

2011年東日本大震災と1995年阪神淡路大震災

—建築物被害の特徴比較と今後の耐震設計—

西山 峰広
京都大学

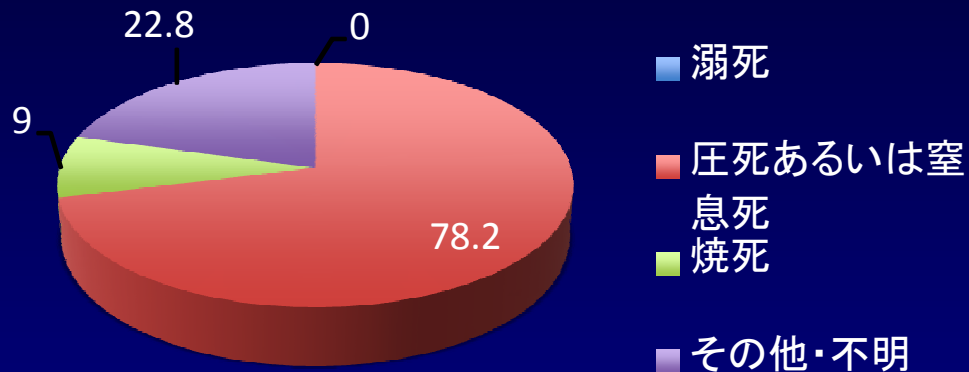
被害

- 死者数: 15,782 (9月11日現在)
- 行方不明者数: 4,086 (9月11日現在)
- 避難者数: 68,816
- 倒壊あるいは大破した建物数: 271,504

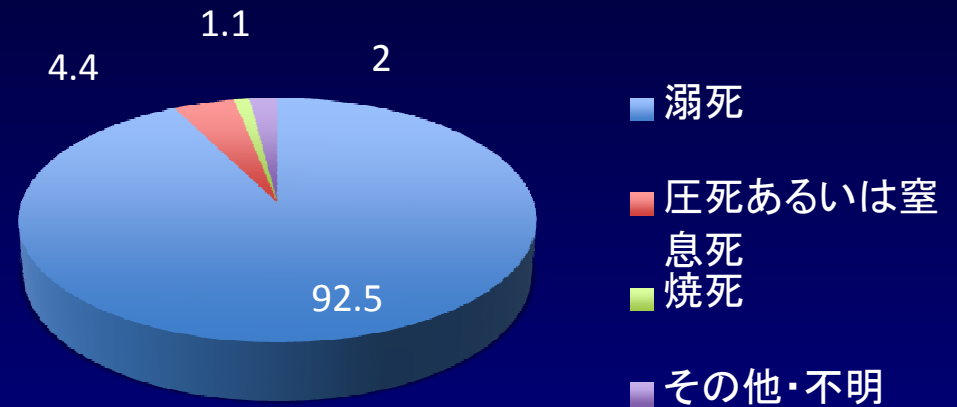
- 1995 阪神・淡路大震災
 - 死者数: 6,400
 - 負傷者数: 40,000
 - 倒壊建物数: 94,000
 - 大破建物数: 107,000

