

論文 PCa 袖壁で簡略補強された既存 RC 柱に関する実験

本多 良政^{*1}・加藤 大介^{*2}・本間 敦^{*3}・南部 昌隆^{*3}

要旨：袖壁の増設は耐震補強法として有効であるが、その補強効果に対する評価は一体打ちに比べ低く、プレキャスト袖壁を用いた場合はより控えめとなっている。本報告では、筆者らは既往の文献で報告した増設袖壁付き柱の有効性を評価するために、一体打ち袖壁付き柱の実験を、また、プレキャスト袖壁を用いた簡略な補強法を提案するために実験を行っている。その結果、一体打ち袖壁付き柱及びプレキャスト袖壁を用いた補強柱のせん断耐力と評価法の計算値を比較することでせん断耐力評価法が有効であることが確認できた。

キーワード：増設袖壁付き柱，耐震補強，プレキャスト，エポキシ樹脂，せん断耐力

1. はじめに

袖壁の増設は耐震補強法として有効であるが、耐震改修設計指針¹⁾ではその補強効果は一体打ちに比べ低いとしている。特に、プレキャスト袖壁を用いた場合、袖壁単独を圧縮斜材にモデル化され、控えめな強度評価式としている。

文献 2)では靱性保証型耐震設計指針³⁾に示されているトラスとアーチの考え方に基づいたせん断強度設計式を一体打ちの異型断面に適用する方法として提案している。この設計式では、異型断面をそのまま対象にする異型断面モデルと、袖壁の厚さを持つ長方形断面に置換した袖壁断面モデルの 2 つのモデルを想定し、それらの大きい耐力を部材のせん断耐力としている。

文献 4)では、文献 2)を参考にし、増設袖壁付き柱のせん断強度式を提案した。すなわち、文献 2)で提案した異型断面モデル、袖壁モデルにおいて柱と袖壁が接合面で滑るかに注目し、滑らないときは一体打ちの強度を、滑るときは柱と袖壁のそれぞれ耐力を求め、その和としている。また、同文献ではあと施工増設袖壁付き柱と PCa 袖壁を用いた増設袖壁付き柱の静加力実験についても報告している。PCa 袖壁を用いた増設袖壁付き柱では PCa 袖壁と既存柱の間にエポキシ樹脂を充填し、PCa 袖壁の周辺部に等辺

山形鋼を取付け、袖壁と柱の応力伝達をさせている。PCa 袖壁を用いた試験体のせん断耐力は提案した計算値と比較し、接合面で滑らない一体打ち袖壁付き柱の耐力に近くなることを確認した。

筆者らは、文献 4)で行っていない一体打ち袖壁付き柱の静加力実験を行い、文献 4)で報告した増設袖壁付き柱の有効性を検証した。さらに、PCa 袖壁を用いて簡略補強された増設袖壁付き柱の静加力実験を行い、その挙動を確認した。本論文ではこれら実験結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

表-1 に試験体の諸元を図-1 に試験体の配筋図を示す。実験は袖壁付き柱の挙動を把握するためのコンクリート一体打ち試験体(CSW-H)と PCa コンクリート袖壁を用いて簡略的に補強された PCa 袖壁付き柱試験体(RCSW-3)の 2 体行った。試験体の設計はせん断破壊により耐力が決まるようにした。表中の試験体 RCSW-1 及び RCSW-2 は文献 4)で報告したものを示している。

両試験体とも試験体形状及び配筋を同じにした。柱断面は 250×250mm、袖壁断面は厚さ 75mm、長さ 500mm、試験体高さは 1000mm とした。試

*1 新潟大学大学院 自然科学研究科環境管理科学専攻 修士(工学) (正会員)

*2 新潟大学 工学部建設学科教授 工博 (正会員)

