

論文

[2032] プレキャスト鉄筋コンクリート小梁端部の接合法に関する研究

正会員 ○宮内靖昌 (竹中工務店技術研究所)
 正会員 菅野俊介 (竹中工務店技術研究所)
 正会員 岡本晴彦 (竹中工務店技術研究所)
 安部重孝 (竹中工務店東京本店)

1. はじめに

本研究は、プレキャスト鉄筋コンクリート造小梁（以下、PCa小梁と略す）と鉄筋コンクリートあるいは鉄骨鉄筋コンクリート造大梁との接合部の応力伝達性状を明らかにし、合理的なPCa小梁端部の接合法を確立することを目的として行ったものである。なお、本研究の概要は、既に文献1において発表した、その後追加実験を行ったので、ここではそれらも併せた検討結果について報告する。

2. 実験計画

2.1 実験因子

本研究で提案したPCa小梁端部の接合法の概要を図1および図2に示す。これらの接合法の応力伝達性状を確認するために、以下に示す因子について実験を行った。

(a) PCa小梁と大梁との接合面を横切る結合鉄筋の形状は、図1に示すように、①曲げ上げタイプ、②U型タイプ、③鉄筋コブタイプ、④鉄筋なし（比較用）の4水準とした。鉄筋コブタイプは、鉄筋の先端に圧接コブを設け、鉄筋とコンクリートの付着強度および圧接コブ部分の支圧強度により、鉄筋を定着させようとするものである。なお、文献1と形状名称が異なるが、これは、筆者らが実施した他の研究と呼称を統一するために変えたことによる。

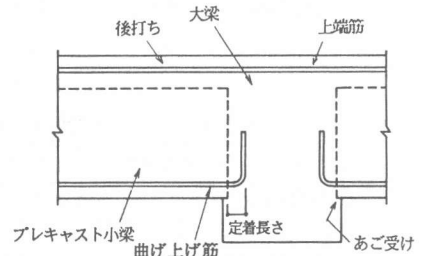
(b) PCa小梁端部の接合面の状態は、図2に示すように、①エキスバンドメタル、②円型コッター、③プレーン（比較用）の3水準とした。

(c) 結合鉄筋の直線部定着長さは、①4d、②6d（d：結合鉄筋の公称径）の2水準とした。なお、この長さは、大梁が鉄骨鉄筋コンクリート造の場合の施工性も考慮して決定したものである。