死亡原因

1995年阪神・淡路大震災



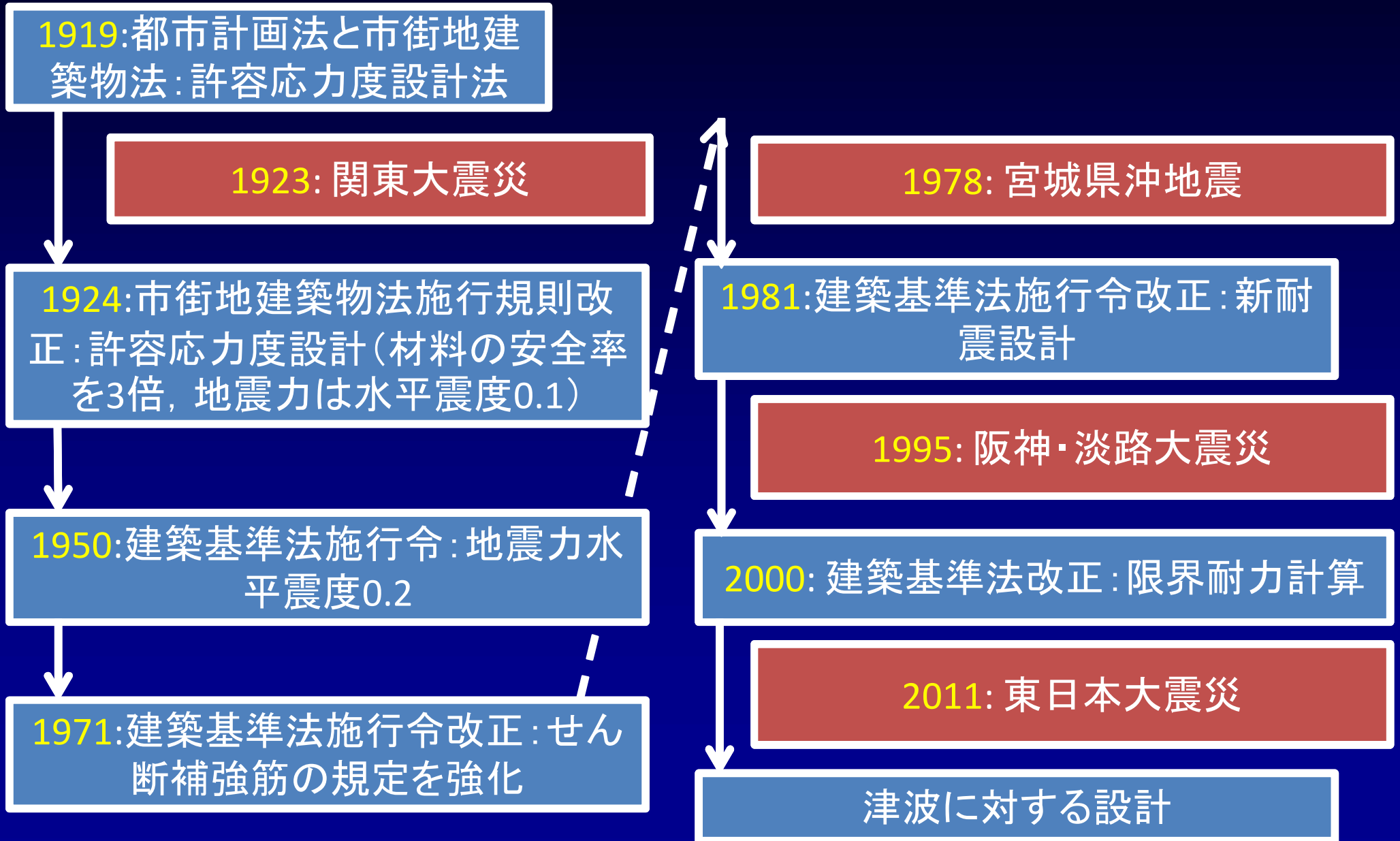
2011年東日本大震災



• 1995年阪神・淡路大震災からの教訓

- 建物の倒壊および火災を防ぐことにより人命を守ることができる
- 応答加速度あるいは応答変位を低減することにより、家具の転倒や非構造部材の脱落を防止し、人命を保護することができる -> 免震建築
- 家具や非構造部材は建物に緊結する

耐震設計基規準の変遷



現行耐震設計法

- 許容応力度等計算(新耐震)
 - (許容応力度設計+保有水平耐力)
 - 1981年施行
- 限界耐力計算
 - 2000年施行
- 時刻歴応答解析
 - 高さ60mを越える建物
 - 免震建物
- エネルギー法

新耐震設計：許容応力度等計算

- 1978年宮城県沖地震後，1981年施行
- **1次設計：中小地震に対する設計**
 - 中小地震：建物が供用期間中に数回遭遇
 - 線形弾性解析に基づく応力
 - 弾性応答し，損傷を受けない
- **2次設計：大地震に対する設計**
 - 大地震：建物が供用期間中に1回遭遇
 - 倒壊しないが，構造的・非構造的被害を受ける
 - 材料強度に基づく建物の強度
 - 崩壊形は問題としない