*3 新潟大学大学院 自然科学研究科環境システム科学専攻

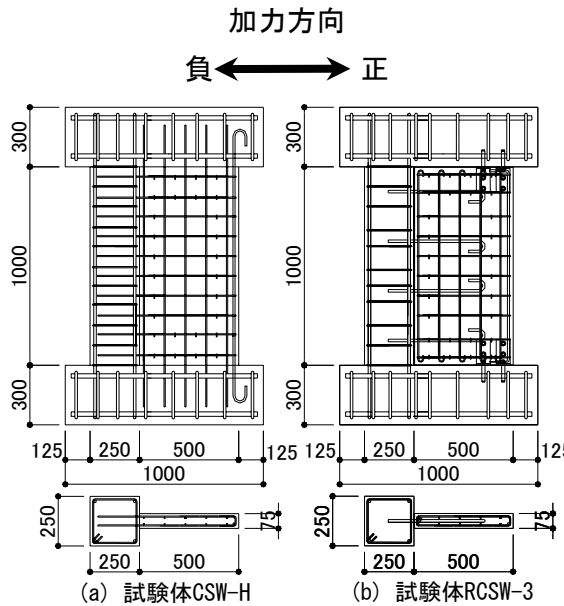


図-1 試験体配筋図

験体の配筋は柱主筋を4-D13、帯筋を□-D6@100とし、袖壁の縦横筋をD6@100ダブル、端部筋を1-D13とした。CSW-Hの袖壁筋の端部は柱及び基礎に定着をさせた。定着長は文献5)による長さとした。増設壁の周辺には割裂補強筋としてスパイラル筋やはしご筋を配するのが一般的であるが、本実験では文献6)を参考に幅止筋を用いた。文献6)では0.09%~0.18%程度の幅止め筋比の例が示されているが、本実験では0.13%とした。

試験体 RCSW-3 の柱と袖壁の接合筋は袖壁横筋が負担するせん断力を柱に伝達させるために袖壁の横筋の配筋量とした。接合筋の配置は施工の簡略化を図るために接合筋を集約させ、4-D13とした。この接合筋はPCa袖壁に定着させ、柱への定着にはエポキシ樹脂を用いた。なお、柱への定着長は文献1)より130mmとしている。

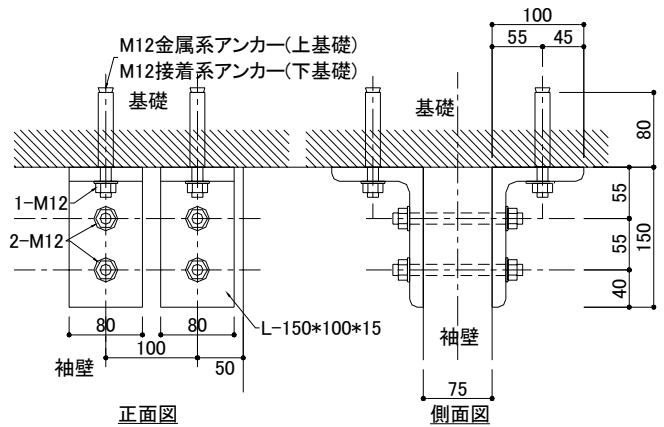


図-2 RCSW-3の袖壁端部詳細図

基礎への接合筋はPCa袖壁付き柱と一体打ち袖壁付き柱の曲げ耐力が同等以上になるように配置した。図-2に試験体 RCSW-3 の基礎と袖壁の接合部詳細図を示す。柱と袖壁が一体であることを前提に検討しているため、基礎への接合筋の配置は試験体の曲げ耐力に有効な袖壁端部位置だけに行なった。基礎への接合筋は4-M12とし、図-2に示すように不等辺山型アングル(4*L-100*150*15)を介して応力の伝達が行われるようにした。そして、下基礎に取付けたボルトは接着系アンカーとして、上基礎に取付けたボルトは金属系アンカーとして固定した。袖壁と柱、基礎の接合部に生じる隙間にはエポキシ樹脂を注入し、試験体全体を一体化させた。エポキシ樹脂注入幅は柱と袖壁の間が5mm、袖壁と基礎は2.5mmとした。なお、柱と袖壁の接合筋の周囲への充填は柱と袖壁の接合部にエポキシ樹脂を充填するときと同時にいった。

