

課題 8

**開口の数や位置を考慮した鉄筋コンクリート造の
耐力壁の強度・剛性評価方法に関する実験・解析**

大阪大学

京都大学

豊橋技術科学大学

竹中工務店

(独)建築研究所

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	設計法の提案
	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
	卜部 藍	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
共同研究者	福山 洋	(独)建築研究所・上席研究員	全体計画に対する助言
	加藤 博人	(独)建築研究所・主任研究員	複数開口及び偏在開口耐震壁の構造実験に対する助言
	諏訪田 晴彦	(独)建築研究所・研究員	複数開口及び偏在開口耐震壁の解析に対する助言

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

現行RC規準における 有開口耐震壁のせん断強度算定法

(有開口耐震壁のせん断強度)
= (開口低減率 γ) × (無開口耐震壁のせん断強度)

開口による低減率

$$\gamma = 1 - \eta$$

等価開口周比

$$\eta = \sqrt{\frac{h_o \cdot l_o}{h \cdot l}}$$

開口周比が同一であれば、開口の形状・位置に関係なく
同一の耐震性能が算定される

・目的

有開口耐震壁の評価法の
精度向上にむけた基礎資料の整備

本年度

- ・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
の静的載荷実験



- ・破壊メカニズム
- ・耐力
- ・変形性能



試験体概要

- 6層程度のRC造建築物における連層耐震壁の下層部を想定(せん断破壊型)
- 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

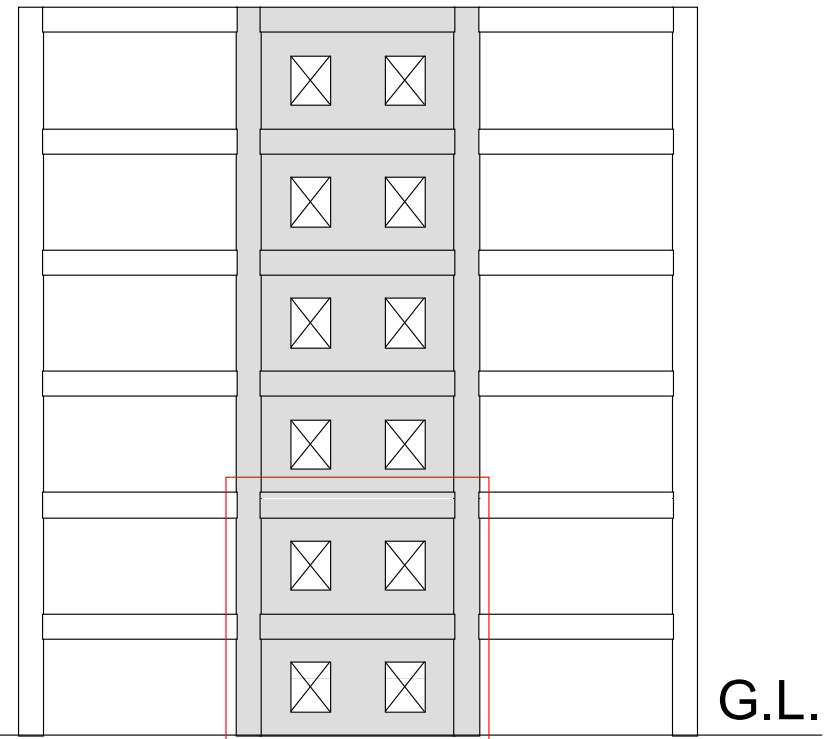
コンクリートの圧縮強度 27N/mm^2

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)

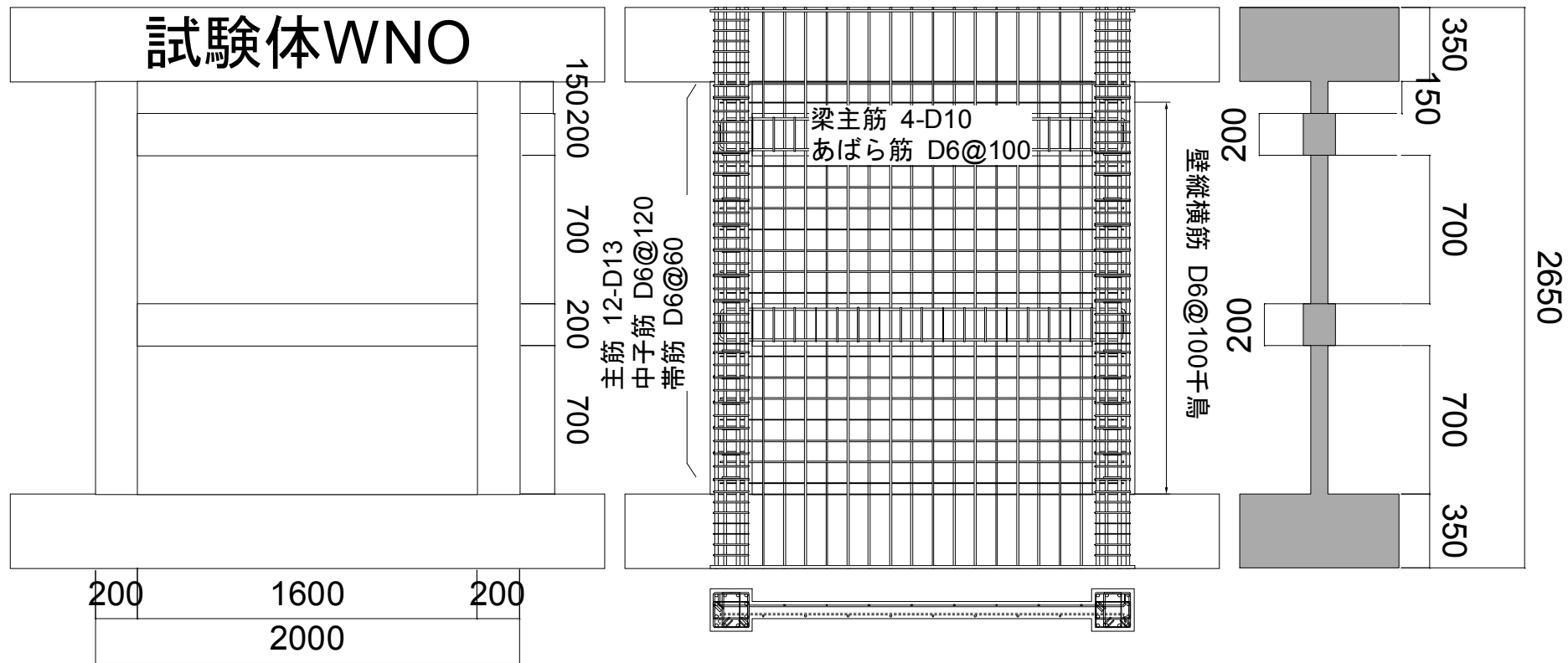


Medium-rise RC building(6 story)

試験体概要

試験体WNO

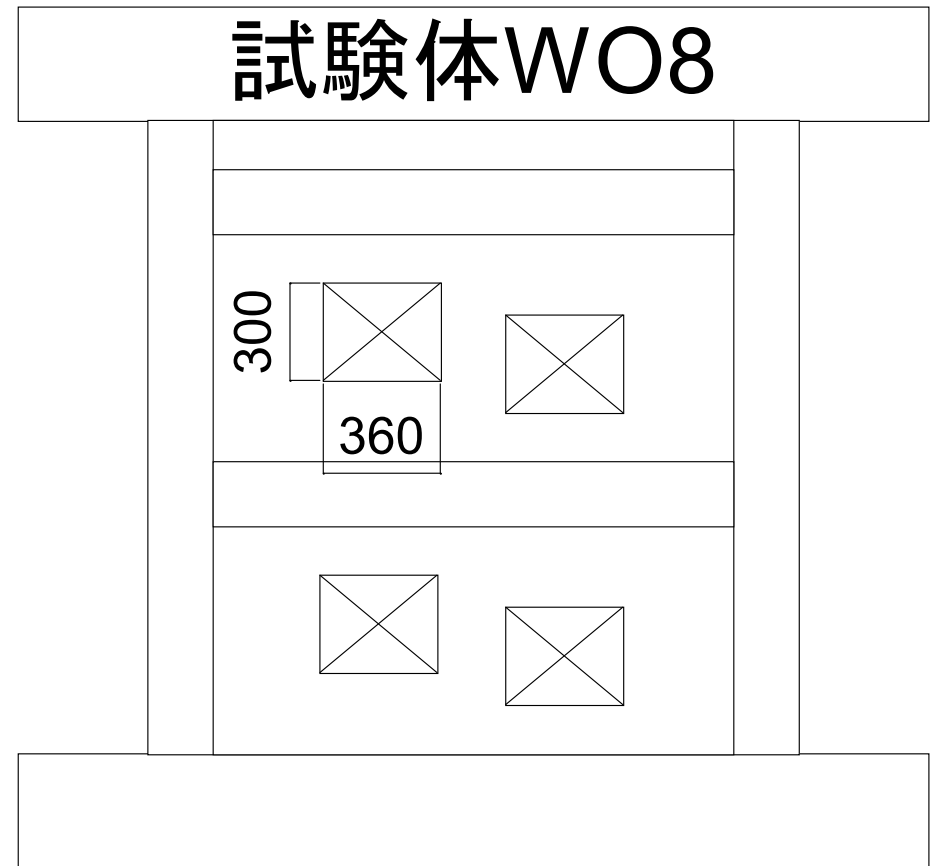
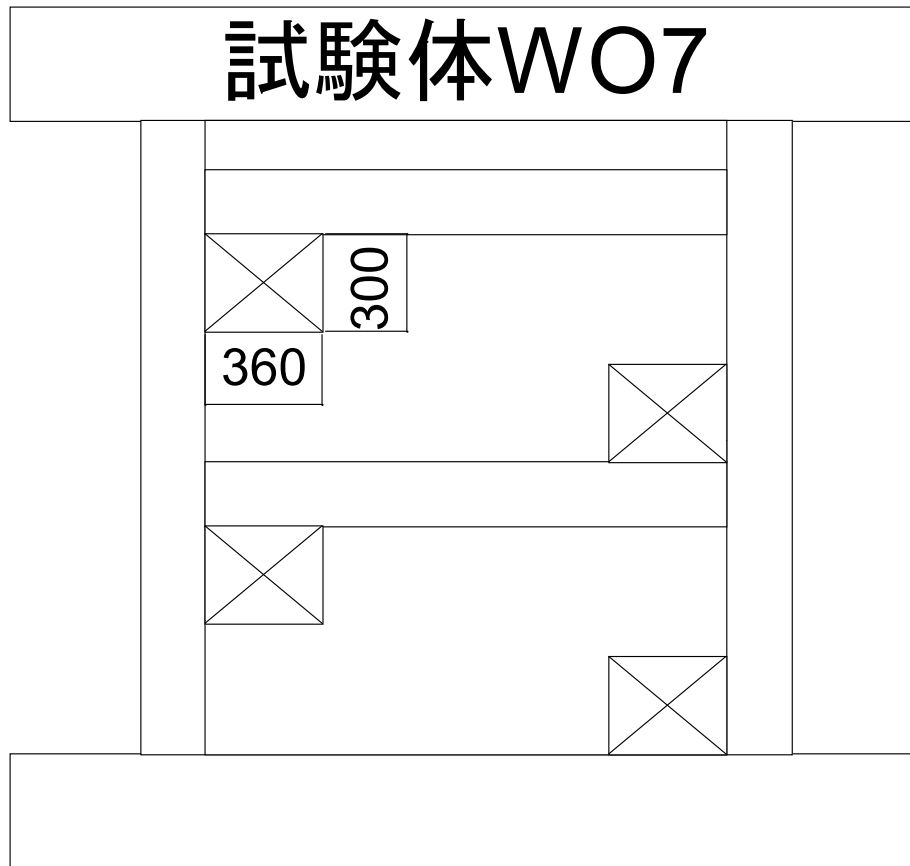
・無開口の耐震壁(せん断破壊先行型)



