

論文 接着型鋼板を用いたRC造増設袖壁付き柱の静加力実験

加藤 大介^{*1}・本多 良政^{*2}・田中 寛徳^{*3}

要旨：本報告では、筆者らが既往の文献で提案したエポキシ樹脂を用いたプレキャスト袖壁の接着面に目荒らしを行い、その効果を検討した。また、主に軸力抵抗能力を期待する場合を想定し、より簡易的な接合法として接合筋を用いない試験体の実験を行った。その結果、目荒らしによりせん断強度は大きく増加し、また、最大耐力後の耐力低下も急激ではなくなる効果があった。一方、接合筋を用いない試験体の最大耐力は一体打ちのせん断強度に達しなかったが、変形能は増大した。

キーワード：増設袖付き壁柱，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

袖壁は耐震補強法として有効であるが、耐震改修設計指針¹⁾に紹介されている補強効果は一体打ちに比べ低い。特に、プレキャスト（以下PCa）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なっている。筆者らは文献²⁾³⁾において、エポキシ樹脂を用いたPCa袖壁付き柱の静加力実験について報告し、そのせん断強度が一体打ちとほぼ同程度であることを報告した。しかしながら、最大強度後に接合面の滑りにより急激な耐力の低下がみられた。そこで、本報告では、その急激な耐力の低下を抑制する方法として、接合面に目荒らしを行った試験体についても実験を行った。

一方、袖壁にせん断強度を期待せず、軸力抵抗能力のみを期待する場合もある。この場合、より簡略的な袖壁の施工法として、接合筋を用いないことも考えられる。そこで、この場合の袖壁のせん断強度への影響も実験的に検討した。

2. 実験計画

試験体は2体作成した。試験体RCSW-4は文献³⁾で行った試験体RCSW-3と同じ試験体であ

るが、今回は目荒らしを行い柱部とPCa袖壁の接合面の接着性を向上させ、接合面での滑りが生じないようにすることで靱性能の改善を目指した。目荒らしは平均深さ3mmとし、PCa袖壁と柱および上下の梁の接合面全面とした。次に、試験体RCSW-5であるが、RCSW-3に用いた横方向の接合筋を省いた。基本的に一体打ちのせん断強度の増大は期待できないが、可能な範囲で増大を期待するために、PCa袖壁の接合面に袖壁巾(75mm)より巾の広い鋼板(幅120mm)を取付けることで、柱と袖壁の接合面の面積を大きくした。ただし、簡略化を優先させているので、接合面の目荒らしは行わない。

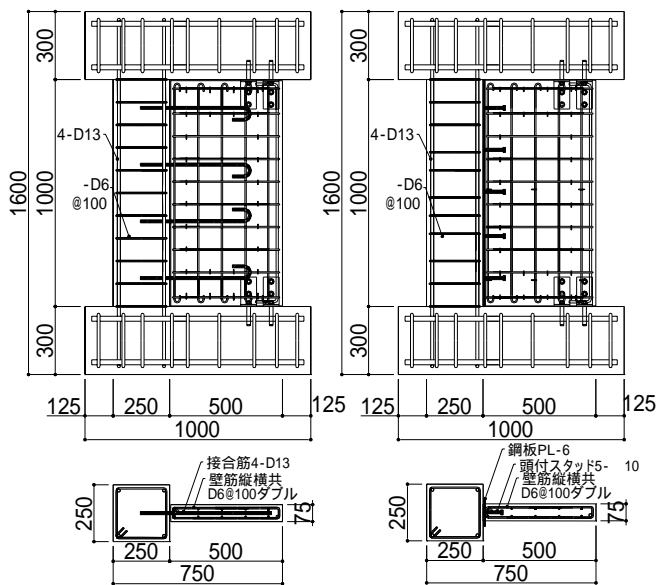
試験体の諸元および使用した材料の特性を表-1、2に、配筋図および袖壁端部の詳細図を図-1、2にそれぞれ示す。柱部とPCa袖壁は同一日に打設しているため、コンクリート強度は同一である。PCa袖壁付き柱の袖壁の基礎への固定は、袖壁端部に不等辺山形鋼と金属系アンカーを用いて行った。この固定は、PCa袖壁付き柱の袖壁縦筋が基礎に定着されているとして考えた一体打ち袖壁付き柱の曲げ耐力と増設PCa袖壁付き柱の曲げ耐力が同等以上になるように設

