

27-1 長周期地震動に対する  
鉄筋コンクリート造建築物の  
安全性検証方法に関する検討

平成25年4月15日

株式会社大林組

鹿島建設株式会社

株式会社小堀鐸二研究所

清水建設株式会社

大成建設株式会社

株式会社竹中工務店

# はじめに (1)

## 【研究目的と項目】

長周期地震動に対する超高層鉄筋コンクリート造建物の安全性検証における、モデル化手法の妥当性を実験的・解析的に検討する。

### (イ) 構造実験

縮小20層RC造建物試験体の震動実験

### (ロ) 応答評価

震動実験試験体の応答解析

### (ハ) 建物地震観測

観測および観測記録の分析・検討

## はじめに (2)

### 【研究体制】

#### RC建物長周期検討委員会

事業者

大林組  
鹿島建設  
小堀鐸研  
清水建設  
大成建設  
竹中工務店

建築研究所

共同研究

委員長 塩原等(東京大学)  
委員 壁谷澤寿海(東京大学)  
楠浩一(横浜国立大学)  
倉本洋(大阪大学)  
河野進(東京工業大学)  
齐藤大樹(豊橋技科大学)  
真田靖士(大阪大学)  
田才晃(横浜国立大学)  
勅使川原正臣(名古屋大学)  
西山峰広(京都大学)  
前田匡樹(東北大学)

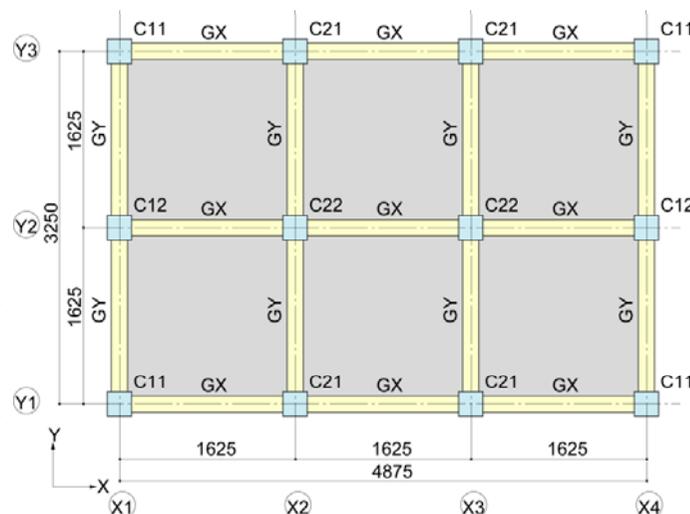
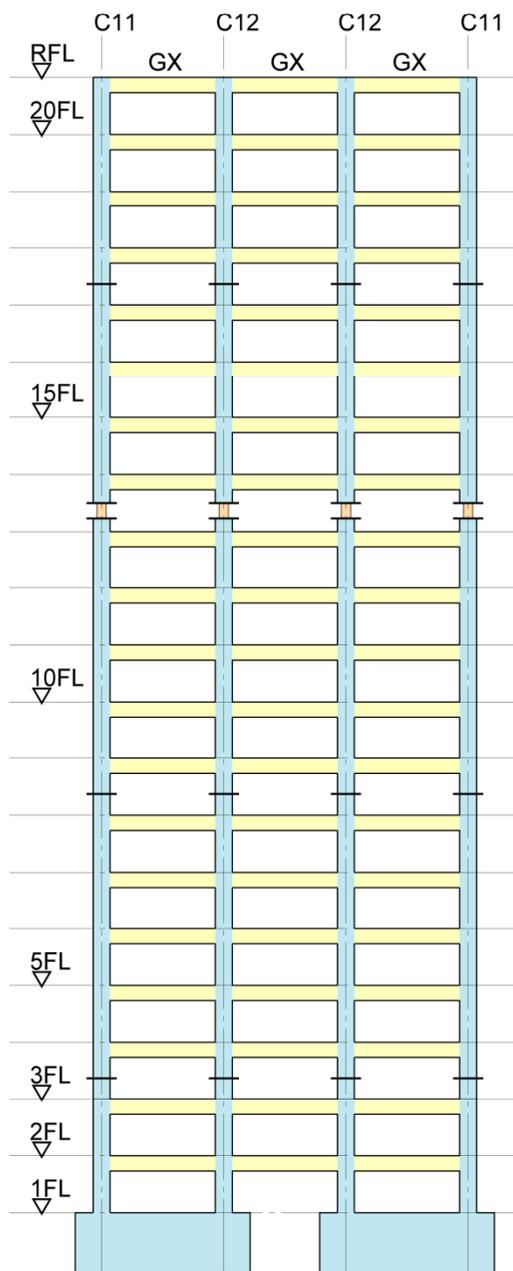
(敬称略・五十音順)

# 報告内容

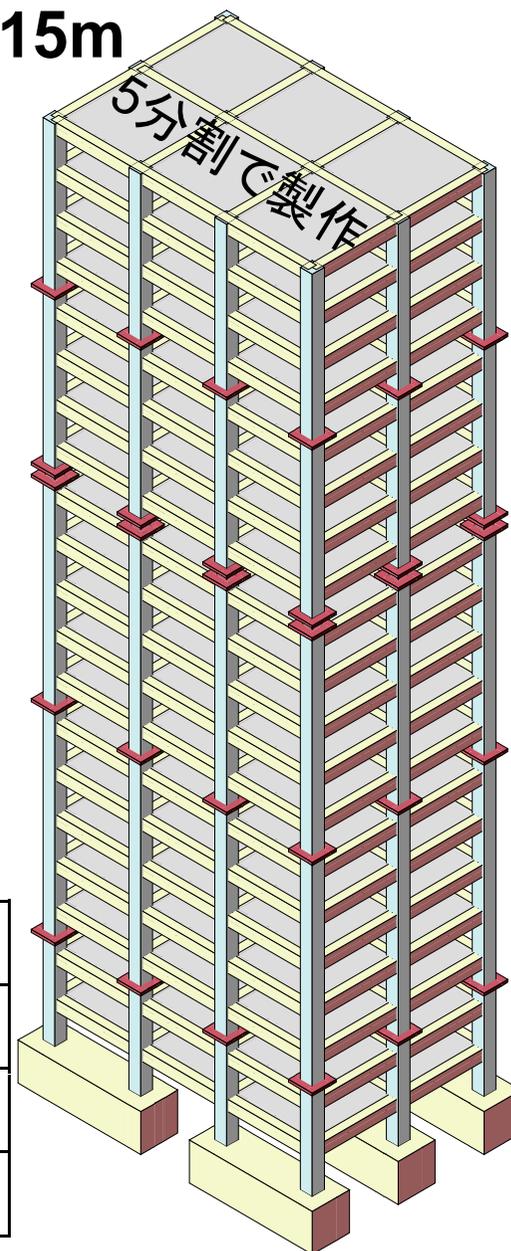
## 【報告書該当部分】

1. 20層試験体の震動実験 **【第2章】**
2. 震動実験試験体の解析 **【第3章】**
3. 地震観測結果の分析 **【第4, 5章】**
4. 超高層RC造建物の性能評価 **【第6章】**
5. まとめ **【第7章】**

