

RC はりの曲げ圧縮疲労破壊とその疲労寿命予測に関する研究

鳥取大学 学生会員 ○斉賀洋明 鳥取大学 正会員 井上正一
鳥取大学 正会員 吉野 公 正会員 黒田 保 学生会員 里田晴穂

1. はじめに

RC はりの疲労破壊様式は、気中と水中では異なり、気中で主鉄筋の曲げ疲労破壊するはりであっても水中ではコンクリート圧潰型の曲げ破壊になりやすい。ここでは、コンクリート圧潰型の破壊をする RC はりを対象として、この破壊機構および疲労寿命をより精度良く予測する手法を検討した結果について述べる。

2. 実験概要

使用材料を含む実験計画を表1に、断面寸法の詳細と載荷試験の概要を図1に示す。RC はりの疲労試験は、曲げスパンを常に水没（ジャケッットを装着し、その中に水を常に給水する）した状態で、載荷速度 5Hz で行い、上限荷重は静的平均終局耐力（表1の P_u を参照）との百分率で数水準選定し、下限荷重は P_u の10%と一定として行った。また、コンクリートの曲げ疲労破壊の進行を把握するために、曲げスパン内のコンクリート側面にひずみゲージを高さ方向に 1.5 cm 間隔で貼付し、繰返し載荷に伴うひずみを測定した。なお、表1のはり名 D25-40 等は、主鉄筋に D25 mm 筋を、28 日目標圧縮強度 40N/mm² のコンクリートを用いたことを示す。

3. 結果と考察

3.1 圧縮域コンクリートひずみと中立軸の変化

D25-40 はりに対し、載荷回数と曲げスパン上縁より下方に h (cm) の位置で測定した上限荷重作用時のコンクリートひずみの典型例を図2に、図2より求めた繰返し載荷に伴う中立軸の変化を図3に示す。気中との類似点としては上縁コンクリートの圧縮ひずみは載荷回数の増加に伴って増加するが、水中での RC はりの中立高さは載荷回数の増加に伴って減少するという特異な挙動を示すことがわかる。

3.2 疲労寿命の予測手法 JSCE の示方書によれば、コンクリートの圧潰型で破壊するはりの疲労寿命は、中心（一様）圧縮を受けるコンクリートの S-N 線式 $\beta=1$ とおいた（式(1)）と関連づけて、式(1)によって予測できるとしている。

表-1 実験計画

f'_c (N/mm ²)	E_c (kN/mm ²)	A_s (mm ²)	静的終局耐力 P_u (kN)	はりの静的荷重 (kN)
50.5	33.7	573	135	80.3, 87.1, 93.8
32.9	22.1		125	75.0, 81.2, 87.5
46.0	35.3	1520		182.5, 199.1, 215.6

D25-40 については下限荷重を 33.2kN とした。 f'_c , E_c : コンクリートの強度、弾性係数

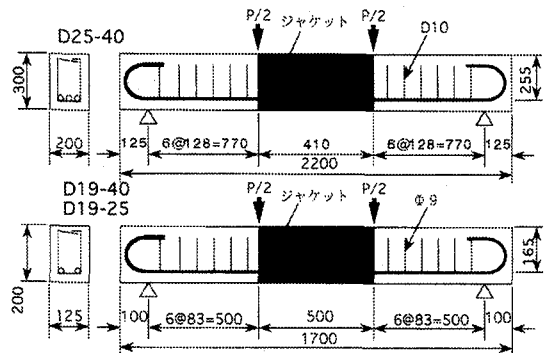


図-1 はりの詳細（単位mm）

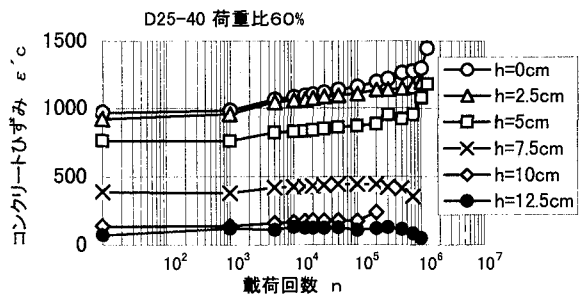


図-2 コンクリートひずみ～載荷回数関係

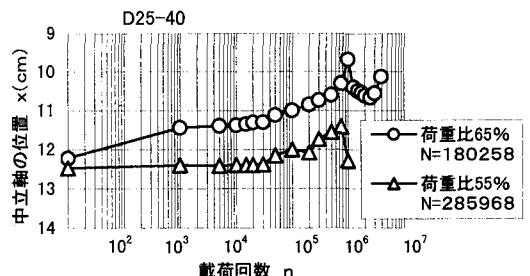


図-3 中立軸の位置～繰返し回数関係

$$\log N = K \frac{1 - \sigma_{c \max} / (\beta \cdot f'_c)}{1 - \sigma_{c \min} / (\beta \cdot f'_c)} = K \frac{1 - \sigma_{ce} / f'_c}{1 - \sigma_{ce \min} / f'_c} = K \frac{1 - S_{ce}}{1 - S_{ce \min}} \quad (1)$$