2次設計：大地震時の安全性

- 非線形解析に基づき各階の保有水平耐力を算定
- 保有水平耐力は下記の荷重組み合わせに基づく層せん断力を上まわる:

$$D+L+F_{es}E$$

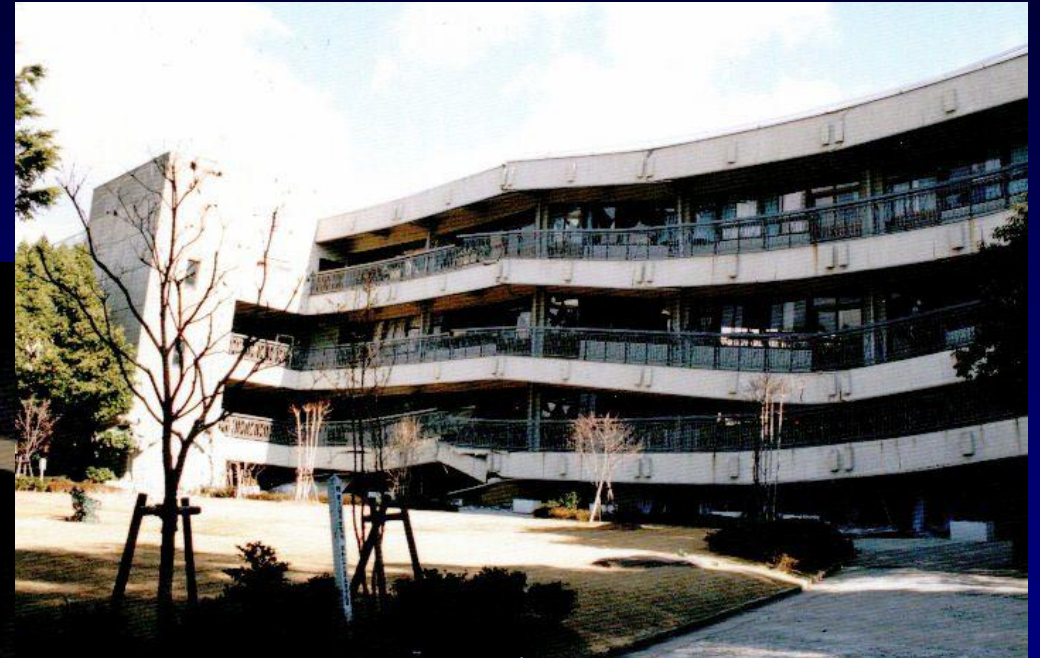
E : 層せん断力 Q_i に基づく地震荷重

$$F_{es} = F_e \times F_s$$

F_e : 偏心率 R_e により定まる係数

F_s : 剛性率 R_s により定まる係数

1995 阪神淡路大震災



層崩壊

橋脚の破壊

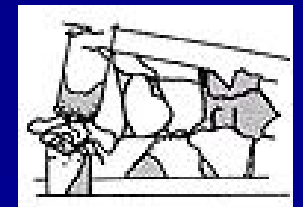
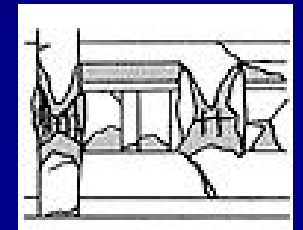
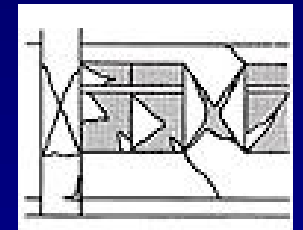
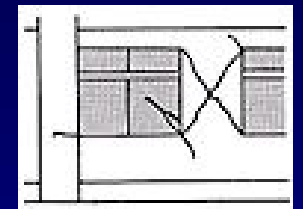
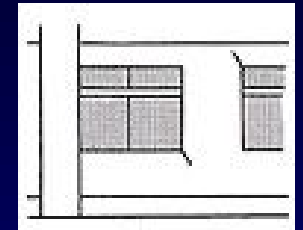
神戸市域におけるRC建物の悉皆調査

- 建築学会近畿支部が悉皆調査を実施
- 総調査建物数：3,911棟
- 調査地域：東灘区，灘区，中央区の一部
- 震度7の地域
- 1995年8月と9月に実施
- 外観調査

