

九州大学 工学部 学生員 ○ 近田 孝夫
正員 松下 博通

1. まえがき

一定繰返し荷重を受けるコンクリートの圧縮疲労寿命分布、 $S-N$ 曲線、疲労寿命のばらつきの程度などに關しては、すでに報告した。しかしながら実際のコンクリート構造物が受ける繰返し荷重は不規則に変動しているものであり、一定繰返し荷重下の疲労性状をそのまま、実構造物に適用することはできず、一定繰返し荷重下の性状より変動繰返し荷重下の性状を推定することを考えねばならない。変動繰返し荷重下のコンクリートの疲労性状に関する研究としては、高サイクル曲げ疲労試験に関する Kesler⁽¹⁾の研究、低サイクル圧縮疲労試験に関する 斎藤⁽²⁾氏らの研究、スラブに関する 角田⁽³⁾氏らの研究があげられる。後の二者では、いわゆる Miner の定理に合致することが報告されている。しかし、高サイクル圧縮疲労試験に関する報告は、ほとんど見当らず、今後の大きな課題であろう。本報告は二段階に荷重を変動させたコンクリートの高サイクル疲労試験を行ない、疲労寿命やひずみ性状について考察し、変動荷重下のコンクリートの疲労性状についての基礎性質を求めようと試みたものである。

2. 試験方法

試験供試体は $\phi 25 \times 15$ cm の円柱供試体で、そのコンクリートの配合は、 $W/C = 89\%$ 、 $S_a = 45\%$ 、Slump 5 ± 1 cm のものである。試験時のコンクリートの材令は最小 6 ヶ月とし、いずれも試験開始 1 ヶ月前より気乾状態にしたものである。変動繰返し試験は、表-1 に示す試験条件の下で、第一段階の繰返し応力 σ_I を n_1 回載荷して後、第二段階の繰返し応力 σ_{II} に変動させ、荷重変動時から破壊時までの荷重繰返し数 n_2 を測定した。繰返し応力の変動方法は、最小応力比は 8% に固定し、最大応力比のみを変化させる方法とした。またグループ C ~ K については、その全ての供試体についてひずみ変化を追跡した。

3. 疲労寿命に関する考察

同一繰返し応力下での疲労寿命分布は対数正規分布で近似できることは、すでに報告した通りである。⁽⁴⁾ 変動繰返し応力下においても、荷重変動後の寿命 n_2 が対数正規分布としてもよいことが、図-1 に示した B グループの試験結果からも推定される。したがって、各グループごとに疲労寿命 n_2 の平均値として $\log n_2$ 、ばらつきの大きさとして標準偏差 $D(\log n_2)$ を算出し、合わせて表-1 に示した。なお、疲労試験結果のすべてを、まとめて表-2 に示す。各グループの試験結果を見てわかる通り、第一段階で疲労限以下と考えられる応力を受けた

グループ	供試体 本数	荷重変動前 に破壊した 供試体数	最大応力比 σ_{II} / σ_I (%)	第一段階 繰返し回数 n_1	第二段階 繰返し回数の 平均値 $\bar{n}_2$	$\log n_2$	$D(\log n_2)$	$\frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2}$
A	9	0	70 → 80	1万回 (0.02)	9700	3.987	0.810	1.54
B	12	0	70 → 80	10万回 (0.2)	37580	4.575	1.206	6.10
C	15	5	70 → 80	25万回 (0.5)	445660	5.649	0.631	70.50
D	4	1	70 → 80	40万回 (0.8)	7330	3.869	0.345	1.95
E	5	0	30 → 80	25万回	2110	3.325	0.988	—
F	2	0	40 → 80	25万回	2000	3.301	0.149	—
G	3	0	50 → 80	25万回	1110	3.047	0.484	—
H	3	0	60 → 80	25万回	2280	3.358	0.761	—
I	6	2	80 → 70	1200回 (0.2)	4477100	6.651	3.149	9.00
J	11	4	80 → 70	3000回 (0.5)	5420000	6.734	1.871	11.14
K	9	6	80 → 70	4800回 (0.8)	2000000	6.301	—	4.73 以上

N: 一定繰返し応力下の疲労寿命の平均値

最大応力比 = 70% のとき $\log N = 5.707$

= 80% のとき $\log N = 3.804$

表-1

グループE~Hでは、荷重変動後の疲労寿命 n_2 は同一繰返し応力下での疲労寿命 N と大差ないが、これに対して、疲労限以上の応力を第一段階で受けたグループA~C, I~Kにおいては、 n_2 は N よりもかえって、大くなる傾向にある。

