

# [89] 束ね鉄筋の継手方法に関する実験的研究

正会員 矢代 秀雄 (日本大学)

正会員 ○桜田 智之 (日本大学)

## 1. まえがき

束ね鉄筋は限られた部材断面に多くの軸方向鉄筋を配筋しようとする場合に数本の鉄筋を束ねて用いる方法である。束ねた鉄筋は1本の太径の鉄筋とみなして設計するのであるが、その過程にはいくつかの問題点が生ずる。基本的なものとして 1)束ねた鉄筋の周長(径)をどうとるか 2)スパン途中でcutoffする場合の定着長さ 3)継手を設ける場合の継手長さとその方法 4)破壊形状(ひび割れ)におよぼす影響などがあげられる。これらの点を考える上で基礎となる1本の鉄筋の必要定着長さの算定は付着という多くの要因の影響をうける現象から成立しているため各国で異った規定を設けているのが現状である。

引張鉄筋の重ね継手は同一断面で互いの鉄筋が定着しあうのであるから通常定着にくらべきびしい条件下にある。束ね鉄筋の継手ではこの重ね継手が重複して設けられることになるのでその継手長さはより長い値とするか、隣接継手間隔、鉄筋のあき、使用径、横補強筋などに制限規定を設けることが必要になる。

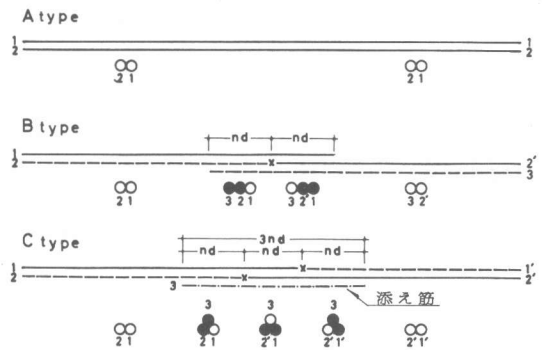
本報告は重ね継手を有する2本束ねおよび3本束ね鉄筋ばかりについて実験を行ない、必要重ね継手長さ、重ねの方法、耐力および破壊形状を検討し、束ね鉄筋継手の設計資料を得ることを目的としたものである。

## 2. 実験の概要

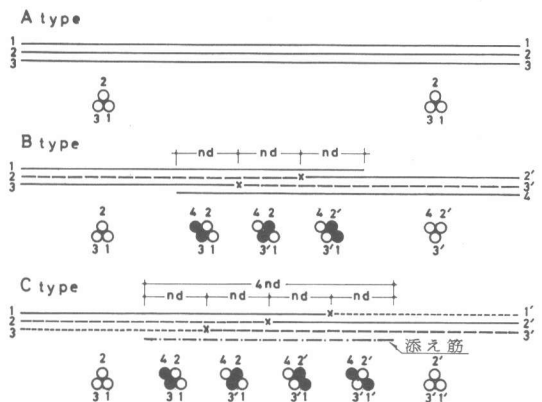
実験は図3に示すように2つのシリーズに分けられる。Iシリーズは2本束ね鉄筋の場合で、IIシリーズは3本束ね鉄筋の場合である。

両シリーズには継手の方法により、A、B、C、3タイプの試験体がある。Aタイプは継手を有しない通常の束ね鉄筋で、Bタイプは添え筋を使用しないで重ね継手とする場合であり、Cタイプは添え筋を使用した重ね継手である。BタイプとCタイプには図1、図2に示すような違いがある。Bタイプは互いに $nd$ の重ね継手長さでそれぞれ応力の伝達を行ない、継手の全長はCタイプより $nd$ だけ短かくてすむが部材内での鉄筋断面形状が変化する。Cタイプは添え筋を介して応力の伝達を期待する方法であり、継手の全長はBタイプより $nd$ だけ長くなるが主鉄筋の位置は変化しない。図1、図2の黒丸はその部分での応力伝達をしよう鉄筋を示している。

試験体の寸法および形状は図3に示すようであり、純曲げスパン内に継手を設け、 $\phi 20$  cmで横補強筋(スターラップ)を配置してある。断面形状に比し鉄筋量が多く、かぶりおよびあきも少なく、また継手部分の横補強も十分とはいえずかなりきびしい条件下にあるといえる。



図・1 2本束ね鉄筋の継手 (I Series)



図・2 3本束ね鉄筋の継手 (II Series)

