

九州大学 正 員 松下 博通

九州大学 学生員 ○玉井 裕行

九州大学 正 員 徳光 善治

1. まえがき

一定繰返し圧縮応力を受けるコンクリートの疲労に関しては、疲労寿命分布、 $S-N$ 曲線、変動特性などが明らかにされている。しかしながら構造物が実際に受ける繰返し応力は、その大きさや周期が時間的に変化する変動応力であり、一定繰返し応力下の疲労性状をそのまま実構造物に適用することができないため、変動応力下の疲労寿命を推定する方法を検討する必要がある。本研究では、前繰返し応力として後繰返し応力よりも低い応力を受ける二段重複疲労試験を実施し、前繰返し応力および前繰返し回数がコンクリートの疲労寿命に及ぼす影響について検討したものである。

2. 実験方法

試験供試体は $\phi 75 \times 15$ cmの円柱供試体で、 $\sigma_c = 50\%$ 、 63% の2通りである。供試体の材齢は最値3ヶ月以上とし、気乾状態で試験に供した。

二段重複疲労試験のプログラムは図-1に示すように、最高応力比(S_2)を8%に固定し、前繰返し最大応力比を n_1 回繰返した後、後繰返し最大応力比を80%と一定にして疲労破壊するまでの回数 n_2 を測定した。このとき表-1の試験条件に示したように、前繰返し最大応力比は50%~75%の5種類とした。

表-1中の $\log \bar{N}_1$ および $\bar{N}_1$ は、一定繰返し応力を受けた場合の疲労寿命を求める式; $\log N = 17.5(100 - S_1)/(100 - S_2)$ ……(1) (ここに S_1, S_2 はそれぞれ最大、最小応力比)から推定したもので

表-1 二段重複疲労試験条件

前繰返し 応力比 (%)	$\log \bar{N}_1$	$\bar{N}_1$	前繰返し 回数 (n_1)	$\log \frac{n_1}{\bar{N}_1}$	供試体 本数
8-50	9.51	3.24×10^9	10^2	-7.51	8
			10^3	-6.51	7
			10^4	-5.51	7
			10^5	-4.51	5
			10^6	-3.51	5
8-60	7.61	4.06×10^7	10^2	-5.61	7
			10^3	-4.61	8
			10^4	-3.61	6
			10^5	-2.61	8
			10^6	-1.61	6
8-65	6.66	4.55×10^6	10^2	-4.66	6
			10^3	-3.66	7
			10^4	-2.66	7
			10^5	-1.66	6
			10^6	-0.66	5
8-70	5.71	5.09×10^5	10^2	-4.71	5
			10^3	-3.71	6
			10^4	-2.71	6
			10^5	-1.71	6
			10^6	-0.71	12
8-75	4.76	5.69×10^4	10^2	-2.76	5
			10^3	-1.76	5
			10^4	-0.76	7

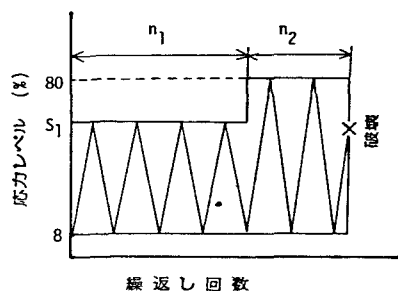


図-1 二段重複試験プログラム

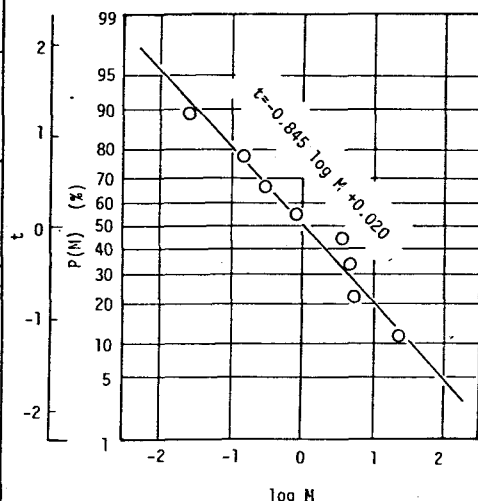


図-2 P-M 線図の一例

ある。繰返し速度は毎分300回とし、前繰返し载荷中に疲労破壊した供試体は1本も無かった。

3. 実験結果

二段重複疲労試験結果の一例を表-2に示す。(前繰返し応力比8-50%, $n_1 = 10^3$ 回の場合)。表がらわかるように、疲労試験結果は大きくばらついている。他のシリーズについても同様な傾向が得られ、統計的処理の必要性が認められた。今、 $M = n_1/\bar{N}_1 + n_2/\bar{N}_2 + \dots$ (2) とした時のMの分布の一例を図-2に示す。(前繰返し応力比8-50%, $n_1 = 10^3$ 回の場合)。図がら、Mは対数正規分布すると考えられる。

表-2 疲労試験結果の一例

n_1	n_2	M	$\log M$
100	90	0.025	-1.596
100	510	0.144	-0.843
100	980	0.276	-0.559
100	2870	0.808	-0.092
100	12900	3.634	0.560
100	16140	4.546	0.658
100	18560	5.228	0.718
100	78740	22.180	1.346

