

九州大学 エ工学部 正員 山下 博通

(1) まえがき

繰返し荷重を受けるコンクリートの疲労寿命 N は、同一条件下での疲労試験でも大きくばらつき、しかも、そのばらつきの程度は応力振幅(最小応力と言い換えてもよい)の大きさによっても異なってくる。このため、現在の鉄筋コンクリートの設計などは、コンクリートの許容応力を、静的な単軸圧縮強度から、安全率を考慮して定めており、疲労強度を十分に考慮されていない。したがって、本報告は、コンクリートの疲労寿命 N の分布を考慮して、許容疲労強度なるものはどのように定められるべきものであるかについての問題について考察した結果を述べる。

(2) 疲労寿命 N のばらつき

同一条件下の疲労寿命 N のばらつきは、その繰返し応力によって大きさが異なってくるが、ここでは、この N の分布関数としてどのようなものが考えられるかを、疲労試験結果と対比しながら考えてみる。ここで述べるものは、 $w/c = 70\%$ 、粗骨材の最大寸法 20mm 、 $S/a = 44\%$ の割合のコンクリートで作製した $\phi 7.5 \times 15\text{cm}$ 円柱状試体を、1年以上放置した後、疲労試験したものである。コンクリートの静的圧縮強度は26本の平均値より 296 kg/cm^2 である。圧縮疲労試験に供した供試体は46本であり、いずれも、静的圧縮強度の10~75%の繰返し応力に加え、破壊時の N を求めた。試験結果は1表に示した。これより、順序統計量の理論により、各 N に対する生存確率の期待値 P を求め、 P と N の関係より N のばらつきを調べた。

① 疲労破壊に確率論を適用すると、非破壊から破壊への遷移確率 $\mu(N)$ は、生存確率 $P(N)$ によって $\mu(N) = -d(\log P)/dN$ と示される。この関係を求めるのが1図である。これより $\mu(N)$ は一定値ではなく、荷重繰返しにより内部ひびわれが発生・伝播することにより、内部欠陥部の応力集中が緩和されることにより $\mu(N)$ が減少するものと解する。ただ、 P と N の関係を近似的に求めるには、指数分布の和で示す性質が近似的である。

② 寿命の極小値分布としてのWeibull分布について調べる。Weibull確率紙上では、若干曲線となる。これは N の大きい所での勾配が緩やかになるためであり、前記した応力緩和現象を考えれば妥当な結果である。むしろMcCallが提案した分布で、同一応力繰返しの場合と求めると $\log(\log N) = a + b \log(-\log P)$ となる場合について適用すれば2図に示したようにほぼ直線が近似され、しかも生存確率の高い側の重みが大いことから、安全性を考慮する場合に用いる分布としての意義は大い。

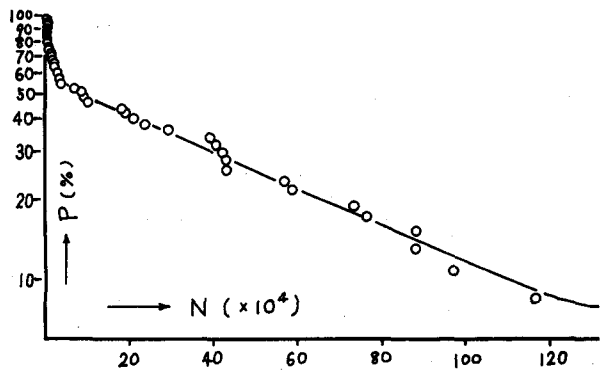
③ 統計的に処理する場合には何らかの形で正規分布として取扱うのが簡便であるため、対数正規分布すると考え、対数確率紙上で関係を求めたのが3図である。ほぼ直線が近似できることから対数正規分布すると考えてもよいが、生存確率の高い部分での誤差が大きくなる傾向があることが問題として残る。また、先に散

