

V-237

水中環境下におけるRCはりの疲労寿命予測に関する研究

鳥取大学工学部 正員 井上 正一
鳥取大学工学部 正員 西林 新蔵
清水建設（株） 正員 熊野 知司

1. まえがき

海洋コンクリート構造物の疲労性状を解明するために、RCおよびPCはりの気中と水中での疲労試験を実施し、水の存在がはりの破壊様式や疲労強度に及ぼす影響を明らかにし、併せて疲労寿命予測（疲労に対する安全性の照査）における標準

表-1 実験計画とはりの種類

示方書の考え方の妥当性と問題点について検討した結果を報告する。

2. 実験概要

実験計画を表-1に、代表的なはりの詳細を図-1に示す。ジャケットはりは、曲げスパンのみを満水状態にし、曲げ疲労性状を把握するために計画に組み入れた。疲労試験は、繰返し速度5 Hz、正弦波形の荷重のもとで行い、上限荷重比（ P_s ）は各はりの静的平均終局耐力（ P_u ：図-1参照）に対する

百分率で数水準選び、下限荷重比は全て P_u の10%とした。なお、全てのはりにおける載荷はスパン150cmの3等分点載荷とした。

3. 結果と考察

3.1 破壊様式と疲労強度 静的試験におけるRCはりは、水中・気中の試験環境にかかわらず全て曲げ引張り破壊をした。疲労試験における破壊様式は気中はりとジャケットはりでは曲げ破壊を、水中はりは全てせん断破壊をした。この場合、水中における曲げ疲労破壊様式の特徴は、コンクリート圧潰型の破壊が気中におけるよりも低荷重比・低鉄筋比で生じることである（図-2参照）。

図-4は、各はりの荷重比ごとのRCはりの疲労寿命の分布が対数正規分布に従うこと（一例を図-3に示す）から、生存確率 $P(N)=50\%$ に相応する平均疲労寿命 $\bar{N}$ と荷重比（ P_s ）との関係を示したものである。外挿して求めた200万回疲労強度は主鉄筋破断とコンクリートの圧潰で破壊した気中A、Bはりでそれぞれ $P_s=60, 50\%$ 、せん断破壊をした水中Aはりでは $P_s=42\%$ 、水中でコンクリート圧潰型となったジャケットJAはりでは $P_s=47\%$ 、主鉄筋破断型となったジャケットJA、JEはりでそれぞれ $P_s=47, 45\%$ となる。同一仕様の各Aはりに注目すると、水中における200万回疲労強度は、 $a/d=3.0$ の範囲では破壊様式の相違による差異は小さく、いずれも $P_s=45\%$ 前後の値を示し気中におけるよりも15%程度の低下が認められる。

はりの種類	コンクリートの種類 fc, Ec($\times 10^5$) (kgf/cm ²)	主鉄筋 断面面積 As(cm ²)	降伏点 fy	引張り fsu	スーラ アップ間隔 s(mm)	試験 条件	終局 耐力 Pu(tf)	荷重比 Ps (%)
A	552, 3.3	2D19=5.73	3650	5680	125	気中	13.7	90~60
B	556, 3.3	2D25=10.13	3900	6200	50	気中	21.7	80~60
PC	556, 3.3	1φ13=1.25	14720	15320	100	気中	12.0	80~50
JA	506, 3.3	2D19=5.73	3680	5660	83	水中	13.8	72~46
JC	564, 3.3	2D22=7.74	3750	5820	55	水中	17.4	70~55
JD	332, 2.8	2D19=5.73	3320	5060	83	水中	12.7	70~50
JE	312, 2.8	2D16=3.97	3720	5500	96	水中	10.2	70~45

はりの種類で添字Jはジャケットはりを示す。はり断面は全て12.5×20×170cm、RCはりの有効高さは16.5cmである。fc, Ecは疲労試験実施時（材令100日以上）の圧縮強度と示方書に規定されているfcに対応する弾性係数を示す。また、fyとfsuの単位はkgf/cm²で、スーラップにはφ9の普通丸鋼（SR24）を使用している。

