

楕円状帯鉄筋を用いたインターロッキング式橋脚の提案とその塑性変形性能

星隈順一¹・運上茂樹²・塩島亮彦³

¹正会員 博(工) 独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ(耐震) 主任研究員
(〒305-0801 茨城県つくば市南原1-6)

²正会員 工博 独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ(耐震) 上席研究員

³正会員 独立行政法人土木研究所 耐震研究グループ(耐震)

本研究では、インターロッキング式橋脚の幅広長方形断面への応用と帯鉄筋量の低減、施工の省力化を目的として、楕円状に曲げた2連の帯鉄筋を少しずつ重ねて横拘束筋とした楕円インターロッキング式配筋を提案するとともに、楕円インターロッキング式配筋を有する曲げ破壊型の橋脚に対して模型供試体による正負交番載荷実験を行い、その塑性変形特性について、中間帯鉄筋を配筋した矩形断面橋脚、円形断面橋脚、従来のインターロッキング式橋脚との比較を行った。その結果、本研究で提案する楕円インターロッキング式配筋とした橋脚は、楕円状帯鉄筋の曲げ半径比が2.39以下の範囲であれば、円形帯鉄筋による従来のインターロッキング式橋脚と同等の塑性変形性能があることがわかった。

Key Words : *interlocking oval hoops, rectangular concrete columns, flexural performance, quasi-static cyclic loading tests*

1. はじめに

インターロッキング式橋脚は、2連の円形帯鉄筋が少しずつ重ね合わせられて配筋された構造であり、橋脚の断面は長方形であっても、中間帯鉄筋を配置することなく、円形帯鉄筋によって効果的に拘束効果を発揮することができる。もともと、インターロッキング式橋脚は、Tanaka and Park によって提案された構造であり^{1,2)}、中間帯鉄筋を配筋した従来の長方形断面の橋脚と比較して横拘束筋の量を少なくでき、かつ、塑性変形性能にも優れているというメリットがある。

インターロッキング式橋脚に関するこれまでの海外の研究は、橋軸直角方向のせん断抵抗特性に主眼が置かれている。すなわち、円形帯鉄筋どうしをどのくらい重ね合わせれば十分なせん断耐力が確保できるかという点である。この問題に対して、Tanaka and Park は、帯鉄筋の交点において、その帯鉄筋が降伏した時の橋軸直角方向成分の応力が降伏強度の80%以上となるように、2連の円形スパイラル筋の中心間隔をスパイラル径の0.6倍以下とすることを提案している。一方、カリフォルニア州交通局の1989年の設計基準では、円形スパイラル筋の中心間隔はスパイラル径の0.75倍以下とすることが規定されている³⁾。また、Buckingham らは、2連の円形

スパイラル筋の中心間隔を変化させた実験を行い、中心間隔をスパイラル径の0.75倍とした場合よりもスパイラル径の0.6倍にまで近づけた方がエネルギー吸収性能がよいこと、噛み合わせ効果を発揮させるためには、重ね合わさった領域に4本以上の軸方向鉄筋を配置する必要があること等の知見を報告している⁴⁾。

我が国でも、近年になってインターロッキング式橋脚の耐震性に関する研究が報告されており、実橋への適用も始められたところである^{5,6)}。柳下らは、スパイラル筋が重ね合わさった領域に配置する鉄筋本数を4本とした場合と2本とした場合を比較し、橋軸直角方向に対するせん断抵抗特性や破壊特性に違いがないことを明らかにしている⁵⁾。藤倉らは、3連の円形帯鉄筋を重ね合わせたインターロッキング式橋脚の橋軸方向に対する正負交番載荷実験を行い、拘束効果やせん断耐力の評価方法について知見を示している⁶⁾。また、井ヶ瀬と大滝らの研究グループは、橋軸方向ならびに橋軸直角方向をそれぞれ載荷方向とする正負交番載荷実験を行い、従来からある塑性変形性能とせん断耐力の評価式の適用性について検討を行うとともに、インターロッキング式スパイラル筋の施工方法についても検証試験を行っている^{7,8,9)}。

このように、インターロッキング式橋脚の耐震性については、我が国でも実験的な検証を経て実橋に適用され

つつある段階である。今後、インターロッキング式橋脚の特徴を生かしながら、さらにその適用範囲を広めていくためには、中間帯鉄筋を多く配筋する必要のある幅広い長方形断面にも適用できるように発展させていくことが非常に有用であると考えられる。そのための方策として、既往の研究でも検討されているような3連、4連といった多連のインターロッキング式配筋とすることや、帯鉄筋に代わってスパイラル筋を活用すること等が有効であると考えられる。その一方で、我が国の橋脚の断面寸法は2mを超えるようなものが多く、また、横拘束筋としては直径が19~25mmの異形鉄筋が一般的に用いられており、このクラスの太さの異形鉄筋を直径が2mを超えるようなスパイラル筋に加工するための曲げ加工機械や治具等が開発されていない¹³⁾。このため、断面寸法が2mを超えるようなインターロッキング式橋脚を考えた場合、横拘束筋には帯鉄筋しか用いることができないのが現状であり、この場合、一般に落し込みによる施工となってしまう。このような施工方法が前提となると、多連インターロッキング式配筋を採用しようとすると、帯鉄筋を重ね合わせる箇所が多くなり、かえって施工が煩雑となってしまうことが考えられる。

そこで、著者らは、帯鉄筋の曲げ形状を楕円としてインターロッキング式配筋とした新しい配筋方法（以下「楕円インターロッキング式配筋」という）を提案する。楕円インターロッキング式配筋を採用すれば、2連の楕円帯鉄筋を重ね合わせるだけで従来よりも幅広い長方形断面とすることができ、3連の円形帯鉄筋によるインターロッキング式配筋と比較しても、帯鉄筋量を減らすことができ、かつ、施工性も向上することが期待される。その一方で、帯鉄筋の形状を楕円とすることで円形帯鉄筋よりも拘束効果が低下することも懸念される。そこで、本研究では、楕円インターロッキング式配筋における帯鉄筋の曲げ形状の設計方法について検討するとともに、楕円の偏平率をパラメータとして模型供試体による正負交番載荷実験を行った。さらに、中間帯鉄筋を配筋した矩形断面橋脚、円形断面橋脚、従来の円形帯鉄筋によるインターロッキング式橋脚に対する実験も行い¹⁴⁾、塑性変形性能や塑性ヒンジの曲げ変形特性等について比較検討を行った。

2. 楕円インターロッキング式配筋を有する橋脚構造の提案

図-1は、本研究で提案する楕円インターロッキング式配筋を有する橋脚の断面の例を示したものである。従来の配筋方法との違いは、帯鉄筋の曲げ形状が円ではなく楕円となっている点である。楕円インターロッキング

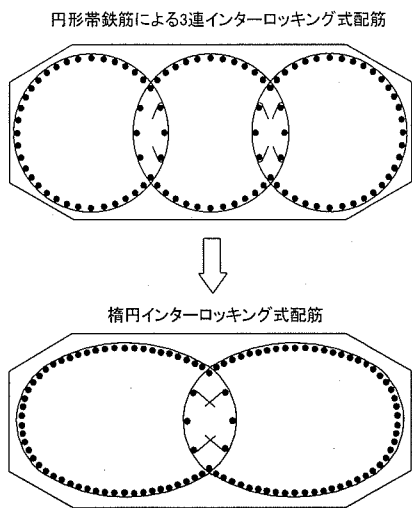


図-1 楕円インターロッキング式配筋

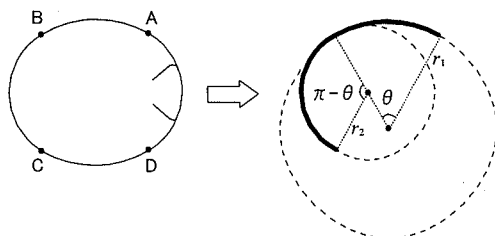


図-2 楕円状帯鉄筋の曲げ加工

式配筋の特徴としては、楕円の長径と短径を適切に組み合わせることによって長方形断面の縦横比に対する自由度が高まること、多連インターロッキング式配筋とする場合よりも、帯鉄筋量を低減でき、施工性も向上すること等が挙げられる。

なお、帯鉄筋を幾何学的に正しい楕円の形状に曲げ加工するためには、鉄筋の位置によって曲げ半径を逐次変化させなければならず、現存する鉄筋の曲げ加工機ではこのような加工は非常に難しい。しかしながら、本提案構造では、帯鉄筋を幾何学的に厳密な楕円に曲げ加工する必要はなく、楕円に近い形状であればよい。そこで、現存する鉄筋の曲げ加工機の性能の範囲内でも容易に楕円状に曲げることができるようにするため、図-2に示すように、2種類の半径の円弧を組合せることにより楕円状の帯鉄筋を成形することを提案する。すなわち、楕円を4つの区間に分割し、弧ABならびに弧CDの部分は半径 r_1 の円弧、弧BCならびに弧DAの部分は半径 r_2 の円弧となるように曲げる。図-2中の r_1 、 r_2 、 θ ($r_1 > r_2$) の値を適切に組合せることにより、楕円によく近似した形状の帯鉄筋を製作することができる。

