

論文

[2142] プレキャスト鉄筋コンクリート造基礎梁部材の曲げせん断実験

大淵英夫\*1・松崎育弘\*2・中野克彦\*3・飯田良春\*4

1. はじめに

我が国では、壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造の基礎構造は、原則として場所打ちとされている[1]。しかし現場での施工性を考慮すると基礎構造もプレキャスト化の可能性を試みる必要がある。一方、プレキャスト化に際して実大規模の実験資料が不足しており、プレキャストは一体打ちに準じた考え方になっているのが現状である。プレキャスト鉄筋コンクリート造では、部材生産、運搬手段、現場での施工性、構造体としての機能を考え合わせて部材に分割される。そこで本研究では、壁柱近傍の基礎梁にヒヅが起る場合を想定し、そこに接合部を有する基礎梁の曲げ性状と、壁梁中央部分に接合部がくることを想定し、そこに接合部を有する基礎梁のせん断性状を把握するため実大レベルに近い規模の曲げせん断実験を行い検討を行った。接合面近傍の性状が部材全体に及ぼす影響を実大に近い規模の実験を行い、構造性能を把握し、過去の部分実験の資料をもとに検討し、今後更にどんな考え方をしていかなければならないかを提案する。

2. 実験概要

試験体は曲げ破壊型(MTYPE)2体、せん断破壊型(STYPE)3体の総数5体で、試験体は実大の $1/\sqrt{2}$ 縮小モデルとし、試験区間断面は  $b \times D = 18(\text{cm}) \times 128(\text{cm})$  の矩形断面、せん断スパン比  $a/D = 0.86$  である。MTYPE試験体は、大野・荒川mean式計算値を曲げ略算式値で除した値(以下、せん断余裕度)を1.8程度に、STYPE試験体はせん断余裕度を0.8程度になるように設計をした。全ての試験体のせん断補強筋は135°フックとし、せん断補強筋比はNO.1,2が $p_w = 0.30(\%)$ とし、NO.3~5は $p_w = 0.20(\%)$ とした。試験体一覧を表-1に、代表的な試験体の配筋及び試験体形状を図-1に示す。各試験体の特徴は、MTYPE試験体は梁端部の接合部の有無、STYPE試験体は梁中央部の接合部の有無、及び接合方法である。NO.5試験体は梁二段筋を接合部手前で折り曲げ加工をした。

表-1 試験体一覧

NO	試験体名	試験体要因			引張鉄筋比 $p_t(\%)$	有効梁せい $d(\text{cm})$	せん断補強筋比 $p_w(\%)$	鉛直接合部 水平接合筋比 $p_v(\%)$
		破壊型	試験体形状	主筋形状				
1	MTYPE-MONO	曲げ破壊型	一体打ち	一本もの	0.45(%)	121(cm)	0.30(%) D6(SD295) @12.0(cm)	—
2	MTYPE-PC		PCa	溶接物	2D19(SD345) +2D16(SD295)			0.14(%) 10D6(SD295)
3	STYPE-MONO	せん断破壊型	一体打ち	一本もの	0.72(%) 2+2D22 (SD490)	120(cm)	0.20(%) D6(SD295) @17.5(cm)	—
4	STYPE-PC		PCa					折曲げ定着
5	STYPE-PC-U							
<b>■共通要因■</b> 断面 $b \times D = 18 \times 128(\text{cm})$ せん断スパン比 $a/D = 0.86$ コンクリート設計基準強度 $F_c = 210(\text{kgf/cm}^2)$								

- \* 1 東京理科大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)
- \* 2 東京理科大学 工学部建築学科、工博 (正会員)
- \* 3 東京理科大学 工学部建築学科、助手 (正会員)
- \* 4 東急工建(株) 技術開発部

接合部の詳細を図-2に示す。接合部の設計に関しては壁式鉄筋コンクリート造設計規準の終局せん断耐力式を利用した。

$$Q_{Dv} = 0.10F_c \cdot A_{sc} + \sigma_y \Sigma a_v$$

ここに $Q_{Dv}$ は鉛直接合部の終局せん断力、 $F_c$ は接合部コンクリートの設計規準強度、 $A_{sc}$ は7アジャ-の鉛直断面積の和、 $\sigma_y$ は接合筋の降伏強度を、 $\Sigma a_v$ は接合筋断面積の和を表す。接合部は1面に7アジャ(アジャ-断面積 $A_{sc}=208\text{cm}^2$ 、アジャ-支圧断面積 $A_p=40\text{cm}^2$ )を5個有している。

