

平成29年度建築基準整備促進事業 報告会

S22. 高密配筋を行った鉄筋コンクリート造部材の 部材種別の評価に関する検討

国立大学法人 京都大学工学研究科建築学専攻
谷昌典, 西山峰広

学校法人 福山大学工学部建築学科
都祭弘幸

共同研究: 国立研究開発法人 建築研究所

調査の背景

➤ 日本建築学会「保有水平耐力計算規準(案)」

保有水平耐力計算における壁付き部材のFA部材の判定条件に関する提案

- 袖壁付き柱：
 - 判定指標の追加(袖壁厚さ比, 柱主筋量を考慮した軸力比)
 - 壁端部拘束筋による部材種別の格上げ
- 腰壁・垂れ壁付き梁：
 - 判定基準の追加(梁断面のアスペクト比, 引張鉄筋比, 壁厚比, 壁高さ比)

現在の保有水平耐力計算に及ぼす影響が大きいことから、基準に反映する際の適用条件等について検討が必要である

調査の背景

➤ 問題点・課題

- ✓ 学会規準では限られた実験結果から判定条件を提案

建築基準整備促進事業「高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造構造部材の強度、剛性及び変形能の評価方法に関する検討(平成24年度～25年度)」

- 袖壁付き柱部材204体, 腰壁・垂れ壁付き梁部材39体, 柱部材1333体, 梁部材497体
 - 柱, 梁部材に比べて壁付き部材の実験事例が**圧倒的に少ない**
- 十分な壁厚や配筋量を有する壁付き部材の実験事例は限定的
- 壁付き部材の実大部材実験は存在しない

- ✓ 実大部材では縮小試験体に比べて**変形性能が低下**する可能性

実大部材と縮小試験体との性能の差を検証
優れた構造詳細を有する壁付き部材の構造性能を把握

調査の概要

➤ (I) 学会規準の分析

- 部材種別の判定に支配的となるパラメータの抽出
- 実大および縮小試験体の実験変数の選定

➤ (II) 壁付き部材の実大試験体に対する静的繰返し載荷実験

- 実大試験体と縮小試験体を用いた載荷実験による変形性能の違いの検証
- 学会規準によりFA部材と判定される部材の変形性能の検証

➤ (III) 学会規準を用いた設計への影響度調査と課題抽出

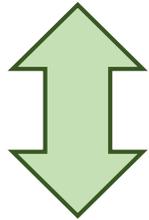
- 既往の実験データベースを用いた、本実験の袖壁付き柱および腰壁・垂れ壁付き梁の試験体の位置付けの検証
- 実建物を想定したモデルに対する静的増分解析および時刻歴応答解析による、水平二方向入力が隅柱の変動軸力に及ぼす影響の検討
(昨年度の継続検討課題)

研究体制

調査検討委員会

事業主体

京都大学
福山大学



共同研究

(国研)建築研究所

委員 和泉信之(千葉大学)
勅使川原正臣(名古屋大学)
北山和宏(首都大学東京)
石川裕次(芝浦工業大学)
鹿島孝(竹中工務店)
加藤大介(新潟大学)
田尻清太郎(東京大学)
福山洋(国土技術政策総合研究所)
諏訪田晴彦(国土技術政策総合研究所)
坂下雅信(国土技術政策総合研究所)
(敬称略)

1. 袖壁付き柱部材試験体に対する 静的繰返し載荷実験 (京都大)

試験体設計方針

保有水平耐力規準で袖壁付き柱部材のFA部材の条件を満足

	FA	FB	FC	FD
Q_{su}/Q_{mu}	1.25 以上	1.1 以上	1 以上	FA, FB または FC のいずれ にも該当しない 場合
h_0/D	2.5	2.0	—	
σ_0/F_c	0.35 以下	0.45 以下	0.55 以下	
$(p_g\sigma_y + \sigma_{0w})/F_c$	1/3 以下	1/2 以下	2/3 以下	
$t_w/\sqrt{A_c}$	4/10 以上	3/10 以上	2.5/10 以上	
τ_w/F_c	0.1 以下	0.125 以下	0.15 以下	

- 実大試験体の柱断面は、実験装置容量を勘案して600mm × 600mm
- 袖壁厚さは $t_w/\sqrt{A_c} \geq 0.4$ を満足
- 想定する内法スパン h_0 は実大試験体で2400mm, 反曲点高さ位置までを試験区間とする
- 各判定指標はFB以上, 壁端部拘束によりFA部材とすることを基本 (一部, 壁端部拘束による格上げを行わない)
- コンクリート目標強度は24N/mm²とする

試験体一覽

実験変数: 縮尺, 軸力比, 袖壁拘束範囲, せん断スパン比, 壁厚比, 載荷履歴

L15A04 (基準FB, 規準FA)

実大, 軸力比0.15,
全域拘束, スパン比1.17
壁厚比0.4, 繰返し載荷

S15A04S (基準FD, 規準FA)

縮小, 軸力比0.15,
全域拘束, スパン比0.89
壁厚比0.4, 繰返し載荷

S15A04M (基準FB, 規準FA)

縮小, 軸力比0.15,
全域拘束, スパン比1.17
壁厚比0.4, 単調載荷

✓ 試験体名ルール

例) S 15 A 04 S

縮尺 軸力比 配筋詳細 壁厚比 その他

S15A04 (基準FB, 規準FA)

縮小, 軸力比0.15,
全域拘束, スパン比1.17
壁厚比0.4, 繰返し載荷

S15B04 (基準FB, 規準FB)

縮小, 軸力比0.15,
端部拘束, スパン比1.17
壁厚比0.4, 繰返し載荷

S30A05 (基準FB, 規準FA)

縮小, 軸力比0.3,
全域拘束, スパン比1.17
壁厚比0.5, 繰返し載荷

S30A04 (基準FB, 規準FA)

縮小, 軸力比0.3,
全域拘束, スパン比1.17
壁厚比0.4, 繰返し載荷

S30B04 (基準FB, 規準FB)

縮小, 軸力比0.3,
端部拘束, スパン比1.17
壁厚比0.4, 繰返し載荷

縮尺

せん断
スパン比

載荷履歴

拘束

軸力

軸力

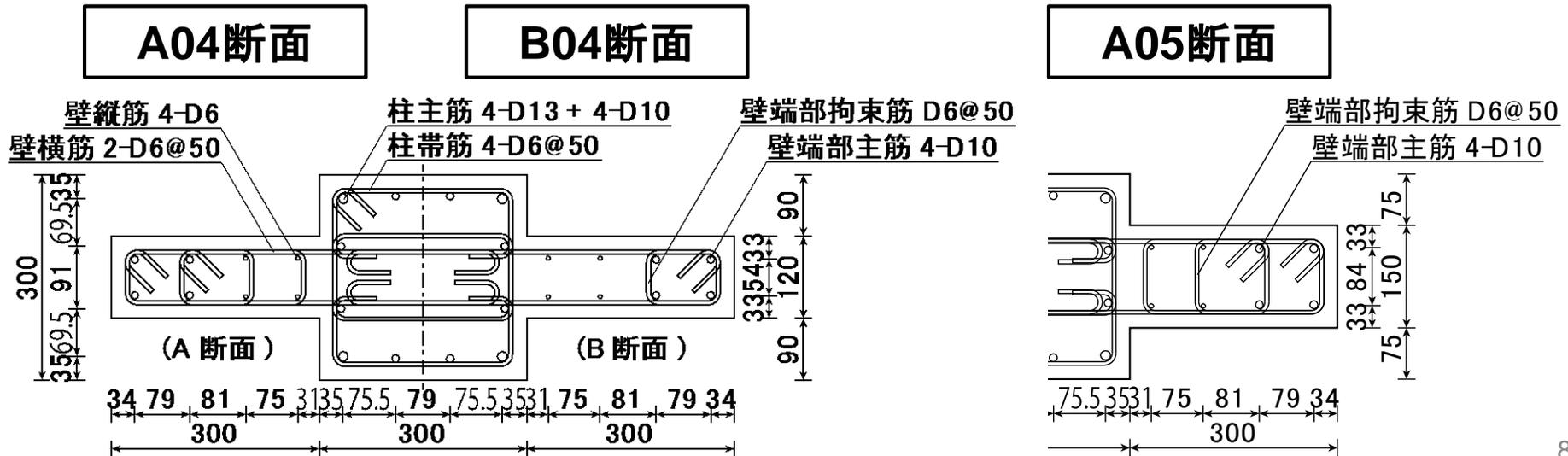
壁厚比

拘束

試験体詳細

試験体名		L15A04	S15A04	S30A04	S15B04	S30B04	S15A04S	S30A05	S15A04M
壁横筋比*1 (%, 面積比)	面外	1.06 (0.84)			1.29 (0.86)		1.06 (0.84)		
	面内	2.11 (1.06)			2.11 (1.06)		2.11 (1.06)	1.69 (0.84)	2.11 (1.06)
コンクリート目標強度 F_c (N/mm ²)		24							
せん断スパン (mm)		2100	1050			800	1050		
軸力比 ($N/(bDF'_c)$)		0.15			0.30	0.15	0.30	0.15	0.30
せん断余裕度 (設計時, 解説書)		1.37			1.32	1.37	1.32	1.13	1.26
拘束領域深さ*2 (mm)		600	300			147		300	
必要拘束領域深さ (mm)		481	241	288	241	288	241	263	241
部材種別 (設計時)	技術基準解説書	FB	FB	FB	FB	FB	FD	FB	FB
	保有水平耐力規準	FB→FA	FB→FA	FB→FA	FB	FB	FB→FA	FB→FA	FB→FA
コンクリート強度 f'_c (N/mm ²)		30.8	29.9	28.2	25.2	27.5	27.5	28.5	21.6

*1 括弧無は閉鎖型拘束筋+壁横筋 (面内: $n_{wh}a_{wh}/(t_w s_{wh}) + n_{bh}a_{bh}/(t_w s_{bh})$, 面外: $n_{wh}a_{wh}/(D_c s_{wh}) + n_{bh}a_{bh}/(D_c s_{bh})$, ここで, n_{wh} : 壁横筋の足の本数 (面内2, 面外1), n_{bh} : 拘束筋の足の本数 (面内2 (閉鎖型小は考慮していない), 面外2または4), a_{wh} , a_{bh} : 壁横筋および拘束筋1本の断面積, t_w : 袖壁厚さ, s_{wh} , s_{bh} : 壁横筋および拘束筋間隔, D_c : 拘束領域深さ), 括弧ありは閉鎖型拘束筋のみ, *2 拘束領域の両側に被り厚さを含めた値



試験体詳細

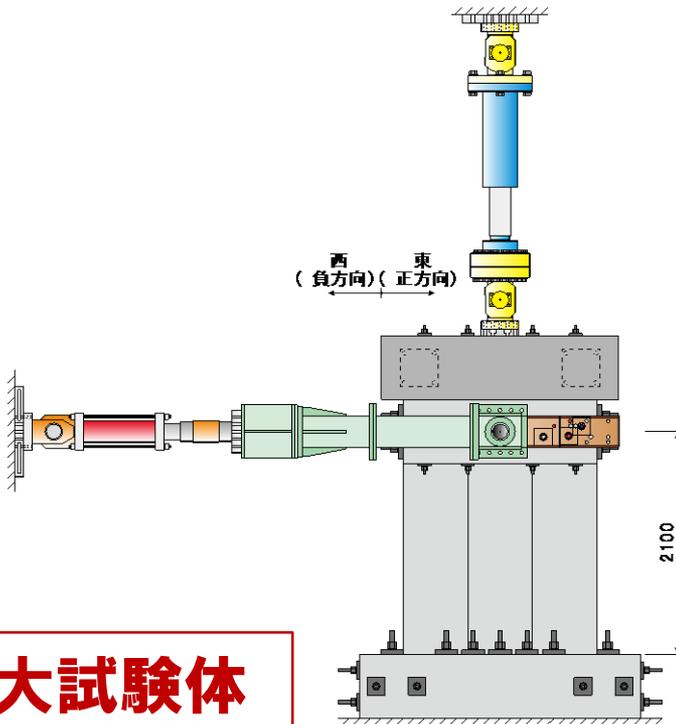
- 縮小試験体S15A04の試験区間の寸法，鉄筋径および帯筋間隔が実大試験体L15A04の**50%**となるように設定
- コンクリート調合（最大骨材粒径15mm）は共通とした



