

# 39: 鉄筋コンクリート造連層耐力壁の 構造詳細と部材種別に係る基準の 整備に資する検討

## 研究分担者

東京工業大学

東京大学

名古屋工業大学

京都大学

大阪大学

## 共同研究者

建築研究所

# 研究背景

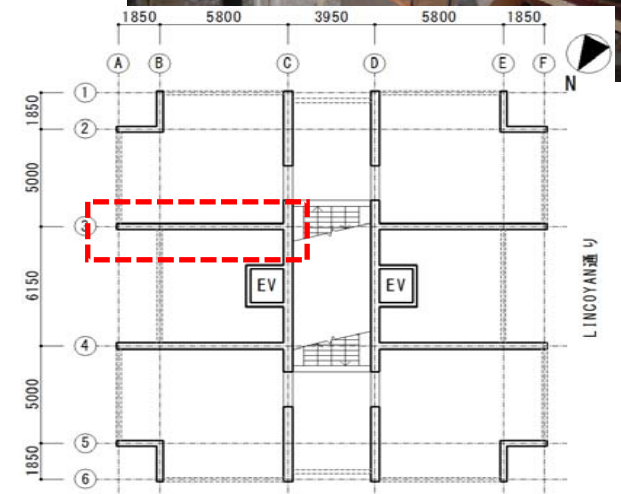
- **曲げ降伏型耐震壁の変形性能**

- 部材ランク評価における保証設計(せん断余裕度)の意義
  - 中高層では軸方向応力度が重要
  - 曲げ圧縮破壊の防止
- 以下の諸量が終局時の変形性能に与える影響は不明
  - 曲げ、せん断、軸応力度レベル
  - 壁板のせん断補強筋量
  - 端部のせん断(拘束)補強筋量
  - 耐震壁の対称性
  - 地震力の多方向性



- **規準改定と地震被害事例**

- 2010年RC規準・同解説の改定
  - 1次設計では損傷制御
  - 2次設計の詳細に関しては指針がない
- 2010年チリ地震における被害事例
  - 曲げ降伏型耐震壁の圧縮破壊



# 目的

## 断面配筋および加力条件がRC造連層耐震壁の変形性能に与える影響に関する調査

- ① 端部拘束域の断面形状と補強量が**左右対称な耐震壁**の靱性に与える影響に関する実験調査(東工大・京大)
- ② 端部拘束域の断面形状と補強量が**非対称な耐震壁**の靱性に与える影響に関する実験調査(名工大, 阪大)
- ③ 曲げ降伏型耐震壁の靱性に対する**多方向地震力**の影響に関する実験調査(東大)

①

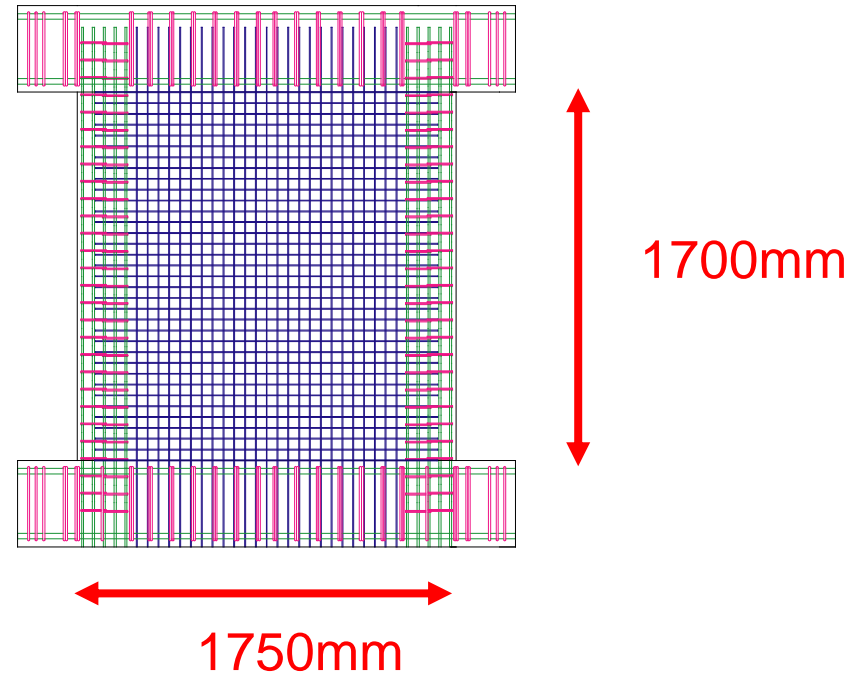
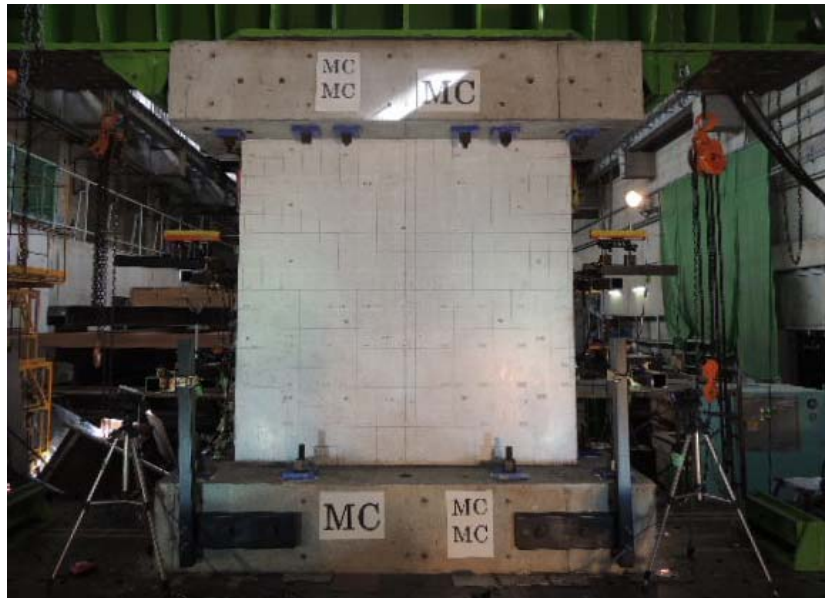
端部拘束域の断面形状と補強量が  
左右対称な耐震壁の靱性に与える影響  
(東京工業大学・京都大学)

# ① 昨年のまとめ

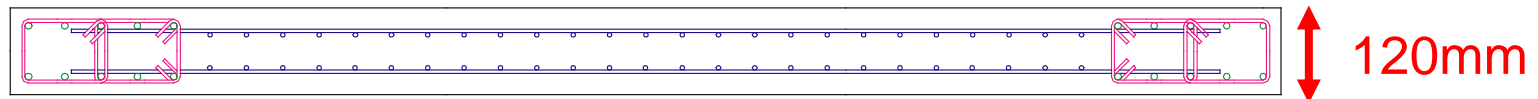
- 軸筋の座屈や破断のほか，枠柱が無い場合は壁の面外座屈が生じた.
- 端部領域のせん断補強筋量を増やすと，終局変形角が大きくなる.
- 靱性指針の考え方で，終局時変形角を凡そ予測できる.

### 3. Configuration and Rebar Arrangement of Specimen

Three Specimens had two variables , "End Region Confinement " and the "Axial Load" (40% of scale)



Vertical , horizontal reinforcement:  
D4@50 double



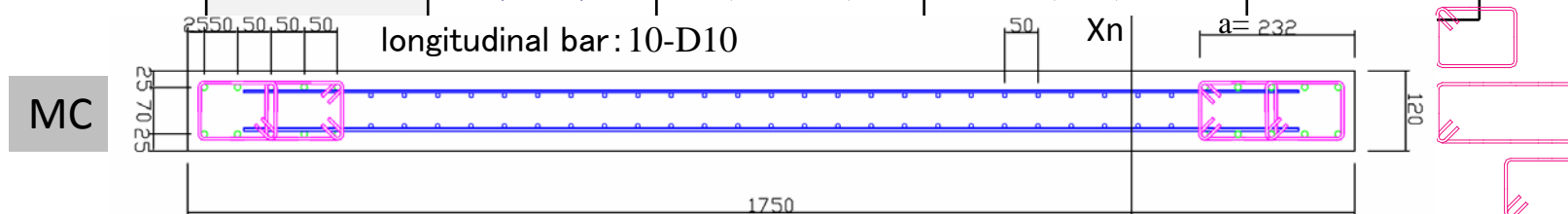
Concrete :  $\cong$  30MPa

Steel : SD295A  
Yield:  $\cong$  390MPa

## 4. Properties of test specimens

Three Specimens had two variables ,“End Region Confinement ” and the “Axial Load Level" (40% of scale)

Specimen	End Region Confinement		Axial Load*3 (Axial Load Ratio $\eta$ )	Ultimate Drift
	Dimension (mm) ( $X_n/a$ )*1	Shear Reinforcement (Ratio $\rho_{wh}$ )*2		
MC	V=84 × 214 (1.44)	4-D4@80 (1.36%)	600kN (0.1)	Ru=1.26%
SC	V=84 × 114 (2.77)	2-D4@40 (1.46%)	600kN (0.1)	Ru=1.14%
HN	V=84 × 414 (1.16)	4-D4@40 (2.61%)	1200kN (0.2)	Ru=0.94%



$$\eta (HN) = \eta (MC) \times 2$$

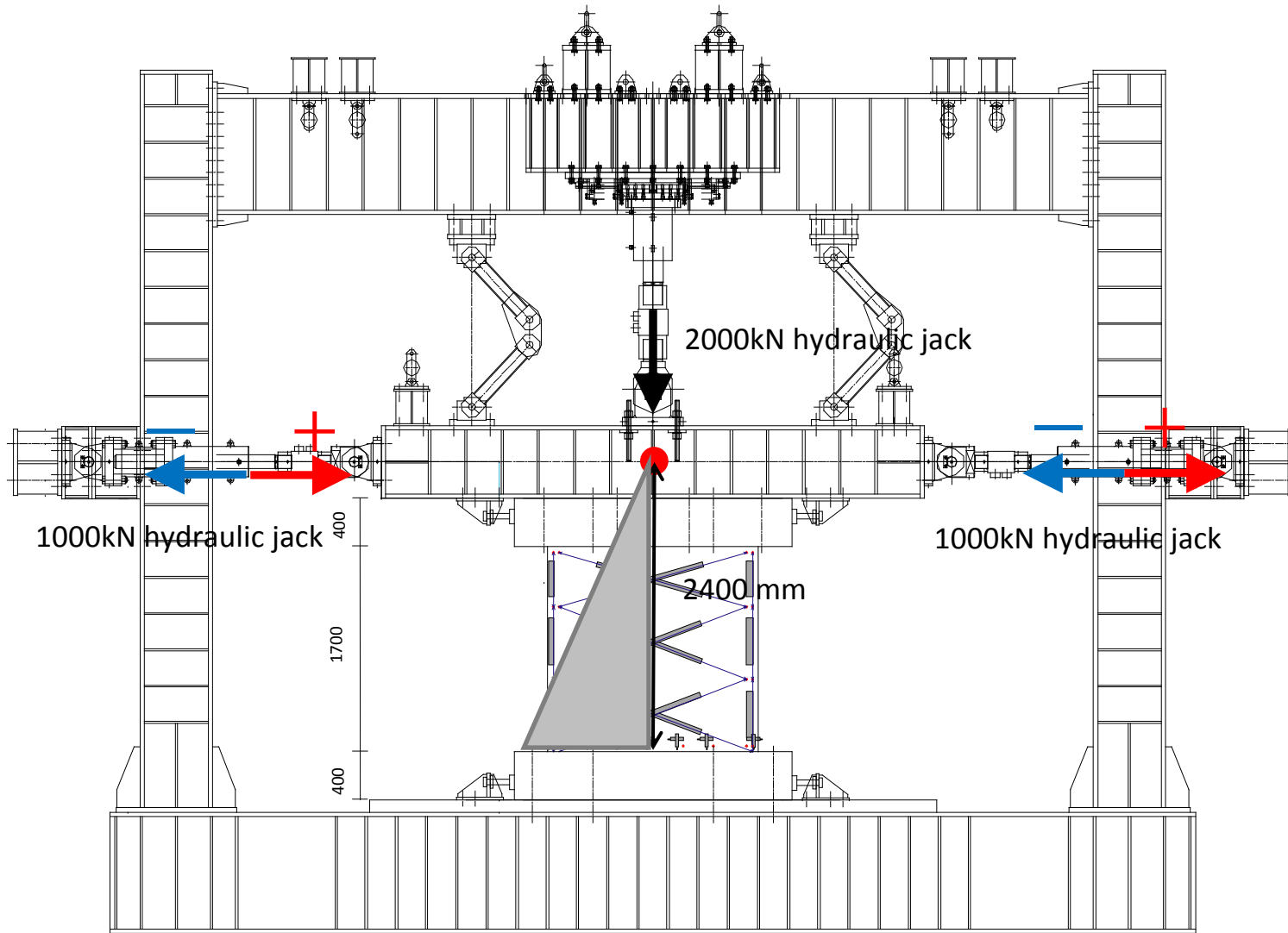
$$P_{wh}(HN) \doteq P_{wh}(MC) \times 2$$

$$S(HN) = 0.5 \times S(MC)$$

$$2 \times V(SC) = V(MC)$$

$$P_{wh}(SC) \doteq P_{wh}(MC) \quad S(SC) = 0.5 \times S(MC)$$

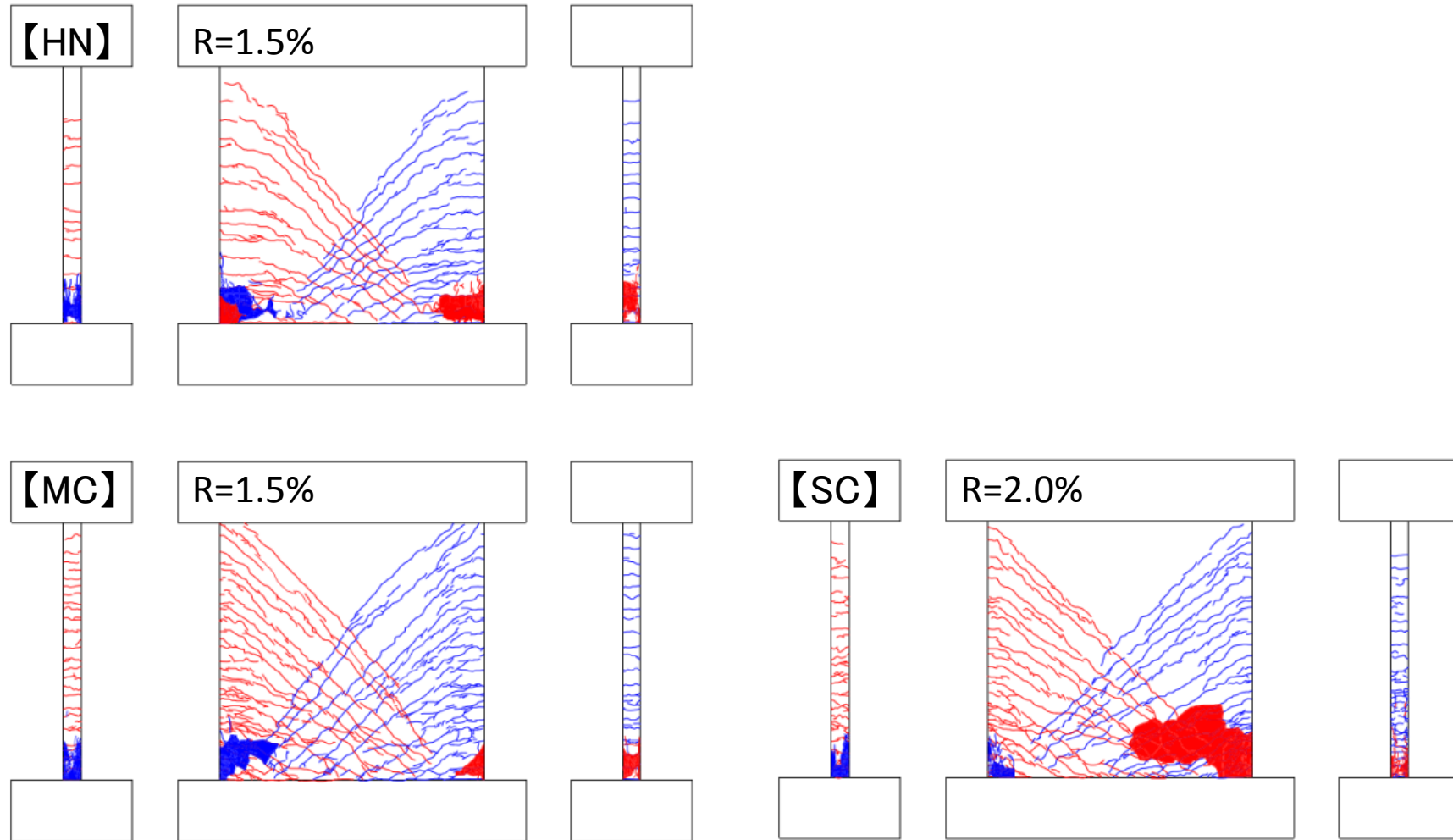
# 5. Loading Systems



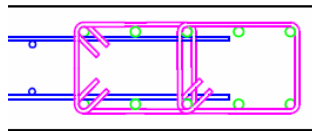
- Contraflexure Point 2400mm
- shear span ratio 1.37