# 1. 縮小20層RC建物試験体の震動実験 【2章】



全高15m

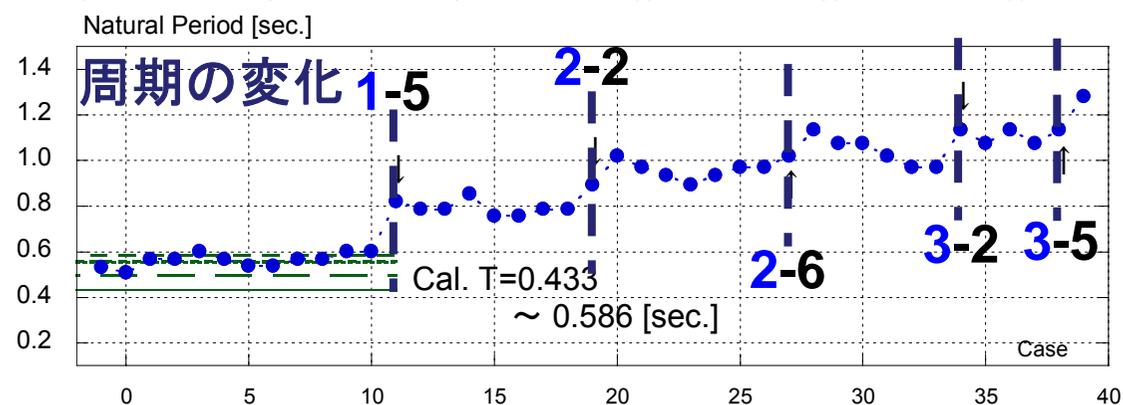
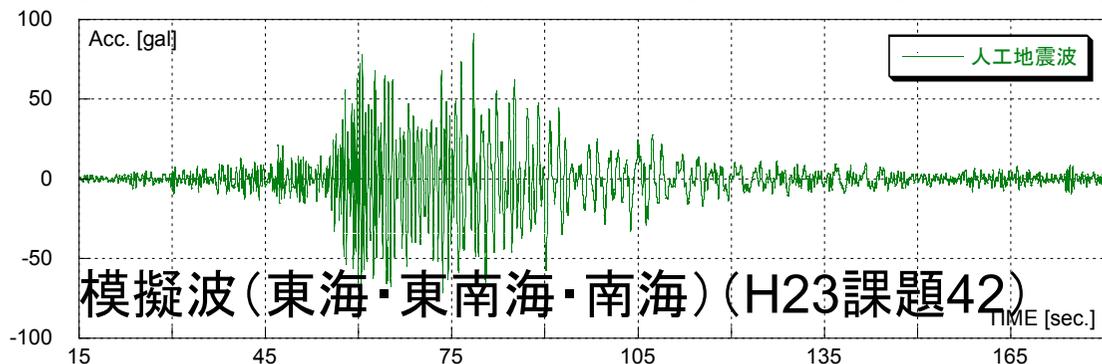
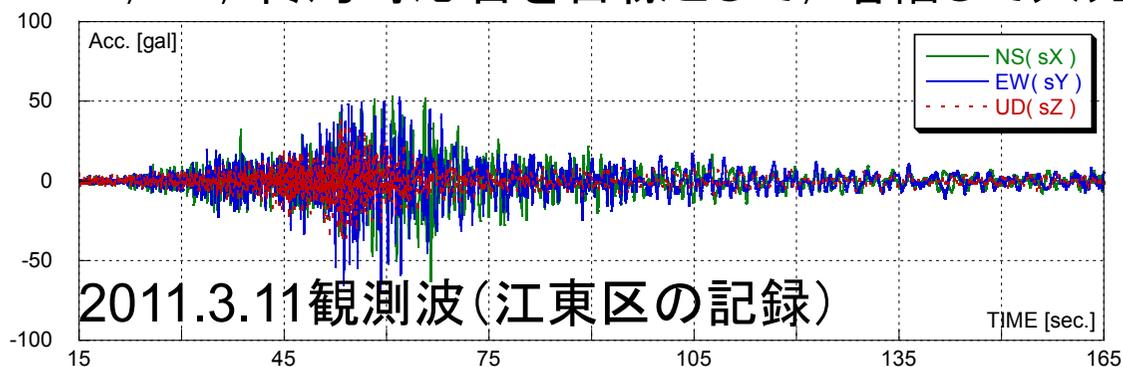


- ・1990年代後半の耐震構造
- 【NewRC総プロ・超高層・超高強度】
- ・1/4スケール(15m)
- ・高強度材料(Fc60, SD490)
- ・3段階の地震動(応答目標)
- ・(独)防災科研 E-ディフェンスで実施

L1応答	L2応答	終局
稀に起こる	極稀に起こる	超
5強	6弱・6強	7
法律の要求範囲		超

# 1. 縮小20層RC建物試験体の震動実験 【2章】

加震波形は2種 (3.11観測波／南海トラフ模擬波)  
L1, L2, 終局時応答を目標として, 増幅して入力

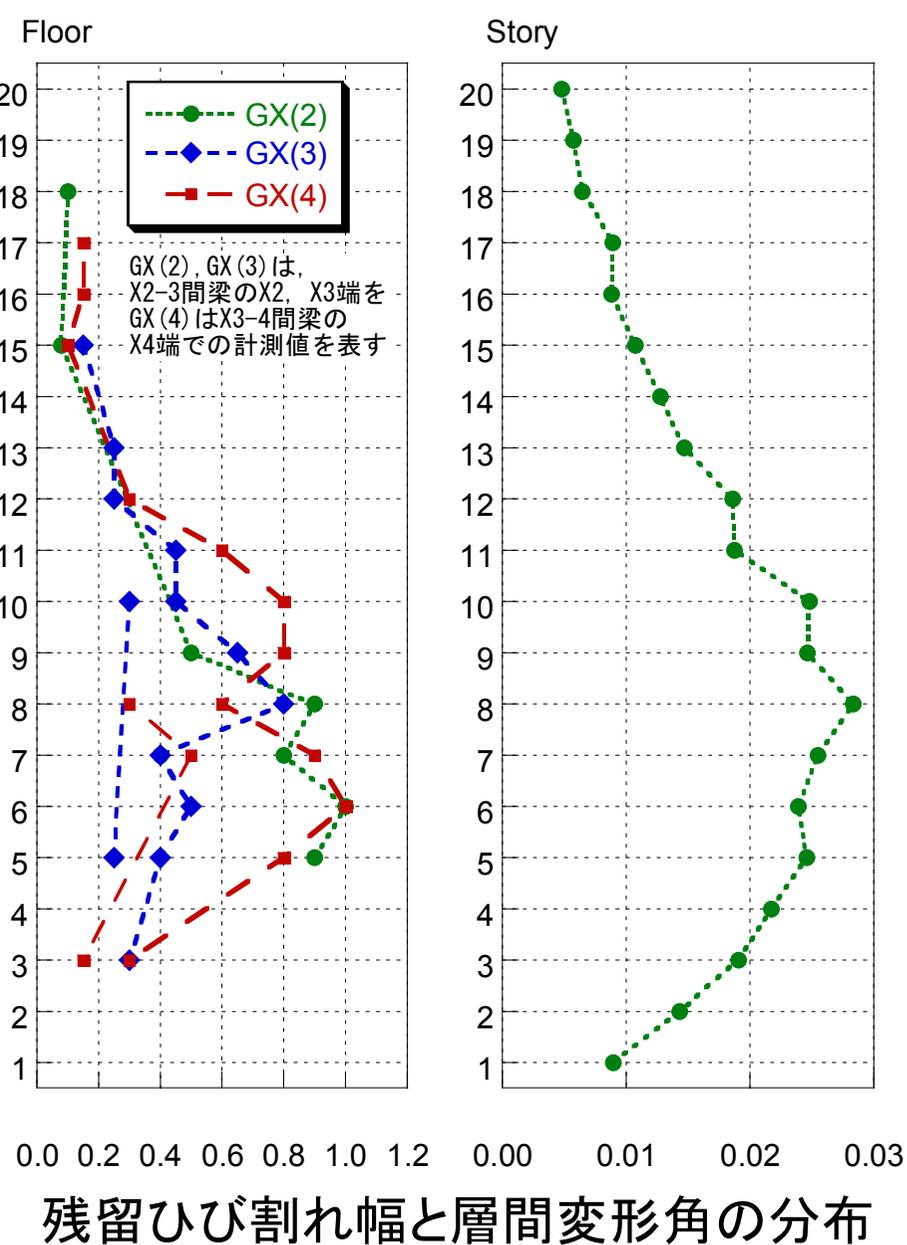
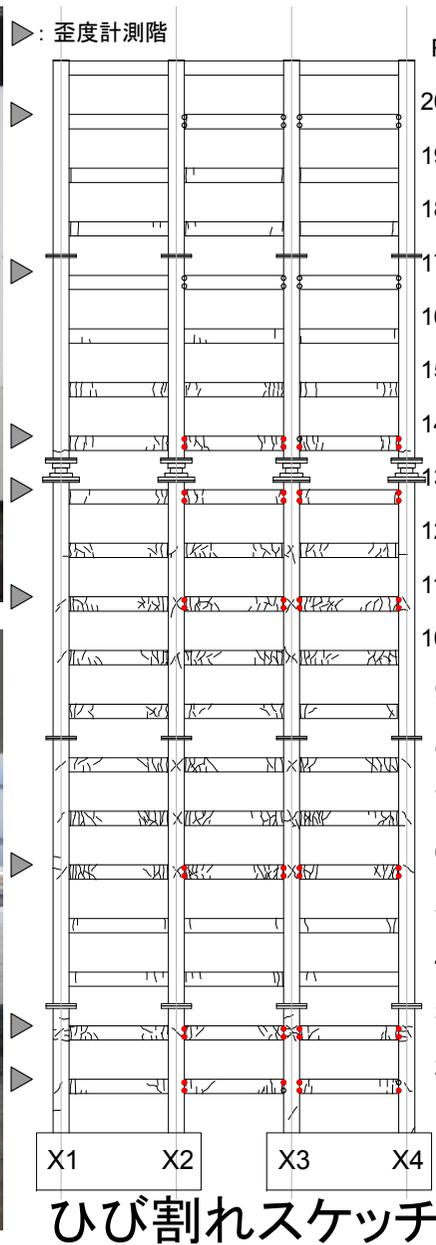


