

V-157 変動繰返し荷重下におけるコンクリートの疲労寿命の確率分布特性について — 下限応力の変動が疲労寿命に及ぼす影響 —

鳥取大学 正員 ○井上 正一
鳥取大学 正員 矢村 潔
岡山大学 学員 茂木 浩二

表1 示方配合

	M.S. (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	C	単位量		
							W	S	G
配合Ⅰ	15	5±1	5	61	46	280	170	817	1004
配合Ⅱ	20	7.5±1	2	74	47	250	185	876	1025

1. まえがき

本研究は、ランダム荷重下におけるコンクリートの圧縮疲労寿命を把握するために計画した。すなわち、一定応力試験と、外力荷重のパターンとして、上・下限応力レベルとその応力レベルが作用する頻度の関係に指数型の確率密度関数を採用した変動応力試験を実施し、これらの試験で得られた累積繰返し回数比の確率分布特性を検討した結果について報告する。

2. 実験方法

セメントには普通ポルトランドセメントを、粗骨材は碎石を、細骨材には川砂と砕砂の混合砂を用いた。コンクリートは28日目標強度350 kgf/cm² (配合Ⅰ)と210 kgf/cm² (配合Ⅱ)で、表1に示す配合を試練りにもとづいて決定した。疲労試験は、一定応力試験と変動応力試験からなる。これらの試験は油圧サーボ機構を有する疲労試験機を用い、繰返し載荷速度5 Hz、荷重と時間との関係は正弦波形のもとで行った。試験に設定した上限応力比(S:以下応力比と称す)は、コンクリートの静的平均圧縮強度($\bar{\sigma}_c$)に対する百分率で数水準を選び、下限応力比(S_n)は $\bar{\sigma}_c$ の10%、20%の2水準を選定した。変動応力試験は、図1に示すようなヒストグラムを1応力ブロックとし、設定した各応力比に対して表2に示す4種類の荷重順序を採用し、各5本の供試体を試験した。荷重順序($S=S_j, j=1, 2, 3$)が決定すると、各応力比における載荷繰返し回数 $n_{ij}(S_j)$ は、 i ($i=1, \dots, 4$)番目の応力ブロックにおける総載荷繰返し回数(N_i)を手えることによって、 $n_{ij}(S_j) = N_i \times P^*(S=S_j)$ で算定される。試験は $n_{i1}(S_1)$ から順次載荷し、 i 番目の応力ブロック内の第 $n_{i1}(S_1)$ 番目の応力比で供試体が破壊するまで行い、その時の載荷繰返し回数 $N_{u,ik}(S_k)$ を測定した。

3. 解析方法

図2, 4に示す生存確率(P)は、順序統計量の理論を用いて次式から求めた。 $p=1-r/(l+1)$, $t=\phi^{-1}(p) \dots (1)$
ここに、 l は同一試験条件に用いた供試体総数、 r は疲労寿命(N)あるいは後記の累積繰返し回数比(M)を小さい順に並べたときの序数、 t は任意の p の値に対して標準正規積分表($p=\phi(t)$)より求まる。

4. 結果と考察 一定応力試験: 図2は疲労寿命(N)の結果を対数正規確率紙上にプロットしたものである。図より、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

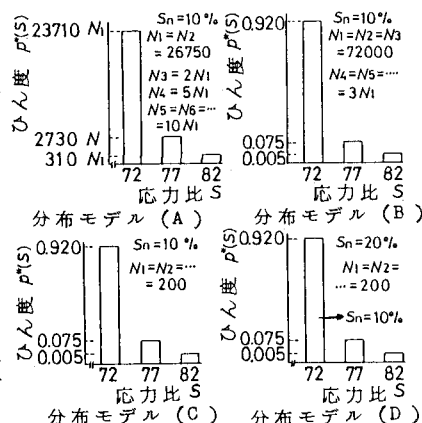


図1 変動応力試験の詳細

表2 変動応力試験の荷重順序 S_j (%)

$S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3$	$S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3$
(1) 72 → 77 → 82	(2) 82 → 77 → 72
(3) 77 → 72 → 82	(4) 77 → 82 → 72

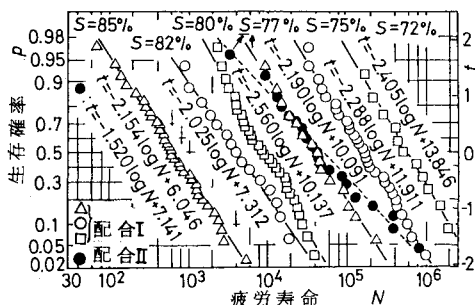


図2 P-N線図 ($S_n = 10\%$)

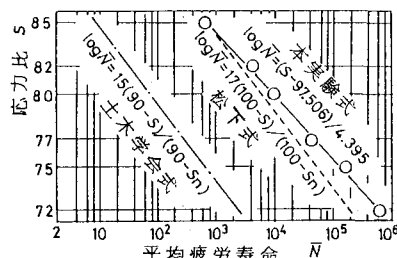


図3 S-N線図 ($S_n = 10\%$ の場合を表示)

のとき回帰式は, $t = A \log N + B$ (2)
 で表わされ, 平均疲労寿命 ($\bar{N}: p = 0.5 (t = 0)$) のときの N の値,
 $\log N$ の標準偏差 $V(\log N)$ は次式で与えられる。

$$\bar{N} = 10^{-B/A}, \quad V(\log N) = 1/|A| \quad \text{..... (3)}$$

図3は, 式(2)を最小2乗法によって決定した図2中の直線式
 から算定した $\bar{N}$ と応力比 (S) の関係と, その $S-\bar{N}$ 線式および松
 下式や限界状態設計法試案による $S-\bar{N}$ 線式も併記している。

