

九州大学 工学部 学生員。牧角 龍憲
正員 松下 博通

1. まえがき

構造物に繰返し荷重が作用する時、その荷重の大きさは不規則に変動する。この変動荷重下の構造物あるいは構成材料の疲労寿命を推定するものとして Miner の定理⁽¹⁾があり、繰返し荷重を考慮する構造物の設計には一般によく用いられている。しかしながら、一定繰返し荷重下でもその疲労寿命が大きくばらつき、その分布は対数正規分布するとされているコンクリートにおいて、Miner の定理の適用性について研究報告されているものは少なく、特に高サイクル圧縮疲労については皆無に近い。そこで筆者らは、コンクリートの高サイクル圧縮疲労試験において、繰返し荷重の大きさを二段階に変化させ、その疲労寿命の推定について検討してみた。

2. 試験方法

試験供試体は $\phi 7.5 \times 15$ cm 円柱状供試体で、コンクリートの配合は $\rho_c = 78\%$, $\rho_a = 44\%$, スランプ 5 ± 1 cm であり、試験時の材齢は 6 ヶ月以上とし、試験開始 1 ヶ月前より気乾状態を保たせた。疲労試験は n_1 回まで一定繰返し応力 S_1 をかけ、その後応力を S_2 に変化させて疲労破壊するまでの回数 n_2 を測定するものとし、 n_1, n_2 は各繰返し応力における平均疲労寿命推定値 N_1, N_2 に対する比によって定めた。最小繰返し応力比はすべて 8% とした。

3. 試験結果と Miner の定理の検討

表-1 に疲労試験結果と $n_1/N_1 + n_2/N_2$ の値ならびにその対数を示す。 N_1, N_2 は、筆者らが先に報告した一定繰返し応力下の疲労寿命算定式より求めたもので、 $S = 80\%$ で $N = 6000$ 回、75% で 53000 回、および 70% で 25 万回である。図-1 は、横軸に前繰返し回数比 n_1/N_1 を、縦軸に変動後繰返し回数比 n_2/N_2 をとって、Miner の定理 $n_1/N_1 + n_2/N_2 = 1$ (図中破線) と比較したものであるが、荷重変動が上昇あるいは下降のいずれのグループに

	n_1	n_2	$\frac{n_1}{N_1} \frac{n_2}{N_2}$	$\log(\frac{n_1}{N_1} \frac{n_2}{N_2})$
A $\frac{n_1}{N_1} = 0.02$	10000	1010	0.19	-0.73
		2100	0.37	-0.43
		5690	0.97	-0.01
		6250	1.06	0.03
		6400	1.09	0.04
		11800	1.99	0.30
		27870	4.67	0.67
		30690	5.14	0.71
		172160	28.71	1.46
		550	0.29	-0.54
B $\frac{n_1}{N_1} = 0.2$	100000	1200	0.40	-0.40
		3800	0.83	-0.08
		16710	2.99	0.48
		29800	5.17	0.71
		86350	14.59	1.16
		87570	14.80	1.17
		113330	19.09	1.28
		128450	21.61	1.34
		206010	34.54	1.54
		483900	80.85	1.91
C $\frac{n_1}{N_1} = 0.5$	17900	785290	131.08	2.12
		41100	0.04	-1.40
		72600	0.08	-1.10
		117600	0.15	-0.82
		250000	0.24	-0.62
		174200	0.35	-0.46
		250000	0.52	0.01
		250000	0.52	0.01
		250000	14250	2.38
		250000	44600	7.93
D $\frac{n_1}{N_1} = 0.8$	250000	250000	7.93	0.90
		250000	46660	8.28
		250000	82000	14.17
		250000	84000	14.50
		250000	101060	17.34
		250000	175480	29.75
		250000	230000	37.67
		250000	295000	49.67
		250000	330000	55.50
		250000	459000	77.00
E $\frac{n_1}{N_1} = 0.8$	250000	1192000	199.17	2.30
		250000	1477000	246.67
		250000	1508000	251.83
		250000	1756000	293.17
		250000	1756000	293.17
		250000	1756000	293.17
		250000	1756000	293.17
		250000	1756000	293.17
		250000	1756000	293.17
		250000	1756000	293.17

