

論文

[2036] 板状部材における異形鉄筋重ね継手の強度・剛性及び靱性に  
関する実験的研究

正会員 小倉弘一郎(明治大学工学部)  
正会員 亀田登与三郎(明治大学工学部)  
佐々木 仁(フジタ工業技術研究所)  
正会員 ○細田博幸(明治大学大学院)

1. 目的

鉄筋コンクリートスラブなど板状部材における鉄筋の重ね継手を対象に、設計荷重時の剛性及び終局強度時の耐力・靱性の確保のための所要重ね長さなどを改めて検討し、合理的な重ね長さや、その詳細を再検討しようとするものである。

実験はD10シリーズ及びD13シリーズよりなり、重ね継手における重ね長さとし継手集中度及び継手筋の内側、外側をパラメータとして継手筋の強度・剛性、靱性を検討した。D13シリーズの一部では継手筋外側の場合の重ね継手はねだし防止筋の効果も検討した。

2. 実験内容

2-1 試験体

表1に試験体の種別・記号を、図1に試験体の形状・寸法を示す。一方向配筋スラブを対象とし、試験鉄筋は3-D10又は3-D13とし、継手重ね長さはD10シリーズの場合は、15d, 20d, 25d(継手筋内側の場合)及び25d, 30d(継手筋外側の場合)、D13シリーズの場合は、20d, 25d, 30d(継手筋内側、外側の場合とも)、継手の集中度は1/3, 2/3, 3/3とし、これらの組合せの計27体(D10シリーズ15体、D13シリーズ12体)である。

比較用にそれぞれの場合について継手なし試験体を2体ずつ(但しD10シリーズ試験鉄筋内側では1体)用意した。

D13シリーズの一部(継手筋外側、重ね長さ25d、継手集中度3/3には、重ね継手の両端近くにヘアピン状のはねだし防止筋D6を、その数量及び部材せい方向への定着長さを変えて設けた4体を更に用意した。

継手間隔は、通常のスラブ筋間隔で最も狭い場合程度を対象に、D10, D13シリーズとも12.5cmにとり、鉄筋に対するコンクリートかぶり厚は、継

表1 試験体種別及び記号

シリーズ	試験体名	鉄筋径	継手筋の位置	重ね長さ	継手集中度
D10 シリーズ	N0.2	D10	内側	継手なし	0/3
	0115,0215,0315			15d	1/3,2/3,3/3
	0120,0220,0320			20d	同上
	0125,0225,0325		25d	同上	
	N0.S1, N0.S2		外側	継手なし	0/3
S0125,S0225,S0325	25d	1/3,2/3,3/3			
D13 シリーズ	S0130,S0230,S0330	D13	内側	継手なし	0/3
	3-1,3-2			15d	1/3,2/3,3/3
	3120,3220,3320			20d	2/3,3/3
	3225,3325		25d	3/3	
	3330		30d	同上	
	S3-1,S3-2		外側	継手なし	0/3
	S3120,S3220,S3320			20d	1/3,2/3,3/3
	S3225,S3325			25d	2/3,3/3
	S3330		30d	3/3	
	D13 はねだし防止 シリーズ		S3325SS*	D13	外側
S3325SD		"	"		
S3325LS		"	"		
S3325LD		"	"		

