

V-305

水中環境下におけるRCはりの疲労寿命評価とその設計への適用に関する研究

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

水中と気中でRCはりの疲労試験を行い、コンクリート圧潰型の曲げ破壊を示したはりに対して、疲労寿命の実験値と土木学会コンクリート標準示方書に基づいて算定される予測値とを比較検討し、示方書の考え方の問題点を明らかにするとともに

表-1 実験計画

に、疲労寿命をより精度よく予測する一手法を提示し、その設計への適用性を検討した結果について述べる。

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。ジャケットはりとは、曲げスパンのみを水中に部分浸漬し、曲げ疲労性状を把握するために計画した。疲労試験は、繰返し載荷速度5Hz、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 :

種類	コンクリート		主鉄筋		試験 条件	終局 耐力 Pu(tf)	荷重比 Ps (%)
	強度 fc, (δ)	弾性係数 ($\times 10^5$)	断面積 As (cm ²)	強度 fsy			
B-A	552, (5.4)	3.3, (3.7)	2D19= 5.73	3650	125	13.7	90~60
C-A	568, (4.6)	3.3, (3.7)	2D22= 7.74	3750	55	17.5	70, 60
D-A	556, (4.5)	3.3, (3.7)	2D25=10.13	3900	50	21.7	80~60
PC-A	546, (6.2)	3.3, (3.7)	1 13=1.25	14720	100	10.2	80~50
A-J	576, (5.3)	3.3, (—)	2D16= 3.97	3320	100	11.1	70~50
B-J	506, (6.7)	3.3, (3.5)	2D19= 5.73	3680	83	13.8	72~46
C-J	564, (7.6)	3.3, (3.7)	2D22= 7.74	3750	55	17.4	70~55
B-W	515, (6.1)	3.3, (3.5)	2D19= 5.73	3680	83	13.7	70~45
A'-J	312, (7.4)	2.8, (3.1)	2D16= 3.97	3720	96	10.2	70~45
B'-J	332, (6.6)	2.8, (2.8)	2D19= 5.73	3680	86	12.7	70~50
	423, (4.2)	3.1, (—)	〃	〃	〃	13.2	70~60

はりの種類の第1文字ははり名を、第2文字は試験環境(A: 気中, J: 水中(ただし、Jはジャケット条件))を示す。fcは試験実施時の平均圧縮強度、δは変動係数(%)、弾性係数の前の値は示方書による値、()内は実験値で、単位 kgf/cm²。また、PCは有効張力 10.8tf のポストテンションPCはりで、RCはりの有効高さは全て 16.5 cm、PCはりのそれは 13.3 cmである。

3. 結果と考察

3.1 破壊様式 静的試験におけるRCはりとは、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、気中はりとはジャケットはりとは曲げ破壊を、一方、水中にはり全体を浸漬したB-W 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・低鉄筋比で生じやすくなることである(図-2参照)。以下においては、この破壊様式を示したはりの疲労寿命について考察する。

3.2 疲労寿命の予測手法 土木学会標準示方書によれば、RCはりの疲労寿命の予測値(N_b)は次式によって算定できる。

$$\log N_b = K \frac{1 - \sigma_b / (\beta f_c)}{1 - \sigma_{bmin} / (\beta f_c)} = K \frac{1 - S_b / \beta}{1 - S_{bmin} / \beta} \quad (1)$$

気中: $K=17$, 水中: $K=10$, 矩形断面: $\beta=4/3$

ここに、 σ_b , σ_{bmin} は弾性計算(ただし、コンクリートの弾性係数には示方書に記載の値を用いる(表-1中に併記))に基づいて算定される上・下限荷重作用時のコンクリート上縁応力で、 f_c はコンクリートの静的平均圧縮強度、 S_b , S_{bmin} は上・下限応力比である。

すなわち、示方書では式(1)の $N_b=1$ のときの切片である S_b が1でなく β を通るように修正したグッドマン式を用いることによって、応力勾配の疲労に及ぼす有利な影響を考慮しようとしている。

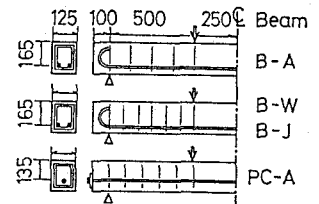


図-1 はりの詳細

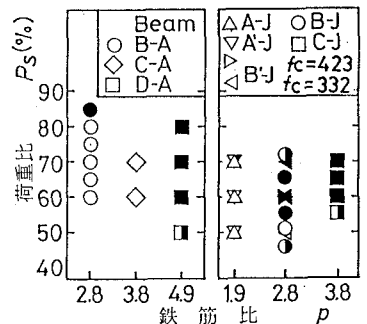


図-2 破壊様式(白抜きは鉄筋切断、黒塗りはコンクリート圧潰、半塗は両破壊様式が混在)

