

V-1 人工軽量骨材コンクリートの疲労耐久性に関する基礎的研究

鳥取大学 正員 西林新蔵

鳥取大学 正員 ○阪田憲次

1. はしがき

わが国において人工軽量骨材が開発されて以来、二種の骨材を用いた構造用軽量コンクリートの諸性質に関する研究が、多くの研究者によって活発に進められ、実際の土木構造物に利用される機会も多くなった。このような傾向は、今後ますます強くなり、そのことともなつて軽量コンクリートの諸性質に関するさらに広範な研究が要求されることが予想される。疲労耐久性に関する研究も、そのうちの重要なものの一つであると思われる。

コンクリートの疲労耐久性に関する従来の研究は、鉄筋コンクリート桁、プレストレストコンクリート桁の曲げ疲労に関するものがその大部分で、無筋コンクリートの圧縮疲労に関する研究は皆無に近いのが現状である。

本研究においては、現在市販されている人工軽量骨材（非造粒型）を用いた軽量コンクリート、ならびに普通コンクリート（砕石）の圧縮疲労試験を行ない、両者の相違点ならびに疲労特性に対する諸要因の影響について、若干の検討を加えることを目的とした。また、コンクリートの静的強度、疲労寿命（時間強度）は、金属材料のそれに比較し、著しくばらつくことが予想される。したがって、試験結果を取扱う際には、確率論的な手法を用いる必要があると考え、本研究においても、2, 3の手法を用いて処理した。

2. 実験概要

実験に用いたコンクリートは、目標強度（ 0.28 ）が 240 kg/cm^2 の軽量および普通コンクリートで、供試体はすべて $10 \times 20 \text{ cm}$ のシリンダー供試体である。なお、コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

供試体	ラング	軽骨材	W/C	C	W	S/a	S	G	水灰比
(cm)	(%)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(%)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	No. 8
軽量	511	5.0	59	275	163	46	612	593	$\times 0.25$
普通	511	2.5	56	280	158	41	764	1160	$\times 0.25$

供試体は、打設後24時間、恒温恒湿室（ $20^\circ\text{C} \pm 1 \text{ deg.}$, 90% R.H.）内に放置した後脱型し、脱型後養生28日目まで水中養生した。その後は試験実施日まで実験室内（室温）に放置した。なお、試験時のコンクリートの養生は、強度が十分に安定していると思われる100日以上経過したものである。

表-2 供試体の静的強度

コンクリートの打設日毎の供試体の静的強度を、表-2に示す。各打設日毎の供試体本数は3本で、小数ではあるが、その平均値に差異があるかどうかと、分散分析によって検定した。その結果、いずれの場合も危険率5%で有意差が認められなかったため、静的強度としては、全体の平均値、すなわち、軽量コンクリートは 250 kg/cm^2 、普通コンクリート

	軽量コンクリート				普通コンクリート	
打設日	A	B	C	D	E	F
圧縮	289	264	229	207	203	260
強度	287	240	255	232	201	279
(kg/cm ²)	239	270	265	223	250	203
平均	272	258	250	221	218	247

は 233 kg/cm^2 を採用した。なお、分散分析表を表-3 に示す。

疲労試験機は、容量 20 ton のパルセーター型疲労試験機(前川社製)を使用した。繰り返し载荷速度は、300 cycle/min である。载荷した下限応力はすべて 20 kg/cm^2 とし、上限応力は、静的強度に対する割合(%)で表示し、最高 80% より 5% 間隔で荷重を下げ、繰り返し回数が 200 万回を過ぎても破壊しなくなるような応力度比までについて試験を行なった。

表-3 分散分析表

	要因	平方和	自由度	分散	分散比
軽量 コンクリート	級間	4167	3	1389	$F = \frac{1389}{387} = 3.59$
	級内	3099	8	387	$F_{95}(3,8) = 4.07$
	全	7266	11		
普通 コンクリート	級間	1263	1	1263	$F = \frac{1263}{1167} = 1.08$
	級内	4667	4	1167	$F_{95}(1,4) = 7.71$
	全	5930	5		

3. 疲労試験結果と考察

疲労試験結果を表-4 に示す。表-4 から明らかなように、各応力度比(S)における破壊までの繰り返し回数(N)には、かなりのばらつきがある。このばらつきは、コンクリート打設時における作業上の誤差や、疲労試験機の性能の変動などによるだけでなく、コンクリートの疲労破壊性状が有する本質的な性質であると思われる。Freudenthal は、金属材料の疲労試験を行ない、各応力度比における破壊までの繰り返し回数が、対数正規分布に従うと述べている¹⁾。そこで本研究においても各応力度に対する N の分布から、生存確率: $P = 1 - r/n + 1$ を求めた。(表-4) のようにして求めた P を、確率尺度で縦軸に、横軸には N を対数目盛でプロットしたのが図-1 である。図-1 によれば、軽量コンクリート、普通コンクリートともに、各応力度比における N と P が直線に近似され、対

