

鳥取大学工学部 正員 西林 新蔵
 鳥取大学工学部 正員 ○ 井上 正一
 鳥取大学工学部 学員 熊野 知司

1. まえがき

水中環境下で繰返し荷重を受けるRCはりは、気中で曲げ破壊する場合であってもせん断破壊になり易く、さらにその疲労強度は気中におけるよりも15~25%程度低下することは昨年の大会¹⁾で報告した。ここでは、a/dの大きな構造物を想定した疲労試験を行うことによって、水中と気中の曲げ疲労強度の相違を明らかにし、併せて応力勾配が疲労寿命に及ぼす影響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、はりの種類、構成材料の強度特性を図-1に示す。ジャケットはりは、曲げスパン内のみを水で満水するジャケットを

設けたはりで、a/dが大きい場合の曲げ破壊を想定して計画したものである。疲労試験は、繰返し速度5Hz、正弦波形の荷重のもとで行い、上限荷重比(Ps)は各はりの静的平均終局耐力(Pu: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Puの10%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。図-2に荷重比と曲げ破壊様式の関係を示す。水中におけるこの破壊様式の特徴は、気中では高荷重比や鉄筋量の多い場合にのみ生じていた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・低鉄筋比で生じ易くなることである。

図-4は、荷重比ごとに4~5本の供試体を用いて行った疲労寿命の分布が対数正規分布に従うこと(一例は図-3参照)から、生存確率P(N)=50%に相応する平均疲労寿命Nと荷重比(Ps)との関係を示したものである。200万回疲労強度は気中A, BはりでPs=60, 50%, 水中A, CはりでPs=45, 46%, ジャケットAはりでPs=46%となる。Aはりに注目すると、気中と水中における疲労強度の差異は水の存在と破壊様式の相違(前者は主鉄筋破断型の曲げ破壊、後者はせん断破壊)によってもたらされたものと考えられる。一方、気中A, Bはり、ジャケットAはりの比較より、気中曲げ破壊の場合、コンクリート圧潰型のBはりの疲労強度は鉄筋破断型よりも10%程度小さくなり、さらに水中曲げ破壊(コンクリート圧潰型)の疲労強度は気中Bはりよりもさらに4%程度小さくなる。また、水中環境下

表-1 実験計画

はりの種類	コンクリートfc ^c Ec(10 ⁵) ^c (kgf/cm ²)	主鉄筋量 (鉄筋比)	せん断スパン比 (a/d)	試験条件	終局耐力 Pu(tf)	荷重比 Ps (%)
A	546 3.71	2D19(2.8%)	3.03	気中	13.7	90~60
B	515 3.36			水中	13.0	70~45
C	556 3.71	2D25(4.9%)	3.03	気中	21.7	80~60
D ^{**}	503 3.59	2D19(2.8%)	3.64	水中	11.2	65~45
A ^{**}	507 3.35	2D19(2.8%)	3.03	水中	13.7	64~45
D ^{**}	564 3.71	2D22(3.8%)	3.03	水中	17.2	67~57

* fc, Ecは疲労試験実施時の圧縮強度、静弾性係数を示す。

** ジャケットはりを示す。

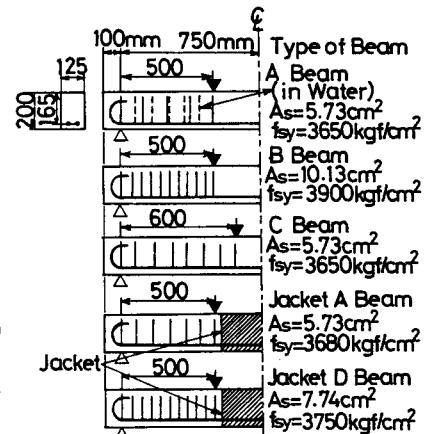


図-1 はりの詳細

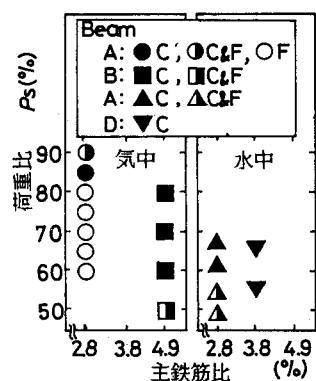


図-2 Psと破壊様式の関係

においてせん断破壊をする場合のRCはりの疲労強度は a/d や鉄筋指標の大小によって変化するが、 $a/d \geq 3.5$ 程度に選んだせん断疲労強度はコンクリート圧潰型で破壊するジャケットはりの曲げ疲労強度と同程度の値を与えていたことが明らかになった。

