

論文

[2088] PCa および RC 柱の圧縮性状に関する実験的研究

正会員○中野克彦 (東京理科大学建築学科)

正会員 松崎育弘 (東京理科大学建築学科)

1. はじめに

著者らは、せん断補強筋を埋め込んだ薄肉中空プレキャスト部材を型枠及び構造体としても用い、中空部に後打ちコンクリートを打設することにより構造的に一体化するように意図したプレキャスト柱部材 (以下、「□型PCa柱部材」) の研究を進めている。本研究は、□型PCa柱部材のせん断補強筋量、せん断補強筋強度、せん断補強筋の材質等をパラメーターとして実験を行い、最大圧縮強度及びその後の靱性能を実験的に把握しようとするものである。また、□型PCa柱部材にすることにより生じる、プレキャスト部材と後打ちコンクリートとの一体性の確保、主筋がせん断補強筋に接しないことによる影響、プレキャスト部材端に敷モルタル等を使用しない場合の隙間による影響、□型PCa部材を分割することによる影響等の問題点についても把握できるようにパラメーターを設定し、一軸圧縮載荷実験を行った。

2. 実験概要

2.1 試験体

図1に□型PCa柱部材の試験体形状及び断面形状を示す。

表1に試験体一覧を示す。試験体は、以下に示す変動要因子とその水準を組み合わせた□型PCa柱部材が12体、一体打ち試験体が7体の合計19体である。

- ①断面形状: □型PCa部材、分割型□型PCa部材 (A type, B type)、一体打ち
- ②せん断補強筋量: $p_w=0.37\%, 0.73\%$
- ③せん断補強筋強度: $w\sigma_y=4070, 7290\text{kgf/cm}^2$
- ④せん断補強筋材質: D6異形鉄筋、D6相当長繊維 (炭素+ガラス繊維, $w\sigma_u=6350\text{kgf/cm}^2$)
- ⑤PCa表面内のコッターの有無
- ⑥主筋がせん断補強筋に接しないもの
- ⑦柱脚部位置におけるシェル端部に目地を有するもの (図7参照, 深さ15mm, 幅20mm)
- ⑧主筋強度: $s\sigma_y=3900, 7210\text{kgf/cm}^2$
(一体打ち試験体のみ)

