

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 複数開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査

5章 偏在開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査 その1

6章 偏在開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査 その2

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 複数開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査

5章 偏在開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査 その1

6章 偏在開口耐震壁の数値解析・設計手法の調査 その2

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

2008～2009年度

せん断破壊先行型の複数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

無開口耐震壁は曲げ降伏先行型の挙動
有開口耐震壁はせん断破壊先行型の挙動



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

2011年度

有開口耐震壁を確実に曲げ降伏先行型にする
→側柱主筋量を減少



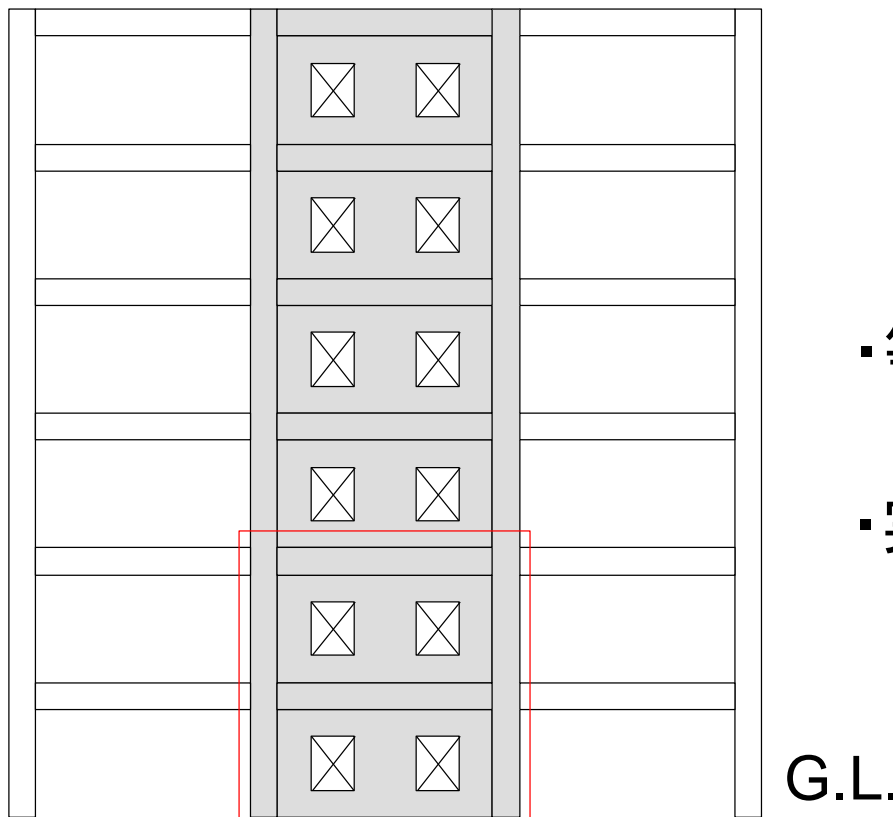
試験体計画

- 一般的な6層程度の
中高層鉄筋コンクリート造建物
連層耐震壁の下層部を想定



1/3縮尺モデル

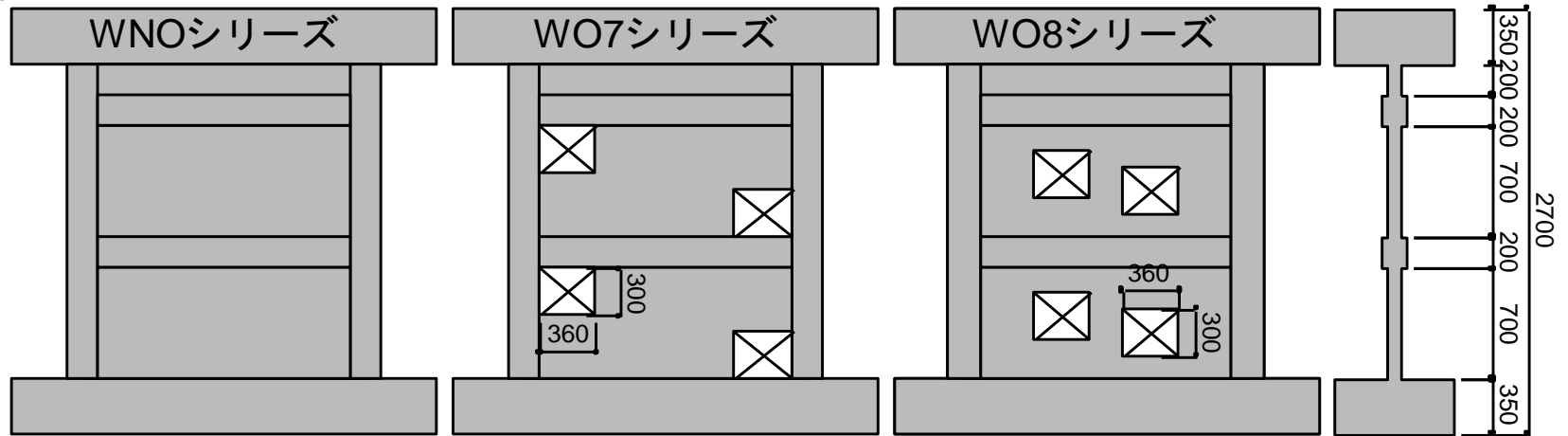
- 等価開口周比は約0.4に統一
- 実験変数
開口の有無
開口の位置(各層に2つ配置)



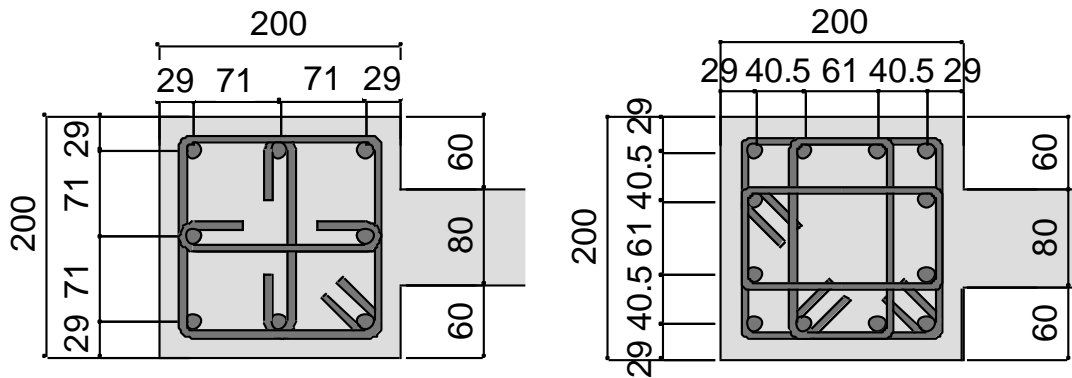
Medium-rise RC building(6 story)

試験体計画

試験体形状



側柱断面



本実験
主筋: 8-D13(SD295A)
帯筋: 2-D6@60
副帯筋: D6@60

2010年度実験
主筋: 12-D13(SD390)
帯筋: 2-D6@60
副帯筋: 2-D6@120

側柱主筋本数
12本→8本
鉄筋規格
SD390→SD295A

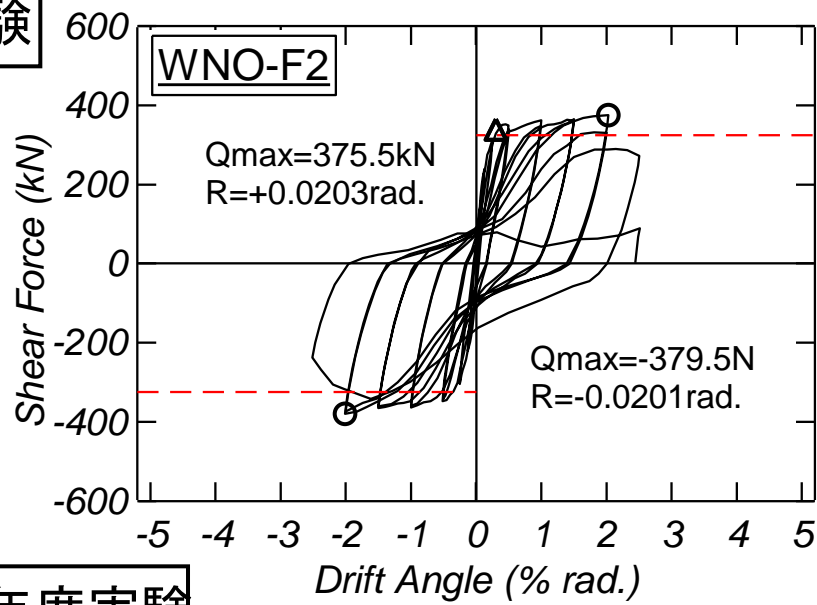
載荷装置



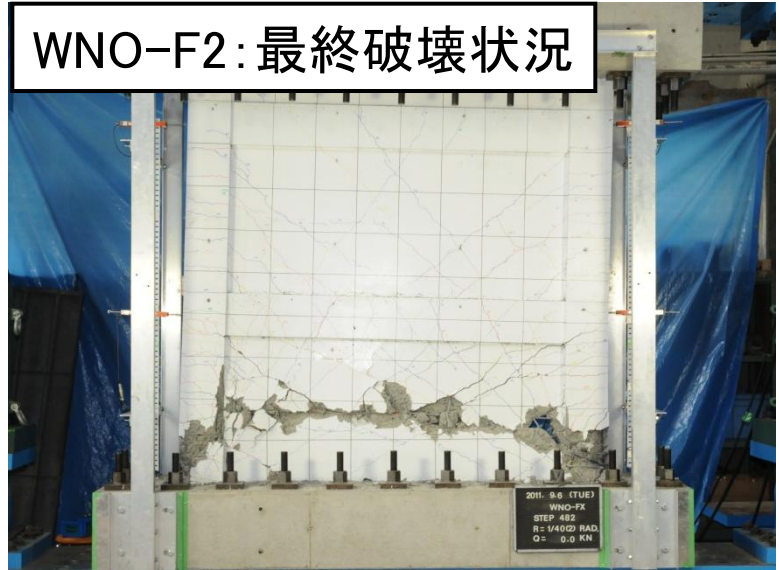
柱軸力比 : 0.2 $N = 442\text{kN}$

実験結果 (破壊性状)

