

変動繰返し荷重下におけるRCはりの挙動と疲労寿命に関する研究

鳥 取 大 学 正 員 井 上 正 一 学 員 〇 工 田 晴 彦

ソールアンドロックエンジニアリング 正 員 下 田 純 一

京 都 府 庁 正 員 吉 川 孝 史

1. まえがき

本研究は繰返し荷重下でのRCはりの破壊様式が、主鉄筋の疲労破断となるように設計したものを対象とし、これら RC はりの変動荷重下における疲労寿命を明確にするために計画したものである。

すなわち、一定荷重および変動荷重試験を行い、これらの試験より得られた疲労寿命を累積繰返し回数比の概念を用いて整理し、その確率分布特性やマイナー則の適用性について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

セメントは、普通ポルトランドセメント、骨材は碎石(最大寸法 20mm, 比重 2.71)川砂と河川砂の混合砂(比重 2.59, F.M.=2.88)を使用した。コンクリートの配合を、

表-1に、供試体の形状寸法と載荷方法を図-1に示す。主鉄筋量は

弾性設計法によりほぼ1/4の鉄筋比となるように、またスターリング量は、曲げ破壊時の算定せん断力に対してACI基準に基づいて決定した。疲労試験は、(1)一定荷重 (2)変動荷重試験からなり、

これらの試験は、載荷速度 5Hz, 荷重と時間の関係は正弦波形のもとで行った。試験で設定した上限荷重比は、供試体の静的終局耐力に対する百分率で、数水準を選び、一方、下限荷重比は、全て10%とした。

変動荷重試験は、図-2に示すような、3サイズの荷重比-頻度分布を考え、これを1ブロックとし、表-2に示すような荷重順序で行った。各荷重比 $S=S_j$ ($j=1\sim4$) における載荷繰返し回数 $n_{ij}(S_j)$ は、 i ($i=1,2,\dots,u$) 番目の荷重ブロックにおける繰返し回数 (N_i) を与えることにより、 $n_{ij}(S_j) = N_i \cdot P(S=S_j)$ で算定される。試験は、 $n_{ij}(S_j)$ から順次載荷し、 u 荷重ブロックの第 k 番目の荷重比で破壊する回数 $N_{uk}(S_k)$ を測定した。

3. 結果と考察

(1)一定荷重試験 図-3は、疲労寿命(N)と順序統計量の理論を用いて算定した生存確率(P)の関係を対数正規確率紙にプロットしたものである。各荷重比ごとのプロット点は、ほぼ直線上にあり、 N の分布は対数正規分布に従うといえる。

このときの回帰式は、

$$t = A \log N + B \quad (1)$$

で表わされ、平均疲労寿命($\bar{N}$), $\log N$ の標準偏差 ($V(\log N)$) は、次式で与えられる。

$$\bar{N} = 10^{-B/A}, \quad V(\log N) = 1/A \quad (2)$$

図-4は、式(2)より算定した平均疲労寿命($\bar{N}$)と荷重比(S)の関係、すなわち $S-\bar{N}$ 線図を示したものである。

表-1 示方配合

Slump (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)			
	W	C	S	G	ボリス No.8	
4±1	45	38	145	329	739	1237
						Cx0.25

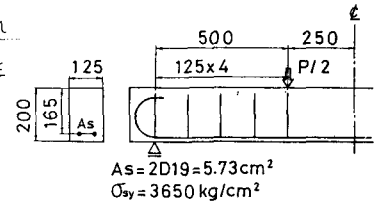


図-1 はりの詳細

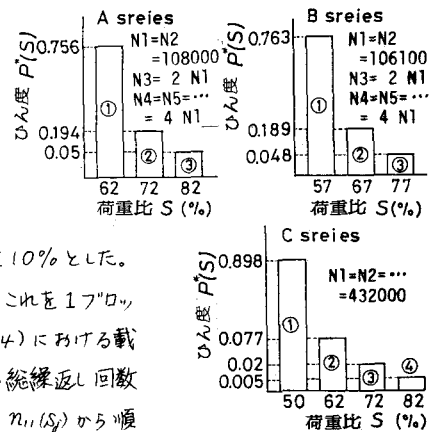


図-2 変動荷重試験の詳細

表-2 変動荷重試験の結果

供試体 No.	荷 重 順 序 (荷重比 (%)) $S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3$	破 壊 時 の			累し 積回 数 返比 M
		応力 比	破 壊 時 の 回 数 N	破 壊 時 の 回 数 N	
A-1	82 72 62	82	4	531760	0.77
A-2	72 82 62	72	5	438460	1.34
A-3	72 62 82	72	3	472160	0.77
A-4	62 72 82	62	3	344440	0.42
B-1	77 67 57	57	8	2497560	1.94
B-2	67 77 57	57	6	1166480	1.26
B-3	67 57 77	67	8	2159800	1.70
B-4	57 67 77	57	11	3711460	2.70
	$S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow S_4$				
C-1	82 72 77 50	50	9	4120570	1.09
C-2	50 62 72 82	-	23	10000000	2.70