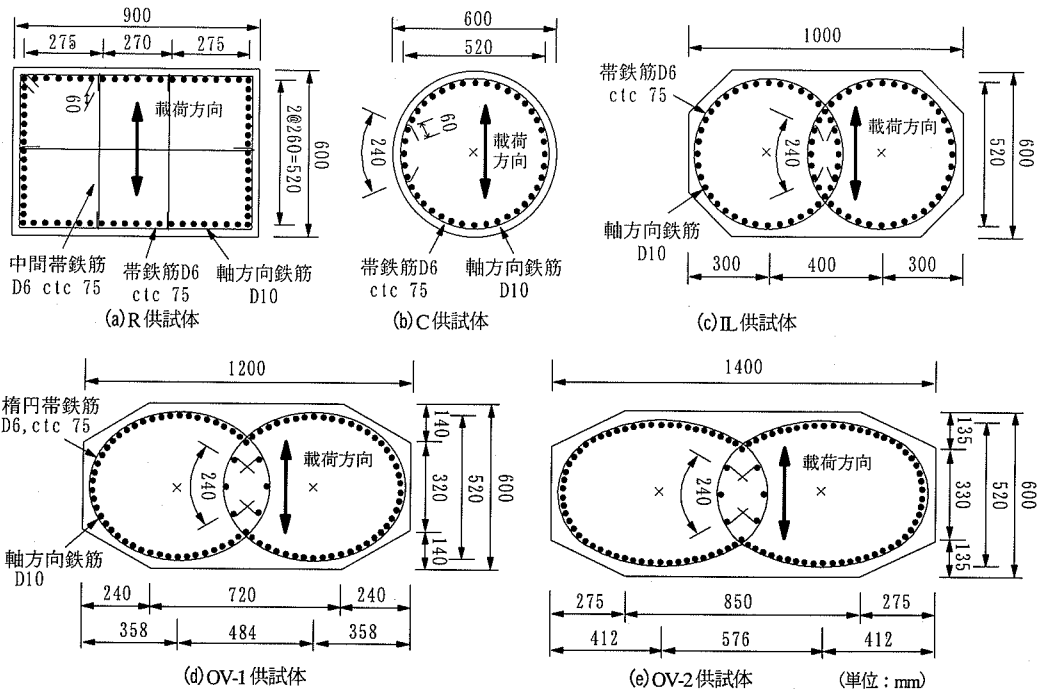


図-3 実験供試体の断面図

表-1 使用した材料の強度特性

供試体	コンクリート		軸方向鉄筋 (D10)			帯鉄筋 (D6)		
	強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
R	38.8	2.97×10 ⁴	397	546	2.08×10 ⁵	361	495	1.82×10 ⁵
C	31.8	2.90×10 ⁴						
IL	37.3	3.10×10 ⁴	378	507	1.80×10 ⁵	350	504	1.76×10 ⁵
OV-1	32.2	3.22×10 ⁴						
OV-2	36.6	3.28×10 ⁴						

3. 実験供試体とその設計

(1) 実験供試体

本研究の実験に用いた供試体は、フーチング上面から載荷点までの高さが 3010mm の単柱式鉄筋コンクリート橋脚模型であり、断面形状をパラメータとして 5 体製作した。いずれの供試体とも曲げ破壊型となるように設計した。これらの供試体の断面図を図-3 に示す。また、本実験供試体に用いた材料の特性は表-1 に示すとおりである。

R 供試体は、断面高さが 600mm、柱幅が 900mm で中間帯鉄筋を配置した長方形断面、C 供試体は、曲げ半径 268mm で円形に曲げた帯鉄筋を断面の外周に沿って配置した直径 600mm の円形断面である。ここで、R 供試体では、帯鉄筋と中間帯鉄筋による拘束効果が C 供試体の拘束効果と概ね同程度となるように設計した。すな

わち、Hoshikuma らが提案している帯鉄筋の拘束効果モデル¹⁹⁾に基づいて算出される拘束コンクリートの終局圧縮ひずみの値が両供試体で近い値となるように中間帯鉄筋の配置と本数を決定した。なお、供試体の設計段階では使用する材料の強度は仮定値を用いたが、表-1 に示す材料試験結果が得られた後、これらの値を用いて R 供試体及び C 供試体に対する終局圧縮ひずみを再度計算し直したところ、それぞれ 0.00382 及び 0.00397 と求められ、両者は概ね近似した値であることが確認された。

また、IL 供試体は、C 供試体で用いた帯鉄筋と同じ形状の帯鉄筋を重ね合わせてインターロッキング式配筋とした供試体である。隣り合う帯鉄筋の中心間隔は、カリフォルニア州交通局の基準に基づき、帯鉄筋の曲げ半径の約 15 倍に相当する 400mm とした。

一方、OV-1 及び OV-2 供試体は、断面高さは 600mm で他の供試体と同一であるが、柱幅がそれぞれ 1200mm

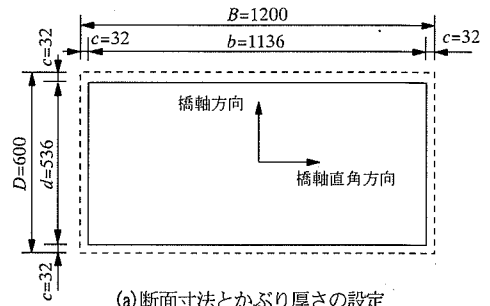
及び 1400mm であり、楕円状に曲げた 2 連の帯鉄筋を重ね合わせた楕円インターロッキング式配筋である。OV-2 供試体の柱幅は、仮に IL 供試体にもう 1 連の帯鉄筋を加えて 3 連のインターロッキング式配筋とした場合の柱幅に相当している。帯鉄筋の曲げ形状である楕円の長径は柱幅によって変化することになるが、その決定方法については次節で詳述する。なお、インターロッキング式配筋とした IL 供試体、OV-1 供試体、OV-2 供試体では、4 箇所断面隅角部において余分なかぶりコンクリートを除いているため、断面形状としては八角形となっている。

軸方向鉄筋は、いずれの供試体とも D10 の異形鉄筋を用い、軸方向鉄筋比が概ね 1.0% となるように本数を決定した。ここで、IL 供試体では、C 供試体との比較ができるようにするために軸方向鉄筋の配置間隔は全周にわたって同一とした。このため、帯鉄筋が重なり合っている領域には合計 16 本の軸方向鉄筋が配筋されている。ただし、既往の研究によると、この領域に配筋する軸方向鉄筋は 4 本以上あればよいと報告されていること⁹⁾、また、これらの軸方向鉄筋は曲げ抵抗モーメントの向上には大きく寄与しないことを考慮し、OV-1 供試体と OV-2 供試体では、図-3(d), (e) に示すように 8 本とした。

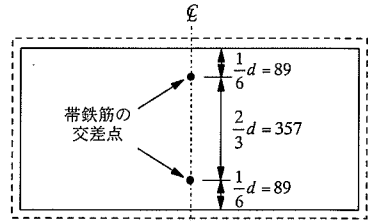
また、帯鉄筋ならびに中間帯鉄筋には D6 の異形鉄筋を用い、柱高さ方向に 75mm 間隔で設置した。R 供試体の帯鉄筋は、1 本の鉄筋をその端部が隅角部にくるように口の字状に曲げ、フック長 60mm の 135 度フックで内部コンクリートに定着させた。中間帯鉄筋は、断面高さ方向と平行な方向に 2 本、柱幅方向と平行な方向に 1 本配筋し、鉄筋の両端に設けたフック長 60mm の 180 度フックにより帯鉄筋にひっかけている。C 供試体及び IL 供試体の帯鉄筋は、1 本の鉄筋を円形に曲げ、その端部を 240mm 重ねた上で、フック長 60mm の 135 度フックで定着している。OV-1 供試体及び OV-2 供試体の帯鉄筋は、1 本の鉄筋を前述した手法により楕円状に曲げ、端部は 240mm 重ねた上で、フック長 72mm の 90 度フックで定着させた。OV-1 供試体及び OV-2 供試体の帯鉄筋の定着に 90 度フックを用いたのは、インターロッキング式配筋であれば、図-3 に示すように、帯鉄筋の定着がすべて内部コンクリートの領域で行われるためであり、塑性変形域において仮に軸方向鉄筋が座屈してかぶりコンクリートが剥落したとしても、帯鉄筋の定着部が露出して定着性能が低下するということがないと考えたためであり、実橋脚での施工性も考慮し、この実験では 90 度フックを採用した。