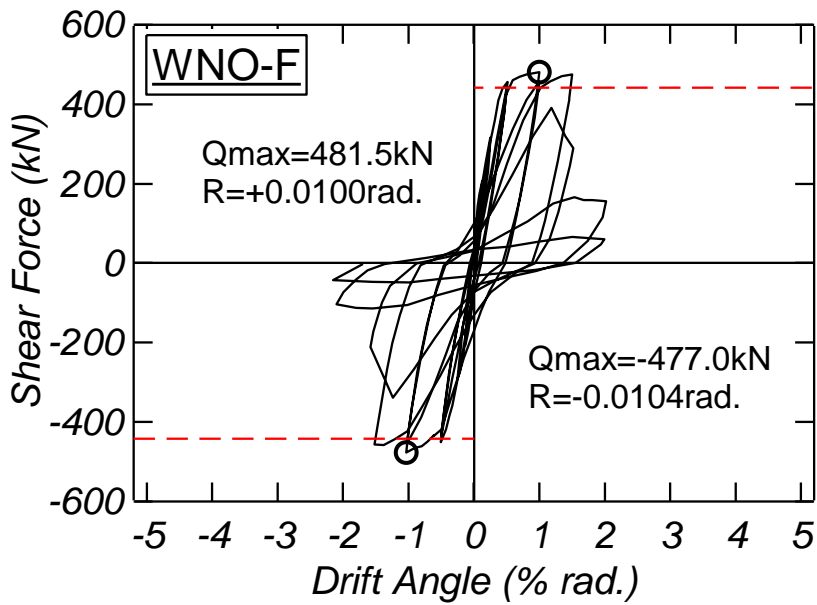
本実験



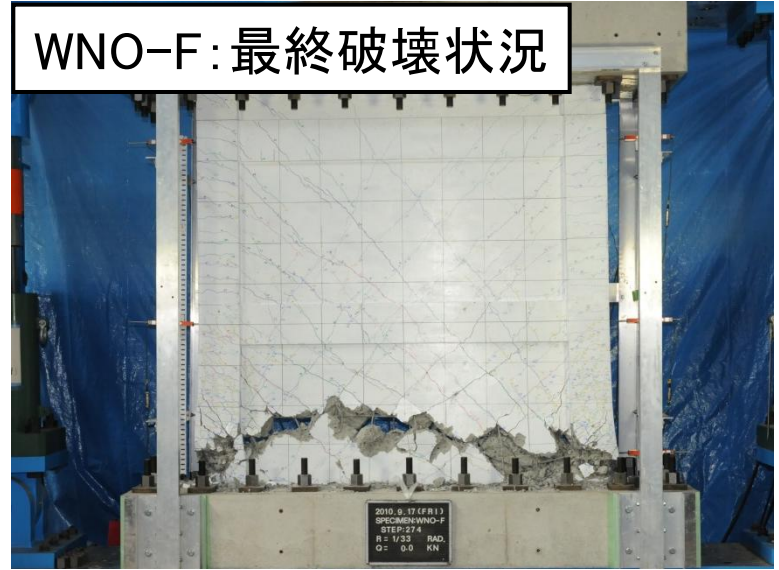
WNO-F2: 最終破壊状況



2010年度実験

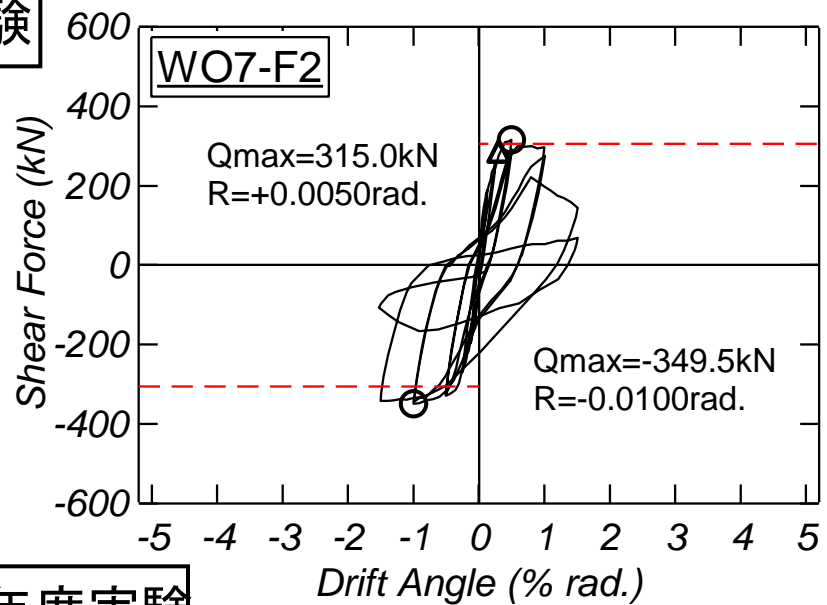


WNO-F: 最終破壊状況

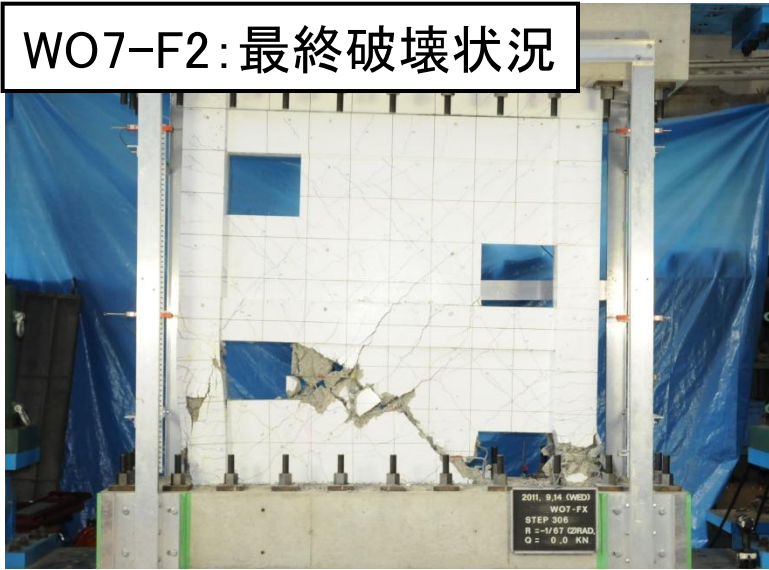


実験結果 (破壊性状)

