

# [94] 3本束ね鉄筋の重ね継手長さに関する研究

正会員 矢代 秀雄 (日本大学生産工学部)

正会員 桜田 智之 (日本大学生産工学部)

## 1. まえがき

束ね鉄筋の継手部分は重ね継手が重複して設けられるので、通常の継手にくらべ有効断面周長は減少することになり、より長い重ね継手長さが必要となる。重ね継手長さの算定の基礎となる周長欠損の割合、すなわち有効周長のとり方については、いくつかの考え方がありますが、矢代はコンクリートに接する鉄筋外周とする方法を提案(1970年)してきた。この方法では3本束ね鉄筋の場合、通常の実験結果の少ないこともあり、各規定で差がみられる。たとえばLeonhardtは1.3倍という値を提案<sup>2)</sup>(1977年)し、DIN, 1045にも同様の方法が示されている。

また重ね継手部の付着強度は多くの要因に影響されるため、既往の付着応力状態に関する知見により、束ね鉄筋の場合の重ね継手長さを定量的に求める方法には困難があり、むしろ鉄筋の引張力をコンクリートに伝達するために必要な重ね継手長さの下限値を実験により直接確認し、付着割裂の発生および進展の状況を把握する方法がよいのではないかとと思われる。

本報告は重ね継手部の付着ひび割れが発達した後も、ある程度の部材じん性の維持が可能な重ね継手長さを確認し、併せて、有効周長のとり方について検討したものである。

## 2. 実験の概要

実験は純曲げスパンを有する単純はり形式とし、図1に示す2つのシリーズに分けられる。Iシリーズは15d~35dの継手長さを有する通常の実験体で、鉄筋は水平配置とした。IIシリーズは添え筋を有する3本束ね鉄筋の場合で重ね継手長さは25d~45dの範囲であり、鉄筋は三角形配置とした。

I, IIシリーズ共、重ね継手部には横補強筋を2-D10@10cmで配置した。また、継手破壊に先行して、圧縮鉄筋の座屈による耐力低下が生じないような鉄筋比を考慮し、かつ、純曲げスパン内の圧縮筋を2-D10@10cmで補強した。圧縮筋に対する補強筋(D10)は、はりせいの中央部分でフックを付け定着させた。

図2は3本束ね鉄筋の重ね継手における応力伝達の基本仮定を示したもので、黒丸はその部分で応力を伝達しあう鉄筋を示している。3本束ねでは鉄筋の配置方法により、BおよびBAタイプが考えられる。Bタイプは①~④のどの継手位置でも鉄筋外周に対する周長欠損の割合が、 $\frac{1}{6}$ 欠

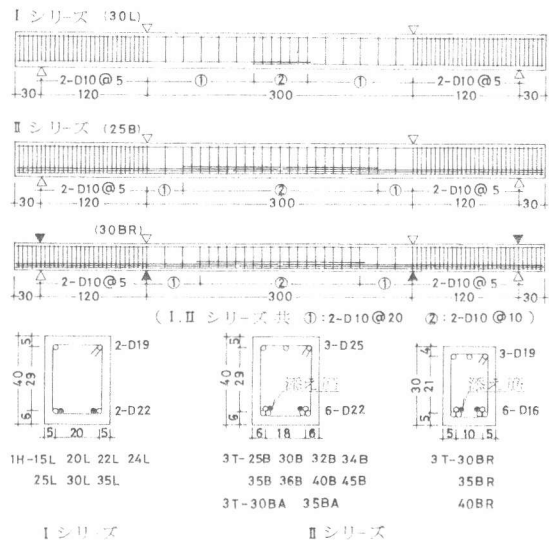


図1 試験体形状および種類 (単位:cm)