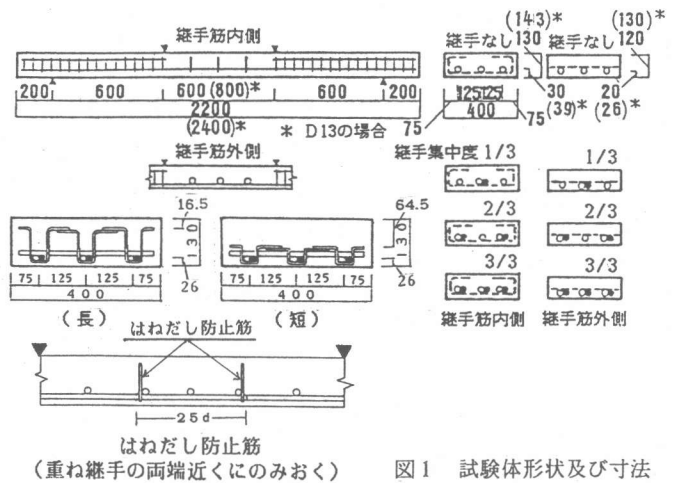
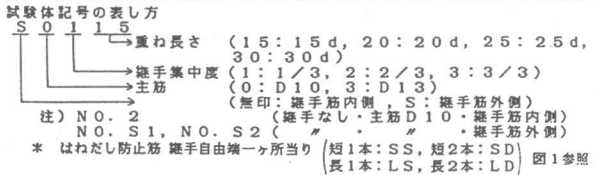


図1 試験体形状及び寸法

手筋の内外にかかわらず、外側鉄筋に対して共通に2d(ただし、鉄筋芯からコンクリート表面まで、D10では20mm、D13では26mm)をとり、一方、有効せいは継手筋の内、外にかかわらず同寸法(D10シリーズではd=10cm、D13シリーズではd=10.4cm)とした。その結果、引張鉄筋比(Pt)は、D10、D13シリーズに対して、それぞれPt=0.54%、0.91%となる。また、試験部分では圧縮鉄筋は配筋せず、単筋梁の状態としている。

継手筋内側及び外側を設けたのは、継手部かぶりコンクリートが付着割裂する場合の直交筋(試験鉄筋と同径とする)の外、内の効果を見るためである。なお、継手筋に対するコンクリートのかぶりは、継手筋内側の場合は3d、継手筋外側の場合は2d(いずれも鉄筋芯からコンクリート表面まで)となる。

表2には使用材料のうち試験鉄筋及びコンクリートの主要な性質を示す。

### 2-2 加力及び測定

加力は図1に示すような2点集中荷重とし、加力装置、変形測定装置は図2のようである。加力段階は、継手部鉄筋応力が1500、2000、2500、3000及び降伏点 $\sigma_y \approx 3500 \text{ kg/cm}^2$ に相当する荷重で一方向繰返し加力とし、その後はそれぞれのシリーズでの継手なし試験体の引張鉄筋降伏時変形 $\delta_y$ を基準とし、 $2\delta_y$ 、 $4\delta_y$ 、 $6\delta_y$ の変形制御で一方向繰返し加力とした。D13シリーズおよびD13シリーズはねだし防止の場合は、 $6\delta_y$ の変形で5回の一方向繰返しを行い加力を終了する。

また、加力点間の相対たわみ、継手起点の鉄筋歪を測定した。

### 3. 実験結果及び検討

#### 3-1 実験結果

表3-1、3-2に実験結果一覧を、図3-1、3-2に荷重-相対たわみ関係を示した。継手試験体のP- $\delta$ 図中の破線は、対応する継手なし試験体(2体の平均)のP- $\delta$ 曲線の包絡線である。

図7には、数例についてのひび割れ図をしめす。

#### (1) ひび割れ及び破壊状況

1) 一般に曲げひび割れは重ね継手の起点に生じるほか、継手筋の内、外を問わず横方向筋位置に生じることが多い。

2) 重ね継手に沿う付着ひび割れの発生状況 : 両シリーズを通じ、内筋継手、外筋継手を問わず

表2 使用材料の性質

D10シリーズ	継手筋の内・外	試験鉄筋の降伏点 $\sigma_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	コンクリート圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	寸法 (寸)
		内・外とも	D10:3507	265
D13シリーズ	内	D13:3567	236	5~9
	外		258	6~10