試験体概要

同形状の開口が対角に配置されたシリーズ

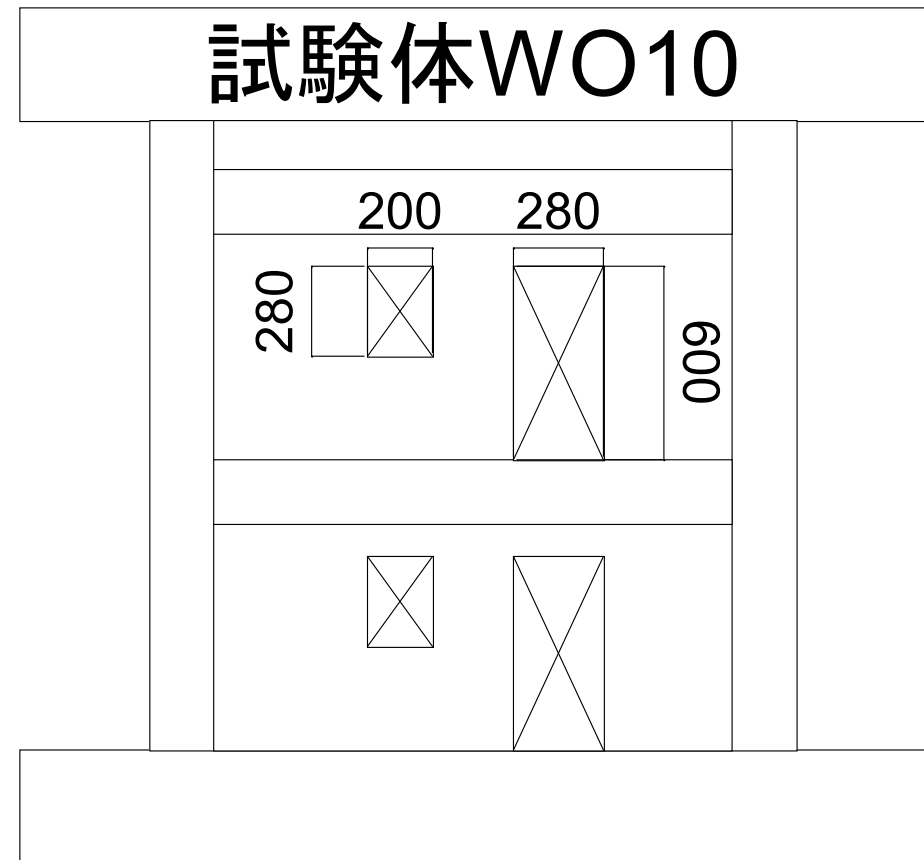
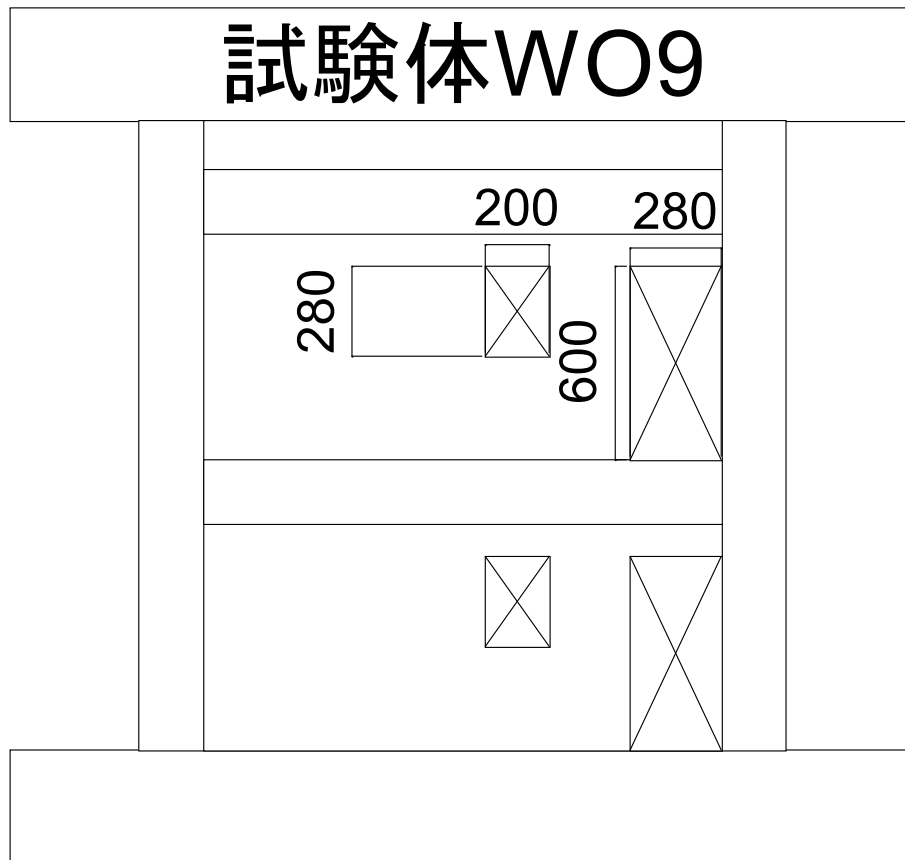
→試験体W07とW08



試験体概要

ドア型開口と小開口からなるシリーズ

→試験体WO9とWO10

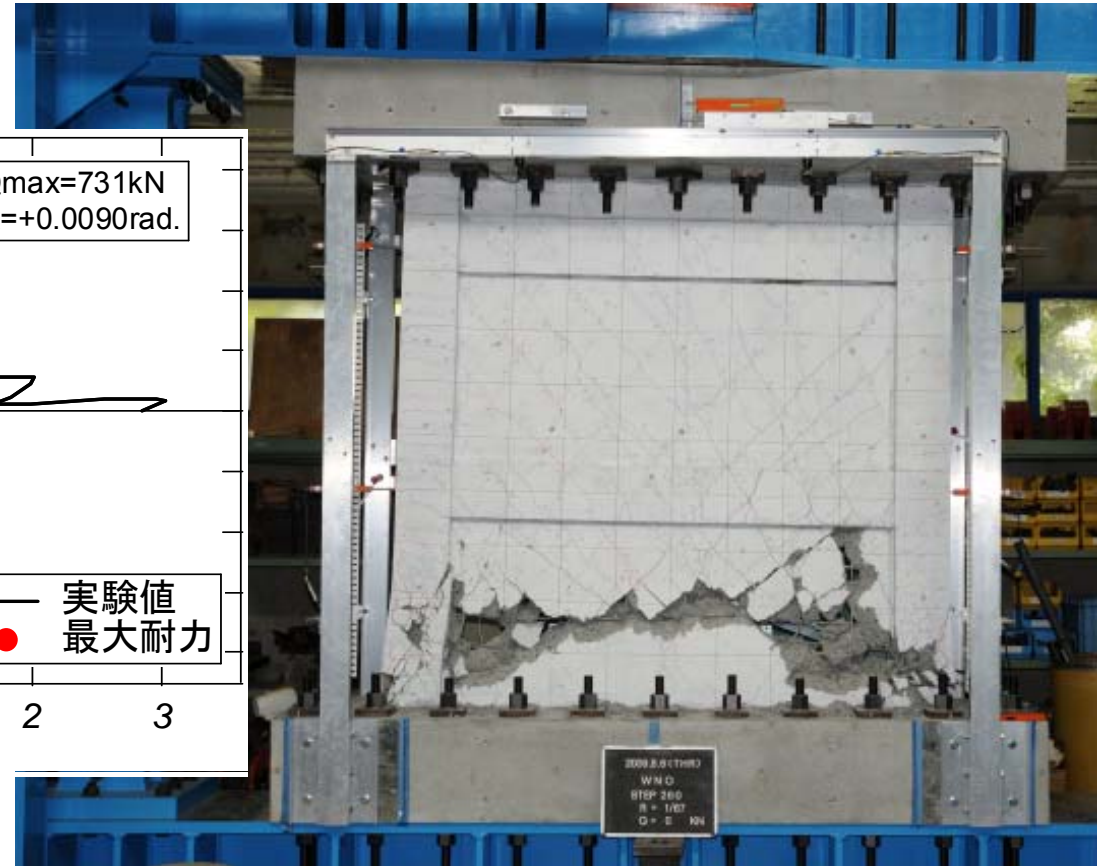
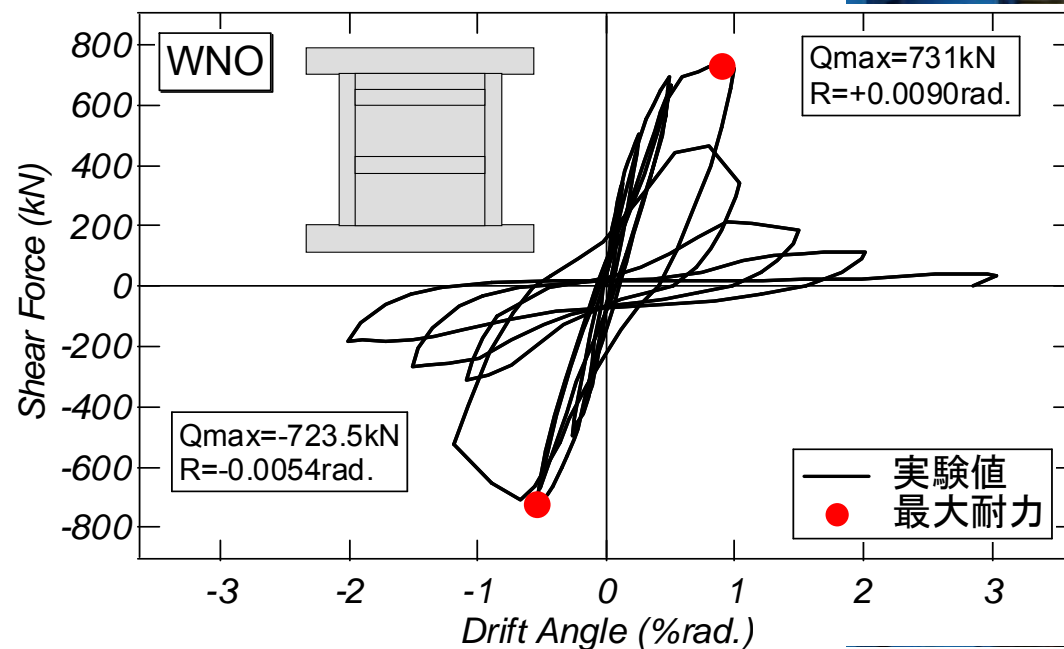


実験結果 (破壊性状)

試験体WNO

南

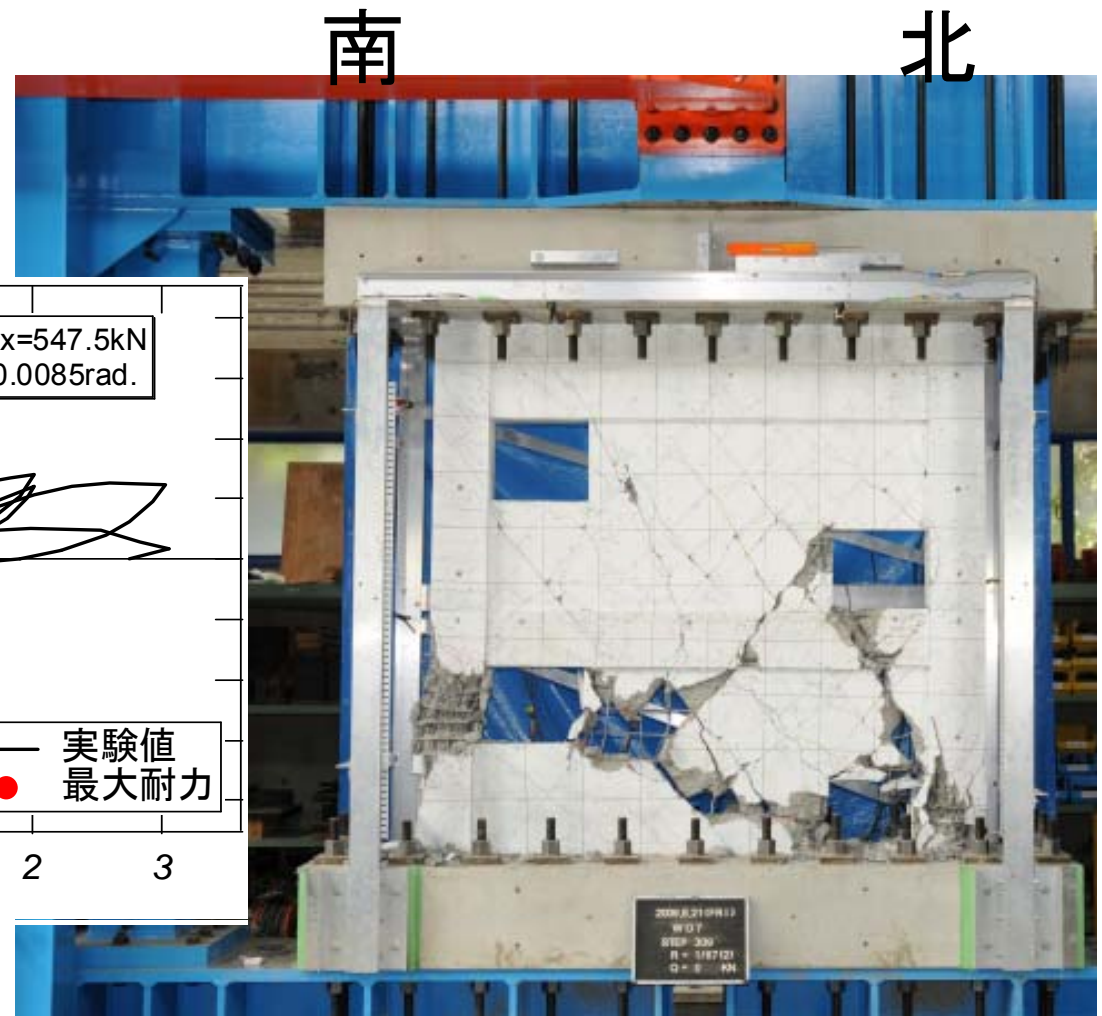
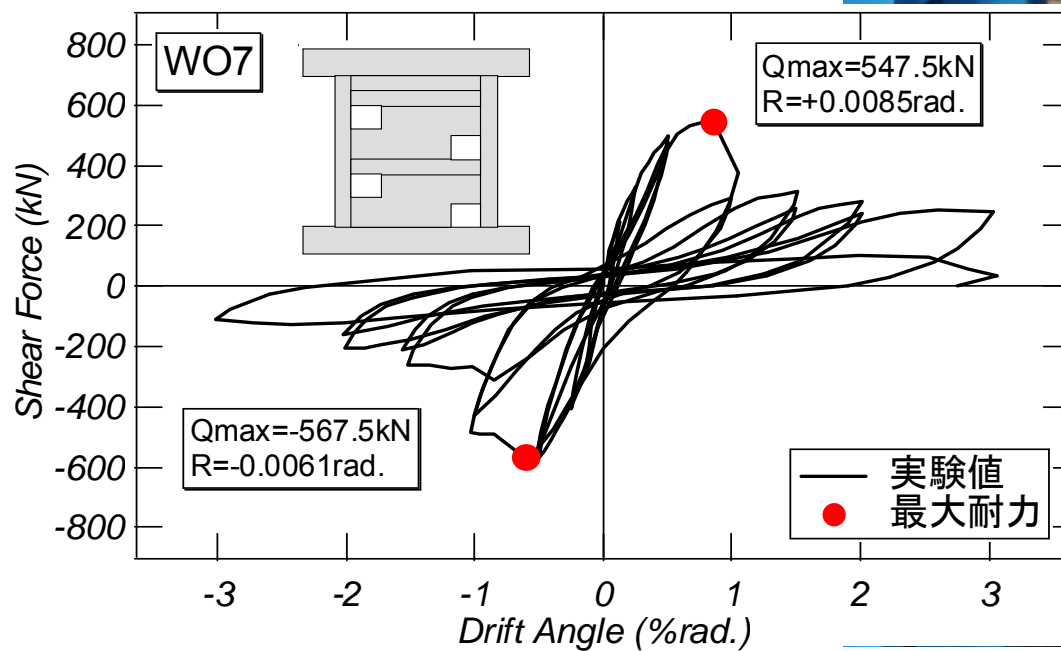
北



