

論文

[2046] 突合せ式重ね継手を有するハーフプレキャスト柱部材の耐力性状に関する研究

増田安彦^{*1}・吉岡研三^{*2}

1. はじめに

現在、建築工事の大型化、高層化が進む傍ら、建設現場における技能工不足や高齢化は年々深刻さを増している。このような背景から近年RC建物ではプレキャスト化が推進され、かつ鉄筋継手に重ね継手を用いることが注目されつつある。

筆者らは添え筋を用いて重ね継手部を補強した場合の部材の耐力性状[1]、および上下階の主筋を柱部材の中央で突合せ、主筋と主筋より細径の添え筋とで応力を伝達する突合せ式重ね継手(以後突合せ継手と省略する)を有する部材の耐力性状[2]について報告した。

本報告は、柱の外殻プレキャストコンクリート管(以後PCa管と省略する)を用い、添え筋をそのPCa管に内蔵させ使用する柱部材(図-1)の耐力性状・付着性状を調べるために実施した、約1/2スケールの柱試験体の曲げせん断実験の結果について述べたものである。なお、柱内のりスパンに配する重ね鉄筋は、一種の主筋であるがここでは区別のため添え筋と称している。

2. 実験概要

表-1に実験概要を示す。試験体断面は40cm角でいずれもPCa管を使用している。せん断補強筋は中子筋(副帯筋)を配筋する1体を含め、4種類に変化させた。図-2に部材断面および試験体の形状を示す。PCa管はせん断補強筋(外周筋、中子筋)と添え筋で鉄筋かごを組み、遠心成形によって製造したもので、内部隅角部にはシアコッター($W50 \times b50 \times h5mm$ @50を8箇所)を設けた。軸力の変動軸力、軸力なしを含め3タイプとした。主筋の突合せ位置は1体を除き内のり中央で、他の1体は内のり長さ160cmの下から100cmの位置で突合せた。なお、主筋同士は必ずしもメタルタッチとする

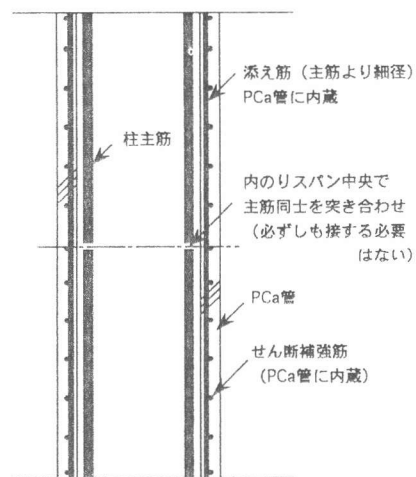


図-1 工法の概要

表-1 実験概要

試験体No.	MT36-AF	MT60-AF	MT64-AF	MT85-AF	MT85-N	MT85-CH	MT85-AFS	UT85-AF
断面	400×400 (mm)							
内のり高さ	1200 (mm) $h_0/D=3.0$							1600 $h_0/D=4.0$
主筋	8-D25 ($p_g=2.54\%$)							
添え筋	8-D16 ($p_g=1.00\%$)						8-D13(0.64)	8-D16(1.00)
せん断補強筋 ($p_w, \%$)	□ -D10@100 (0.36%)	■ -D10@120 (0.60%)	□ -D13@100 (0.64%)	□ -D13 @75 (0.85%)				
継手位置	内のり中央 (600mm:600mmの位置)							下から1000mm
軸力	$F_{cbD}/6$				なし	$-0.2A_g\sigma_y \sim F_{cbD}/3$	$F_{cbD}/6$	