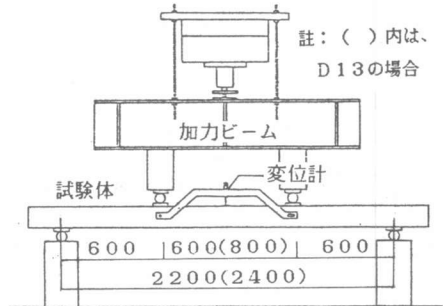


図2 加力装置及び変形測定装置

表3-1 実験結果一覧表(D10シリーズ)

試験体名	継手長さ	集中度	曲げ初変形発生荷重 (kg)	付着ひびわれ発生荷重 (kg)	降伏荷重 実験値 (kg)	最大荷重 (kg)	破壊状況		
N.O. 2	継手なし	0/3	890	—	2050	2260	Y, C		
		1/3	900	1970	1970	1970	B		
		2/3	900	1930	1940	1940	B		
	20d	3/3	870	1570	※※	1600	Y, B		
		1/3	850	2110	2057	2170	Y, B		
		2/3	900	1910	1910	1910	B		
0120	25d	3/3	850	1830	※	1850	Y, B		
		1/3	860	2340	2090	2340	Y, B		
		2/3	900	2200	2060	2210	Y, B		
	0325	3/3	920	2210	2090	2210	Y		
		N.O. S1	継手なし	0/3	900	—	2000	2212	Y, C
			25d	1/3	900	2070	2050	2150	Y, C
2/3	900			2040	2040	2058	Y, B		
3/3	910	1900		2090	2170	Y, B			
S0130	30d	1/3	900	2180	2100	2270	Y, B		
		2/3	920	2150	2030	2150	Y, B		
		3/3	910	2020	2030	2070	Y, B		

※ 終局まで付着ひびわれは発生していない Y, C: 鉄筋降伏後コンクリート圧壊  
 ※※ 主筋は終局まで降伏していない Y: 鉄筋降伏  
 B: 継手破壊  
 Y, B: 鉄筋降伏後継手破壊

表3-2 実験結果一覧表(D13シリーズ)

試験体名	継手長さ	集中度	曲げ初変形発生荷重 (kg)	付着ひびわれ発生荷重 (kg)	降伏荷重 実験値 (kg)	最大荷重 (kg)	破壊状況	
3-1	継手なし	0/3	1130	—	4120	4460	Y, C	
		1/3	1150	—	4120	4430	Y, C	
		2/3	970	4470	4210	4470	Y, B	
	20d	3/3	1000	4140	4100	4300	Y, B	
		3/3	1180	4150	4130	4260	Y, B	
		2/3	1260	※	4210	4590	Y, B	
3325	25d	3/3	1330	※	4140	4400	Y, B	
		3/3	1400	※	4320	4570	Y, B	
		S3-1	継手なし	0/3	950	—	4100	4510
	S3-2		1/3	1050	4350	4250	4350	Y, C
			2/3	1130	4120	4120	4120	B
		3/3	980	3460	※※	3930	B	
S3225	25d	2/3	1180	4420	4260	4630	Y, B	
		3/3	1180	4120	4240	4670	Y, B	
		3/3	1250	※	4380	4660	Y, B	
	S3330	30d	3/3	1080	4140	4230	4820	Y, B
			3/3	1100	4120	4290	4870	Y, B
			3/3	1170	4310	4200	4620	Y, B
S3325L5	25d	3/3	1170	4310	4200	4620	Y, B	
		3/3	1250	4330	4290	4740	Y, B	

※ 終局まで付着ひびわれは発生していない Y, C: 鉄筋降伏後コンクリート圧壊  
 ※※ 主筋は終局まで降伏していない Y: 鉄筋降伏  
 B: 継手破壊  
 Y, B: 鉄筋降伏後継手破壊

付着ひび割れは生ずる。D10シリーズの場合、重ね長さ20d以下では降伏点以前に、25d以上であれば、降伏以後に生じている。D13シリーズの場合でもほとんどの場合降伏荷重前後で生ずるが、外筋継手重ね長さ20d、3/3継手、同25d、3/3継手では降伏荷重以前に、その他は降伏荷重ないしそれ以後に生じている。

