

論文 高強度鉄筋 SD490の重ね継手のフック効果に関する実験研究

西浦範昭^{*1}・三浦誠司^{*2}・高 洪^{*3}・田中礼治^{*4}

要旨:近年, 鉄筋コンクリート構造の高層化並びに大型化などに伴い使用する鉄筋も高強度化する傾向にある。高強度鉄筋を使用する場合, 鉄筋継手が必要である。本研究は鉄筋継手として重ね継手を取り上げ検討している。高強度鉄筋の重ね継手長さを短くする方法の一つに, フックを利用する方法がある。高強度鉄筋の重ね継手に関する既往の研究¹⁾が少ないと同時にフック効果についても不明な点が多く十分に解明されていないのが現状である。そこで本報では高強度鉄筋SD490の重ね継手の強度および靱性などに及ぼすフック効果について実験的に究明することを目的としている。

キーワード:高強度鉄筋, SD490, 重ね継手, フック効果

1. 目的

近年, 鉄筋コンクリート構造(以下, RC構造)による建築物は, 高層化, 大型化する傾向が見られる。それに伴ない使用鉄筋もより降伏点の高いものが用いられるようになってきている。その主な理由は, 高強度鉄筋を用いることにより部材の高密度配筋を防止することなどが可能となるからである。高強度鉄筋SD490は現在JIS規格化されているが, 日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」²⁾(以下, RC規準)では規定外となっている。高強度鉄筋SD490を実用化する場合, 鉄筋継手が必要となる。鉄筋の継手方法には種々あるが本研究では重ね継手を取り上げ検討している。高強度鉄筋SD490に重ね継手を利用しようとするれば, 他の条件が同一であれば重ね継手長さは普通強度鉄筋のそれより当然のこととして長くなる。そこで, 高強度鉄筋SD490を用いた重ね継手長さを短くする方法の一つとして鉄筋末端にフックを設けることが考えられる。高強度鉄筋を用いた重ね継手のフック効果に関する力学的性状は, 不明な点が多く十分に解明されているとは言えない。

そこで本報では, 高強度鉄筋SD490の重ね継手の強度および靱性などに及ぼすフック効果について実験的に究明することを目的としている。

2. 試験体概要

2.1 試験体種別

試験体種別を表-1に示した。試験体は全部で13体である。変動因子はフック形状と重ね継手長さの2種である。試験体は重ね継手の末端のフックの有無および形状によって, フックなしシリーズ(4体), 180°フックシリーズ(4体), 90°フックシリーズ(4体)と3シリーズに大別されている。各シリーズの変動因子は全シリーズとも重ね継手長さ(10d, 20d, 30d, 40d)のみである。また, 比較用として重ね継手のない試験体(1体)についても実験を行った。

2.2 試験体の形状, 寸法, および配筋

試験体の形状, 寸法, および配筋の一例を図-1に示した。形状, 寸法は全試験体とも同一で, はりせいD=18cm, はり幅B=15cm, 純曲げ区間(試験体区間)l=60cmである。重ね継手は全試

*1 西松建設(株)技術研究所研究部原子力課 工修(正会員)

*2 東北工業大学大学院 工学部建築学科

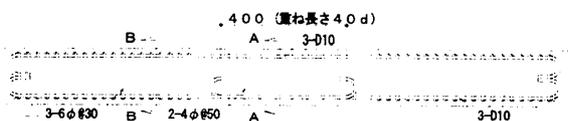
*3 (株)構造ソフト 工修

*4 東北工業大学教授 工学部建築学科 工博(正会員)

