

V-482

CFシートでせん断補強したRCはりの水中疲労性状

鳥取大学工学部 正会員 井上 正一
東燃（株） 正会員 小林 朗鳥取大学工学部 正会員 黒田 保
鳥取大学工学部 学生員 谷本 剛

1. まえがき

繰返し荷重を受けるRC部材は、気中では主鉄筋の疲労破断により曲げ破壊するが、水中ではせん断破壊になり易く、疲労強度も大幅に低下する。そこで、遮水とせん断補強効果を期待し、RCはりにCFシートを貼付ける補強法による耐疲労性向上の可能性、ならびにせん断疲労破壊機構について検討した結果を述べる。

2. 実験概要

実験計画、はりの種類と使用材料の組み合わせを表-1に示す。はりの種類はRCはりとCFはりで、CFはりはRCはりにCFシート（引張強度 $f_{cfu}=3480\text{N/mm}^2$ 、弾性係数 $2.30 \times 10^5\text{N/mm}^2$ 、設計厚さ $t=0.11\text{mm}$ ）をはり底面の軸方向に2層

接着した後、周方向全面に1($i=1$)層巻立てたCFAはりと、幅5cmに切断した同CFシートを10cm間隔（シート全幅がせん断スパン長の1/2($i=1/2$ 層)となる：図-1参照）でゼブラ状に巻き付けたCFZはりである。試験は、RCはりは気中（RC-A）と水中（-W）で、CFはりは水中で行い、荷重はスパン150cmの3等分点荷重とした。なお、 $\phi 9\text{mm}$, SR235の普通丸鋼から作製した鉛直スターラップは間隔 $s=83\text{mm}$ で配置し、特にCFはりでは、右せん断スパンのスターラップ間隔を $s=63\text{mm}$ と密にし（図-1参照）、せん断耐力が曲げ耐力を大幅に上回るように設計している（表-1の V_{ycal} 、 $\bar{P}_u/2$ 参照）。

疲労試験は、繰返し荷重速度5Hz、上限荷重比 P_s は各はりごと静的終局曲げ耐力の実測平均値（表-1の $\bar{P}_u/2$ 参照）に対する百分率で選び、下限荷重比は $\bar{P}_u$ の10%として行った。

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でシートラップ部分（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CFはり（CFAとCFZはり）ではせん断スパン（荷重点から10cm付近の隅角部）におけるCFシートの破断もしくは剥離によりせん断破壊した。なお、CFはりの半数（5/12体）は、スターラップ量を多くしたせん断耐力の大きい右スパンでせん断破壊した。

表-1 実験計画と耐力の算定値

はりの種類	コンクリート	主鉄筋	せん断耐力の計算値(kN)					$\bar{P}_u/2$	荷重比(%)
	f_{c28}	f_c	A_s	f_y	V_{cu}	V_{sy}	V_{cfu}	V_{ycal}	
RC-A		53.5		358	41.6	51.6	—	93.2	67.0
RC-W		51.6		361	41.1	—	—	92.7	67.0
CFA	40	38.9	2D19=5.73cm ²	37.4	—	51.6	110.8	199.8	81.0
CFZ		48.1		40.1	—	—	—	147.1	68.5
		40.4		37.8	—	—	—	144.8	68.5

f_{c28} , f_c : 28日目標強度および試験時の実強度、強度の単位は N/mm^2 。

V_{ycal} : スターラップ筋の降伏とCFシートの破断を仮定した時のせん断耐力の算定値で、 $V_{ycal}=V_{cu}+V_{sy}+V_{cfu}$, $V_{sy}=A_w \cdot f_{sy} \cdot (z/s)$, $V_{cfu}=2 \cdot i \cdot t \cdot f_{cfu} \cdot z$, $z=d/1.15$, A_w はスターラップ組の断面積 $A_w=1.27\text{cm}^2$ 。また、()の数値は右せん断スパンの値を示す。