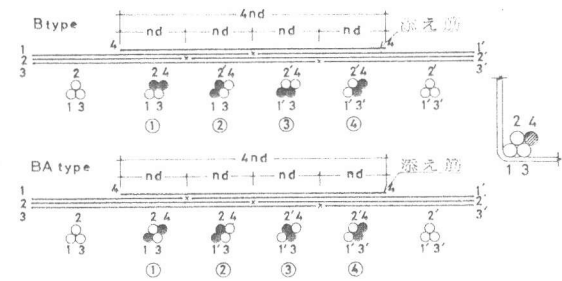


図2 3本束ね鉄筋の応力伝達

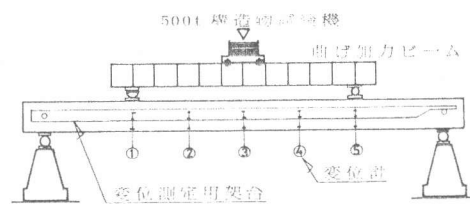


図3 加力および測定装置

損の鉄筋と、 $\frac{1}{3}$ 欠損の鉄筋との組合せで構成されているのに対し、BAタイプの配置では、①部のように $\frac{1}{6}$ 欠損筋間での伝達であるが、見掛け上の位置が隣接しない箇所と、③部のように $\frac{1}{3}$ 欠損筋間での伝達となる部分が生ずる。

なお、IIシリーズのBRタイプは正負繰返し加力による影響を検討したものであり、継手の形式はBタイプである。

加力は2点集中とし、降伏変位の倍数で実験上可能な限り加力した。変位の測定には電気式変位計を使用し、鉄筋のひずみはひずみゲージを鉄筋表面に貼付した。また、ひび割れ幅はマイクロスコープ(最少目盛0.025mm)により引張鉄筋重心位置で測定した。

使用鉄筋の性質は表1に示すとおりであり、各鉄筋共横ふし型である。コンクリートは普通ポルトランドセメントを使用したレディミクストコンクリートで調合は表2に、実験時の強度は表3に示す。

### 3. 実験結果

#### 3.1 ひび割れ性状

表3は各シリーズのなかで代表的なひび割れおよび破壊性状を示した試験体である。長期荷重時における最大ひび割れ幅は通常継手のIシリーズが各試験体共0.25mmであるのに対し、3本束ねとしたIIシリーズではBタイプが0.14mm~0.22mmの範囲で、Iシリーズより小さな値となっており、継手長さによる影響もみられない。またBAタイプもほぼ同様の値となっている。前報の継手のない3本束ね鉄筋の場合、最大ひび割れ幅は0.175mm<sup>3)</sup>、束ねとしない通常配筋の場合が0.15mmであったことと比較しても長期時に関しては束ね鉄筋に継手を設けた場合でも、その差はみられず、概ね使用上の許容限度内に収まっている。なおIIシリーズの長期時における最大残留ひび割れ幅は各試験体共0.05mm、平均残留ひび割れ幅は0.03mm前後であった。IIシリーズのはり降伏時における最大ひび割れ幅は、主筋の突付け部に発生し、平均ひび割れ幅の4倍前後の値を示しており、図4のBタイプ継手ではE<sub>2</sub>点の横ひび割れが、BAタイプではE<sub>1</sub>点の横ひび割れが卓越していることがわかる。

図4は細曲げ区間を20cmピッチに区切り、各ピッチ内に発生したひび割れ幅の合計を、全ひび割れ幅に対する割合で示したものであり、ひび割れ幅の進展の推移を表わしている。Iシリーズの25Lでは、F<sub>2</sub>点に若干大きめのひび割れがみられるが、長期時(W<sub>2</sub>)、降伏時(W<sub>y</sub>)と変形が進行しても、推移の変化はみられず、細曲げスパン全域に平均してひび割れが分散していることを示している。

試験体記号の説明

3T-30BA	① ② ③ ④
① 3T: 3本束ね鉄筋	
1H: 水平重ね継手	
② 継手長さ	30:30d (dは公称径)
③ B: 束ね鉄筋	
L: 重ね継手	
④ A: 束ね形状の相違	
R: 正負繰返し	

