

平成二十四年市民講座第五講座

耐震構造への理解を深めよう

チョウ ケイヨウ
張 景耀

Email: zhang@sda.nagoya-cu.ac.jp

名古屋市立大学 大学院芸術工学研究科

17.20

略歴

所属: 名古屋市立大学芸術工学部建築都市デザイン学科
 専門: 建築構造 (建築構造物を安全かつ経済的に設計できる)

中国広東省出身
 2001年 浙江大学建築工程学院 卒業
 2002年 東北大学工学部土木系 学部研究生
 2005年 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 修士
 2005年 ケンブリッジ大学工学部 客員研究員
 2007年 京都大学大学院工学研究科 博士(工学)
 2007年 京都大学大学院工学研究科建築学専攻
 日本学術振興会・外国人特別研究員
 2009年 立命館大学理工学部建築都市デザイン学科 講師
 2011年 名古屋市立大学芸術工学研究科 准教授

17.20

日本人が一番怖いもの

大昔から日本で特に怖いとされているものの順番:

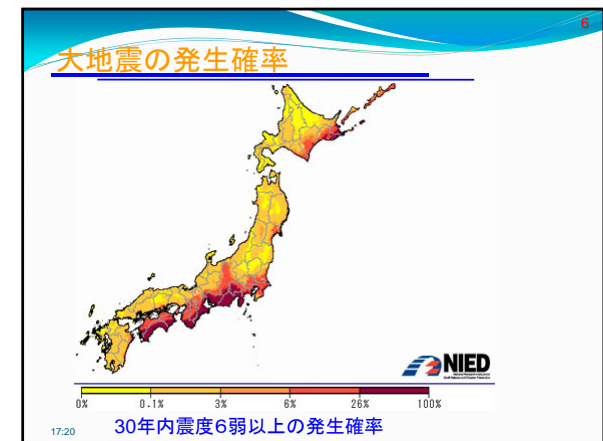
じしん かみなり かじ おやじ
地震 雷 火事 親父

17.20

明治～1995年までの地震と被害

時間	M	地震名	死者 行方不明者	津波	最大震度	最大震度観測点
1891年 10月28日	8.0	濃尾地震	死者 7,273		(6)	岐阜、愛知、滋賀、三重県
1896年 6月15日	8.2	明治三陸地震	死者 21,959	○	(2~3)	岩手県を中心に北海道、東北地方
1923年 9月1日	7.9	関東地震 (関東大震災)	死・不明 10 万5千余	○	(6)	東京都 東京 など6点
1927年 3月7日	7.3	北丹後地震	死者 2,925	○	6	京都府 官津瀬候所 など2点
1933年 3月3日	8.1	昭和三陸地震	死・不明 3,064	○	5	岩手県 宮古市鉾ヶ 崎 など6点
1945年 1月13日	6.8	三河地震	死者 2,306	○	5	三重県津市
1948年 6月28日	7.1	福井地震	死者 3,769		6	福井県福井市
1995年 1月17日	7.3	兵庫県南部地震 (阪神・淡路大震災)	死者 6,434 不明 3	○	7	神戸市等阪神淡路地 域

17.20 出典: 気象庁



7

南海・東南海・東海運動型地震

東海、東南海、南海地震、この三地震が同時発生すると、最悪24,700人死亡

17.20

8

概要

タイトル: 耐震構造への理解を深めよう

1. はじめに
2. 進んでいる建築技術
3. 地震のメカニズムとその被害
4. 古代の耐震技術
5. 現代の耐震技術
6. 未来の耐震技術のために
7. おわりに

17.20

第二部: 進んでいる建築技術

17.20

10

1万年前(?)5千年前(?)の建築

名古屋 見晴台遺跡・竪穴式住居

地面を円形や方形に掘り、中に複数の柱を建て、梁や垂木をつなぎあわせて家の骨組みを作り、上から土と植物で屋根を葺いた建物

17.20

11

世界最古の木造建築物群

金堂
奈良法隆寺・西院伽藍
(607年創建)