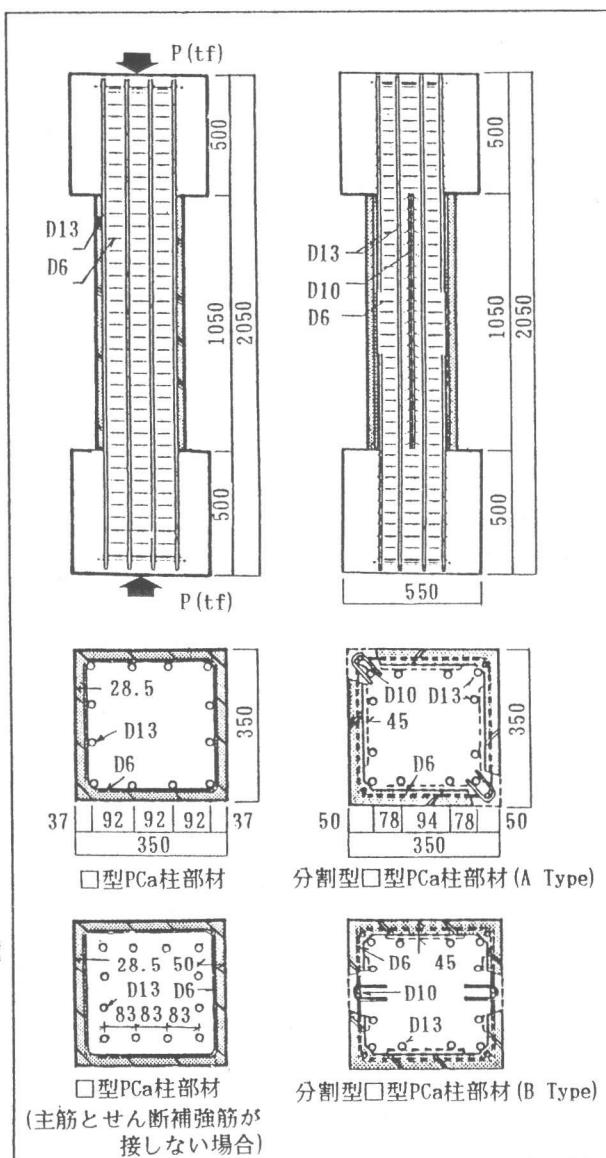


図1 試験体形状および断面形状

試験体形状は、1/2縮尺モデルで試験区間は35×35cmの正方形断面を持つ高さが105cmの角柱体である。□型P C a部材は、フープ筋を内蔵した厚さ2.85cmの中空部材であり、図2に示すシアコッターを有し、中空部には主筋を12本配する形式とした。分割型□型P C a部材は、「」型(A TYPE)、[]型(B TYPE)の2つに分割した部材である。これらは図3に示すような接合形式により□型に組み立てるものである。せん断補強筋は、端部を主筋に突合せるように溶接して4.5cm厚のP C a部材に内蔵し、U字型鉄筋で接合する方法をとっている。中空部には8本の主筋を配し、隅角部の4本の主筋は重ね継手とした。また、試験体製作にあたっては、最初に□型P C a部分を製作し、後打ちコンクリートを打設した後、両端部スタブ部分のコンクリートを打設した。尚、実験時のコンクリート圧縮強度、主筋およびせん断補強筋の材料試験結果を表1の中に示す。

2. 2 実験方法

載荷方法は一方向単調軸圧縮とし、軸圧縮ひずみ度は試験区間の4面において上下スタブ間を変位計で測定し、その平均値として求めた。主筋およびせん断補強筋のひずみ度は、中央点を含む高さ方向3点においてひずみゲージにより測定した。