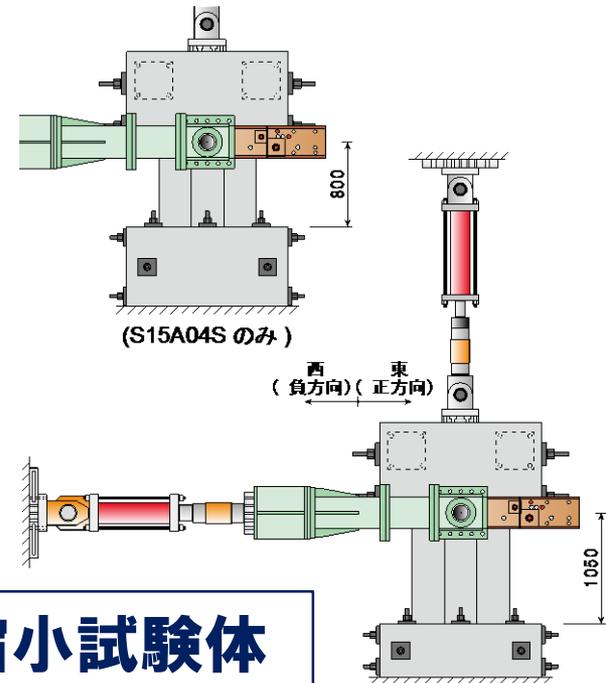
使用部位	実大	縮小
柱主筋(四隅)	D25	D13
柱主筋(中段) 壁端部主筋	D19	D10
柱帯筋 壁縦横筋 壁端部拘束筋	D13	D6

載荷概要

- 所定の軸力を保持しながら，片持ち形式で水平力を載荷
- S15A04M以外：部材角 R 制御による静的繰返し漸増振幅載荷
 $R=1/1600\text{rad}$ (1回)， $1/800\text{rad}$ ， $1/400\text{rad}$ ， $1/200\text{rad}$ ， $1/133\text{rad}$ ， $1/100\text{rad}$ ， $1/67\text{rad}$ ， $1/50\text{rad}$ ， $1/33\text{rad}$ ， $1/25\text{rad}$ ， $1/20\text{rad}$ (各2回)
- S15A04M：一方向単調押切載荷



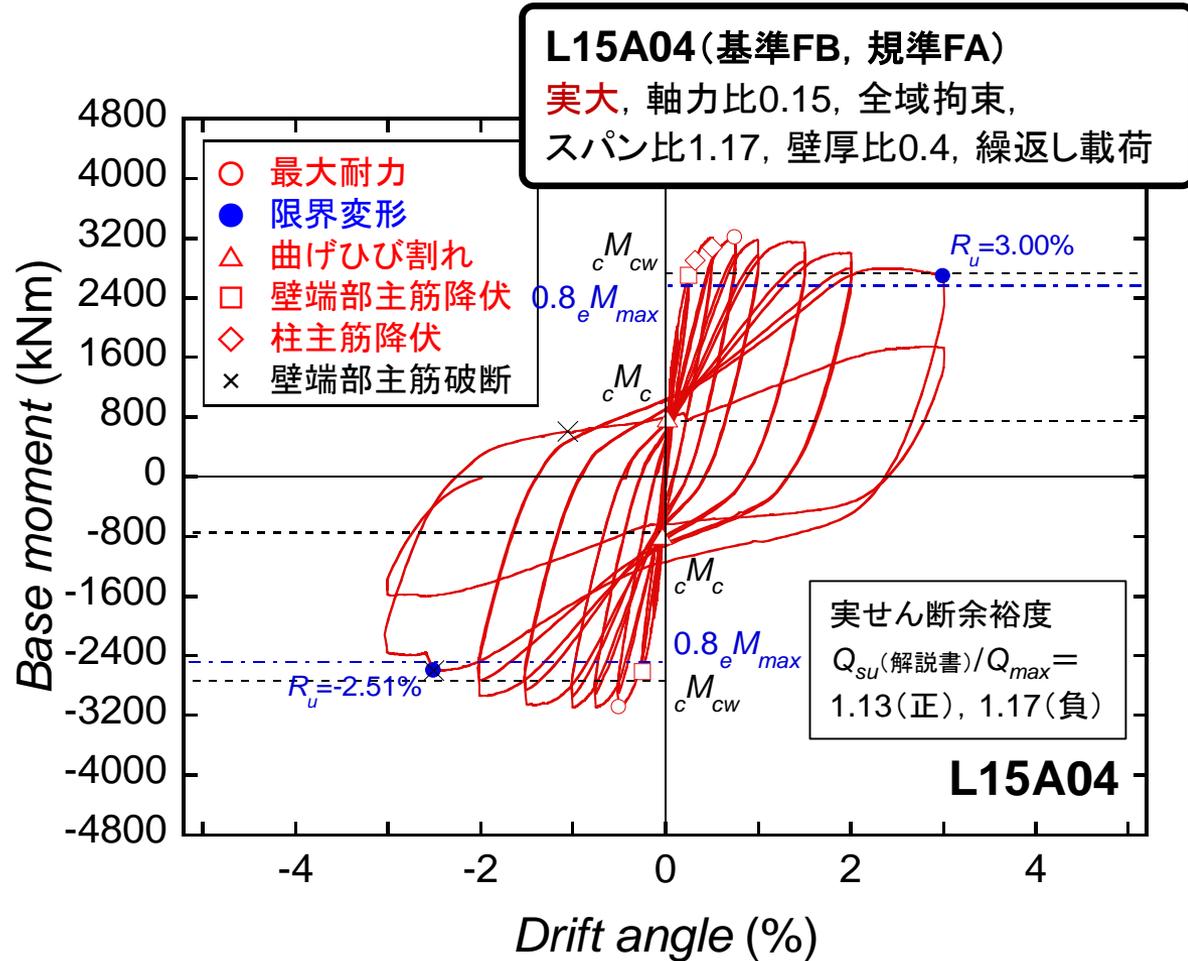
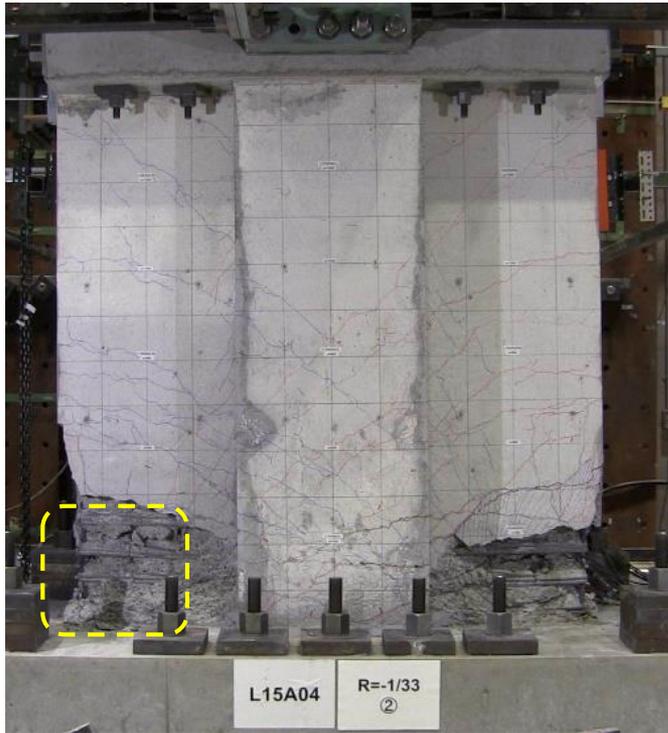
実大試験体



縮小試験体

脚部モーメント-部材角関係(L15A04)

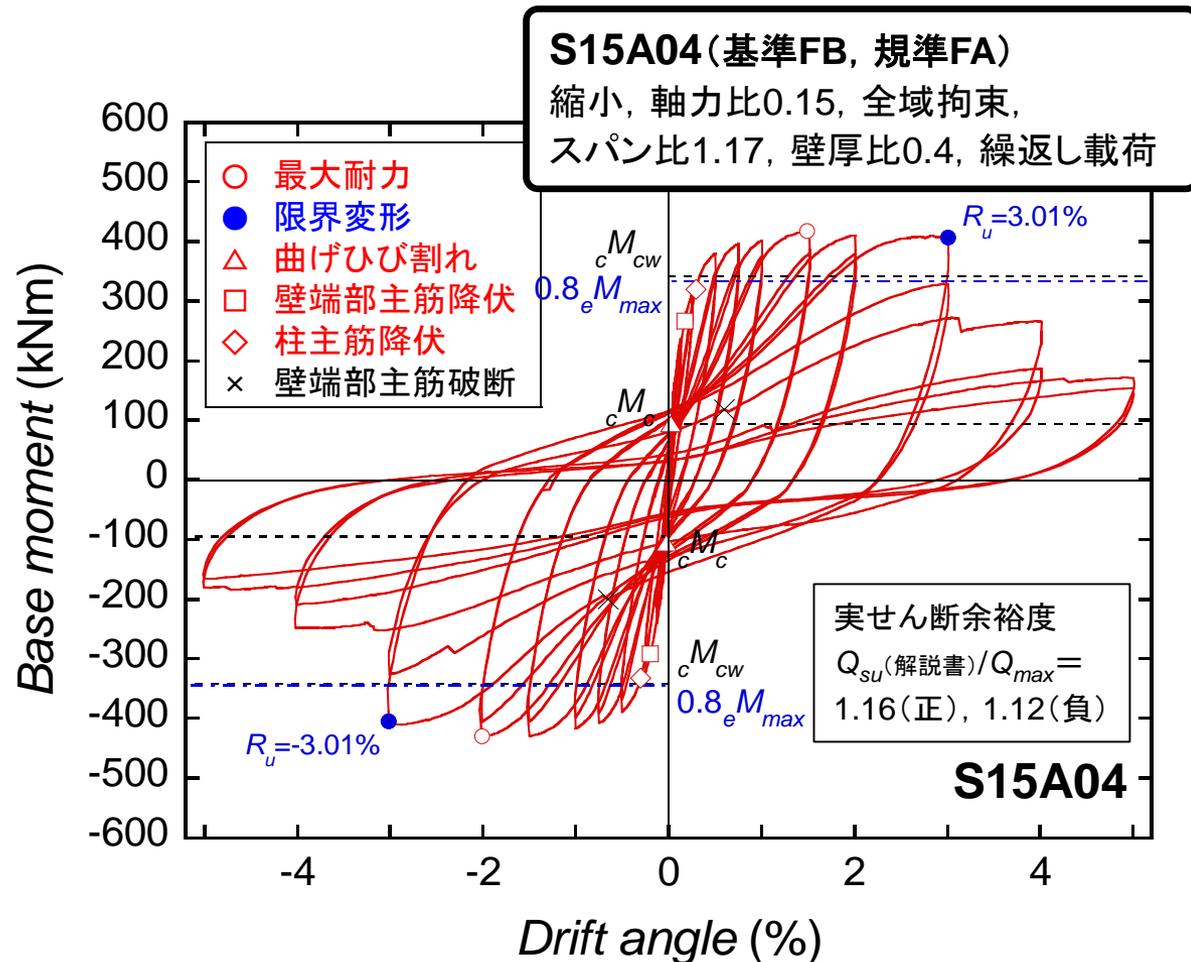
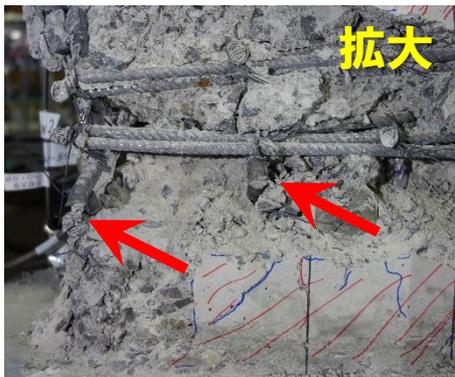
➤ $R = \pm 1/33 \text{ rad}$ 終了時



- 袖壁端部コンクリート圧壊を伴って最大耐力に到達
- $R = -1/33 \text{ rad}$ サイクル1回目以降, 袖壁縦方向筋が破断し, 拘束領域を含む袖壁脚部のコンクリート圧壊が急激に進行して耐力が著しく低下

脚部モーメント-変位角関係(S15A04)