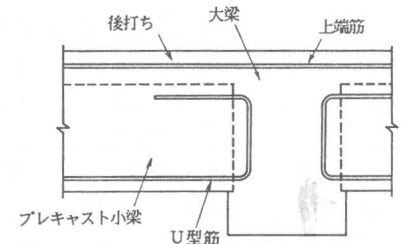
(d) PCa小梁のあご受け部（図1参照）は、①有、②無の2水準とした。

2.2 試験体

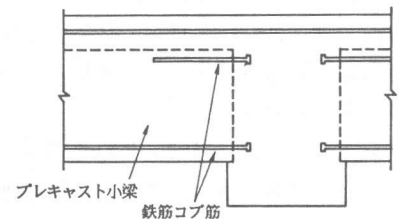
PCa小梁の諸元は、標準的な小梁を試設計し



①曲げ上げタイプ



②U型タイプ



③鉄筋コブタイプ

図1 結合鉄筋の形状

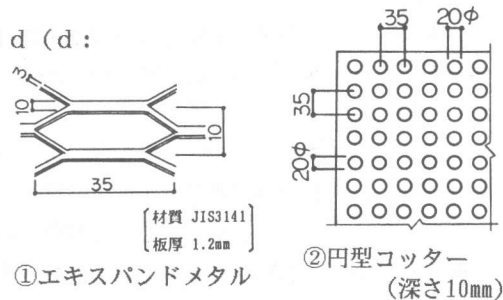


図2 接合面の状態

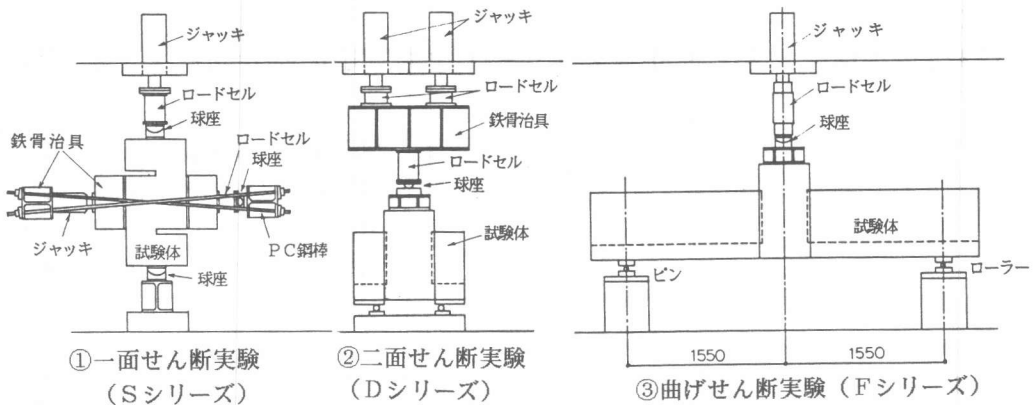


図3 加力方法

表1 コンクリートの力学的性質 (単位: kg/cm²) 表2 鉄筋の力学的性質

実験シリーズ	プレキャスト小梁部		大梁部	
	圧縮強度	ヤング係数	圧縮強度	ヤング係数
S I	365	3.06x10 ⁵	335	2.78x10 ⁵
S II	345	2.67x10 ⁵	350	2.77x10 ⁵
S III	232	2.68x10 ⁵	222	2.41x10 ⁵
D	354	3.01x10 ⁵	321	2.72x10 ⁵
F I	334	2.88x10 ⁵	302	2.73x10 ⁵
F II	243	2.54x10 ⁵	232	2.40x10 ⁵

シリーズ	使用箇所	鉄筋径	降伏応力度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (kg/cm ²)
S I	結合鉄筋	D22	4010	1.91x10 ⁶
S II			3760	1.79x10 ⁶
S III			3983	1.83x10 ⁶
D	結合鉄筋	D22	4010	1.91x10 ⁶
F I	小梁上端筋	D22(ネジ)	3910	1.96x10 ⁶
F II	結合鉄筋	D22	3983	1.83x10 ⁶
	小梁上端筋	D22(ネジ)	4047	1.83x10 ⁶
		D25(ネジ)	4016	1.79x10 ⁶

て決定し、試験体は実大とした。すなわち、小梁の断面は、幅BxせいD=30x65cm(うち、PCa部のせいは50cm、後打ち部のせいは15cm)、PCa小梁の下端筋は2-D22である。また大梁の断面はBxD=50x85cmとし、長さはPCa小梁の幅30cmに対して50cmとした。PCa小梁の大梁内へののみ込み深さは25mmとした。試験体に使用した材料の力学的性質を表1および表2に示す。

2.3 加力方法

本研究では、目的に合わせて図3に示すような加力方法による、①一面せん断実験、②二面せん断実験、③曲げせん断実験の3シリーズの実験を行った。以下に各シリーズの実験について説明する。

3. 一面せん断実験 (Sシリーズ)

3.1 目的

本実験は、PCa小梁と大梁との接合部の各因子がせん断強度におよぼす影響を検討するために行ったものである。

3.2 実験方法

試験体の一覧を表3に示す。Sシリーズ実験は3つの実験からなり、実験Iは接合面の状態、結合鉄筋の形状および定着長さを変化させた12体の試験体について行った。実験IIは、実験IおよびIIIにおいて、せん断面が偏心して破壊しないために载荷した軸応力度を主因子とした7体の試験体からなる。実験IIIは、鉄筋コブ筋の本数を0、2、4本とした3体の試験体について行った。試験体の形状、配筋を図4に示す。試験体はS字型の形状であり、せん断面をプレキャスト