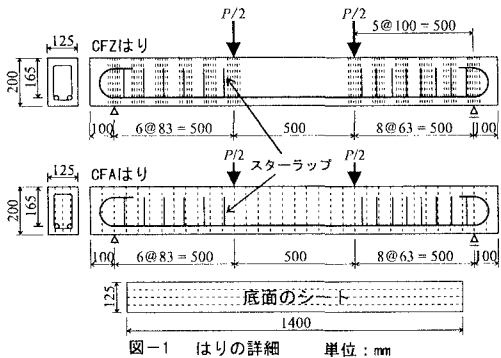


図-1 はりの詳細 単位: mm

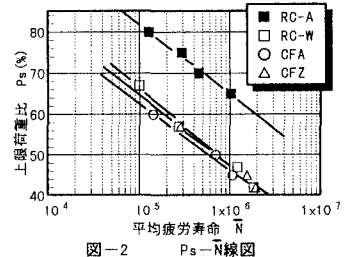


図-2 P-s-N線図

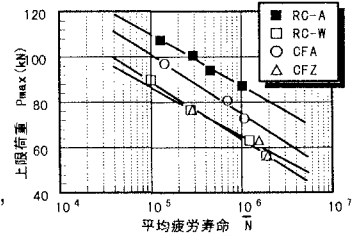


図-3 Pmax-N線図

キーワード: 水中疲労, せん断疲労, せん断分担力, 炭素繊維シート, せん断補強
〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101, TEL 0857-31-5293, FAX 0857-28-7899

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平均値を, 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, 上限荷重比 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が, 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曲げ耐力の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, コンクリートのせん断抵抗をゼロ (式(1)の $k_2=0$) とした場合のスターラップ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。図中の曲線は RC-W はりに対して JSCE 示方書によるせん断補強をしたはりの設計疲労寿命の予測値 (式(2)) を示している。

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

$$f_{wrd} = \frac{1}{2} \left\{ 190 \frac{10^9}{N^{0.12}} \left(1 - \frac{\sigma_{wrd}}{f_{wu}} \right) / \gamma_s \right\}, a = 0.81 - 0.003\phi \quad (2)$$

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

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 ($f_{wu}=540$ (SD295A), 380 (SR235) N/mm² を想定, $\gamma_s=1.05$, ϕ : スターラップ径 (mm), V_{rd} : 変動せん断力, V_{pd} : 永久(下限)荷重作用時のせん断力, V_{cd} : スターラップ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 シートの分担せん断力の推移ないしはコンクリートの相対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, 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) を初載荷時のその値 $V_{c,1}$ で除したものである。

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

ここに, $\varepsilon_{w,n}$, $\varepsilon_{cf,n}$: 載荷回数 n における荷重作用時の左 (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 シートの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 以下まで低下することが伺える。

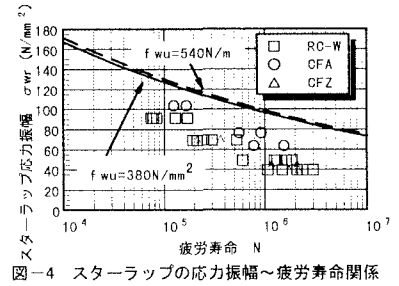


図-4 スターラップの応力振幅～疲労寿命関係

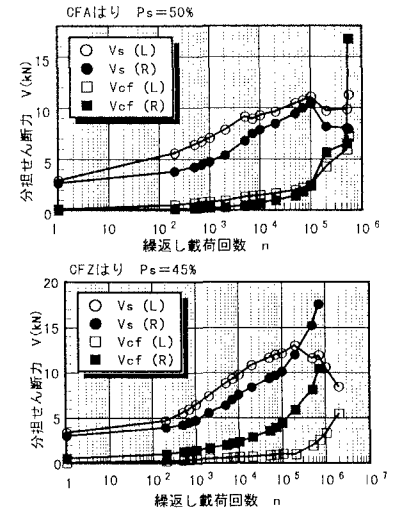


図-5 スターラップとCFシートの分担せん断力の推移

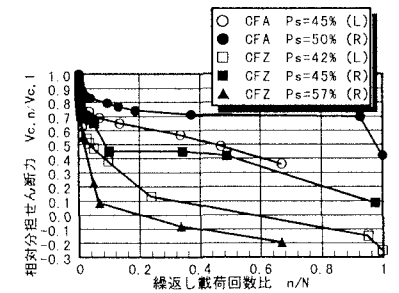


図-6 コンクリートの相対分担せん断力の推移