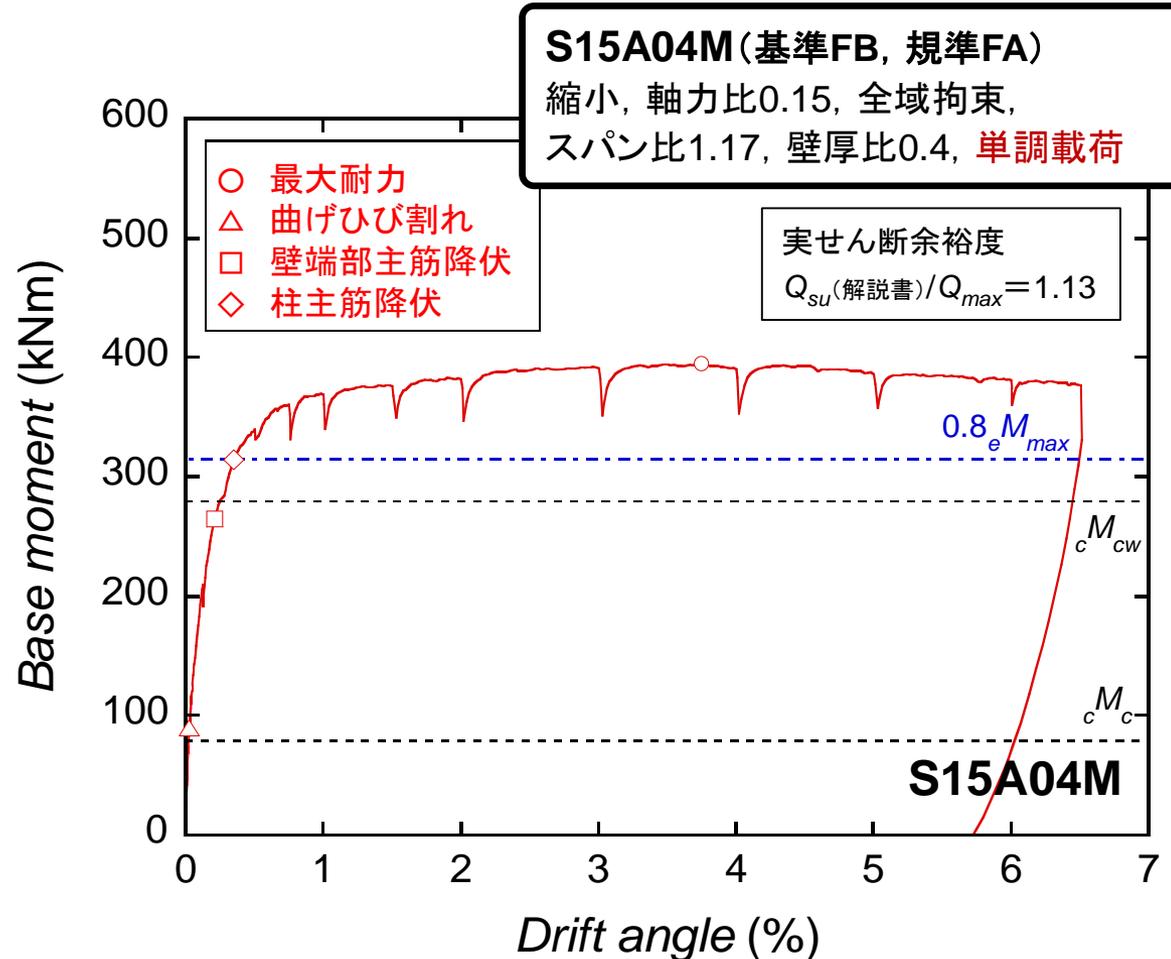
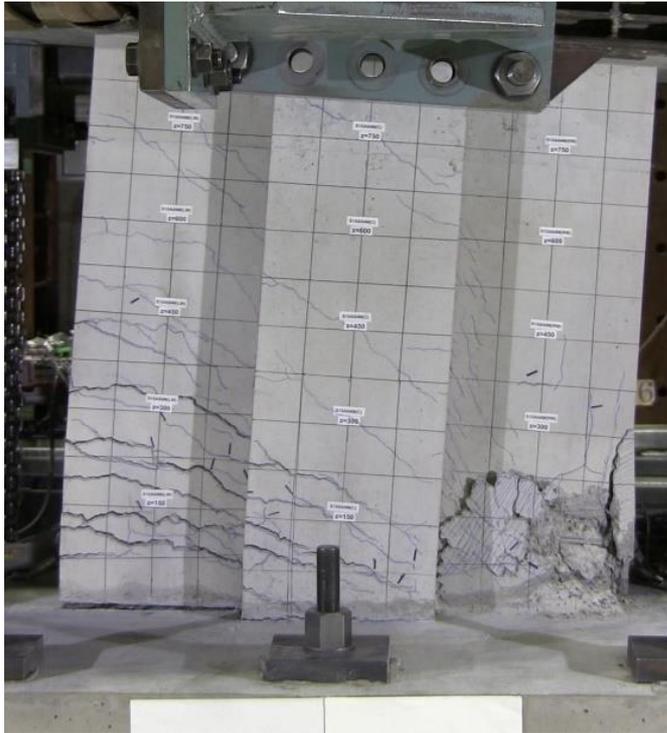
➤ $R = \pm 1/20 \text{ rad}$ 終了時



- 袖壁端部コンクリート圧壊を伴って最大耐力に到達
- $R = -1/33 \text{ rad}$ サイクル1回目以降, 袖壁縦方向筋が破断し, 拘束領域を含む袖壁脚部のコンクリート圧壊が急激に進行して耐力が著しく低下

脚部モーメント—部材角関係(S15A04M)

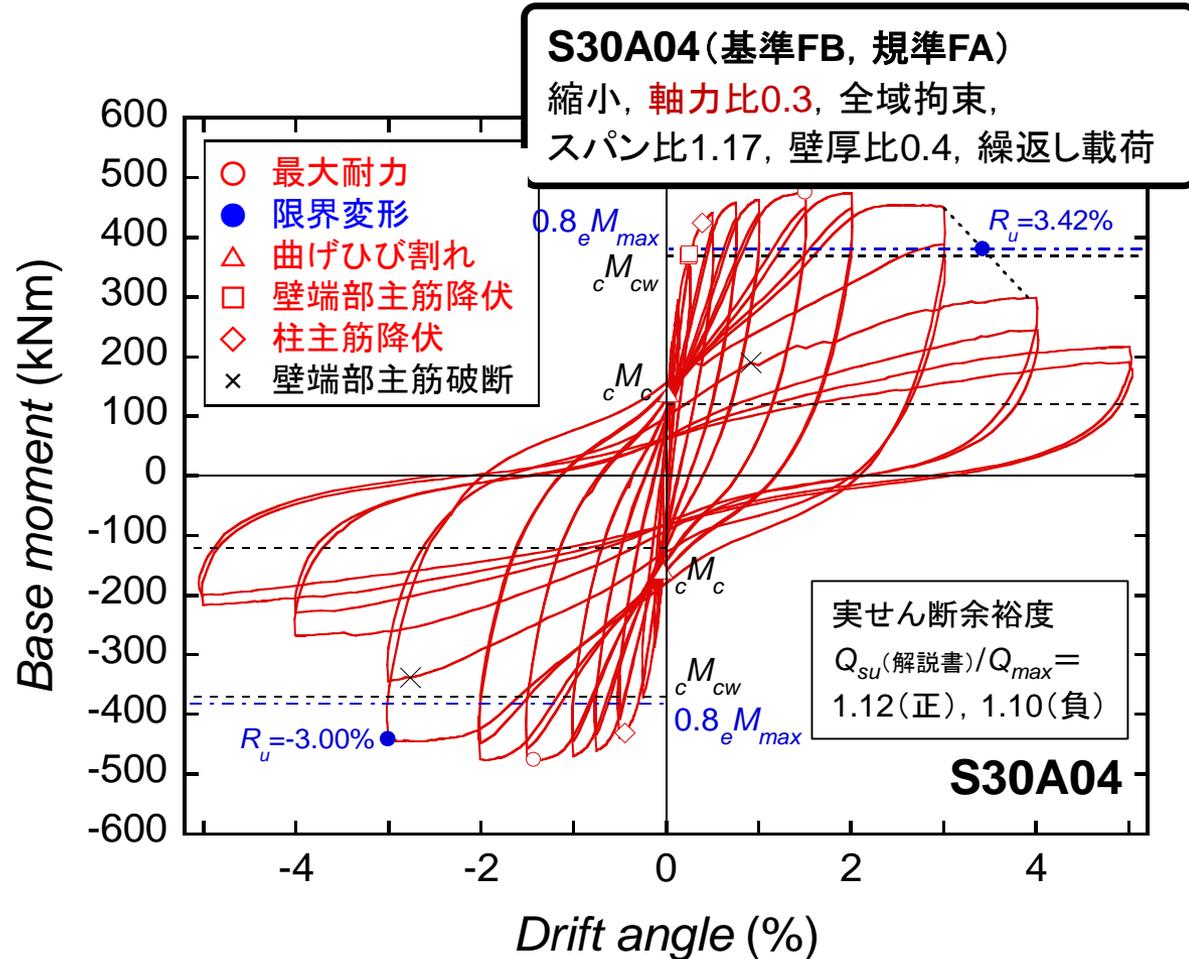
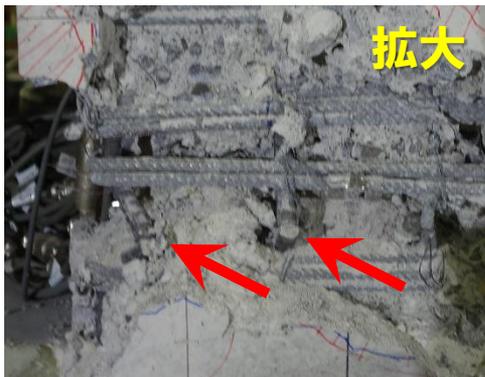
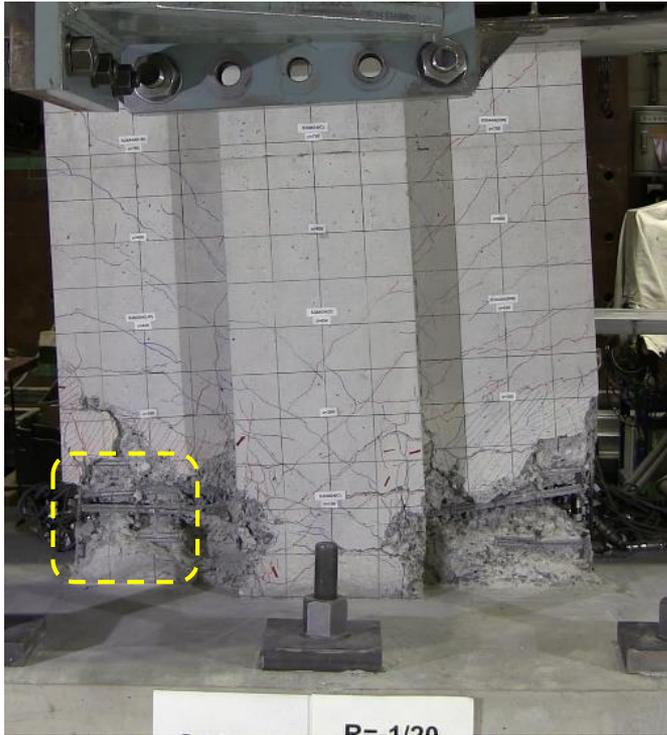
➤ $R=+1/15$ rad時



- 袖壁端部主筋は座屈するも, $R=+1/15$ rad付近まで袖壁端部主筋および袖壁縦筋の破断や顕著な耐力低下は発生せず
- 他の試験体のように袖壁脚部のコンクリートが消失する性状はみられず

脚部モーメント-部材角関係(S30A04)

➤ $R=\pm 1/20\text{rad}$ 終了時



- 袖壁端部コンクリート圧壊を伴って最大耐力に到達
- $R=-1/33\text{rad}$ サイクル2回目以降, 袖壁縦方向筋が破断し, 拘束領域を含む袖壁脚部のコンクリート圧壊が急激に進行して耐力が著しく低下

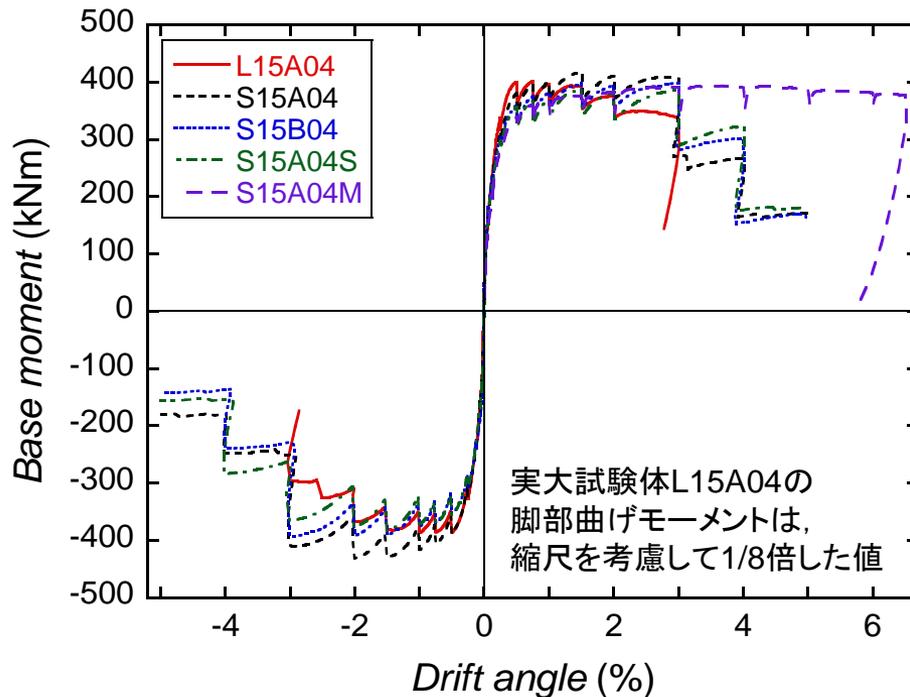
最大耐力

- 実大試験体L15A04の(実験値)／(計算値)は正負平均1.15,
縮小試験体S15A04の1.24に比べて小さい → 寸法効果の影響あり
- 単調押切載荷S15A04Mの(実験値)／(計算値)は1.41,
他の試験体に比べて1割程度大きい → 載荷履歴の影響あり