表-2に試験体に用いた材料特性を示す。コンクリートの圧縮強度は21.7N/mm²である。鋼材の材質は、鉄筋のD6はSD295A、D10~D13はSD345、不等辺山型アングル及びボルトは

表-1 試験体諸元 (※文献4)より抜粋)

試験体名	柱断面 (mm)	袖壁断面 (mm)	高さ (mm)	柱配筋		袖壁配筋			接合筋	軸力 (kN)	備考
				主筋	帯筋 (帯筋比)	縦横筋 (壁筋比)	端部筋	幅止め (幅止筋比)			
CSW-H	250*250	75*500	1000	4-D13	□-D6 @100 (0.0026)	D6@100 ダブル (0.0085)	1-D10	Φ4 @100 (0.0013)	-	294	一体打ち
RCSW-3									4-D13		PCa 簡略袖壁
RCSW-1※									D10@100		あと施工
RCSW-2※									-		PCa 袖壁

表-2 材料特性

(a)コンクリート				
圧縮強度 (N/mm ²)	21.7			
※RCSW-1 及び RCSW-2 のコンクリート強度は柱部 26.0N/mm ² , 袖壁部は 29.8N/mm ²				
(b)エポキシ樹脂(メーカー試験値)				
接着強度 (N/mm ²)	8.8	引張強度 (N/mm ²)	35.5	
(c)鋼材				
	材種	断面積 (mm ²)	降伏強度 (N/mm ²)	最大強度 (N/mm ²)
D6	SD295	32	353	498
D10	SD345	71	382	535
D13	SD345	127	383	561
L-100 *150*15	SS400	長さ 80mm	240*	400*
M12	SS400	113	328	386

※は規格値

SS400 とした。エポキシ樹脂の接着強度は 8.8N/mm² で、引張強度は 35.5N/mm² のものを用いた。

2.2 加力方法

加力は図-3 に示す加力装置により逆対称変形を与えた。試験体の下基礎部を装置のフレームに上基礎部をL型フレームに固定し、L型フレームに付いている軸力ジャッキ及び水平力ジャッキによりL型フレームを加力する。また、左右の軸方向ジャッキによりL型フレームを水平に保った。軸力は一定軸力 294kN を与え、水平載荷は2体とも 1/250, 1/125, 1/67, 1/50rad の水平部材角を左右にそれぞれ2回ずつ繰り返し与え、1/33rad の水平部材角を1回左右に与え、最後に 1/25rad の水平部材角を与えた。

3. 実験結果

図-4 に各試験体の水平力-水平変形角関係及び鉛直方向軸歪-水平変形角関係を示す。また、図-5 は各試験体の最大耐力時及び加力終了時のひび割れ図を示す。水平力は軸力用ジャッキによる影響(P-δ 効果)を考慮している。また、水平変形角は上下基礎間の水平変形をその高さで除した値、軸歪度は柱軸心位置での上下基礎間の垂直変形を高さに除した値である。水

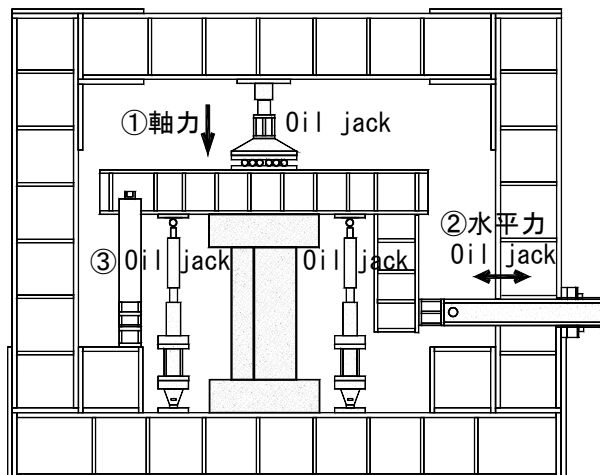


図-3 加力装置図

平力-水平変形角関係図に示す破線は最大耐力の 80%を示している。表-3 は最大耐力、使用限界状態、修復限界状態及び安全限界状態に関連する試験体の損傷状況をまとめたものである。表中“-”は加力中に確認できなかったことを意味している。

