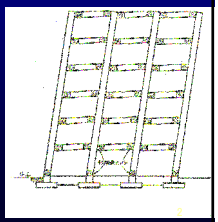
鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針・同解説(案)

Guidelines for Performance Evaluation of Earthquake Resistant Reinforced Concrete Buildings (Draft)

1

終局強度型耐震設計指針(1988)

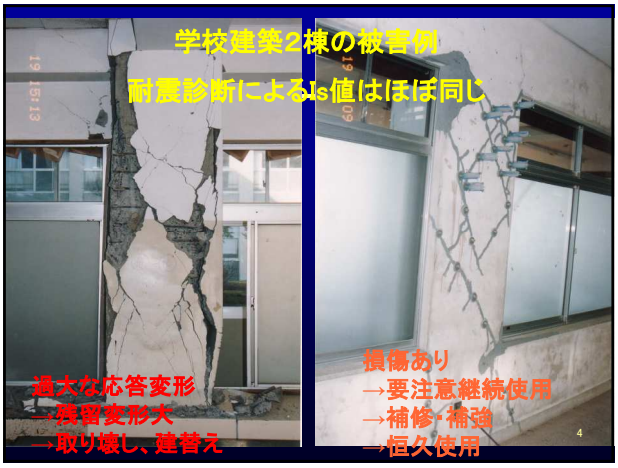
- 終局強度型の設計
- 曲げ降伏型全体降伏機構の保証
  - 上限強度、動的増幅係数、２方向地震力
- せん断設計のマクロモデル
  - ヒンジと非ヒンジの区別、靭性設計
- 柱梁接合部、非構造部材の設計法



兵庫県南部地震による被害の教訓

- 内陸直下型の地震動
- 人命安全性に想定すべき地震動レベル
- 機能維持または修復性の目標性能
- 施主・使用者への性能の表現
- 必要最小限以上の目標性能レベル
- 信頼性に基づく性能設計

3



4

靭性保証型耐震設計指針(1997)

- 設計法規定型 → 性能確認型
- 目標性能、変形による限界状態
  - 使用限界、設計限界、終局限界状態
  - 潜在ヒンジ領域
  - ２方向（斜め）地震力に対する設計
  - 非線形漸増解析
- 部材の性能評価
  - 等価軸力、副帯筋、付着、開口部材

5

耐震設計の目標性能

鉄筋コンクリート造建築物の靭性保証型耐震設計指針

評価項目	目標	限界状態	損傷レベル
使用性	機能維持	使用限界状態（弾性）	降伏しない ひび割れ
復旧可能性	財産保護	設計限界状態（損傷制御）	梁曲げ降伏 全体降伏機構
安全性	人命保護	終局限界状態（倒壊）	脆性破壊しない 軸力保持

6

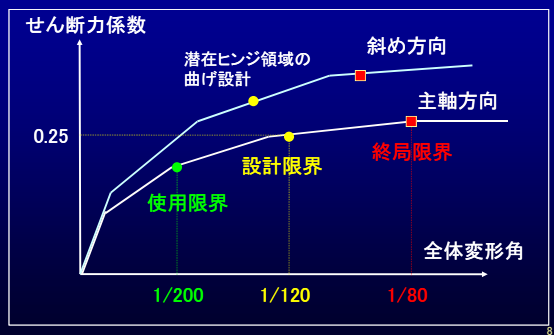
耐震性能の表現

地震（一般）	地震動（設計者）	限界状態（設計者）	損傷レベル（一般）
M6 20km 震度Ⅴ	15 kine 100gal	層間変形≦1/200 降伏しない	継続使用可 ひび割れ幅 被害軽微
M8 40km 震度Ⅵ	50 kine 300gal	全体≦1/100 曲げ降伏型全体 降伏機構	復旧可能 損傷制御 小破～中破
M7 直下 震度Ⅶ	70 kine 600gal	全体≦1/67 部材≦1/30 軸力保持	人命安全 倒壊しない

7

応答変形による限界状態の定義

『鉄筋コンクリート造建築物の靭性保証型耐震設計指針』



8

耐震性能評価指針の方針

- 性能確認型 → 性能評価型
- 施主に理解可能な性能表現
- 性能評価指標
  - どのくらいの地震動でどの程度の損傷になるか
- 基準地震動と地域地震動
- 弾塑性応答の評価
- 損傷指標と限界状態
- 確率表現

