

1. 緒言

従来、鉄筋コンクリート部材のせん断疲労破壊が現実の問題となることはなかった。しかし、コンクリートの負担せん断力を設計に考慮するようになり、せん断補強鉄筋の応力条件が厳しくなると予想されるので、繰返し荷重下のせん断補強鉄筋の疲労破断を設計に考慮する必要性が増大するものと思われる。現実的にはせん断補強鉄筋のない部材がせん断力を受けることはないが、そのせん断疲労特性を調べることは必要ではなからうか。なぜなら、せん断補強鉄筋に応力が作用するためには斜めひびわれの発生が必要であるが、繰返し荷重下での斜めひびわれ発生はせん断補強鉄筋のない部材のせん断疲労強度と密接な関係があるからである。又、せん断補強鉄筋の有無にかかわらず、繰返し荷重下の斜めひびわれの伸展性状が部材のせん断疲労特性を決定していると言ってもよく、せん断補強鉄筋のない部材のせん断疲労特性を把握することは、せん断補強鉄筋のある場合のせん断疲労特性を知る上でも意味のあることと言ってよいだろう。

従来の繰返し荷重下のせん断補強鉄筋の挙動に関する研究としては、Hawkins¹⁾, Ruhnau²⁾, Farhaly³⁾らが応力算定法を提案していることがあげられる。このFarhalyの応力算定法は以下に述べる結論の基礎となるものであるが、条件が限られており、任意の変動荷重下の刻々と変化するせん断補強鉄筋の応力を求めるという最も重要な点が触れられていない。一方、せん断補強鉄筋のない鉄筋コンクリートはりのせん断疲労特性に関する研究で、せん断補強鉄筋の疲労破断と結びつけて論じているのはFarhaly⁵⁾だけしか見あたらないが、Chang⁶⁾、樽貝⁷⁾もせん断疲労強度を求めている。しかし、彼らの結論は自己の実験範囲にとどまり、その間には差異が見られ、全てのデータを合理的に説明する必要がある。

以上のことから、せん断補強鉄筋のある場合、ない場合の各々に対し、せん断疲労特性の検討を試みたのである。

2. せん断補強鉄筋のある鉄筋コンクリート部材のせん断疲労特性

11本のT形ばりの疲労試験から得られた主な結論は以下のようなものである。

- (1) 一定振幅の繰返し荷重下の最大荷重作用時のスターラップの応力は次式で算定してよいが、

$$\sigma_{wmax} = \frac{\{V_{max} - V_{co}(1 - k \log N)\} \beta_x}{A_w z/s} \quad (1)$$

そのときの応力振幅は「作用せん断力とスターラップ応力の関係を示した図(Ⅴ-Ⅱ図)で、除荷時には常にある定点(0, -V_{co})を直線的に目指し、再載荷時には常に式(1)により求まる点(σ_{wmax}, V_{max})を直線的に目指す。」と仮定してよいので(図1)、次式より算定される。

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

- (2) 任意の変動荷重下のスターラップ応力は「ある荷重Vが作用してスターラップ応力がσ_wであるとき、それ以後の荷重変化に伴う応力変化は、Vとσ_wの値のみによって定まり、それ以前の荷重履歴に因らない」ので「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。」と仮定してよいと考えられることから、次式により表現できる。

$$\sigma_w = \frac{\{V_{max} - V_{co}(1 - k \log N_{eq})\} \beta_x}{A_w z/s} \frac{V + V_{co}}{V_{max} + V_{co}} \quad (3)$$

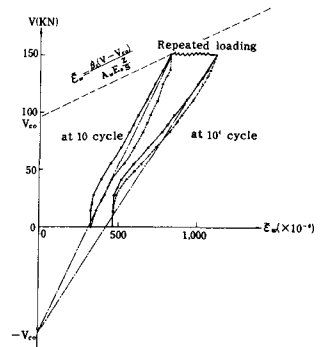


図1 作用剪断力と応力(歪)との関係⁹⁾

この提案式の妥当性は実験により確認された(図2)。

(3) スターラップの疲労破断はその多くがはりの破壊を決定づけた斜めひびわれに沿って起こった。疲労破断時の応力振幅は母材の疲労振幅強度よりかなり低いことが、式(2)及び測定値で認められた。又、式(2)を用いれば、スターラップの疲労破断により破壊するはりの疲労寿命を推定し得る(図3)。

3. セン断補強鉄筋のない鉄筋コンクリート部材のセン断疲労特性

既往の実験データ⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾を整理する限り、以下の主な結論が得られた。

(1) セン断スパン比 a/d が大きいとき、斜めひびわれ発生直後に破壊する場合と、暫く耐えた後破壊する場合とがあるが、どちらも本質的には同じ斜め引張作用剪断力と応力(歪)との関係⁹⁾破壊型破壊と見なしてよい。

