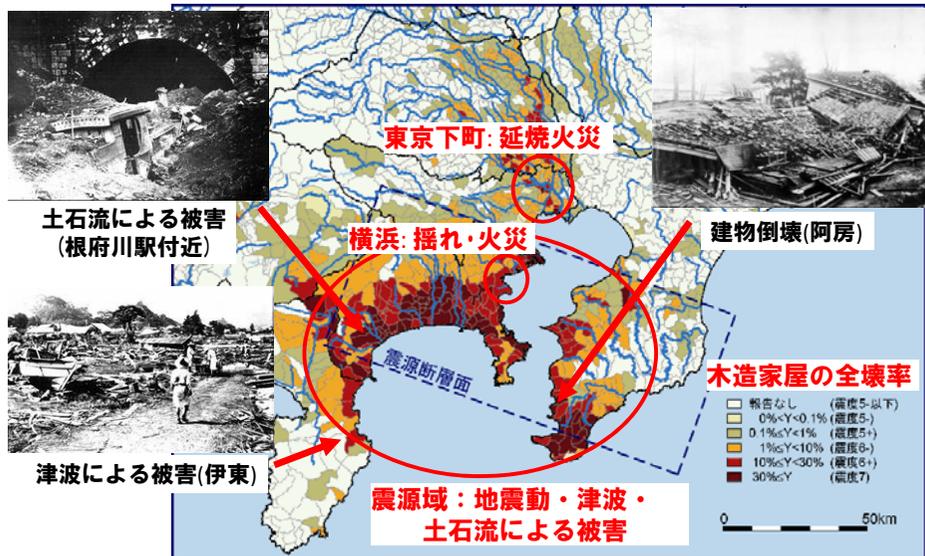


西春日井郡清洲本町被害

1891年濃尾地震(M8活断層地震)による建物被害

国立博物館地震資料室 http://www.kahaku.go.jp/research/db/science_engineering/namazu/index.html

1923年関東大震災に学ぶ：震源断層と様々な被害



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

1923年関東大震災

東京市の大火災：震災対策の原点

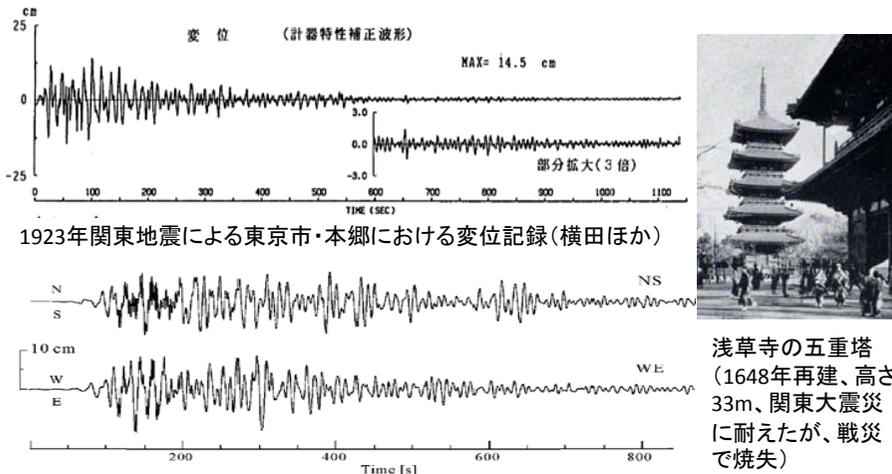
地震発生：1923年9月1日正午
東京市：死者数 71,615名(全体約10万)
圧死者数 3,668名(5%)
焼死者数 56,774名(78%)
水死者数 11,233名(16%)
→ 95%の死者は火災による (ただし、大規模延焼火災発生は 震災発生から4~5時間後)



- ・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")
- ・なぜ当時の人は"逃げた"? 約9割は借家住まい!

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)



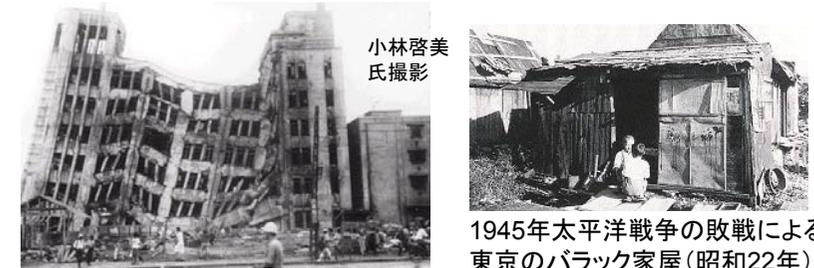
1923年関東地震による東京市・本郷における変位記録(横田ほか)

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)

⇒海溝型巨大地震による10分以上も継続する長周期・長時間地震動が確認されている

1948年福井地震と建築基準法の制定

- ・1948年福井地震(M7.1):福井市直下の活断層により、福井市は壊滅的な被害(死者3769名)。気象庁は震度7を追加。
 - ・1950年建築基準法の制定:
- 基準法・第1条 この法律は、建築物の敷地、構造、設備及び用途に関する**最低の基準**を定めて、国民の生命、健康及び財産の保護を図り、もつて**公共の福祉の増進に資する**ことを目的とする。
- ⇒ 多数の死者が生じるなどで、**公共の福祉に支障ないこと**



1948年福井地震による大和デパートの倒壊 <http://kanazawa.typepad.jp/weblog/2010/03/post-551f-1.html>

早稲田大学 よく分かる! <http://www.waseda.jp/student/weekly/contents/2006b/109e.html>

地震被害と建築基準法・耐震規定改正

「安全とは無被害ではなく、許容限界以下の被害であること」



1968年十勝沖地震
(RC造短柱被害など)



1978年宮城県沖地震
(ピロティ・偏心などバランス悪い建物)

1971年建築基準法改定 1981年改定 (新耐震設計法の導入)

○1981年建築基準法改正:新耐震基準の導入

- 1) **中地震** (建物の供用期間中に数回遭遇する程度の地震) に対して **損傷せず、地震後も特に修復を要しないこと(損傷限界)**
- 2) **大地震** (建物の供用期間中に一度遭遇するかも知れない程度の地震) に対して **倒壊・崩壊せず、人命が守られること(安全限界) ⇒ 大地震で被害は必ず生じる!**

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

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



震が関ビル(1968)
(36階、高さ156m)



超高層ビル
のゆれ(大減
速撮影)

- 1958年 東京タワー (333m : S造)
- 1968年 震が関ビル (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)
- 2014年 あべのハスカル(60階 300m: S造)

