

ハーフPCa部材における打継ぎ境界面の付着性能

香田 伸次
(技術研究所)
中澤 春生
(技術研究所)

§1. はじめに

一般的に、ハーフPCa部材を一体打設型部材と同等の構造性能であると評価するためには、打継ぎ境界面に十分な応力伝達性能があり、発生する応力下での一体性が確保されなければならない。その点について、筆者らが先に開発した遠心力成型PCa外部「ユニコラム・ユニビーム」を用いた柱・梁部材では、応力伝達を打継ぎ境界面におけるコンクリートどうしの付着または摩擦に、全て依存することとしている。これは、ダボ筋等のシアキーを付設することで、この構法の特長である施工の合理性を損ねることがないように配慮したためである。

ユニコラム・ユニビームを用いた部材の構造特性については、以前に一連の実験を通して検討しており¹⁻⁵⁾、結果として、終局耐力や変形については一体打設型部材と同等以上の性能が得られることが確認されている。しかし、その際の破壊状況として、外郭部の剥落が比較的早期に発生するなどの現象が一部の試験体で観察されており、打継ぎ境界面での応力伝達性能については、さらに詳細な検討が必要であることも明らかとなった。

そこで今回、引き続き上述の課題について以下の手順で考察を加え、早期の外郭部の剥落などの破壊を防止する手段について検討を行った。

- (1)打継ぎ境界面に要求される応力伝達性能を明らかにする。
- (2)基礎的な実験を通して、打継ぎ境界面におけるコンクリートどうしの付着または摩擦で伝達可能な応力を調べ、要求性能を満足させるための方法について提案する。
- (3)柱・梁の部材実験を行い、提案した方法による破壊状況の改善効果を確認する。

本報告では、これらの検討結果を以下に順に述べていく。

§2. 要求されるせん断伝達能力

始めに、打継ぎ境界面に必要とされるせん断伝達力について考える。通常、ユニコラム・ユニビーム構法では外殻部は肉厚50~60mm程度であり、部材断面で見ると打継ぎ境界面は縁寄りに位置する。したがって、例えば弾性域では梁理論により求めたせん断応力度分布(図-1)から見ると、さほど大きな応力度とはならない。仮に、肉厚 t を部材せい D の $1/12$ 程度とした場合、境界面位置に生じるせん断応力度は最大値($=1.5 \cdot Q/bD$, Q :作用せん断力, b :部材幅)に対して30%程度となる。

塑性域については、設計的に考える終局状態として、圧縮側コンクリートが圧潰する(ストレスブロックが最大強度に達する)まで境界面が健全であれば、十分に安全側の設計が可能であると考えられる(図-2)。これに加え、水平荷重下で部材に生じる

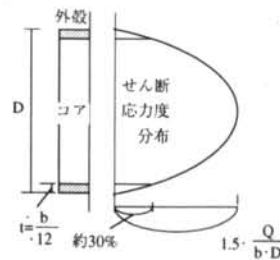


図-1 境界面に生じる応力(弾性域)

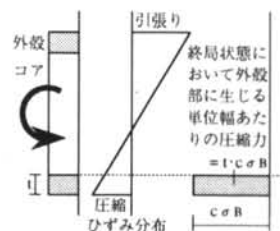


図-2 境界面に生じる応力(塑性域)

応力が図-3のようになり、せん断伝達長さが図中ℓで表されるものとする、打継ぎ境界面で伝達すべきせん断応力度 τ_{req} は下式で得られる。

$$\tau_{req} = b \cdot t \cdot c \cdot \sigma_B / (b \cdot \ell)$$

$$= (t / \ell) \cdot c \cdot \sigma_B \dots \dots \dots (1)$$

- ただし、
 b: 梁(柱)幅
 t: 外殻厚
 ℓ: せん断伝達長さ
 $c \cdot \sigma_B$: コンクリート圧縮強度

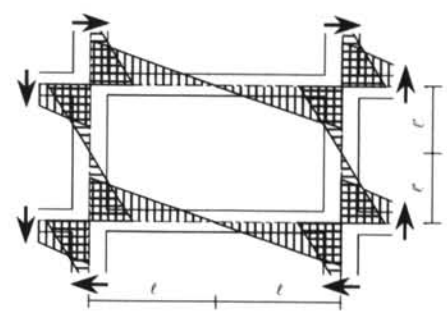


図-3 せん断伝達長さℓ

§3. 部分引張り, 部分せん断実験

3.1 実験概要

次に、境界面を部分的に取り出して引張り及びせん断実験を行い、その応力伝達能力を把握することとした。引張りおよびせん断試験の試験片は、正方形または円形断面部材を想定して、実大PCa外殻の内部にコアコンクリートを後打ちしたものに対し、コアコンクリートの硬化後、外殻部に切込み(深さ60~80mm)を入れて成型した(図-4)。試験時には、これらの試験片の外表面に鋼製治具を接着し、所定の荷重を単調に加えた(図-5)。また、計測は載荷荷重に対してのみ行った。

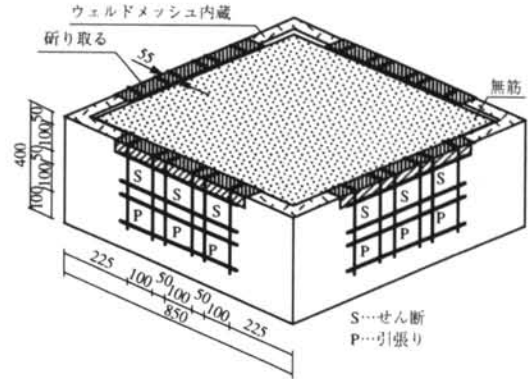


図-4(a) 試験体形状

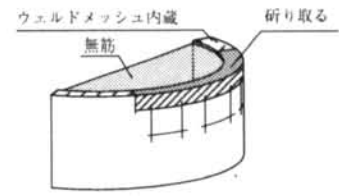


図-4(b) 試験体形状

No.	試験体記号	外殻部製法	仕様	#	寸法その他	外殻 σ_B kgf/cm ² (MPa)	コア σ_B kgf/cm ² (MPa)	実験値			平均値	
								1	2	3	kgf/cm ²	MPa
1	EA20-4			20				4.9	4.4	3.9	4.4	0.43
2	EA40-4		エアクッション	40				5.9	5.1	5.8	5.6	0.55
3	EA60-4			60				15.6	16.7	12.4	14.9	1.46
4	EA80-4			80				18.0	17.0	17.9	17.6	1.73
5	EF-4		平滑					-	-	-	-	-
6	EL-4		斜溝(ゴムマット)					-	-	-	-	-
7	ES1-4		角型コナ(千鳥)					3.8	3.4	3.6	3.6	0.35
8	ES2-4		角型コナ(格子)		100x100	945	395	2.5	-	2.8	2.7	0.26
9	SA20-4			20		(92.6)	(38.7)	10.8	14.5	7.2	10.8	1.06
10	SA40-4		エアクッション	40				9.6	6.4	9.8	8.6	0.84
11	SA60-4			60				10.8	12.4	17.0	13.4	1.31
12	SA80-4			80				22.2	22.0	14.0	19.4	1.90
13	SF-4		平滑					-	-	-	-	-
14	SL-4		斜溝(ゴムマット)					3.0	2.2	2.6	2.6	0.25
15	SS1-4		角型コナ(千鳥)					8.5	6.7	6.5	7.2	0.71
16	SS2-4		角型コナ(格子)					5.6	7.7	5.5	6.3	0.61