CASE	倍率	最大応答 層間変形角
1-5	100%	1/234
2-2	200%	1/137
2-6	300%	1/86

CASE	倍率	最大応答 層間変形角
3-2	150%	1/64
3-5	200%	1/35

- ・弾性固有周期 0.51~0.60sec.  
(常時微動, ランダム波, 40%波)
- ・計算値 (各解析モデル)  
0.43~0.59sec.

# 1. 縮小20層RC建物試験体の震動実験 【2章】

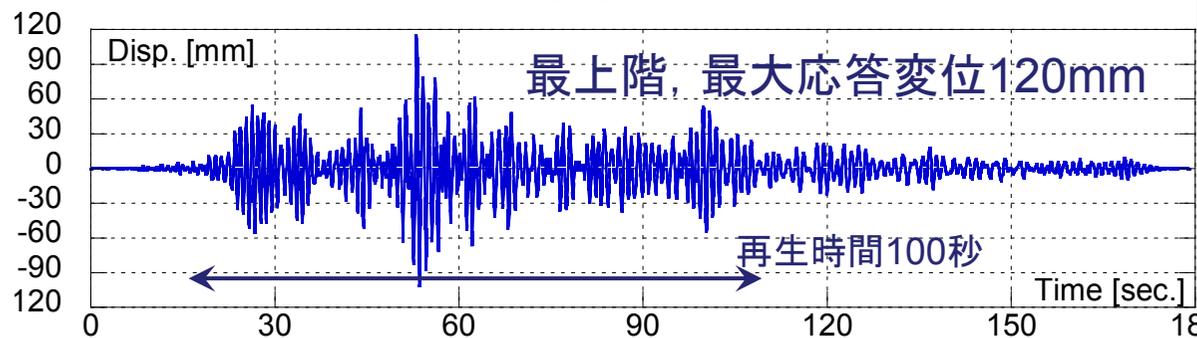


# 1. 縮小20層RC建物試験体の震動実験 【2章】



E-DEFENSEで実施

CASE #2-6



↑11F

↓6F

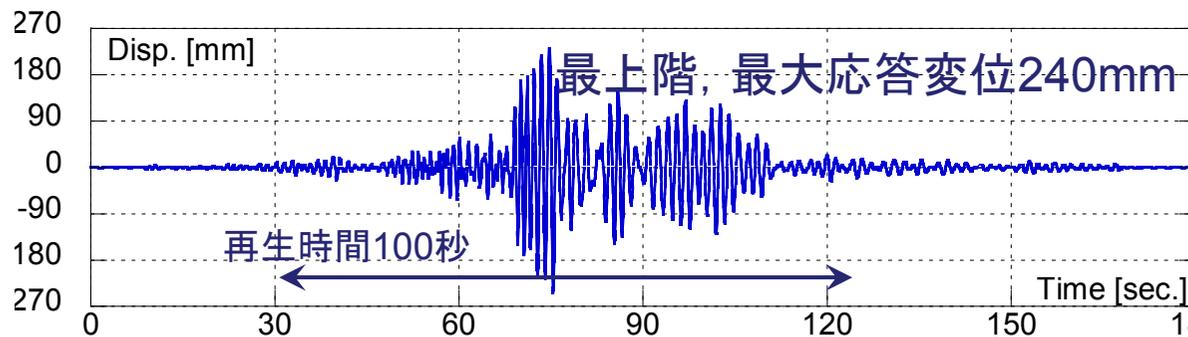


# 1. 縮小20層RC建物試験体の震動実験 【2章】



E-DEFENSEで実施

CASE #3-5



↑11F

↓6F



## 2. 建物試験体の解析: ケース一覧

【3章】

◆標準的な設計手順の解析精度の確認

◆その他の手法による精度向上効果の確認

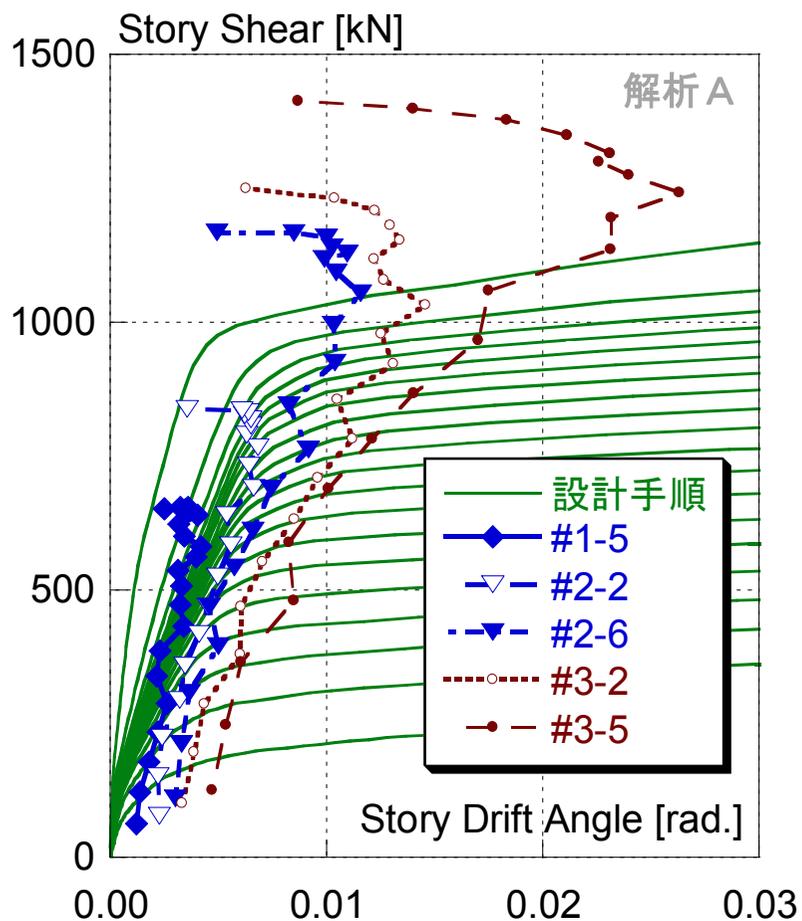
解析ケース	形式	特徴
A(小堀研)	フレームモデル 静的・動的解析	劣化を考慮した履歴特性モデル
B(大阪大学)	フレームモデル 静的・動的解析	一自由度系への縮約
C(豊橋技科大)	フレームモデル 静的・動的解析	正負非対称モデル(梁端ばね特性) スラブによる非対称性を考慮
D(大林組)	フレームモデル(静的) 串団子モデル(動的)	標準的な設計手順
E(大林組)	大規模FEM(静的)	フルモデル
F(建研・国総研)	フレームモデル 静的・動的解析	断面解析による梁端ばね特性 圧縮側鉄筋の引張化を考慮