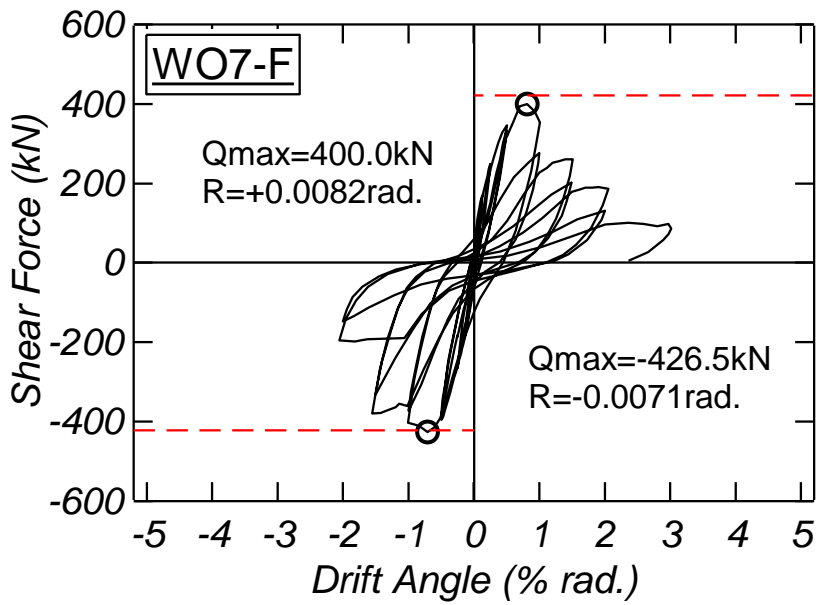
本実験



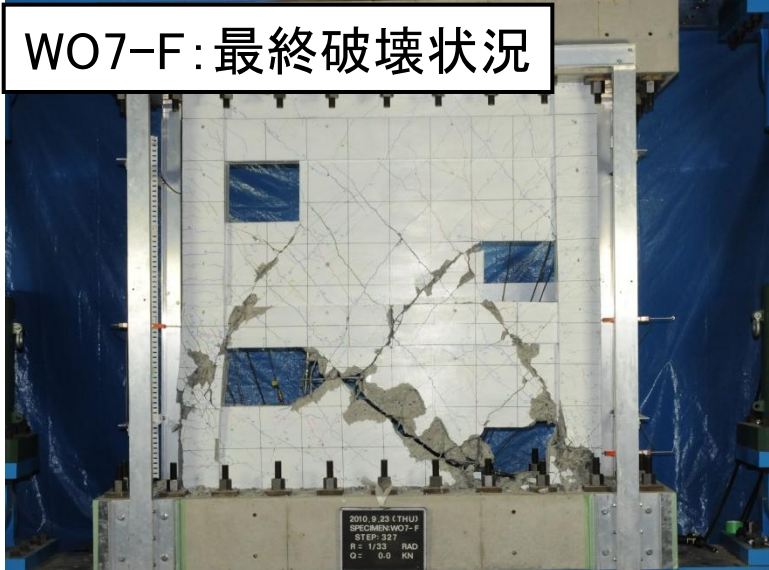
WO7-F2:最終破壊状況



2010年度実験

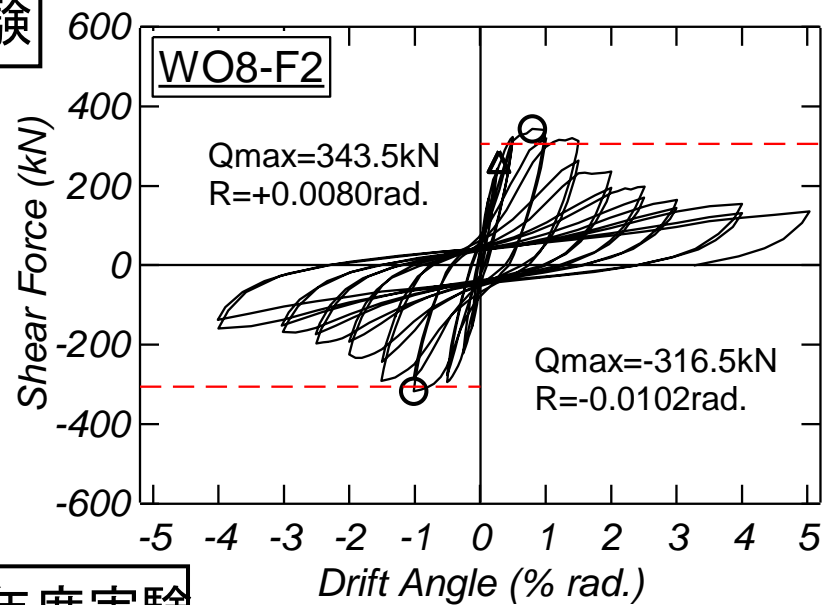


WO7-F:最終破壊状況

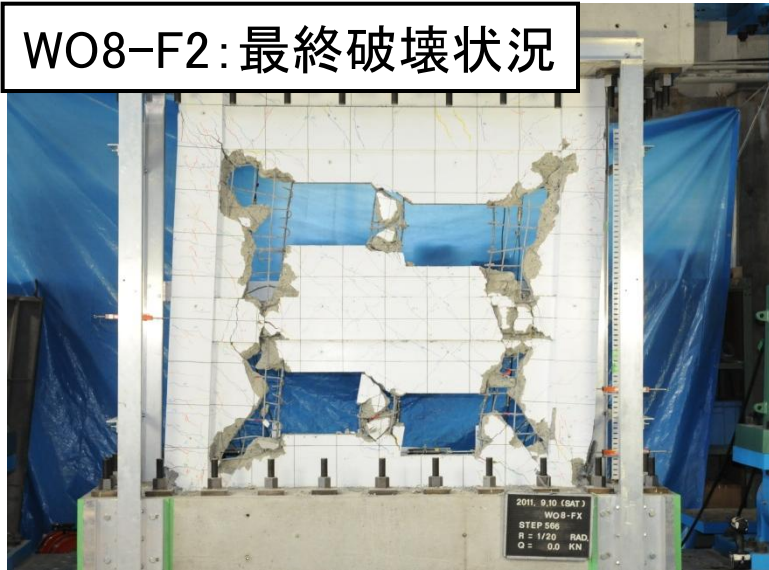


実験結果 (破壊性状)