試験体 CSW-H は+1 サイクル(1/250rad)加力中に袖壁にせん断ひび割れが発生し、加力サイクルのピーク時に柱脚部で曲げひび割れが生じた。+2 サイクル(1/250rad)に柱側で袖壁のコンクリートの剥落が生じ始めた。+3 サイクル(1/125rad)の 1/147rad で最大耐力 244 kN に達し、柱頭部及び袖壁脚部で圧壊が起こりはじめた。+5 サイクルの水平変形角 1/67rad に袖壁の端部側脚部で横筋が露出し、その後、端部筋が露出した。また、袖壁の浮上りの兆候が見られた。+6 サイクルの加力中に袖壁脚部で端部筋の座屈が確認され、水平変形角 1/67rad で試験体の耐力が最大耐力の 80%まで低下した。-7 サイクルに袖壁の柱側脚部でコアコンクリートの圧壊が起こりはじめた。

柱頭部及び柱脚部にかぶりコンクリートの圧壊が見られたが、コアコンクリートの圧壊は加力終了後も見られなかった。袖壁付き柱のせん断破壊により試験体の耐力が決まった。しかし、加力終了後も柱部は軸力保持し、健全であった。

試験体 RCSW-3 は、+1 サイクル(1/250rad)に

袖壁にせん断及び曲げひび割れが発生した。また、エポキシ樹脂を充填した柱と袖壁の境界面でコンクリート躯体とエポキシ樹脂の一部が剥れた。さらに、袖壁頂部で上基礎に固定していた金属系アンカーが引き抜かれ、袖壁の浮上りが生じた。加力サイクルのピーク時では最大耐力 254kN に達した。-1 サイクルに柱部と袖壁の境界面に注入したエポキシ樹脂が完全に剥がれた。+5 サイクル(1/67rad)に柱脚部のかぶりコンクリートで脚部付近の基礎コンクリートがコーン状の破壊を始め、袖壁の浮上りが起こった。その後、袖壁はロッキングによる変形挙動を示

した。+7 サイクル(1/50rad)に袖壁の柱側脚部で圧壊が起こった。+9 サイクル(1/33rad)に試験体の耐力が最大耐力の 80%まで低下した。-9 サイクルに袖壁脚部の接合筋が座屈し始めた。また、柱の主筋が露出し始めた。

エポキシ樹脂による接着面が破壊したことにより試験体の一体性がなくなり、試験体の耐力が決まったと考えられる。また、一体性が失われたことで柱と袖壁が別の挙動をし、安定した耐力を確保することができたと考えられる。柱部は加力終了時まで健全であり、最後まで軸力を支持していた。