NO.2は接合筋にD6(SD295)を $\pi$ - $\pi$ 状に加工したものを2本用い、NO.4,5は接合筋にD8(SDR295)のそれを用い、接合筋の定着長さは $30d$ とした。コンクリート設計基準強度は $F_c=210(\text{kgf/cm}^2)$ とし、全試験体及び接合部で共通である。NO.2試験体の接合部終局せん断耐力計算値は $Q_{Dv}=31.5\text{tf}$ 、NO.4、NO.5試験体は $Q_{Dv}=36.3\text{tf}$ である。また接合部内に7アジャを結ぶひび割れ抑止にD16の縦筋を配した。主筋に関しては、接合部内で一段筋、二段筋共 $\pi$ - $\pi$ 溶接で接合し、NO.5試験体のみ一段筋のみを接合した。材料試験結果を表-2a、bに示す。加力は逆対称 $\epsilon$ - $\mu$ 形式、繰り返し载荷を行った。測定は、相対変位及び接合部の接合面のずれ変形及び浮き上がり変形を、また主筋、補強筋及び接合筋の歪を測定した。

表-2 a コンクリート材料試験結果

NO	打設箇所	圧縮強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	圧縮強度歪 ( $\mu$ )	ヤング係数 $\times 10^4$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )
1	一体打ち	205	1480	3.19
	PCa	219	1800	2.85
2	接合部	232	1530	3.18
	一体打ち	256	1980	2.19
3	PCa	292	1830	3.04
	接合部	259	1740	2.96
4	PCa	334	1800	2.85
	接合部	292	1830	3.04

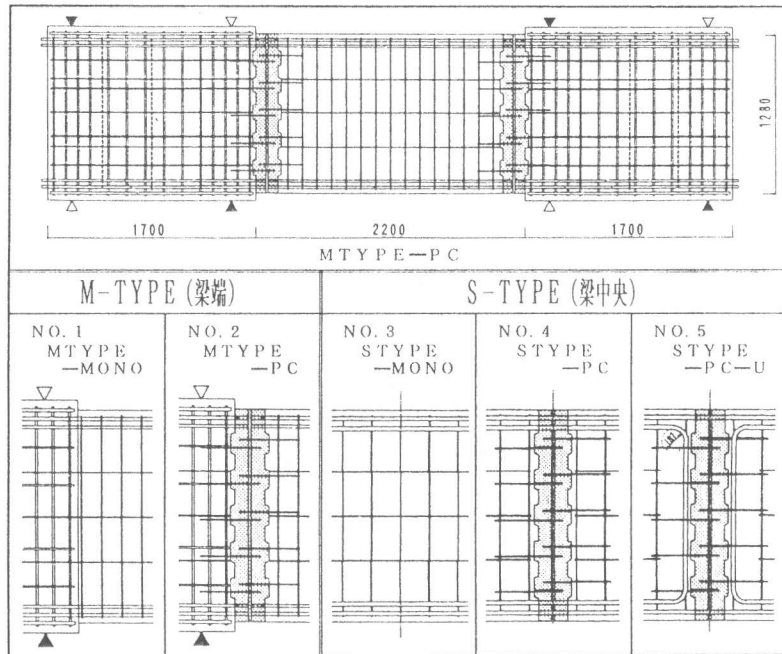


図-1 試験体の配筋及び試験体形状図

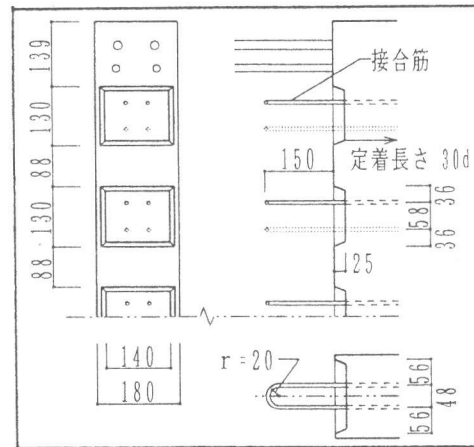


図-2 接合部詳細図

表-2 b 鉄筋材料試験結果  
M-Type (NO.1, NO.2)