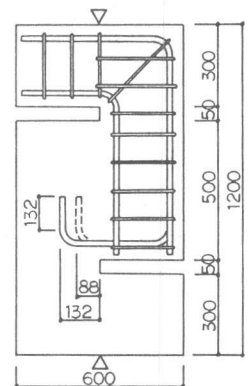


図4 試験体の形状、配筋 (Sシリーズ、曲げ上げタイプ)

表3 試験体一覧および実験結果 (Sシリーズ)

実験番号	試験体				接合面のひびわれ発生荷重 (ton)	最大荷重実験値		
	接合面の状態	結合鉄筋	定着長さ	軸応力度 (kg/cm ²)		荷重 P (ton)	応力度(1) (kg/cm ²)	
I	プレーン	曲げ上げ	4 d	1 0	1 0	21.8	29.3	19.5
			6 d			21.9	29.7	19.8
		U型	4 d	29.9		41.4	27.6	
	円型コッター	曲げ上げ	4 d	37.0		39.8	26.5	
		鉄筋なし		26.0		40.8	27.2	
	エキスバンドメタル	曲げ上げ	4 d	52.7		52.7	35.1	
			6 d	39.8		51.9	34.6	
		U型	4 d	43.9		57.8	38.6	
			6 d	46.0		63.4	42.3	
		鉄筋コブ	4 d	49.9		65.9	43.9	
6 d			48.1	67.3	44.9			
鉄筋なし			17.8	44.0	29.3			
II	プレーン	U型	4 d	0	21.6	34.9	23.3	
			4 d	0	34.9	51.9	34.6	
	エキスバンドメタル	U型	4 d	1 0	62.2	76.8	51.2	
			2 0	77.5	89.9	59.9		
		鉄筋なし	4 d	0	26.2	26.2	17.5	
			2 0	48.1	52.5	35.0		
III	エキスバンドメタル	(2) 鉄筋コブ	2 4 d	1 0	45.9	50.0	33.4	
		4 4 d	45.8		61.5	41.0		
	鉄筋なし	4 d	42.6		45.4	30.3		
		4 d						

(1) $\tau = P/bD$ ($b=30\text{cm}, D=50\text{cm}$)
 (2) 結合鉄筋本数を2本と4本に変化させた

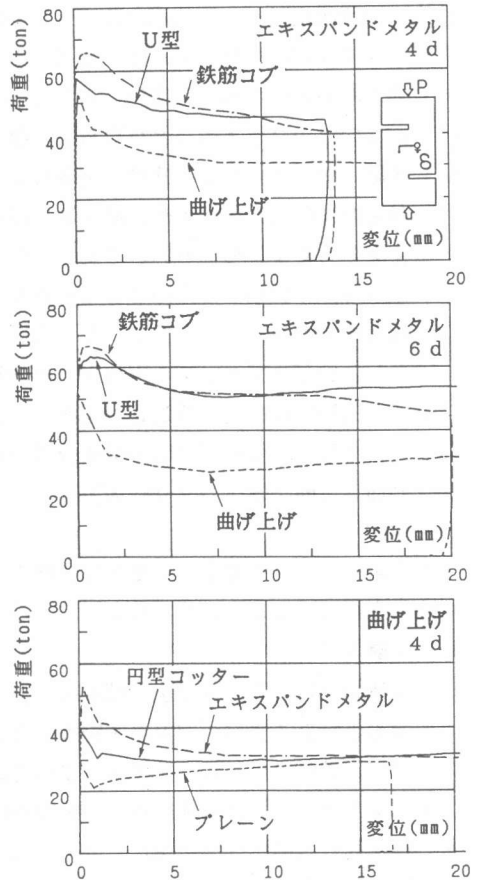


図5 荷重-変位曲線 (Sシリーズ)