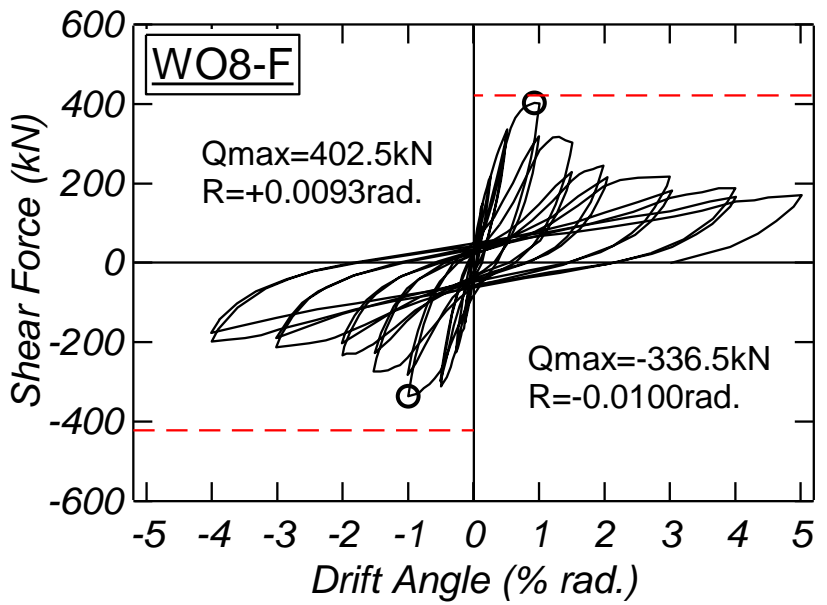
本実験



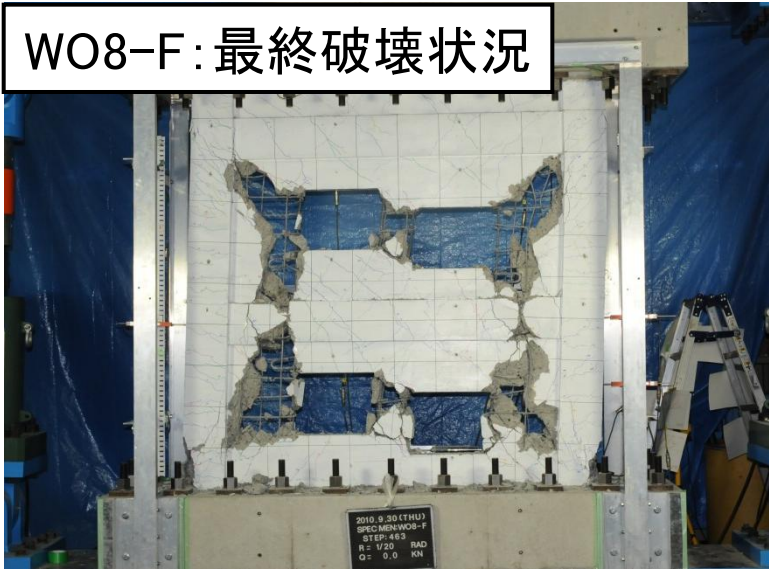
WO8-F2:最終破壊状況



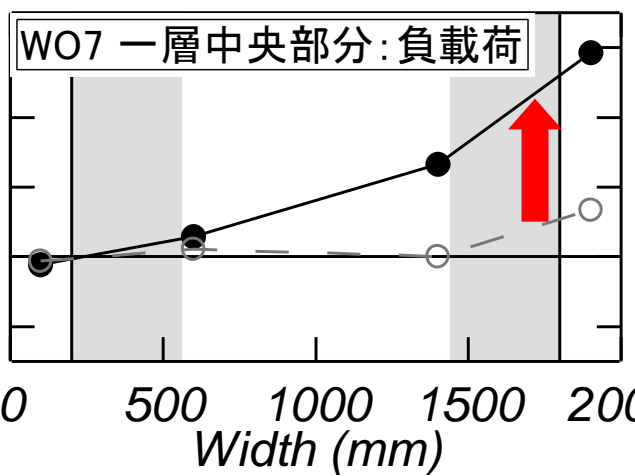
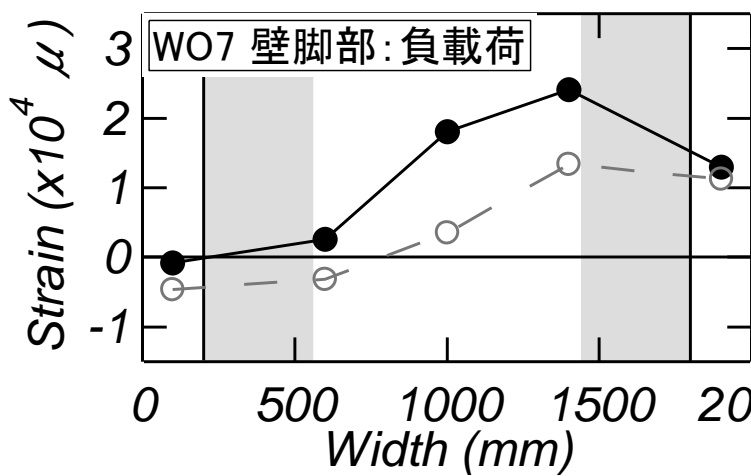
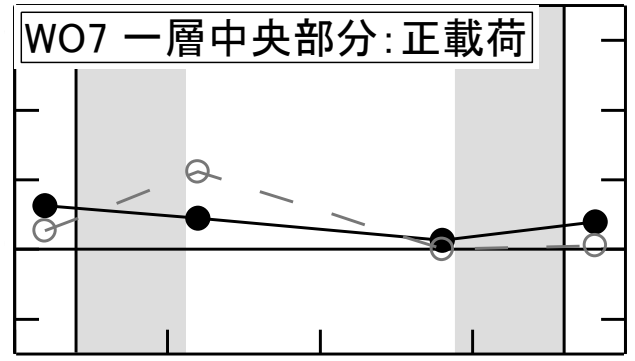
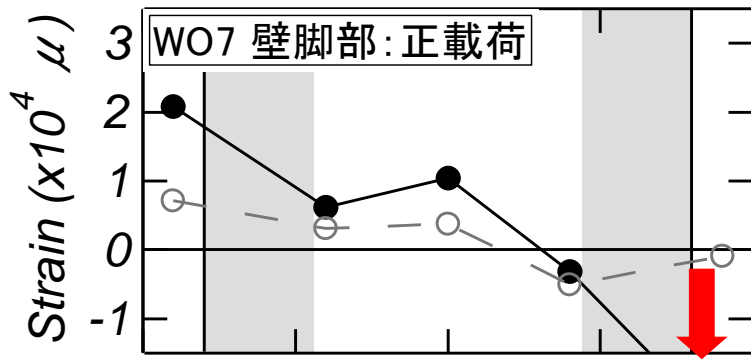
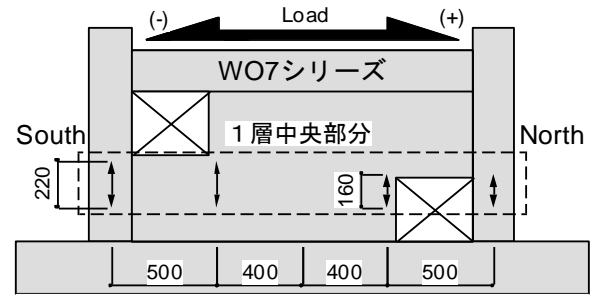
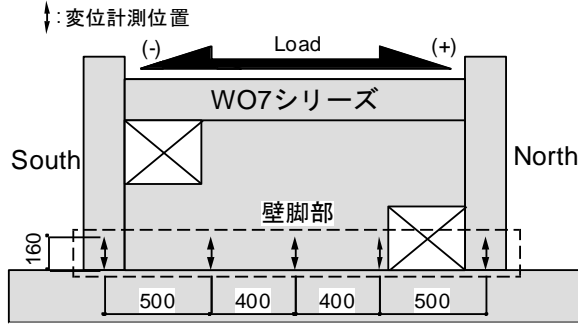
2010年度実験



WO8-F:最終破壊状況



実験結果 (脚部変位)



4章 複数開口耐震壁の数値 解析・設計手法の調査

**大阪大学
豊橋技術科学大学**

• 目的

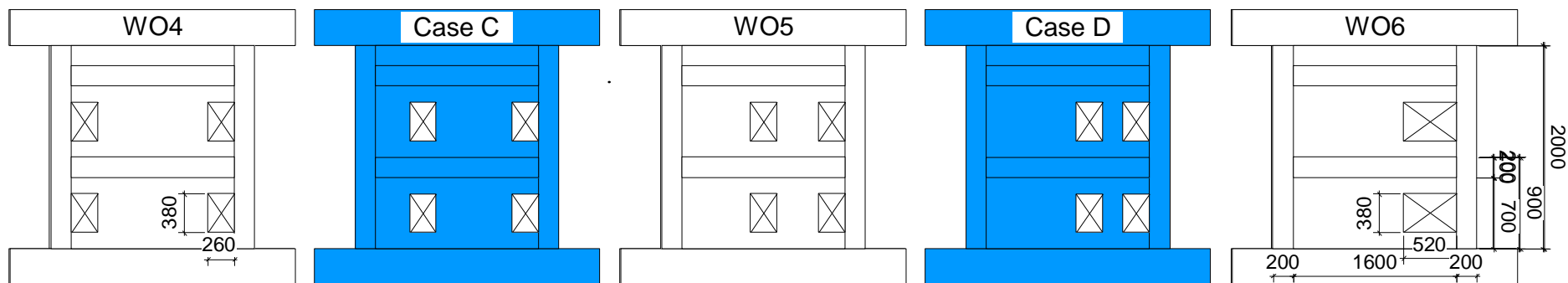
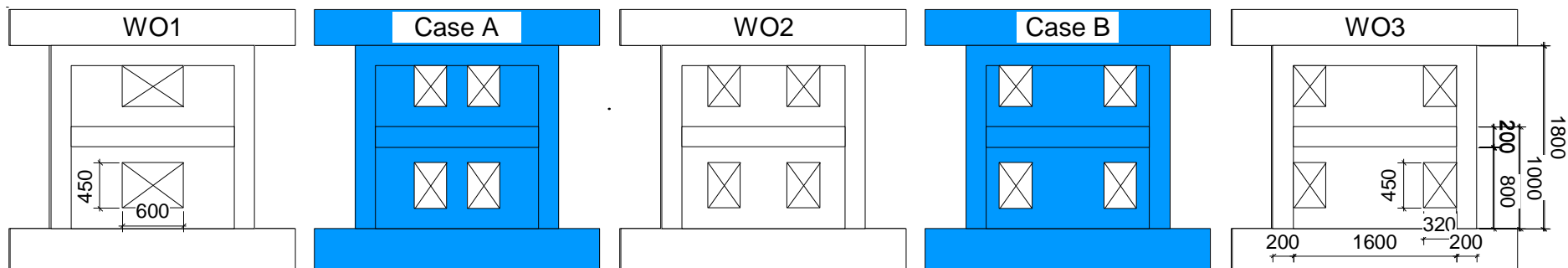
FEM解析に基づく有開口耐震壁のパラメトリック解析

