

流し込み成形による外殻PCa柱部材の開発

—その2 柱主筋の付着強度—

細矢 博* 浅野芳伸* 河野政典*
 小河義郎** 上西 隆***

1. はじめに

鉄筋コンクリート造建築物の施工の合理化を目的として、薄肉中空断面プレキャストコンクリート（以下、外殻PCa）を型枠兼構造体として柱に用いる工法の開発を進めてきた。外殻PCaは、遠心成形もしくは流し込み成形により製作され、建設現場で柱主筋に勘合された後、中空部に後打ち（中詰め）コンクリートが打設されて柱部材として一体化される。しかし、外殻PCaを柱に用いた場合には、柱主筋の付着強度は、外殻PCaと後打ちコンクリートの一体性を確保するために外殻PCa内側表面に設けられたシアコッターの形状や寸法、面積比に影響されることが既往の研究で報告¹⁾されている。

このため、外殻PCa柱工法の開発にあたり、外殻PCa柱の主筋の単調引張載荷実験と柱部材の水平繰り返し載荷実験を行い、主筋の付着強度を実験的に検証し、さらに付着強度の算定方法について検討したので報告する。

なお、本開発研究は、(株)奥村組、五洋建設(株)、大末建設(株)、(株)松村組の4社が共同で行ったものである。

2. 単調引張載荷実験

2.1 試験体

試験体の一覧を表-1に、代表的な試験体の断面を図

表-1 試験体諸元

試験体名	コンクリート 設計基準強度	主筋 pt	帯筋(組数) pw	コッター 形状	有効コッター比, [コッター面積比]	
シリーズ1	No.1-1	F _c =75N/mm ²	4-D10@60	矩形型	0.56, [0.39]	
	No.1-2		(6) 1.18%	市松型	0.53, [0.36]	
	No.2-1		4-D10@90	矩形型	0.56, [0.39]	
	No.2-2		(4) 0.79%	市松型	0.53, [0.36]	
	No.3-1		後打ち部	2-D10@45	矩形型	0.56, [0.39]
	No.3-2		F _c =60N/mm ²	(8) 0.79%	市松型	0.53, [0.36]
	No.4-1		6-D19	2-D10@90	矩形型	0.56, [0.39]
	No.4-2			(4) 0.39%	市松型	0.53, [0.36]
シリーズ2	No.5-1	F _c =45N/mm ²	4-D10@60	矩形型	0.56, [0.39]	
	No.5-2		(6) 1.18%	市松型	0.53, [0.36]	
	No.6-1		4-D10@90	矩形型	0.56, [0.39]	
	No.6-2		(4) 0.79%	市松型	0.53, [0.36]	
	No.7-1		後打ち部	2-D10@45	矩形型	0.56, [0.39]
	No.7-2		F _c =30N/mm ²	(8) 0.79%	市松型	0.53, [0.36]
	No.8-1		1.09%	2-D10@90	矩形型	0.56, [0.39]
	No.8-2			(4) 0.39%	市松型	0.53, [0.36]

有効コッター比: $k_{ec} = \sum L_{ic} / L$,
 $\sum L_{ic}$: 後打ち部コッター付け根長さの総和、L: 外殻PCa長さ
 コッター面積比: $k_{eac} = \sum A_{ic} / A_i$
 $\sum A_{ic}$: コッター面積の総和、 A_i : 外殻PCa内側表面積

—1に示す。試験体の水平断面は、高層建築物の柱部材の断面を約1/2に縮小した模型である。断面寸法は40cm×40cm、柱主筋に相当する引張鉄筋は1列6-D19(SD785相当)である。引張鉄筋の付着長さ(試験区間長さ)は、主筋の付着応力が安定する区間を確保し、かつ引張鉄筋が引張降伏しないように34.2cm (=18d_b, d_b: 1.9cm)とした。シアコッターの形状、寸法、ならびにピッチは、実際の建築物の柱部材に用いられる外殻PCaと対応させて縮小した。試験体はシリーズ1とシリーズ2からなる。シリーズ1とシリーズ2では、引張鉄筋は同一であるものの外殻PCaコンクリートならびに後打ちコンクリートの設計基準強度が異なる。また、シリーズ1、シリーズ2はそれぞれ4体の試験体から構成されており、それら4体の試験体は4種のフープ筋の配筋となっている。さらに、各試験体は、一体で2種の付着実験が可能ないように、引張鉄筋に面する界面(相対する2面)に、図-2に示す異なる形状・寸法の矩形型と市松型のシアコッターをそれぞれ設けている。実験はこれらの実験因子を組み合わせ合計16種おこなった。シアコッターの有効コッター比および面積比は、矩形型がそれぞれ0.56, 0.39、市松型が0.53, 0.36である。