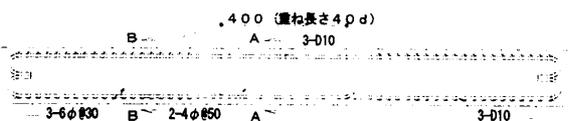
表-1 試験体種別

シリーズ	No.	試験体名	フック種別	重ね継手長さ	共通事項
フックなしシリーズ	1	LPS-10-NF	なし	※10d	B×D=15×18cm d ₀ =15.5cm 主筋:3-D10
	2	LPS-20-NF		20d	
	3	LPS-30-NF		30d	
	4	LPS-40-NF		40d	
180°フックシリーズ	5	LPS-10-F180	180°	10d	せん断補強筋 試験体区間(60cm) 2-4φ50 (P _w =0.33%)
	6	LPS-20-F180		20d	
	7	LPS-30-F180		30d	
	8	LPS-40-F180		40d	
90°フックシリーズ	9	LPS-10-F90	90°	10d	コンクリート強度 σ _B =22.8N/mm ² 主筋強度 σ _S =527.6N/mm ²
	10	LPS-20-F90		20d	
	11	LPS-30-F90		30d	
	12	LPS-40-F90		40d	
継手なし	13	LPS-N	-	-	

※d=1.0cmとして計算した。



180°フックの一例 (LPS-40-F180)



90°フックの一例 (LPS-40-F90)

図-1 試験体の形状, 寸法, および配筋の一例

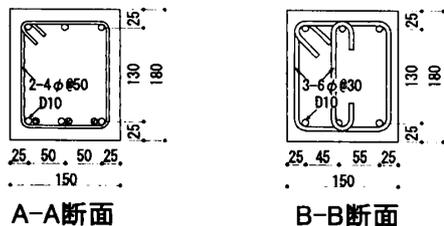


図-2 断面配筋の詳細

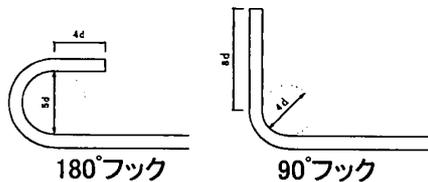


図-3 フック形状の詳細

験体とも下端筋のみとし純曲げ区間に設置されている。断面配筋の詳細を図-2に示した。主筋は3-D10, あばら筋は純曲げ区間では2-4φ@50, それ以外の区間では3-6φ@30とし, 全試験体とも共通である。フック形状の詳細を図-3に示した。フックの折り曲げ内法直径並びに余長は

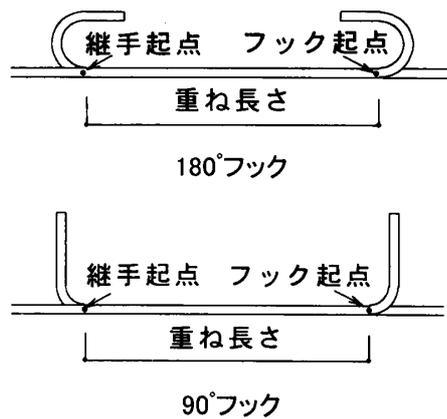


図-4 重ね継手長さの定義

R C 規準の「付19.配筋標準」の規定に従い 180°フック, 90°フックでそれぞれ折り曲げ内法直径は5d, 4dとし, 余長は4d, 8dとした。また, 重ね継手長さの定義を図-4に示した。定義はR C 規準と同様なものとし, 重ね継手起点からフック起点間での長さとした。

2.3 使用材料

使用コンクリートは普通コンクリートを用いた。全試験体とも同一バッチのレディミクストコンクリートを用い重ね継手が下端筋となるように縦打ちで打設した。実験時のコンクリート強度はσ_B=22.8N/mm²であり, ヤング係数はE_c=2.29×10⁴N/mm²であった。使用鉄筋は全試験体とも共通で主筋はSD490のD10を用いた。主筋の応力度-ひずみ度曲線(以下, σ-ε曲線)を図-5に示した。主筋は明確な降伏点を有するものであり降伏点はσ_S=527.6N/mm²であった。ヤング係数はE_s=1.92×10⁵N/mm²であった。あばら筋はSR235の4φ, 6φを用いた。