鉄筋の径及び材質	降伏応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	降伏ひずみ ( $\mu$ )	引張強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	ヤング係数 $\times 10^6$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	
主筋	SD295-D16	3540	1890	5320	1.87
	SD345-D19	3580	2070	5560	1.73
補強筋 アジャ-筋	SD295-D6	4060	2160	5520	1.88

S-Type (NO.3, NO.4, NO.5)

鉄筋の径及び材質	降伏応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	降伏ひずみ ( $\mu$ )	引張強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	ヤング係数 $\times 10^6$ ( $\text{kgf/cm}^2$ )	
主筋	SD295-D16	3650	2060	5560	1.77
	SD345-D19	3860	2130	5900	1.81
	SD490-D22	5170	2740	7000	1.89
補強筋 アジャ-筋	SD295-D6	3690	1990	5420	1.85
	SD295-D8	4070	1880	5750	2.16

表-3 実験結果

NO	試験体名	実験値			曲げ耐力				せん断耐力				付着耐力		
		曲げ降伏耐力	最大耐力	破壊モード	曲げ耐力略算式	*2 Stress-Block Method		e関数法		大野・荒川式		終局強度指針A法		*1設計付着応力	*3付着靱性強度
						接合部	PCa部	接合部	PCa部	min式	mean式	非靱性	靱性 Rp=1/50		
1	MTYPE-MONO	39.9 20.9	43.7 22.9	曲げ降伏	34.4	36.2 19.0	35.7 18.7	50.0 26.2	60.9 32.0	70.2 36.8	44.9 23.6	34.5	26.6		
2	MTYPE-PC	39.6 20.8	42.8 22.5	曲げ降伏	18.1	36.9 19.4	37.0 19.4	35.7 18.7	35.8 18.8	51.5 27.0	62.9 33.0	72.9 38.3	46.8 24.6	34.5	27.6
3	STYPE-MONO		57.2 30.3	せん断破壊	78.6 41.6	83.1 44.0	77.8 41.2	53.0 28.0	66.2 35.0	64.1 33.9	42.3 22.4	9.6	24.1		
4	STYPE-PC		57.8 30.6	せん断破壊	78.6 41.6	83.1 44.0	78.1 41.3	53.3 28.2	66.5 35.2	64.5 34.1	42.6 22.5	9.6	24.3		
5	STYPE-PC-U		72.0 38.1	せん断破壊	78.6 41.6	83.3 44.1	78.2 41.4	56.2 29.7	70.5 37.3	68.8 36.4	45.6 24.1	9.6	25.8		

\*1 表中の値: 上段-せん断力 Q(tf)  
下段-せん断応力度  $\tau$  (kgf/cm<sup>2</sup>) ( $\tau=Q/b \cdot j$ )  
\*2 ACIで用いている仮定より、 $\epsilon_u=0.003$ とした計算値  
\*3 単位: kgf/cm<sup>2</sup>

3. 実験結果及び検討

3.1 変形状

表-3 に実験結果及び各耐力計算値一覧を示す。各耐力計算値は曲げ耐力については終局強度略算式、Stress-Block Method及びe関数法を用いた。せん断耐力については大野・荒川min式、大野・荒川mean式、終局強度型耐震設計指針によるせん断設計式A法において降伏ヒックを計画しないとき及び降伏ヒックを計画する場合において Rp=1/50とした時の2通りを用いた。付着耐力については終局強度型耐震設計指針の付着に対する設計の式を用いた。図-3、図-4にTYPE別のせん断力(Q)-相対変位( $\delta$ )関係の包絡線による比較を示す。材料試験結果を用いた接合部終局せん断耐力計算値はNO.2、NO.4、NO.5試験体についてそれぞれ  $cQ_{DV}=37.2$ 、 $46.6$ 、 $50.1$ tfである。MTYPE試験体についてNO.1、NO.2試験体とも主筋一段、二段共引張鉄筋が降伏し、ほぼ同変形時(R=1/300rad程度)、同耐力(Q=39.6tf程度)で曲げ降伏点を確認でき、曲げ略算式計算値と比較し15%程度高い値であった。曲げ降伏後の履歴は、R=1/200rad程度までは、接合部の有無にかかわらず同様な変形状を示し、それ以降はNO.2試験体が若干耐力が低下しているが全体的に安定した変形状を示した。STYPE試験体について、NO.3試験体とNO.4試験体は接合部の有無にかかわらずほぼ同耐力(Q=57.2tf程度)でせん断破壊をした。NO.5試験体は一体打ちNO.3試験体よりも1.3倍程度高い耐力を示し、せん断破壊した。これは接合部の接合方法を二段筋を折り曲げ主筋とすることによって、その折り曲げ主筋が補強筋的な効果を発揮したためと推定される。いずれの試験体も大野・荒川mean式計算値よりも8~28%と高い値であった。

