

コンクリートの疲労寿命の分布形と繰返し載荷速度が寿命におよぼす影響

鳥取大学 正員 西林 新蔵 学員 〇川村 勝
鳥取大学 正員 井上 正一
若築建設 正員 鎌田 次郎

1. まえがき 各国のコンクリート構造物の設計規準における疲労の取扱いは、材料のS-N線式をよえるかまたは試験によってこれを決定し、これをもとに疲労に対する安全性を検討することになっている。本研究はこのような状況を考慮して、

試験方法や試験で得られた疲労寿命の処理方法において今後遭遇するであろう問題に対処するために行な、たものである。ここでは、①疲労寿命を表わす最適の分布はどのような分布か、②繰返し載荷速度などの程度疲労寿命に影響を及ぼすか、③静荷強度のばらつきが疲労寿命のばらつきにどの程度影響を及ぼすか、の3点について検討した結果を報告する。

2. 実験概要 コンクリートの配合を表-1に示す。セメントは普通ポルトランドセメント、粗骨材は砕石、細骨材は河口砂と陸砂を混合したものを用いた。供試体は打設翌日脱模、その後27日間水中養生し、試験時(材令100日以上)まで実験室内に保存した。①分布形の検討は、配合Iの円柱供試体を用い、試験条件は繰返し載荷速度5Hz、上限応力比0.5, 0.75とした。②繰返し載荷速度の影響は、配合IIの円柱供試体を用い、試験条件は繰返し載荷速度0.01, 0.1, 0.5, 1, 5Hzの5水準、上限応力比を90%一定とした。なお、全ての試験において下限応力比は10%である。

3. 結果と考察
① 疲労寿命の分布形 ここに採用した5つの理論分布は全て線形化した式で表わすことのできる(表-2)。式中のpは生存確率で、順序統計量の理論を用いれば、 $p = 1 - t / (l + 1)$ (l: 供試体数, t: 疲労寿命の小さい方から順に番号)で算定される。3母数ワイブルと対数正規確率紙への試験結果のプロットを図-1, 2に示す。確率紙上では他の理論分布も同様に、プロット点はほぼ直線になる。各種理論分布の係数A, B, Cを最小二乗法で決定した。その結果を図-1, 2中の式および表-3に示す。いま、疲労寿命の分布がこのようにして決定した係数をもつ理論分布に従うと仮定して、コルモゴロフ・スミルノフ検定(K-S検定)を行な、た結果を表-4に示す。表より隔りの最大値D_{max}は、D_{α=20%}より小さく、疲労寿命の分布は有意水準(α) 20%で仮定した全ての理論分布に従うが、最も適合性の良い(D_{max}が小さい)のは、3母数ワイブルと対数正規分布であるといえる。しかし、係数決定の容易さと実用性から、疲労

表-1 示方配合

配合	M.S. (mm)	スラブ (cm)	w/c (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				供試体寸法 (cm)
					W	C	S	G	
I	20	5±1	66	43	165	250	841	1160	φ10×20
II	15	5±1	61	46	170	280	817	1004	φ7.5×15

表-2 理論分布の回帰式

指数	lnp = AN + B
マコール	ln(-lnp) = A ln(lnN) + B
ワイブル(2)	ln(-lnp) = A lnN + B
ワイブル(3)	ln(-lnp) = A ln(N - C) + B
対数正規	t = A logN + B, t = Φ ⁻¹ (p)

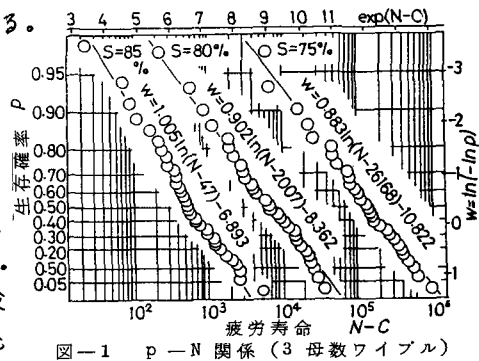


図-1 P-N 関係 (3 母数ワイブル)

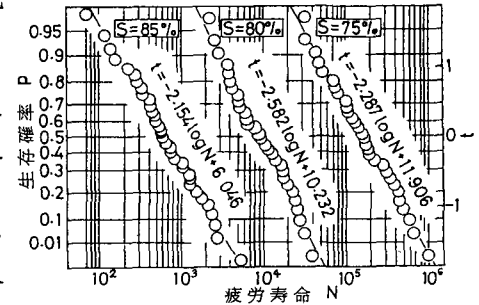


図-2 P-N 関係 (対数正規)

6. その結果を図-1, 2中の式および表-3に示す。いま、疲労寿命の分布がこのようにして決定した係数をもつ理論分布に従うと仮定して、コルモゴロフ・スミルノフ検定(K-S検定)を行な、た結果を表-4に示す。表より隔りの最大値D_{max}は、D_{α=20%}より小さく、疲労寿命の分布は有意水準(α) 20%で仮定した全ての理論分布に従うが、最も適合性の良い(D_{max}が小さい)のは、3母数ワイブルと対数正規分布であるといえる。しかし、係数決定の容易さと実用性から、疲労

表-3 回帰結果

係数	指数分布	マコール分布	2母数ワイブル分布
85	A -7.7×10 ⁻⁴ B -0.175	7.228 -13.942	1.141 -7.914
80	A -8.7×10 ⁻⁵ B 0.131	12.265 -27.596	1.341 -12.764
75	A -3.8×10 ⁻⁶ B -0.047	14.418 -36.307	1.200 14.921