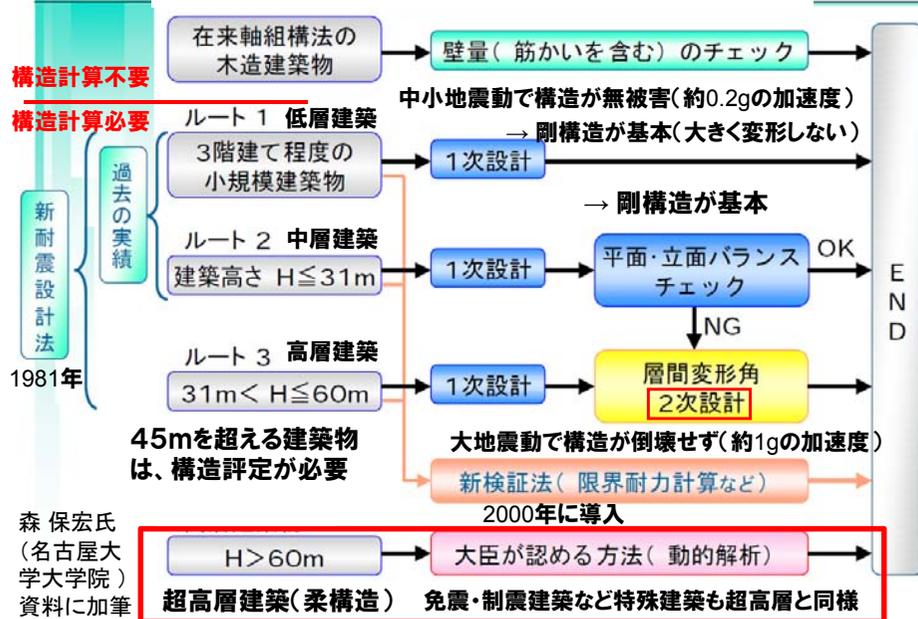
注: S造(鉄骨造)、RC造(鉄筋コンクリート造)

→ 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



東京スカイツリー
(29階、高さ634m)

構造計算のルート(現在の耐震規定)



高層建物の建物断面

部材: 構造(柱・はり等)と非構造(非耐力壁・内外装・什器等)



1978年宮城県沖地震などの都市型災害

- ・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、ライフライン・生活被害
- ・高層建物の被害(エレベータ閉じ込め、非構造壁の被害)

2005年福岡県西方沖地震



間仕切り壁が損傷→
ドアの開閉が不可→
救援・救護・避難活動が
困難(エレベータ停止)
⇒ 非構造部材の被害、
構造躯体は軽微な被害



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...



1995年阪神・淡路大震災の被害と教訓

1995年兵庫県南部地震

(M7.3、1月17日 5時46分)

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

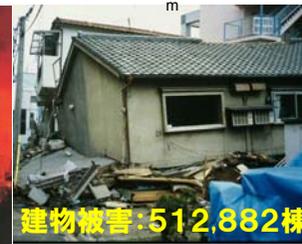


建物倒壊と火災発生が震災の帯の集中

http://dil.bosai.go.jp/workshop/01kouza_kiso/kasai/f5.htm



同時多発火災(285件)



建物被害:512,882棟



多くの病院も被災

死者の主な要因は建物倒壊と什器類の転倒:自助が最重要



大被害は古く弱い
建物に集中



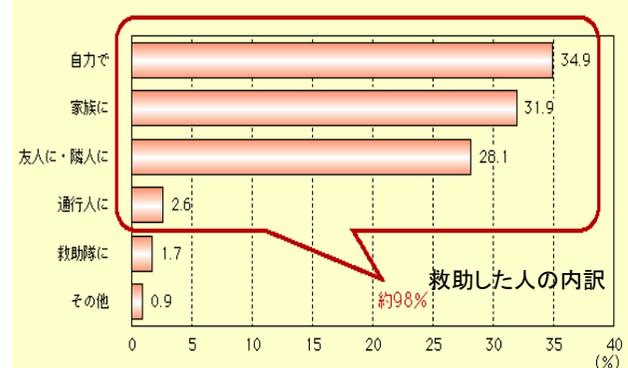
新耐震基準の建物被害はピロティーなど



家具の転倒・落下
(神戸市・「1.17の記録」HP)

1995年「建築物の耐震改修の促進に関する法律(耐震改修促進法)」
2000年「建築基準法改定」、「住宅の品質確保促進法(品確法)」

地域連携(共助)と柔軟な対応



(社)日本火災学会『兵庫県南部地震における火災に関する調査報告書』による



家が全部こわれたり半分こわれた
建物はおよそ25万棟



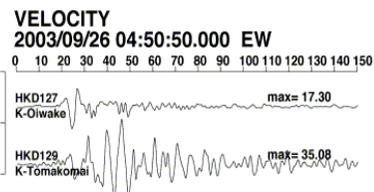
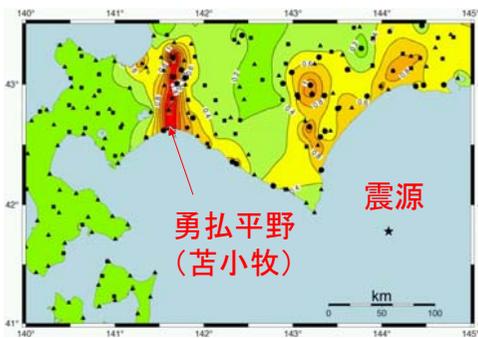
地震発生直後、285件の火災が発生

- ・殆どの住民は逃げずに、消火・救援救護活動、大多数は地域住民が救助 ⇒ **自分の家・まちは自分たちで守る(自助・共助)**
- ・「逃げる対策」から、「逃げないで被害に立ち向かう対策」も必要
- ・早朝、夜間人口の被害データは充実(地震被害想定等に活用)、⇒大都市・昼間人口における被害は予測困難(定性的な想定)

2003年十勝沖地震による石油タンク被害

2004年NHKスペシャル「地震波が巨大構造物を襲う」で取り上げられ、「長周期地震動」として全国的に注目

2003年十勝沖地震



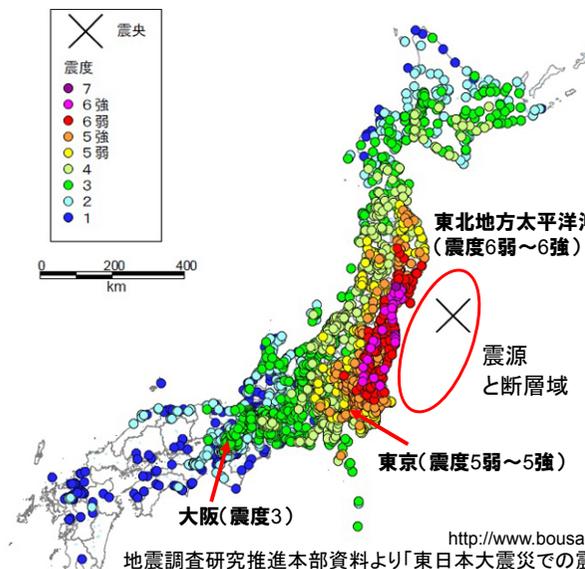
速度応答スペクトル (h=1%, 7秒EW成分)
(畑山・座間, 2004)

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

⇒国として長周期・長時間地震動対策を推進(2016年国交省の対策へ)

2011年東日本大震災

震度分布と建物・人的被害



消防庁発表(2017年3月)

人的被害

死者: 19,533
(約9割は溺死)
行方不明: 2,585
負傷: 6,230、重傷: 700

住家被害

全壊: 121,768
半壊: 280,160
一部破損: 744,396
火災: 330

被害額(直接被害、内閣府):
約16兆9000億円

建物被害と死者数(内閣府)

約1万9千人の死者・行方不明者のうち、内陸での死者・行方不明数は、125人(総務省消防庁発表被害報平成24年3月11日現在、死者・行方不明者の0.6%)

http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/2_2.pdf

地震調査研究推進本部資料より「東日本大震災での震度分布」(2011年4月12日更新)

「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: 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!**

(正しい知識、正確な情報・判断..)