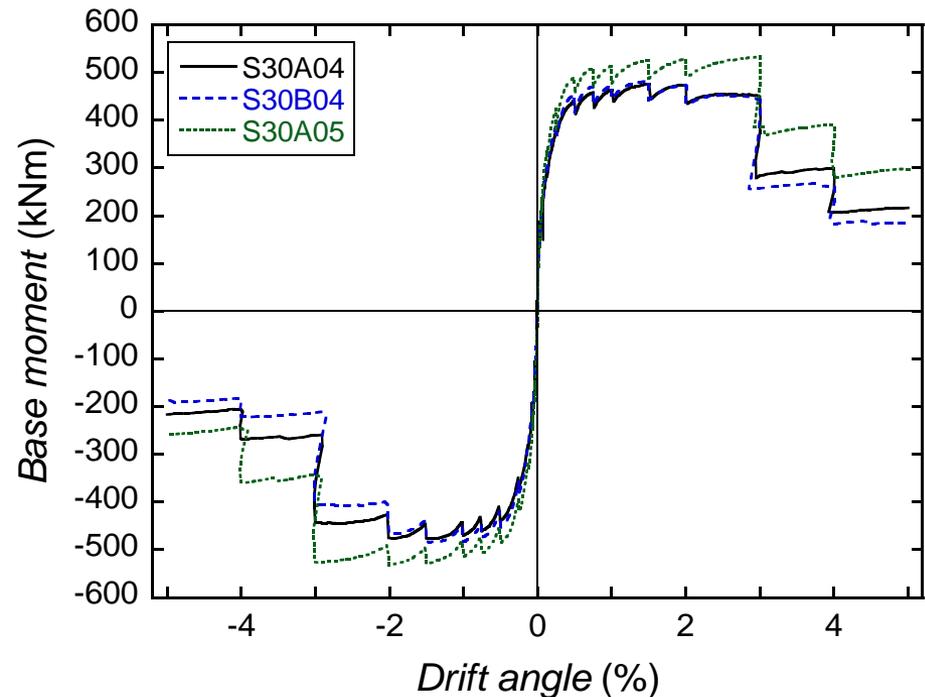
試験体名	最大曲げモーメント (kNm)		曲げ終局耐力(技術基準解説書式)		
	正	負	計算値 (kNm)	(実験値)／(計算値)	
				正	負
L15A04	3210.7	-3091.8	2738.7	1.17	1.13
S15A04	417.2	-430.8	342.4	1.22	1.26
S30A04	475.1	-476.4	369.4	1.29	1.29
S15B04	399.3	-392.7	302.8	1.32	1.30
S30B04	481.9	-484.0	363.1	1.33	1.33
S15A04S	389.9	-383.7	317.6	1.23	1.21
S30A05	533.3	-532.2	411.2	1.30	1.29
S15A04M	394.2		279.4	1.41	

包絡線(脚部モーメント-変形角関係)

✓ 軸力比0.15



✓ 軸力比0.3



- 実大L15A04は縮小S15A04に比べて、かぶり剥落の進展が早く、縮小試験体に比べて壁端部主筋の座屈後破断が早期に発生し、早期に耐力低下
→ 寸法効果が履歴性状に影響
- 単調載荷S15A04Mでは袖壁内の縦方向筋の破断が発生せず、 $R=6.5\%$ までほとんど耐力低下せず → 載荷履歴が破壊性状に影響

限界変形角 R_u

- 最大耐力点以降で、最大耐力の80%を下回る直前の変形角
→ いずれの試験体も学会規準に示されるFA部材の目安2.0%を上回った

試験体名	実験値(%)		計算値(%)
	正	負	
L15A04	3.00	-2.51	3.82
S15A04	3.01	-3.01	3.68
S30A04	3.42	-3.00	2.70
S15B04	3.81	-3.49	3.46 (1.73)
S30B04	3.01	-3.01	2.70 (1.35)
S15A04S	4.01	-3.70	3.63
S30A05	3.71	-3.56	3.90
S15A04M	> 6.51		3.12

保有水平耐力規準略算式：

$$R_u = c \times 2 \times \frac{(t_w)^2}{A_c} \times \varepsilon_{cu} \times \frac{1}{\rho_g + \eta_0}$$

ε_{cu} : コンクリート圧縮限界ひずみ
(=0.006)



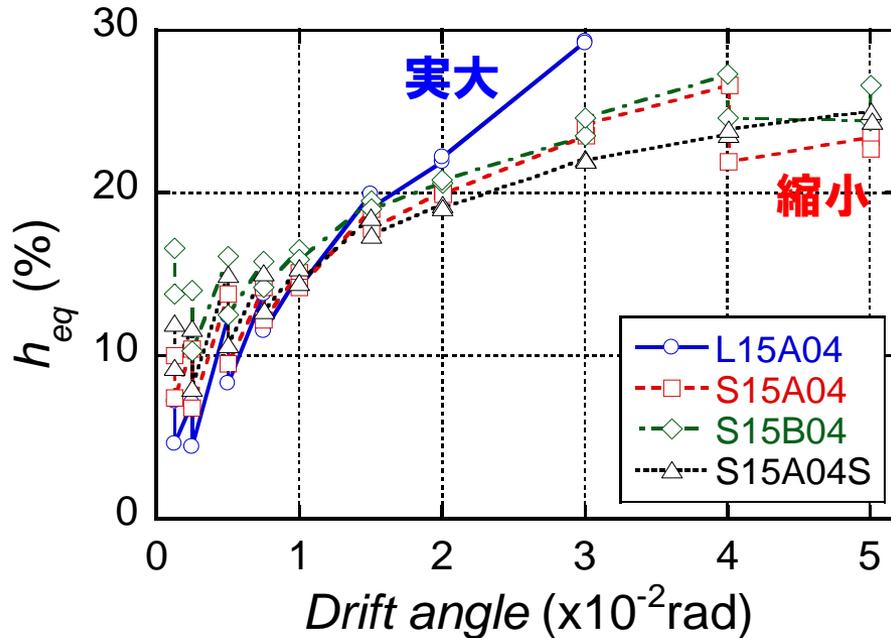
コンクリートの圧縮靱性を
考慮して変形性能を評価

()内は $\varepsilon_{cu} = 0.003$ とした場合

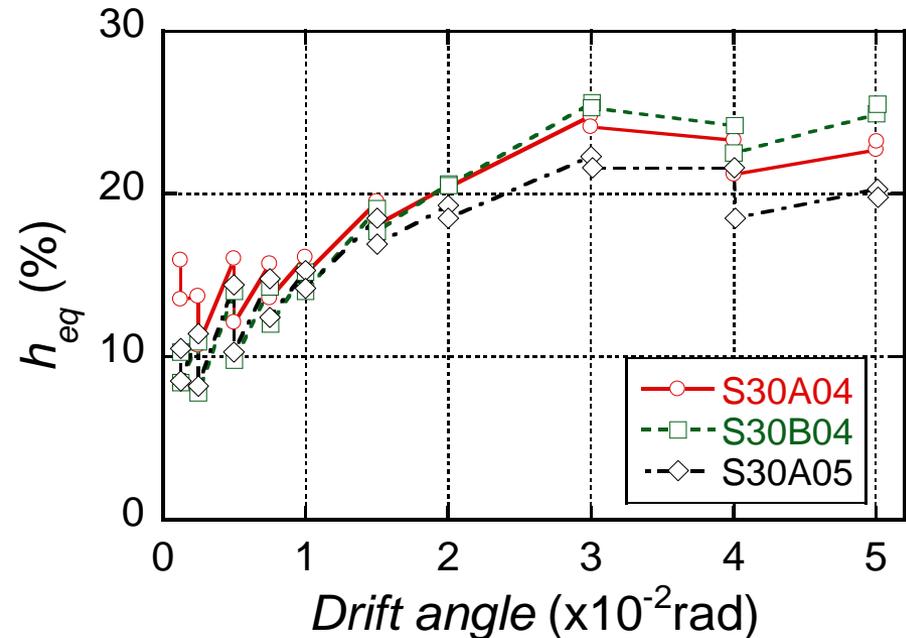
- R_u 計算値は軸力比に応じて大きく異なるのに対し、繰返し载荷を受ける試験体の R_u 実験値は概ね3~4%で計算値ほど大差なし
→ **壁端部主筋の座屈後破断**を適切に考慮できる判定指標が必要
- せん断余裕度が小さいS15A04Sの R_u 実験値が繰返し試験体の中では最大
→ 曲げ変形の割合が小さく、壁端部主筋の破断が遅れた影響

等価粘性減衰定数 h_{eq}

✓ 軸力比0.15



✓ 軸力比0.3



- 耐力が大幅に低下した载荷サイクルまでは、概ね単調に増加する傾向
- $R=\pm 1/100$ radサイクルでは $h_{eq} \doteq 15\%$, $R=\pm 1/50$ radサイクルでは $h_{eq} \doteq 20\%$ でほぼ同程度
- 実験変数間の顕著な差は確認できず

袖壁付き柱実験まとめ

保有水平耐力規準によりFAおよびFB部材と判定される実大試験体1体および縮小試験体7体に対する載荷実験を行い、得られた知見を以下に示す

破壊性状

- 繰返し載荷試験体：袖壁端部コンクリート圧壊を伴って最大耐力を示し、その後、 $R=\pm 1/33\text{rad}$ および $\pm 1/25\text{rad}$ サイクルで袖壁縦方向筋の座屈後破断および壁端部拘束域のコンクリート圧壊が顕著となり大幅に耐力低下した
- 単調載荷試験体：引張側の壁端部主筋は破断せず、壁端部拘束域のコンクリート圧壊も軽微で、 $R=+1/15\text{rad}$ 付近まで顕著な耐力低下はみられず

最大曲げモーメント

- (実験値) / (技術基準解説書式による計算値)
繰返し載荷縮小試験体：正負平均1.22～1.33, 単調載荷縮小試験体：1.41,
実大試験体：正負平均1.15 → 縮尺, 載荷履歴による影響あり

限界変形角 R_u

- 全試験体で、保有耐力規準に示されるFA部材の変形性能の目安2.0%を上回った
- 実大試験体では、かぶり剥落の進展が早く、縮小試験体に比べて壁端部主筋の座屈後破断が早期に発生し、限界変形角も若干小さくなった
- コンクリート圧縮靱性に基づく変形性能評価では適切に評価できず
→ 壁端部主筋破断を適切に評価できる判定指標について更なる検討が必要

2. 腰壁・垂れ壁梁部材試験体に対する 静的繰返し載荷実験 (福山大)