*1 (株)大林組技術研究所 研究員

*2 同 研究室長・工博

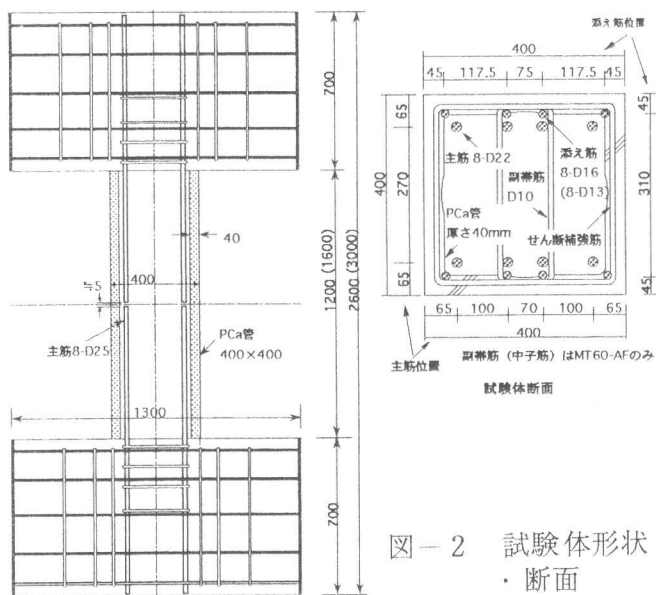


図-2 試験体形状・断面

表-2 使用材料

試験体	コアコンクリート			外殻コンクリート		
	圧縮	引張	弾性係数	圧縮	引張	弾性係数
MT36-AF	235	25.7	2.43	562	40.4	2.89
MT60-AF	248	24.9	2.63			
MT64-AF	256	27.5	2.47			
MT85-N	272	26.8	2.50			
MT85-AF	273	23.7	2.46			
MT85-AFS	285	25.1	2.47			
MT85-CH	285	23.7	2.55			

鉄筋			
径	弾性係数	降伏強度	引張強度
D10	2.04	3910	5620
D13	1.96	3450	5270
D16	2.00	4420	6410
D25	1.96	3860	6080

強度の単位はkgf/cm²
 コンクリートの弾性係数は1/3
 割断係数で×10⁵kgf/cm²
 鉄筋の弾性係数は
 ×10⁶kgf/cm²

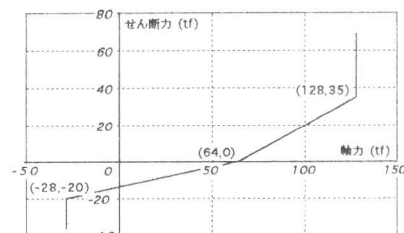


図-3 Q-N 関係

必要はなく、試験体では約5mm前後のあきがある。

使用したコンクリートおよび鉄筋の機械的性質をそれぞれ表-2に示す。載荷は正負交番繰り返し載荷とした。また、変動軸力を作用させたMT85-CH試験体のせん断力Qと軸力Nの関係を図-3に示す。

3. 実験結果および考察

3. 1 破壊性状

表-3に実験結果の一覧を、図-4に各試験体の荷重-層間変位関係(Q-δ関係)を示す。MT36-AF, MT64-AF, MT85-AF, MT85-AFS, MT85-N試験体は、曲げ降伏前に付着破壊を生じ、MT60-AFが曲げ降伏後にせん断破壊を生じた。MT85-CH, MT85-AF試験体は曲げ降伏後に付着破壊を生じた。

付着破壊を生じた試験体(MT36-AF, MT64-AF, MT85-AF, MT85-AFS, MT85-N)は、せん断補強筋に副帯筋を使用せず、外周筋のみで補強したもので、図-5に示す割裂パターンによって外殻コンクリートとコアコンクリートの一体性が比較的早期に失われたことが原因と推定される。また、

