

二軸曲げ交番荷重を受けるRC部材における 帯鉄筋の定着補強に関する研究

舌間孝一郎¹・辻正哲²

¹学生会員 工修 東京理科大学理工学研究科土木工学専攻 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

²正会員 工博 東京理科大学助教授 理工学部土木工学科 (〒278-8510 千葉県野田市山崎2641)

現在規定されている帯鉄筋定着補強は、施工性等で多くの問題が残されている。一方、通常地震荷重により二軸曲げ荷重がRC柱に作用すると、最大縁応力は隅角部に発生し、隅角部での鋭角フックによる定着では帯鉄筋の機能が低下する可能性は大きい。本研究は、二軸曲げ正負交番荷重下でも十分な機能を保持できる、簡便かつ確実な帯鉄筋定着部の補強方法を提案する。実験の結果、今回開発した簡易な帯鉄筋の定着方法により、示方書に準じた鋭角フックの場合と比較しても同等以上の耐荷力および変形性能が得られることが明らかとなった。

Key Words : bi-axial bending, load reversal, seismic resistance, anchorage, ductility, hoop, tie reinforcement

1. はじめに

1995年の阪神淡路大震災では、帯鉄筋の定着不良により破壊した鉄筋コンクリート構造物が数多く報告された¹⁾。その中には、帯鉄筋端部の定着に、施工性の良い簡易な重ね継手や直角フックを用いていたものが多く見受けられた。

当時の土木学会コンクリート標準示方書には、「異形鉄筋を帯鉄筋およびフープ筋に用いる場合は、原則として半円形フックまたは鋭角フックを設けるものとする」と規定されていた。しかし、実際の施工では、主鉄筋に異形鉄筋を用いると、半円形フックまたは鋭角フックを設けた帯鉄筋を、主鉄筋の外側に落とし込み組み立てる作業が著しく煩雑となったり、組立てに当っては曲げ戻しが必要となる等の問題があり、現実としては施工が極端に困難もしくは不可能になる場合がある。一方、重ね継手や直角フックによって定着を行っても、かぶりコンクリートが剥落しなければ、静的なせん断耐荷力に対して十分な定着機能を有していると考えられるが、地震荷重による正負交番繰返しによってかぶりが剥落してしまうと、こうした簡易なフックでは、もはや定着機能は全くなくなってしまうこととなる。

平成8年制定の示方書耐震設計編²⁾では、帯鉄

筋の定着方法として、端部に鋭角フックを設ける方法の他に、継手部にフレア溶接を行う方法および機械継手を設ける方法が規定された。フレア溶接や機械継手であれば、かぶりコンクリート剥落後も帯鉄筋の機能を保ちつづけることは可能かもしれない。しかし、実際の施工においては、以下のような問題点が考えられる。

- i) フレア溶接：地組みの行えないような大断面の土木構造物の場合、足場上での作業となり、示方書で禁止されている点溶接や溶接に不慣れた鉄筋工や嵩が溶接を行う可能性がある。また、鉄筋は材質的に溶接には不向きであり、溶接に伴う品質低下も問題となりうる。一方、地組みの行える場合は、工場での溶接によって帯鉄筋をあらかじめ閉合しておくか、または半円形フックや鋭角フックを設けるのが良く、わざわざ信頼性に疑問の余地のある現場でのフレア溶接を適用する必然性が薄い。
- ii) 機械継手：専用の機器を必要とするため、地組みの行えない構造物における作業は著しく困難となり、それに伴い施工費用も高くなる。また、作業性の関係から、ある片面に継手部を集中させる可能性があり、密な配筋の場合、コンクリートの行き渡りが不良となる恐れがある。

このように、これらの方法は地組みの可能な場合を暗黙のうちに対象としており、地組みの出来ない場合には、他に優れた方法がないことから採用され、帯鉄筋の機能および施工性の両者を満足させる帯鉄筋の定着方法はないのが現状であるといっても過言ではない。

一方、地震荷重に対しては、構造物は一般に耐荷力の面で危険側となる一軸曲げで設計されているが、実際には地震荷重は断面の主軸を中心とした曲げ応力のみを発生させるとは考えにくく、円形断面を除くと二軸曲げ応力が発生し、隅角部に最も大きな応力が作用すると考えられる。そのため、かぶりが最も剥落しやすいのは、矩形断面では隅角部となり、帯鉄筋の定着に関しては、この二軸曲げの影響を考慮する必要があると思われる。また、正負交番荷重によって隅角部のコンクリートが破砕することを想定すると、たとえ鋭角フックであっても抜け出す恐れがあり、帯鉄筋が拘束力を失う可能性がある。したがって、帯鉄筋は隅角部以外、つまり断面の主軸に近いところで内部コンクリートに定着させる方が安全であると考えられるが、こうした構造細目への影響を綿密に研究した例は未だない。

本研究では、実施工を想定した簡易かつ確実な帯鉄筋の補強方法の開発を目的として、重ね継手または直角フックによる帯鉄筋定着部を、鋼製のピンを用いて挟み込み、内部コンクリートによって固定して帯鉄筋を内部コンクリートに定着させる方法を開発した。なお、この補強方法は素人でも確実に行える非常に簡易な方法であると考えている。

本研究は、予備実験および本実験から成っている。予備実験では、ピンを番線によって試作し、今回開発した補強方法の有効性を確かめる。また、本実験では、実施工を想定して、鉄筋で作製したピンを帯鉄筋端部に差し込む方法を採用した。まず実験Ⅰでは、帯鉄筋継手部にピンを差し込むことによる補強効果について、帯鉄筋柱断面の継手部を模擬したモデル供試体を用いて、帯鉄筋自身の引張耐荷力を継手部で伝達できることの確認および継手部の破壊性状の比較検討を行った。実験Ⅱでは、ピンによる補強方法を帯鉄筋柱供試体に適用し、帯鉄筋端部を重ね継手あるいは直角フックとした供試体の二軸曲げ応力下における最大耐荷力および変形性能について、鋭角フックの場合と比較検討を行い、施工容易なピンを用いた定着補強方法が、かぶりが剥落した後の帯鉄筋の定着機能に及ぼす効果を明らかにした。

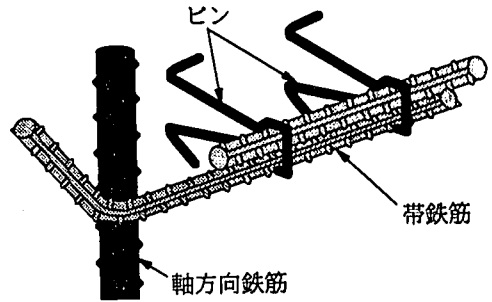


図-1 ピンによる帯鉄筋定着部の補強方法

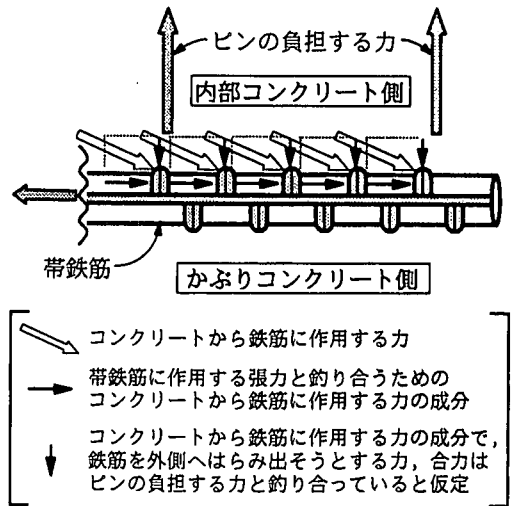


図-2 ピンによる帯鉄筋定着部の補強効果

2. ピンを用いた帯鉄筋補強方法の概要

今回開発した帯鉄筋定着部の補強方法は、重ね継手あるいは直角フックを用いた鉄筋定着部を対象としている。

図-1は、今回の補強方法の概略図を示したものである。これは、鉄筋組立時に重ね継手あるいは直角フック部にピンを差し込み、帯鉄筋を確実に内部コンクリートに定着するものである。今回の定着補強方法によって期待する効果は、以下の3点である。