釜石市・鵜住居(うのすまい)地区における過去の地震の実績、ハザードマップ、東日本大震災時の津波浸水域、および「釜石の奇跡」による避難経路(片田研究室)

<http://dsei.ce.gunma-u.ac.jp/research/cont-302-4.html>

「鵜住居の悲劇」

鵜住居(うのすまい)地区の被害:

釜石市全体で千名を超える死者のうち、半数以上583人の死者・行方不明が発生

鵜住居の悲劇

1. 津波の1次避難所: 高台にある鵜住神社境内と常楽寺裏山
2. 釜石市鵜住居地区防災センター: 「市民の防災に関する知識の普及及び市民の防災意識の高揚を図るとともに、災害発生時における災害対策拠点とする」ことを目的に、2010年2月に開設。
3. 誤った避難訓練: 自主防災組織の役員は津波避難訓練に際し、避難場所は屋外であり、訓練中の寒さ対策や参加率の向上等の理由で、室内待機が可能な防災センターで2010年から避難訓練を実施、市も了承。結果として、地域内の多くの住民が防災センターを津波避難所と誤解した。
4. 東日本大震災: 震災時に推定200名以上が避難したが、34名のみ生存した。



津波避難所と鵜住居地区防災センターの位置(上)と防災センターの全景(下: 釜石市鵜住居地区防災センターにおける東日本大震災津波被災調査委員会 報告書、2014年3月)

東日本大震災における首都圏(震度5)の様々な被害



津波(千葉県旭市)



液状化(浦安市)



天井崩落(九段会館) **基準法改正(特定天井)** 帰宅困難者と大渋滞(新宿駅南口)

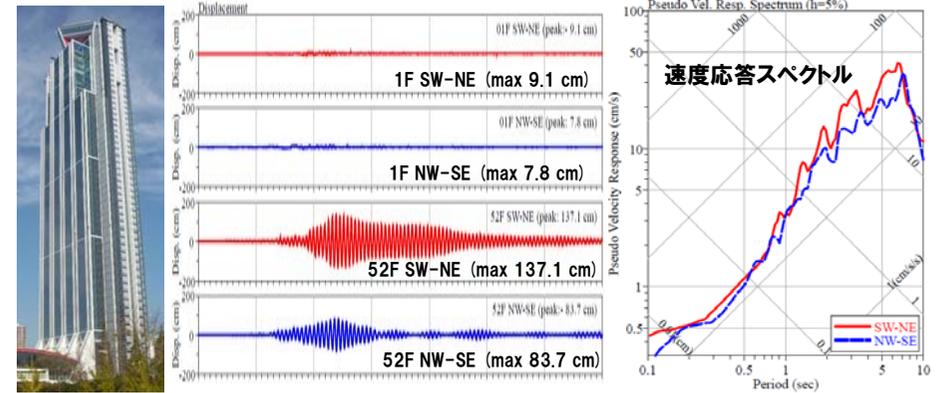


・首都直下地震帰宅困難者対策協議会(内閣府・東京都、2011-2012)
 ・東京都帰宅困難者対策条例(2013)
 ⇒帰らない・逃げない対策の推進

【共同通信】

大阪府咲洲庁舎(大阪湾岸、55階)と長周期地震動

- ・ 地上震度3、建物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 工学院大学の被害状況と対応(新宿:震度5弱)



新宿校舎の「揺れ」



28F(天井パネルの落下)



24F(本棚の転倒、間仕切り壁の大変形)



14F(天井パネルの落下)



駅周辺の大混乱



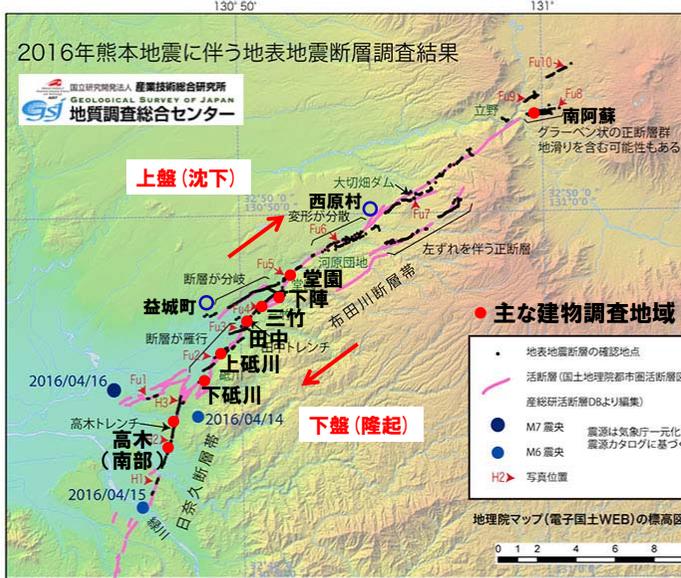
帰宅困難者の受入(約700名)

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(「逃げない・避難しない」が基本)**
- ・ **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、最低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1週間分の備蓄、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

2016年熊本地震の地表地震断層と建物被害調査



参加機関(延べ17名):
工学院大・安藤ハザマ
東京電機大・土木研
釧路工学研究所
減災アトリエ

期間:
2016年5月7~8日
2016年5月25日

調査法:
外観目視(岡田・高井
チェックシートなど)
一部、ヒアリング

調査建物(全224棟)
地表断層近傍
うち、断層直上36棟
木造・82%
1・2階・95%
非常に古い・50%
倒壊・14%(殆どが
非常に古い倉庫)
全壊・11%

活断層と地表地震断層(地質調査総合センター)

地表地震断層の直上でも 建物の被害低減が可能

Grade 0 無被害 Grade 3 中破
Grade 1 軽微 Grade 4 大破
Grade 2 小破 Grade 5+6 倒壊



①古い在来木造(RCブロック基礎)、D4(大破)



②新しい住宅(軽量S?、RCべた基礎)、D1(軽微)



③非常に古い準伝統木造住宅(東基礎)、D4(大破)

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)

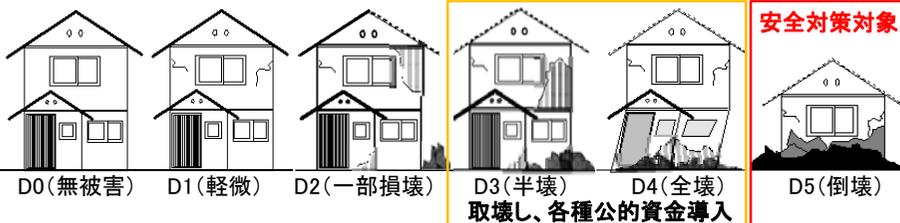
活断層のズレに対する安全対策(提案)