3) 最終時には、一般には重ね継手起点近傍で鉄筋の降伏歪が進み、あるいは継手のすべりが付加されて、この部分の曲げひび割れが開口、進展し、その直上のコンクリートが圧縮破壊またはその兆しを見せて加力は終了している。

3-2 結果の検討

(1) 曲げ剛性

図4にそれぞれのシリーズについて、継手なし試験体の降伏荷重までのP-δ図を基準に、継手試験体のそれを比べ、同荷重時のたわみの比を剛性比と定義して示した。一般に、降伏点までの曲げ剛性は、継手長さが高いほど、継手集中度が大きいほど、継手なしより大きくなる傾向にある。ただし、D10シリーズの重ね長さ15d、20d、D13シリーズの外筋継手重ね長さ20d、3/3継手の剛性は、低荷重時から継手なしより低く、継手の付着破壊の兆しを

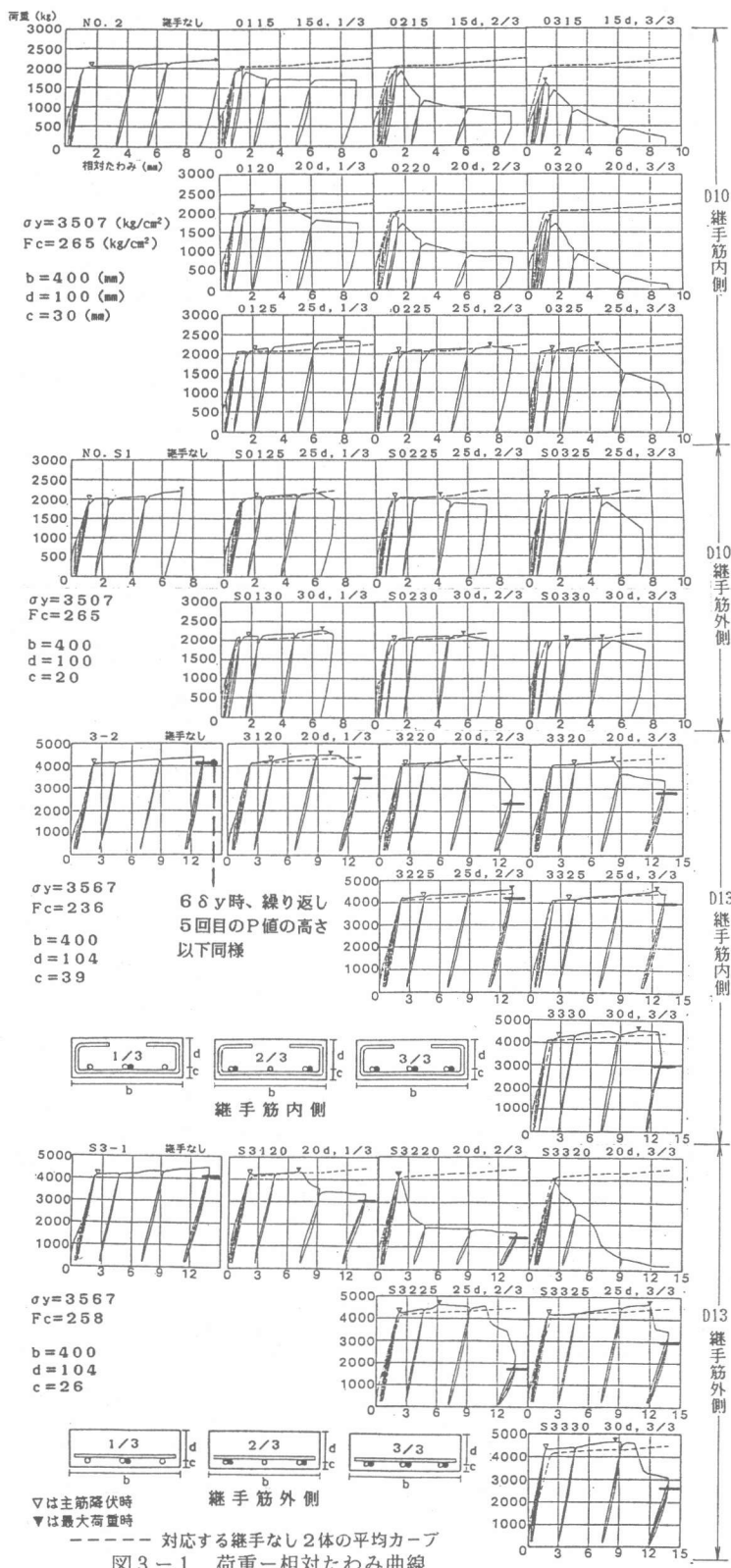


図3-1 荷重-相対たわみ曲線

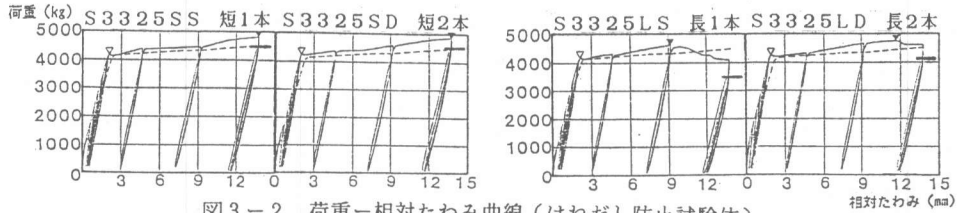


図3-2 荷重-相対たわみ曲線（はねだし防止試験体）

示している。

(2) 曲げ耐力及び靱性

図5に継手なし試験体の降伏後のP-δ図を基準に、継手試験体のそれを較べ、同たわみ時の荷重比を耐力比と定義して示した。この図より、継手長さが長い程、継手集中度が小さい程、耐力比1乃至は1以上の保持能力が高い傾向が示される。

(3) 6δy時の残存耐力

D13シリーズでは、6δy時に5回の繰返し加力を行い、継手の付着力減退による耐力低下を調べている。図3-1、3-2で、D13シリーズのP-δ図中の6δy時の水平指示線は繰返し5回目のP値を指す。各試験体の5回目のP値と、継手なしの6δy時の初回のP値との比を残存耐力比Tと定義して、その値を調べると表4のようである。

一般に、Tは外筋継手の場合が小さく、また例外もあるが継手集中度が大きければ小さく、継手長さが短ければ小さい傾向を示している。なおはねだし防止付きの場合のTは平均して0.918を示し、継手なしと殆ど

