

[112] 疲労荷重を受ける PC ばりのスターラップの挙動

正会員 ○松下 博通 (九州大学工学部)

正会員 大和 竹史 (福岡大学工学部)

足立 徹 (九州大学大学院)

1 まえがき

RCおよびPCばりが疲労荷重を受ける場合、スターラップの疲労破断によりはりが破壊することがある。RCばりにおけるスターラップの疲労特性については、比較的多くの実験が行われ、すでにスターラップの最大荷重用時ひずみおよびひずみ振幅の算定式が明らかにされているが、PCばりにおけるスターラップの疲労特性に関する報告はみあたらない。そこで本研究は、RCばりおよびプレストレスを変化させたPCばりの疲労試験を行ない、スターラップの疲労特性について検討したものである。

2 実験概要

本研究に用いた実験供試体は、RCばり2体、PCばり3体の計5体であり、その断面形状は図-1に示すとおりである。ただし、RCばり(Aシリーズ)にはPC鋼棒は配置していない。コンクリートの配合を表-1に、鋼材の引張試験結果を表-2に示す。PCばりは、有効プレストレスを三角形分布とし、下縁で 100 kg/cm^2 のもの(Bシリーズ)を2体、 50 kg/cm^2 のもの(Cシリーズ)を1体用いた。載荷方法は、せん断スパンが90cmとなるような2点載荷とした。試験部分はスパンの片側とし、他の部分にはスターラップを

表-1 コンクリートの配合

W/C (%)	$G_{\max}$ (mm)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				Poz. NL-4000 (cc)	Slump (cm)	Air (%)
			W	C	S	G			
45	15	40	163	362	710	1262	7241	4±1.5	2±1.0

表-2 鋼材の引張試験結果

	A_s (cm ²)	σ_{sy} (kg/cm ²)	σ_{su} (kg/cm ²)	E_s (kg/cm ²)
主鉄筋 (SD 35, D 25)	5.067	3880	5893	2.1×10^6
組立鉄筋 (SD 30, D 10)	0.713	3604	5271	2.1×10^6
スターラップ (SR 24, $\phi 6$)	0.246	2505	3280	2.1×10^6
PC鋼棒 (SBPR 95/110, $\phi 26$)	5.474	10486	12200	2.05×10^6

多く配置して、試験部分でせん断破壊する様に設計した。試験部分には7組のスターラップを配置し、そのすべについて図に示す8か所に抵抗線ひずみゲージをはりつけた。疲労試験時の荷重レベルは、疲労試験に先立ち同時に打設したはりの静的載荷試験を行い、その破壊せん断力に対する作用せん断力の比として定めた。繰返し荷重は1~2Hzの正弦変化荷重で、所定の繰返し回数の後に試験機を一担停止させ、静的に載荷、除荷を行い各荷重段階毎のひずみを測定し、その後再び繰返し載荷を行つた。

3 実験結果および考察

(1) 実験結果

表-3に疲労試験結

果を示す。表中のコンクリート分担せん断力 V_{co} は、式(1)によつて計算したが、式中の軸力の影響を考慮するための係数 β_n はスパン内で一定ではないので、 V_{co} の範囲を示している。斜めひびわれ発生

