

[65] 折曲げ鉄筋の疲労特性

正会員 ○石川 雄一 (東京大学工学部)
 正会員 上田 多門 (東京大学工学部)
 正会員 岡村 甫 (東京大学工学部)

1. はじめに

従来、鉄筋コンクリート部材のせん断疲労が現実の問題となることはなかったが、近年、せん断に対する設計法が進歩し、せん断補強鉄筋の量が減少していく傾向がある。このような状況下では、設計の際、せん断補強鉄筋の疲労強度で、補強量やその配置が決まる場合が増加していくものと予想され、せん断補強鉄筋の疲労特性を知ることの意義は大きいと思われる。

鉄筋コンクリートばりのせん断補強鉄筋は、一般的には、スターラップと折曲げ鉄筋であるが、前者については、疲労特性がすでに解明されており⁽¹⁾、次の3点にまとめられる。

(i) 一定振幅の繰返し荷重下の最大荷重作用時のひずみは、繰返しとともに増加し、次式で算定される。

$$\epsilon_{max} = \frac{\beta_x (V_{max} - V_{co} \cdot 10^{-0.036(1-r^2) \log N})}{A_w E_s Z / S} \quad (1)$$

(ii) 応力振幅は、「作用せん断力とスターラップのひずみとの関係を示した図(V-ε図)で、除荷時には、常に定点(-V_{co}, 0)を直線的に目指し、再載荷時には、式(1)で求まる点を直線的に目指す。」という仮定から、次式により求められる。

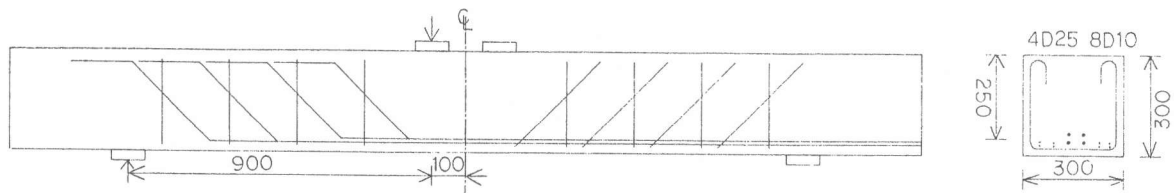
$$\sigma_r = \frac{V_{max} - V_{min}}{V_{max} + V_{co}} \sigma_{max} \quad (2)$$

(iii) いかなる荷重履歴も、それと等価な一定振幅の繰返し荷重に置き換え得る。

折曲げ鉄筋については、折曲げ部において、耐疲労特性が劣ることなどが、実験により指摘されているが⁽²⁾、折曲げ部周辺の応力状態や、せん断補強鉄筋としての疲労特性などを論じた論文は見あたらなかった。そこで、折曲げ鉄筋を有するはりの疲労試験を行ない、スターラップの疲労特性をもとに、折曲げ鉄筋の疲労特性の検討を試みたのである。

2. 実験概要

一方のせん断スパンに折曲げ鉄筋を、他方のそれに45度に傾けたスターラップ(以下、斜めスターラップ)を同様に配置した矩形ばりを2本、さらに、それにスターラップを配置したもの(図1)を1本、図のように載荷して疲労試験を行ない、曲げ上げ直前5cm、曲げ上げ直後7cm、折曲げ中心の内側、外側などのひずみを測定した。



単位 : mm

図1 供試体

3. 疲労荷重下の折曲げ鉄筋の疲労特性

(1) せん断補強鉄筋として折曲げ鉄筋のみを有する場合

2本のはりの実験結果を整理すると、図23のようになる。これより、折曲げ鉄筋の曲げ上げ部のひずみは、折曲げ部からある程度離れた所で、せん断力の影響の大きい範囲では、式(1)をもとに定めた式(3)によって算定可能と考えられる。ここで、折曲げ鉄筋のひずみが、斜めスターラップのそれより大きいのは、曲げ上げによって、鉄筋比が減少していき、 V_{co} が小さくなるためと考えられる。

$$\epsilon_{max} = \frac{\beta_x (V_{max} - V_{co} \cdot 10^{-0.036(1-r^2) \log N})}{(\cos 45^\circ + \sin 45^\circ) A_w E_s Z_s / S} \quad (3)$$

さらに、図2より、スターラップの疲労特性(ii)も、そのまま適用可能で、(iii)も、over-loadingを受けた後は、繰返し載荷の初期には、ほとんどひずみが増加しないという実験結果から、適用可能と考えられる。