- i) 図-2に示すように、定着部がコンクリートより受ける圧縮力のうち、帯鉄筋を外側へ押し出そうとする力の成分を、ピンの内部コンクリートへの定着力によって負担し、かぶりの剥落を遅らせ、かつかぶり剥落後も帯鉄筋の内部コンクリートへの定着を確保する。
- ii) 正負交番荷重を受けた場合に、部材軸方向の主鉄筋が引張・圧縮の繰り返しによってはらみ出

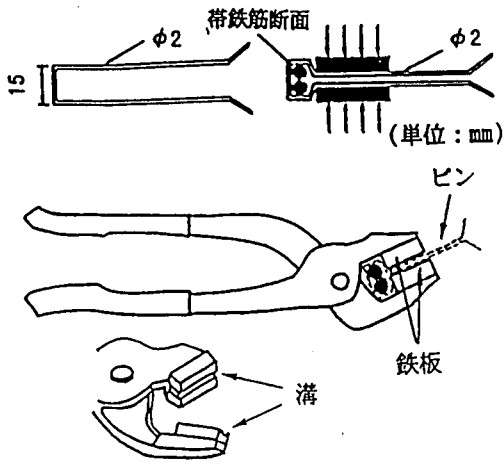


図-3 ピンの形状および固定方法(予備実験)

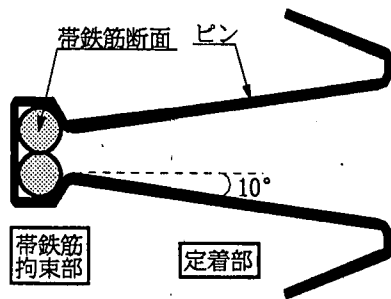


図-4 本実験で用いたピンの形状

そうとする力および圧縮縁近傍の内部コンクリートが圧壊しはらみ出そうとする力を、ピンに発生する引張力で負担し、急激な耐荷力の低下を抑止する。

- iii) ピンを配置することにより、組立て時の配筋状態を保ち、期待した帯鉄筋の継手性状を確保する。これは、かぶり剥落後に内部コンクリートまたは部材軸方向の主鉄筋がはらみ出すと、帯鉄筋自身の曲げ剛性によって、帯鉄筋端部が後の写真-3(I)および写真-4(I)のように幾何学的作用で組立て時の配筋状況と異なってしまう、期待する継手性状が得られないことによる。

実験は、帯鉄筋を内部コンクリートに固定することが、部材の靱性に及ぼす影響を確認するために、φ2の番線を帯鉄筋にかしめ付けた場合の予備実験、および施工性を考慮に入れて帯鉄筋径に応じて作製したピンを差し込む方式を採用した本実験より成っている。

予備実験で用いたピンの形状および固定方法は、

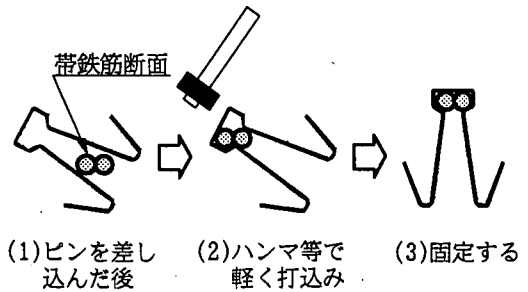


図-5 本実験で用いたピンの固定方法

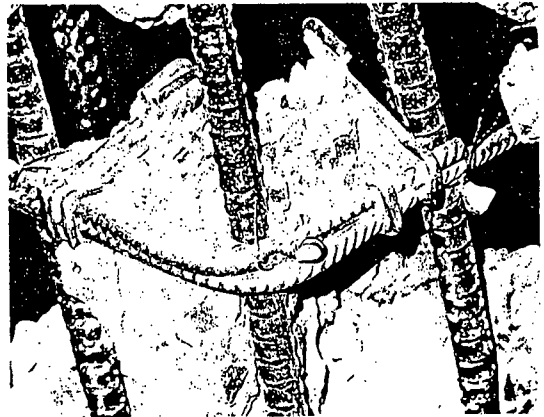


写真-1 ピンの定着状況

図-3に示すとおりである。番線を加工して作製したピンを帯鉄筋定着部に挿入後、市販のレンチを改良したものによりかしめることによって固定する方法とした³⁾。

本実験で用いたピンの形状は、図-4に示すとおりである。ピンは、固定時に帯鉄筋定着部に容易に差し込むことができ、かつ固定後に移動しないように、帯鉄筋拘束部は帯鉄筋2本がきれいに収まる台形型とし、ピンの足には僅かに傾きを付けた。また、ピンの端部にはフックを設け、定着性能の向上を図った。フック部の長さは4φ以上(φ:ピンに用いた鉄筋の直径)とした。ピンの固定方法としては、図-5に示すように、ピンを帯鉄筋定着部に差し込んだ後、ピン自身の弾性を利用してハンマ等で軽く打ち込むという簡易な方法を採用した。なお、実験終了後も、ピンは写真-1に示すように、所定の位置に固定されていたことが確認されており、今回の固定方法により、ピンはコンクリート打込み時および締固め時の衝撃によっても移動または変形することはないと考えている。

表-1 コンクリートの配合(予備実験)

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				Ad (C×%)
		W	C	S	G	
49	42	165	338	767	1014	0.5

表-2 鉄筋の物理的性質(予備実験)

用途	鉄筋	降伏点強さ (N/mm ²)
帯鉄筋	D6	356
軸方向鉄筋	D10	363

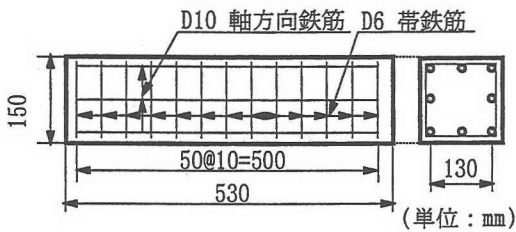


図-6 供試体の形状および寸法(予備実験)

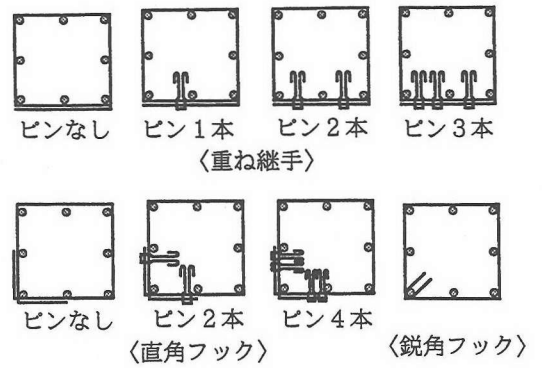
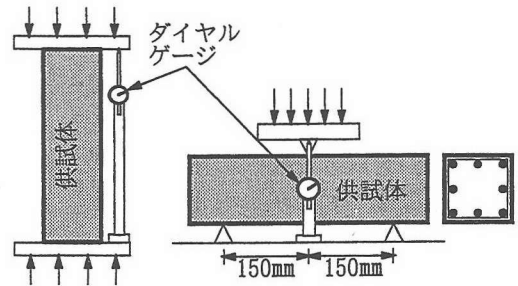


図-7 ピンの本数および配置位置



(i)一軸圧縮試験 (ii)一方向曲げせん断試験

図-8 載加試験方法(予備実験)

3. 予備実験の概要

予備実験では、帯鉄筋を内部コンクリートに拘束することによって、図-2に示すような力学的効果が得られる可能性を確認するべく、φ2の番線をピンの代わりに用いて、帯鉄筋定着部を弱い力で内部コンクリートに定着した場合について実験を行った。

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

コンクリートには、普通ポルトランドセメント(比重:3.16)、鬼怒川産の川砂(比重:2.60)、山梨産の砕石(最大寸法20mm, 比重:2.65)およびS社製の高性能AB減水剤を用い、載荷材齢における圧縮強度は30N/mm²程度とした。また、軸方向鉄筋にはD10を、帯鉄筋にはD6を用いた。コンクリートの配合および鉄筋の物理的性質は、それぞれ表-1および表-2に示すとおりである。