表1 使用鉄筋の性質

使用鉄筋	径種	$\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
D10	双らせん	3710	5540
D16	下端筋	3490	5200
D19	上端筋	4130	5990
D22	下端筋	3700	5660
D25	上端筋	3430	5530

表2 使用コンクリートの割合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプ(%)	W/c	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
			水	セメント	砂	粗骨
19.0	18.0	54.5	173	317	815	962

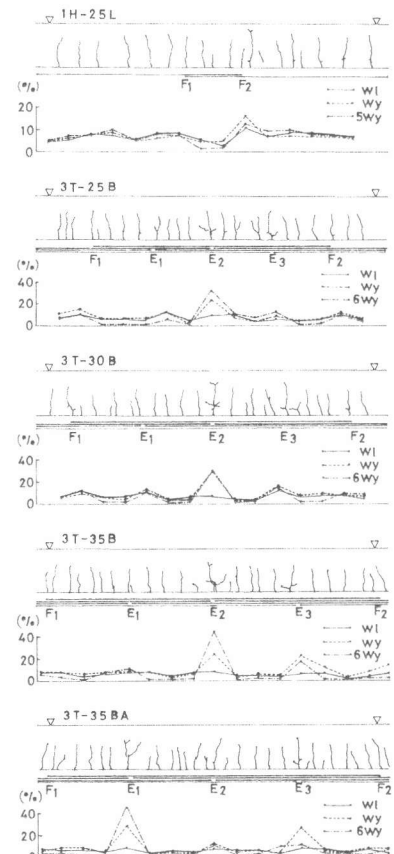


図4 降伏時のひび割れ状態および割れ幅の推移  
W<sub>1</sub>: 長期時ひび割れ幅  
W<sub>y</sub>: はり降伏時ひび割れ幅

表3 実験結果一覧

シリーズ	試験体名	継手長さ l <sub>e</sub> (cm)	コンクリート F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	実験時 P <sub>max</sub> (ton)	長期時のひび割れ			降伏時のひび割れ			$\mu$ 6 $\sigma$ /6 $\sigma_y$	破壊種別
					W <sub>0</sub> (mm)	W <sub>max</sub> (mm)	n (本)	W <sub>0</sub> (mm)	W <sub>max</sub> (mm)	n (本)		
I	1H-15L	33	314	11.7	0.130	0.250	19	0.217	0.300	19	—	S
	1H-20L	44	334	13.4	0.134	0.250	19	0.203	0.500	19	6.4	S
	1H-25L	55	314	13.6	0.152	0.250	16	0.246	0.725	19	10.0	C
	1H-30L	66	316	13.8	0.162	0.250	15	0.285	0.850	18	10.0	C
II	3T-25B	55	365	41.5	0.077	0.150	22	0.165	0.700	23	4.4	S
	3T-30B	66	362	42.7	0.088	0.200	20	0.160	0.950	25	6.7	S
	3T-35B	77	357	43.9	0.073	0.140	22	0.136	0.525	24	10.0	C
	3T-40B	88	345	44.7	0.075	0.220	23	0.165	0.780	27	10.0	C
	3T-30BA	66	292	42.1	0.080	0.200	21	0.179	0.450	24	8.3	S
	3T-35BA	77	357	44.2	0.069	0.175	25	0.166	0.840	28	9.0	S

l<sub>e</sub>: Iシリーズの重ね継手長さ nd W<sub>0</sub>: 平均ひび割れ幅 C: 曲げ圧縮破壊  
l: IIシリーズの重ね継手長さ nd W<sub>max</sub>: 最大ひび割れ幅 S: 付着部剥離破壊

