

# 課題 30

## 有開口耐力壁の変形性能の評価等 に関する実験・解析

大阪大学

京都大学

豊橋技術科学大学

竹中工務店

# 研究体制

研究代表者	倉本 洋	大阪大学大学院工学研究科・教授	全体総括および複数開口耐震壁の調査
研究分担者	河野 進	京都大学大学院工学研究科・准教授	偏在開口耐震壁の調査
	宮内 靖昌	竹中工務店技術研究所・主任研究員	有開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査
	松井 智哉	豊橋技術科学大学工学部・助教	複数開口耐震壁の実験および数値解析の遂行
	田中 仁史	京都大学防災研究所・教授	偏在開口耐震壁の研究計画立案
	坂下 雅信	京都大学大学院工学研究科・助教	偏在開口耐震壁の実験遂行
	太田 義弘	竹中工務店技術研究所・主任研究員	偏在開口耐震壁の数値解析モデルの構築
	福原 武史	竹中工務店技術研究所・研究員	偏在開口耐震壁の数値解析の遂行

# 報告書の構成

- 1章** はじめに
- 2章** 複数開口耐震壁に関する実験調査
- 3章** 偏在開口耐震壁に関する実験調査
- 4章** 偏在開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査 その1
- 5章** 偏在開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査 その2
- 6章** 複数開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査
- 7章** 結論

# 報告書の構成

1章 はじめに

2章 複数開口耐震壁に関する実験調査

3章 偏在開口耐震壁に関する実験調査

4章 偏在開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査 その1

5章 偏在開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査 その2

6章 複数開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査

7章 結論

# **2章 複数開口耐震壁に関する実験調査**

**大阪大学**

**豊橋技術科学大学**

# 目的

## 有開口耐震壁の評価法の精度向上におけた基礎資料の整備

2009年度

- ・ 2つの開口が対角に配置された耐震壁
- ・ ドア型開口と小開口からなる耐震壁の構造実験を実施

せん断破壊先行型の有開口耐震壁の性状を把握



# 目的

## 有開口耐震壁の評価法の精度向上におけた基礎資料の整備

2010年度

- ・ 曲げ降伏先行型の無開口耐震壁に対して、開口位置を実験変数とした複数開口耐震壁の静的載荷実験を実施



- ・ 破壊性状・荷重－変形角関係などの構造性能の把握
- ・ 2009年度実験の結果と比較検討を行い、せん断スパン比が有開口耐震壁の構造性能に及ぼす影響を調査

# 試験体概要

- 6層RC造建築物における連層耐震壁の下層部を想定(曲げ降伏先行型)
- 実験変数を開口の位置・個数とする
  - 等価開口周比: 0.4
  - 縮尺: 1/3スケール

## 使用材料

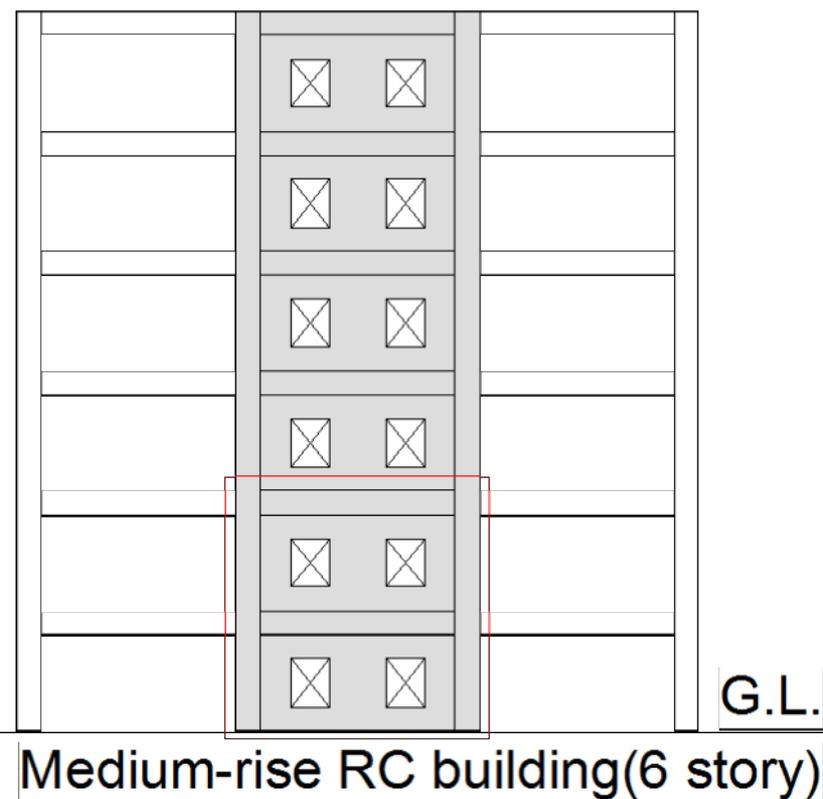
コンクリートの圧縮強度  $27\text{N/mm}^2$

壁筋、柱・梁横補強筋: D6(SD295A)

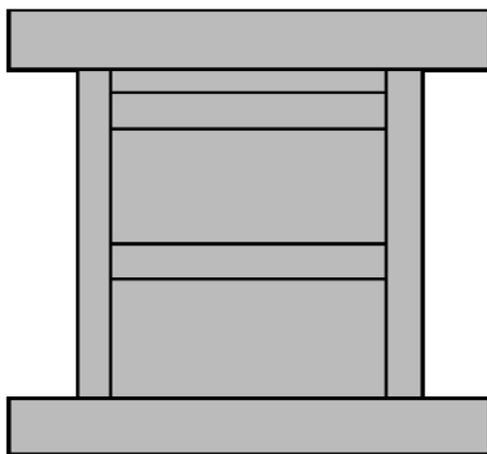
梁主筋: D10(SD295A)

柱主筋: D13(SD390)

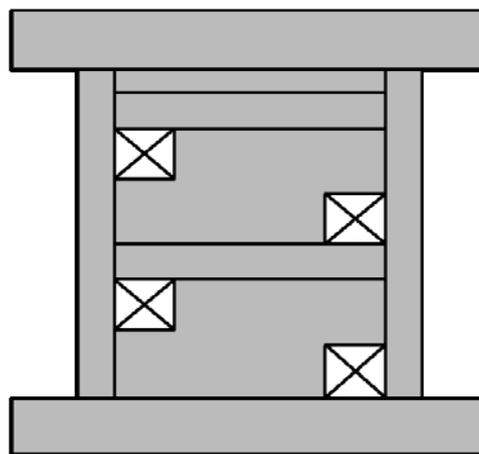
開口補強筋: D10(SD295A)



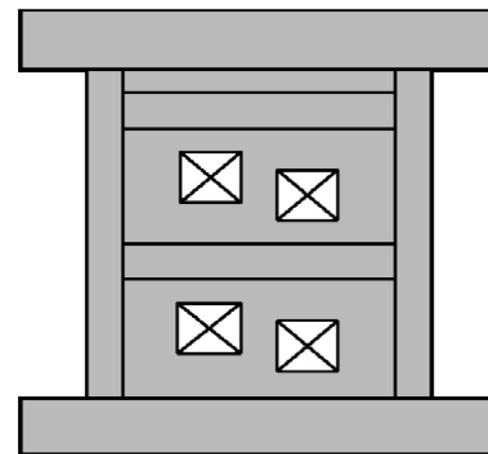
# 試験体概要



無開口試験体



有開口試験体



本実験

WNO-F

WO7-F

WO8-F

2009年度  
実験

WNO

WO7

WO8

約30N/mm<sup>2</sup>

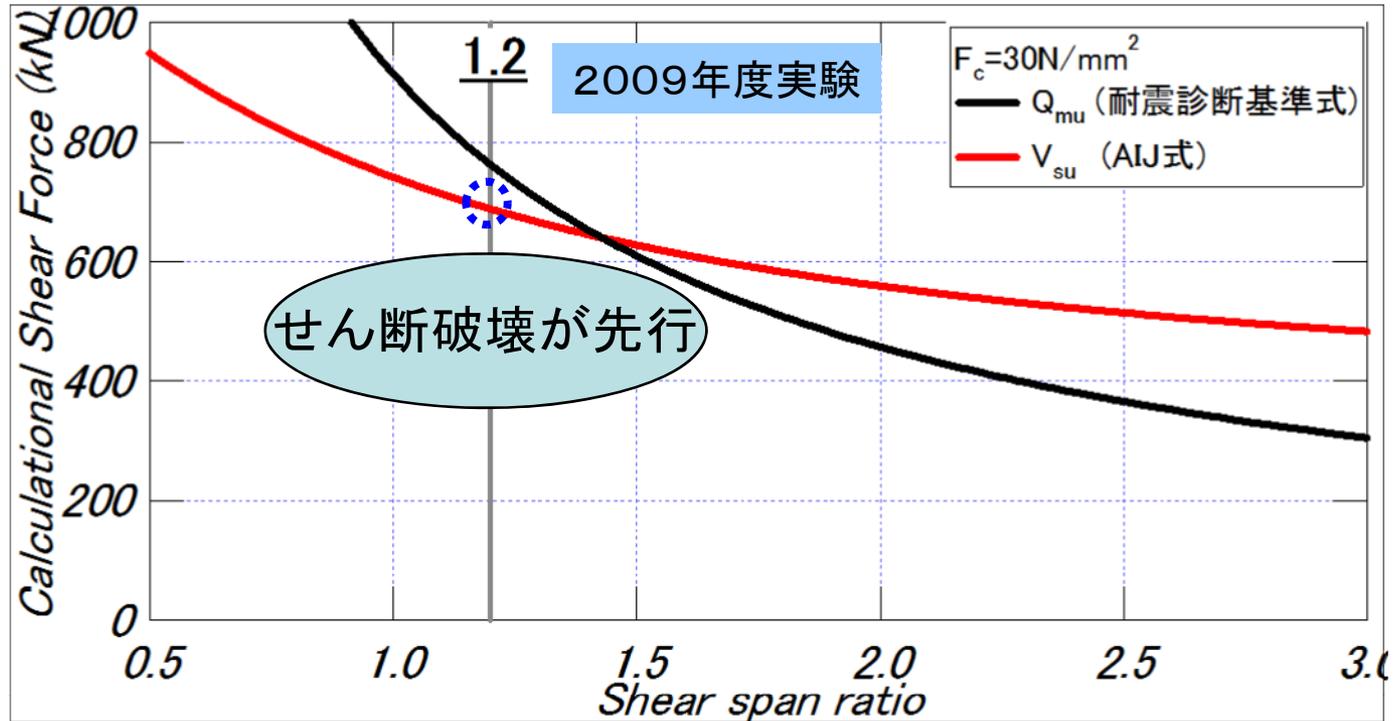
約20N/mm<sup>2</sup>

コンクリート圧縮強度

		WNO	WO7	WO8	WNO-F	WO7-F	WO8-F
$\sigma_B$ (N/mm <sup>2</sup> )	1層	30.1(42)*	31.6(57)	30.3(47)	21(41)	19.6(47)	21.3(54)
	2層	31(34)	33.1(49)	29.8(39)	20.2(35)	20.7(41)	21.1(48)