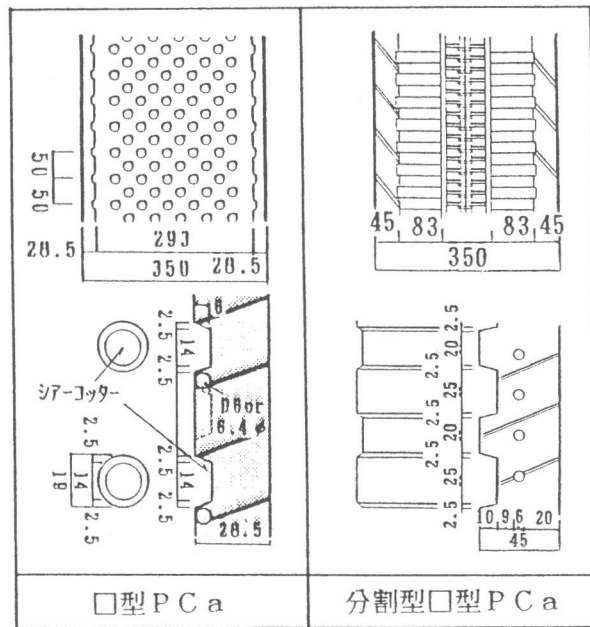


図2 シアコッター形状図

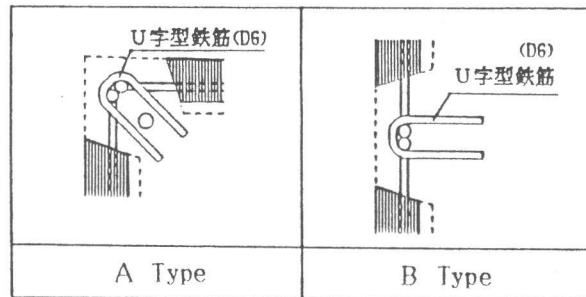


図3 分割型□型P C a接合方式

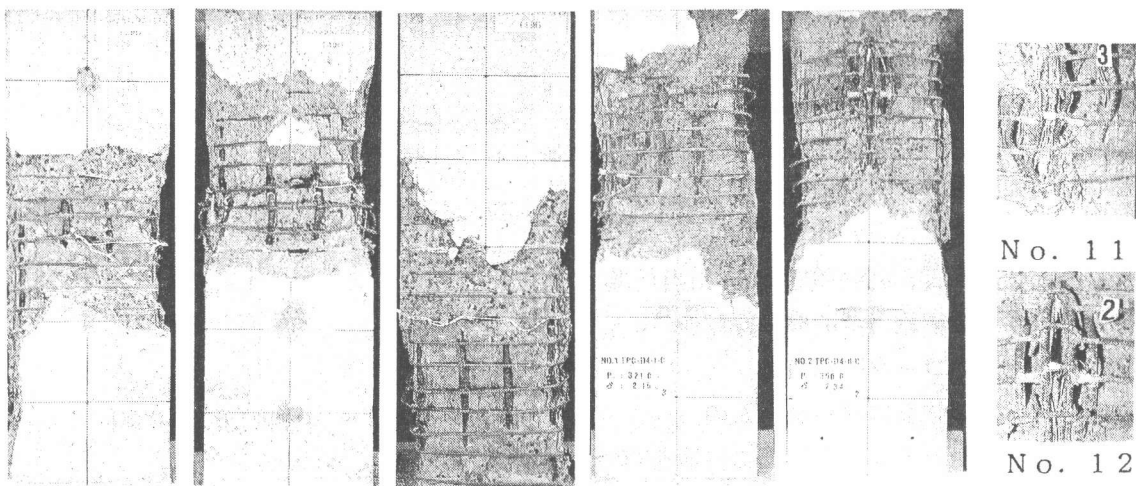


写真1 最終破壊状況例 (NO.1,13,6,11,12)