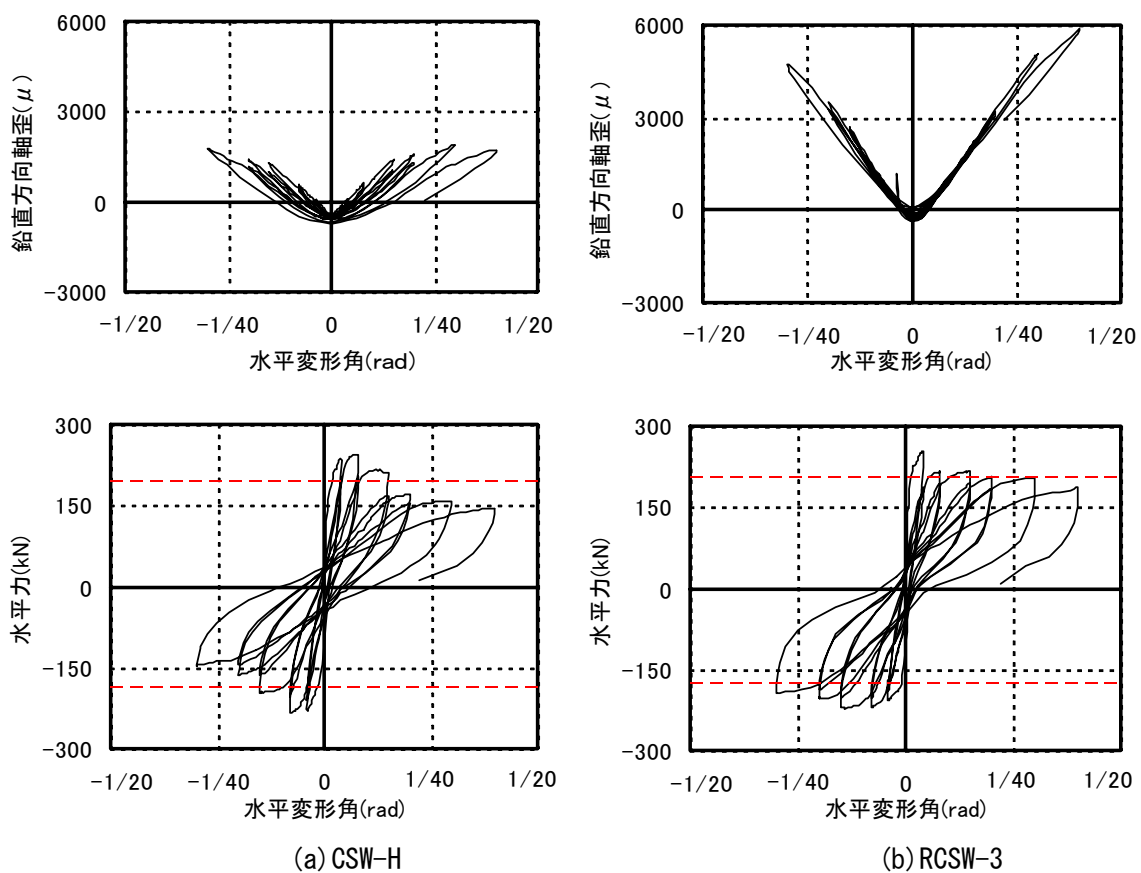
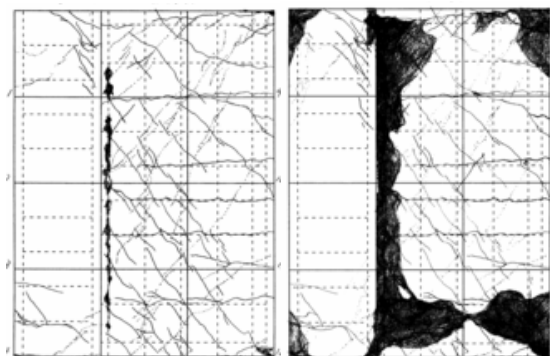


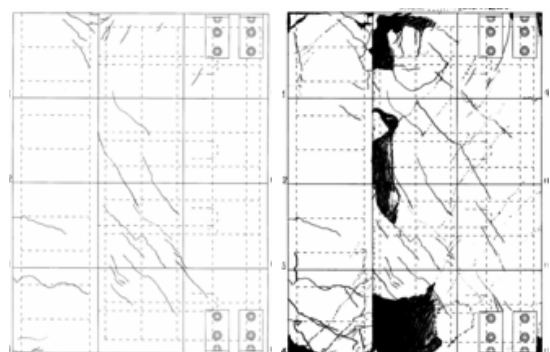
図-4 水平力、鉛直方向軸歪-水平変形角関係
表-3 実験結果

	最大耐力 (kN)	最大耐力時変形角 (rad)	使用限界状態(rad)			修復限界状態(rad)		安全限界状態(rad)		
			ひび割れ時変形角	柱主筋降伏時	袖壁縦筋降伏時	接合筋降伏時	柱圧壊時	袖壁圧壊時	最大耐力の80%	軸力負担能力喪失
CSW-H	243	0.0068	0.0015	0.0065	0.0063	0.0150	0.0068	0.0080	0.0150	-
	-233	-0.0075	-0.0013	-0.0078	-0.0078	-	-0.0078	-0.0078	0.0150	-
RCSW-3	253	0.0040	0.0020	0.0050	0.0070	-	-	0.0150	0.0300	-
	-223	-0.0141	-0.0011	-0.0050	-0.0150	-0.0028	-0.0080	-	-	-