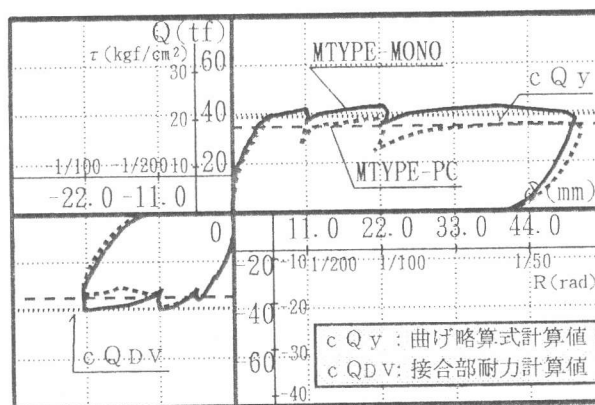


図-3 MTYPE試験体Q- $\delta$ 関係包絡線

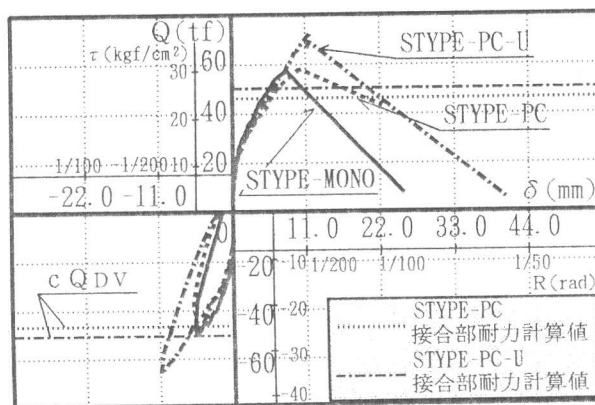


図-4 STYPE試験体Q- $\delta$ 関係包絡線

### 3. 2 破壊性状

図-5に各試験体の最終破壊状況を示す。MTYPE、STYPE試験体とも荷重の上昇に伴い、曲げせん断ひび割れが発生する傾向が見られた。NO.2試験体は、接合部のずれが $Q=4.1\text{tf}$ で発生し、繰り返しサイクルの進行に伴い曲げひび割れ、せん断ひび割れが試験区間全体に分散したが、全体として接合部を有することの影響はあまり見られなかった。

STYPE試験体は、NO.4、NO.5試験体においては、接合部のずれが $Q=15.0\text{tf}$ で発生した。最終破壊状況は、NO.4試験体では接合部を介しているものの一体打ちのNO.3試験体とよく似た破壊状況であった。又、NO.5試験体では、NO.3試験体よりも高い耐力を示し、左側プレート部において、下側の折り曲げ部と左側載加点を結ぶ大きなせん断ひび割れが入り最大耐力を迎えた。これは主筋の二段筋を折り曲げ定着とした影響である。以上のことから、梁中央に存在する接合部が部材全体に与える影響はほとんど無く、主筋の配筋形式をかえることにより破壊性状もそれに伴い変化し、一体打ち試験体よりも優れた構造性能を発揮する場合もありうるとことが確認できた。

### 3. 3 接合部の挙動

表-4に接合部を有する試験体の各変形時の耐力を、図-6に接合部を有する試験体の接合部状況を示す。NO.2試験体は左側接合部の挙動を示している。図は、左より最終破壊状況、接合部(2面)の相対ずれ量( $\delta v$ (mm))分布、目開き量( $\delta h$ (mm))分布及び鉛直接合部左側水平接合筋の軸ひずみ( $\epsilon$ ( $\mu$ ))を示し、表-4のマークが対応している。荷重の増加に伴い接合面でのずれが生じ、接合部内でジョイント同士を結ぶような小さなせん断ひび割れが発生し繰り返しサイクルが進むに従って接合部での破壊は進んでいった。