五重塔

17.20

12

世界最大木造軸組建築

奈良
東大寺
大仏殿

752年建設
2度焼失
1691年再建
幅57.5m
奥行き50.5m
棟高49.1m

17.20

13

世界最高の自立式鉄塔

東京スカイツリー
(Tokyo Skytree)

全高(尖塔高)634m
軒高(塔本体の屋上の高さ)495m
自立式鉄塔世界第1位
2008年7月着工、2012年2月竣工
2012年5月22日に展望台として開業




東京タワー
・高さ:333.0m
・完成:1958年

14

世界最高の人工構造物



ブルジュ・ハリファ
ブルジュ・ドバイ

2010年1月4日 OPEN

169階・828m
586mまではRC造
739mまではS造
その上に尖塔

15

柱のない空間構造




ナゴヤドーム

- ・スパン:左右116m
- ・完成:1997年
- ・収容人数:四万人

第三部: 地震のメカニズムとその被害

17:20

17

1923年関東大震災



横浜市

全壊:10万棟以上
死者・行方不明者:
14万2千人



大破した浅草閘門
(浅草十二階)

17:20

18

1995年阪神・淡路大震災



木造



鉄筋コンクリート

Video: 1995年1月17日阪神淡路大震災

死者:6,434名
行方不明者:3名
負傷者:43,792名



鉄骨造

17:20

19

長周期地震



東京タワーのアンテナ
17.20 震源から約300キロ



大阪府咲洲庁舎
高さは256.0m、日本で4位
震源から約770キロ
最上階の揺れ幅は最大約2.7メートル

20


2011年東日本大震災





警察庁は、2012年8月15日現在、
死者は15,868人、
重軽傷者は6,109人、
届出があった行方不明者は2,848人
Video: 2011年3月11日南三陸町志津川高校から見た津波

21

地震による液状化



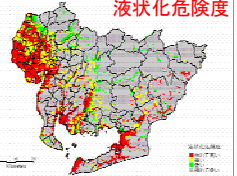
マンホール



湧筋



震度



液状化危険度

22

地震による液状化



1983年5月26日12時00分、
秋田県能代の西方沖
約100kmでM7.7
・震度Ⅴ程度
津波と液状化が目をついた



Adapazarliはイスタンブールの東方約120kmに位置する地方中核都市である。

23

地震のメカニズム



地震御守
江戸時代の地震御守



鯰(なます)



地下深くにいる巨大ナマズが暴れる

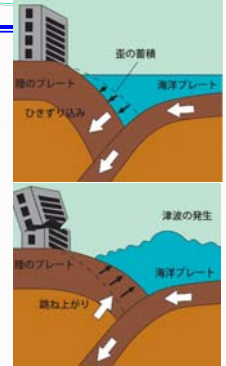
24

地震のメカニズム

通常の地震は、新たに断層が生じること、あるいは既存の断層が動くことが原因

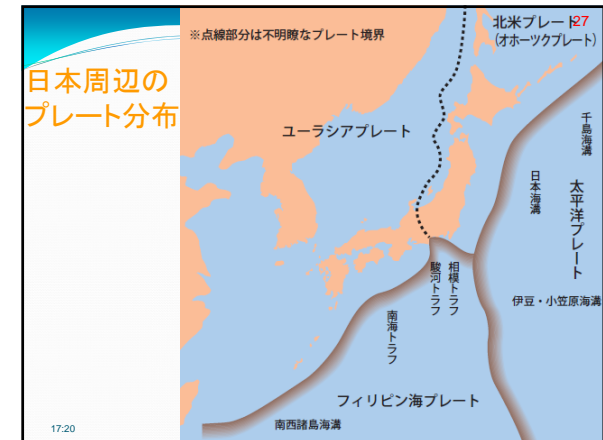
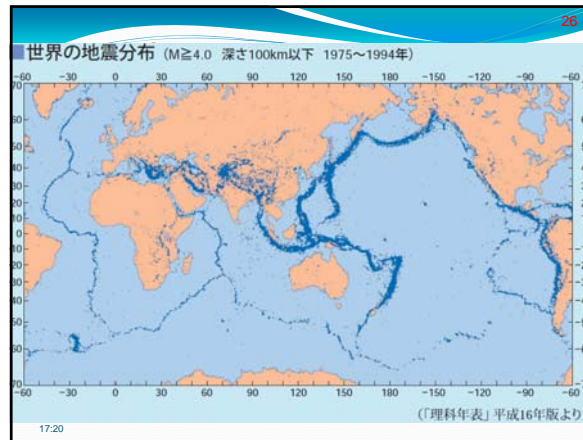
地震の種類

