

# [133] せん断補強鉄筋のタイプの異なる鉄筋コンクリートはりの疲労試験

正会員 ○ハッサン, ホセイン・モクター (東京大学大学院)  
 正会員 上田 多門 (東京大学工学部)  
 玉井 真一 (東京大学大学院)  
 正会員 岡村 甫 (東京大学工学部)

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のせん断疲労に関する研究は多く見られるが、せん断補強鉄筋として丸鋼を用いての研究は見られないようである。丸鋼は異形鉄筋と比較すると高い疲労振幅強度が期待でき、部材のせん断に対しては有利となることが予想される。しかし、付着性状が劣るため、ひびわれ幅の制御には不利であるとされている。そこで本研究は、丸鋼と異形鉄筋の2種類の鉄筋をせん断補強鉄筋として配置した矩形ばりを用いて疲労試験を行い、せん断補強鉄筋及びはりの疲労特性を実験的に明らかにすること及びせん断ひびわれ性状の詳細な観察を目的としている。せん断ひびわれ性状に影響を与えると思われる要因として、せん断補強鉄筋の部材軸とのなす角度と間隔、せん断スパンと有効高さの比を考慮している。

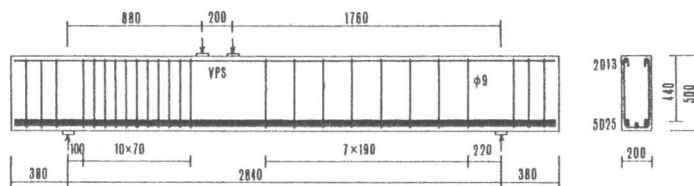


図1. 供試体

## 2. 実験の概要

供試体は4本作成し、2本は丸鋼を、他の2本は異形鉄筋をせん断補強鉄筋として有している。供試体は全て同一の形状をしており、そのうち1本を図1に示す。4本ともせん断補強鉄筋比は等しく、静的荷重下では引張主鉄筋とせん断補強鉄筋とがほぼ同時に降伏するように設計されている。丸鋼と異形鉄筋の断面積、降伏強度、弾性係数は各々 127.2と 142.7mm<sup>2</sup>, 362.7と 379.4MPa, 183.9と166.7GPaである。コンクリートは粗骨材最大寸法が25mmのレディーミクストコンクリートを用いた。各供試体の静的強度、スターラップの間隔、コンクリート強度は表1に示されている。

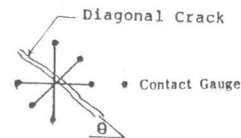


図2. コンタクトゲージとせん断ひびわれ

せん断ひびわれが発生すると予想される箇所全域にわたる高さ方向の中央部に、コンタクトゲージ用標点を設けた。せん断ひびわれ幅とそれに沿ったせん断ずれ変位は図2に示すように、3組のコンタクトゲージ用標点によって測定される。各スターラップにはストレインゲージを貼付した。供試体は最初の100回を静的に載荷され、以降毎分210回の割合でパルセータにより動的に載荷された。荷重履歴は図3に示す。パルセータは適時止められ、静的荷重下で全ての測定が行われた。

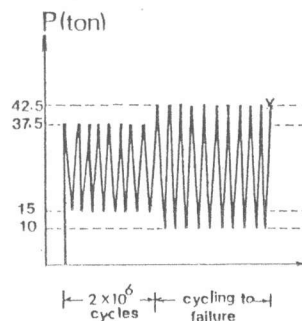


図3. 荷重履歴

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 せん断ひびわれ幅

表1. 供試体と疲労試験結果

Specimens 1)	Calculated Static Strength (KN)				Spacing of Stirrups (mm)		Concrete Strength (MPa)	Fatigue Life 2) (x10 <sup>6</sup> )	Number of Fractured Legs of Stirrups		
	Shear		Flexure		a/d=4	a/d=2			Lower	Middle	Upper
VPS	195	351	192	385	190	70	28.4	1.1	6	0	0
VDS	196	349	196	391	230	85	29.9	0.5	4	2	0
IPS	202	357	204	407	270	100	34.4	1.6	2	0	0
IDS	201	354	204	407	320	120	34.5	0.5	3	7	0

