

鳥取大学 正員 〇井上 正一
鳥取大学 正員 西林 新蔵
鳥取大学 学員 加古 達

1. まえがき

時間とともに変動するランダム荷重を受けるコンクリート構造物において、これら部材の合理的な設計、あるいは耐用期間中に構造物がその機能を十分に発揮することを保障するためには、ランダム荷重下におけるコンクリートの圧縮疲労特性は十分に解明しておく必要がある。本研究は上記の点をかんがみ、ランダム荷重のうち最も簡単な形の2段階応力疲労試験を実施し、荷重順序、先行応力比における繰返し回数がコンクリートの疲労寿命に及ぼす影響を考察し、併せて疲労寿命の推定におけるMiner仮説の適合性について検討したものである。

2. 実験概要

コンクリートの配合は、 $w/c=66\%$ 、 $s/a=43\%$ 、スランパ $5\pm 1\text{ cm}$ 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 $10\times 20\text{ cm}$ 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段階応力試験からなる。これらの試験は繰返し載荷速度 5 Hz で行い、設定上限応力比(S)は各バッチごとの供試体8~10本の静的平均圧縮強度($\bar{\sigma}_c=22.5\sim 25.2\text{ MN/m}^2$ 、変動係数の最大値 5.8%)に対する百分率で選り、下限応力は $\bar{\sigma}_c$ の 10% と一定にした。試験(B)は、先行応力比 S_1 で n_1 回載荷し、その後応力比を S_2 に変化させて破壊までの回数 n_2 を測定した。この場合、 n_1 は試験(A)で得られた平均疲労寿命($\bar{N}$)に設定回数比(R)を乗ずることによって決定した。

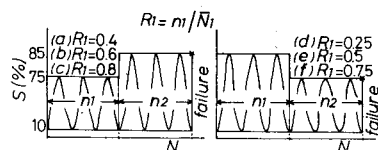


図-1 2段階応力疲労試験の概要

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。

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

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、 l ：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まる。

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。

$$t = A \log N + B \quad (2)$$

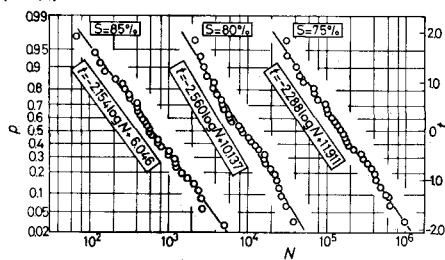


図-2 P-N線図

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段階応力疲労試験： m を累積回数比、 $M(P)$ を確率累積回数比と呼び、次式で定義することにする。

$$m = R_1 + R_2 = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2}, \quad M(P) = R_1(P) + R_2(P) = \frac{n_1}{N_1(P/S_1)} + \frac{n_2}{N_2(P/S_2)} \quad (3)$$

ここに、 $N(P/S)$ は応力比(S)における任意の P に相当する疲労寿命(確率疲労寿命)で、 m を小さい順に並べた序数 r に相当する P を式(1)より求め、 S_1 、 S_2 に対して図-2の直線式より算定した。この場合、直線式上の点は、任意の P において供試体が破壊する(あるいは破壊しない)確率が 50% であると仮定することにし、とくに $N(P=0.5/S)$ は平均疲労寿命($\bar{N}$)を表わす。

図-3に $m-R_1$ 関係を示す。図中の破線は先行応力比(S_1)で供試体が破壊し

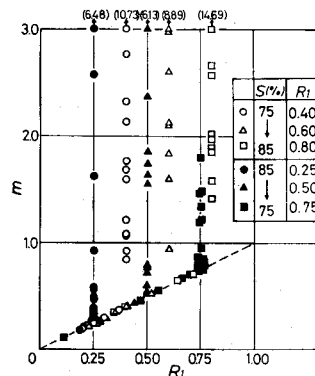


図-3 $m-R_1$ 関係

たことを示す。図より、 m の値は0.11から14.7の範囲にあり、 m のばらつきは非常に大きいことがわかる。

図-4、5は一定応力および2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プロットしたものである。 m は図中の回帰式で近似した分布に従うと仮定し、適合度の検定にK-S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。また、式(2)の係数 A の絶対値は、先行応力が後行応力より小さい場合には一定応力のそれより小さくなり、逆に先行応力の方が大きい場合には大きくなる。このことより、2段階応力を受けるコンクリートの疲労寿命は先行応力の大小(荷重順序)によって一定応力下における疲労寿命より短くなったり長くなる傾向のあることが伺われる。

図-6は $M(P)$ と $R_1(P)$ の関係を、図-7は $M(P)$ と P の関係を、図-8は各試験条件ごとの $M(P)$ の算術平均 $\bar{M}$ あるいは $\bar{m}$ ($P=0.5$ のときの P の値で、 $\sigma=0$ を図-5の式に代入することによって得られる)と R_1 の関係を示したものである。これらより、 $M(P)$ は m に比べてばらつきが小さい、 $M(P)$ の値は生存確率 P の値によってほとんど変らない、 $\bar{M}$ と $\bar{m}$ の値はほぼ一致する、疲労寿命の評価値($\bar{M}$, $\bar{m}$, $M(P)$)は主として先行応力比(S_1)の大小関係で決定され回数比(R_1)の影響は小さい、などのことがいえる。