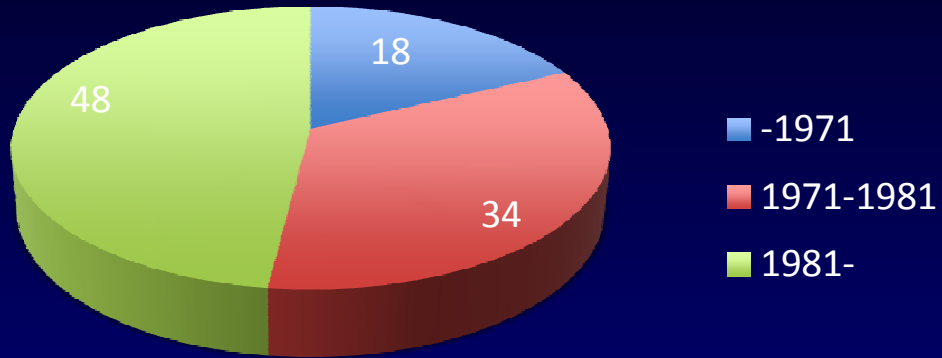
被害ランク

建築学会「1978年宮城県沖地震被害調査報告」

- 無被害
- 軽微
 - 柱・耐力壁・二次壁の損傷が軽微か、もしくは、ほとんど損傷がない
- 小破
 - 柱・耐力壁の損傷は軽微だが、RC二次壁・階段室のまわりにせん断ひびわれが見られる
- 中破
 - 柱に典型的なせん断ひびわれ・曲げひび割れ、耐力壁にひび割れが見られ、RC二次壁・非構造体に大きな損傷が見られる
- 大破
 - 柱のせん断ひび割れ・曲げひび割れによって鉄筋が座屈し、耐力壁に大きなせん断ひび割れが生じて耐力に著しい低下が認められる
- 倒壊
 - 柱・耐力壁が大きく破壊し、建物全体または建物の一部が崩壊に至る



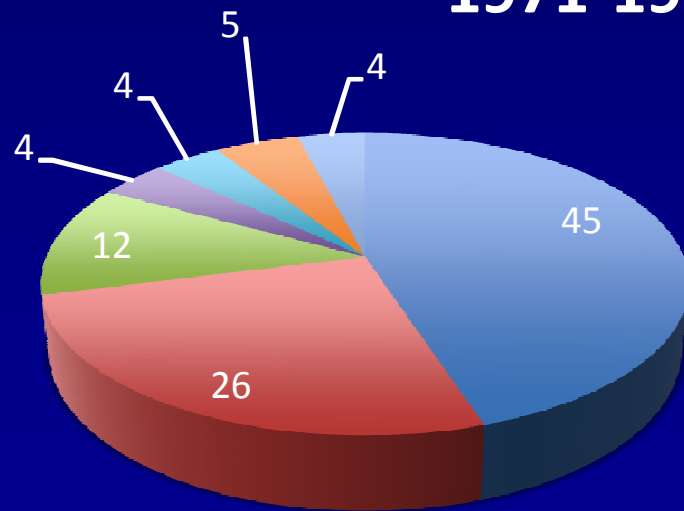
調查結果



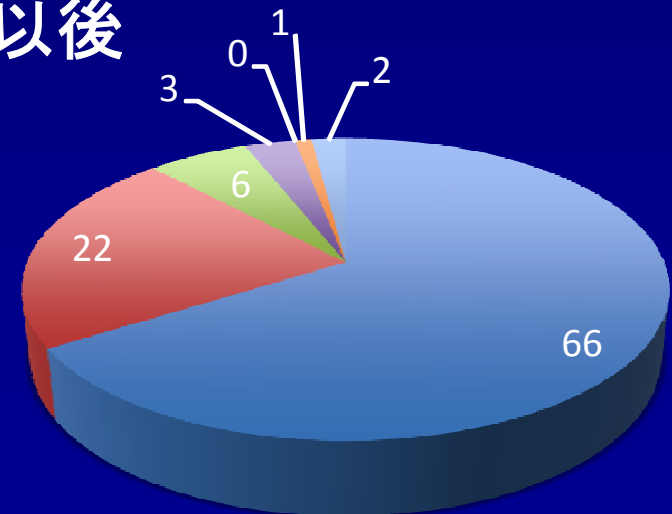
1971以前



1971-1981



1981以後



所有者と設計者のずれ：常時編

- **建物所有者**

「ひび割れは欠陥ではないか。ひび割れひとつあるのも許せない。電化製品にひび割れやキズがあれば交換してくれる」

- **構造設計者**

「鉄筋コンクリートというのは、ひび割れて当然の構造である。多少ひび割れても、耐力上、耐久性上問題が無ければいいはずだ」

所有者と設計者のずれ：地震時編

- **建物所有者**

「建築基準法さえ守っておけば、大地震時でも壊れないはずだ。」

- **構造設計者**

「大地震時に建物がある程度壊れるのは仕方がない。人命が守られればそれでよいはずだ。建築基準法をちゃんと守って設計している。壊れないようにしたければもっとお金をかけてほしい」