\* ( )はコンクリートの材齢日を示す

# せん断スパン比



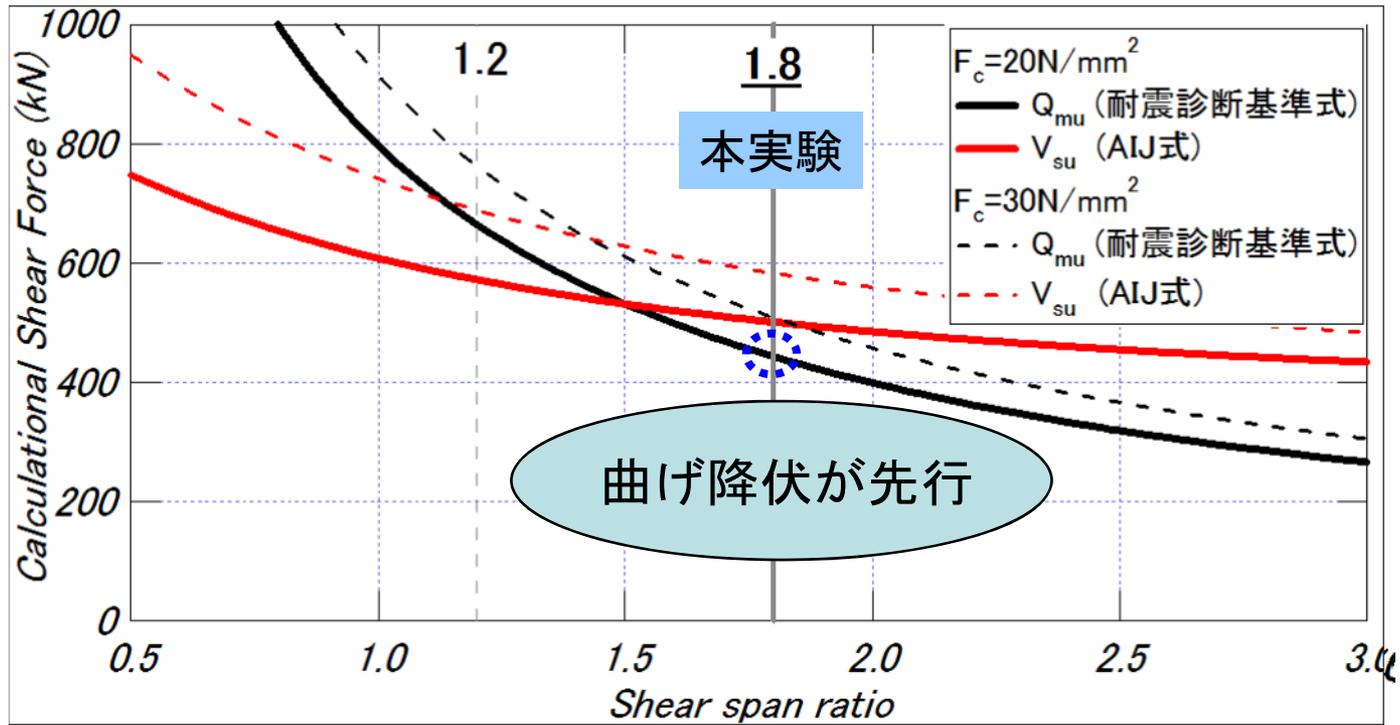
曲げ終局強度：耐震診断基準式

$$M_u = a_s \cdot \sigma_s \cdot l_w + 0.5 \sum (a_s \cdot \sigma_{sy}) \cdot l_w + 0.5 \cdot N \cdot l_w$$

せん断終局強度：AIJ式（靱性保証指針）

$$Q_u = p_s \cdot \sigma_s \cdot t \cdot l_w \cdot \cos \phi + (1 - \beta) \tan \theta v \sigma_s \cdot t \cdot \frac{l_w}{2}$$

# せん断スパン比



曲げ終局強度：耐震診断基準式

$$M_u = a_t \cdot \sigma_y \cdot l_w + 0.5 \sum (a_w \cdot \sigma_{wy}) \cdot l_w + 0.5 \cdot N \cdot l_w$$

せん断終局強度：AIJ式（靱性保証指針）

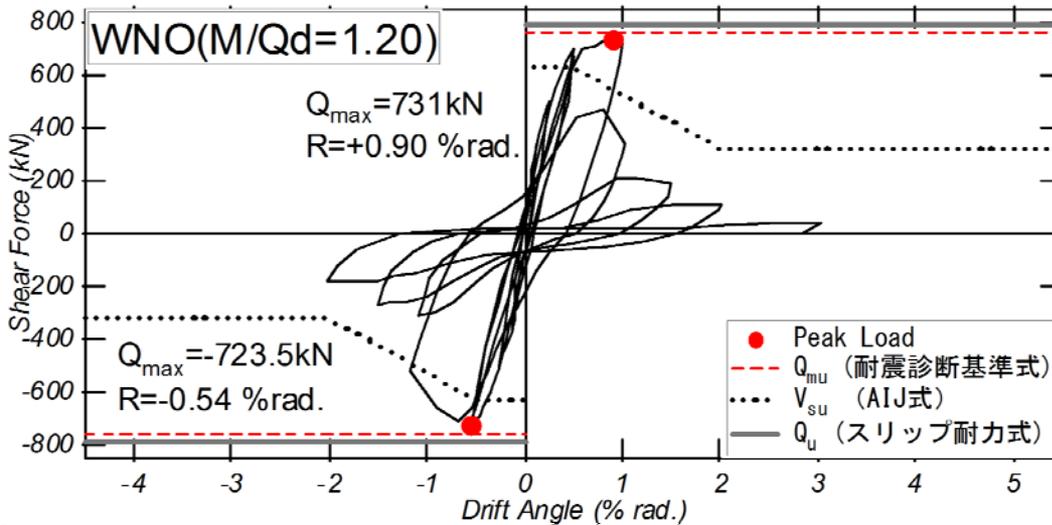
$$Q_u = p_v \sigma_v t l_w \cos \phi + (1 - \beta) \tan \theta v \sigma_t t \frac{l_w}{2}$$

# ・ 載荷計画

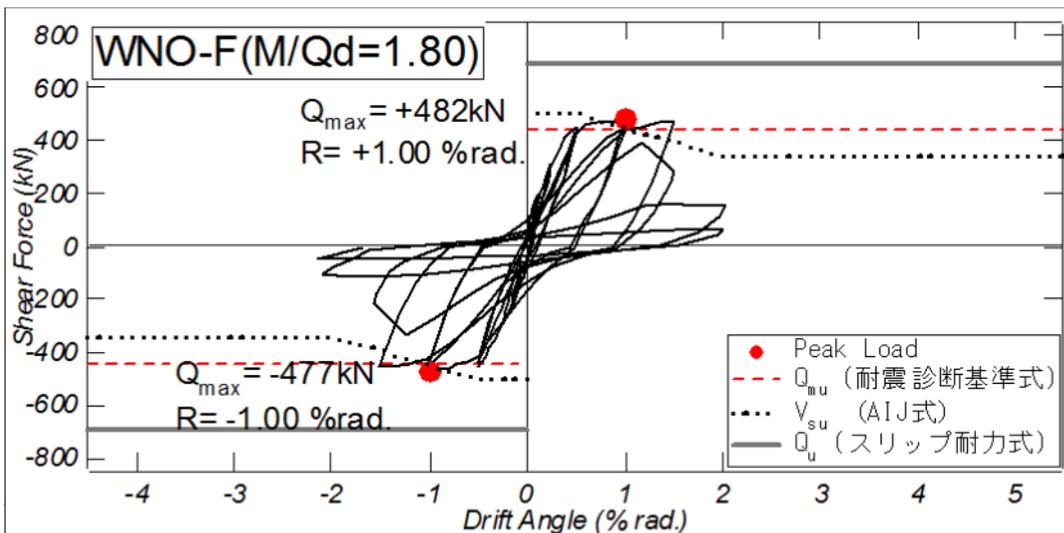
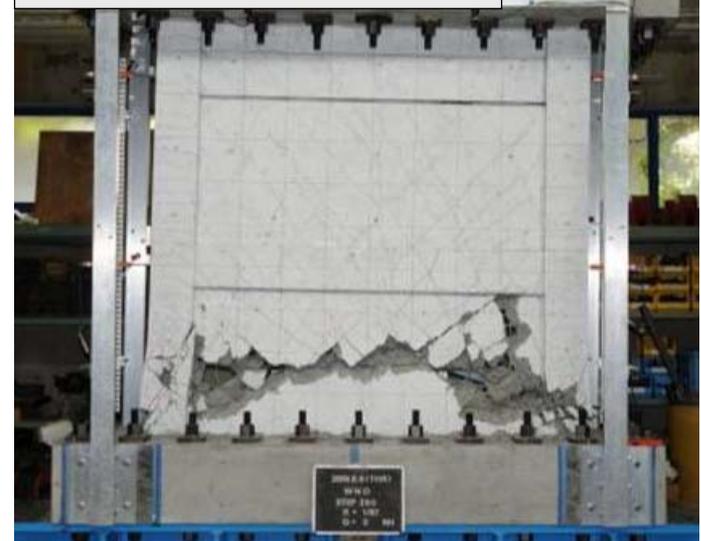
---