表-3 実験結果

試験体		MT36-AF	MT60-AF	MT64-AF	MT85-AF	MT85-N	MT85-CH		MT85-AFS	UT85-AF
実験値	降伏荷重	—	57.1	—	—	40.9	—	-36.2	—	42.9
	最大荷重	48.1	58.7	55.6	58.2	44.7	68.9	-36.2	56.9	48.1
計算値	曲げ降伏	54.5	54.5	54.5	54.5	39.4	68.1	-32.1	54.4	40.8
	曲げ最大	58.7	58.7	58.8	58.8	45.7	71.7	-39.1	58.8	44.1
	せん断	50.5	59.6	59.3	67.0	67.0	68.2	-68.2	68.2	59.3
	付着割裂	44.6	58.7	49.9	54.1	39.3	68.3	-33.1	54.4	40.8
Qu-実/計		1.08	1.00	1.11	1.08	1.14	1.01	1.09	1.05	1.18
破壊性状		帯筋降伏後 付着割裂破壊	曲げ降伏後 せん断破壊	付着割裂破壊	付着割裂破壊	付着割裂破壊	付着割裂 破壊	曲げ降伏 後添え筋 降伏	帯筋、添え 筋降伏後付 着割裂破壊	曲げ降伏後 付着割裂破壊