## 2. 建物試験体の解析: 増分解析

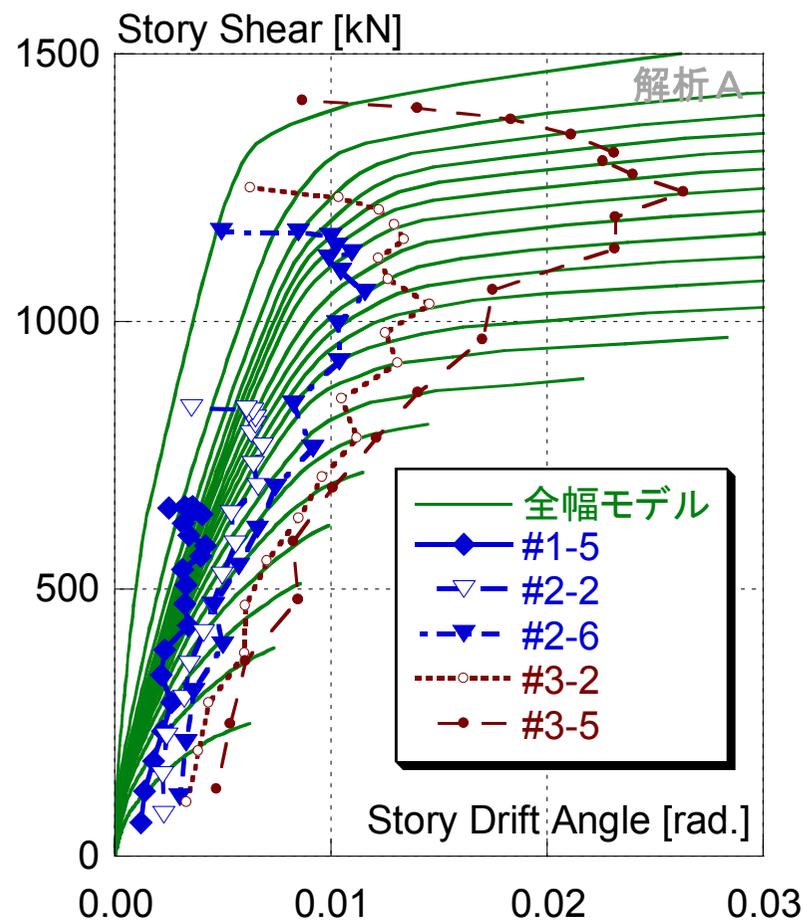
【3章】

慣行では $R=1/100$ 程度まで対応

$R=1/100$ 以降に対しては, 耐力・剛性を過小評価



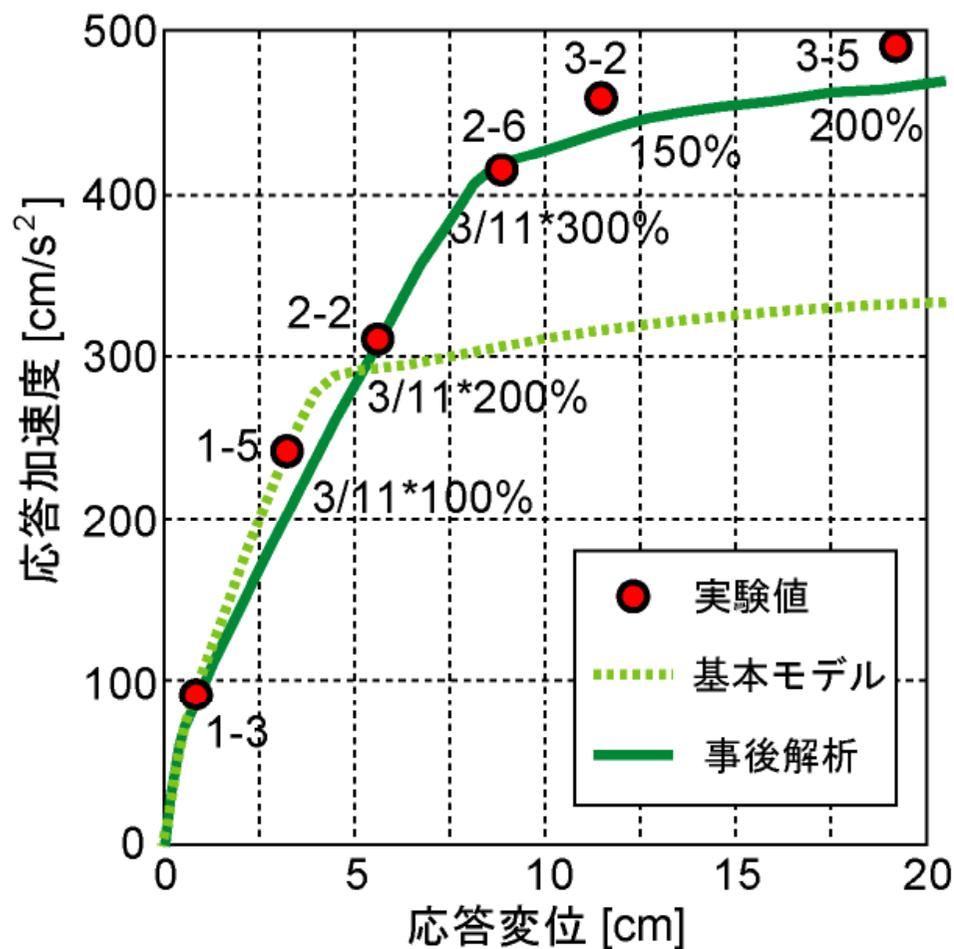
解析A: 標準的設計手順



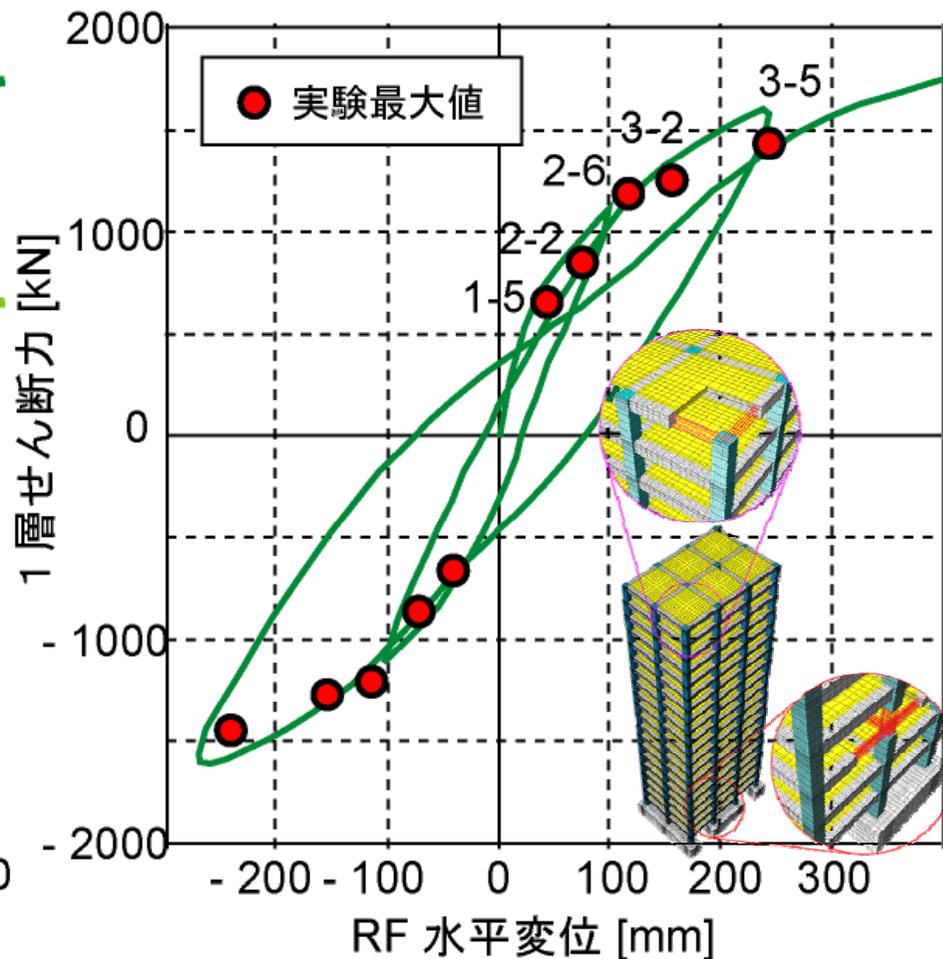
→スラブ全幅考慮で耐力UP

## 2. 建物試験体の解析: 増分解析

【3章】



解析B: フレームモデル  