NO.2試験体は接合部終局せん断耐力計算値時( $cQ_{Dv}=37.2\text{tf}$ )には $\delta v=1.1\text{mm}$ 、 $\delta h=1.1\text{mm}$ 、降伏時には最大で $\delta v=1.4\text{mm}$ 、 $\delta h=1.8\text{mm}$ 程度であり最下段の水平接合筋は降伏に至っている。図より相対ずれ量の増加量は目開き量の増加量に対して小さく、各点の値は目開き量が最大の点が相対ずれ量の最小の点であった。また、曲げ降伏時以降、各変位及びひずみが急激に増加しているのは、接合筋としての主筋が降伏し、水平接合筋に対する負担が大きくなったことが考えられる。また、接合部上部の相対ずれ量の急激な増加は、接合部にプレート部からのせん断ひび割れが卓越し、それが接合部のずれ、目開きに与える影響が大きかったからだと考えられる。既往[2]では支圧型ジョイントの場合ジョイント自身が

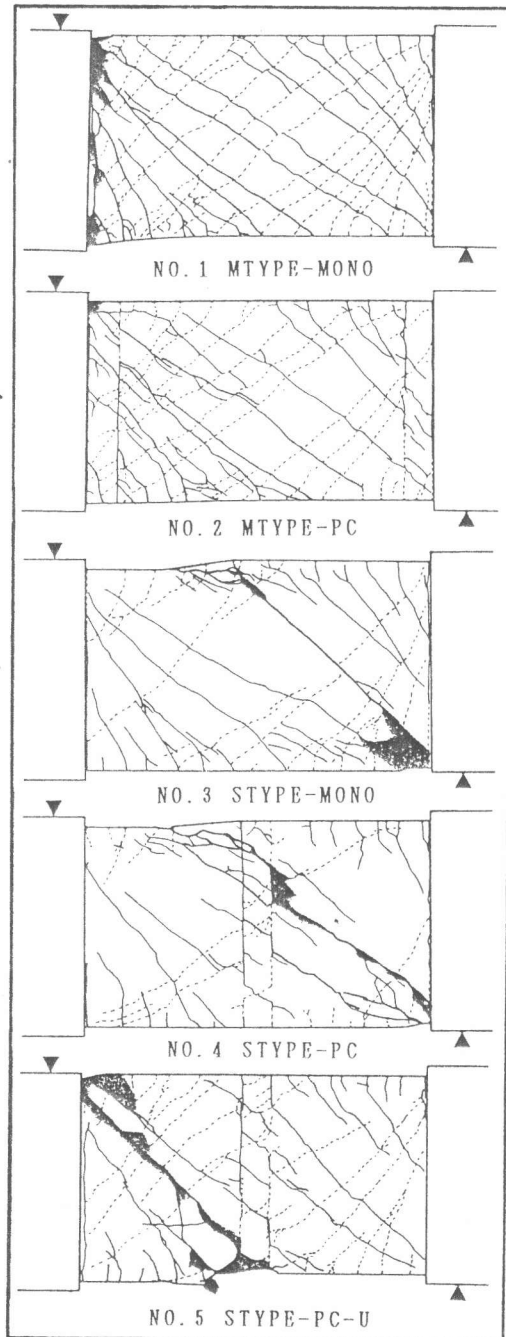


図-5 最終破壊状況図

せん断破壊することはなく支圧破壊し、せん断型ジョイントの場合はジョイントということだが、部材では図-7のようにジョイントが支圧型であるにもかかわらず、プレキャスト部からのせん断ひび割れ等で支圧型ジョイントが分断され、せん断型ジョイントとなりジョイントする場合があることが確認できた。

NO.4、NO.5試験体は目開き量はほとんど無い。NO.4、NO.5試験体それぞれ接合部終局せん断耐力計算値時( $cQ_{Dv}=46.6、50.1tf$ )には  $\delta v=1.5、1.2mm$ 、 $\delta h=0.1、0.6mm$ 、最大耐力時には最大で  $\delta v=2.8、2.0mm$ 、 $\delta h=0.5、1.0mm$ であった。ずれ量は、NO.2試験体と同様ひび割れ状況に左右され、接合部内の斜めひび割れよりも、プレキャスト部からのひび割れに支配的である結果となった。

水平接合筋の軸ひずみは、NO.4試験体は最大耐力に至っても引張側に降伏はせず、唯一上から二段目の接合筋が圧縮降伏している。

これは、接合部内の斜めひび割れとプレキャスト部のせん断ひび割れが繋がった所にあり、局部的に圧縮を受けたためであると考えられる。NO.5試験体は  $R=1/200rad$ に至って、最下段の接合筋が降伏している。この直後破壊したことから、プレキャスト部の折り曲げ筋からのひび割れの影響であると思われる。

