

構造性能制御学 ガイダンス

前田 匡樹

はじめに (1)

■ 建築構造設計の目的

- 建築基準法第20条では
「建築物は、自重、積載荷重、積雪、風圧、土圧及び水圧並びに地震その他の震動及び衝撃に対して**安全な構造**でなければならない」
- 安全であるだけ十分か？
地震に対して壊れなかった(安全)が、補修できなかった
長期荷重で変形して、使用性に支障が生じた
→ 建築構造に対する要求性能は、社会の高度化とともに多様化してきている

2018/4/9

構造性能制御学

2

はじめに (2)

■ 建築構造に対する要求性能

- 使用性・・・建物の機能が健全に維持される
- 修復性・・・損傷が生じても(経済的に妥当な範囲で)修復できる
- 安全性・・・人命(や財産)が守られる

■ サステナブルな建築構造

限りある資源の有効活用
環境負荷の低減...

2018/4/9

構造性能制御学

3

講義の目的

- この講義では、
建築構造に対する各種の要求性能を満たした
サステナブルな建築構造を設計するための
 - 構造設計法
 - 構造性能評価法
 - 信頼性理論やリスク評価
の考え方について論じる

2018/4/9

構造性能制御学

4

講義の内容

- 現行の耐震設計基準
 - 許容応力度設計と終局強度設計
- 既存建築物の耐震診断・耐震改修
 - 耐震診断法
 - 耐震改修工法と事例
- 新しい耐震設計法・性能評価法
 - 靱性保証型耐震設計指針
 - 耐震性能評価指針
- 信頼性解析とリスク評価
 - 確率論による信頼性解析の基礎
 - 地震危険度と建物被害予測
 - 地震リスクマネジメントの考え方

2018/4/9

構造性能制御学

5

序論(今日の内容)

1. 過去の地震による
**RC造建築物の被害と
耐震設計基準の歴史**
2. 事前対策
耐震診断と耐震改修の概要

2018/4/9

構造性能制御学

6

1. 過去の地震における RC造建築物の被害と 耐震設計基準の歴史

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
- 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
- 1971 基準法施行令改訂
 - せん断補強筋の規定の強化

2018/4/9

構造性能制御学

8

日本の地震被害と耐震設計基準 (2)

- 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・補強指針
- 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
- 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

2018/4/9

構造性能制御学

9

日本の地震被害と耐震設計基準 (3)

- 1995 兵庫県南部地震 M7.2 死者6000人以上
✓ 既存(不適格)建物に被害集中
- 1995 耐震改修促進法
 - 既存建物の耐震補強
- 1997 靱性保証型耐震設計指針(AIJ)
- 1999 建築基準法改訂
 - 性能規定化(新構造形式, 新材料に対応)
- 2004 RC造建物の耐震性能評価指針(AIJ)
- 2004 新潟中越地震 M6.8 死者68人
- 2008 岩手・宮城内陸地震 M7.2 死者17人
- 2011 東日本大震災 M9.0 死者・不明約2万人

2018/4/9

構造性能制御学

10

RC建物の地震被害



函館大学
(1968十勝沖地震)

2018/4/9

構造性能制御学

11

RC建物の地震被害



オビサンプル(1978宮城県沖地震)

2018/4/9

構造性能制御学

12

RC建物の地震被害



まるはビル(1978宮城県沖地震)

2018/4/9

構造性能制御学

13

RC建物の地震被害



倒壊したRC建物
(1995兵庫県南部地震)

2018/4/9

構造性能制御学

14

RC建物の地震被害



層崩壊
(1995兵庫県南部地震)

2018/4/9

構造性能制御学

15

RC建物の地震被害



ピロティ部の層崩壊
(1995兵庫県南部地震)



2018/4/9

構造性能制御学

16

RC建物の地震被害



柱のせん断破壊 (1995兵庫県南部地震)

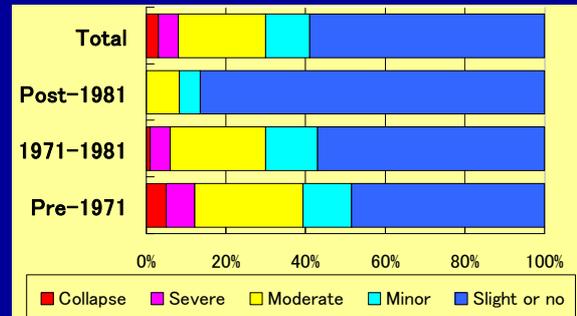
2018/4/9

構造性能制御学

17

被害統計(兵庫県南部地震)

RC造学校建築 631棟

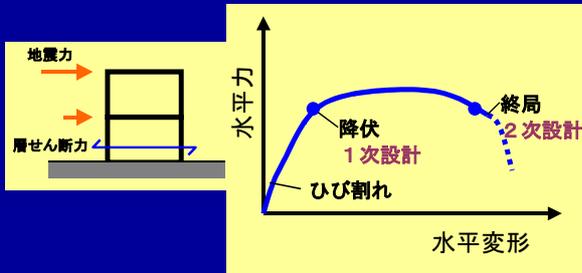


2018/4/9

構造性能制御学

18

建築基準法の耐震設計 (1)



