

コンクリートの疲労寿命推定におけるマイナー則の適用性について

京都大学 正員 岡田 清 京都大学 正員 小林 和夫

立命館大学 正員 児島 孝之 立命館大学 学生員 前岡 隆顕
片桐 一郎

1. まえがき：限界状態設計法へと移行しつつある現在、コンクリートの疲労特性を解明することが重要な課題であると考えられる。既存の構造物に作用する実働荷重での疲労試験を行なうのは困難な場合が多いため、一定応力試験による疲労寿命の結果と関連させてランダム荷重下の疲労寿命を推定する方法の確立が望まれている。このような方法にマイナー則があるが、その適用性については種々議論されているのが現状である。本研究は、一定応力試験結果を基に変動応力試験を実施し、マイナー則の適用性を検討したものである。

2. 実験概要 (1) 実験計画：矩形分布、三角形分布および正規分布モデルに従う応力比と繰返し回数を作用させ、疲労試験を実施した。

(2) 使用材料および配合：セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂と砕砂の混合砂(比重2.59, F.M.2.59)、粗骨材は砕石(M.S.13mm, 比重2.69)を使用した。コンクリートの示方配合は表-1に示す。

Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	s/a (%)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)
5±1	5	61	280	170	46	817	1004

注) 混和剤には、Pz-No.70をC×0.25%使用し

(3) 供試体および実験方法：供試体は $\phi 7.5 \times 15$ cmの円柱供試体であり、打設翌日脱型し、材令28日まで水中養生を施した。疲労試験はMTS社製油圧サーボ疲労試験機を使用した。疲労試験は一定応力試験と、応力比とその回数との関係を図-1に示すような4種類の分布モデル(以下、ヒストグラムを応力ブロックと呼ぶ)で表わした変動応力試験であり、これらの試験における上限応力比(S)は疲労試験開始直前に行なった平均静的圧縮強度($\bar{\sigma}_c$)に対する百分率で表わし、 $S=82$

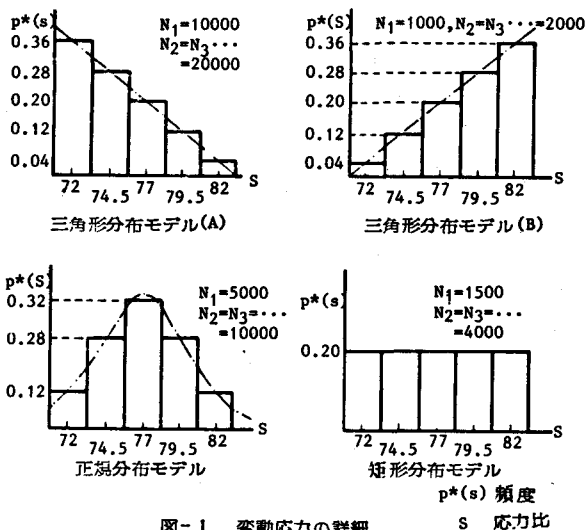


図-1 変動応力の詳細

から72%の間で設定し、下限応力はすべて $\bar{\sigma}_c$ の10%とした。載荷方法には、繰返し速度5Hzの正弦波形を採用した。変動応力試験における荷重順序は図-1に示すような5つの応力比($S=72\% \sim 82\%$)に番号をつけ、供試体ごとに①～⑤までの一様乱数を発生させて決定した。荷重順序($i=1 \sim 5$)が決定すると、各応力比 $S=S_i$ における載荷繰返し回数 $n_i(S_i)$ は、 $i(i=1, 2, \dots, 5)$ 番目の応力ブロックにおける繰返し回数(N_i)を与えることによって $n_i(S_i) = N_i \cdot P^*(S_i)$ で算定される。試験は、 $n_{11}(S_1)$ から順次載荷し、 n 番目の応力ブロック内の第 k 番目の応力比で供試体が破壊するまで行なった。

3. 実験結果および考察：図-2は、各応力比における疲労寿命(N)と順序統計量の理論を用いて算定した生存確率(P)を対数正規確率紙にプロットしたものである。各プロット点はほぼ直線上にあり、Nの分布はほぼ対数正規分布に従うとみなせる。なお、P-N線図の傾きの逆数すなわち $\log N$ の標準偏差 $V(\log N)$ は 0.390 から 0.494 の範囲にある。図-3はP-N線式において $t=0$ のときの平均疲労寿命($\bar{N}$)と応力比(S)の関係と、その