# 実験結果 (破壊性状)



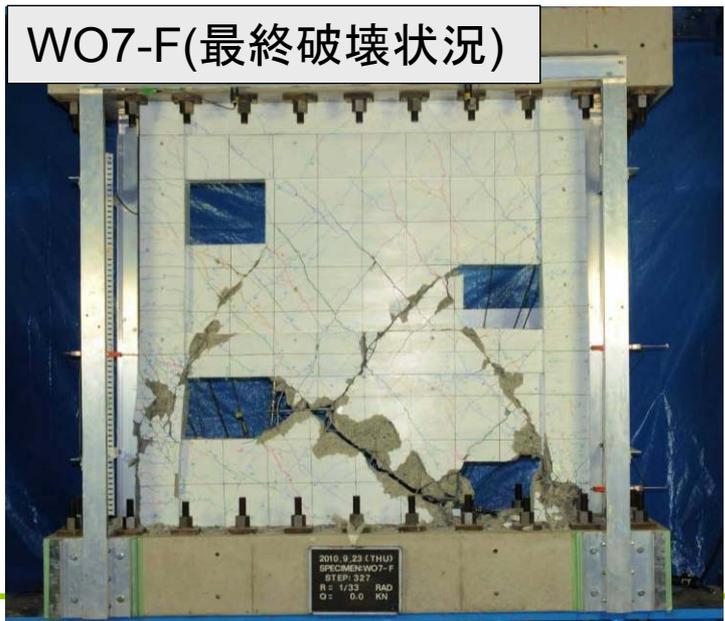
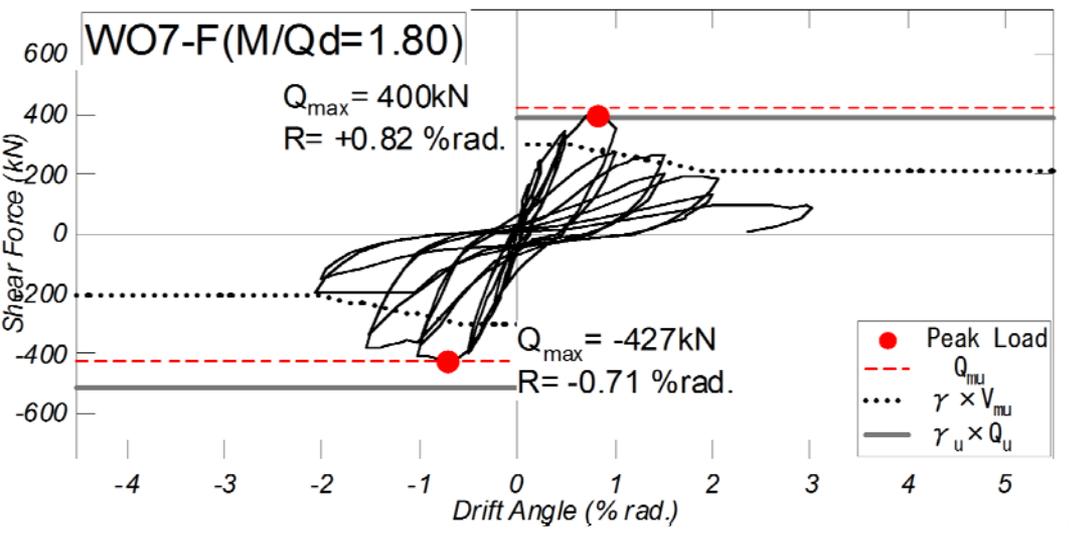
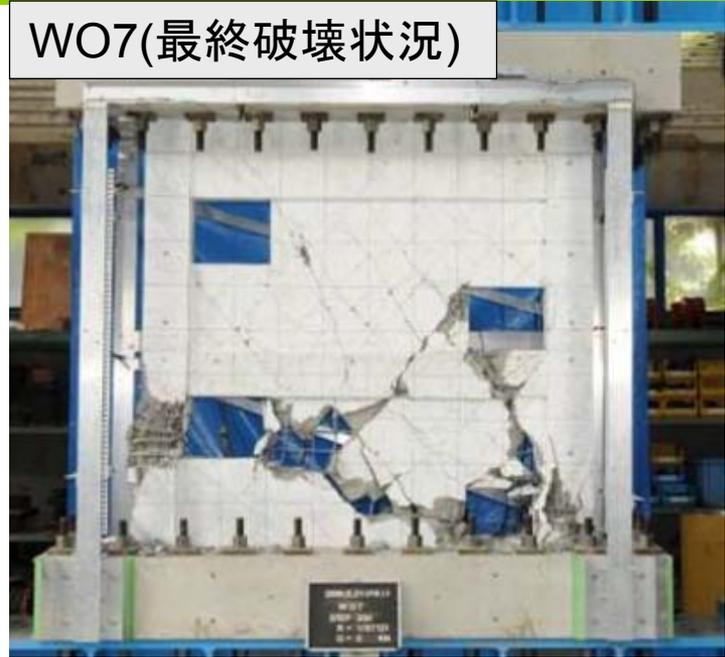
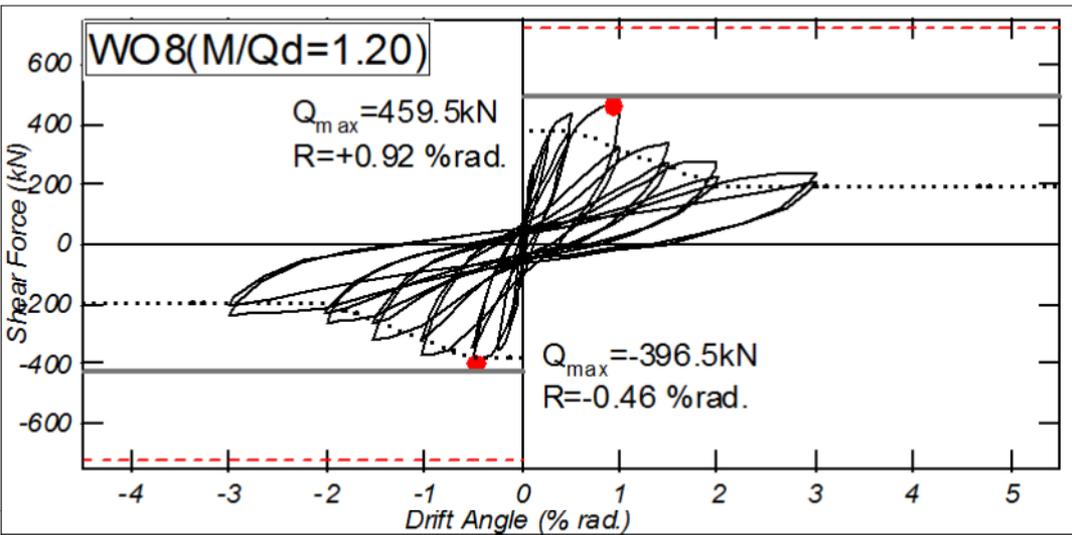
WNO(最終破壊状況)



WNO-F(最終破壊状況)

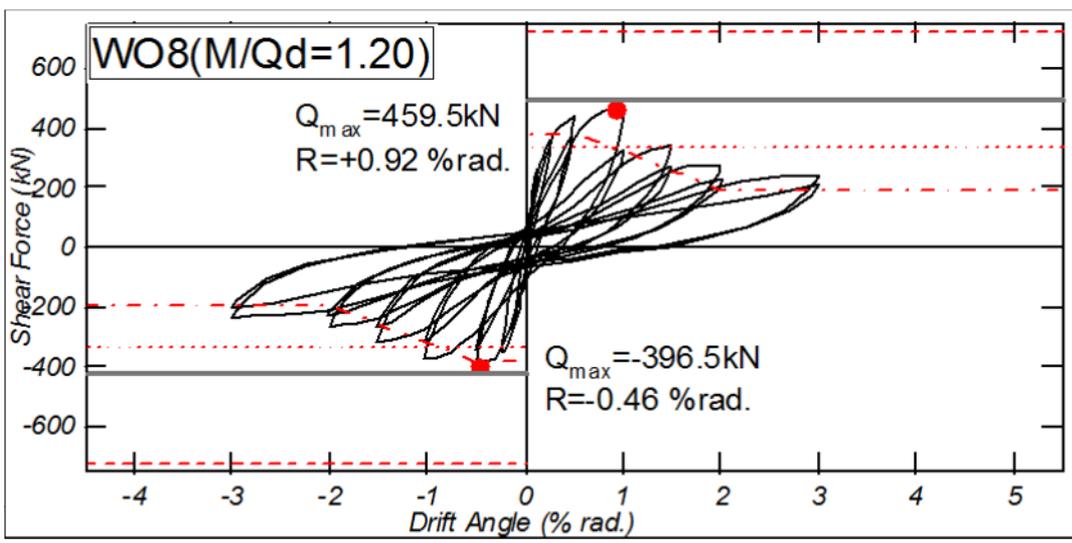
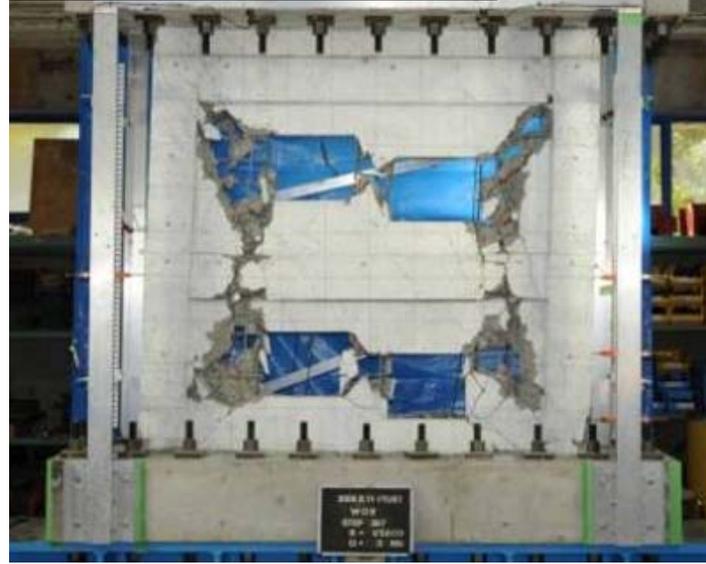