そこで本試験結果に対して、Minerの定理の検討を行なった。Minerらは、疲労被害は直線的に進行するという仮定のもと、次式が成り立つ時、破壊に至るという定理を導いている

$$n_1/N_1 + n_2/N_2 = 1 \quad \text{----- ①}$$

そこで本試験結果より①式の左辺の値を算出し、表-1に合せて示した。各グループともその値は1より、かなり大きく、そのばらつきも大きい。よって、本試験のような高サイクル圧縮疲労試験には、Minerの定理

は適正でないと考えられる。

4. 変形性状

本試験結果におけるひずみ変化の1例を図-2に示す。それぞれの応力段階において、同一繰返し応力を受けた場合のひずみ変化と同様に、ひ

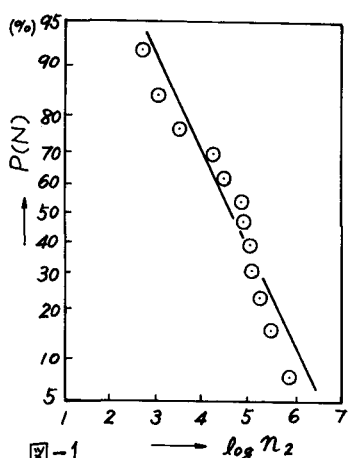


図-1 対数正規分布への適合度

ずみの増加が、ほぼ直線的とみなされる領域が大部分を占めている。この直線部の傾き、すなわち、ひずみ速度を求め、 n_2 との関係を両対数上に

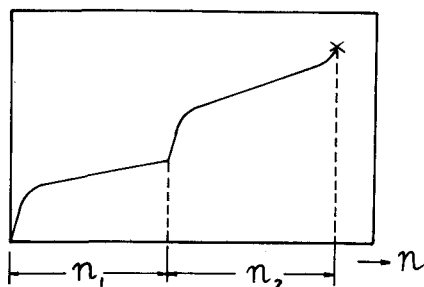


図-2. ひずみ変化の1例

とったのが図-3 である。と n_2 は両対数上でほぼ直線と近似でき、その傾きは同一繰返し応力下のそれと同様に-1程度である。⁽⁵⁾しかし、 $\log n$ 上の切片は変動繰返しの場合の方が小さくなっている。以上の結果より、変動荷重の繰返しによる疲労被害は、やはり直線的に進行すると考えられるが、その被害が直接的に疲労寿命の短縮に寄与するとは言えず、①式は高サイクル圧縮疲労試験には適用できないと考えられる。

(2) 前掲、成田“既設コンクリートの圧縮疲労強度に関する研究”セメント技術年報 XXV 1971
(5) 松下、近田“繰返し荷重を受けるコンクリートの変形”昭和41年度土木学会 西部支部大会

表-2. 試験結果一覧表

グループ	第一段階繰返し回数 n_1	第二段階繰返し回数 n_2	グループ	第一段階繰返し回数 n_1	第二段階繰返し回数 n_2
A	10,000	1010	E	250,000	350
		2100			600
		5690			1500
		6250			10400
		6400			13000
		11800	F	250,000	1600
		27870			2500
B	100,000	30690	G	250,000	200
		172160			2300
		550			3000
		1200	H	250,000	200
		3800			5100
		16710			11600
		29800	I	1200	350*
		86350			500*
		87570			2100
		113330			814800
C	250,000	128450	J	3000	2000000 →
		206010			2000000 →
		483900			2000000 →
		785290			2000000 →
		17900*	K	4800	400*
		41100*			1700*
		72600*			2000*
		117500*			2400*
		174200*			3000
		250000			28000
D	400,000	82000			145000
		84000			1750000
		223000			2000000 →
		295000			2000000 →
		330000			2000000 →
		459000			2000000 →
		1192000			2000000 →
		1477000			2000000 →
		1508000			2000000 →
		1756000			2000000 →

* 荷重変動前に破壊

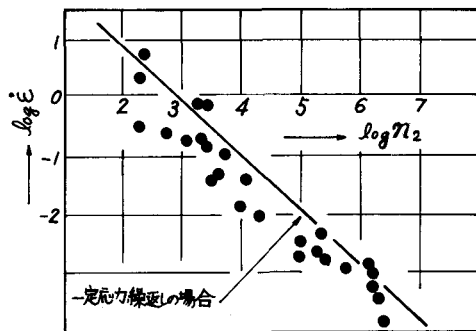


図-3. ひずみ速度と疲労寿命の関係

(3) 角田ら“変動荷重を受けるRC板の疲労について”土木学会 30周年記念大会 報告集

(4) 松下、近田“コンクリートの疲労寿命分布とS-N曲線”第30回セメント技術大会 報告集