

[77] 交番荷重を受ける部材（丸ピア）の鉄筋の途中定着に関する実験的研究

正会員 石橋 忠良（国鉄 構造物設計事務所）

正会員○大坪 正行（国鉄 構造物設計事務所）

1. まえがき

引張鉄筋はコンクリートの圧縮部に定着することが原則となっているが、橋脚等では、曲げモーメントが三角形分布するため、経済性などから橋脚躯体途中で曲げに対して不要となった鉄筋を減らしているため、地震荷重を受けたとき、途中定着した鉄筋はコンクリート引張部に定着されることになる。昭和53年6月に発生した宮城県沖地震、昭和57年3月に発生した浦河沖地震による橋脚の被害も途中定着部に生じたものが多かった。

以上のことをふまえ、昭和56、57年の2年間にわたり交番繰返し荷重を受ける部材の鉄筋の途中定着部の力学的挙動と破壊性状を調査した。その結果のうち、角ピアについて

では第4回コンクリート工学年次講演会で報告したので、今回、丸ピアについて報告する。

表-1 試験体諸元

試験体 No.	高さ H (cm)	a (cm)	カフ化トオ	M/PD	帯鉄筋比 (%)	カット点の鉄筋比 (%)	軸力 (kg/cm ²)	主鉄筋径
II-15	165	97.5	1/2	1.5	0.25	0.53	10	D13
II-16	"	"	"	"	0.63	1.63	"	D22
II-17	"	"	"	"	"	1.21	20	D19
II-18	230	162.5	"	2.5	0.25	1.40	10	D22
II-19	"	"	"	"	"	0.72	20	D16
II-20	"	"	"	"	0.13	"	"	"

2. 試験概要

試験体諸元を表-1に示す。試験体の要因について、カットオフ比（躯体付け根の鉄筋量に対するカットオフした鉄筋量の比）を一定とし、カットオフ点のせん断スパン比：M/PD（D：橋脚躯体幅）、帯鉄筋比： A_{s1}/D_s （ A_{s1} ：帯鉄筋量、S：帯鉄筋の間隔）、カットオフ点の鉄筋比： $A_{s2}/\frac{1}{4}\pi D^2$ （ A_{s2} ：軸方向鉄筋量）、軸力： $N/\frac{1}{4}\pi D^2$ （N：軸力）を変化させた。

試験体の配筋例を図-1に示す。配筋は載荷重によって、躯体付け根より先にカットオフ点におけるカットオフしていない鉄筋が降伏するように定めた。また、躯体付け根からカットオフ点までの距離を定着長または躯体幅の大きい値以上とし、橋脚下端での破壊との区別を計った。

試験は油圧ジャッキによる交番繰返し載荷とし、 δy をカットオフ点の鉄筋（図-2の鉄筋）が降伏した時の変位とし、 $\pm 1 \delta y$ 、 $\pm 2 \delta y$ … と載荷し、それぞれの変位で10回交番繰返し載荷することを基本とした。また、軸力は常に一定方向に作用するようにパンタグラフと回転板を用い、油圧ジャッキで行った。なお、躯体付け根の鉄筋の抜け出し量を、前シリーズで測定したが、カットオフ点付近の鉄筋の降伏が先行したため問題となる値とならなかったため今回の試験では省略した。

3. 試験結果および考察

表-2に試験結果と計算上の耐力を示す。計算値は実際の材料強度〔鉄筋（SD35）： $\delta_{sy} = 4000 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\delta_{su} = 5,400 \text{ kg/cm}^2$ 、実断面積 D13-1.16 cm²、D16-1.86 cm²、D19-2.72 cm²、D22-3.72 cm²、 $E_s = 2.10 \times 10^8 \text{ kg/cm}^2$ 、コンクリート：圧縮強度 = 300 kg/cm²〕を用いて求めた。

曲げ降伏耐力 P_y は図-2に示す鉄筋が降伏したときの値で、同図に示す仮定に基づき計算した。また、曲げ降伏耐力 P_u は国鉄・RC標準により求めた。発生せん断応力度では $\tau = P_o/\frac{1}{4}\pi D^2$ の式で求め、せん断破壊耐力 P_{su} は、土木学会、コンクリート構造の限界状態設計法試案による次式（記号は原本参照）により算定した。