最大耐力後にスリップ破壊の様相を呈し、急激に耐力が低下

・実験結果 (破壊性状)

試験体WO7



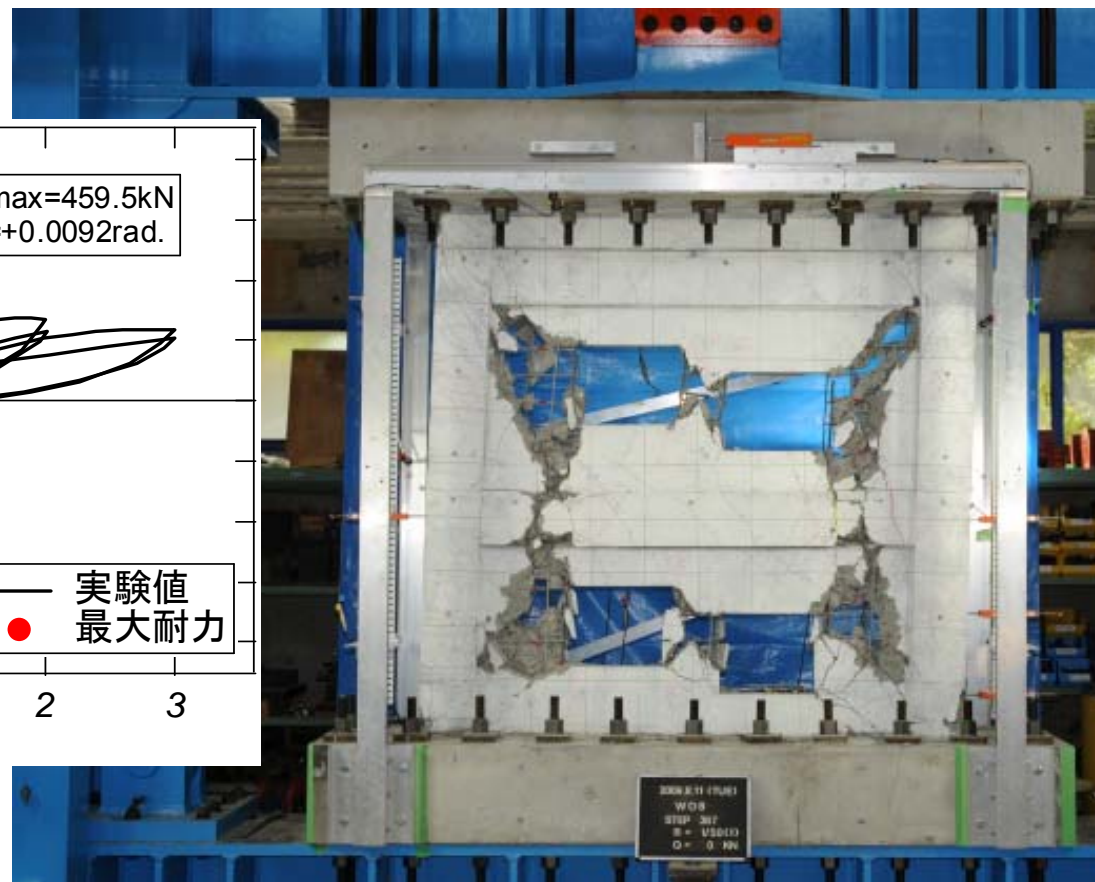
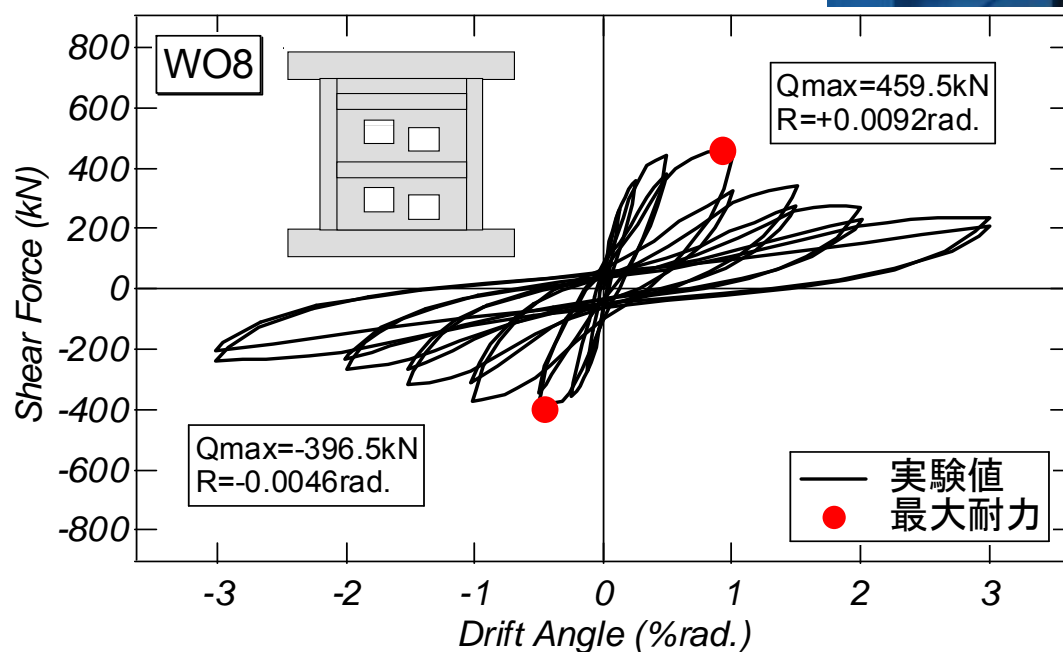
最大耐力後に1層開口部付近が圧壊、急激に耐力が低下

実験結果 (破壊性状)

試験体WO8

南

北



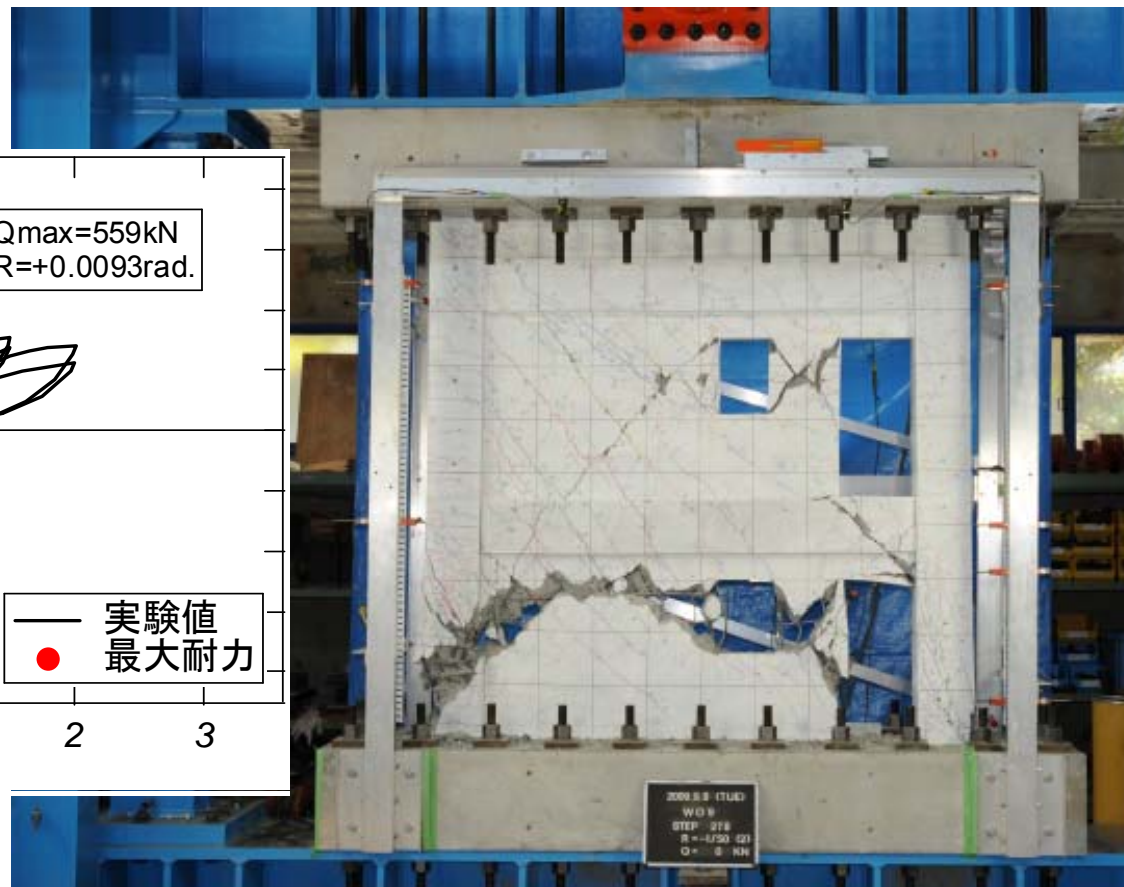
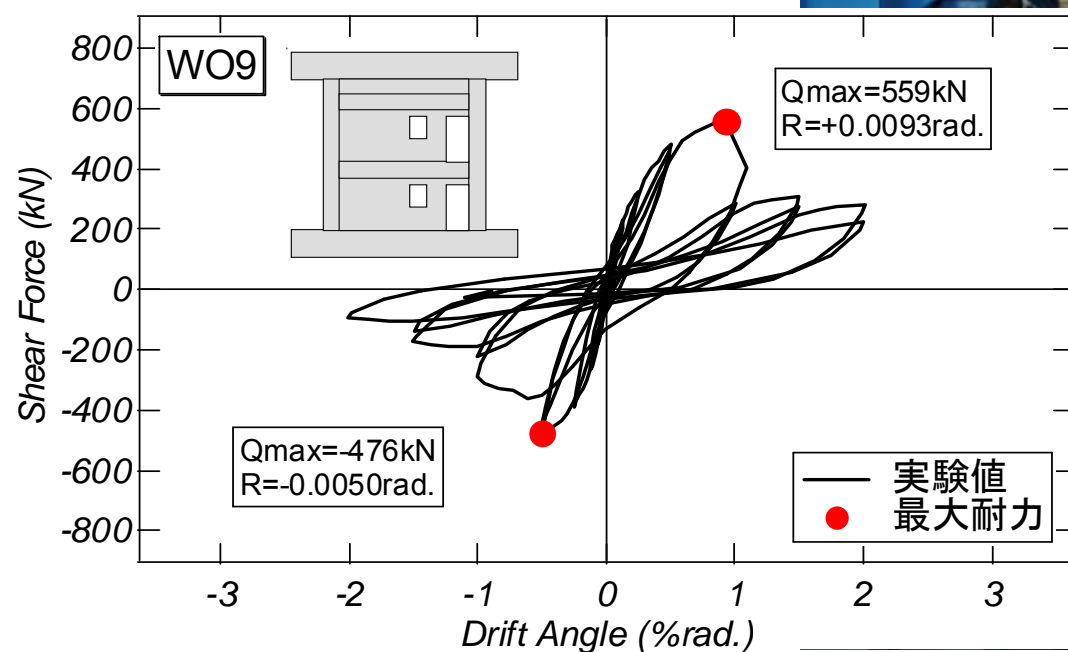
2層の開口間壁板・袖壁が損傷が先行、
フレーム的な挙動が支配的となり載荷終了まで耐力を保持