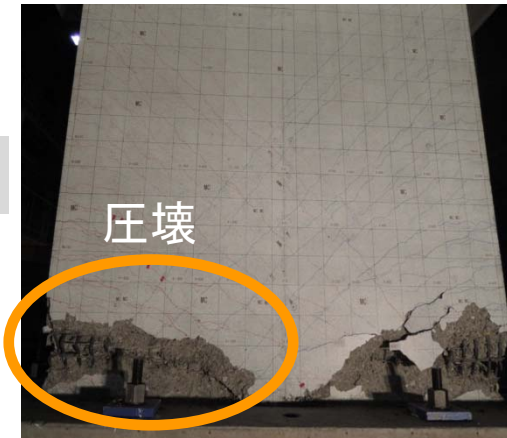
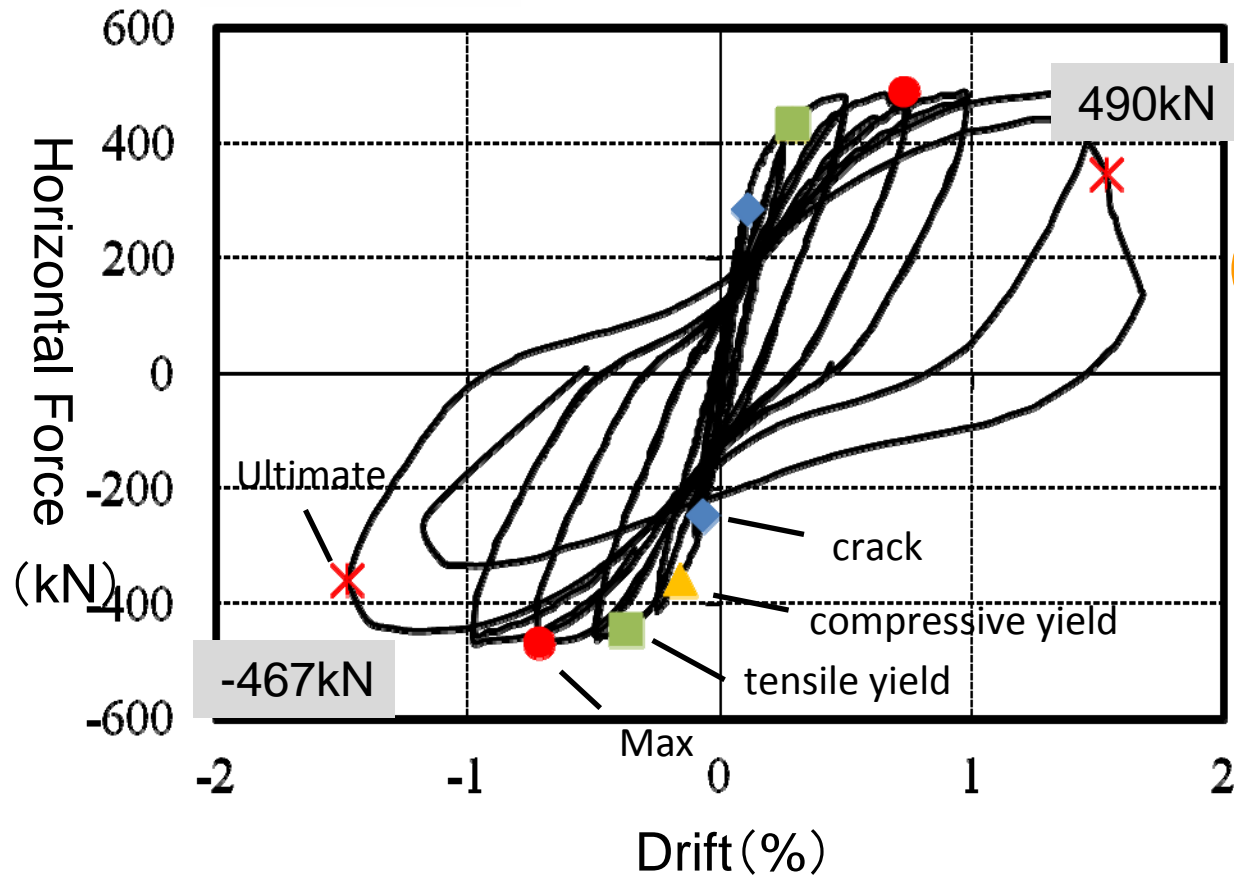
# 載荷終了時のひび割れ性状



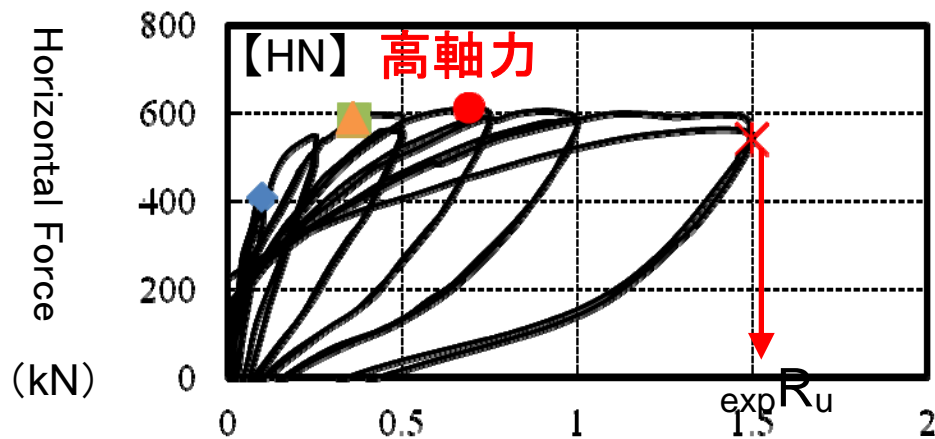
# 7. Q-R関係(標準試験体 MC)



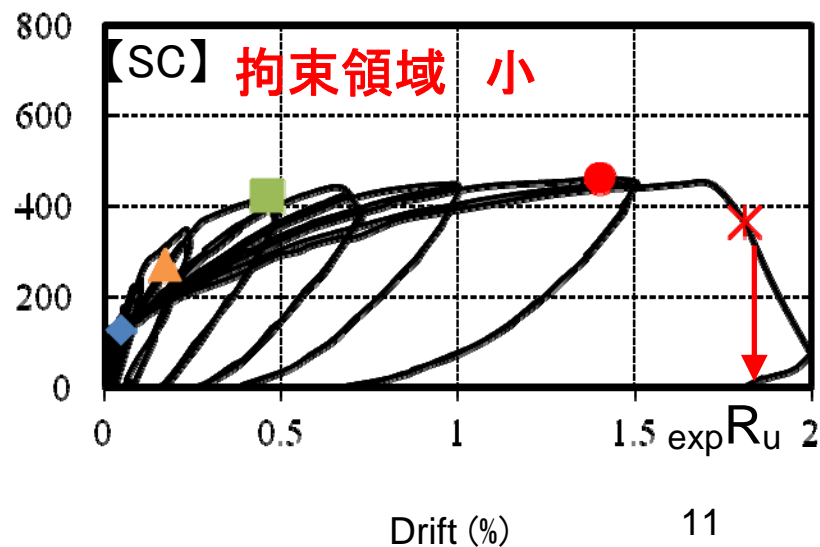
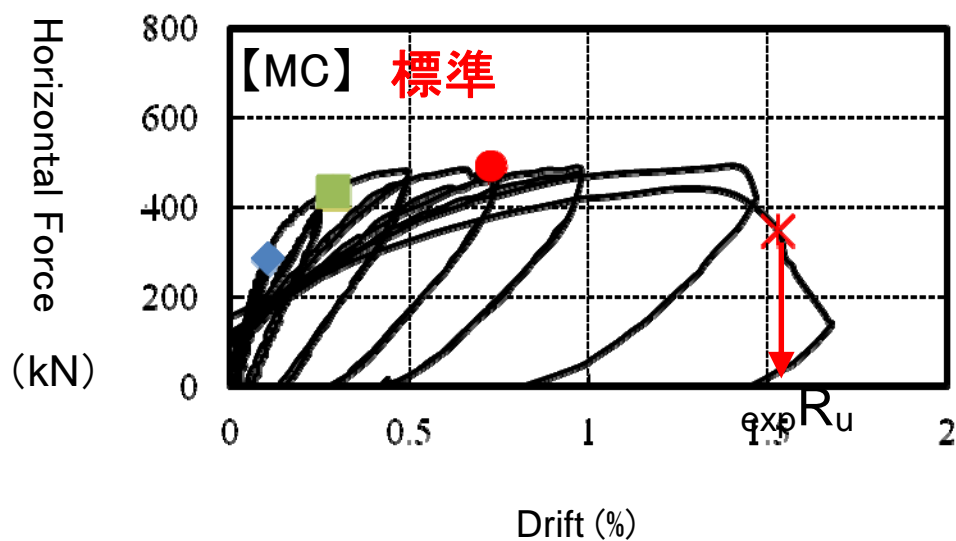
Standard Specimen