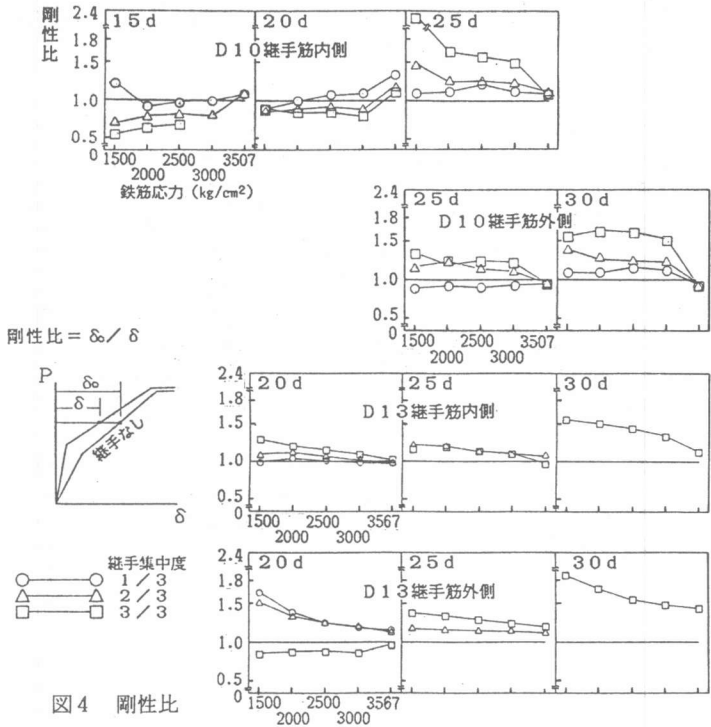


図4 剛性比

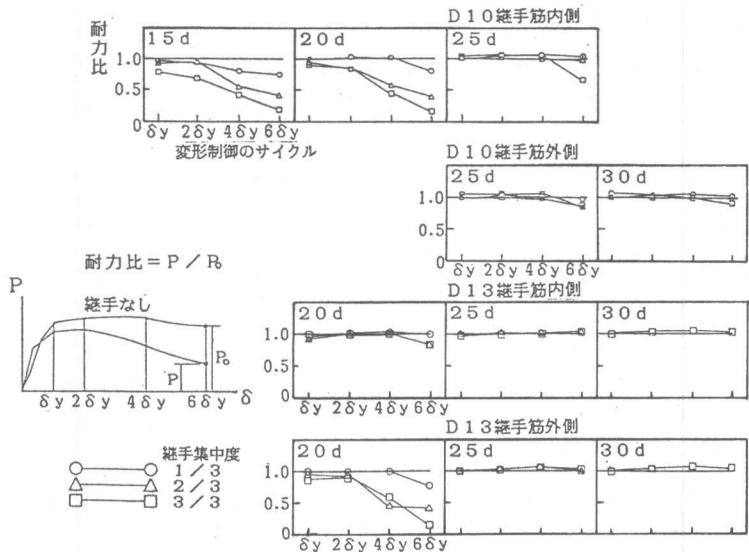


図5 降伏以後の耐力比

表4 残存耐力比T

集中度	長さ	内筋継手			外筋継手			
		20d	25d	30d	20d	25d	30d	25dはねだし防止つき*
3/3		0.639	0.907	0.668	0	0.658	0.574	0.918 (0.780~1.006)
2/3		0.526	0.965	—	0.330	0.390	—	—
1/3		0.776	—	—	0.676	—	—	—
継手なし		0.936			0.935			

\* T=0.977 (SS), 1.006 (SD), 0.780 (LS), 0.910 (LD)

変わらず、はねだし防止のない場合に較べて著しく高いことが注目される。

一般に3/3継手(全数継手)の場合の残存耐力比は、個々の継手1本のそれと見なすことができるので2/3, 1/3継手の場合の残存耐力比は、継手なしのそれと本数の重みつき平均の傾向を示すべきものと考えられる。すなわち、

$$\left[ \begin{array}{l} 2/3 \text{ 継手} \\ 1/3 \text{ 継手} \end{array} \right] \text{ の } T = \left\{ \begin{array}{l} \{ (3/3 \text{ 継手の } T) \times 2 + (\text{継手なしの } T) \times 1 \} \div 3 \\ \{ (3/3 \text{ 継手の } T) \times 1 + (\text{継手なしの } T) \times 2 \} \div 3 \end{array} \right\}$$

上記の仮定のほか、Tは継手長さに比例するとする仮定を加え、また継手なしのT=0.936(内筋), 0.935(外筋)の実験値を用い、重ね長さ20dの場合のTを表4の数値に基づいて、内筋継手, 外筋継手別に回帰解析をしたところ、