ただし、各パラメータにつき3ヶずつ試験を行った。
 ・“-”は加力以前に破壊したもの(平均値の計算では0として扱う)を示す。
 ・試験体記号の見方(例)

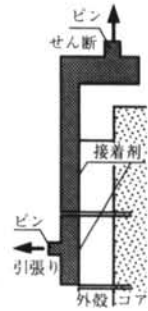
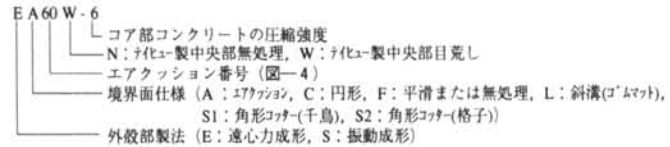


図-5 加力方法

表-1 打継ぎ面引張り実験・パラメータおよび結果一覧

パラメータは、

- (1)応力種別 (引張り, せん断)
- (2)外殻部の製造方法 (遠心力成型, 振動成型)
- (3)打継ぎ境界面の仕様
- (4)断面形状 (円形, 正方形)

- (5)外殻部の内面形状 (内型枠全周型, 内型枠コーナー型)
- (6)後打ちコア部コンクリートの圧縮強度
とした (表-1, 2). このうち, 打継ぎ境界面の仕様の違いは, 外殻部製造時の内側型枠に種々の突

No.	試験体記号	外殻部製法	仕様	#	製造元その他	外殻 σ_a kgf/cm ² (MPa)	コア σ_a		実験値			平均値		試算値 (諸元は本文中)		実験値 試算値															
							kgf/cm ²	MPa	1	2	3	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa																
1	EA20-4	遠心力成形	エフクッション	20	羽田製 100x100	834 (81.7)	395	38.7	11.7	14.7	14.2	13.5	1.33	19.8	1.94	0.69															
2	EA40-2								27.3	26.8	21.5	22.2	20.3	21.3	2.09	13.7	1.34	1.56													
3	EA40-4			37.3					36.6	22.8	20.2	19.8	20.9	2.05	18.7	1.83	1.12														
4	EA40-6			62.3					61.1	24.0	23.5	29.5	25.7	2.52	31.2	3.05	0.82														
5	EA60-2			27.3					26.8	24.8	18.8	19.8	21.1	2.07	13.7	1.34	1.55														
6	EA60-4			39.5					38.7	24.2	25.6	25.8	25.2	2.47	19.8	1.94	1.28														
7	EA60-6			62.3					61.1	26.5	22.3	20.8	23.2	2.27	31.2	3.05	0.74														
8	EA80-2			27.3					26.8	20.8	18.5	17.3	18.9	1.85	13.7	1.34	1.38														
9	EA80-4			39.5					38.7	17.0	22.0	16.5	18.5	1.81	19.8	1.94	0.94														
10	EA80-6			62.3					61.1	20.8	24.0	26.7	23.8	2.34	31.2	3.05	0.77														
11	EF-4	遠心力成形	平滑	60	ナイヒュー製 (コーナー部) 100x100	866 (84.9)	395	38.7	-	-	-	-	-	-	-	-															
12	EL-4		斜溝(ゴムマット)						-	-	-	-	-	-	19.8	1.94	-														
13	ES1-4		角型コッター(千鳥)						11.0	10.5	11.3	10.9	1.07	-	-	-	0.55														
14	ES2-4		角型コッター(格子)						11.1	9.6	9.3	10.0	0.98	-	-	-	0.51														
15	EA60-2'		振動成形						エフクッション	20	羽田製 100x100	945 (92.6)	395	38.7	20.4	25.9	22.3	22.9	2.24	13.7	1.34	1.68									
16	EA60-4'	37.3		36.6	24.0	22.9	18.8	21.9							2.15	18.7	1.83	1.17													
17	EA60-6'	62.3		61.1	31.0	33.0	21.9	28.6		2.81					31.2	3.05	0.92														
18	EA60N-2	27.3		26.8	19.0	16.8	18.3	18.0		1.77					13.7	1.34	1.32														
19	EA60N-4	37.3		36.6	19.0	17.8	21.8	19.5		1.91					18.7	1.83	1.05														
20	EA60N-6	62.3		61.1	22.3	22.3	19.0	21.2		2.08					31.2	3.05	0.68														
21	EA60W-2	中央部無処理		中央部目荒し	100x300	840 (82.3)	27.3	26.8		17.3					13.3	17.3	16.0	1.56	13.7	1.34	1.17										
22	EA60W-4																					37.3	36.6	18.8	20.0	21.5	20.1	1.97	18.7	1.83	1.08
23	EA60W-6																					62.3	61.1	19.3	22.0	20.3	20.5	2.01	31.2	3.05	0.66
24	ECF-2																					無処理	目荒らし (洗浄)	100x100	650 (63.7)	27.3	26.8	22.0	12.8	-	11.6
25	ECF-4	37.3	36.6	-	-	-	-	-	18.7	1.83	-																				
26	ECF-6	62.3	61.1	2.7	-	11.0	4.6	0.45	31.2	3.05	0.15																				
27	ECW-2	27.3	26.8	14.5	19.5	-	17.0	1.67	13.7	1.34	1.25																				
28	ECW-4	37.3	36.6	15.8	23.9	16.8	18.8	1.85	18.7	1.83	1.01																				
29	ECW-6	62.3	61.1	16.8	28.2	24.0	23.0	2.25	31.2	3.05	0.74																				
30	SA20-4	振動成形	エフクッション	20	羽田製 100x100	945 (92.6)	395	38.7	16.2	12.8	/	14.5	1.42	19.8	1.94	0.73															
31	SA40-2								27.3	26.8	24.6	26.0	22.3	24.3	2.38	13.7	1.34	1.78													
32	SA40-4			37.3					36.6	24.0	27.1	26.3	25.8	2.53	18.7	1.83	1.38														
33	SA40-6			62.3					61.1	29.0	32.4	34.1	31.8	3.12	31.2	3.05	1.02														
34	SA60-2			27.3					26.8	20.0	20.2	20.1	20.1	1.97	13.7	1.34	1.47														
35	SA60-4			37.3					36.6	32.5	28.5	29.0	30.0	2.94	18.7	1.83	1.61														
36	SA60-6			62.3					61.1	33.9	30.1	35.7	33.2	3.26	31.2	3.05	1.07														
37	SA80-2			27.3					26.8	25.8	21.3	25.7	24.3	2.38	13.7	1.34	1.78														
38	SA80-4			39.5					38.7	24.9	26.6	24.3	25.3	2.48	19.8	1.94	1.28														
39	SA80-6			62.3					61.1	23.1	23.3	28.3	24.9	2.44	31.2	3.05	0.80														
40	SF-4			平滑					遠心力成形	60	ナイヒュー製 (コーナー部) 100x100	866 (84.9)	395	38.7	-	-	-	-	-	-	-	-									
41	SL-4			斜溝(ゴムマット)											-	-	-	-	-	-	19.8	1.94	-								
42	SS1-4			角型コッター(千鳥)											12.2	11.5	12.5	12.1	1.18	-	-	-	0.61								
43	SS2-4			角型コッター(格子)											-	11.0	-	3.7	0.36	-	-	-	0.19								