# 実験結果 (破壊性状)

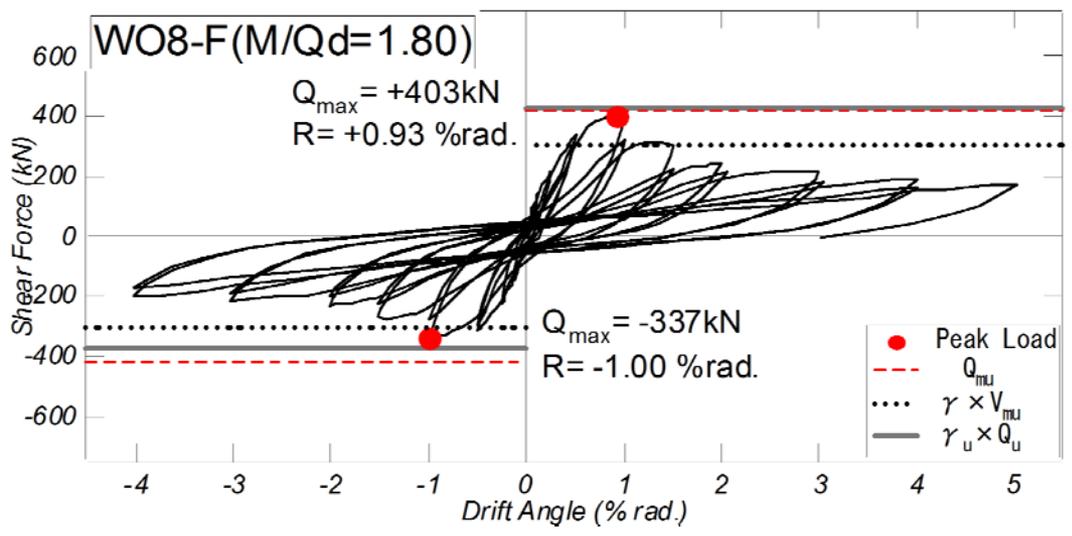


# 実験結果 (破壊性状)

WO8(最終破壊状況)



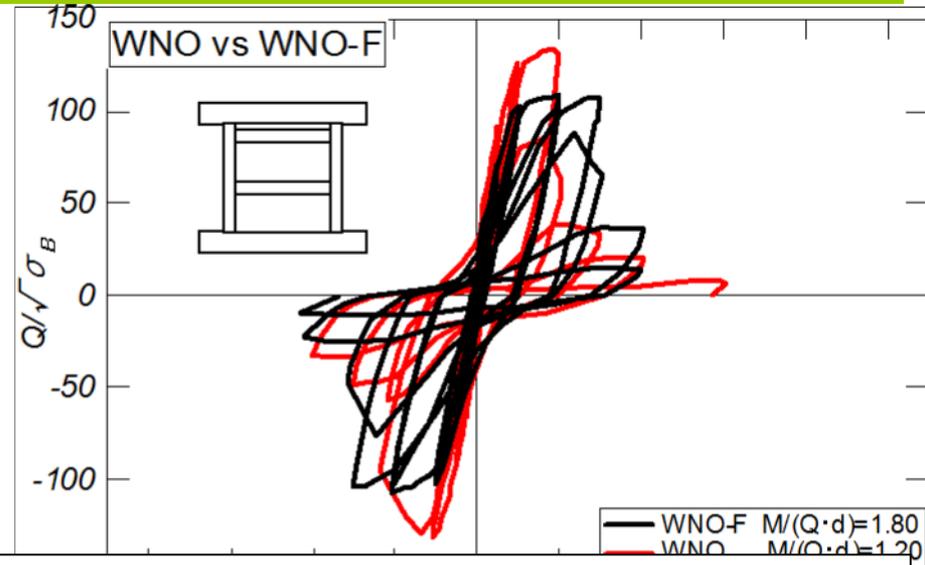
WO8-F(最終破壊状況)



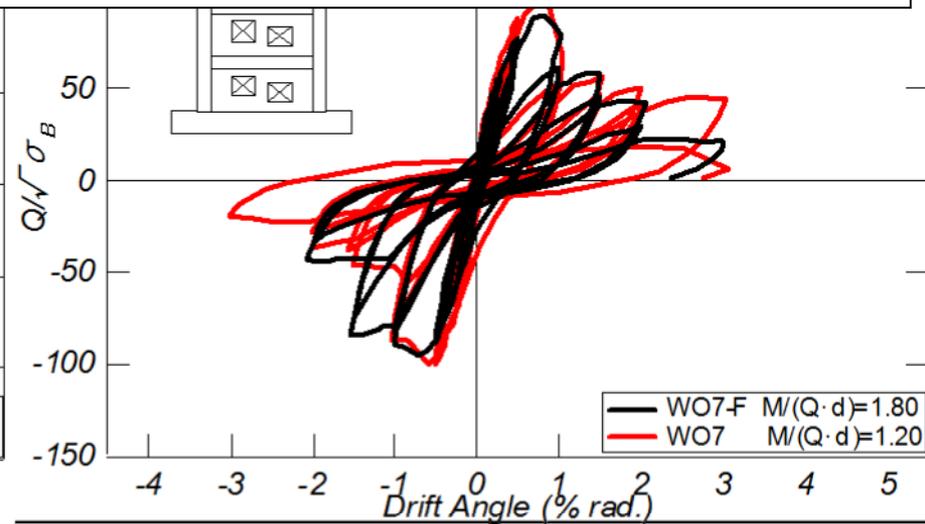
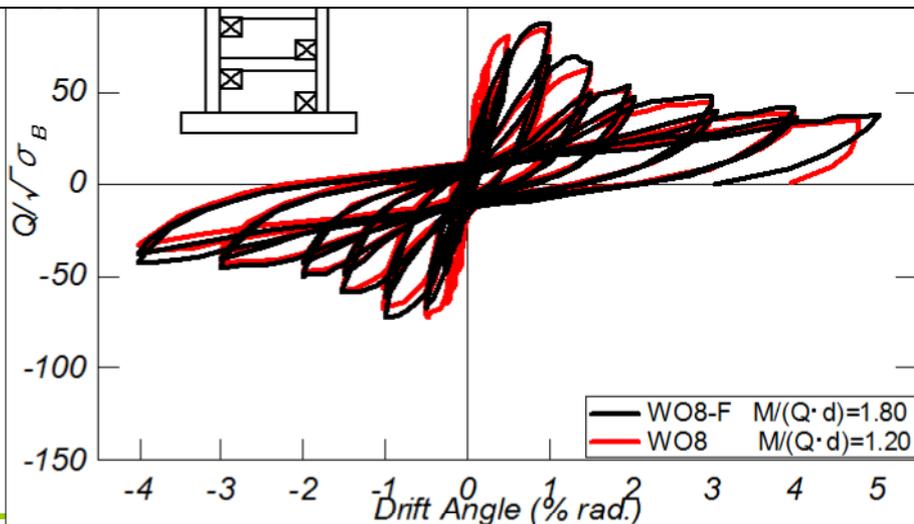
# 実験結果 (破壊性状)

## 基準化せん断力-変形角関係

コンクリート強度が異なるため、せん断力を $\sigma_B$ の平方根で基準化



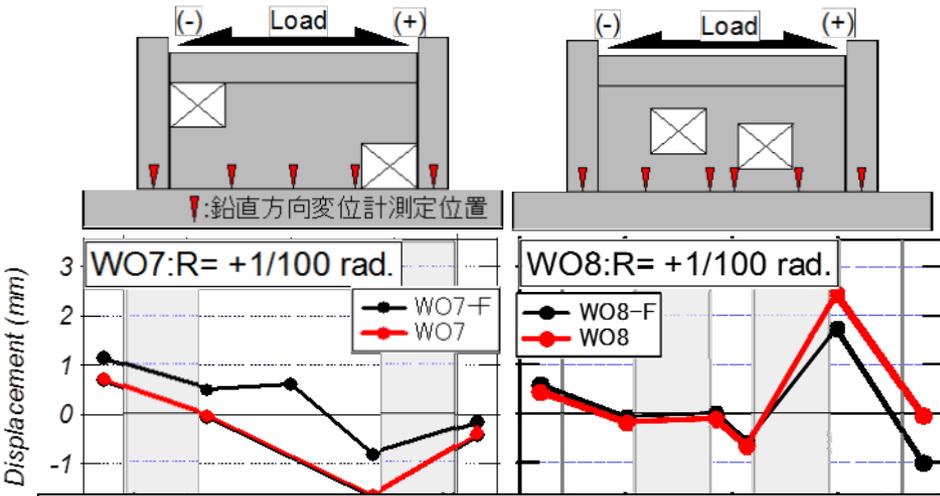
せん断スパン比1.8の有開口耐震壁はせん断スパン比1.2のものと同様の破壊モード・復元力特性を示す。



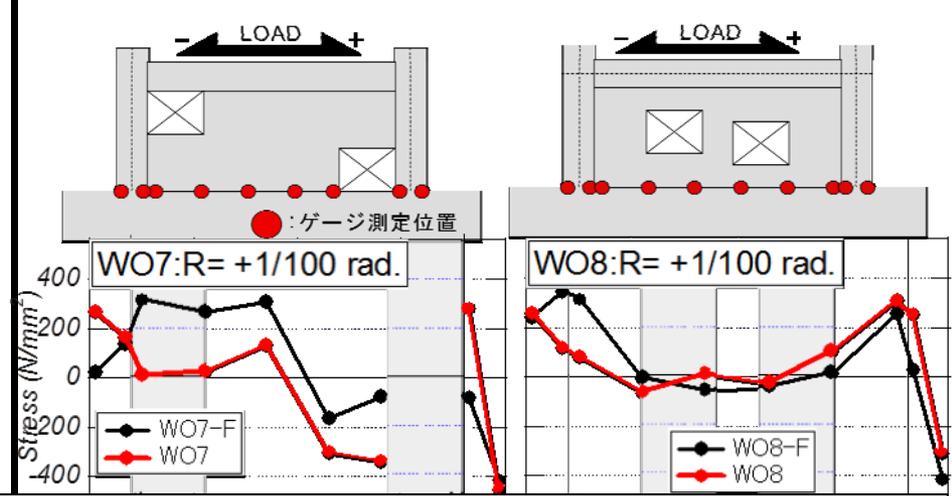
# 実験結果 (壁脚部抵抗性状)

● WO7-F, WO8-F ( M/Qd=1.80 )  
 ● WO7, WO8 ( M/Qd=1.20 )