(2) 供試体

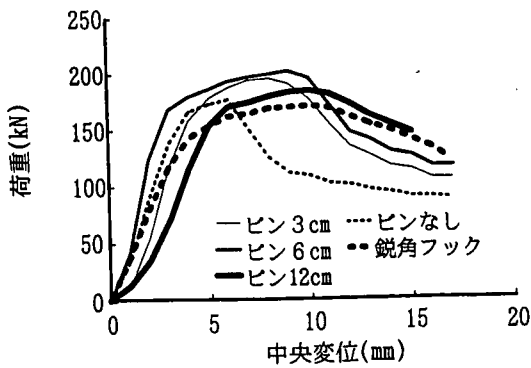
実験に用いた供試体の形状は、図-6に示すように、15×15×53cmの角柱であり、帯鉄筋定着部の形状、ピンの本数およびその配置位置は、図-7に示すとおりである。重ね継手では、ピンなし、ピン1本、ピ

ン2本およびピン3本の4種類に、直角フックでは、ピンなし、ピン2本およびピン4本の3種類に変化させた。なお、比較のために、示方書に準じた鋭角フックの場合についても実験を行った。帯鉄筋拘束部を含むピンの長さは、重ね継手を用いた場合には3cm、6cmおよび12cmとし、直角フックを用いた場合には、3cmおよび6cmとした。

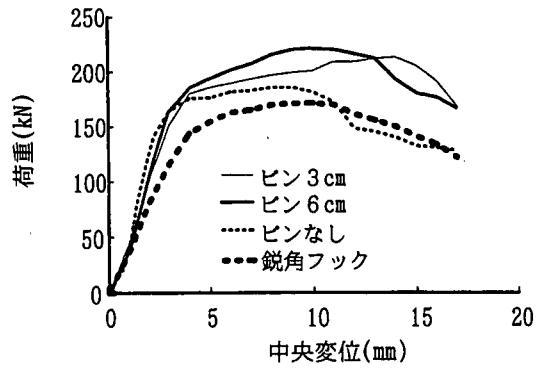
(3) 載荷試験方法

載荷手順としては、図-8に示すように、かぶりコンクリートの剥落が顕著となるまで、すなわち長軸方向に対しひずみが約5500μとなるまで一軸圧縮試験を行った後、スパンを30cmとした一方向曲げせん断試験を行い、中央変位と荷重の関係を測定した。加力は変位制御で行い、スパン中央変位が3mm、6mm、9mmといった3mm間隔(最大耐力付近では1mm間隔)で一旦除荷する繰り返し載荷とした。

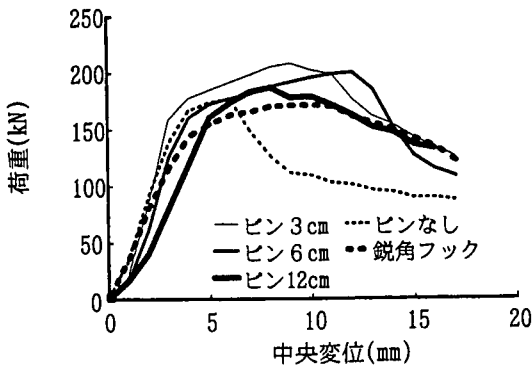
なお、実験では、帯鉄筋継手部を供試体引張り縁に集中させ定着補強効果の確認を行ったため、継手部の配置位置は、重ね継手では供試体底面、直角フックおよび鋭角フックでは供試体底辺一端とした。



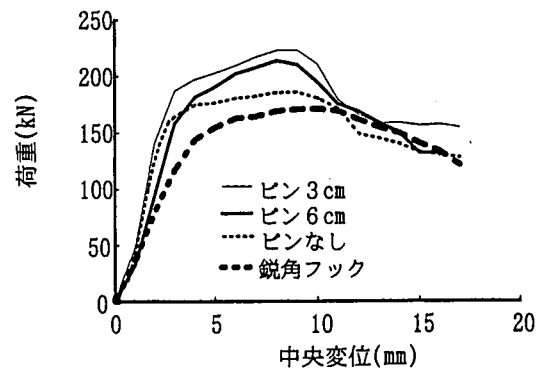
(i) ピンの本数1本



(i) ピンの本数2本

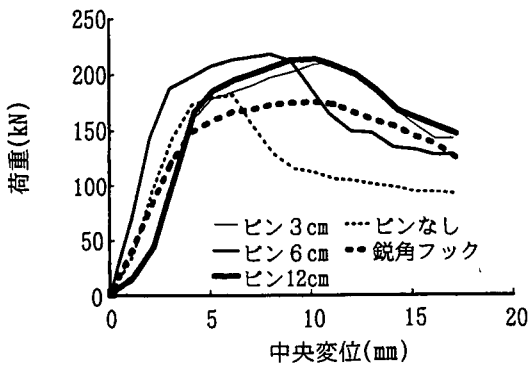


(ii) ピンの本数2本



(ii) ピンの本数4本

図-10 荷重と中央変位の関係(直角フック)



(iii) ピンの本数3本

図-9 荷重と中央変位の関係(重ね継手)

4. 予備実験結果および考察

予備実験結果の評価には、供試体の最大耐力および最大耐力後の変形性能についての比較を行うため、荷重と中央変位の関係の包絡線を用いた。

(1) 重ね継手に対するピンの補強効果

図-9は、帯鉄筋の定着に重ね継手を用いた場合について、荷重と中央変位の関係に及ぼすピンの長さおよび本数の影響を、鋭角フックおよび無補強のものと比較したものである。示方書に準じた鋭角フックの場合に比べ、ピンによる補強を行わないと脆性的な破壊をする傾向を示した。しかし、ピンによる補強を行うことによって、鋭角フックの場合と比べても、最大耐力は若干増加し、その後の変形性能も、ピンの長さおよび本数が増加するに従い改善される傾向を示した。鋭角フックを折り曲げてからの長さ72mmより計算した主鉄筋からの埋込み深さである $72/\sqrt{2}$ mmより、ピンの長さが短い場合、すなわちピンの長さが3cmの場合、ピンの本数による影響は顕著に表れる傾向を示し、2本以上のピンを用いると、鋭角フックと比較しても遜色のない耐力と靱性が得られた。また、ピンの長さが12cmと長くなると、ピンの本数がいずれであっても、鋭角フックを採用した場合と同等以上の耐力と靱性を示した。

(2) 直角フックに対するピンの補強効果

図-10は、帯鉄筋の定着に直角フックを用いた場合について、荷重と中央変位の関係に及ぼすピンの長さおよび本数の影響を、鋭角フックおよび無補強のものと比較したものである。なお、今回の実験では、帯鉄筋の斜め引張せん断耐荷力に対する補強効果を調べることを目的としたため、帯鉄筋がスターラップとしての機能で終局状態に至ることとなる。よって、示方書でスターラップに対して認められているピンを用いない直角フックであっても、鋭角フックとの差はあまり見受けられなかったものと思われる。しかし、ピンによる補強を行うと、示方書に準じた鋭角フックの場合に比べ、最大耐荷力が若干増加した。また、最大耐力後の変形性能は、ピン2本の場合いずれも似たような挙動を示し、ピンの長さが増加するに伴い、変形性能はよりダクタイルになる傾向を示した。これは、ピンの長さが増すにつれ、コンクリート内部に埋め込まれたピンの拘束により、帯鉄筋の定着が良好になったためと考えられる。しかし、ピンの長さが3cmおよび6cmのいずれの場合においても、ピンを4本用いた供試体の耐力低下は、2本用いたものに比べ大きくなった。これは、ピンの間隔が狭くなることによってコンクリートの行き渡りが不十分となり、ピンならびに鉄筋の付着強度が低下したためと考えられる。