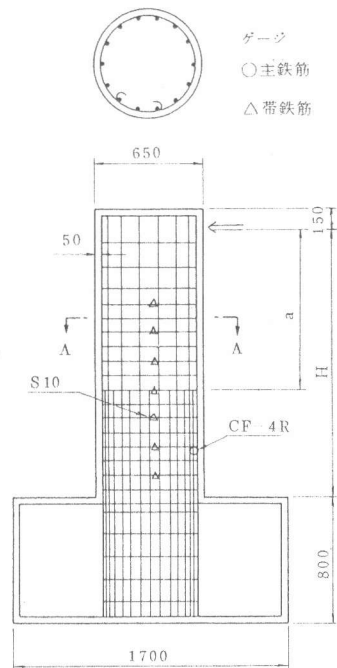


図-1 試験体の配筋例（II-15）

$$P_{su} = 0.94(f_c)^{\frac{1}{3}}(1 + \beta_d + \beta_p)bd + A_w \sigma_{sy} \left(\frac{\sin \alpha + \cos \alpha}{s} \right)^2 \dots \text{式(1)}$$

丸ピアの場合は bd の代わりに $\frac{1}{4}\pi D^2$ (D : 躯体直径) を用いた。

降伏荷重 P_0 は図-2 に示す鉄筋が降伏したときの荷重とし、その時の変位を δy とした。また、じん性率はカットオフ点から鉄筋の定着長もしくは部材幅のどちらか大きい値下がった断面で、カットオフ

しない鉄筋のみによる曲げ降伏耐力につり合う荷重 P_y を交番繰返しによる載荷重が下回らないときの最大変位を降伏変位で除した値とした。

3-1 ひびわれ性状

ひびわれは写真1~3に示すように、最初引張側のほぼ全面に曲げひびわれが発生し、 $2\delta y$ 以降で斜めひびわれへと発達し、カットオフ点において、カットオフしていない軸方向鉄筋の座屈、破断を伴って破壊したのが一般的であった。スターラップを多く配置した角ピアにおいても、軸方向鉄筋の座屈、破断を伴っているものがあつた。また、角ピアでは付着割裂破壊しているのが多かったが、丸ピアではその傾向がみられなかった。

3-2 変位

水平変位については、ほとんどの試験体でカットオフ点で折れるように変形していた。しかし、測定を20~30cm間隔で行ったが、カットオフ点付近のひびわれ、かぶりコンクリートのはく落等の影響により測定誤差を生じた。

鉛直変位については、軸力が作用しているにもかかわらず、図-3に示すように浮き上がる傾向が全ての試験体でみられた。これは降伏した鉄筋の伸びとひびわれの閉合の不完全の影響であると考えられる。

表-2 試験結果および計算値

試験体 No.	試験体強度				試験結果				比較				備考	
	カットオフ点	カットオフ点から 下がった点	P_{su} (t)	降伏 荷重 (t)	最大 荷重 (t)	τ (kg/cm ²)	じん 性率	カットオフ点	カットオフ点から 下がった点	P_0/P_y	P_m/P_u	P_0/P_u		P_m/P_u
	P_y (t)	P_u (t)						P_y (t)	P_u (t)					
II-15	21.5	25.6	12.9	15.4	37.7	20.7	25.1	6.2	3	0.96	0.98	1.60	1.63	カットオフ点で降伏
II-16	45.9	54.6	27.4	32.6	79.3	43.1	55.0	13.0	3	0.94	1.01	1.57	1.69	"
II-17	43.0	50.1	25.8	30.1	79.8	40.2	49.4	12.1	3	0.93	0.99	1.56	1.64	"
II-18	25.3	29.0	18.0	20.6	40.0	24.1	30.9	7.3	4	0.95	1.07	1.34	1.50	"
II-19	20.1	22.6	14.4	16.1	40.1	19.7	23.1	5.9	3	0.98	1.02	1.37	1.43	"
II-20	"	"	"	"	27.9	20.8	25.7	6.3	3	1.03	1.14	1.44	1.60	"