(2) 楕円インターロッキング式配筋における帯鉄筋の曲げ形状の設計方法

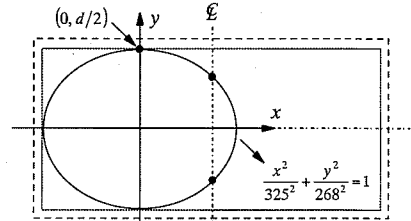
楕円インターロッキング式配筋に用いる帯鉄筋は、



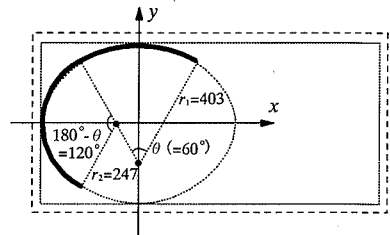
(a) 断面寸法とかぶり厚さの設定



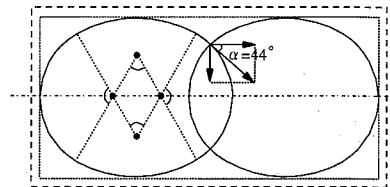
(b) 帯鉄筋の交差点位置の設定



(c) 楕円式の算定



(d) 楕円の近似曲線の算定



(e) 帯鉄筋の交差点角の照査

図-4 帯鉄筋の曲げ形状の設計手順

図-2 に示したように、その形状の設定をどのようにするか重要となる。ここでは、本実験に用いた OV-1 供試体及び OV-2 供試体の帯鉄筋の曲げ形状の設計方法について述べることにする。

図-4 は、OV-1 供試体における帯鉄筋の曲げ形状の設

定プロセスを示したものである。

a) 断面寸法の設定

OV-1 供試体では、断面高さ D を 600mm、柱幅 B を 1200mm と設定した。

b) 帯鉄筋の交差位置の決定

断面寸法から帯鉄筋に対するかぶりコンクリート厚さを差し引くことにより有効拘束長 d, b を算出する。

$$\text{断面高さ方向} : d = D - 2c = 536\text{mm} \quad (1)$$

$$\text{柱幅方向} : b = B - 2c = 1136\text{mm} \quad (2)$$

ここで、 c は帯鉄筋に対するかぶりコンクリート厚さであり、本実験ではこれまでの他の実験供試体と整合させ、 c は 32mm とした。

次に、帯鉄筋の交差位置は、2つの交点の間隔が $(2/3)d$ となるように決定する。これは、円形帯鉄筋によるインターロッキング式配筋では、隣り合う帯鉄筋の中心間隔が帯鉄筋の曲げ半径の 15 倍以下とする Caltrans の規定³⁾に基づき、帯鉄筋の中心間隔を曲げ半径の 15 倍とした場合に幾何学的に求められる2つの交点の間隔がおよそ $(2/3)d$ となるためである。前述したように、帯鉄筋の中心間隔は、橋軸直角方向に作用するせん断力に対して、重ね合わせた帯鉄筋が分離することなく確実にせん断抵抗を発揮できるように決められたものである。したがって、2つの交点の間隔が直接重要なのではなく、交点において帯鉄筋の接線方向が橋軸直角方向に平行な方向に対してどのくらいの角度をなしているかが重要である。しかしながら、本研究で提案する楕円インターロッキング式配筋では、帯鉄筋の形状を決定するためのパラメータが多いため、まず、2つの交点の位置を予め決定した上で楕円の形状を特定していくこととする。

なお、楕円インターロッキング式配筋では、楕円の長径と平行な方向が橋軸直角方向となるため、円形帯鉄筋によるインターロッキング式配筋と比較すると、交点において帯鉄筋の接線方向が橋軸直角方向に平行な方向に対してなす角度は小さくなる。すなわち、帯鉄筋の形状を楕円にすることは、帯鉄筋を重ね合わせる本来のねらいである橋軸直角方向に対するせん断抵抗を確実にするという観点からは安全側な変更となる。したがって、これまでの知見と楕円帯鉄筋の特性を考慮すると、一般には、鉄筋の交差位置を2つの交点の間隔が $(2/3)d$ となるように設定すればよいと考えられる。

c) 楕円式の算定

図-4(c)に示すような xy 座標平面を考え、楕円の基本式に基づいて、隣り合う帯鉄筋の交点と点 $(0, d/2)$ を通る楕円式を算出する。すると、楕円が次式のように決定される。

$$\frac{x^2}{325^2} + \frac{y^2}{268^2} = 1 \quad (3)$$

すなわち、楕円の長径は 650mm、短径は 536mm である。

d) 楕円の近似曲線の算定

図-2に示したように、楕円の近似曲線は4本の円弧の組合せで構成される。近似曲線は r_1, r_2, θ の3つのパラメータで表現されるが、ここでは、 θ は 60° で固定値として扱うこととする。これは、 θ の値を小さく設定すると幅広い楕円を成形できないこと、逆に θ の値を大きくするにつれて次第に長方形断面の拘束状態に漸近してくるため、拘束効果の低下が顕著となる可能性があること等を考慮して設定したものである。

前ステップで、楕円の長径と短径の値が求まっているので、図-4(d)に示す幾何学的条件により、次の連立方程式が成り立つ。

$$\left\{ r_2 + (r_1 - r_2) \sin \frac{\theta}{2} \right\} \times 2 = 650 \quad (4)$$

$$\left\{ r_1 - (r_1 - r_2) \cos \frac{\theta}{2} \right\} \times 2 = 536 \quad (5)$$

$\theta = 60^\circ$ を代入して式(4),(5)を解くと、 $r_1 = 403\text{mm}$ 、 $r_2 = 247\text{mm}$ と求められる。

e) 帯鉄筋の交点における法線角の照査

前述したように、帯鉄筋の交差位置は、便宜的に2つの交点の間隔が $(2/3)d$ となるように設定すればよいとしたが、確認のため、曲げ半径を r_1 とする円弧の中心角 θ を 60° とした場合において、帯鉄筋の交点における円弧の接線方向が橋軸直角方向に平行な方向に対してなす角度 α を照査しておくこととする。この α は、橋軸直角方向に対するせん断抵抗特性を確保することを目的として Tanaka and Park が着目した指標であり、 37° 以下とすることが提案されている⁴⁾。一方、前述したように、カリフォルニア州交通局の基準では、円形スパイラル筋の中心間隔はスパイラル径の 0.75 倍以下とされており³⁾、これは α を 49° 以下とすることと等価である。このように α の最大値には2種類の提案があるが、最近の実験的検討結果⁵⁾も踏まえ、ここでは α が 49° 以下となっていることを照査すればよいこととした。

楕円インターロッキング式配筋において、 α は次式により与えられる。

$$\alpha = \cos^{-1} \left(\frac{d}{3r_2} \right) \quad (6)$$

式(6)に d 及び r_2 の値を代入すると、 α は 44° と求められ、上述した α の許容範囲に収まっている。したがって、d)のステップで設定した楕円の近似曲線によるインターロッキング式配筋は、橋軸直角方向に対する噛み合わせが十分であり、帯鉄筋によるせん断抵抗特性も確保できていると考えられる。

ここで、帯鉄筋の曲げ形状に関するパラメータ値を

まとめると表-2のとおりである。表中には、断面寸法を600×1400mmとしたOV-2供試体、ならびに実橋脚に対する試算として2600×6000mmの断面(かぶりコンクリート厚さは100mm)に対して、同様に計算した結果も示した。このように柱幅を広くしていくと、当然のことながら r_1 の値は大きくなり、逆に r_2 の値は小さくなる。ここに r_2 に対する r_1 の比を曲げ半径比と定義すると、曲げ半径比が大きくなると拘束効果の低下が有意になることが想定される。したがって、楕円インターロッキング式配筋のメリットを生かすためには曲げ半径比の値に上限値を設けておく必要があると考えられる。今回の実験では、3連インターロッキング式配筋とした場合に相当する柱幅までを楕円インターロッキング式配筋の適用のターゲットと考えてOV-2供試体の設計を行った。なお、OV-2供試体では、曲げ半径比が2.39となっている。

表-2 楕円状帯鉄筋の曲げ形状の特性値

供試体	OV-1	OV-2	実橋脚例
断面寸法 (mm)	600×1200	600×1400	2600×6000
楕円の長径 (mm)	650	766	3323
楕円の短径 (mm)	536	536	2400
楕円の偏平率	1.21	1.43	1.38
曲げ半径 r_1 (mm)	403	540	2292
曲げ半径 r_2 (mm)	247	226	1031
曲げ半径比	1.63	2.39	2.22
交点法線角 (°)	44	38	39

4. 正負交番載荷実験

(1) 載荷方法及び計測項目

正負交番載荷実験のセットアップを図-5に示す。載荷は、供試体の短辺に平行な方向に加力し、降伏変位の整数倍毎の水平変位を正負交番に与えていく変位漸増繰り返し方式で行った。降伏変位は、表-1に示した材料強度を用いて予め計算して求めておいた降伏水平耐力ならびに弾性範囲内での載荷によって得られた軸方向鉄筋のひずみ等を参考にしながら、いずれの供試体とも、水平力加振機への指令値で17mmと設定した。また、各載荷ステップにおける載荷繰り返し回数は3回とした。なお、供試体には、橋梁の上部構造の自重を想定した軸力を与えることとし、ここでは、その代表的な値として1.0N/mm²の軸応力度に相当する軸力を与えた。実験は、水平力が最大水平力のおよそ半分程度にまで低下した段階を目安として終了した。

