

CF シートでせん断補強した RC はりの水中疲労性状

鳥取大学 学生員 ○谷本 剛 (株)熊谷組 川原一夫

鳥取大学 正会員 井上正一 東燃(株) 正会員 小林 朗

鳥取大学 正会員 野田 稔

1. まえがき 気中では曲げ疲労破壊する RC 部材でも水中ではせん断疲労破壊になりやすく、疲労強度は大幅に低下する。そこで、せん断破壊を抑制し耐疲労性向上を図る方法として RC はりに CF シートを巻きつける（遮水と耐力補強）ことによる耐疲労性向上の可能性とせん断破壊機構について検討した。

2. 実験概要 実験計画と使用材料の詳細を表-1 に示す。

RC はりは、コンクリートの受け持つせん断力をゼロとした場合にも、せん断耐力が曲げ耐力を上回る程度のスターラップ（φ 9 の SR235 で作製した鉛直スターラップを 8.33cm 間隔で配置）を配置している。CF はりは、この RC はりを基本にしたもので、CF シート（引張強度 3480N/mm²、弾性係数 2.30×10⁵N/mm²、設計厚さ 0.111mm）を底面で軸方向に 2 層接着した後、周方向全面に $i=1$ 層巻立てた CFA はりと、

同 CF シートをせん断スパン長 $a=50\text{cm}$ の $1/2$ ($i=1/2$ 層と称す)に切断し（幅 25cm）さらに 5 等分（幅 5cm）したものを 10cm 間隔でゼブラ状にせん断スパンのみ巻き付けた CFZ はりである。試験は、RC はりは気中と水中で、CF はりは水中で行い、

載荷はスパン 150cm の 3 等分点載荷とした。なお、CF はりでは、左せん断スパンのスターラップ間隔を密にしている（図-1 参照）。疲労試験は、繰返し載荷速度 5Hz、上限荷重比 P_u は各はりの静的終局曲げ耐力（実験の平均値 P_u ；RC：水中、気中とも 134kN、CFA：162kN、CFZ：137kN）に対する百分率で数水準選び、下限荷重比は P_u の 10%と一定に行った。

3. 結果と考察

3.1 破壊様式 静的試験における全てのはりの破壊様式は、主鉄筋の降伏が先行する、曲げ引張破壊であった。この場合、CFA はりでは曲げスパン上部隅角部のシート破断あるいは上面のシートラップ部分（ラップ長 10cm）のシート剥離によって破壊した。一方、疲労試験における破壊様式は、

気中 RC はりでは主鉄筋の疲労破断による曲げ破壊を、水中 RC はりではスターラップの疲労破断を伴わないせん断破壊をした。全ての RC はり（CFA と CFZ はり）ではせん断スパン（載荷点から 10cm 付近の隅角部）におけるシートの破断もしくはシート剥離によりせん断破壊をした。なお、右スパンのスターラップ量を多くすることで左スパンのせん断破壊を想定した CF はりの約半数（5/12 体）は、右スパンでせん断破壊した。

表-1 実験計画（強度の単位は N/mm²）

はりの種類	コンクリート		主鉄筋		荷重比 (%)
	f_{cs}	f_c	$A_s(\text{cm}^2)$	f_y	
RC-A	40	53.5	2D19=5.73	358	80.75,70.65
RC-W		51.6		361	67.57,47.42
CFA		38.9		417	60.50,45
CFZ		48.1 40.4			45 57.42

f_{cs} , f_c : それぞれ 28 日および試験時（材齢 100 日以上）の強度
RC-A, RC-W: -A, W は気中と水中での試験を示す。

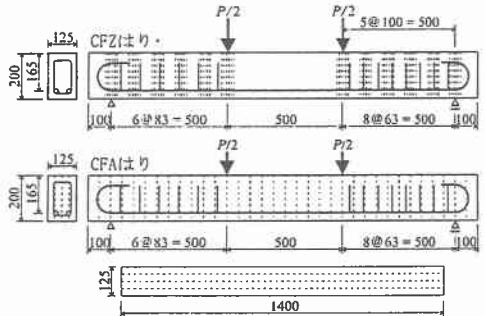


図-1 はりの詳細 単位: mm

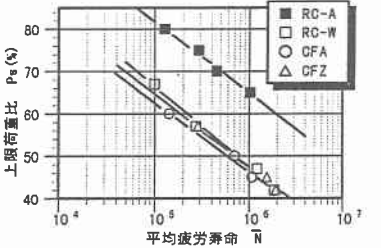


図-2 P_u - N 線図

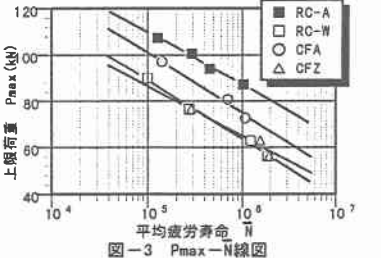


図-3 P_{max} - N 線図

3.2 $P_s-\bar{N}$ および $P_{max}-\bar{N}$ 線図 図-2, 3 に $P_s-\bar{N}$ と $P_{max}-\bar{N}$ 線図を示す。横軸の平均疲労寿命 $\bar{N}$ は RC はりでは同一上限荷重比ごとに4体以上の供試体から得られた疲労寿命の分布が対数正規分布に従うとして求めた値を, CF はりでは2体の疲労寿命の幾何学平均 $\sqrt{N_1 N_2}$ を, 用いている。図-2 より, 耐力比 P_s で評価した疲労強度は CF はりと RC-W はりで同程度である。その結果, 上限荷重 P_{max} で評価した場合, CFA はりは軸方向の補強による静的耐力増加によって耐疲労性が向上しているといえる。