(2) 斜め引張破壊型破壊の疲労強度は、従来研究者によって異なった結論が導かれていたが、精度の良い静的斜め引張破壊耐力評価式を用いた次式によって、既往の実験データ全てが良好に表現されることが確認された(図4)。

$$\log \frac{T_{max}}{f_v} = -K \log N_f \quad (4)$$

ここで K は定数としたが、荷重振幅の影響を取入れ、 K を変数とすれば、さらに式(4)の精度は向上するものと考えられる。

(3) 斜めひびわれとの交差部付近での引張鉄筋の疲労破断による破壊は、 a/d が小さいときに起こり易い。この場合のはりの疲労寿命は、疲労破断時の応力振幅を推定することにより可能と思われる。整理した数少ないデータによれば、母材の疲労振幅強度の40%以下である。

4. 謝辞

本研究は昭和55年度吉田奨励金を授与され、東京大学岡村甫助教授の指導のもとで行なわれたものである。これらに対し、深く謝意を表します。

<記号>

A_w : 距離 s の間のスターラップの断面積, f_v : 静的斜め引張破壊耐力, k : 定数(0.07), K : 定数(0.026), N : 荷重の繰返し回数, N_{eq} : 荷重履歴と等価な、振幅一定の繰返し荷重の繰返し回数, N_f, N_u : はりの疲労寿命, V : 作用せん断力, V_{c0} : $N=1$ のときのコンクリートの負担せん断力, V_{max}, V_{min} : 繰返し荷重の最大及び最小せん断力, V_{maxeq} : 荷重履歴と等価な、振幅一定の繰返し荷重の最大せん断力, z : トラスのアーム長, β_x : 支点・載荷点の影響を表す係数(≤1), σ_w, ϵ_w : V 作用時のスターラップ応力及びひびずみ, σ_{wmax} : V_{max} 作用時のスターラップ応力, σ_{wr} : $V_{max} - V_{min}$ によるスターラップの応力振幅, T_{max} : 繰返し荷重による最大せん断力

<参考文献>

- 1) Hawkins, N.M.: Fatigue Characteristics In Bond And Shear Of Reinforced Concrete Beams, ACI Publication SP-41, PP.203~235, 1974.
- 2) Ruhnau, J.: Influence Of Repeated Loading On The Stirrup Stress Of Reinforced Concrete Beams, ACI Publication SP-42, PP.169~181, 1974.
- 3) Okamura, H., Farghaly, S.A. and Ueda, T.: Behaviors Of Reinforced Concrete Beams With Stirrups Failing In Shear Under Fatigue Loading, Proc. of JSCE, No.308, April 1981.
- 4) 上田多門, 天野正徳: セン断補強型と等価な鉄筋コンクリートはりのスターラップのひびずみ, 土木学会第35回年次講演会 V-5, 1980年9月.
- 5) Farghaly, S.A.: Shear Design Of Reinforced Concrete Beams For Static And Repeated Loads, 学位論文, 東京大学, 1979年3月.
- 6) Chang, T.S. and Kasler, C.E.: Static And Fatigue Strength In Shear Of Beams With Tensile Reinforcement, Journal of ACI, August 1958.
- 7) 神貝 勇: 鉄筋コンクリートはりのセン断破壊に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, 1978年11月.
- 8) Okamura, H. and Higei, T.: Proposed Design Equation for Shear Strength Of Reinforced Concrete Beams Without Web Reinforcement, Proc. of JSCE, August 1980.
- 9) 上田多門, 岡村甫: 疲労荷重下のスターラップの挙動, エンクリン工学, 1981年5月.
- 10) 上田多門, 櫻井公司, Farghaly, S.A.: セン断補強鉄筋のない鉄筋コンクリートはりの疲労強度, 第3回 エンクリン工学年次講演会, 1981年6月.

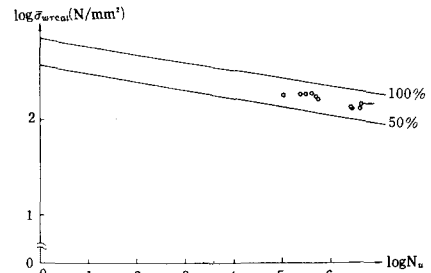
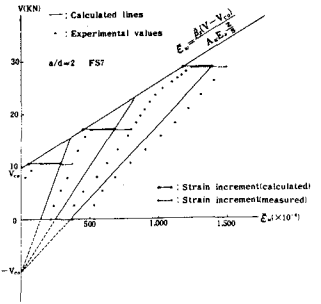


図3 スターラップの応力振幅とはりの疲労寿命との関係⁹⁾

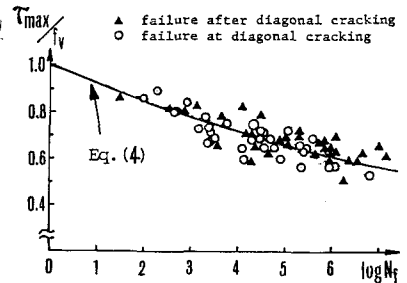


図4 斜め引張破壊型の破壊の疲労強度図¹⁰⁾