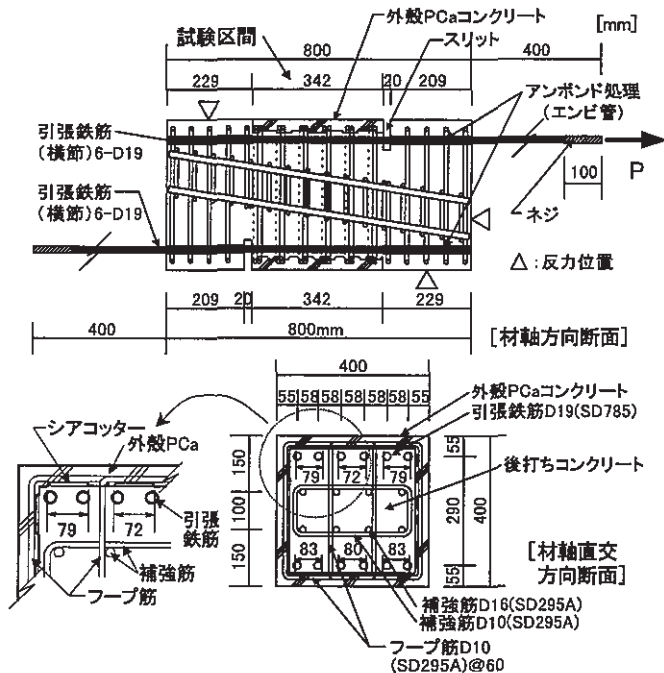


図-1 試験体形状・寸法 (No.1, No.5)

*建築研究室 **環境研究室 ***本社建築部

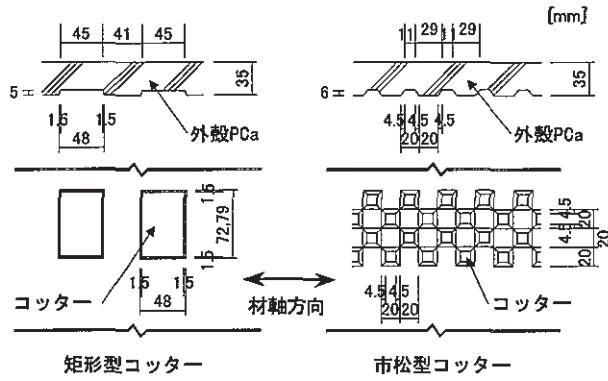


図-2 シアコッター形状・寸法

2.2 材料強度

1) コンクリート コンクリートの材料試験結果を表-2に示す。外殻PCaコンクリート、後打ちコンクリートともに、用いたセメントは普通ポルトランドセメントであり、粗骨材は最大粒径が15mmの砕石である。なお、コンクリートは材軸方向に縦打ちした。

2) 鉄筋 鉄筋の材料試験結果を表-3に示す。柱主筋に相当する引張鉄筋にはD19 (SD785相当)を用い、閉鎖型フープ筋にはD10 (SD295A)を用いた。

2.3 載荷方法

アクチュエータを用いて、変位制御により、試験体の一列の鉄筋を最大付着耐力が確認できるまで同時に同変位量与えて一方向に単調に引き抜いた。この際、鉄筋の載荷端側にはネジを設けておき、この部分をアクチュエータのピン先端に設けたアタッチメントに球面座金を介してナット定着した。載荷時には、アクチュエータにより、このアタッチメントを介してナットを引張り、鉄筋に引張力を伝達した。

2.4 破壊状況

全試験体とも、外観上は柱主筋に相当する引張鉄筋に沿ったひび割れは少なく、亀甲状のひび割れが生じ破壊する同様な破壊形式をとった。しかし、実験後に、中子筋を有する試験体No.6、中子筋を有しない試験体No.3, No.4, No.7を切断すると、写真-1、写真-2にみられるように、引張鉄筋に沿ったひび割れが発生していた。このため、全試験体ともサイドスプリット型付着破壊と判

表-2 コンクリート材料試験結果

試験体(部位)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度時 ひずみ度 (×10 ⁻⁶)	割裂強度 (N/mm ²)	弾性係数* (kN/mm ²)
シリーズ1 外殻PCa部	94.4	3468	5.86	34.3
後打ち部	62.0	2858	4.79	32.9
シリーズ2 外殻PCa部	69.8	3561	3.97	30.9
後打ち部	40.0	2784	3.26	27.4

*: 弾性係数は圧縮強度の1/3の応力における割線係数

表-3 鉄筋材料試験結果

呼び名	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ度 (×10 ⁻⁶)	引張強度 (N/mm ²)	破断伸び (%)
D19	857	4610	945	10.0
D10	385	2240	530	28.3