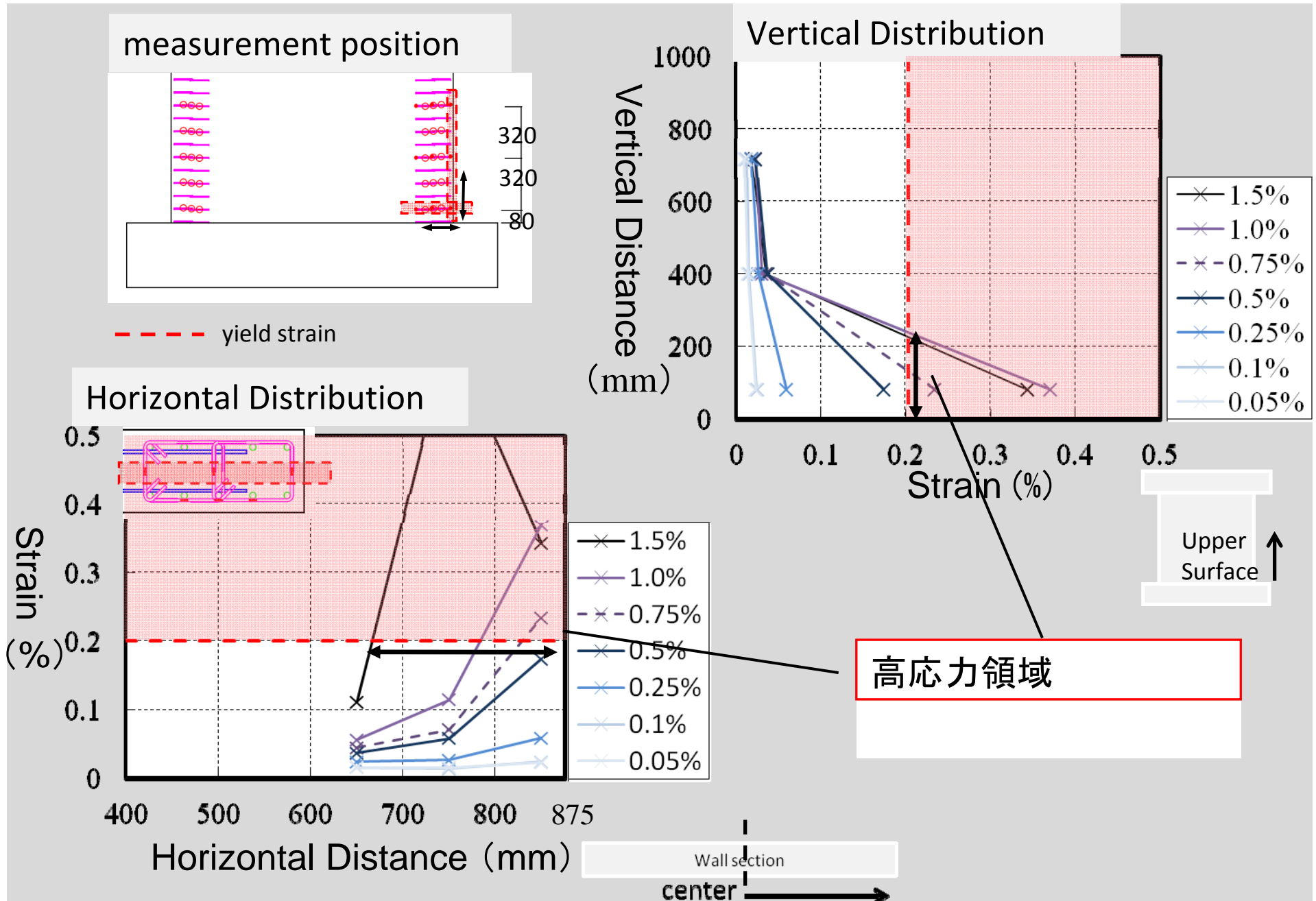
# 8. Q-R関係



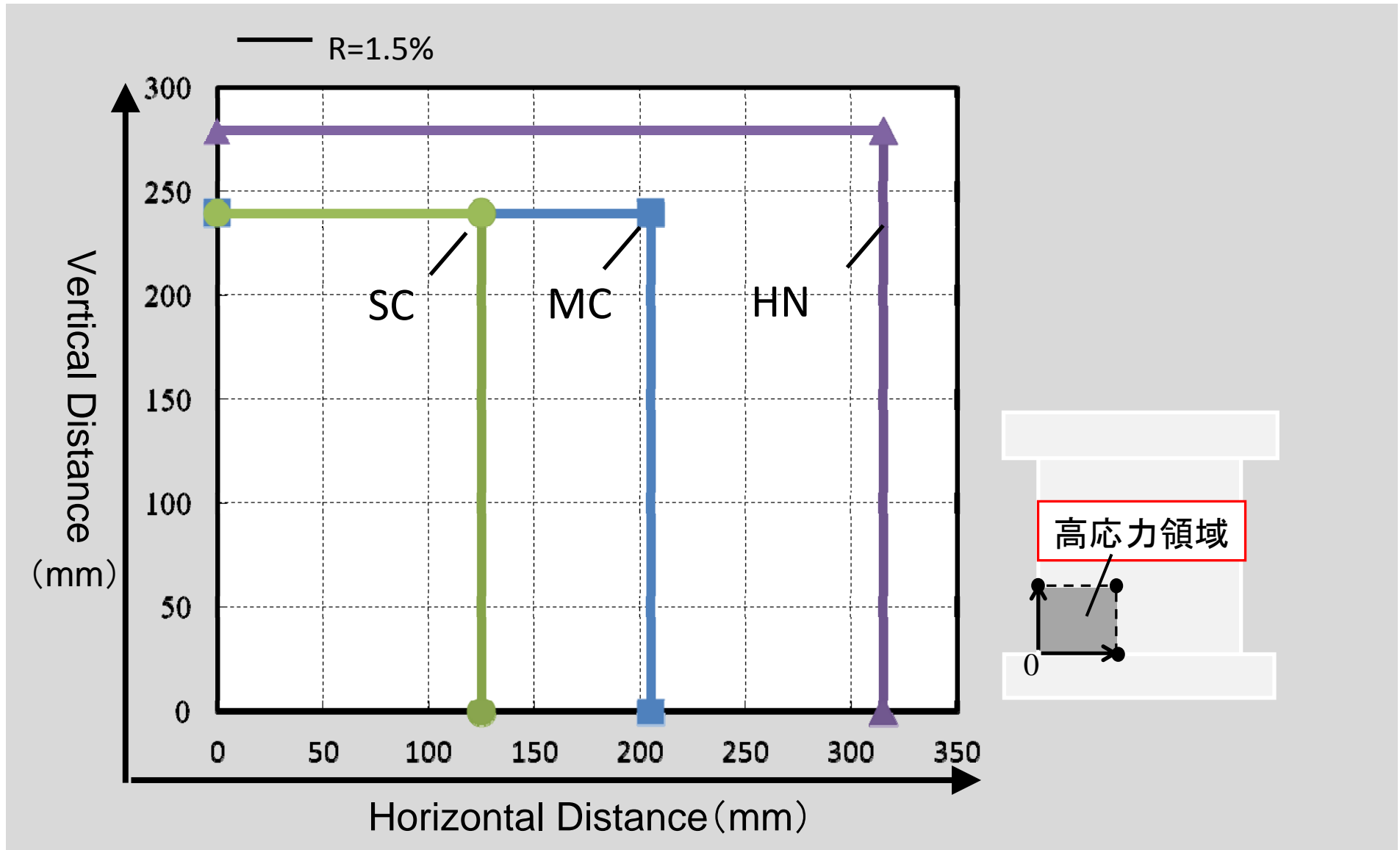
- ✖ 終局
- 最大耐力
- ▲ 圧縮降伏
- 引張降伏
- ◆ ひび割れ



# 11. 端部の拘束筋のひずみ分布

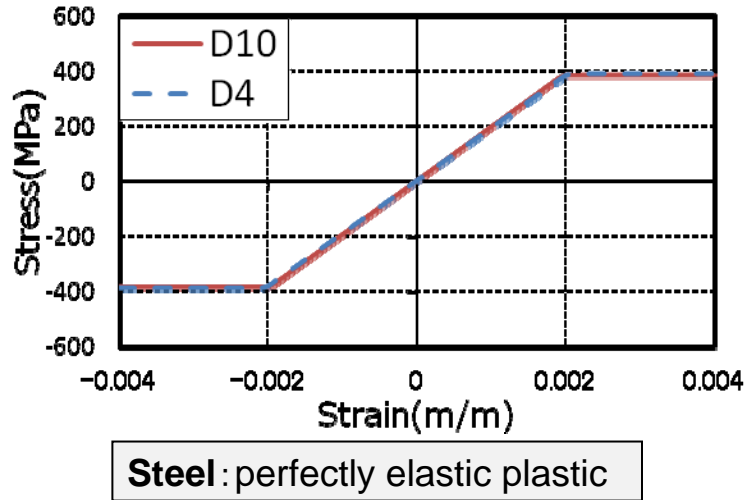


## 12. 拘束筋ひずみが大きな領域の比較

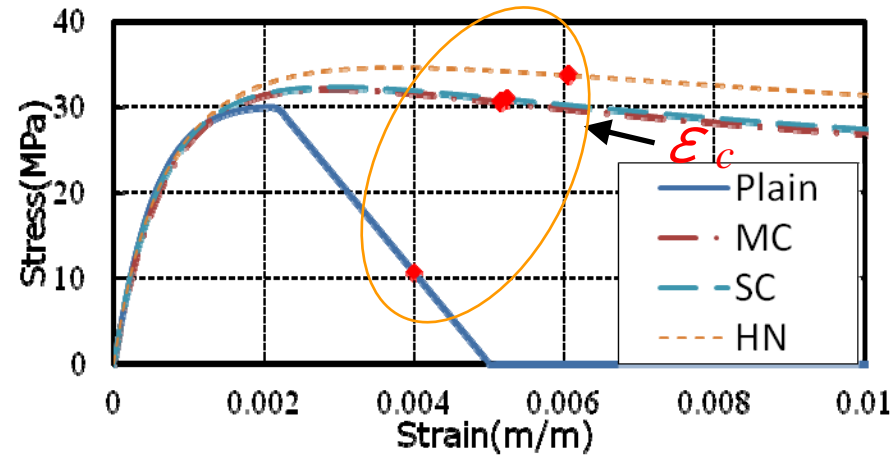


# 13. 断面解析 (Material Model)

## 【Steel Model】



## 【Concrete Model】

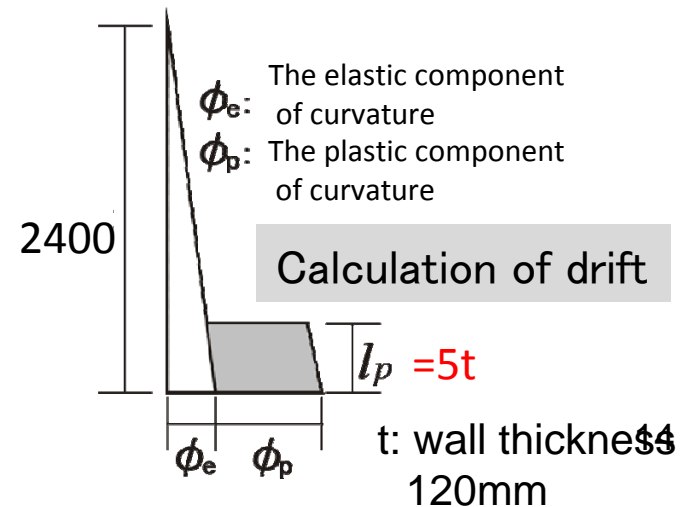
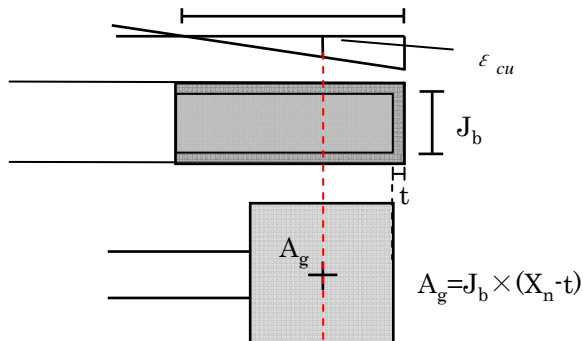


Ultimate Strain of Concrete  $\epsilon_{cu}$

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + 1.4 \rho_s f_{yh} \epsilon_{sm} / f'_{cc}$$

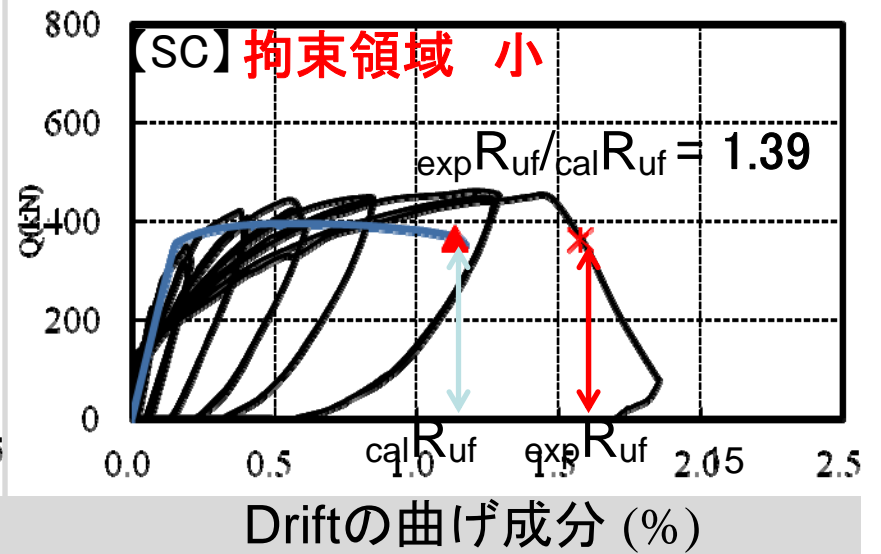
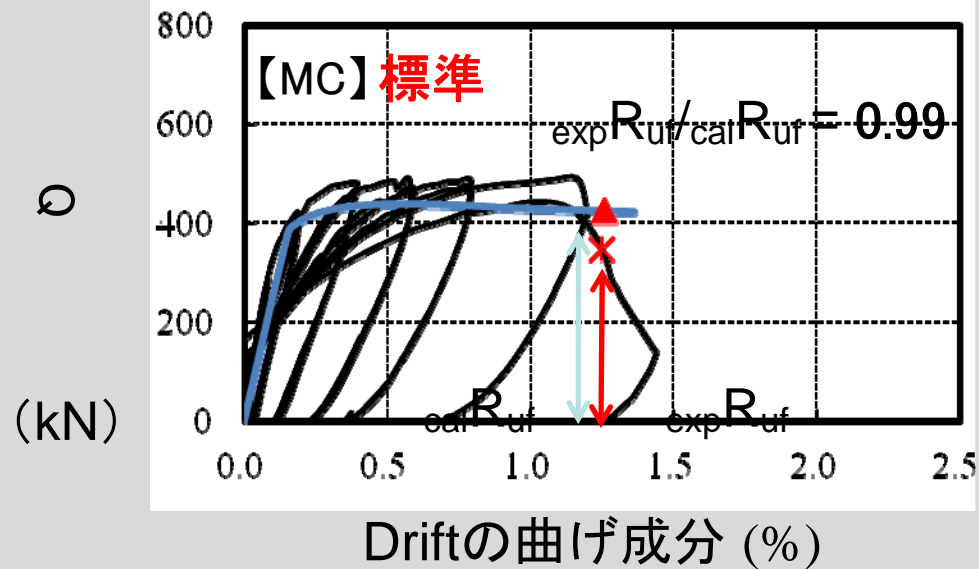
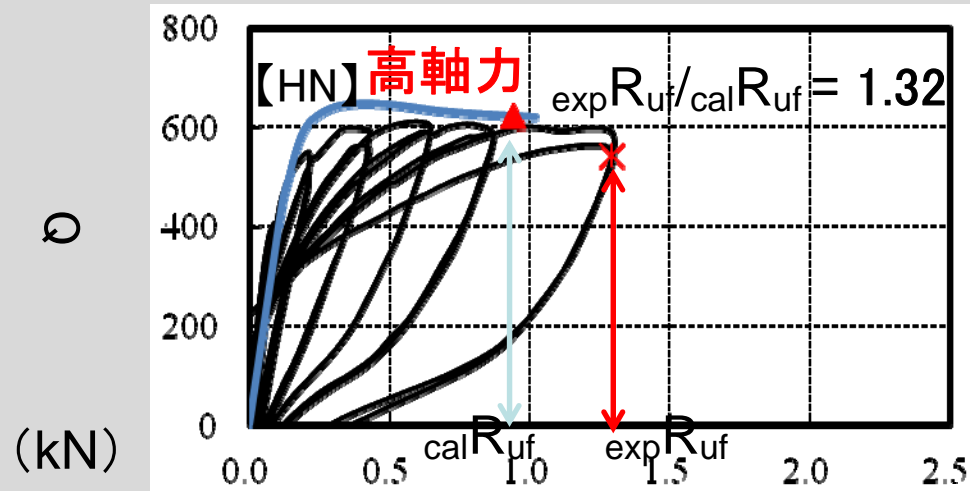
Reference: Mander, J.B., Priestley, M.J.N., and Park, R.