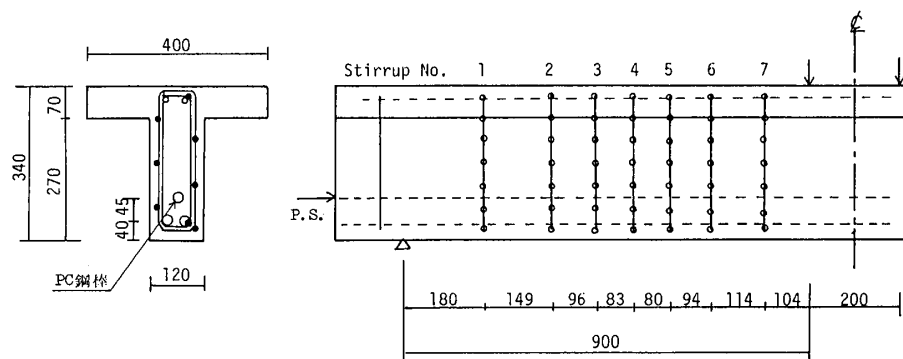


図-1 供試体

せん断力 V_c は、測定スターラップひずみが急増する時のせん断力として定めた。

表-4に、スターラップ破断位置を示す。スターラップの破断は、多数のスターラップにおいてみられるが、その大部分は上フックあるいは下フックの折曲げ部周辺で起こった。1組のスターラップで2か所の破断が起る場合、すべて、1本につき1か所の破断がみられた。B-1では、わずか1本の疲労破断しか見られず、同一荷重レベルのA-1に比べ、疲労寿命も短くなった。

(2) スターラップのひずみ性状

図-2, 3に、A-1, B-2供試体のひびわれ性状、スターラップの最大荷重作用時、残留ひずみおよびスターラップ破断位置を示す。斜めひびわれはいずれの供試体にも2~3本程度、載荷点側から支点側に順次発生した。スターラップひずみは新たなひびわれが発生するとその近傍で急増し、ひびわれ本数が安定してくると付着の劣化により徐々に増大してゆく。これらの作用により、試験部分中央の複数のひびわれと交差するスターラップでは、繰返し回数とともに高さ方向ひずみ分布が平均化する傾向がみられる。スターラップの破断は、はりが破壊に至るまでには、数本のスターラップでみられることから、スターラップの応力は、スパン方向に再分配されると考えられる。以上より、スターラップの応力状態からはりの疲労破壊を推定する場合、最も応力状態の厳しいか所を問題とするよりも、はり全体の平均的な応力状態から論じるのが適当であろう。したがって本研究では、RCばかりとPCばかりにおけるスターラップの挙動の比較は、平均ひずみを用いて行なつた。ひびわれ性状を見ると支点、載荷点近くのスターラップは交差するひびわれ本数が少ないが、もしスパンを大きくすれば増加すると考えられ、支点・載荷点の影響を受けているとみなせる。ここでは、支点、載荷点の影響を受けない区

表-3 試験結果

供試体	下縁有効ブレストレス (kg/cm ²)	荷重レベル (%)	圧縮強度 (kg/cm ²)	V_{co} (kg)	V_c (kg)	V_y (kg)	V_u (kg)	疲労寿命 N_u
A-1	0	10 - 70	469	4541	4500	9319	9000	2.55×10^5
A-2		10 - 77						1.57×10^5
B-1	100	10 - 70	458	5975 -6886	8500	10748 -11662	17000	3350
B-2		10 - 55						3.31×10^5
C-1	50	10 - 55	627	5837 -7649	8500	10610 -12422	18000	2.0×10^5

$$V_{co}: \text{コンクリート担せん断力} \quad V_{co} = 0.80 f_c^{1/3} (1 + \beta_d + \beta_p + \beta_n) b w d^{1/4} \quad (1)$$

$$V_y: \text{スターラップ降伏時せん断力} \quad V_y = V_{co} + A_w f_{wy} z / s$$

$$V_c: \text{斜めひびわれ発生せん断力 (実験値)} \quad V_u: \text{破壊時せん断力 (実験値)}$$

表-4 スターラップ破断位置

供試体	破断位置	スターラップ							計
		1	2	3	4	5	6	7	
A-1	上フック部					1	1		2
	ひびわれ部								0
	下フック部	1	2	1					4
A-2	上フック部					1			1
	ひびわれ部		1	1					2
	下フック部	2	1		1				4
B-1	上フック部								0
	ひびわれ部				1				1
	下フック部								0
B-2	上フック部	1	1	1	1	1	1	1	6
	ひびわれ部	1							2
	下フック部	2	1	1	1				4