実験結果 (破壊性状)

試験体WO9

南

北



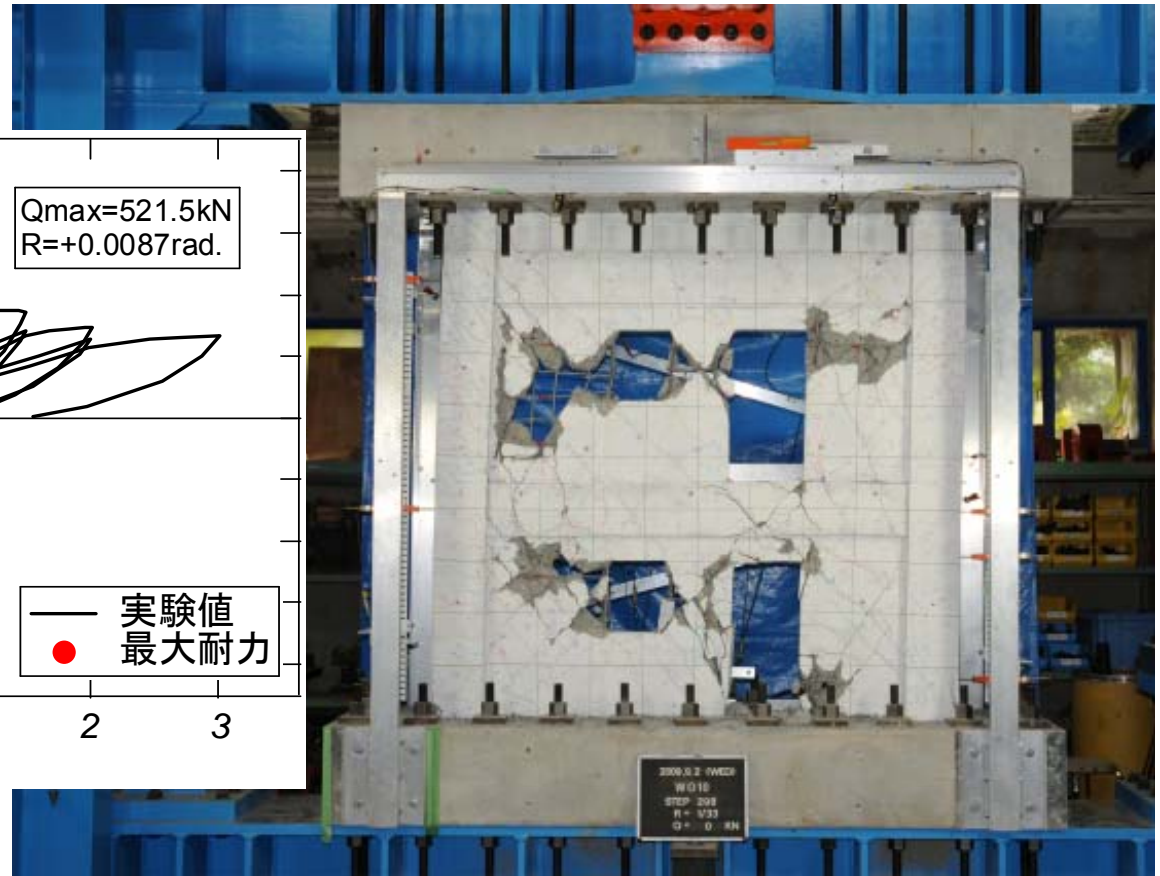
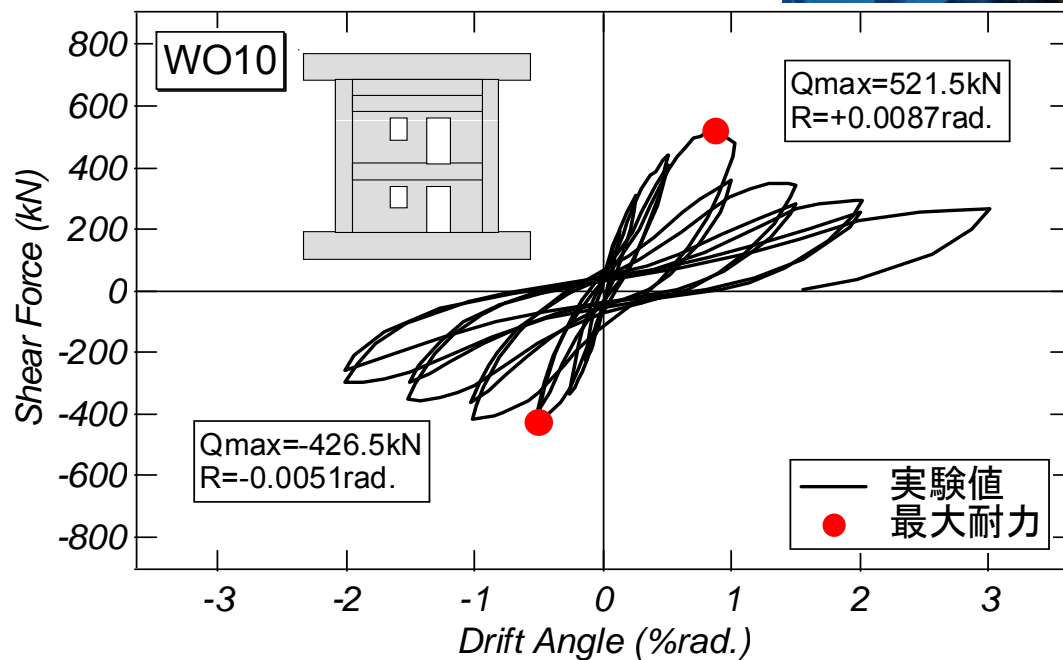
最大耐力後、
南側袖壁でスリップ破壊の様相を呈し、急激な耐力低下

実験結果 (破壊性状)

試験体WO10

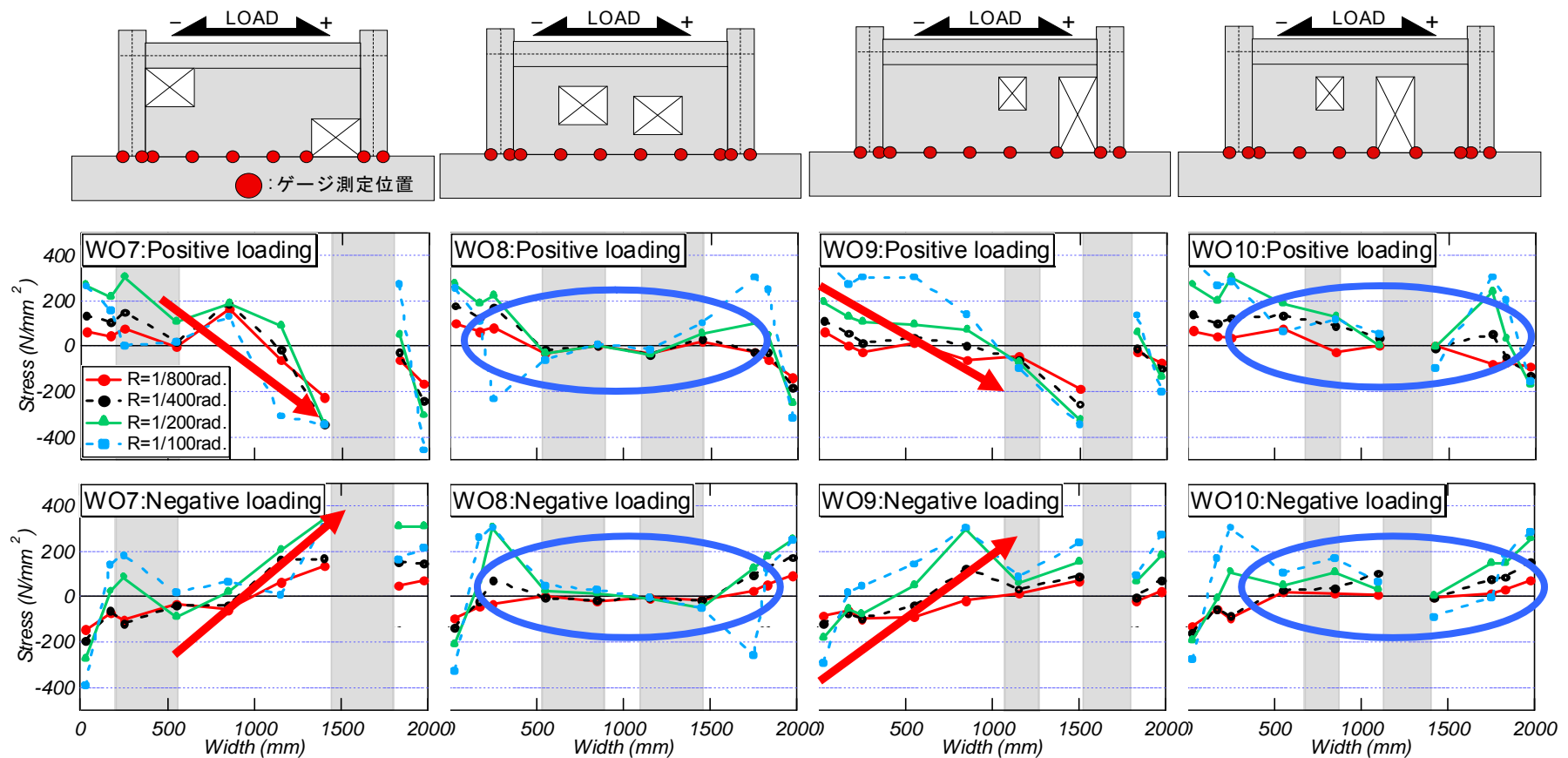
南

北



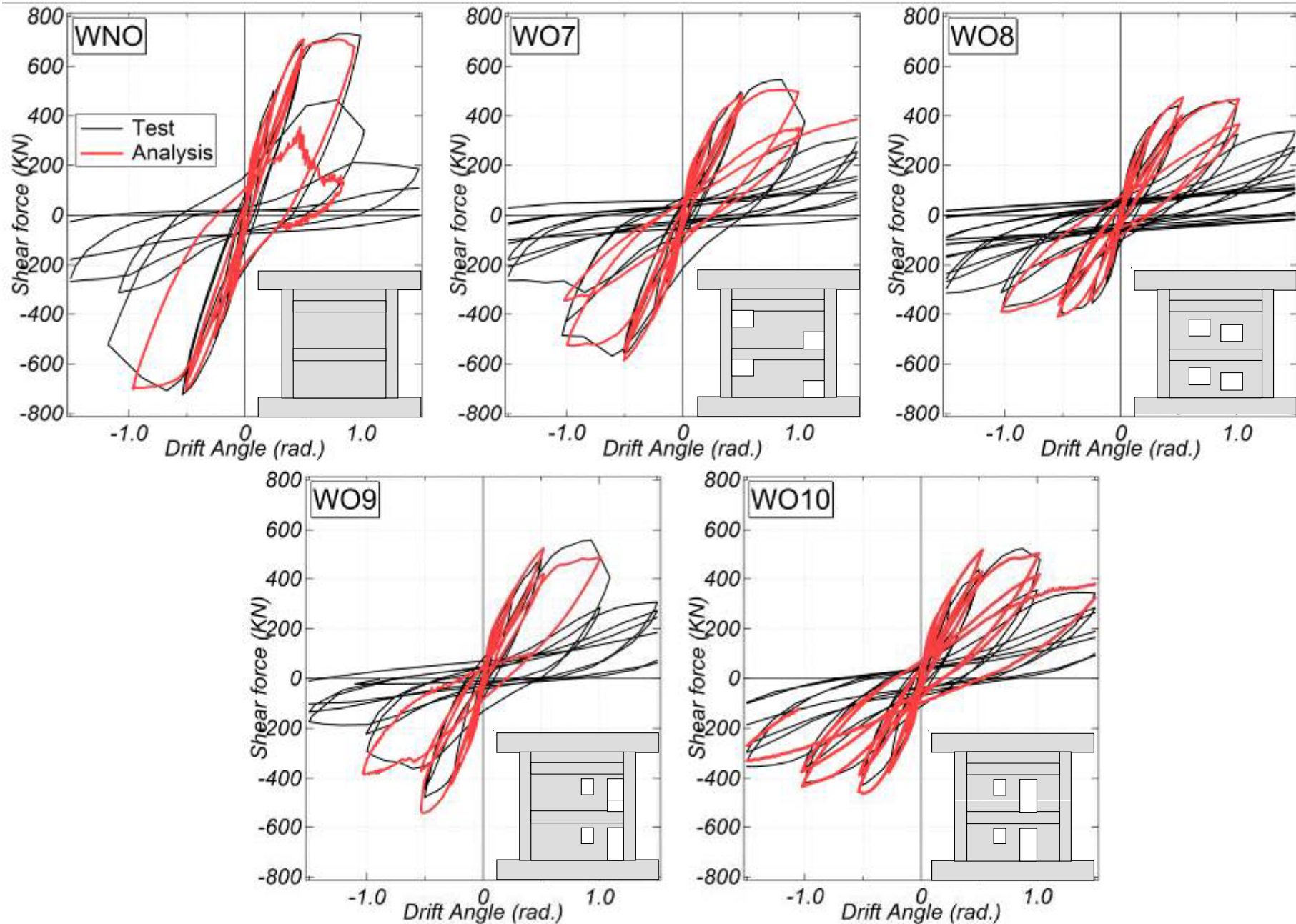
WO8と同様、
フレーム的な挙動が支配的となり、載荷終了まで耐力を保持

・実験結果 (壁脚部の鉄筋応力分布)