→開口位置の変化が耐震壁各部位の負担せん断力や、圧縮ストラットの形成に及ぼす影響を検討

有開口耐震壁の簡便なせん断耐力の算定手法を提案

→パラメトリック解析の結果に基づいて、各壁板の負担せん断力・内部応力状態から耐力算定モデルを検討

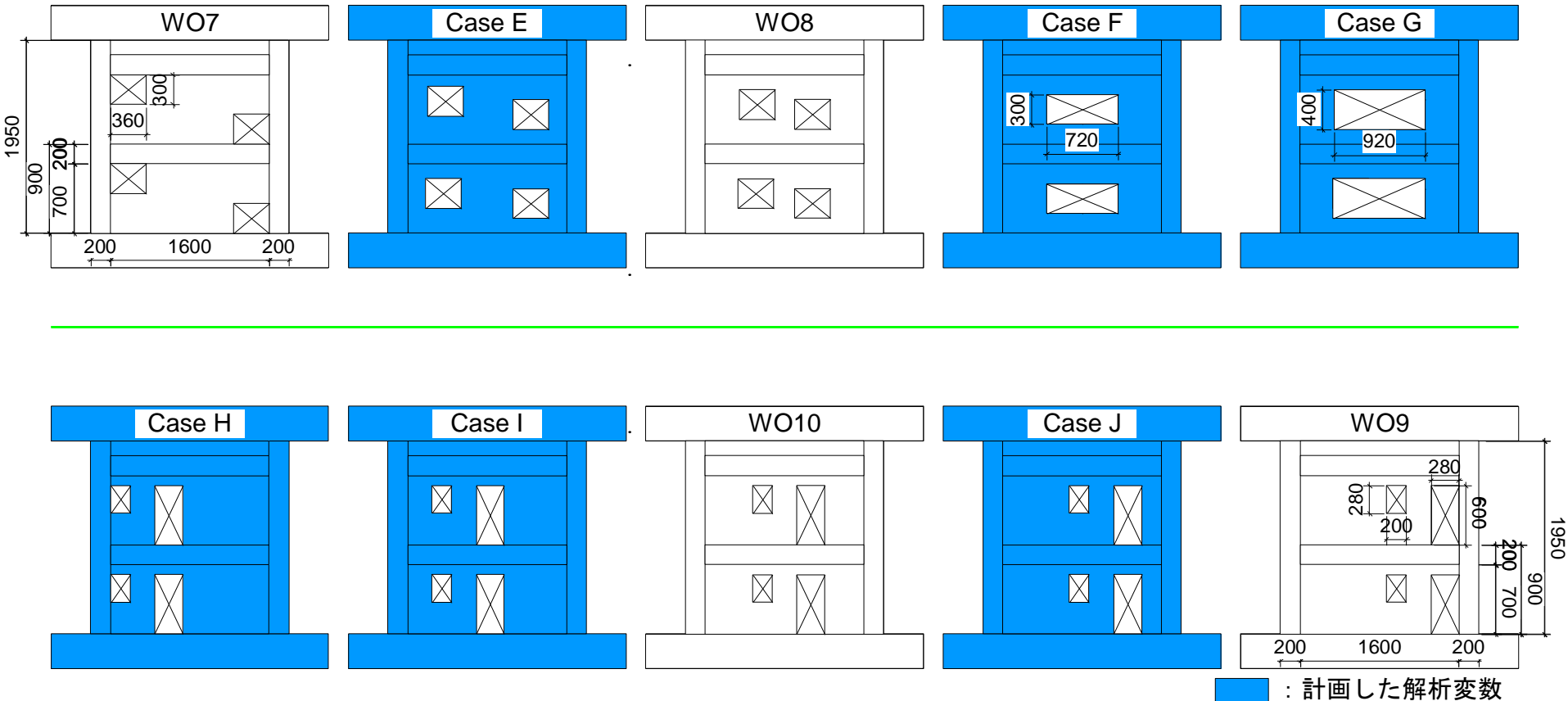
• 解析対象試験体



■ : 計画した解析変数

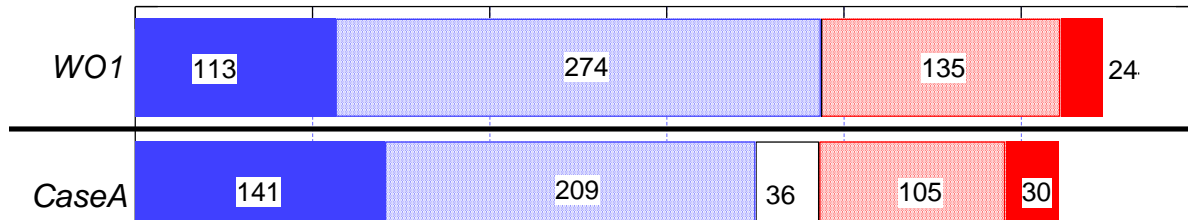
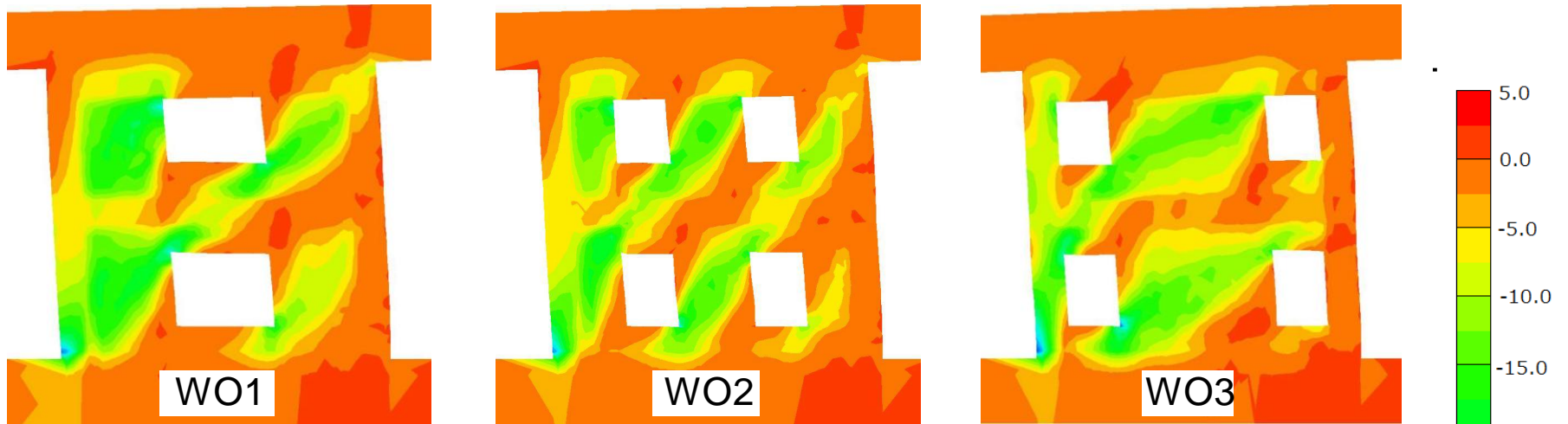
既に実験で実施した各試験体の開口位置の中間的な位置を補間した試験体

・ 解析対象試験体

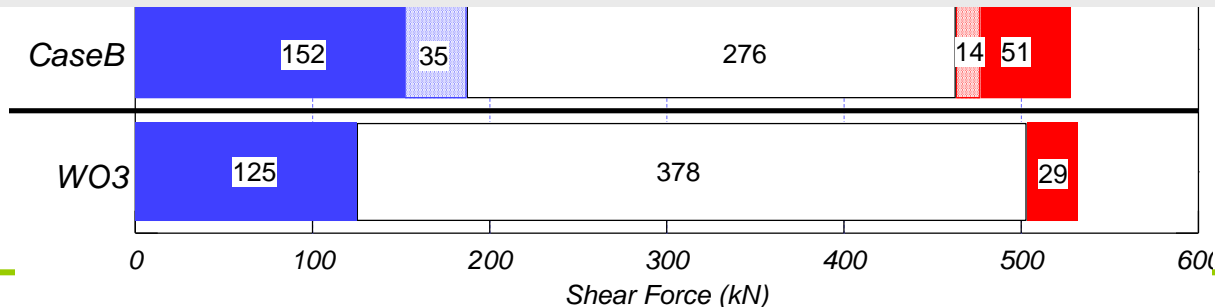


既に実験で実施した各試験体の開口位置の中間的な位置を補間した試験体

• FEM解析

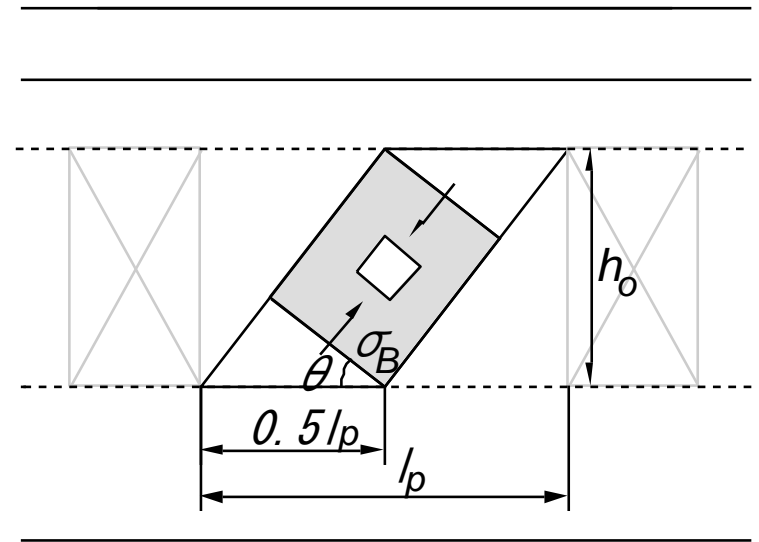
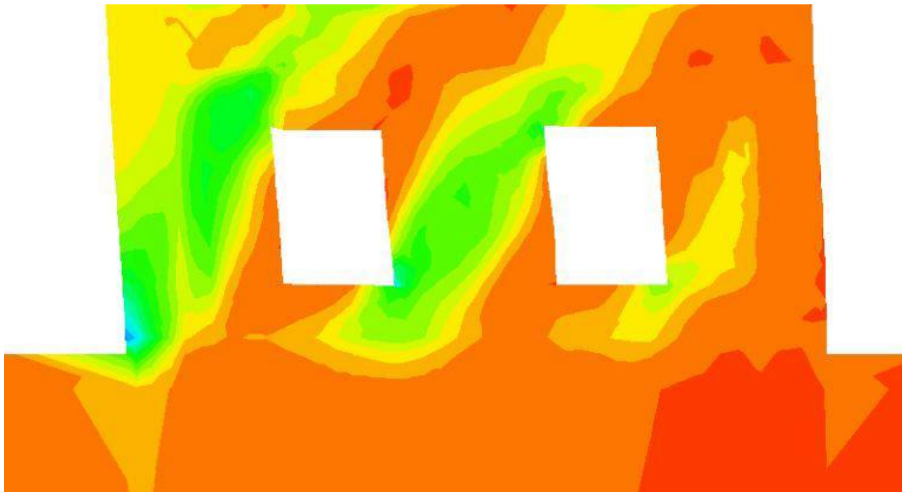


→開口横の壁板で斜め方向のストラットが形成。
壁板の長さに応じてストラットの角度が変化。



せん断耐力算定式の提案

壁板で形成されるストラットに基づき、
アーチ機構によるせん断抵抗モデルを仮定



終局強度評価

終局せん断強度<ストラット式>

$$Q_{wo} = \sum_{i=1}^{n+1} Q_{wi}$$

n : 開口数

$$Q_{wi} = v\sigma_B \cdot \cos \theta_i \sin \theta_i \cdot 0.5l_{pi} \cdot t_i$$

l_{pi} : 壁板長

$$v = -0.016\sigma_B - 0.16 \frac{M}{QD} + 0.36 \frac{N}{bD\sigma_B} + 0.27 p_W + 1.23$$