重ね継手長さは鉄筋径の n 倍で表わし、B、C タイプとも、20d、30d、40d、の試験体を計画し、I シリーズ 7 体、II シリーズ 7 体、計 14 体について実験を行なった。

加力は 500 t 構造物試験機を使用した 2 点集中加力とし、I シリーズは単調載荷で、II シリーズは 1 方向の繰返しを曲げひび割れ発生時、長期荷重時、および  $R=1/100$  時、 $1/50$  時（純曲げスパンでの部材角）に行ない両シリーズとも曲げ圧縮破壊または継手部の付着破壊が確認出来るまで加力した。

変位の測定はダイヤルゲージを用い、加力点およびスパン中央で測定し、また継手部の応力伝達関係をみるため鉄筋表面にストレインゲージを貼付し測定した。

使用鉄筋の性質は表 1 に示すとうりであり、束ねた鉄筋の断面積は I シリーズ（2 本束ね）の 2-D19 が 1-D25 に、II シリーズ（3 本束ね）の 3-D19 が 1-D32 に概ね相当する。

コンクリートは I シリーズがミキサーを用いて実験室内で混練したものであり、II シリーズではレディミクストコンクリートを使用した。それぞれの調合は表 2 に、実験時の強度は表 4 に示す。

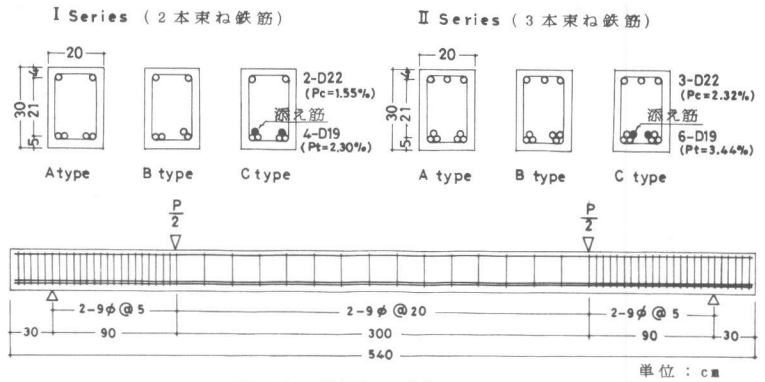
### 3. 実験結果

実験結果の一覧を表 4 に示す。

#### 3.1 重ね継手長さと変位の関係

図 4 および図 5 に示す荷重-変位曲線は純曲げスパンにおける変位量を示しており試験体中央の変位から加力点位置の変位の平均を減じて求めてある。

I、II シリーズの各試験体とも継手長さが長いほど高めの剛性を示す傾向があ



図・3 試験体の形状および種類

試験体記号の説明  
**2 3 B**  
 ① ② ③  
 ① 1 束の鉄筋本数  
 2: 2 本束ね鉄筋  
 3: 3 本束ね鉄筋  
 ② 重ね継手長さ  
 0: 継手なし  
 2: 20d  
 3: 30d  
 4: 40d  
 ③ 継手の方法  
 A: 継手なし  
 B: 添え筋なし  
 C: 添え筋使用

表 1 中  
 中央: 純曲げスパン  
 端部: せん断スパン

表・1 使用鉄筋の性質

使用鉄筋	使用場所	鉄筋比 (%)	$\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\sigma_{max}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E_y$ (%)
D19 (SD35)	下端部	I シリーズ Pt=2.30	3640	5400	0.186
		II シリーズ Pt=3.44			
D22 (SD35)	上端部	I シリーズ Pc=1.55	3560	5360	0.179
		II シリーズ Pc=2.32			
9φ (SR24)	スターラップ	中央 Pw=0.32 端部 Pw=1.28	2900	4050	0.148

表・2 使用コンクリートの調合

シリーズ	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ目標 (cm)	w/c (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )		
				水	セメント	砂利
I	20	18	65	192	295	809
II	10	18	58	207	357	1061

表・3 重ね継手部分の断面形状および有効周長

	継手なし	添え筋なし	添え筋使用
2 本束ね鉄筋	$\varphi_e = 1/2(\pi d + 2d) = 0.82\varphi$	$\varphi_{e1} = 1/3(\pi d + 3d) = 0.65\varphi$ $\varphi_{e2} = 1/3(\pi d + 4d) = 0.76\varphi$	$\varphi_e = 0.65\varphi$
3 本束ね鉄筋	$\varphi_e = 0.65\varphi$	$\varphi_e = 1/4(\pi d + 4d) = 0.57\varphi$	$\varphi_e = 0.57\varphi$