写真2

接合部破壊状況

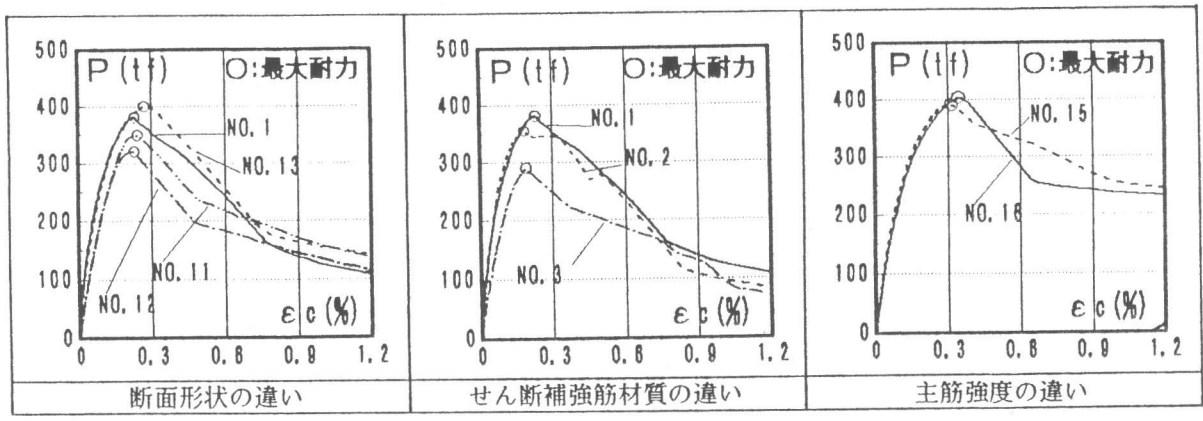


図4 各要因別の荷重(P)-軸圧縮ひずみ度(εc)関係

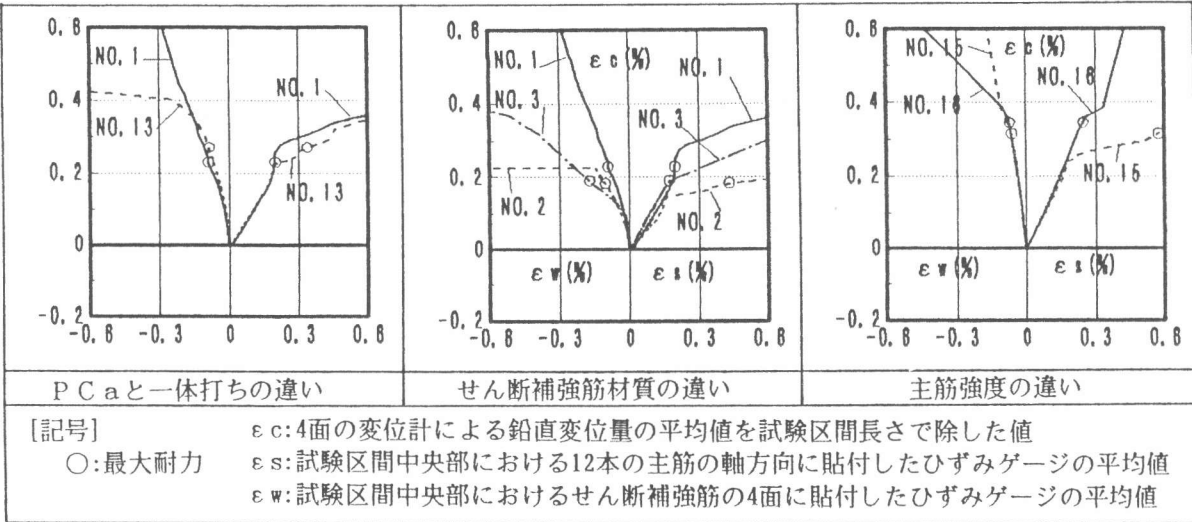


図5 各要因別の軸圧縮ひずみ度(εc)と主筋の軸ひずみ度(εs)及びせん断補強筋のひずみ度(εw)との関係

3. 実験結果および検討

3.1 破壊状況

写真1に最終破壊例(NO.1, 6, 11, 12, 13)、図4に各要因別による荷重(P)-軸圧縮ひずみ度(εc)関係、図5に各要因別の軸圧縮ひずみ度(εc:4面の変位計による鉛直変位量の平均値を試験区間長さで除した値)と試験区間中央部における主筋の軸ひずみ度(εs:12本の主筋の軸方向に貼付したひずみゲージの平均値)、及び、せん断補強筋ひずみ度(εw:4面に貼付したひずみゲージの平均値)との関係を示す。

□型PCa柱部材の最終破壊状況は、シェル端部に目地を設けた試験体(NO.6)がシェル端部(下側)において、主筋の座屈により破壊に至ったのに対し、その他の試験体は、軸圧縮ひずみ度が約0.25%で主筋が降伏し始め、約0.3%で中央部に横ひび割れが生じ、最大耐力を迎えた後、耐力低下を起こし、約0.4%でせん断補強筋が降伏した後、主筋の座屈を伴い破壊に至った。また、せん断補強筋に長繊維を用いた試験体(NO.3)は最大耐力以後、軸圧縮歪が約0.3%で曲げ加工部の破断により主筋の座屈を伴い最大耐力を迎えた。これより、シェル部分と後打ち部分のコンクリートは一体化して挙動しているものと思われる。

分割型□型PCa柱部材(NO.11, 12)は、軸圧縮ひずみ度が約0.2%で主筋が降伏し始め、約0.3%でPCa部材に内蔵されている主筋も降伏した後、最大耐力を迎え、耐力低下を起こし、約0.5%