定した。また、これら試験体No.3, No.4, No.7では、中子筋を有せずそのダボ効果を期待できないが、この条件下でも、写真に示すように、外殻PCaと後打ちコンクリートとの打継ぎ境界におけるシアコッターのせん断破壊および支圧破壊はみられなかった。今回設定したシアコッター面積比程度が確保できれば、付着割裂破壊以前にシアコッターの破壊が先行しないことが確認された。

2.5 最大耐力

最大平均付着強度の一覧を表-4に示す。また、後打ちコンクリート強度が $\sigma_B=40\text{N/mm}^2$ であったシリーズ2の試験体について、最大平均付着強度をコンクリート圧縮強度の平方根で無次元化した値とフープ筋比との関係を図-3に示す。本実験試験体のコッター面積比程度であれば、矩形型、市松型コッターにかかわらず引張鉄筋の付着強度は概ね同等の値を示した。また、同一のフープ筋比($p_w=0.79\%$)であれば、中子筋がある場合はない場合に比べ、シリーズ1, 2の平均で約1.2倍の付着強度の上昇を示し、中子筋は鉄筋の付着強度の確保に有効であることが本実験においても認められた。

2.6 最大付着強度の実験値と計算値との関係

最大付着強度の実験値と既往の付着割裂強度式から得られた計算値との関係を図-4に示す。用いた強度式は、①藤井・森田式²⁾、②終局強度型耐震設計指針式³⁾、③New RC設計ガイドライン式⁴⁾、④角式⁵⁾、⑤靱性保証型耐震設計指針式⁶⁾である。ここで、コンクリート強度としては、外殻PCa部も含め一律に後打ち部のコンクリートの圧縮強度を用いた。

藤井・森田式は、中子筋のないタイプの試験体では、計算値に対する実験値の比の平均値は1.12とよい対応を示したが、中子筋のあるタイプについては平均値が1.48

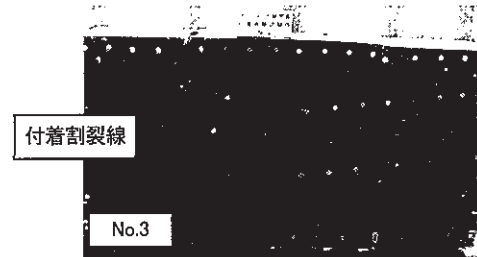


写真-1 試験体切断面(材軸方向)

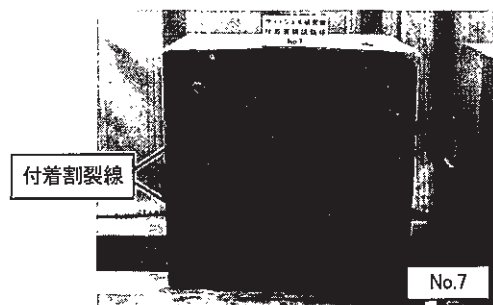


写真-2 試験体切断面(材軸直交方向)

表-4 最大平均付着強度

試験体	実験値		無次元化 付着強度 $\tau_{bu} = \tau_{exp} / \sqrt{\sigma_B}$	
	最大荷重 $P_{tu} (kN)$	最大平均 付着強度 $\tau_{bu} (N/mm^2)$		
シリーズ1	No.1-1	1040	8.44	1.07
	No.1-2	1177	9.56	1.21
	No.2-1	991	8.05	1.02
	No.2-2	834	6.78	0.86
	No.3-1	738	5.99	0.76
	No.3-2	815	6.62	0.84
	No.4-1	533	4.33	0.55
	No.4-2	600	4.87	0.62
シリーズ2	No.5-1	1022	8.30	1.31
	No.5-2	1041	8.45	1.34
	No.6-1	865	7.02	1.11
	No.6-2	809	6.57	1.04
	No.7-1	657	5.34	0.84
	No.7-2	691	5.61	0.89
	No.8-1	510	4.14	0.65
	No.8-2	572	4.64	0.73

No.*-1: 矩形型コッター、 No.*-2: 市松型コッター

$$\tau_{bu} = \tau_{exp} / \sqrt{L \cdot \phi \cdot N}$$

L: 試験区間の鉄筋長さ(=34.2cm)

ϕ : 鉄筋の公称周長(=6.0cm)

N: 鉄筋の本数(6本)