ただし、各パラメータにつき、原則として3ヶずつ試験を行った。

- ・"/"は実験を行わなかったもの、"- "は加力以前に破壊したもの(平均値の計算では0として扱う)を示す。
- ・実験値の網掛け部は、打継ぎ境界面の破壊以前に、後打ちコア部または治具の接着面で破壊したものを示す。
- ・実験値/試算値の網掛け部は、1.0を下回ったものを示す。
- ・試験体記号は引張り実験に準ずる。

表-2 打継ぎ面せん断実験・パラメータおよび結果一覧



写真-1 打継ぎ境界面の仕様 (平滑)

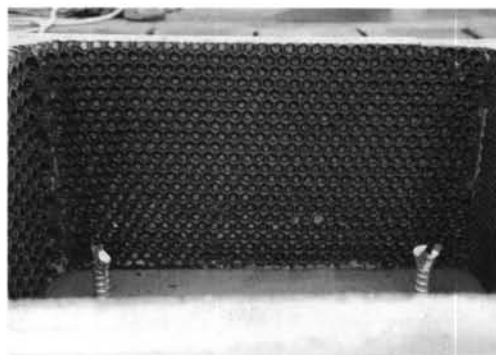


写真-5 打継ぎ境界面の仕様 (エアクッション#60)

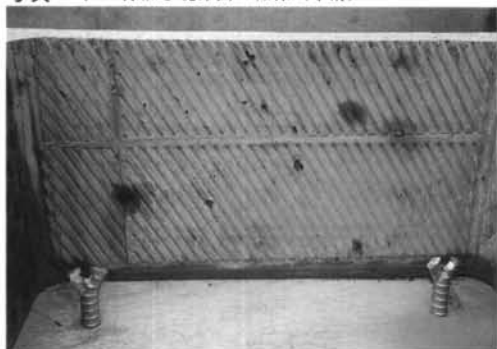


写真-2 打継ぎ境界面の仕様 (斜め溝)



写真-6 打継ぎ境界面の仕様 (円形断面・無処理)

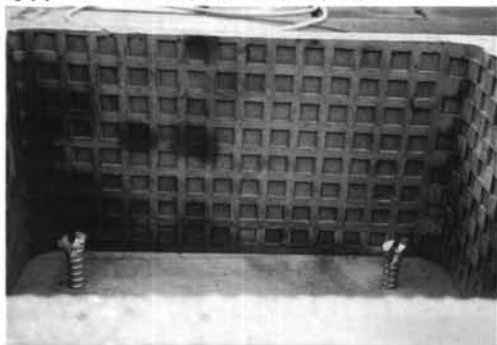


写真-3 打継ぎ境界面の仕様 (角型コッター・格子)

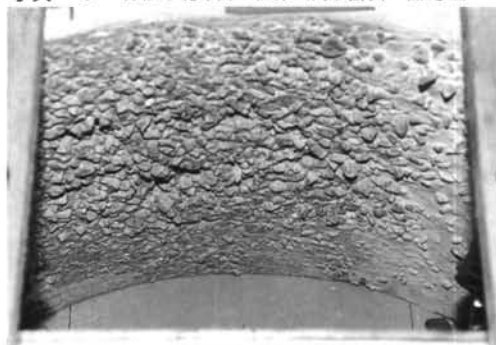


写真-7 打継ぎ境界面の仕様 (円形断面・目荒らし)



写真-4 打継ぎ境界面の仕様 (角型コッター・千鳥)

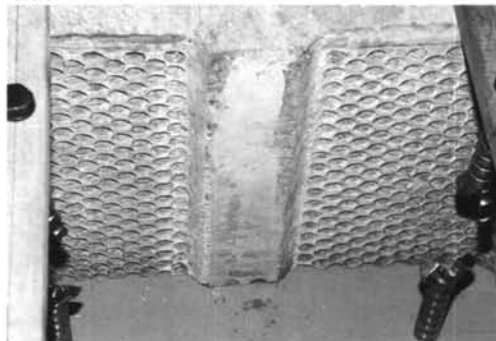


写真-8 打継ぎ境界面の仕様 (内型枠コーナー型・中央部無処理)

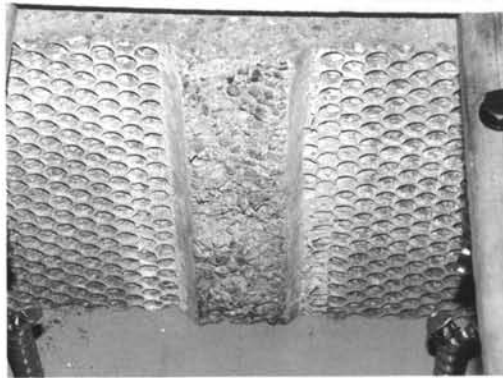


写真-9 打継ぎ境界面の仕様 (内型枠コーナー型・中央部目荒らし)

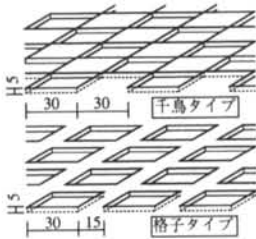


図-6 角型コッター仕様の形状

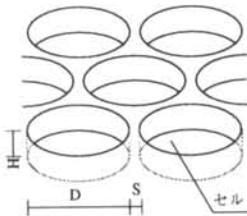


図-7 エアクッション仕様の形状



図-8 内型枠コーナー型の形状

番号	各部の寸法			セルの見付け面積比
	直径 (mm)	ピッチ (mm)	深さ (mm)	
20	7	1.0	2.5	0.694
40	10	1.5	4.0	0.686
60	20	1.5	8.0	0.795
80	32	2.0	13.0	0.803

