

海洋コンクリート構造物の疲労寿命予測に関する研究

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
 清水建設(株) 正員 熊野 知司
 不動建設(株) 正員 中村 正人

1. まえがき

$a/d \leq 4$ の範囲において繰返し荷重を受けるRCはりの破壊様式は、気中で曲げ破壊するはりであっても水中ではせん断破壊になり易く、その疲労強度は気中におけるよりも15~25%程度低下することについては、一昨年の本発表会で報告した。ここでは、 a/d の大きな構造物を想定したRCはりの疲労試験を行い、水中と気中における破壊様式や曲げ疲労強度の相違を明かにし、併せて、水中環境下で鉄筋破断型の破壊を示すRCはりの疲労寿命を予測する手法について検討している。

2. 実験概要

実験計画を表-1に、はりの詳細を図-1に示す。ジャケットはりはジャケットを設け、曲げスパンのみを水に浸漬するはりで、 a/d の大きい構造物のモデル化として曲げ疲労挙動を把握するために計画したものである。疲労試験は、繰返し速度5 Hz、荷重と時間との関係には正弦波形を採用し、上限荷重比 P_s は各はりの静的終局耐力の平均値 (P_u : 表-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%と一定とした。なお、載荷は全てのはりにおいて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・気中の環境条件にかかわらず全て曲げ引張り破壊をした。一方、疲労試験における破壊様式は、気中はりとはジャケットはりでは曲げ破壊を、水中Aはりではせん断破壊をした。図-2に荷重比と曲げ破壊様式との関係を示す。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・低鉄筋比で生じることである。

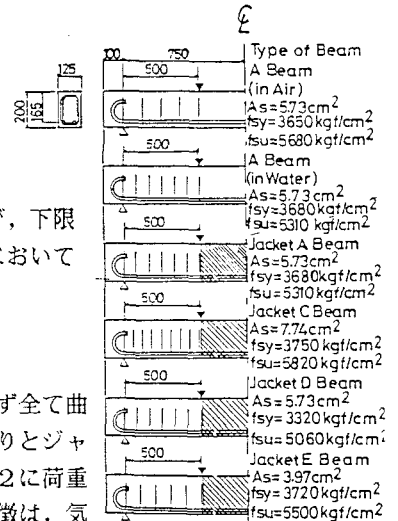
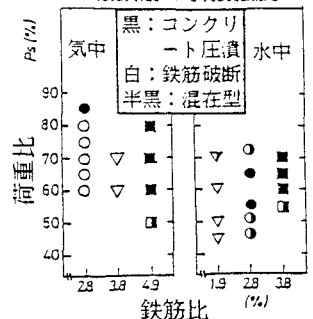
図-4は、主鉄筋の疲労破断で破壊したはりに対して、各荷重比ごとの疲労寿命 N の分布が対数正規分布に従う(一例を図-3に示す)ことから、生存確率 $P(N)=50\%$ に相応する平均疲労寿命 $\bar{N}$ と荷重比 P_s との関係を示したものである。図より、200万回疲労強度は気中Aはりで $P_s=60\%$ 、水中Aはりでは $P_s=42\%$ 、ジャケットAはりでは 47% 、ジャケットEはりでは 45% となる。同一仕様の気中、水中、ジャケットの各Aはりの200万回疲労強度に着目すると、主鉄筋破断となる水中RCはりの曲げ疲労強度は気中よりも15%程度低下し、水中においてでせん断破壊する(水中Aはり)場合には水中で曲げ破壊する場合よりもさらに5%程度低下するといえる。

表-1 実験計画

はりの種類	コンクリート f_c^* (kgf/cm^2)	主鉄筋量 $E_c(10^3)^*$ (鉄筋比)	せん断 スパン比 (a/d)	試験 条件	終局 耐力 P_u (tf)	荷重比 P_s (%)
A	552, 3.71(3.3)	2019(2.8%)	3.03	気中	13.7	90~60
A	556, 3.70(3.3)	2019(2.8%)	3.03	水中	13.6	70~45
A	506, 3.59(3.3)	2019(2.8%)	3.03	水中	13.8	72~46
C	564, 3.71(3.3)	2022(3.8%)	3.03	水中	17.4	70~55
D	332, 3.35(2.8)	2019(2.8%)	3.03	水中	12.7	70~50
E	312, 3.71(2.8)	2016(1.9%)	3.03	水中	10.2	70~45

* f_c, E_c は疲労試験実施時の圧縮強度、静弾性係数の実験値を示す。
 また、()内の値は示方書に規定されている静弾性係数を示す。

※ ジャケットはりを示す。

図-1 はりの詳細
 f_{su} は鉄筋の引張強度

3. 2 水中における鉄筋のS-N線式の検討

コンクリート標準示方書によれば、特に試験を行わない場合の異形鉄筋のS-N線式として次式を用いてもよいとしている。

$$f_{srd} = 1900(1 - \sigma_{sod}/f_{ud})(10^{\alpha}/N^k)/\gamma_s \quad (1)$$

$$\alpha = k\phi(0.82 - 0.003\phi)$$

ここに、 f_{srd} 、 σ_{sod} は鉄筋の設計疲労強度と下限応力である
また、 f_{ud} は鉄筋の引張り強度、 k は0.12、 ϕ は鉄筋の公称直径、 $k\phi$ は一般に1.0、 γ_s は1.0である。