部のみを接合面とし、後打ち部は含めていない。

3.3 実験結果および考察

実験結果の一覧を表3に、荷重-変位曲線の一例を図5に示す。これらの図表より以下のことが判明した。

- (1) 結合鉄筋の定着長さの違い (4 d と 6 d) が、最大強度におよぼす影響は明確でない。
- (2) 接合面を今回提案した形状の円型コッターとした試験体の最大強度は、プレーンとエキスバンドメタルの間となった。
- (3) 結合鉄筋の形状にかかわらず、接合面を横切る結合鉄筋の総断面積 (A_s) が大きくなるにしたがい、最大強度は増大した。

3.4 PC小梁接合部のせん断強度

各試験体の最大せん断応力度を図6に示す。縦軸は最大せん断応力度実験値を、横軸は結合

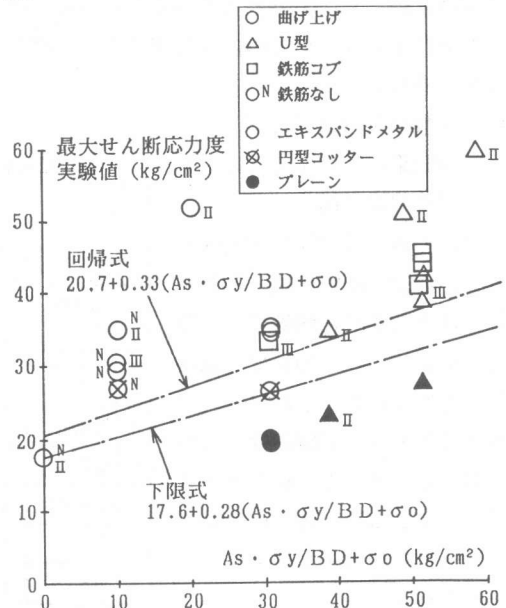


図6 最大強度の検討

鉄筋の総断面積(A_s)と降伏応力度(σ_y)の積に軸応力度を加えた値($A_s \cdot \sigma_y + \sigma_0$)を示す。図中に示す回帰式および下限式は、実験Ⅰのうち、接合面にエキスパンドメタルを用いた試験体の最大せん断応力度から軸応力度によるせん断応力度増大分を引いて求めたものである(文献1参照)。この図より以下のことが明らかになった。

- (1) 実験Ⅰから求めた下限式は、実験ⅡおよびⅢに対しても最大せん断応力度の下限値を与えた。
- (2) 軸応力度(σ_0)の増大が、最大せん断応力度の増大におよぼす影響は、($A_s \cdot \sigma_y$)の増大がおよぼす影響よりも大きい。これは、最大強度時に結合鉄筋が降伏していないにもかかわらず、($A_s \cdot \sigma_y$)で評価したためと考えられる。
- (3) 接合面をエキスパンドメタルとした場合、ほぼ同じ $A_s \cdot \sigma_y$ の値を持つ曲げ上げタイプ(実験Ⅰ)と鉄筋コブタイプ(実験Ⅲ)の試験体はほぼ同じ最大せん断応力度を示し、両者は等しい応力伝達性状を有することが判明した。
- (4) コンクリート強度がP Ca小梁接合部のせん断強度におよぼす影響は小さい。

4. 二面せん断実験(Dシリーズ)

4.1 目的

本実験は、P Ca小梁と大梁との接合部のせん断破壊性状を把握するために行ったものである。

4.2 実験方法

試験体の一覧を表4に示す。試験体は、結合鉄筋の形状およびあご受けの有無を実験因子とした8体であり、定着長さは4d、接合面はすべてエキスパンドメタルとした。試験体の形状、配筋を図7に示す。Sシリーズの試験体が後打ち部を含まないプレキャスト部分のみであったのに対して、Dシリーズの試験体は、P Ca小梁と大梁の接合部部分を取り出した形状であり、小梁の後打ち部および上端筋を含むものである。