1. プレート同士の境界部分で発生 (プレート境界型地震・東日本大震災)
2. 大陸プレートの内部や表層部で発生 (直下型地震・阪神大震災)
3. 沈み込む海洋プレートで発生 (海洋プレート内地震、スラブ内地震)
4. 火山性地震



プレート境界型地震

Video: 大成建設の資料 (15sec)



28

東海・東南海・南海地震

- **東海地震**
東南海地震(1944)で歪みが解放されず、安政東海地震(1854)から約150年間大地震が発生していないため、相当な歪みが蓄積されていることから、いつ大地震が発生してもおかしくないとみられている。
- **東南海・南海地震**
おおむね100~150年の間隔で発生しており、今世紀前半での発生が懸念されており、関東から九州にかけての広域防災対策を早急に確立していく必要がある。

17.20

29

地震の大きさ

マグニチュード	呼び名
(8~)	(巨大地震)
7~	大地震
5~7	中地震
3~5	小地震
1~3	微小地震
~1	極微小地震

マグニチュードは地震のエネルギーを表す
1増えると、地震のエネルギーは約32倍
2増えれば、エネルギーは1000倍

震度は揺れの度合い(加速度)を表す
日本では、10階級(0、1、2、3、4、5弱、5強、6弱、6強、7)に分けた「気象庁震度階級」

マグニチュード (電球の明るさ) 震度(届く光の強さ)

17.20

30

加速度とは

急ブレーキ地震だ~!

加速度は速度変化の度合いを表す

17.20 <http://item.rakuten.co.jp/happybag/10892/>

震度

震度4
 ※ほとんどの人が驚く
 ※電灯などのつり下げ物は大きく揺れる
 ※車の重い建物が揺れることがある

震度5弱
 ※大半の人が恐怖を覚える。物につかまらないうちを揺らす
 ※壁にある食器棚や本が揺れることがある
 ※固定していない家具が移動することがあり、不安定なものも揺れることがある

震度5強
 ※物につかまらないうちが多く倒れる
 ※壁にある食器棚や本が倒れるものが多い
 ※固定していない家具が倒れることがある
 ※補強されていない壁がロック崩れを起こすことがある

震度6弱
 ※上記のことに加え、
 ※固定していない家具の大半が移動し、倒れるものもある。ドアが壊れることがある
 ※壁のタイルや窓ガラスが脱落、落下することがある
 ※耐震性の低い木造建物は、瓦が落下したり、建物が傾いたりすることがある。倒れるものもある

震度6強
 ※上記のことに加え、
 ※固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多い
 ※耐震性の低い木造建物は、壊れるものが多い
 ※大きな揺れが生じたり、大規模な火災や山崩れの被害が発生することがある

震度7
 ※耐震性の低い木造建物は、壊れるものが多い
 ※耐震性の高い木造建物は、さらに壊れることがある
 ※耐震性の低い建物のコンクリート壁の破壊等も、倒れるものが多い

17.20

第四部： 古代の耐震技術

17.20

木造建物の工法

伝統工法
柱に太い貫を通す

在来工法
接合部に金物で補強

17.20

伝統工法：清水の舞台

貫構造：通し貫を用いて軸組を固める構法

清水寺(京都)
清水の舞台
(1633年再建)

17.20

在来工法

現代の木造在来構法の接合部に金物の補強を強制

在来工法とは日本で古くから発達してきた伝統工法を簡略化・発展させた構法

17.20


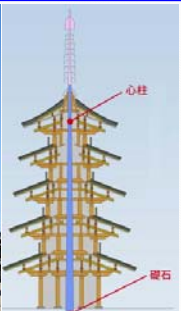
伝統工法の強み：変形能力

高さ3mの構造、水平に40cmの変形後、倒壊しないものじかも、半分ぐらい戻ってきた <http://homepage2.nifty.com/syotaku/syokai101.html>