曲げ終局強度<耐震診断基準式>

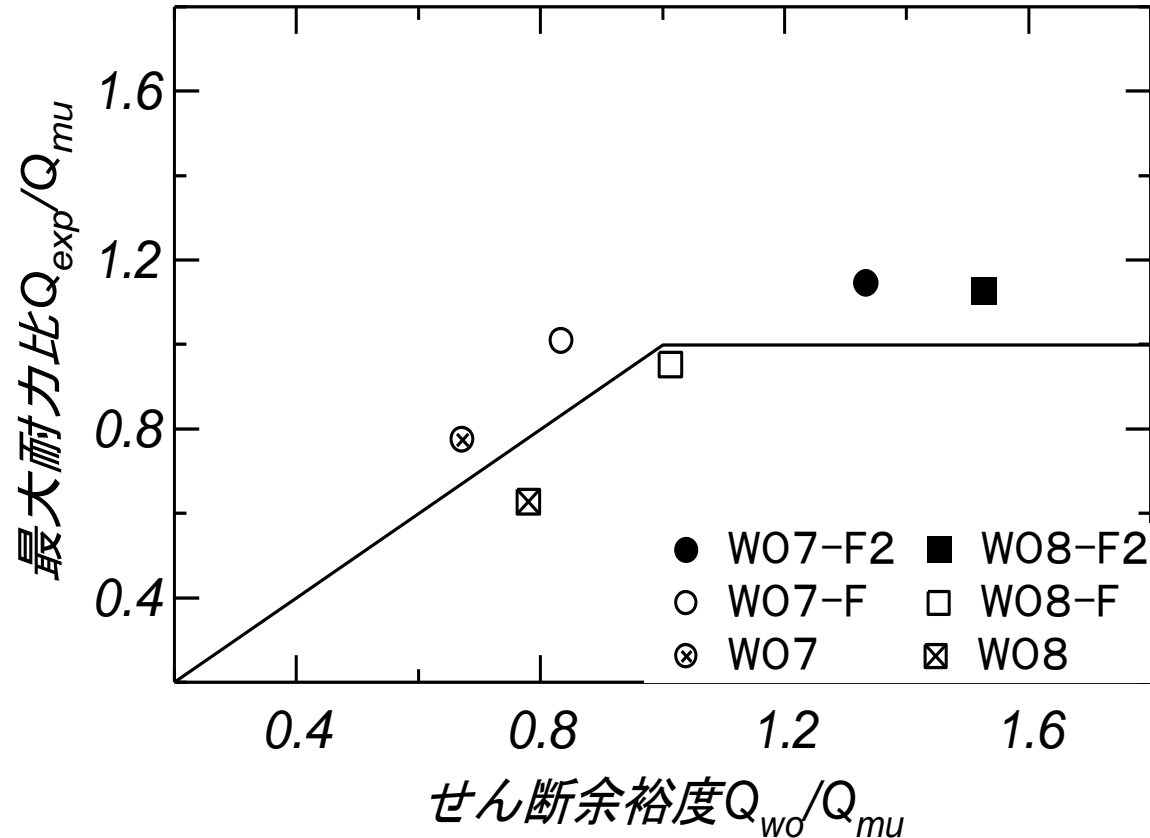
$$Q_{mu} = (a_t \cdot \sigma_y \cdot l_w + 0.5a_w \cdot \sigma_{wy} \cdot l_w + 0.5N \cdot l_w) / h_w$$



せん断余裕度を算出

終局強度評価

	せん断スパン比	側柱主筋
WO7,WO8	1.2	12-D13(SD390)
WO7-F,WO8-F	1.8	12-D13(SD390)
WO7-F2,WO8-F2	1.8	8-D13(SD295A)



2章、4章のまとめ

- ① 破壊モードの違いに関わらず、有開口耐震壁の変形性能は無開口耐震壁のものとは比べて低下する。
- ② 開口が壁板中央に配置された曲げ降伏先行型耐震壁
→ 最大耐力後の復元力特性および破壊性状は同形状のせん断破壊先行型耐震壁のものと同様。
- ③ 開口が圧縮側柱脚部に隣接する曲げ降伏先行型耐震壁
→ 圧縮側柱脚部のせん断破壊が進行し、せん断破壊先行型のものとは比べて変形性能が低下する場合がある。
- ④ FEM解析に基づいた簡易せん断耐力式(ストラット式)を提案
- ⑤ ストラット式を用いたせん断余裕度の評価により、有開口耐震壁における破壊モードの判定が概ね可能。

3章 偏在開口耐震壁に関する実験調査

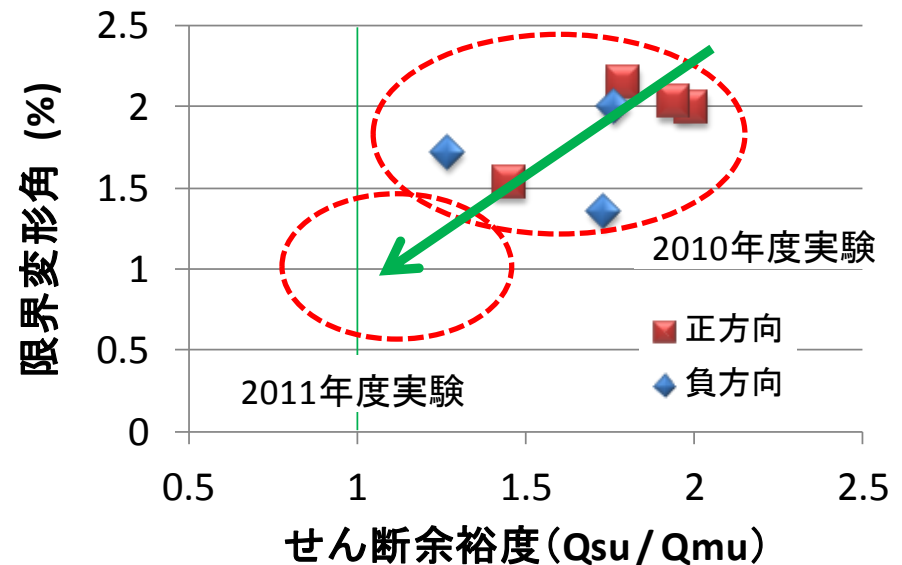
京都大学

3章 偏在開口耐震壁に関する実験調査

開口が破壊形式や最大耐力、変形性能に及ぼす影響を検証するために、曲げ降伏先行型の有開口連層耐震壁を対象とした静的載荷実験を実施した。

2010年度実験

- ・4体(無開口1体、有開口3体)
- ・せん断余裕度 (Q_{su}/Q_{mu}) と変形性能(限界変形角)の間に相関関係が見られたが、せん断余裕度が大きい耐震壁が多かった。



→ 2011年度の実験では、2010年度よりも耐震壁の曲げ耐力を高く設定し、よりせん断余裕度が小さい条件で有開口耐震壁の構造性能を検証することとした。

試験体概要

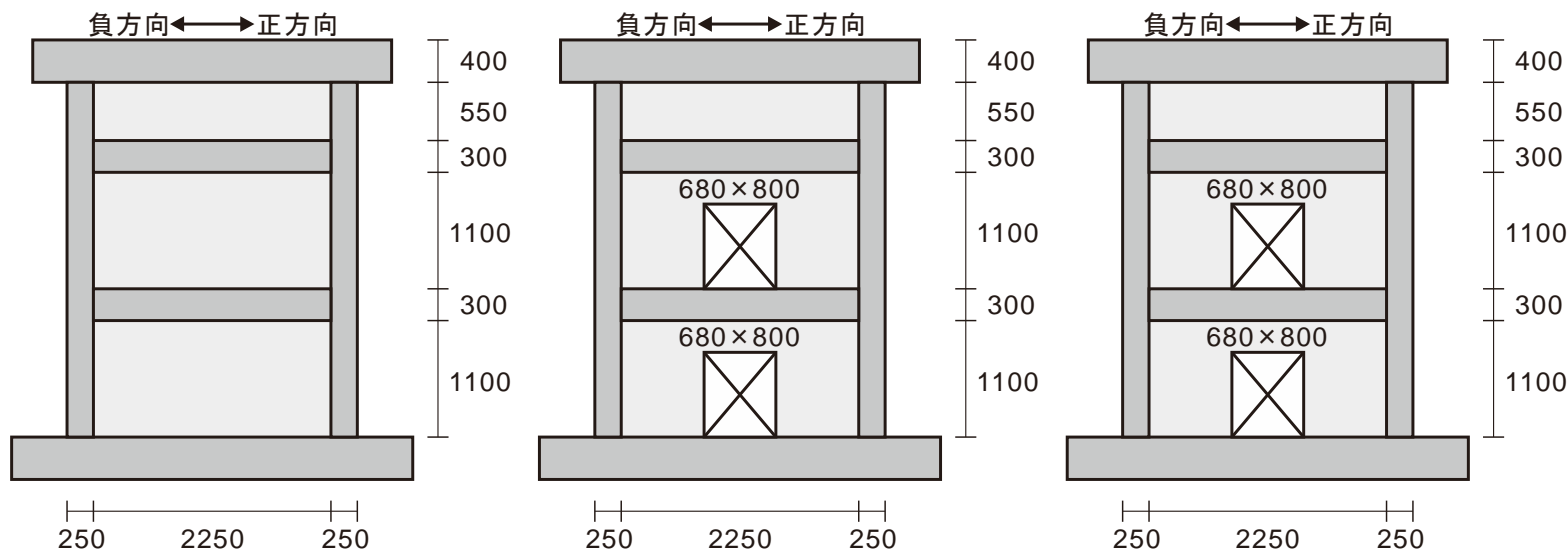
- ・縮尺40%の3体（無開口1体、有開口2体【等価開口周比0.39】）

[無開口]

