

[80] PCばりにおけるスターラップの分担せん断力

正会員 ○松 下 博 通 (九州大学工学部)
足 立 徹 (九州大学大学院)

1. まえがき

せん断補強鉄筋が配置されていない部材にせん断力による斜引張りひびわれが発生すると、その時のせん断力よりごくわずかのせん断力の増加でせん断破壊が生じる。この種の破壊は急激に起るため、はりでは常にある程度以上のせん断補強鉄筋を配置する必要がある。現在のせん断力に対する設計方法では、作用せん断力はコンクリート分担せん断力とせん断補強鉄筋分担せん断力と受けもたれるとされ、疲労荷重に対してはコンクリートの分担せん断力を静的荷重の場合の1/2とするように決められている。軸圧縮力が作用する場合には、コンクリート分担せん断力は係数 $\beta_n = M_o / M_d$ により増大させてあるが、せん断補強鉄筋分担せん断力は変化しないとされている。しかし軸圧縮力が作用すれば斜引張りひびわれの傾斜は緩やかになり、1本の斜引張りひびわれと交差するせん断補強鉄筋が増すためせん断耐力におけるせん断補強鉄筋の効果は大きくなると予想される。また、せん断補強鉄筋は折り曲げ部を有するため、疲労強度を直線棒鋼の50%に低減するよう定められているが、せん断補強鉄筋として用いた場合に折り曲げ部の応力がひびわれ部の応力より小さければ50%の低減は必要なくなる。そこで本研究は、プレストレスを変化させたPCばりの静的載荷試験を行ない、軸圧縮力が作用する場合の断面内せん断力分担を調べるとともに、せん断補強鉄筋の応力性状を明らかにしようとしたものである。

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4体の計6体であり、その断面形状は図-1に示す通りである。ただし、RCばりにはPC鋼棒を配置していない。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ばりの有効プレストレスは三角形分布とし、下縁で50 kg/cm²のもものと100 kg/cm²のものを2体ずつ用いた。載荷方法は、せん断スパンと有効高さの比(a/d)が左スパンで3.0、右スパンで1.0となるような2点載荷を行ない、支承・載荷点の影響を受けない区間が存在する左スパンを試験部分とした。せん断補強鉄筋としてはスター

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. No.8	Slump (cm)	Air (%)
			W	C	S	G			
45	15	45	173	384	786	1098	460 ^{CC} 8	12.0	3.0

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, D25)	5.067	3927	5743	2.1x10 ⁶
組立鉄筋	(SD 30, D10)	0.713	3400	4850	2.1x10 ⁶
スターラップ	(SR 24, φ6)	0.246	2935	3956	2.1x10 ⁶
PC鋼棒	(SBPR 95/110, φ26)	5.474	10486	12200	2.05x10 ⁶

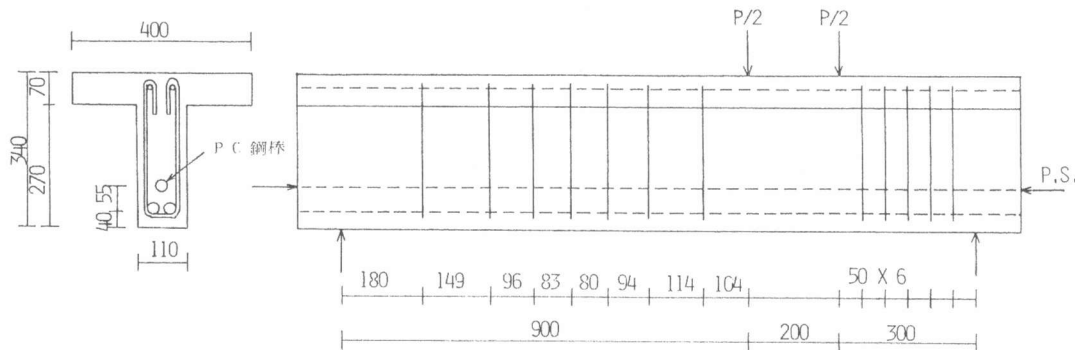


図-1 供試体

ラップのみを用い、左スパンに7組、右スパンに5組配置した。左スパンではすべてのスターラップに抵抗線ひずみゲージを貼り、ひびわれ近傍の応力および高さ方向の応力分布を測定した。実験供試体試験部分のせん断力に対する設計は、支点・載荷点の影響も考慮し、式(1)を用いて行なった。なお、右スパンでは破壊しないようにスターラップを十分に配

