

九州大学 工学部 正員 ○ 松下 博 通

徳光 善治

1. 実験目的

同一条件下の繰返し疲労試験での材料の疲労寿命Nは大きくばらつき、これは疲労破壊現象における本質的性質であると考えられている。⁽¹⁾したがって、コンクリートの場合、その静的圧縮強度のばらつきも大きい⁽²⁾ため、このNのばらつきは更に大きなものになることが考えられる。構造設計でその安全性を検討するときには、このNのばらつきが明らかにされねばならない。よって、コンクリートの圧縮疲労試験によって、Nの分布を調べようとした。

2. 統計的処理と従来の研究

実験結果の度数分布と正規分布にあてはめるのは、度数分布が対称な鐘状になるときであるが、疲労寿命は非対称分布となる。非対称分布に対する理論分布として、指数分布、対数正規分布、ワイブル分布など多いが、実験結果がこれらの理論分布と一致することは少なく、一般には、最も適当なものと思われるものについて実験結果と適用して、その実験定数等と定めなければならぬ。本実験結果では、対数正規分布と指数分布が適当であったので、それについて検討することにした。

小数の実験結果から、生存確率 p を求めるには、順序統計量の理論により、次式によった。

$$p = 1 - \frac{r}{n+1} \quad (n: \text{実験供試体総数})$$

ここで、 p は、疲労寿命の小さい方から r 番目の供試体の生存確率の期待値である。

Nの分布に関する従来の研究は少ない。金属材料に対しては、横尾⁽¹⁾によると、疲労破壊現象が一次のポアソン課程として指数分布に従うことが、Freudenthal⁽³⁾によると対数正規分布に従うことが、示されており、岩石に対しては、鈴木により、一次ポアソン課程の和で表わされることが示されている。

3. 実験概要

普通コンクリートおよび軽量コンクリートにより作製した $\phi 7.5 \times 15 \text{ cm}$ 円柱供試体により、静的破壊強度試験および疲労試験を行なった。疲労試験の繰返し速度は 300 回/分である。試験したコンクリートの配合条件、圧縮強度（試験時）の平均値および標準偏差、疲労試験時のコンクリートの枚数、繰返し荷重の大きさおよびその静的破壊強度に対する比を求めて、表-1に示す。

表-1 実験概要

4. 実験結果

疲労試験結果を表-2に示す。Nと p の関係は対数正規確率紙にプロットした例が図-1.2である。いずれも、ほぼ直線で近似でき、コンクリートの疲労寿命が対数正規分布にしたがうと考えられる。各シリーズについて、回帰曲線 $\log N = A \log p + B$ を最小二乗法により求めると、定数 A, B は表-3の通りとなる。 $\log N = 0$

シリーズ	配合条件		試験時圧縮強度	静的圧縮試験		疲労試験	
	W/C (%)	W/a (%)		原試体本数	平均値 (MPa)	供試体本数	繰返し能力 (MPa)
N-1	70	44	22.4	7	31.7	17	10
N-2	70	44	21.0	12	28.0	18	22
N-3	70	44	24.0	17	29.1	17	17
N-4	70	44	24.0	2	27.6	—	19
N-5	70	44	33.0	6	28.1	12	8
N-6	70	44	32.0	6	30.1	20	14
N-7	89	45	16.0	4	16.1	6	6
N-8	89	45	1.通	5	8.9	2	8
N-9	63	45	17.4	4	31.8	8	6
N-10	63	45	1.通	5	19.3	8	8
L-1	65	43	10.4	5	18.1	9	15