*1 新潟大学 工学部建設学科 教授 工博 (正会員)

*2 新潟大学大学院 自然科学研究科 大学院生 修士(工学) (正会員)

*3 新潟大学大学院 自然科学研究科 大学院生

計した。試験体 RCSW-4 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接着剤を用いた。なお、柱への定着長さは文献 1)により 130mm としている。



(a) 試験体 RCSW-4 (b) 試験体 RCSW-5

図 - 1 試験体配筋図

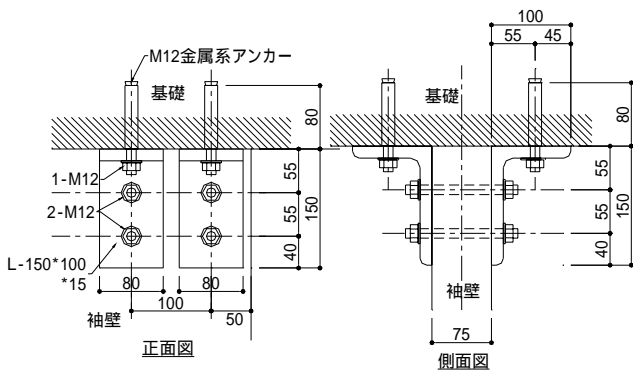


図 - 2 袖壁端部詳細図

表 3 に各試験体の最大強度の計算値を示す。せん断強度は文献 2)3)で提案した方法によった。すなわち、袖壁が滑らない場合、異形断面モデルと袖壁断面モデルの大きい方がせん断強度になる。ここで、異形断面モデルとは柱断面を主に考え、袖壁部分をアーチ機構として考慮するモデルで、袖壁断面モデルとは断面全体を袖壁の厚さをもつ長方形断面に置き換えるモデルである。今回は 2 体とも袖壁が滑らない一体打ちと考えると、耐力計算値は 227kN となる。一方、試験体 RCSW-5 の接合面の設計であるが、表 4 に示すように、式(1)で評価されるせん断破壊時(水平力 227kN)の鉛直部の応力度(2.5N/mm²)より大きな接着力が概ね期待できるようにした。表中の「柱 エポキシ」とは事前に行ったコンクリートとエポキシ間の素材実験での接着力であり、実験結果が 2.1~3N/mm²であったことを意味する。また、「鋼材 エポキシ」とは文献 4)による鋼材とエポキシ間の接着力である。

表 2 材料特性

(1) コンクリート

圧縮強度 (N/mm ²)	26.4
---------------------------	------

(2) 鉄筋

鋼材名	材種	使用箇所
D6	SD295	帯筋、袖壁筋
D10	SD345	袖壁端部筋
D13	SD345	柱主筋、接合筋
PL-6 × 120	SS400	接合面
STUD13 × 100	SS400	

(3) エポキシ樹脂接着剤(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
---------------------------	-----	---------------------------	------

表 1 試験体諸元

試験体名	柱断面	袖壁断面	柱		袖壁			軸力 (kN)	備考
			主筋	帯筋 (帯筋比)	壁筋 (壁筋比)	端部筋	幅止め (幅止筋比)		
RCSW-4	250 × 250	75 × 500	4-D13	-D6 @100	D6@100 ダブル	1-D10	4@100 (0.0013)	4-D13	294 鋼板による接合
RCSW-5	250 × 250	75 × 500	4-D13	-D6 @100 (0.0026)	D6@100 ダブル (0.0085)	1-D10	4@100 (0.0013)	-	