表-3 供試体の種類

供試体	圧縮強度 (kg/cm ²)	引張強度 (kg/cm ²)	有効プレストレス (kg/cm ²)		V _c (kg)	V _y (kg)
			上縁	下縁		
R-A	419.9	31.3			4110	8449
R-B	399.0	33.3			4043	8382
P-50-A	429.9	31.3	-3.4	52.0	4947	9286
P-50-B	399.0	33.3	-3.0	52.3	4863	9202
P-100-A	327.0	29.7	-6.1	104.1	5311	9650
P-100-B	409.4	28.1	-6.3	95.0	5508	9847

置した。式(1)で計算した各供試体の V_c、V_y の値を、試験時圧縮強度、引張強度、上縁・下縁の有効プレストレスとともに表-3 に示す。

$$V_y = V_c + A_w f_{wy} (Z/S) / \beta_x \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、V_y : スターラップの降伏時せん断力、f_{wy} : スターラップの降伏点、A_w : 1組のスターラップ断面積、Z : 応力中心間距離、S : スターラップ間隔、β_x : 支承・載荷点の影響を考慮するための低減係数
V_c : コンクリート分担せん断力 $V_c = 0.80 f_{ck}^{1/4} (1 + \beta_d + \beta_p + \beta_n) bwd$ ここに、f_{ck} : コンクリートの圧縮強度、β_d = $\sqrt{100/d} - 1 \geq 0$ (d : cm)、β_p = $\sqrt{100P_w} - 1 \leq 0.73$ 、P_w : 鉄筋比 (= A_s / bwd)、β_n = 2M_o / M_u ≤ 1、M_o : 断面内に引張応力を生ずる限界の曲げモーメント、M_u : 断面の終局曲げモーメント

3 実験結果および考察

図-2 に、全ての実験供試体のひびわれ発生状況を示す。プレストレス量が増加するに従いひびわれ発生荷重も増大しているが、ひびわれ発生時の斜引張応力を $\sigma_I = \sigma_x / 2 - \sqrt{(\sigma_x / 2)^2 + \tau^2}$ (ここに、σ_I : 斜引張応力、σ_x : 軸方向応力、τ : せん断応力) により計算したところその値はほぼ 30 kg/cm と一定であった。RC ばかりでは中立軸以下で σ_x を無視すると等せん断力区間では等しい斜引張応力が働くが、PC ばかりでは曲げ引張応力の小さい支点側ほど σ_x が大きいため斜引張応力は小さな値となる。したがって斜引張ひびわれが発生する区間はプレストレス量が多いほど支点から離れてゆく傾向がみられる。また、軸圧縮力が大きいほど斜引張応力方向と部材軸方向のなす角が大きくなるため、ひびわれの傾斜は緩やかになっている。