本実験では、供試体載荷点位置における水平力、軸力の各荷重、供試体に生じる水平変位、塑性ヒンジ領域とその近傍の断面における曲率、鉄筋に生じるひずみ等を測定した。ここで、曲率は、断面の圧縮縁ならびに引張縁におけるひずみをそれぞれ変位計により計測し、平面ひずみ保持が成り立つことを前提として、これらのひずみ値から次式により算定した¹⁰⁾。

$$\phi = \frac{\Delta r - \Delta c}{D_i \cdot h} \quad (7)$$

ここに、

ϕ : 曲率

$\Delta r, \Delta c$: 計測区間における引張側面及び圧縮側面の相対変位

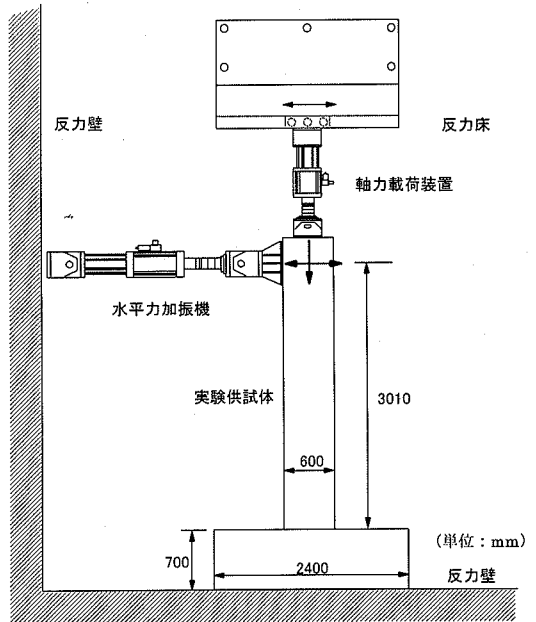


図-5 正負交番載荷実験のセットアップ

D_i : 引張側面と圧縮側面に配置された変位計の距離

h : 計測区間長で、本実験では80mmを標準として変位計をセットした。

なお、このようにして算出する曲率は、ひずみの計測区間長に含まれる断面の平均的な曲率となる。

(2) 水平力-水平変位の関係と損傷の進展

実験により得られた各供試体の載荷点における水平力-水平変位関係の履歴曲線を図-6~10に示す。ここで、OV-2供試体においては、 $2\delta_y$ の1サイクル目の載荷中に加力システムに不具合が生じ、一部の区間で正しいデータの計測ができなかった。このため、当該区間のデータを除外しているため、履歴曲線に不連続箇所が生じていることに注意する必要がある。また、載荷終了時の各供試体の損傷状況は図-11に示すとおりである。

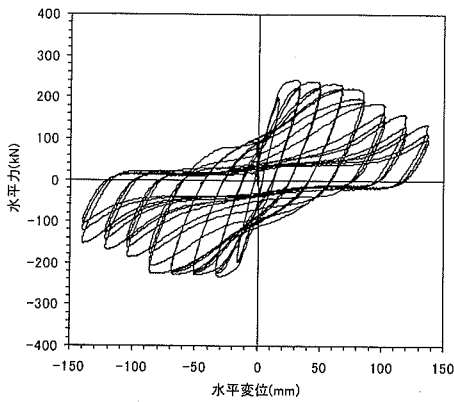


図-6 R 供試体の水平力-水平変位関係の履歴曲線

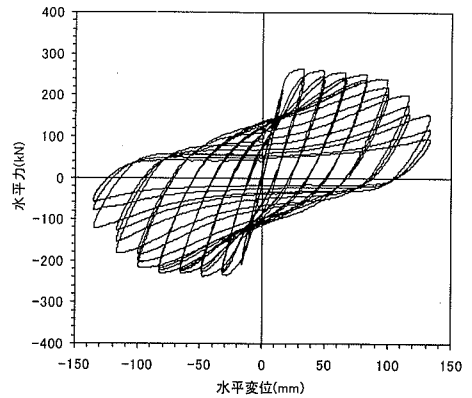


図-9 OV-1 供試体の水平力-水平変位関係の履歴曲線

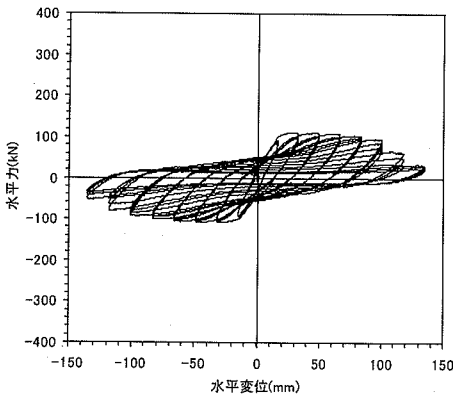


図-7 C 供試体の水平力-水平変位関係の履歴曲線

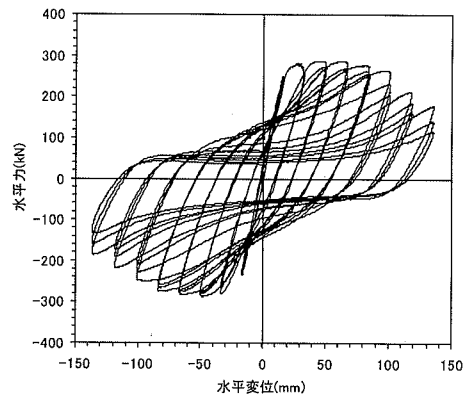


図-10 OV-2 供試体の水平力-水平変位関係の履歴曲線

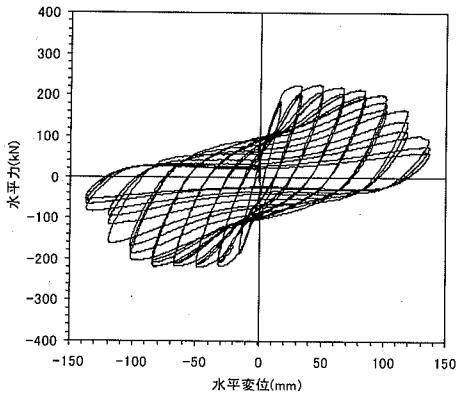


図-8 IL 供試体の水平力-水平変位関係の履歴曲線

まず、長方形断面で中間帯鉄筋を配置した R 供試体では、 $4\delta_y$ の変形までは損傷が水平ひびわれだけであったが、 $5\delta_y$ の 2 サイクル目の载荷において、軸方向鉄筋の座屈に伴い、基部から約 300mm の範囲でかぶりコンクリートが剥離し、水平力の低下が始まった。そして、次の $6\delta_y$ の変形を与えるとさらに損傷が内部コンクリートへと進展し、水平力は約 20% 低下した。

直径 600mm の円形断面とした C 供試体では、 $4\delta_y$ の

変形の载荷までに生じた損傷は水平ひびわれ程度であり、 $5\delta_y$ の変形を与えた段階で基部から 200mm 程度の高さの範囲でかぶりコンクリートが剥離し始めた。さらに $6\delta_y$ の変形を载荷すると、その範囲で軸方向鉄筋の座屈が観察されるようになり、損傷が内部コンクリートにまで進展するとともに、軸方向鉄筋が 1 本破断した。また、IL 供試体では、 $4\delta_y$ の変形の载荷までは水平ひびわれが生じている程度の損傷であり、 $5\delta_y$ の変形の载荷中に基部から高さ約 170mm までの範囲においてかぶりコンクリートの剥離が生じた。そして、 $6\delta_y$ の変形を与えると、同範囲で軸方向鉄筋が座屈しながらかぶりコンクリートが大きく剥離し、損傷が内部へと進展するとともに、水平力も 25% 程度低下した。ただし、この段階でのかぶりコンクリートの剥離は、圧縮側となる面全体で生じているのではなく、軸方向鉄筋が最外縁近くに配筋され、かぶり厚さが最も小さくなっている 2 箇所で見られており、帯鉄筋を重ねた領域では軸方向鉄筋の座屈は生じていなかった。これは、これらの軸方向鉄筋はまだ損傷していない内部コンクリートに配置されており、周辺のコンクリートによる座屈抑制効果が高いためと考えられる。