(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200名)、復旧・復興へ膨大な時間・費用



熊本地震の災害関連死:熊本県によると、189人(2017年8月末まで)の死因は、肺炎などの呼吸器系疾患(53人)、くも膜下出血などの循環器系疾患(50人)、自殺者16人、など

奇跡の集落、命守った絆 西原村大切畑地区、 下敷き9人救出(2016/05/05付 西日本新聞朝刊)



救出の様子を語る消防団員の田中憲聖さん=熊本県西原村小森の大切畑地区、神崎卓征撮影(朝日新聞 2016年4月19日)

熊本県西原村の大切畑地区:4月16日未明、うなりを上げるチェーンソーの火花が、闇に光っていた。ジャッキを手にした住民たちの叫び声が響く。ひしやげた家屋の下から、泥だらけの9人が次々に助け出された。

西原村発災対応型防災訓練のチラシ(大切畑地区ではチェーンソー・ジャック等による救出訓練も実施していた) 消防団の発災対応型防災訓練が活かした西原村(福和先生)

南海トラフ巨大地震の長期評価:大地震は予測困難 「固有地震」から防災上の最大級地震を含む 「多様性ある地震」の評価へ→地震ハザード評価値の増大



東日本大震災以前

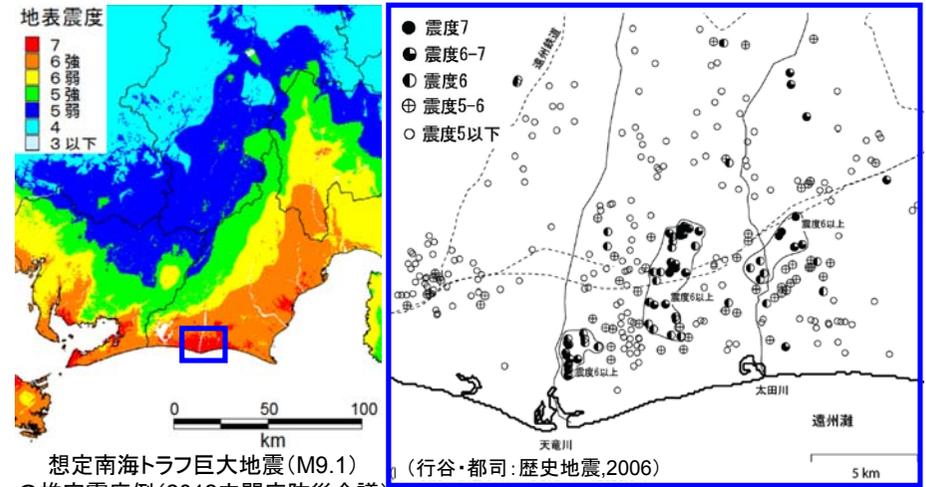
海溝型巨大地震は固有地震説により予測しやすいはず、だった...

地震調査研究推進本部:「南海トラフの地震の長期評価について(2001、2013)」

東日本大震災以後

全くの想定外だった超巨大地震(M9地震)を受け、防災目的より**最大級地震も想定**

最大級想定地震と歴史地震の震度分布



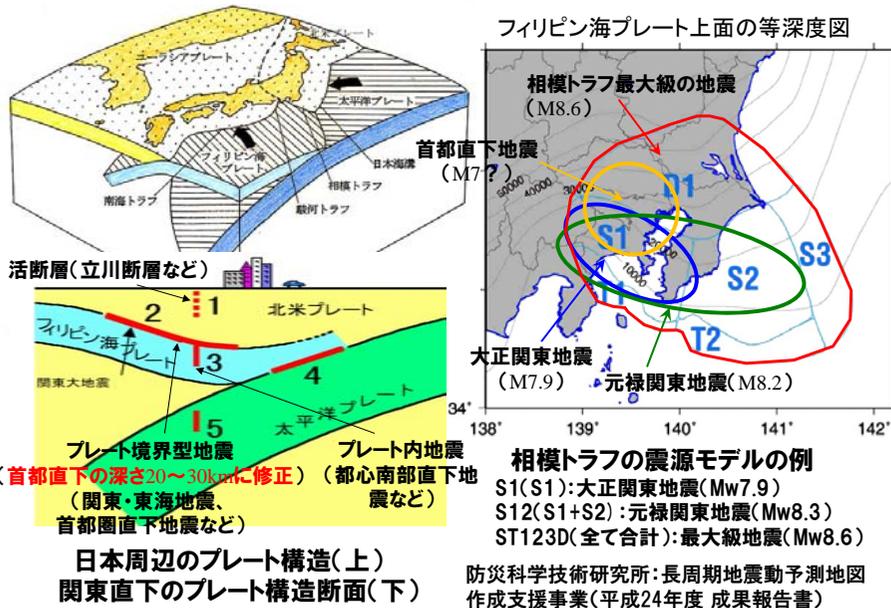
想定南海トラフ巨大地震(M9.1)の推定震度例(2012内閣府防災会議)

全域震度7に20mの津波!?
32万人の死者!?

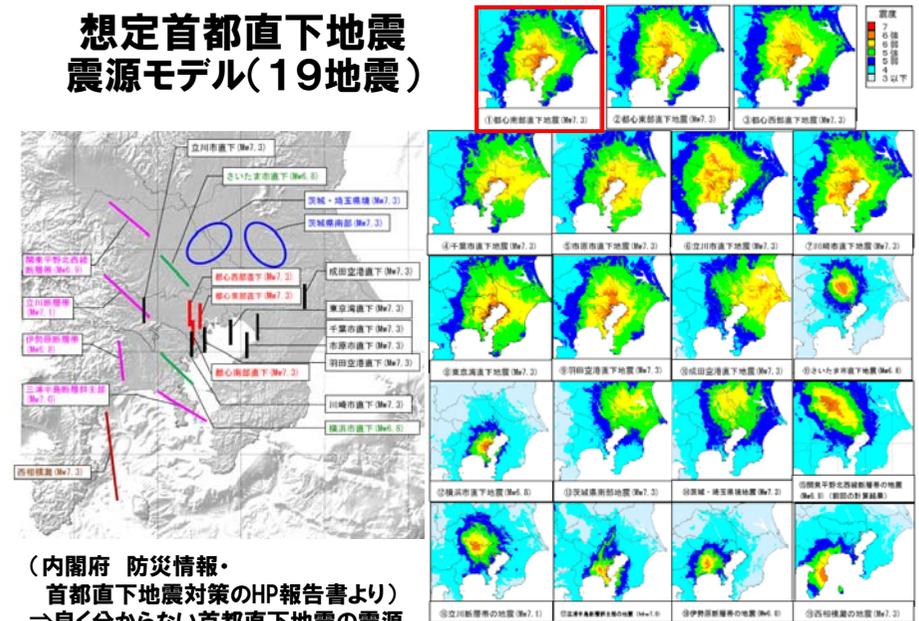
⇒最大級地震(M9.1)は科学的評価ではなく、防災上の対策推進用(最悪被害も念頭)