表-2 疲労試験結果

シリーズ	r	N	P(%)	シリーズ	r	N	P(%)	シリーズ	r	N	P(%)	シリーズ	r	N	P(%)	シリーズ	r	N	P(%)				
N-1	1	5500	76.9	N-2	14	2400	39.1	N-3	15	585850	15.7	N-5	1	1120	88.9	N-7	1	460	83.7	N-10	2	1340	77.8
	2	8380	72.7		15	3300	34.8		16	762280	11.1		2	1520	77.8		2	2000	71.4		3	2090	65.7
	3	34260	70.1		16	3990	30.4		17	877000	3.6		3	1670	66.7		3	2430	57.1		4	3730	55.6
	4	68910	63.6		17	4920	26.1		1	1020	95.0		4	2600	55.6		4	2740	42.9		5	4120	44.4
	5	80150	54.5		18	6100	21.7		2	4120	90.0		5	2700	44.4		5	3630	28.6		6	4530	33.3
	6	104700	45.5		19	7230	17.4		3	5910	85.0		6	2780	33.3		6	11370	14.3		7	5970	22.2
	7	178260	36.4		20	7650	13.0		4	5790	80.0		7	4330	22.2		7	1120	83.9		8	1740	11.1
	8	208100	27.3		21	25400	8.7		5	11000	75.0		8	93000	11.1		8	1520	77.8		9	290	93.8
	9	730810	18.2		22	24300	4.3		6	18050	70.0		9	260	93.9		9	1670	66.7		10	300	87.5
	10	168150	9.1						7	23000	65.0		10	440	96.7		10	2600	55.6		11	430	81.3
N-2	1	50	95.7	N-3	1	780	94.4	N-4	1	260	93.9	N-6	1	260	93.9	N-8	1	260	93.9	N-9	1	170	85.7
	2	60	91.3		2	1000	88.9		2	29500	60.0		2	440	96.7		2	29500	60.0		2	29500	60.0
	3	130	87.0		3	1360	83.3		3	35200	55.0		3	600	90.0		3	2700	44.4		3	2700	44.4
	4	150	82.6		4	2770	77.8		4	93000	50.0		4	780	73.3		4	2780	33.3		4	2780	33.3
	5	150	78.3		5	4770	72.2		5	403340	45.0		5	970	66.7		5	48350	22.2		5	48350	22.2
	6	200	73.9		6	5120	66.7		6	419000	40.0		6	1700	60.0		6	43000	11.1		6	43000	11.1
	7	450	69.6		7	3450	61.1		7	427830	35.0		7	2000	53.3		7	170	85.7		7	170	85.7
	8	470	65.2		8	14700	33.6		8	564670	30.0		8	3200	66.7		8	29500	60.0		8	29500	60.0
	9	470	62.2		9	16850	50.0		9	877000	25.0		9	4700	40.0		9	170	85.7		9	170	85.7
	10	590	60.9		10	183700	44.4		10	1160000	20.0		10	6150	33.3		10	3510	57.1		10	3510	57.1
N-2	11	600	59.0	N-3	11	29500	38.9	N-4	11	199000	15.0	N-6	11	12500	26.7	N-8	11	4980	28.6	N-9	11	42430	18.8
	12	1170	52.1		12	293000	33.3		12	1978000	10.0		12	23800	20.0		12	3530	42.9		12	3530	42.9
	13	1650	47.8		13	328400	27.8		13	1978000	10.0		13	24200	10.0		13	4870	28.6		13	4870	28.6
	14	2100	43.5		14	423760	22.2		14	5780000	5.0		14	107340	6.7		14	8470	14.3		14	8470	14.3