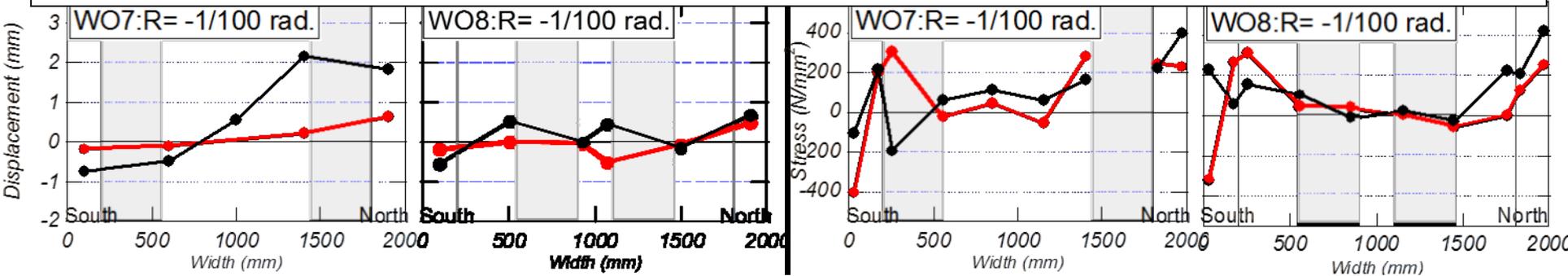
## 軸方向変形分布



## 軸方向応力分布



● 応力・軸方向分布とも、前年度実験とほぼ同様の分布傾向を示す。



● せん断スパン比の違いによらず、開口の配置が耐震壁脚部におけるモーメントの抵抗状況に影響を及ぼす。

# まとめ

---

- (1) せん断スパン比1.8の無開口耐震壁は曲げ降伏型特有の破壊モードを示した。これに対し、同一せん断スパン比の有開口耐震壁はせん断破壊の様相を呈した。**
  - (2) せん断スパン比の違いによらず、開口の配置が耐震壁の最大耐力、剛性および脚部のモーメントの抵抗状況に影響を及ぼす。**
  - (3) 曲げ降伏型の耐震壁においては開口の有無によって、破壊モードがせん断破壊型へと移行する場合がある。**
-

# 3章 偏在開口耐震壁に関する実験調査

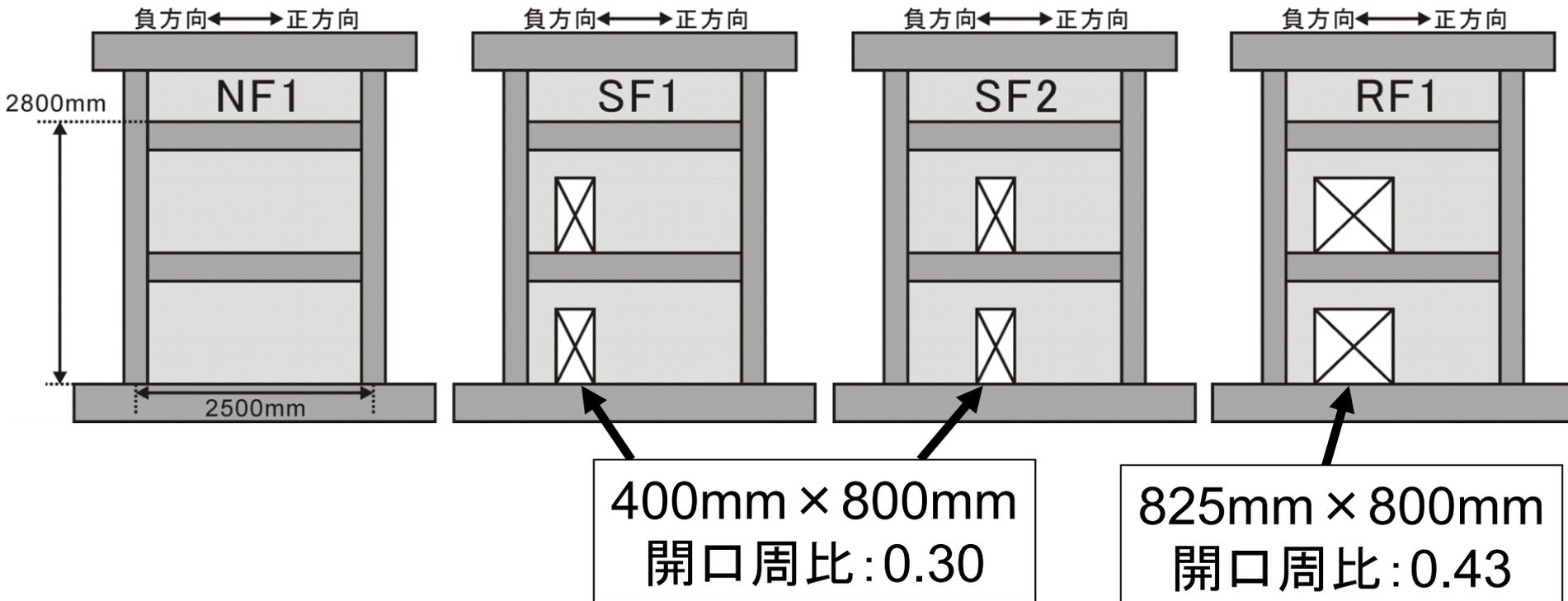
京都大学

# 3章 偏在開口耐震壁に関する実験調査

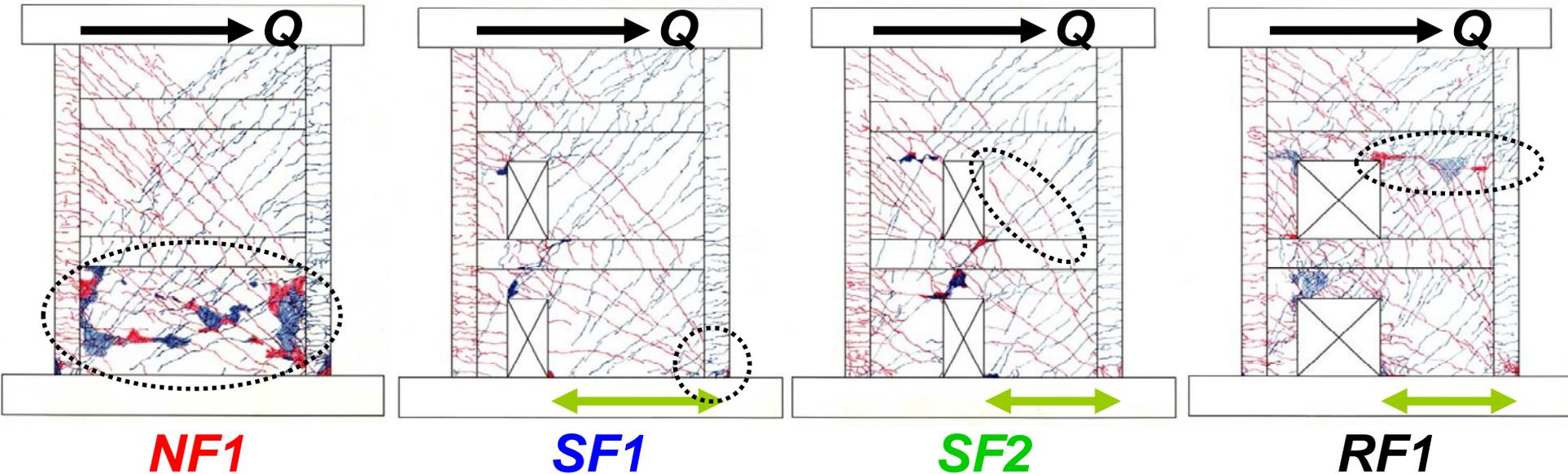
せん断破壊に先行して、耐震壁脚部で曲げ降伏が起こるように設計した4体の連層耐震壁(縮尺40%)の静的載荷実験を実施した。