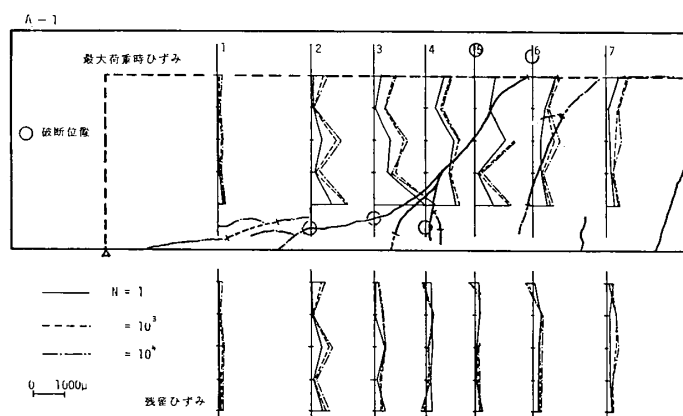


図-2 ひずみ分布 (A-1)

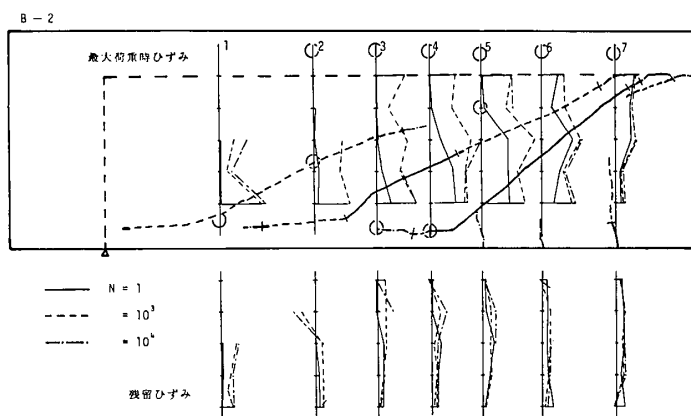


図-3 ひずみ分布 (B-2)

間のスターラップとして、多くのひびわれと交差し、ひずみ分布が平均化される、試験部分中央付近の3本を取り、その直線部5か所の測定ひずみの平均値として平均スターラップひずみを求めた。後述する平均スターラップひずみの算定式(式(2))においても、以上の様な支点、載荷点の影響は、係数 $\bar{\beta}_x$ を導入することにより考慮されている。

(3) PCばりにおける平均スターラップひずみの算定

図-4, 5, 6, 7に、各供試体における最大荷重時、最小荷重作用時および除荷時の平均スターラップひずみの繰返し回数に伴う変化を示す。最大荷重時平均スターラップひずみの増加勾配は、RCばりよりもPCばりの方が急になつている。岡村らは、RCばりにおける最大荷重時平均スターラップひずみの算定式として次式を提案している。

$$\bar{\epsilon}_{wmax} = \frac{\bar{\beta}_x \{ V_{max} - V_{co} \times 10^{-0.036(1-r^2)\log N} \}}{A_w E_s z/s} \quad (2)$$

ここに、 $\bar{\beta}_x$: 支点、載荷点の影響を表わす低減係数 A_w : 距離 s の間のスターラップの断面横 E_s : スターラップの弾性係数 N : 繰返し回数 V_{co} : $N=1$ の時のコンクリート分担せん断力 V_{max} : 最大作用せん断力 V_{min} : 最小作用せん断力 r : V_{min}/V_{max} z : 応力中心間距離

式(2)が、PCばりにも適用できるかどうかを検討する。

平均スターラップひずみの実験値は前述の様に求めてしたので、計算値は $\bar{\beta}_x = 1$ として算出し、 V_{co} として表-2の設計用値 V_{co} を用いた場合を実線で、実際のひびわれ発生せん断力 V_c を用いた場合を破線で示す。これらより、 V_c を用いた場合は、実験値と計算値は良く一致していると思なせる。したがって、PCばりに配置したスターラップの最大荷重時平均ひずみの算定式として、コンクリート分担せん断力 V_{co} にプレストレスの影響を考慮することにより、RCばりの式(2)を適用して良いと思われる。なお、最小荷重時ひずみお