1854年安政東海・東南海地震(M8.4)の震度分布
天竜川流域:震度5以下~7、津波4~8m

首都圏で想定すべき大地震(複雑な震源像)



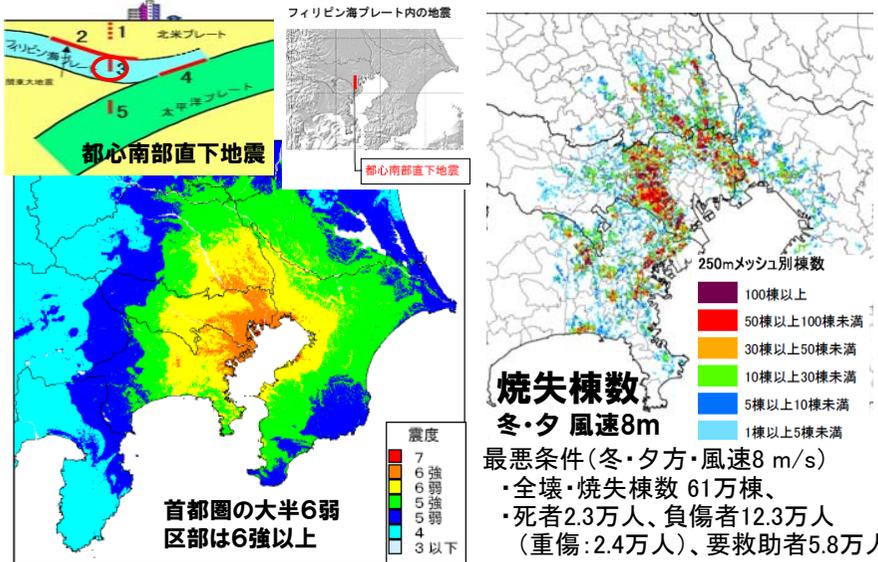
想定首都直下地震震源モデル(19地震)



(内閣府 防災情報・首都直下地震対策のHP報告書より)
⇒良く分からない首都直下地震の震源特に影響の大きな19地震を仮選定

図10 首都直下のM7クラスの地震の震度分布(19地震)

震災対策:首都直下地震の想定被害(2013年内閣府)



都心南部直下地震の震度分布 ⇒次の地震? 東京は火の海、逃げるしか対策無し! ? 自助で手一杯、共助など無理??

都心南部直下地震による建物被害推定結果

都心南部直下地震における建物等の被害

項目	冬・深夜	夏・昼	冬・夕	
揺れによる全壊	約 175,000 棟			
液状化による全壊	約 22,000 棟			
急傾斜地崩壊による全壊	約 1,100 棟			
地震火災による焼失	風速3m/s	約 49,000 棟	約 38,000 棟	約 268,000 棟
	風速8m/s	約 90,000 棟	約 75,000 棟	約 412,000 棟
全壊及び焼失棟数合計	風速3m/s	約 247,000 棟	約 236,000 棟	約 465,000 棟
	風速8m/s	約 287,000 棟	約 272,000 棟	約 610,000 棟
ブロック塀等転倒数	約 80,000 件			
自動販売機転倒数	約 15,000 件			
屋外落下物が発生する建物数	約 22,000 棟			

全壊の定義:(以降、同じ)

住家とその居住のための基本的機能を喪失したもの、すなわち、住家全部が倒壊、流失、埋没、焼失したもの、または住家の損壊が甚だしく、補修により元通りに再使用することが困難なもの。なお、建物の構造的な倒壊・崩壊はこの全壊に含まれる。

なお、液状化の場合、外観目視判定により一見して住家全部あるいは一部の階が倒壊している等の場合、あるいは傾斜が1/20 以上の場合、あるいは住家の床上1mまで地盤面に潜り込んでいる場合が全壊に相当する。液状化による建物全壊等によって人的被害は発生した事例は少ない。

2013年内閣府

都心南部直下地震による人的被害推定結果

都心南部直下地震における人的被害

項目	冬・深夜	夏・昼	冬・夕	
建物倒壊等による死者 (うち屋内収容物移動・転倒、屋内落下物)	約 11,000 人 (約 1,100 人)	約 4,400 人 (約 500 人)	約 6,400 人 (約 600 人)	
急傾斜地崩壊による死者	約 100 人	約 30 人	約 60 人	
地震火災による死者数	風速3m/s	約 2,100 人	約 500 人	約 5,700 人
	風速8m/s	約 15,000 人 ~約 18,000 人	約 5,500 人 ~約 6,200 人	約 16,000 人 ~約 23,000 人
死者数合計	約 18,200 人	約 10,230 人	約 21,860 人	
負傷者数	約 109,000 人 ~約 113,000 人	約 87,000 人 ~約 90,000 人	約 112,000 人 ~約 123,000 人	
揺れによる建物被害に伴う要救助者 (自力脱出困難者)	約 72,000 人	約 54,000 人	約 58,000 人	

○ 東京都内の救急車数 337台
○ 災害拠点病院数
東京都:70 神奈川県:33
千葉県:19 埼玉県:15
○ 全国のDMAT数 1,150チーム
⇒現状では対応は非常に困難

東京都被害想定(2011)での東京湾北部地震(冬夕方18時・風速8m/秒)で死者約9,700名

建物の耐震化・室内対策による被害低減効果

	建物の耐震性強化			
	耐震化率	耐震化率	耐震化率	耐震化率
	79% (全国) 87% (東京都)	90% (全国) 94% (東京都)	95% (全国) 97% (東京都)	100% (全国) 100% (東京都)
揺れによる全壊棟数	約 175,000 棟	約 98,000 棟	約 63,000 棟	約 27,000 棟
建物倒壊等による死者数(冬・深夜)	約 11,000 人	約 6,100 人	約 3,800 人	約 1,500 人

	家具等の転倒・落下防止対策強化		
	現状	実施率 75%	実施率 100%
屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による死者数(冬・深夜)	約 1,100 人	約 700 人	約 400 人
屋内収容物移動・転倒、屋内落下物による重傷者数(冬・深夜)	約 6,400 人	約 5,200 人	約 3,500 人

建物被害は火災発生を誘引するだけでなく、地域での道路を閉塞するなど、救急・救援活動を大きく妨げる妨げとなる。耐震化とは現行の最低基準である建築基準法での耐震性能。人口稠密な首都圏の建物はより高い耐震性能(耐震等級2以上、免震など)を目指すべき。

避難者・帰宅困難者数の推定結果

避難者		避難者数		
		避難所	避難所外	
1日後	合計	約 3,000,000	約 1,800,000	約 1,200,000
	うち都区部	約 1,500,000	約 910,000	約 600,000
2週間後	合計	約 7,200,000	約 2,900,000	約 4,300,000
	うち都区部	約 3,300,000	約 1,300,000	約 2,000,000
1ヶ月後	合計	約 4,000,000	約 1,200,000	約 2,800,000
	うち都区部	約 1,800,000	約 540,000	約 1,300,000

帰宅困難者数	人数(人)	割合(%)
1都4県	約 6,400,000～約 8,000,000	38%～47%
東京都	約 3,800,000～約 4,900,000	41%～52%

※4県(茨城県、埼玉県、千葉県、神奈川県)

避難者: 建物被害だけでなく、断水・停電でも避難者数に計上。居住不可能の建物以外、十分な**備蓄(できれば1週間分)**をして**自宅待機が原則**

帰宅困難者: 周辺状況が分かるまで**建物・地域で待機が原則**。その後、残る者(BCPコアメンバーなど)、帰宅する者の選別が必要(3日以上以上の備蓄、交代要員の配慮..)