$\varphi_e$ : 束ね鉄筋 1 本分の有効周長  $\varphi$ : 鉄筋 1 本の公称周長

表・4 実験結果一覧表

シリーズ	試験体名	コンクリート $F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	継手長さ nd (cm)	実験時 $M_{max}$ (t·m)	長期時のひび割れ			$\tau_b / F_c$	MR / My	破壊種別
					$W_o$ (mm)	$W_{max}$ (mm)	n (本)			
I	20A	345	—	8.53	0.10	0.15	27	0.06	1.00	C
	22B	346	38	8.51	0.12	0.15	26	0.16	0.78	S
	22C	347	38	8.53	0.10	0.15	25	0.19	0.71	S
	23B	284	57	8.48	0.11	0.21	26	0.13	0.99	C
	23C	292	57	8.82	0.11	0.25	26	0.15	1.00	C
	24B	283	76	8.87	0.12	0.18	26	0.10	1.01	C
	24C	296	76	8.65	0.14	0.19	26	0.11	1.01	C
II	30A	318	—	13.59	0.10	0.15	31	0.09	1.01	C
	32B	321	38	11.93	0.09	0.19	32	0.22	0.78	S
	32C	324	38	11.77	0.09	0.36	31	0.21	0.81	S
	33B	325	57	13.14	0.09	0.20	32	0.16	1.02	C
	33C	330	57	13.37	0.09	0.25	32	0.16	1.04	C
	34B	331	76	13.62	0.08	0.19	34	0.12	1.02	C
	34C	332	76	13.32	0.07	0.20	34	0.12	1.01	C

$W_o$ : 平均ひび割れ幅  
 $W_{max}$ : 最大ひび割れ幅  
 n: 純曲げ区間ひび割れ本数  
 $\tau_b$ : 継手部分の平均付着応力度 ( $\sigma_t \cdot a_t / l_e \cdot \varphi_e$ による)

My: 降伏モーメント  
 MR: I シリーズ  $R=1/75$  時  
 II シリーズ  $R=1/50$  時  
 C: 曲げ圧縮破壊  
 S: 継手部付着破壊

り、主筋ひずみ結果からみるとⅡシリーズの継手長さ20dの試験体(32B, 32C)を除き、引張鉄筋が降伏( $\epsilon_y = 1900 \times 10^{-6}$ )した後、破壊に至っている。

Iシリーズでは継手長さが20dの22B, 22Cがはり降伏直後( $R = 1/107$ )急激な付着破壊を生じているのを除けば継手のない20Aとほぼ同様の耐力、じん性を示している。ⅡシリーズもIシリーズと同様の変形性状であるが、32B, 32Cが主筋降伏以前に付着破壊を生じており耐力の低下が著しい。表4の $M_R/M_y$ からもI, Ⅱシリーズの継手長さ20dの試験体に継手長さの不足が認められる。変位曲線において継手長さが30dと40dの場合の差はわずかであり、また添え筋の有無によるBタイプとCタイプの差も明確ではない。これはコンクリートの圧縮破壊が認められた時点で加力を終了していることに起因していると思われる。また通常の重ね継手の場合に重ね継手部分を横補強することにより高いじん性を確保出来ることが確かめられていることから東ね鉄筋の重ね継手部分に対する横補強筋の配置は継手長さを長くとも増して重要なポイントであると思われる。

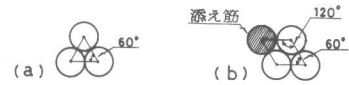
### 3.2 ひび割れ幅および付着応力度

長期荷重時( $\sigma_t = 2200 \text{ kg/cm}^2$ )に対する平均ひび割れ幅は引張側主筋の重心位置で各試験体とも0.1mm前後でありA, C L A R K式による算定値(Iシリーズで0.11mm, Ⅱシリーズで0.07mm)にはほぼ合致している。最大ひび割れ幅は23C,

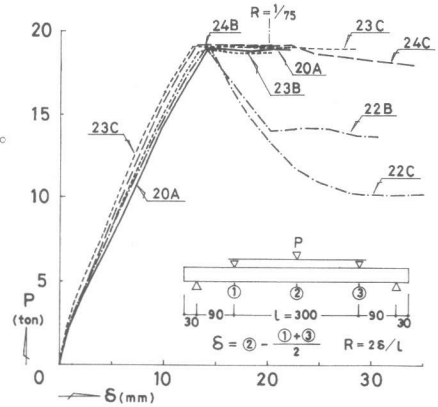
32C, 33Cに0.25mmを越えるひび割れがみられるが、全体としては長期時の耐久上差しつかえない程度と思われる。

