

## 鉄筋コンクリート造建物の 靱性保証型 耐震設計指針・同解説

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

1

## 日本の地震被害と耐震設計基準

- 1891 濃尾地震
- 1923 関東地震 M7.9 死者約14万人
- 1924 市街地建築物法改正
- 1933 「鉄筋コンクリート構造計算規準」  
(RC規準、日本建築学会)
- 1947 RC規準 → 許容応力度設計(長期・短期)
- 1948 福井地震 M7.3 死者3895人
- 1950 建築基準法・施行令制定
- 1964 新潟地震 M7.5 死者26人
- 1968 十勝沖地震 M7.9 死者52人  
RC造建物に被害, 柱のせん断破壊

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

2

## 日本の地震被害と耐震設計基準(2)

- 1971 基準法施行令改訂
  - せん断補強筋の規定の強化
- 1975 大分県中部地震 M6.4 死者なし
- 1977 既存建物の耐震診断基準・改修指針
- 1978 宮城県沖地震 M7.4 死者28人
- 1981 基準法施行令改訂
  - 耐震2次設計(保有水平耐力)
- 1983 日本海中部地震 M7.7 死者104人(津波)
- 1993 釧路沖地震 M7.8 死者2人
- 1993 北海道南西沖地震 M7.8 死者230人(津波)
- 1994 北海道東方沖地震 M8.1 死者なし
- 1994 三陸はるか沖地震 M7.5 死者3人

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

3

## 日本の地震被害と耐震設計基準(3)

- 1990 「鉄筋コンクリート造建物の  
終局強度型耐震設計指針」
- 1995 兵庫県南部地震 M7.2 死者5504人  
✓ 既存(不適格)建物に被害集中
- 1995 耐震改修促進法
  - 既存建物の耐震診断・補強
- 1997 「鉄筋コンクリート造建物の  
靱性保証型耐震設計指針」
- 1999 建築基準法改正
  - 性能規定化(新構造形式, 新材料に対応)
- 2004 「鉄筋コンクリート造建物の  
耐震性能評価指針」

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

4

## 終局強度指針(1990)の特徴

- 梁曲げ降伏先行型全体降伏機構
  - 保有水平耐力と靱性(変形性能)の確保
    - ✓ 靱性抵抗型の建物(Ds=0.25)
  - 設定した降伏機構/破壊モードを保証
- 塑性理論に基づくせん断強度評価
- 梁・柱の付着設計
- 柱・梁接合部の設計
- 高軸力に対応した配筋詳細

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

5

## 靱性保証型指針(1997)の特徴

- 終局強度型指針の特徴に加えて
- 目標耐震性能(限界状態)を明示
  - 性能確認型の設計
  - 2方向地震動に対する設計
  - 最新の研究成果を強度式に反映
- 適用範囲:
- 整形なフレーム/壁フレーム構造で
  - 大地震時に全体降伏機構を形成し
  - 強度と塑性変形能力を保証する設計法

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

6

## 目次

- 1章 総則
- 2章 材料
- 3章 構造計画
- 4章 設計方法
- 5章 曲げ設計
- 6,7章 せん断設計
- 8章 柱梁接合部
- 9章 地下階／基礎
- 10章 配筋設計
- 11章 非構造部材

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

7

## 構造計画

- 降伏機構：明快な全体降伏機構
- 部材の計画：
  - 降伏ヒンジ領域
  - 潜在ヒンジ領域（終局限界時には降伏）
  - 非ヒンジ領域
- 平面／立面
  - 振れ変形、特定層への変形の集中 ×

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

8

## 層崩壊した地震被害例



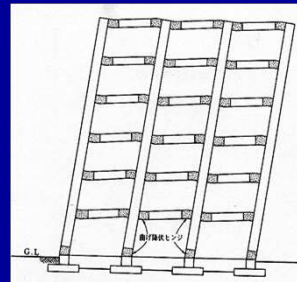
2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