前回評価 119年間 5回(30年で72%)
 今回評価 220年間 8回(30年で66%)

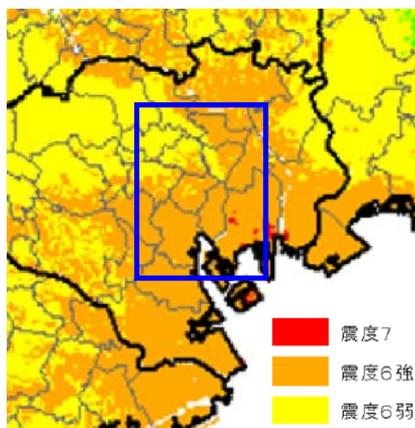
M7級の首都直下地震(相模トラフ沿い)の歴史地震と30年70%の発生確率

⇒近い将来の可能性は中小被害が圧倒的に高い

番号	前回	今回	地域・名称	西暦	北緯	東経	M	被害摘要
1			元和江戸	1615	35.7	139.7	6.8	家屋が倒壊し、死傷多く、地割れを発生。
2			寛永小田原	1633	35.2	139.2	7.0	小田原で民家の倒潰多く、死150。熱海に津波が襲来。
3			慶安相模	1648	35.2	139.2	7.0	小田原城破損。領内で潰家が多かった。死1
4			慶安武蔵	1649	35.8	139.5	7.0	川越で大地震、町屋700軒ほど大破。圧死多数
★			元禄関東	1703	34.7	139.8	8.2	房総半島南部・小田原で被害大、死者約1万人、津波有
5		○	天明小田原	1782	35.4	139.1	7.0	小田原城天守傾き、江戸でも潰家。死者あり
6		○	嘉永小田原	1853	35.3	139.15	6.7	小田原で被害大。潰家あり
7		○	安政江戸	1855	35.7	139.8	7.1	江戸下町で被害大、死者7千人以上
8	○	○	明治東京	1894	35.7	139.8	7.0	東京・横浜の被害が大、東京で死24。川崎・横浜で死7
9		○	東京湾付近やや深い	1894	35.6	139.8	6.7	建物に小被害
10		○	茨城県南部	1895	36.1	140.4	7.2	茨城県南部に被害大
11		○	茨城県南部	1921	36	140.2	7.0	千葉・茨城県境付近に小被害
12		○	浦賀水道	1922	35.2	139.8	6.8	東京湾岸に被害があり、東京・横浜で死各1
★			大正関東	1923	35.3	139.1	7.9	死者約10万人、住家全潰10万9千余、焼失21万2千余
13			丹沢	1924	35.3	139.1	7.3	死19。家屋全潰1200余。特に神奈川県中部に著しい被害
14			西埼玉	1931	36.2	139.2	6.9	死16。家屋全潰207(住家76、非住家131)。
15	○		千葉県東方沖	1987	35.4	140.5	6.7	千葉県を中心に死2、傷161。住家全壊16、一部破損7万余

- ・30年70%は、Scienceというよりも、Expert Judgment(専門家判断)
- ・過去400年のM7地震、死者数千人1回、数百人3回、数十名以下11回

首都直下地震と1855年安政江戸地震の震度分布

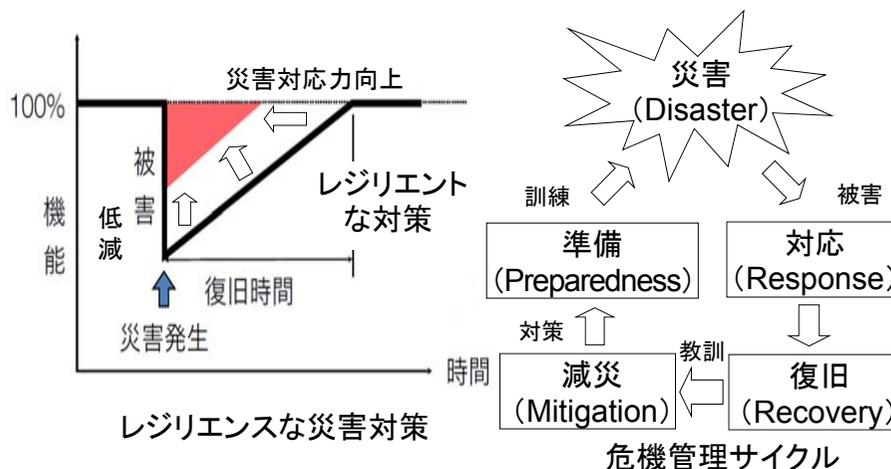


都南部地震(M7.3)の推定震度(内閣府)どこでも震度6の可能性があると解釈すべき
 実際の地震でこのような分布にはならない
 →「東京は火の海になるので耐震補強は無駄」、「殆どの病院は被災、重症者は助からない」など、諦めてしまうのは最悪の選択

⇒被災レベルによる柔軟な対応

1855年安政江戸地震(M7)の震度分布
 作成 中村操氏 <http://www.bousai.go.jp/oshirase/h15/031222/2-3.pdf>

レジリエンスな災害対策の概念図



⇒ 災害は想定外の連続: 事前の減災・準備 + 事後の柔軟な対応・復旧
 ⇒ 得られた事故・災害の教訓を次の対策に反映(強靭化サイクル)