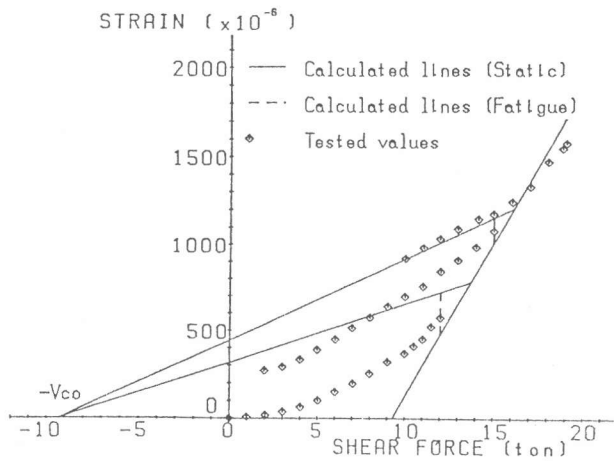


図2 作用せん断力と折曲げ鉄筋の平均ひずみとの関係

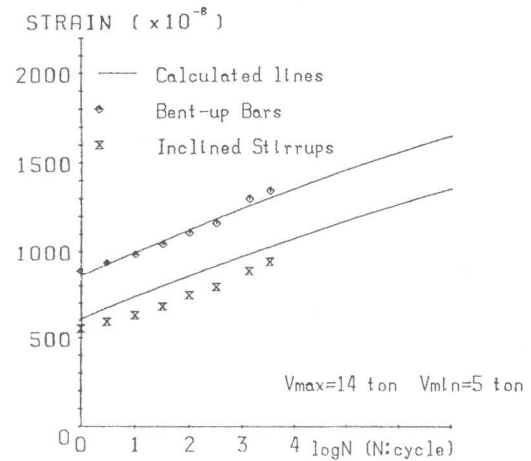


図3 繰返し回数と折曲げ鉄筋の平均ひずみとの関係

(2) せん断補強鉄筋として折曲げ鉄筋とスターラップを有する場合

実験結果を整理すると図4,5のようになり、斜めスターラップのひずみと、スターラップのそれとの比は、ほぼ2:1で、折曲げ鉄筋とスターラップの場合もそれに近い。これは、45度方向の一般的なひずみ場を仮定し、この方向の引張力を折曲げ鉄筋(斜めスターラップ)とスターラップとで受け持ち、コンクリートの圧縮ひずみの影響は小さいと考えれば、説明可能と思われる。この考えが正しいとすると、折曲げ鉄筋、スターラップの最大荷重作用時のひずみは、次の式(4)~(7)から求められる。

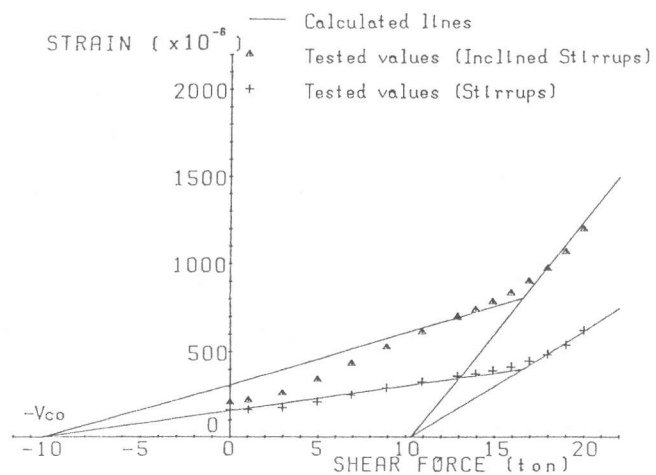


図4 斜めスターラップとスターラップとの比較

$$\epsilon_{smax} = \frac{\beta_x V_{smax}}{A_w E_s Z / S} \quad (4)$$

$$\epsilon_{bmax} = \frac{\beta_x V_{bmax}}{(\cos 45^\circ + \sin 45^\circ) A_w E_s Z / S} \quad (5)$$

$$V_{smax} + V_{bmax} + V_{co} \cdot 10^{-0.036(1-r^2) \log N} = V_{max} \quad (6)$$

$$\epsilon_{smax} : \epsilon_{bmax} = \cos^2 45^\circ : 1 \quad (7)$$

上記の式をもとにして、折曲げ鉄筋とスターラップ、および、斜めスターラップとスターラップのそれぞれについて、両者を合わせた平均ひずみの実測値と理論値との関係を示すと、図6、7のようになり、スターラップの疲労特性(ii)、(iii)も同様に適用可能と考えられる。