斜体文字はQuの実/計の算出に使用した最小計算値を示す。

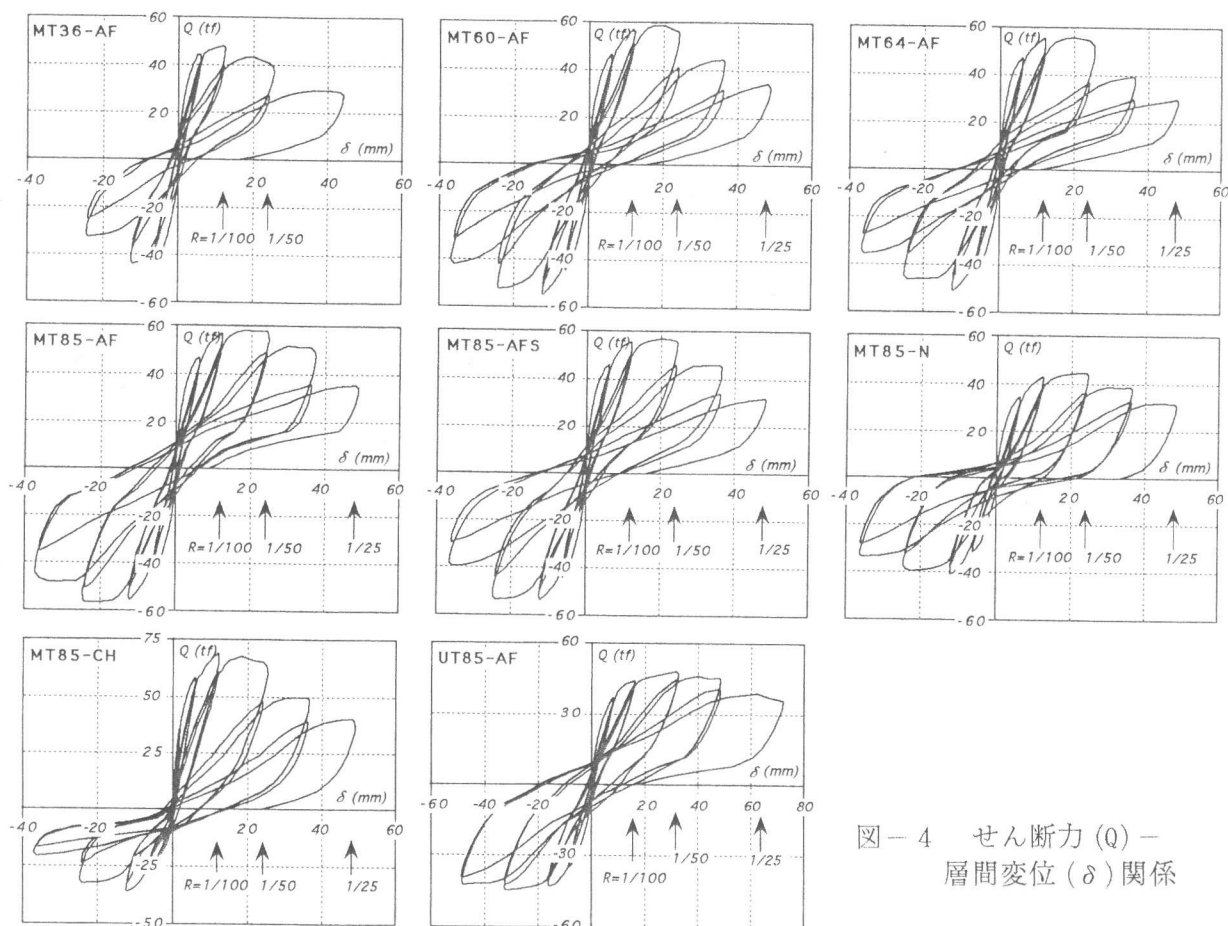


図-4 せん断力(Q)－層間変位(δ)関係

これらの試験体はいずれも部材角 $R=1/100 \sim 1/50$ 程度で最大耐力に達し、その後脆性的な耐力低下を示すこと、 $Q-\delta$ 曲線はエネルギー吸収能力に乏しい原点指向型であることが特徴で、部材角 $R=1/100$ 以降で降伏後の変形に見える水平変位はコアコンクリート内の主筋の抜け出しにより生じたと推定される。この抜け出しを拘束するせん断補強筋が多い試験体ほど変形能力が大きい。この内で添え筋量が少ないMT85-AFS試験体はフープ筋が降伏し、同時に添え筋が部材中央付近で降伏して、耐力低下が開始したため、ここでは破壊モードは付着割裂としたが断定できない。

曲げ降伏後にせん断破壊を生じたMT60-AF試験体の最大耐力時の変形量および $Q-\delta$ 曲線は、前述の付着破壊を生じた試験体とあまり変わらないが、最大耐力は同一軸力でせん断補強筋の多いMT64-AF、MT85-AFよりも高く、主筋の降伏を生じている。これはPCa管に打ち込んだ副帯筋がダボ筋として作用し、外殻とコアコンクリートの一体性を向上させたためで、本工法における付着耐力の評価に副帯筋の効果をより大きく考慮する（あるいは副帯筋がない場合の耐力を低く）評価する必要があることがわかる。

曲げ降伏後に付着破壊を生じた試験体のうち、変動軸力下で載荷したMT85-CHは引張軸力作用時に部材中央で添え筋が降伏し、その後耐力が低下しており、添え筋が降伏するとその後の耐力上昇が望めないことが確認された。また、継手位置が部材中央ではなく、せん断スパン比も他の試験体より大きいUT85-AFは、主筋降伏後添え筋が降伏する前に付着破壊を生じた。

3. 2 耐力性状

表-3における曲げ降伏荷重、最大耐力計算値は、外殻コンクリートの強度を考慮するファイバーモデルによる断面解析によって求めたものである。材料の応力-ひずみ関係は鉄筋をひずみ

硬化を考慮する(E_s の2%)バイリニア曲線に、コンクリートの圧縮側をe関数式で、引張側を弾性係数の傾きを持つ直線で表わした。曲げ降伏を生じた試験体(MT60-AF, UT85-AF)の実験値は計算値と良く一致していることが分かる。

せん断耐力は(1)~(10)式に示すPCa管柱のせん断耐力評価法[3]によった。

試験体は付着破壊したものがほとんどであるが、ほぼ予想される曲げあるいはせん断耐力を発揮している。さらに、曲げ破壊が予想されたMT60-AF試験体がせん断破壊を生じたこと、あるいはUT85-AF試験体は曲げ破壊荷重を上回る荷重で付着破壊を生じたことや、文献[3]における添え筋がない場合の終局耐力実験値と計算値の比の値と比較しても、添え筋を配筋することで曲げ終局耐力が上昇することが考えられる。この現象は前報[2]でも観察され、PCa管を使用しない試験体であるが、曲げ終局耐力は計算値のほぼ20%程度高い結果を得ている。