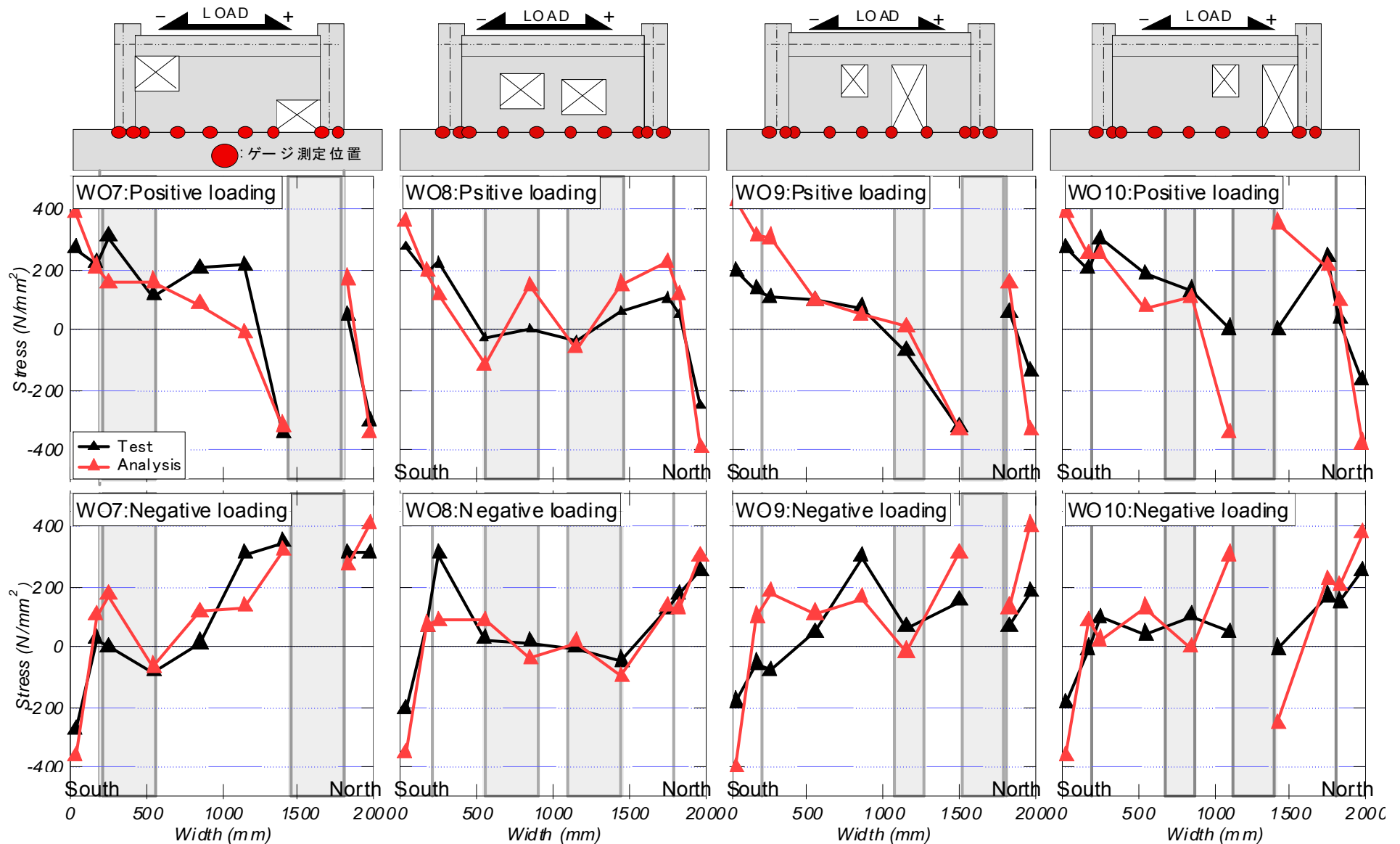


- ・開口直下の応力負担が小さく、ほとんどモーメントに抵抗していた
→開口間壁板がせん断力をほとんど負担しない傾向にある。

・FEM解析結果：荷重－変形関係（FINAL）



解析結果：壁脚部の応力分布 (R=1/200rad.)



・実験結果 (終局強度評価)

(単位:kN)	実験値(EXP)		計算値(CAL)						
	正載荷	負載荷	せん断強度						
			広沢式		小野・徳広式				
試験体			$Q_{su} \times \gamma$	EXP(+)/CAL	EXP(-)/CAL	$Q_u \times \gamma_u(+)$	EXP(+)/CAL	$Q_u \times \gamma_u(-)$	EXP(-)/CAL
WNO	+731	-724	641	1.14	1.13	793	0.92	-793	0.91
WO7	+548	-568	401	1.37	1.42	442	1.24	-594	0.96
WO8	+460	-397	394	1.17	1.01	490	0.94	-424	0.94
WO9	+559	-476	385	1.45	1.24	575	0.97	-521	0.91
WO10	+522	-427	380	1.37	1.12	527	0.99	-430	0.99

<広沢式>

$$Q_{su} = \left[\frac{0.068 p_{te}^{0.23} \cdot (F_c + 18)}{\sqrt{M/(Q \cdot D) + 0.12}} + 0.85 \sqrt{\sigma_{wh} \cdot p_{wh}} + 0.1 \sigma_0 \right] \cdot t_e \cdot j$$

→実験値を概ね過小評価

$$\gamma = 1 - \eta$$

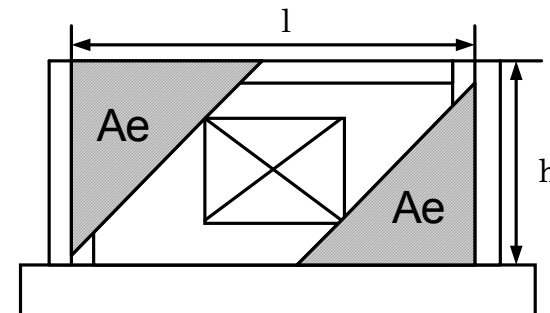
$$\eta = \max \left\{ \sqrt{\frac{\sum h_i \cdot l_i}{h \cdot l_w}}, \frac{\sum l_i}{l_w} \right\}$$

<小野・徳広式>

$$Q_u = (0.75 \sqrt{F_c} + 340 P_s) \cdot t \cdot l$$

→実験値を精度良く評価

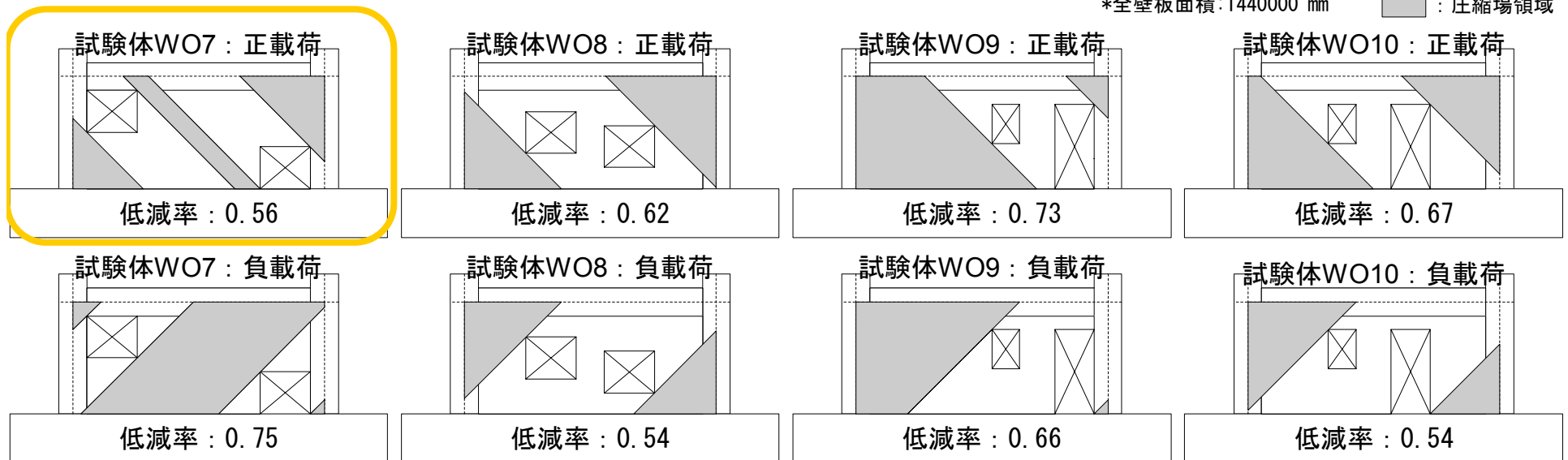
$$r_u = \sqrt{\frac{\sum A_e}{hl}}$$



実験結果 (終局強度評価)

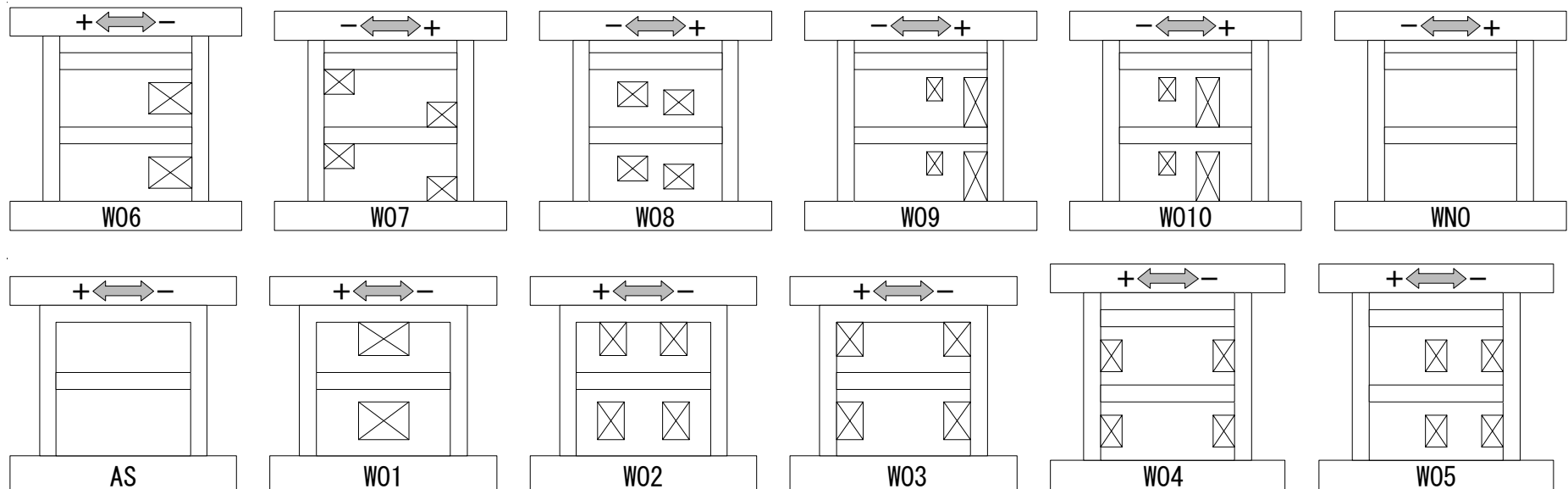
(単位:kN)	実験値(EXP)		計算値(CAL)						
	正載荷	負載荷	せん断強度						
			広沢式			小野・徳広式			
試験体			$Q_{su} \times \gamma$	EXP(+)/CAL	EXP(-)/CAL	$Q_u \times \gamma_u(+)$	EXP(+)/CAL	$Q_u \times \gamma_u(-)$	EXP(-)/CAL
WNO	+731	-724	641	1.14	1.13	793	0.92	-793	0.91
WO7	+548	-568	401	1.37	1.42	442	1.24	-594	0.96
WO8	+460	-397	394	1.17	1.01	490	0.94	-424	0.94
WO9	+559	-476	385	1.45	1.24	575	0.97	-521	0.91
WO10	+522	-427	380	1.37	1.12	527	0.99	-430	0.99

*全壁板面積: 1440000 mm²  : 圧縮場領域



→ 一部、適切に評価できない場合がある

・実験結果 (せん断剛性の検討)