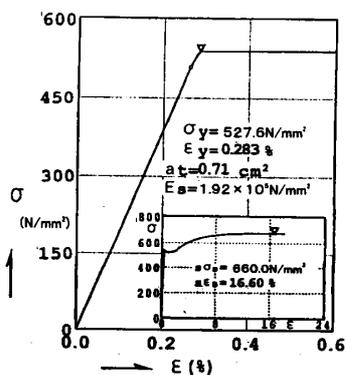


図-5 主筋の応力度-ひずみ度曲線

2.4 加力および変位測定方法

加力装置を図-6に示した。加力は2点集中の単純ばり形式である。部材中央部のたわみ量の変形制御により一方向繰り返し载荷を行った。変位測定方法を図-7に示した。変位は中央たわみ、純曲げ区間の相対たわみ、および重ね継手区間の相対たわみを変位計で測定した。鉄筋のひずみはワイヤーストレインゲージ(ゲージ長2mm)で測定した。また、重ね継手を含む純曲げ区間のコンクリートひずみをコンタクトゲージ(測定ピッチ10cm)で測定した。

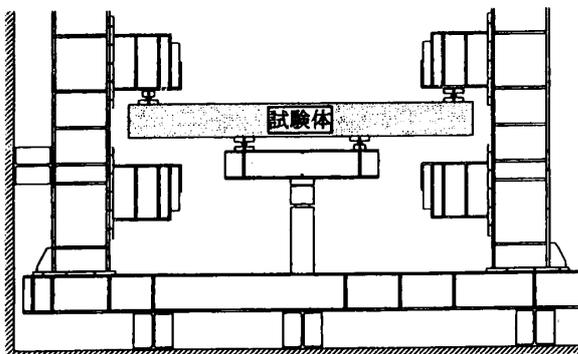


図-6 加力装置

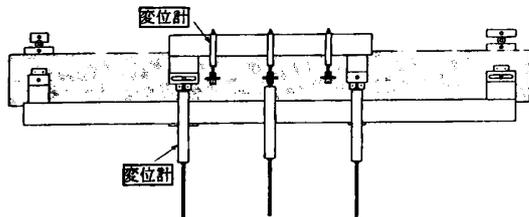


図-7 変位測定方法

3. 実験結果および検討

3.1 最大荷重およびひび割れ状況

各試験体の最大荷重と破壊形式を表-2に示した。最大荷重は各シリーズとも重ね継手長さが大きくなるほど増大する傾向にあった。重ね継手を持つ試験体の破壊形式は、主筋の曲げ降伏以前の継手破壊(L型)、主筋の曲げ降伏後の継手破壊(FL型)、継手破壊せず主筋の曲げ降伏後にコンクリートの圧壊による耐力低下(FC型)の3種が認められた。重ね継手のない比較用のLPS-N試験体は、主筋の曲げ降伏後も荷重の低下は見られなかった(FN型)。破壊形式L型、FL型は重ね継手長さの短い試験体および重ね

表-2 各試験体の最大荷重と破壊形式

シリーズ	No.	試験体名	最大荷重 (kN)	破壊形式
フックなし シリーズ	1	LPS-10-NF	23.5	L
	2	LPS-20-NF	43.2	L
	3	LPS-30-NF	58.9	FL
	4	LPS-40-NF	67.7	FL
180° フック シリーズ	5	LPS-10-F180	48.1	L
	6	LPS-20-F180	62.8	L
	7	LPS-30-F180	70.6	FC
	8	LPS-40-F180	72.6	FC
90° フック シリーズ	9	LPS-10-F90	46.1	L
	10	LPS-20-F90	57.9	L
	11	LPS-30-F90	70.6	FC
	12	LPS-40-F90	70.6	FC
継手なし	13	LPS-N	65.7	FN