1表. 疲労試験結果

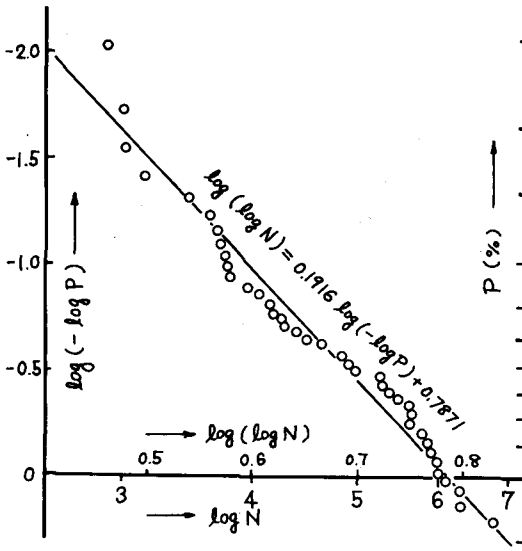
r	N	$\log N$	P	r	N	$\log N$	P
1	780	2.892	97.9	24	93000	4.969	48.9
2	1000	3.000	95.7	25	104700	5.020	46.8
3	1020	3.009	93.6	26	178220	5.251	44.7
4	1360	3.134	91.5	27	185700	5.269	42.6
5	2770	3.443	89.4	28	208100	5.318	40.4
6	4120	3.615	87.2	29	239500	5.379	38.3
7	4770	3.679	85.1	30	293000	5.467	36.1
8	5120	3.709	83.0	31	388400	5.589	34.0
9	5580	3.740	80.9	32	403540	5.606	31.9
10	5910	3.772	78.7	33	419000	5.622	29.8
11	5990	3.777	76.6	34	423760	5.628	27.7
12	8380	3.923	74.5	35	427830	5.631	25.5
13	11000	4.041	72.3	36	564690	5.752	23.4
14	13450	4.129	70.2	37	585860	5.768	21.3
15	14700	4.167	68.1	38	730810	5.864	19.1
16	16850	4.227	66.0	39	762280	5.882	17.0
17	18050	4.257	63.8	40	877000	5.943	14.9
18	25000	4.398	61.7	41	877000	5.943	12.8
19	29500	4.470	59.6	42	968150	5.986	10.6
20	34260	4.535	57.4	43	1160000	6.065	8.5
21	35200	4.547	55.3	44	1990000	6.299	6.4
22	68910	4.838	53.2	45	1998000	6.301	4.3
23	80150	4.904	51.1	46	5980000	6.777	2.1

告しにように、繰返し応力の最大応力レベルが低い場合ほど、 N のばらつきが大きくなり、生存確率の高い所では、応力レベルの低いものばかりの荷重繰返し数で破壊するという矛盾がある。しかし、 $P=5\sim95\%$ ではほぼ近似できる関係式として取扱うことが出来るため有効である。

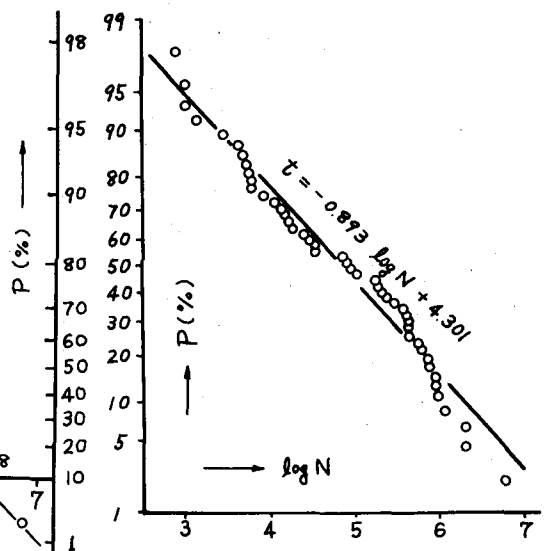
なお、McCall の提案式および対数正規分布に因しては χ^2 検定を行った所、十分実験値と一致していると考えようとして結論されたが、精度的には前者が後者より高かった。



1 図 P-N 曲線 (1)



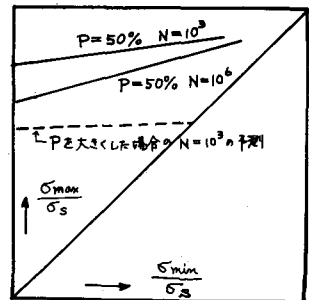
2 図 P-N 曲線 (2)



3 図 P-N 曲線 (3)

(3) 疲労強度から求まるコンクリートの許容応力度

一般にコンクリートの疲労強度とは、同一条件下の疲労寿命 N の平均値より、 $S-N$ 曲線を描き、それより耐え限度線図を求めることにより、片振りより 60% 前後 (静的強度に近づく) と報告されている。しかしながら、この疲労強度を安全率で除して求められたものと許容疲労強度として用いられべきである。しかし、疲労強度によって安全性が決定される場合には、上記の許容疲労強度の求め方では、最小応力の影響を無視し、しかも、繰返し応力によって異なってくる疲労寿命のばらつきを安全に無視したものであるため、外荷重に対して同一の生存確率をとるには、安全性を同一に考えることはできない。むしろ、生存確率が非常に大きい場合の $S-N$ 曲線と求めることにより、最小応力も加味した耐え限度線図を求めることにより、許容疲労強度はるものを算出しなければならぬと考えらる。この考えに基づき推定する許容疲労強度の値は寿命のばらつきを考慮すると 4 図のようになるであろう。



4 図 耐え限度図と許容応力