

論文 増設袖壁で補強された RC 造柱のせん断耐力評価法

本多 良政^{*1}・加藤 大介^{*2}・南部 昌隆^{*3}・本間 敦^{*4}

要旨：本論文では、増設袖壁付き柱の接合面が滑るときの水平せん断力に着目し、これまでに提案してきた評価法の再検討を行っている。柱と増設袖壁の鉛直接合面のせん断応力度と滑りの関係を把握するために、直接せん断実験を行い、その関係を確認した。再検討した評価法を用いて直接せん断実験結果より計算した増設袖壁付き柱のせん断耐力は、実験値と概ね一致しており、妥当に評価できることを確認した。

キーワード：増設袖壁付き柱，せん断耐力評価法，直接せん断実験，RC 造，耐震補強

1. はじめに

既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震改修設計指針¹⁾では、増設 PCa 袖壁付き柱のせん断耐力は袖壁が圧縮斜材的に働くとして、柱と袖壁のせん断耐力の和となっており、一体打ち袖壁付き柱のせん断耐力に比べ、小さく評価している。

筆者らは、これまでに増設袖壁付き柱のせん断耐力の評価法を提案してきた²⁾。その評価法は、接合面で滑りが生じない場合、一体打ち袖壁付き柱と同等の耐力になるとし、滑る場合は、柱と袖壁のせん断耐力の和として評価している。この評価法は、後打ちコンクリート袖壁付き柱や増設 PCa 袖壁付き柱のような施工方法に関係なく適用できるように提案している。一方、滑る場合と滑りが生じない場合の場合分けは、せん断力伝達機構と接合面のなす角度で判断している。この角度は接合面における摩擦係数から判断しているが、明確な係数を提案できていない。そのため、場合分けが曖昧となっている。

本報告では、柱と袖壁の接合面の挙動を把握するために、柱と袖壁の接合面を模した形状の試験体で直接せん断実験を行った。さらに、増設袖壁付き柱の挙動と接合面が滑る時の水平せ

ん断力との関係を考察することにより増設袖壁付き柱のせん断耐力評価法の再検討を行った。

2. 接合部のせん断実験

2.1 実験概要

増設袖壁付き柱の鉛直接合面のせん断応力度と滑りの関係を把握するために、柱部と増設袖壁部を想定した L 型の部材を接合して S 型試験体を作成し、直接せん断加力実験を行った。実験のパラメータは施工方法及び接合筋量としている。

試験体の諸元を表-1 に、施工方法別の試験体の配筋詳細を図-1 に示す。施工方法は文献 2) 3) の試験体 RCSW-1, RCSW-3 及び CSW-H に用いた施工方法とし、一体打ち、後打ち及び PCa 部材の接着接合とした。接合筋は D6, D10 および D13 を用いた。

柱の断面は 150×150mm で、袖壁の断面は 75×150mm とした。柱と袖壁の接合面は 75×242mm としている。後打ち及び PCa 試験体の接合面にはシアークッターを設けていない。

一体打ち試験体 M-6 の接合筋は 4-D6 とし、閉鎖型の接合筋をダブルに配置している。試験体 M-10 の接合筋は 2-D10 とし、図-1 (c) のよう

*1 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)

*2 新潟大学 工学部建設学科 教授 工博 (正会員)

*3 北野建設株式会社 修士 (工学)

*4 前田建設工業株式会社 修士 (工学)

表-1 試験体の諸元

試験体名	柱断面 B×D (mm)	壁厚 (mm)	接合部 断面	柱主筋	帯筋	接合筋	接合筋比	施工方法
M-6	150×150	75	75×242	4-D13	□-D6@100	4-D6	0.0071	一体打ち
M-10						2-D10	0.0078	
P-10						2-D10	0.0078	後打ち
P-13						2-D13	0.0140	
PCa-0						—	—	PCa
PCa-10						2-D10	0.0078	
PCa-13						2-D13	0.0140	

なコ型のシングル配筋としている。

後打ち試験体は、柱部を先に施工し、袖壁部を後打ちした。接合筋は柱部にケミカルアンカーを用いて定着させている。袖壁部への定着は、定着長が十分に確保できないために機械式定着としている。

