

V-247

水中RCはりのせん断疲労性状

鳥取大学工学部 正会員 井上 正一 鳥取大学工学部 正会員 西林 新蔵
 鳥取大学大学院 学会員 川原 一夫 鳥取大学工学部 正会員 黒田 保
 鳥取大学工学部 正会員 吉野 公

1. まえがき

水中RCはりの疲労破壊の特徴は、気中では主鉄筋の疲労破断によって曲げ破壊するはりであつてもせん断破壊になりやすいこと、さらに、この場合のせん断破壊ではスターラップの疲労破断を伴わないことである。ここでは、この種の破壊を示したRCはりのせん断疲労強度と、繰返し荷重下において何体かのはりで計測ができたと考えられるスターラップひずみに基づいて算定されるせん断力分担機構とについて検討した結果を中心に述べる。

2. 実験概要

RCはりに選んだ試験要因は、コンクリート強度（疲労試験時（材令100以上）の圧縮強度 $f'_c = 23 \sim 58 \text{ N/mm}^2$ ）、主鉄筋比（ $p_w = 1.9 \sim 4.9\%$ ）、せん断スパン比（ $a/d = 3.03 \sim 4.0$ ； $d = 16.5 \text{ cm}$ ）、スターラップ筋の種類（ $\phi 9$ の普通丸鋼（SR235）とD10の異形鉄筋（SD295））で、スターラップ量は、コンクリートが受け持つせん断力をゼロであると仮定した場合でもせん断耐力が曲げ耐力を上回るように土木学会標準方書に基づいて設計・配置した。RCはりは全て $12.5 \times 20 \times 170 \text{ cm}$ で、荷重方法とスターラップ配置の典型例を図-1に示す。疲労試験は、荷重速度 5 Hz 、上限荷重比 P_u は疲労試験に先立って行った各はりの静的終局曲げ耐力の百分率で数水準を選定し、下限荷重比は P_u の10%と一定として行った。

3. 結果と考察

3.1 せん断疲労強度 図-2は既往の研究^{1,2)}によるせん断補強鉄筋のないRCはりの $S-N$ 線図を示したもので、図中の縦軸における静的せん断耐力 V_{cu} としては、以下の解析を含めて二羽式(式(1))を用いている(ただし、 $a/d=2$ の場合のみは実験値と計算値の一致が悪いので、実験値を使用)。また、 $V_r = V_{max} - V_{min}$ 、 $V_p = V_{min}$ で、 V_{max} と V_{min} はそれぞれ上限荷重および下限荷重作用時のせん断力、 V_r は変動荷重によるせん断力である。

$$V_{cu} = 0.20(p_w f'_c)^{1/3} d^{-1/4} \{0.75 + 1.4/(a/d)\} b_w d \quad (1)$$

図より、せん断補強鉄筋のない水中RCはりの $S-N$ 線図は、コンクリート強度や主鉄筋量の多少にかかわらず一本の直線式で近似できることがわかる。図-3は、せん断補強を施したRCはりの $S-N$ 線図を示したもので、参考のためにこれらのはりと同一の a/d の範囲（ $a/d \geq 3$ ）で試験されたせん断補強鉄筋のないはりの結果(図-2の一部)も併記している。図より、スターラップの配置は高せん断力作用時

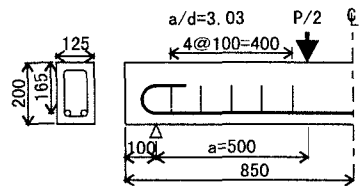


図-1 はりの詳細 (単位 mm)

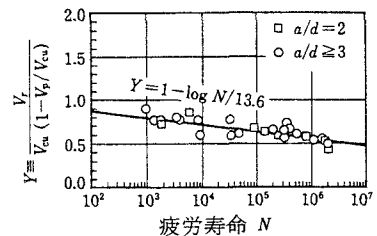


図-2 S-N線図

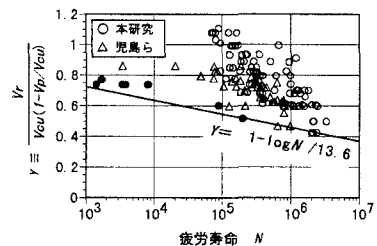
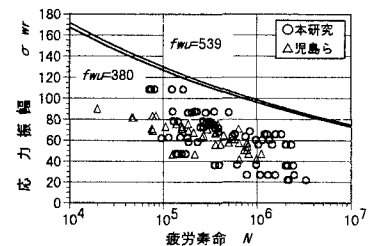


図-3 S-N線図

図-4 $\sigma_{wr} - N$ 関係

キーワード：水中疲労，せん断疲労，疲労強度，疲労寿命，せん断分担力

〒680 鳥取市湖山町南4-101 TEL 0857-31-5293 FAX 0857-28-7899

には疲労寿命を長くするが、海洋構造物で対象となる長寿命域に（作用せん断力が小さく）なるに伴ってスターラップを配置しても配置しなくてもせん断疲労強度には差異がなくなる傾向のあることがわかる。