1) V: Vertical stirrup, I: inclined stirrup, P: plain bar, D: Deformed bar  
 2) Loading cycles during second stage of repeated load

最初の荷重で左右両せん断スパンに2, 3本のせん断ひびわれが生じた。その後の繰返し荷重により、それらの初期せん断ひびわれは進展し、さらに新たなせん断ひびわれも生じた。図4中の実線は初期ひびわれを破線はその後発生もしくは進展したひびわれである。各せん断ひびわれ幅は荷重の繰返しとともに増加している。同一せん断スパン内で平均をとると、繰返し回数の対数にはほぼ比例していることが図5よりうかがえる。ひびわれ幅の増加の割合は、せん断スパン比が4.0の場合の方が2.0の場合より大きい。

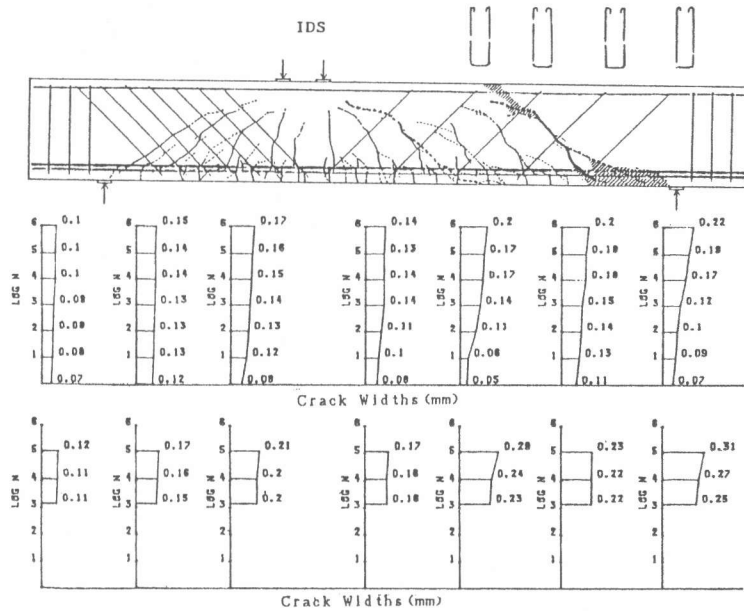


図4. せん断ひびわれとその幅

これらの実験事実は、繰返し荷重下のせん断補強鉄筋のひずみにも当てはまることで、せん断ひびわれ幅とせん断補強鉄筋のひずみとの間の直線関係を示唆するものである。図6は各供試体の各せん断スパン内でのせん断ひびわれ幅とせん断補強鉄筋のひずみとの関係を各々の平均値で示したものであるが、各々が概ね直線関係にあるといえる。

丸鋼を用いた供試体のせん断ひびわれ幅は一般的に異形鉄筋を用いた場合より大きいことが図5より明らかである。丸鋼及び異形鉄筋を用いた場合で、せん断ひびわれの間隔・傾き等で顕著な差は見られない。又、測定されたスターラップのひずみが同一の時、丸鋼の場合の方がせん断ひびわれ幅が大きい傾向にあることは図6に示されている。つまり、両者の付着特性の差がせん断ひびわれ幅の差の理由と言ってよさそうである。

