V-5　　せん断疲労荷重を受ける鉄筋コンクリートばりのスターラップのひずみ

東京大学　学生員　上田　多門
東京大学　学生員　天野　正徳

1　はじめに

スターラップを有する鉄筋コンクリートばりがせん断疲労荷重を受ける場合、静的なせん断耐力をかなり下回る荷重でもスターラップの疲労破断が起こり、はりのせん断破壊に大きな影響を与えることがわかっている。つまり、疲労破断していないスターラップによるせん断耐力が作用せん断力を下回ると、静的なせん断耐力以下でもはりのせん断破壊に至る。スターラップの疲労破断について論じるためには、スターラップに用いられている鋼材の疲労特性を知るだけではなく、疲労荷重下のスターラップの挙動についても詳細に知る必要がある。しかし、疲労荷重下のスターラップの挙動に関する既往の報告はほとんどないのが現状である。そこで、我々は鉄筋コンクリート矩形ばりを作製して疲労実験を行ない、斜めひびわれ及びスターラップのひずみを詳細に観察した。その結果、疲労荷重下のスターラップのひずみ性状を合理的に説明する新しい仮定に基づいた、スターラップの応力算定式が得られ、このことは土木学会論文報告集に投稿済みである。しかし、未解明の問題があり、その後図1に示すようなT型ばりを12本作製し、追加実験を行なった。矩形ばりの実験では、スターラップは同一せん断スパン内に2又は3組しか入っておらず、せん断スパンと有効高さの比（a/d）は2.5と小さく、スターラップは全て、せん断力の低減できる領域に配筋されていた。T型ばりの実験では、これらの点を補い、スターラップを密に配置し、a/dは2.0及び4.0となるように載荷点を中央からずらし、支点及び載荷点の影響が無視できる領域での実験も行なえるようにした。又、実験パラメーターとして荷重をとりあげ、最大荷重は曲げ耐力の16～59％、最小荷重は5.4～49％と、矩形ばりの実験より大きく変化させ、それらの影響を再検討し、新たにOver Loadingの影響及び除荷時のスターラップの残留ひずみの性状についても検討を加えた。

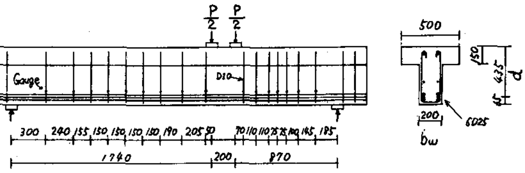

図1　供試体

2　実験結果及び考察

○最大荷重作用時のスターラップのひずみ――せん断疲労荷重のもとでは、斜めひびわれが幅・長さともに除々に伸展し、それにともなって、スターラップのひずみも増加する。個々のスターラップのひずみの増加の程度はバラバラであるが、平均をとると、ほぼ載荷回数の対数に比例している。この現象は新しい仮定に基づいて、次のように説明できる。作用最大せん断力V_{max}は、スターラップによる45°トラスで負担されるV_sと、それ以外のコンクリートが負担するV_cとに分けられる。つまり、

$$V_s = A_w E_w \varepsilon_w \frac{z}{s} \text{-----(1)} \qquad V_s = \beta_x (V_{max} - V_c) \text{-----(2)}$$

ただし、A_w：1組のスターラップの断面積，　z：トラスのアーム長，　s：スターラップの間隔

β_x：支点・載荷点近傍でのせん断力の低減を表わす係数（$0 \leq \beta_x \leq 1$）

ところが、疲労荷重下では、このV_cが減少し、その割合は載荷回数Nの対数に比例する。

$$V_c = V_{co} - V_{co}\,k \log N = V_{co}(1 - k \log N) \qquad (3)$$

ただし、V_{co}：$N=1$のときのV_c，　k：実験定数（$=0.07$）

これらの3式から、最大荷重作用時のスターラップのひずみ（以下、最大ひずみ）を表わす次式が導かれる。

$$\varepsilon_w = \frac{\beta_x \{V_{max} - V_{co}(1 - k \log N)\}}{A_w E_w \frac{z}{s}} = \frac{\beta_x (V_{max} - V_{co})}{A_w E_w \frac{z}{s}} + \frac{\beta_x V_{co}\,k \log N}{A_w E_w \frac{z}{s}} \text{-----(4)}$$