3.2 疲労寿命に及ぼす応力勾配の影響に関する考察

標準示方書では、応力勾配が疲労に及ぼす有利な影響として、はり上縁応力を $1/\beta$ 倍に低減させる方法を採用している。すなわち、矩形はりに対しては $\beta=4/3$ で、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を σ_b 、 $\sigma_{b\min}$ とすれば、はりの疲労寿命 N^* は次式より推定できるとしている。

$$\log N^* = K \cdot (1 - \sigma_b / (\beta \cdot f_c)) / (1 - \sigma_{b\min} / (\beta \cdot f_c)) \quad (1)$$

$$S_b = \sigma_b / f_c$$

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および表-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 とはりの疲労寿命 N との関係を示したもので、 $\beta=4/3$ 、1とした場合の式(1)の結果も示している。図より、水中でのプロット点は、高荷重比では $\beta=4/3$ とした直線よりも上側にあるが、荷重比の低下に伴って下側に現れている。このことは、高サイクル疲労が問題となる海洋構造物などに対しては、土木学会の考え方は危険側の評価を与え、必ずしも適切でないことを示している。

つぎに、低減係数 β の値を検討する。コンクリート圧潰型で破壊したあるjというはりに対する上・下限荷重作用時のはり上縁応力 σ_{bj} 、 $\sigma_{b\min j}$ 、および疲労寿命 N_j は実験より得られ既知である。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^* を $N^* = N_j$ おき、既知の応力を式(2)に代入することによって次式より算定される。

$$\beta = (K(\sigma_{bj} - \sigma_{b\min j}) \cdot \log N_j) / (f_c \cdot (K - \log N_j)) \quad (2)$$

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。図より、 β の値は一定(4/3)でなく、曲率やはり上縁コンクリート応力比の大きさに関係して変えてやる必要があることわかる。なお、プロット点の線形性は曲率よりも S_b の方がやや良好である。 β の値そのものは今後さらに検討する必要があるが、本研究の範囲では、水中でコンクリートが圧潰したはりに対して、コンクリート強度500~600kgf/cm²の場合の β として次式が得られた。

$$\text{水中: } \beta = 0.143 + 1.938 \cdot S_b \geq 1, \quad S_b = \sigma_b / f_c$$

1)西林、井上、中橋: 土木学会第42回年次講演会講演集、V-5

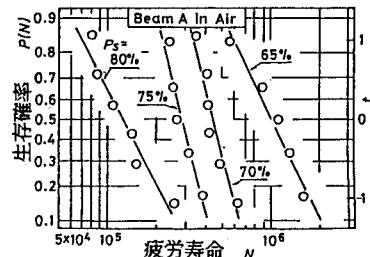


図-3 P(N)～N関係

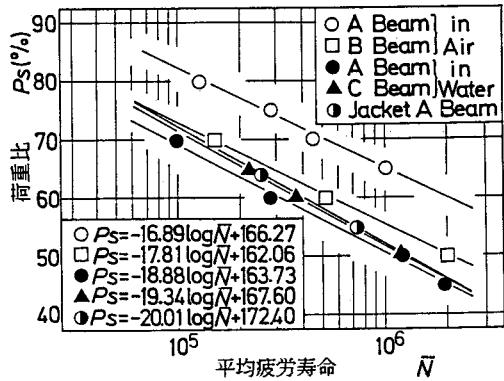


図-4 Ps～N関係

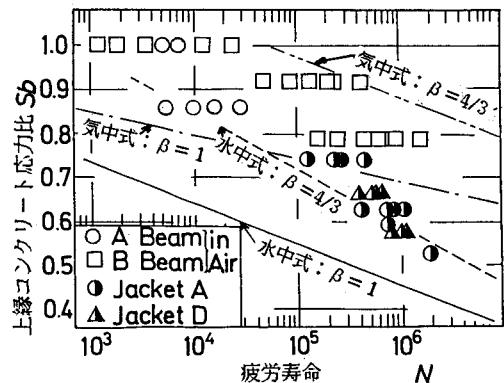


図-5 Sb～N関係

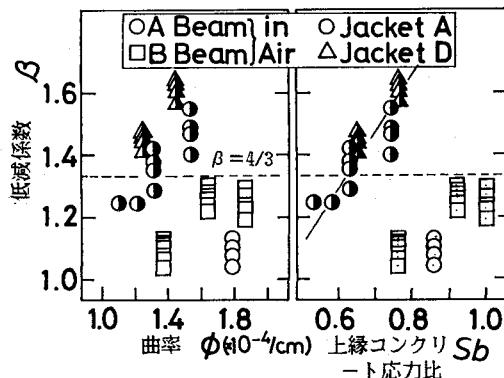


図-6 曲率およびSbとβとの関係