9

耐震設計の目標性能

『鉄筋コンクリート造建物の耐震性能評価指針（案）』

評価項目	限界状態	損傷度	挙動
使用性 機能維持	使用限界	損傷度Ⅰ	降伏しない 残留ひび割れ≦0.2mm
修復性 小修復	修復限界Ⅰ	損傷度Ⅱ	かぶり圧壊しない 残留ひび割れ≦1.0mm
修復性 修復可能	修復限界Ⅱ	損傷度Ⅲ	コア圧壊しない 残留ひび割れ≦2.0mm
安全性 人命保護	安全限界	損傷度Ⅳ	耐力低下しない 軸力保持

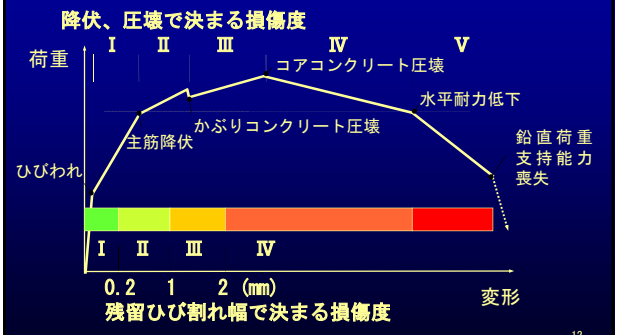
10

性能評価の手順

- 基準地震動の算定
- 建物の復元力特性の評価
  - 部材の限界状態と建物の限界変形
- 応答変形の推定
  - 等価線形化法etc
- 保有耐震性能指標の評価
  - 限界地震動／基準地震動
- 限界状態の超過確率の算定
  - 地域地震動(建設地の地震動)を考える

11

部材の損傷度と限界状態



12

耐震性能の評価指標

(1) 保有性能基本指標

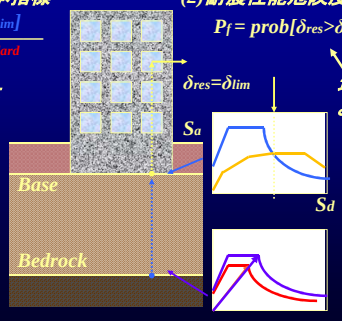
$$P_c = \frac{E\,[\delta_{res}=\delta_{lim}]}{E_{standard}}$$

基準地震動に対する比率

(2) 耐震性能危険度

$$P_f = prob[\delta_{res}>\delta_{lim}]$$

地域地震動による超過確率

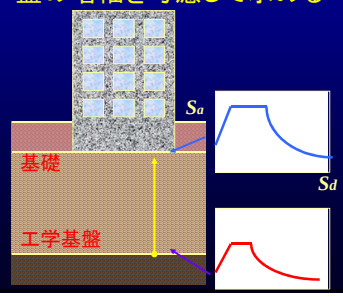


限界状態に達する地震動レベル

13

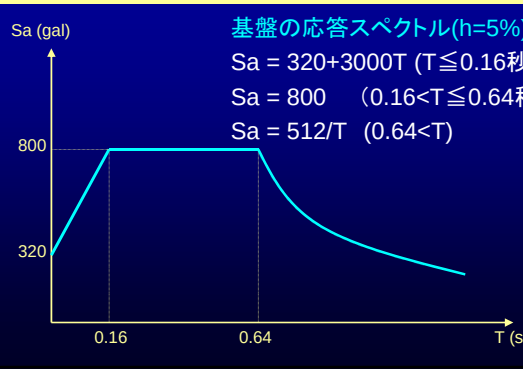
基準地震動

- 開放工学基盤の応答スペクトルに表層地盤の増幅を考慮して求める



14

工学基盤の応答スペクトル



基盤の応答スペクトル(h=5%)

Sa = 320+3000T (T≦0.16秒)

Sa = 800 (0.16<T≦0.64秒)

Sa = 512/T (0.64<T)

15

表層地盤の増幅特性の評価法

- 1次元成層モデルの等価線形地震応答解析
- 建設省告示（平成12年第1457号）の方法
  - 精算（等価線形モデルの収束計算）
  - 略算（地盤種別による増幅率Gs）
- この指針独自の方法
  - 最新の研究成果による方法

  ➔略算法と同程度の計算で、精算と同程度の精度

16

表層地盤の増幅率Gsの略算

第1種地盤

Gs = 1.5 (T≦0.576)

Gs = 0.864/T (0.576<T≦0.64)

Gs = 1.35 (0.64<T)

第2種、第3種地盤

Gs = 1.5 (T≦0.64)

Gs = 1.5T/0.64 (0.64<T≦Tu)