変動応力試験: M を累積繰返し回数比と称し, 次式で定義す

$$M = \sum_{i=1}^{u-1} \left(\sum_{j=1}^3 \frac{n_{i,j}(S_j)}{\bar{N}(S_j)} \right) + \sum_{j=1}^3 \frac{n_{u,j}(S_j)}{\bar{N}(S_j)} \quad \text{..... (4)}$$

ここに, $\bar{N}(S_j)$ は応力比 $S = S_j$ における平均疲労寿命である。
 一定応力試験においては, 式(4)から式(5)の関係が得られる。

$$\left. \begin{aligned} M &= N/\bar{N} \quad \log M = \log N - m(\log N) \\ m(\log M) &= 0 \quad \bar{M} = 1, \quad V(\log N) = V(\log M) \end{aligned} \right\} \quad \text{..... (5)}$$

上式は, N が対数正規分布に従うとき, M も対数正規分布に従
 うこと, $\log M$ の平均(期待)値が0, すなわち $\bar{M} = 1$ であるこ
 と, $\log M$ と $\log N$ の標準偏差が等しいことを示している。このよ
 うな関係が成立することに着目して, ここでは式(4)の $\bar{N}(S_j)$ に,
 図3中の3種類の $S-\bar{N}$ 線式から算定される応力比 $S = S_j$ にお
 ける疲労寿命を用い, M (本実験式, 松下式, 土木学会の限界
 状態設計法試案による式をそれぞれ M_A, M_B, M_C と表記) の対
 数正規分布への当てはめを検討した。

図4に, 変動応力試験の M と生存確率の関係を示す。図よ
 り, いずれの M も対数正規分布に従うといえる。図中の直線
 式は, 次式を最小2乗法によって求めたものである。

$$t = A \log M + B \quad \text{..... (6)}$$

このとき, 平均累積繰返し回数比 ($\bar{M}$) および $\log M$ の標準
 偏差 $V(\log M)$ は次式で与えられる。

$$m(\log M) = -B/A \quad \bar{M} = 10^{-B/A}, \quad V(\log M) = 1/|A| \quad \text{..... (7)}$$

式(7)を式(6)に代入すると, 式(8)が得られる。

$$\log M = m(\log M) - t \cdot V(\log M) \quad \text{..... (8)}$$

図5, 6に, 各試験条件ごとの $\bar{M}, V(\log M)$ の値
 を示す。図5より, $\bar{M}$ の値は, 本実験より得られた
 $S-\bar{N}$ 線式を基準にすれば, 松下式で約2倍, 土木学
 会試案式で約10²倍程度の値を示し, $\bar{M}$ の値はこれを
 評価する $S-\bar{N}$ 線式によって大きく変わることがわか
 る。一方, $V(\log M)$ の値は, いずれの $S-\bar{N}$ 線式か
 ら M を評価しても $\bar{M}$ に比べてばらつきが小さく, 同一配合の一定応力試験の $V(\log N)$ とほぼ等しい値を示して
 いることがわかる。また, 図5の $\bar{M}_B$ は, 分布モデル(C)と(D)でほぼ等しく, このことは, 疲労寿命の評価に
 においては, 上限応力と下限応力の変動を同時に考慮する必要があることを示しているものと考えられる。

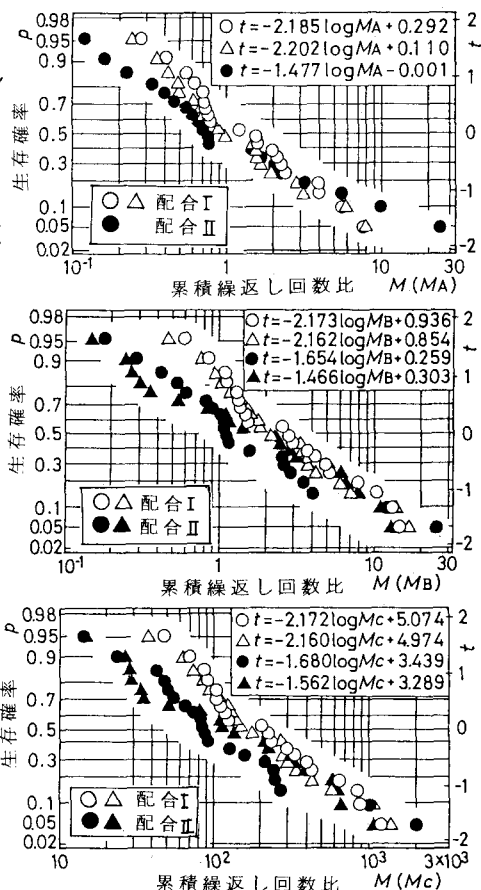


図4 P-M線図

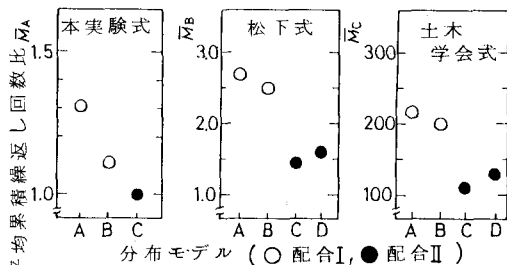


図5 試験要因ごとのM

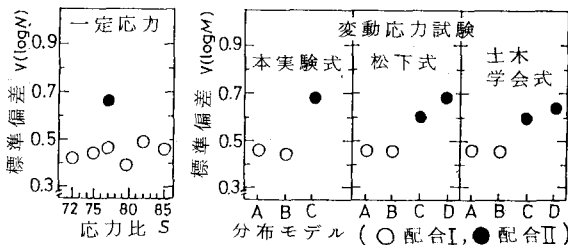


図6 試験要因ごとのV(log M)