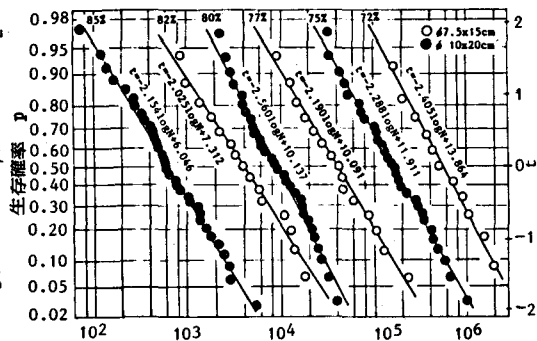


図-2 P-N線図

S- $\bar{N}$ 線式を示している。変動応力下の疲労寿命は次式で定義 $M = \frac{1}{n} \left\{ \sum_{j=1}^n (N_j(S_j) / \bar{N}(S_j)) \right\} + \frac{1}{n} (N_j(S_j) / \bar{N}(S_j)) \dots (1)$ する累積繰返し回数比(M)を用いて評価する。ここに、 $\bar{N}(S_j)$ はS-N線式より求めた平均疲労寿命である。M-Pの関係を図-4に示す。図よりMは対数正規に従うといえる。このとき回帰式は式(2)で示され、平均累積繰返し回数比($\bar{M}$)、 $\log M$ の標準偏差 $V(\log M)$ $t = A \log M + B \dots (2) \quad \bar{M} = 10^{-B/A}, V(\log M) = 1/|A| \dots (3)$

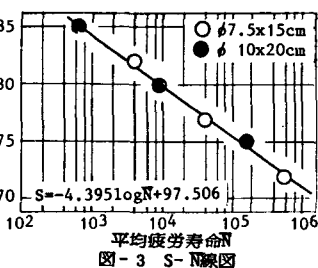


図-3 S-N線図

は式(3)で表わされる。各分布モデルにおける回帰分析結果を表-3に、試験要因ごとのMの値を図-5に示す。図より、変動応力試験におけるMは1.22から1.43の範囲にある。この値は、二段階試験におけるMの値0.54から1.54の中間的な値を示している。このことより、ランダム荷重下におけるMは二段階応力試験の荷重順序の相違によって得られるMの値を上、下限値とし、その間で変動するものと考えられる。本研究におけるMは1に近いこと、二段階応力試験のすべてのMの算術平均が1.06になることを考えれば、荷重が頻繁に変化するようなランダム荷重下における疲労

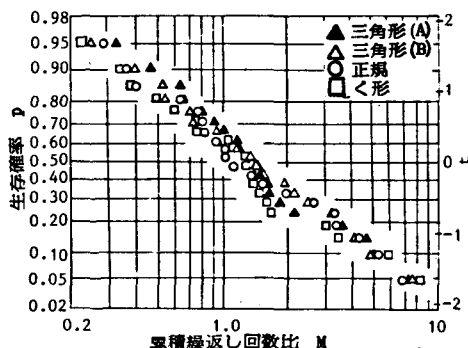


図-4 生存確率と累積繰返し回数比の関係

表-2 回帰分析

分布モデル	回帰式: $t = A \log M + B$	D_{max}	$D_{50-50\%}$	D_{min}	1	$\bar{M}$	$V(\log M)$
三角形(A)	$t = -2.5261 \log M + 0.396$	0.140	0.230	0.61	20	1.43	0.396
三角形(B)	$t = -2.2571 \log M + 0.333$	0.089		0.31		1.40	0.443
正規	$t = -2.2491 \log M + 0.269$	0.106		0.46		1.32	0.445
く形	$t = -2.2451 \log M + 0.191$	0.174		0.76		1.22	0.445

寿命の推定に $\bar{M} = 1$ を破壊条件とするマイナー則がほぼ適用できるものと思われる。また、表-2に示す $V(\log M)$ は 0.396 から 0.445 の範囲にあり、上記の一定応力試験の $V(\log M)$ とほぼ等しい値を与えている。このことは累積繰返し回数比の概念を用いれば、 $\log M$ のばらつきは一定応力試験の疲労寿命から推定できる可能性のあることを示している。

最後に、本研究には鳥取大学井上正一氏に絶大な援助を給った。ここに謝意を示す。

参考文献 1) 西林、井上、阪田、大宮「変動応力下におけるコンクリートの疲労について」昭和55年度、セメント年報

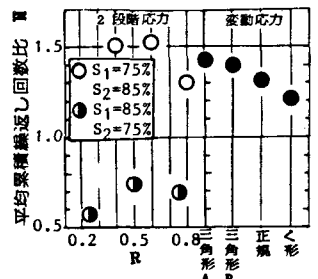


図-5 平均累積繰返し回数比