## 主な検証項目

- 開口が破壊形式や最大耐力, 変形性能に及ぼす影響
- 2010年版RC規準による開口補強筋設計手法の妥当性



# 実験結果(正方向載荷時)



## 【破壊モード】

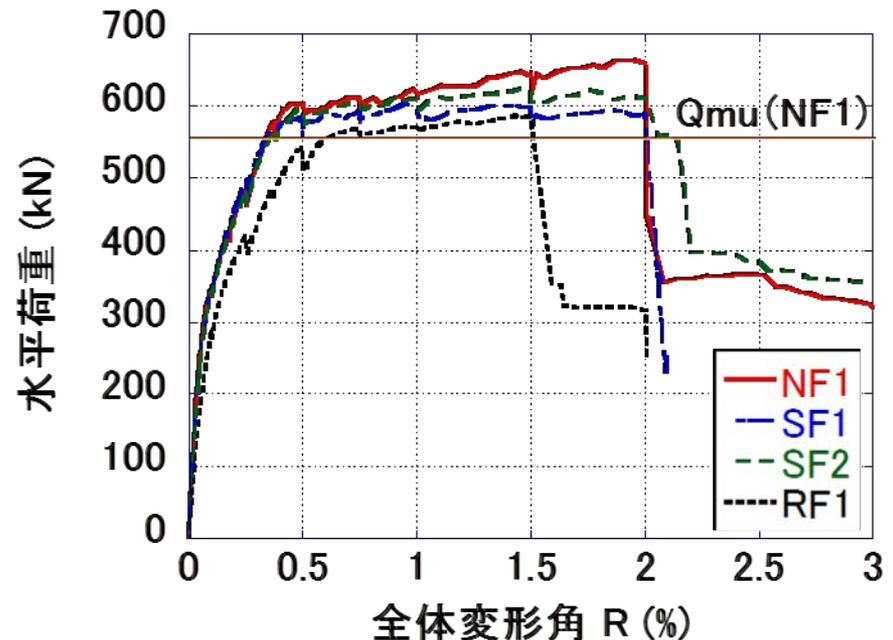
- ・ 曲げ降伏後のせん断破壊

## 【損傷箇所】

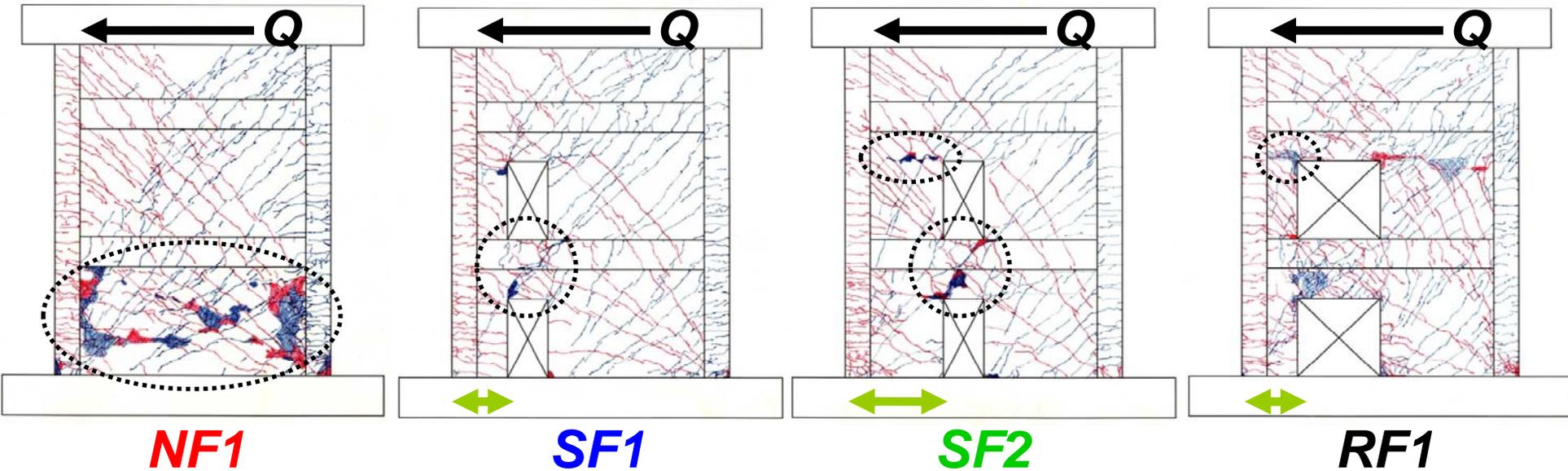
- ・ **NF1**, **SF1**: 1F壁板, 1F柱脚
- ・ **SF2**, **RF1**: 2F開口近傍のそで壁

## 【包絡線】

- ・ **RF1**以外の試験体では開口が及ぼす影響は小さい。



# 実験結果(負方向載荷時)



## 【破壊モード】

- ・曲げ降伏後のせん断破壊

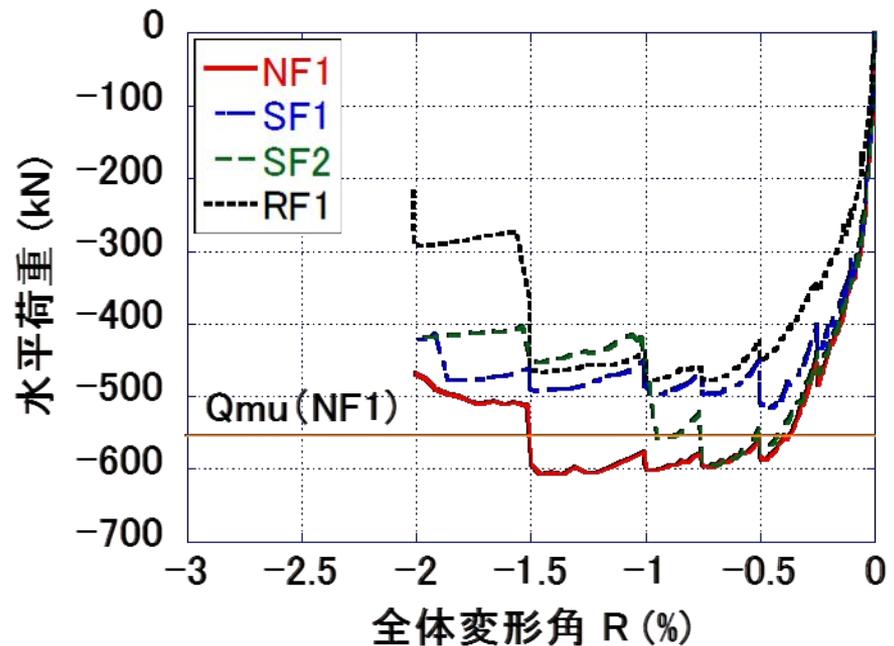
## 【損傷箇所】

- ・**SF1**, **SF2**, **RF1**: 開口近傍の  
そで壁や境界梁周辺

## 【包絡線】

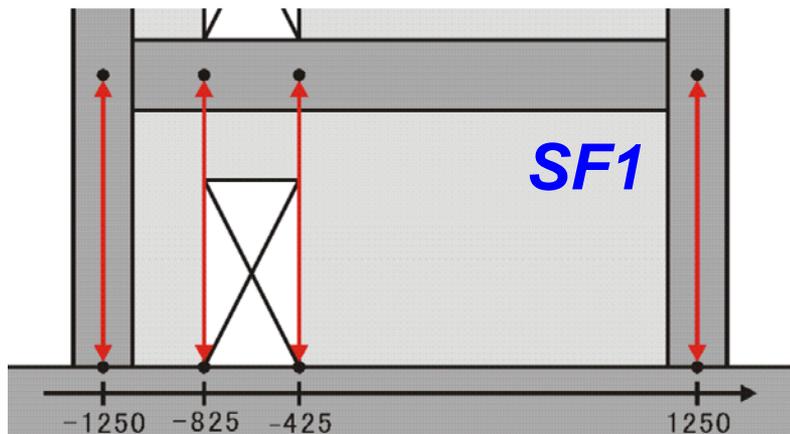
- ・圧縮側のそで壁長さが短い

**SF1**, **RF1**では, 最大耐力が低い。



# 実験結果 (1F壁板の軸方向ひずみ分布)

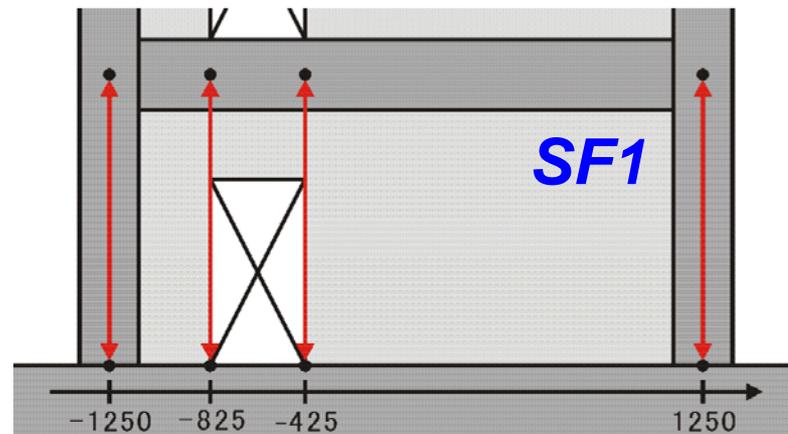
→ 正方向



引張側柱

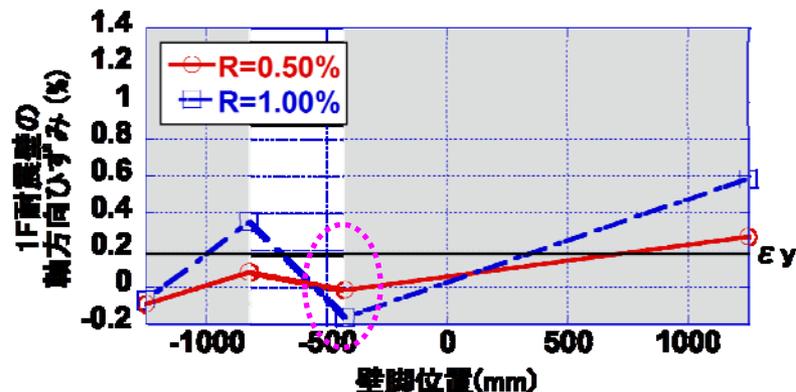
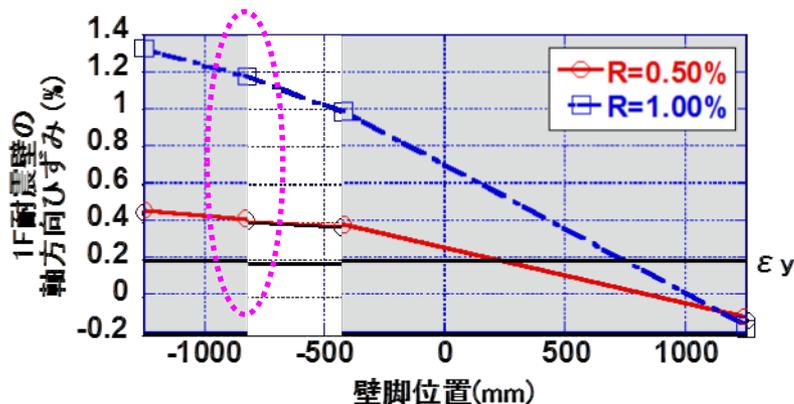
圧縮側柱

負方向 ←



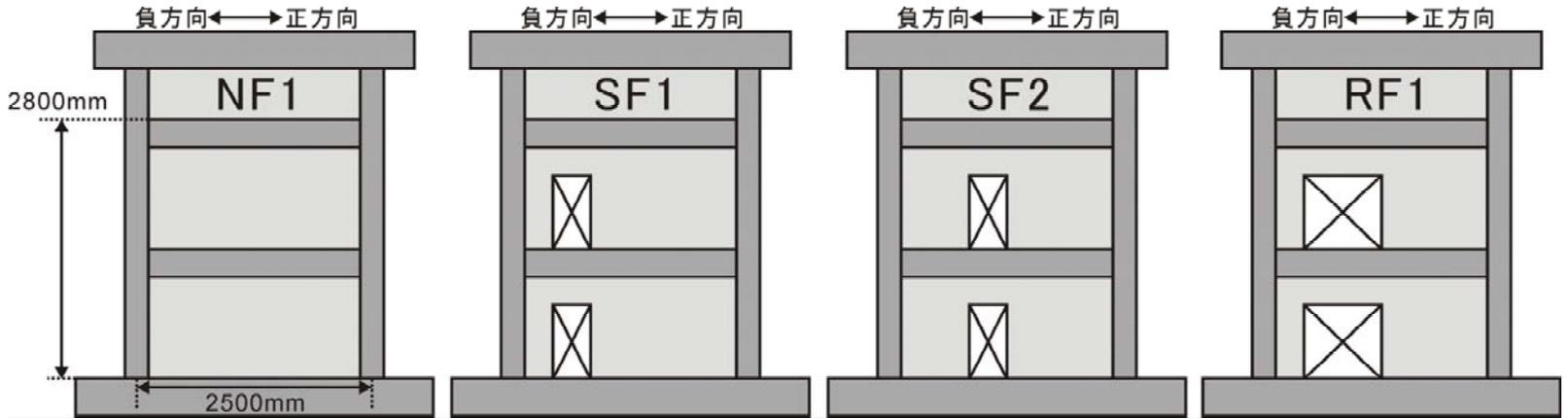
圧縮側柱

引張側柱



引張側柱のそで壁端部に曲げ圧縮応力が作用する試験体では、最大耐力が平面保持仮定に基づいた曲げ耐力の計算値(Q<sub>mu</sub>)に到達していない。

# 実験結果（限界変形角Ruの比較）



単位：%	NF1		SF1		SF2		RF1	
正方向	2.0	(1.00)	2.0	(1.02)	2.2	(1.08)	1.5	(0.77)
負方向	-1.9	(1.00)	-2.0	(1.04)	-1.4	(0.70)	-1.7	(0.89)