建築基準法

- 第一章総則 第一条(目的)
 - 「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、もって公共の福祉の増進に資することを目的とする」
- 「最低の基準」の意味と目的
- 本当に「最低の基準」なのか？
- 建築主はこれを理解しているか？

2011年東日本大震災

石巻市雄勝公民館



志津川病院(南三陸町)

建物被害概要

- 振動による被害

- 大きな被害もあったが地震動の大きさから予想されるほどの被害はなかった
- 新耐震設計以前の古い建物が被害を受けた
- 非構造部材の被害:天井, 雑壁など

- 津波による被害

- 木造住宅の多くが流された
- 鉄筋コンクリート造建物
 - 古い建物が転倒したり, 流されたりした
- 鉄骨造建物
 - ALC版による外壁が流される

- 地盤の液状化

耐震補強建物の津波被害



南三陸町

津波による木造住宅の被害

東松島市



石巻市

津波による鉄骨造建物の被害



女川町

地震動による建築物被害



須賀川市役所

プレストレストコンクリート造工場



建物概要

- 1960年代に設計・施工
- スパン方向: 14.55m + 14.55m + 6.975m
- 桁行き方向: 12 x 7.5m
- 2階建て(4m + 3.9m), 一部3階建て

柱の破壊



軸筋: 20-D25 (外柱), 22-D25 (内柱)
せん断補強筋: $\Phi 9\text{mm}$ @ 250mm (中央部)
 $\Phi 9\text{mm}$ @ 125mm (端部)

せん断補強筋詳細



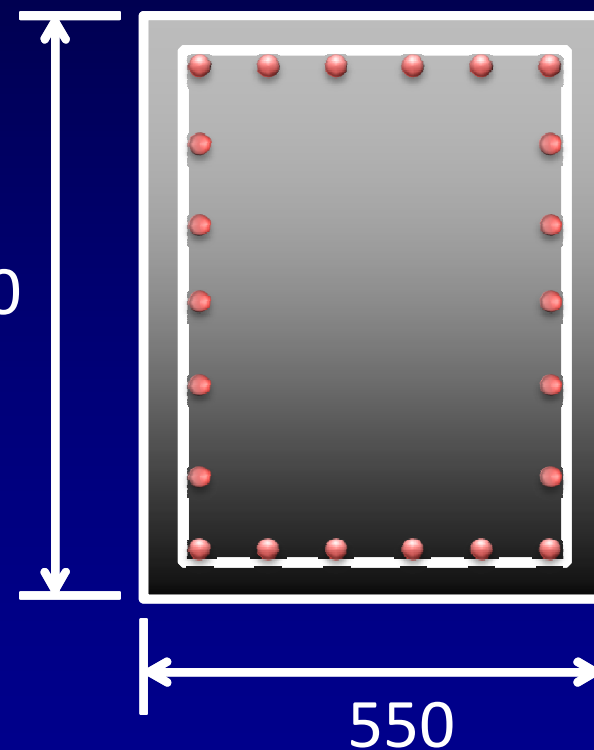
- 量が不足
- 90度フック
- 短い余長
- 外周筋のみ(中子筋なし)

プレストレストコンクリート建築物耐震設計の概要

- 1961年「プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説」が出版されて以来、終局強度設計を採用
 - 設計用応力は、線形弾性解析により算定
 - 荷重組合せ
 - $1.7(G+P)$ or $1.2G+2P$
 - $G+P+1.5K$ (K は標準せん断力係数0.2に相当)
 - 鉄筋コンクリート造建築物では許容応力度設計
- プレストレスが導入されない部材は、終局強度設計あるいは許容応力度設計のいずれかで設計
- 変形能力は十分にあると仮定。ただし、鋼材係数を0.3以下にすることを推奨