3.2 スターラップ応力とよりの疲労寿命 図-4は、土木学会コンクリート標準示方書に基づいて算定されるスターラップ応力振幅 σ_{wr} とよりの疲労寿命との関係を示したもので、児島らの結果²⁾も併記している。また、図中の曲線はスターラップ筋の設計 $S-N$ 線式(式(3)：スターラップの疲労破断によってせん断破壊をするよりの疲労寿命の予測式)を描いたものである。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{wr} &= \frac{(V_p + V_r - k_2 V_{cu})s}{A_w z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \frac{V_r}{V_p + V_r + V_{cu}} \\ \sigma_{wp} &= \frac{(V_p + V_r - k_2 V_{cu})s}{A_w z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \frac{V_p + V_{cu}}{V_p + V_r + V_{cu}} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$$f_{wrd} = \frac{1}{2} \left\{ 190 \frac{10^a}{N^{0.12}} \left(1 - \frac{\sigma_{wp}}{f_{wu}} \right) / \gamma_s \right\}, \alpha = 0.81 - 0.003\phi \quad (3)$$

ここに、 σ_{wr} 、 σ_{wp} ：変動荷重および永久（下限）荷重作用時のせん断力によるスターラップの応力（ここでは $\sigma_{wp} = 30 \text{ N/mm}^2$ を仮定）、 f_{wu} ：スターラップの引張強度（丸鋼と異形鉄筋を想定して $f_{wu} = 380, 539 \text{ N/mm}^2$ を仮定）、 $\gamma_s = 1.05$ 、 ϕ ：スターラップ径(mm)、 A_w, s ：1組のスターラップの断面積と間隔、 $z = d/1.15$ 、 α ：部材軸とスターラップのなす角度で、ここでは $\alpha = 90^\circ$ である。

図より、コンクリートが受け持つせん断力がゼロ、すなわち、 $k_2 = 0$ とした（スターラップの応力振幅として最大値を想定した）場合においてもプロット点は予測式の下側（危険側）にあり、水中RCはよりの疲労寿命予測に土木学会の考え方（式(3)）が適用できないことがわかる。

3.3 せん断分担力 図-5は、繰返し載荷に伴うスターラップひずみの実測値の典型例を示したもので、右・25等の記号は、右スパンの載荷点から支点方向に25 cmの位置にあるスターラップひずみであることを、2D19-40等は主鉄筋に19mm筋を2本用い、28日目標強度が40 N/mm²のコンクリートから作製したはりであることを示す。このようなひずみの測定に基づいて、ここでは試みに、載荷回数 n における上位2つのひずみの平均値 $\varepsilon_{w,n}$ を用い、さらに $E_w = 2 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ してスターラップおよびコンクリートが受け持つ分担せん断力（ $V_{s,n}, V_{c,n}$ ）を次式より算定した。

$$V_{s,n} = A_w E_w \varepsilon_{w,n} z / s \quad (4) \quad ; \quad V_{c,n} = V_{max} - V_{s,n} \quad (5)$$

図-6、7に、繰返し載荷回数の増加に伴う分担せん断力の典型的な推移状況を示す。図より、繰返し載荷回数の増加に伴って $V_{s,n}$ が増加する一方で、 $V_{c,n}$ は減少すること、 $k_2 = V_{c,n} / V_{cu}$ の値は土木学会で規定されている0.5よりも小さな値でせん断破壊に至る可能性のあることもわかる。

本研究は平成8年度科学研究費（基盤研究C）の一部で行った。ここに謝意を表する。

参考文献

- 1) 井上、西林他、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14-2, pp.437-442, 1993
- 2) 児島、高木他、土木学会年次講演概要集V, pp.530-531, 1988.

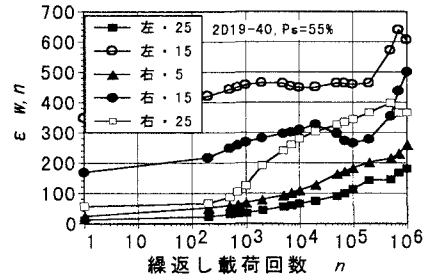


図-5 スターラップひずみの推移

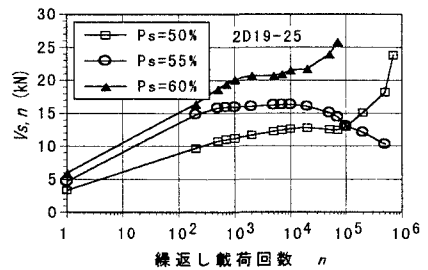


図-6 分担せん断力の推移

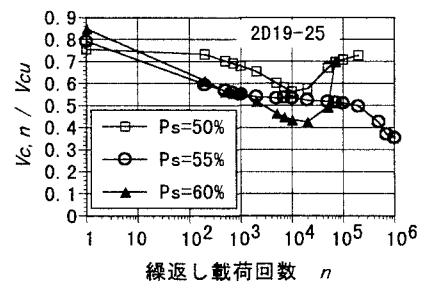


図-7 コンクリートの分担せん断力の推移