calRu → The Drift to which  $A_g/2$  reach  $\epsilon_{cu}$



# 15. 断面解析

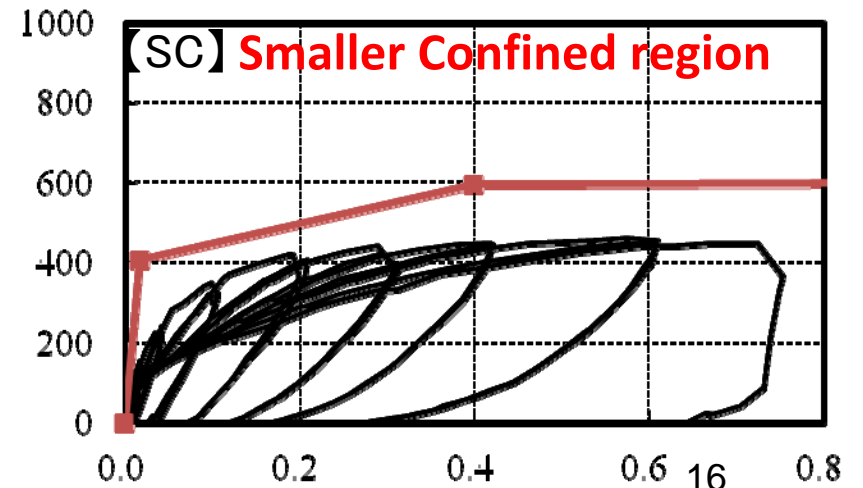
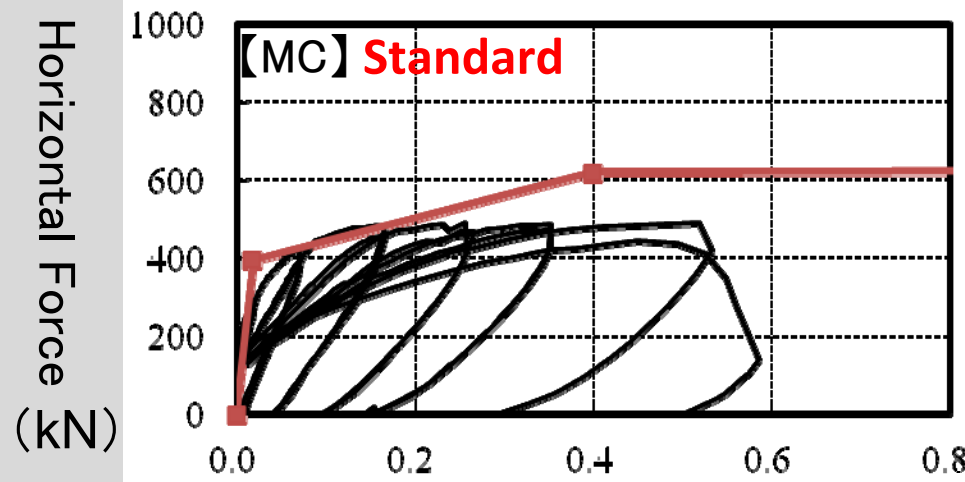
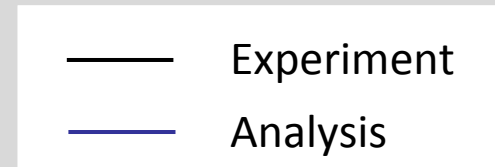
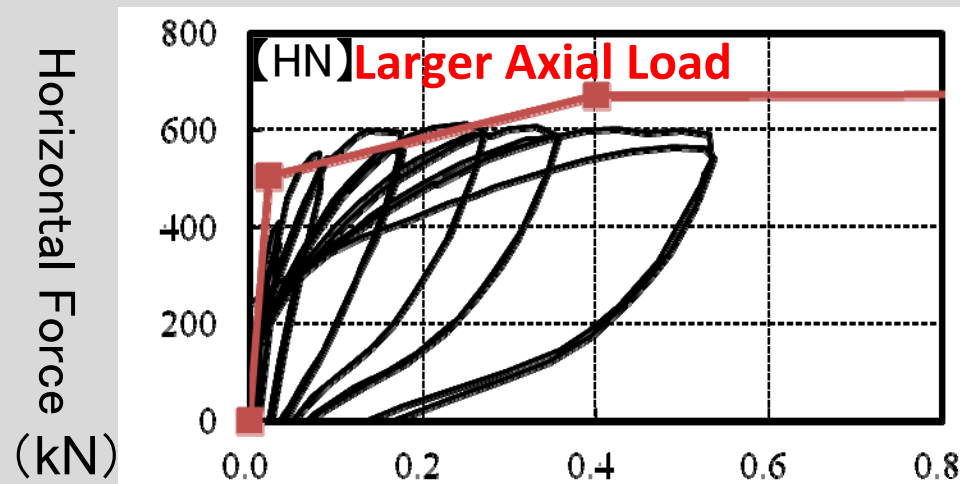
$$\text{exp}R_{uf}/\text{cal}R_{uf} = 0.99 \sim 1.39$$





# 17. AIJ Model(Prediction of Shear Deformation)

The Shear-Drift Backbone curb is evaluated in not good accuracy



Shear Component of Drift (%)

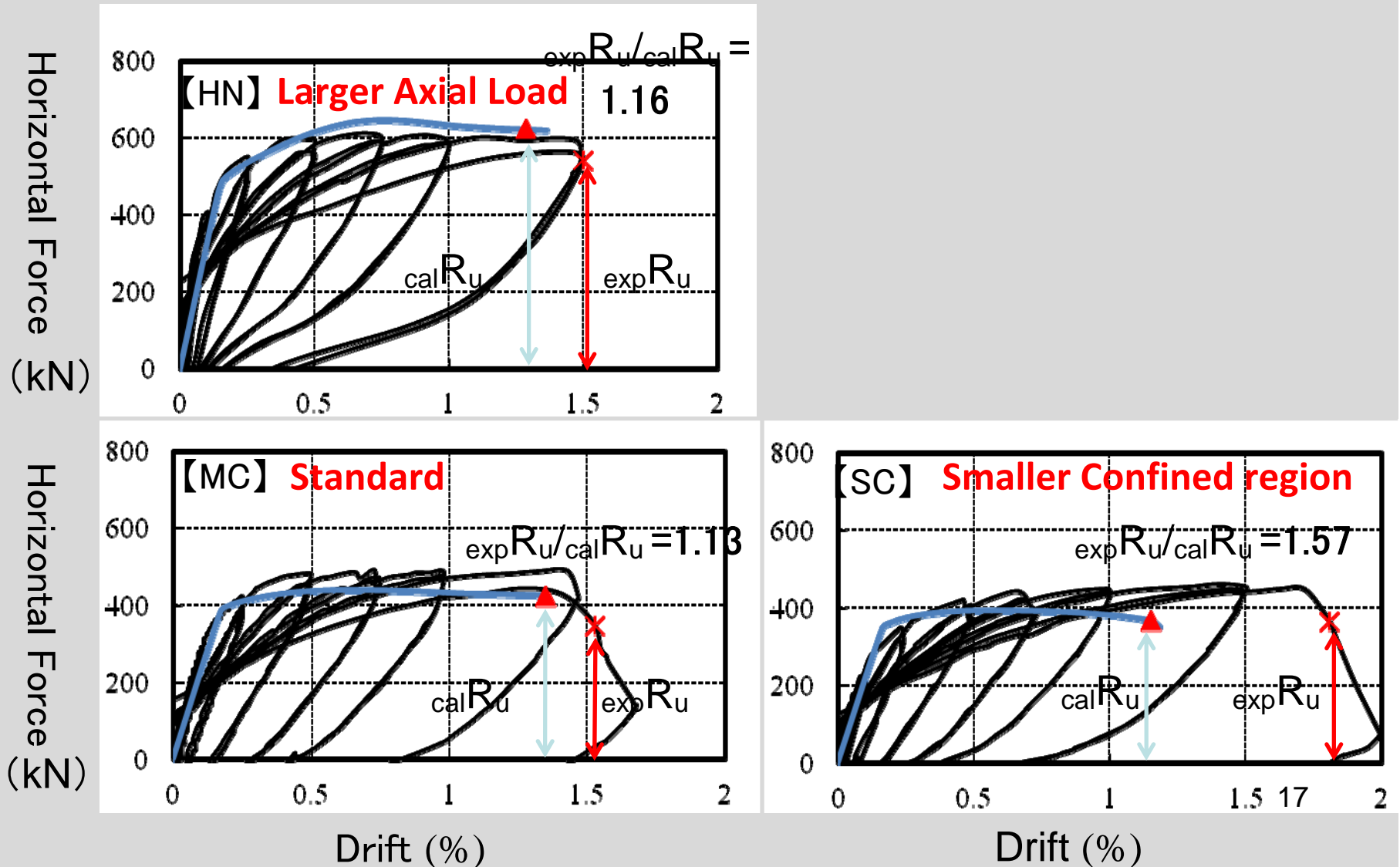
Shear Component of Drift (%)



# 19. Prediction of Deformation

The ultimate drift can be evaluated in good accuracy.

$$\text{exp}R_{uf}/\text{cal}R_{uf} = 1.13 \sim 1.57$$



# ① 対称耐震壁のまとめ

## 今回の発表内容

- 実験の結果, 拘束部の拘束筋量と配筋間隔, 拘束範囲, 軸力が終局時変形性能に影響を与える重要な因子であることが分かった.
- 拘束部の拘束筋量と配筋間隔, 拘束範囲, 軸力の影響を受けて変化する高応力領域の大きさを定量化した.
- 荷重-変形関係を, 断面曲げ解析と靱性指針のせん断3折線モデルと重ね合わせて予測した. 塑性ヒンジ領域を壁厚の5倍, または壁長さの0.35倍とした場合に, 実験の包絡線を概ね模擬できた.

## 発表以外の内容

- 部材種別の判別で, せん断余裕度と軸力を考慮すると, 終局時変形性能の予測精度が上昇する.
- 2次元有限要素モデルで, 実験結果の荷重-変形角関係の包絡線と損傷状況を最大荷重まで高精度に再現

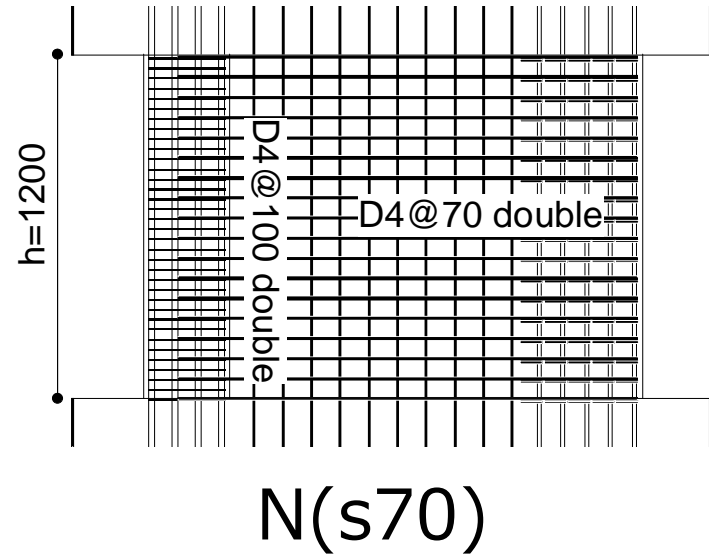
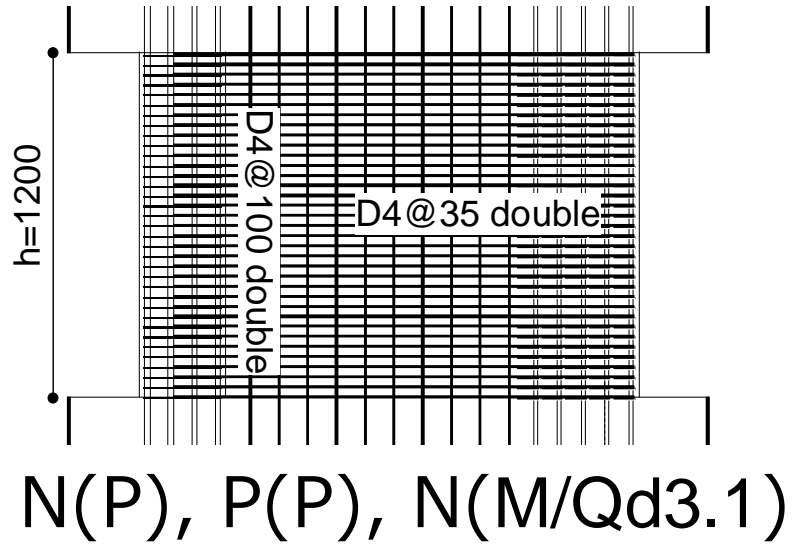
②

端部拘束域の断面形状と補強量が  
非対称断面の耐震壁の靱性に与える影響  
(名古屋工業大学, 豊橋技術科学大学)

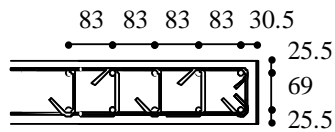
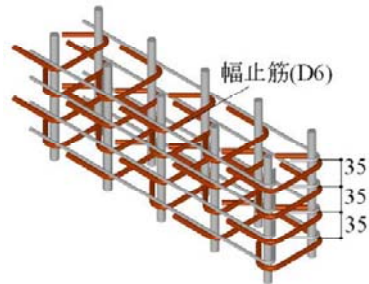
## ② 昨年のまとめ

- 圧縮側端部に柱型を設けることで変形性能が向上することを確認した。
- 端部の拘束域断面積と拘束筋量が大きいほど変形性能が大きいことを確認した。
- 拘束域高さは変形性能に影響しなかった。
- 直交壁内に拘束域を設けることで変形性能が向上することを確認した。
- スリットを設けた試験体PSはスリット部のコンクリートが圧壊したため試験体Pよりも早期に耐力低下した。

# 試験体

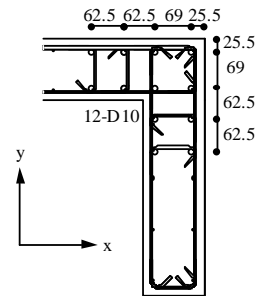
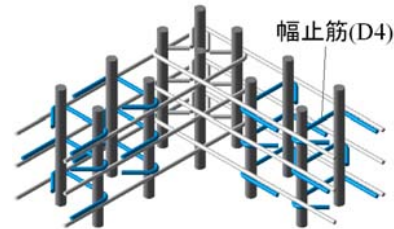


# 試験体の変数



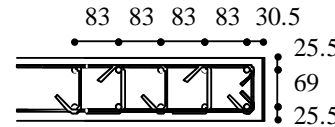
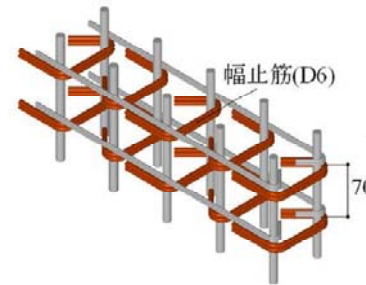
**N(P)**  
標準

単調載荷



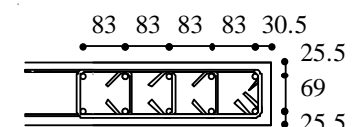
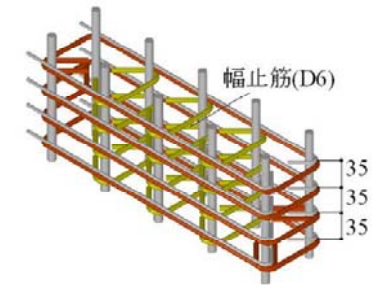
**P(P)**  
直交壁

