

1. まえがき 繰返し圧縮応力を受けるコンクリートの疲労寿命に関する実験結果を整理し、疲労寿命の平均値、ばらつきの程度を考察し、S-N曲線を提案するとともに、繰返し応力下のコンクリートの変形特性を調べ、疲労寿命との関係と明らかにした結果を報告する。

2. 疲労寿命 同一条件下でのコンクリートの圧縮疲労寿命は大きくばらつくが、その分布関数としては、ほぼ対数正規分布と考えるもよい。(図-1) またコンクリートの材令、配合などの差異が、疲労寿命におよぼす影響を調べた結果、その平均値、偏差に有意的な差は認められず、疲労寿命は、繰返し応力比(静的圧縮強度に対する繰返し応力の大きさの割合)により決定されることが明らかとなった。(表-1) 疲労寿命が繰返し応力比により決定され、最大応力 σ_1 と疲労寿命 N の関係とS-N曲線とあるならば、このS-N曲線が最小応力 σ_2 によつてどのように変化するかを検討した結果、(1)式のようなS-N曲線が実験値とよく近似することが示された。(図-2) また(1)式は、Opel, Bennet, 西林, 成岡らの

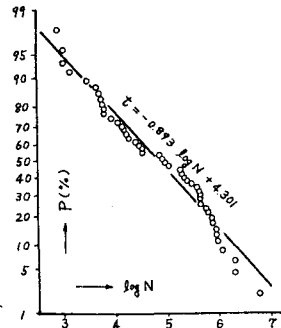


図-1 対数正規分布の適合度 ($\sigma_{1r} \sim \sigma_{2r} = 75 \sim 8\%$)

$$\log \bar{N} = K \frac{1 - \sigma_{1r}}{1 - \sigma_{2r}} \quad \text{--- (1)} \quad K: \text{定数} (=17.5)$$

σ_{1r} : 最大応力比

σ_{2r} : 最小応力比

実験結果ともよく適合する。(1)式より $\bar{N}$ -定の場合の研ス線図として、 σ_{2r} と σ_{1r} の関係を求めると修正 Goodman の関係が成立することになり、これも実験から求めたものとよく一致する。(図-3)

表-1. 配合、材令と疲労寿命 (80~8%)

各グループの試験条件と試験結果						
グループ	W/C	材令	静的強度	試験体数	$\log \bar{N}$	分散
1	63%	17ヶ月	318	6	3.40	0.355
2	63	1週	193	8	3.50	0.195
3	70	18ヶ月	301	14	3.54	0.678
4	89	16ヶ月	164	6	3.77	0.866

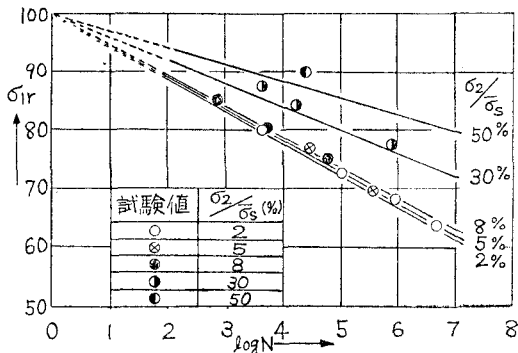


図-2 S-N曲線の適合度

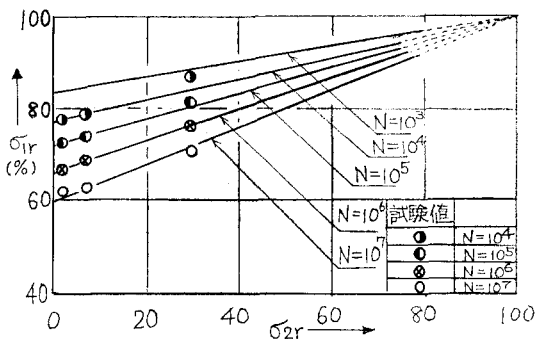


図-3 研ス線図の適合度

3. 疲労寿命のばらつき 同一条件下での疲労寿命のばらつきの大きさは、寿命分布が対数正規分布するとして、その偏差 $D(\log N)$ として表示できる。 $D(\log N)$ は、コンクリートの静的強度のばらつきが大きいほど大きくなり、また、繰返し応力の最小応力比が大きくなるほど大となる(図-4)。筆者の実験では、グループごとの静的強度のばらつきは、変動係数で5%程度と一

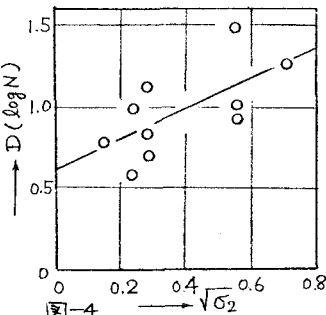


図-4

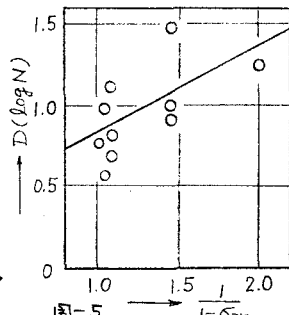


図-5

定と見なすことができた。よって $D(\log N)$ を繰返し応力比のみにより表示する関係式を検討してみた結果、 $D(\log N)$ と $1/(1-\sigma_{2r})$ の相関度が高かったため(図-5)次式を提案する。

$$D(\log N) = \frac{KV}{1-\sigma_{2r}} \quad \dots (2)$$

K: 定数(17.5)
V: 静的強度の変動係数

(2) 式を用いて、生存確率 $P(N)$ ($\geq 50\%$) に対応する $S-N$ 曲線を求めると(3)式の通りである。

$$\log N = \frac{K}{1-\sigma_{2r}} \left\{ (1-\sigma_{1r}) - t_{p(N)} V \right\} \quad \dots (3)$$