PCa 試験体は、柱と壁の間に 5 mm の間隔を設け、この部分にエポキシ樹脂を注入した。接合筋はあらかじめ袖壁部に配筋した。柱部への接合筋の定着はエポキシ樹脂接着剤注入時に接合筋と穿孔の間に注入されるエポキシ樹脂接着剤で行った。そのため、定着部の耐力は接着系アンカーと同等の性能を持っていると判断している。試験体 PCa-0 は接合筋を入れず、エポキシ樹脂接着剤だけで一体化させている。

使用した材料の特性は、表-2 に示す。

加力は、アムスラー型圧縮試験機で試験体に

表-2 材料特性

(a) コンクリート

部位	圧縮強度 (N/mm ²)
一体打ち, PCa, 後打ち(柱部)	20.5
後打ち(壁部)	22.2

(b) 鉄筋

	材種	降伏強度 (N/mm ²)	最大強度 (N/mm ²)
D6	SD295	330	489
D10	SD345	374	510
D13	SD345	372	558

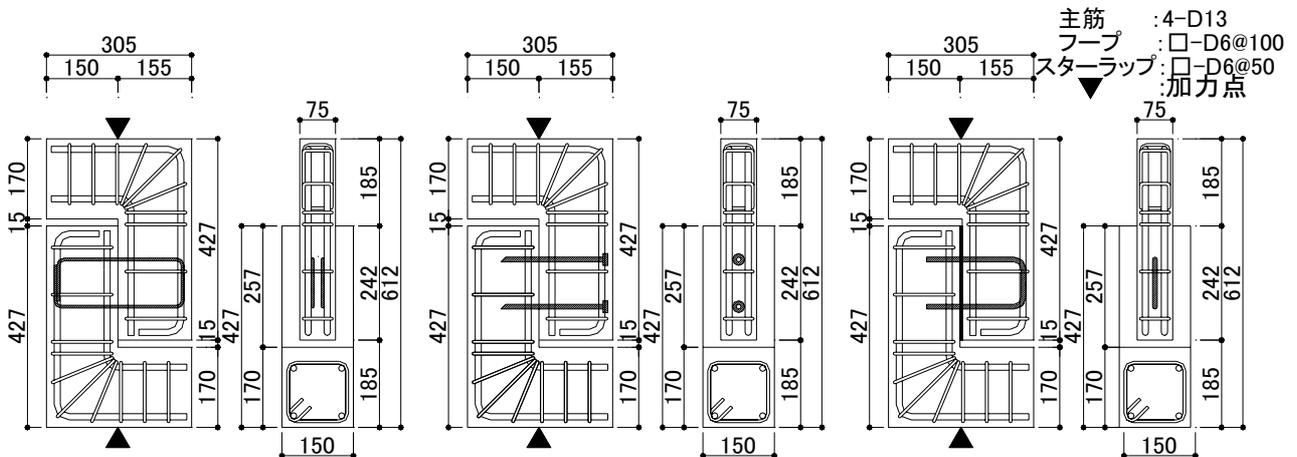
(c) エポキシ樹脂接着剤 (メーカー試験値)

接着強度 (N/mm ²)	8.8	引張強度 (N/mm ²)	35.5
------------------------------	-----	------------------------------	------

圧縮力を加え、荷重、接合面のずれを測定した。

2.2 実験結果

実験結果を表-3 に示す。また、図-2 にせん断応力度-ずれ関係を示す。表中の最大時ず



(a) 一体打ち試験体
(例: 接合筋4-D6)

(b) 後打ち試験体
(例: 接合筋2-D10)

(c) PCa試験体
(例: 接合筋2-D13)

図-1 配筋詳細図

れは最大せん断応力度時のずれを示している。

一体打ち試験体 M-6 の最大せん断応力度が試験体 M-10 より大きくなっている。これは試験体 M-6 の接合筋がダブル配筋となっているために、ダブル配筋の間のコンクリートが接合筋により拘束効果を受け、コンクリート強度が高くなっていたためと思われる。

接合筋が2-D10である一体打ち試験体M-10と後打ち試験体P-10は同程度の最大せん断応力度となっていた。また、後打ち試験体P-13の最大せん断応力度は試験体P-10より高くなっており、最大せん断応力度時のずれ量が最も大きかった。