図-3 に、R-B、P-50-B、P-100-B の断面内せん断力分担を式(1)による計算値とともに示す。

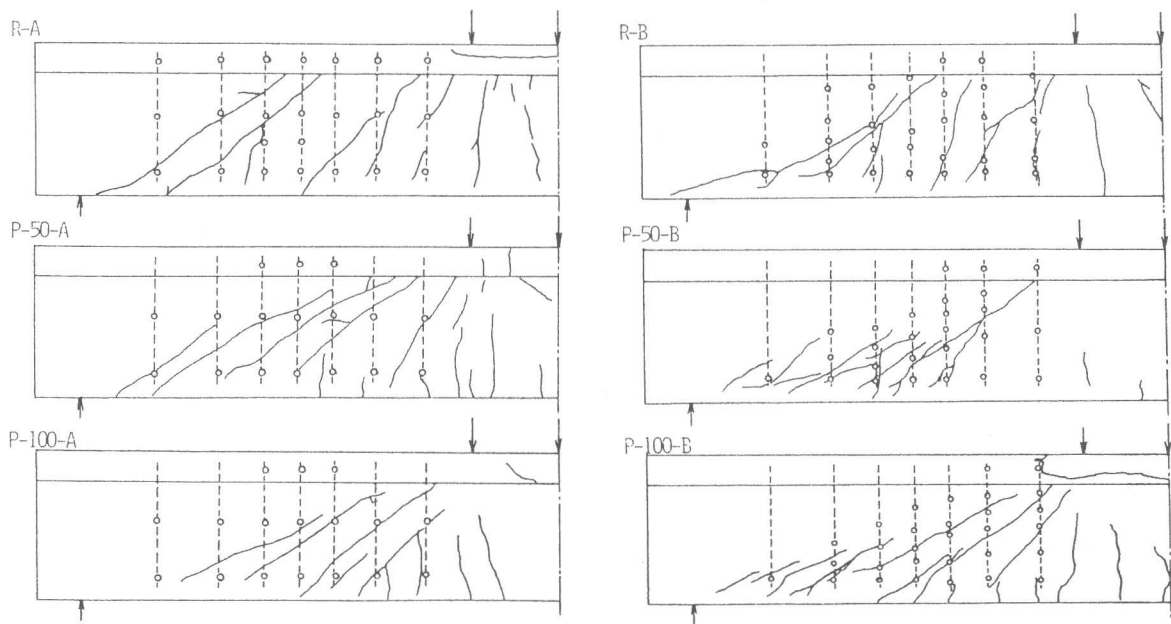


図-2 ひびわれ発生状況

スターラップ分担せん断力は、最終的に最も発達した斜引張ひびわれがスターラップと交差する点に近い位置のスターラップ応力を測定し、その合力として求めたものである。この結果より、作用せん断力が小さい領域では、すべての作用せん断力をコンクリートが負担し、スターラップの分担せん断力はない。しかし、作用せん断力が増大し、コンクリートの分担せん断力が限界値 V_c に達した後では、作用せん断力の増大量がそのままスターラップの分担せん断力の増大量となっており、このことから、 V_c は作用せん断力が V_c を越えた領域でも一定と考えられる。この大きさはR-Bで4.6t、P-50-Bで7.4t、P-100-Bで10.3tであり、表-3に示した式(1)における計算値の V_c に比較して、R-Bではほぼ一致するものの、P-50-Bでは2.5t(計算値の0.5倍)、P-100-Bで4.8t(計算値の0.9倍)の差が認められる。式(1)において軸圧縮力の影響は、係数 β_n によりコンクリート分担せん断力を増すことで考慮されているが、本実験結果から見るかぎりこの係数は、軸圧縮力の効果を十分に評価していないと思われる。一方、スターラップ分担せん断力の限界値 V_s について見てみると、軸圧縮力がせん断補強鉄筋に及ぼす効果は式(1)では考慮されていないが、P-100-Bの V_s は、R-B、P-50-Bの場合より大きな値となっている。これは、R-B、P-50-Bでは1本の斜引張ひびわれが3本のスターラップと交差しているのに対し、P-100-Bでは軸圧縮力によりひびわれの傾斜が緩やかになり4本のスターラップと交差しているからである。

図-4に、1本の斜引張ひびわれに沿ったスターラップの平均応力と作用せん断力の関係を式(1)による計算値とともに示す。プレストレス量が増加すると、ひびわれ発生せん断力の実験値と計算値の差が大きくなるため、スターラップ応力は同じせん断力が作用する時の計算値よりもかなり小さな値となっている。これらのことから軸圧縮力が加わる場合には、 V_s も増大することが期待できよう。