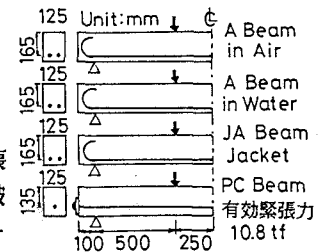


図-1 はりの詳細

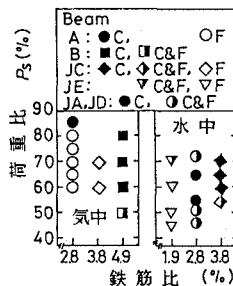
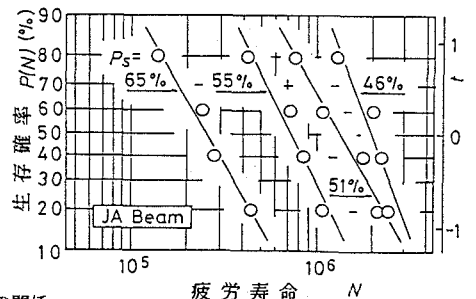


図-2 P_s と破壊様式との関係
(C：圧潰型、F：鉄筋破断型、C&F：CとFが共存する)

図-3 $P(N) - N$ 関係

水中Aはりでは $P_s=42\%$ 、水中でコンクリート圧潰型となったジャケットJAはりでは $P_s=47\%$ 、主鉄筋破断型となったジャケットJA、JEはりでそれぞれ $P_s=47, 45\%$ となる。同一仕様の各Aはりに注目すると、水中における200万回疲労強度は、 $a/d=3.0$ の範囲では破壊様式の相違による差異は小さく、いずれも $P_s=45\%$ 前後の値を示し気中におけるよりも15%程度の低下が認められる。

3.2 コンクリート圧潰型のはりの疲労寿命評価に関する検討

示方書では、コンクリート部が破壊する曲げ材の疲労寿命 N^* は次式より推定できるとしている。

$$\log N^* = K(1 - \sigma_b / (\beta f_c)) / (1 - \sigma_{bmin} / (\beta f_c)), \quad S_b = \sigma_b / f_c \quad (1)$$

ここに、 f_c はコンクリート強度、 K は定数で気中では17、水中では10、 S_b は上縁応力比、 $\beta = 4/3$ (矩形断面)、 σ_b 、 σ_{bmin} は弾性計算に基づいて算定される上・下限荷重作用時の上縁応力である。

図-5は、曲げスパン内のコンクリートが圧潰したはりに対して、図-1の断面寸法と表-1に示す材料定数を用いて算定したはり上縁応力比 S_b と疲労寿命の実験値 N との関係を示したもので、式(1)の結果も示している。図より、水中でのプロット点は荷重比の低下に伴って式(1)の曲線の下側に現れ、さらにプロット点と式(1)の傾きもかなり異なっている。このことは、 $\beta = 4/3$ なる一定値を用いる土木学会の考え方は適切でないことを示している。

つぎに、変数としての低減係数 β の値について検討する。コンクリート圧潰型で破壊したある j というはりに着目すると、上・下限荷重作用時のはり上縁応力 σ_{bj} 、 σ_{bminj} および疲労寿命 N_j は実験ないしは計算によって算定され既知である。各はりごとの β は、試験環境条件に対応する K 値を用い、疲労寿命の推定値 $N^* = N = N_j$ おき、さらに応力の計算値を次式 (式(1)を β で整理したもの) に代入することによって算定される。

$$\beta = \frac{(K \cdot \sigma_{bj} - \sigma_{bminj} \cdot \log N_j)}{f_c \cdot (K - \log N_j)} \quad (2)$$