L:降伏以前に継手破壊 FL:降伏後に継手破壊
FC:降伏後に曲げ破壊 FN:降伏後も曲げ破壊せず

継手末端にフックのない試験体で多く生じる傾向にあった。破壊形式FC型は重ね継手末端にフックを有し、重ね継手長さの大きい試験体で生じた。主筋の曲げ降伏後も耐力が低下せず靱性に富んだ性状を示した。重ね継手を持つ試験体の最大荷重時のひび割れ状況の一例として重ね継手長さ30dのものをフックの形状別に図-8に示した。各試験体の破壊経過としてフックなし(LPS-30-NF)試験体は、P=56.9kNで重ね継手部分に沿った付着割裂ひび割れが発生し、最大荷重時には継手末端の曲げひび割れが大きく進展し継手部での付着割裂ひび割れが多数発生した。また、主筋の曲げ降伏直後に重ね継手部の破壊が生じ急激な耐力低下を示した。フック

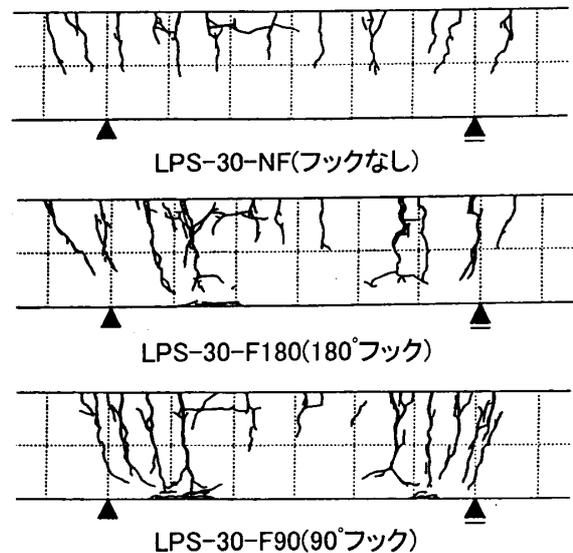


図-8 最大荷重時のひび割れ状況の一例

あり(LPS-30-F180,LPS-30-F90)の両試験体はともに $P=60.8\text{kN}$ で主筋が降伏した。主筋の曲げ降伏以後も耐力の低下は見られず、たわみの増大につれフック部分の曲げひび割れ幅が大きくなり、重ね継手部の主筋に沿った付着割裂ひび割れが進展した。フック側面のかぶりコンクリートに多数ひび割れが発生し、その後耐力が低下した。その他の重ね継手長さの試験体も類似した破壊経過であった。

3.2 荷重-相対たわみ曲線に及ぼすフックの影響

荷重-相対たわみ曲線($P-\delta$ 曲線)に及ぼすフックの影響の一例として重ね継手長さ $30d$ のものを図-9に示した。相対たわみとは図-7に示した純曲げ区間のたわみ量である。図-9から分かるように曲げ降伏以前の $P-\delta$ 曲線は全試験体とも近似しており、曲げ剛性に及ぼすフックの影響は特に見られない。また、曲げ降伏も全試験体ともほぼ同一たわみで生じており、降伏時変形に対してもフックの影響は見られない。フックのない試験体(LPS-30-NF)は降伏直後に耐力が急激に低下したが、フックのある試験体(LPS-30-F180, LPS-30-F90)は降伏後も耐力低下することなく荷重を維持して変形が増大し、曲げ降伏後の曲げ変形能力に対してはフックの影響が大きいことが認められた。フック形状の違いでは 180° フックの方が、 90° フックより大きなたわみ量まで荷重低下が生じなかった。