l : 定着長もしくは部材幅 D の大きい値

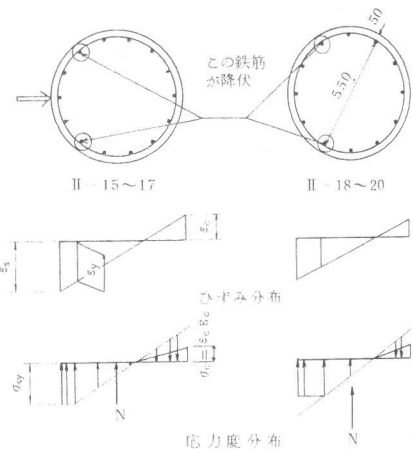
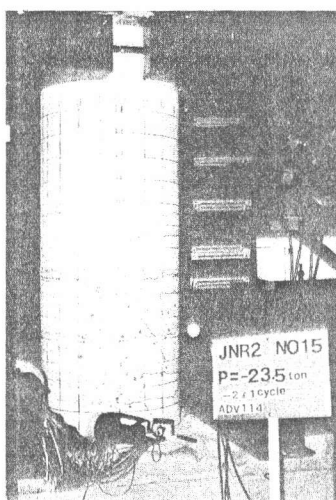
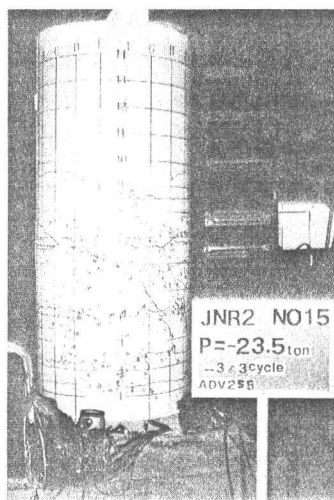


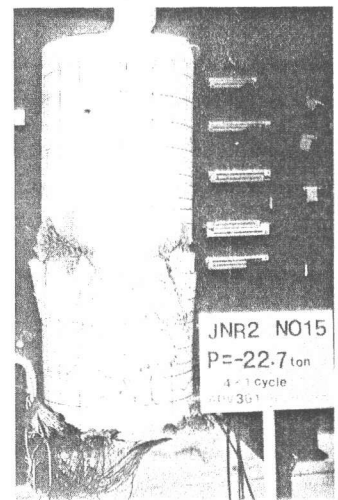
図-2 曲げ耐力算定上の仮定



写-1 2 δy 時 (II-15)



写-2 3 δy 時 (II-15)



写-3 4 δy 時 (II-15)

3-3 鉄筋のひずみ

帯鉄筋と軸方向鉄筋（カットオフした鉄筋の変位-ひずみ曲線の一部を示す（ゲージ位置は図-1参照）。軸方向鉄筋のひずみは荷重-変位曲線と類似の曲線を示している。帯鉄筋については1δy時のひずみは小さいが2δyになると斜めひびわれの発生に伴い、ひずみが増加していることがわかる。

3-4 途中定着部の耐力とじん性

(1) 耐力の比較

表-2に、カットオフ点で、カットオフしていない鉄筋が降伏するときの荷重の実験値と計算値との比率 P_o/P_y を示しているが、実験値は計算値の93

~103%となっており、最大荷重と曲げ破壊耐力につり合う荷重との比率 P_m/P_u は98~114%となっている。これに対して、途中定着のある角ピアは、これらの値がそれぞれ69~109%、67~107%となっている。この比較では、角ピアと比べて丸ピアの方が実験値と計算値が比較的一致しており、

そのばらつきも比較的小さいと言える。

(2) じん性

荷重-変位曲線の一部を図-5に、荷重-変位の履歴曲線の一部を図-6に示す。図-6からじん性率を求めると、表-2に示すようになり、丸ピアのじん性率は3以上あることがわかる。なお、じん性率 μ は図-6(a)に示すように、正負の両方の荷重状態を考慮して求めた。

図-7に、角ピアと丸ピアのせん断破壊耐力と曲げ破壊耐力につり合う荷重との比 P_{su}/P_y とじん性率との関係を示す。これより、 P_{su}/P_y が大きくなるほどじん性率も大きくなる傾向がみられる。しかし、丸ピアと角ピアと