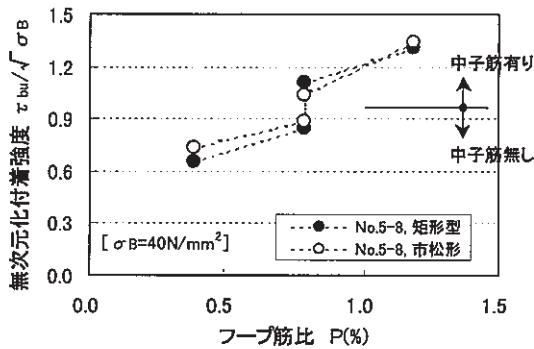


図-3 無次元化最大平均付着強度とフープ筋比との関係

であり、付着強度を過小に評価した。これは、本式が中子筋のない試験体による実験結果から導き出されたことによるものと考えられる。終局強度型耐震設計指針付着割裂強度式は、森田・藤井式と同様な傾向を示し、中子筋のないタイプの試験体では、計算値に対する実験値の比は1.10とよい対応を示したが、中子筋のあるタイプについては、平均値が1.40とかなり安全側に評価する傾向がみられた。New RC設計ガイドライン付着割裂強度式では、中子筋のある試験体については、前記の2式に比べ計算値に対する実験値の比の平均値は1.23、変動係数は0.08とよい対応を示したが、今回の実験でフープ筋量が最も少ない試験体($p_w=0.39\%$)に対しては、強度を過小に評価した。角式は、他の式に比べ全体的により対応を示した。中子筋のない試験体では、計算値に対する実験値の比の平均値は1.07であったものの、中子筋のある試験体では平均値が1.25となり、中子筋の効果を若干小さめに評価した。一方、靱性保証型耐震設計指針付着割裂強度式は、計算値に対する実験値の比は1.26~1.63、平均値は1.48であり、全体的に安全側に評価したが、変

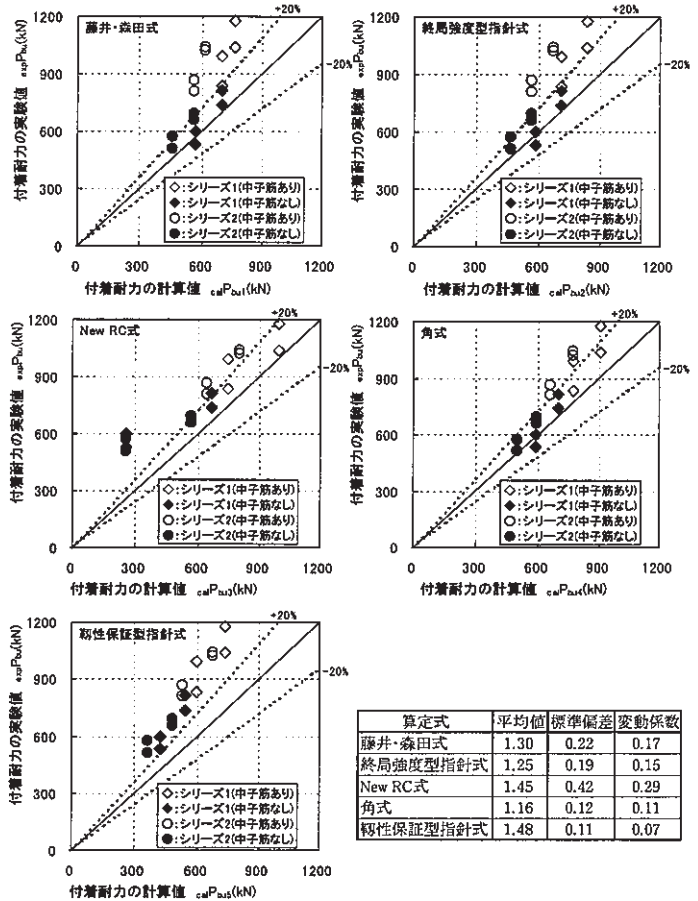


図-4 最大付着耐力の実験値と計算値との比較

動係数が0.07と5式の中で最も小さく、ばらつきが少なかった。

3. 付着割裂強度算定式

上記の諸式中、ばらつきが最も小さい靱性保証型耐震設計指針付着割裂強度式をベースに、これに鉄筋の付着強度に与える外殻PCaコンクリートの効果を考慮して求めた付着割裂強度式(算定式A:式(6-1))を以下に示す。また、靱性保証型耐震設計指針式は、付着強度の下限值を与える式である⁹⁾ことを勘案し、付着強度の中央値を評価する場合は、上記強度式に係数 $\kappa=1/0.8=1.25$ を乗ずる(算定式B:式(6-2))。なお、外殻PCa柱の場合、柱主筋位置は在来工法の柱の主筋位置に比べ内側にある。よって、コーナースプリット破壊は生じないと判断し、ここでは、サイドスプリット破壊型の付着割裂破壊を対象としている。

$$\tau_{\infty} = (0.086_{RC} b_i + 0.11) \cdot \sqrt{(\sigma_B)_{RC}} + 0.086_{PCa} b_i \cdot \sqrt{(\sigma_B)_{PCa}} \quad (1)$$