表1 試験体一覧及び実験結果一覧

No	試験体形状	試験体要因							実験結果				
		s σ y kg/cm ²	c σ B1 kg/cm ²	c σ B2 kg/cm ²	c σ B kg/cm ²	pw %	w σ y kg/cm ²	ジョウ-	Pmax tf	ϵ Pmax %	s σ max kg/cm ²	c σ max kg/cm ²	c σ max c σ B
1	DPC-4-30	3770	346	341	342	0.37	4070	○	381	0.230	46.9	265	0.78
2	DPC-4H-30	3770	354	345	346	0.37	7290	○	355	0.184	46.9	243	0.70
3	GCPC-4-30 *1	3900	293	197	212	0.37	6350	○	292	0.190	48.5	190	0.90
4	DPC-8-30	3770	333	361	357	0.73	4070	○	383	0.299	46.9	266	0.75
5	DPC-8H-30	3770	359	361	361	0.73	7290	○	407	0.265	66.9	285	0.79
6	DPCB-4-30	3770	346	345	345	0.37	4070	○	283	0.231	46.9	264	0.77
7	DPC-4-B30	3770	339	348	347	0.37	4070	○	391	0.228	46.9	273	0.79
8	DPC-8-B30	3770	316	371	362	0.73	4070	○	402	0.269	46.9	281	0.78
9	DPN-4-30	3770	307	351	344	0.73	4070	×	397	0.262	46.9	277	0.81
10	DPN-8-30	3770	367	364	364	0.73	4070	×	419	0.270	46.9	295	0.81
11	TPC-4A-30	3630	226	298	274	0.37	4420	○	320	0.229	44.8	216	0.79
12	TPC-4B-30	3630	226	298	273	0.37	4420	○	350	0.243	44.8	232	0.85
13	D6-4-30	3770	---	---	341	0.37	4070	-	400	0.270	46.9	280	0.82
14	D6-4-70	7210	---	---	473	0.37	4100	-	560	0.357	73.4	384	0.81
15	D6-8-30	3770	---	---	361	0.73	4070	-	391	0.314	46.9	272	0.75
16	D6-8-70	7210	---	---	322	0.73	4100	-	403	0.345	72.0	257	0.80
17	GC6-4-30 *1	3900	---	---	473	0.37	6350	-	498	0.330	48.5	358	0.76
18	GC6-4-70 *1	7210	---	---	322	0.37	6350	-	409	0.381	78.4	256	0.79
19	GC6-8-70 *1	7210	---	---	413	0.37	6350	-	457	0.372	76.5	297	0.72

s σ y : 主筋の降伏応力度 pw : せん断補強筋比 Pmax : 最大耐力
c σ B1 : シェル部分のコンクリート圧縮強度 w σ y : せん断補強筋の降伏応力度 ϵ Pmax : 最大耐力時の圧縮歪
c σ B2 : 後打ち部分のコンクリート圧縮強度 s σ max : 鉄筋の負担応力度
c σ B : 断面積比による材料強度 c σ max : コンクリート負担応力度
*1) NO. 3, 17, 18, 19のせん断補強筋は長繊維を用いている

でせん断補強筋が降伏した後、主筋の座屈を伴い破壊に至った。写真2に分割されたせん断補強筋の接合部の破壊状況を示す。最終破壊までPCA部材が分離することはなく、U字型鉄筋がせん断補強筋をつなぎ止めておくのに有効に作用することが認められた。

主筋に7000kgf/cm²級の高強度鉄筋を用いた試験体 (NO. 14, 16, 18, 19) は、最大耐力時の軸圧縮ひずみ度が0.35~0.38と普通鉄筋を用いた試験体に比較して大きくなっている。最大耐力はコンクリートの圧縮耐荷力が最大値の直後に達したと思われる。その後、耐力低下とともに急激に主筋の歪が大きくなり降伏した。約0.5%でせん断補強筋が降伏した後、主筋の座屈を伴い破壊に至った。

せん断補強筋の材質およびせん断補強量の違いによる試験体での破壊状況を比較すると、最大耐力までの挙動には差はみられなかったが、最大耐力以降の耐力低下の割合が異なり、pw=0.37%0.73%で比較すると、最大耐力の約80%時の軸圧縮ひずみ度はpw=0.37%で0.44%、pw=0.73%で0.78%であった。せん断補強筋の材質の違いによる試験体について比較すると、普通鉄筋を用いたものが最大耐力以降、急