IIシリーズのBタイプでは長期時において平均的に分散していたひび割れが、降伏以降は突付け部B点での進展が著しくなり、特にかぶりの最も少ない、図2に示す1鉄筋の突付け部であるB<sub>2</sub>点の横ひび割れが顕著で、全体の30%以上になっている。これに対し3鉄筋の突付け部であるB<sub>3</sub>点は1鉄筋の内側に位置しているため、側面に生ずる横ひび割れはB<sub>2</sub>点に比べ小さいが、周長欠損が大きい付着劣化に伴う縦ひび割れはこのB<sub>3</sub>点より発達し始める。またB<sub>1</sub>点の突付けは1および3鉄筋の上部に位置しており、サポートされる形になっているため、過度のひび割れは生じていない。

鉄筋配置の異なるBAタイプは図2の①および③部のような応力伝達上不利と思われる個所がある。側面に近い突付け部B<sub>1</sub>の横ひび割れが顕著であるのはBタイプと同様の傾向であるが、縦ひび割れの発達は比較的ゆるやかで、B<sub>1</sub>、B<sub>2</sub>、B<sub>3</sub>点において独立した形で進展し、Bタイプの③の部分のように縦ひび割れが急激に進展することがない。

### 3.2 変形性状

図5～図8に補曲げ区間における変形性状を示す。

Iシリーズでは重ね長さ1.5dの15Lが主筋降伏以前に付着割裂により破壊した。20Lは $\mu = 6.4 (\frac{\delta_y}{\delta_y})$ で付着割裂を生じ、耐力低下しているが、2.2d以上の継手長さでは全て十分なじん性を示している。

3本束ねとしたIIシリーズでは3.4d以上の継手長さのものが、コンクリートの圧壊後も継手耐力を維持している。30Bは $\mu = 6.7$ で図2③部の継手が付着割裂しているが、3本束ねでは、1か所の継手に付着劣化を生じても、部材耐力の約75%を保持しており急激な耐力低下を生じない特徴がある。図7はBタイプに比べBAタイプの方が付着劣化後の耐力低下を生じにくいことを示している。図8は若干の逆Sループを示しているが図6との比較では繰返し載荷による継手部の耐力低下は生じていない。

図9より通常重ね継手に対する3本束ね鉄筋の重ね継手長さの増加率は、6 $\delta_y$ 程度のじん性を確保するには $\frac{3.0d}{2.0d} = 1.5$ 倍、10 $\delta_y$ を対象とした場合は $\frac{3.4d}{2.2d} = 1.55$ 倍となる。

なお、2本束ね鉄筋の場合を図中に参考として示した。

### 3.3 継手部における主筋ひずみ分布

図10は、はり降伏時までのひずみ分布を示したものである。各主筋突付け部における他の通し筋はほぼ降伏ひずみを示しているが、重ね継手の中間部では添え筋を含めた4本の鉄筋は降伏し