ただし、各部の寸法は図-6による。

表-3 エアクッションのセルの大きさおよび配置

起を配し、外殻部の打継ぎ境界面に凹凸を形成するなどして設けた (写真-1~9, 図-6~8, 表-3)。

また、実験結果のバラつきを取り除くため各パラメータにつき、原則として3片ずつ試験を行った。

外殻部コンクリートは骨材の最大粒径を10mmとし、打設後蒸気養生を施した。また、コア部コンクリートは骨材の最大粒径20mmの生コンプラント製品とし、打設後気中養生とした。

3.2 結果および考察

試験結果を表-1, 2に併記する。ただし、各強度の値は各最大荷重を試験片面積で除した平均強度とした。また、表中「-」記号は切込みを入れた際に外殻部が剥落したため試験が行えなかったものであり、平均値等を計算する際には強度を0として扱った。網かけ欄の値は、打継ぎ境界面のせん断破壊に先行してコア部コンクリートが破壊した場合、あるいは同じく外殻部と加力治具との接着面付近で外殻部コンクリートに表層剥離が生じ破壊に至った場合の強度である。したがって、実際の打継ぎ境界面のせん断強度は、これらの値以上であると予想される。

境界面に特別な処理を行わず鋼製型枠による仕上がりそのまま用いた平滑仕様、およびゴムマットを型枠面として利用した斜溝仕様は、引張り強度、せん断強度とも値が小さく、付着や摩擦による一体性はほとんど期待できない。

破壊モードとしては、角型コッター仕様の引張り試験で打継ぎ境界面での剥離、せん断試験で同じく境界面での剥離と一部外殻部コッターの欠損となった (写真-10, 11)。エアクッション仕様では、コア部コンクリートの凸部が外殻部の凹部に残存する形で境界面での破断となったものが多かった (写真-12, 13)。

表-4では、各強度値がほとんど得られなかった平滑仕様と斜め溝仕様を除く残りの仕様について、遠心力成型と振動成型との違いを調べた。結果として、データのバラつきが大きく精度上の疑問はあるものの、総じて遠心力成型の方が振動成型よりも小さな値 (90%程度) となる傾向が見られた。この理由として、遠心力成型の場合は打継ぎ境界面が内型枠側となり、突起部周辺があまり締め固められないことなどが想像できるが、詳細には成型時の回転数やコンクリートの粘性などの諸元をパラメータとし



写真-10 最終破壊状況 (角型コッター・千鳥, 引張り)



写真-12 最終破壊状況 (エアクッション・#60, 引張り)



写真-11 最終破壊状況 (角型コッター・格子, せん断)



写真-13 最終破壊状況 (エアクッション・#60, せん断)

試験体 記号	引張り実験					せん断実験				
	強度平均値				遠心力 振動	強度平均値				遠心力 振動
	遠心力成形		振動成形			遠心力成形		振動成形		
	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa	kgf/cm ²	MPa		
*A20-4	4.4	0.43	10.8	1.06	0.41	13.5	1.33	9.7	0.95	1.40
*A40-2	-	-	-	-	-	21.3	2.09	24.3	2.38	0.88
*A40-4	5.6	0.55	8.6	0.84	0.65	20.9	2.05	25.8	2.53	0.81
*A40-6	-	-	-	-	-	25.7	2.52	31.8	3.12	0.81
*A60-2	-	-	-	-	-	21.1	2.07	20.1	1.97	1.05
*A60-4	14.9	1.46	13.4	1.31	1.11	25.2	2.47	30.0	2.94	0.84
*A60-6	-	-	-	-	-	23.2	2.27	33.2	3.26	0.70
*A80-2	-	-	-	-	-	18.9	1.85	24.3	2.38	0.78
*A80-4	17.6	1.73	19.4	1.90	0.91	18.5	1.81	25.3	2.48	0.73
*A80-6	-	-	-	-	-	23.8	2.34	24.9	2.44	0.96
					平均					0.77
										平均
										0.90

表-4 外殻部の製法の違いによる影響

た検討が必要であろう。

次に、比較的大きな強度値が得られたエアクッション仕様について、セルの寸法と強度との関係を整理してみた。エアクッション仕様の場合、境界面ではコア部コンクリートが外殻部の凹凸に入り込むこ

とによりシアキーが形成される。したがって、境界面がせん断破壊する際には、コア部と外殻部の何れか弱い方で壊れることとなる。これについては、表-3で示した#20～#80でのセルの見付け面積比の違いや、コア部と外殻部のコンクリート強度の違い

試験体 記号	外殻 σ_B kgf/cm ²	コア σ_B kgf/cm ²	実験値 (平均値) kgf/cm ²	製法を 考慮し た強度 kgf/cm ²	コア部		外殻部	
					面積比	面積比 $\times \sigma_B$ kgf/cm ²	面積比	面積比 $\times \sigma_B$ kgf/cm ²
EA20-4	834	395	13.5	13.5	0.694	274	0.306	255
SA20-4	945	395	14.5	13.1	0.694	274	0.306	289
EA40-2	834	273	21.3	21.3	0.686	187	0.314	262
EA40-4	834	373	20.9	20.9	0.686	256	0.314	262
EA40-6	834	623	25.7	25.7	0.686	427	0.314	262
SA40-2	945	273	24.3	21.9	0.686	187	0.314	297
SA40-4	945	373	25.8	23.2	0.686	256	0.314	297
SA40-6	945	623	31.8	28.7	0.686	427	0.314	297
EA60-2	834	273	21.1	21.1	0.785	214	0.215	179
EA60-4	834	395	25.2	25.2	0.785	310	0.215	179
EA60-6	834	623	23.2	23.2	0.785	489	0.215	179
EA60-2'	866	273	22.9	22.9	0.785	214	0.215	186
EA60-4'	866	373	21.9	21.9	0.785	293	0.215	186
EA60-6'	866	623	28.6	28.6	0.785	489	0.215	186
SA60-2	945	273	20.1	18.1	0.785	214	0.215	203
SA60-4	945	373	30.0	27.0	0.785	293	0.215	203
SA60-6	945	623	33.2	29.9	0.785	489	0.215	203
EA80-2	834	273	18.9	18.9	0.803	219	0.197	164
EA80-4	834	395	18.5	18.5	0.803	317	0.197	164
EA80-6	834	623	23.8	23.8	0.803	500	0.197	164
SA80-2	945	273	24.3	21.8	0.803	219	0.197	186
SA80-4	945	395	25.3	22.7	0.803	317	0.197	186
SA80-6	945	623	24.9	22.4	0.803	500.3	0.197	186

表-5 セン断強度と各部のコンクリート強度との比較

が影響するものと想像できる。そこで、これらを下式の形で評価することを試みた。

$$\tau_s = (1/K) \cdot \beta \cdot \min \{ \alpha \cdot \eta \cdot \text{core} \sigma_B, (1-\eta) \cdot \text{cover} \sigma_B \} \quad \dots\dots\dots(2)$$