$$Q_V = Q_{AV} \cdot \frac{l}{h} \cdot \frac{1}{\kappa} \quad (1)$$

ここで、 Q_V ：水平せん断耐力、 Q_{AV} ：鉛直接合部のせん断耐力、 l 、 h ：袖壁付き柱の全長及び高さ、 $\kappa=1$ である。

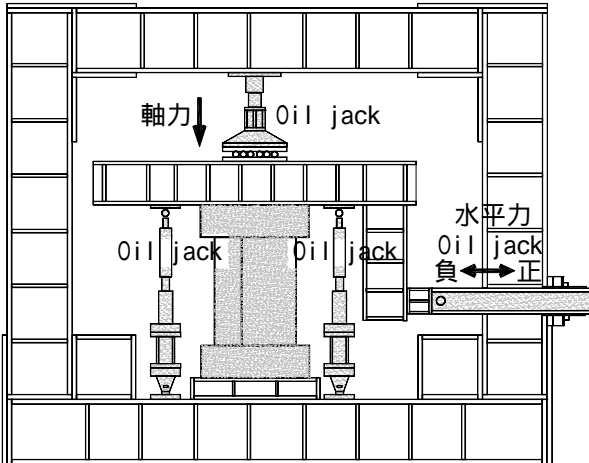


図 - 3 加力装置図

表 4 鉛直接合部の最大応力度の推定と接着強度

せん断耐力時の鉛直部の応力度 (N/mm ²)	接着強度 (N/mm ²)		
	柱 - エポキシ		鋼材 - エポキシ
4.03	2.1	3	4.53

表 3 最大強度の計算値一覧

試験体名	計算値 (kN)				採用した耐力	実験値 (kN)	実 / 計
	せん断耐力			曲げ強度時せん断力			
	異型断面モデル	袖壁断面モデル	袖壁が滑る場合				
RCSW-4	204	227	167	355	227	291	1.28
RCSW-5					227	214	0.94

表 5 実験結果一覧

試験体名	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
RCSW-4	291	0.012	0.0009	0.005	0.014	-	0.028	0.0067	0.015	-
	-271	-0.006	-0.0009	-0.006	-0.008	-	-0.015	-0.087	-0.015	-
RCSW-5	207	0.030	0.0008	0.006	0.012	-	0.015	0.015	-	-
	-214	-0.038	-0.0004	-0.005	-0.014	-	-0.014	-0.02	-	-

3. 荷重 変形関係と破壊状況

図 - 3 に加力装置を示す。中央の軸方向ジャッキにより主たる軸力を与え、左右の軸方向ジャッキで試験体上部の L 型加力治具を水平に保った。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。2 体とも一定軸力 294 k N を与え、1/250、1/150、1/67、1/50 rad の水平部材角を左右にそれぞれ 2 回ずつ繰り返し与え、1/33 rad の水平部材角を 1 回左右に与え、1/25 rad の水平部材角を与えた。

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 - 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、軸歪度は断面軸心位置での上下基礎間の垂直変形を高さで除した値である。また、表 - 5 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 “ - ” は加力中に生じなかったことを意味している。

試験体 RCSW-4 は、± 2 サイクル (1/250 rad) では、コンクリート部にせん断ひび割れが確認できたが、接合面におけるひび割れは確認できなかった。+ 3 サイクル (1/125 rad) 終了時に、試験

体 RCSW-3 のような接合面が破壊する音を確認したが、- 3 サイクルで耐力は低下しなかった。なお、試験体 RCSW - 3 では、+ 1 サイクル (1/250rad) で最大耐力となっており、そのとき、試験体の接合面から接合部のエポキシ樹脂の割れや剥がれが起こったと思われる音を確認している。このときに、試験体の柱部と袖壁部の一体性が失われたと考えられる。その後、- 1 サイクルでは、耐力の低下が確認され、その後の履歴では柱部と袖壁部が別々に水平力に抵抗し、低下した耐力を維持し続けたことが報告されている。

一方、試験体 RCSW-5 は、1/250rad へ向かう + 1 サイクルで袖壁にせん断ひび割れが発生した。変形角 1/417rad で柱と袖壁の境界部に充填したエポキシ樹脂が柱面から剥がれ、接合面のエポキシ樹脂にひび割れが確認された。その後、変形角 1/357rad で水平力が一旦低下した。その後、柱と袖壁が完全に分離し、各々独自の变形をし始めたが、耐力は徐々に回復していき、最

大耐力は加力終了時の-1/26rad 時であった。

図 - 6 は試験体 RCSW-3 (文献 3) より引用) と試験体 RCSW-4 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。この試験体の差は材料強度以外は目荒らしの有無だけであるので、目荒らしの影響を示した図となる。図より、目荒らしを行なわない試験体 RCSW-3 が最大耐力を示すまでは RCSW-4 と同じ挙動を示すが、その後、目荒らしを行った試験体 RCSW-4 の強度が大きく増加することがわかる。また、最大耐力後の耐力低下も急激ではなくなった。ただし、最終的には袖壁と柱が分離し同じ挙動に収束する。

