

高張力鉄筋のコンクリート部材への適用に関する研究

京都大学 正員 岡田 清 正員 小林和夫
 京都大学 学生員 青木 誠 学生員 山田真人
 西松建設 正員の東辻 潔

1. まえがき 本研究は、高張力鉄筋（公称 $\sigma_{sy} \geq 60 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_{su} \geq 70 \text{ kgf/mm}^2$ ）を主引張鉄筋として用いた RC および III 種 PC はりの曲げ性状、特にひびわれ幅・分散性、たわみなど使用状態の基本的特性や終局耐力、じん性などを種々要因下におけるはりの載荷試験によって検討したものである。

2. 試験概要 載荷試験は 4 シリーズからなり、シリーズ 1 では主鉄筋の配置間隔と横溶接筋の有無により 12 種類、シリーズ 2 では側方かぶり厚、高張力鉄筋と普通鉄筋との比較により 8 種類、シリーズ 3 では断面高により 6 種類、シリーズ 4 では導入プレストレスの大きさにより 9 種類、合計 36 体のはりを作製した。その種類を表-1 に示す。

コンクリートの設計基準強度は 450 kgf/cm^2 とした。主鉄筋には、高周波熱錬社製のインデントタイプの高張力鉄筋 $\phi 7.4$ ($\sigma_{sy}=70$, $\sigma_{su}=82 \text{ kgf/mm}^2$), $\phi 11$ ($\sigma_{sy}=75$, $\sigma_{su}=89 \text{ kgf/mm}^2$) および一部のはりに $\phi 10$ ($\sigma_{sy}=37 \text{ kgf/mm}^2$) を使用した。なお、シリーズ 1 の横溶接筋有のはりは、主鉄筋に 30 cm ピッチで $\phi 6$ 普通丸棒を溶接した。また、シリーズ 4 の III 種 PC はりの PC 鋼棒としては下縁プレストレスが 25, 50, 75 kgf/cm^2 に対してそれぞれ B 種 1 号の $\phi 9.2$, $\phi 11$, $\phi 13$ を用いた。供試体の断面を図-1 に示す。

