

変動繰返し荷重下におけるコンクリートの疲労寿命について

鳥取大学 学員 ○ 加古 達
鳥取大学 正員 井上 正一
村本建設株式会社 岸本 幸仁

1, まえがき

本研究は、変動繰返し荷重下におけるコンクリートの疲労寿命を明確にするために、一定応力、2段階応力疲労試験を実施し、2・3段階応力疲労試験で得られた疲労寿命の確率分布特性と、一定応力試験で得られたそれとの関連性を比較検討したものである。

2, 実験概要

コンクリートの配合は、 $w/c=66\%$, $S/a=43\%$, スランプ 5 ± 1 cmとし、粗骨材には最大寸法20 mmの砕石を使用した。供試体は中10×20 cmで、28日間水中養生を施し、以後試験時(材令100日以上)まで実験室内に放置した。疲労試験は、(A)一定応力試験と、図-1に示すような(B)2・3段階応力試験からなる。これらの試験は繰返し載荷速度 1 Hz で行ない、設定応力比(S)は各バッチごとの静的平均圧縮強度($\sigma_c = 22.5 \sim 25.2 \text{ MN/cm}^2$, 供試体数(8~10)本, 変動係数の最大値58%)に対する百分率で選び、下限応力比は10%とした。試験(B)は i 番目の応力比(S_i)で n_i 回載荷することにし、 n_i は試験(A)で得られた平均疲労寿命($\bar{N}_i$)に設定回数比(R_i)を乗ずることによって決定した。

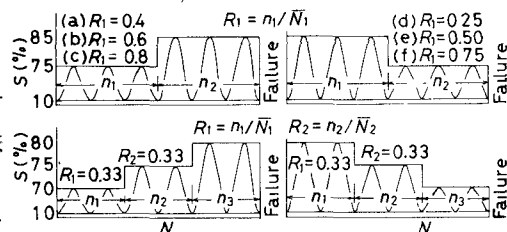


図-1 2・3段階応力疲労試験の概要

3, 試験結果と考察

(A) 一定応力疲労試験 : 図-2は生存確率(P)と疲労寿命(N)の関係を対数正規確率紙に示したもので、 P は順序統計量の理論を用いて次式から求めた。

$$P = 1 - r / (l + 1) \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 l : 同一試験条件に供した供試体数、 r : N を小さい順に並べた序数、 t : 正規分布曲線の対称軸からの距離で、任意の P に対して正規積分表より求める。

図中の直線式は式(2)の係数 A , B を最小2乗法によって決定したものである。

$$t = A \log N + B \quad \text{--- (2)}$$

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みなせる。

(B) 2・3段階応力疲労試験 : M を累積回数比と称し、次式で定義することにする。

$$M = \sum_{i=1}^j n_i / \bar{N}_i \quad \text{--- (3)}$$

ここに、 j : 最終段階(破壊時)の応力比を表わす序数($j=1, 2, 3$); $n_i, \bar{N}_i$: i 番目の応力比(S_i)での載荷回数と平均疲労寿命(図-2の直線式に、 $P=50\%$ に対応する t の値、即ち $t=0$ を代入して求められる疲労寿命の値)

図-3は、一定応力疲労試験における M (N を $\bar{N}$ で除した値)と P との関係を対数正規確率紙に示したものの一例であり、図-4, 5はそれぞれ2段階, 3段階応力疲労試験における M - P 関係を対数正規確率紙に示したものである。図中の直線式は式(4)の係数 C , D を最小2乗法によって決定したものである。

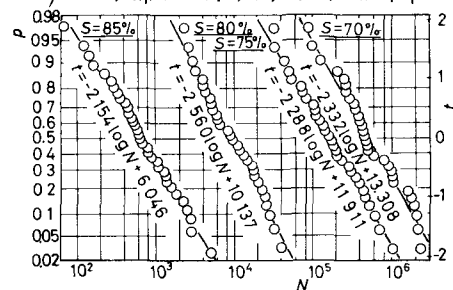


図-2 P-N線図

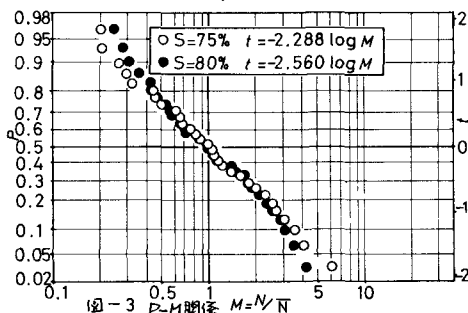


図-3 P-M関係

$$t = C \log M + D \text{ ---- (4)}$$

なお、試験(A)では $M = N/N$ で表わされ、(4)式中の係数は $C = A$ (式(2))、 $D = 0$ となる。

各試験条件ごとの M が、図中の回帰式で近似した分布に従うと仮定し、適合度検定に χ^2 検定を用いた結果(表-1)、有意水準 5% 程度を見積れば、 M は対数正規分布に従うといえる。このとき、分布の母数、すなわち $\log M$ の平均値 ($m(\log M)$) と標準偏差 ($V(\log M)$) は次式で与えられる。