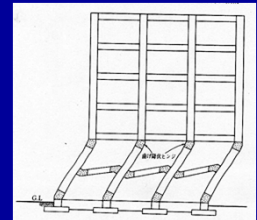
9

## フレーム構造の降伏機構

- 梁降伏型全体降伏機構



- × 層降伏機構



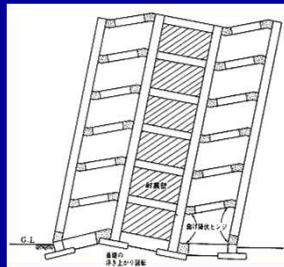
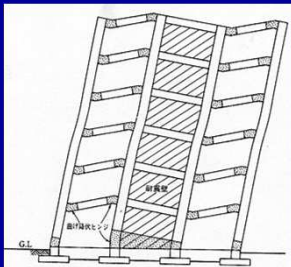
2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

10

## 壁フレーム構造の降伏機構

- 壁脚降伏型
- 基礎回転型



2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

11

## 設計方法

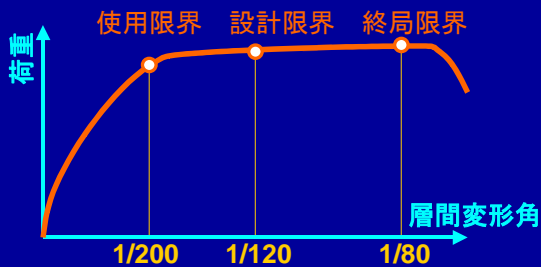
- 荷重 ↔ 目標性能（限界状態）
  - 使用性 → 使用限界状態
  - 復旧可能性 → 設計（損傷制御）限界状態
  - 安全性 → 終局（倒壊）限界状態

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

12

## 各限界状態のイメージ



2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

13

## 使用限界状態

- 荷重:
  - 鉛直荷重(長期荷重)
  - 数十年に一度の中小地震(短期荷重)
    - ✓ 地動加速度80~100gal、 $C_0=0.2$ 程度
    - ✓ 50年の超過確率60%程度
- 建物の性能:
  - 地震後に継続使用可能(無被害/軽微)

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

14

## 使用限界状態の確認

- 応答はほぼ弾性範囲内(降伏しない)
  - 設計用応力に対して
    - 曲げ信頼強度
      - 残留変形, 残留曲げひび割れの防止
    - せん断ひび割れ強度
      - 過大なせん断ひび割れの防止
    - 変形角  $< 1/200$ 
      - 過大な変形の防止

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

15

## 設計限界状態

- 荷重:
  - 数百年に一度の大地震(保有水平耐力)
    - ✓ 地動加速度300~500gal, 弾性応答 $C_0=1.0$ 程度
    - 保有水平耐力 $C_0=0.25$ (フレーム),  $0.30$ (壁)
    - ✓ 50年の超過確率20%程度
- 建物の性能:
  - 経済的に許容できる範囲で、  
修復可能(小破/中破)

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

16

## 設計限界状態の確認

- 塑性変形(曲げ降伏)は許容
- 設定した降伏機構を保証
  - ヒンジ領域以外の曲げ降伏 ×
  - 変形能力の確保
    - せん断/付着破壊の防止
- 応答は設計限界変形以下
  - 変形角  $< 1/120$ (フレーム)
  - $1/150$ (壁フレーム)

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

17

## 降伏機構の保証

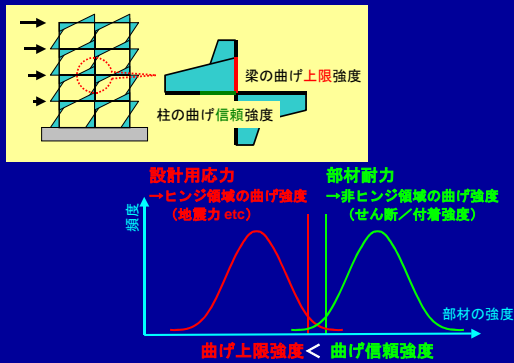
- 以下の要因を考慮して、非ヒンジ領域(柱)の設計用応力を割増
- 部材強度のばらつき
    - 上限強度と信頼強度
  - 2方向地震動
    - 柱には2方向の梁の曲げが作用
  - 動的効果
    - 静的地震力を割増