この時 $\bar{N}_2$ として8-80%の一定繰返し応力下での疲労寿命実験値 ($\bar{N}_2 = 3550$ 回) を採用した。

表-3 回帰直線式, $\overline{\log M}$ および $D(\log M)$

前繰返し 応力比 (%)	前繰返し 回数 (n_1)	回帰直線式	$\overline{\log M}$	$D(\log M)$
8-50	10^2	$t = -0.845 \log M + 0.020$	0.02	1.18
	10^3	$t = -1.010 \log M + 0.036$	0.04	0.99
	10^4	$t = -1.149 \log M - 0.073$	-0.06	0.87
	10^5	$t = -1.547 \log M + 0.025$	0.02	0.65
	10^6	$t = -1.732 \log M + 0.342$	0.20	0.58
8-60	10^2	$t = -1.364 \log M - 0.003$	0.00	0.73
	10^3	$t = -1.332 \log M - 0.084$	-0.06	0.75
	10^4	$t = -1.602 \log M + 0.226$	0.14	0.62
	10^5	$t = -0.778 \log M + 0.207$	0.27	1.29
	10^6	$t = -1.215 \log M + 0.324$	0.27	0.83
8-65	10^2	$t = -1.223 \log M - 0.045$	-0.04	0.82
	10^3	$t = -1.290 \log M - 0.082$	-0.06	0.77
	10^4	$t = -2.629 \log M + 0.271$	0.10	0.38
	10^5	$t = -1.628 \log M + 0.237$	0.15	0.61
	10^6	$t = -0.919 \log M + 1.265$	1.38	1.09
8-70	10^2	$t = -1.020 \log M - 0.058$	-0.06	0.98
	10^3	$t = -3.341 \log M + 0.261$	0.08	0.30
	10^4	$t = -2.050 \log M + 0.246$	0.12	0.49
	10^5	$t = -0.957 \log M + 1.045$	1.09	1.04
	10^6			
8-75	10^2	$t = -1.072 \log M - 0.003$	0.00	0.93
	10^3	$t = -1.005 \log M + 0.309$	0.31	0.99
	10^4	$t = -2.052 \log M + 0.682$	0.33	0.49

Mが対数正規分布するとき、その回帰直線式は、 $t = A \log M + B$ (3) (ここに t : 正規分布曲線の材料軸からの距離, A, B : 定数) で示される。この場合、 $\log M$ の平均値 $\overline{\log M}$ は $-B/A$ 、 $\log M$ の標準偏差である $D(\log M)$ は $1/A$ でそれぞれ与えられる。表-3に各シリーズの回帰直線式、 $\overline{\log M}$ 、 $D(\log M)$ の値を示す。

図-3に $\overline{\log M}$ と $\log n_1/\bar{N}_1$ の関係を示す。 $\overline{\log M}$ は $n_1/\bar{N}_1$ が小さい領域ではほとんど零と等しく、Minerの法則 $\bar{M} = 1$ が成り立っているといえるが、前繰返し回数 n_1 の増加とともに次第に $\overline{\log M} > 0$ となり、 $n_1/\bar{N}_1$

= 0.1程度では著しい増加が認められた。これらの結果より本実験のように応力が小から大に変動する場合の疲労寿命は、Minerの法則から予想される疲労寿命よりも大きくなり、Minerの法則が安全側に使われることがわかる。また、前繰返し応力の大きさにより $\overline{\log M}$ の増加の傾向が異なり、前繰返し応力比が小さいほど、 $n_1/\bar{N}_1$ の値のより小さい所での $\overline{\log M}$ の増加がみられる。

繰返し荷重を受けたコンクリートの残存強度が繰返し回数増加とともに増大し、残存強度比が最大となる $n_1/\bar{N}_1$ は0.01~0.05であるという結果を過去に報告した⁽¹⁾。これより、二段重複疲労試験において前繰返し応力のある程度受けるとコンクリートの強度が増大し、その結果設定した応力(80%)よりも実際には低い応力が作用したことになり、疲労寿命が長くなると考えられる。参考文献(1)松下、"繰返し荷重を受けたコンクリートの残存強度に関する研究"

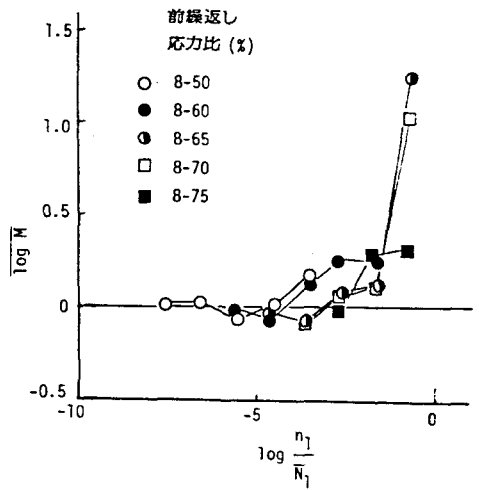


図-3 $\log n_1/\bar{N}_1$ と $\overline{\log M}$ の関係