3.3 スターラップの応力振幅と分担せん断力 図-4 にはコンクリートの分担せん断力をゼロ (式(1)の $k_2=0$) とした場合のスターラップの応力振幅の計算値とはりの疲労寿命の実験値との関係を示す。図中の実線は RC はりに対して JSEC 示方書によるせん断補強をしたはりの疲労寿命の予測値 (式(2)) を示す。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{wrd} &= \frac{(V_{pd} + V_{rd} - k_2 V_{cd})s}{A_w z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \frac{V_{rd}}{V_{pd} + V_{rd} + V_{cd}} \\ \sigma_{wpd} &= \frac{(V_{pd} + V_{rd} - k_2 V_{cd})s}{A_w z (\sin \alpha_s + \cos \alpha_s)} \frac{V_{pd} + V_{cd}}{V_{pd} + V_{rd} + V_{cd}} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$$f_{wrd} = \frac{1}{2} \left\{ 190 \frac{10^6}{N^{0.12}} \left(1 - \frac{\sigma_{wpd}}{f_{wu}} \right) / \gamma_s \right\}, \alpha = 0.81 - 0.003\phi \quad (2)$$

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

ここに, σ_{wrd} , σ_{wpd} : 変動荷重および永久荷重によるスターラップ応力, f_{wu} : スターラップの引張強度 ($f_{wu}=540, 380 \text{ N/mm}^2$ を規定), $\gamma_s=1.05$, ϕ : スターラップ径 (mm), V_{rd} : 変動せん断力, V_{pd} : 永久荷重作用時のせん断力, V_{cd} : せん断補強鉄筋のないはりのせん断耐力で二羽式 (式(3)) を用いて算定。

図-4 より, 全てのはりは, JSCE で規定された設計疲労強度よりも小さな応力振幅で破壊しており, 水中はりの疲労安全性はスターラップの応力振幅では照査できないといえる。図-5, 6 には CF はりにおけるスターラップと CF シートないしはコンクリートの分担せん断力の推移の一例を示す。コンクリートの相対分担せん断力とは, 荷重回数 n におけるコンクリートの分担せん断力 $V_{c,n}$ (上限荷重作用時のせん断力 ($P_{max}/2$) から 45° トラス理論に基づいて算定されるスターラップと CF シートの分担せん断力の和 ($V_{s,n} + V_{cf,n}$) を引いたものを初荷重時のその値 $V_{c,1}$ で除した値である。

$$V_{c,n} = P_{max} / 2 - (V_{s,n} + V_{cf,n}) \quad (4), \quad V_{s,n} = A_w E_w \varepsilon_{w,n} z / s \quad (5), \quad V_{cf,n} = 2 \cdot i \cdot t \cdot E_{cf} \cdot \varepsilon_{cf,n} \cdot z \quad (6)$$

ここに, $\varepsilon_{w,n}$, $\varepsilon_{cf,n}$: 荷重回数 n における上限荷重作用時の左 (L) および右 (R) せん断スパンにおけるスターラップおよび CF シートひずみの実測平均値, $z=d/1.15$, t, i : CF シートの設計厚さと巻き付け層数。

これらの図より, n の増加に伴ってスターラップと CF シートの分担せん断力が増加する一方で, コンクリートの相対分担せん断力は減少する傾向にある。また, コンクリートの相対分担せん断力の値は, n の比較的小さい段階で 0.5 以下にまで低下していること, などが伺える。

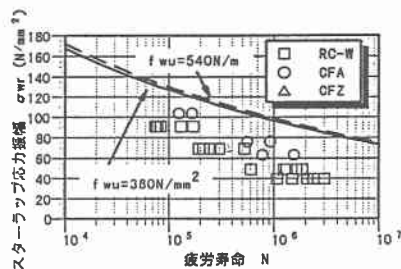


図-4 スターラップの応力振幅～疲労寿命関係

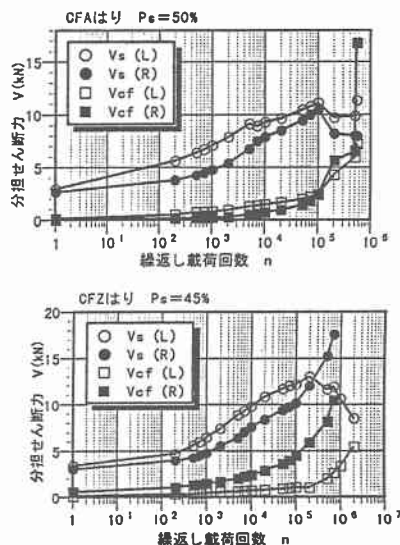


図-5 スターラップとCFシートの分担せん断力の推移

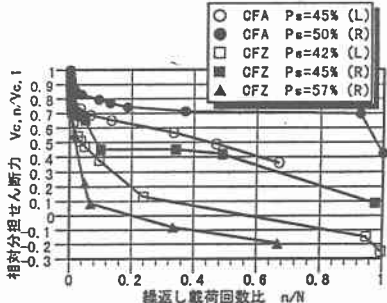


図-6 コンクリートの相対分担せん断力の推移