単調載荷



**N(s70)**  
横筋が半分

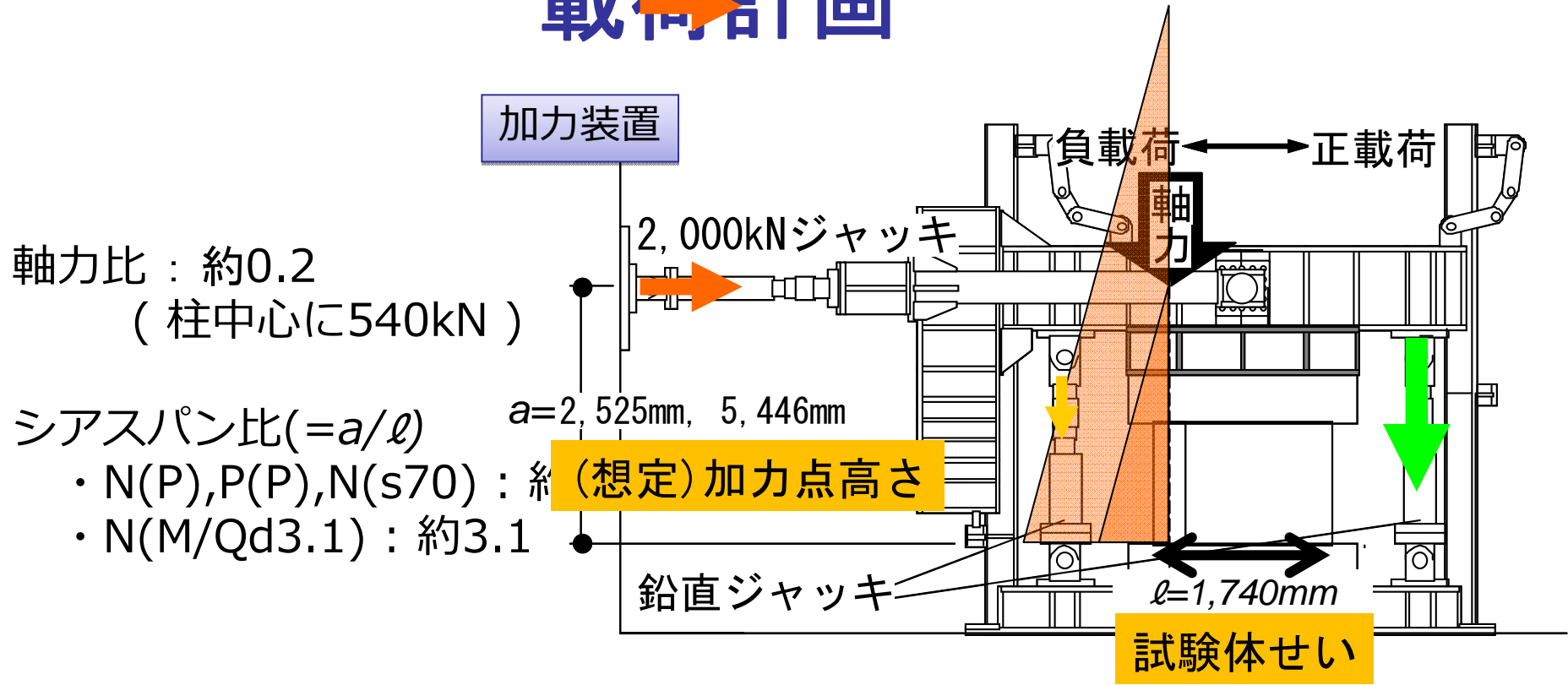
繰返し



**N(M/Qd3.1)**  
M/Qdが2倍  
横筋量が3倍

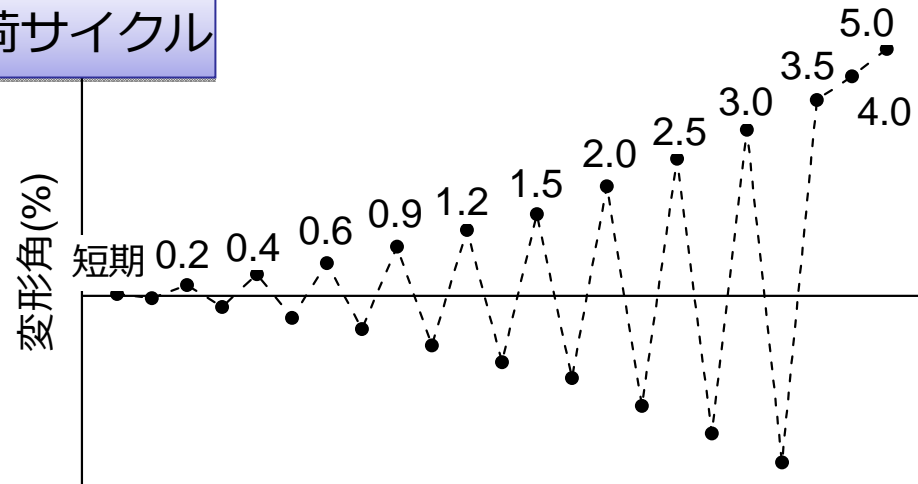
繰返し

# 載荷計画

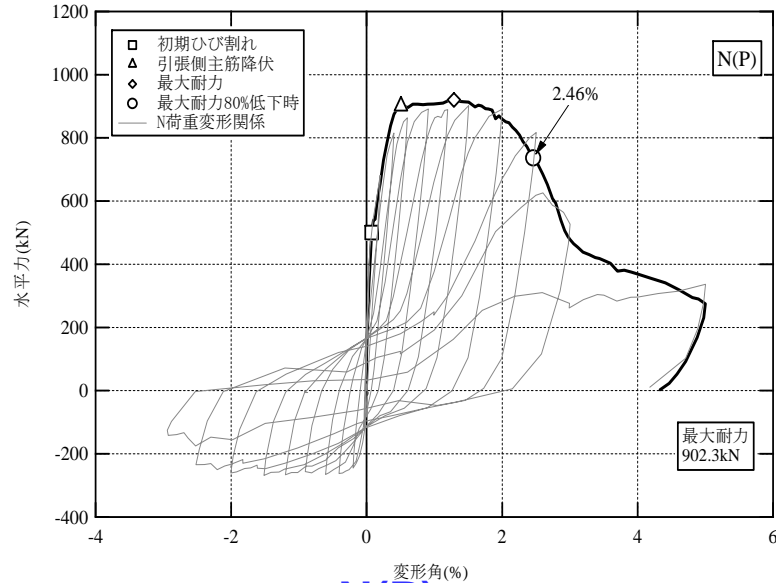
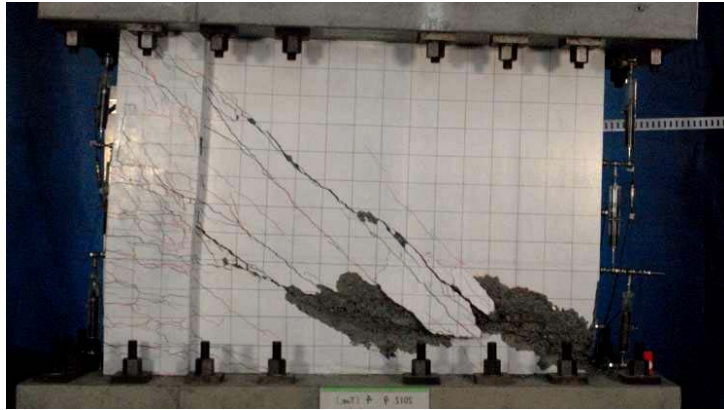


## 載荷サイクル

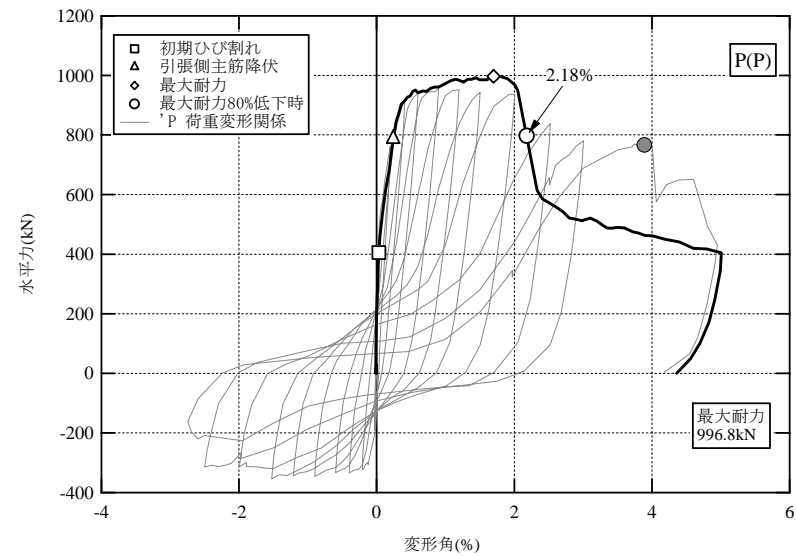
第一サイクル :  
短期許容応力時の水平荷重



# 単調載荷の試験体



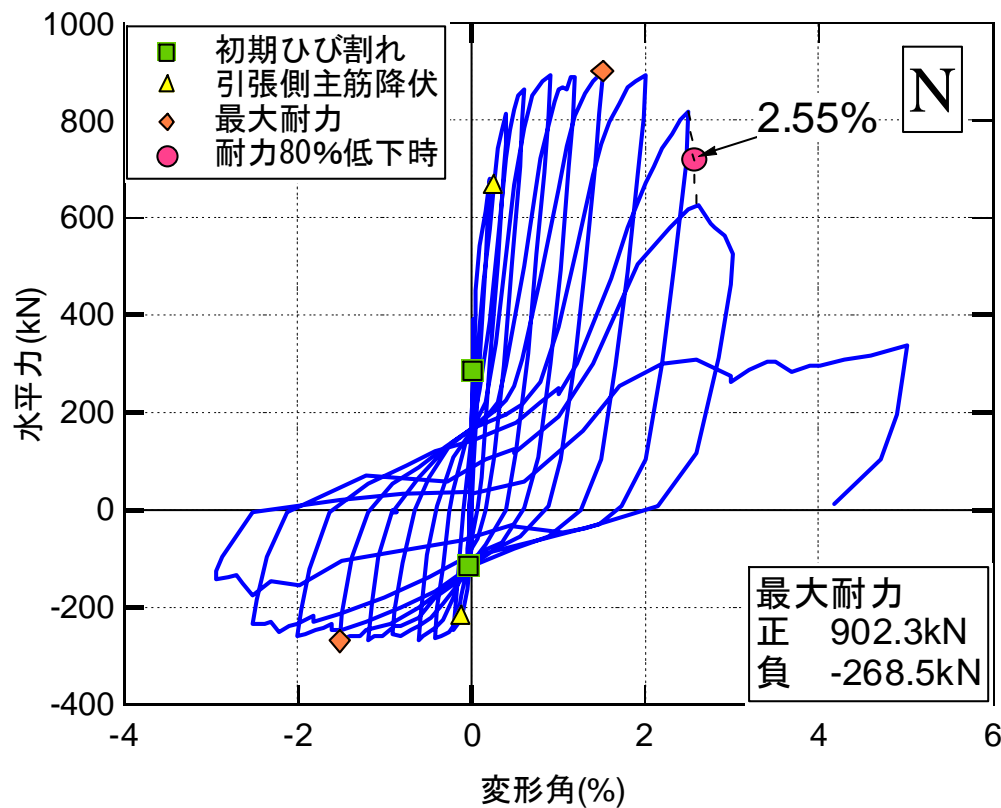
N(P)  
標準



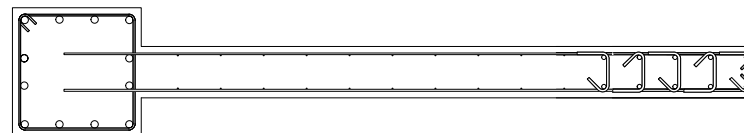
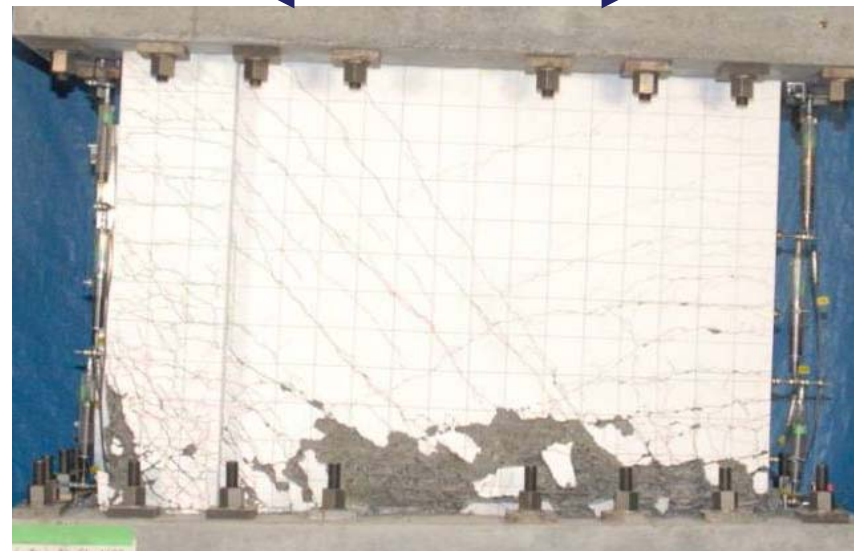
P(P)  
直交壁



# 実験結果 破壊経過 N試験体(先行研究)



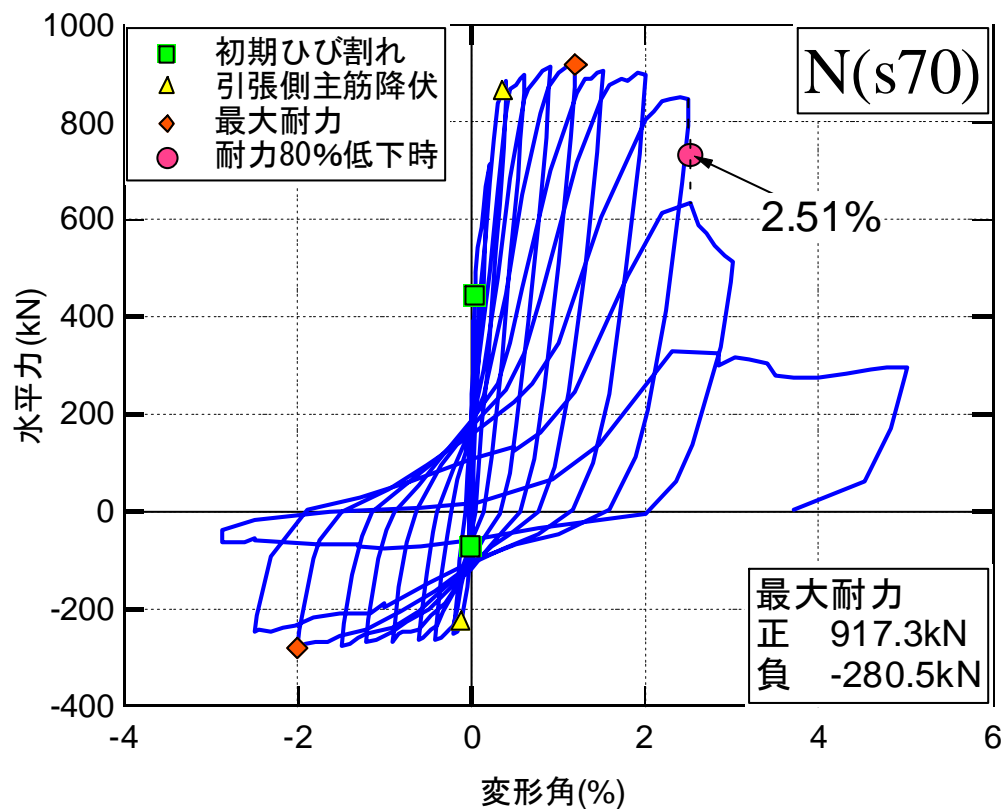
負荷荷 ← → 正荷荷



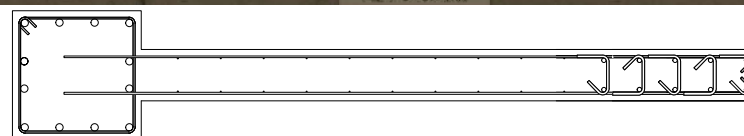
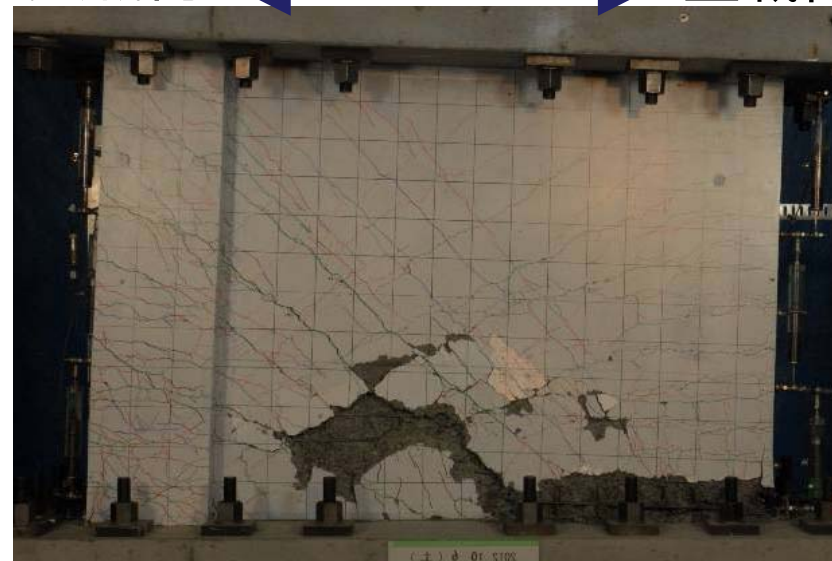
最終破壊状況

