

東京都立大

正 員 村田 二郎

神戸製鋼所

○

○中本 進

新日本製鐵

〃

加藤 彰

1. まえがき R C 部材に使用する鉄筋は、太径化するに従い表面積の増加割合が断面積の増加に対するよりも小さいことから、一般的に付着性能が低下する。特に D51 のような極太径鉄筋ではこの傾向が顕著であるため細径と同等の付着性能を保つために鉄筋の表面形状の決定には、特に注意が払われている。本研究では太径鉄筋 D51 の付着性研究の一環として、ひび割れ性能および定着性能に関する基礎的調査を両引き試験法および引抜き試験法により行なつた。

2. ひび割れ性能試験

2-1 実験計画および供試体 供試体一般形状を図-1(a)に示す。供試体には最大ひび割れ間隔を求めるため、(1)式で求めた推定最大ひび割れ間隔(ℓ_{ms})を狭み間隔を順次増減させて切欠けを設け、図-1(b)のようなひび割れ状態の時区間(Ⅲ)を最大ひび割れ間隔(ℓ_{max})とした。 $\ell_{ms} = K\phi / P_e$ — (1)

ここで、K:定数(0.34) ϕ :鉄筋径 P_e :有効鉄筋比
使用鉄筋およびコンクリートの諸元を表-1, 表-2
試験系列を表-3に示す。

2-2 実験方法 載荷実験は600t横型試験機および200tリレー型試験機で行なつた。ひび割れ幅の測定は供試体側面にポイントを貼付し、1/1000mmコンタクトゲージを使用して行なつた。

2-3 実験結果および考察 ①最大ひび割れ間隔の測定結果を表-3、これより求めた最大ひび割れ間隔(ℓ_{max})-鉄筋径(ϕ)の関係を図-2、 $\ell_{max}-\phi/P_e$ の関係を図-3に示す。鉄筋比が一定の場合、最大ひび割れ間隔と鉄筋径は一次的な関係があり、径の増大に伴い大きくなっている。また最大ひび割れ間隔は鉄筋比に逆比例している。本実験結果の $\ell_{max}-\phi/P_e$ 関係から最大ひび割れ間隔の推定式を最小2乗法によつて導くと(2)式のようにになる。

$$\ell_{max} = 0.304\phi / P_e + 2.54 \quad - (2)$$

②鉄筋応力とひび割れ幅の関係を図-4に示す。測定したひび割れは、最大ひび割れ間隔とその次に大きいひび割れ間隔に挟まれたひび割れである。ひび割れ幅

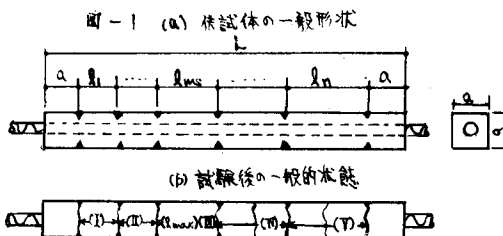


表-1 使用鉄筋諸元

	重量 (kg/m)	公称 直径 ϕ (mm)	公称断 面積 P (cm ²)	公称断 面積 P (cm ²)	73の 断面積 P (mm ²)	73の 断面積 P (mm ²)	降伏点 (kg/mm ²)	引張強 度 ² (kg/mm ²)	伸び (%)
D16	1.56	15.9	1.986	5.0	10.6	1.2	37.3	55.9	27.0
D19	2.25	19.1	2.865	6.0	12.4	1.4	36.6	55.8	22.0
D25	3.98	25.4	5.067	8.0	16.8	2.0	36.5	59.6	27.0
D32	6.23	31.8	7.942	10.0	19.8	2.2	38.8	56.3	36.8
D41	10.5	41.3	13.40	13.0	26.3	3.0	37.1	55.0	31.3
D51	15.9	50.8	20.27	16.0	30.3	4.8	38.4	56.1	30.7

表-2 使用コンクリート諸元

粗骨材 最大寸法 (mm)	W/C	C	W	S	S/A	C-A	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/cm ²)	ヤング係 数 (kg/cm ²)
25	43.0	398	171	684	32.4	1130	372	304	28.0