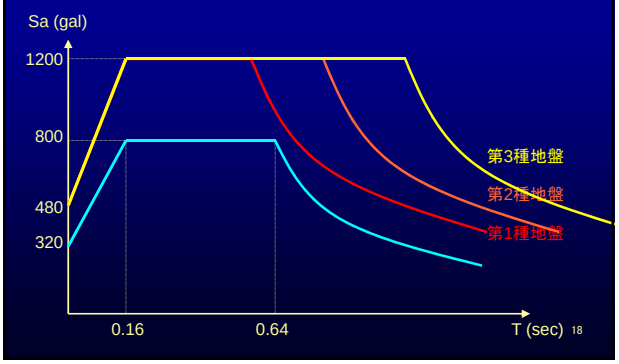
Gs = gv (Tu<T)

Tu = 0.64gv/1.5

gv = 2.025（第2種）、2.7（第3種）

17

基礎底の応答スペクトル



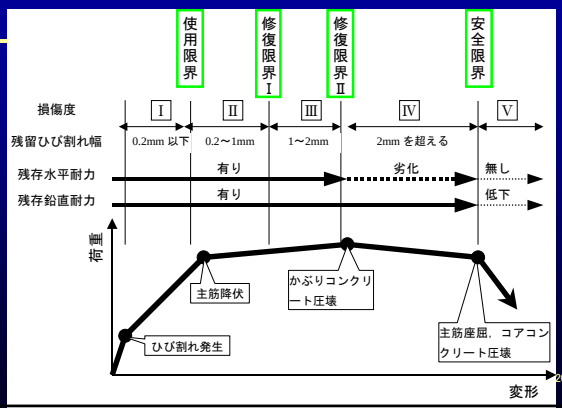
18

性能評価の手順

- 基準地震動の算定
- 建物の復元力特性の評価
  - 部材の限界状態と建物の限界変形
- 応答変形の推定
  - 等価線形化法etc
- 保有耐震性能指標の評価
  - 限界地震動／基準地震動
- 限界状態の超過確率の算定
  - 地域地震動（建設地の地震動）を考える

19

復元力特性と限界状態（損傷度）



20

部材の損傷度の判定　損傷度III

躯体のひび割れ幅は2mm程度

躯体コンクリートの剥落は少なく，鉄筋の変形もない

21

部材の損傷度の判定　損傷度III

コンクリートの剥落・圧壊はほとんど見られない

梁との境界部にひび割れが見られるが，鉄筋の変形は見られない

22

部材の損傷度の判定　損傷度IV

鉄筋は露出しているが，座屈や破断は見られない

23

部材の損傷度の判定　損傷度IV

一部縦筋の変形が見られるが，損傷は局所的

鉄筋の座屈や破断，高さ方向の変形は見られない

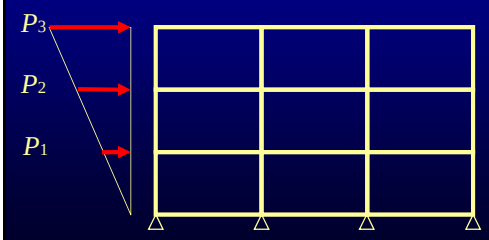
24

部材の損傷度の判定　損傷度V

25

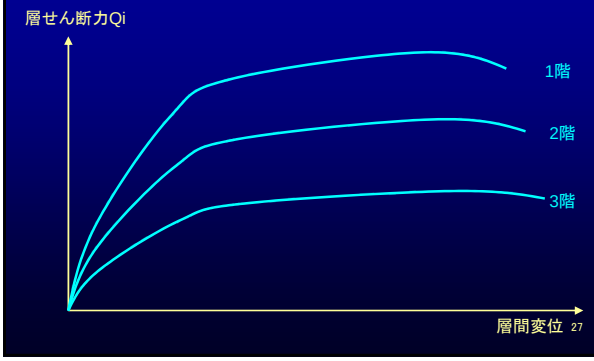
建物の限界変形

◆部材の復元力特性に基づいて、静的漸増載荷解析（Push-over解析）



26

各階の層せん断力ー層間変位関係



27

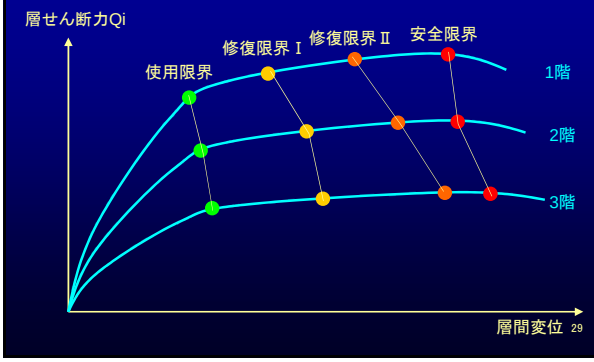
層の限界状態と損傷度ごとの部材の比率

層の限界状態	部材の損傷度 I	II	III	IV	（V）
使用限界	ー	0%			
修復限界I	ー	a(30)	b(20)	0%	
修復限界II	ー	ー	c(50)	0%	
安全限界	ー	ー	ー	ー	（0%）