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

19

## 信頼強度と上限強度



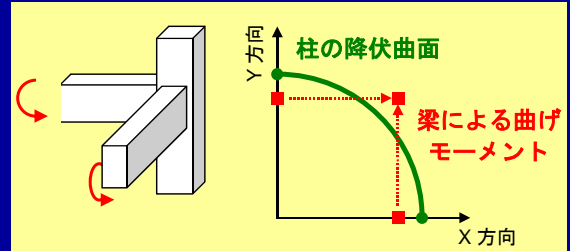
2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

20

## 2方向地震動による柱の曲げ応力

- 1方向のみ考えると **柱 > 梁**
- 2方向を考えると **柱 < 梁**



2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

21

## 終局限界状態

- 荷重:
  - 千年以上に一度の直下型極大地震
  - ✓ 50年の超過確率3-5%程度
- 建物の性能:
  - 人命保護
  - 鉛直荷重は保持し倒壊はしない(大破)

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

22

## 終局限界状態の確認

- 降伏ヒンジの変形能力の確保
  - > 1/50 (梁), 1/67 (柱), 1/75 (耐震壁), etc
- 部材の脆性破壊防止, 鉛直支持力の確保
- 層降伏機構の防止
  - 潜在ヒンジ柱の降伏は許容
- 応答は終局限界変形以下
  - 変形角 < 1/80 (フレーム), 1/100 (壁フレーム)

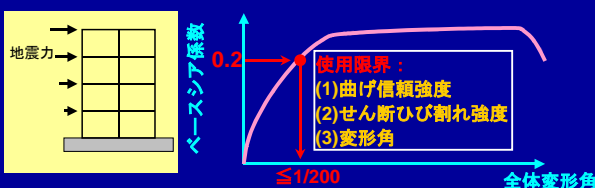
2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

23

## 設計の流れ

- 予備設計(断面・配筋の設定)
- 静的非線形(Push-over)解析
- 使用限界状態の確認



2017/5/21

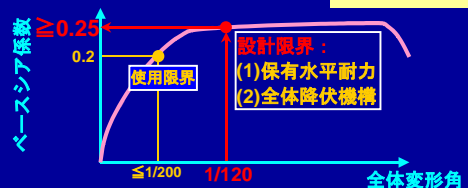
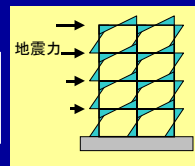
靱性保証型耐震設計指針

24

## 設計の流れ(2)

- 設計限界状態の確認

非ヒンジの曲げ信頼強度  
 $\geq$  割増した設計用応力



2017/5/21

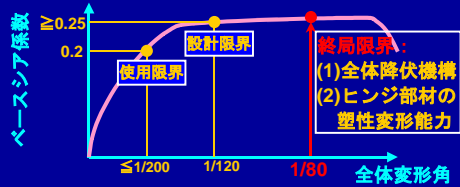
靱性保証型耐震設計指針

25

## 設計の流れ(3)

### ■終局限界状態の確認

- 層降伏機構が生じない  
潜在ヒンジ柱のせん断力負担率の制限
- ヒンジ部材のせん断/付着設計



2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

26

## 柱/梁のせん断/付着設計

### ■使用限界状態

- せん断ひび割れ強度

### ■終局限界状態

- せん断破壊の防止
- 付着割裂破壊の防止
- 塑性変形能力の確保

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

29

## せん断ひび割れ強度

### ■主応力度式

$$V_c = \phi \kappa \left( \sqrt{\sigma_T^2 + \sigma_T \cdot \sigma_0} \right) bD$$