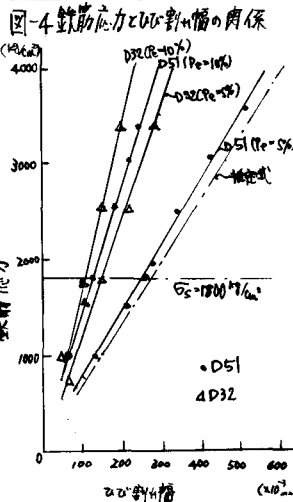
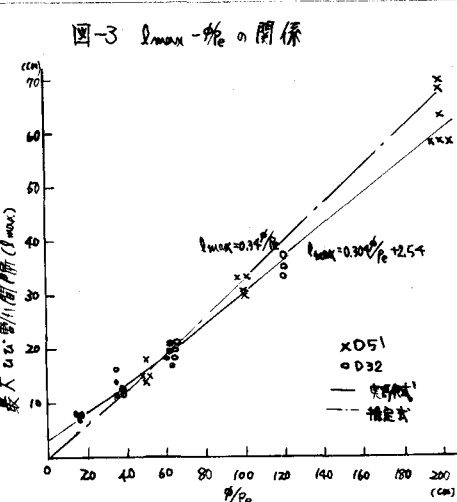
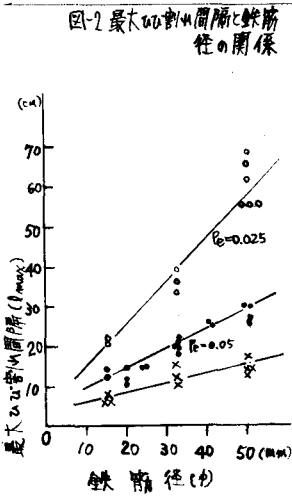
表-3 試験系列および最大ひび割れ間隔測定値

鉄筋 ϕ	コンクリート 強度 ¹ (kg/cm ²)	P_e (%)	ℓ_{ms} (cm)	ℓ_1 (cm)	ℓ_n (cm)	引張 強度 (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/cm ²)	引張 強度 (kg/cm ²)
D51	20.27	14.1	10.42	17	13	2	1	6	17.17.16
D32	7.94	9.9	9.80	11	9	17	1	6	13.16
D16	1.986	4.5	4.5	9.81	5.5	2	11	3	8.8.7
D51	20.27	20.20	5.11	34	25	37	31	2	32.33
					30	34	34		35.35
					34	38	38		
D41	13.40	16.16	6.23	27	24	30	1	3	28.28
					13	29	2	3	20.22
D32	7.94	12.5	12.5	5.09	21	17	25	1	23.21.21
D25	5.07	10.10	5.07	17	13	20	1	3	16.16
D19	2.865	7.5	7.5	5.09	13	8	17	1	12.14.11
D16	1.986	6.3	6.3	5.00	11	6	15	1	12.14
D51	20.27	28.5	28.5	2.51	69	44	50	2	60
						52	56		60.60.66
						58	62		
						64	68		
						70	74		70.72
						65	67		
						68	71		
						71	73		
D32	7.94	17.5	17.5	2.59	43	26	38	2	40.36.38
						34	40		
						40	43		
						44	47		
D16	1.986	9.9	9.9	2.45	22	19	25	1	23.22

は鉄筋応力と一次的な関係にあり、D51 供試体では見かけの鉄筋応力 $\sigma_s = 1800 \text{ kg/cm}^2$ の時のひび割れ幅は、 0.15 mm ($P_e = 10\%$)、 0.27 mm ($P_e = 5\%$) 程度であつた。また、最大ひび割れ間隔とその次に大きい間隔に狭まれたひび割れ幅が、最大ひび割れ間隔に於ける鉄筋の伸びに等しいものと仮定して、(2)式を利用すれば次の(3)式となる。

$$\omega = (0.304/P_e + 2.54) \sigma_s / E \quad (3) \quad (\omega: \text{ひび割れ幅 (cm)})$$

σ_s : 鉄筋応力 (kg/cm^2) E : 鉄筋のヤング係数 $= 2.1 \times 10^6$ (kg/cm^2)。D51 ($P_e = 5\%$) について、(3)式で求めた直線を図-4 に示すが、ほぼ実験値と一致した。