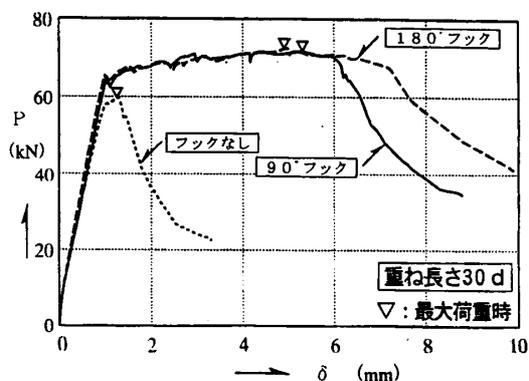


図-9 荷重-相対たわみ曲線($P-\delta$ 曲線)に及ぼすフックの影響

3.3 長期荷重時の最大曲げひび割れ幅に及ぼすフックの影響

図-10は各試験体の長期荷重時の最大曲げひび割れ幅を比較したものである。長期荷重時は、RC規準に従い純曲げ区間の応力が $M=af_j$ ($f_i=215.7\text{N/mm}^2$, $j=7/8d$)に達したときの荷重と定義している。曲げひび割れ幅はコンタクトゲージで測定した各測定区間でのコンクリートひずみを測定区間内で発生したひび割れ本数で除して算出したものである。フックあり試験体では 180° 、 90° フックの場合ともフック位置近傍の曲げひび割れ幅が最大曲げひび割れ幅となった。全試験体とも長期荷重時の最大曲げひび割れ幅は、 0.15mm 以下であった。また、図-10より、長期荷重時の最大曲げひび割れ幅は、フックあり、なしとも近似した値を示しており、フックの効果は顕著には見られなかった。また、 180° 、 90° フックのフック形状の違いに関して特に差は見られなかった。

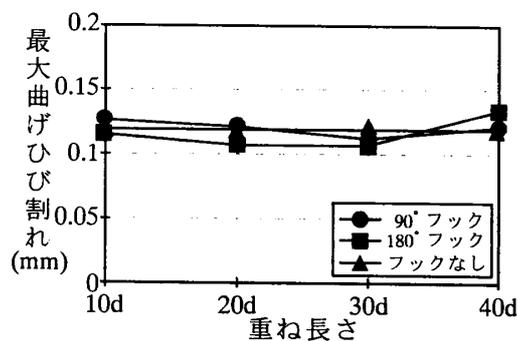


図-10 長期荷重時の最大曲げひび割れ幅に及ぼすフックの影響

3.4 最大荷重に及ぼすフック効果

図-11は最大荷重をフックの有無で比較したものである。フックの有無に関わらず重ね継手長さが大きいほど最大荷重が増大する傾向が認められた。重ね継手長さが同一であれば、最大荷重はフックのある方がフックがないものに比べ大きくなる。フックなしの最大荷重を基準とし 180° フック、 90° フックの最大荷重の比率を示したのが図-12である。重ね継手長さが短いほど最大荷重に及ぼすフック効果が大きいこと

がわかる。例えば、重ね継手長さ10dでは、フックなしに比べ約2倍程度、20dでは約1.4倍程度とフック効果が顕著に認められた。しかし、重ね継手長さが大きくなるほど最大荷重に及ぼすフック効果は減少する。例えば、重ね継手長さ40dではフック効果は非常に小さくなっている。このことは重ね継手長さ40dの場合、フックなし試験体の主筋が降伏しているためと考えられる。現行のRC規準では、フックは重ね長さに関係なく継手起点応力の1/3を負担することが規定されている。しかし、最大荷重に対するフック効果は明らかに重ね継手長さに応じて異なることから、現行RC規準でのフック効果の規定については見直しの必要があるものと考えられる。なお、最大荷重に関しては180°フックと90°フックでは顕著な差は認められなかった。