2018/4/9

構造性能制御学

19

建築基準法の耐震設計 (2)

■ 許容応力度設計(1次設計)

$$\begin{aligned} \text{設計用地震力} &= \text{建物質量} \times \text{応答加速度} \\ &= m \times 0.2g \\ &= 0.2W \quad (W: \text{建物重量}) \end{aligned}$$

設計の目標:

中小地震で、大きな損傷を生じさせない
(使用性, 修復性)

2018/4/9

構造性能制御学

20

建築基準法の耐震設計 (3)

■ 保有水平耐力の確認

(2次設計, 1981~)

設計用地震力 = $1.0W \times \text{構造特性係数 } D_s$

RC造: $D_s = 0.3 \sim 0.55$

↑
塑性変形能力の程度に応じて

設計の目標:

大地震で、建物が倒壊しない(安全性)

2018/4/9

構造性能制御学

21

2011年 東日本大震災



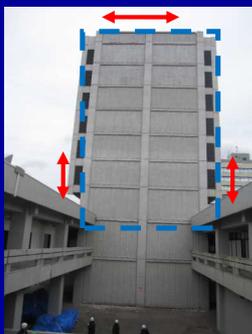
地震動で大破した建物(七ヶ浜町S中学校)
耐力壁のせん断破壊

2018/4/9

構造性能制御学

22

2011年 東日本大震災



地震動で大破した建物
(東北大学人間環境系研究棟)

- 1~2階と比較して、3階以上(特に3階)で被害が大きい
- 3階柱脚でコンクリート圧壊、鉄筋・鉄骨の露出・座屈
- 3階から上の耐力壁が南北方向に大きく変形

2018/4/9

構造性能制御学

23

2011年 東日本大震災

東北大学人間環境系研究棟 3階の柱脚の被害状況



3階スラブ位置で切れ目

3階より上層の変形により、大きな変動軸力が作用した

2018/4/9

構造性能制御学

24

2011年 東日本大震災

東北大学電子情報研究棟 ペントハウスの被害状況



壁、柱が激しく崩壊

2018/4/9

構造性能制御学

25

2011年 東日本大震災

非構造部材の被害 (仙台市営住宅)

- 1979年建設
- SRC造11階建
- 耐震診断の結果OK



2018/4/9

構造性能制御学

26

2011年 東日本大震災

基礎構造の被害(大崎市F中学校)

60~70cm沈下、南へ1/25傾斜
20cm沈下、1/200傾斜



構造性能制御学

27

2011年 東日本大震災

津波による被害(気仙沼市K高校)



3階まで冠水



教室内の瓦礫

2018/4/9

構造性能制御学

28

2011年 東日本大震災

津波による被害(石巻市大川小学校)



津波により片持ち柱形式の渡り廊下が倒壊



2階床スラブが上に持ち上がり、小梁から引き剥がされ、湾曲。

2018/4/9

構造性能制御学

29

2011年 東日本大震災

津波による被害(女川町の建物)

女川町の中心部



転倒した建物

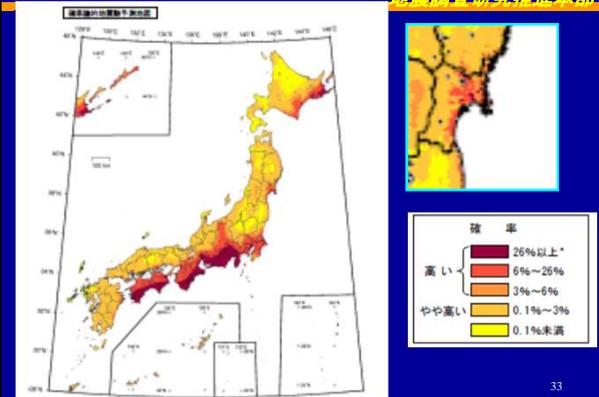
2018/4/9

構造性能制御学

30

2. 建物の耐震性能と被害

今後30年以内に震度6弱以上のゆれに見舞われる確率
地震調査研究推進本部



耐震診断とは？

- 1981年以前の建物
 - 0.2Wの地震力 → 大きな損傷が生じない
 - それより大きな地震では？
- 1981年以後の建物
 - 0.2Wの地震力 → 大きな損傷が生じない
 - 1.0Wの地震力 → 倒壊しない
 - それより大きな地震では？
 建物の耐震性能はばらついている
- 各建物の耐震性能を調べる → 耐震診断

2018/4/9

構造性能制御学

34

耐震改修促進法

- 1981年以前の既存不適格建物の耐震診断・改修の促進
 - ただし法的な強制力はない
 - ある一定規模以上の学校、病院、劇場、百貨店、ホテル、市場などを対象
 - 目標は現行基準以上の耐震性能の確保
- 国土交通省告示
耐震診断基準の手法による

2018/4/9

構造性能制御学

35

構造耐震指標 I_s 値

- $I_s = E_0 \times S_D \times T$
 - E_0 : 保有性能基本指標
= C(強度) × F(変形)
 - S_D : 形状指標
← 平面、立面の不整形性
 - T : 経年指標
← 経年劣化