図-6に各はりごとに算定した曲率ない

しはり上縁応力比 S_b と β との関係を示す。相関係数 R の比較より、プロット点の線形性は曲率よりも S_b の方が良好で、本研究の範囲から、水中でコンクリートが圧潰するはりに対するコンクリート強度 $300 \sim 550 \text{ kgf/cm}^2$ の場合の β とし、図中の直線式 (ただし $\beta \geq 1$) が得られた。

3.3 鉄筋破断型のはりの疲労寿命評価に関する検討

図-7は、主鉄筋の破断で破壊したはりに対し、応力振幅の計算値 (σ_{sr}) と疲労寿命との関係を両対数紙上に示したもので、ジャケット JA はりの条件に対して示方書に規定されている異形鉄筋の $S-N$ 線式 (式(3)) も示している。

$$f_{srd} = 1900(1 - \sigma_{spd} / f_{ud})(10^{\alpha} / N^k) / \gamma_s, \quad \alpha = k\alpha(0.82 - 0.003\phi) \quad (3)$$

ここに、 f_{srd} 、 σ_{spd} は鉄筋の設計疲労強度と下限応力である。また、 f_{ud} は鉄筋の引張強度 (ここでは表-1の f_{su} を用いる)、 k は0.12、 ϕ は鉄筋の公称直径、 $k\alpha$ は一般に1.0、 γ_s は1.0である。

図より、水中はりの疲労強度は気中よりもかなり小さく、さらに水中はりのプロット点は応力振幅が小さくなるに伴って実線 (式(3)) の下側に現れている。このことは、水中環境における鉄筋の $S-N$ 線式は気中と同一のものが適用できず、新たに規定して行く必要のあることを示している。

本研究は昭和63年度科学研究費 (一般研究(C)) の一部で行った。ここに謝意を表する。

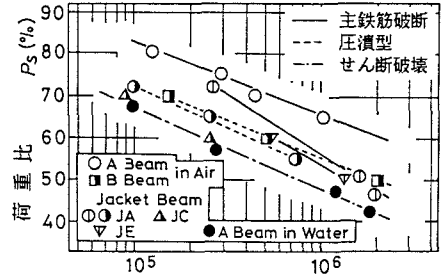


図-4 $P_s - \bar{N}$ 関係

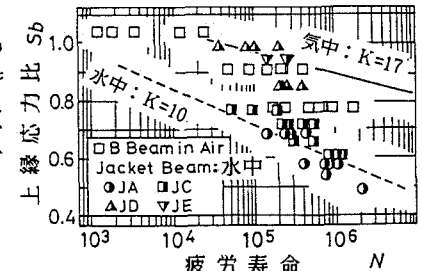


図-5 $S_b - N$ 関係

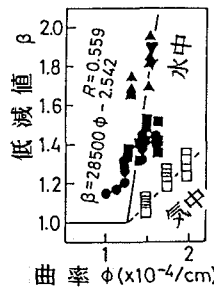


図-6 曲率ないしは S_b と β との関係

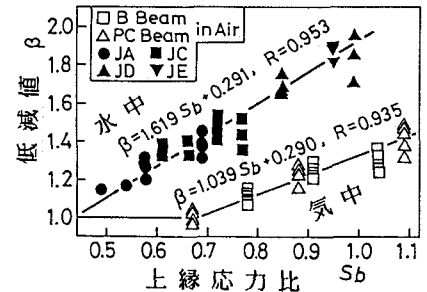


図-7 応力振幅と N との関係

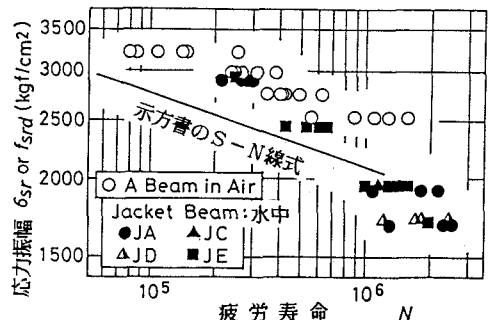


図-8 示方書の $S-N$ 線式