- ただし、 τ_s : セン断強度 (kgf/cm²)
 $\text{core} \sigma_B$: コア部コンクリート圧縮強度 (kgf/cm²)
 $\text{cover} \sigma_B$: 外殻部コンクリート圧縮強度 (kgf/cm²)
 K : 製法の違いによる強度係数
 (遠心力成形=1.0, 振動成形=0.9)
 α : コア部コンクリート有効強度係数
 β : セン断強度係数
 η : セルの見付け面積比

ここで、コア部コンクリート有効強度係数として α を導入したのは、一部のセルが潰れたり、セル内にコアコンクリートが十分に充填されないなどの施工

α	変動係数	仕様	β 平均値
0.728	0.202240	#20	0.066
0.729	0.202235	#40	0.124
<u>0.730</u>	<u>0.202233</u>	#60	0.135
0.731	0.202234	#80	0.126
0.732	0.202237	全平均	0.124

表-6 コア部有効強度係数 α 表-7 セン断強度係数 β

上のバラつきによる強度低下を、見掛け上のコア部コンクリート強度を低減させる形で評価するためである。

表-5では、製法の違いを考慮した実験値と、セルの見付け面積比をコア部あるいは外殻部コンクリートの実圧縮強度に乗じたものを示した。この値を用いて、式(2)の β の値を逆算し、そのバラつきが最

小となるよう α の値を設定することとした(表-6)。この結果 $\alpha=0.732$ となった。

表-7には、上記 α の値を用いて算出した、セルの仕様毎の β の平均値を示した。この結果、#60タイプのものが最も有効なせん断力の伝達が可能であることがわかる。続いて、外殻部制作時の内型枠が隅角部のみで、中央部に特にシアキーを設けられないもの(テイヒュー(糊製、図-8)について、その影響を調べてみた。実験結果からは、エアクッションによる突起を配した隅角部のみせん断強度に比べ、シアキーのない中央部を含む幅300mmの平均強度の方が、小さな値となることが明らかとなった。またこの傾向は、中央部を洗浄し目荒らしを施しても変わらず、強度上昇等の効果は得られなかった(図-9)。

しかし、円形断面を切り出した試験体については、無処理の場合にはせん断強度が非常に小さかったにも拘わらず、洗浄による目荒らしを施すことでかなりの強度が得られている。このような目荒らし効果の差異は、洗浄方法の違いや、洗浄と養生との手順の違いなどが大きく関与しているものと思われるが、詳細な影響は不明であり今後の検討課題としたい。

最後に、今回の実験結果が、先に示した伝達すべきせん断応力度 f_{req} をどの程度満たしているか評価する。今回は一般的な柱を対象として、式(1)において $t=60\text{mm}$ 、 $l=1,200\text{mm}$ ($D=800\text{mm}$ として $M/QD=1.5$)とした。コンクリート強度については、設計時に各種強度等を計算する際には、通常コア部コンクリート強度を用いることから、ここでもそれに倣い、各試験体のコア部コンクリート強度を用いて試算を行った。

表-2には、この計算結果を示し実験値との比較を行った。結果として実験値が試算値を上回り、要求性能を満足すると判断できるものは全体の半数程度であった。仕様別では、エアクッション仕様の#40~#80タイプの多くで実験値が試算値を上回ったものの、コア部コンクリート強度が 623kgf/cm^2 (61.1MPa)のものでは、振動成形のものを除きほとんどで実験値が試算値を下回った。この理由としては、コンクリートの一般的な物性として、高強度領域においては圧縮強度の上昇ほどせん断強度が上昇しないことや、外殻部とコア部のコンクリート強度のバランスの関係から、普通強度の場合と異なりセルの見付け面積比が適当でなくなっていること等が考えられる。したがって、実用化に向けては、この辺り

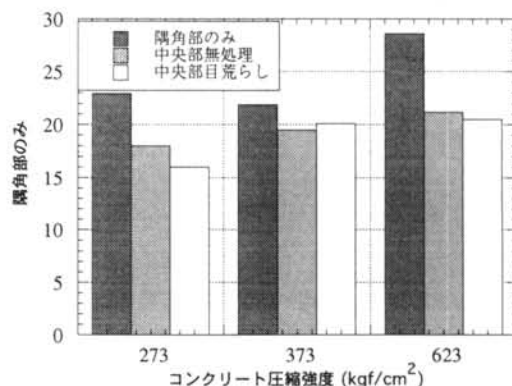


図-9 コーナー型枠タイプにおける中央部の仕様の違い

を中心にさらに検討を加える必要があるものと考え

§4. 柱・梁部材の曲げせん断実験

4.1 実験概要

続いて、先述の部分引張り、部分せん断実験を通して、打継ぎ境界面での十分なせん断伝達が可能であると評価できた仕様に対し、実際の柱・梁部材を模擬した曲げせん断応力下での挙動を調べ、評価方法の妥当性の確認を行う。

試験体は、実大の約2/3スケールモデルの梁8体、柱4体と実大梁2体の計14体とした(表-8、図-10)。打継ぎ境界面の仕様は、一律エアクッション#60タイプとした。

主な検討事項は、梁部材実験では、

- (1)在来構法である一体打設部材と、PCa部材との挙動の違いを調べる。
- (2)シアスパン比が異なることで、応力状態や破壊モードが変化した場合について調べる。
- (3)コア部コンクリート強度の違いによる影響について調べる。

こととし、同じく柱部材実験では、

- (4)外殻部の内面形状の違い(内型枠全周型、内型枠コーナー型)の影響について調べる。
- (5)フープ筋を外殻部内に配する場合と、コア部に配する場合での挙動の違いを調べる。

こととした。また、実大梁実験では、打継ぎ境界部の挙動を中心とする構造的検討を行うだけではなく、配筋や仕上げについても実機を模擬することで、例えば打込みマイル型PCa外殻を用いることが、地震