せん断ひびわれ幅に影響を与えると予想される2番目の要因は、せん断補強鉄筋と部材軸とのなす角度である。図5に見られるように、鉛直スターラップを有する供試体の場合、斜めスターラップの場合と比較して大きなせん断ひびわれ幅となる。過去の研究<sup>(1)</sup>によっても、鉄筋とひびわれとの角度が直角に近いほど、鉄筋のひずみが同じ場合ひびわれ幅が小さくなることが明らかにされている。このことを本研究に適用すれば、斜めスターラップの方が鉛直スターラップよりせん断ひびわれ幅を制御する効果が大きいということになり、実験結果と一致する。図6も同じことを示している。すなわち、同一スターラップひずみに対しては鉛直スターラップの方が大きなせん断ひびわれ幅となっている。

せん断スパンと有効高さとの比もせん断ひびわれ幅に影響を与える要因と考えられる。図4に示されているせん断ひびわれパターンからも言えるが、せん断スパン比が4.0の場合の方が2.0の場合よりもせん断ひびわれの間隔

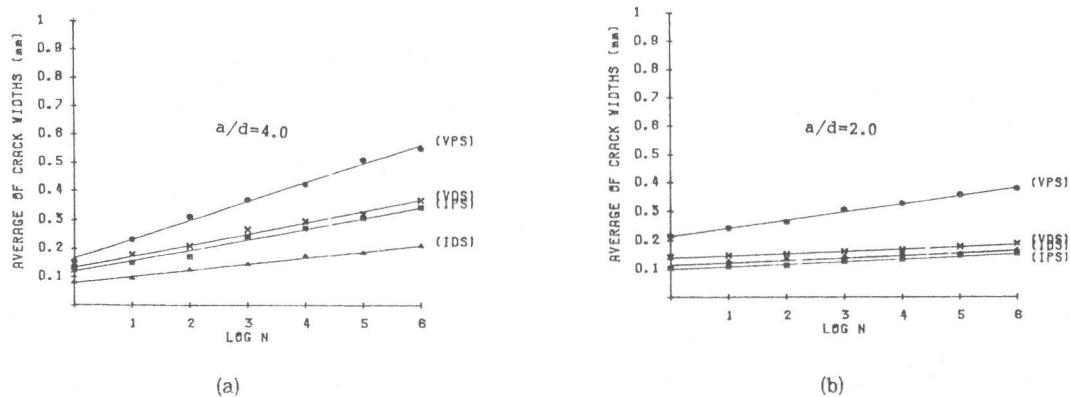


図5. せん断ひびわれ幅と荷重の繰返し回数

が大きいのである。この事実は、せん断補強鉄筋のひずみが同一の場合、せん断スパン比が 4.0 の場合の方がせん断ひびわれ幅が大きくなる可能性を示しているものである。図 6 の 2 つの図を比較すれば、実験結果がその可能性を証明していることがうかがえる。しかし、長短両せん断スパンでは、せん断スパン比だけでなく、せん断補強鉄筋の間隔も異なっており、さらに研究が必要である。なぜなら、せん断補強鉄筋の間隔もせん断ひびわれ間隔に影響を与え得るからである。

### 3. 2 せん断ひびわれでのせん断ずれ変位

せん断ひびわれでのせん断ずれ変位の挙動は概してせん断ひびわれ幅の挙動と類似している。すなわち、荷重の繰り返しとともにせん断ずれ変位は増加する。増加の度合は、載荷繰り返し回数の対数にはほぼ比例しており、せん断スパン比が 4.0 の場合の方が大きい。丸鋼、鉛直スターラップ、大きなせん断スパン比である方が、異形鉄筋、斜めスターラップ、小さなせん断スパン比であるよりも、スターラップのひずみが同一の場合、大きなせん断ずれ変位となる傾向がある。

