

1. まえがき

繰返し荷重下のコンクリート部材の疲労性状の基礎資料を得るため、円柱状試体による次の実験を行なった。

①高応力レベルにおける低サイクル繰返し疲労試験を行ない、変形状と強度性状を調べ、数回の荷重繰返しによりコンクリートの強度低下とある可応力限度いわゆる Shake down limit を求める実験、②高サイクル繰返し疲労試験における疲労寿命Nの分布を調べ、応力レベルと分布の関係を求める実験。これらの実験結果について報告する。

2. 低サイクル疲労試験

$\phi 10 \times 20$ cm 柱試体 (圧縮強度 318 kg/cm^2) および $\phi 7.5 \times 15$ cm 柱試体 (圧縮強度 484 kg/cm^2) により、1回前載荷の影響、定応力繰返し載荷の影響、定ひずみ繰返し載荷の影響について調べた。測定項目はすべて応力-ひずみ曲線の変遷と破壊強度と破壊ひずみ量である。1回前載荷応力レベルは静的圧縮強度の20~95%の範囲で任意とした。定応力繰返し載荷試験はその繰返し最大応力を静的圧縮強度の70~100%程度として所定回数(20回を標準とした)繰返した後破壊試験を行なったが、所定回数に達する前に破壊したものは破壊時の応力とひずみとをその破壊応力と破壊時ひずみとした。定ひずみ繰返し載荷試験は最大ひずみと500~2000 μ とし、定応力試験方法ははらうた。

定応力繰返し載荷試験による応力-ひずみ曲線の変遷の例を図-1に示したが、数回の高応力繰返しにより破壊することばかり。1回前載荷や繰返し載荷後の破壊応力と破壊時ひずみの関係を図-2に示したが、載荷履歴にかかわらず、両者の関係は同様の傾向を示し、塑性領域も含めた応力ひずみ関係式として Hognestad が提案した表示式(破線で示す)とほぼ一致するようである。また定応力繰返し載荷試験では、繰返し最大応力 σ_{max} の大きさによりひずみの増加率 $\Delta \epsilon / \Delta N$ が異なるため、図-3に σ_{max} / σ_s (σ_s : 静的圧縮強度)と体積ひずみ ϵ の増加率の関係と、また $\Delta \epsilon / \Delta N$ と破壊強度 σ_{fail} の関係を図-4に示したが、これらより、Shake down limit は静的強度の87~90%と予想される。

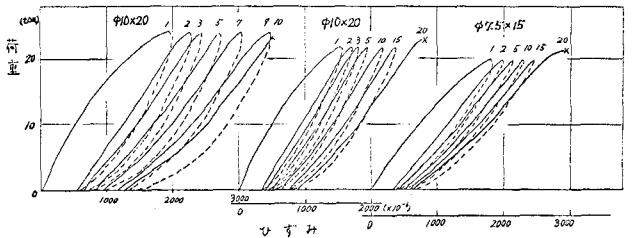


図-1 定応力繰返し載荷による応力ひずみ曲線の変遷

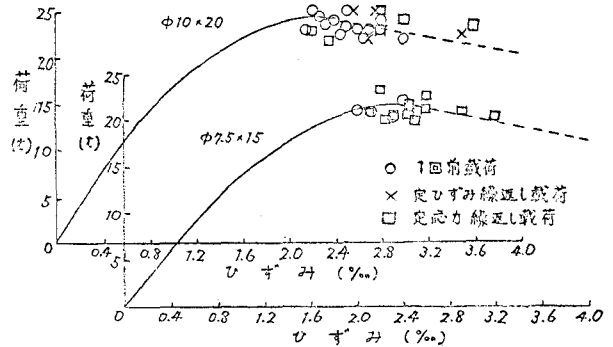


図-2 破壊時応力と破壊ひずみの関係

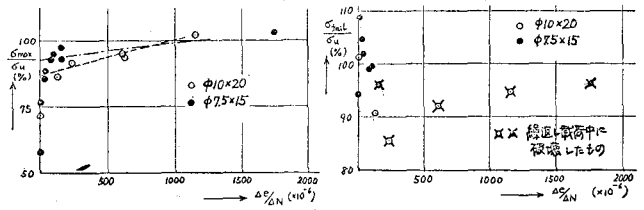


図-3 繰返し最大応力と体積変化率

表-1 実験概要

シリーズ	配合条件		試験片数	静的圧縮試験		疲労試験		疲労試験結果	
	水比 (%)	砂比 (%)		平均値 (kg/cm²)	標準偏差 (kg/cm²)	本数	繰返し応力 (kg/cm²)	応力比 (%)	
N-1	70	44	22	7	317	17	10	27~229	85~72.2
N-2	70	44	21	12	280	19	22	24~248	85~81.6
N-3	70	44	24	17	291	17	17	23~222	79~76.3
N-4	70	44	24	2	275	—	13	23~219	83~77.2
N-5	70	44	33	6	281	12	8	23~247	86.7~85.9
N-6	70	45	32	6	301	20	14	25~230	83~76.4
N-7	89	45	16	4	164	5	6	12~130	73~71.3
N-8	89	45	1週	5	94	2	7	7~77	7.9~86.5
N-9	63	—	17	4	318	8	5	27~242	85~76.1
N-10	63	45	1週	5	173	8	9	16~152	8.8~71.8
L-1	65	43	10	5	181	9	15	44~42	77~72.0