表-4 疲労試験結果

軽量 コンクリート								普通 コンクリート							
S	r	N	P	S	r	N	P	S	r	N	P	S	r	N	P
80	1	100	0.857	65	1	5160	0.900	80	1	2600	0.889	70	6	964400	0.333
	2	190	0.714		2	5830	0.800		2	4850	0.778		7	1852800	0.222
	3	260	0.571		3	6980	0.700		3	6000	0.667		8	2250000	0.111
	4	470	0.429		4	12250	0.600		4	7960	0.556		1	489000	
	5	1180	0.286		5	57100	0.500		5	16680	0.444		2	2000000	
	6	2560	0.143		6	80000	0.400		6	16800	0.333		3	2000000	
75	1	150	0.917	60	7	263800	0.300	75	7	17280	0.222	65	4	2000000	
	2	230	0.833		8	366200	0.200		8	31800	0.111		5	2000000	
	3	290	0.750		9	794760	0.100		1	47800	0.917		6	2000000	
	4	290	0.667		1	14000	0.889		2	79280	0.833				
	5	290	0.583		2	18000	0.778		3	104800	0.750				
	6	320	0.500		3	18800	0.667		4	121400	0.667				
	7	540	0.417		4	23100	0.556		5	130000	0.583				
	8	590	0.333		5	59900	0.444		6	183000	0.500				
	9	620	0.250		6	77900	0.333		7	283200	0.417				
	10	970	0.167		7	575200	0.222		8	298350	0.333				
	11	3090	0.083		8	721000	0.111		9	419850	0.250				
70	1	610	0.875	55	1	128000	0.857	70	10	498200	0.167	60			
	2	1980	0.750		2	395200	0.714		11	1000000	0.083				
	3	2150	0.625		3	439600	0.571		1	96400	0.889				
	4	3760	0.500		4	554600	0.429		2	286000	0.778				
	5	5230	0.375		5	567500	0.286		3	373200	0.667				
	6	8000	0.250		6	805800	0.143		4	458700	0.556				
	7	15250	0.125		50	2000000			5	928210	0.444				
					2	2000000									

S: 応力度比 (%)
r: 順序統計量
N: 破壊までの
繰り返し回数
P: 生存確率
($= 1 - r/n + 1$)
n: 供試体数

数正規分布に従うことがわかる。表-5に各応力度比における回帰直線 $t=A\log N+B$ の係数 A, B の値を示す。 A, B は最小二乗法によって求めたもので、次式によって表わされる。

$$A = \frac{n \sum (t \log N)}{n \sum (\log N)^2 - (\sum \log N)^2}$$

$$B = \frac{\{-\sum \log N\} \cdot \sum (t \log N)}{n \sum (\log N)^2 - (\sum \log N)^2}$$

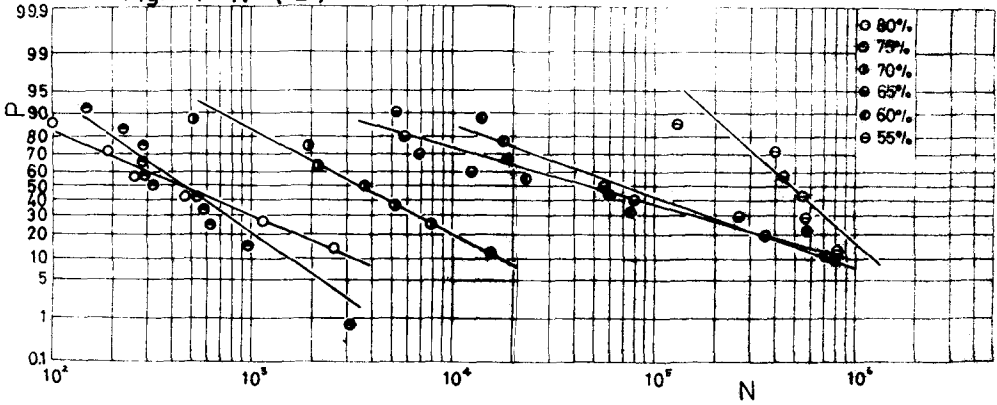
なお、 y は正規分布曲線の横距であり、各 P の値より、正規積分の表を用いて求めたものである。

したがって、 $t=0$ においては、 $P=50\%$ となる。一方、図-1において、この回帰直線が $P=50\%$ の線と交わる点の横軸が、母集団の平均値となるから、各回帰直線において、 $t=0$ より $\log \bar{N} = -B/A$ を求め、そのときの $\bar{N}$ を S に対する平均値として、表-5に示した。