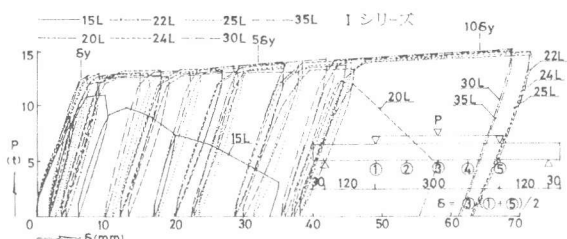


図5 通常重ね継手の荷重-変位曲線

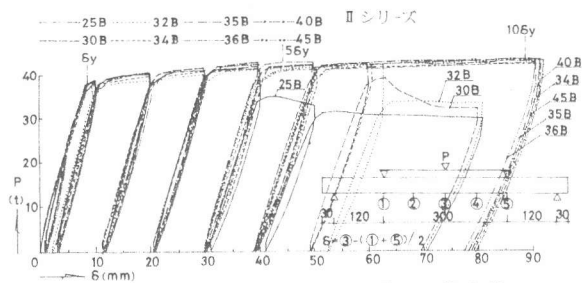


図6 3本束ね鉄筋の荷重-変位曲線

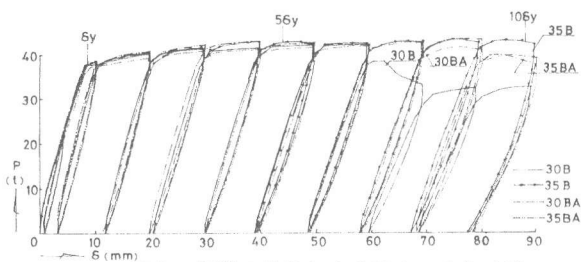


図7 配筋の相違による荷重-変位曲線

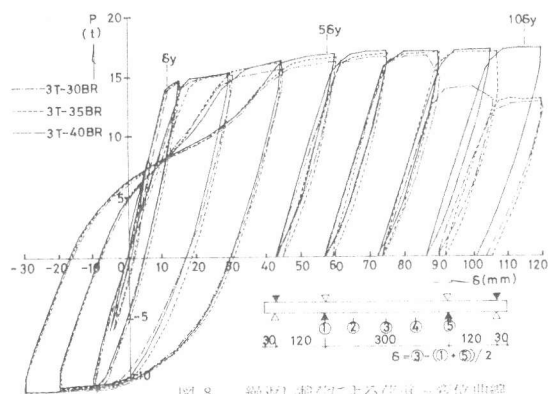


図8 繰返し載荷による荷重-変位曲線

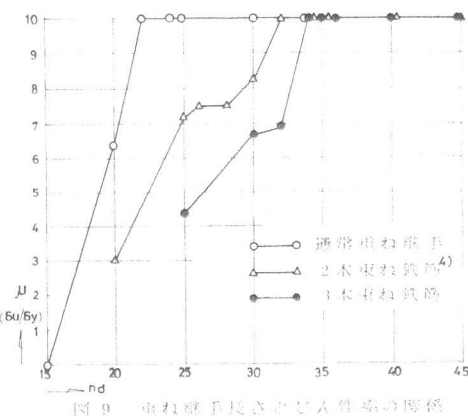


図9 重ね継手長さおよびじん性の関係

ておらず、応力負担上の余裕がみられる。

また、40Bの重ね継手筋④⑤は30Bの③⑥にくらべ、台形のひずみ分布を示し応力勾配の棚がみられる。このことは継手長さに余裕のあることを示すもので、十分なじん性が得られた試験体に見られる性状で、継手長さの下限値を知る上での判断材料となる。

### 3.4 破壊形状

図11の20Lは付着割裂により継手部のコンクリートが剝落しているが、横補強筋が比較的十分なこともあり、6.4 $\delta_y$ のじん性を示した。30Lは10 $\delta_y$ 時においても継手部は健全である。IIシリーズの試験体には圧壊の発生時と順序を示してある。25Bは4 $\delta_y$ 時にE<sub>2</sub>上部に圧壊を生じ、E<sub>3</sub>部より急激に発達した縦ひび割れがE<sub>2</sub>の縦ひび割れと連結した。4.4 $\delta_y$ 時に付着の劣化により耐力低下した。35BAの圧壊順序はBタイプと異っており、配筋形状による違いがみられ、縦ひび割れにくらべ横ひび割れの進展が目立つ。

### 3.5 束ね鉄筋の有効周長

継手を有する3本束ね鉄筋の有効周長は付着の劣化を生ずる位置により検討するのが良いと思う。今回の実験によれば1つの重ね継手を構成している鉄筋のうち、周長欠損の大きい表4の $\varphi_{e1}$ 鉄筋より付着劣化が進展していることから有効周長はコンクリートに接する外周である $\varphi_e = 0.67\varphi$ に相当している。

## 4. まとめ

通常の重ね継手と比較することにより、3本束ね鉄筋の必要重ね継手長さおよび、有効周長のとり方について検討を行ない、次のような結果を得た。

- 1) 長期荷重時のひび割れに関しては使用上の限界内に収っており、継手を設けた場合でも支障はない。
- 2) BAタイプはBタイプにくらべ付着劣化後の耐力低下の程度がゆるやかである。
- 3) 30dの重ね継手長さで6.7 $\delta_y$ のじん性が得られ、この場合、通常継手に対し1.5倍の重ね長さが必要である。
- 4) 継手長さの増加率の逆数を有効周長と考えれば、0.67となりコンクリートに接する外周とする方法に一致する。