2018/4/9

構造性能制御学

36

保有性能基本指標 E_0

- $E_0 = \phi \times C \times F$
= 水平力 × 変形
- ϕ : 振動モードの補正係数
- C : 強度指標
= 保有水平耐力 / 建物重量 W
(せん断力係数)
- F : 靱性指標

2018/4/9

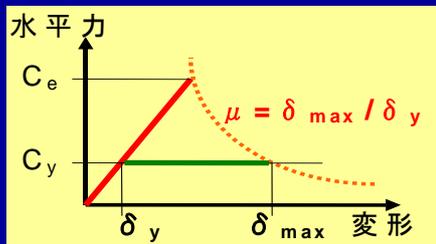
構造性能制御学

37

耐震診断の特徴

■ 建物の耐震性能を

- 強度と変形能の指標で表現
- 点数で表現される

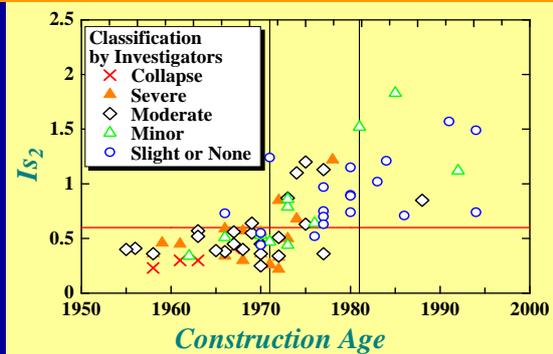


2018/4/9

構造性能制御学

38

2次診断によるIsと建設年代

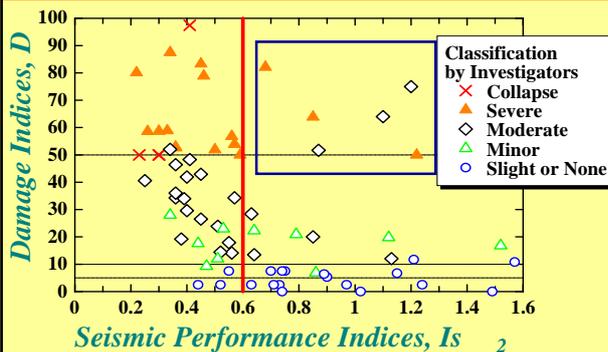


2018/4/9

構造性能制御学

39

2次診断によるIsと被害



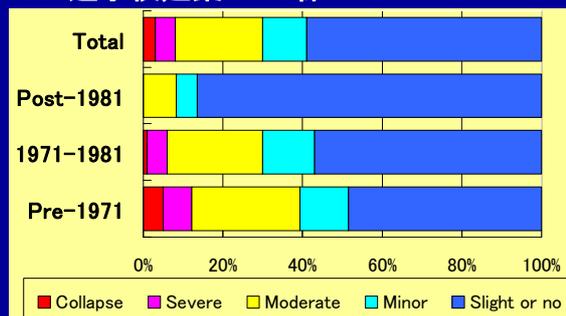
2018/4/9

構造性能制御学

40

被害統計(兵庫県南部地震)

■ RC造学校建築 631棟



2018/4/9

構造性能制御学

41

耐震性の判定

$$I_s \geq I_{s0}$$

$$C_T \cdot S_D \geq 0.3$$

判定指標値 $I_{s0} = E_s \cdot Z \cdot G \cdot U$

$E_s = 0.8$ (第1次), 0.6 (第2次)

Z: 地域指標 (0.7 - 1.0)

G: 地盤指標 (1.0, 1.25)

U: 用途指標 (重要度指標 1.0, 1.1, 1.2)

累積強度指標

$$C_T = (n+1) / (n+i) \cdot (C_1 + \alpha_2 C_2 + \alpha_3 C_3)$$

2018/4/9

構造性能制御学

42

Is値と新築建物の耐震規準の比較

■ 必要保有水平耐力(新築建物)

$$Q_{un} = D_s \cdot F_{es} \cdot A_i \cdot Z \cdot R_t \cdot C_0 \cdot \Sigma W$$

変形すると

$$C_0 = \frac{1}{A_i} \times \frac{Q_{un}}{\Sigma W} \times \frac{1}{D_s} \times \frac{1}{F_{es}} \times \frac{1}{Z \cdot R_t}$$

振動モード

靱性

せん断力係数

形状の補正

$$I_s = \phi \times C \times F \times S_D \times T$$

2018/4/9

構造性能制御学

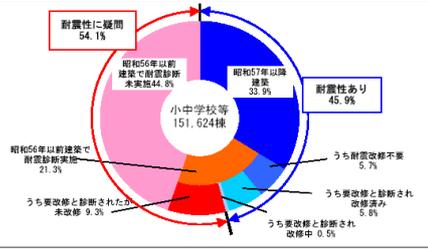
43

耐震改修の進捗状況

■小中学校等の耐震化

内閣府調査(2003/01/15)

・本調査において回答のあった小中学校等50,931施設(151,624棟)における耐震化率は約48%。



2018/4/9

構造性能制御学

44