スラブ全幅+剛性UP

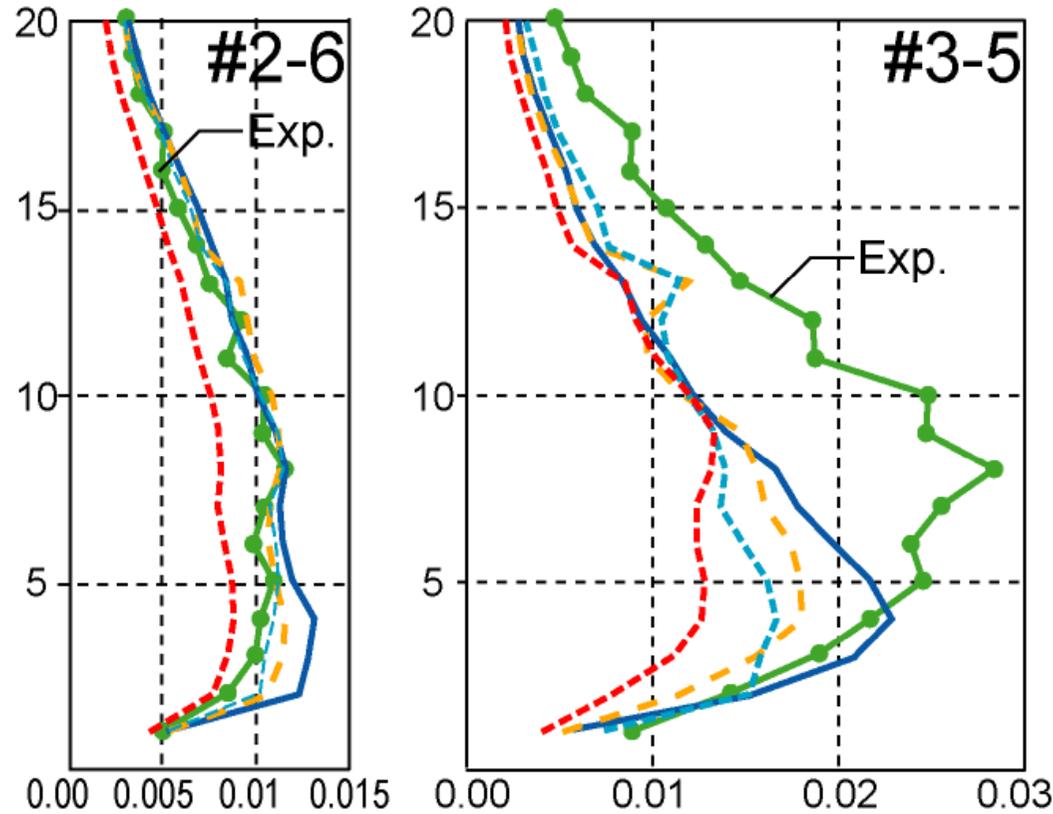


解析E: 大規模FEMモデル  
詳細モデルの耐力評価

# 2. 建物試験体の応答解析

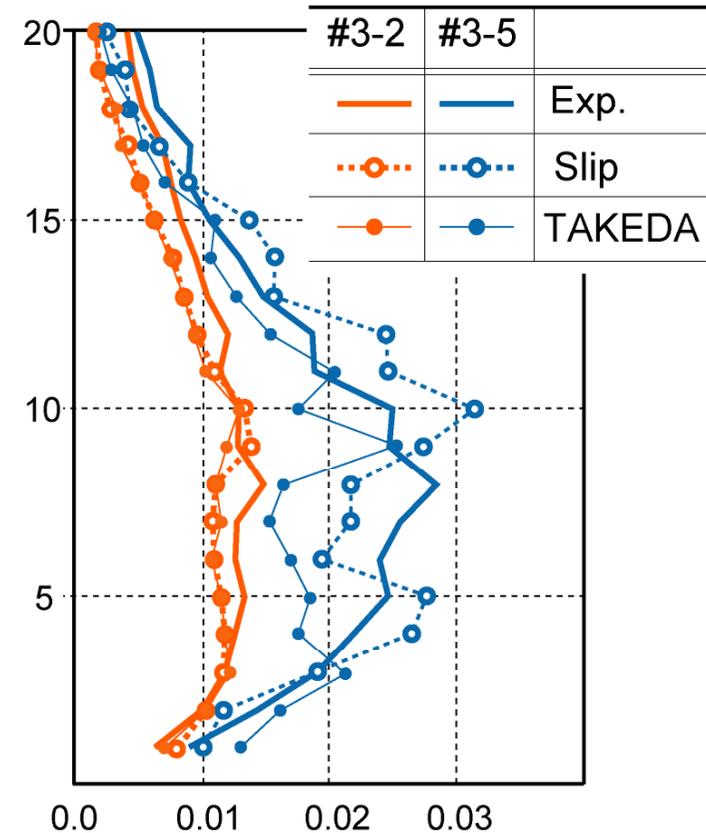
# 【3章】

## 最大応答層間変形角分布の比較



- 実験結果
- スラブ全幅+繰り返し劣化型・連続解析
- - スラブ全幅+繰り返し劣化型
- - スラブ協力幅+TAKEDA モデル

解析A: 履歴特性の違い(スリップ+劣化型)  
 解析順序(小加震を含む連続解析)