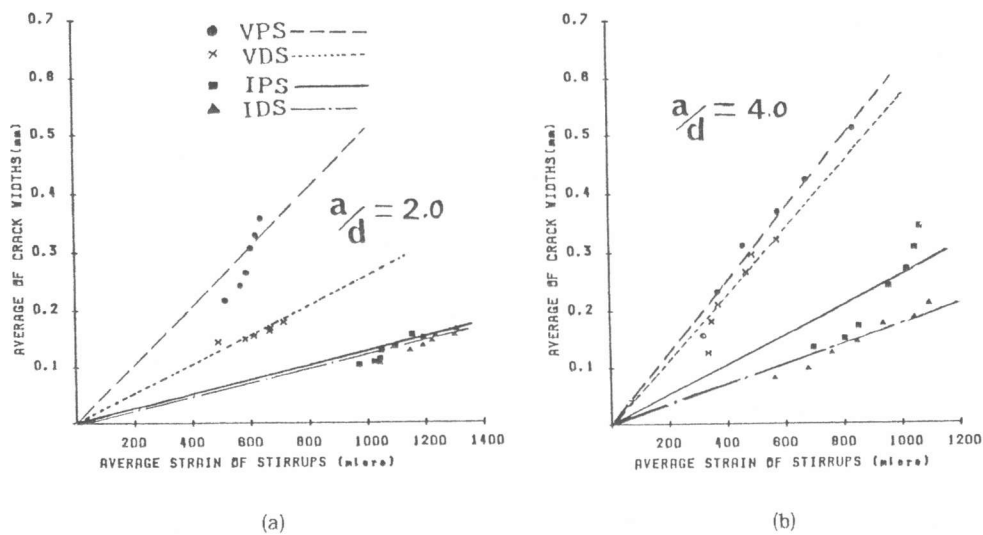


図 6. せん断ひびわれとスターラップのひずみ

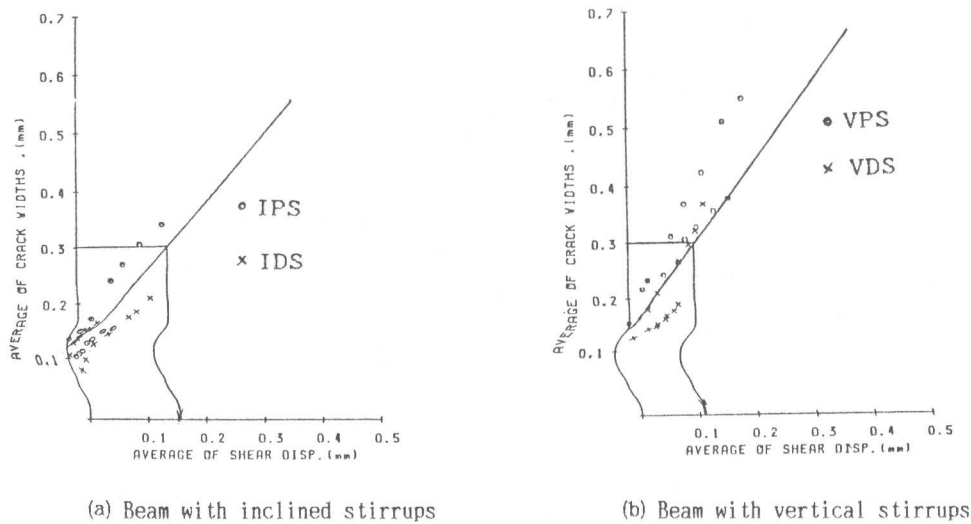


図 7. せん断ひびわれ幅とせん断ずれ変位

せん断ずれ変位とせん断ひびわれ幅との関係を図7に示す。各々の記号は各供試体の各せん断スパン内での関係を示しているが、各々のデータグループがほぼ線形関係となっていると言える。図7(a)(b)中の実線は平均値を示す。図7において、せん断ひびわれ幅が小さい範囲ではせん断ずれ変位は生じておらず、せん断ひびわれがある値に達した後は、直線的にせん断ずれ変位が増加していること、及び、斜めスターラップを用いた場合の方が、鉛直スターラップよりもせん断ずれ変位が大きくなることが示されている。後者は、せん断ずれ変位方向とスターラップのひびわれとのなす角度を考えると、鉛直スターラップの方がせん断ずれ変位に対しより効果的であることから説明できると考えられる。