ここに、

$$RC b_i = (b \cdot N \cdot d_b \cdot 2t) / (N \cdot d_b) \quad (2)$$

$$P_{Ca} b_i = 2t(N \cdot d_b) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\tau_{st} = (56+47 \cdot N_w/N) \cdot (b_{si}+1) \cdot p_w \quad \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

$$b_{si} = (b - N \cdot d_b) / (N \cdot d_b) \quad \dots\dots\dots (5)$$

付着強度 (N/mm²)

$$\tau_{bu} = 1.0(\tau_{co} + \tau_{st}) \quad \dots\dots\dots (\text{算定式A, 6-1})$$

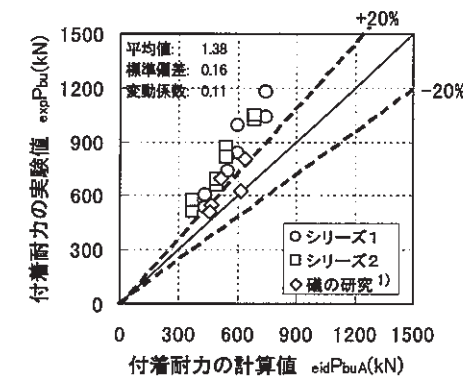
$$\tau_{bu} = 1.25(\tau_{co} + \tau_{st}) \quad \dots\dots\dots (\text{算定式B, 6-2})$$

ここに、

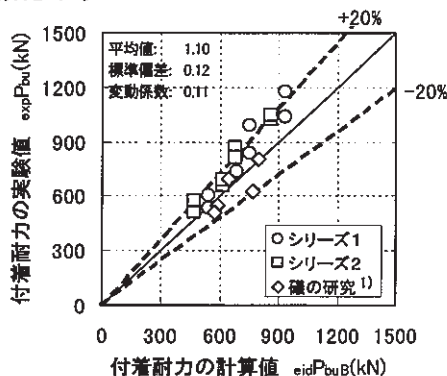
τ_{co} : 後打ちコンクリート強度、 $P_{Ca} \sigma_B$: 外殻PCaコンクリート強度、 τ_{st} : 後打ちコンクリート部分の割裂長さ、 $P_{Ca} b_i$: 外殻PCaコンクリート部分の割裂長さ、 t : 外殻PCaコンクリートの厚さ、 N : 主筋本数、 d_b : 主筋径、 b : 梁幅、 p_w : フープ筋比、 N_w : 一組のフープ筋の足数、 b_{si} : 割裂線長さ

付着割裂耐力の実験値と計算値との関係を図-5に示す。ここでは、本付着実験結果の他に磯らの実験結果¹⁾も示している。なお、磯らの実験データを選択するにあたっての条件は以下の通りである。①コッター面積比が0.5以上の試験体であること、②普通強度のフープ筋を用いた試験体であること、③フープ筋比が0.3%以上の試験体であること。

付着強度の下限値を求める算定式Aの場合、全ての試験体で安全側に強度を評価し、平均値は1.38、標準偏差は0.16、変動係数は0.11であった。また、中央値を求め



[算定式A]



[算定式B]

図-5 付着割裂耐力の実験値と計算値との関係

る算定式Bの場合、計算値の実験値に対する比の平均値は1.10、標準偏差は0.12、変動係数は0.11であった。計算値と実験値との対応はよく、提案した付着割裂強度算定式の妥当性が認められた。

4. 柱水平繰返し載荷実験

単調引張載荷での主筋の付着強度は、靱性保証型耐震設計指針付着割裂強度式を基本とした提案算定式で算出できることを示した。次に、繰返し水平載荷を受ける柱主筋の付着強度に対する適用性について検討する。

4.1 実験概要

試験体の諸元を表-6に、形状・寸法の一列を図-6に示す。各試験体とも付着割裂破壊型に計画した。このうち、No.3-1, No.3-2は、流し込み成形外殻PCaを用いたPCa柱であり、PC-4は、遠心成形外殻PCaを用いたPCa柱である。また、No.4は、No.3-1の比較検討用に製作された一体打ちRC柱である。コンクリートの材料試験値を表-7に、鉄筋の材料試験値を表-8に示す。載荷方法については、試験体に軸力を載荷した状態で水平方向に正負交番漸増繰返し加力を行い、試験体の柱試験区間に逆対称曲げモーメントを作用させた。与えた層間変形角は $R=(2.5, 5, 10, 15, 20, 30, 40) \times 10^{-3}$ radの7水準で、それぞれの層間変形角ごとに2サイクルずつ載荷した。柱主筋には、図-7に示すようにひずみゲージを貼付し、ひずみ度の検出値から付着応力度を求めた。