長期時におけるひび割れ本数は表4にみられるよう、継手長さあるいは添え筋の有無による明らかな差は認められない。なおⅡシリーズの長期時に対する平均残留ひび割れ幅は各試験体とも0.15mm前後であった。

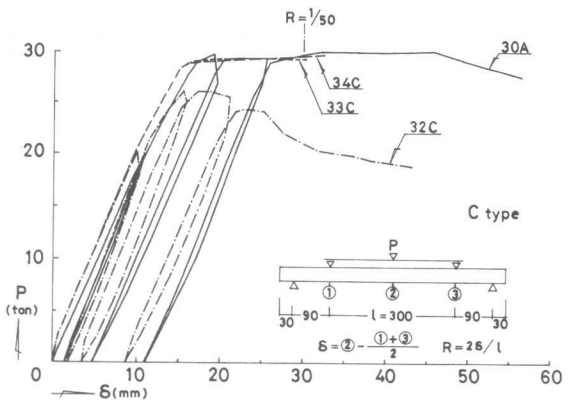
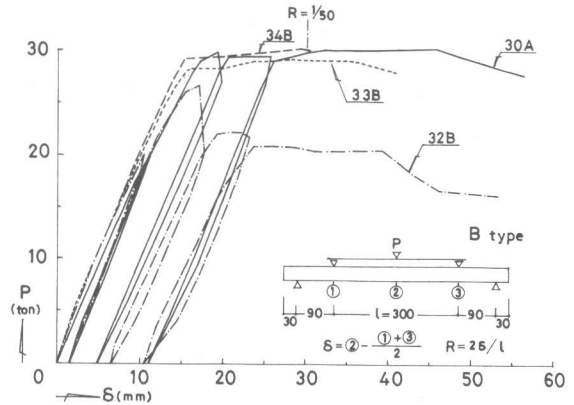
表4に示す $T^b/P_c$ の値は表3に示す包絡線による $\phi_e^{1)}$ により最大荷重時について算定したものである。東ね鉄筋の有効周長のとり方には図4に示すようにコンクリートに接する外周とする方法もある。<sup>2)</sup>この方法は3本束ねでは図(a)のように、正三角形の内にある部分の周長が鉄筋1本につき $1/6$ 欠損していると考え、図(b)のように添え筋を用いる場合はひし形の内側部分の周長が付着に対して有効でないとする考え方である。いずれにしても有効周長のとり方は重ね継手長さを算定する上で重要な問題であり考慮の余地が残されている。



図・4 有効周長のとり方



図・5 P-δ 曲線 (I Series)



図・6 P-δ 曲線 (Ⅱ Series)

3.3 破壊形状

最終破壊形状よりみると、継手のない束ね鉄筋である20A, 30Aは通常の配筋による場合のひび割れ形状に類似しており、鉄筋を束ねたことによる影響はみられないが、重ね継手を有するBタイプ, Cタイプではひび割れのパターンが継手の長さで添え筋の有無により異なっている。継手長さが20dの場合はI, IIシリーズともやはり降伏時における継手部分に生じたひび割れの急激な進展により破壊に至っており、特に主筋に沿う軸方向のひび割れが特徴的で、付着による割り裂き破壊が明瞭である。30dおよび40dの場合も曲げ圧縮破壊ではあるが継手部にひび割れの集中した個所がみられる。添え筋のないBタイプでは主筋端部(図7のF<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>点)に主ひび割れが生じ易く、Cタイプでは主筋の突付け部(E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, E<sub>3</sub>点)に主ひび割れが生じ、添え筋端部(F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>点)には目立ったひび割れが認められない。これはB, Cタイプとも継手部における鉄筋数は同一であっても、応力を伝達しあう部分、部分(図1, 図2)での有効周長が異なるため、ある断面での周長を鉄筋数で除して1本当たりの有効周長とすると、応力の伝達に必要な周長を下回る部分が生ずるためではないかと思われる。