3. 定着性能試験
 3-1 実験計画 引抜き試験での応力状態は、RC 部材中の鉄筋の定着状態に類似していると云われるが、供試体形状、実験条件などによってかなり影響されると考えられる。本実験では太径鉄筋 D51 の定着性能の総合的な評価を行なうため、日本コンクリート会議の引抜き試験案をベースに次の二種の実験を行なつた。＜実験Ⅰ＞主効果があり明らかなでない因子の付着強度に及ぼす影響の実験計画法〔直交配列 $L_6(2^{15})$ 〕による検討。＜実験Ⅱ＞明らかに主効果があると思われる因子の付着強度に及ぼす影響度合の確認。

3-2 実験条件および供試体 実験Ⅰの実験因子と水準を表-4、 $L_6(2^{15})$ による割付けを表-5、実験条件を表-6に、実験Ⅱの実験条件を表-7に示す。使用鉄筋およびコンクリートの諸元を表-8、供試体形状を図-5に示す。

3-3 実験方法 載荷試験は 200 ミリレー型試験機にて行ない、自由端滑り量を $1/1000 \text{ mm}$ ダイヤルゲージで測定した。

表-4 実験Ⅰの実験因子と水準

実験因子	水準
A 供試体形状	A ₀ 25×25×25 cm
	A ₁ 25×25×35 cm
B 鉄筋補強筋 (せん断筋)	B ₀ 5本、筋力径 25 mm
	B ₁ " 15 "
C 引張方向	C ₀ 鉄筋の配筋方向
	C ₁ 逆方向
D 載荷速度	D ₀ 2D
	D ₁ 3D
E 荷重速度	E ₀ 10 ⁻² mm/min
	E ₁ 20 "
F 鉄筋種類	F ₀ 475 MPa 級 小 (D51)
	F ₁ " 大 (D55)

表-6 実験Ⅰの実験条件

No	A	B	C	D	E	F
1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0
3	0	1	1	0	0	0
4	1	1	0	0	1	0
5	1	0	1	1	1	0
6	0	0	0	1	0	0
7	1	1	0	1	1	0
8	0	1	1	1	0	0
9	1	0	1	0	0	0
10	0	0	0	0	1	1
11	1	1	0	0	0	1
12	0	1	1	0	1	1
13	1	0	0	1	1	1
14	0	0	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1	1
16	0	1	0	1	0	1

表-5 直交配列 $L_6(2^{15})$ の割付け

列	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
基本表示	a	b	ab	c	ac	bc	abc	d	ad	bd	abd	cd	acd	bcd	abcd
要因	A	B		D	E	F		F	F	F		C			C

繰返し数 $n=4$

表-7 実験Ⅱの実験条件

No	追加実験条件	他実験条件 (表-1 準ずる)	数量
1	$\sigma_c = 392 \text{ kg/cm}^2$	A ₀ B ₀ C ₀ D ₀ E ₀ F ₀	4
2	垂直打	A ₀ B ₀ C ₀ D ₀ E ₀ F ₀	"
3	荷重速度 3 ton/min	A ₀ B ₀ C ₀ D ₀ F ₀	"
4	補強用鋼管	C ₀ D ₀ E ₀ F ₀	"
		B ₀ C ₀ D ₀ E ₀ F ₀	"
5	練目 (3 号)	A ₀ B ₀ C ₀ D ₀ E ₀ F ₀	"

表-8 供試体諸元

鉄筋	降伏点 (kg/cm^2)	引張強さ (kg/cm^2)	伸び (%)
(1)	40.2	59.7	31
(2)	35.2	54.0	25

コンクリート ($\sigma_c = 392 \text{ kg/cm}^2$)

縦筋最大引張	可圧 (%)	C (%)	S (%)	S/A (%)	C-A (%)	圧縮強度 (kg/cm^2)
(mm)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
25	43.6	39.7	173	67.9	37.6	1130

図-6に載荷装置を示す。なお、供試体の載荷順序は乱数表を用いて決定し、付着強度の算定は(4)式によつた。

$$\tau = P / \pi d \ell \quad (5)$$

ここで、 τ : 付着強度 (kg/cm^2) P : 引抜荷重 (kg)
 d : 鉄筋直径 (cm) ℓ : 埋込み長 (cm)