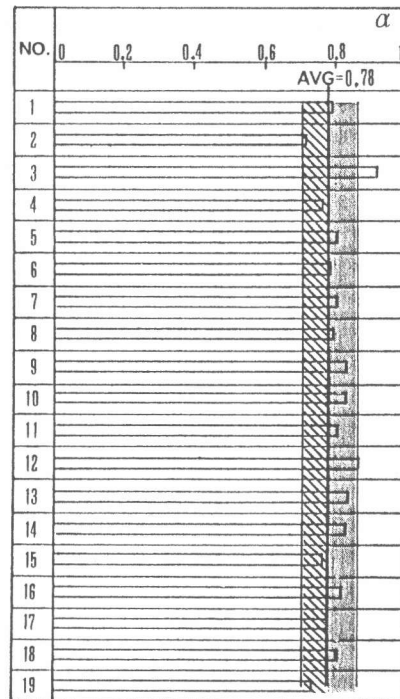


図6 コンクリート負担分とコンクリート材料強度の比

激に耐力低下を起こしたのに対し、高強度鉄筋を用いたものは、最大耐力を軸圧縮歪で約0.4%程度まで維持し、その後耐力低下を起こした。

3. 2 最大耐力

表1に実験結果一覧を示す。材料試験によるコンクリート圧縮強度(約 $c\sigma B=350\text{kgf/cm}^2$)が比較的類似していた口型PCa柱部材の最大耐力(Pmax)は、シェル内のせん断補強筋の材質、シアコッターの有無、主筋の位置等の違いによる影響はなく、最大耐力時の平均軸圧縮歪が約0.2~0.3%に達した時に、約360~420tfであった。これらに比べ、シェル端部に目地切りを行った試験体(N0.6)では284tfとなり、約70%となった。最大耐力から主筋負担分($s\sigma\text{max}$)を引いた荷重から算出した圧縮応力度($c\sigma\text{max}$)は材料試験によるコンクリート圧縮強度の約70~80%になっている。また、N0.6についても有効圧縮断面積を中空部内の後打ちコンクリート部分と考えてコンクリート負担分を算出すると77%となり他の試験体と同様の評価が得られる。一体打ち試験体についても同様に算出すると、コンクリート負担分は約70~80%となり同様の結果となった(尚、最大耐力時に主筋が降伏していない高強度鉄筋を主筋に用いた試験体の鉄筋負担分は、最大耐力時の軸圧縮ひずみ度より求めた。)。これらより、柱部材の最大耐力は、主筋負担部分とシェルを含めたコンクリート負担部分との累加強度で表されることを示している。

以上より、角型せん断補強筋を有する矩形断面をもつ柱部材の最大圧縮耐力(Pmax)は以下の式が成り立つ。

$$P_{\text{max}} = s\sigma_y \cdot A_s + \alpha \cdot c\sigma B \cdot A_c \quad (1) \text{式}$$

$s\sigma_y$: 主筋の実応力度 $c\sigma B$: プレーンコンクリートの圧縮強度
 A_s : 主筋の全断面積 A_c : コンクリートの全断面積

図6に最大耐力時における主筋負担分を除いたコンクリート負担応力度とコンクリート材料試験結果による圧縮強度との比(α)を示す。 α の値は、ほぼ0.7~0.8(平均値として0.78)の値が得られた。

3. 3 シェル端部の目地による影響

図7にシェル端部の目地の有無による試験体(N0.1,6)の荷重-軸圧縮ひずみ度関係、及び、材軸方向に貼付した主筋の軸圧縮ひずみ度(ϵ_c)と荷重(P)の関係、及び、主筋の軸圧縮ひずみ度(ϵ_c)とせん断補強筋のひずみ度(ϵ_w)の関係を示す。N0.6の試験体は、図7に示したようにシェル両端部に接するスタブに深さ15mm、幅20mmの目地が切っておりコア部分のみを圧縮した。

目地部分を含むスタブ間を測定した軸圧縮ひずみ度(ϵ_c)、及び、目地部分に貼付した主筋の軸圧縮ひずみ度(LE部分)において違いがみられるが、目地を含まない測定区間70cmで測定した軸圧縮ひずみ度(ϵ_{c1})、及び、その他の主筋ゲージは、荷重が約200tfまではほとんど類似した性状を示した。また、主筋の軸方向ひずみ度に対するせん断補強筋のひずみ度も類似していた。

以上の事より、圧縮軸力による軸方向剛性はPCa部材と後打ちコンクリートとの一体性が保たれている範囲では全断面で評価でき、最大耐力はシェル部分を除いた有効圧縮断面により評価できると考えられる。

