

九州大学工学部 正員 〇松 下 博 通
佐賀大学理工学部 正員 石 川 達 夫
新日本製鉄化学工業 正員 近 田 孝 夫

1. まえがき

溶融高炉スラグと大量の空気で飛散させ、粒化・冷却・回収の全過程で一切の水を使用しないで製造する風砕砂は、緻密で表面の滑らかな球形の人工砂であり、流動性の高いコンクリートを作製することができ、しかし、風砕砂を使用したコンクリートの力学的性質については調査研究しなければならない点も多い。本研究は、すでに一部で利用化されている風砕砂を使用した加圧コンクリートの疲労強度を明らかにすべく、風砕砂のほかに種々の骨材を使用した加圧コンクリートの疲労試験を実施したものであり、その結果を報告する。

2. 試験概要

供試体は $6 \times 12 \text{ cm}$ 円柱供試体で、表 1 に示す 6 種のコンクリートで作製した。使用骨材は、粗骨材に新日鉄堺製鉄所の高炉スラグ砕石 2005 B (表乾比重 2.64, 吸水率 2.72%, 単位容積重量 1510 kg/m^3) と和歌山県橋本市産山砕石 (表乾比重 2.70, 吸水率 0.41%, 粗粒率 6.72) と、細骨材に新日鉄堺製鉄所の混合風砕砂 (完全破砕風砕砂と 3 mm 以下球形粒風砕砂を 1:1 に混合したもの、表乾比重 2.90, 吸水率 0.70%, 粗粒率 3.31) と新日鉄名古屋製鉄所の水砕砂 (表乾比重 2.68, 吸水率 2.13%, 粗粒率 2.29) を使用した。コンクリートの配合のうち A は、混合材とセメント、フライアッシュとセメントの内割で 12.5% 使用したものである。供試体の作製は、加圧量 10 kg/cm^2 で、マチュリティーが $240^\circ\text{C}\cdot\text{hour}$ (100°C , 2.4 hour) に達した蒸気養生を施した後、材令 28 日までは 20°C 水中養生を施し、試験時材令までは空中養生とし、材令 100 日以上で気乾状態での試験に供した。疲労試験時のコンクリートの静的圧縮強度の試験結果は、各バッチごとに求めたが、表 2 の通りである。疲労試験は、繰返し速度 600 rev/min の正弦波に力加で、その最小力を静的圧縮強度の 10% に固定し、最大力は静的圧縮強度の 70~85% で変化させ、供試体が疲労破壊するまでの繰返し回教 (疲労寿命) を求めた。

表 1 コンクリートの配合

配合	W C+Ad (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m^3)				
			W	C	Ad	S	G
S-S ₁ -A	39.2	42	149	332.5	47.5	863	1086
S-S ₁ -B	41.1	44	156	380	-	904	1049
S-S ₂ -A	43.4	36	165	332.5	47.5	663	1163
S-S ₂ -B	45.0	38	171	380	-	701	1128
M-S ₁ -A	38.7	40	147	332.5	47.5	823	1153
M-S ₁ -B	41.1	42	156	380	-	863	1110

S: 高炉スラグ砕石 S₁: 風砕砂 A; フライアッシュ混入
M: 山 砕 石 S₂: 水砕砂 B; " セゾ

表 2. コンクリートの静的強度

配合	打設年月日	試験時材令 (日)	圧縮強度 (kg/cm^2)	変動係数 (%)
S-S ₁ -A ₁	56.7.24	125	884	1.33
S-S ₁ -A ₂	56.7.24	125	837	3.23
S-S ₁ -A ₃	56.7.25	124	903	2.06
S-S ₁ -B ₁	56.7.18	115	916	4.51
S-S ₁ -B ₂	56.7.23	124	885	1.24
S-S ₁ -B ₃	56.7.23	124	836	4.22
S-S ₂ -A ₁	56.7.29	127	877	1.40
S-S ₂ -A ₂	56.7.30	126	869	4.09
S-S ₂ -A ₃	56.7.30	126	839	1.08
S-S ₂ -B ₁	56.7.27	141	830	3.80
S-S ₂ -B ₂	56.7.27	141	860	1.42
S-S ₂ -B ₃	56.7.28	140	851	1.27
M-S ₁ -A ₁	56.7.31	137	846	8.39
M-S ₁ -A ₂	56.7.31	137	829	2.48
M-S ₁ -B ₁	56.8.1	158	907	5.33
M-S ₁ -B ₂	56.8.1	158	899	4.24
M-S ₁ -B ₃	56.8.5	154	866	4.78