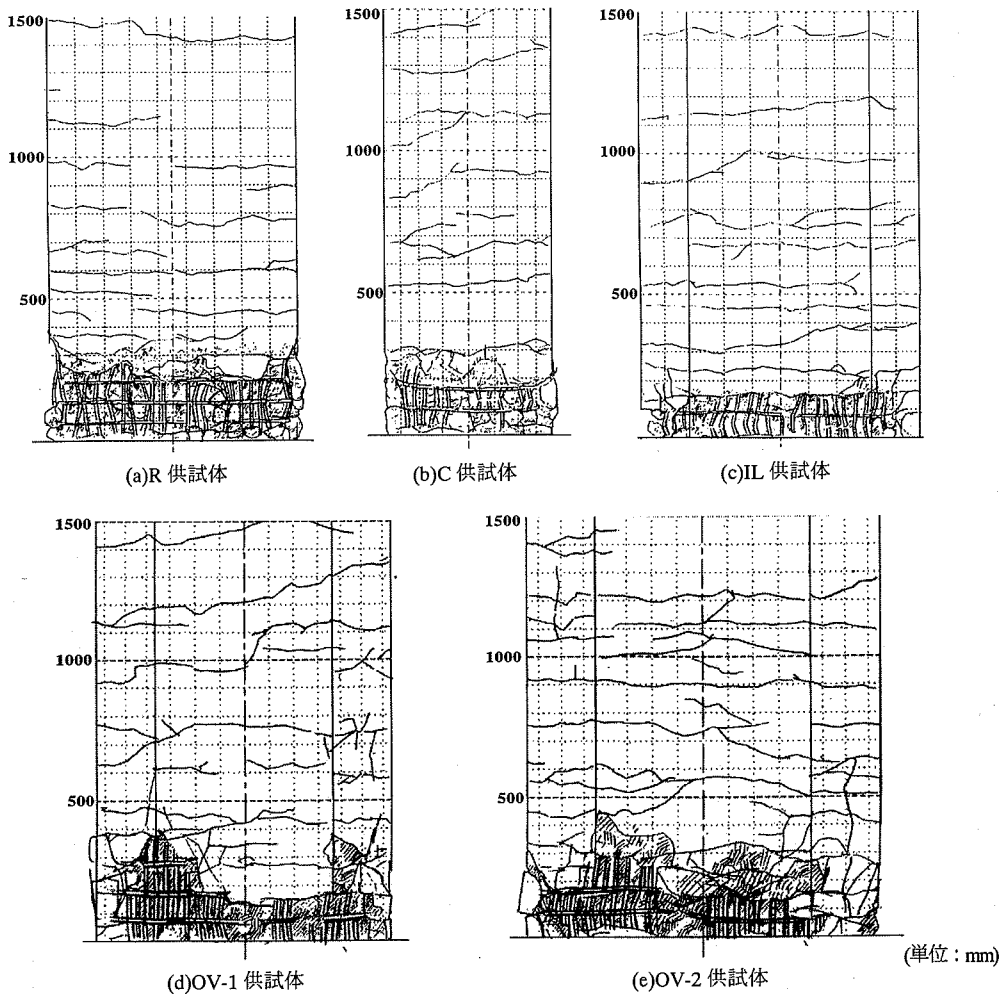


図-11 載荷終了時の損傷状況

表-3 耐震性の評価で一般に着目される状態における水平力と水平変位の関係

着目した 載荷ス テップ	本実験で降伏と定義した 載荷ステップ		水平力が最大となる時の 載荷ステップ		軸方向鉄筋の座屈により かぶりコンクリートが剥 落し始めた時の載荷ス テップ		1サイクル目の載荷で水平 力が初めて最大水平荷重 の80%以下にまで低減した 時の載荷ステップ	
	水平力 (kN)	水平変位 (mm)	水平力 (kN)	水平変位 (mm)	水平力 (kN)	水平変位 (mm)	水平力 (kN)	水平変位 (mm)
供試体								
R	200.4	16.2	234.9	33.3	221.4	85.1	179.8	102.4
C	93.0	16.3	106.8	32.5	94.0	100.0	60.0	117.6
IL	184.0	16.4	222.2	32.9	196.1	101.6	158.0	118.8
OV-1	218.0	16.1	255.5	33.5	234.6	99.6	194.1	116.4
OV-2	238.9	16.2	282.1*	50.1*	254.9	101.1	210.4	118.1

*: 26₀の載荷ステップで一部データが記録できなかったため参考値

一方、断面幅が1200mmで楕円インターロッキング式配筋としたOV-1供試体では、水平ひびわれの進展が $5\delta_y$ の変形まで続き、 $6\delta_y$ の2サイクル目を載荷中に基部から230mmの範囲で軸方向鉄筋の座屈に伴ってかぶりコンクリートが剥落した。IL供試体と同様に、この

段階でのかぶりコンクリートの剥落は圧縮側の面全体で生じているのではなく、軸方向鉄筋のかぶり厚さが最も小さくなっている2箇所が生じた。また、断面幅を1400mmまで広げたOV-2供試体では、 $5\delta_y$ の変形の載荷において柱基部から230mmの高さの範囲でかぶりコン

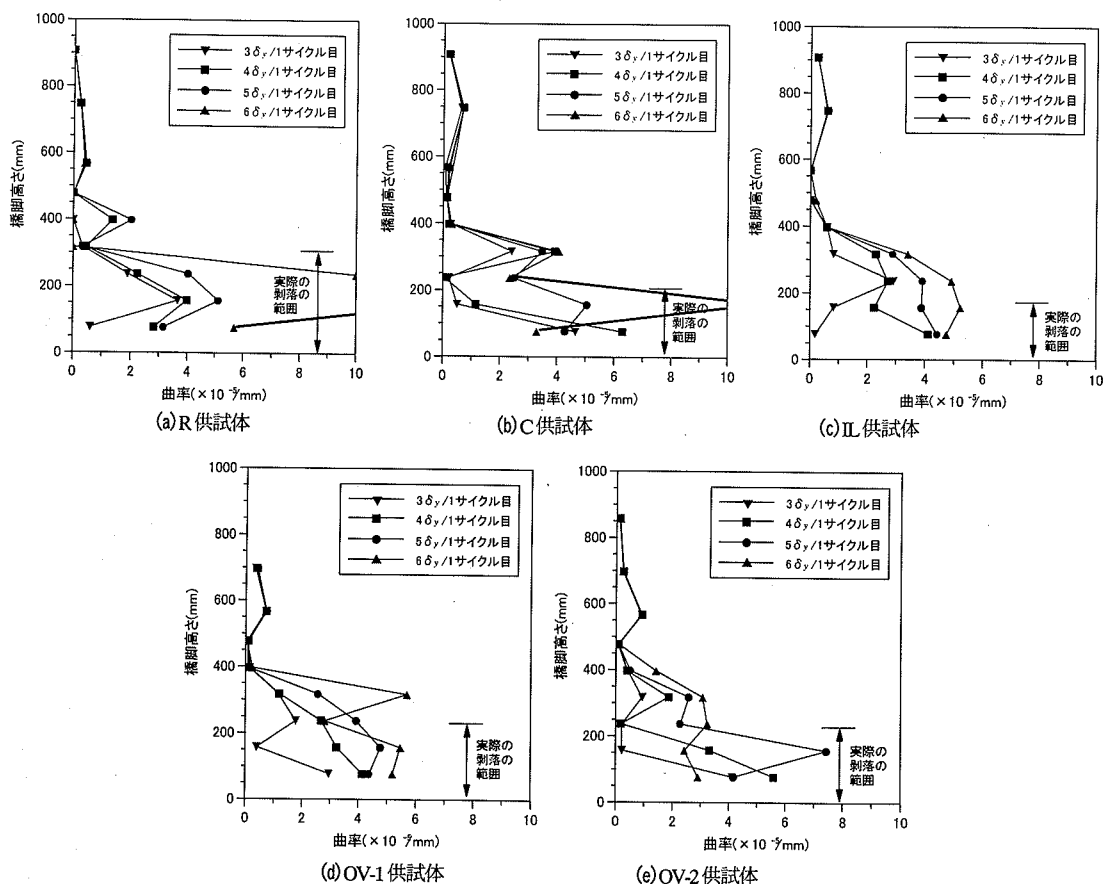


図-12 塑性ヒンジ近傍における曲率分布

クリートが剥離し始め、次の $6\delta_y$ の1サイクル目を載荷中にその範囲で軸方向鉄筋が座屈しかぶりコンクリートが剥落し始めた。

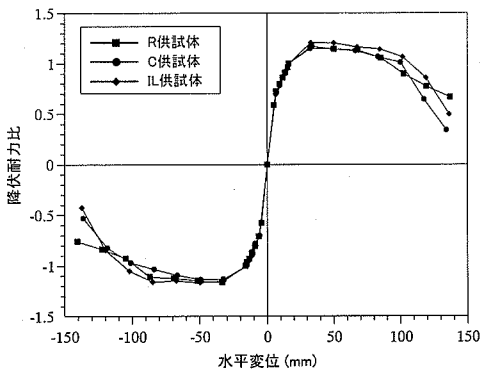
各供試体に対して、耐震性の評価として一般に着目される状態における水平力と水平変位の値をまとめて示すと表-3のとおりである。ここでは、本実験で降伏と定義した時、水平力が最大となる時、軸方向鉄筋の座屈によるかぶりコンクリートが剥落し始めた時、1サイクル目の載荷で水平力が初めて最大水平荷重の80%以下にまで低減した時に対する実験結果を示した。また、水平変位の値は、水平力加振機への指令値ではなく、変位計により直接計測した載荷点位置での供試体の水平変位である。なお、この結果から、水平力が最大となるのは $2\delta_y$ の変形を与えた時と考えられるが、OV-2供試体では、前述したように $2\delta_y$ の1サイクル目の載荷において計測が適切に行えなかった。したがって、表-3では $2\delta_y$ の変形以外の載荷ステップにおいて計測された最大水平荷重を参考値として示している。