4. せん断耐力の検討

表 - 3 には最大耐力の実験値も示してある。計算値に対する比は、試験体 RCSW-4 が 1.28 となり、このせん断耐力評価法が適用できることが示された。文献 3) で報告した一体打ちの試験体ではその比が 1.07 であり、試験体 RCSW-2 は

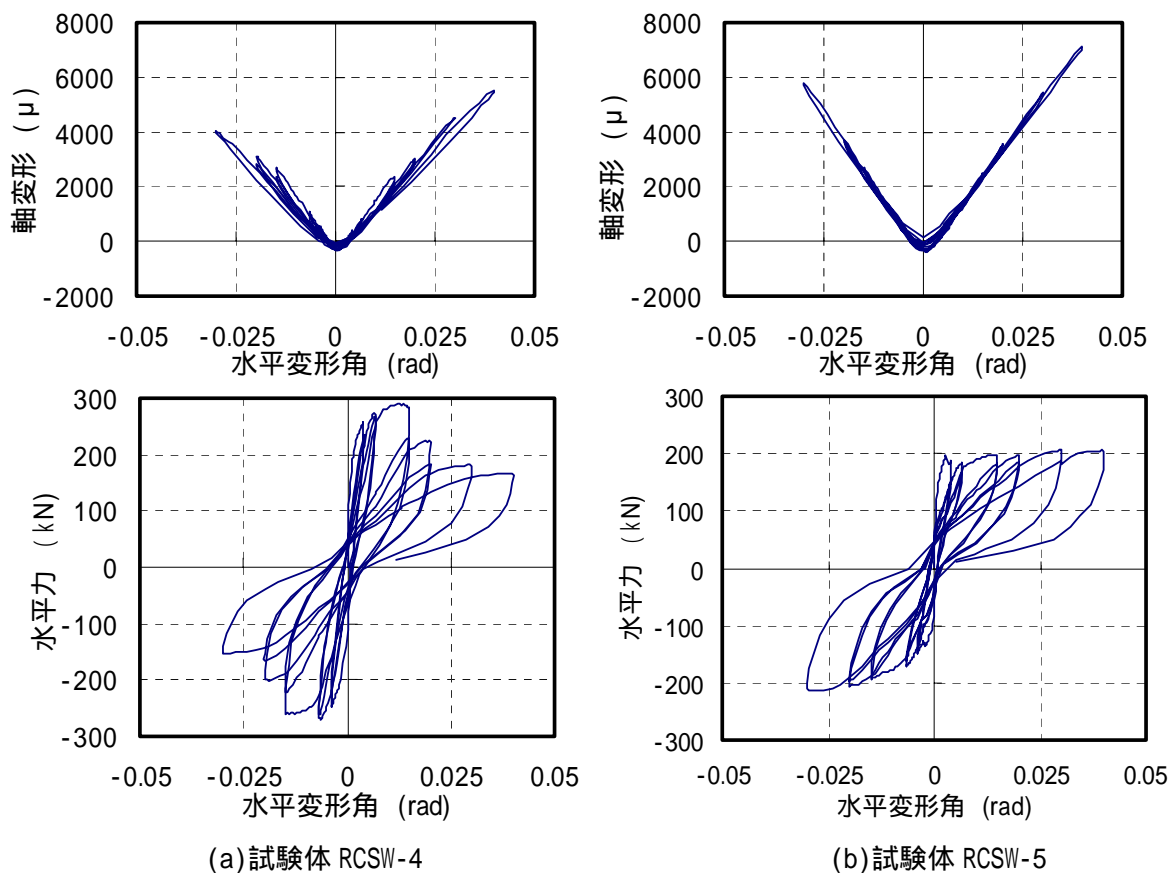
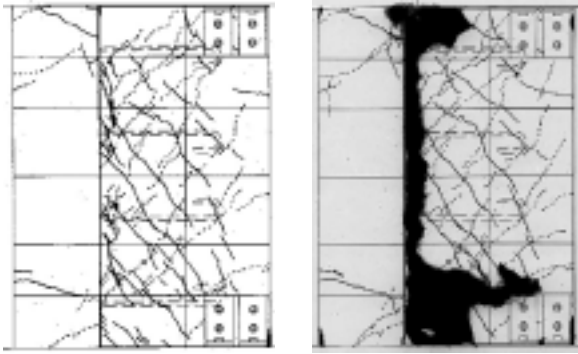
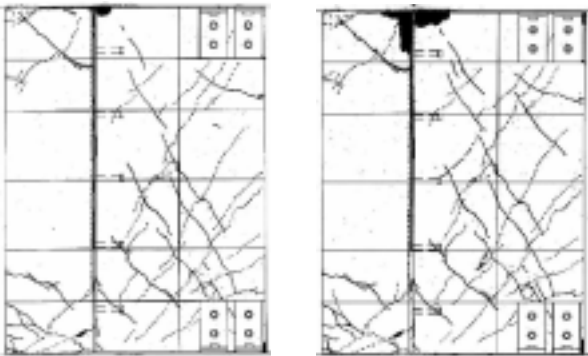