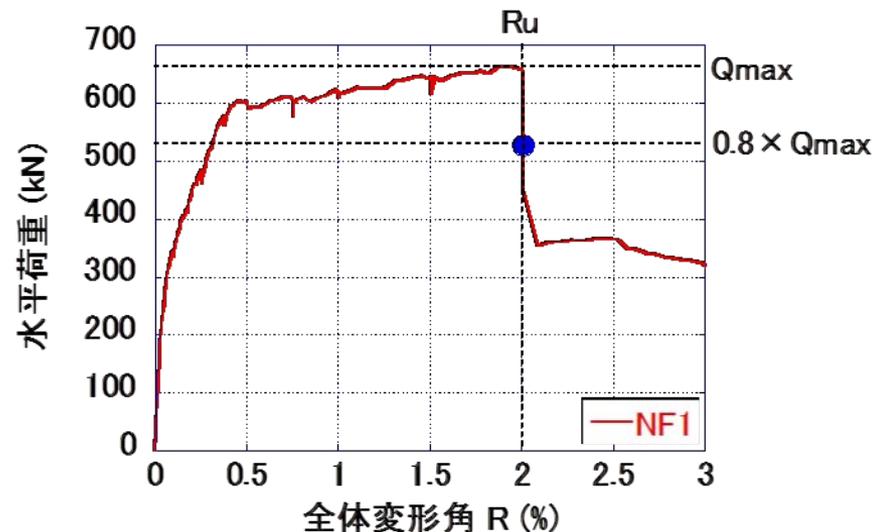
括弧内の値は（各試験体の限界変形/NF1の限界変形）を示す。

## 【正方向】

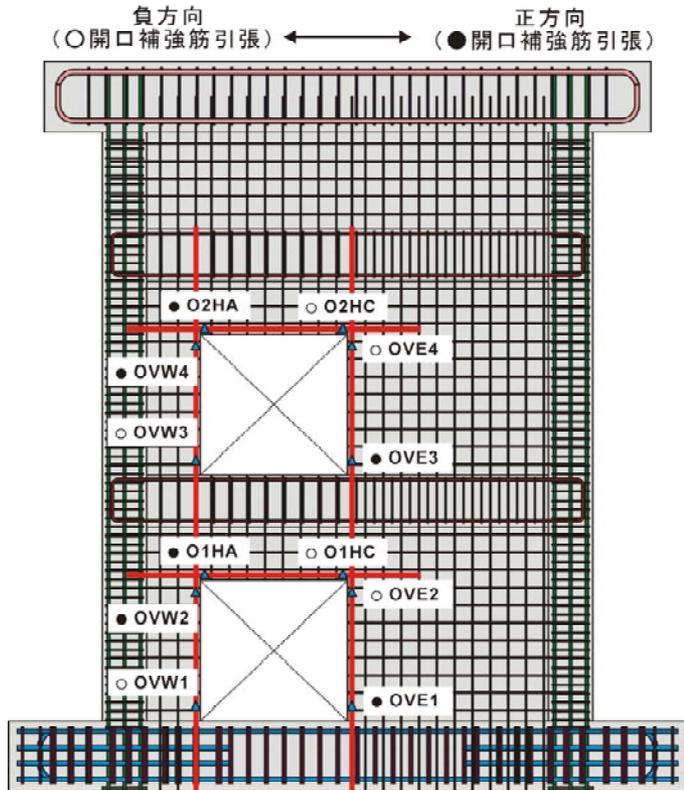
- ・RF1以外の試験体：**NF1**と同等
- ・RF1試験体：**NF1**に劣る

## 【負方向】

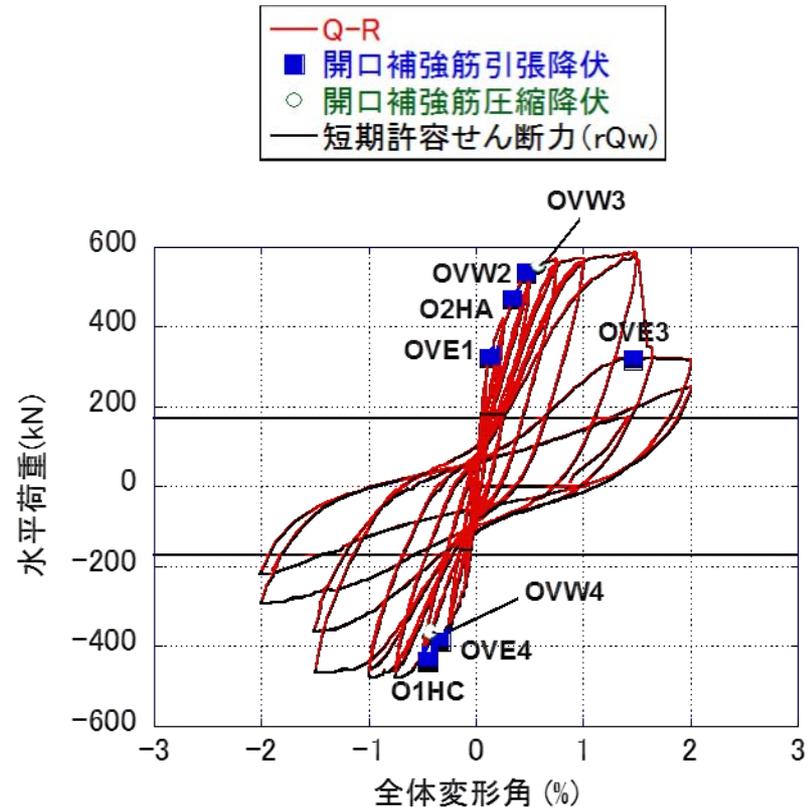
- ・SF1試験体：**NF1**と同等
- ・SF1以外の試験体：**NF1**に劣る



# 実験結果（開口補強筋の降伏状況）



開口補強筋



開口補強筋量の決定に用いた設計用せん断力 (rQ<sub>w</sub>) に到達するまでの間、いずれの開口補強筋も降伏しなかった。

→ 2010年版RC規準の妥当性を確認

# 3章 まとめ

等価開口周比が0.4前後の曲げ降伏型に設計した有開口連層耐震壁試験体を対象とした静的載荷実験を行った。

●いずれの試験体でも柱主筋の引張降伏が観測されたが、開口の位置や大きさによって、異なる破壊モードが見られた。

●一部の試験体では壁板の平面保持仮定が成立しておらず、最大耐力が曲げ耐力の計算値を下っている。

●開口近傍のそで壁や境界梁に損傷が集中したため、有開口試験体の変形性能は無開口耐震壁と同等かやや劣っていた。

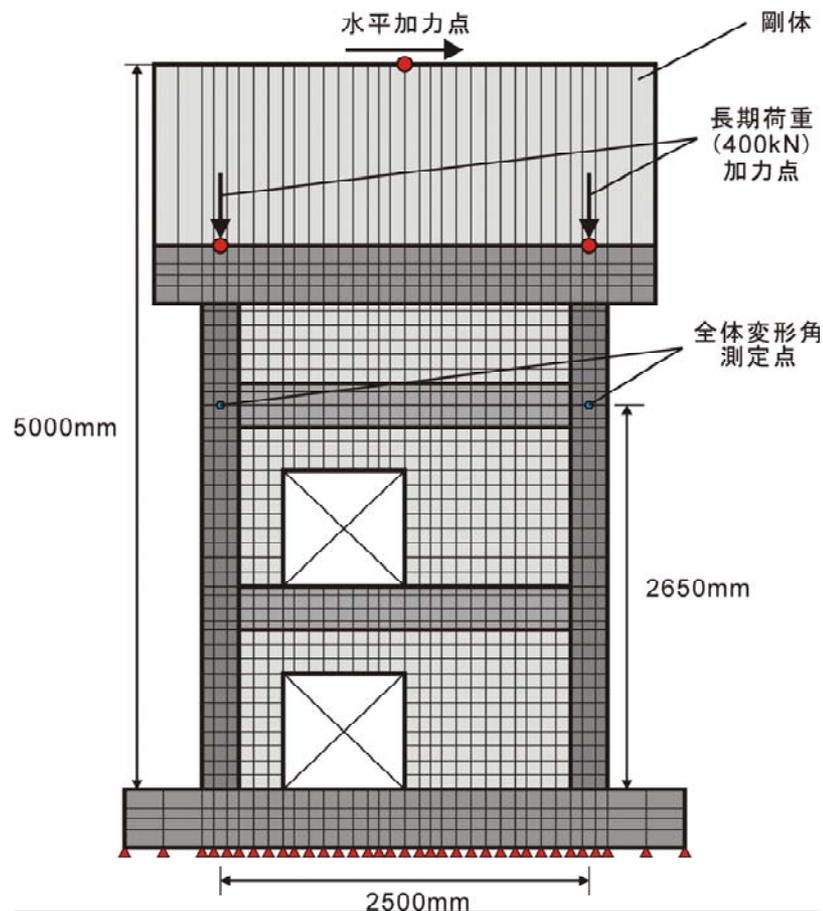
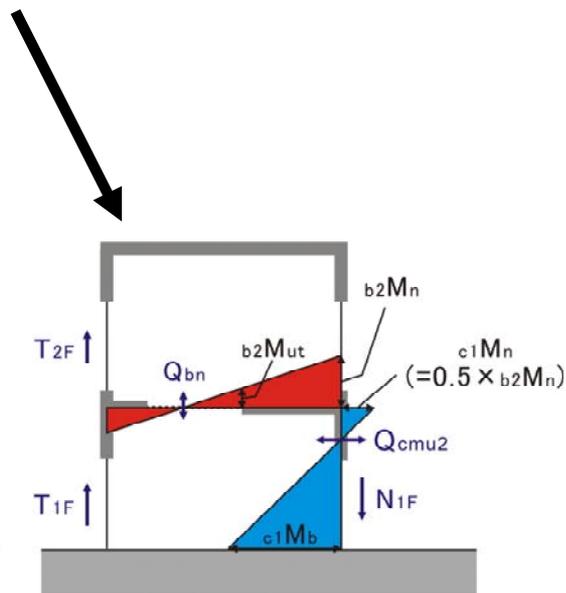
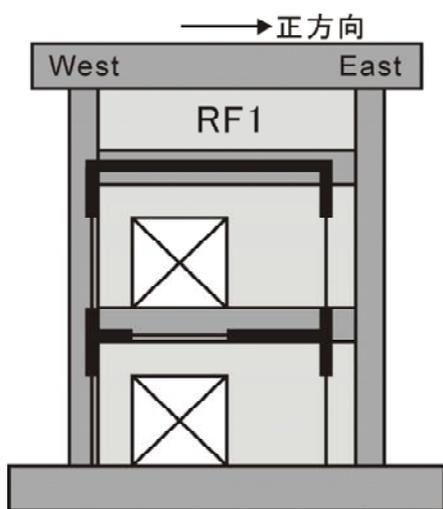
●2010年版RC規準に基づいて配筋された開口補強筋が、設計用せん断力に到達するまでの間、弾性域で挙動することを確認した。