腰壁・垂れ壁付き梁部材の静的繰返し载荷実験

保有水平耐力規準の部材種別判定

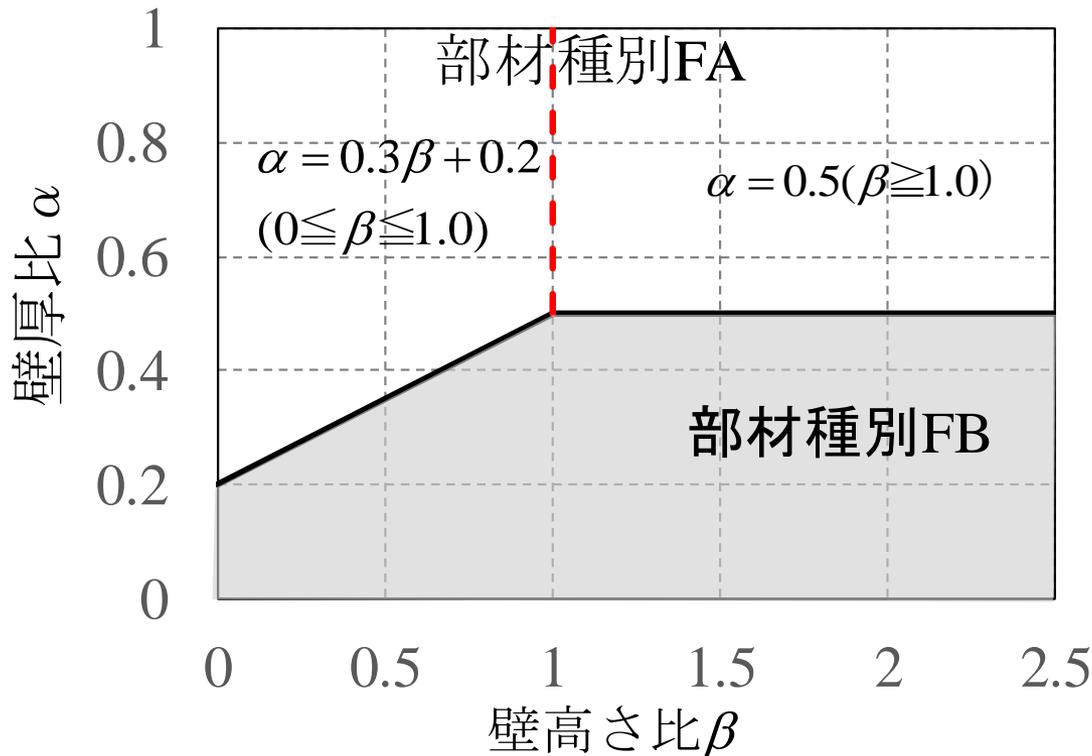
条件	破壊の形式	τ_u/F_c の数値	B_b/D_b の数値	p_t の数値	α, β の数値	種別
	せん断破壊, 付着割裂破壊および圧縮破壊その他の構造耐力上支障のある急激な耐力の低下のおそれのある破壊が生じないこと	$\tau_u/F_c \leq 0.15$	$B_b/D_b \geq 2/3$	$p_t \leq 0.8\%$	$\begin{cases} \alpha \geq 0.3\beta + 0.2 (\beta \leq 1.0) \\ \alpha \geq 0.5 \quad (\beta \geq 1.0) \end{cases}$	FA
		$\tau_u/F_c \leq 0.2$	—	—	—	FB
		$\tau_u/F_c > 0.2$	—	—	—	FC
		FA, FBまたはFCいずれにも該当しない場合				

基本的に腰壁・垂れ壁付き梁部材は部材種別FBとしている

ただし, 建物が全体崩壊形で, 上記4つの条件を満たす場合, 部材種別FA (限界変形角 $R=25 \times 10^{-3}$ rad.以上) とすることができる。

壁厚比 α と壁高さ比 β の関係

α , β の判定方法は解析的な検討から設定されたものであり
実験研究で検証されたものではない。



壁厚比 $\alpha = t_w / B_b$

壁高さ比 $\beta = D_w / D_b$

t_w : 腰壁と垂れ壁の厚さのうち、小さい方の数値(mm)

B_b : 梁幅(mm)

D_w : 腰壁と垂れ壁の高さの平均値(mm)

D_b : 梁せい(mm)

試験体一覧

試験体サイズ	実大試験体	縮小試験体		
試験体名	F-B07T07C	R-B07T07W	R-B15T07C	R-B15T15C
梁幅×梁せい (mm)	480×700	240×350		
梁主筋(SD345)	3-D32	3-D16	2-D16	
引張鉄筋比 (%)	0.790	0.792	0.528	
あばら筋(SD295)	2-D13@200	2-D6@100		
あばら筋比 (%)	0.265	0.27		
壁幅×壁高さ (mm)	240×500	120×250	120×525	
壁横筋(SD295) (mm)	2-D13@150	2-D6@75		
壁横筋比 (mm)	0.706	0.711		
壁縦筋(SD295) (mm)	2-D13@200	2-D6@100		
壁縦筋比 (mm)	0.529	0.533		
壁端部筋(SD345) (mm)	4-D19	4-D10		
壁厚比 α	0.5			
壁高さ比 β	0.71		1.50	
設計基準強度 F_c (N/mm ²)	24	24	48	24
部材スパン (mm)	6300	3150		
せん断スパン比 (mm)	1.85		1.13	

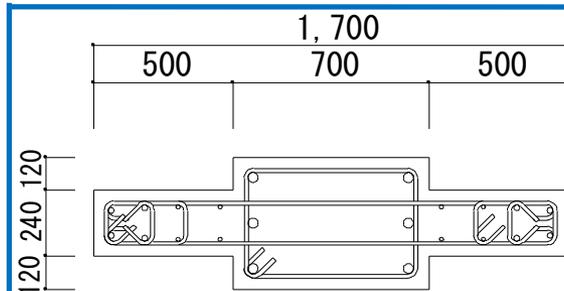
試験体相関図

寸法効果

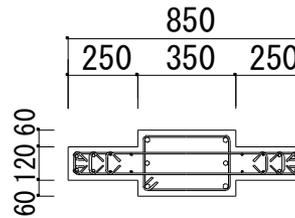
$\alpha=0.5$
 $\beta=0.7$

壁高さ比 β の違い

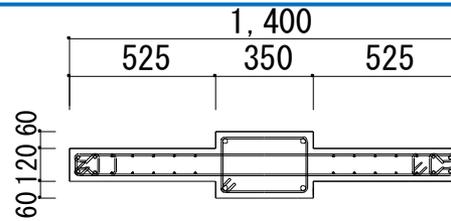
$\alpha=0.5$
 $\beta=1.5$



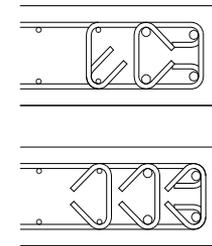
F-B07T07C
 $F_c=24\text{N/mm}^2$
 $\tau_u/F_c=0.07$



R-B07T07W
 $F_c=24\text{N/mm}^2$



R-B15T07C
 $F_c=48\text{N/mm}^2$

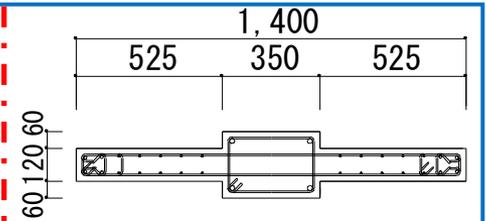


F-B07T07C
R-B15T07C
R-B15T15C
R-B07T07W

壁端部拘束

試験体名称

- F: 実大, R: 縮小
- B: β (壁高さ比)
- T: τ_u/F_c (せん断応力度レベル)
- C: 拘束大(日型拘束筋)
- W: 拘束小(幅止め筋のみ)

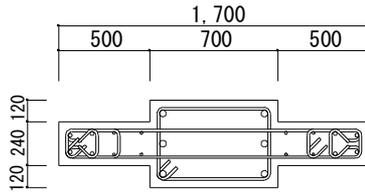


R-B15T15C
 $F_c=24\text{N/mm}^2$

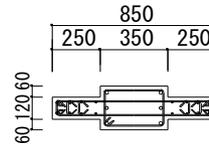
$\tau_u/F_c=0.14$

試験体図

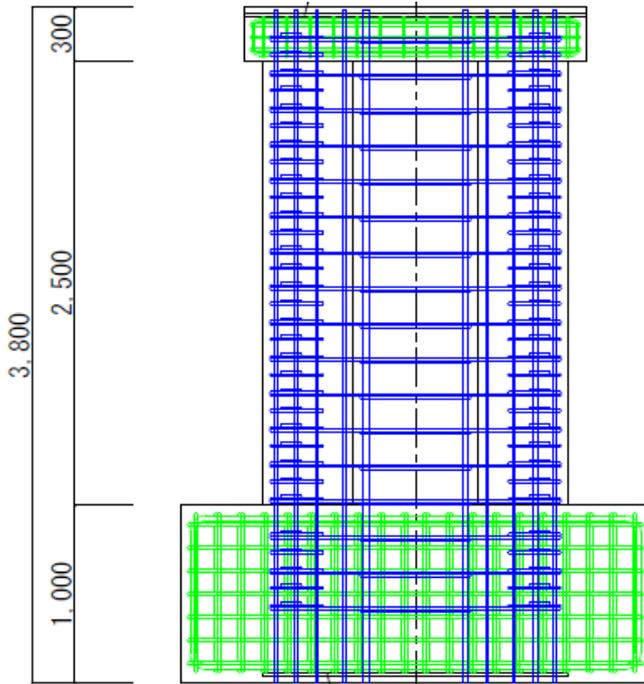
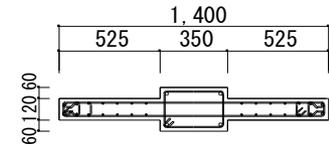
$\alpha=0.5$
 $B=0.7$



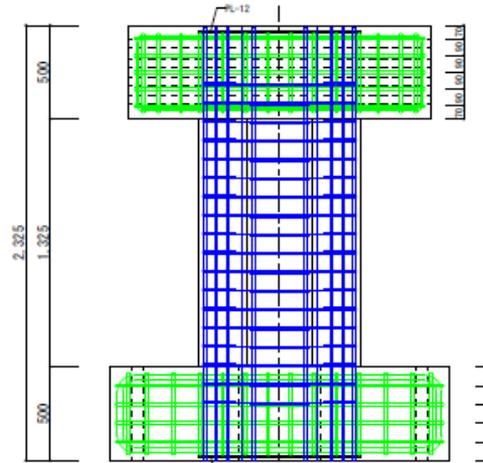
$\alpha=0.5$
 $B=0.7$



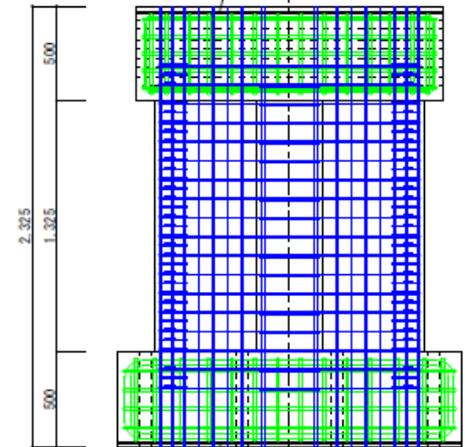
$\alpha=0.5$
 $B=1.5$



実大試験体
F-B07T07C



縮小試験体
R-B07T07W



縮小試験体
R-B15T07C, R-B15T15C

試験体設計値一覧

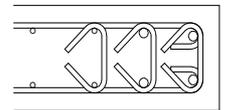
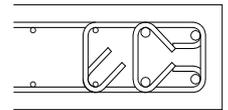
$$\tau_u / F_c \doteq 0.07$$

$$\tau_u / F_c \text{ 約2倍差}$$

試験体サイズ	実大試験体	縮小試験体		
試験体名	F-B07T07C	R-B07T07W	R-B15T07C	R-B15T15C
コンクリート強度 (N/mm ²)	23.6	27.0	61.4	29.4
曲げ終局 Q_{mu} (kN)	574	152	301	281
せん断終局 Q_{su} (kN)	861	224	513	382
Q_{su}/Q_{mu}	1.50	1.47	1.71	1.36
τ_u/F_c (梁断面のみ)	0.072	0.067	0.058	0.113
中立軸 x_{n2} (mm)	267	117	49	102
拘束筋形状・ピッチ	日型@100	幅止めのみ@50	日型@50	
拘束領域 (mm)	359	178	178	
拘束筋比 面内 (%)	1.59 (1.06)	0.53 (0.00)	1.60 (1.07)	
面外 (%)	1.06 (1.06)	0.54 (0.54)	1.08 (1.08)	