図 - 4 水平力，軸変形 - 水平変形角関係



最大耐力時(+5 サイクル) 最終形
(a) 試験体 RCSW-4



最大耐力時(+9 サイクル) 最終形
(b) 試験体 RCSW-5

図 - 5 ひび割れ図

一体打ちと同程度以上の挙動を示したことがわかる。なお、試験体 RCSW-3 の比は 1.12 だったので、それも大きく上回っていることになる。

一方、試験体 RCSW-5 は前述したように、採用した強度として一体打ちの強度を用いているが、この場合、計算値に対する比が 0.94 となり、

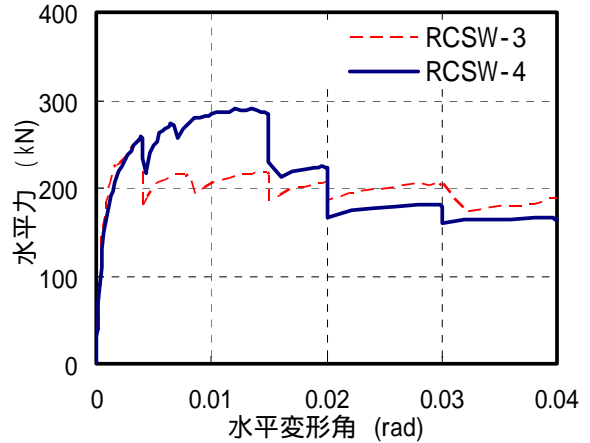
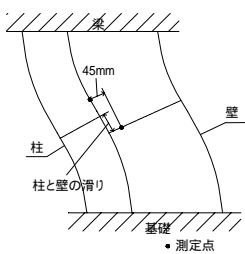
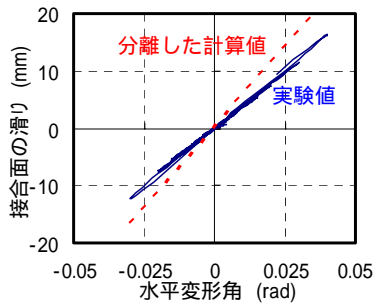


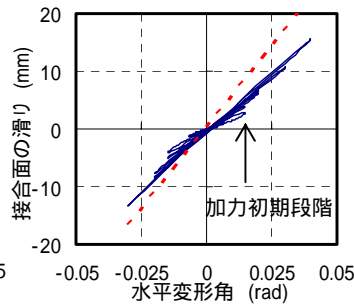
図 - 6 試験体 RCSW-3³⁾ と RCSW-4 の包絡線の比較 (目荒らしの効果)