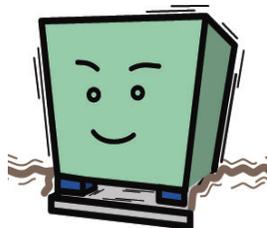
参考: 林春男「都市災害における災害対応能力の向上方策に関する調査・研究」

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>

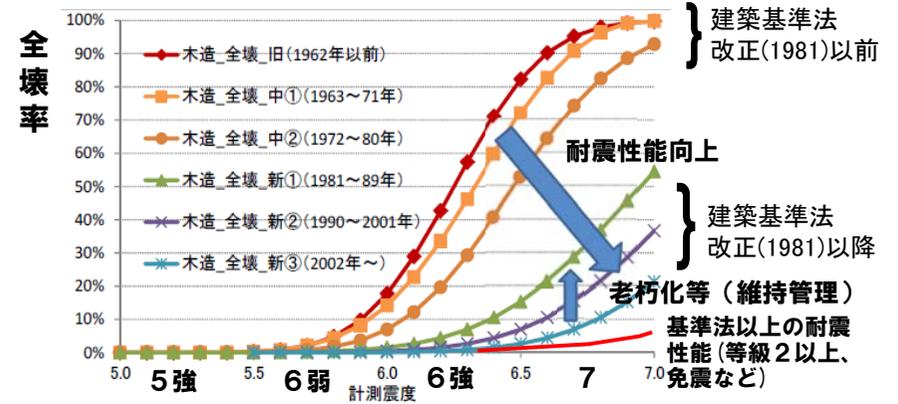


制振補強の例

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

中小～巨大地震対策:レジリエントな震災対策の概念

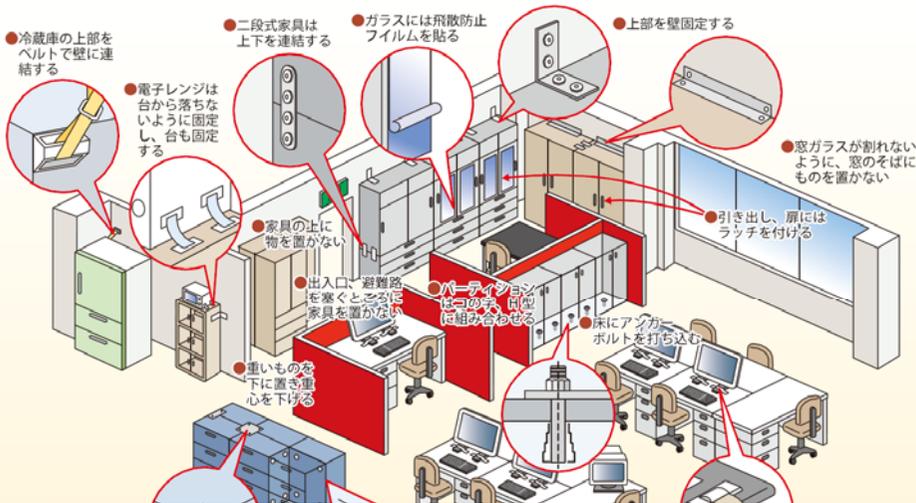
レジリエントな対策:事前の減災対策+事後の柔軟な対応力向上



木造建物の被害関数 (内閣府被害想定2013)

事前の抵抗力向上 ⇒ 建物・まちの耐震性能向上・維持管理 (構造の耐震設計⇒人の生活のための機能維持・早期復旧設計へ)

室内の安全対策 (家具類の転倒・落下・移動防止)



下地材に要工夫、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>

H邸の在来木造住宅(地盤・基礎・躯体)



ハザードマップで震災や水害の危険性が低く、地盤調査で比較的良好な地盤を確認



配筋べた基礎で頑強な基礎とした



構造計算を実施。1階を壁の多い居室、2階をリビングとし、部材を金物・筋違等で固定。さらに構造合板をバランスよく配置し、耐震等級3(基準法の1.5倍の耐力)とした

H邸の在来木造住宅(室内・備蓄・メンテ)



大きな家具類は、地震などで転倒の心配のない作り付けとした。

十分な備蓄スペースを確保

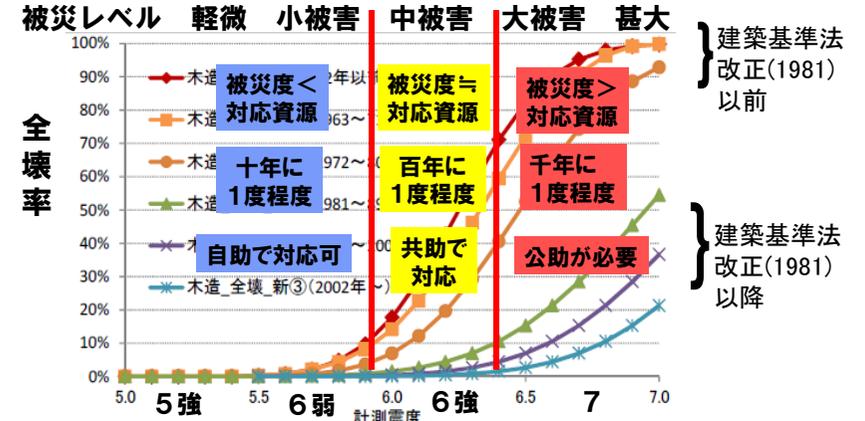
水周りなどを中心に、配管や構造体をチェックする点検口を数箇所設置



雨水タンク(330L)を設置、平時は庭の散水に利用。震災時にはトイレ用水・飲料水・初期消火などに利用。タンクや緑化などで微力ながら豪雨時の内水氾濫や都市のヒートアイランドの低減にも寄与。

中小～巨大地震対策:レジリエントな震災対策の概念

レジリエントな対策:事前の減災対策+事後の柔軟な対応力向上
 ⇒ 正確な被害予測は不可能だが、柔軟な対応策の準備は可能



高層ビルの対応例: 避難せず 施設内退避 全館避難
 都心エリアの対応例: 帰宅困難者 2次災害防止 エリア外からの救援・退避
 事後の災害対応・回復力能力の向上(災害対応従事者、一般市民)
 (被災レベル別の対応計画・行動ルールと実践的な訓練・検証・改善)

危機レベルの分類の例

JIS Q22320:2013(ISO 22320:2011)

社会セキュリティ-緊急事態管理-危機対応に関する要求事項

危機レベル	危機レベルの説明	指揮レベル	発生確率・事象例
レベル1 (現場対応)	あらかじめ規定された対応・資源で対応できる事象	戦術的指揮, 任務レベルの指揮、戦術的連携による監視及び支援	年数回発生 震度5弱以下 負傷者ほぼ無し
レベル2 (組織対応)	被災組織がもつ資源で対応できる事象	戦術的指揮及び連携	数年に1度程度 震度5強 負傷者数名
レベル3 (地域対応)	被災組織の資源に加え、近隣組織の相互支援を受け対応できる事象	管轄区内での活動に関する戦略的指揮及び連携	数十年に1度 震度6弱、負傷数十名(重症数名)
レベル4 (自治体対応)	被災組織の資源に加え、被災管轄区内の全組織からの支援を受け対応できる	管轄区・隣接区域の戦略的指揮。ときに戦略レベルによる監視を受ける。	数百年に1度 震度6強、負傷数百名(重症者数十名)
レベル5 (国家対応)	被災地をもつ中央政府によって二国間条約及び国際組織の既存の協約が実施される。	管轄区・隣接区域の戦略的指揮。ときに戦略レベルによる支援及び直接介入を要求される場合がある。	数千年に1度 震度7、負傷数千名以上(重症数百名以上)

最低でも大中小の3段階くらいのレベル設定

従来型の防災訓練(関東大震災型の逃げる訓練) 北区上十条五丁目の防災訓練(2004年9月)



まずは避難所に避難訓練、初期消火や炊き出し、救援救護訓練など→有効だが、現実感なし

共助による震災対策例(木造密集市街地) まち歩きと地域点検マップ

文部科学省「大都市大震災軽減化特別プロジェクト(2002~2006)」

上十条5丁目
防災マップ 平成15年版



道	幅員4.0m以上
路	幅員2.7m以上4.0m未満
	幅員2.7m未満
塀	擁壁
	スチールフェンス
	ウッドフェンス
	コンクリート高さ1.8m以上
	コンクリート高さ1.5m以上1.8m未満
	コンクリート高さ1.5m未満
	ブロック塀高さ1.8m以上
	ブロック塀高さ1.5m以上1.8m未満
	ブロック塀高さ1.5m未満
広域避難場所	スーパー・食料品等
避難場所	そば屋・飲食店等
防火倉庫・資材置場	電話ボックス
防災無線	公衆電話
病院	駐車場
防火水槽・プール等	公園
消火栓	寺社
消火器	交番
電動井戸	掲示板



まちなか発災対応訓練の例(東京都北区上十条)



消火器：5本
バケツ：5個
防災訓練

被災看板



消火器による初期消火



スタンドパイプによる
初期消火



エンジンポンプによる
初期消火

巨大都市・中心市街地の事例(新宿駅周辺エリア)

・新宿駅周辺地域(具体例)

世界最大の乗降客(1日約340万人)

西口地域:高層オフィス街

東口地域:商業・娯楽地区

夜間人口2万、昼間人口30万

→首都直下地震(最悪条件)で死者約1万、
負傷者10数万名、重傷者数万名...