(3) 曲率分布

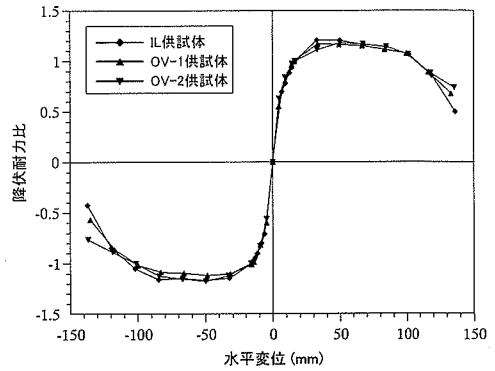
図-12は、各供試体の塑性ヒンジ領域において計測し

た曲率の高さ方向分布を示したものである。図中には、目視により測定した軸方向鉄筋の座屈によるかぶりコンクリートのおよその剥落範囲を併記した。これより、いずれの供試体とも橋脚基部から高さ400mm付近までの範囲で曲げ塑性変形が生じており、高さ150mm付近の断面で最も曲率が大きくなっていることがわかる。

このように、曲率の高さ方向分布の傾向に大きな差異は見られないが、軸方向鉄筋の座屈に伴って生じたかぶりコンクリートの剥落範囲には特徴的な違いが見られる。すなわち、矩形拘束としたR供試体では約300mmの範囲でかぶりコンクリートが剥落し、概ねその範囲で曲げ塑性変形が生じているのに対して、C供試体やII供試体のように円形拘束とすると剥落範囲が狭まると同時に、剥落範囲よりもさらに上方の断面まで曲げ塑性変形が進展していることがわかる。かぶりコンクリートの剥落範囲は、おおよそ軸方向鉄筋の座屈長に相当することがこれまでの研究により報告されているが¹⁷⁾、これは、円形拘束とすると帯鉄筋による座屈抑制効果が高まるため、軸方向鉄筋の座屈長が短くなるとともに、座屈圧縮荷重が大きくなり、曲げ塑性変形がさらに上方の断面へと進展するためである。また、楕円状の帯鉄筋を用いた場合、



(a) 矩形帯鉄筋と円形帯鉄筋の比較



(b) 円形帯鉄筋と楕円状帯鉄筋の比較

図-13 水平力-水平変位関係の履歴曲線の包絡線の比較

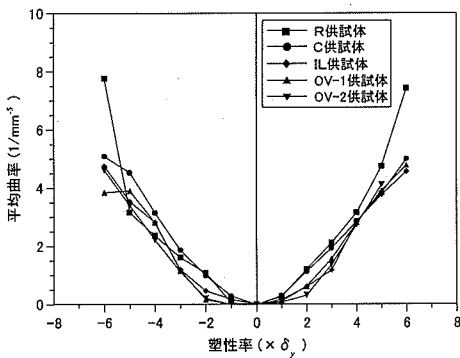


図-14 塑性ヒンジ計測区間における平均曲率の比較

円形帯鉄筋と比較してかぶりコンクリートの剥落範囲は多少広がっている。これは、楕円が扁平になるにつれて次第に軸方向鉄筋の座屈抑制効果が低下し、座屈長が長くなっているためと考えられる。楕円状の帯鉄筋を用いることにより円形の場合よりも拘束効果が弱くなることが懸念されるが、その一方で破壊領域は広がる傾向であり、楕円インターロッキング式配筋が円形拘束と矩形拘束のメリットを併有した中間的な挙動を示すことも一つの特徴である。

5. 帯鉄筋の曲げ形状が橋脚の塑性変形特性に及ぼす影響

(1) 塑性変形性能に及ぼす影響

上述したように、円形または楕円状の帯鉄筋を用いた供試体では、 $5\delta_y \sim 6\delta_y$ の変形を繰返し载荷中にかぶりコンクリートの剥離が生じ、 $6\delta_y$ の変形を繰返し载荷する段階で、軸方向鉄筋の座屈とそれに伴うかぶりコンクリートの剥離が生じており、損傷の進展は概ね同様であった。一方、矩形帯鉄筋とした R 供試体では、 $5\delta_y$ の変形でかぶりコンクリートが剥離し始め、他の供試体より

も損傷の進展が早く生じた。そこで、水平力-水平変位関係を供試体間で相対的に比較できるようにするために、水平力を $1\delta_y$ の载荷において計測された水平力（降伏耐力）で除して無次元化した降伏耐力比を用いて履歴曲線の包絡線を示すと図-13の通りである。また、塑性ヒンジ付近における塑性変形挙動を比較するために、柱基部より高さが 37mm の断面から 357mm の断面までの区間（以下「塑性ヒンジ計測区間」という）で計測した曲率の平均値と載荷点における水平変位の関係を比較した結果を図-14に示す。

まず、中間帯鉄筋で補強された矩形帯鉄筋を有する R 供試体と円形帯鉄筋を有する C 供試体を比較すると、損傷の進展度には多少の差異は見られたが、降伏耐力比-水平変位関係ならびに塑性ヒンジ計測区間での平均曲率-水平変位関係は概ね一致していることがわかる。ただし、R 供試体では $6\delta_y$ の変形時における塑性ヒンジ計測区間での平均曲率が急増している。これは、R 供試体のような矩形断面に対する一般的な軸方向鉄筋の配置方法の場合、最外縁位置に配置される軸方向鉄筋の本数が多いために、その位置で軸方向鉄筋が座屈し始めると、塑性ヒンジの回転変形が急激に大きくなることを示している。逆に C 供試体のように円形状に軸方向鉄筋を配置すると、最外縁位置の軸方向鉄筋が座屈し始めても、その側方内側にある軸方向鉄筋は座屈していない段階であるため、塑性ヒンジの回転変形が急激に大きくなるような結果にはなっていない。

また、IL 供試体と C 供試体を比較してみると、塑性域での変形特性はほとんど等しくなっていることがわかる。藤倉らは、インターロッキング式橋脚の拘束効果の評価方法について、道路橋示方書で定義されている有効長¹⁸⁾を変化させ、インターロッキング式配筋による拘束効果の向上を見込んだ幾つかの試算的な検討を行っているが⁹⁾、円形帯鉄筋で拘束された円形断面橋脚に対する実験結果との比較から判断すれば、帯鉄筋を少しずつ

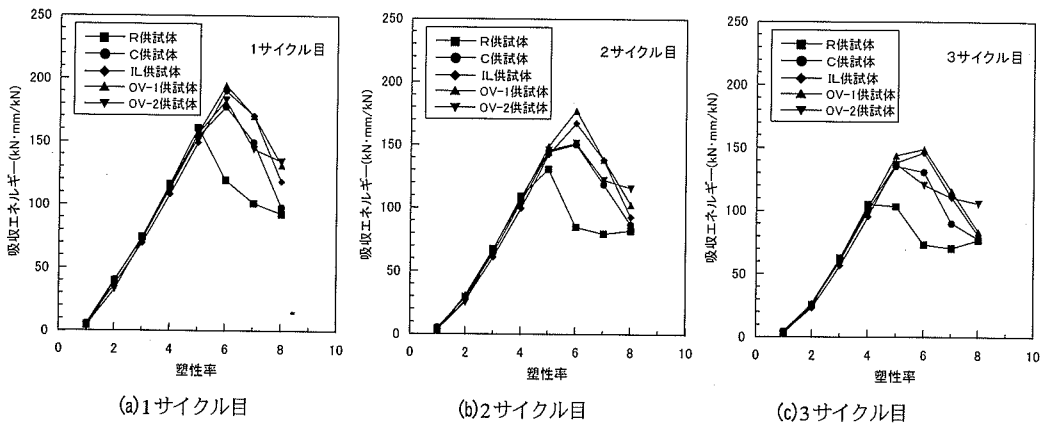


図-15 各載荷ステップにおける履歴吸収エネルギーの比較

重ね合わせても塑性ヒンジの塑性回転性能は円形帯鉄筋を単独で用いた場合と同等であると考えられる。

次に、インターロッキング式配筋とした橋脚において、帯鉄筋の曲げ形状が塑性変形性能に及ぼす影響について見てみる。図-13(b)からわかるように、楕円状の帯鉄筋を用いたOV-1供試体ならびにOV-2供試体の降伏耐力比-水平変位関係は、損傷が内部コンクリートにまで進展している降伏耐力比の低下域も含めて、円形帯鉄筋を用いたIL供試体と非常によく一致した挙動となっている。また、図-13に示す塑性ヒンジ計測区間における平均曲率-水平変位の関係についても、3供試体でほとんど同様な結果が得られた。帯鉄筋の曲げ形状を楕円とすることにより、円形の場合よりも拘束効果が小さくなり、塑性変形性能が低下することも考えられたが、本実験結果は、帯鉄筋の曲げ半径比が2.39以内の範囲であれば、楕円状の帯鉄筋を用いても円形の場合と同等の塑性変形性能を発揮しうるとを示している。これは非常に興味深い結果である。