4.2 破壊形式

各試験体とも、外観上柱主筋に沿う付着割裂ひび割れは、ほとんどみられなかった。しかしながら、得られた付着応力度の履歴ならびに最大耐力の実験値と計算値との関係から判断してNo.3-1, No.4-1は付着割裂破壊、No.3-2, PC-4は付着劣化を経験した後のせん断破壊と判断した。

4.3 付着応力度および最大付着強度

試験体の最大耐力、および最大付着強度の実験値と計算値との関係を表-9に示す。また、付着応力度-層間変形角関係を図-8に示す。最大付着強度は、主筋3本(隅筋、中央筋、中間筋)の平均付着応力度の最大値

表-6 試験体諸元

試験体名	PCa柱	No.3-1	No.3-2	PC-4
	RC柱	No.4	-	-
柱長さ H(mm)		720		730
柱成 D×B(mm)		300×300		320×320
H/D		2.40		2.28
主筋		20-D16		20-D16
$p_s(\%)$		4.42		4.42
フープ		4-D6 @55	4-D6 @50	4-D6 @49
$p_w(\%)$		0.78	0.85	0.82
PCa $\sigma_B(N/mm^2)$		45		60
後打ち $\sigma_B(N/mm^2)$		30		45
主筋 σ_y		SD685		SD390
フープ σ_{wy}		SD685	SD345	SD685
軸力比 η			0.1	

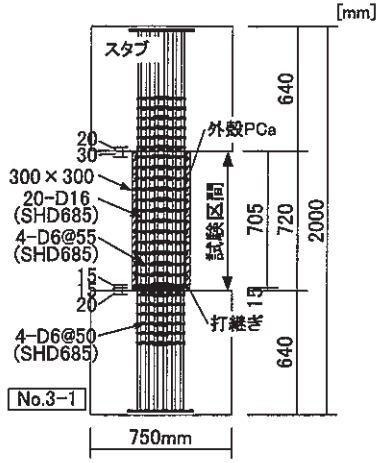


図-6 試験体形状・寸法 (No.3-1)

表-9 最大耐力、および最大付着強度の実験値と計算値との関係

項目	試験体名	No.3-1	No.4	No.3-2	PC-4
	工法種別	外殻PCa	一体打ちRC	外殻PCa	外殻PCa
実験結果	最大耐力 (kN)	459	411	519	776
	破壊形式	付着割裂		付着劣化+せん断	
	付着強度(N/mm ²)*	4.42	3.65	4.04	6.55
曲げ耐力 Q _{mu} (kN)	断面解析	814	688	794	788
せん断耐力 Q _{su} (kN)	靱性保証型式	546	409	470	721
	終局強度型A法式	601	548	456	773
付着強度 τ _{bu} (N/mm ²)	靱性保証型正式	3.68	3.58	3.90	4.53
		4.60	4.48	4.87	5.67
実験値/計算値	exp Q _{max} /Q _{mu}	0.56	0.60	0.65	0.98
	exp Q _{max} /id Q _{su}	0.84	1.00	1.10	1.08
	exp Q _{max} /a Q _{su}	0.76	0.75	1.14	1.00
	exp τ _{bu} /eid τ _{buA}	1.20	1.02	1.04	1.45
	exp τ _{bu} /eid τ _{buB}	0.96	0.81	0.83	1.16

表-7 コンクリート材料試験値

試験体 (部位)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮強度時ひずみ度 (×10 ⁻⁶)	割裂強度 (N/mm ²)	弾性係数* (kN/mm ²)
No.3-1 外殻PCa部	60.2	3328	3.71	28.2
No.4 後打ち部	29.8	2158	2.21	25.3
No.3-2 外殻PCa部	55.4	3110	3.64	29.2
No.3-2 後打ち部	31.1	2020	3.05	30.4
PC-4 外殻PCa部	72.8	2660	-	37.9
PC-4 後打ち部	53.3	2620	3.45	32.3

表-8 鉄筋材料試験値

試験体	部位	呼び名	降伏強度 (N/mm ²)	降伏ひずみ度 (×10 ⁻⁶)	引張強度 (N/mm ²)	破断伸び (%)
No.3-1	柱主筋	D16	734	3560	937	10.0
No.4	フープ筋	D6	785	4110	964	11.0
No.3-2	柱主筋	D16	734	3560	935	12.0
No.3-2	フープ筋	D6	375	1820	536	26.0
PC-4	柱主筋	D16	451	2190	644	21.0
PC-4	フープ筋	D6	724	3510	943	12.0