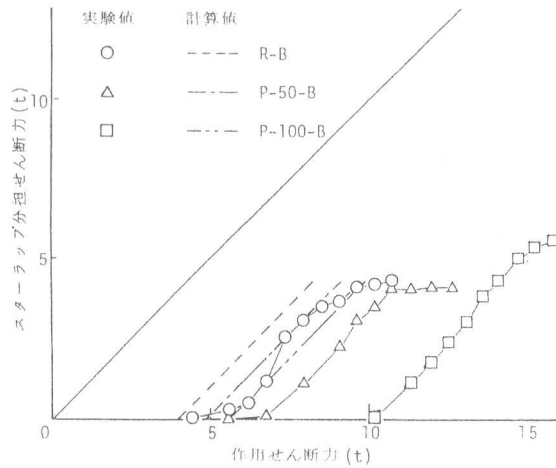


図-3 断面内せん断力分担

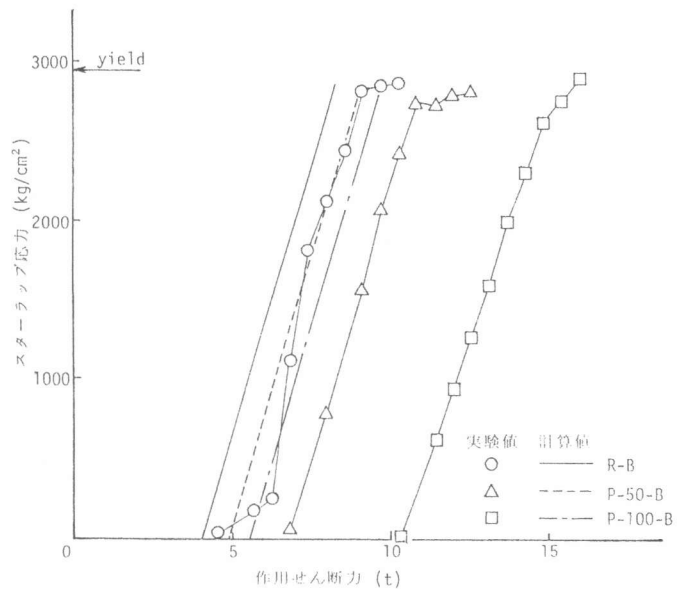


図-4 ひびわれ部のスターラップ応力

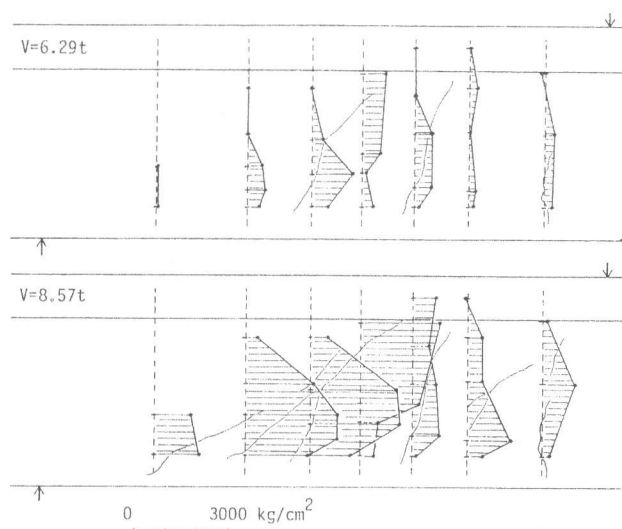


図-5 スターラップ応力の高さ方向分布 (R-B)

図-5.6に、R-B、P-100-Bにおけるスターラップの高さ方向応力分布を示す。R-Bについては、表-3の V_y に近い857tと V_c と V_y の中間の629tの2段階、P-100-Bについては V_y に近い1086tとスターラップが降伏し始めた1429tの2段階のせん断力が作用する時の応力分布とひびわれ状況を示す。供試体高さがあまり大きくないために密な応力分布を捉えるには至らなかったが、これらの結果より、1本のスターラップの応力は全高で一定ではなく、ひびわれ位置で最大となり、ひびわれから離れるに従い減少してゆくような傾向にあることがわかった。したがって折り曲げ部の応力もひびわれと交差しないかぎりそれほど大きな値にはなっていない。