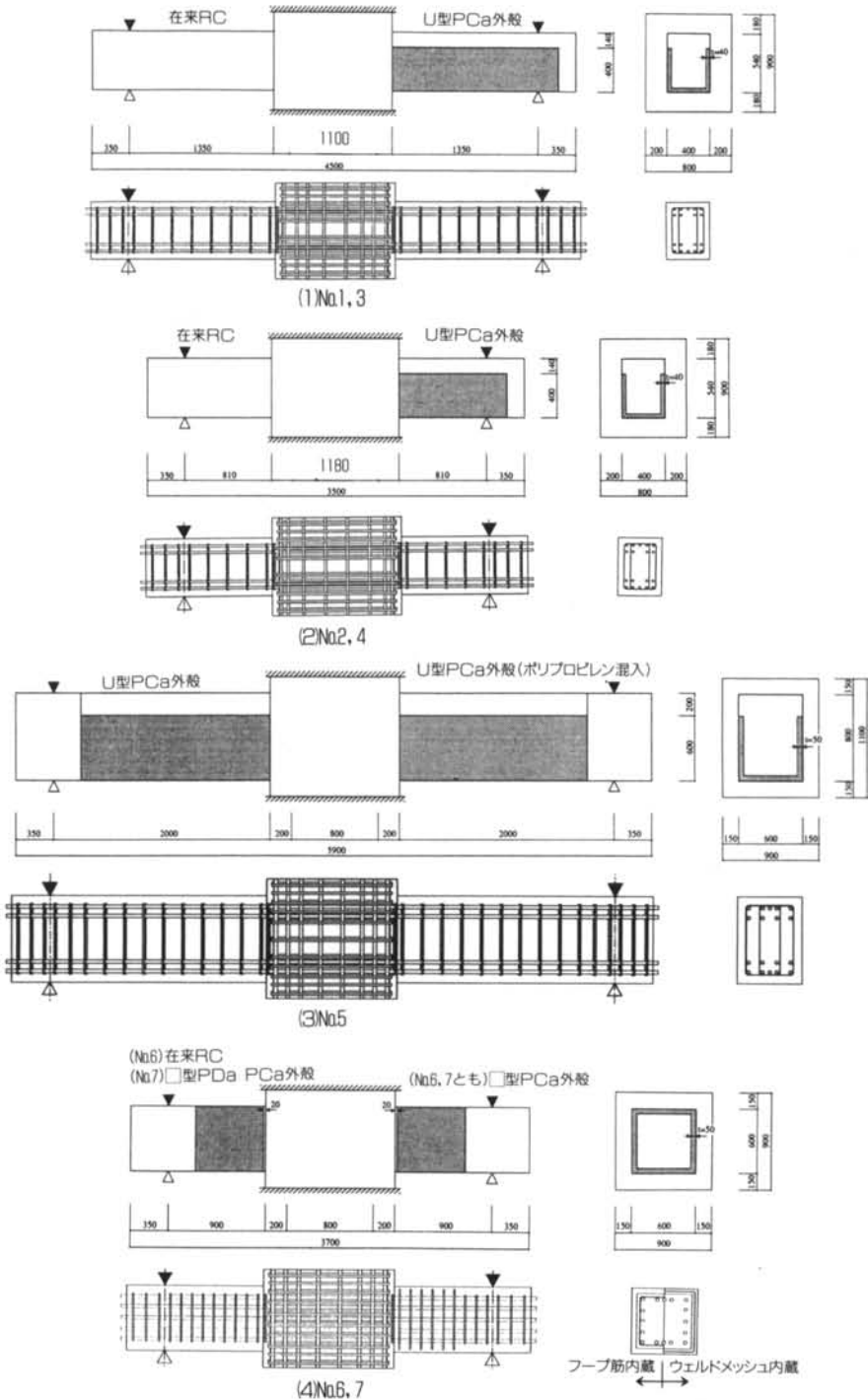


図-10 試験体形状および配筋 (曲げ・せん断実験)

試験体 No.	構法	断面寸法 (mm)	M/QD (M/Q)	コア部 コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm ²)	外殻部 コンクリート 圧縮強度 (kgf/cm ²)	主筋 (降伏点強度) (kgf/cm ²)	横補強筋 (降伏点強度) (kgf/cm ²)	PCa外殻仕様	最大強度 (tonf)	最大強度 時変位 (mm)	破壊 モード				
1	1L 在来	400×500 (縮尺2/3)	2.5 (1,350)	345	—	9-D22 (4,640)	4-D10@180 (8,580)	ウレト・メッシュ内蔵	47.4	20.3	曲げ				
	1R U型PCa				576	—	—					48.3	20.3		
2	2L 在来		1.5 (810)		—	9-D22 (10,450)	4-D10@180 (3,690)		109.3	12.0	せん断				
	2R U型PCa		546		—	—	—								
3	3L 在来		2.5 (1,350)		—	9-D22 (5,180)	4-D10@180 (8,580)		55.2	19.8	曲げ				
	3R U型PCa				636	—	—					55.1	20.0		
4	4L 在来		1.5 (810)		—	9-D22 (10,450)	4-D10@180 (3,690)		95.4	16.8	せん断				
	4R U型PCa				730	—	—					121.1	11.8		
5	5L U型PCa		600×800 (実大)		2.5 (2,000)	538	837		9-D32 (5,130)	4-D13@180 (8,950)	材打込み W.M.内蔵	—	107.5	20.1	曲げ
	5R U型PCa						835		—	—	—	107.9	30.0		
6	6L 在来	600×600 (実大)	1.5 (900)	538	—	—	—	—	189.9	14.8	せん断				
	6R U型PCa				636	16-D32 (10,150)	2-D13@100 (3,700)	7-7"内蔵	—	186.5		12.0			
7					7L 口型PCa	811	—	—	W.M.内蔵	内型枠 コート型		211.0(↑)	13.8		
	7R 口型PCa				818	—	—	7-7"内蔵	—	186.5		17.5			