<せん断剛性低減率>

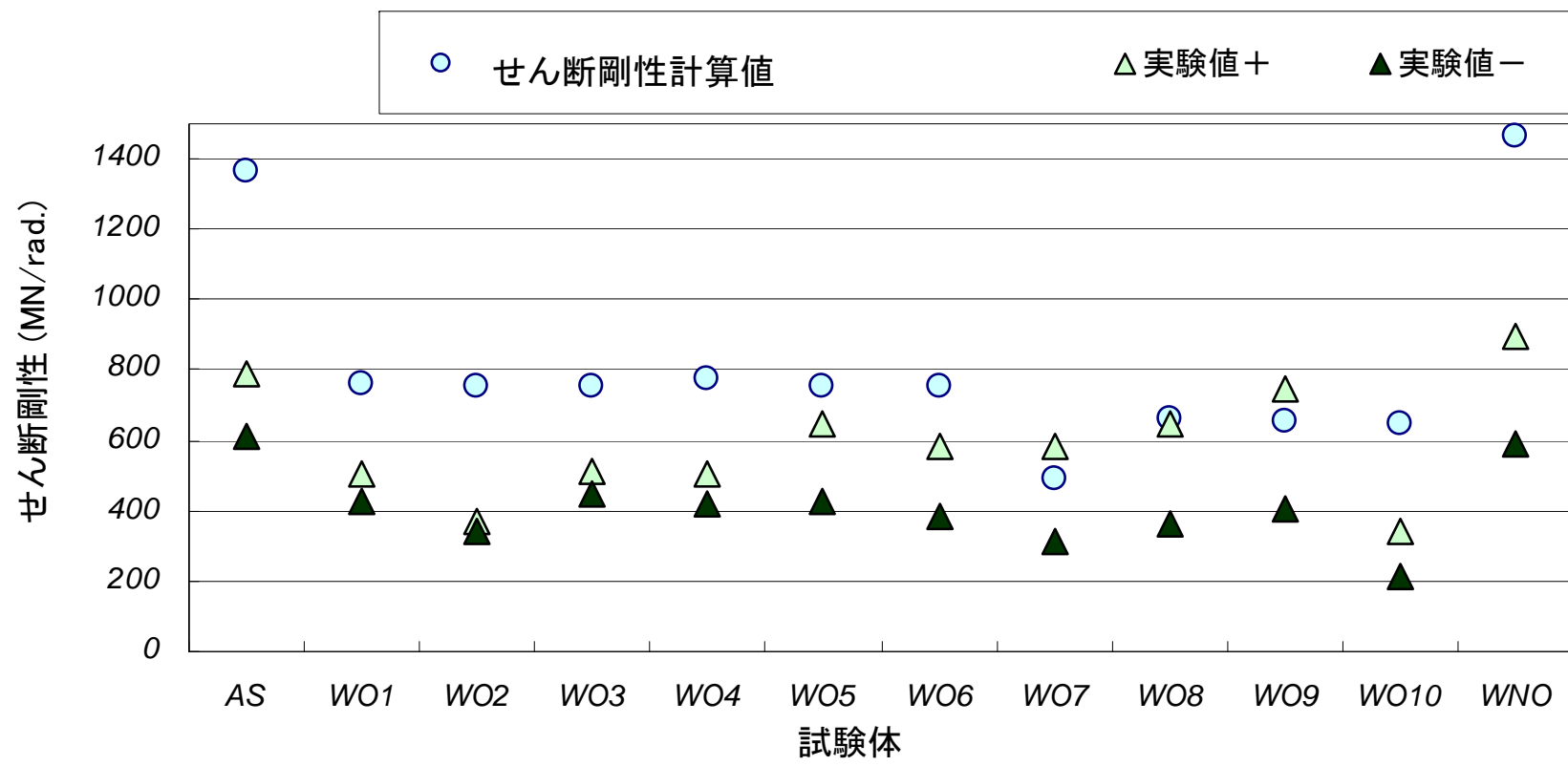
$$r_2 = 1 - 1.25 \times 1.1 \times \sqrt{\frac{h_{0p} \cdot l_{0p}}{h \cdot l}}$$

<無開口のせん断剛性>

$$K_e = GA_{all} / \kappa_e$$

・実験結果 (せん断剛性の検討)

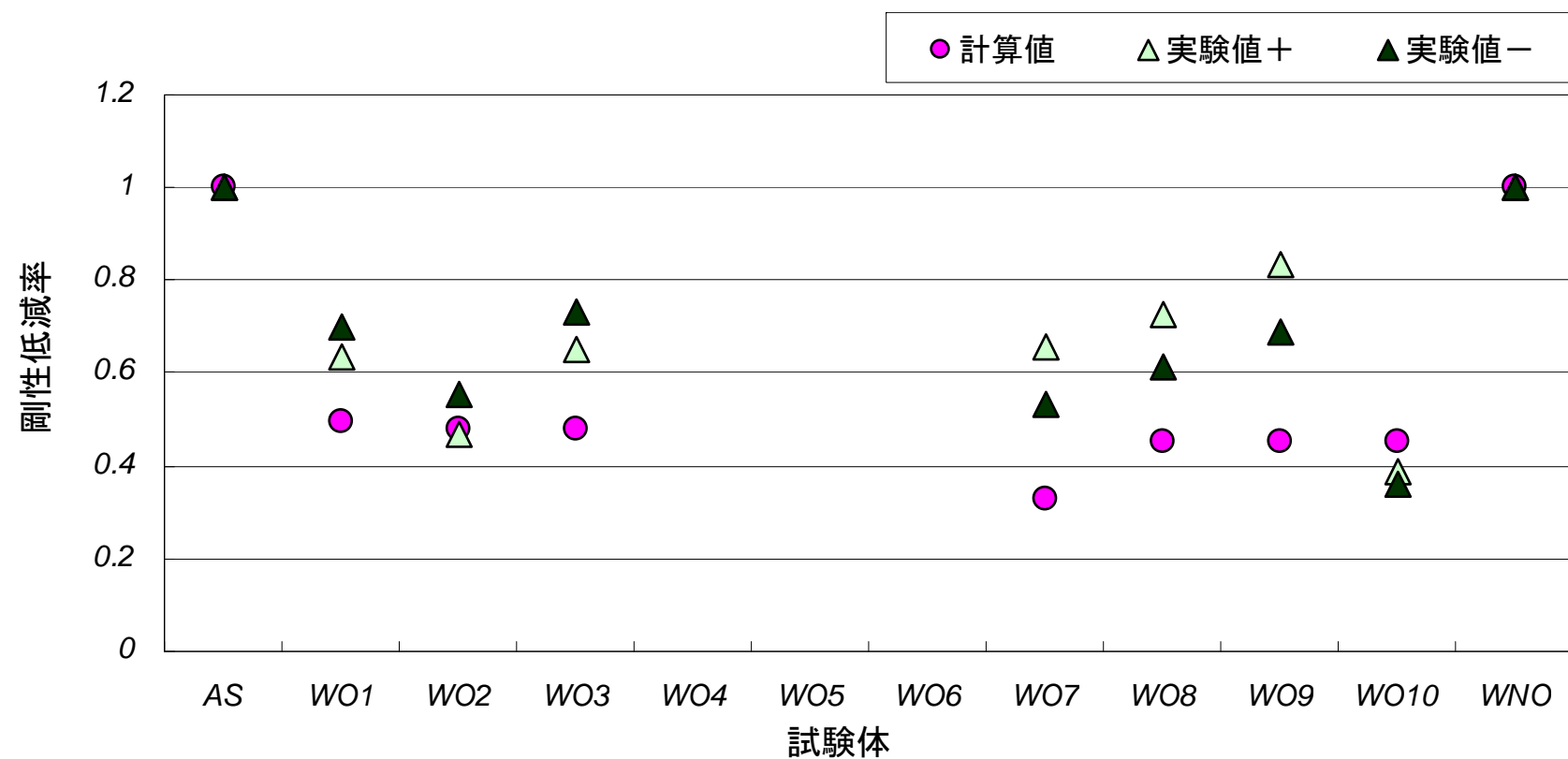
<せん断剛性の比較>



→計算値が実験値を上回る

・実験結果 (せん断剛性の検討)

＜剛性低減率の比較＞



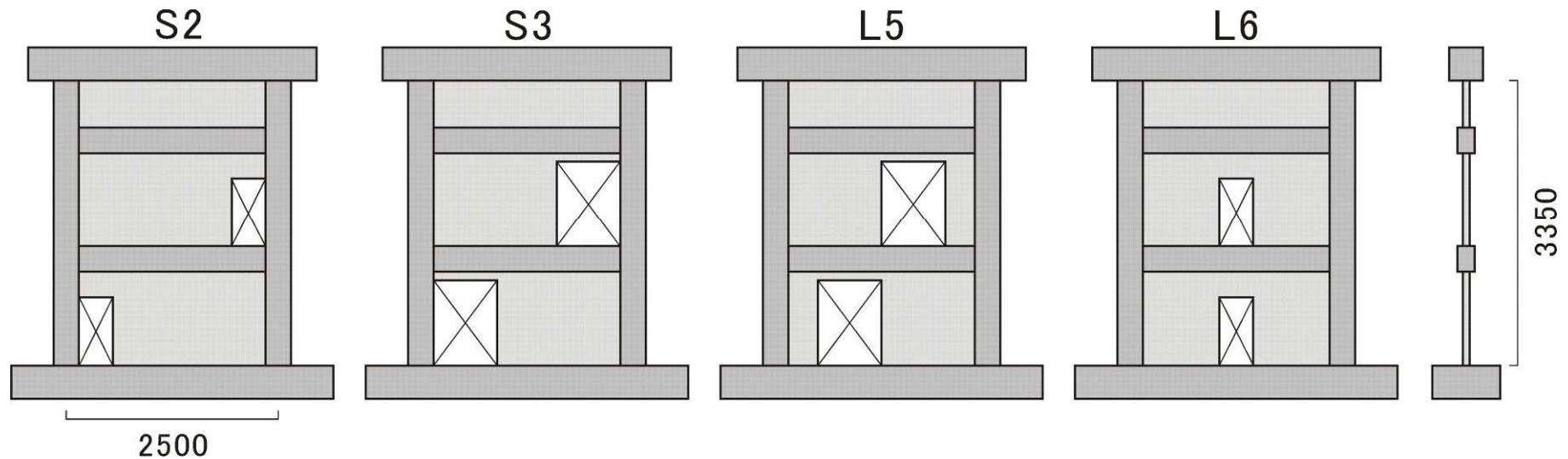
→実験値を若干小さく評価する傾向

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

- ・千鳥開口の試験体を中心に、計4体の試験体(縮尺40%)を製作し、破壊性状の確認、せん断耐力、剛性の評価を行った。



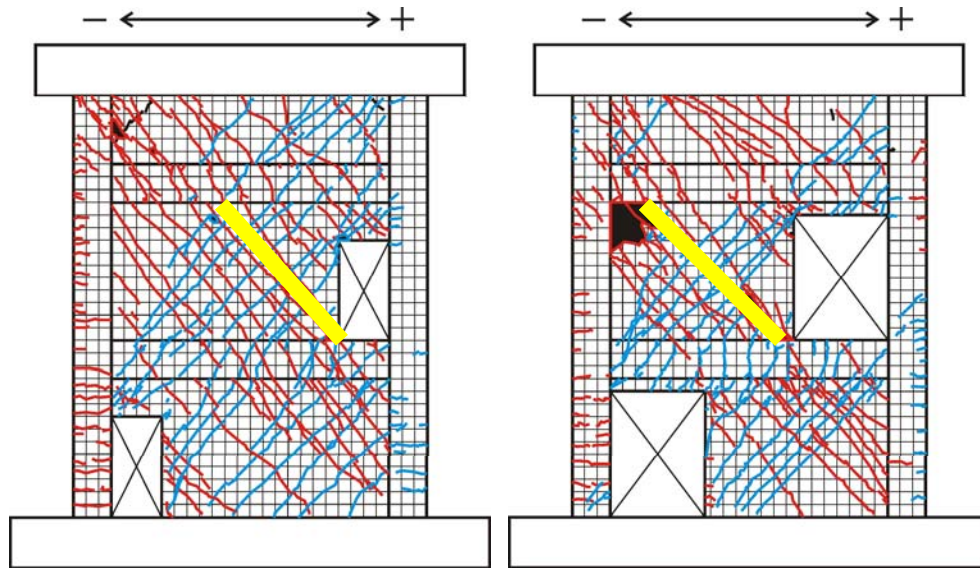
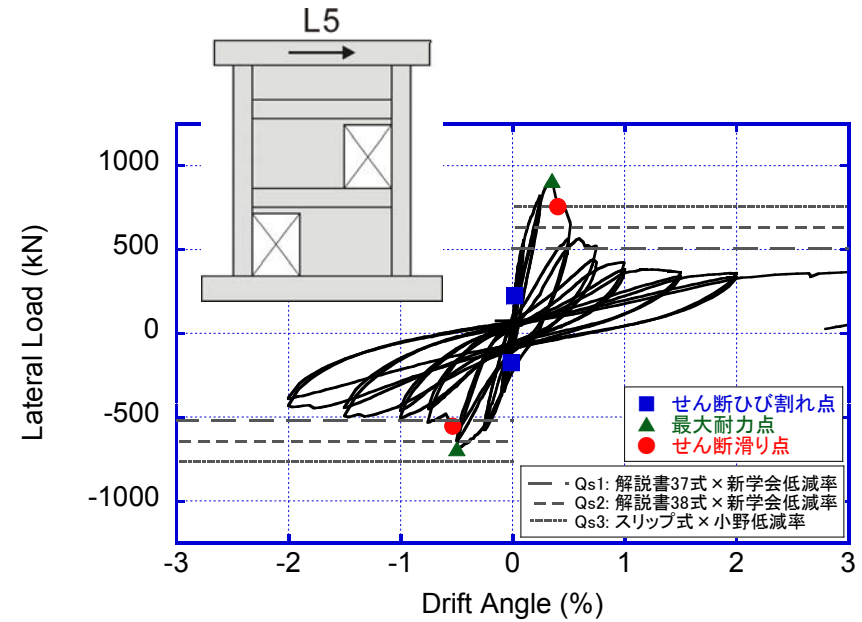
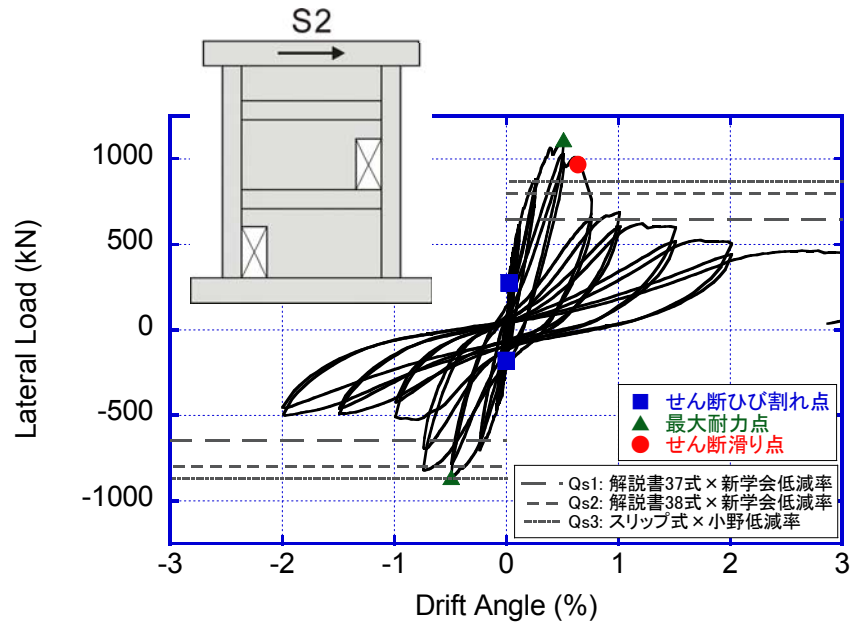
開口の大きさ
400mm × 800mm