以上の結果より、今回提案したピンによる補強を行うと、帯鉄筋の定着に施工の容易な重ね継手および直角フックを用いても、帯鉄筋が内部コンクリートに拘束され、ピンなしでは不十分であった帯鉄筋の定着が良好になり、示方書に準じた鋭角フックを用いた場合と同等以上の最大耐荷力ならびに靱性が得られることが確かめられた。

5. 本実験の概要

本実験では、施工性を考慮し、ピン自身の弾性を利用した差込方式を採用した。実験は、帯鉄筋継手部にピンを差し込むことによって、帯鉄筋自身の引張耐荷力を伝達できるかどうかおよび継手部での破壊性状を調べるモデル供試体を用いた実験Ⅰ、ピンによる補強方法を帯鉄筋柱供試体に適用し、帯鉄筋端部を直角フックあるいは重ね継手とした帯鉄筋柱供試体に二軸曲げ正負交番荷重を与えて、ピンを差し込むことによる帯鉄筋のせん断補強効果について、鋭角フックの場合と比較検討を行った実験Ⅱより成っている。

表-3 コンクリートの配合(本実験)

W/C (%)	s/a (%)	単体量(kg/m ³)				Ad (C×%)
		W	C	S	G	
50	42	195	390	777	909	0.01

表-4 鉄筋の物理的性質および用途(本実験)

鉄筋	降伏点強さ (N/mm ²)	用途	
		実験Ⅰ	実験Ⅱ
φ4	334	組み立て筋	ピン
D6	356	ピン	帯鉄筋
D13	364	重ね継手	軸方向鉄筋

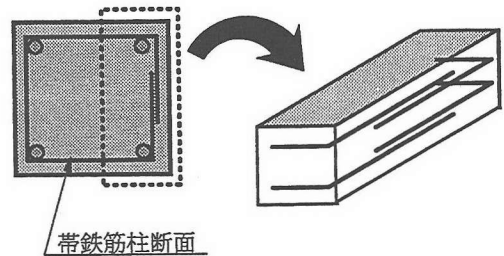


図-11 実験Ⅰに用いた供試体のイメージ

(1) 使用材料およびコンクリートの配合

コンクリートに使用した材料は、高性能AE減水剤の代わりにY社製のAE剤を用いた他は、予備実験で用いたものと同様である。なお、AE剤としたのは、ピンの足の長さの違いによって、コンクリートの行き渡り性状が変化することの影響を確認するべく、予備実験の時よりもコンクリートの粘性を小さくし、材料分離抵抗性を若干小さくするためである。また、載荷材齢におけるコンクリートの圧縮強度は23N/mm²程度とした。コンクリートの配合は、表-3に示すとおりである。また、供試体およびピンの作製に使用した鉄筋は、φ4、D6およびD13であり、その物理的性質は、表-4に示すとおりである。

(2) 供試体

実験Ⅰは、帯鉄筋自身の引張耐荷力を継手部が伝達できるかどうかおよびその破壊性状を調べる目的としたため、図-11に示すように帯鉄筋柱から継手部を取り出したような形状の供試体を用いた。供試体の形状および寸法は、図-12に示すとおりであり、15×15×53cmの角柱供試体を用いた。スターラップは、

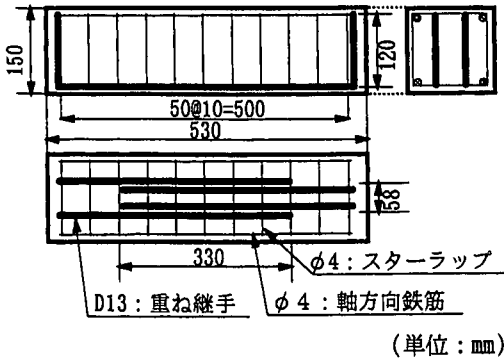
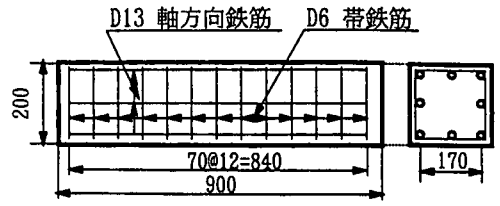


図-12 供試体の形状および寸法(実験 I)



(a) 帯鉄筋ピッチ7cm



(b) 帯鉄筋ピッチ14cm

図-15 供試体の形状および寸法(実験 II)

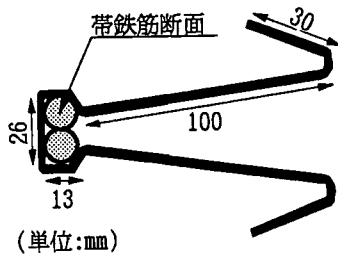
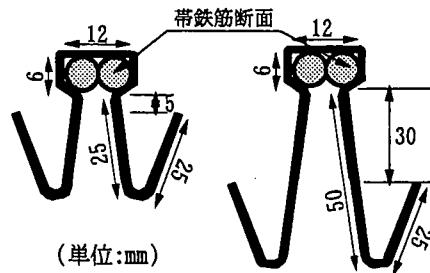


図-13 ピンの形状および寸法(実験 I)



(a) ピンの定着長2.5cm (b) ピンの定着長5.0cm

図-16 ピンの形状および寸法(実験 II)

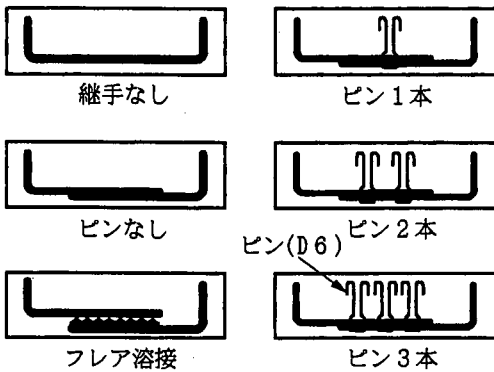


図-14 供試体概要(実験 I)

5cmピッチで配筋した。なお、スターラップを配筋したのは、継手部の耐荷力の確認および最大耐荷力後の変形性状を確認するために、帯鉄筋を想定した主筋の継手部が破壊する以前に、斜め引張せん断破壊が生じるのを防止することにある。また、継手部は中央に45mm間隔で対称に2カ所設け、重ね継手部の長さは330mmとした。

ピンの形状および寸法は、図-13に示すとおりである。供試体は図-14に示すように、ピンの本数を1本、2本および3本と変化させたもの、および比較用として無補強のもの、継手のないもの、フレア溶接を行ったものの合計6体について実験を行った。

帯鉄筋のせん断補強効果を調べる実験 II で用いた供試体の形状および寸法は、図-15に示すとおりのものであり、帯鉄筋のピッチは7cmおよび14cmとした。ピンの形状および寸法は図-16に示すとおりであり、ピンの定着長は5.0cmおよび2.5cmとした。これは、折り返したフック端部から帯鉄筋の端までの純間隔が、土木学会コンクリート標準示方書に規定されている鉄筋あきの最小値(粗骨材の最大寸法20mmから逆算した値である20×4/3mm)を若干超える30mmおよびそれ以下の5mmの2段階に変化させることを目的としたことによる。帯鉄筋定着部の形状、ピンの本数および配置位置の組み合わせは予備実験の場合と同じである。

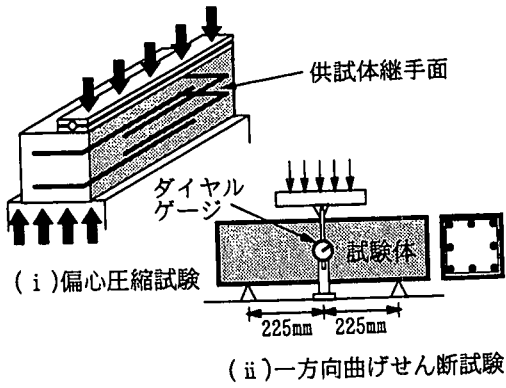


図-17 載加試験方法(実験II)