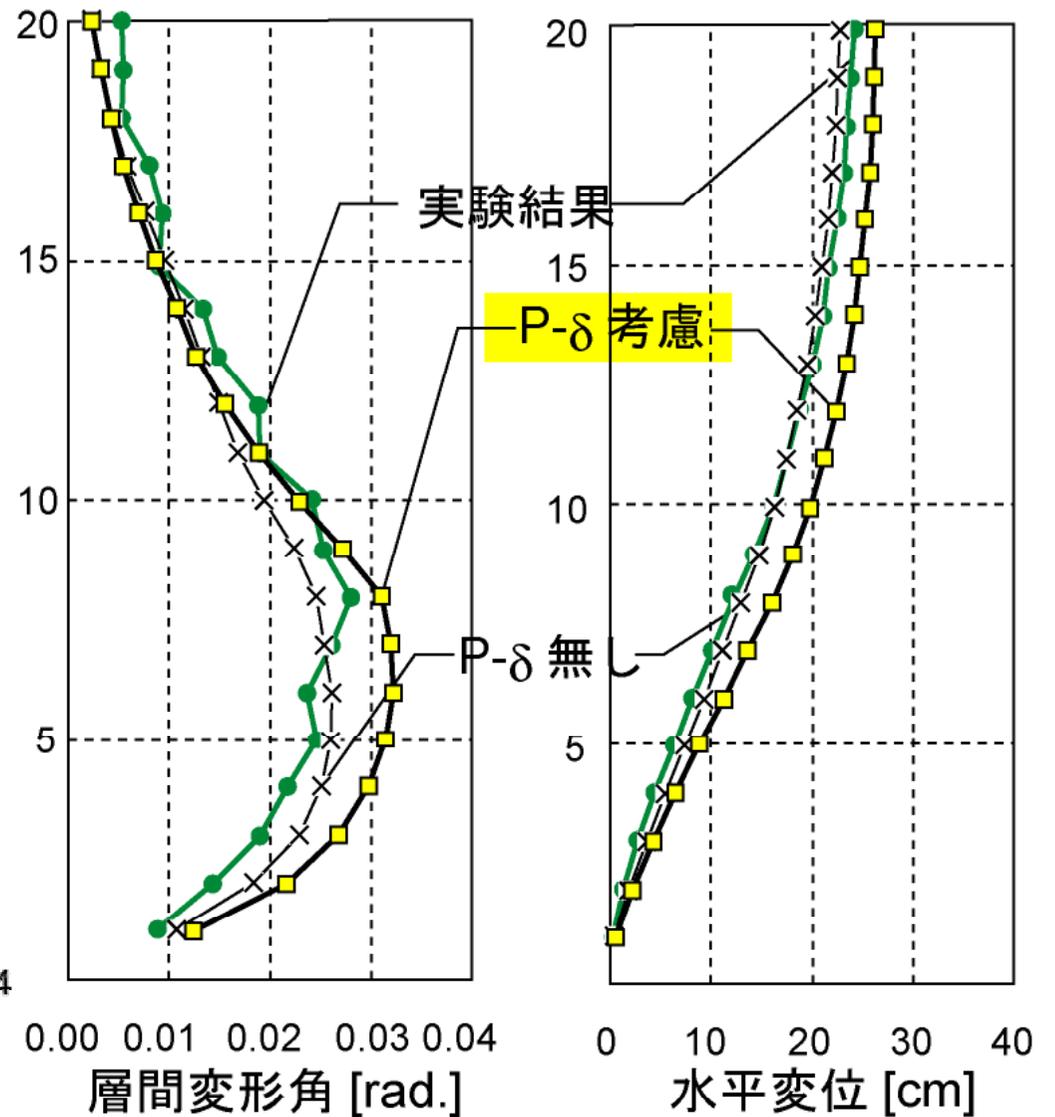
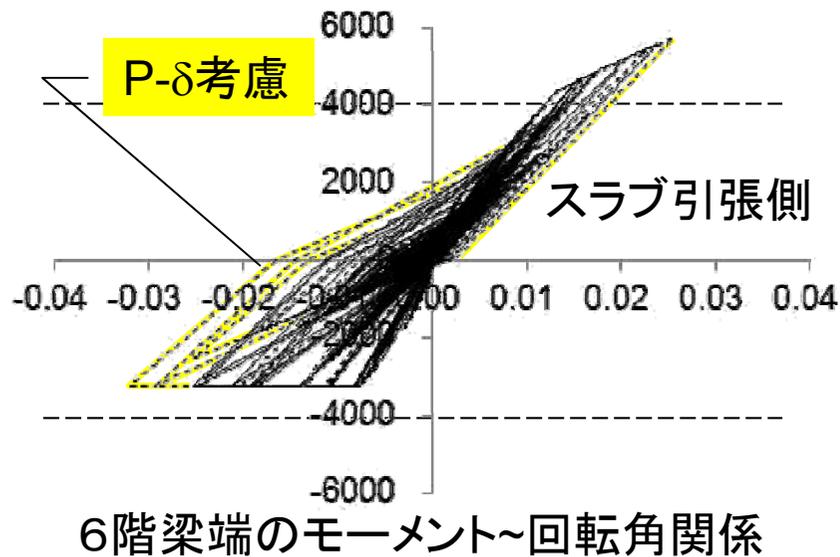
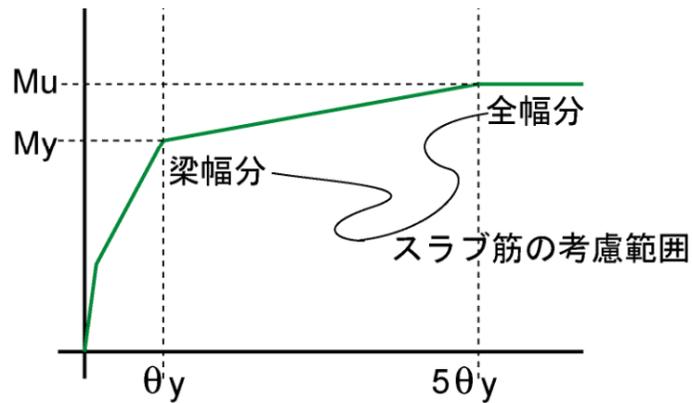
### 解析F:

スラブ付き断面解析  
 スリップモデル  
 粘性減衰0.5%

## 2. 建物試験体の応答解析

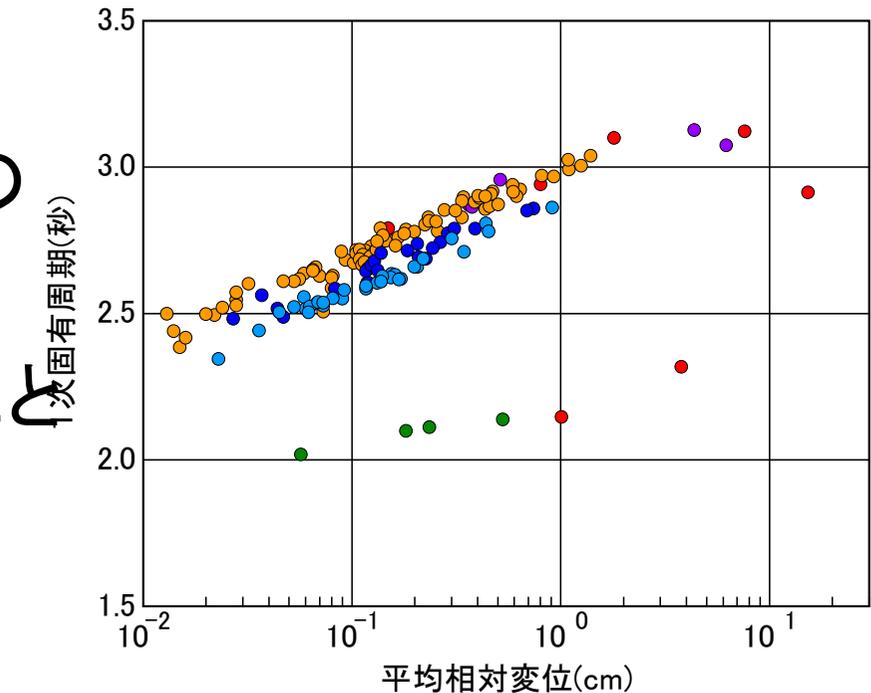
【3章】

### 解析C: スラブ筋の考慮方法 “4折れ線スケルトン”



#### 【実施目的】

鉄筋コンクリート造建築物の  
長周期地震動に対する  
安全性検証用資料を得ること



#### 【観測対象】

建物A: 江東区, SRC造(32F)

