

九州大学 正員 松下博通
九州大学 学生員 川崎孝明

1 まえがき

近年、高性能減水剤の開発により、圧縮強度1000 kg/cm^2 程度の高強度コンクリートが通常の方法で容易に得られるようになった。しかし、高強度コンクリートは普通コンクリートに比べ、低水セメント比であり、マトリックス部の空隙が少なく、また骨材強度の影響なども受けるため普通コンクリートとは異なる物性を示すことが予想される。そこで、本研究では、高強度コンクリートの疲労性状を明らかにすることを目的として圧縮疲労試験を行ない、その結果として、疲労強度は普通コンクリートより10%程度高くなる結果を得た。ここに、その報告をする。

2 実験方法

セメントは普通ポルトランドセメントを、細骨材には福岡県遠賀郡沖の海砂を、粗骨材には福岡県宗像郡玄海町産の玄武岩碎石2005を、高性能減水剤にはポゾリスNL-4000を使用した。コンクリートの配合は表-1のとおりである。供試体は中5 $\times$ 10 cm の円柱供試体とした。供試体は3ヶ月以上室温21 $\pm$ 3 $^{\circ}\text{C}$ 、湿度95%以上の湿空養生をし、実験開始の少なくとも10日前には気乾状態にした。疲労試験機は島津製作所製サーボバルサーEHF-20型で、繰返し荷重は300回分の正弦変化応力とした。なお、静的圧縮強度は、各供試体グループ間の試験時材令での平均値とした。その分布状態は、平均値で885 $\sim$ 966 kg/cm^2 を、変動係数で2.7 $\sim$ 5.6%を示した。静的圧縮強度と繰返し応力の応力比は、最小応力比(S_2)の10%、30%、50%に対して最大応力比(S_1)を80% $\sim$ 90%に定めて、供試体が疲労破壊するか、繰返し回数が 10^6 回に達するまで連続して繰返した。

3 実験結果と考察

表-2に疲労試験結果を示す。 N_f は疲労寿命で、 $P(N_f)$ は生存確率で、矢印は、供試体が破壊しなかつたが測定限に達したために実験を打ち切ったものである。さらに、この結果を対数正規分布にあてはめるために正規確率紙上にプロットしたのが図-1である。プロット点はほぼ直線に近似することができ、よって高強度コンクリートにおいても普通コンクリートと同様に疲労寿命分布は、対数正規分布に従うことが確認された。また、最小二乗法で求めた回帰直線式を表-3に示す。

各繰返し応力レベルにおける平均疲労寿命 $\overline{\log N}$ を求め、最小応力比 S_2 が一定としたときの最大応力比 S_1 と $\overline{\log N}$ の関係を図-2に示す。この $S-N$ 曲線式を求める、

$$\overline{\log N} = -0.317 S_1 + 30.9 \quad (S_2 = 10\%)$$

$$\overline{\log N} = -0.310 S_1 + 31.3 \quad (S_2 = 30\%)$$

となる。この結果より、コンクリートの疲労強度は、繰返し応力の最大

表-1 コンクリートの配合

W/C	S/a	単位量 (kg/m^3)				ポゾリス NL-4000
		W	C	S	G	
27	36	142	586	603	1164	17.6 g

表-2 疲労試験結果

S_2-S_1 (%)	Nr	$\log N_r$	$P(N_r)$ (%)
10-80	74710	4.87	85.7
	88210	4.95	71.4
	618230	5.79	57.1
	1000000 $\rightarrow$	6.00 $\rightarrow$	42.9
	1000000 $\rightarrow$	6.00 $\rightarrow$	
10-85	40	1.60	85.7
	120	2.08	71.4
	5460	3.74	57.1
	9450	3.98	42.9
	119710	5.08	28.6
10-90	362910	5.56	14.3
	40	1.60	85.7
	120	2.08	71.4
	220	2.34	57.1
	250	2.40	42.9
30-85	1140	3.06	28.6
	25660	4.41	14.3
	220	2.34	87.5
	530	2.72	75.0
	22860	4.36	62.5
30-90	338340	5.53	50.0
	1517900	5.71	37.5
	1000000 $\rightarrow$	6.00 $\rightarrow$	25.0
	30	1.48	85.7
	190	2.28	71.4
50-85	4220	3.63	57.1
	7190	3.86	42.9
	17130	4.23	28.6
	37100	4.57	14.3
	1000000 $\rightarrow$	6.00 $\rightarrow$	
50-90	1000000 $\rightarrow$	6.00 $\rightarrow$	
	1000000 $\rightarrow$	6.00 $\rightarrow$	
	1000000 $\rightarrow$	6.00 $\rightarrow$	
	1960	3.29	85.7
	44840	4.65	71.4
50-90	92530	4.97	57.1
	101720	5.01	42.9
	1000000 $\rightarrow$	6.00 $\rightarrow$	28.6