なお、今後、横補強筋量を低減させ、継手部のはね出しが生じやすい場合についても検討する予定である。

### 参考文献

- 1) 矢代「丸ばね配筋」建築技術 1970年3月号 系223
- 2) Fritz Leonhardt「Vorlesungen über Massivbau」Dritter Teil. 3.Aufl. 1977年
- 3) 矢代・桜田「束ね鉄筋の配筋形状に関する実験的研究」第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1981年
- 4) 矢代・桜田「2本束ね鉄筋の重ね継手長さに関する研究」第4回コンクリート工学年次講演会講演論文集 1982年

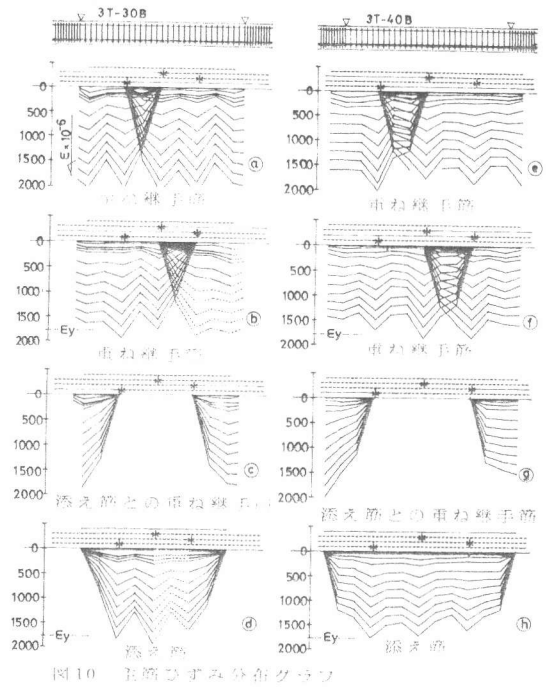


図10 重ねひずみ分布グラフ

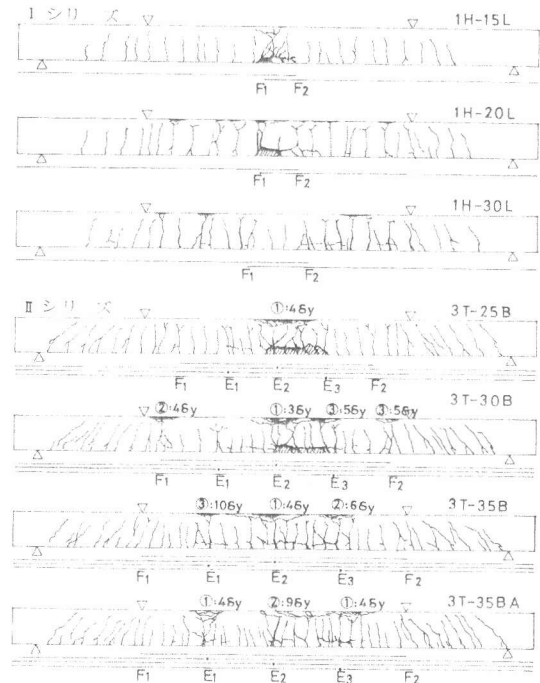


図11 最終破壊形状

表4 3本束ね鉄筋の有効周長

有効周長	3本束ね鉄筋	添え筋を含む3本束ね鉄筋
コンクリートに接する鉄筋外周とする場合	$\varphi_e$ $\varphi_e = 0.83\varphi$	$\varphi_{e2}$ $\varphi_{e1} = 0.67\varphi$ $\varphi_{e2} = 0.83\varphi$

$\varphi$ : 鉄筋公称周長

$\varphi_e$ : 束ね鉄筋1本の有効周長