- 正荷荷**
- R=0.2%** 脚部のひび割れに沿った滑りが発生 → サイクルが進むにつれ増大
  - R=2.5%** 壁脚部の主筋の座屈, 壁脚部幅止筋の90°フックの開きを確認
  - R=3.0%** 壁脚部の圧縮破壊により急激に耐力低下

# 実験結果 破壊経過 N(s70)試験体



負載荷 ← → 正載荷

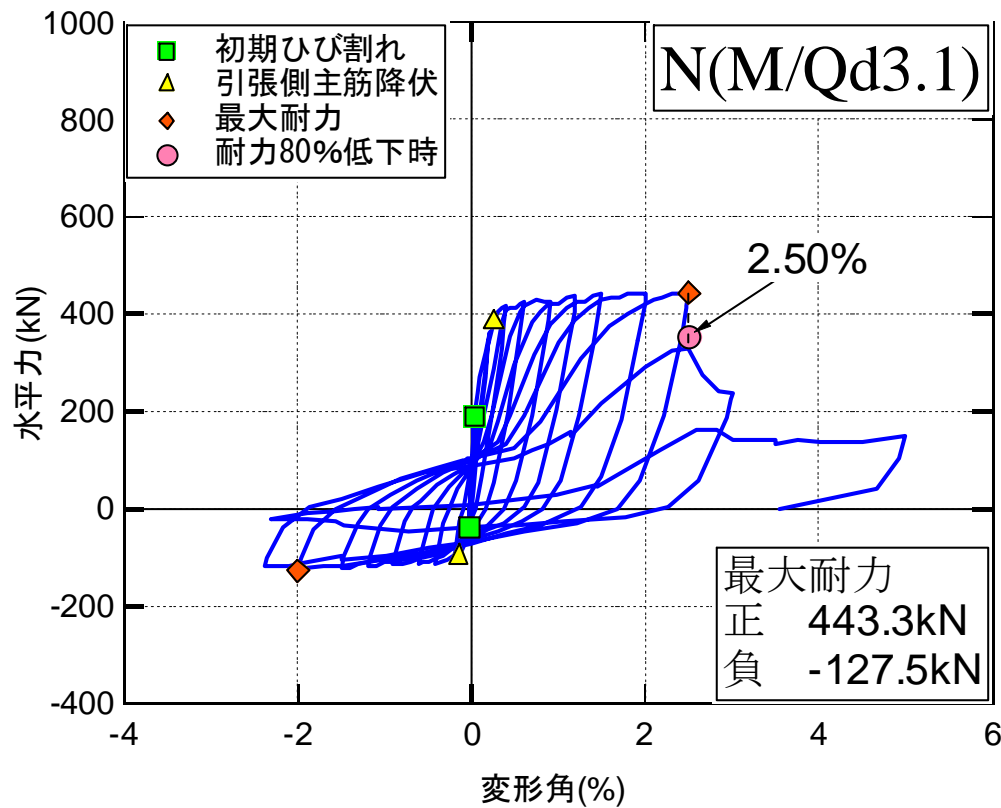


最終破壊状況

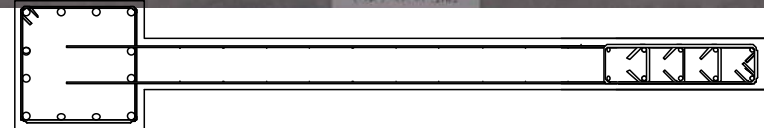
正載荷

R=2.5% 幅止筋90° フックの開きは確認されず  
壁端部主筋の座屈を確認  
→主筋は面内方向に孕む

# 実験結果 破壊経過 N(M/Qd3.1)試験体



負載荷 ← → 正載荷

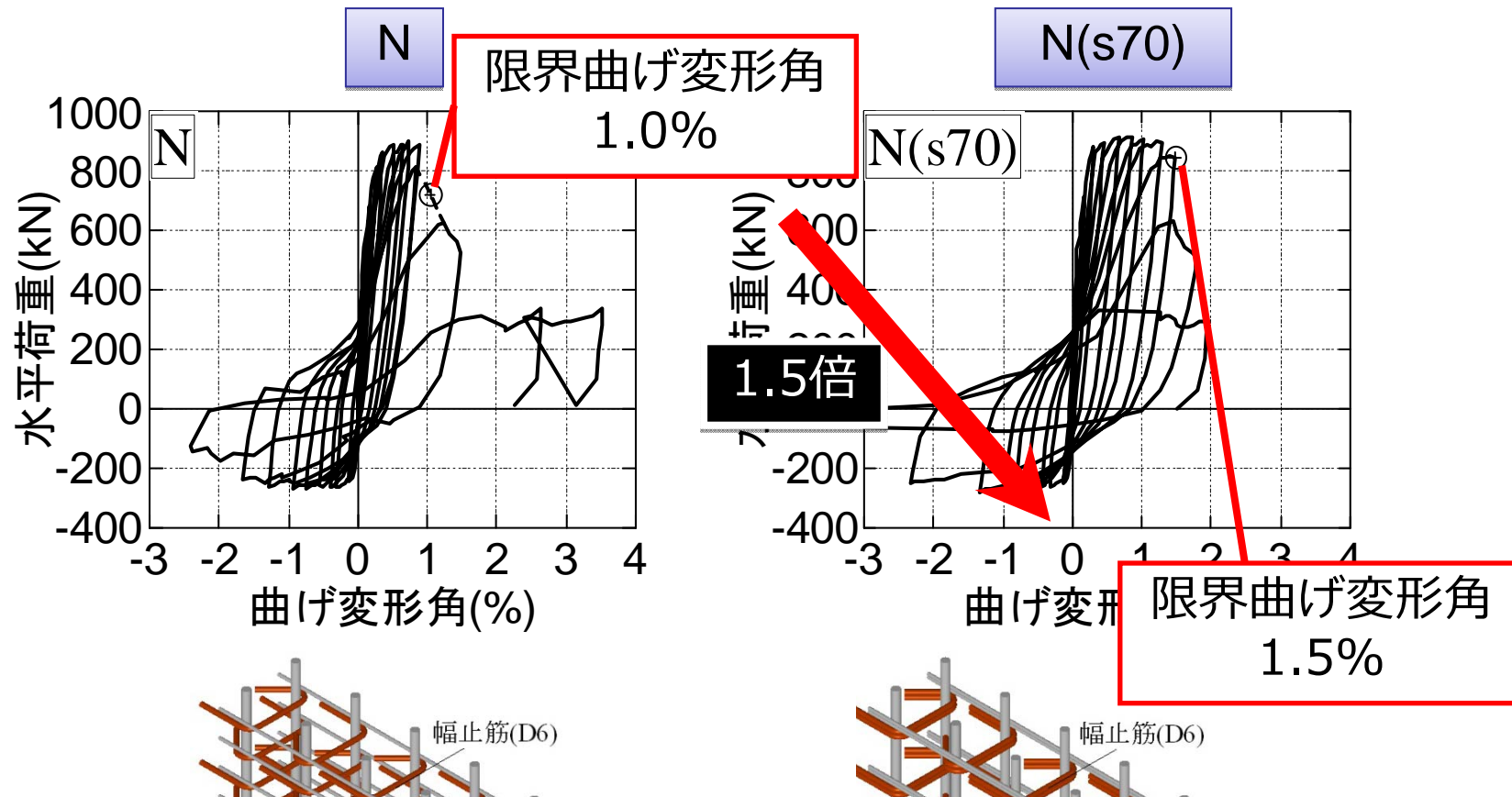


最終破壊状況

正載荷 **R=3.0%** 壁端部の主筋が面外方向に座屈  
→その後、耐力が低下

# 実験結果 曲げ変形性能

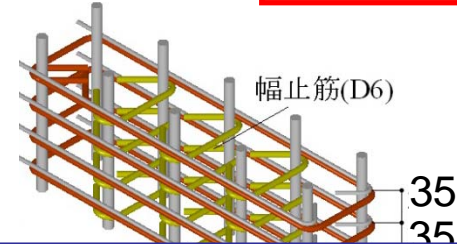
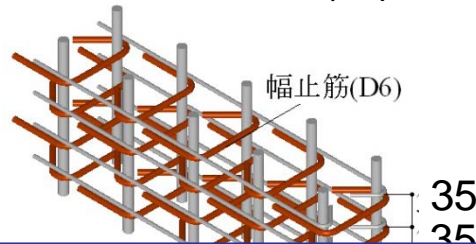
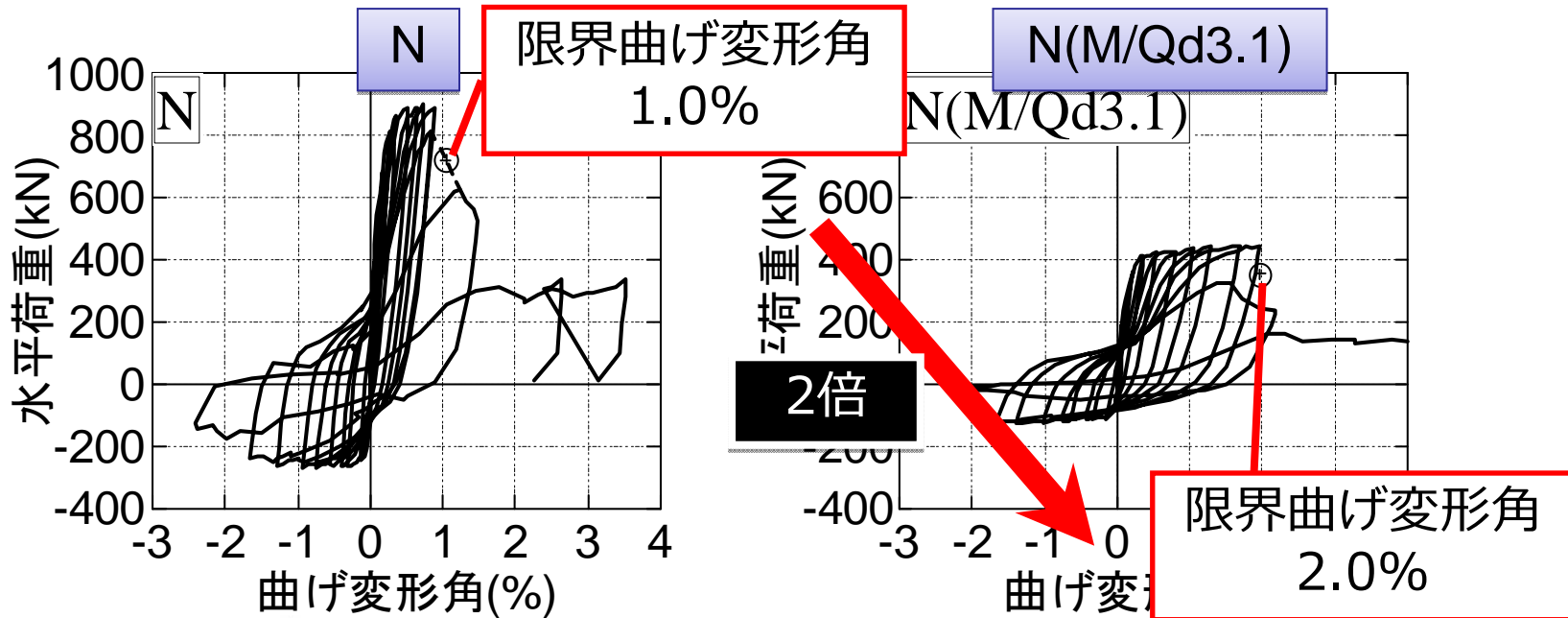
パラメータ : 横筋・拘束筋ピッチ



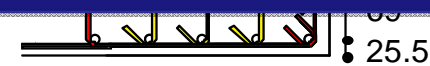
N(s70)では幅止筋を束ねた影響が指摘できる。

# 実験結果 曲げ変形性能

パラメータ : 拘束筋形状・シアスパン比



拘束筋形状を閉鎖型とし、シアスパン比を大きくすることで変形性能が向上



## ② 非対称耐震壁のまとめ

- すべての試験体は曲げ降伏後に壁端部拘束域の圧縮破壊により耐力が低下
- 壁横筋と端部拘束域の配筋ピッチを大きくすることで曲げ変形性能が大きくなる???
  - ←幅止め筋を束ねたことで、フックの開きに対する抵抗が増加
- 端部拘束筋を閉鎖型とし、シアスパン比を大きくすることで曲げ変形性能が向上

③

曲げ降伏型耐震壁の靱性に対する  
多方向地震力の影響  
(東京大学)

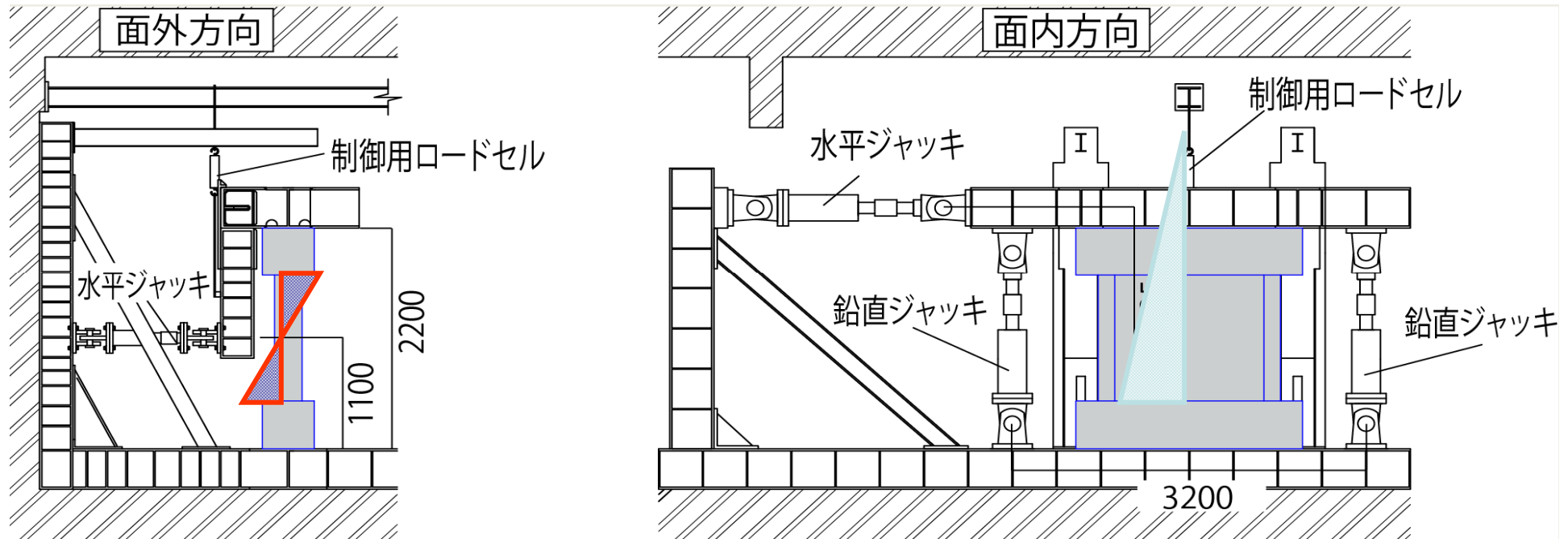


### ③ 昨年の結果

- 耐震壁の面内方向の耐力は1方向・2方向での顕著な差はなく、2方向力を与えたものも面内方向のみ独立に計算したもので概ね良好に評価できた。
- 耐震壁のどの試験体も1/37.5程度と十分な面内方向の変形性能を示したが、2方向力を与えた試験体はやや早めに限界変形に至った。
- 2方向力を受ける耐震壁の面外方向の耐力を独立に柱として計算すると過大な評価となった。
- 耐震壁を面内で独立にファイバーモデルで解析したところ、いずれの試験体もおよそ良好に評価した。面外の変形を考慮すると、面内方向の評価はやや過小な評価となるが、面外方向では概ね評価できた。