4.3 実験結果および考察

実験結果の一覧を表4に、荷重-変位曲線を図8に示す。あご受けのある試験体の破壊性状は、あご受け部が破壊するとともに接合面がせん断破壊して最大荷重に達し、その後は、急激に耐力低下した。これに対して、あご受けのない試験体は、急激な耐力低下はなく、接合面のスリップにとともに徐々に荷重が低下した。図表より以下のことが示された。

- (1) 試験体の試設計時に求めた

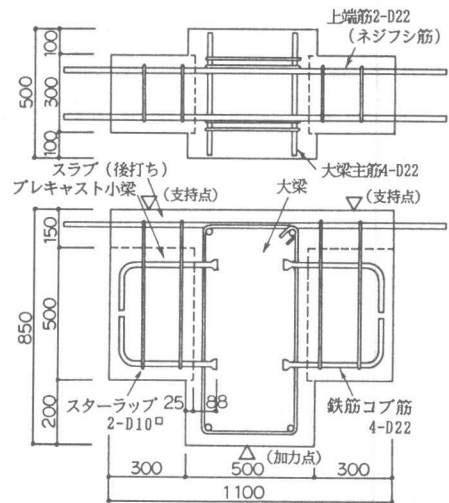


図7 試験体の形状、配筋 (Dシリーズ、鉄筋コブタイプ)

表4 試験体および実験結果一覧(Dシリーズ)

試験体	(長期 x1.5) 荷重時			最大荷重実験値 荷重 (ton)	最大荷重実験値 応力度 (kg/cm ²)	下限式による計算		
	荷重 (ton)	変位 (mm)	スリップ (mm)			計算値 (kg/cm ²)	実験値 計算値	
一体打ち	21.0	0.10	0.001	223.2	57.2			
あご受けあり	曲げ上げ	21.1	0.19	0.004	164.4	42.2	22.1	1.91
	U型	21.0	0.18	0.001	199.0	51.0		
	鉄筋コブ	20.4	0.14	0.003	176.5	45.3	26.5	1.71
	鉄筋なし	20.7	0.17	0.003	129.7	33.3		
なし	曲げ上げ	20.9	0.14	0.002	133.7	34.3	22.1	1.55
	U型	20.9	0.19	0.001	159.5	40.9		
	鉄筋コブ	21.0	0.28	0.004	164.0	42.1	26.5	1.59

変位: 試験体中央のたわみ、 スリップ: 接合部のずれ変位
 応力度 (小梁せん断応力度): $\tau = P/2BD$

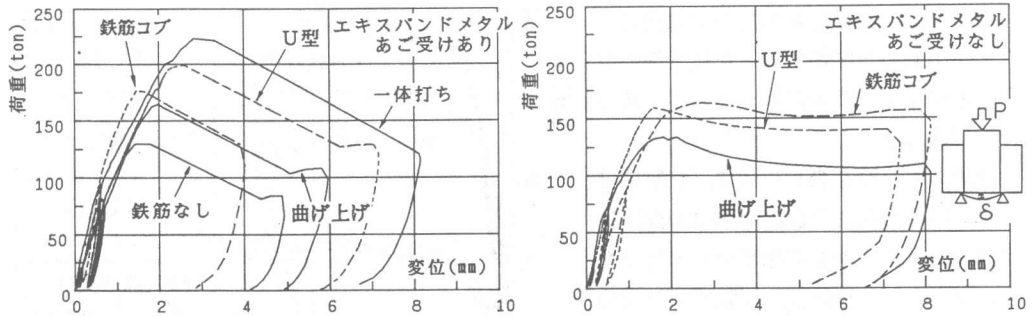


図8 荷重-変位曲線 (Dシリーズ)