図-8に鉛直接合部中央部における接合面近傍の水平接合筋表裏歪み分布を示す。図のマークは表-4を参照されたい。NO.2試験体では低荷重時より全体に引張側に歪んでいる。これは曲げ降伏前までは、中立軸の上昇により全体的に危険断面が引張の影響を受けていることが考えられる。荷重の増加に伴い、上側(実線)のひずみは徐々に低下し、全体に引張を負担していると同時に局部的な曲げに対して抵抗していることがわかる。

表-4 接合部を有する試験体の各変形時の耐力

M TYPE		S TYPE	
NO. 2		NO. 4	NO. 5
○	$R=1/1200(Q=23.9tf)$	○	$R=1/1200(Q=29.0tf)$
□	$1/800(Q=28.5tf)$	□	$1/800(Q=34.3tf)$
△	$1/400(Q=39.1tf)$	△	$1/400(Q=42.0tf)$
●	$eQ_y(Q=39.6tf)$	●	$eQ_{max}(Q=57.7tf)$
■	$1/200(Q=42.1tf)$	R : 相対変形角 (rad) $eQ_y$ : 曲げ降伏耐力実験値 $eQ_{max}$ : 最大耐力実験値	
▲	$1/100(Q=38.2tf)$		
*	$1/44(Q=35.2tf)$		

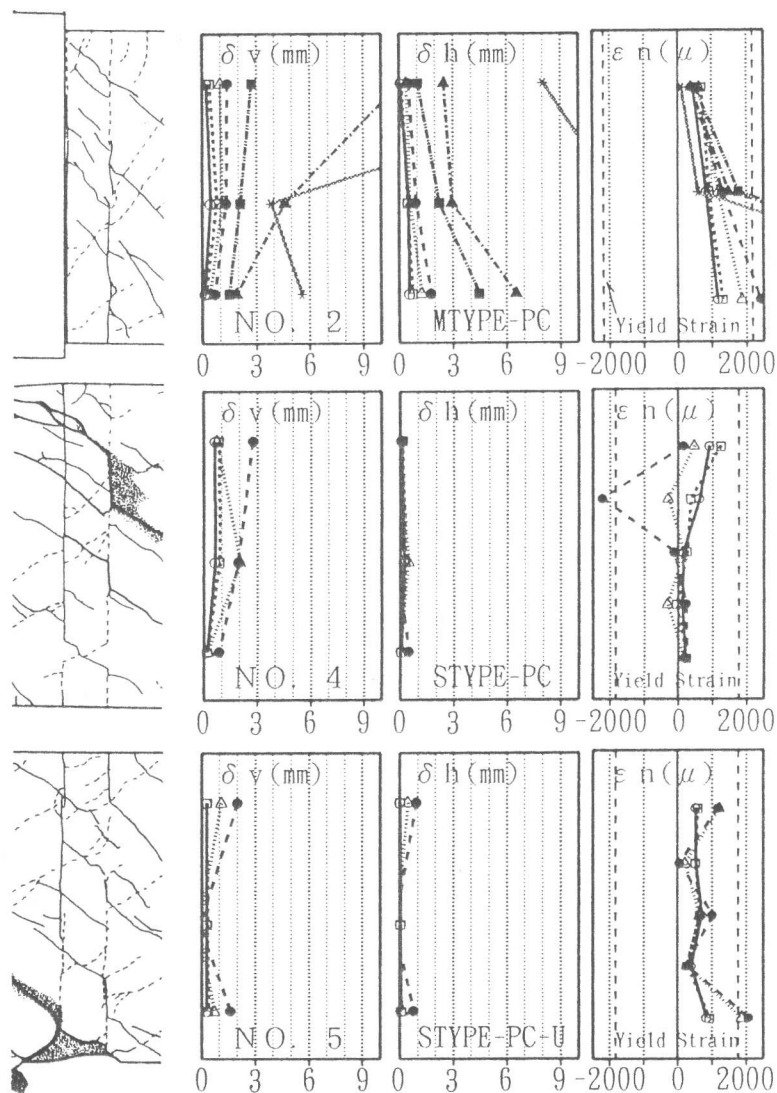


図-6 接合部状況図

NO. 4、NO. 5試験体では一方が引張に、他方が圧縮に歪んで、接合面で逆の歪みとなっており、接合筋が局部的な曲げの影響を大きく受けている。これは既往の研究[2]で、接合面に接合筋及びジョッカーが同時存在している場合は接合筋は局部的な曲げと引張力を負担するという結果と一致している。しかしNO. 4試験体は最大耐力時には表裏ともほとんどひずんでいない。一方NO. 5試験体は最大耐力時まで若干の引張力を負担しつつ、曲げに抵抗している。これらの違いは接合部内の斜めひび割れやプレキャスト部からのせん断ひび割れの影響と思われる。