載荷試験は対称 2 点載荷により行ない、主鉄筋位置のひびわれ幅、スパン中央たわみ、上縁コンクリート・主鉄筋・PC 鋼棒のひずみを測定した。

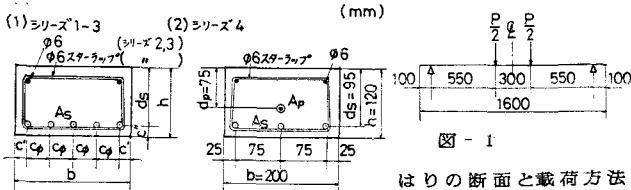


図-1 はりの断面と載荷方法

表-1 はりの種類と載荷試験結果

(1) シリーズ 1 ($b \times h \times l = 350 \times 100 \times 1600 \text{ mm}$, $c_s = 25 \text{ mm}$, $c_b = 25 \text{ mm}$, $d_s = 75 \text{ mm}$)													
はりの種類	As	Cs	Ps	8s	試験方法	破断荷重	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$
1	5 $\phi 7.4$	75	0.76	0.12			1.21	4.48	3.57	4.16	1.25	1.08	
2	7 $\phi 7.4$	50	1.07	0.17			1.26	5.93	4.87	5.65	1.22	1.05	
3	9 $\phi 7.4$	37.5	1.37	0.21			1.49	7.50	6.09	7.03	1.23	1.07	
4	2 $\phi 11$	300	0.69	0.12			0.87	4.18	3.48	4.07	1.20	1.03	
5	3 $\phi 11$	150	1.03	0.17			1.08	5.56	5.16	5.89	1.08	0.94	
6	4 $\phi 11$	100	1.37	0.23			1.30	7.24	6.54	7.55	1.11	0.96	
7	5 $\phi 7.4$	75	0.76	0.11			1.30	4.36	3.58	4.18	1.22	1.04	
8	7 $\phi 7.4$	50	1.07	0.15	30 $\phi 6$		1.36	5.64	4.90	5.69	1.15	0.97	
9	9 $\phi 7.4$	37.5	1.37	0.20	30 $\phi 6$		1.69	7.30	6.15	7.11	1.19	1.03	
10	2 $\phi 11$	300	0.69	0.11			0.90	4.15	3.50	4.09	1.19	1.01	
11	3 $\phi 11$	150	1.03	0.16			1.08	5.78	5.09	5.93	1.14	0.98	
12	4 $\phi 11$	100	1.37	0.21			1.36	7.08	6.60	7.63	1.07	0.93	
(2) シリーズ 2 ($b \times h \times l = 200 \times 120 \times 1600 \text{ mm}$, $C_s = 25 \text{ mm}$, $d_s = 75 \text{ mm}$)													
はりの種類	As	Cs	Ps	8s	試験方法	破断荷重	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$
13	2 $\phi 7.4$	25	150	0.42	0.07	7.5	0.69	2.46	1.86	2.18	1.32	1.13	
14	3 $\phi 7.4$	25	75	0.63	0.10	7.5	0.88	3.41	2.47	3.20	1.24	1.07	
15	3 $\phi 11$	25	75	1.42	0.24	7.5	1.12	6.85	6.17	7.12	1.11	0.96	
16	3 $\phi 10$	25	75	1.13	0.09	7.5	1.09	3.12	2.47	3.29	1.14	0.95	
17	2 $\phi 7.4$	50	100	0.42	0.07	7.5	0.84	2.45	1.86	2.18	1.32	1.12	
18	3 $\phi 7.4$	50	50	0.63	0.10	7.5	0.73	3.38	2.74	3.20	1.23	1.06	
19	3 $\phi 11$	50	50	1.42	0.22	7.5	0.86	7.33	6.26	7.24	1.17	1.01	
20	3 $\phi 10$	50	50	1.13	0.09	7.5	0.71	3.22	2.62	3.25	1.23	0.99	
(3) シリーズ 3 ($b = 100 \text{ mm}$, $l = 1600 \text{ mm}$, $C_s = 25 \text{ mm}$, $C_b = 25 \text{ mm}$, $C_p = 50 \text{ mm}$)													
はりの種類	h (mm)	As	ds	Ps	8s	試験方法	破断荷重	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$
21	100	2 $\phi 7.4$	75	1.07	0.15	6	0.29	1.69	1.40	1.63	1.21	1.04	
22	150	2 $\phi 7.4$	125	0.64	0.09	10	0.49	2.74	2.41	2.82	1.14	0.97	
23	200	2 $\phi 7.4$	175	0.46	0.06	13	0.96	4.41	3.42	4.02	1.29	1.10	
24	100	2 $\phi 11$	75	2.40	0.37	6	0.51	3.23	3.02	3.42	1.07	0.94	
25	150	2 $\phi 11$	125	1.44	0.22	10	0.63	5.90	5.48	6.34	1.08	0.93	
26	200	2 $\phi 11$	175	1.03	0.16	13	1.26	8.69	7.94	9.25	1.09	0.94	
(4) シリーズ 4 ($b \times h \times l = 200 \times 120 \times 1600 \text{ mm}$, $C_s = 25 \text{ mm}$, $C_b = 25 \text{ mm}$, $C_p = 150 \text{ mm}$)													
はりの種類	As	Ap	Ps	8s	試験方法	破断荷重	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$	$F_u(t)$
27(13)	2 $\phi 7.4$	0	0	0.42	0.07	7.5	0.69	2.46	1.86	2.18	1.32	1.13	
28	2 $\phi 7.4$	$\phi 11$	50	0.42	0.22	7.5	1.42	4.55	4.29	4.66	1.06	0.98	
29(14)	3 $\phi 7.4$	0	0	0.63	0.10	7.5	0.88	3.41	2.74	3.20	1.24	1.07	
30	3 $\phi 7.4$	$\phi 9.2$	25	0.63	0.21	7.5	1.41	4.99	4.41	4.91	1.13	1.02	
31	3 $\phi 7.4$	$\phi 11$	50	0.63	0.25	7.5	1.65	5.84	5.05	5.54	1.16	1.05	
32	3 $\phi 7.4$	$\phi 13$	75	0.63	0.31	7.5	2.72	6.54	5.81	6.33	1.13	1.03	
33	2 $\phi 11$	0	0	0.95	0.15	7.5	1.01	4.87	4.34	5.06	1.12	0.96	
34	2 $\phi 11$	$\phi 9.2$	25	0.95	0.27	7.5	1.52	6.84	5.82	6.52	1.18	1.05	
35	2 $\phi 11$	$\phi 11$	50	0.95	0.31	7.5	1.89	7.04	6.40	7.07	1.10	1.00	

$$q_s = P_s \cdot \sigma_{sy} / \sigma_c \quad q_p = P_p \cdot \sigma_{sy} + P_{ps} \cdot \sigma_{py} / \sigma_c$$