- ・せん断余裕度：1.25 ← 1.99（2010年度 無開口試験体）

[有開口]

- ・開口は中央配置とし、形状・配筋（壁筋除く）は2体とも共通
- ・壁筋比が変形性能に及ぼす影響を調査（M31試験体）



試験体名

N11

M11

M31

壁筋比

0.28%

0.28%

3倍
→

0.85%

載荷方法

- 静的正負交番繰り返し漸増載荷

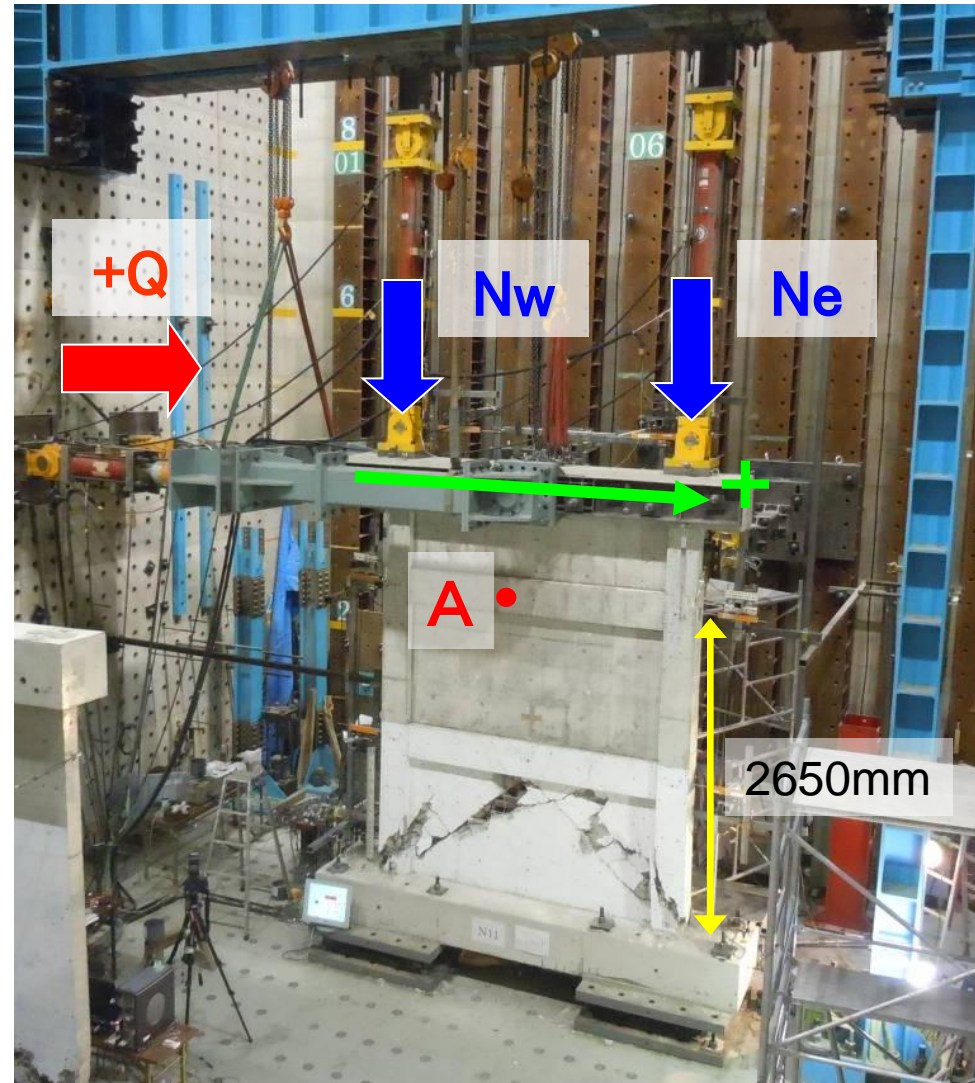
3階梁中心高さ位置(A点)における水平変位をスタブからの高さ(2650mm)で除した全体変形角で制御する。

- 長期軸力

柱1本あたり: 400kN

軸力比: 21% (柱断面のみ)

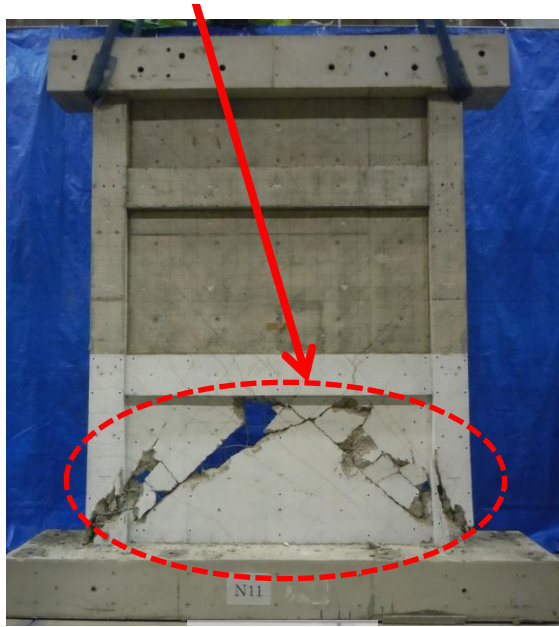
- せん断スパン比 (= M/Qd) : 2.0



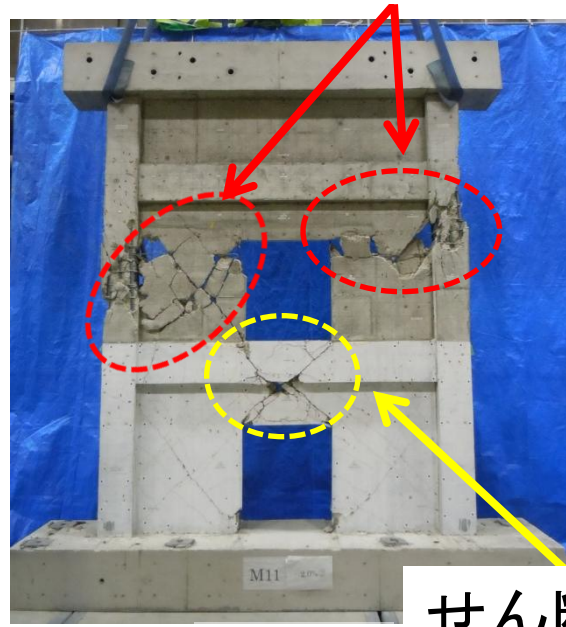
実験結果(損傷状況)