PCa 試験体 PCa-0 はエポキシ樹脂接着剤だけで一体化させた試験体の挙動を示している。最大せん断応力度に達した後、袖壁部のコンクリートがエポキシ樹脂に沿ってせん断破壊した。試験体 PCa-13 の最大せん断応力度は試験体 PCa-10 と概ね同じとなっていた。

表-3の式(1)による計算値は、式(1)に示すMattockのせん断強度式⁴⁾により計算した各試験体の強度を示している。また、実験値と計算値の比も表中に示している。

$$v_u = 2.74 + 0.8(\rho_v f_y + \sigma_N) \quad (1)$$

v_u : 接合面のせん断強度(N/mm²)

$\rho_v = \sum a_s / A$

a_s : 接合筋の断面積

A : 接合面の断面積

f_y : 接合筋の降伏強度(N/mm²)

σ_N : 接合面に垂直方向の軸力(N/mm²)

式(1)は後打ちコンクリートタイプを想定した平均的な強度を与える式である。一体打ちと後打ち試験体の実験値が計算値より小さな値を示したものがあるが、実験値と計算値の比が0.85~1.30となっている。また、PCa 試験体においても、試験体PCa-13の計算値が実験値より高くなっているが、実験値と計算値の比が0.87~1.16となっており、PCa 試験体に対しても概ね一致しているといえる。

3. 増設袖壁付き柱のせん断耐力評価

3.1 せん断耐力評価

文献2)では、増設袖壁付き柱のせん断耐力は一体打ちと考えた場合のせん断耐力(図-3(a),(b))及び鉛直接合面で柱と袖壁が滑り別々の挙動をする場合のせん断耐力(図-3(d))により評価している。滑るか否かに関する評価は、せん断伝達機構と接合面がなす角度により行われてきた。しかし、接合面の摩擦係数が明確に定ま

表-3 実験結果

試験体名	最大せん断応力度 (N/mm ²)	最大時ずれ (mm)	式(1)による計算値 (N/mm ²)	実/計
M-6	5.97	0.746	4.59	1.30
M-10	4.55	0.489	4.99	0.91
P-10	4.45	0.272	4.99	0.89
P-13	5.84	0.903	6.88	0.85
PCa-0	3.17	0.057	2.74	1.16
PCa-10	5.51	0.562	4.99	1.10
PCa-13	5.97	0.568	6.88	0.87

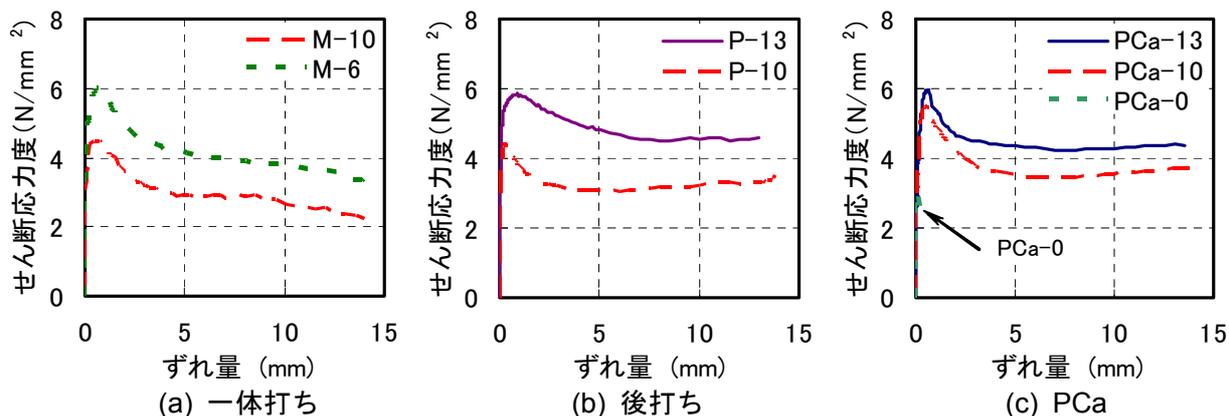


図-2 せん断応力度-すべり量関係

っていないために、評価が曖昧となっていた。

そこで、増設袖壁付き柱の鉛直接合面で滑る時のせん断力を用いて、せん断耐力評価法を再検討する。

増設袖壁付き柱の鉛直接合面で滑る時のせん断力は鉛直接合面のせん断強度を用いて、以下のように検討する。すなわち、増設袖壁付き柱の断面を異型断面から袖壁厚さを持つ長方形断面にモデル化し(図-3(c))、弾性理論の考えより鉛直接合部が滑る時のせん断強度を用いて式(2)から鉛直接合部で滑る時の増設袖壁付き柱のせん断力を算定する。