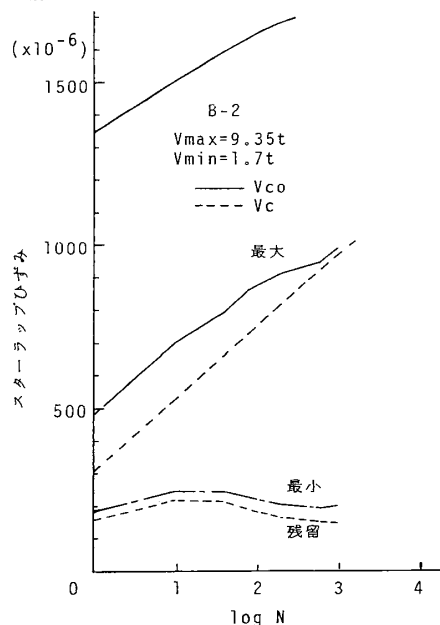


図-6 平均ひずみと $\log N$ の関係

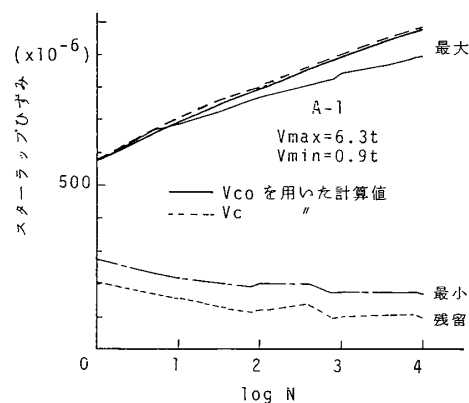


図-4 平均ひずみと $\log N$ の関係

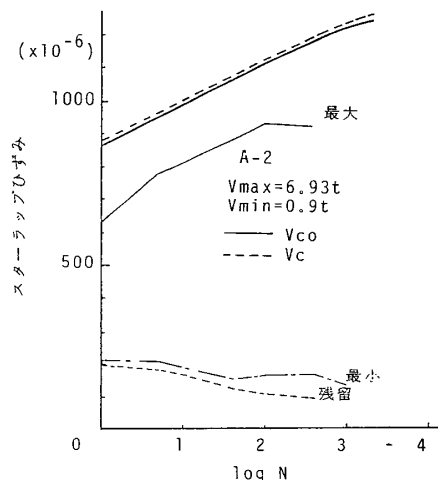


図-5 平均ひずみと $\log N$ の関係

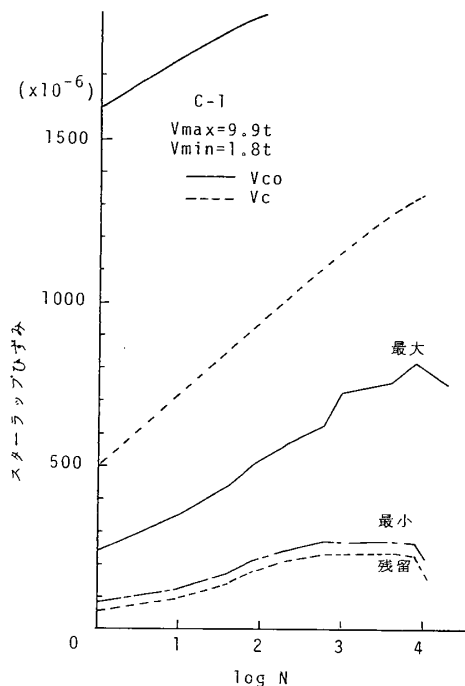


図-7 平均ひずみと $\log N$ の関係

よび残留ひずみの変化については、RCはり、PCはりとも一定の傾向はみられなかつた。

(4) 折り曲げ部周辺のひずみ

「限界状態設計法試案」において、スターラップや折曲げ鉄筋などの折曲げ部を有する鉄筋の疲労強度は、直線棒鋼の50%に低減する必要があるとされている。本実験でもスターラップの疲労破断は大部分が折曲げ部で生じた。

図-8, 9, 10は、A-1, B-2, C-1について、直線部の平均ひずみと下フックおよび上フック折曲げ部内側の平均ひずみを比較したものである。折曲げ部内側には、直線部の2~3倍以上にもなる大きな引張ひずみが検出され、ひびわれが近くで生じた場合にはひびわれ発生とほとんど同時にスターラップが降伏ひずみを越える現象もみられた。折曲げ部内側で多数の疲労破断がみられるのは、この大きな引張ひずみと密接な関係があると思われる。