表-1 疲労試験結果

	n_1	n_2	$\frac{n_1}{N_1} \frac{n_2}{N_2}$	$\log(\frac{n_1}{N_1} \frac{n_2}{N_2})$
D $\frac{n_1}{N_1} = 0.8$	219000	2500	0.44	-0.36
	400000	9300	2.35	0.37
	400000	17000	3.63	0.56
	350	500	0.06	-1.22
	1200	2100	0.08	-1.10
E $\frac{n_1}{N_1} = 0.2$	1200	814800	0.20	-0.69
	1200	2000000	1.83	0.26
	1200	2000000	4.20	0.62
	1200	2000000	4.20	0.62
	400	28000	0.07	-1.15
F $\frac{n_1}{N_1} = 0.5$	1700	2000	0.28	-0.55
	2000	2400	0.33	-0.48
	3000	28000	0.40	-0.40
	3000	145000	0.56	-0.24
	3000	1750000	0.79	-0.10
G $\frac{n_1}{N_1} = 0.8$	3000	2000000	4.00	0.60
	3000	2000000	4.50	0.65
	3000	2000000	4.50	0.65
	3000	2000000	4.50	0.65
	3000	2000000	4.50	0.65
H $\frac{n_1}{N_1} = 0.5$	200	4800	0.03	-1.48
	800	4800	0.13	-0.89
	1000	4800	0.17	-0.77
	1200	4800	0.20	-0.70
	1500	4800	0.25	-0.60

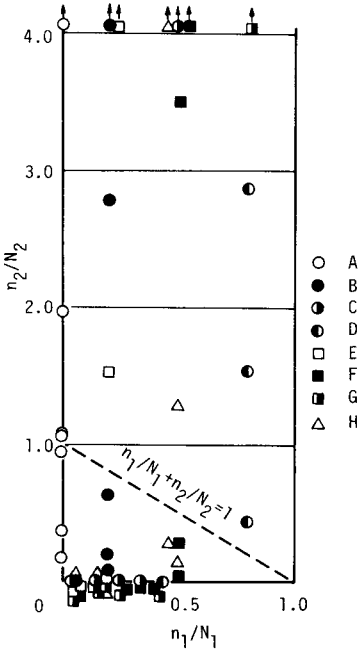


図-1 Miner の定理の検討

ないても、かなりばらついており、Minerの定理が不確定因子と認められる。これは、コンクリートの疲労寿命が対数正規分布するためと考えられる。 $\log n_1$ および $\log n_2$ と S の関係と $N_1/N_2=0.5$ のグループ C, F

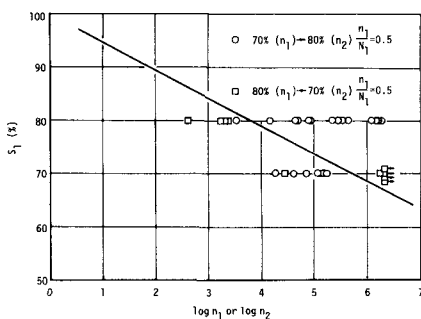


図-2 繰返し応力比 S と $\log n_1$ 、 $\log n_2$ の関係 ($N_1/N_2=0.5$)

の結果を用いて図-2に示すが、変動荷重下でも $\log n$ により統計的処理が可能であることがうかがえる。そこで、 $m = N_1 + N_2$ とし、全試験結果の $\log m$ と生存率 $p(N)$ との関係を正規確率紙上にプロットすると、図-3に示されるようにほぼ直線