$t_{p(N)}$: $P(N)$ に対応する t の値(分布表より)

(3) 式は筆者の試験結果とはよく一致しているが、他の研究者の結果より安全側に見込まれ、検討の余地がある。

4. 変形性状 繰返し応力下のコンクリートのひずみ曲線の変遷については先に報告したが、繰返し回数の増加とともにひずみは増大する。今、総ひずみ ϵ を残留ひずみ ϵ_p と載荷応力による弾性ひずみ ϵ_E に分け、それぞれの変化を示すと、 ϵ の増大は主として ϵ_p の増大によるものであることがわかる(図-7)。疲労破壊する場合、 ϵ および ϵ_p の変化は、繰返し回数 N 0~10% と 90~100% で急激な増大を示すほかは、繰返し回数に比例してひずみが増大する(図-8)。この定常領域におけるひずみ速度と疲労寿命の関係は両対数グラフ上で直線になっており、ひずみ速度から疲労寿命の推定が可能である(図-9)。今、総ひずみ速度と疲労寿命の関係は $\log \frac{\Delta \epsilon}{\Delta N} = -0.95 \log N + 2.81$ と求められ、これは残留ひずみ速度と大きな差は認められない。コンクリートの残留ひずみの発生は内部微細ひびわれの発生に起因するものであり、この内部ひびわれは、去年報告したように、応力集中緩和も相まって、多数のものが発生する。疲労破壊過程

は、このような微細ひびわれ発生領域における挙動に影響されるものであり、今、疲労損失として、大きな M のひびわれ領域の S_i による損失増加(ひびわれ幅)を $(M_i - M_{i-1})$ とし、これが M_i に比例するとするならば $S_i = \frac{M_i - M_{i-1}}{M_i} = \frac{\Delta M_i}{M_i}$ ここで $\sum S_i$ は中心極値定理より正規分布するため $\sum \frac{\Delta M_i}{M_i}$ において、疲労寿命 $N \gg 1$ とすれば $\sum S_i = \int_{M_0}^M \frac{dM}{M} = \alpha \log(M/M_0)$ より (α : 定数) $\log M/M_0$ も正規分布し M は対数正規分布する。また、図-9 より $\Delta M/\Delta N$ は $\Delta \epsilon/\Delta N$ と考えてよいことから、 $\Delta M/\Delta N$ は N に反比例しており、 N は M に反比例する。∴ N が対数正規分布することにより前記と一致する。

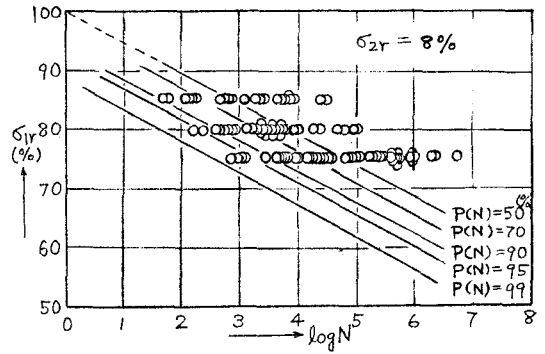


図-6 S-N-P(N) 曲線

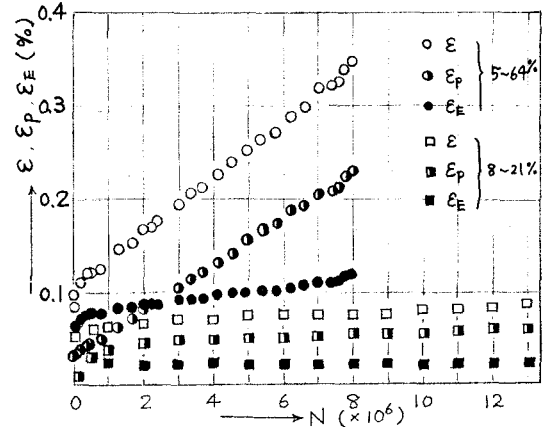


図-7 繰返し回数とひずみの関係

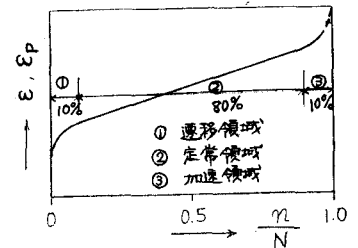


図-8 ひずみ変化のモデル

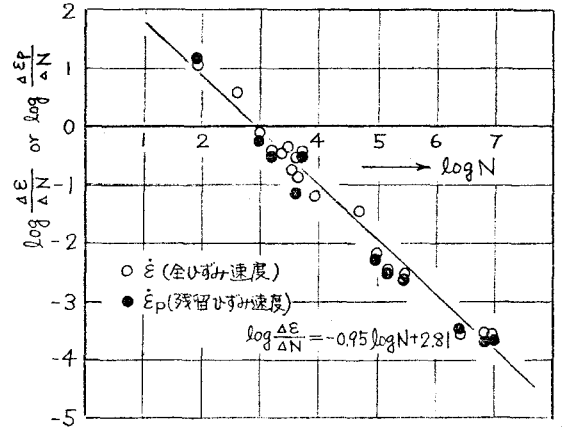


図-9 ひずみ速度と疲労寿命