3-4 実験結果および考察 ①実験Ⅰ: 各因子の主効果および付着強度に対する寄与率を図-7

図-8に示す。自由端滑り量 $S = 0.25\text{mm}$ 付近で

付着強度に与える埋込み長の影響が逆転してあり

$S = 0.25\text{mm}$ 以上では埋込み長 35cm の方が付着強度

が大きい。らせん筋外径の影響は一貫して $15\text{cm}\phi$ の時付着強度

が大きく、特に最大付着強度 (max) 付近ではその影響が顕著である。載荷板孔径は $2D$

の方が $3D$ の時よりも付着強度が大きくなり、寄与率

は自由端滑り量が初期の段階で大きい。鉄筋フシ

のピッチの影響は、 $S = 0.20\text{mm}$ 付近より表われ、

ピッチの小さい方が付着強度が大きい。引抜き方向

および荷重速度の影響は本実験の範囲では差が認められなかつた。本実験で取り上げた因子のうち、最大付着強度が得られるような条件 $A_0 B_1 D_0$ を選び、鉄筋(1), (2)について推定すると各々、 $128.9 \pm 3.5 \text{ kg/cm}^2$, $121.7 \pm 3.5 \text{ kg/cm}^2$ となる。②実験Ⅱ: 実験結果を図-9に示す。供試体を鋼管で補強したものは、しないものに比べて最大付着強度は $1.5 \sim 1.6$ 倍となつた。コンクリート強度の違いによる最大付着強度は、コンクリート強度比 1.07 に対し、約 1.06 となりほぼ同等の比率となつた。締固め法の違いによる影響は、手突きの方が最大付着強度が大きくなり、振動機使用との比は 1.07 となつた。このことは、手突きでも充分な締固めによつて、高い付着強度が得られることを示しているようである。コンクリート打設時の鉄筋位置および載荷速度の影響は本実験の範囲ではほとんど差が認められなかつた。

4. 結 論 本実験より次のことが云える。①本実験に使用の太径鉄筋 $D51$ のひび割れ性能は、細径の延長と考えて良い。②引抜き試験において付着強度に与える影響の大きい実験条件としては、埋込み長、割裂補強法、載荷板孔径である。

(参考文献) 土木材料試験 (技報堂): 「鉄筋コンクリート部機引張部のひび割れに関する研究」 コンクリートライブラリー No 14 (土木学会): 実験計画法上, 下 (丸善)

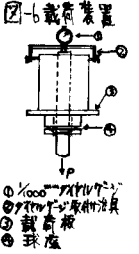
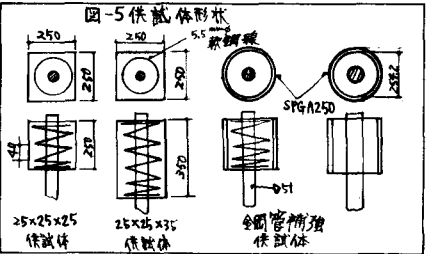


図-7 各因子の主効果

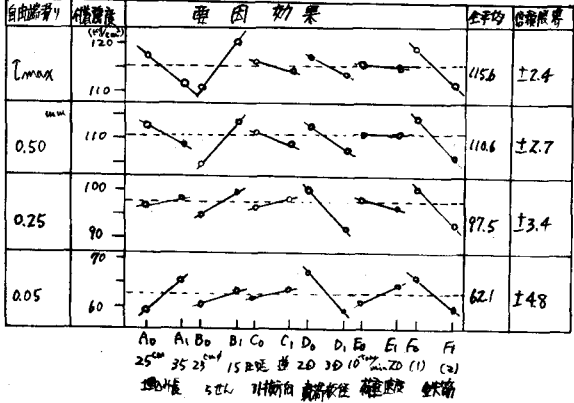


図-8 実験因子の付着能力に対する寄与率

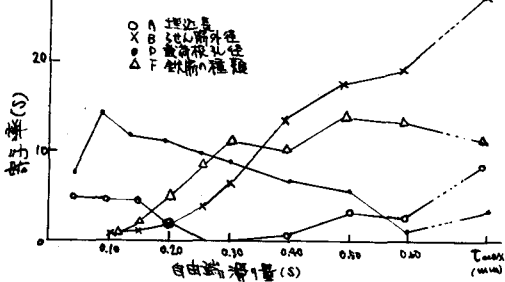


図-9 実験Ⅱの実験結果