最大耐力時(1/125rad) 加力終了時(1/25rad)

(a) CSW-H



最大耐力時(1/250rad) 加力終了時(1/25rad)

(b) RCSW-3

図-5 ひび割れ図

ひび割れ状況及び破壊状況を見ると、試験体 CSW-H ではひび割れやコンクリートの破壊が袖壁に集中的に入っているが、柱には柱頭柱脚に軽微な曲げ破壊現象があるだけであった。本実験の結果からは袖壁付き柱は袖壁の設置の仕方によってはせん断破壊後も、軸力を保持し柱部材に致命的な損傷を与えないようにすることができることを示していると考えられる。

一方、試験体 RCSW-3 の破壊状況は、柱と袖壁の一体性が早い段階で失われたためにせん断ひび割れがあるものの CSW-H に比べて少ない。-1 サイクル以降で水平力を維持できていたことがひび割れ図からも伺える。

4. 実験結果の考察

表-5 に最大耐力の実験値と計算値の比較を示す。また、図-7 は表-5 で示した4 試験体の水平力-水平変形角関係の正方向加力時の包絡線を示したものである。RCSW-1 及び RCSW-2 は文献 4)からの抜粋である。これらの試験体の

諸元は 2. 実験概要に示してある。材料強度及び接合方法が違うが、配筋及び形状は本実験の試験体と同じである。

表-5 の計算値は図-6 (a), (b) に示す異型断面モデルと袖壁断面モデルより求めたせん断耐力の大きいものとした。各モデルの柱と袖壁の接合部で滑る

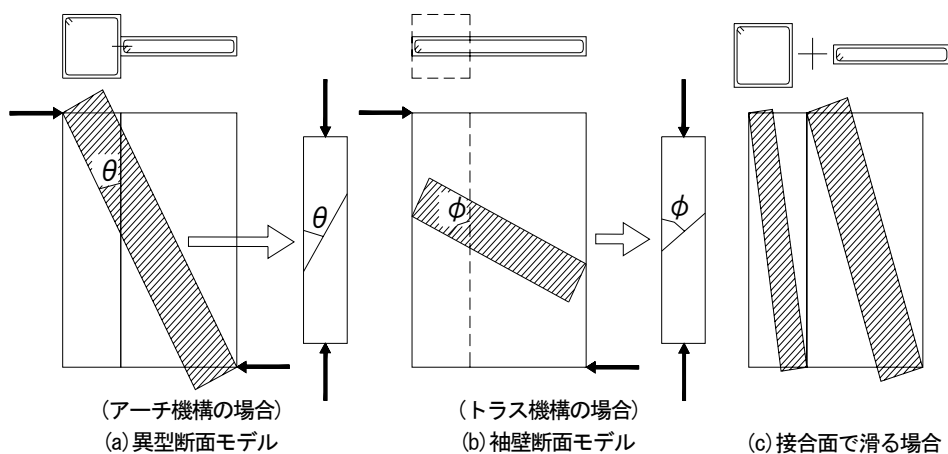


図-6 計算モデル概要図

表-5 実験値と計算値の比較 (※は文献 4)より抜粋)

試験体名	計算値 (kN)				実験値 (kN)	実/計	
	せん断耐力			曲げ強度時せん断力			
	袖壁が滑らない場合		袖壁が滑る場合				
異型断面モデル	袖壁断面モデル						
CSW-H	204	227	167	355	227	244	1.07
RCSW-3					227		
RCSW-1※	245	265	161	351	161	264	1.64
RCSW-2※					265		