$\phi$ : 耐力係数

$\kappa$ : 形状係数

$\sigma_T$ : コンクリート引張強度

$\sigma_0$ : 軸応力度

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

30

## せん断破壊



2017/5/21

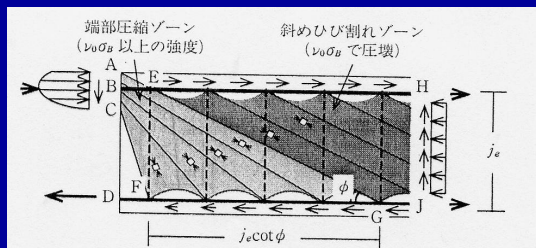
靱性保証型耐震設計指針

31

## せん断強度式

### 塑性理論に基づく評価式

#### ■トラス機構



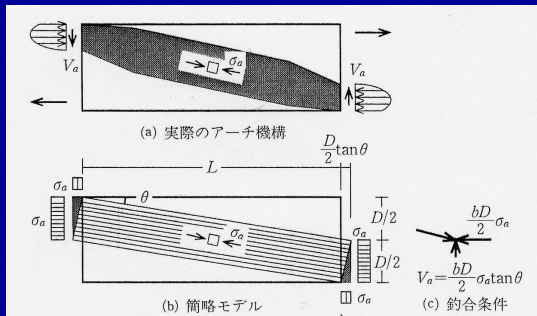
2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

32

## せん断強度式(2)

#### ■アーチ機構



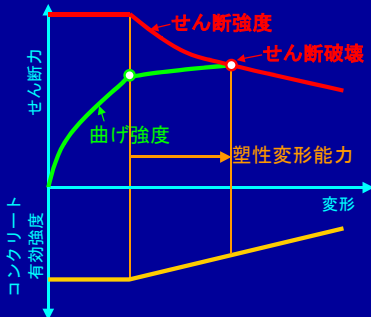
2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

33

## せん断強度式(4)

### ■塑性変形能力の評価



2017/5/21

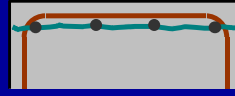
靱性保証型耐震設計指針

35

## 付着割裂破壊

### ■付着割裂強度

- 主筋間のあき
- かぶり厚さ
- 横補強筋の量



サイドスプリット型  
付着割裂破壊



2017/5/21

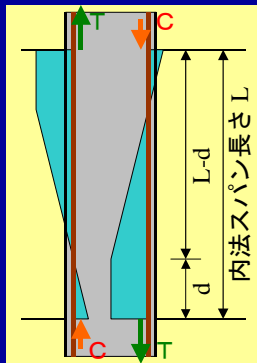
靱性保証型耐震設計指針

36

## 柱／梁の主筋の付着の設計

### ■付着が劣化すると

- 主筋の抜け出し
  - 圧縮主筋の応力低下
- ↓
- 曲げ／せん断耐力, 変形性能の低下
  - スリップ性状



2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

37

## 柱梁接合部の設計

### ■設計の目標:

- 終局限界状態まで
- 破壊, 剛性低下, スリップ性状しない

### ■確認項目:

- 接合部せん断強度
- 通し配筋される主筋の付着
- 折曲げ定着される主筋の定着

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

40

## 接合部の被害例

### ■Northridge地震 (1994, 米国)



2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

41

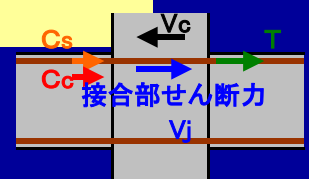
## 接合部せん断強度

$$V_{ju} = \kappa \phi F_j b_j D_j$$

$\kappa$ : 形状係数 (十字型1.0, ト型・T型0.7, L型0.4)

$\phi$ : 耐力係数 (両側直交梁付1.0, その他0.85)

$$F_j = 0.8 \times \sigma_B^{0.7} (N/mm^2)$$



$$V_j = T + C_s + C_c - V_c$$

2017/5/21

靱性保証型耐震設計指針

42