表 3. 疲労寿命の測定結果と平均疲労寿命

	S ₁ (%)	N	log N	log N	K		S ₁ (%)	N	log N	log N	K
S-S ₁ -A	70	1861670	6.27			S-S ₂ -B	75	2240	3.35		
		4590	3.66	6.30→	6.32			6540	3.82		
		2000000→	6.30→					54750	4.74	4.33	15.59
		2000000→	6.30→					56480	4.75		
	75	2350	3.37				80	100880	5.00		
		4590	3.66	5.10	18.36			5150	3.71		
S-S ₁ -B	70	100630	5.00					85260	4.93	4.69	21.11
		2000000→	6.30→					88310	4.95		
		3350	3.53				85	149620	5.17		
		7210	3.86	4.08	18.36			3580	3.55		
	80	70530	4.85					4440	3.65	3.81	22.86
		2000000→	6.30→					6210	3.79		
S-S ₂ -A	70	2120	3.33			M-S ₁ -A	75	33380	4.52		
		2930	3.47	5.07	15.21			48640	4.69	5.42	19.51
		112770	5.05					109660	5.04		
		2000000→	6.30→					2000000→	6.30→		
	75	210	3.32			M-S ₁ -B	80	6680	3.82		
		6580	3.82	4.32	15.55			15670	4.20	4.22	18.99
		6600	3.82					18280	4.26		
		8620	3.94					37910	4.58		
S-S ₂ -B	70	974800	5.99				85	2210	3.34		
		1126990	6.05	4.33	19.49			3670	3.56	3.55	21.30
		1770	3.25				70	5600	3.75		
		42600	4.63					32480	4.51	6.02	18.06
	75	42880	4.63					731370	5.86		
		61770	4.79					2000000→	6.30→		
M-S ₁ -A	70	10840	4.04			75	80	9970	4.00		
		27930	4.45	5.50	16.50			14670	4.17		
		2000000→	6.30→					45840	4.66		
		2700	3.43					44730	5.65	4.84	17.42
	80	114190	5.06	4.79	17.24			551030	5.74		
		753010	5.88					28350	4.45		
M-S ₁ -B	70	4090	3.61				80	49300	4.69		
		8990	3.95	3.99	17.96			142910	5.16	4.91	22.10
		26400	4.42					223990	5.35		
		10840	4.04								
	75	27930	4.45								
		2000000→	6.30→								

3. 試験結果と考察

疲労寿命の測定結果を表3に示す。この測定結果より、各繰返し力ごとに、疲労寿命が対数正規分布するとし、 $\log N$ の平均値 $\overline{\log N}$ を求め、表中に示した。繰返し力の最大応力と $\overline{\log N}$ の関係は、従来の研究の結果より直線関係が認められるので、配合Aについてこの回帰式を求めると、

$$S-S_1-A \text{ で } \overline{\log N} = -0.244 S_1 + 21.97$$

$$S-S_2-A \text{ で } \overline{\log N} = -0.151 S_1 + 16.09$$

$$M-S_1-A \text{ で } \overline{\log N} = -0.187 S_1 + 19.36$$

となり、図1に示すように、それぞれの回帰式に差は認められない。また、これらの回帰式は筆者の一人が普通コンクリートで求めた既報の回帰式と一致している。なお、配合Bについては、寿命の測定結果にばらつきが大きく、供試体本数が少ないため、回帰式を求めるに至らなかった。普通コンクリートの場合、平均疲労寿命 $\overline{\log N}$ は、繰返し力の最大、最小応力比 S_1, S_2 により、