開口周比による低減率
 $r_2=0.69$

開口の大きさ
750mm × 1000mm

開口周比による低減率
 $r_2=0.52$

実験結果(千鳥試験体)



最大耐力時ひび割れ分布

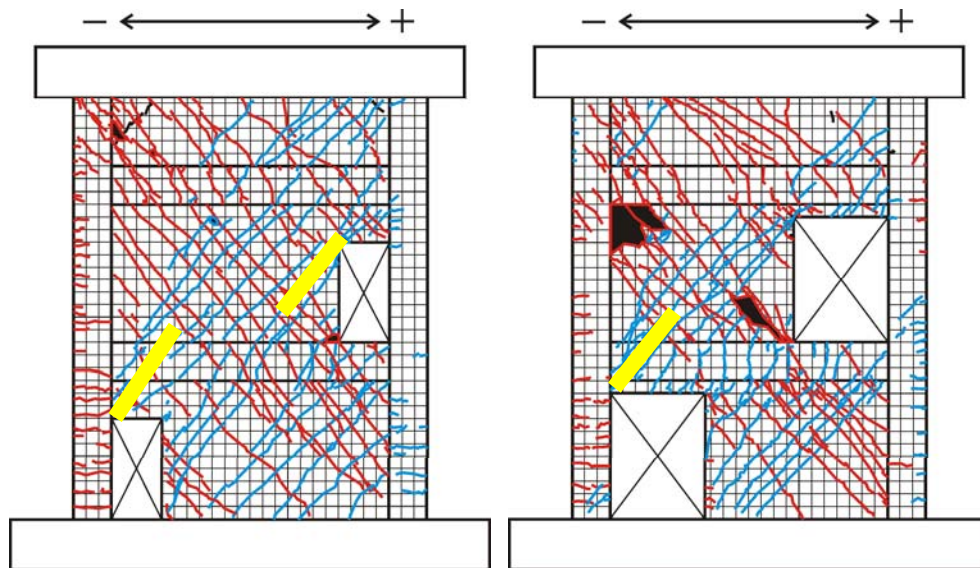
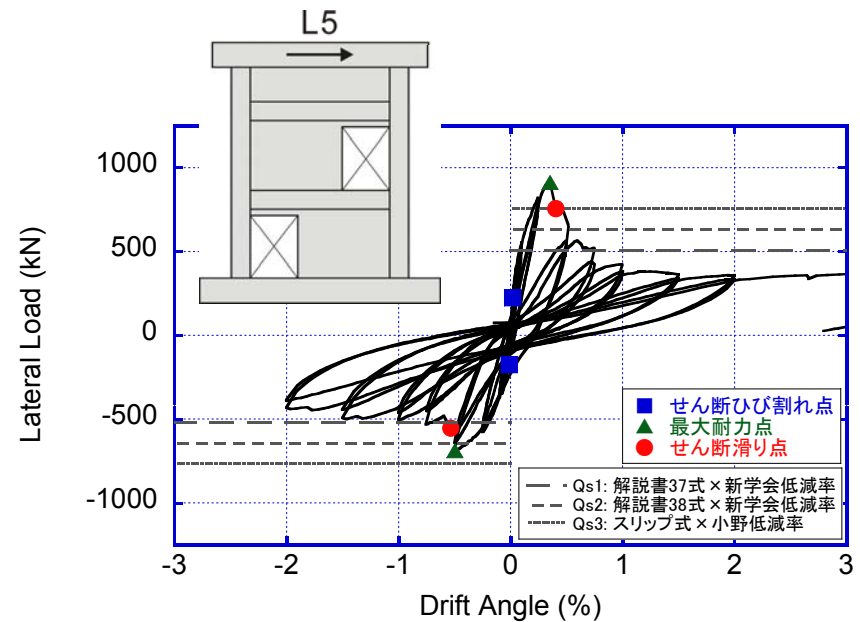
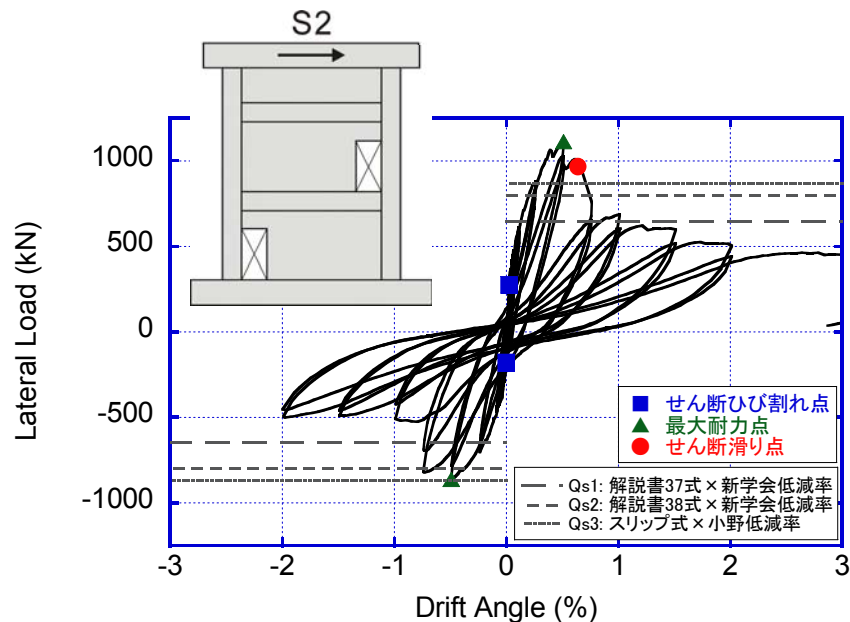
【荷重－変形関係】

- ・ 載荷方向による耐力差

【正方向(→)】

- ・ 最大耐力後, 2F壁板のせん断すべりにより, 急激に耐力が低下した。

実験結果(千鳥試験体)



最大耐力時ひび割れ分布

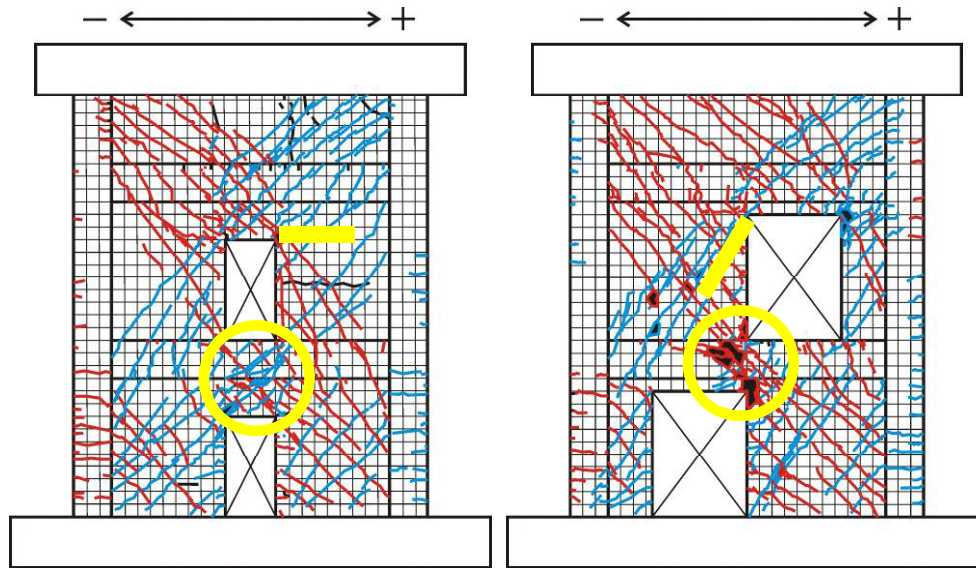
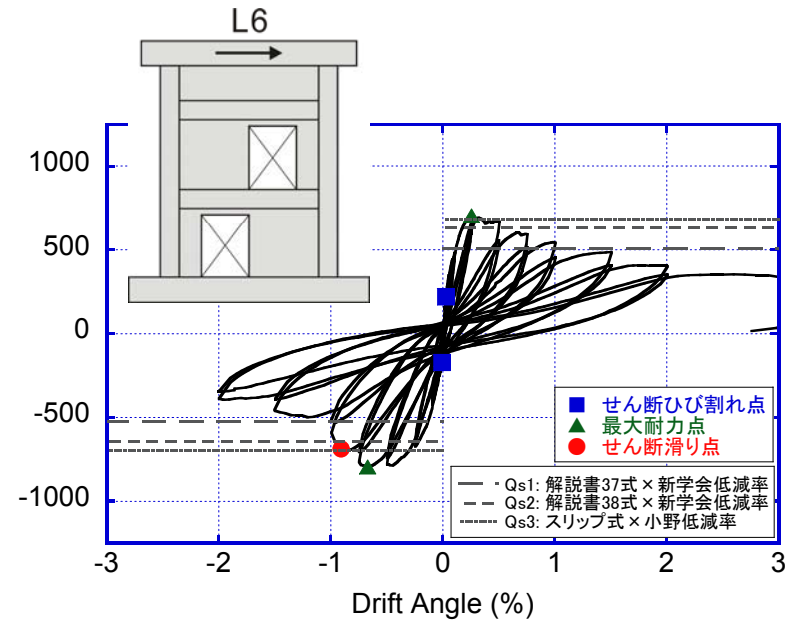
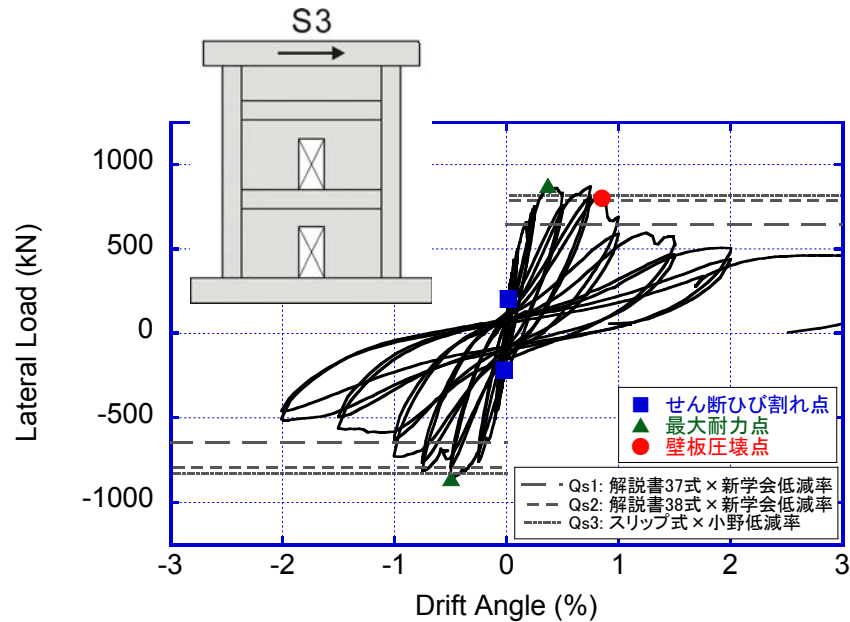
【荷重－変形関係】