T=0.56±0.16(内筋継手), 0.20±0.19(外筋継手)を得た。

(4) 重ね継手の付着強度

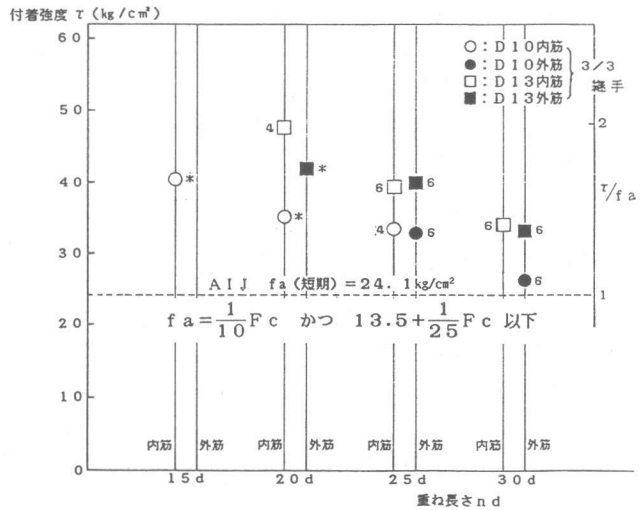
3/3継手(全数継手)の場合の最大荷重時には、すべての継手は付着強度(降伏以後であればみかけの付着強度)に到達するものと見なせるので、3/3継手の場合について最大荷重から算出される付着強度τと重ね長さndとの関係\*を図6に示した。

$$(* \tau = \frac{\sigma t}{4n}, \sigma t = \frac{M}{atj}, j = \frac{7}{8}d : d \text{ は有効せい})$$

但し、各シリーズでFcが多少異なるので、 $\tau \propto \sqrt{Fc}$ と見なして、 $Fc = 265 \text{ kg/cm}^2$ の場合について規準化して示している。

図には日本建築学会RC規準に規定される継手あるいは定着長さ算定の許容付着応力度faの線も示した。

図中\*付のプロットは、鉄筋降伏以前に破壊した場合で、継手の真の付着強度を示すはずのものであり、その値は、D10では $\tau = 35 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$ , D13では $\tau = 42 \text{ kg/cm}^2$ であった。既往の継手付着強度に関する次の算定式による値と、本実験値(カッコ内の値)を較べると、森田・藤井式では、D10内筋:  $\tau = 58.9 \text{ kg/cm}^2$  (35.1~40.4 kg/cm<sup>2</sup>), D13外筋:  $\tau = 41.6 \text{ kg/cm}^2$  (42.0 kg/cm<sup>2</sup>)、ORANGUN式では、D10内筋重ね長さ15d:  $\tau = 51.9 \text{ kg/cm}^2$  (40.4 kg/cm<sup>2</sup>), D10内筋重ね長さ20d:  $48.3 \text{ kg/cm}^2$  (35.1 kg/cm<sup>2</sup>), D13外筋20d:  $\tau = 32.9 \text{ kg/cm}^2$  (42.0 kg/cm<sup>2</sup>)となり、一部を除き対応は余り良くない。



\* 降伏点以下で継手破壊

プロット脳数値はP/P0 ≥ 0.9が保持できるδ/δy値

図6 継手重ね長さと付着強度

(σy ≈ 3500, Fc = 265)

森田・藤井式<sup>1)</sup>

$$\tau = (0.307 b_i + 0.427) \sqrt{F_c}$$

但し、 $b_i$  は次に示す  $b_{si}$ ,  $b_{vi}$  の小さい方の値

$$b_{vi} = \sqrt{3} \left[ \frac{2 \times C}{d} + 1 \right], \quad b_{si} = \frac{b}{N \cdot d} - 1$$

ORANGUN式<sup>2)</sup>

$$\tau = \left( 1.2 + \frac{3 \cdot C}{d} + 50 \frac{d}{l_s} \right) \times 0.265 \sqrt{F_c}$$

ここに  $C$  : コンクリート被り厚さ  $2.5d$  (D10内)  
 $1.5d$  (D13外)  
 $d$  : 鉄筋径,  $N$ : 3本 (鉄筋本数)  
 $F_c$  : コンクリート圧縮強度  
 $b$  : 部材の幅