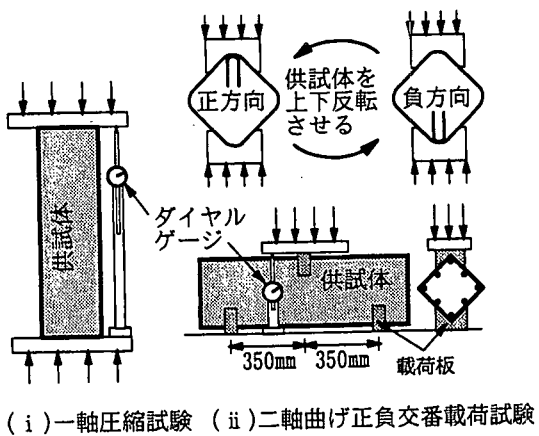


図-18 載加試験方法(実験II)

(3) 載荷試験方法

実験 I では、図-17に示すように、継手部に偏心圧縮を加えて継手部のかぶりコンクリートを剥落させた後、継手部を底面とし、スパンを45cmとした一方向曲げせん断試験を行い、荷重と中央変位の関係を測定した。

実験 II では、図-18に示すように、長軸方向に一軸圧縮試験を行い、供試体側面のかぶりコンクリートを剥落させた後、二軸曲げ正負交番荷重による曲げせん断試験を行った。測定項目は、荷重と中央変位の関係である。一軸圧縮試験では、予備実験と同様に、軸方向ひずみがかぶりコンクリートがほぼ剥

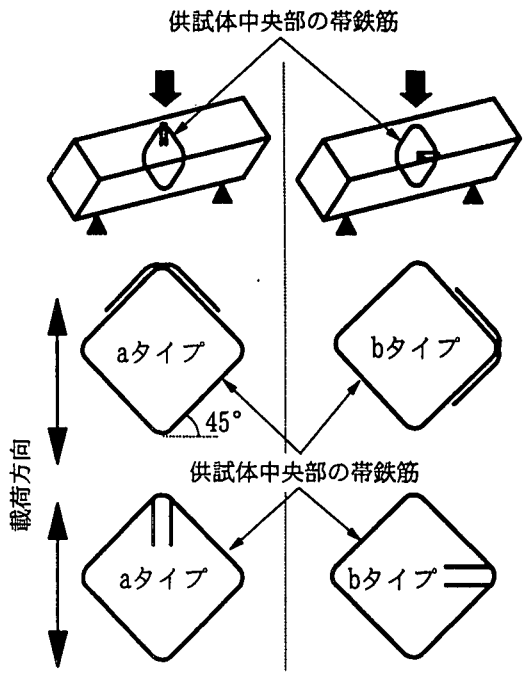


図-19 載加位置とフックの位置の組合わせ(実験II)

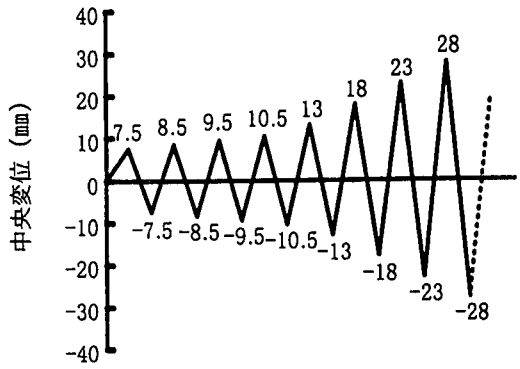


図-20 加力方法(実験II)

落する約5500 μ となるまで加力を行った。二軸曲げ正負交番載荷試験では、供試体をせん断力の方向が断面の対角線上、すなわち断面の主軸と載荷方向のなす角度が45°となるように設置し、スパンを70cmとした二等分点載荷を行った。これは、二軸曲げ時にねじれが生じないように配慮したことによる。正負交番載荷は、荷重を除荷した後に供試体上下を入れ替え同様に載荷する方法とした。なお、直角フックおよび鋭角フックの場合については、図-19に示すように、載荷方向とフックの位置の組み合わせが2種類考えられるため、それぞれaタイプ、bタイプ

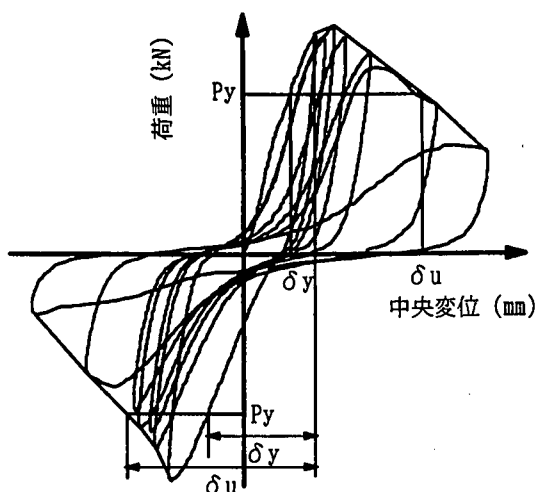


図-21 靱性率の定義(実験II)

とし実験を行った。加力方法は、図-20に示すように、変位制御で行い、スパン中央部のたわみが軸方向鉄筋の降伏荷重に相当する7.5mmとなるまで載荷した後、たわみが10.5mmとなるまでは1.0mm単位で漸増正負繰り返し交番載荷を行い、その後は、供試体の耐力が最大耐力力の1/3となるまで、たわみを2.5mm単位で増加させた。

6. 本実験結果および考察

実験結果の評価には、実験Iの場合、供試体の最大耐力力および最大耐力後の変形性能についての比較を行うため、荷重と中央変位関係の包絡線を用い、実験IIの場合、荷重と中央変位関係の包絡線に加えて、包絡線から求めた靱性率を用いた。

靱性率 μ は、式(1)のように定義した⁴⁾。

$$\text{部材靱性率} : \mu = \delta u / \delta y \quad (1)$$

δy : 降伏点変位

δu : 終局変位

ここで、負方向の降伏点変位および終局変位については、降伏点変位がY軸をまたいでしまう場合があるため、図-21に示すように、正方向1サイクル目の折り返し点からの変位を用いた。なお、ピンによる補強を行った供試体の中で、最大耐力力が以下に示す降伏点荷重 P_y を下回ったものについては、靱性率を示していない。

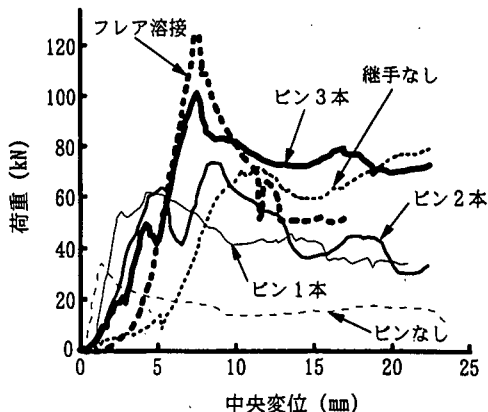


図-22 荷重と中央変位の関係(実験I)

$P_y=137\text{kN}$ (ピッチ7cmの場合)

$P_y=99\text{kN}$ (ピッチ14cmの場合)

(1) 実験Iの結果および考察

図-22は、各供試体における中央変位と荷重の関係について示したものである。ピンによる補強を行っていない供試体では、鉄筋が降伏する以前にひび割れの発生と同時に脆性的な破壊をしたが、ピンによる補強を行った供試体では、ピンの本数を増やすに従い最大耐力力も増加し、ピンを3本入れた場合には、継手のない供試体と同等の値を示した。なお、ピンによる補強を行った供試体の中に、継手のない供試体の最大耐力力を大きく上回ったものがあるのは、スパン中央付近の軸方向鉄筋量が大きくなっているためと考えている。