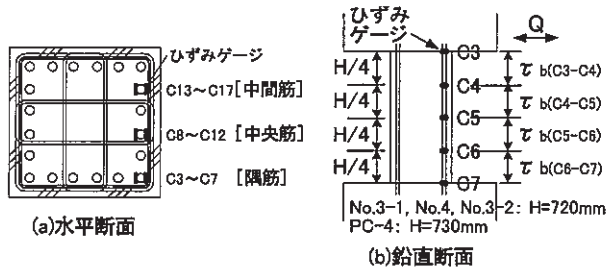


図-7 ひずみゲージ貼付位置

である。また、各層間変形角での付着応力度は、図-7に示す主筋の付着応力度検出区間4区間のうちの中央2区間(C4~C6, C9~C11, C14~C16)における各層間変形角ステップの第一サイクルでの付着応力度の最大値である。先ず、表-9でPCa柱No.3-1と比較用試験体であるRC柱No.4の最大付着強度の実験値を比較すると、前者は後者に対して約1.2倍上まわった。PCa柱ではRC柱に比べて付着強度が大きいことが認められた。これは、外殻PCaコンクリートの拘束効果による付着強度の上昇と考えられる。次に、図-8に示す付着応力度と層間変形角の関係についてみると、No.3-1, PC-4では、最大付着強度時に柱部材の最大耐力を示した。最大耐力は主筋

の付着劣化によって決定されたと考えられる。No.4では最大耐力以前に中間筋で付着劣化が始まり、最大付着強度を示し、その後に部材の最大耐力に達した。No.4は付着応力度の履歴においては明らかな付着破壊型であった。各試験体とも、おおよそ $R=10 \times 10^{-3}$ rad以降では中間筋の付着応力度は、隅筋ならびに中央筋の付着応力度に比べ小さく、また最大付着強度に至った後の応力度の低下も他に比べ大きかった。これは中間筋の付着劣化が他の主筋よりも顕著であることを示している。

4.4 付着割裂線

付着割裂破壊したNo.3-1の隅筋、中間筋、中央筋、ならびに最終的にはせん断破壊したものの主筋の付着劣化がみられたNo.3-2の中間筋の付着応力度の時刻歴を図-9に示す。柱主筋の付着劣化は、先ずフープ筋に接していない中間筋と、フープ筋のうち外周筋に接している隅筋から始まり、中子筋に接している中央筋に進展することがわかる。また、No.3-2やNo.4では、中間筋の付着劣化は最大耐力発生以前に確認された。このことから、付着割裂線は先ず中間筋近傍から発生し隅筋へ、並行して中央筋へと進展し最大耐力に至ると仮定できる。したがって、外殻PCa柱の場合も付着割裂耐力を求める割裂線は、図-10に示すように、柱主筋間を結ぶ一直線上に設定してよいと考えられる。これは、写真-3に示す載荷実験終了後に切断した断面の様相からも裏付けられる。

4.5 最大付着強度の実験値と計算値との関係

最大付着強度の実験値と靱性保証型耐震設計指針付着割裂強度式を基本とした提案算定式A, Bによる計算値との比較を図-11に示す。各試験体の最大付着強度の実験値と算定式Aによる計算値 τ_{buA} とを比較すると、計算値は実験値を下回り付着強度を安全側に評価している。繰り返し荷重を受ける柱部材の場合でも、ほぼ最大付着強度の下限値を評価することがわかる。一方、算定式Bによる計算値 τ_{buB} と実験値を比較すると、計算値は実験値に対して±20%に収まっており、柱部材の最大付着強度の中央値をほぼ評価する。

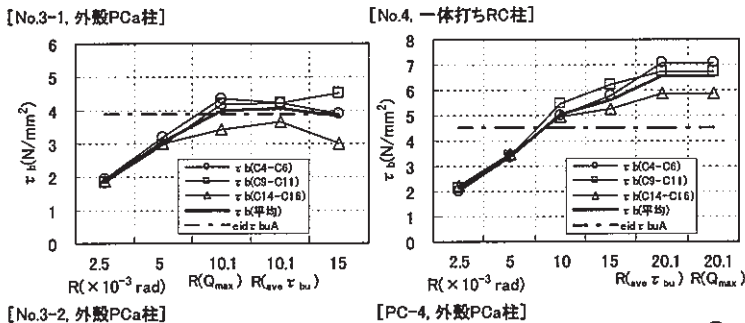
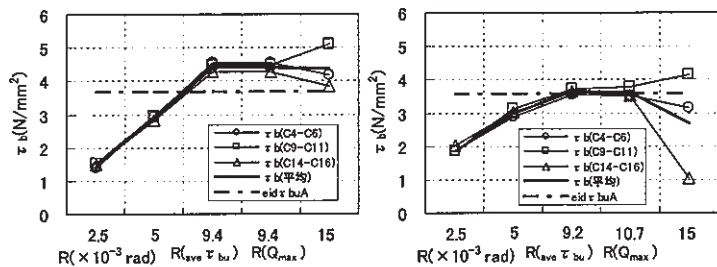