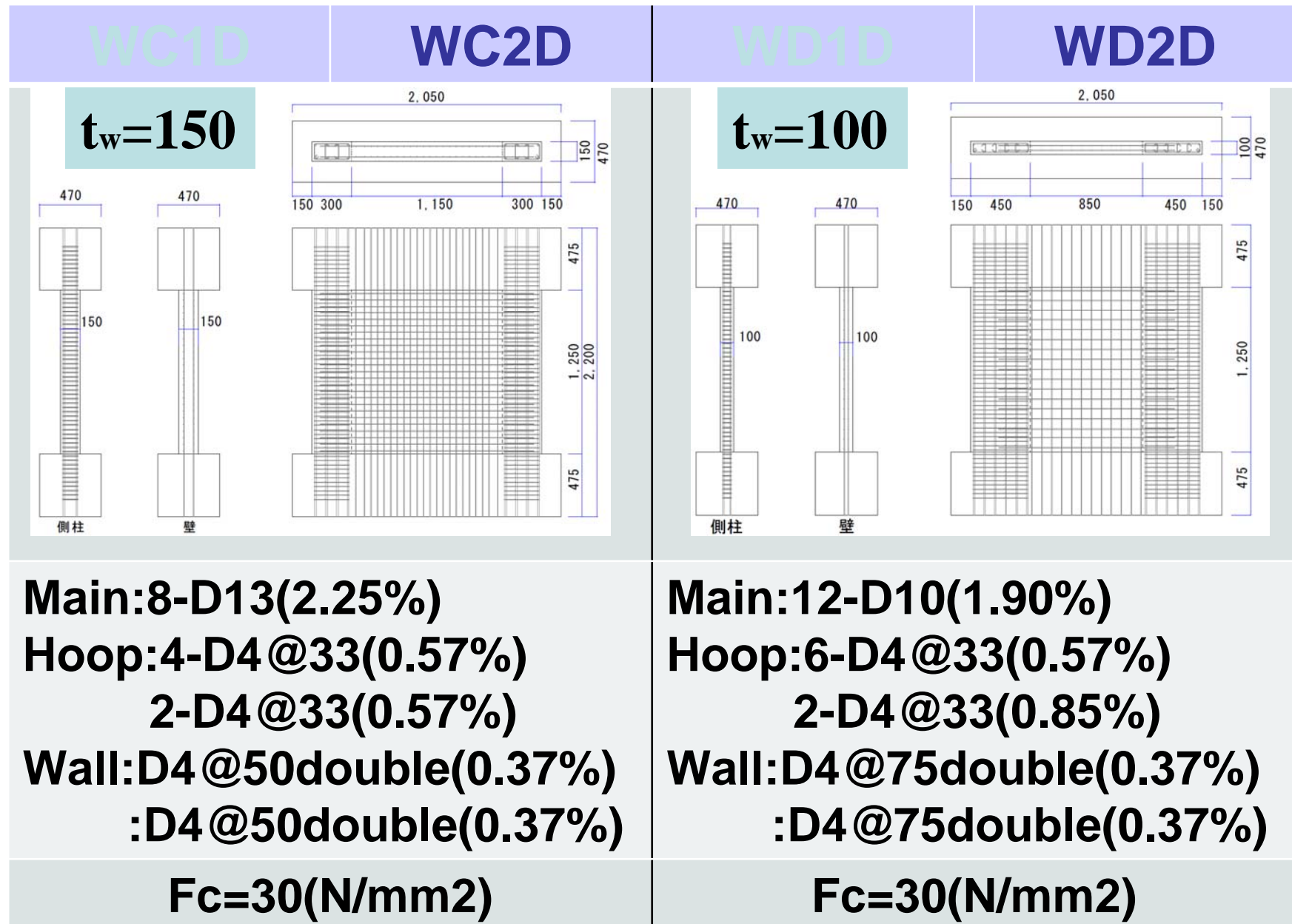
# Flexural tests on reinforced concrete wall component under bi-axial lateral loading (2011-2012)



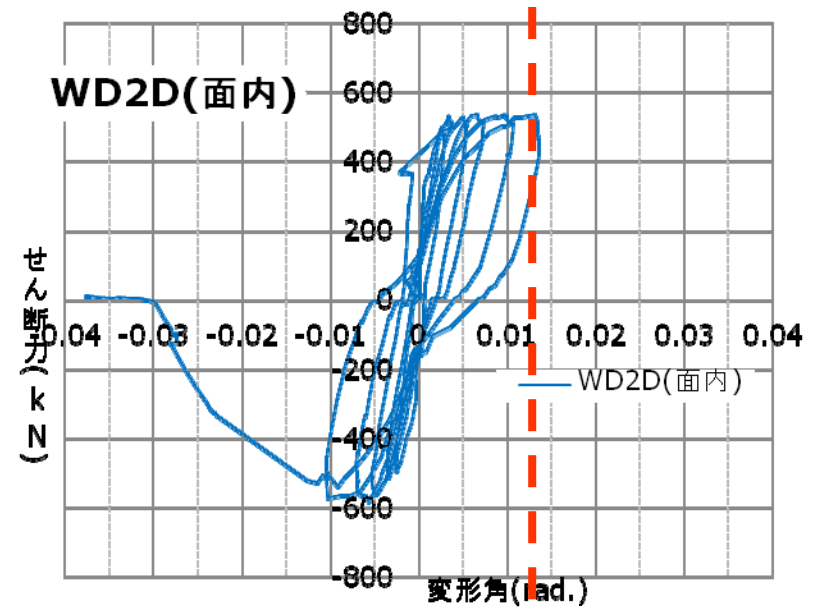
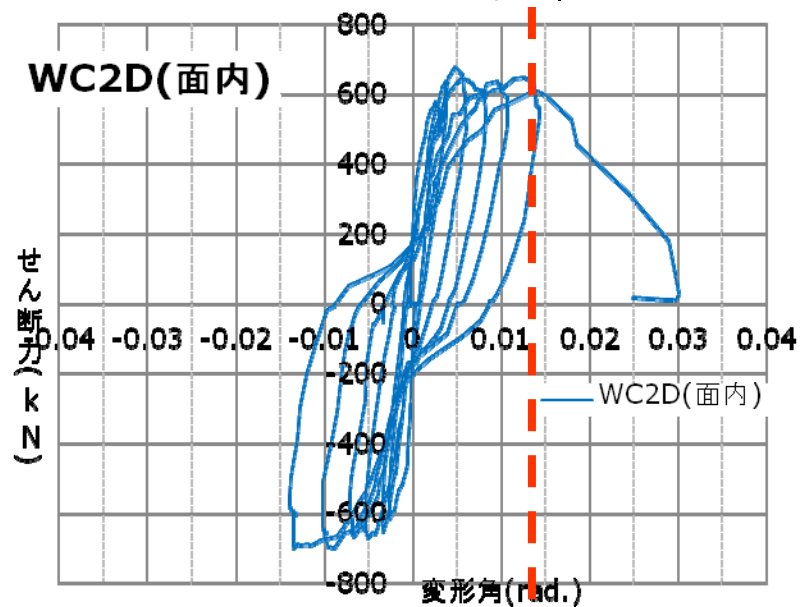
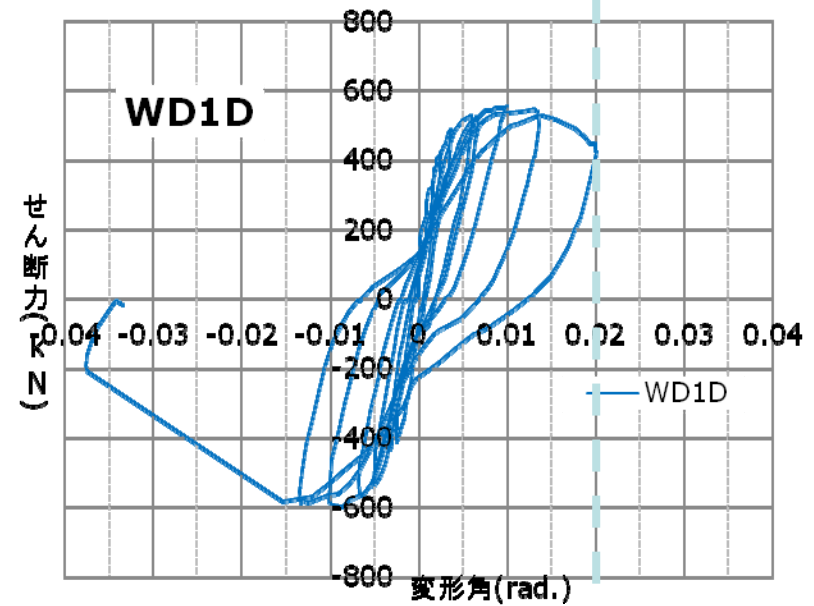
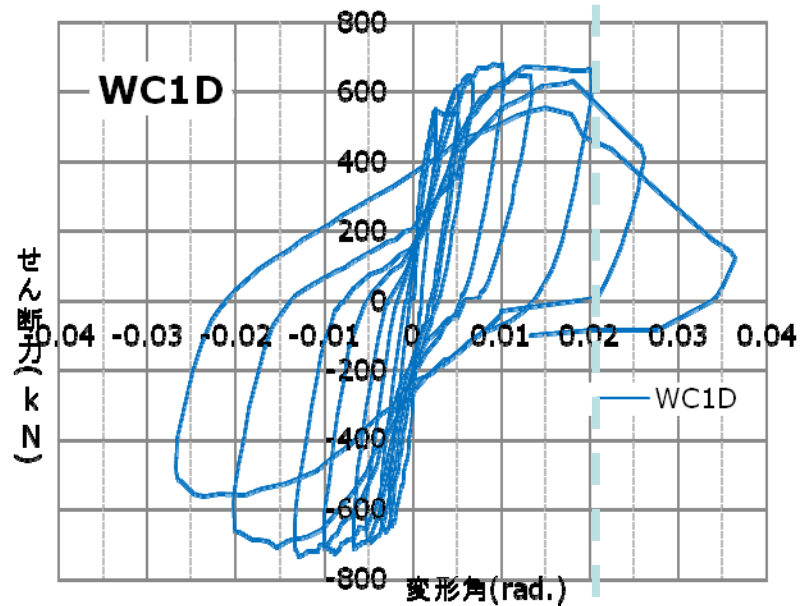
**Out-of-plane anti-symmetric loading**

**In-plane cantilever loading**

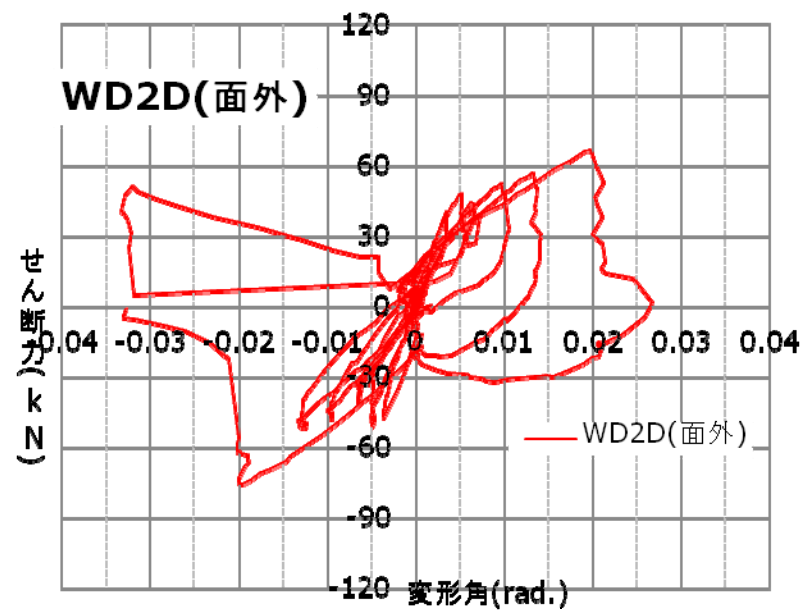
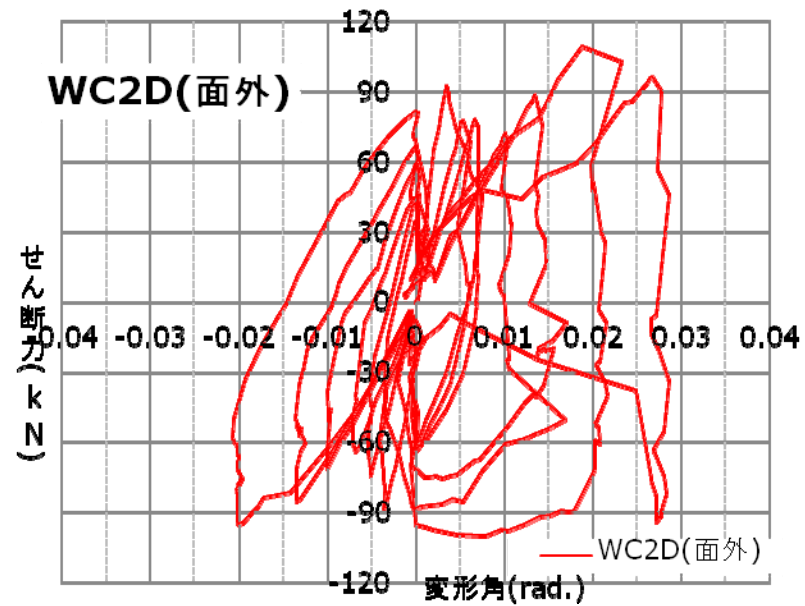
# RC wall tests under bi-axial lateral loading (2012)