フレア溶接を行った供試体については、最大耐力力は最も大きな値を示したが、最大耐力後に溶接部の鉄筋が破断し、急激な耐力低下を示した。これには、鉄筋自体の溶接性が劣っていることに加えて、両側の鉄筋の中心軸がずれているため、継手部に偏心荷重が作用し、かぶり剥落後、鉄筋軸と直角方向にフレア溶接部端部を引き裂くような力が作用し、脆性破壊したことが考えられる。なお、今回行ったフレア溶接は、実験室内での下向き溶接であり、実施工において考えられる足場上での横向き溶接に比べ、信頼性において劣ることはないと考えている。

(2) 実験IIの結果および考察

a) 重ね継手に対するピンの補強効果

図-23および図-24は、帯鉄筋のピッチが7cmおよび14cmの場合における、ピンの本数および定着長の違いが部材の最大耐力力および靱性率に与える影響について示したものである。また、図-25は、実験

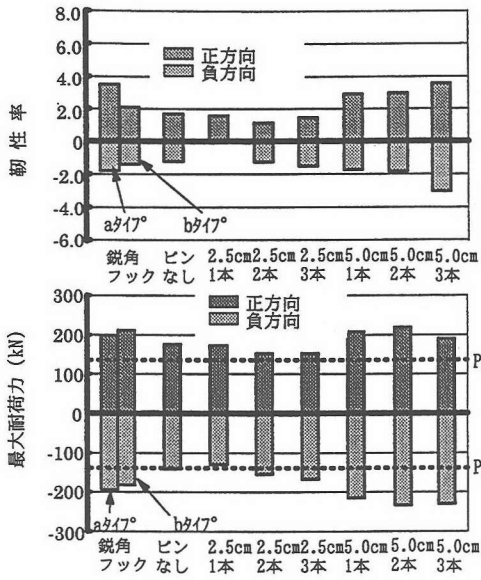


図-23 ピンの本数、定着長と韌性率、最大耐荷力の関係(重ね継手、帯鉄筋のピッチ7cm)

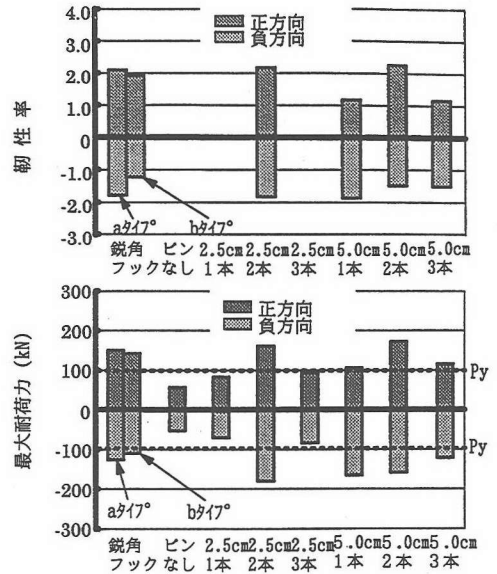


図-24 ピンの本数、定着長と韌性率、最大耐荷力の関係(重ね継手、帯鉄筋のピッチ14cm)

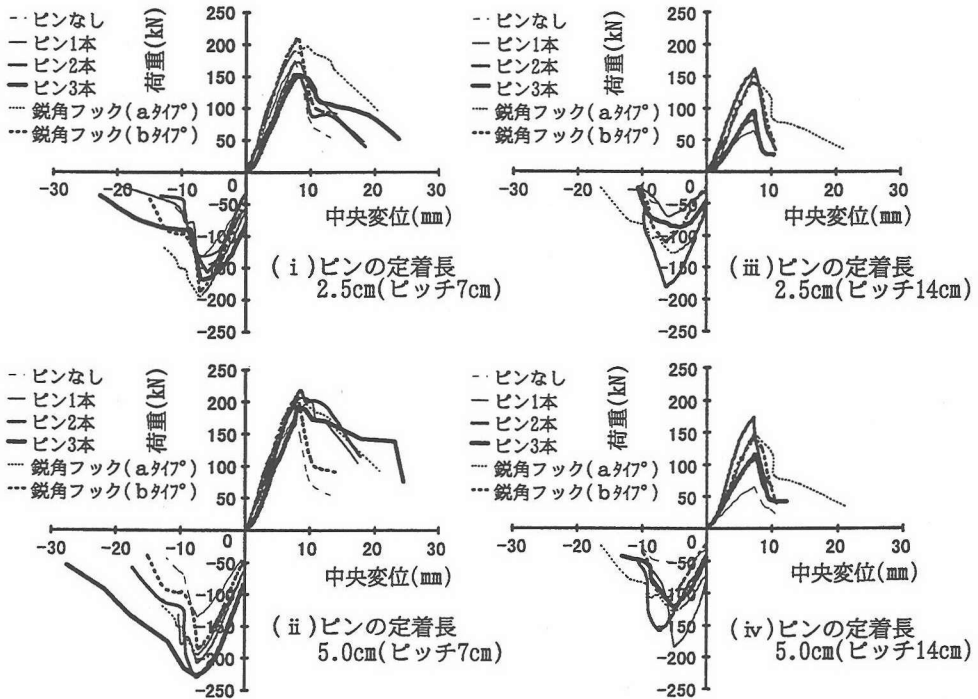


図-25 荷重と中央変位の関係(重ね継手)

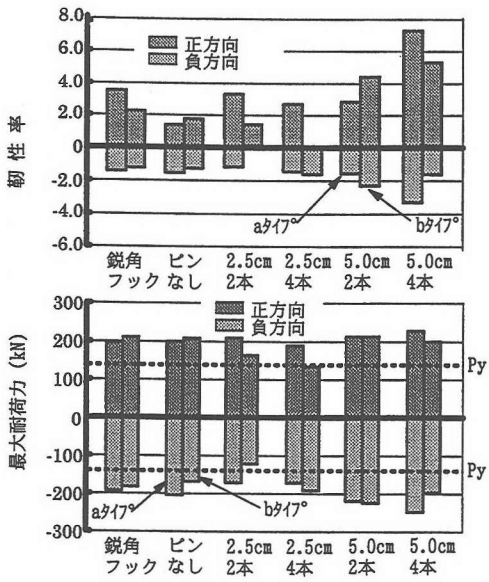


図-26 ピンの本数、定着長と韌性率、最大耐荷力の関係(直角フック、帯鉄筋のピッチ7cm)

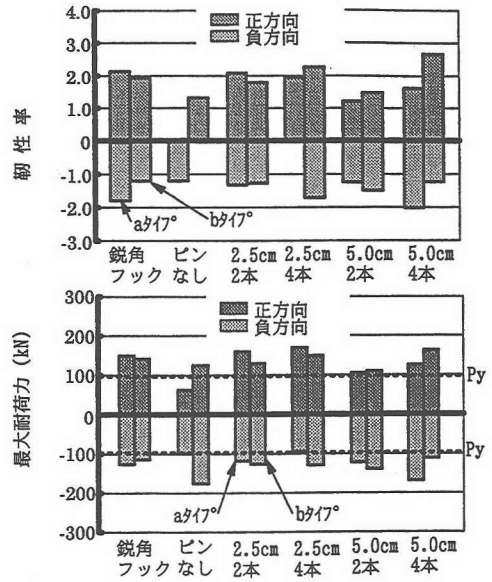


図-27 ピンの本数、定着長と韌性率、最大耐荷力の関係(直角フック、帯鉄筋のピッチ14cm)