なお、C供試体とIL供試体の塑性変形性能が同等であるという結果を外挿すると、仮にIL供試体にもう1連の帯鉄筋を加えて柱幅1400mmの3連インターロッキング式配筋とした供試体（以下「TIL供試体」という）に対する実験を行っていたとすると、TIL供試体の塑性変形性能はC供試体やIL供試体とも同等となることが想定される。つまり、OV-2供試体はTIL供試体と同等の塑性変形性能を保有しているものと推論することができる。本文では、TIL供試体に対する実験を行っていないため推論の域を出ないが、本研究で提案する楕円インターロッキング式配筋を採用することにより、塑性変形性能を保持しながら、円形帯鉄筋による3連インターロッキング式配筋とする場合よりも帯鉄筋の量を低減させることができるものと考えられる。

(2) エネルギー吸収性能に及ぼす影響

前項では、各載荷ステップにおける最大変位時に着目して供試体間の比較を行ったが、ここでは、履歴吸収エネルギーに着目して帯鉄筋の曲げ形状による影響について検討することにする。

図-15は、各載荷ステップにおける履歴吸収エネルギーを供試体間で比較して示したものである。ここで、供試体間での相対的な比較をするため、履歴吸収エネルギーの値は $1\delta_y$ の載荷変位を与えた時の水平力（降伏耐力）で除して表している。既往の研究により、載荷変位の増大に伴って1サイクルにおける履歴吸収エネルギーも増加するが、軸方向鉄筋の座屈が生じると履歴吸収エネルギーが減少し始めることがわかっており^{19,20}、図-15のような実験結果の整理は、軸方向鉄筋の座屈時期やその影響度合いを定量的に知る一つの目安として活用することができる。

これより、R供試体では $6\delta_y$ の1サイクル目の載荷から履歴吸収エネルギーが大きく減少しており、軸方向鉄筋の座屈の影響が他の供試体よりも $1\delta_y$ 相当分早く生じ始めていることがわかる。R供試体以外の4体を比較すると、1サイクル目の履歴吸収エネルギーについては、軸方向鉄筋の座屈の影響が生じ始めた後も含めて、いずれの供試体とも同等である。ただし、 $6\delta_y$ の3サイクル目での履歴吸収エネルギーに着目すると、IL供試体やOV-1供試体では $5\delta_y$ の3サイクル目の時よりも履歴吸収エネルギーが増大しているが、OV-2供試体では約15%低下している。図-13では1サイクル目の載荷に対する実験結果に基づいた包絡線で比較し、塑性変形性能に大きな差がないことを述べたが、3サイクル目の載荷結果までを含めて比較すると、OV-2供試体のエネルギー吸収性能はIL供試体やOV-1供試体よりも若干小さくなっていることを示している。これは、帯鉄筋の曲げ形状がIL供試体やOV-1供試体よりも扁平であり、その分軸方向鉄筋の座屈抑制効果が小さくなっているためと考えられる。本研究では、楕円状の帯鉄筋の曲げ半径比を2.39までとして

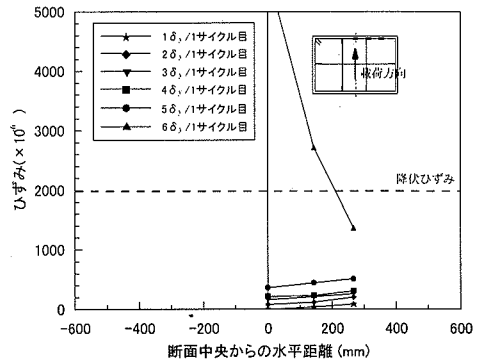
実験を行ったが、図-15に示した実験結果の傾向を踏まえると、仮に曲げ半径比が2.39よりも大きな楕円状の帯鉄筋を用いた供試体に対して実験を行っていたとすると、軸方向鉄筋の座屈が $6\delta_y$ 未満の荷重変位で生じていた可能性もあることが推論できる。したがって、楕円インターロッキング式配筋とした橋脚の塑性変形性能が円形帯鉄筋によるインターロッキング式橋脚と同等であるという知見は、楕円状帯鉄筋の曲げ半径比が2.39以下の場合に限定して適用すべきであると考えられる。

(3) 帯鉄筋に生じるひずみ性状

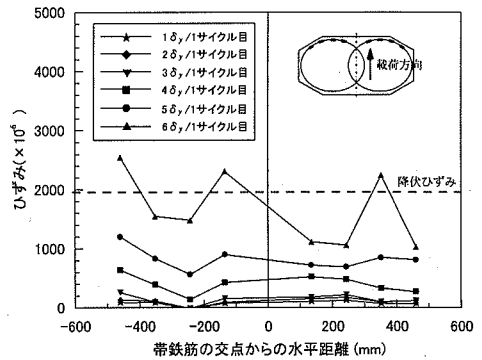
曲げが支配的な矩形断面柱部材の塑性ヒンジに曲げ変形が作用すると、圧縮フランジ側に配置された帯鉄筋は、軸方向鉄筋の座屈に対して抵抗しようとするために引張ひずみが生じる。大型模型実験を含めたこれまでの研究より、軸方向鉄筋が座屈してかぶりコンクリートが剥落する直前に帯鉄筋に生じている引張ひずみは数百~千マイクロ程度であり、降伏ひずみまでにはまだ余裕があること、そして、軸方向鉄筋の座屈が生じると、急激に帯鉄筋の引張ひずみが増大して降伏ひずみを大きく超えることがわかっている¹⁹⁾。これは、矩形帯鉄筋で拘束された橋脚の特徴的な挙動である。本研究で提案している楕円インターロッキング式配筋では、円形帯鉄筋と矩形帯鉄筋の中間的な形状をした帯鉄筋を用いていることから、ここでは、楕円の扁平さが圧縮フランジ側の帯鉄筋に生じるひずみ性状に及ぼす影響について検討する。

図-16は、基部からの高さが150mmの断面に配置した帯鉄筋を対象として、各荷重変位において当該帯鉄筋に生じたひずみの分布を示したものである。ここで、基部から150mmの高さの断面は、実際に軸方向鉄筋の座屈が生じた領域の中心位置に概ね相当している。なお、C供試体とII供試体では、図-16のような断面内における帯鉄筋のひずみ分布を計測していない。R供試体では、図-16(a)中に示す3点の位置でひずみを計測したが、荷重変位の増大に伴ってひずみが漸増し、 $5\delta_y$ の1サイクル目の荷重では3箇所とも $400\sim 500 \times 10^6$ 程度であった。そして、次の2サイクル目の荷重中に軸方向鉄筋の座屈が生じ、これに伴って帯鉄筋のひずみは急増している。これは前述したように矩形帯鉄筋に特有な挙動である。

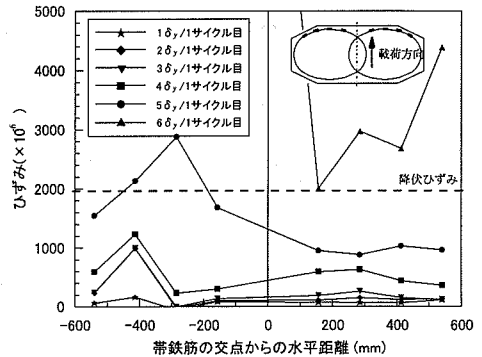
OV-1供試体とOV-2供試体では、図中に示す8点の位置で帯鉄筋のひずみを計測した。OV-1供試体では、軸方向鉄筋が座屈する直前である $6\delta_y$ の1サイクル目の荷重において、帯鉄筋に生じたひずみが $1000\sim 2500 \times 10^6$ 前後まで達していることがわかる。これは、R供試体において軸方向鉄筋が座屈する直前における帯鉄筋のひずみ値よりも大きく、帯鉄筋が軸方向鉄筋の座屈に抵抗しようとする働きが強いことを意味している。一方、楕円の扁平率を大きくしたOV-2供試体では、 $5\delta_y$ の1サイクル



(a) R 供試体



(b) OV-1 供試体



(c) OV-2 供試体

図-16 帯鉄筋に生じるひずみ性状の比較

目の荷重で帯鉄筋には部分的に降伏ひずみを超えるひずみが生じ、 $6\delta_y$ の1サイクル目で計測箇所全てが塑性化した。この結果は、帯鉄筋による軸方向鉄筋の座屈抑制効果はOV-1供試体よりも小さくなっていることを示唆していると考えられ、楕円を扁平にした影響が帯鉄筋による座屈抑制効果にも現れ始めていると見るべきである。