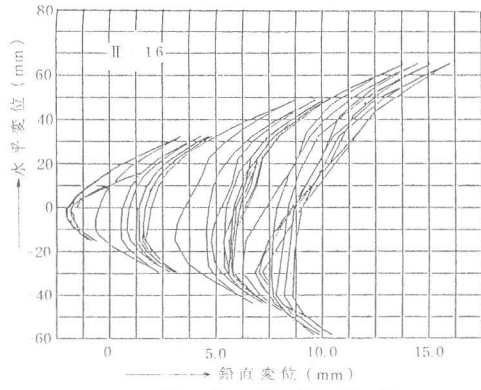


図-3 鉛直変位

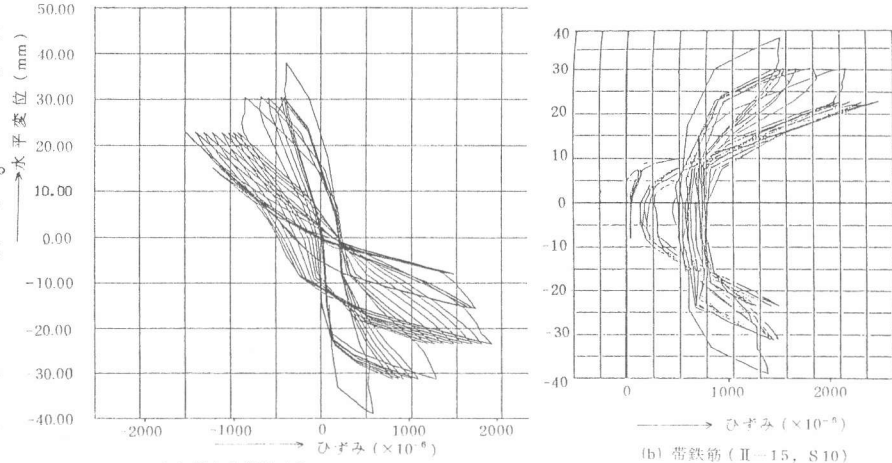


図-4 鉄筋のひずみ

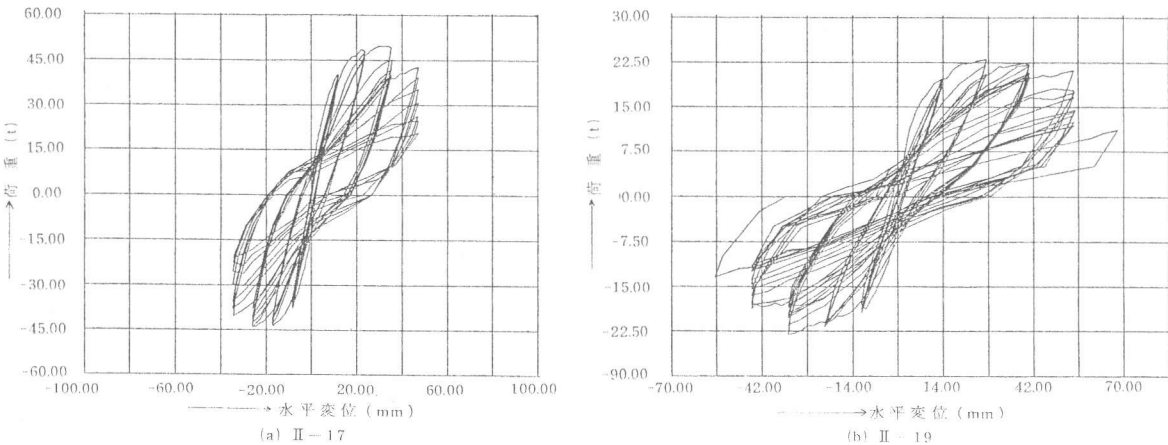


図-5 荷重-変位曲線

の差はみられないが、降伏荷重後の耐力の増加は、角ピアに比べて丸ピアの方が大きい。これは角ピア（側面鉄筋なし）の方は引張鉄筋の全てが一度に降伏するのに対し、丸ピアは外側から順番に降伏していくこと、角ピアのスターラップは矩形であるので、スターラップによる引張鉄筋および内部コンクリートの拘束度が、丸ピアの帯鉄筋に比べて小さいことが理由と考えられる。

(3) モーメントシフト+定着長

カットオフ点における曲げ耐力につり合う荷重より実際の荷重が小さいのは、モーメントシフトとカットオフした鉄筋の定着長の両方の影響と考えられるが、両者を区別することができないので、モーメントシフト+定着長として扱うこととする。

降伏荷重による曲げモーメント

とカットオフしていない鉄筋のみによる曲げ降伏耐力とがつり合う点からカットオフ点までの距離として求めたモーメントシフト+定着長と引張鉄筋比（丸ピアは全鉄筋の $\frac{1}{4}$ を引張鉄筋とした）の関係を示すが、引張鉄筋比が大きいほどモーメントシフト+定着長も大きくなる傾向がある。モ