ここに  $l_s$ : 重ね長さ  
 $C$  : コンクリート被り厚さまたは、鉄筋間のあきの1/2のうち小さい方の値

図6中のプロット脇の数字は、耐力比  $P/P_0$  が 0.9以上保持できるたわみ能力  $\mu = \delta / \delta_y$  を示したものである。これらの値より大まかに判断すると本実験の限り ( $\sigma_y \approx 3500 \text{ kg/cm}^2$ ,  $F_c = 265 \text{ kg/cm}^2$ ) では、全数継手の場合に、重ね長さ  $15d \sim 20d$  では、継手破壊するものが多く、付着強度  $\tau = 35 \sim 42 \text{ kg/cm}^2$  ( $1.5 \sim 1.7 f_a$ ) が算出され、重ね長さ  $25d$  では降伏後に継手破壊し、 $\tau = 32 \sim 40 \text{ kg/cm}^2$  ( $1.35 \sim 1.6 f_a$ ) が算出され、 $\mu = 4 \sim 6$  が保持され、重ね長さ  $30d$  では、 $\tau = 26 \sim 34 \text{ kg/cm}^2$  ( $1.1 \sim 1.4 f_a$ ) が算出され、 $\mu = 6$  以上が保持できるといえよう。

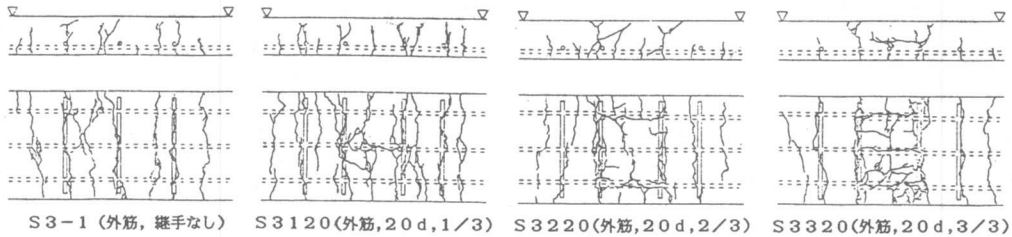


図7 最終ひび割れ図の一例

#### 4. まとめ

D10及びD13を用いたRCスラブ一方向板における重ね継手の強度・剛性・靱性について、重ね長さ ( $15d \sim 30d$ )、継手集中度 ( $1/3, 2/3, 3/3$ )、継手筋内側、外側をパラメータに実験的に検討し、つぎの結果を得た。(ただし  $\sigma_y \approx 3500 \text{ kg/cm}^2$ ,  $F_c = 236 \sim 265 \text{ kg/cm}^2$ )

- 1) 降伏荷重までの曲げ剛性は、一般に継手長さが長い程、集中度が大きい程、継手なしより大きい傾向にあるが、D10シリーズの  $15d, 20d$  及びD13シリーズの  $20d$ 、外筋全数継手では低荷重時より小さい。
- 2) 大部分の供試体は降伏荷重に達し、それ以後、継手長さが長い程、集中度が小さい程、継手なしに対する耐力比1乃至は1以上を保持する能力が高い。
- 3) D13,  $25d$ 、外筋、全数継手の場合に、継手両端近くに設けたヘアピン状のはねだし防止筋の効果を調べ、継手なしとほぼ同等の降伏後の靱性を示す事が認められた。
- 4) 継手重ね長さで発揮される見かけの付着強度及び靱性に関してばらつきはあるが、ある程度、定量的な成果が得られた。

[謝辞] 本研究は明治大学科学技術研究所重点研究費(昭和62年度)及び(株)サトースリーブエンジニアリング委託研究費の一部によるものである。

実験実施に於いて、昭和61年度及び62年度卒業生、大淵隆生、畑和孝、浅井信光、榊原伸雄、本谷博幸、渡辺慎一郎の諸氏の協力を得た。各位に厚く謝意を表します。

<参考文献>

- 1) 藤井, 森田, 「異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究」A I J 論報319, 324号
- 2) C. O. Orangun, J. O. Jirsa and J. E. Breen "A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices," ACI Journal Proc. Vol.74, Mar.1977