表-8 試験体および実験結果一覧

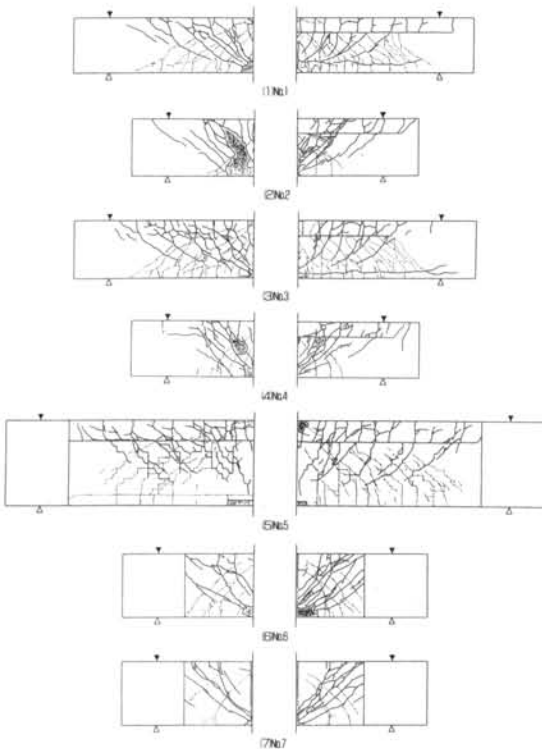


図-11 最終的破壊状況

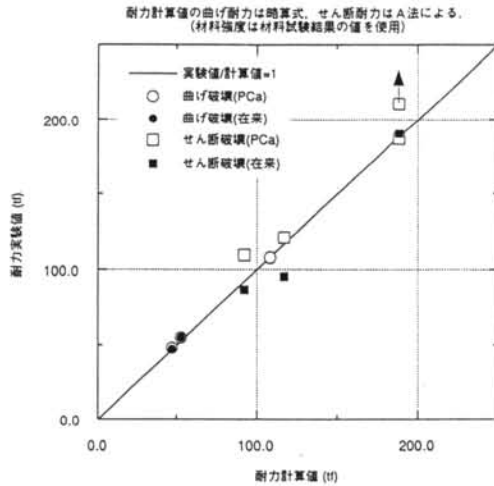


図-12 最大耐力の実験値と計算値の比較

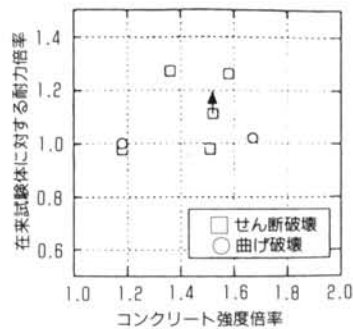
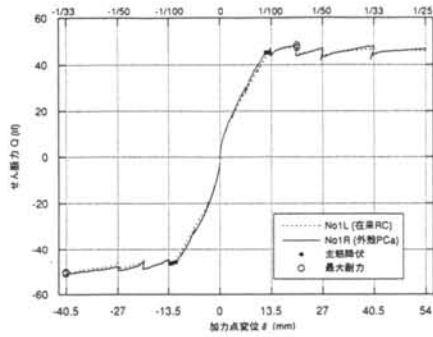
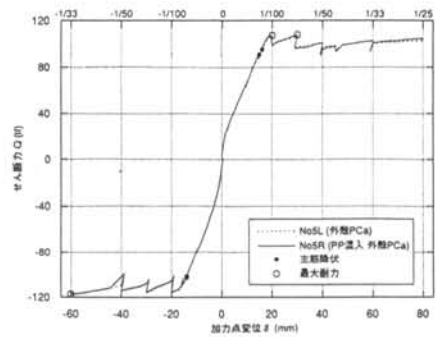


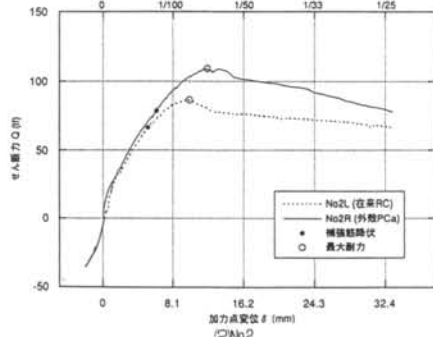
図-13 PCa部コンクリート強度と耐力の関係



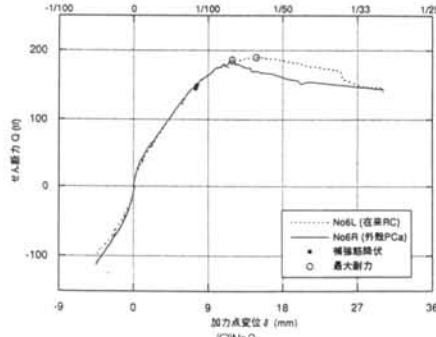
(1)No.1



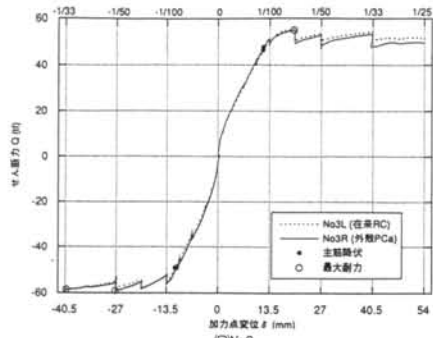
(5)No.5



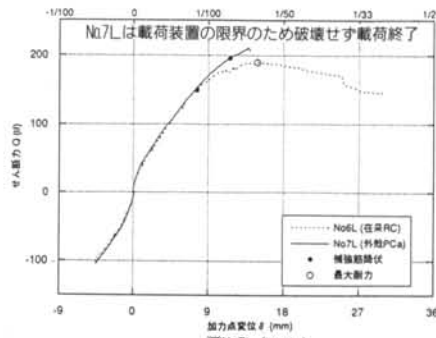
(2)No.2



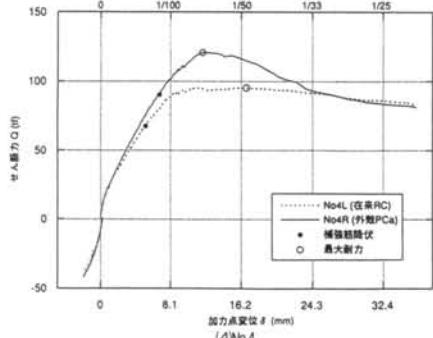
(6)No.6



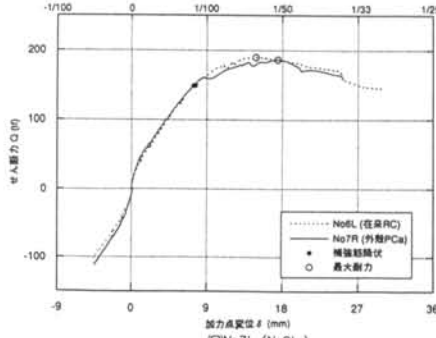
(3)No.3



(7)No.7L (No.6L)



(4)No.4



(8)No.7L (No.6L)

図-14 セン断力一加力点変位関係 (NO.4R)

時のタイルの剥離落下を防ぎ、2次的人的被害の発生を抑える効果があることなど、総合的な部材性能について確認を行うこととした。

加力は、キャンティレバー形式の正負交番繰り返し載荷とし、軸力は柱試験体についても加えなかった。また、計測は載荷荷重と加力点での部材の撓みのほか、外殻部とコア部の局所的な相対ずれに対して行った。なお、使用した材料の物性は表-8中に併記した。

4.2 結果および考察

最終的な破壊状況を図-11に示し、最大耐力等を表-8中に併記する。ただし、試験体No7Lでは裁可装置の加力限界のため、破壊には至らなかったが、せん断補強筋の降伏については確認できた。また、何れの試験体においても、終局状態に至るまで打継ぎ境界面のはだ別れなどの現象は観察されなかった。

図-12には、最大耐力の計算値と実験値との比較を示す。ただし、ここで用いている計算値は、曲げ耐力については略算式⁶⁾に、せん断耐力については終局強度型A法⁷⁾にしたがって求めた。また、材料強度のうちハーフPCa部材のコンクリート強度については、コア部コンクリート値を用いた。図から、総じてハーフPCa部材の方の耐力が、在来構法部材のそれと同等かあるいは上回っていることがわかる。この理由としては、今回の実験では何れの試験体においても、外殻部コンクリートの強度がコア部コンクリート強度より大きかったため、コア部コンクリート強度を用いた計算が過小評価となったことが挙げられる。