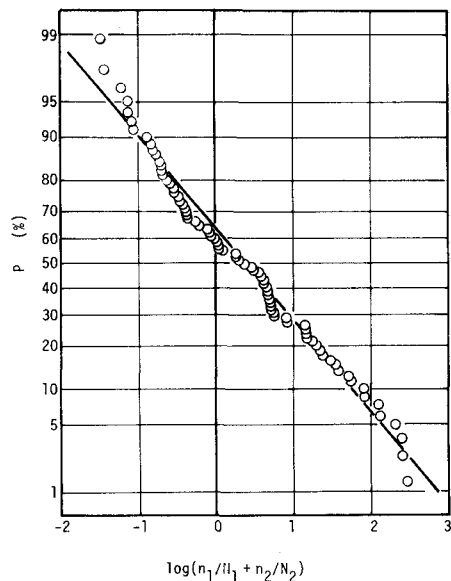


図-3 m の対数正規分布へのあてはめ

近似され、 m が $m=1$ 付近を中心として対数正規分布することが推定される。しかしながら、図-3は、荷重変動が上昇、下降したもの、荷重変動前に破壊したものまで含んでおり、それぞれの場合における $\log m$ の分布についての検討が必要である。図-4に繰返し応力比を70から80%に変化させたものを、図-5に80から70%に変化したものを示すが、荷重変動前に破壊したグループと変動後破壊のグループの $\log m$ には不連続変がみられ、それらのグループを同一に処理するのは問題があると考えられる。そこで荷重変動後と前に破壊したそれぞれのグループについてその $\log m$ の分布を調べ、図-6～図-9に示した。変動後に破壊したグループの m は対数正規分布すると見なすことができ、また、荷重が上昇したグループ、下降したグループともにほぼ同じ平均値、標準偏差を示していることから、荷重変動後に破壊した試験体の m は荷重変化の仕方にかかわらず、同一の対数正規分布をすると考えられる。以上のことから、繰返し荷重がランダムに変動するコンクリートの疲労寿命は、Minerの定理をそのまま適用することは無理であるが、繰返し回数比 N_1 の和 $\sum N_1 N_i$ の対数 $\log(\sum N_1 N_i)$ により論じることができると考えられる。しかし、図-3に示したように、その $\log(\sum N_1 N_i)$ のばらつきは大きく、標準偏差で1前後を見込んでおかねばならなし。参考文献 ① Miner, M.A.: Cumulative damage in fatigue, Trans. of ASME vol. 67, 1945

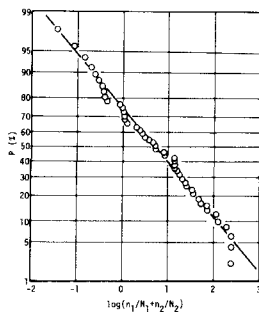


図-4 P- $\log m$ 線図 ($S_1=70\% \rightarrow S_2=80\%$)

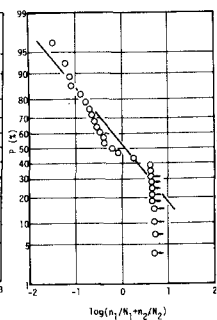


図-5 P- $\log m$ 線図 ($S_1=80\% \rightarrow S_2=70\%$)

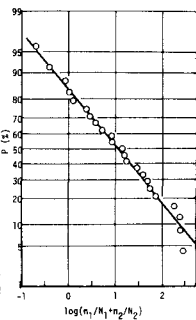


図-6 変動後破壊試験体の P- $\log m$ 線図 ($S_1=70\% \rightarrow S_2=80\%$)

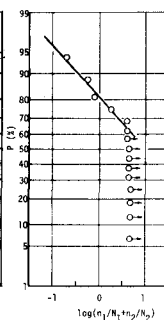


図-7 変動後破壊試験体の P- $\log m$ 線図 ($S_1=80\% \rightarrow S_2=70\%$)

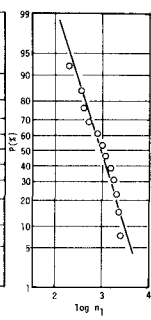


図-8 ($S_1=80\%$ ↓ $S_2=70\%$) P- $\log m$ 線図

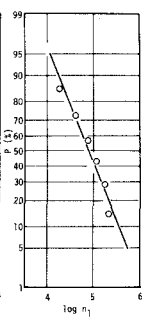


図-9 ($S_1=70\%$ ↓ $S_2=80\%$) P- $\log m$ 線図