2° p=50% となり、そのときの N は平均繰返し回数 $\bar{N}$ であり

$$\log \bar{N} = -B/A, \quad \bar{N} = 10^{-B/A}$$

N と p の対数の関係がプロットすると、前に報告したように折線がみられる。

これ、疲労寿命の分布は指数分布に従う。

これは、疲労破壊現象が、並列した一次ポアソン過程の和で示され

るとして、次式の形で表わされることが示された。

$$p = \sum_{i=1}^m \lambda_i e^{-\lambda_i N}$$

ここで λ_i は、速度定数 λ_i なる破壊機構による試体が破壊する確率で

$$\sum_{i=1}^m \lambda_i = 1$$

である。この結果を表-4 に示した。

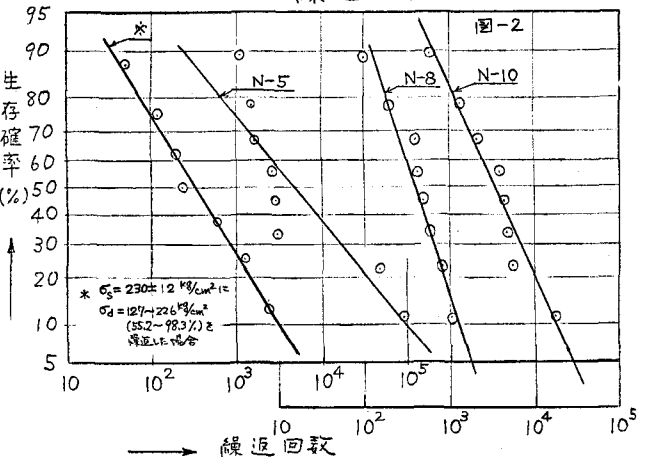
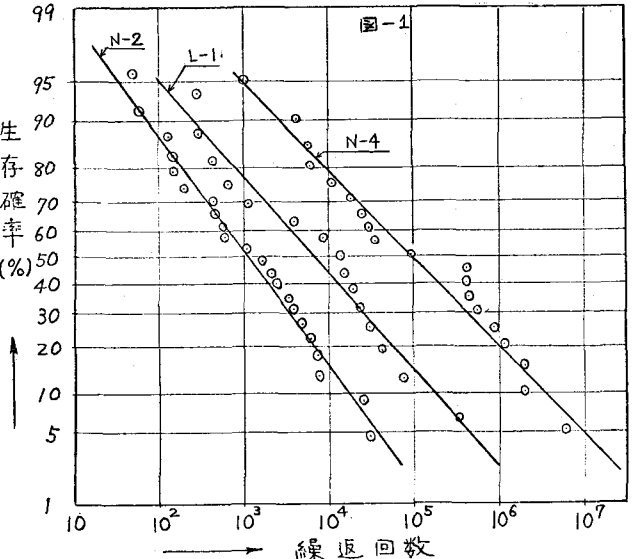
(本実験は近藤陽男氏より所供が多い。ここに謝意を表す。)

表-3 対数正規分布の検定

シリーズ	A	B	-B/A	N	シリーズ	A	B	-B/A	N
N-1	-1.114	5.502	4.937	8650	N-7	-0.783	2.955	3.775	596
N-2	-1.103	3.373	3.058	114	N-8	-2.378	6.146	2.584	38
N-3	-0.738	3.448	4.548	3530	N-9	-1.086	3.698	3.405	254
N-4	-0.800	3.992	4.993	9840	N-10	-1.777	6.228	3.505	320
N-5	-0.979	3.604	3.680	479	L-1	-0.874	3.424	3.829	675
N-6	-1.023	3.655	3.543	349					

表-4 疲労寿命の分布 (一次ポアソン過程の和)

シリーズ	$P = \sum_{i=1}^m \lambda_i \exp(-\lambda_i N)$
N-1	$0.46 \exp(-6.64 \times 10^{-4} N) + 0.54 \exp(-7.73 \times 10^{-4} N)$
N-2	$0.20 \exp(-1.87 \times 10^{-3} N) + 0.50 \exp(-1.42 \times 10^{-3} N) + 0.30 \exp(-2.12 \times 10^{-3} N)$
N-3	$0.70 \exp(-1.12 \times 10^{-4} N) + 0.30 \exp(-1.95 \times 10^{-4} N)$
N-4	$0.25 \exp(-1.14 \times 10^{-3} N) + 0.31 \exp(-8.75 \times 10^{-4} N) + 0.44 \exp(-2.70 \times 10^{-3} N)$
N-5	$0.34 \exp(-4.61 \times 10^{-4} N) + 0.66 \exp(-1.57 \times 10^{-3} N)$
N-6	$0.25 \exp(-4.19 \times 10^{-4} N) + 0.44 \exp(-9.26 \times 10^{-4} N) + 0.31 \exp(-4.75 \times 10^{-3} N)$
N-7	$0.41 \exp(-3.75 \times 10^{-4} N) + 0.56 \exp(-1.95 \times 10^{-3} N)$
N-8	$1.00 \exp(-7.97 \times 10^{-4} N)$
N-9	$1.00 \exp(-9.98 \times 10^{-4} N)$
N-10	$1.00 \exp(-7.64 \times 10^{-3} N)$
L-1	$0.16 \exp(-1.17 \times 10^{-3} N) + 0.64 \exp(-2.09 \times 10^{-3} N) + 0.20 \exp(-1.27 \times 10^{-2} N)$



参考文献 (1) 橋本武夫「材料強度学」技報堂。(2) 山下、コナート「巨鋼強度の設計」丸形出版
 (3) (1)と同様 PP 261-263 (4) 鈴木、西沢「鉄鋼の疲労寿命の分布特性と S-N 曲線」財団法人
 建設省、昭和 48 年、5 月 (5) 同上「巨鋼強度の設計」丸形出版
 (6) 山下、佐々「コナート「巨鋼強度の設計」財団法人建設省、昭和 48 年、5 月