図-13では、この点について外殻部とコア部のコンクリート強度の比と、在来構法部材とハーフPCa部材の最大耐力の比との関係によって検討している。図中曲げ破壊した試験体では、耐力がほぼ主筋の引張り降伏により決定しており、コンクリート強度の影響を受けていないため、耐力に顕著な差異は見られなかった。一方、せん断破壊した試験体では、コンクリート強度比約1.2の試験体で耐力比がほぼ1.0となり、その後1体の例外を除き、コンクリート強度比の増加に伴いせん断耐力も上昇する傾向が認められた。例外となった試験体は、外殻部製作時の内型枠を隅角部のみとしたもの(No7R)で、先の部分せん断実験の結果からは、せん断伝達性能が低下することが分かっており、この点が原因となって、コンクリート強度比が1.5倍あったにも拘わらず耐力

上昇が見られなかったものと思われる。同じ外殻部形状のNo7Lでは、在来構法部材に対して約10%と少な目ではあるが耐力上昇が見られる。先のNo7Rとの違いとしては、フープ筋をコア部に配し、外殻部には別にウェルドメッシュを配している点があり、結果として外殻部のウェルドメッシュがせん断補強筋としても機能したためと考えられる。

図-14では、せん断力-加力点変位関係の包絡線について、在来構法部材とハーフPCa部材との比較を行った。何れの試験体においても初期剛性の顕著な差異は見られず、初期段階での打継ぎ境界面の一体性が十分に確保されていることがわかる。最大耐力以降の変形性能についても、極度な耐力低下は見られず、ハーフPCa部材が在来構法部材と同等以上の靱性能を有していることが確認できた。

図-15には、No4R試験体における外殻部とコア部の局所的な相対ずれの推移について示した。ただし、計測法方は図-16の通りとした。図からは、当該外殻部が引張り側となる場合の方が、圧縮側となる場合に比べて、ずれが大き目となる傾向があるこ

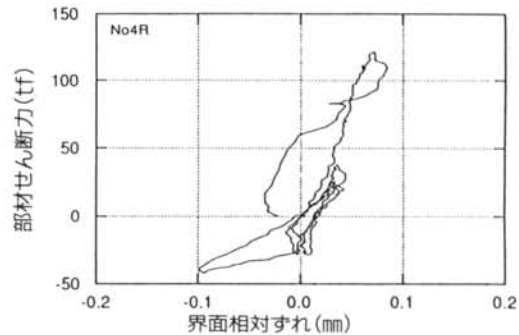


図-15 界面のずれの推移

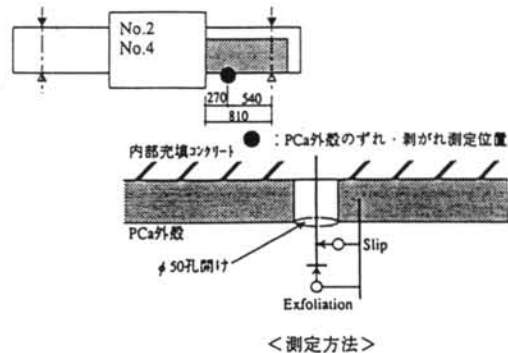


図-16 PCa外殻と場所打ち部のずれの測定方法

とがわかる。しかし、最大耐力時までを見た範囲では、ずれ量は最大でも0.1mm以下と非常に小さな値を示し、また、ずれ量の値の中には、部材断面に生じる曲率の影響による計測誤差も含まれていることを考慮すると、実際の打継ぎ境界面に生じるせん断ずれはほとんど無視できる程度と判断できる。したがって、この点からも十分な一体性が確保されていたことがわかる。

最後に、実大試験体における打込みタイトルの損傷経過について概観する(図-11)。曲げ最大耐力に達した部材角1/100radまでは、タイトルの剥落は一切見られなかった。その後最終的には、部材角1/25radに至るまで加力を行ったが、梁端部の圧縮縁付近で圧潰に伴う剥落がわずかに観察された程度で、地震時の終局的な大変形に際しても、タイトルの飛来・落下による2次的人的被害に繋がるような損傷は生じないことが確認できた。

§5. まとめ

(1) ハーフPCa部材の打継ぎ境界面に要求されるせん断伝達性能について、簡単な算定式を提案した。

(2) 打継ぎ境界面の部分引張り、部分せん断実験の結果から、以下の知見が得られた。

・正方形断面部材において、エアクッション以外の境界面仕様では十分な応力伝達は期待できない。また、エアクッション仕様でもコア部コンクリート強度が大きい場合には、必ずしも十分な応力伝達が可

能とは言えない。

・エアクッション仕様で外殻部を振動成型とした場合の方が、引張り強度、せん断強度とも、遠心力成型としたものより大きくなる。

・エアクッション仕様とした場合の打継ぎ境界面のせん断強度は、セルの見付け面積比を変数とした算定式で求められる。

・エアクッション仕様では、#60タイプのものが最も有効にせん断力を伝達できる。

・外殻部の各辺中央部にシアキーを設けない仕様の場合、全周に設ける場合に比べ、平均的なせん断強度は小さくなる。

・円形断面部材の場合、洗浄による目荒らしを施せば十分なせん断強度が得られる。

(3) 柱・梁部材の曲げせん断実験の結果から、以下の知見が得られた。

・打継ぎ境界面の仕様をエアクッション#60タイプとしたハーフPCa部材は、曲げおよびせん断耐力、並びに靱性能において、在来の一体打設部材と同等以上の性能を示した。

・打継ぎ境界面での一体性は、最大耐力に達するまで十分に確保できた。

・外殻部を打込みタイトルとした場合でも、終局的な大変形に至るまで、2次的なものを含め甚大な被害は生じないことが確認できた。

謝辞 本実験の実施にあたり、試験体製作等で御協力頂きました羽田ヒューム管(株)、テイヒュー(株)の皆様へ感謝致します。

＜参考文献＞

- 1) 名須川他“繰り返し荷重を受けるハーフPC柱の曲げに関する実験的研究”日本建築学会大会、'91年9月、pp.707-8
- 2) 香田他“遠心成形外殻を用いたハーフPCa柱のせん断性状に関する実験”日本建築学会大会、'92年8月、pp.993-4
- 3) 香田他“超高強度鉄筋コンクリート造架構の構造性能(その2柱実験)”日本建築学会大会、'94年9月、pp.467-8
- 4) 香田他“遠心成形PCa外殻を利用したRC柱の開発(その1)概要および施工性能”清水建設研究報告、第58号、平成5年10月、pp.53-61
- 5) 香田他“同(その2)一構造性能一”清水建設研究報告、第59号、平成6年4月、pp.9-17
- 6) 日本建築学会編“鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説”1988年7月
- 7) 日本建築学会編“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”1988年10月