図-8 付着応力度-層間変形角関係

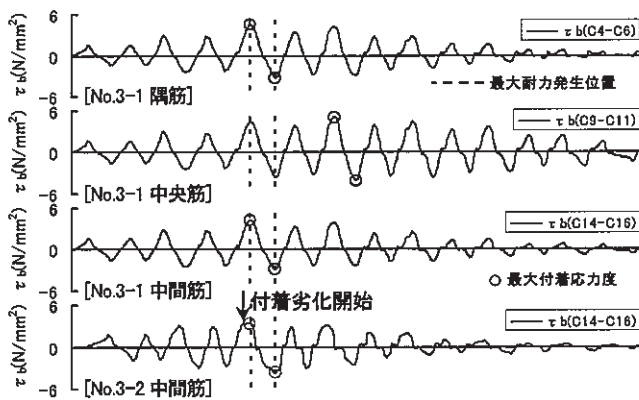


図-10 付着割裂線

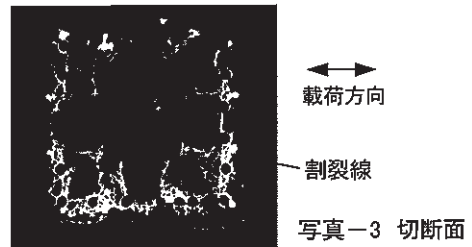


写真-3 切断面

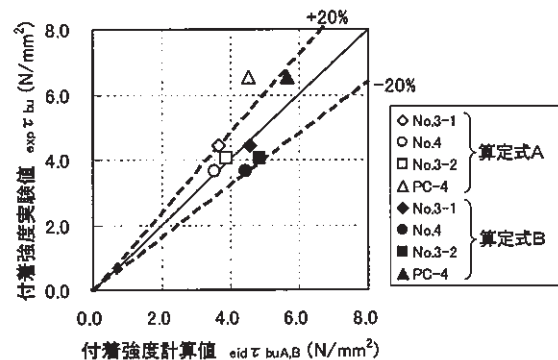


図-11 最大付着強度の実験値と計算値との関係

繰り返し載荷にかかわらず、算定式Aでは主筋の最大付着強度の下限值を、算定式Bでは中央値を評価できる

以上から、上記に示す2種の付着強度式により、外殻PCa柱の主筋の付着強度の下限值と中央値を算定できる。

5. まとめ

外殻PCaを用いた柱部材の主筋の単調引張載荷実験および柱部材の水平繰り返し載荷実験を行い、付着強度について検討し、以下の結論を得た。

- i) 矩形型、市松型シアコッターの形状・寸法の違いによる主筋の付着強度の差異はみられなかった
- ii) 同一フープ筋比であっても、中子筋の有無により、主筋の最大付着強度に違いがみられ、中子筋がある場合はない場合に比べて最大付着強度は1.2倍程度増大した
- iii) 本実験で対象としたシアコッターの面積比程度を確保すれば、打ち継ぎ界面での支圧破壊ならびにせん断破壊は生じず、主筋の付着強度を十分期待できる
- iv) 靱性保証型耐震設計指針の付着割裂強度式を基本とした付着強度算定式A, Bを示したが、単調引張載荷、

謝辞

本研究にあたっては、筑波大学教授 今井 弘先生にご指導頂いた。ここに記して謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 磯 健一、「界面に帯状連続コッターを有する外殻プレキャスト型枠を用いた鉄筋コンクリート部材の付着性状に関する実験的研究」、日本建築学会構造系論文集、第504号、pp.73~80、1998.2
- 2) 藤井 栄、森田司郎、「異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究、第一報 付着割裂破壊を支配する要因についての実験結果一」、日本建築学会論文報告集、第319号、pp.47~55、1982.9
- 3) 日本建築学会、「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説」、1990年
- 4) 財) 日本国土開発技術研究センター、「建設省総合技術開発プロジェクト、鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」、平成4年度 構造性能分科会報告書、平成5年3月
- 5) 角 徹三、服部覚志、松野一成、「サイドスプリット型付着割裂破壊するRC部材の付着強度式」、日本建築学会大会講演梗概集、21036、pp.225~226、1993.9
- 6) 日本建築学会、「鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説」、1999年