(長期x1.5)荷重時では、接合面にスリップ変位は生じなかった。

- (2) あご受けなしの試験体の最大せん断応力度は、Sシリーズ実験から求めた接合部のせん断強度下限式による計算値 (式のDには後打ち部を含む小梁のせい65cmを用いた) の約1.5倍となった。これは、大梁と一体となった小梁の後打ちコンクリートおよび上端筋によるものである。
- (3) 同様に、あご受けありの試験体の最大せん断応力度は、あご受け部でのせん断伝達力がさらに付加されて計算値の約1.7~1.9倍となった。このことより、せん断強度下限式を用いて接合部のせん断設計を行っても、接合部の実際のせん断強度はさらに大きいものと考えられる。

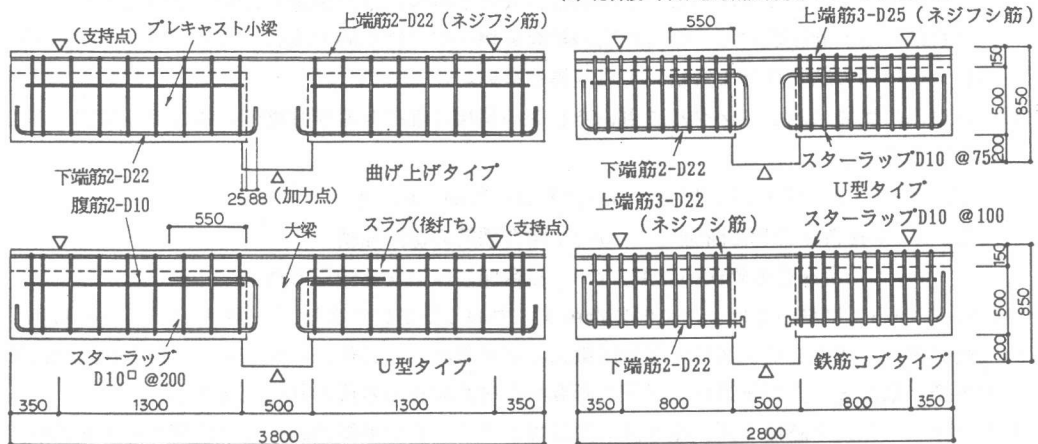
5. 曲げせん断実験 (Fシリーズ)

5.1 目的

表5 試験体および実験結果一覧 (Fシリーズ)

実験番号	試験体名	試験体の諸元				実験結果						
		結合鉄筋の形状	定着長さ	接合面の状態	小梁上端筋	せん断スパン比	曲げひびわれ発生荷重 (ton)	曲げせん断ひびわれ発生荷重 (ton)	最大荷重時実験値 荷重 (ton)	最大荷重時実験値 応力度(1) (kg/cm ²)	下限式による計算 計算値 (kg/cm ²)	下限式による計算 計算値 実験値
I	FB34	曲げ上げ	4d	エキスバンドメタル	2-D22	2.22	5.6	13.2	29.0	7.4	22.1	2.99
	FC34	U型			2-D22	2.22	5.7	13.2	32.5	8.3	26.5	3.19
II	FC342	U型			3-D25	1.37	17.1	38.1	100.8	25.8	26.5	1.03
	FD342	鉄筋コブ			3-D22		15.9	22.0	79.4	20.4	22.0	1.08

(1) 応力度 (小梁せん断応力度): $\tau = P / 2BD$



(a)実験 I

図9 試験体の形状、配筋 (Fシリーズ)

(b)実験 II

本実験は、曲げせん断応力状態におけるPCa小梁の力学的性状および接合部の健全性を確認するために行ったものである。

5.2 実験方法

試験体の一覧を表5に示す。試験体は、結合鉄筋の形状およびPCa小梁の曲げ終局強度時せん断力を変化させた4体である。実験Ⅱの試験体は、下限式より求めたPCa小梁接合部のせん断強度が、PCa小梁の曲げ終局強度時せん断力とほぼ一致するように、PCa小梁の上端筋量、およびせん断スパン比を決定し、かつ通常の小梁よりも高いせん断応力度が作用するようにした。試験体の形状および配筋を図9に示す。試験体は、PCa小梁と大梁の一部を取り出した形状とした。