ここに、水中では $K=10$ 、矩形はりでは $\beta=4/3$ 、 f'_c はコンクリート強度、 $\sigma_{c \max}$ 、 $\sigma_{c \min}$ は上限および下限荷重用時のコンクリート応力である。

いま、式(1)の σ_{ce} と S_{ce} を疲労照合応力と疲労照合応力比と呼ぶことにする。

そうすると、JSCE では疲労照合応力として $\sigma_{ce} = 3/4 \cdot \sigma_{c \max}$ を用い、さらに $\sigma_{c \max}$ 、 $\sigma_{c \min}$ にはひび割れ断面を仮定した弾性計算に基づく上・下限荷重用時のコンクリート上縁応力を用いている。なお、 β の値については、昭和 63 年度版の JSCE では $\beta=3/2$ を、CEB-90 では $\beta=3/2$ を、DND では $\beta=1.26$ を採用している。

図 4 に、現行の JSCE の考え方に基づくコンクリートの照合応力比 S_{ce} とはりの疲労寿命の実験値との関係を示し、参考のために D19-25, 40, D25 はりで設定した条件に対する $\sigma_{c \min} = 4.4, 5.3, 5.3 \text{ N/mm}^2$ としたとき疲労寿命の予測値を示す。実験値の傾きは予測値よりも大きく、長寿命域で危険側の予測がされていることがわかる。

図 5 はコンクリート疲労照合応力として、式(1)の応力ひずみ関係を用いた場合の圧縮合力位置のコンクリート応力を採用した場合の照合応力比とはりの疲労寿命の関係を示す。

$$\sigma'_c(\epsilon'_c) = f'_c \left(2 \epsilon'_c / \epsilon'_0 - (\epsilon'_c / \epsilon'_0)^2 \right) \quad (2)$$

実験値と予測値の傾きは JSCE の基準に比べてかなり改善されているが、予測値は長寿命域で危険側の評価をしている。

3.3 JSCE の考え方に基づいた場合の β の挙動

JSCE ではコンクリート強度の大小によらず、 $\beta=4/3$ を用いている。そこで、 β の採りうる値を検討した。いま、コンクリート圧潰型で破壊した j という一つのはりに着目し、そのはりの疲労寿命の実験値が N_j 、上・下限荷重用時のひび割れ断面を仮定したはり上縁のコンクリート算定応力を $\sigma_{c \max}$ 、 $\sigma_{c \min}$ とし、式(1)に代入して求めた β の値、すなわち、式(3)の β の値と $\sigma_{c \max} / f'_c$ との関係を図 6 に示す。図より、 β の値は一定でなく変化する量であることがわかる。

$$\beta = K \sigma_{c \max j} - \sigma_{c \min j} \log N_j / f'_c (K - \log N_j) \quad (3)$$

このことは、例えば、高強度コンクリートを用いた場合、同一上縁応力に対して β の値は小さくなり、 $\beta=1$ なる一様圧縮疲労寿命ほどには RC はりの疲労寿命は増加しないことを示している。

4. おわりに

図 4, 5 より、大型はりで疲労強度が小さいことを含め、コンクリート圧潰型の疲労寿命予測に関してはさらなる実験と検討が必要である。

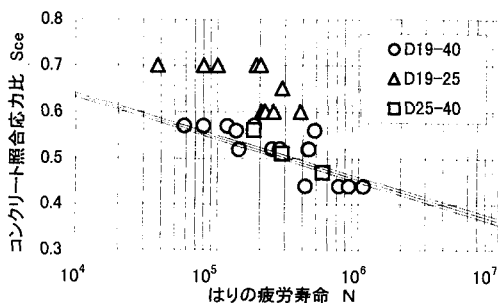


図-4 照合応力~疲労寿命関係

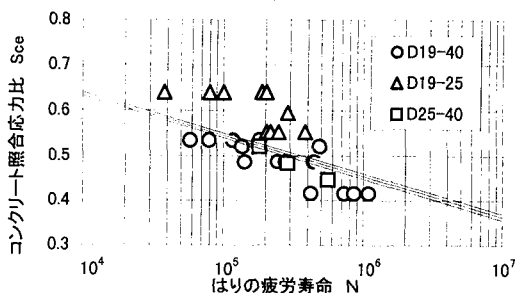


図-5 照合応力~疲労寿命関係

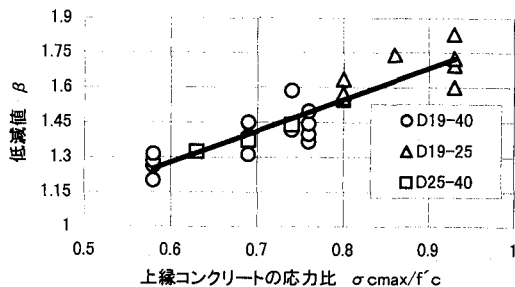


図-6 低減値 β ~ 上縁コンクリート応力関係