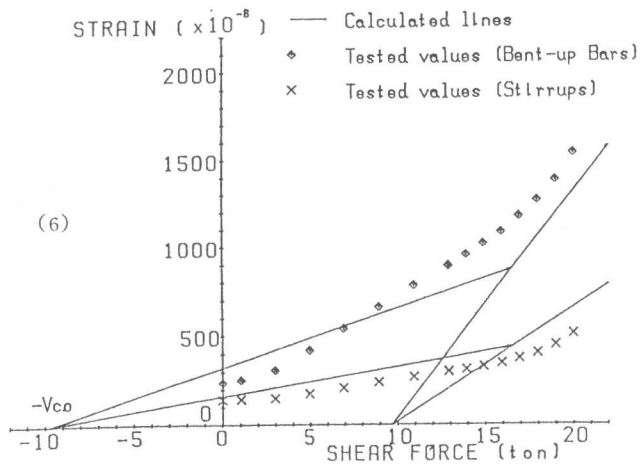


図5 折曲げ鉄筋とスターラップとの比較

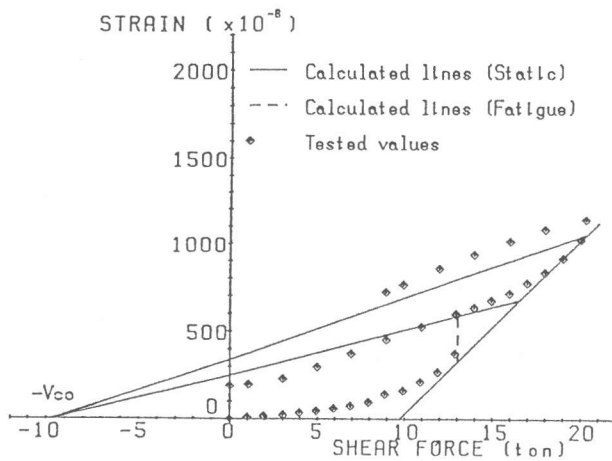


図6 作用せん断力とせん断補強鉄筋(折曲げ鉄筋とスターラップ)の平均ひずみとの関係

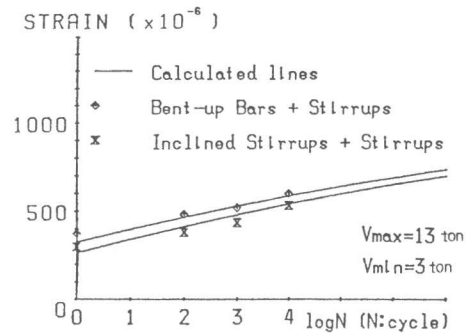


図7 繰返し回数とせん断補強鉄筋の平均ひずみとの関係

(3) 折曲げ鉄筋の折曲げ部周辺の応力状態

(a) 曲げ上げ直後の断面平均応力

$V < V_{co}$ では、斜めスターラップの応力は、断面内での、ひずみの直線分布を仮定した時の曲げ応力と考えるのが妥当と思われる。実際、そのように算出した値は、実測値に比較的近い。しかし、折曲げ鉄筋の同じ位置での応力は、上記の曲げ応力としては、やや過大であることが多い。これは、折曲げ鉄筋の曲げ上げ部が、主鉄筋の定着部として働いており、その定着応力が支配的な場合だと考えれば、説明できる。

$V > V_{co}$ では、曲げ上げ部のひずみは、せん断力の影響が大きくなるほど、定着応力や曲げ応力をまったく考慮しない式(3)によるひずみに近くなり、また、せん断の影響が弱い、載荷点に最も近い折曲げ鉄筋を除いた平均ひずみの方がすべての平均ひずみより、理論式のそれによりよく合致している。このことは、曲げ上げ部の応力が、式(3)により計算される応力(せん断による応力)、主鉄筋の定着応力、曲げ応力の3つの応力(3番目が問題になることは少ない)のうち、最大値で決まると考えれば、説明できる。

(b) 曲げ上げ直前の断面平均応力

$V < V_{co}$ では、この部分のひずみは、同位置の曲げ上げない主鉄筋のひずみとほぼ同じだが、 V が V_{co} を上まわり大きくなるにしたがって、また、疲労荷重を受けるにつれて、主鉄筋のひずみを上まわってくる。(図8・9)