# RC wall tests under bi-axial lateral loading (2012)

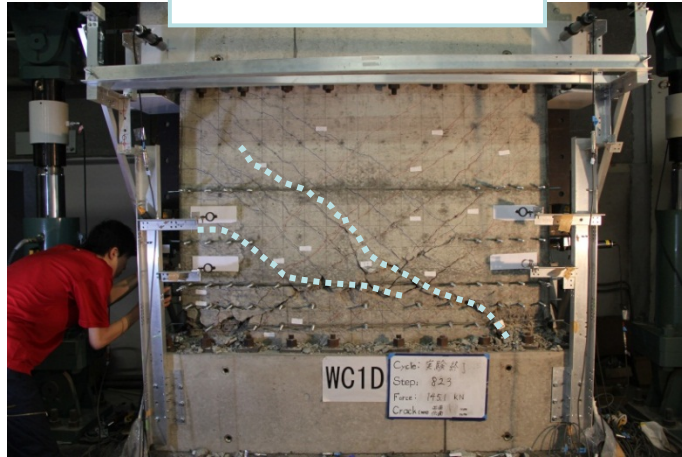


# RC wall tests under bi-axial lateral loading (2012)



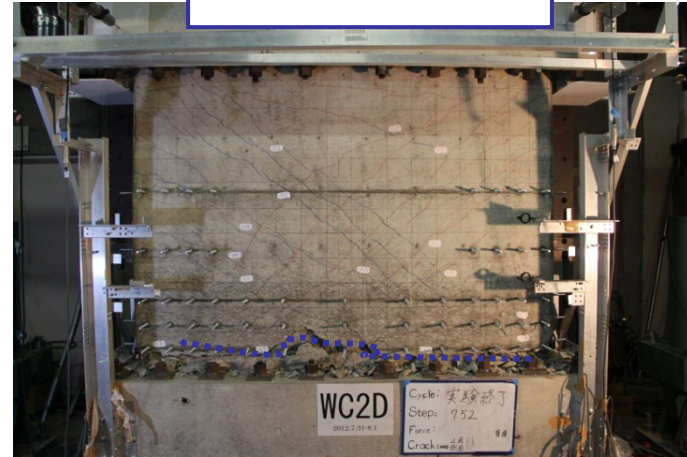
# Difference in failure modes (2012 wall tests)

## WC1D



## Shear in panel

## WC2D



## Sliding at base



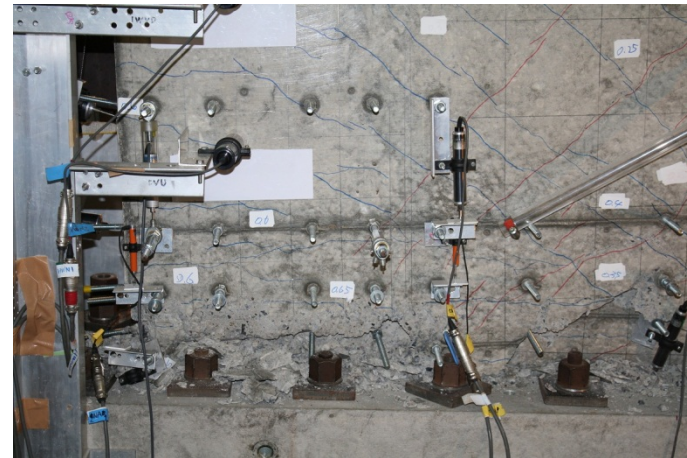
# Difference in failure modes (2012 wall tests)

## WD1D



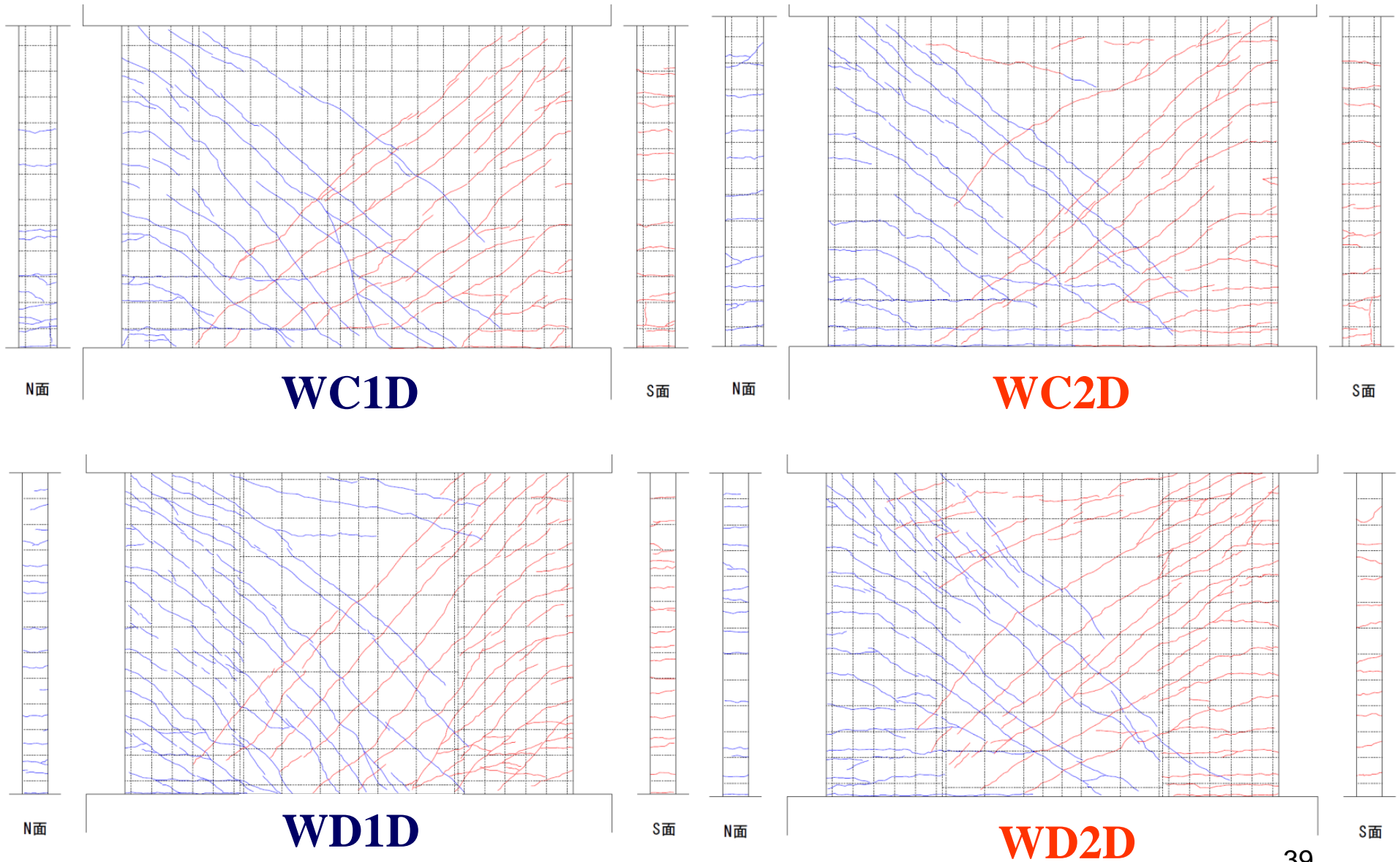
## Shear dominated

## WD2D

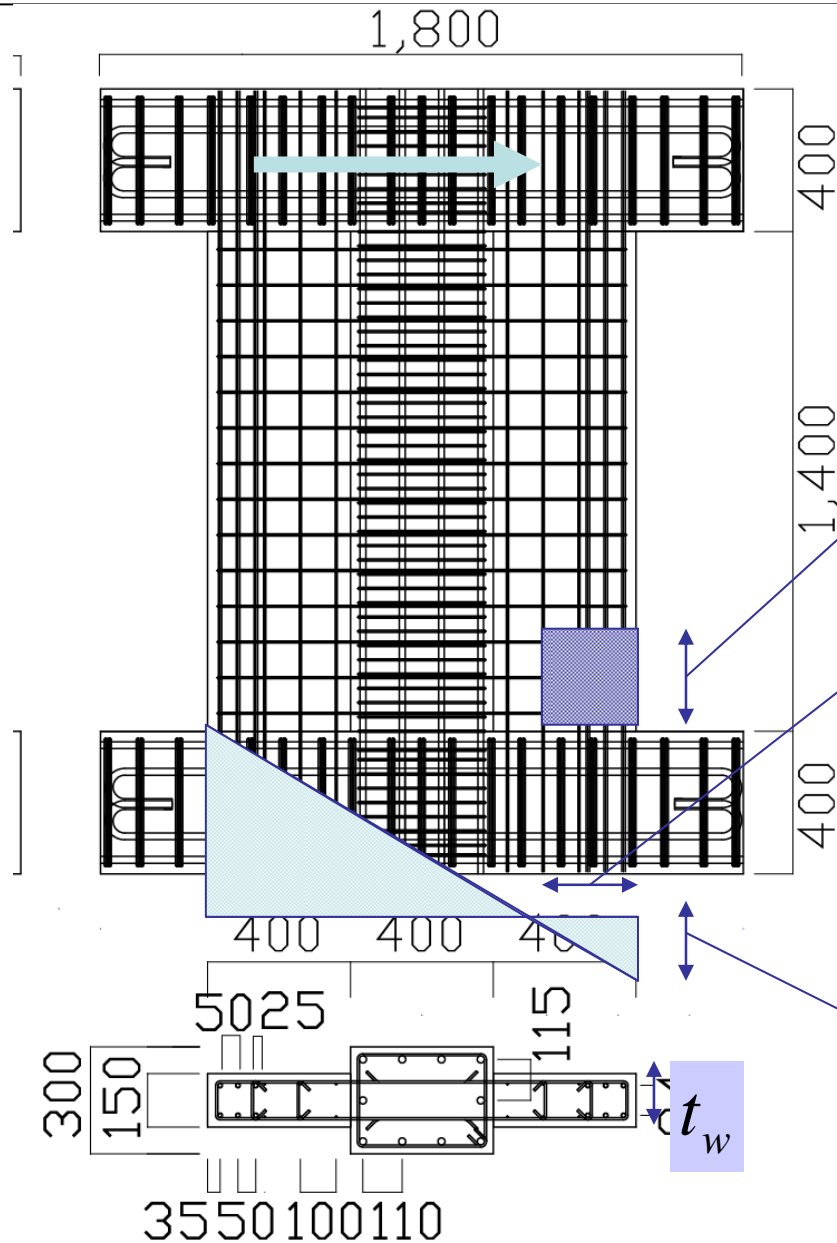


## Axial compression

# Crack patterns at 1/100 (2012 wall tests)



# Flexural theory on the Ultimate Deformability of Wing-wall Specimens with Compressive Hinge Zone Length



$$R_u = c \times l_h \times \phi_u$$

$$l_h = 2t_w \quad \phi_u = \varepsilon_{cu} / x_n$$

$$x_n = 2L_{cc} = A_{cc} / t_w$$

$$R_u = c \times 2t_w \times \varepsilon_{cu} / x_n$$

$$c = 6$$

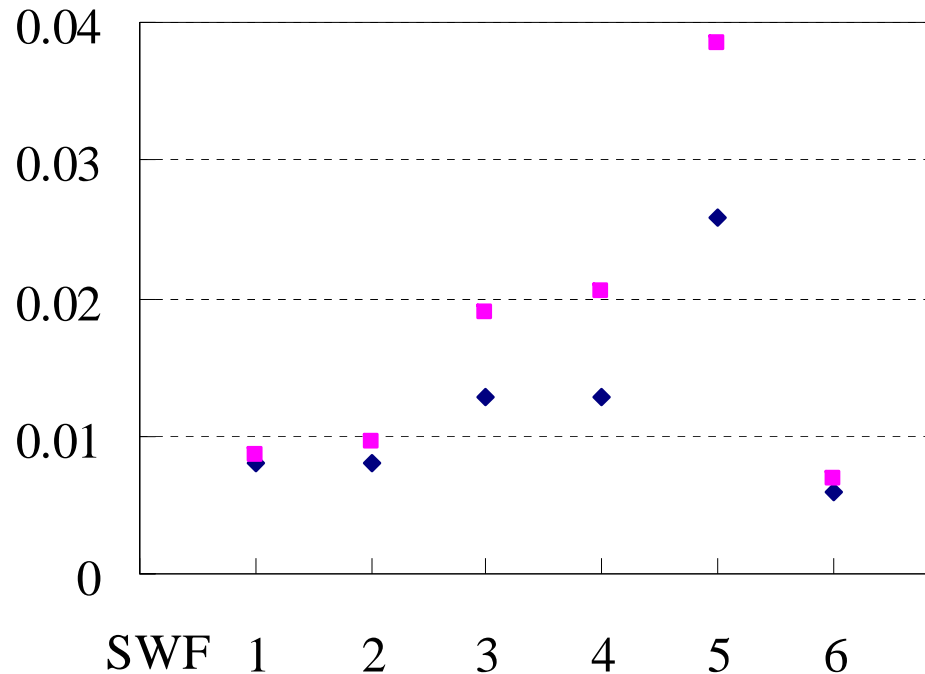
$$\varepsilon_{cu} = 0.003(\text{unconfined})$$

$$0.006(\text{confined})$$

.0



# Observed and Calculated and Ultimate Deformability for Wing-wall Specimens



$$R_u = c \times l_h \times \phi_u$$

$$l_h = 2t_w$$

$$\phi_u = \varepsilon_{cu} / x_n$$

$$R_u = c \times 2t_w \times \varepsilon_{cu} / x_n$$

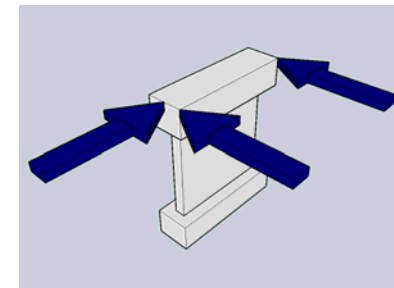
$$c = 6$$

$$\varepsilon_{cu} = 0.003(\text{unconfined})$$

$$0.006(\text{confined})$$

### ③ 多方向地震力のまとめ

- 面外方向力を与えた試験体の
  - ー 最大耐力は1方向加力と大きな違いはなかった.
  - ー 変形性能は, 面内方向力のみでの試験体より2~3割低減した. また, 損傷の進行度は, 面内方向力のみでの試験体より早い.
  - ー 破壊モードは, 圧壊またはせん断滑りに移行した. (面内方向力のみで載荷した試験体は, 曲げ降伏後のせん断破壊)



# まとめ

## I) 問題点の把握と実験データベースの構築

- 側柱がある耐力壁と無い耐力壁のデータベースを構築できた。

## II) 連層耐震壁試験体を用いた構造実験の実施

- 耐震壁(対称・非対称)では, 枠柱の有無・端部のせん断補強筋量が終局時変形性能に影響を明らかにした。
- 耐震壁多方向載荷では, 面外方向載荷は耐力に影響しなかったが変形性能にはおおきな影響を与える。

## III) 解析モデルの構築と数値解析

- ファイバーモデルで, 骨格曲線を凡そ再現できる。
- 曲げ圧壊を予測可能なFEMモデルを構築した。

## IV) 各種設計式の提案

- 現在の  $\tau u/F' c$  のみでは終局時変形性能を十分に予測できないが, せん断余裕度と側柱の軸力を考慮すると, 予測精度が上昇する。部材種別判定手順の妥当な評価法の早期確立が必要である。
- 曲げ変形は, 曲げ解析でほぼ予測可能であるが, せん断滑りやせん断変形を正確にモデル化する必要がある。端部縦筋の座屈が, 終局時変形角を低減することもあった。