(2) 変動荷重試験 M を累積繰返し回数比と称し、次式で定義する。

$$M = \sum_{i=1}^n \left(\frac{f_i}{N} \right)^{\frac{1}{m}} \frac{N_i(S_i)}{N(S_i)} + \frac{k}{N} \frac{N_k(S_k)}{N(S_k)} \quad (3)$$

ここで、 $N(S_i)$ は、荷重比 $S = S_i$ における、平均疲労寿命である。一定荷重試験においては、式(3)は

$$\left. \begin{aligned} M &= N/N \Rightarrow \log M = \log N - m(\log N) \\ m(\log M) &= 0, V(\log M) = V(\log N) = 1/AI \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

と表わされる。式(4)は、 N が対数正規分布に従うとき、 M も対数正規分布に従い、 $\log M$ の標準偏差 $V(\log M)$ と $\log N$ の $V(\log N)$ が等しく、 $\log M$ の平均値が 0、すなわち $M=1$ であることを示している。このことより、式(3)の $N(S_i)$ には、図-4 中の $S-N$ 線に荷重比 $S = S_i$ を代入して求めた疲労寿命を用いて、 M (表-2 参照) の各シリーズごとおよび全てのシリーズの対数正規分布へのあてはめを検討した。図-5、6 に M と P との関係を示す。図より M の分布は、いずれの場合も対数正規分布に従うとみなせる。このときの回帰式は、

$$t = A \log M + B \quad (5)$$

で表わされる。図-5 より明らかなように荷重比の高い A シリーズ、それよりも低い B シリーズ、A シリーズの荷重比に $S=50\%$ を設定し

た C シリーズで、 M はかなり異なる傾向を示すことがわかる。すなわち、 M の値は、荷重比の大きさの組合せの影響を受け、一般には、受ける組合せ荷重の大きさが小さくなるに伴って、さらには低荷重が長期間繰返し作用することによつて、 M の値は大きくなるようである。つぎに、 M について考えた場合、A シリーズの M は、0.76、B シリーズの M は、1.83 となり、 $M=1$ を破壊条件とするマイナー則は組合せの種類によって適用限界があるものと考えられる。図-6 は、ランダム荷重を想定して、全ての試験シリーズの結果を示したものである。この場合、 M は、1.27 になり、海洋構造物に作用する変動荷重のような自然現象の環境荷重を取り扱う場合には、マイナー則がほぼ適用できるとみなしてよいようである。一方、 M のばらつきを表わす $V(\log M)$ は、変動荷重下では、一定荷重下より大きくなるため、設計においては、このことを留意しておく必要がある。しかし、全般的には、累積繰返し回数比の概念を導入することにより、一定荷重試験の結果 ($V(\log M)$ には組合せ荷重のうちの $V(\log N)$ の最大値を想定する) から変動荷重下の疲労寿命がその確率分布特性も含めて推定しうる可能性のあることを示していると考えられる。

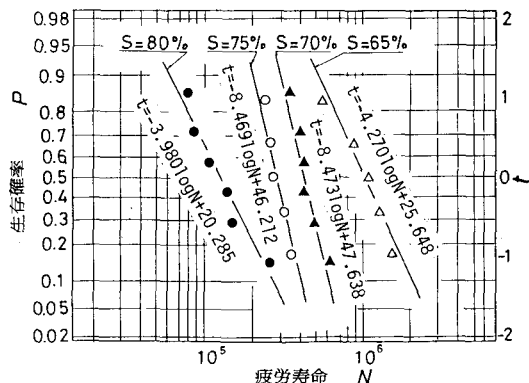


図-3 P-N 関係

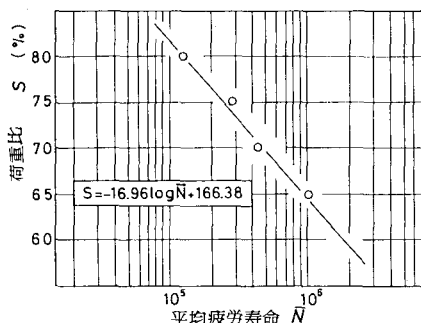


図-4 S-N 関係

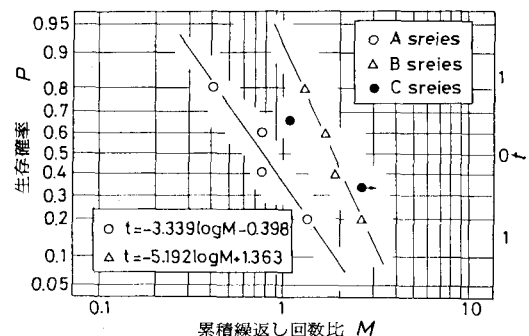


図-5 各シリーズの P-M 関係

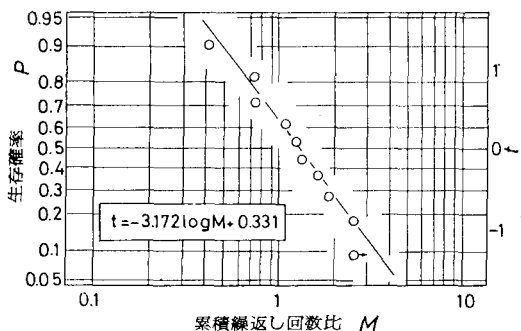


図-6 全シリーズの P-M 関係