$$\overline{\log N} = K(1-S_1)/(1-S_2) \quad K=17 \text{ または } 17.5$$

で示されていた。また、高性能減水剤を用いた高強度コンクリートでは

$$\overline{\log N} = 19.6 \times (1-S_1)/(1-S_2) + 0.92$$

と報告されている。本試験での加圧コンクリートは高強度コンクリートではあるが、高性能減水剤は使用せず、このため、いくぶん普通コンクリートに内部の気況分布などは近いと考えられる。いま、 $\overline{\log N}$ と $(1-S_1)/(1-S_2)$ の関係をプロットしてみると図2の通りであり、A配合については、両者に直線関係が認められ、その回帰式は、実際に示した普通コンクリートのものと近似している。一方配合Bについては、

試験結果にばらつきが大きくなり S_1-N 曲線を求めるには至らなかったものの、A配合と比較して、疲労寿命は大きな差はないものと認められる。以上のことから、風研砂を使用したコンクリートの疲労強度は、水研砂を使用したコンクリートと同様に普通コンクリートとほぼ同等であると考えてもよいであろう。

次に、全々の実験結果より、疲労強度と安全性を見込んだ、全々のデータを包含するような安全性を考慮した $S-N$ 曲線求めた。このとき、安全率を繰返し力の全振幅にのみ考慮するとすれば、終局応力に対する考え方と一致する。この場合、 $\log N$ と $S_r/(1-S_2)$ の関係を求めることになる。

図3はこの関係をプロットしたものである。これより、安全性を見込んだ $S-N$ 曲線として

$$\log N = 15.8(0.85-S_1)/(0.85-S_2)$$

が求められる。この式を破線でご示しているが、限界状態設計法試案で定められている普通コンクリートの疲労強度とほぼ一致している。

—謝辞— 本研究は、(株)日本材料学会、スラグ骨材調査研究委員会において、「高炉スラグ骨材を用いたコンクリートに関する調査研究」の一環として実施されたもので、委員会ならびに京都大学岡田清先生には大変御世話になりました。ここに厚く御礼申し上げます。

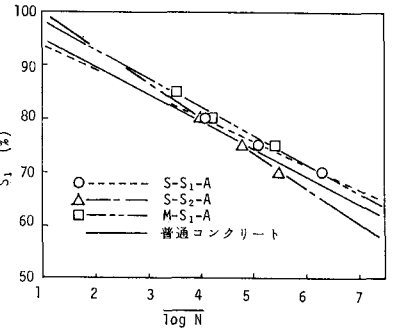


図1 $S_1 - \log N$ 曲線

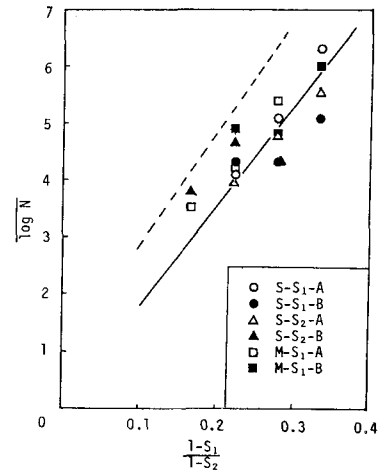


図2 $(1-S_1)/(1-S_2)$ と $\log N$

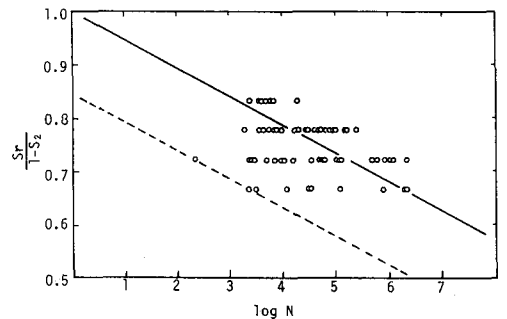


図3 安全性を見込んだ $S-N$ 曲線