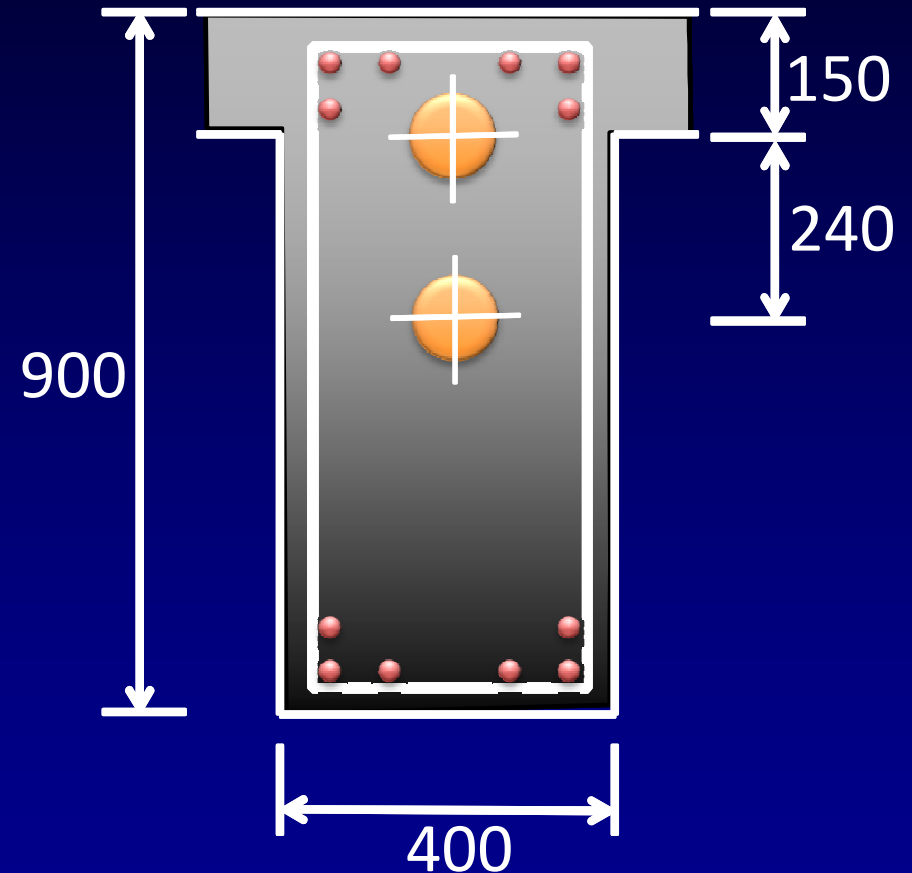
鉄筋コンクリート柱の強度と破壊形式

- 軸鉄筋: 22-D25 (SD345)
- せん断補強筋: $\Phi 9@125$ (SR295)
端部
 - $\Phi 9@250$ 中央部
- 曲げ強度: 1386.9 kNm
 - 両端曲げ強度時せん断力: 894.7 kN
- 曲げ降伏: 1227 kNm
 - 両端曲げ降伏時せん断力: 791 kN
- せん断強度: 511.2 kN
- 破壊形式: せん断



プレストレストコンクリート梁の強度と破壊形式

- **PC鋼材**: 2-(16-Φ8): $f_u=1550$ MPa, $f_y=1350$ MPa
- **上端筋**: 6-D25 (SD345)
- **下端筋**: 6-D25
- **せん断補強筋**: Φ9@200~300 (SR295)
- **曲げ強度**: +1283 kNm と -2010 kNm
- **曲げ降伏**: +1019 kNm (普通鉄筋) と -1719 kNm (PC鋼材と普通鉄筋)
- **破壊形式**: 柱せん断破壊先行