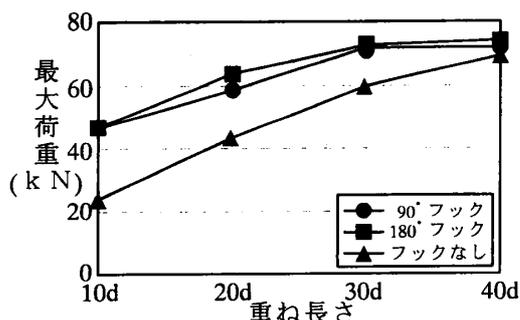


図-11 フックの有無による最大荷重の比較

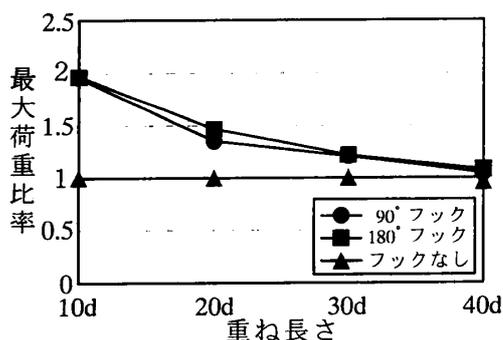


図-12 最大荷重に及ぼすフック効果

3.5 曲げ靱性に及ぼすフック効果

曲げ降伏した試験体について、破壊荷重時の塑性率を図-13に示した。破壊荷重は最大荷重後の耐力が最大荷重の80%まで低下したときの荷重と定義した。なお、破壊荷重時の塑性率 μ

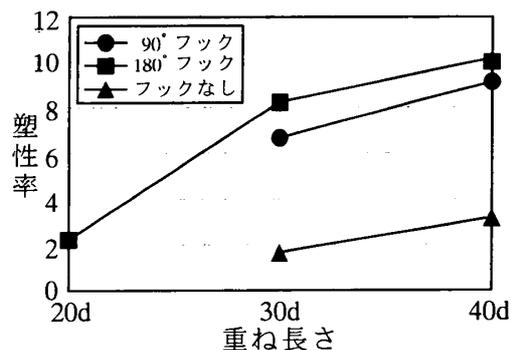


図-13 破壊荷重時の塑性率

は式(1)より求めた。

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad (1)$$

δ_u : 破壊荷重時の相対たわみ

δ_y : 曲げ降伏時相対たわみ

図-13より、重ね継手長さが同一ならフックありの方がフックなしより塑性率が大きく、曲げ靱性に及ぼすフック効果の大きいことが認められた。フックの形状については180°フックの方が90°フックより塑性率が大きいことが認められた。高強度鉄筋SD490の場合、重ね継手末端にフックを設け、重ね継手長さを30d、40d確保すれば靱性に富んだ性状が得られることが分かった。重ね継手長さが同一の場合、フックありの方がフックなしに比べ塑性率が大きくなる理由は、曲げ降伏後の重ね継手強度の保持にフック部分が大きく寄与しているためと考えられる。そこで、フック部分が負担する応力の変化を相対たわみとの関係で示した一例が図-14である。図-14は重ね継手長さ20d、30d、40dで90°フックの例である。図中には実験より求めた重ね継手起点の応力(σ_i)、フック起点の応力(σ_f)、並びに重ね継手直線分の負担応力を($\sigma_f - \sigma_i$)として求めた曲線を示している。重ね継手起点およびフック起点の応力は図-15の各起点に貼付けたワイヤーゲージの値を用いて図-5の $\sigma - \epsilon$ 曲線より求めた。但し、降伏後の $\sigma - \epsilon$ 曲線は処女曲線と初期弾性係数の勾配を持つ直線部分より構成されるものと仮定した。重ね継手部分