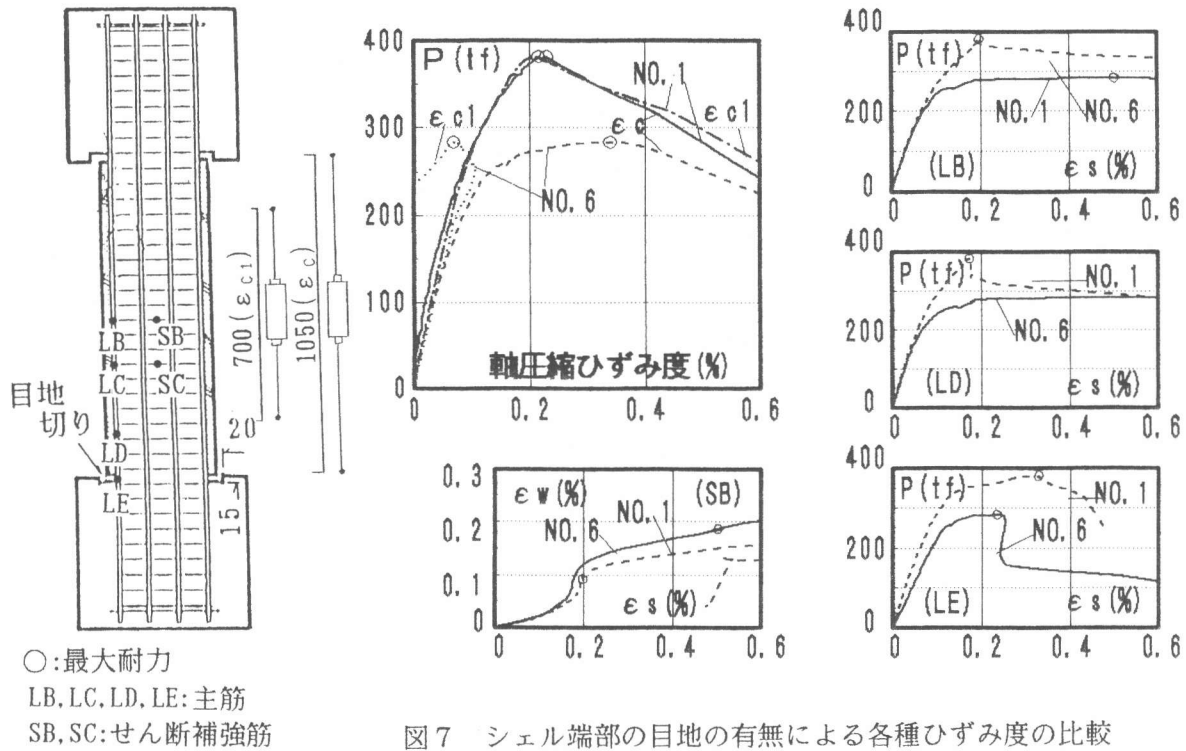


図7 シェル端部の目地の有無による各種ひずみ度の比較

4. まとめ

本実験結果で得られた結果を以下に要約する。

- 1) □型P C a柱部材の軸圧縮特性は一体打ち柱部材と同等の圧縮性状を示す。
- 2) せん断補強筋量、及び、せん断補強筋強度は最大耐力には影響なかったが、最大耐力以降の圧縮靱性には有効である。
- 3) ヤング係数が約1/6である長繊維をせん断補強筋に用いた場合においても最大耐力には影響なかったが、最大耐力以降において曲げ加工部の破断により急激に耐力低下した。
- 4) 角形せん断補強筋を有する矩形断面をもつR C柱部材の最大耐力は、主筋負担分とコンクリート負担分の累加強度で評価でき、コンクリート負担分は材料試験によるコンクリート圧縮強度の約0.78倍である。
- 5) 主筋がせん断補強筋に内接しないことが圧縮性状に与える影響はみられなかった。
- 6) 後打ちコンクリートのみに圧縮力を加えた場合の最大耐力は後打ちコンクリートのみの断面で評価でき、P C a部材と後打ちコンクリートの一体性が保持されている場合の荷重と軸歪との関係は全断面で評価できる。

[謝辞] 本研究を行うにあたり高強度鉄筋を提供下さった北越メタル(株)、実験を担当した、東京理科大学大学院修了生の生田目俊則君、卒業生の岡本尚美君、研究生の高坂信君、および実験に御協力いただいた大木建設、鉄建建設、清水建設、東急建設の関係各位に深く感謝致します。

[参考文献]

- [1] 松崎育弘他：型枠を兼ねたフープ筋付き分割型プレキャスト部材を用いたR C柱のせん断耐力に関する実験研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13 No.2, pp.671-674