式(4)の第2項はスターラップのひずみの増加分を表わしており、$\log N$に比例し、作用荷重V_{max}, V_{min}には無関係であり、スターラップの補強程度（$\frac{A_w}{b_w d}$）に依存していることがわかる。この理論直線とT型ばりの実験値と比較したものが図2である。支点・載荷点の影響がない領域を含む$a/d = 4.0$の場合も、2.0の場合と同様に理論直線が実際の現象を良好に表現していると判断できる。図中には、最大荷重及び最小荷重が異なる各供試体の実験値をプロットしてあるが、それらの影響はほとんど見られない。又、各スターラップ間のひずみ増加のバラツキは、スターラップの本数が多いにもかかわらず、矩形ばりの場合と比較すると小さくなっている。

○Over Loadingの影響――Over Loadingを受けた供試体では、ひずみの増加が$\log N$に比例するという現象は見られない。Over Loadingのある供試体とない供試体との、スターラップのひずみの増加の様子の差異を示したのが図3である。ここでOver Loadingのある供試体とは最大荷重以上の荷重を過去に受けたものを言う。図からもわかるように、Over Loadingを受けていない供試体の場合、図2と同様に$\log N$に比例してひずみは増加し、理論直線とも良好に一致している。それに対し、Over Loadingを受けた供試体の場合、最初のうちはスターラップのひずみが全く変化せず、$\log N = 5$付近から増加し始めている。この現象は、Over Loadingがある載荷回数の疲労荷重と等価なダメージを供試体に与えていると仮定すれば説明がつく。すなわち、例えばOver Loadingのために既に載荷回数10万回の疲労荷重を受けている場合と等価な状態になっているとすれば、スターラップのひずみの増加は載荷回数の対数に比例する筈であるから、Over Loading後の載荷回数が$\log N < 4$程度の範囲ではひずみの増加が見られず、$\log N \geq 5$程度からひずみの増加が見られるということが予測されるからである。Over Loadingがある場合の現象を説明できたが、Over Loadingと等価な載荷回数の定量化という問題が残されており、今後検討していく予定である。

○除荷時のスターラップのひずみ――図4に除荷したときのスターラップのひずみ（以下、残留ひずみ）の増加分と載荷回数との関係を示した。この図からわかるように、残留ひずみの増加分は載荷回数の対数にほぼ比例しており、その程度は最大荷重、最小荷重によらず、ほぼ一定となっている。しかし、a/dが4.0と2.0とを比較してみると、スターラップの補強程度の小さい4.0の場合の方が、若干増加の割合が大きいようである。これらの現象は、図2に示した最大ひずみの増加の現象と定性的に良く類似しており、最大ひずみと残留ひずみとは密接な関係があるものと推測される。今後、残留ひずみも最大ひずみと同様な算定式を与えるべく、実験及び検討を続けていく予定である。

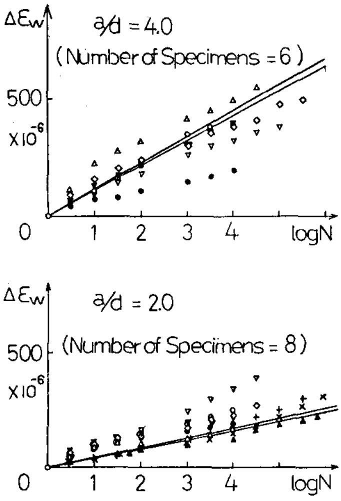

図2　最大ひずみ

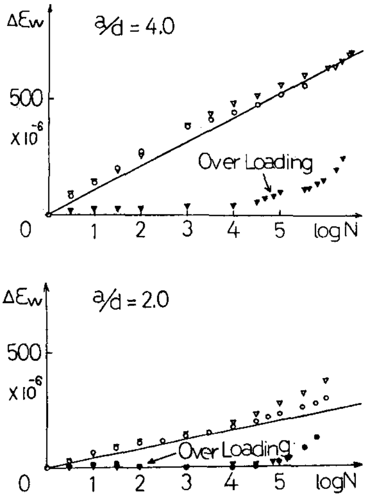

図3　Over Loading の影響

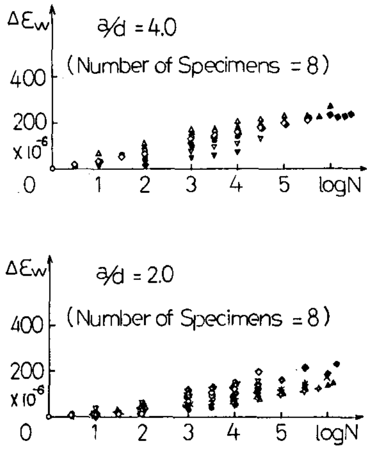

図4　残留ひずみ