・災害対策:現状は地域防災計画とBCP

地域防災計画(避難所・備蓄・地域防災
組織・医療救護所等の整備)

→地域住民(夜間人口)が主な対象
事業者・建物→BCP/消防計画

・レジリエントな中心市街地の構築:

新宿駅周辺地域防災対策協議会による
セミナー・講習会・防災訓練・検証
都市再生安全確保計画と連携



新宿駅西口地域



2011東日本大震災時帰宅困難者による群衆(新宿駅東口)

～新宿駅周辺地域における震災時対応～ 新宿ルール実践のための行動指針(2016年) 中心市街地における震災対応力向上モデル

(新宿駅周辺防災対策協議会、新宿駅周辺地域都市再生緊急整備協議会)

新宿ルール(2007年)

1. 組織は組織で対応する(自助)
 2. 地域が連携して対応する(共助)
 3. 公的機関は地域を支える(公助)
- ⇒基本原則:自分の組織・地域は自分達で守る

新宿ルール実践のための行動指針(2016年)

1. むやみに移動しない(⇒駅周辺の混乱防止)
 2. 現地本部を中心に連携する(⇒情報の収集・配信など)
 3. 地域で傷病者に対応する(⇒災害時医療体制への対応)
- (多数傷病者対応など被害レベル別の行動指針は検討中)
⇒地域防災訓練で検証(2016年11月10日)

新宿ルール実践のための行動指針(新宿駅周辺地域) ⇒「逃げる必要のない建物・まち」を目指す



新宿駅周辺エリア震災時・行動指針 4つのフェーズ

フェーズ	① 発災	② 残留・退避	③ 滞在	④ 帰宅
概要	混乱を抑える。 身の安全を確保する。	身の寄せどころのある滞留者を、その場で待機させる。 身の寄せどころのない滞留者を、安全な場所に誘導する。	身の寄せどころのない滞留者を、安全な場所に移動し、一時滞在させる。	滞留者を、鉄道や代替交通機関等で帰宅させる。
発災後の経過	混乱の収束まで	一時滞在施設の開設まで	交通機関の復旧(代替輸送手段の確保)まで	



自助:自衛消防訓練(震災対応型訓練:地区隊)



自衛消防隊(地区隊)の編成 初期消火訓練(消火器) 救援訓練(パール)



応急救護訓練 傷病者搬送訓練 建物安全性確認訓練
 地元建築士会と連携

自助:自衛消防訓練(本部隊と応急救護所の訓練)



自衛消防隊(本部隊)訓練 全館被害情報の収集・整理 情報整理・館内放送



応急救護所開設・傷病者搬送 傷病者対応・応急手当 傷病者情報整理・共有

共助：西口現地本部訓練(地域情報受配信)



本部長と帰宅困難者
対策班の情報共有



情報整理・集約班
による情報整理



情報共有班による対応支援
システムへの情報入力

駅周辺滞留者誘導訓練(駅⇒避難場所⇒一時滞在施設)



新宿駅西口デジタル
サイネージ前での説明



エリア対応支援システム
による情報確認



新宿中央公園での
災害用トイレの確認

61

共助：医療救護訓練(医療・非医療従事者連携)



医療救護班の編成(医)



トリアージ訓練(医)



傷病者搬送訓練・講習(非)



応急救護訓練・講習(非)
(参加者の満足度向上⇒「持続可能な訓練」)



傷病者情報整理・共有(非)



訓練の振りかえり(非・医)

62

授業の予定(2018年度)

- 第1回(4/12) ガイダンス 建築・まちと地震工学の概要を理解する
- 第2回(4/19) 地震と地震動 地震学・強震動地震学の基礎を学ぶ+各種ハザードマップ・防災マップ
第1回のレポート課題:内容は講義中に発表する(予定)
- 第3回(4/26) 過去の震災から学ぶ1 歴史地震から1923年関東大震災まで:耐震・防災の基礎を理解
- 第4回(5/10)過去の震災から学ぶ2 関東大震災以降:耐震設計・都市災害の基礎を理解する
- 第5回(5/17)過去の震災から学ぶ3 2011年東日本大震災:津波・地盤災害、首都の減災対策の基礎
- 第6回(5/24)津波 津波の成因や特性、対策の基礎を学ぶ第7回(6/7)風水害 様々な風水害を理解し、
洪水や内水氾濫の成因や特性、対策の基礎を学ぶ
- 第8回(6/14)複合災害 地震や火災・水害、大都市の群集行動など複合化する近年の災害を理解する
第2回のレポート課題:内容は講義中に発表する(予定)
- 第9回(6/21)耐震設計と振動論の基礎 剛構造・柔構造、地震応答スペクトルなど現在の耐震設計法
- 第10回(6/28)耐震対策の基礎 地盤・基礎、構造・非構造部材、耐震・免震・制振などの耐震対策
第3回のレポート課題:内容は講義中に発表する(予定)
- 第11回(7/5)建物の防災力を高めるための方策 災害が起きた場合の対応力向上のための対策の基
礎を理解する
- 第12回(7/12)事業や生活を継続するためのマネジメント 事業継続計画(BCP)や生活継続計画(LC
P)の基礎を理解する
- 第13回(7/19)地域連携による災害対応力の向上 共助による災害対策の基礎を理解する
第4回のレポート課題:内容は講義中に発表する(予定)
- 第14回 学習成果の振り返り⇒試験

成績評価

<成績評価方法及び水準>

- ・ 出題する課題と期末試験により、100点評価で60点以上で合格とする。ウェイトは、期末試験が80%、レポート15%、出席が5%
- ・ 注意:遅刻すると授業について来られなくなるので、厳禁(出席扱いはしない)。課題提出で文献引用を明示すること。無断コピーは犯罪に相当。見つけた場合、ペナルティを課すので要注意

<教科書>

- ・ 日本建築学会 逃げないですむ建物とまちをつくる—大都市を襲う地震等の自然災害とその対策—(技報堂)
- ・ その他、適宜プリントを配布する

<参考書>

- ・ 建築の振動 初歩から学ぶ建物の揺れ、西川孝夫他、朝倉書店
- ・ 最新耐震構造解析、柴田明德著、森北出版、1981年