このことは、曲げ上げ直前の部分が、せん断補強鉄筋の定着部として働いており、この部分の応力は、曲げ応力と定着応力との大きい方に支配されると考えれば、説明できる。

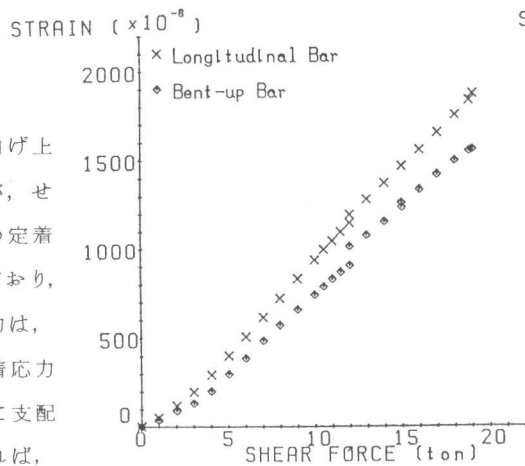


図8 最も荷重点寄りの曲げ上げ直前における折曲げ鉄筋と主鉄筋との比較

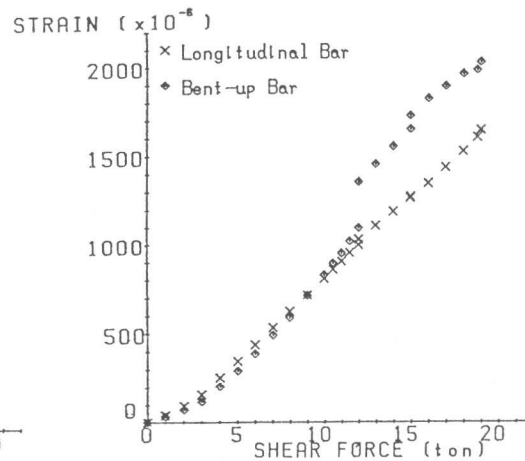


図9 荷重点から2番目の曲げ上げ直前における折曲げ鉄筋と主鉄筋との比較

(c) 折曲げ部に生ずる最大応力

折曲げ部付近では、曲げ加工の影響で、折曲げ部内側に、局部的に大きな応力が生じる。本実験においても、折曲げ部内側には、かなり大きなひずみが計測されたが、外側との平均をとると、曲げ上げ前後とあまり変わらないという結果が得られている。折曲げ部付近の最大の断面平均応力は、前述の最大値支配の考え方から、算出可能であるが、内側に生ずる最大応力は、最大の断面平均応力よりも大きくなり、現段階では算出困難である。しかし、この最大応力が折曲げ鉄筋の疲労強度を決定すると考えられるので、今後、検討を進めていく必要があると思われる。

4. 結論

(1) せん断補強鉄筋として、折曲げ鉄筋のみを有する場合は、せん断力が卓越する範囲では、最大荷重作用時のひずみは式(3)で算出され、応力振幅は式(2)で求まると考えられる。

(2) せん断補強鉄筋として、折曲げ鉄筋とスターラップを併用する場合は、最大荷重作用時の各々のひずみは式(4)~(7)から算出され、応力振幅は式(2)で求まると考えられる。

(3) 折曲げ鉄筋の曲げ上げ直後の断面平均応力は、式(3)で算出される応力、主鉄筋の定着応力、曲げ応力(Vが大きい時は問題にならない)の3つの応力のうちの最大直で、曲げ上げ直前の断面平均応力は、曲げ理論で算出される応力とせん断補強鉄筋の定着応力の大きい方で決まると考えられる。折曲げ部付近には、曲げ加工の影響で、最大の断面平均応力よりも大きな応力の働く点がある。

<謝辞> 本研究は、昭和56年度科学研究費補助金(課題番号 56460123)により行なわれた。これに対し、感謝の意を表します。

<記号> A_w : 距離Sの間のせん断補強鉄筋の断面積 β_x : 支点・荷重点の影響を表す低減係数(≤ 1)
 E_s : せん断補強鉄筋のヤング係数 N : 荷重の繰返し回数 V_{c0} : $N=1$ の時のコンクリートの負担せん断力⁽³⁾
 V : 作用せん断力 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}
 ϵ_{max} : 最大荷重作用時のひずみ σ_{max} : 最大荷重作用時の応力 σ_r : 応力振幅 Z : 応力中心間距離
 V_{smax} : 最大荷重作用時のスターラップの受け持つせん断力 ϵ_{smax} : 最大荷重作用時のスターラップのひずみ
 V_{bmax} : 最大荷重作用時の折曲げ鉄筋の受け持つせん断力 ϵ_{bmax} : 最大荷重作用時の折曲げ鉄筋のひずみ

<参考文献> (1) 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

(2) 岡村甫, 関島謙蔵, 榎本松司; 折曲げ鉄筋の耐疲労特性, セメント技術年報 昭和50年

(3) Okamura, H. and Higai, T.; Proposed Design Equation for Shear Strength of Reinforced

Concrete Beams without Web Reinforcement, PROC. OF JSCE No. 300, August 1980