5.3 実験結果および考察

実験結果の一覧を表5に、荷重-変位曲線を図10に、最終破壊状況の一例を図11に示す。各試験体の破壊経過は、結合鉄筋の形状にかかわらずほぼ同じであり、曲げ降伏した後、耐力低下もなく、大きな変形性能を示した。特に、実験Ⅱの試験体は、表5に示すように、せん断応力度 $\tau (=P/2BD) = 20 \sim 26 \text{ kg/cm}^2$ と小梁としては大きなせん断応力状態のもとで、かつ最大せん断応力度実験値に対するせん断強度下限式より求めた計算値の比が1.03~1.08と小さい状態においても、曲げ降伏時変位の5倍以上の変形性能を有していることが示された。

6. 結語

PCa小梁の接合部について、3シリーズの実験を行った結果、以下の結論が得られた。

- (1) 今回提案した接合法を用いたPCa小梁は、大梁との接合部が構造上の弱点とはならない。
- (2) 接合部のせん断強度には、結合鉄筋の総断面積(A_s)と降伏応力度(σ_y)の積($A_s \cdot \sigma_y$)が影響し、3種類の結合鉄筋の形状による差異はない。
- (3) 接合面にエキスパンドメタルを用いたPCa小梁接合部のせん断強度は次式により推定することができる。

$$\text{(下限式)} \quad \tau_u = 17.6 + 0.28(A_s \cdot \sigma_y / BD + \sigma_o) \quad (\text{kg/cm}^2)$$

ここで、 τ_u : 接合部のせん断強度 A_s : 結合鉄筋の総断面積、

σ_y : 結合鉄筋の降伏応力度、 σ_o : 接合面に作用する軸応力度

なお、PCa小梁においては、接合面に作用する力のつりあいにより、 $\sigma_o = 0$ と考えられる。

共同研究者 本研究は、(株)竹中工務店東京本店設計部の石井修、石黒三男、伊藤栄俊、技術部の柳川裕、堀俊夫、寺田尋恒および技術研究所の村井和雄の各氏と共同で実施した。

参考文献 (1) 伊藤他: プレキャスト鉄筋コンクリート小梁端部の接合法に関する実験的研究(その1、その2)、日本建築学会大会、1989年構造C pp.171~174。

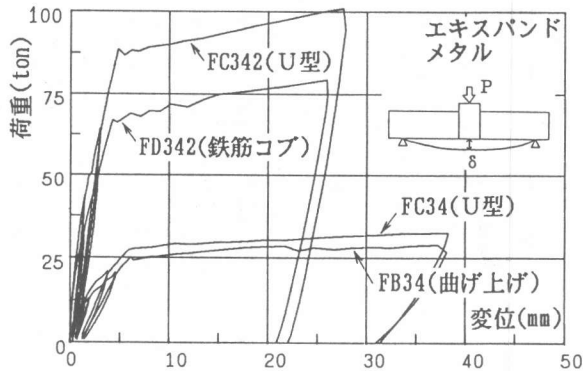


図10 荷重-変位曲線 (Fシリーズ)

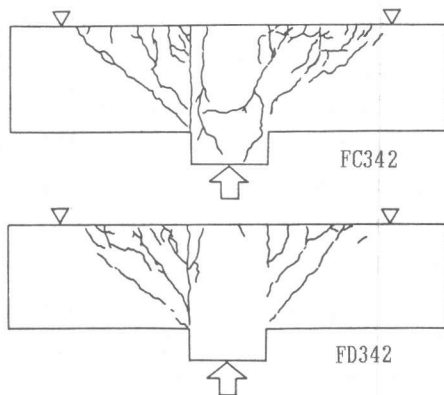


図11 最終破壊状況 (実験Ⅱ)