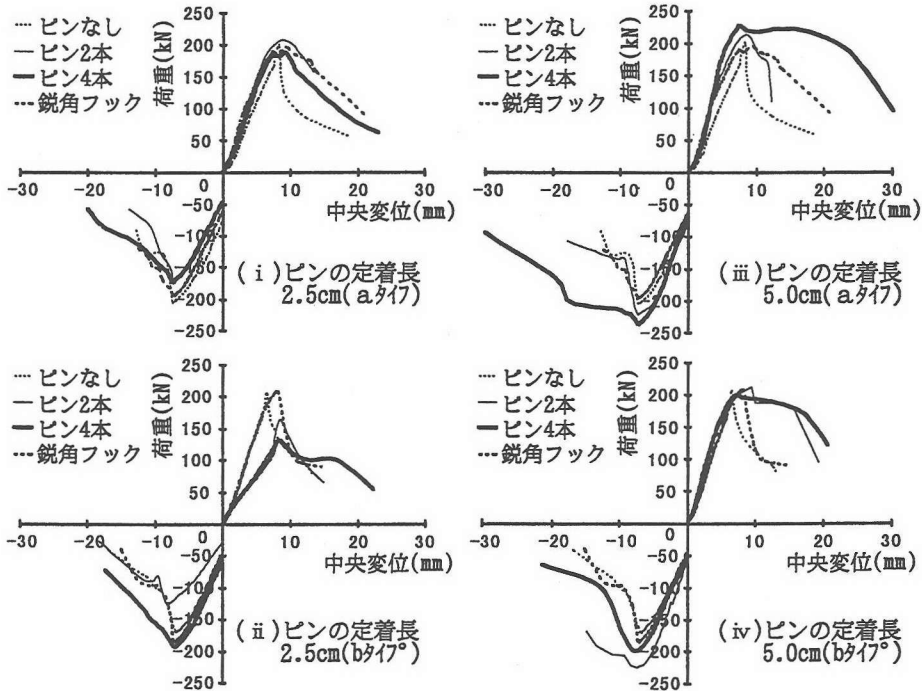


図-28 荷重と中央変位の関係(直角フック、帯鉄筋のピッチ7cm)

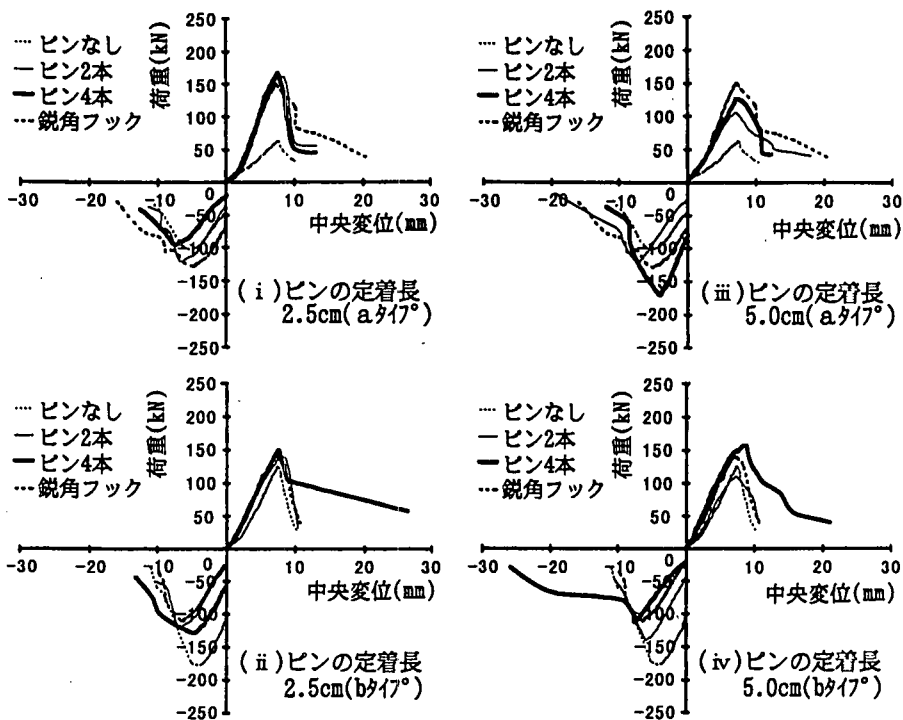


図-29 荷重と中央変位の関係(直角フック, 帯鉄筋のピッチ14cm)

によって得られた荷重と中央変位の関係の包絡線を帯鉄筋のピッチ別に示したものである。

帯鉄筋のピッチが7cmの場合については、ピンの定着長が2.5cmでは、最大耐荷力、靱性ともに、ピンの有無および本数の違いによる顕著な差は見られず、鋭角フックaタイプの値より、最大耐荷力で20%程度、靱性率で50%程度下回った。しかし、ピンの定着長が5.0cmでは、ピンを差し込むことにより最大耐荷力は大幅に増加し、鋭角フックと同等の値を示した。靱性についても、ピンを差し込むことにより大幅に改善され、ピンを3本用いた場合には鋭角フックの値を上回った。

一方、帯鉄筋のピッチが14cmの場合については、ピンの定着長が2.5cmおよび5.0cmのいずれにおいても、ピンを差し込むことにより最大耐荷力および靱性率は増加し、ピンを2本入れた場合において鋭角フックbタイプの値を上回った。しかし、定着長を2.5cmとしピンを3本とした場合に、最大耐荷力および靱性率は極端に低下し、供試体によるバラツキが大きくなる傾向が見られた。これは、ピンのフック部が帯鉄筋と接近しているため、コンクリートの行き渡りに大きなバラツキを生じたためと思われる。

b) 直角フックに対するピンの補強効果

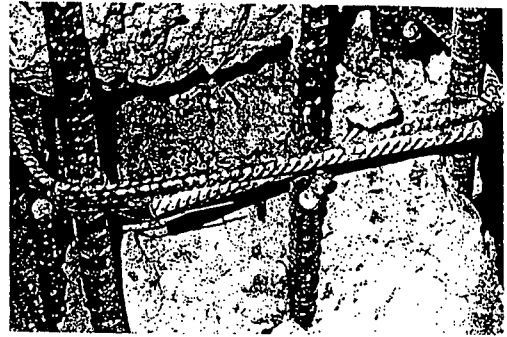
図-26および図-27は、帯鉄筋のピッチが7cmおよび14cmの場合における、ピンの本数および定着長の違いが部材の最大耐荷力および靱性率に与える影響について示したものである。また、図-28および図-29は、実験によって得られた荷重と中央変位関係の包絡線を帯鉄筋のピッチ別に示したものである。

帯鉄筋のピッチが7cmの場合、ピンの定着長が5.0cmでは、aタイプ、bタイプともに、ピンの本数が増加するに従い靱性は大幅に改善され、示方書に準じた鋭角フックの値を大幅に上回る結果が得られた。しかし、定着長が2.5cmのピンでは、最大耐荷力には顕著な差は見られないものの、aタイプでは、ピンを入れることにより靱性は向上し、鋭角フックと同等の値を示したが、bタイプでは、ピンの本数が増加しても、靱性率に変化はないか、もしくは減少する傾向を示した。

帯鉄筋のピッチが14cmの場合については、定着長2.5cmのピンを用いると、ピンを入れることにより最大耐荷力および靱性は改善され、鋭角フックと同等の値を示した。また、ピンの定着長を5.0cmと長くしても、最大耐荷力の向上はほとんど見られないが、ピンの本数が増加するに伴い靱性率は増加し、

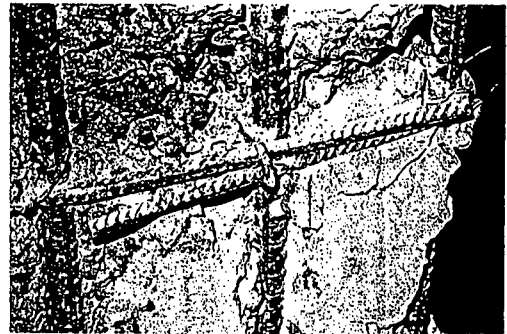


写真-2 帯鉄筋定着部の破壊状況(鋭角フック)



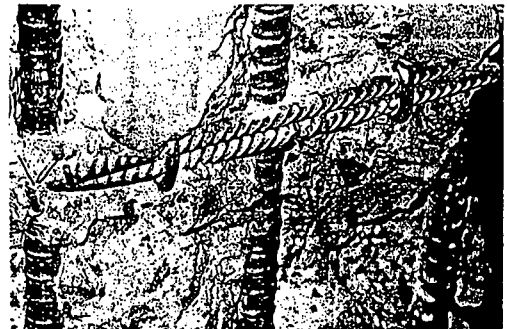
(I) ピンなし

ピンを4本入れたもので鋭角フックと同等の値を示した。また、直角フックを用いた場合、重ね継手に比べピンの本数の増加に伴う変形性能の向上が顕著となる傾向が見られた。しかし、定着長2.5cmのピンの本数が増加すると、重ね継手の場合に比べて、隅角部でコンクリートの行き渡りが阻害されやすくなるためか、最大耐荷力および靱性率のバラツキが大きくなる可能性が大きいことも認められた。