- ・ 載荷方向による耐力差

【負方向(←)】

- ・ 開口周辺のひび割れでずれや、大きな開きが見られた。

実験結果（開口が中央よりの試験体）



最大耐力時ひび割れ分布

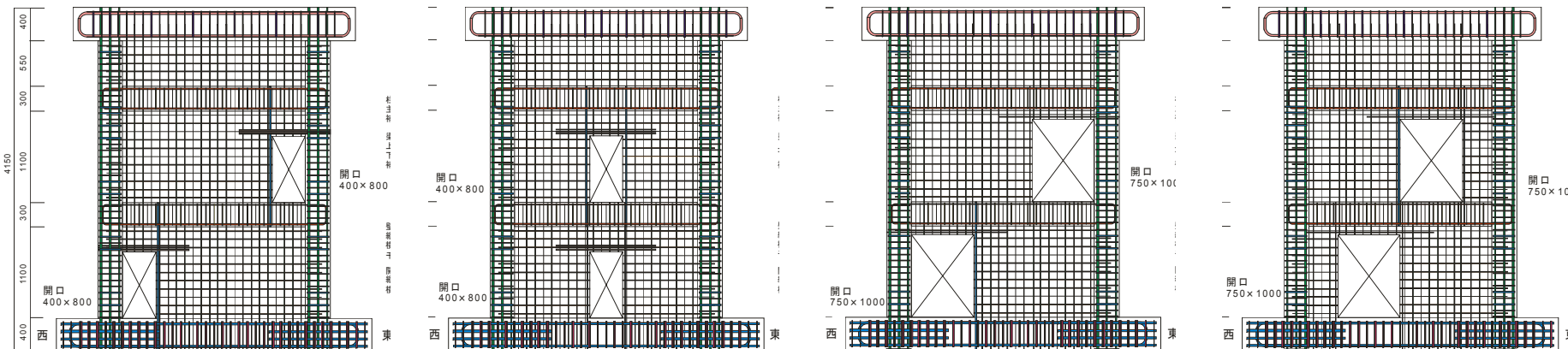
【荷重－変形関係】

- ・2F境界梁の挙動が試験体の挙動に影響

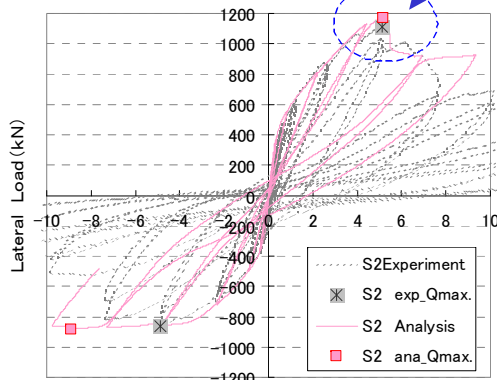
- ・L6試験体の正方向では、2F境界梁に変形が集中し、壁板のせん断滑りによる脆性的な破壊モードは見られなかった。

FEM解析結果(竹中工務店)

■ 水平荷重と全体変形角



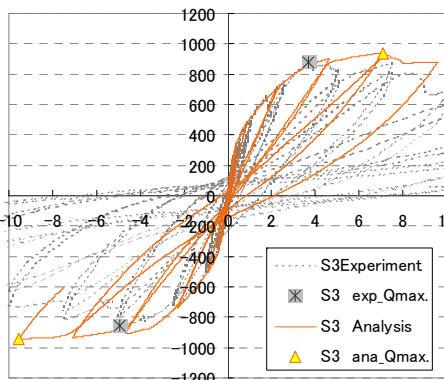
壁板のせん断ひび割れのずれによる急激な耐力低下



Drift Angle(1/1000rad.)

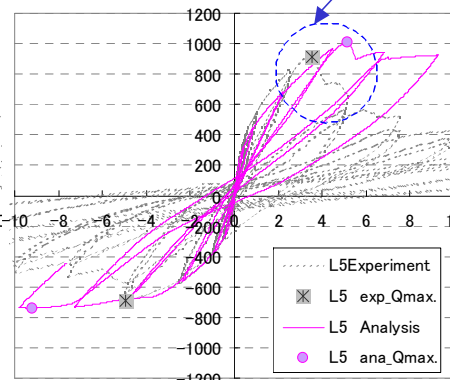
試験体S2

壁板のせん断ひび割れのずれによる急激な耐力低下(解析で若干遅い)



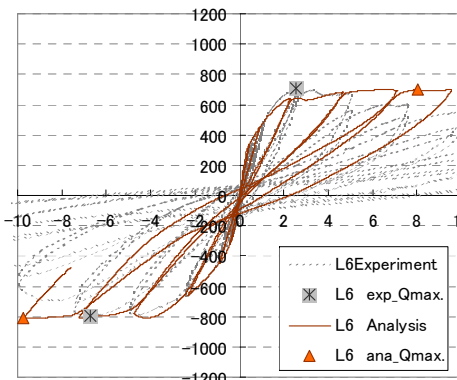
Drift Angle(1/1000rad.)

試験体S3



Drift Angle(1/1000rad.)

試験体L5

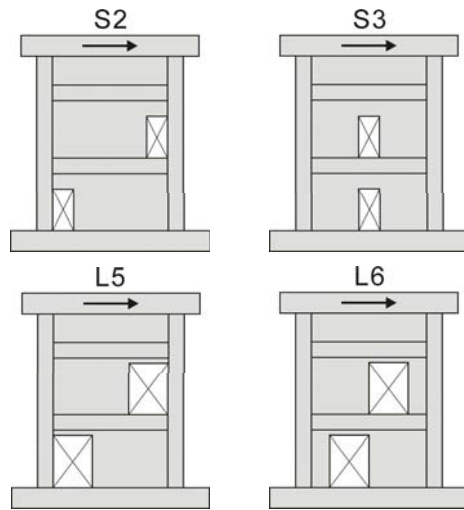


Drift Angle(1/1000rad.)

試験体L6

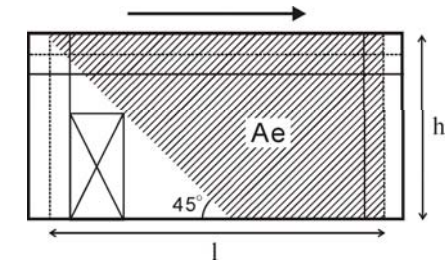
解析結果は実験結果を良く表している

有開口耐震壁のせん断耐力評価



	正方向			負方向		
	Q_{exp}/Q_{s1} 解説書37式 × 学会低減率	Q_{exp}/Q_{s2} 解説書38式 × 学会低減率	Q_{exp}/Q_{s3} スリップ式 × 小野低減率	Q_{exp}/Q_{s1} 解説書37式 × 学会低減率	Q_{exp}/Q_{s2} 解説書38式 × 学会低減率	Q_{exp}/Q_{s3} スリップ式 × 小野低減率
S2	1.72	1.40	1.28	1.33	1.08	0.99
S3	1.36	1.10	1.07	1.33	1.08	1.05
L5	1.77	1.43	1.21	1.34	1.08	0.91
L6	1.37	1.11	1.03	1.54	1.25	1.16
平均	1.56	1.26	1.15	1.39	1.12	1.03
標準偏差	0.19	0.18	0.12	0.11	0.08	0.11
N1	1.31	1.09	1.10	1.15	0.96	0.97

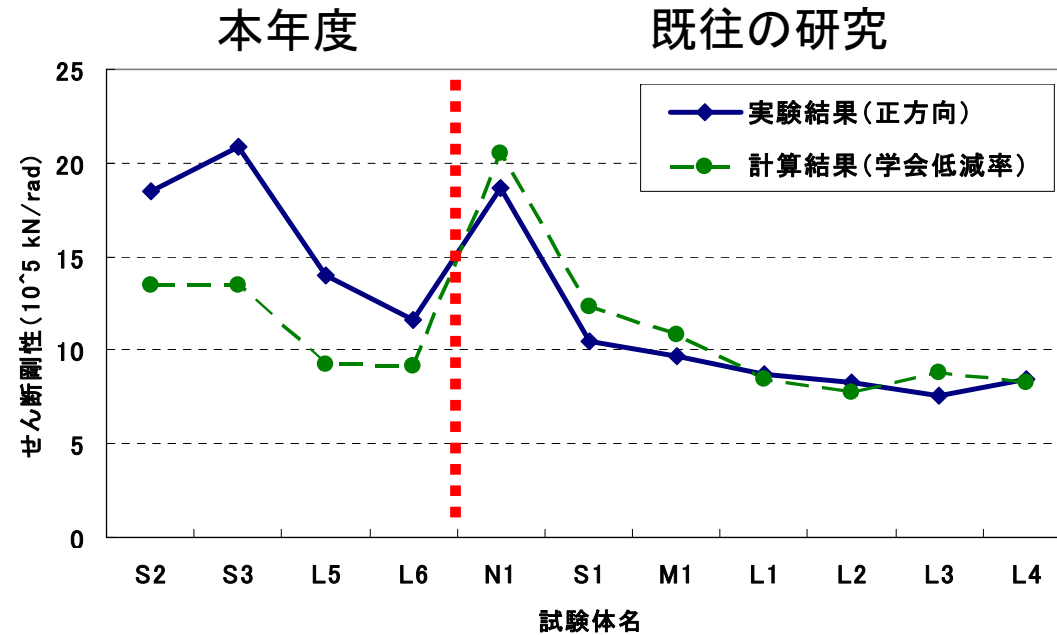
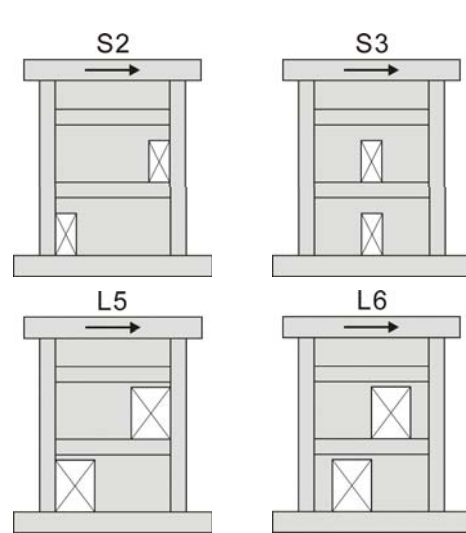
・「広沢式」と「学会低減率」を組み合わせる手法よりも、「スリップ式」と「小野低減率」を組み合わせる手法の方が、実験のせん断耐力を精度良く評価したが、載荷方向により解析精度にばらつきが見られた。



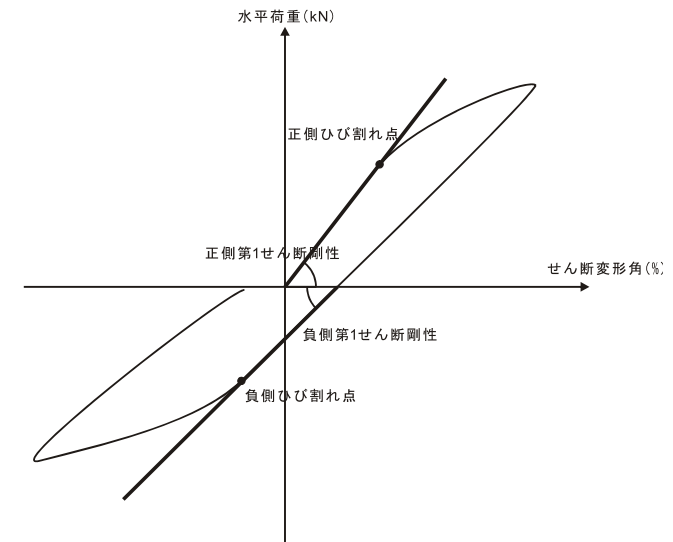
$$r_u = \sqrt{\sum A_e / hl}$$

小野低減率

有開口耐震壁のせん断剛性評価



本年度の4体の試験体に関しては、「無開口耐震壁のせん断剛性」に「学会低減率」を乗じて求めたせん断剛性の計算値を、実験のせん断剛性が上回ったが、過去の試験体と合わせて考えると、計算値と実験値の対応は良い。



まとめ

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い、せん断性状を検証した。また、開口低減率を用いた既往の設計式によるせん断耐力およびせん断剛性の評価を行い、その予測精度について確認した。

(せん断耐力)

「広沢式」と「学会低減率」を組み合わせる手法よりも、「スリップ式」と「小野低減率」を組み合わせる手法の方が、実験のせん断耐力を精度良く評価したが、載荷方向により解析精度にばらつきが見られた。

(せん断剛性)

「無開口耐震壁のせん断剛性」に「学会低減率」を乗じて求めたせん断剛性の計算値は、実験値を若干上回る傾向はあるものの、概ね実験値を評価できているといえる。

おわり