建物B: 名古屋市, RC造(25F)

\* 建物A, 3/11記録を震動実験で使用

\* 固有周期の振幅依存性を確認(建物A)

### 3. 地震観測結果の分析

【4, 5章】

#### 【建物Aの観測記録の分析】

建物Aを対象に、地盤建物連成系3次元FEMモデルによるシミュレーションを実施した。



#### 【既往観測建物の観測記録の分析】

- 建物C(東京都中央区, 37F)を対象に、地震応答解析を行い、観測結果と比較した。
- 建物D(東京都文京区, 9F)を対象に、観測記録を分析した。地震動に含まれる長周期成分の変位を確認。また、1階と7階の変位差から、ロッキングの影響の可能性が示された。

## 4. 超高層RC造建物の性能評価

【6章】

### 【RC造建物の設計における性能評価の留意点】

復元力特性評価・履歴性状と減衰・多数回繰返し

#### H22, H23年度 部材・架構実験(静的載荷)

柱, 梁, 柱梁接合部(1方向, 2方向) (2/5スケール)

立体部分架構(2/5スケール), 平面部分架構(1/4スケール)

#### H23-24年度 建物実験(震動実験)

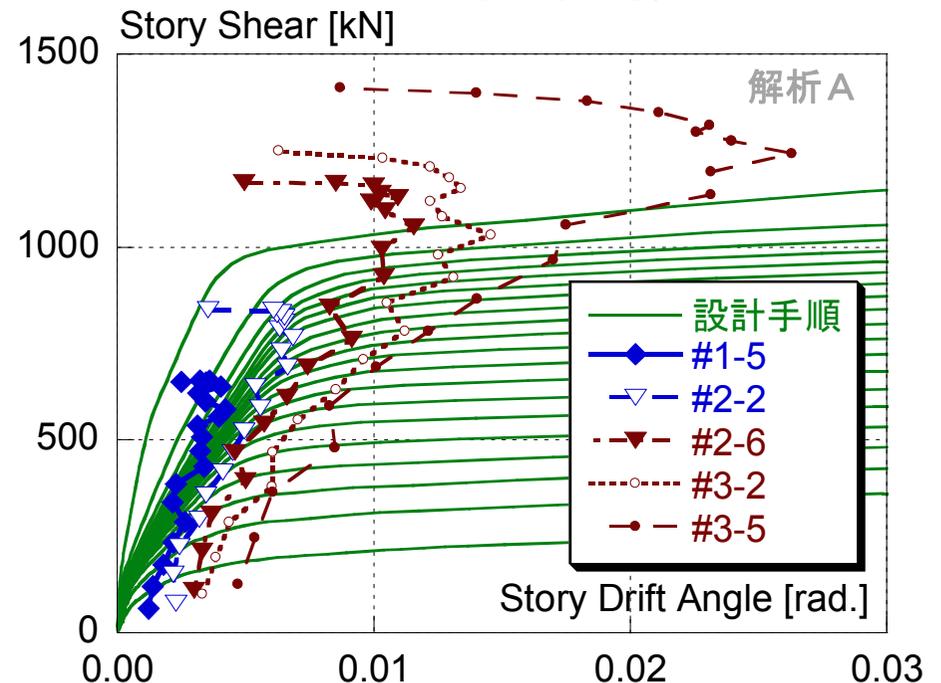
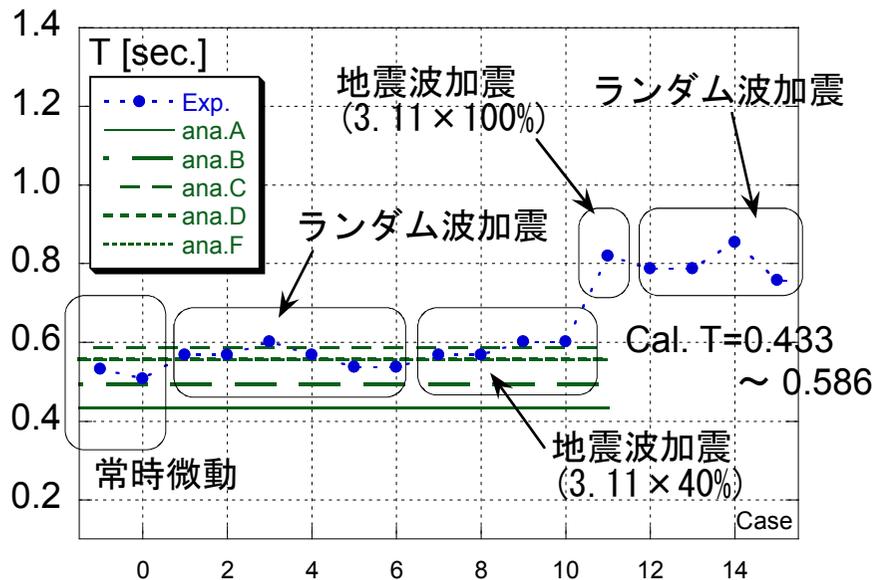
20層RC造建物試験体(1/4スケール)

これらの結果を包括的に分析し, RC造建物の設計における性能評価における留意点・課題を抽出

## 【RC造建物の設計における性能評価の留意点】

復元力特性評価・履歴性状と減衰・多数回繰り返し

- 弾性剛性・固有周期の評価は概ね適切
- ひび割れ後～降伏点付近も概ね実挙動を再現可能
- 降伏後の強度上昇・剛性については過小評価傾向



# 4. 超高層RC造建物の性能評価

# 【6章】

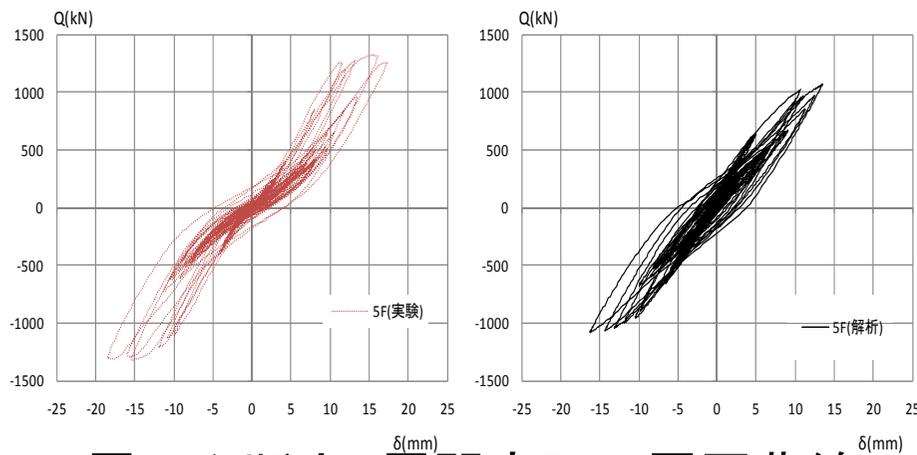
## 【RC造建物の設計における性能評価の留意点】

復元力特性評価・履歴性状と減衰・多数回繰り返し

●大変形時に適合性が劣る要因と考えられる点

履歴特性がTAKEDAモデルと異なる(静的/動的の相違)