$$Q_{su} / Q_{mu} > 1.25$$

日型拘束

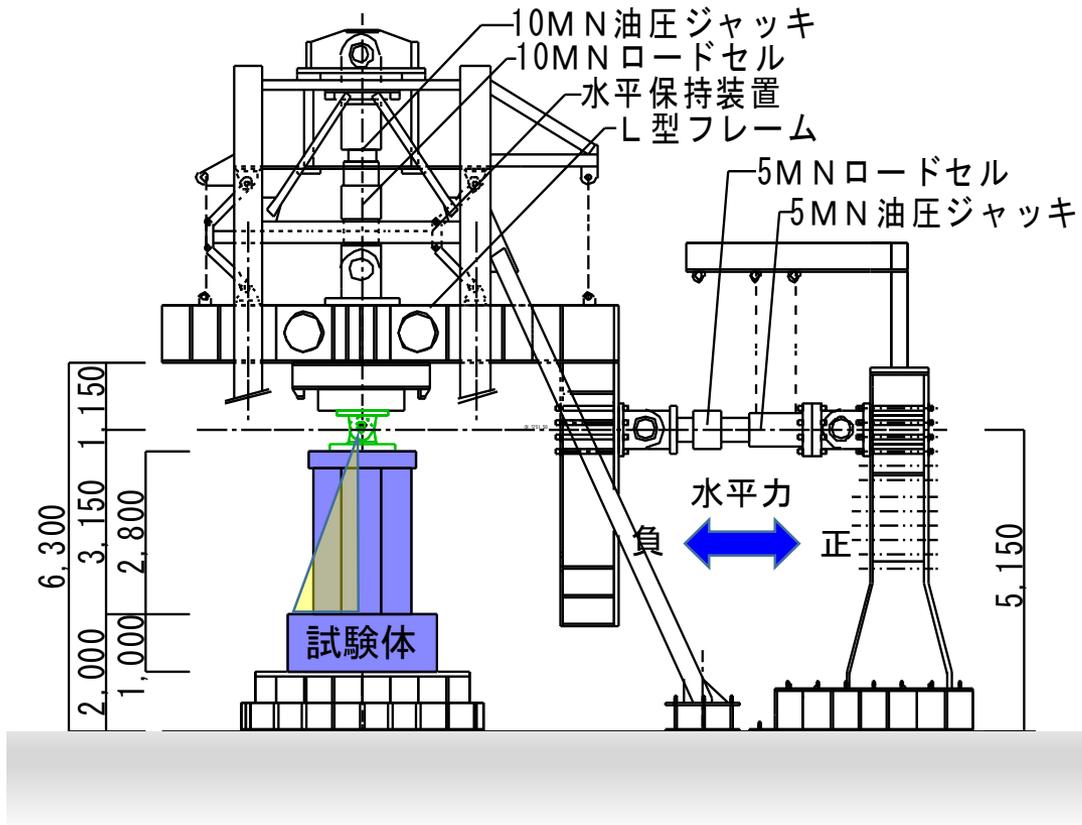


曲げ終局強度・せん断終局強度：コンクリートおよび鉄筋の材料試験結果を使用

拘束領域：壁内側の面外拘束筋+かぶり厚さ，拘束筋比：括弧内は壁縦筋を除いた値

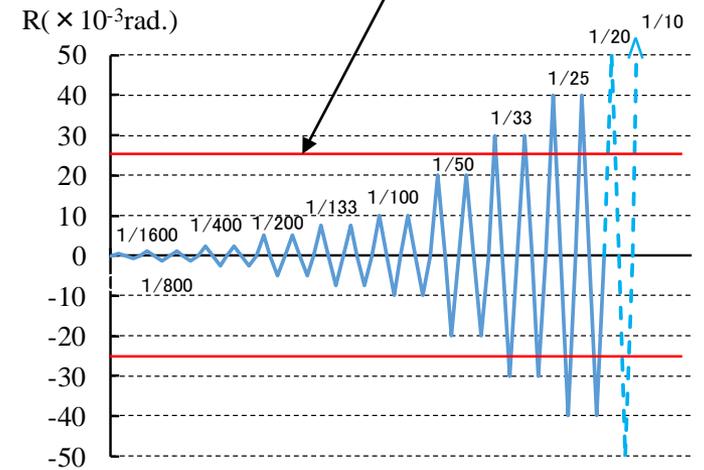
幅止め筋拘束

実験装置および加力履歴



実大試験体載荷装置

保有水平耐力指針(案)
限界変形角
 $R=25 \times 10^{-3} \text{rad.}$



加力履歴

$\alpha = 0.5, \beta = 0.7$ 試験体のQ-R関係および破壊状況の比較

F-B07T07C (実大)



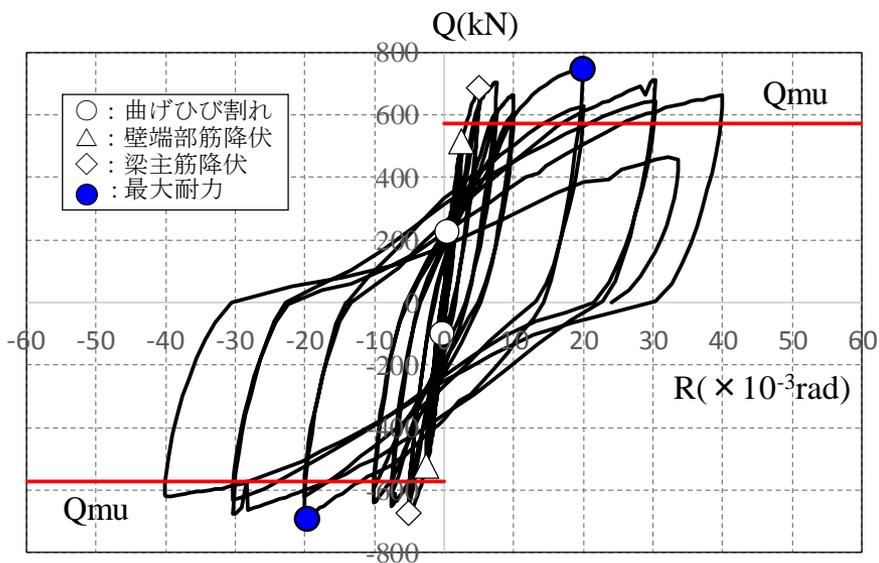
壁端部筋
座屈 R=1/33
破断無し

R-B07T07W (1/2縮小)

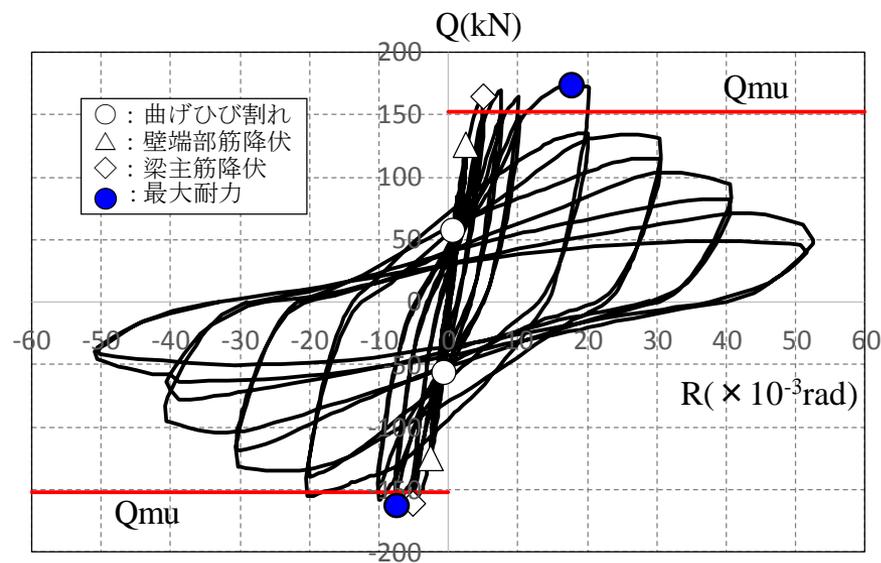


壁端部筋
座屈 R=1/33
破断 R=1/25

梁端部最終破壊状況



F-B07T07C (実大)



R-B07T07W (1/2縮小)

α=0.5, β=1.5試験体のQ-R関係および破壊状況の比較

R-B15T07C (1/2縮小)

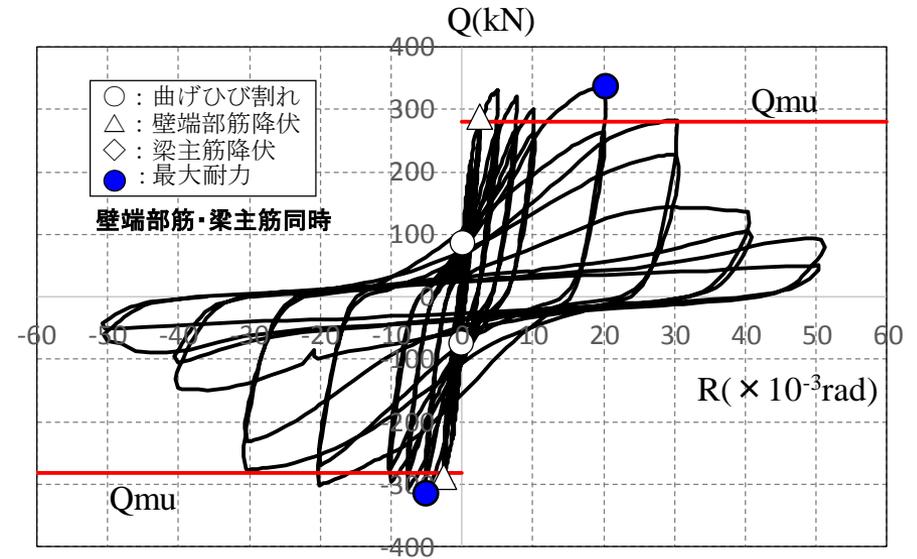
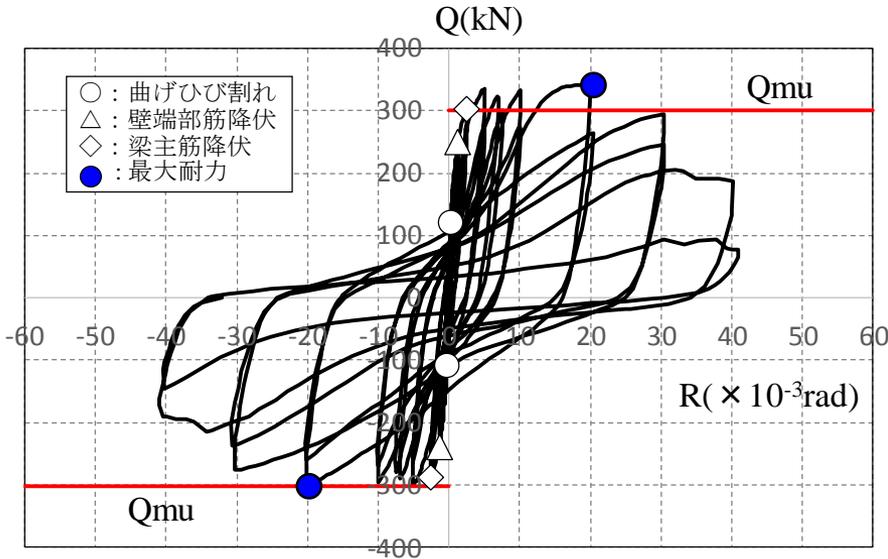
R-B15T15C (1/2縮小)

壁端部筋
座屈 R=1/33
破断 R=1/25



壁端部筋
座屈 R=1/33
破断 R=1/20

梁端部最終破壊状況



R-B15T07C (1/2縮小)

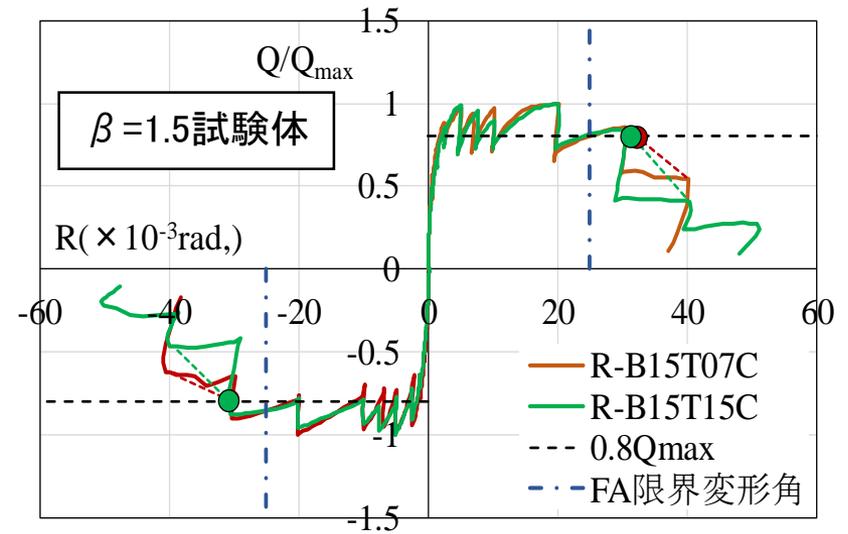
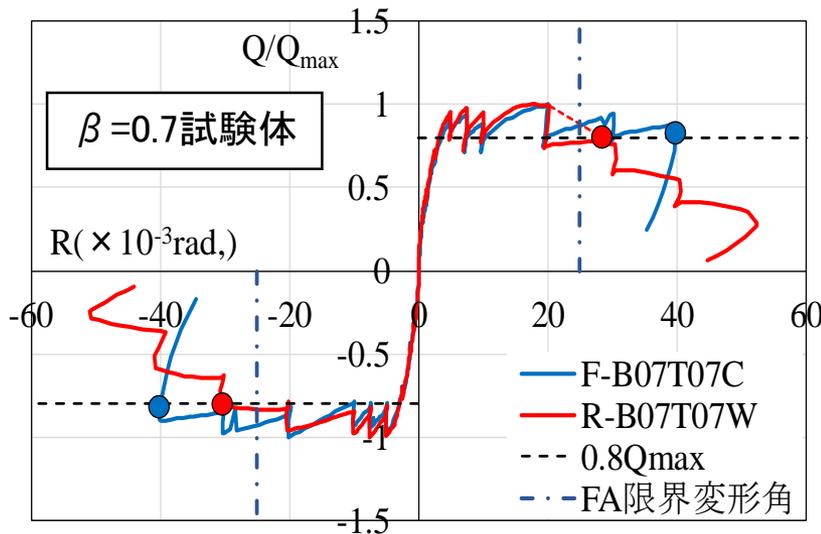
R-B15T15C (1/2縮小)