4 結 論

以上、本研究で明らかになつたことをまとめると次のようである。

(1) 支点、載荷点から離れたスターラップの高さ方向ひずみ分布は、多数のひびわれと交差し、繰返し荷重により付着が劣化することにより平均化する傾向がみられる。

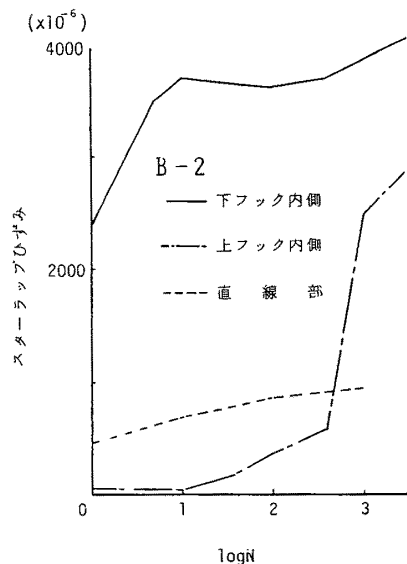


図-9 折曲げ部のひずみ

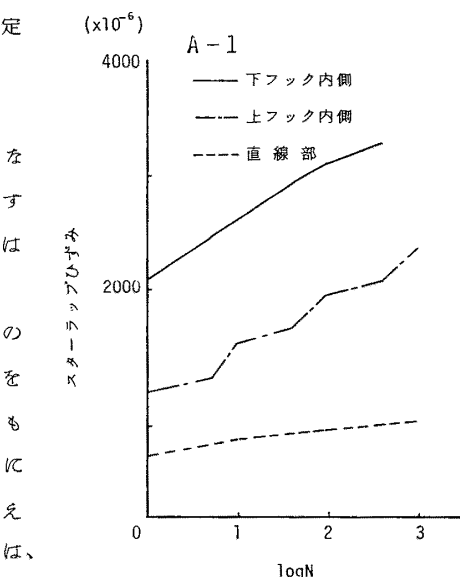


図-8 折曲げ部のひずみ

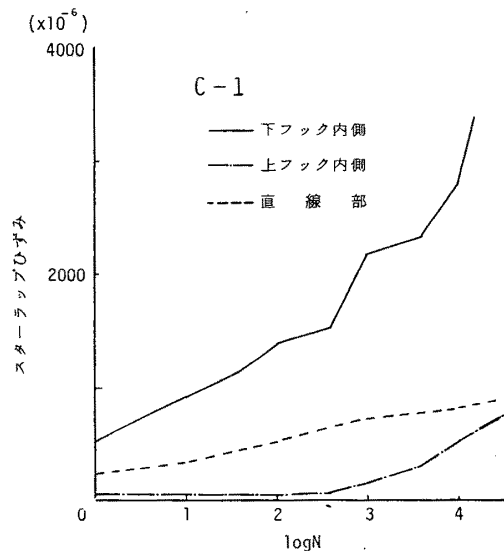


図-10 折曲げ部のひずみ

(2) PCはりにおけるスターラップの最大荷重時平均ひずみの算定式としては、コンクリート分担せん断力 V_{co} に軸力の影響を考慮すれば、式(2)を適用できる。

(3) 残留ひずみおよび最小荷重時ひずみの繰返し回数に伴う変化には、一定の傾向はみられなかつた。

(4) スターラップの折曲げ部内側には、直線部の2倍以上の大きな引張ひずみが生じ、多くのスターラップが折曲げ部で破断する。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート構造の限界状態設計法試案、コンクリートライブラリー第48号
- 2) H.Okamura and S.A.Farghaly: Shear design of reinforced concrete beams for static and moving loads, Proceedings, J S C E, № 287, 1979.7
- 3) 上田多門, 岡村甫: 疲労荷重下のスターラップの挙動、コンクリート工学, 昭和56年5月