$$Q_V = Q_{AV} \cdot \frac{l}{h} \cdot \frac{1}{\kappa} \quad (2)$$

$$Q_{AV} = \tau_{AV} \cdot t \cdot h$$

Q_V : 鉛直接合部が滑る時の水平せん断力

Q_{AV} : 鉛直接合部のせん断力

τ_{AV} : 鉛直接合部のせん断応力度

l, h : 袖壁付き柱の全長及び高さ

(図-3(c))

t : 袖壁厚

$\kappa=1$ とする。

袖壁付き柱のせん断耐力は、一体打ちのせん断耐力と鉛直接合面で滑る時のせん断力のうち、鉛直接合面で滑る時のせん断耐力が大きい場合には、一体打ちのせん断耐力を採用する。鉛直接合面で滑る時のせん断力が小さい時は、柱と袖壁が分離し別々の挙動をする。そのため、鉛直接合面で滑る時のせん断力が小さい時は、柱と袖壁が完全に分離し別々に挙動した時のせん断耐力を算定する。

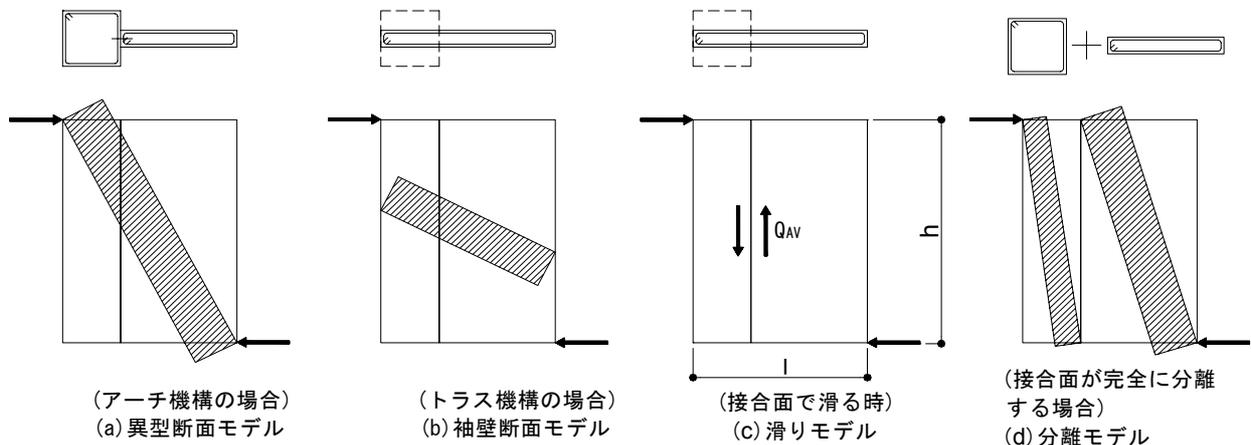


図-3 増設袖壁付き柱の耐力評価モデル

せん断耐力の大きい方をせん断耐力とした。

3.2 評価法の検証

(1) 検証方法

文献 2),3)で報告した増設袖壁付き柱実験の結果と直接せん断実験結果から推定する水平力の関係を比較し、評価法の妥当性を検証する。直接せん断実験結果から推定する水平力は直接せん断実験で得られた接合面に生じるせん断応力度を式(2)に代入して算出した。直接せん断実験の試験体と文献 2),3)の試験体の鉛直接合面の接合筋比及びコンクリート強度が違うので、接合面のせん断応力度-滑り関係が違ふと考えられる。そこで、直接せん断実験のせん断応力度に接合筋比に応じた補正を行った。