応力比 S_1 のほかに最小応力比 S_2 の影響を受けていることがわかる。

S_2 を考慮した $S-N$ 曲線式として、普通コンクリートに対して次式を提案した。

$$\overline{\log N} = K \frac{100 - S_1}{100 - S_2} + A \quad (1)$$

(S_1, S_2 (%))

高強度コンクリートに対して(1)式を適用してみた結果、図-3に示すようによく適合し、その回帰式は次のように求める。

$$\overline{\log N} = 26.8 \cdot \frac{100 - S_1}{100 - S_2} - 0.50 \quad (2)$$

また、(1)式で $A = 0$ として求めた回帰式は

$$\overline{\log N} = 24.1 \cdot \frac{100 - S_1}{100 - S_2}$$

となり、(2)式と大差ない。また、図中に一点鎖線で示したものは普通コンクリートの $S-N$ 曲線で

$$\overline{\log N} = 17.5 \cdot \frac{100 - S_1}{100 - S_2}$$

なる回帰式である。

ちなみに、 $N = 2 \times 10^6$ における片振り疲労強度 ($S_2 = 0$) は、高強度コンクリートで75%となり、普通コンクリートの65%に対して10%程度大きい。

なお、本実験では同時に繰返し応力下でのひずみ測定を行なって高強度コンクリートの挙動を調べたが、その結果、高強度コンクリートは、普通コンクリートに比べて、繰返し回数比の増加にともなうひずみ量の増加は非常に小で、弾性係数も破壊時近傍まで初期の弾性係数を保持していることがわかった。

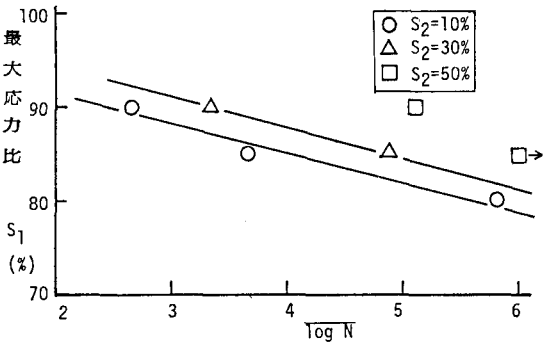
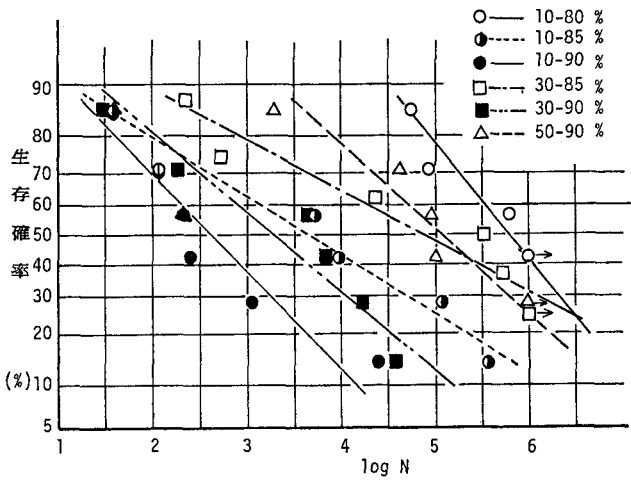


図-2 $S-N$ 曲線 (S_2 は一定)



S_2-S_1 (%)	回帰直線式	$\overline{\log N}$	$D(\log N)$	相関係数
10-80	$t = -0.99(\log N) + 5.78$	5.81	1.01	-0.93
85	$t = -0.50(\log N) + 1.84$	3.67	2.00	-0.98
90	$t = -0.84(\log N) + 2.21$	2.65	1.20	-0.94
30-85	$t = -0.44(\log N) + 2.14$	4.88	2.28	-0.96
90	$t = -0.44(\log N) + 2.24$	3.34	1.49	-0.96
50-90	$t = -0.68(\log N) + 5.10$	5.10	1.47	-0.95

t : 正規分布曲線の対称軸からの距離

$D(\log N)$: $\log N$ の標準偏差

図-1 疲労寿命の分布

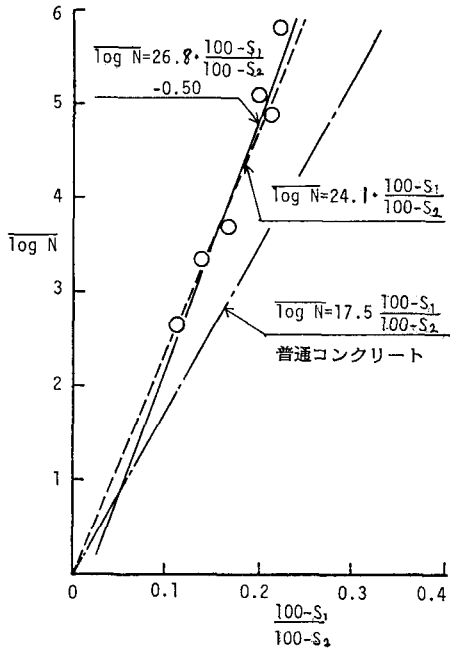


図-3 繰返し応力比と平均疲労寿命の関係