設計者設定可

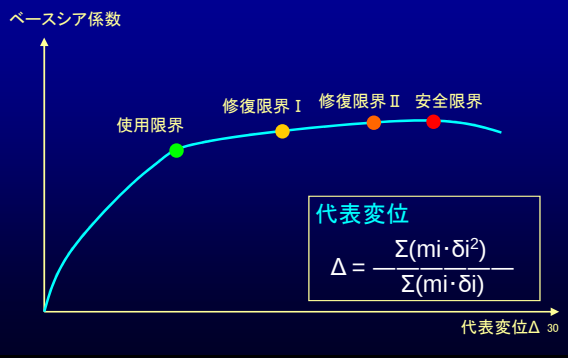
28

各階の層せん断力ー層間変位関係



29

等価1自由度系への縮約



30

性能評価の手順

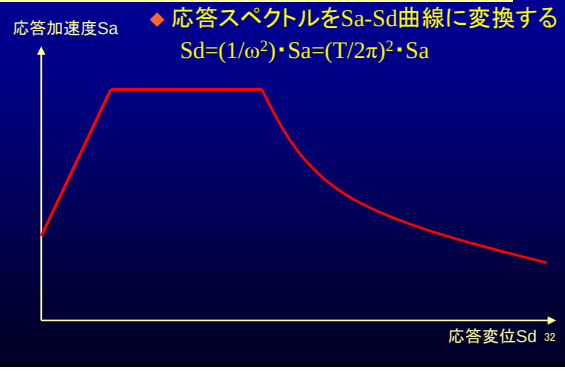
- 基準地震動の算定
- 建物の復元力特性の評価
  - 部材の限界状態と建物の限界変形
- 応答変形の推定
  - 等価線形化法etc
- 保有耐震性能指標の評価
  - 限界地震動／基準地震動
- 限界状態の超過確率の算定
  - 地域地震動（建設地の地震動）を考える

31

応答の推定

- 応答スペクトルをSa-Sd曲線に変換する

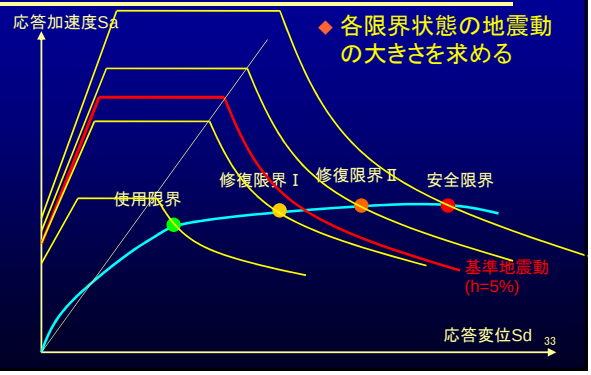
$Sd=(1/\omega^2)\cdot Sa=(T/2\pi)^2\cdot Sa$



32

Sa－Sd曲線

- 各限界状態の地震動の大きさを求める



33

限界地震動の評価

- 減衰による効果を考慮して限界地震動の大きさを評価する

建物の減衰による応答スペクトルの低減

$$F_h = \frac{1.5}{1+10h}$$

減衰定数h

$h = 0.05+0.25(1-1/\sqrt{\mu})$

μ：塑性率

34

性能評価の手順

- 基準地震動の算定
- 建物の復元力特性の評価
  - 部材の限界状態と建物の限界変形
- 応答変形の推定
  - 等価線形化法etc
- 保有耐震性能指標の評価
  - 限界地震動／基準地震動
- 限界状態の超過確率の算定
  - 地域地震動（建設地の地震動）を考える

35

建物の耐震性能は，原則として保有耐震性能指標によって確定的に表示する

$$\text{保有耐震性能指標} = \frac{\text{限界地震動の強さ}}{\text{基準地震動の強さ}}$$

- 限界地震動：建物の応答が4つの限界状態（使用，修復1，修復2，安全）に達するときの地震動
- 基準地震動：再現期間数百年の地震動。表層地盤による増幅特性を考慮（建築基準法施行令82条，ただしZ=1.0）

36