津波による建築物被害



南三陸町歌津



女川町

宮城県女川町



June 5, 2011

女川 魚市場





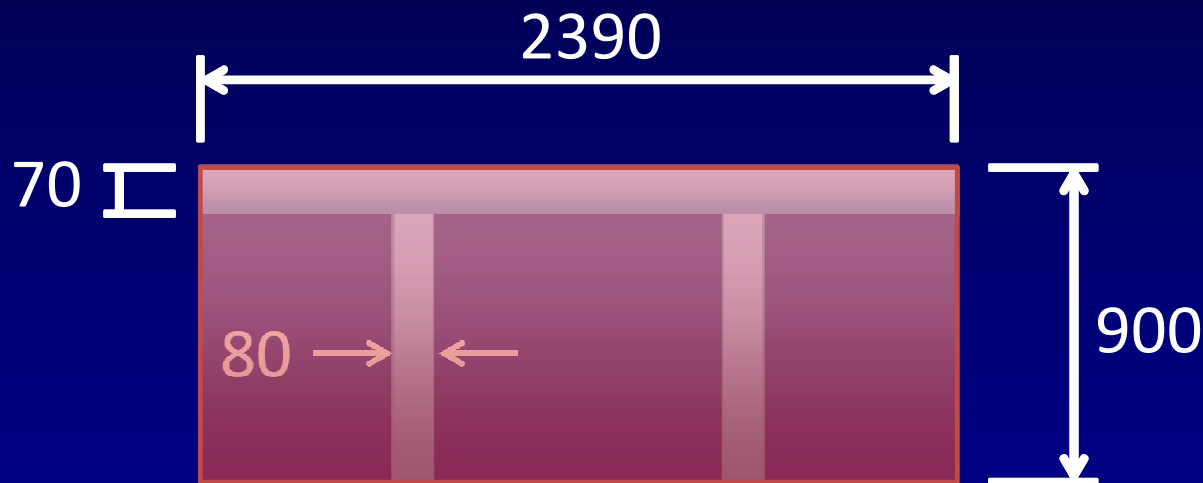
建物概要

- 2002年に設計・施工
- 桁行き方向 : 3 x 21.5m + 22m
- スパン方向
- 最高高さ: 11.45m
- プレストレストコンクリート梁
- 15枚のDT版を桁行き方向に架設
 - 幅: 2.39 ~ 1.93m
 - 長さ: 23.992 ~ 21.485m

DT版の重量と浮力

- 重量:

$$- 22 \times (70 \times 2390 + 830 \times (80 + 200) / 2) / 10^6 = 6.237 \text{ kN/m}$$



- 浮力: DT版下部に空気だまりが生じると仮定

$$- 10 \times 900 \times 2390 / 10^6 = 21.51 \text{ kN/m}$$

- 重量 \ll 浮力

DT版端部の塞ぎ板



シルバークール版を用いた隣接する旧魚市場



第2回 建築構造基準委員会

議事次第

中央合同庁舎3号館4階特別会議室

平成23年8月18日(木) 17:00~19:00

1 開会

2 議事

(1) 東日本大震災における建築物の被害を踏まえた安全性確保対策について

①津波による建築物被害を踏まえた対応について

②地震動による非構造部材の被害を踏まえた対応について

(2) その他(報告)