限界変形角

限界変形角算出結果一覧

$25 \times 10^{-3} \text{rad.}$ 以上

試験体	正側			負側		
	Qmax	0.8Qmax	Ru	Qmax	0.8Qmax	Ru
	kN	kN	$\times 10^{-3} \text{rad.}$	kN	kN	$\times 10^{-3} \text{rad.}$
F-B07T07C	752.5	602.0	40.0	-690.0	-552.0	-40.1
R-B07T07W	173.1	138.4	28.6	-161.8	-129.4	-30.4
R-B15T07C	344.3	275.5	32.1	-304.3	-243.5	-30.3
R-B15T15C	334.7	267.7	31.4	-314.2	-251.3	-30.8

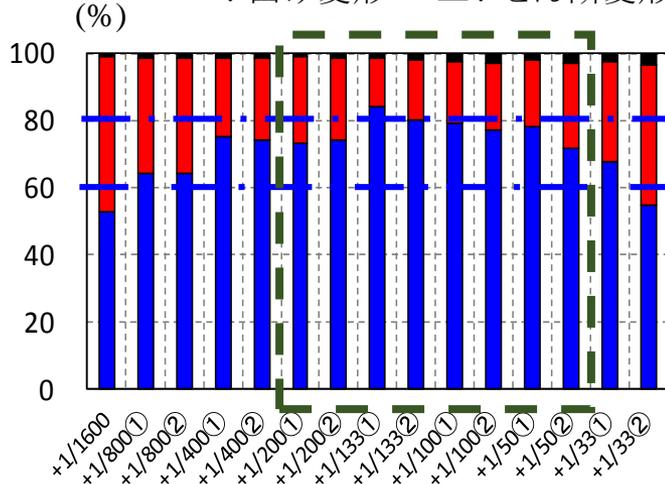


限界変形角の算出

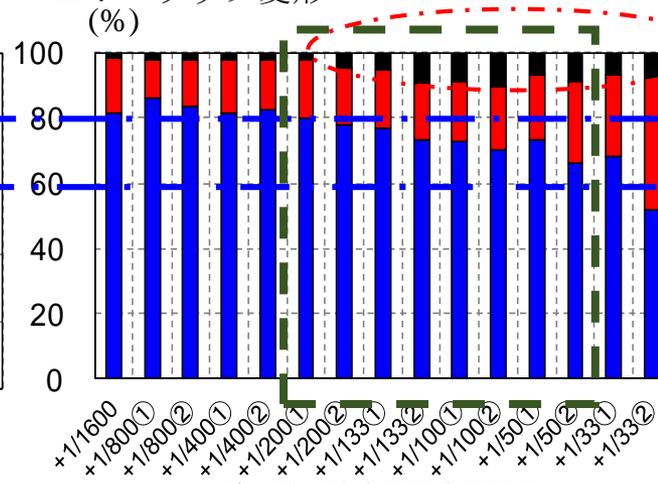
変形成分の推移

■ : 曲げ変形 ■ : せん断変形 ■ : スリップ変形

$\beta=0.7$



(a)F-B07T07C



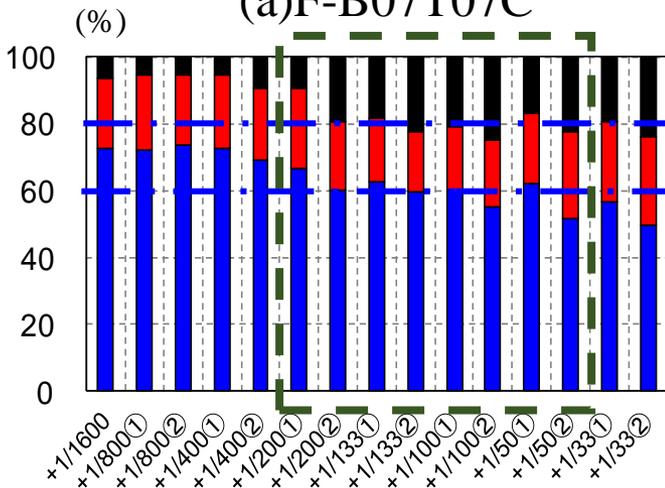
(b)R-B07T07W

壁端部拘束筋量が
少ない影響

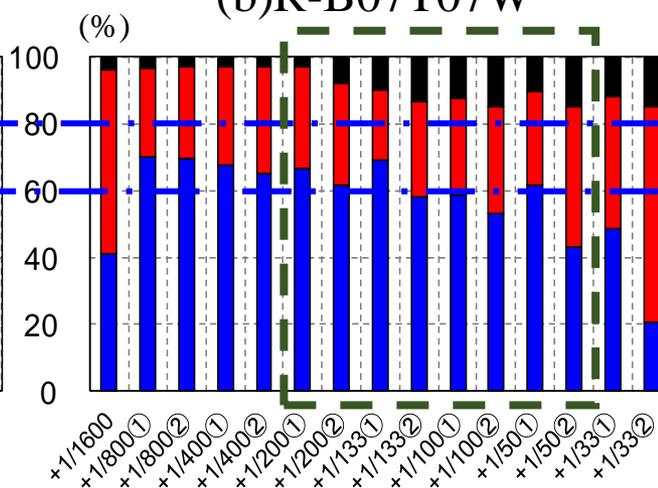
$\beta=0.7$

R=1/200rad.から最
大耐力のR=1/50rad.
まで曲げ変形成分
70~80%で推移

$\beta=1.5$



(c)R-B15T07C



(d)R-B15T15C

$\beta=1.5$

同じ部材角推移を
 $\beta=0.7$ と比較すると、
壁高さ比が大きい
方が曲げ変形成分
が小さくなる傾向が
ある。
せん断応力度レベ
ルが高いとせん断
変形成分が増加す
る。

諸強度

初期剛性・曲げひび割れ強度

- 寸法効果はない
- 壁高さ比の影響はない

試験体	初期剛性			曲げひび割れ強度		
	計算値 K_0 kN/mm	実験値 K_e kN/mm	K_e/K_0	計算値 ${}_c Q_{Mc}$ kN	実験値 ${}_E Q_{Mc}$ kN	${}_E Q_{Mc}/{}_c Q_{Mc}$
F-B07T07C	107.1	114.9	1.07	106.8	172.5	1.62
R-B07T07W	55.9	57.0	1.02	28.6	56.9	1.99
R-B15T07C	256.8	192.5	0.75	111.2	114.5	1.03
R-B15T15C	186.4	165.1	0.89	77.0	85.5	1.11

実/計の差が大きいのは
ひび割れ観察の誤差

曲げ終局強度

- 寸法効果はない
- 壁高さ比の影響はない

試験体	曲げ終局強度					せん断応力度レベル	
	計算値 ${}_c Q_{Mu}$ kN	実験値+ ${}_E Q_{Mu(+)}$ kN	$\frac{{}_E Q_{Mu(+)}}{{}_c Q_{Mu}}$	実験値- ${}_E Q_{Mu(-)}$ kN	$\frac{{}_E Q_{Mu(-)}}{{}_c Q_{Mu}}$	計算値 ${}_c \tau_u/\sigma_B$	実験値 ${}_E \tau_u/\sigma_B$
F-B07T07C	573.7	752.5	1.31	-690.0	1.20	0.072	0.095
R-B07T07W	151.9	173.1	1.14	-161.8	1.07	0.067	0.076
R-B15T07C	300.8	344.3	1.14	-304.3	1.01	0.058	0.066
R-B15T15C	280.6	334.7	1.19	-314.2	1.12	0.113	0.135

計算式

◆ 初期剛性

$$1/K_0 = 1/K_s + 1/K_{be}$$

$$K_s = G_c A_0 / \kappa_e l$$

$$K_{be} = 12 E_c I_e / l^3$$

κ_e : エネルギー法の式から算出

◆ 曲げひび割れ強度

$$M_{cr} = 0.56 \sqrt{\sigma_B} Z_e$$

Z_e : 鉄筋を考慮した断面係数

計算式

◆ 曲げ終局強度

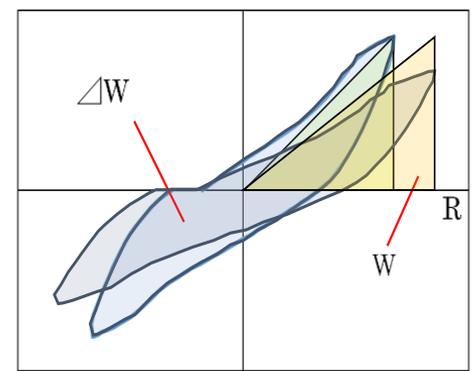
$$M_u = \sum a_i \sigma_{yi} (d_i - x_{n2})$$

保有水平耐力規準(案)に
掲載された高橋らによる
提案式

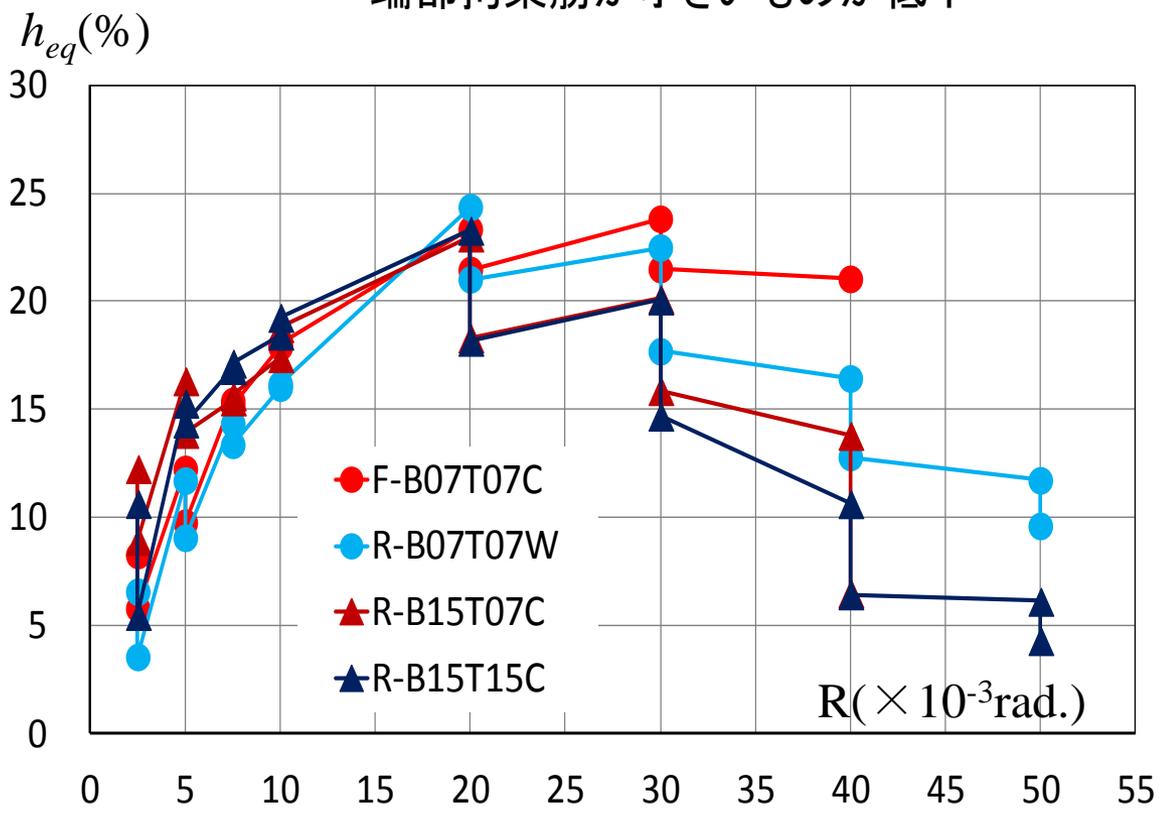
等価粘性減衰定数

- R=1/100radで h_{eq} は15%強
- R=1/50radで h_{eq} は20~25%程度
- 最大荷重以降, 壁高さ比が大きいものの端部拘束筋が小さいものが低下

$$h_{eq} = \frac{1}{4\pi} \times \frac{\Delta W}{W}$$



h_{eq} 算出概念図



等価粘性減衰定数の推移

最大耐力前
 $W = Q_p \times R_p / 2$
 最大耐力以降
 $W = Q_{max} \times R_p / 2$
 ここで、
 Q_p, R_p : 各サイクルのピーク荷重および変形
 Q_{max} : 正側の最大耐力
 繰返し1回目, 2回目それぞれのループで計算