# 5章 偏在開口耐震壁の 数値解析・設計手法の調査 その2

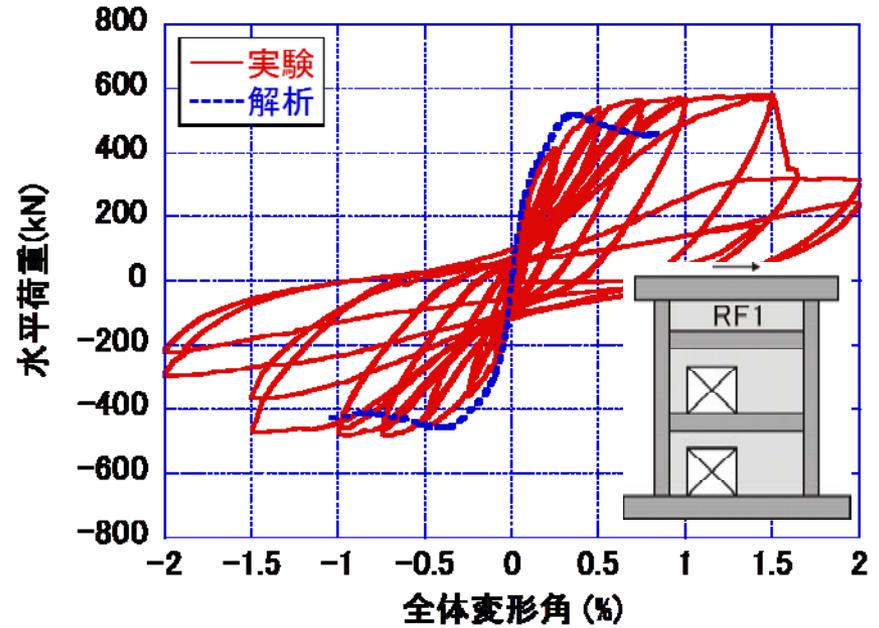
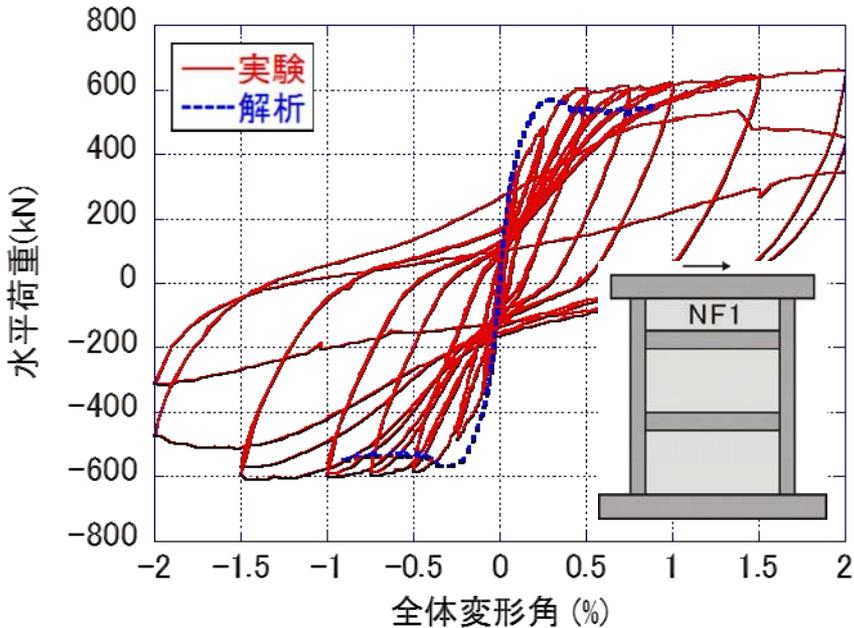
3章で取り上げた4体の実験試験体を対象に、  
FEM解析プログラム(WCOMD)による検証を実施した。

## 主な検討項目

- 荷重変形関係
- 骨組置換した部材の負担応力



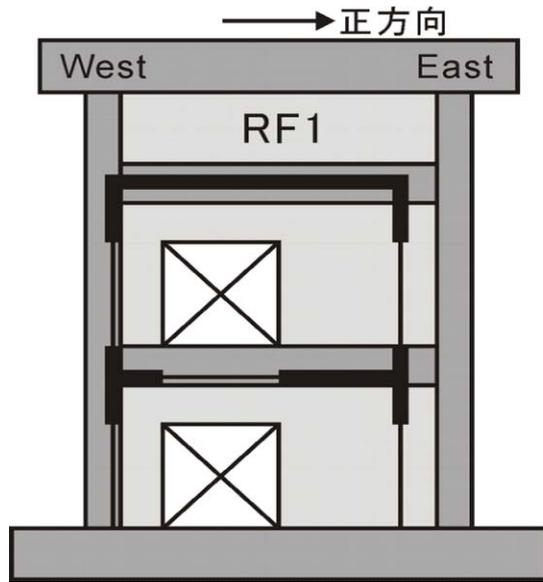
# 解析結果（荷重変形関係の予測）



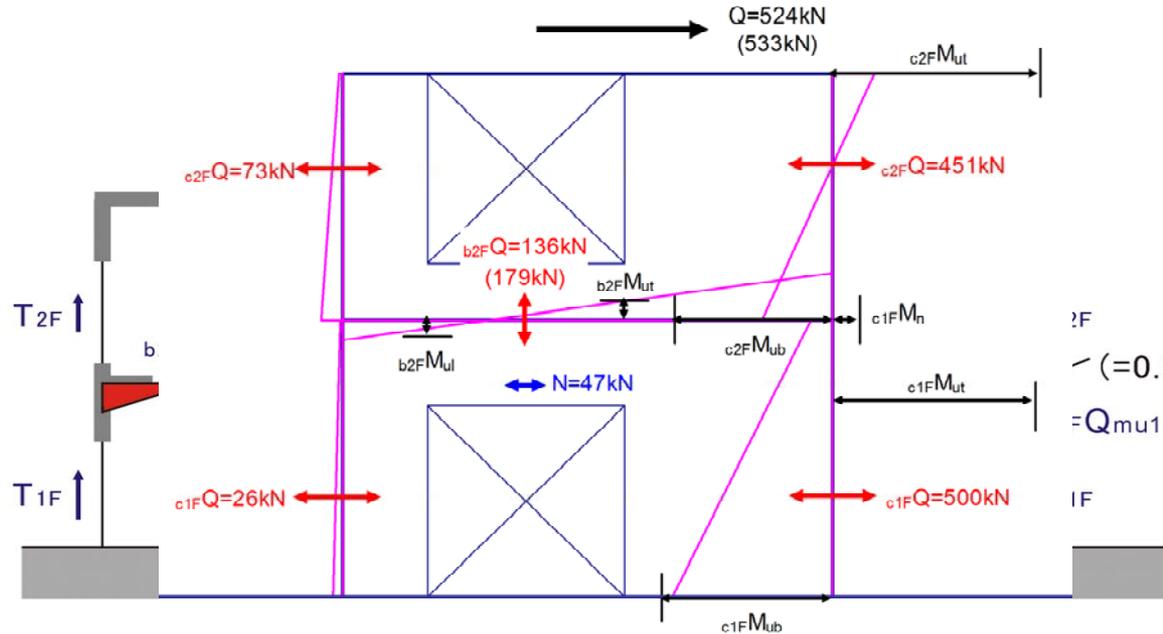
## 【実験結果との比較】

- 水平方向の初期剛性を精度良く予測した。
- × ひび割れ後の水平剛性は過大評価している。
- 最大耐力は10%程度の誤差内で予測することが可能。
- × 最大耐力後の変形性能の評価は、現時点では困難である。

# 解析結果（骨組置換した部材の負担応力）



骨組置換例



FEM解析による応力分布

有開口耐震壁を線材に置換し、FEM解析の結果から各部材に作用する応力（軸力，せん断力，モーメント）を求めた。

また，既往の評価法で算定した各部材の耐力（曲げ，せん断）と作用する応力を比較することで，各部材の負担状況を調べた。

→ 今後，破壊モードの解明，解析モデルの構築に役立てる。

# 5章 まとめ

4体の曲げ降伏型の連層耐震壁試験体を対象としたFEM解析を実施した。

●今回実施したFEM解析は、水平荷重－全体変形角関係の初期剛性や最大耐力は精度良く予測したものの、ひび割れ後の剛性や、最大耐力後の変形性能の評価には課題を残した。

●有開口耐震壁を線材に置換し、FEM解析の結果から各部材に作用する応力を求めた。また、既往の評価手法で算定した各部材の耐力と比較することで、各部材の負担状況を調べた。

**おわり**