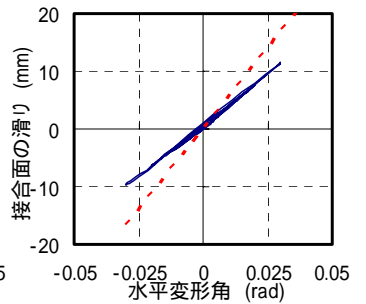
(a) 測定方法



(b) 試験体 RCSW-3⁵⁾

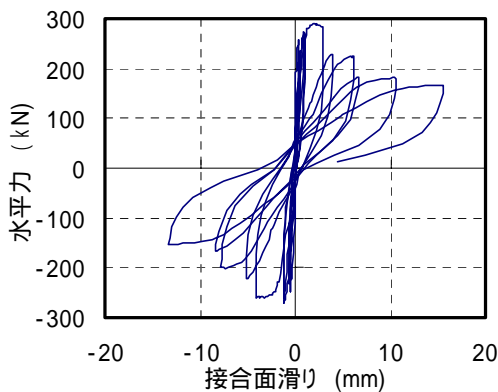


(c) 試験体 RCSW-4

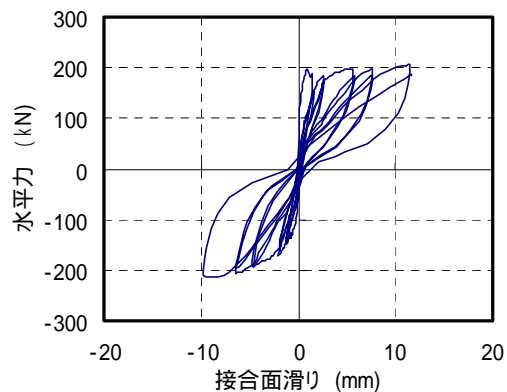


(b) 試験体 RCSW-5

図 - 7 水平部材角 - 接合面滑り関係



(a) 試験体 RCSW-4



(b) 試験体 RCSW-5

図 - 8 水平力 - 接合面滑り関係

一体打ちと同程度の強度は実現できなかった。これは、今回の接合法はエポキシの接着力は脆性的に喪失するので、局部的な接着力の喪失が引き金になり、柱と袖壁が早期に分離したことによると考えられる。本試験体の場合、柱脚部の柱側のエポキシが最初に分離したが、2章で示したエポキシの接着力による一体化の考え方は期待しにくい。ただし、実験値は袖壁が滑る場合の強度 167kN を大きく越えており、また、変形能は十分あり、加力終了時には試験体 RCSW-4 の耐力を上回っている。

5. 滑り量の検討

本節では試験体の柱と袖壁の滑り量を示し、接合面の施工法による違いを検討する。図 7 は水平部材角と接合面の滑り量の関係を文献 3) の試験体 RCSW-3 も含めて示したものである。滑り量の測定点は図 - 7 (a) に示してある。すなわち、柱面と柱面から 45mm 離れた点の相対変位を滑り量としている。図中の破線は、柱と袖壁が、完全に分離していると仮定したときの、弾性状態における滑り量の計算値である。

文献 3) では、通常の後打ち試験体である RCSW-1 において、完全に分離している場合の計算値とほぼ同程度の滑り量が観察されたことが示されているが、この3体はそれより滑り量が少ないことがわかる。また、目荒らしをした試験体 RCSW-4 において図 7 (b) の矢印で示した部分の傾きが緩やかである。すなわち、部材角で 0.015rad 程度までの加力初期においては滑りが抑制されている様子がわかる。この領域でほぼ一体打ちと同様の挙動を示していると考えられる。ただし、最終的には3体ともほぼ同程度の滑り量となり、袖壁と柱が最終的には同じように分離していることがわかる。

また、図 8 には水平力と接合面の滑り量の関係を示す。試験体 RCSW-4 では、加力初期に滑りが少ないが、その後は図 4 に示した荷重変形関係とほぼ同じ形状であること、試験体 RCSW-5 は加力初期から荷重変形関係と同じ

形状であることがわかる。

6. まとめ

(1) エポキシ樹脂を用いた簡易プレキャスト袖壁の接着面に目荒らしを行い、その効果を検討した結果、目荒らしによるせん断強度は大きく増加し、また、最大耐力後の耐力低下も急激ではなくなる効果があった。施工の簡略化のために目荒らしは極力避けた方が望ましいが、一方で、そのメカニズムは検討する必要がある。

(2) 主に軸力抵抗能力を期待する場合を想定し、より簡易的な接合法として接合筋を用いない試験体の実験を行った。その結果、接合筋を用いない試験体の最大耐力は一体打ちのせん断強度に達しなかったが、変形能は増大した。

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佐藤啓典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) 日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針・同解説，日本建築防災協会，2001
- 2) 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
- 3) 本多良政，加藤大介他：PCa 袖壁で簡略補強された既存 RC 柱に関する実験，第 26 回コンクリート工学年次論文報告集，Vol.26，No.2，pp.253-258，2004.7
- 4) 宮内靖昌他：鉄骨ブレースの接着接合により耐震補強された RC 架構の力学性状，第 20 回コンクリート工学年次論文集，Vol.20，NO.3，pp.1153-1158，1998
- 5) 本間敦，加藤大介他：PCa 袖壁で補強された既存 RC 柱の静加力実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，C- ， pp.555-556，2004.8