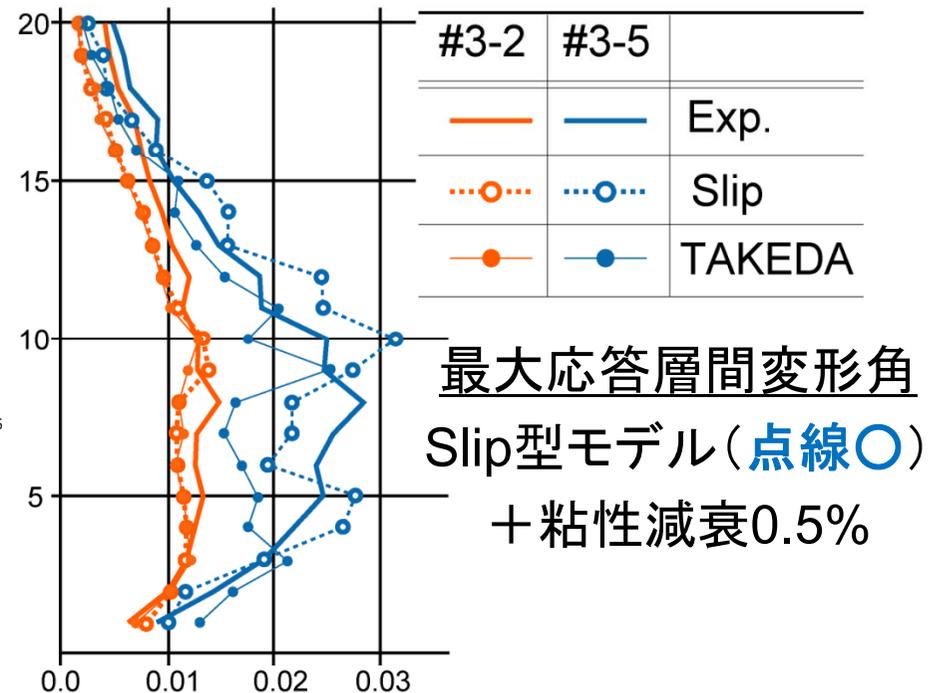
粘性減衰の適切な設定が未解明



層せん断力~層間変形の履歴曲線

実験値(左) 計算値(右)

梁の特性は, TAKEDA Slip+劣化型



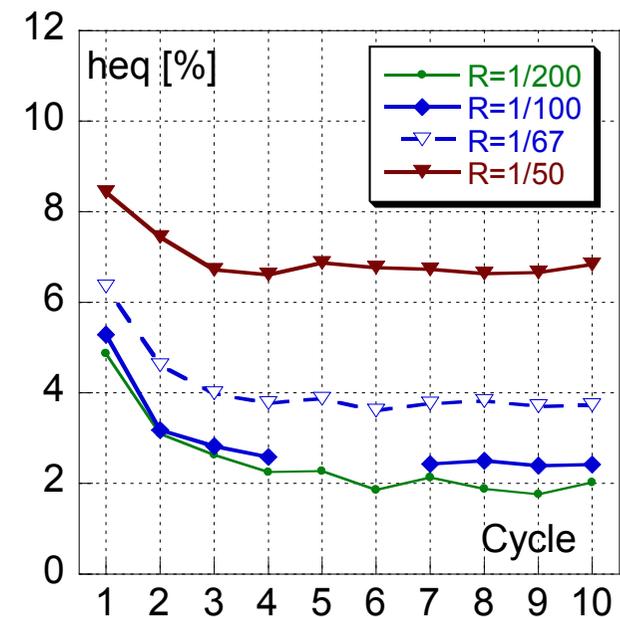
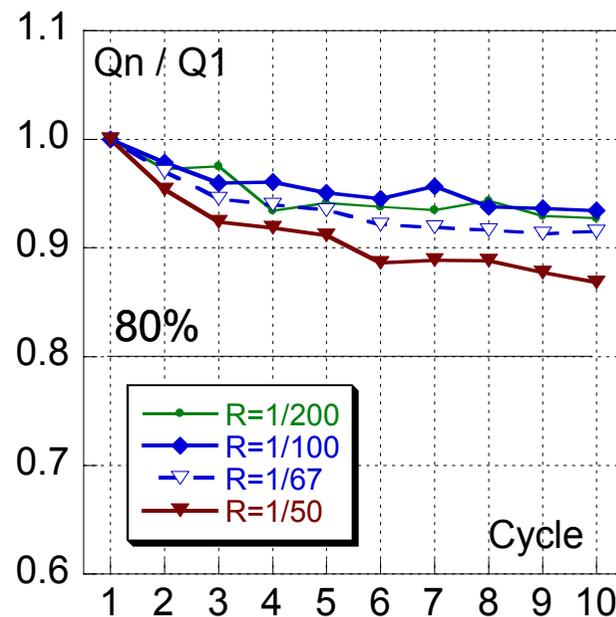
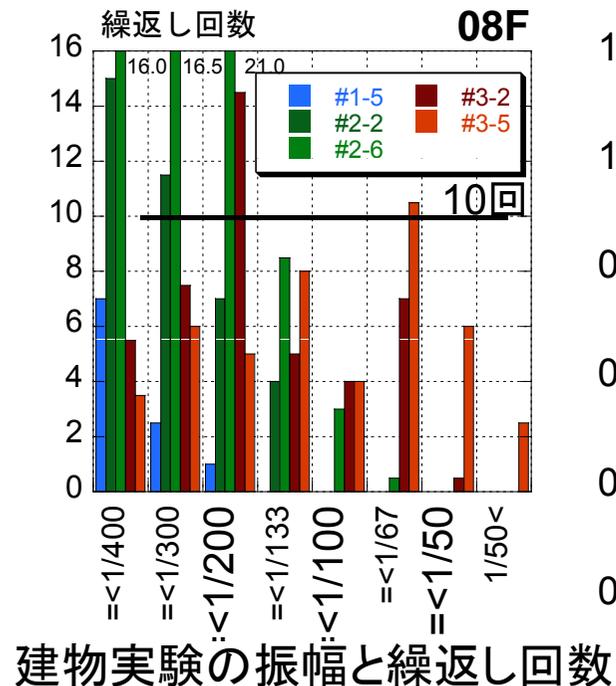
# 4. 超高層RC造建物の性能評価

## 【6章】

### 【RC造建物の設計における性能評価の留意点】

復元力特性評価・履歴性状と減衰・多数回繰返し

- 各振幅(1/200, 1/100, 1/67, 1/50)10回程度を想定
- 梁1/50程度, 柱1/75程度まで顕著な劣化は見られない
- 繰返しにより履歴減衰も低下する



### 【本年度事業の成果】

#### (イ) 構造実験

- ・1/4縮小20層RC造建物試験体の震動実験を実施.
- ・長周期地震動を受ける建物モデルの応答を確認した.  
計画通り, 1/200, 1/100, 1/50以上の応答を再現.

#### (ロ) 応答評価

- ・1/200, 1/100程度の応答については, 従来の解析手法により概ね評価できたが, 1/100を超える応答は, 荷重・変形とも過小評価する傾向があり, スラブの影響の評価, 減衰の推定方法に課題が残った.

### 【本年度事業の成果】

#### (ハ) 地震観測

- 地震観測を継続し、記録を蓄積した。
- 観測記録の分析により、東京の建物では、H23/3/11の本震により固有周期が伸びた。その後時間経過による**周期の変動には、振幅依存性がみられた。**
- 地動の特性(長周期成分)、建物のロッキングについて確認した。
- 解析手法における減衰設定の影響、**地盤建物連成系モデル**による解析精度について確認した。

### 【事業の成果】

3年間の実験・解析結果を踏まえて、超高層RC建物の設計における留意点を整理した。

- 従来のレベル(レベル1, レベル2)は妥当に評価
- 従来のレベルを超える応答を評価する場合には、  
耐力評価が不十分(過小評価)  
減衰(履歴・粘性)の設定が未解明
- 各実験にて損傷(ひび割れ幅)データを多数取得
- 耐力余裕度を確保することの重要性を改めて確認  
スラブの寄与は余力→応答が大きい場合、  
応力が上昇(柱の軸力, 梁のせん断力etc.)

ご清聴ありがとうございました