検証に用いた増設袖壁付き柱試験体の諸元を表-4に示す²³⁾。表中の対応するせん断実験試験体は、検討のために使った直接せん断実験試験体を示している。試験体 RCSW-2 は PCa 袖壁を使った試験体であるが、接合面が滑らないように柱と袖壁の接合面に山形鋼を使って柱と袖壁を固定した。その結果、接合面の滑りがまったく起こらなかった。そのため、今回の検討においては、直接せん断実験の一体打ち試験体と比較を行っている。また、図-4に試験体の配筋図の例を示す。

(2) 直接せん断実験の補正方法

鉛直接合面のせん断応力度は接合筋比の違いを考慮して、直接せん断実験のせん断応力度に補正値を乗じて算出した。補正値は、式(1)を用

表-4 増設袖壁付き柱試験体諸元²⁾³⁾

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)	施工方法	対応するせん断実験試験体
				主筋	帯筋 (帯筋比)	縦横筋 (壁筋比)	端部筋				
RCSW-1	250*250	75*500	1000	4-D13	□-D6 @100 (0.0026)	D6@100 ダブル (0.0085)	1-D10	D10@100	294	あと施工	P-10
RCSW-2								-		PCa 袖壁	M-6
RCSW-3								4-D13		PCa 簡略袖壁	PCa-13
CSW-H								-		一体打ち	M-6

いて増設袖壁付き柱試験体及び直接せん断実験試験体の接合面のせん断強度を算出し、それらの比とした。

コンクリート強度の違いによる補正であるが、式(1)による接合面のせん断強度はコンクリート強度が 20~30N/mm² の範囲であれば、コンクリート強度の影響を受けない⁴⁾。増設袖壁付き柱試験体及び直接せん断実験試験体のコンクリート強度がその範囲内に入っているために、コンクリート強度の違いによる影響がないとして補正を行わない。

補正した接合面のせん断応力度を使って、式(2)により水平せん断力を算出する。

(3) 検証結果

図-5 に、増設袖壁付き柱の実験値と接合部せん断実験結果から推定した水平力-滑りの関係を示す。袖壁付き柱の滑り量は、加力中に測定した試験体の鉛直接合部中央部の柱と袖壁の滑りを測定した値を用いている。直接せん断実験から推定した計算値は前項により算出した結

果を示している。一体打ちモデルは接合面で滑らないモデルで、図-3の(a)異型断面モデルと(b)袖壁断面モデルの大きい方である。分離モデルは図-3(d)の接合面が完全に分離したときの耐力である。

試験体

RCSW-1 では、増設袖壁付き柱の実験値(以下、実験値)と直接せん断実験結果より算出した計算値(以下、計算値)が概ね一致している。すなわち、試験体 RCSW-1 の挙動は接合面の滑り挙動が卓

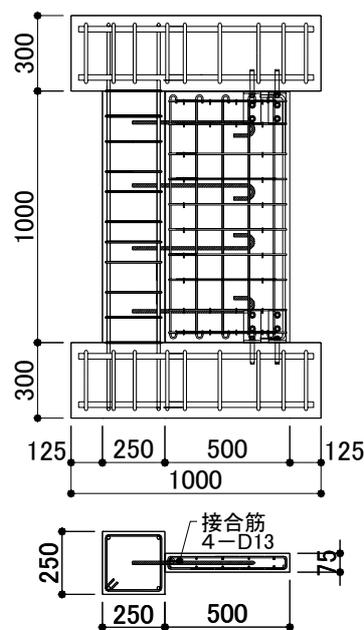


図-4 増設袖壁付き柱試験体の配筋図 (例: 試験体 RCSW-3)