$$V_u = V_t + V_a \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$b_{ts} = a_s \sigma_{wy} / (S \sin^2 \phi \cdot \nu \sigma_{Bs}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$b_{tc} = a_s \sigma_{wy} / (S \sin^2 \phi \cdot \nu \sigma_{Bc}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$V_t = 2b_{ts} \cdot \nu \sigma_{Bs} j_t \cos \phi \sin \phi + (n-2)b_{tc} \cdot \nu \sigma_{Bs} j_t \cos \phi \sin \phi$$

$$= b j_t p_w \sigma_{wy} \cot \phi \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$V_a = V_{as} + V_{ac} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$V_{as} = \tan \theta \cdot b_s D \nu \sigma_{Bs} / 2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$V_{ac} = \tan \theta \cdot b_c D \nu \sigma_{Bc} / 2 \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\tan \theta = \sqrt{\{(2M/VD)^2 + 1\}} - 2M/VD \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$b_s = 2t_s - 2b_{ts}, \quad b_c = b - 2t_s - (n-2)b_{tc} \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここに、 n, a_s, S ：それぞれせん断補強筋の足数、断面積、間隔

p_w ：せん断補強筋比

σ_{wy} ：せん断補強筋の降伏強度

V_t, V_a ：それぞれトラス、アーチ機構負担せん断力

V_{as}, V_{ac} ：それぞれ外殻、コアコンクリートによるアーチ機構負担せん断力

j_t ：主筋中心間距離

b_{ts}, b_{tc} ：それぞれ外殻、コアコンクリート内でトラス機構の作用する断面幅

b_s, b_c ：それぞれ外殻、コアコンクリート内でアーチ機構の作用する断面幅

t_s ：PCa管の厚さ

ν ：コンクリートの有効係数 $\nu = (2M/VD + 1)/4$ ($0.5 \leq \nu \leq 1.0$) $\dots\dots\dots (10)$

ϕ ：コンクリートの圧縮束角度で45度とする。

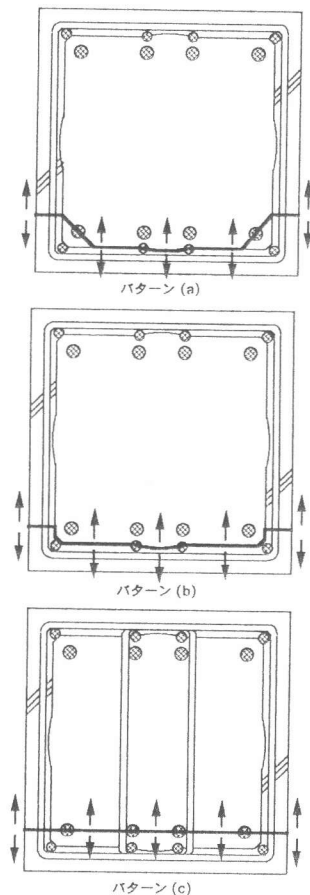


図-5 割裂パターン

3. 3 付着性状

図-6に主筋および添え筋のひずみ分布の一例を示す。ひずみの測定値より、副帯筋で補強せず付着破壊を生じた試験体では、せん断補強筋量が多いものほど同一部材角時および最大耐力時における付着応力度も高く、副帯筋を用いた場合はすでに述べたように外殻とコアコンクリート