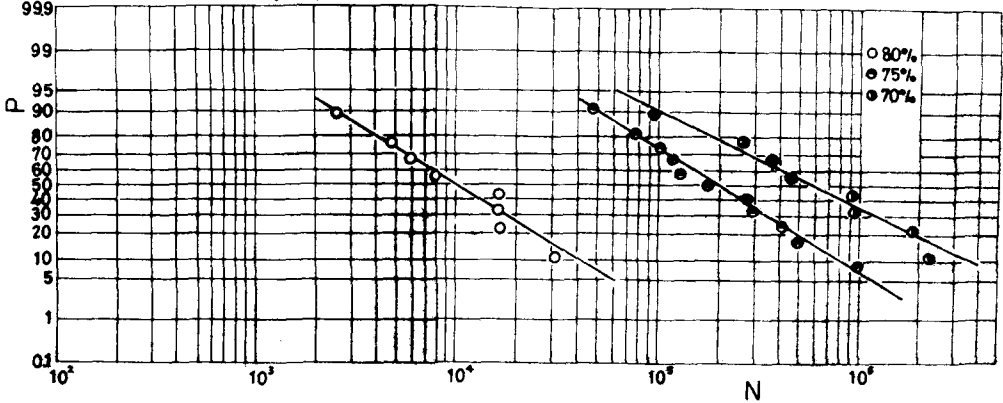
表-5

供試体	S	A	B	-B/A	$\bar{N}$
軽 量 コン クリ ート	80	-1.456	3.846	2.6415	438
	75	-2.198	5.827	2.6510	448
	70	-1.333	4.718	3.5394	3500
	65	-0.938	4.381	4.6706	46800
	60	-1.100	5.271	4.7918	70000
	55	-2.534	14.253	5.6247	421400
普通 コン クリ ート	80	-2.185	8.732	3.9959	9910
	75	-2.151	11.401	5.3005	199700
	70	-1.746	10.092	5.7806	603400

Fig.1 P-N (L)



P-N (N)



平均繰返し回数($\bar{N}$)とSの関係を、図-2に示す。また、最小二乗法を用いて、S-N関係を求めると、次式のようになる。

$$\text{軽量コンクリート: } \log N = 13.1 - 0.135S$$

$$\text{普通コンクリート: } \log N = 19.4 - 0.191S$$

一般に、コンクリートでは、金属材料のような明瞭な疲労限が存在せず、したがって一定回数における時間強度をもって疲労強度(疲労寿命)と

定めている。本研究においては、 $N = 200$ 万回として、上式より疲労強度を求めた。そのよれば、軽量コンクリートでは50.4%、普通コンクリートでは、68.3%となり、軽量コンクリートに比較し普通コンクリートの疲労強度がかなり大きくなることがわかった。

一方、鈴木らは岩石の疲労試験を行ない、疲労強度の分布が指数分布に従い、疲労強度が N より大きい確率(生存確率) P は、 $P = \sum_{i=1}^n \xi_i e^{-\lambda_i N}$ (ξ_i, λ_i ; 実験定数)で表わされるといふが、疲労強度の平均値($\bar{N}$)は、 $\bar{N} = \sum_{i=1}^n \xi_i \frac{1}{\lambda_i}$ で表わされると述べている。こゝを本研究の結果に適用して、S-N関係を求めると、次式のようになり、疲労強度は軽量コンクリートで54.3%、普通コンクリートで69.6%となった。

$$\text{軽量コンクリート: } \log N = 14.1 - 0.144S$$

$$\text{普通コンクリート: } \log N = 20.0 - 0.196S$$

その他 McCall の方法などによっても疲労強度を求めたが、上述の場合と大差はなかった。

また、軽量コンクリートの疲労破壊は、供試体表面にひびわれが発生すると、直ちに破壊に至るような様相を示したのに対し、普通コンクリートの場合は、ひびわれ発生後もかなりの繰返し回数に耐えることが明らかになった。こゝは供試体内部に発生した微小クラックの伝播と骨材の強度、表面特性などによるものと思われるが、本研究の範囲では明らかでない。そのらの実については、繰返し荷重下におけるコンクリートのひびき特性の変化を求める実験を行なうことにより、今後明らかにしていきたいと思う。

本研究は、著者の一人に与えられた昭和44年度吉田研究奨励金によって行なったものであることを附記し、感謝の意を表します。

< 参考文献 >

- 1) 横堀武夫:「材料強度学」1955年 技報堂
- 2) 三上 操:「応用推計学」1964年 内田老鶴園新社
- 3) 鈴木、西松、ハルセヨ:「岩石の疲労寿命の分布特性とS-N線図」日本鉱業会誌86, 986 1970年5月
- 4) J.T. McCall: "Probability of Fatigue Failure of Plain Concrete" ACI Journal, Aug. 1958