図-9には、図-7に示した P を0.05刻みで区間分けした場合の全ての試験条件による $M(P)$ と P の算術平均 $\bar{M}(P)$ - P 関係を示す。図より、 $\bar{M}(P)$ は0.9から1.4の範囲にあり、平均1.09となる。一方、図-8に示した $\bar{m}$ の平均は1.06となる。このことは、変動荷重下の疲労寿命の推定に式(3)の $m=1$ で表わされるMiner仮説が、確率疲労寿命 $N(P/S)$ を導入することによっても適用できる可能性のあることを示している。

表-1 コロコロゴラスニフ検定結果

荷重比	R_1	D_{max}	$D_{A=5\%}$	I
$S=75\%$	—	0.066	0.240	30
$S=85\%$	—	0.060	0.232	34
$S=75\%$	0.4	0.100		
↓	0.6	0.136	0.290	20
$S=85\%$	0.8	0.096		
↓	0.25	0.198		
$S=85\%$	0.50	0.201	0.282	22
↓	0.75	0.155		

α: 有意水準 D_{max} : 隣りの最大値 D_A : 限界値

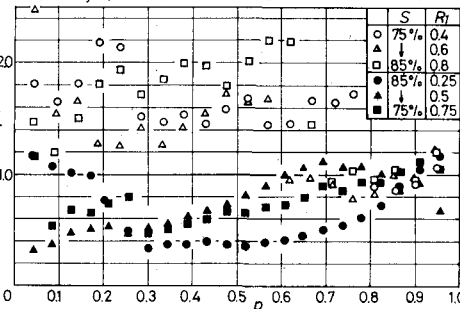


図-7 確率累積回数比と生存確率の関係

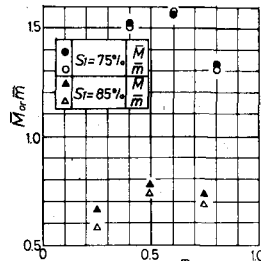


図-8 $\bar{M}$ あるいは $\bar{m}$ と R_1 の関係

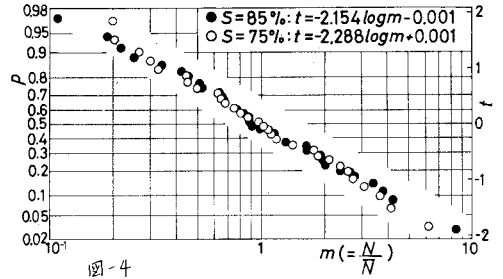


図-4

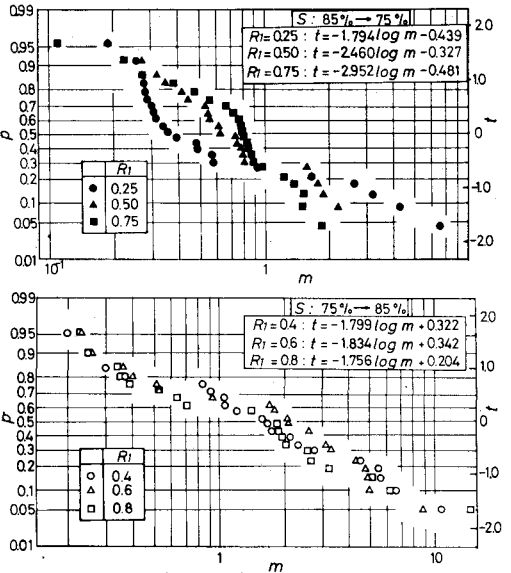


図-5 生存確率と累積回数比の関係

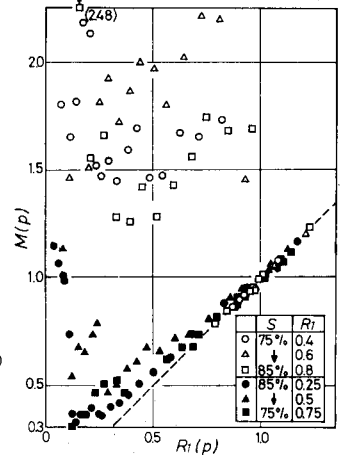


図-6 確率累積回数比 $M(P)$ と $R_1(P)$ の関係

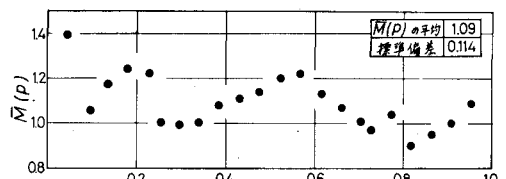


図-9 確率累積回数比と生存確率の関係