Kiyoshi OKADA, Kazuo KOBAYASHI, Makoto AOKI, Masato YAMADA, Kiyoshi Higashitsuji

3. 結果・考察

曲げひびわれ発生荷重と破壊荷重を表-1に示す。表-1には高張力鉄筋の降伏点、引張強さのそれぞれに基づいて算定した

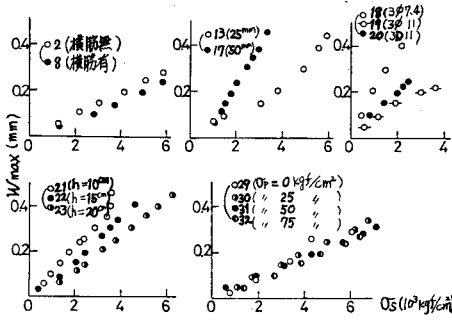


図-2 最大ひびわれ幅と鉄筋応力の関係

曲げ破壊荷重の計算値 P_u , P_u' も併記したが、いずれの実験値 P_u も P_u' に近いことが認められる。

図-2に最大ひびわれ幅と主鉄筋応力の関係の一例を示すが、高張力鉄筋を用いた部材のひびわれ幅を制御する点からは、横溶接筋の配置や適量のプレストレス導入が有効であること、また表面ひびわれ幅は側方がぶりが増大すると大きくなることなどが認められる。

また、図-3(シリーズ1)によると、主鉄筋の配置間隔が大きくなるにともない鉄筋応力を同一とした場合のひびわれ幅は増大することが認められる。なお、図-2(2)には CEB-FIP Model Code の設計式による算定値を示すが、実験値は算定値と類似の傾向を呈し、本実験に用いた高張力筋では同式の high bond bar に対する値に近い。

図-4に除荷時 (ϵ_c : 上縁コンクリートひずみ) のたわみ回復率を示すが、横溶接筋の配置や適量のプレストレスの導入により変形回復性が改善されることが示される。

図-5は鋼材指数 γ とじん性率 μ (最大耐力の90%に相当する荷重レベルでのフォーリングブランチ領域と最大耐力前のたわみ比) の関係を示すが、 γ が0.1, 0.2, 0.3に対する γ の下限値はそれぞれ3, 2, 1.5となっている。

終局曲げ耐力を同一とした場合、ひびわれ発生後の剛性低下の点からは高張力鉄筋の使用は普通異形鉄筋に比較して不利となることが認められたが、変形が特に問題とされる部材では少量のプレストレスの導入がきわめて有効である。また、本実験に関する限り、高張力鉄筋と同径の普通異形鉄筋と比較した場合、両者でひびわれ性状の間に明瞭な差異は認められなかった。

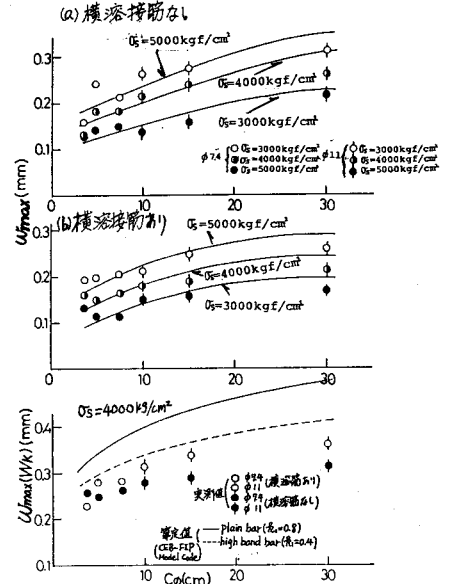


図-3 最大ひびわれ幅と鉄筋配置間隔の関係

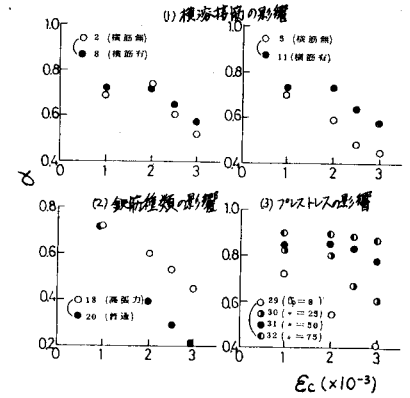


図-4 変形回復率

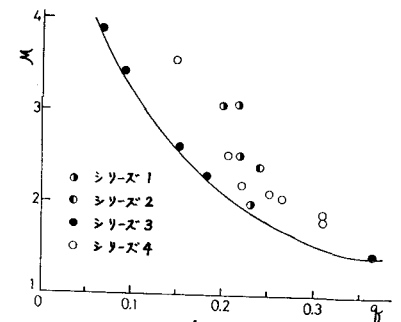


図-5 じん性率と鋼材指数の関係