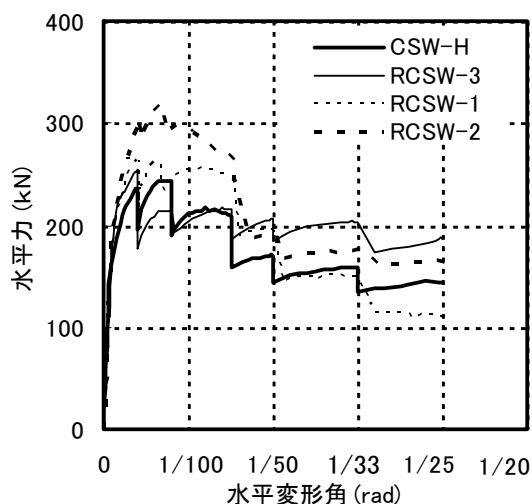


図-7 包絡線の比較

場合には、(c)の滑る場合のモデルとする。異型断面モデルでは、柱と袖壁に渡って形成する束をアーチ機構とし、柱のアーチ機構以外の部分をトラス機構として靱性保証型設計式でせん断耐力を算定する。袖壁断面モデルは袖壁厚の長方形断面とし、トラスとアーチ機構を靱性保証型設計式により考える。ただし、袖壁筋が単筋の場合はトラス機構を考慮しない。柱と袖壁の接合面で滑る場合では、柱と袖壁をばらばらにして各々の耐力を靱性保証型設計式で算定し、それらの和とせん断耐力としている。

表-5には採用した耐力を示しているが、試験体 CSW-H の計算値は一体打ち袖壁付き柱のため、異形断面モデルと袖壁断面モデルの大きい値を採用している。試験体 RCSW-2 及び RCSW-3 の計算値においては柱と袖壁の接合面にエポキシ樹脂を注入しており、試験体が一体化しているために袖壁が滑らない場合を採用している。試験体 RCSW-1 の計算値は増設袖壁付き柱であり、特に滑りを防止する措置をとっていないために、袖壁が滑るケースを採用している。なお、本報告と文献 4)の試験体の計算値の差は主にコンクリート強度の違いによる。

計算値に対する実験値の比率をみると試験体 CSW-H は 1.07 となっており、文献 2)で提案した一体打ちの袖壁付き柱の強度式が片側袖壁付き柱にも適用できることがわかる。簡略化された

PCa 袖壁で補強された試験体 RCSW-3 は 1.12 となり、文献 4)で報告した RCSW-2 の 1.20 には及ばなかったが、文献 4)で提案した柱と袖壁が滑らない場合の強度式が適用できることを示している。

なお、これは文献 4)の結論であるが、試験体 RCSW-1 の一体打ちの強度の計算値は 265kN となっており、実験値はこれを下回っているので、特にすべりを防止する措置をとっていない試験体 RCSW-1 に対しては、袖壁が滑らないとした強度式を適用するのは危険側である。

5. まとめ

一体打ち袖壁付き柱と簡略補強された増設袖壁付き柱の静加力実験を行い、以下のような結論を得た。

- (1) 一体打ち袖壁付き柱 CSW-H の最大耐力と文献 2)で提案された強度式による計算値を比較し、強度式の有効性を確認した。
- (2) PCa 増設袖壁付き柱 RCSW-3 のせん断耐力と文献 4)で提案された強度式による計算値を比較し、試験体 RCSW-3 が強度式に適用できることを確認した。

謝辞 本研究において新潟大学工学部建設学科卒業研究生の田中寛徳君に多大な尽力をいただいた。ここに感謝します。

参考文献

- 1) 既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針，日本建築防災協会，2001年
- 2) 加藤大介，孫浩陽：RC造異形断面柱の荷重-変形関係の評価法，第24回コンクリート工学年次論文報告集，Vol.24，No.2，pp.1-6，2002.6
- 3) 鉄筋コンクリート建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，日本建築学会
- 4) 加藤大介，大塚祐二：RC造増設袖壁付き柱の静加力実験，第25回コンクリート工学年次論文報告集，Vol.25，No.2，pp.1471-1476，2003.7
- 5) 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説—許容応力度設計法—，日本建築学会，1999.11
- 6) 学校施設の耐震補強マニュアル(RC造校舎編)，文部省，1998年