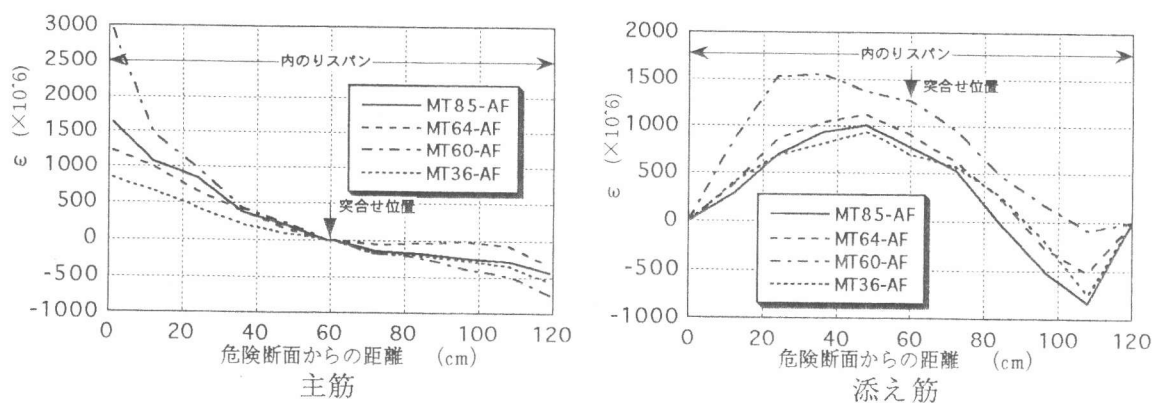


図-6 ひずみ分布 (最大耐力時)

の一体性が向上するため主筋の最大付着強度も高い結果が得られた。

前報[2]では付着割裂破壊試験体は3体のみであったため破壊モード、付着強度について曖昧であった。一方、本実験によって、PCa管を用いた付着破壊試験体の付着割裂パターンは載荷終了時の試験体の状態から、図-5(a)に示すように外殻コンクリートが割裂し、同時に外殻とコアコンクリートが界面付着破壊を生じ、主筋の割裂が生じることによるものと推定された。また、副帯筋を用いて外殻とコアの一体性を向上させた場合、同図(c)

に示す割裂パターンが考えられる。また、ひずみ計測結果から付着破壊試験体は最大耐力後に主筋の付着応力度が最大となる傾向があることから同図(b)の状態になった時点で部材耐力が頭打ちとなると仮定し、最大耐力時付着強度(τ_u)とした。いずれのパターンもコンクリートの割裂強度と拘束筋の補強効果による付着強度上昇の和($\tau_{co} + \tau_{st}$)で主筋の最大平均付着強度(τ_{bu})および最大耐力時付着強度(τ_u)は以下のように求められる。

(1) コンクリートの割裂強度 (τ_{co})

コンクリートの割裂強度は日本建築学会「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」(以後終局強度型指針と省略する)におけるコンクリートの割裂強度式を準用した。

割裂パターン(a)は、副帯筋がないときに生じるものとし、外殻とコアコンクリートの界面付着を無視し、PCa管に設けたシアコッターの付着抵抗は考慮しない条件のもとで外殻コンクリートの割裂強度とコアコンクリートのコーナー割裂強度の和として求められる。パターン(b)は同様に外殻コンクリートの割裂強度のみで、パターン(c)は外殻コンクリートの割裂強度にコアコンクリートの割裂強度を加えたものとする(式(11)~(13))。

(2) セン断補強筋の補強効果による付着強度上昇(τ_{st})

付着強度に及ぼすセン断補強筋の補強効果に関する考え方は前報[2]と同様であるが、本報では外殻コンクリートの強度を考慮している(式(14))。

$$a : \tau_{co} = (0.8t_s / \sum d_b + 0.5) \sqrt{\sigma_{Bs}} + (0.4(2\sqrt{2}d_c - d_b) / d_b + 0.5) \sqrt{\sigma_{Bc}} \quad \dots (11)$$

$$b : \tau_{co} = (0.8t_s / \sum d_b + 0.5) \sqrt{\sigma_{Bs}} \quad \dots (12)$$

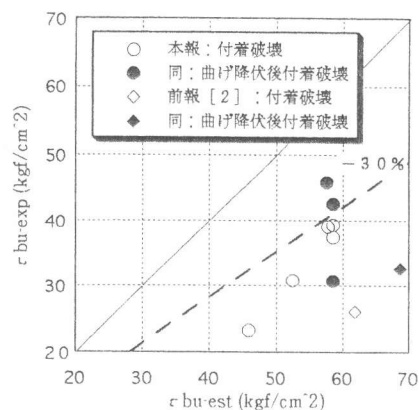


図-7 付着強度式の適合性の検討

$$c : \tau_{co} = (0.8t_s / \sum db + 0.5) \sqrt{\sigma_{Bs}} + (0.4(b - 2t_s - \sum db) / \sum db + 0.5) \sqrt{\sigma_{Bc}} \dots \dots (13)$$

$$\tau_{st} = \{ (20/N_t + 5N_u/N_t + 20N_s/N_t) p_w (2t_s \sqrt{\sigma_{Bs}} + (b - 2t_s) \sqrt{\sigma_{Bc}}) \} / db \dots \dots (14)$$