36

37

昔の制振構造:五重塔の心柱

心柱
直径は最大90cm
地中2.7mに立つ
天と地を結ぶ
「制震」効果

構造物本体: 左への揺れ

法隆寺・五重塔
(607年創建) 創建以来1400年、日本は46回M7.0以上の地震

17.20

38

昔の免震構造:五重塔の基礎




礎石
腐朽を防ぐ
地震時柱は移動
「免震」効果

東福寺金堂

東大寺三門

万福寺三門

法隆寺・五重塔
(607年創建) 創建以来1400年、日本は46回M7.0以上の地震

17.20

第五部: 現代の耐震技術

17.20

40

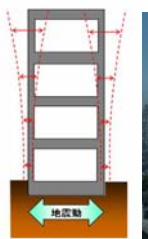

耐震構造

耐力向上 → 高強度材料(高強度コンクリートなど)
質量低減 → 新しい構造形式(張力構造など)
→ 大きい断面

東京ドーム

地震力は
加速度と質量
に比例

速くて重い車は
止まりにくい

17.20

41

耐力向上



梁

柱

壁入り

耐震壁



ブレース入り

17.20

42

地震力

周期: 一回揺れの所要時間

高ければ高いほど、固有周期が長い

●建物の固有周期と応答加速度



建物と地震波主要成分の固有周期が一致(共振)する場合、応答はもっとも大きい

Video: 固有周期の違う建造物の応答

17.20

43

「耐震」対策

耐震: 揺れに耐える
 建物を丈夫にする

制振(震): 揺れを制する
 地震エネルギーの一部を制振装置によって吸収

免震: 揺れから免れる
 入力地震エネルギーを減少させる

17:20

44

「心柱」制振

五重塔 直径0.9mの心柱

東京スカイツリー 直径8mの心柱

Video: TMD制振

17:20

45

制振-TMD

Taipei 101
 (509m, 地上101階、2004年)

Video: 台北101TMD制振

暴風対策としてTMD(振り子型制震装置) 巨大な球体をビル内に吊るし、振り子に似た反作用の力を利用して、87階から92階の中央部の吹き抜け空間に、直径5.5mの巨大な球体がケーブルで吊るす、総重量は650トン 最大40%の風力による振動を抑える

46

免震

Video: 大成建設の資料(7:55)

17:20

第六部: 未来の耐震技術のために

17:20

48

震動台実験-E-Defense

独立行政法人
 防災科学技術研究所
 兵庫耐震工学研究センター

質量1,200トンの試験体を載せ、兵庫県南部地震クラスの強さで加振することができる強大な加振力 実際の地震のとおり、前後・左右・上下の三次元の動きを再現できる

49

実寸法の振動台実験

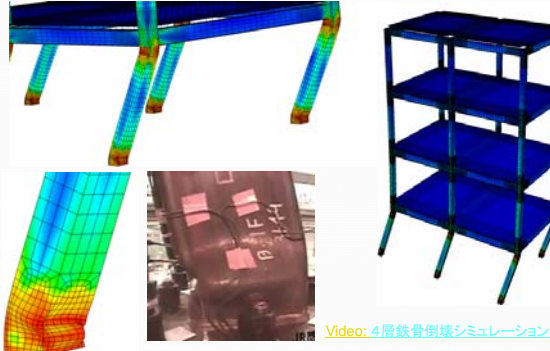


鋼構造試験体 スパン: (5m + 5m) x 6m
 高さ: 3.5m x 4 = 14.0 m

17.20 Video: 2007年4層鉄骨実大実験

50

コンピュータでのシミュレーション



Video: 4層鉄骨倒壊シミュレーション

第七部: おわりに

17.20

52

進化論

ダーウィンの進化論は、より複雑で高度な生物でもより単純な組織体から進化する。
 新しい種は遺伝子の突然変異から発生しより優れた変異が維持され(自然選択説として知られている)これらの良性変異は次世代に継がれると提示している。
 さらに長い年月をかけ、良性変異は蓄積し、全く異なった種の生物となる。



**物競天択
適者生存**



17.20