図-5は、主鉄筋破断型の破壊を示したはりにおいて応力振幅の計算値($\sigma_{sr} = \sigma_{max} - \sigma_{sod}$; σ_{max} , σ_{sod} は上・下限荷重比作用による鉄筋の応力でコンクリートの弾性係数 E_c は示方書に規定された値(表-1参照)を用いることによって弾性計算より求める)と疲労寿命の実験値との関係を示したものである。図中の直線は、気中Aはりの条件($f_{ud} = 5680 \text{ kgf/cm}^2$ ($f_{ud} = f_{su}$ (図-1参照))と $\sigma_{sod} = 425 \text{ kgf/cm}^2$)を式(1)に代入した結果を描いたもので、ジャケットAはり($f_{ud} = 5680 \text{ kgf/cm}^2$, $\sigma_{sod} = 425 \text{ kgf/cm}^2$)も同一直線となる。図より、気中Aはりのプロット点は、いずれも土木学会式(直線)より上側にあり、安全側の値となっている。さらに、プロット点と直線式の傾きはほぼ一致しており、式(1)が生存確率95%を見込んで規定された式であることを考えると、気中においてはかなり合理的な式を与えていると言える。一方、水中のプロット点は、応力振幅が小さくなるに伴って実線の下側に現れ、危険側の値となっている。このことは、水中と気中における鉄筋のS-N線式は同一のものが使用できず、水中における鉄筋のS-N線式は新たに規定して行く必要があることを示している。

図-6は、試みに、水中における設計用値としての暫定的なS-N線式を提案したものである。以下に、その概要を述べる。まず、①水中で鉄筋破断したはりの全プロット点に対して最小二乗法によってS-N関係を決定する(実線B')。②気中における

のと同程度の安全性を持たせるために、気中はりのプロット点と土木学会式(1)との $\log N$ の残差 Δe_i を算定し、平均残差($\Sigma \Delta e_i / n$; Δe_i は図-6参照、 n はプロット点総数)を求める。実線Bは、①で得られた直線式を②で得られた平均残差だけ平行移動させたもので次式で与えられる。

$$\log \frac{f_{srd}}{1 - \sigma_{sod}/f_{ud}} = 4.591 - 0.24 \log N \quad (2)$$

図より、式(2)は、応力振幅の大きい領域で式(1)と交差し、気中と水中の疲労寿命の長短関係が逆転する。したがって、ここでは水中における鉄筋破断型のはりの暫定S-N線式として、土木学会式(1)と式(2)で与えられる疲労寿命のうち、短い方の疲労寿命が得られるS-N線式を用いることを仮に提案する。

本研究は、昭和63年度文部省科学研究費一般研究(C)によって行った。ここに、謝意を表する。

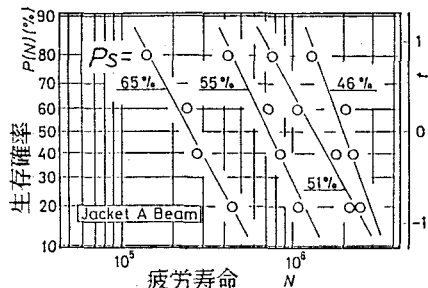


図-3 P(N)~N関係

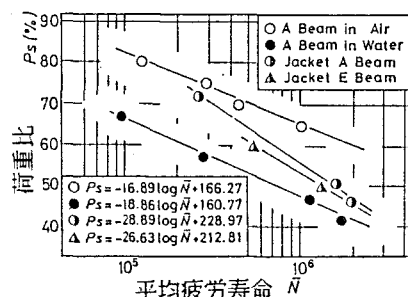


図-4 $P_s \sim \bar{N}$ 関係

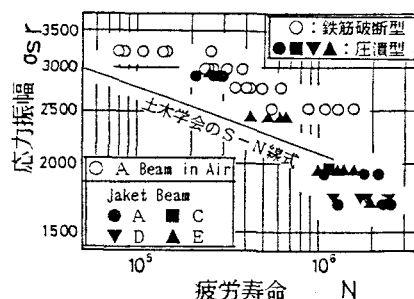


図-5 応力振幅と疲労寿命の関係

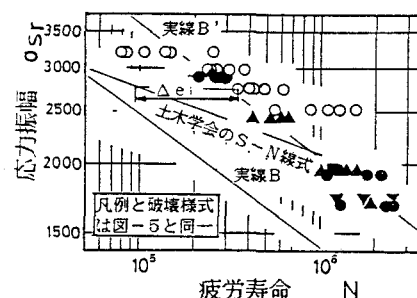


図-6 水中でのS-N線式の決定手法