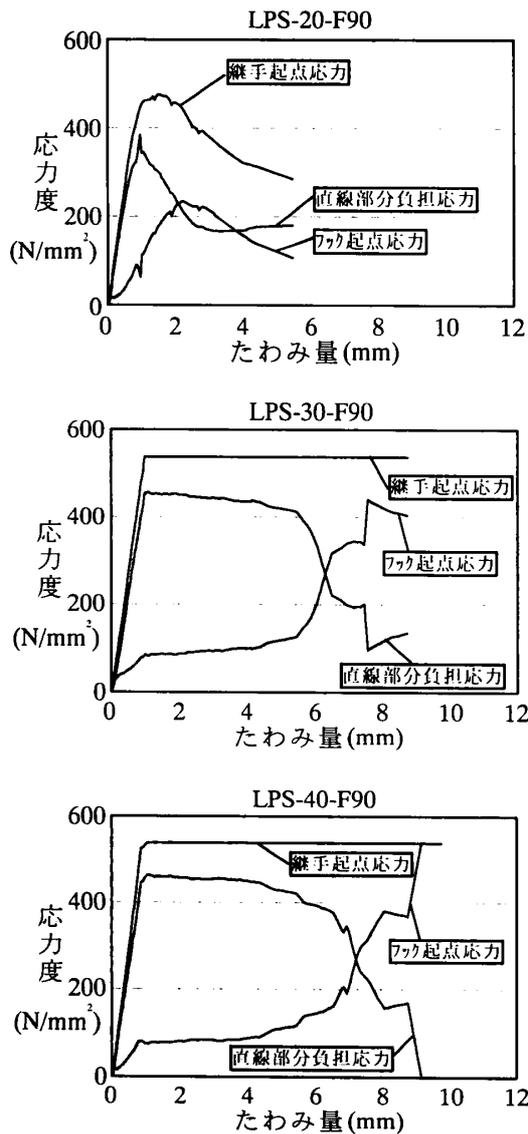


図-14 フックの負担応力と相対たわみの関係

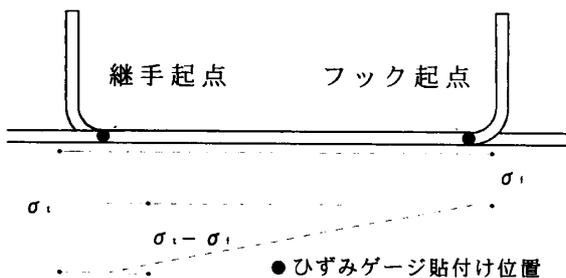


図-15 重ね継手部分の負担応力分布の仮定

の負担応力分布は図-15のように仮定している。図-14より次のことが認められる。曲げ降伏しない試験体(重ね長さ20d)では、フック起点の応力(フックの負担応力) σ_1 は荷重の上昇とともに増加し、最大荷重時に最大値に達する。それに対し、曲げ降伏するもの(重ね長さ30d,

40d)では、降伏後相対たわみが増大してもフックの応力はほぼ一定値を保ち、直線部分の負担応力が低下するにつれフックの負担応力が増加し、重ね継手強度保持に寄与するとともに、塑性率の増大にフックが有効に働いていることが分かる。以上の挙動から次のようなことが考えられる。フックが塑性率の増大に有効に作用するためには、曲げ降伏以前にフックの抵抗能力の大部分を伝いはたすような重ね継手のメカニズムではなく、曲げ降伏後のフックの抵抗能力を発揮できる程度に重ね継手の直線部分の抵抗能力を設計しておく必要がある。即ち、フックを塑性率の増大に有効に利用するための、重ね継手長さの設計が必要であることが分かる。

4. まとめ

高強度鉄筋SD490の重ね継手の強度、剛性、および靱性に及ぼすフック効果に関してはり型部材による一方向繰り返し載荷実験を行った結果、次のことが認められた。

- ①曲げ降伏以前の部材の曲げ剛性、曲げ降伏時変形、および長期荷重時最大ひび割れ幅に関してはフックの有無並びにフック形状(90°および180°フック)による影響は特に認められなかった。
- ②最大荷重に及ぼすフック効果は重ね長さが短いほど大きかった。このことは、重ね長さの大きさによってフック効果に差がでることを示しており、現行RC規準の重ね長さに関わらずフック効果を一律にしている規定について見直しの必要がある。また、最大荷重に関してはフック形状による顕著な違いは見られなかった。
- ③曲げ降伏後の塑性率を増大させるのにフックは有効である。但し、フックを塑性率の増大に寄与させるためには、ある程度の重ね継手長さを確保し、フックの抵抗能力を曲げ降伏後発揮させるような工夫が必要である。

【参考文献】

- 1) 田中礼治, 但木幸男, 大芳賀義喜: 高強度鉄筋SD50の重ね継手に関する実験研究, 日本建築学会構造系論文報告集, pp19-29, 1989
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1991