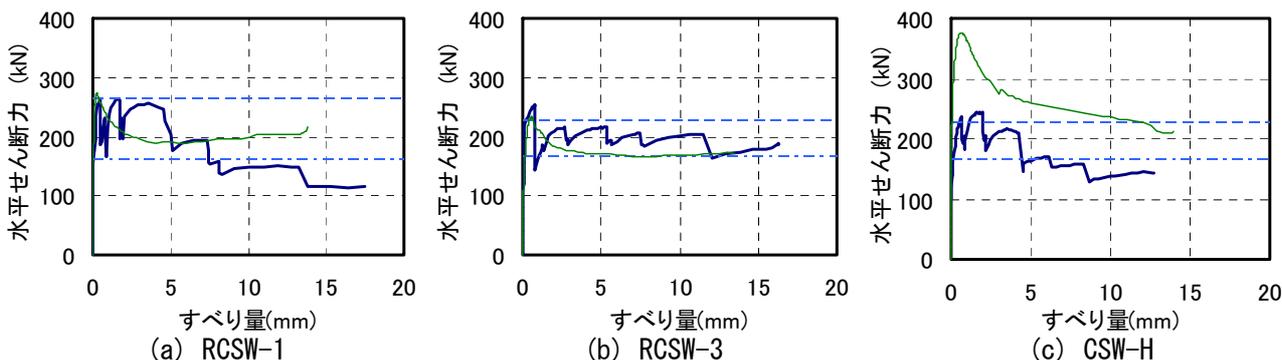
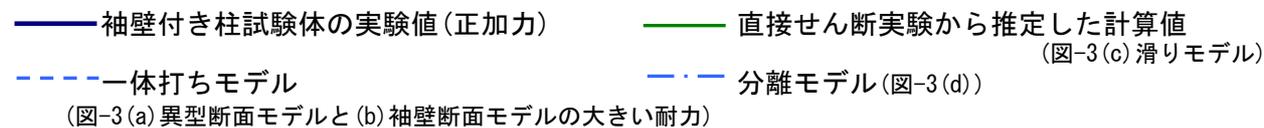


図-5 水平力-滑り量関係²⁾³⁾

表－5 増設袖壁付き柱のせん断耐力検討結果²⁾³⁾

試験体名	実験値 (kN)	計算値 (kN)					採用した 耐力	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 異型断面 モデル	袖壁断面 モデル	完全に 分離する 場合	袖壁が 滑る時			
RCSW-1	264	245	265	161	247	351	247	1.07
RCSW-2	318				338		265	
RCSW-3	254	204	227	167	210	355	210	1.20
CSW-H	244				338		227	

越していることがわかる。実験値では、最大耐力以降、滑り量が 4.5mm まで耐力を保持できていた。しかし、計算値は最大耐力以降、耐力が急激に低下していた。

試験体 RCSW-3 では、最大耐力が実験値と計算値が概ね同じであった。すなわち、試験体 RCSW-3 の挙動においても、接合面の滑り挙動が卓越していることがわかる。最大耐力以降は、実験値及び計算値共に滑り量の増大に伴い耐力が低下していった。

試験体 CSW-H は最大耐力時の計算値は実験値より大きくなっている。すなわち、試験体 CSW-H は接合面の滑りにより耐力が決まっていなかったことがわかる。

以上より、鉛直接合面の滑りを考慮した評価法で、鉛直接合面で滑りが生じる増設袖壁付き柱のせん断耐力を算定することは可能であることがわかった。

(4) 設計式の検討

ここでは、以上の結果を用いて設計式への可能性を探る。表－5 は再検討した評価法により計算した結果を示したものである。なお、袖壁が滑る時のせん断力は直接せん断実験結果を Mattock の平均式による補正等を行うなどして推定しているために、他の安全側に作成された設計式と比較するには問題があると思われる。そのため、表中の滑る時のせん断耐力は、安全率として 1 割の低減を行っている。検討の結果、試験体 RCSW-1 と RCSW-3 のせん断耐力は、袖壁が滑る時の耐力で決まることがわかった。文献 3) では、試験体 RCSW-3 はエポキシ樹脂で接

着されているために、一体化されていると判断し、滑らない時の耐力を採用したが今回の検討で、計算では接合面で滑るということがわかった。また、実験値と計算値の比は 1.07～1.20 となっており、妥当に評価できていることがわかる。

4. まとめ

- (1) 増設袖壁付き柱の鉛直接合面を模したの直接せん断実験を行い、接合面の挙動を確認することができた。
- (2) 増設袖壁付き柱の鉛直接合面が滑る時を考慮して文献 2) の評価法を再検討した。その結果、増設袖壁付き柱実験の結果と再検討した評価法で計算した増設袖壁付き柱のせん断耐力は概ね一致しており、妥当に評価できることを確認した。

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) A. F. Shaikh: Proposed Revision to Shear - Friction Provisions, ASCE, Vol.107, ST10, October 1981
- 5) 日本建築学会：壁式プレキャスト構造の鉛直接合部の挙動と設計法、日本建築学会、1989