①地盤の液状化による被害を踏まえた対応について

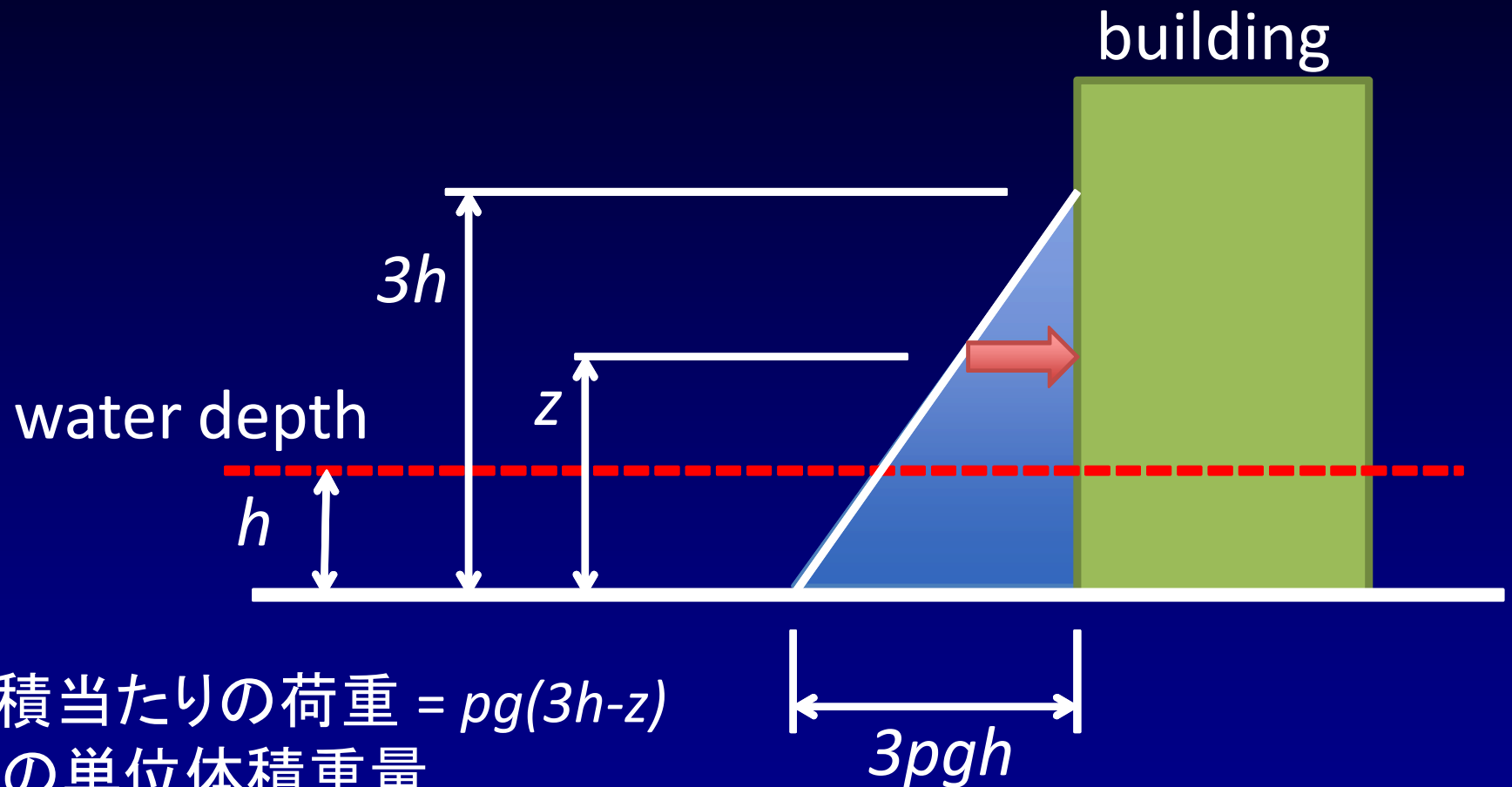
②免震構造の建築物の被害状況について

③WG等の設置状況について

- ・「長周期地震動対策検討WG」の設置状況について
- ・技術基準原来作成TGの設置状況について

3 閉会

津波による静的設計用荷重



単位面積当たりの荷重 = $pg(3h-z)$

- p : 水の単位体積重量
- g : 重力加速度
- h : 設計用水深
- z : 高さ

設計用水深 \approx 想定津波高さ

非構造部材の被害

- ガラスや天井の落下
- 雑壁のひび割れ
- 連結部

105











将来に向けて

現在検討中あるいは今後検討しなければならない課題

建築構造基準委員会

• 津波

- 予測浸水深と計測浸水深との関係
- 設計用津波荷重算定式
- 遮蔽物による低減効果
- 開口率の影響
- 転倒被害の要因
- 漂流物の影響

現在検討中あるいは今後検討しなければならない課題

建築構造基準委員会

- **非構造部材**の調査から対策等を考える上で着目すべき項目
 - 天井の形状：山形架構の屋根面に平行な天井
 - 天井の箇所：端部，段差部・折れ曲がり部，エキスパンションジョイント部
 - 下地の構成・配置：斜め部材の配置のバランスと量，接合部（金物，溶接）の外れ，ダクト等による吊りボルトの不足
 - 部材単体：クリップの外れ，ハンガーの開き

現在検討中あるいは今後検討しなければならない課題

建築構造基準委員会

• 液状化

– 液状化予測手法の妥当性

- 継続時間の長い地震動, 細粒分含有率の高い砂質土に対する適用性

– 液状化に関する情報表示

– 液状化対策技術

現在検討中あるいは今後検討しなければならない課題

建築構造基準委員会

• 免震建物

- エキスパンションジョイント部やクリアランス部における破損や脱落
- 鉛ダンパーの断面欠損(亀裂)の発生, 鋼材ダンパーの表面塗装のはがれや残留変形, 沿岸部での免震部材の取り付け部表面のさび, 免震層の津波による冠水の影響

• 長周期地震動