3. 疲労寿命Nの分布

φ7.5×15cm 試体により疲労試験を行い、Nの分布を調べた。実験概要を表1に示したが、Nは普通コンクリート、Lは軽量コンクリートを意味する。

実験結果より生存確率Pを求める方法は、順序統計量の理論より次式によつた。

$$P = 1 - \frac{r}{n+1}$$

n: 試体総数

P: Nの小さい方からr番目の試体の生存確率の期待値

疲労試験結果より、NとPの関係と対数正規分布にプロットした例が図-5

であるが、ほぼ直線と近似でき、Nが対数正規分布にフィットすると考えられる。また、McCallが提案したように、 $P = 10^{-\alpha R^b (\log N)^c}$ (R: 繰返し応力比、 α, b, c : 実験定数)と同様に考えれば、 $\log(\log N) = a_0 + b_0 \log R + c_0 \log(-\log P)$ となり、Rが一定では

$\log(\log N) = a + b \log(-\log P)$ となる。この関係を示した例が図-6であるが、これもほぼ直線と示されていると考えるもよいであろう。したがって、対数正規分布と考えたときの回帰曲線 $t = A \log N + B$ および $\log(\log N) = a + b \log(-\log P)$ と考えたときについて、その実験定数 a, b, A, B を求めて表-2に示した。また、それぞれの場合について相関係数を求められているが、いずれも高い相関を示していることがわかる。次に、応力レベルがNの分布に及ぼす影響について調べてみる。 $a_0 + b_0 \log R = a$ であるため、Pが0.1の場合 ($b \log(-\log P) = 0$) について、応力振幅とaの関係を見ると、応力振幅が小さいほどaの値が大きくなっている。これより、応力振幅が小さいほどNのばらつきの程度が小さくなることわかる。(図-7)

4. 高サイクル繰返し载荷後の残存強度

φ7.5×15cm 試体33本を3組に分け、11本を静的強度試験に、11本を静的強度の3~35%応力を10⁴回繰返し後の残存強度試験に、11本を静的強度の3~65%応力を10⁴回繰返し後の残存強度試験に用いた。試験結果を図-8に示したが、3~65%応力繰返し中には2本の試体が破壊しているため、残存強度は静的強度と大差ない。

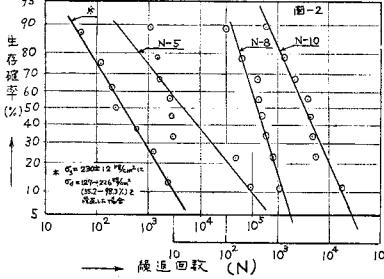
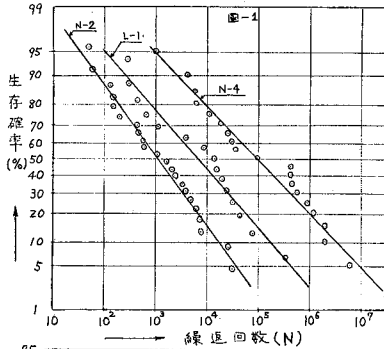


図-5 繰返し数(N)の対数正規分布の検討

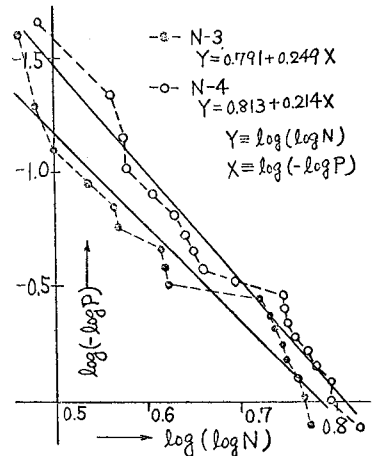


図-6 $\log(\log N) \times \log(-\log P)$ の関係

表-1 実験定数一覧

	$t = A \log N + B$		$\log(\log N) = a + b \log(-\log P)$	
	A	B	a	b
N-1	-1.114	5.502	0.986	0.779
N-2	-1.103	3.375	0.989	0.622
N-3	-0.758	3.448	0.964	0.791
N-4	-0.800	3.992	0.984	0.813
N-5	-0.979	3.604	0.847	0.686
N-6	-1.023	3.625	0.971	0.670
N-7	-0.783	2.955	0.943	0.725
N-8	-2.378	6.146	0.975	0.496
N-9	-1.086	3.678	0.857	0.673
N-10	-1.777	6.228	0.992	0.619

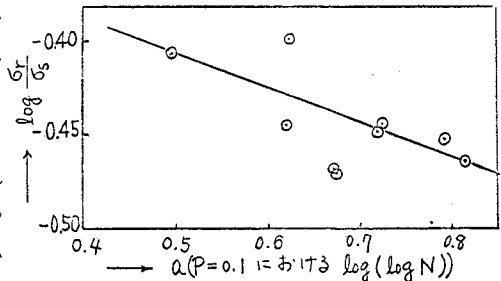


図-7 荷重振幅の及ぼす影響の検討

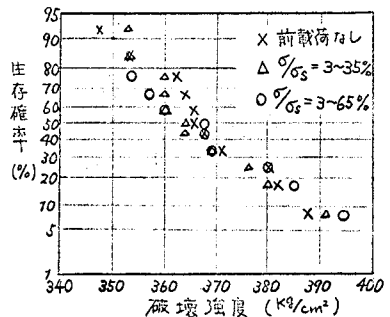


図-8 残存強度の試験結果