#### 4. まとめ

- ・ MTYPE試験体、STYPE試験体とも接合部では部材の耐力は決まらず、接合部の有無にかかわらず同様な変形状及び破壊性状を示すことが確認でき、基礎梁のプレキャスト化は可能である。

- ・ MTYPE、STYPE試験体とも接合部を有することにより、接合面にずれ及び口開きが生じるが、STYPE試験体のずれ量及び口開き量はMTYPE試験体のそれよりも小さい。

- ・ 接合部での破壊性状については、接合部内のジョッカー同士を結ぶ斜めひび割れを生じ、接合部内で集中したが、接合部で部材の耐力は決まらず、接合部の挙動はプレキャスト部からのひび割れに顕著に影響されるということが明確になった。

- ・ STYPE試験体について、接合部の接合方法を、二段筋を折り曲げ主筋とすることで一体打ちの試験体よりも高いせん断耐力を示すことが確認できた。

#### 【謝辞】

本研究をまとめるあたり、東京理科大学松崎研究室の平川勝基氏、鈴木基晴氏、東急工建(株)の末永晋一氏、並びに実験実施にあたり鉄建建設(株)の方々に御協力を頂き、ここに記して謝意を表します。

#### 《参考文献》

- [1] 壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計規準・同解説、日本建築学会
- [2] 松崎育弘ら、プレキャスト部材接合面におけるせん断伝達に関する実験研究(その3)  
日本建築学会1993年大会(関東) 学術講演梗概集21219

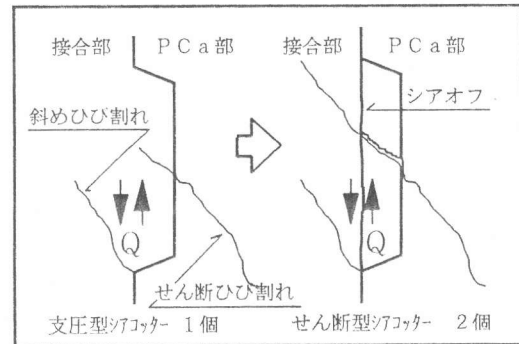


図-7 NO. 2試験体上部ジョッカー模式図

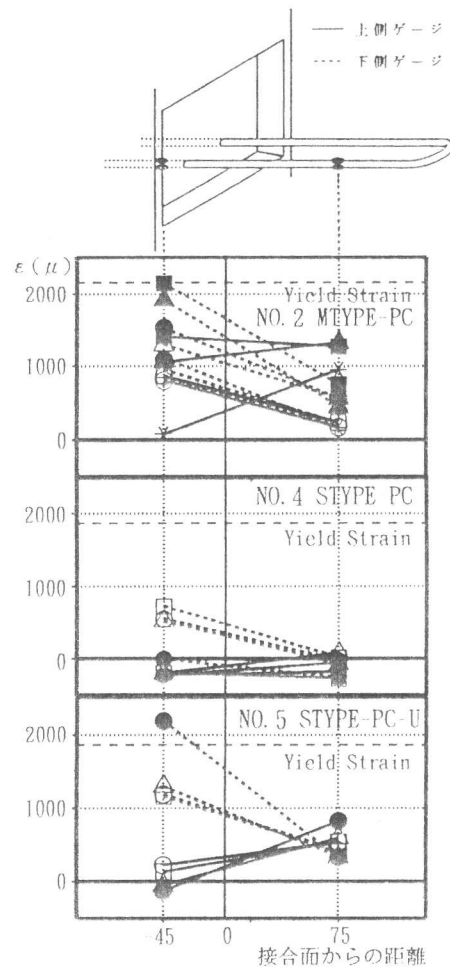


図-8 鉛直接合部水平接合筋歪分布図