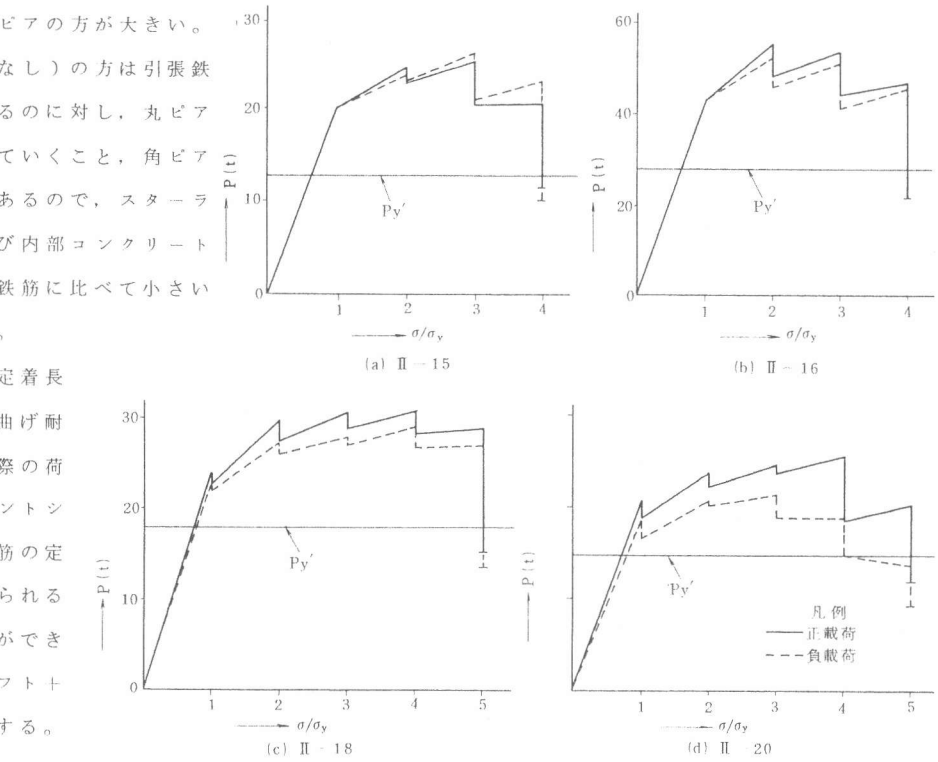


図-6 荷重-変位の履歴曲線

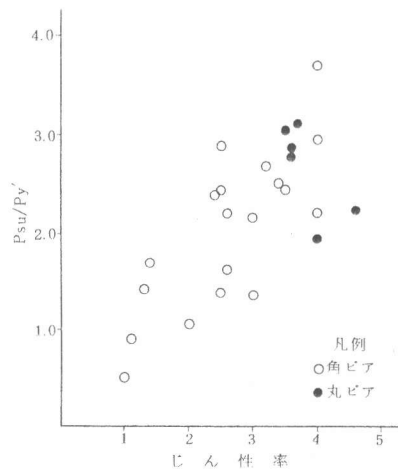


図-7 Ψ_{su}/Ψ_y とじん性率の関係

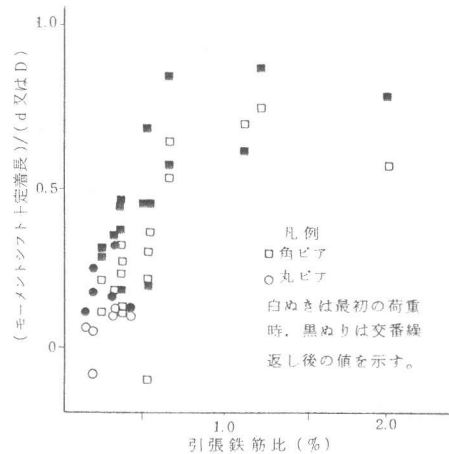


図-8 モーメントシフト+定着長 ($1\delta y$ 時)

ーメントシフト+定着長に関して、 $1\delta y$ 時では、丸ピアの方が若干小さいと言えるが、特に有意差はない。しかし、角ピアでは、 Ψ_{su}/Ψ_y の小さい試験体等特殊なものを除けば、 $2\delta y$ 時で $0.9d$ 以下となっているが、丸ピアでは $3\delta y$ 時でも $0.4D$ 以下となっている。

4. まとめ

丸ピアでは、どの位置の鉄筋降伏した時に曲げ降伏したと定義するか、せん断耐力をどのように求めるか、問時は残るものの、丸ピアのじん性については、約 $\frac{1}{4}$ 点の鉄筋降伏時を $1\delta y$ とし、せん断耐力を式(1)により求めることにより、角ピアと同様の評価ができると考えられる。

参考文献

大坪, 栗原, 小林: 鉄筋の途中定着に関する研究, 土木学会, 第36, 37回年次学術講演会

石橋, 大坪: 交番荷重を受ける部材の鉄筋の途中定着に関する実験的研究, 第4回コンクリート工学年次講演会