### 3. 3 スターラップの疲労破断とせん断ひびわれ挙動

丸鋼及び異形鉄筋両タイプのスターラップは、せん断力が同じであれば同じひずみが生じるように設計されていたが、測定された丸鋼のひずみは全般的に大きかった。これは丸鋼の方が付着性状が劣るために、ひずみ測定位置でのひずみはそのスターラップの中で最も大きなひずみにより近いことによるものと推定される。測定ひずみとともに、せん断ひびわれ幅、せん断ひびわれでのせん断ずれ変位も、一般的に丸鋼の方が大きいことは3.2及び3.3で述べた。これらの事実にもかかわらず、丸鋼を有する供試体はその疲労寿命が異形鉄筋の場合より長かった。これは、丸鋼の疲労振幅強度が異形鉄筋のそれより大きいからだと考えられる。

丸鋼は全て軸方向鉄筋に沿って曲げられた箇所での疲労破断したが、異形鉄筋の破断は中央部直線箇所でも生じた(表1参照)。これは付着性状の劣る丸鋼の方が、軸方向鉄筋に沿って曲げられた箇所の応力条件を最も厳しくする可能性が高いことによると考えられる。

異形鉄筋の斜めスターラップの場合、中央部直線箇所での疲労破断が7例だったのに対し、異形鉄筋の鉛直スターラップの場合わずかの2例であった(表1参照)。この差は斜めスターラップの方がより厳しくせん断ずれ変位の影響を受けていることによるものと考えられる。

### 3. 4 丸鋼のせん断補強鉄筋としての適用性

予想されたように、せん断補強鉄筋のひずみが同一の場合、丸鋼の方がせん断ひびわれ幅は大きかった。しかし、丸鋼が良好な疲労振幅強度を有するため、はりの疲労寿命は長くなった。又、はりの疲労破壊前にせん断ひびわれ幅及びせん断ずれ変位が肉眼でも認識できるほど大きくなるという、良好な兆候があった。異形鉄筋の場合、丸鋼と比較すると、兆候は小さかった。これらを考え合わせれば、疲労荷重が支配的な場合、異形鉄筋の代わりとして丸鋼を適用するメリットは期待できる。特に、斜めせん断補強鉄筋として用いれば、異形鉄筋の鉛直せん断補強鉄筋に近いせん断ひびわれ幅の制御が期待できる。

## 4. 結論

本研究の範囲内で得られた結論は以下のようなものである。

(1)丸鋼をスターラップとして用いた場合、異形鉄筋の場合と比較して、せん断ひびわれ幅が大きくなるが、スターラップの破断によるはりの疲労寿命は延びる。

(2)せん断ひびわれ幅は、斜めスターラップより鉛直スターラップを用いた場合に大きくなる。丸鋼を斜めスターラップとして用いれば、異形鉄筋の鉛直スターラップと同程度にせん断ひびわれ幅の制御が可能である。せん断スパン比とせん断補強鉄筋の間隔のせん断ひびわれ幅に与える影響を今後明らかにする必要がある。

せん断ひびわれ幅はスターラップのひずみとほぼ直線的な関係があり、荷重の繰り返し回数の対数にはほぼ比例して増加する。

(3)せん断ひびわれでのせん断ずれ変位は、せん断ひびわれ幅が0.1-0.15mm程度になって始めて生じ、以降はせん断ひびわれ幅にほぼ比例して増加する。鉛直スターラップの方が斜めスターラップより、せん断ずれ変位の制御に効果的である。

せん断ずれ変位は、スターラップの疲労破断強度に影響を与えており、異形鉄筋の斜めスターラップと鉛直スターラップの疲労破断箇所の差の要因となっている。

(4)丸鋼と異形鉄筋の付着性状の差は、その疲労破断箇所の差の要因となっている。

〔参考文献〕(1) CEB-FIP MODEL CODE 1978