図-7に、R-A、P-50-A、P-100-Aにおける折り曲げ部と腹部中央のスターラップ平均応力を比較する。同じ高さでも応力は大きくばらついているが、平均応力で比べると折り曲げ部の応力は腹部中央より小さいことがわかる。折り曲げ部の応力と腹部中央の応力の比は、R-Aにおいては約85%であるのに対し、P-50-A、P-100-Aにおいては50%程度である。これはプレストレスにより下縁付近の斜引張応力が小さくなるためと思われる。疲労荷重作用下では附着強度が低下しひびわれから離れた位置の鉄筋応力分布は変化しようが、スターラップの疲労強度を折り曲げ部で50%にも低減する必要性については今後検討の必要がある。

4. 結論

本実験で得られた結果をまとめると次のようになる。

- (1) コンクリート分担せん断力は、軸圧縮力が作用する場合、現在の設計方法による計算値より大きくなる。
- (2) 軸圧縮力を受ける場合、斜引張ひびわれの傾斜が緩やかになり、スターラップ分担せん断力は増大する。
- (3) 1本のスターラップにおいて応力は高さ方向に一定ではなく、ひびわれ位置で最大となりひびわれ奥に行くに従い小さくなる分布を示すため、ひびわれから離れた折り曲げ部の応力はかなり小さくなる。

最後に、本研究にあたり実験の労を頂いた瓜生正樹君(住友建設)に謝意を表す。

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, JSCE, No. 287, 1979.7

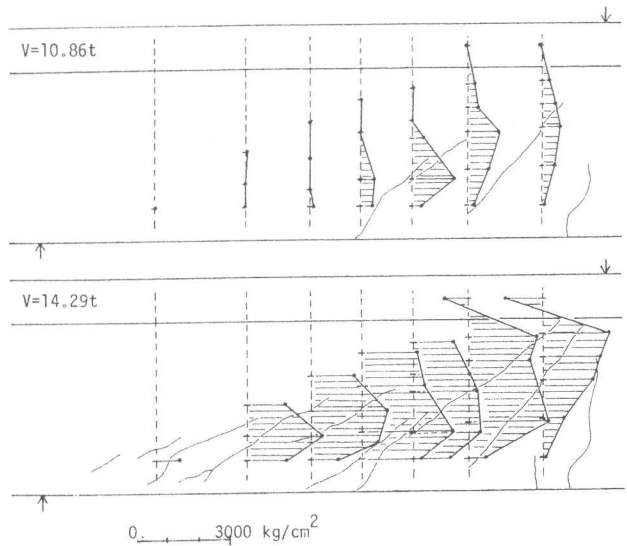


図-6 スターラップ応力の高さ方向分布 (P-100-B)

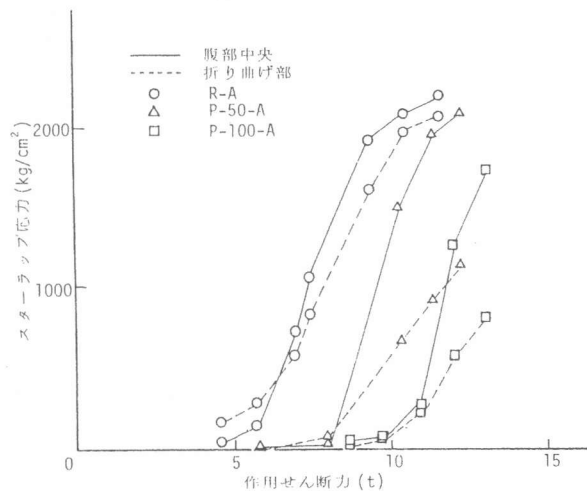


図-7 スターラップの折り曲げ部と腹部中央の応力