$$m(\log M) = -D/C, \quad V(\log M) = 1/C \text{ ---- (5)}$$

図-6 は、平均累積回数比 $\bar{M} = 10^{m(\log M)}$ および $V(\log M)$ と先行回数比 (R_1) の関係をプロットしたものである。図より、 $\bar{M}$ は先行回数比 (R_1) からほとんど影響を受けないこと、先行応力比 (S_1) が後行応力比 (S_2, S_3) より小さい場合の $\bar{M}$ 、 $V(\log M)$ はともに一定応力疲労試験におけるそれよりも大きく、 S_1 が S_2, S_3 よりも大きい場合の $\bar{M}$ 、 $V(\log M)$ は逆に小さくなるのがわかる。図-7 は、荷重の不規則性を規定し、2段階あるいは3段階の同一段階応力試験に用いた供試体数 (N) に対して M を小さい順に並べ替えたとときに得られる生存確率 (P) と M の関係を対数正規確率紙にプロットしたものである。 M が図中の回帰式で近似した分布に従うと仮定して、適合度検定に χ^2 検定を用いた結果(表-2)、有意水準を 5% 程度見積ると、2段階応力試験に限れば、 M は対数正規分布に従うといえる。このとき $\bar{M} = 0.96$ 、 $V(\log M) = 0.476$ となり、一定応力疲労試験のそれらにほぼ等しい値を与えている。

このことは、 $P=50\%$ においてマイナー則がほぼ成立する可能性のあること、さらに M の分布が一定応力試験の結果から指定しうる可能性のあることを示している。

表-1 コルモゴロフ-スミルノフ検定結果

応力比 (%)	R_1	D_{max}	$D_{crit}^{0.05}$	I
一定応力				
70	—	0.122	0.240	30
75	—	0.066	0.078	—
80	—	0.078	—	—
85	—	0.060	0.232	34
2段階応力				
75	0.4	0.100	—	—
85	0.6	0.136	0.290	20
85	0.8	0.090	—	—
3段階応力				
85	0.25	0.198	—	—
75	0.50	0.201	0.282	22
75	0.75	0.155	—	—
3段階応力				
70-80	0.33	0.147	—	—
80-70	0.33	0.127	0.290	20

D_{max} : 最大値, $D_{crit}^{0.05}$: 限界値, I : 自由度

表-2 χ^2 検定結果

2段階											
P の区間	1.00	0.88	0.75	0.63	0.50	0.38	0.25	0.13	$E(O)$	χ^2	χ^2_{crit}
$N=126$	17	19	16	20	5	20	14	16	15.75	10.3	14.1
3段階											
P の区間	1.00	0.75			0.50		0.25		$E(O)$	χ^2	χ^2_{crit}
$N=40$	5	20			7		8		10.0	13.8	7.8

$E(O)$: O の期待値, $\chi^2 = \sum (E(O) - O)^2 / E(O)$, χ^2_{crit} : 限界値, O : 度数

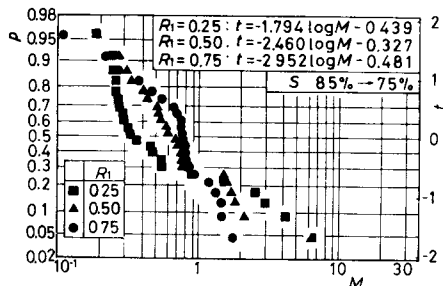
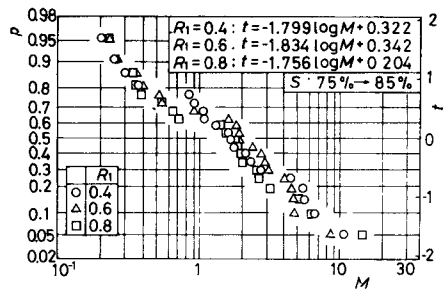


図-4 2段階応力試験の P - M 関係

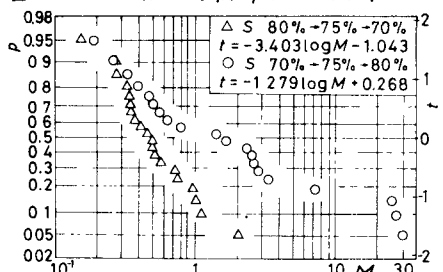


図-5 3段階応力試験の P - M 関係

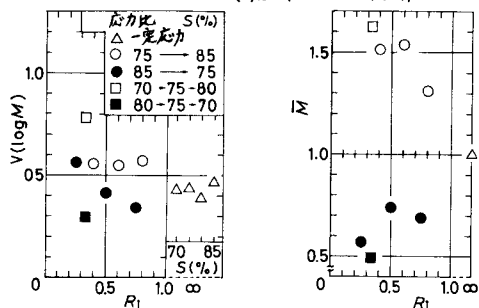


図-6 R_1 - $V(\log M)$, R_1 - M 関係

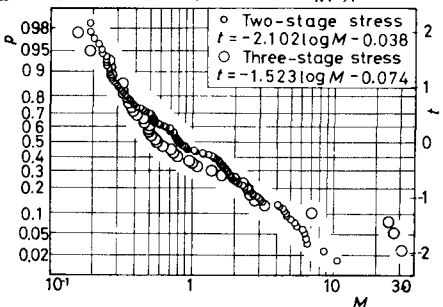


図-7 P - M 関係