腰壁・垂れ壁付き梁部材実験まとめ

高密配筋された腰壁・垂れ壁付き梁部材実験から下記が確認された。

- 1) 保有水平耐力規準(案)に提案された腰壁・垂れ壁付き梁部材の部材種別FAの条件を満足した場合、限界変形が2.5%を上回った。
- 2) 本実験では、せん断応力度レベルが高い試験体 ($E\tau_u/\sigma_B = 0.135$) でも限界変形までの履歴性状に差異は見られなかった。
- 3) 最大荷重以降の耐力低下を抑制するためには本実験における日型形式の壁端部拘束が必要であると考えられる。
- 4) 初期剛性, 曲げひび割れ強度, 曲げ終局強度に関しては寸法効果の影響は見られなかった。曲げ終局強度は高橋らの提案式で概ね精度良く評価できた。
- 5) 壁高さ比が大きくなると曲げ変形成分が減少する傾向がある。
- 6) 等価粘性減衰定数は各試験体とも変形の増大とともに増加し $R=1/50\text{rad.}$ で20~25%程度となった。最大荷重以降, 本報の h_{eq} 算出方法を用いると荷重低下現象が h_{eq} にも反映される結果となった。

**3. 実験データベースを用いた分析および
隅柱の変動軸力に
水平二方向加力が及ぼす影響
(京都大, 建研)**

実験データベースを用いた分析

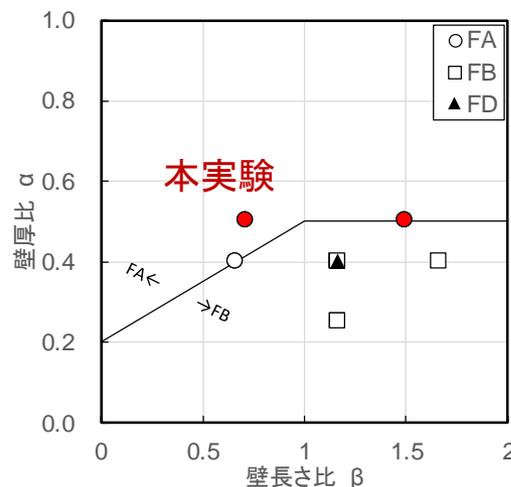
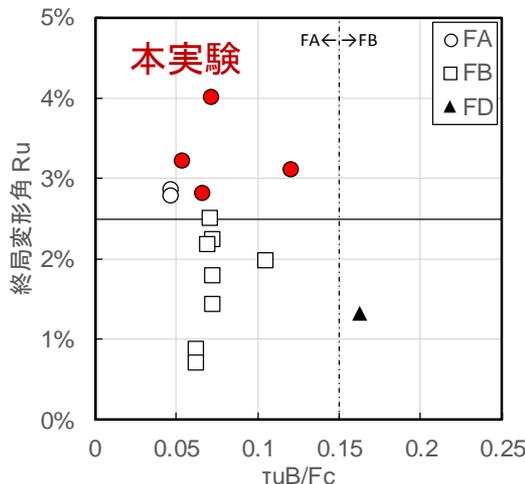
建築基準整備促進事業「高強度材料を用いた鉄筋コンクリート造構造部材の強度、剛性及び変形能の評価方法に関する検討」で構築された実験データベースを活用

➤ 本実験の腰壁・垂れ壁付き梁試験体の位置付け

鉄筋位置などの断面情報や実験結果の情報が不足しているケースや、スリットが設けられている試験体などを除外した34体

	破壊モード			合計	本事業の試験体
	曲げ降伏後 圧縮破壊	曲げ降伏後 せん断破壊	せん断破壊		
試験体数	27	2	5	34	4
基準解説書FA	15	0	0	15	4
保耐規準FA	2	0	0	2	4

保耐規準による
FA部材は殆ど無い



- 既往の実験で検証が不足している領域をカバー
- 既往の実験結果に比べて高い変形性能

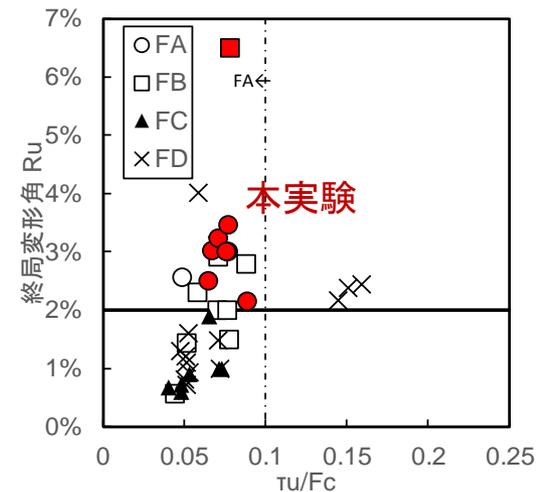
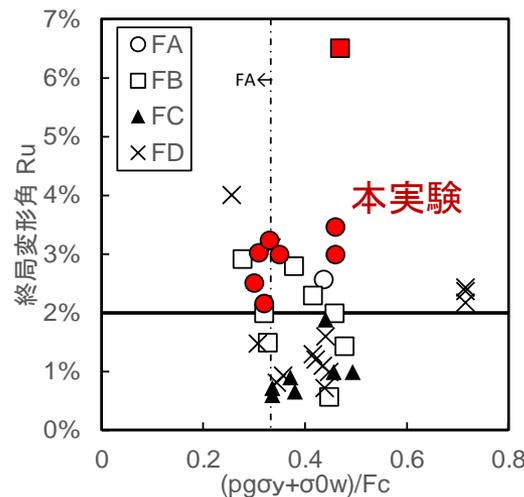
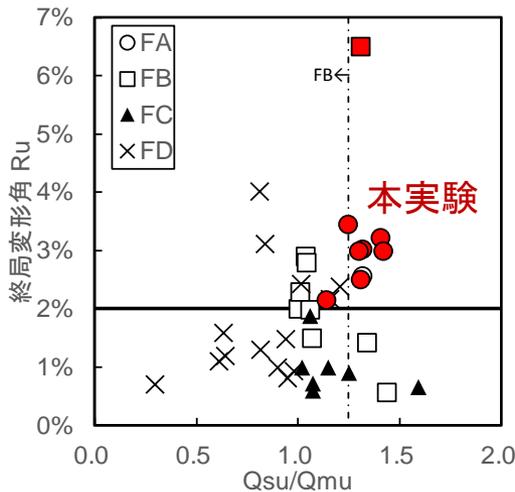
実験データベースを用いた分析

➤ 本実験の袖壁付き柱試験体の位置付け

鉄筋位置などの断面情報や実験結果の情報が不足しているケースや、せん断破壊した試験体などを除外した35体

	破壊モード		合計	本事業の試験体
	曲げ破壊	せん断破壊		
試験体数	35	除外	35	8
基準解説書FA	0	除外	0	0
保耐規準FA	1	除外	1	7

保耐規準による
FA部材は殆ど無い



- 既往の実験結果に比べて高い変形性能
- 個々の判定指標だけで検討しても、終局変形角との明確な関係は見出せず

隅柱の変動軸力に水平二方向加力が及ぼす影響(概要)

直交方向水平力による変動軸力を考慮する方法に統一された見解がない
直交方向入力の**0.3倍以上**(保有水平耐力規準), **0.5倍**(終局強度指針)分を加算, など

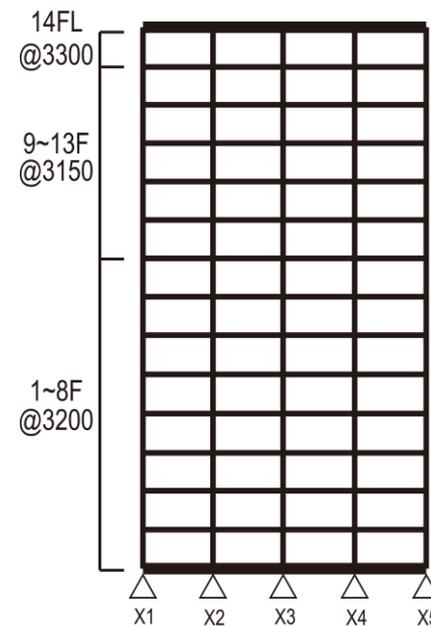
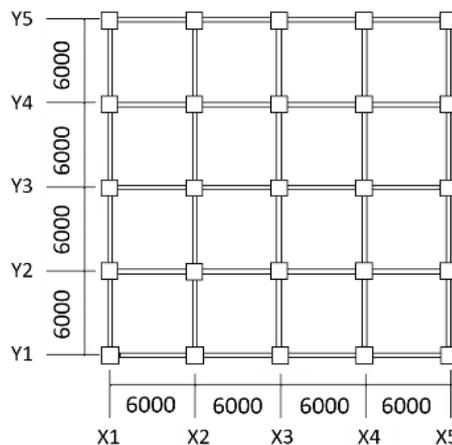
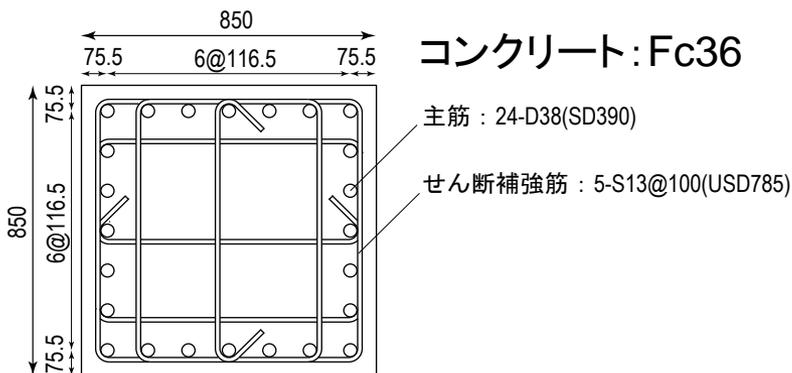


直交方向水平力が1階隅柱に作用する変動軸力に及ぼす影響について検討

➤ 検討に用いた建物モデル: 保有水平耐力規準・設計例1

- 平面4×4スパンの14層RC造建物
- 耐震壁のない整形な純フレーム構造(全体降伏型)
- 弾塑性骨組解析(柱Multi-springモデル)で時刻歴応答解析

検討対象隅柱(1階)



隅柱の変動軸力に水平二方向加力が及ぼす影響(結果)

El Centro(1940), Taft(1952), Hachinohe(1968), Tohoku(1978)のNS, EW, UD成分を組み合わせて入力(NS, EW成分のうち最大速度が大きい成分が50kineになるように基準化)

$$\Delta N_{D2} = \Delta N_{DX} + \alpha_2 \Delta N_{DY}$$

ΔN_{D2} : X, Y成分入力時の変動軸力最大値
 ΔN_{DX} : X方向成分入力時の変動軸力最大値
 ΔN_{DY} : Y方向成分入力時の変動軸力最大値

地震波	α_2			
	Y1X1	Y1X5	Y5X1	Y5X5
El Centro	0.71	0.32	0.24	0.82
Taft	1.01	0.21	0.07	1.01
Hachinohe	0.59	-0.13	-0.08	0.89
Tohoku	0.09	0.90	0.55	0.65

入力地震波によってばらつきはあるものの、最大で1.0程度の値

➡ 変動軸力の倍率を評価する上で必要となる知見を収集

4. まとめ

まとめ

➤ 袖壁付き柱実験

- 繰返し載荷試験体では、 $R=\pm 1/33\text{rad}$ および $\pm 1/25\text{rad}$ サイクルで袖壁縦方向筋の座屈後破断および壁端部拘束域圧壊が顕著となり大幅に耐力低下したが、単調載荷試験体では、 $R=+1/15\text{rad}$ 付近まで顕著な耐力低下はみられず
- 最大耐力、限界変形に関しては、技術基準解説書の評価式による計算値との比較で、縮尺、載荷履歴による影響がみられた
- 全試験体で保耐規準に示されるFA部材の限界変形角の目安2.0%を上回ったが、壁端部主筋破断を適切に評価できる判定指標について更なる検討が必要

➤ 腰壁・垂れ壁付き梁実験

- 保耐規準が提案する部材種別FAの条件を満足した場合、限界変形が2.5%を上回った
- 部材種別FAで最大荷重以降の耐力低下を抑制するためには、本実験における日型形式の壁端部拘束が必要であると考えられる
- 初期剛性、曲げひび割れ強度、曲げ終局強度に関しては寸法効果の影響は見られなかった。曲げ終局強度は高橋らの提案式で概ね精度良く評価できた

➤ 設計への影響度調査

- 既往の実験データベースを用いて、本実験試験体の位置付けを検討した
- 時刻歴応答解析により直交方向水平力が1階隅柱に作用する変動軸力に及ぼす影響について検討を行い、変動軸力倍率に関する知見を得た