(II) ピンの本数1本

以上より、重ね継手、直角フックともに、ピンによる補強効果は、ピンの定着長さすなわちピンの折り返したフックの端部から帯鉄筋の端までの純間隔に大きく影響され、その値は粗骨材の最大寸法の4/3倍程度は必要であると思われる。この値が極端に小さい場合、コンクリートの行き渡りが阻害されるばかりでなく、ピン自身の定着が不十分になり、帯鉄筋の定着不良となる場合が生じると思われる。



(III) ピンの本数2本

一方、鋭角フック、直角フックともに、帯鉄筋のピッチに関わらず、bタイプはaタイプに比べ、脆性的となる傾向が見られた。これは、bタイプの場合、せん断スパン内で最もせん断力を受け持たなければならない帯鉄筋のフック部が、供試体の圧縮縁または引張縁となり、隅角部のコンクリートが破壊されフックが抜け出したためと考えている。また鋭角フックであってもせん断耐荷力の大きい帯鉄筋のピッチが7cmの場合には、bタイプのような荷重を受けると、隅角部のコンクリートの破碎で直角フックと同等の靱性率しか得られないことがある。

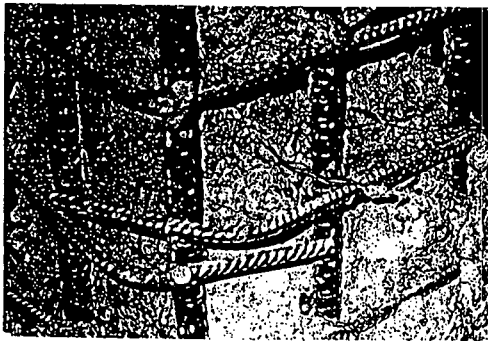


(IV) ピンの本数3本

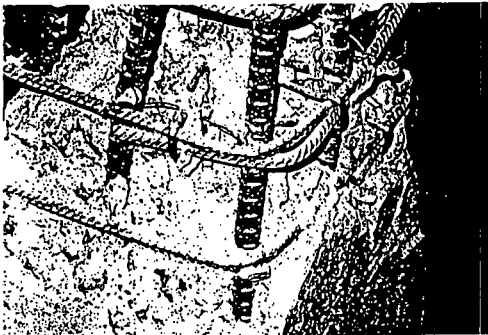
c) 供試体の破壊状況

写真-2、写真-3(I)~(IV)および写真-4(I)~(III)は、帯鉄筋継手部に鋭角フック、重ね継手および直角フックを用いた供試体の載荷試験後の破壊状況を示したものである。鋭角フックを用いた場合においても、フック部は内部コンクリートに定着されず定着部がむき出しとなっているのに比べ、ピンによる補強を行うと、帯鉄筋がピンを介して内部コン

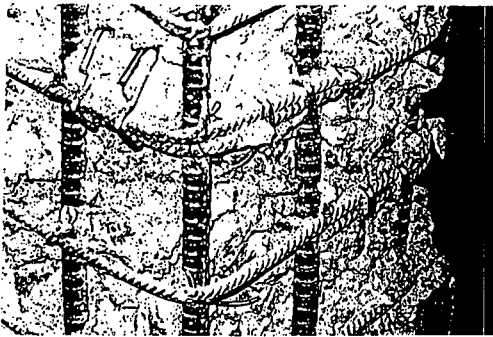
写真-3 帯鉄筋定着部の破壊状況(重ね継手)



(I) ピンなし



(II) ピンの本数2本



(III) ピンの本数4本

写真-4 帯鉄筋定着部の破壊状況(直角フック)

クリートに定着されているように観察された。また、ピンの本数が増加するに従い、より補強効果が高くなっていったようである。

一方、帯鉄筋の継手または定着部は、示方書によると部材軸方向に相互にずらして設けることを原則としている。そのため、今回対象としているような地組みのできない大断面の場合では、部材の同一辺上におけるピン相互の部材軸方向のあきが限界となり、コンクリートの行き渡りが阻害されることはほとんどないと考えている。そのため、ピンの定着長は、帯鉄筋で拘束されている内部コンクリート中にピン自身を十分に定着させるのに必要な長さとし、ピ

ンの足の端部と帯鉄筋間の距離を粗骨材の最大寸法の $4/3$ 倍とするのに必要な長さとして、いずれかの長い方を採用するのが良いと思われる⁵⁾。

7. まとめ

- (1) 今回開発したピンを用いた簡易な帯鉄筋の定着方法により、示方書に準じた鋭角フックの場合と比較しても、同等以上の耐荷力および変形性能が得られる。
- (2) ピンの定着長は、ピン自身を帯鉄筋端部に充分定着するのに必要な長さで、かつピンの足の端部と帯鉄筋継手部までのあきが、示方書の規定から逆算した、粗骨材最大寸法の $4/3$ 倍以上とする必要がある。
- (3) 部材の耐荷力の算定にあたっては、危険側となる一軸曲げ荷重を想定するのが妥当であろうが、帯鉄筋の定着といった構造細目においては、二軸曲げ荷重も考慮に入れる必要がある。これは、地震荷重等により、一般に二軸曲げ正負繰り返し荷重を受けると、隅角部が最も大きい圧縮引張繰り返し応力を受けて破砕し、鋭角フックであっても直角フックと同様に抜け出す可能性があることによる。

本実験はモデル供試体を用いて行った実験結果に基づいており、今後実際の構造物における効果や施工性、またピンの材質等についてさらに検討することが望まれる。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、当時東京理科大学理工学部土木工学科の学生であった西川泰之君、都築洋平君、加賀谷収君、福井孝育君には多大なる御協力を頂いた。ここに感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 岡村甫, 長滝重義, 堀井秀之, 久田真: コンクリート構造物被害・土木学会阪神大震災震災調査—第二時報告会資料—, pp.3-18, 1995.
- 2) 土木学会コンクリート委員会: 平成8年制定コンクリート標準示方書(耐震設計編), 1996.
- 3) 辻正哲, 山門隆雄, 都築洋平: 帯鉄筋の定着補強に関する実験的研究, セメント・コンクリート論文集, No.50, pp.558-563, 1996.
- 4) 土木学会: 阪神淡路大震災被害分析とじん性率評価式[阪神大震災評価研究特別委員会WG報告], コンクリート技術シリーズ, No.12, 1996.

- 5) 辻正哲, 北島陽一, 辻幸和, P.F.C.Comba : 重ね継手の補強方法とコンクリートの行き渡りについて, セメント技術年報, 第35巻, pp.455-458, 1981.

(1998. 7. 10 受付)

NEW REINFORCING METHOD FOR ANCHORAGE OF HOOPS UNDER LOAD REVERSAL AND BI-AXIAL BENDING

Koichiro SHITAMA and Masanori TSUJI

Many RC structures were damaged in the event of Hyogo-Nanbu Earthquake due to the malfunction of anchorage for the hoop reinforcement. It would be rather difficult to construct anchorage along with the design and construction specification of JSCE. Thus, lap joints and right-angle hooks have been found in many cases. As to the hooks, structural stability can not be clarified after peeling off of cover concrete. On the other side, RC columns tend to be influenced of bi-axial bending in the event of earthquake. When square sections have load reversal and bi-axial bending, concrete in their corners is collapsed and there is possibility of decreasing strength as hoop even through sharp-angle hook is employed. This study describes new type of anchorage by use of pins for conventional lap joints and right-angle hooks. According to the test results, it is clarified that even if the lap joints or right-angle hooks are applied to the anchorage of hoop, the concrete columns behavior is more ductile with this new reinforcing method.