寿命の分布形には、対数正規分布を用いるのが簡便である。

② 繰返し載荷速度の影響 繰返し載荷速度ごとに実験で得られた疲労寿命を対数正規確率紙上にプロットしたのが図-3である。図-3中の回帰式に $t=0$ ($p=0.5$)を代入して求めた平均疲労寿命の対数値と繰返し載荷速度との関係は、図-4に示す。平均疲労寿命は0.01と0.1 Hzの間で急激に長くなる傾向を示している。そこで、(1) 0.01から5 Hz、(2) 0.1から5 Hz、(3) 0.01と0.1 Hz、の3つのケースについて、平均疲労寿命に差がないという仮説を立て、分散分析を行った。その結果を表-5に示す。有意水準(%)5%で、(1)、(3)の仮説は棄却となる。以上から、繰返し載荷速度が0.1から0.01 Hzに変化すると平均疲労寿命は1オーダー位くなり、一方0.1から5 Hz、さらにKoslerの結果も併せて考えれば、15 Hz程度までは、繰返し載荷速度が寿命に及ぼす影響は小さいと推察される。なお、応力比や水中環境の場合に繰返し載荷速度がどのように疲労寿命に影響を及ぼすか解明しなければならぬなど今後の問題として残されている。

③ 疲労寿命と静的強度のばらつきの関係 ①で用いた供試体の試験結果から、疲労寿命のばらつきについて若干の考察を加える。図-5(A)は各応力比ごとの疲労寿命を対数正規確率紙上にプロットしたもののである。(B)は(A)の情報をもとに、S-N線式($t=0, p=0.5$)、 p -S-N線式($t=1, p=0.54$)を示したものである。次に強度のばらつきを正規分布に従うとし、コンクリートの変動係数 V を用いれば、応力比 S は以下のように修正される。平均強度 f_m 、上限応力 f とすると、応力比は $S = 100 f/f_m$ である。したがって、強度のばらつきを考慮した修正応力比(S')は、

$$S' = 100 f/f_m (1-tV) = S/(1-tV)$$

ここで疲労寿命と同様に $p = 0.54$ ($t=1$)、 $V = 0.03$ (静的試験の結果による値)として求めた S' -N線式を、図-5(C)に示す。図-5(D)は、(C)における S' と S として表わした強度に対する $\pm 1\sigma$ の実線で、寿命に対する $\pm 1\sigma$ をプロット点で示したものである。同図により、疲労寿命の $\pm 1\sigma$ の点と強度の $\pm 1\sigma$ の点を結ぶ S -N線は、ほぼ一致し、試験によっては、静的強度のばらつきと疲労寿命のばらつきが密接に関係することもあることがわかる。なお、本研究は、著者の一人を研究代表者とする58年度文部省科学研究費(総研A)で行った。

表-5 分散分析結果

研究の一部である。	要因	平方和	自由度	$f = S/f$	F_0	$F_{N-1}^{1-\alpha}(5\%)$	N
$t=5$	水準間変動	6.7	4.0	1.7	5.67	2.56	51
	水準内変動	16.9	50.0	0.3			
$t=4$	水準間変動	0.6	3.0	0.2	0.50	2.83	43
	水準内変動	16.2	42.0	0.4			
$t=2$	水準間変動	3.1	1.0	3.1	15.50	4.32	22
	水準内変動	4.3	21.0	0.2			

表-4 コルモゴロフ・スミルノフ検定結果

S (%)	Dmax					$D_{\alpha=2\%}$	検定回数
	指数	F_0 フル	F_0 フル(2)	F_0 フル(3)	対数正規		
85	0.176	0.090	0.118	0.096	0.053	0.182	34
80	0.081	0.112	0.122	0.063	0.072	0.190	30
75	0.122	0.108	0.122	0.081	0.046	0.190	30

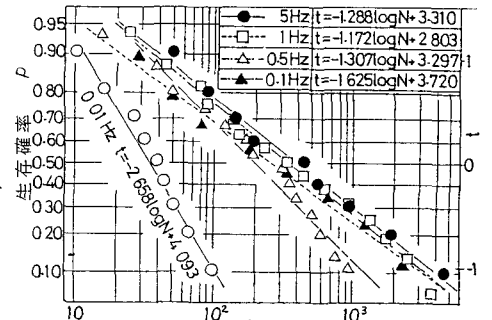


図-3 繰返し載荷速度ごとの p -N関係

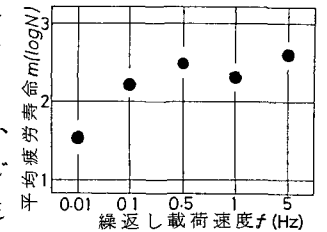


図-4 $m(\log N)$ と繰返し載荷速度

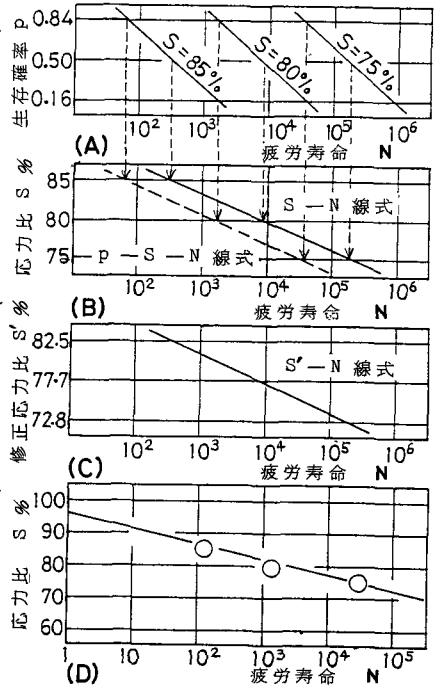


図-5 疲労寿命のばらつきと強度のばらつきの関係