図-3は、各はりに対して上・下限荷重作用時の応力を算定し、式(1)のK値を検討したものである。 $\beta=1$ の場合を示した同図より類推して、 $\beta=4/3$ とした場合にもプロット点の傾きと示方書のK値とは一致しないといえる。同様に、図-4は、コンクリート上縁応力比と疲労寿命の実験値Nとの関係を示したもので、式(1)において $S_{bmin}=0.1$ （本実験条件のRCはりの S_{bmin} は0.1から0.14の間にある）としたときの予測値 N_b も示している。図より、水中でのプロット点は応力（荷重）比の低下にともなって直線の下側に現れ、傾きもかなり異なっている。これらの結果から、Kと β に示方書の規定値をそのまま用いる方法は適切でなく、RCはりのS-N線式としてグッドマン式が適用できないことを示している。

そこで、基本的には示方書の考え方に従うが、 β のみを変数として取り扱う方法を検討した。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、疲労寿命の予測値 N_b を $N_b=N_j$ とおき、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。

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

図-5に、各はりごとに算定した曲率ないしは上縁応力比と 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、コンクリート強度300~550kgf/cm²の β として、図中の式（ただし $\beta \geq 1$ ）が得られた。

3.3 β の設計への適用 図-6(a),(b)は、ジャケットはりに対し、各荷重比ごとに算定した予測精度 $M (=N/N_b)$ ：疲労寿命の実験値と示方書（ $\beta=4/3$ ）ならびに本提案式の β を式(1)に代入して求めた予測値との比）を対数正規確率紙上にプロットしたものである。図より、 $\beta=4/3$ とした場合のMは、荷重比の大きさによって変化し、実働の変動荷重下においては一様な安全性を有していないことがわかる。

つぎに β の設計への適用を考える。設計においては、式(1)の f_c の代わりに設計用値 f_{cd} が用いられる。

図-7は、本提案の β を用い、さらに式(1)の f_c の代わりに非超過確率5%、 $\gamma_c=1$ を仮定した式(3)による設計用値 f_{cd} （ δ ；表-1参照）を用いて算定した N_b を規準とする予測精度Mを示したものである。破壊確率5%におけるMの値は $M \geq 1$ をほぼ満足しており、現段階における設計への適用可能な方法であると考えられる。

$$f_{cd} = f_c (1 - 1.645 \delta) \quad (3)$$

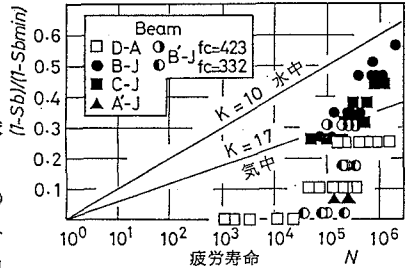


図-3 K値の検討

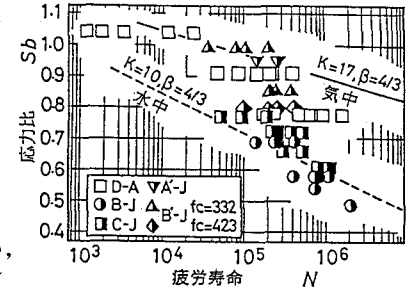


図-4 $S_b - N$ 関係

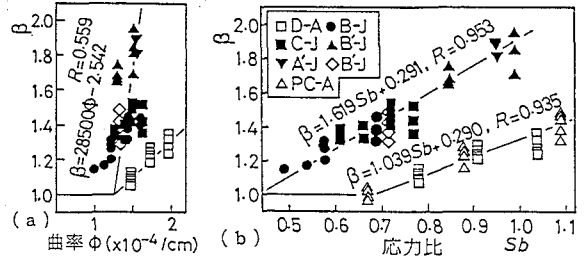


図-5 ϕ ないしは S_b と β との関係

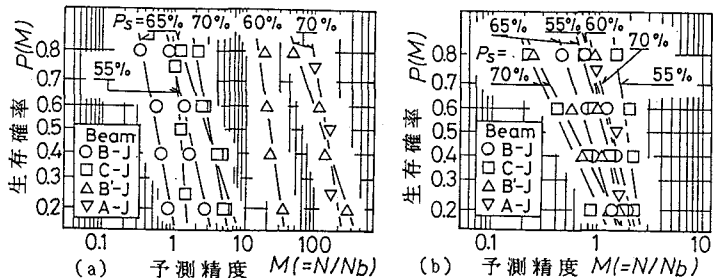


図-6 $P(M) - M$ 関係

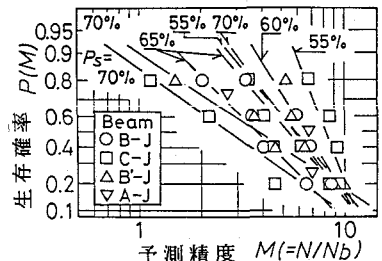


図-7 $P(M) - M$ 関係