ここに、 db : 隅角部の主筋直径

$\sum db$: 一列に並ぶ主筋直径の総和

N_s, N_u : それぞれ一列の主筋のうち直接副帯筋のかかっているものといないものの本数。

N_t : 一列の全主筋本数($N_t = 2 + N_s + N_u$)。

表-3ではパターン(b)による τ_u 計算値を用いて、部材端部で主筋応力を算出し($\sigma = \tau_u \cdot \phi \cdot h/2$)、断面解析による主筋応力と一致する時点の耐力を算出している。いずれも精度良く実験結果を捉えていることが分かり、副帯筋がない場合の付着破壊耐力は(b)で決まると考えられる。付着強度計算式を用いて算出した τ_{bu-est} と実験結果 τ_{bu-exp} の比較を図-7に示す。

3. 4 ひびわれおよび破壊状況

写真-1にひびわれ発生状況の一例を示す。付着破壊を生じた試験体は主筋に沿ったひびわれが大きく開いているが、これらのひびわれは最大耐力後に拡大したものである。

4. まとめ

本実験により以下に示す知見が得られた。

- (1) PCa管を用いた突合せ継手試験体の耐力性状は同一せん断補強筋量であれば副帯筋(中子筋)を使用するほうが優れる。
- (2) 引張軸力時添え筋が部材中央付近で降伏すると部材の耐力上昇が望めなくなる。
- (3) 部材の曲げおよびせん断耐力はPCa管を考慮する提案式により求められる。同時に、付着割裂時耐力の算定方法を提案し、本実験結果との対応性が良いことを確認した。
- (4) 今後の課題として降伏ヒンジを計画する部材の靱性を確保するためのせん断および付着割裂破壊に対する設計法の確立が挙げられる。

参考文献

- [1] 増田安彦, 吉岡研三, 脇坂達也: 添え筋を用いた太径異形鉄筋継手に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.1 No.2, pp91-103, 1990
- [2] 増田安彦, 吉岡研三, 脇坂達也: 突合せ式重ね継手を有するハーフ7プレキャスト柱部材に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.14 No.2, pp113-118, 1992
- [3] 増田安彦, 吉岡研三: 外殻に薄肉プレキャスト管を使用した鉄筋コンクリート柱の耐力特性に関する研究: 日本建築学会構造系論文報告集, No.458, 1994・4
- [4] C.O.Orangun et al: A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, pp114-122, March 1977

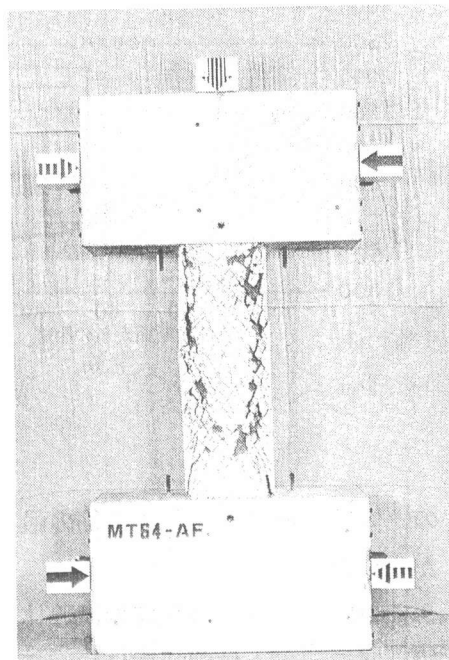


写真-1 破壊状況
(MT64-AF試験体)