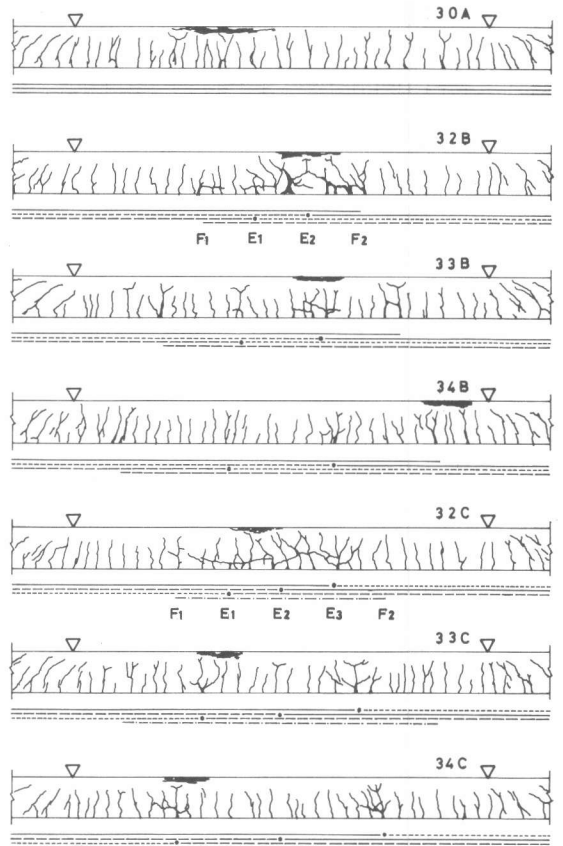
4. まとめ

今回の実験結果より、2本束ね鉄筋および3本束ね鉄筋の場合、重ね継手長さが20dでは応力伝達が困難であるが、30d以上であれば継手の形式によらず継手のない場合と同等の耐力が期待出来ることが認められた。

また表5にみられるよう束ね鉄筋に関する規定は各国で相当異なるため破壊のメカニズムをより明確にする必要があり、より高いじん性レベルでの安全性を確認し、横補強筋の効果などを考慮した上で、合理的な重ね継手長さの算定方法を検討する必要があると思われる。

参考文献

- 1) 齋藤・土屋「束ね鉄筋を用いたコンクリート部材」日本建築学会論文報告集 1970年5月 第171
- 2) 矢代「たばね配筋」建築技術 1970年3月号 第223
- 3) 矢代・玉置他「たばね配筋を用いたはりの曲げ実験」コンクリートジャーナル 1968年10月号
- 4) 矢代・杉田「たばね鉄筋の継手に関する実験的研究」建築学会大会要録集 1971年 近畿 P729



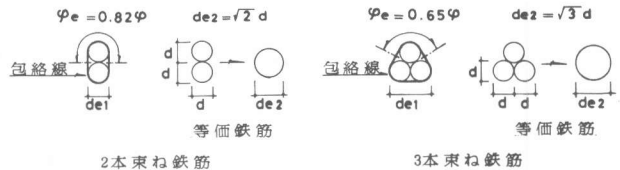
図・7 最終破壊形状 (II Series)

表・5 束ね鉄筋に関する各国の規定

	建築学会	土木学会	ACI 318	DIN 1045
使用出来る1本の鉄筋の最大径	25mm以下の異形鉄筋	32mm以下の異形鉄筋	32mm以下の異形鉄筋	28mm以下の異形鉄筋
1束の鉄筋本数	2本又は3本	はり:上下の2本 柱:2本又は3本	4本まで	2本又は3本
あき,かぶりに対 <sup>1)</sup> する径のとり方	あき:de1の倍数 かぶり:dの倍数	de2の倍数	de2の倍数	de2の倍数
leとlとの比率 <sup>2)</sup>	2本:le=1.22l 3本:le=1.54l	—	3本:le=1.20l 4本:le=1.33l	de2>28mm le=1.3

- 1) あきおよびかぶり厚が鉄筋径で決まる場合の径の決定方法。
- 2) ACI, DIN には応力の大きさ,継手位置,などに関する細則あり。  
建築学会:  $le = \varphi / \varphi_e \cdot l$  にて算定する。

- d: 1本の鉄筋の公称直径。 l: 通常の重ね継手長さ。  
de1: 束ね鉄筋の見付けの寸法。 le: 束ね鉄筋の重ね継手長さ。  
de2: 束ねた鉄筋と同等の断面積を有する鉄筋の等価直径。 φ: 1本の鉄筋公称周長。  
φ<sub>e</sub>: 束ね鉄筋1本の有効周長。



図・8 周長および径のとり方