6. 結論

本研究では、インターロッキング式橋脚の幅広長方

形断面への応用と帯鉄筋量の低減、施工の省力化を目的として、楕円状に曲げた2連の帯鉄筋を少しずつ重ねて横拘束筋とした楕円インターロッキング式配筋を提案するとともに、帯鉄筋の曲げ形状の設計方法について提示した。さらに、楕円インターロッキング式配筋を有する曲げ破壊型の橋脚に対して模型供試体による正負交番載荷実験を行い、その塑性変形特性について、中間帯鉄筋を配筋した矩形断面橋脚、円形断面橋脚、従来のインターロッキング式橋脚との比較を行った。本研究により得られた知見をまとめると、以下の通りである。

- 1) 断面の縦横比に対して柔軟な対応が可能で、3連インターロッキング式配筋とする場合よりも、帯鉄筋量を低減できる楕円インターロッキング式配筋方法を提案した。本配筋構造においては、帯鉄筋の曲げ加工を容易にするため、2種類の半径の円弧を組合せることにより楕円状の帯鉄筋を成形するという実用的なアイデアを取り入れている点もユニークな特徴である。
- 2) 本研究で提案する楕円インターロッキング式配筋とした曲げ破壊型の橋脚は、楕円状帯鉄筋の曲げ半径比が2.39以下の範囲であれば、円形帯鉄筋による従来のインターロッキング式橋脚と同等の塑性変形性能を発揮しうる。
- 3) 円形帯鉄筋を用いた一般的な曲げ破壊型の円形断面橋脚と、その円形帯鉄筋2組を中心間隔が曲げ半径の1.5倍となるように重ね合わせたインターロッキング式橋脚の塑性変形性能ならびに曲率性状にはほとんど差が生じなかった。これはインターロッキング式配筋の拘束効果は円形帯鉄筋の拘束効果と同等であることを意味している。
- 4) 矩形帯鉄筋に沿って軸方向鉄筋を配置した一般的な矩形断面橋脚の場合、最外縁に配置される軸方向鉄筋量の割合が大きいため、これらに座屈が生じると、エネルギー吸収性能が急激に低下する。一方、楕円インターロッキング式配筋の場合、円形帯鉄筋の場合と同様に、最外縁位置の軸方向鉄筋が座屈し始めても、その側方内側にある軸方向鉄筋は座屈していない状態となるため、矩形断面橋脚に見られるような急激なエネルギー吸収性能の低下は生じない。
- 5) これらの知見から判断すると、本研究で提案した楕円インターロッキング式配筋を有する曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の塑性変形性能は、楕円状帯鉄筋の曲げ半径比が2.39以下の範囲であれば、断面高さを直径とする円形断面が円形帯鉄筋で拘束されているとみなして評価できるものと考えられる。

謝辞：本研究における楕円インターロッキング式配筋、楕円状帯鉄筋の曲げ加工方法、正負交番載荷実験計画につ

いては、独立行政法人土木研究所、財団法人土木研究センター、他民間5社による「高じん性コンクリート構造の配筋合理化技術に関する共同研究」の一環として実施したものであり、著者らと東急建設株式会社の大滝健氏、岡本大氏（現在鉄道総合技術研究所）ならびに新日本製鐵株式会社の鈴木昭信氏の研究グループで協議しながら検討を行った。また、本文に示した一部の実験については、元土木研究所の長屋和宏氏（現在国土技術政策総合研究所）が中心となり、第二著者と共同で実施したものである。ここに、関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Tanaka, H. and Park, R. : Use of Interlocking Spirals for Transverse Reinforcement in Bridge Columns, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand, 1990
- 2) Tanaka, H. and Park, R. : Seismic Design and Behavior of Reinforced Concrete Columns with Interlocking Spirals, *ACI Structural Journal*, Vol.90, No.2, March-April, 1993.
- 3) "Standard Specifications for Highway Bridges Relating to Seismic Design", Twelfth Edition with Revisions by the Office of Structures Design, Caltrans, November, 1989
- 4) Buckingham, G. C., McLean, D. I., Nelson, C. E. : Tests of Concrete Bridge Columns with Interlocking Spiral Reinforcement, *Transportation Research Record*, No.1393, pp.133-145, January, 1993
- 5) 大滝健, 黒岩俊之, 細木康夫 : インターロッキング型フープ筋を有する鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能 (その1) (その2), 土木学会第53回年次学術講演会概要集V, pp.1122-1125, 1998年10月
- 6) 野村謙二, 広瀬剛 : インターロッキング型帯鉄筋を使用した鉄筋コンクリート橋脚の耐震性能確認実験, 第2回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム, 土木学会, pp.201-207, 1998年12月
- 7) 東田典雅, 小野塚和博, 丸尾勝己, 岡本大 : 4連インターロッキング式配筋橋脚の耐震性能, 第6回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム, 土木学会, pp.39-44, 2003年1月
- 8) 柳下文夫, 田中仁史, Park, R. : インターロッキングスパイラル鉄筋を有する鉄筋コンクリート柱の繰返し荷重下における挙動, *コンクリート工学年次論文報告集*, Vol.19, No.2, pp.951-956, 1997年
- 9) 藤倉修一, 川島一彦, 庄司学, 帳建東, 武村浩志 : インターロッキング式帯鉄筋を有するRC橋脚の耐震性, *土木学会論文集*, No.640/I-50, pp.71-88, 2000年1月
- 10) 大滝健, 黒岩俊之, 宮城敏明, 水上善晴 : インターロッキングスパイラル筋を有するRC橋脚の交番載荷実験, *コンクリート工学年次論文報告集*, Vol.22, No.3, pp.367-372, 2000年

- 11) 黒岩俊之, 宮城敏明, 大滝健, 水上善晴: インターロッキングスパイラル配筋によるRC橋脚の合理化工法, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.2, pp.1279-1284, 2001年
- 12) 井ヶ瀬良則, 野村謙二, 黒岩俊之, 宮城敏明: インターロッキング式橋脚の耐震性能および施工方法について, コンクリート工学, Vol.40, No.2, pp.37-46, 2002年2月
- 13) 藤倉修一, 川島一彦, 庄司学, 帳建東, 武村浩志: インターロッキング式橋脚の耐震性に関する実験的研究, 東京工業大学耐震工学研究グループ報告書, IIT/EERG 98-9, 1998年7月
- 14) 長屋和宏, 運上茂樹: インターロッキングRC橋脚の動的耐力, 変形性能に関する実験的検討, 第25回地震工学研究発表会, Vol.2, pp.709-712, 1999年7月
- 15) Hoshikuma, J., Kawashima, K., Nagaya, K. and Taylor, A.: Stress-strain Model for Confined Reinforced Concrete in Bridge Piers, Journal of Structural Engineering, Vol.123, No.5, ASCE, 1997
- 16) 星隈順一, 運上茂樹, 長屋和宏: RC橋脚に対する正負交番載荷実験における曲率の計測とその精度, 土木学会第56回年次講演会, 第5部, 2001年10月
- 17) 浅津直樹, 運上茂樹, 星隈順一, 近藤益央: 軸方向鉄筋の座屈解析による鉄筋コンクリート橋脚の塑性ヒンジ長に関する研究, 土木学会論文集, No.682/1-56, pp.177-194, 2001年7月
- 18) (社)道路協会: 道路橋示方書V耐震設計編, 2002年3月
- 19) 星隈順一, 運上茂樹, 長屋和宏: 鉄筋コンクリート橋脚の変形性能に及ぼす断面寸法の影響に関する研究, 土木学会論文集, No.669/V-50, pp.215-232, 2001年2月
- 20) 星隈順一, 運上茂樹, 塩島亮彦: 鉄筋コンクリート橋脚における軸方向鉄筋の座屈抑制と塑性変形性能の向上, 第4回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム, pp.215-220, 2003年3月

(2003. 5. 13 受付)

PROPOSAL OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS WITH INTERLOCKING OVAL HOOPS AND FLEXURAL PERFORMANCE OF THE COLUMNS UNDER CYCLIC LOADING

Jun-ichi HOSHIKUMA, Shigeki UNJOH and Akihiko SHIOJIMA

This paper presents a new lateral reinforcement arrangement in concrete bridge columns. Authors propose the interlocking oval hoop, which will enable wide rectangular columns to be ductile without cross ties and thus reduce the construction work. Quasi-static cyclic loading tests were conducted for specimens with interlocking oval hoops, and flexural performance of columns were discussed with comparisons to columns with rectangular hoops, circular hoops, and interlocking circular hoops. Test results interestingly showed that the reinforced concrete columns with interlocking oval hoops exhibited similar flexural performance to the conventional interlocking columns with circular hoops, when the bending-radius-ratio of the oval is smaller than 2.39.