曲げ降伏後のせん断破壊

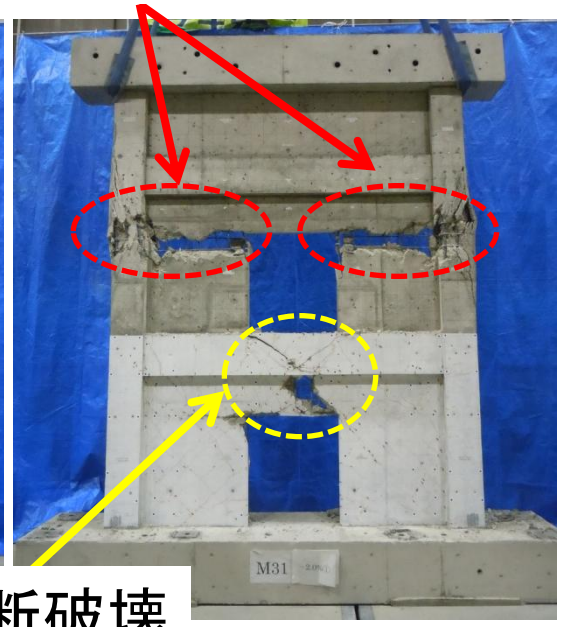
せん断(スリップ)破壊



N11



M11

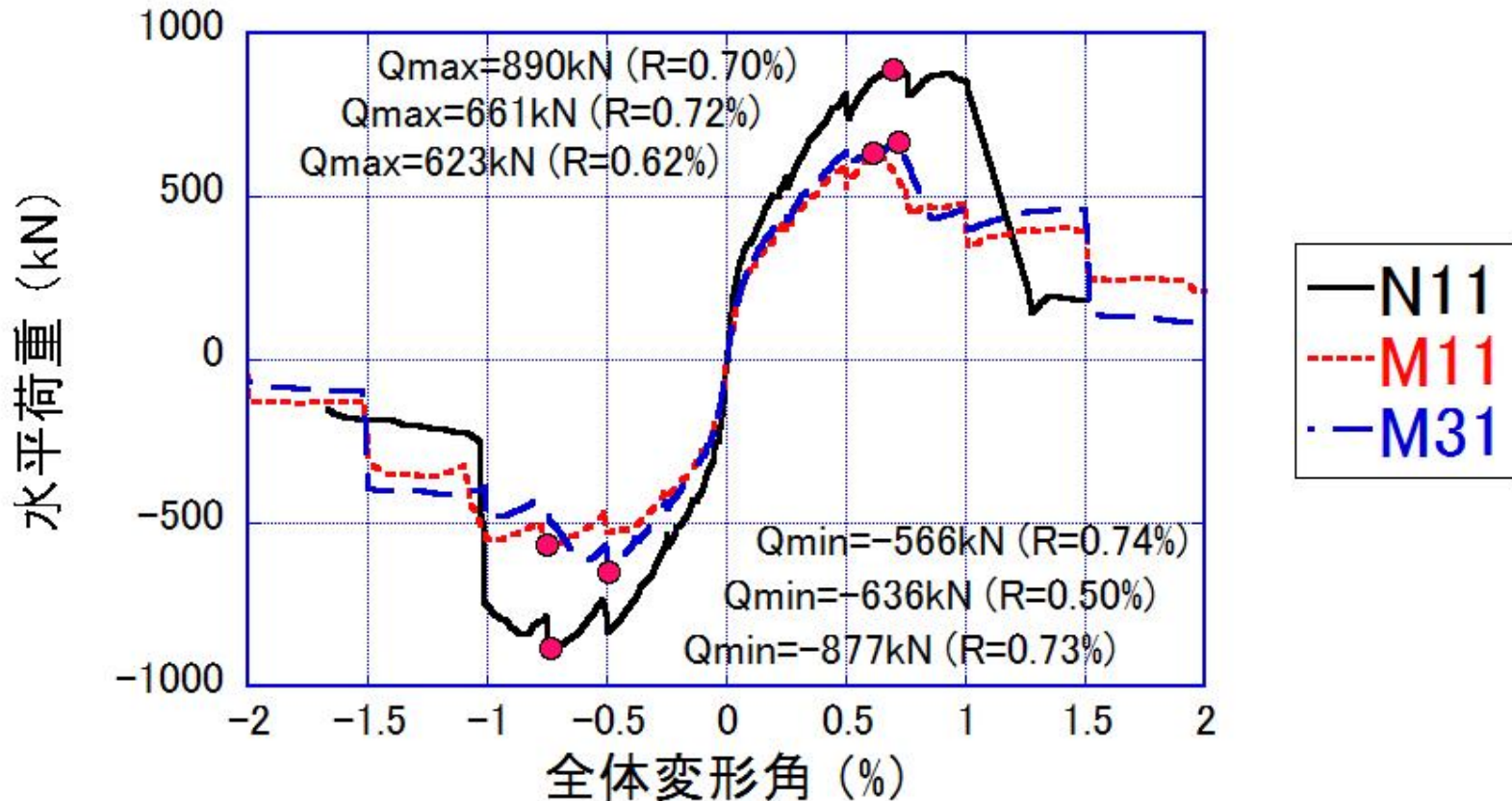


M31

せん断破壊

- ・M11、M31ではせん断余裕度の不足により、2階開口横の壁板でせん断スリップ破壊が起こり、急激な耐力低下が見られた。
← 水平方向に破壊面が進展した原因として、境界条件(剛強な上階による拘束)の影響が考えられる。
- ・壁筋量を増やす(M11→M31)ことで、損傷がスリップ面に集中

実験結果（荷重変形関係）



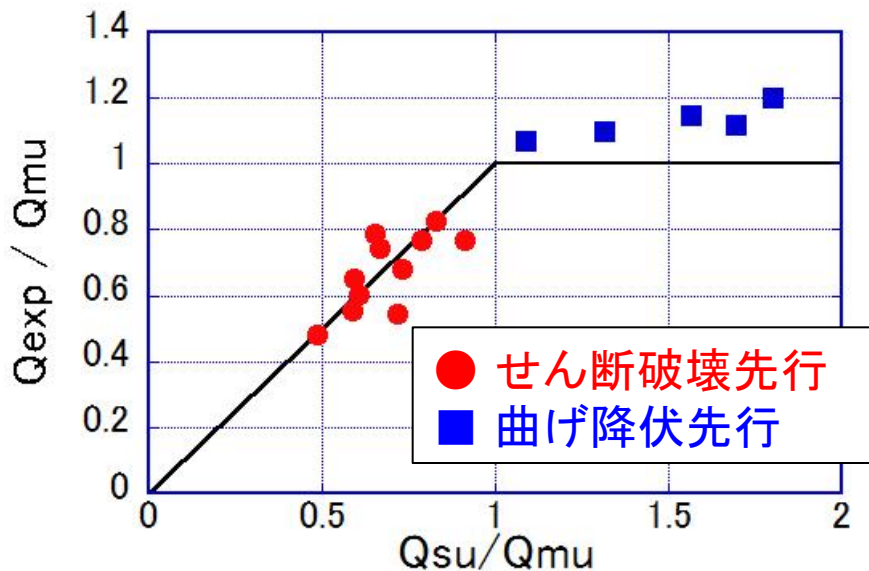
- ・N11試験体が曲げ降伏したものの、いずれの試験体も変形性能は乏しかった。（80%耐力点は全体変形角1.0%以下）
- ・M11試験体とM31試験体の包絡線の形状はよく似ており、耐力差も小さい（正方向で38kN）。

実験結果（せん断耐力の評価1）

過去に実施した載荷実験の試験体を含めた計16体の耐震壁を対象に、既往の評価法による有開口耐震壁試験体のせん断強度の評価精度を検証した。

（無開口耐震壁のせん断強度式）×（開口低減率）

- ・荒川式
- ・学会提案式
- ・トラスアーチ式[単層、連層]
- ・小野ら提案式
- ・スリップ式



トラスアーチ式(連層) × 小野ら提案式

様々な組み合わせを検証した結果、

（せん断強度式）

トラスアーチ式(連層)・スリップ式

（開口低減率）

小野ら提案式

の予測精度が高かった。

→この組み合わせで、

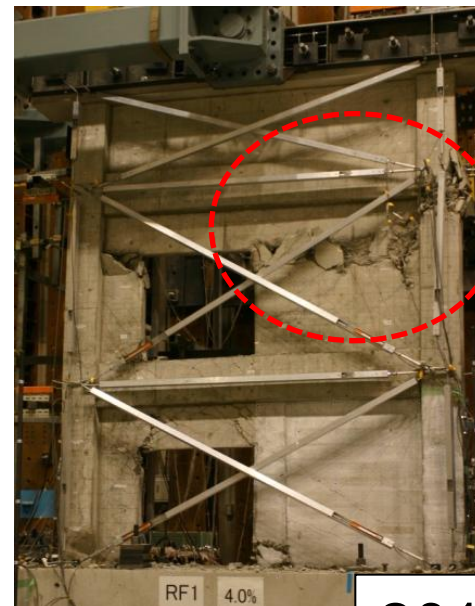
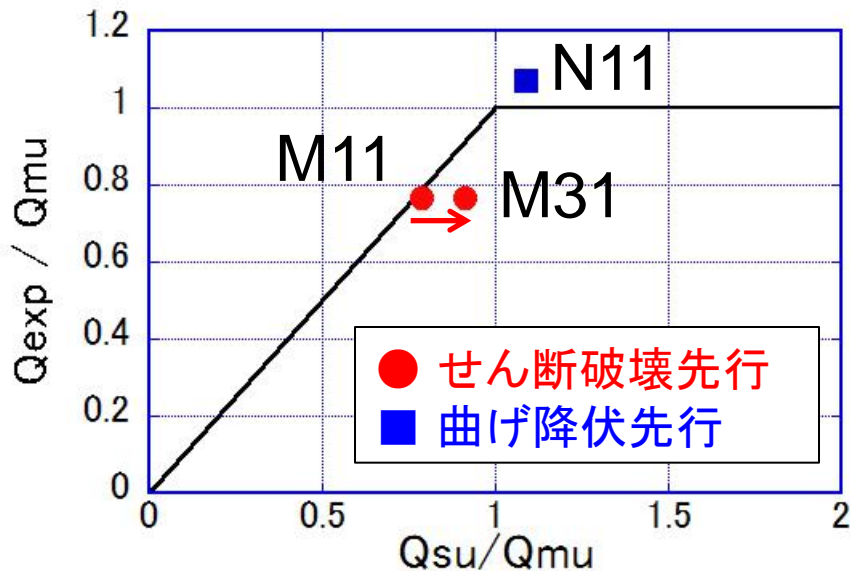
今年の実験結果を検証した。

実験結果（せん断耐力の評価2）

有開口試験体では、壁筋量の増大 ($p_w=0.28\% \rightarrow 0.85\%$) に伴い、せん断強度の計算値 (Q_{su}/Q_{mu}) は大幅に増加するが、実験における最大耐力（せん断強度）の増分 (Q_{exp}/Q_{mu}) は小さかった。

← スリップ破壊に対して壁筋の寄与があまり大きくなかった。

→ 同様の破壊形式は壁脚が曲げ降伏した2010年度の実験でも観測されており、メカニズムの検証が必要。



トラスアーチ式(連層) × 小野ら提案式

2010年度試験体

3章 まとめ

等価開口周比0.39の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。

- 無開口耐震壁では曲げ降伏後にせん断破壊を起こしたが、有開口耐震壁ではせん断破壊が曲げ降伏に先行した。
- 有開口耐震壁では、開口隅角部に隣接する壁板で発生した水平方向のひび割れに沿ってスリップ破壊が起こり、急激な耐力低下を起こした。
- 既往の評価式で有開口耐震壁のせん断強度を評価する場合、トラスアーチ式(連層アーチを仮定)、スリップ式による無開口耐震壁のせん断強度に、小野ら提案の開口低減率を乗じる方法が最も精度が高いが、開口隣接部でスリップ破壊を起こす耐震壁では、壁筋比による強度増加を過大評価する可能性がある。

おわり