

繰返し荷重を受ける硫黄固化体の圧縮疲労強度

福岡大学 正会員 ○尾上幸造 江本幸雄
九州大学大学院 正会員 松下博通 濱田秀則

1. はじめに

結合材に改質硫黄を用いた硫黄固化体は、高い遮水性・高強度・高い耐海水性・良好な海洋生物の着生など、多くの優れた性質を有する。このような特性を活かし、港湾構造物のうち根固めブロック、被覆ブロックおよび藻礁などの無筋構造物へ硫黄固化体を適用するための検討¹⁾がなされてきた。このような港湾構造物は、常に湿潤状態で波浪による繰返し荷重を受けるため、疲労に関する検討は必須である。そこで、本研究では、骨材に製鋼スラグを使用した硫黄固化体の水中における圧縮疲労強度について実験的検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

原料として石炭灰、改質硫黄および製鋼スラグを用いた。使用材料の物性を表-1に示す。ここに、改質硫黄とは熔融硫黄（粘度約10mPa・s）に添加剤（オレフィン系炭化水素）を添加し、重合反応させたものであり、その粘度は約80～150mPa・sである。硫黄固化体の配合を表-2に示す。

2. 2 疲労試験

疲労試験には電気油圧式サーボパルス疲労試験機（容量300kN）を使用した。載荷波形は正弦波形とし、載荷速度は100サイクルまでは1Hz、100～200サイクルにかけて徐々に周波数を上げ、200サイクル以上では5Hzとした。繰返し応力の大きさは、下限応力比 S_{min} を静的強度に対し10%で固定し、上限応力比 S_{max} を65%、75%および82%の3段階に設定した。供試体本数は、それぞれ5本、4本および4本である。

市川ら²⁾により、硫黄固化体を気中にて疲労試験した場合、供試体の温度が上昇し、疲労強度への影響が無視できないことが報告されている。そこで本研究では、硫黄固化体が主として港湾構造物に適用されること、硫黄固化体自体の吸水率が普通コンクリートと比較して非常に小さいこと、および水中疲労試験では硫黄固化体の温度変化がほとんどない²⁾ことなどを考慮し、水中疲労試験を行った。

3. 実験結果

静的圧縮強度試験の結果、今回使用した硫黄固化体の静的圧縮強度は81.7N/mm²、静弾性係数は45.3kN/mm²であった。

疲労試験結果を表-3に示す。コンクリートの疲労試験結果は非常にばらつきが大きく、その整理には統計的処理が必要であり、供試体本数が少ない場合は生存確率を考慮し、順序統計量の理論³⁾を適用する必要がある。すなわち、同一条件下で試験された総数 n 本

表-1 使用材料の物性

原料		物性
硫黄		純度99.97%以上
添加剤		オレフィン系炭化水素
石炭灰		JIS A 6201 FAⅡ種品
製鋼スラグ	細骨材	粒度:0.3～5mm 粗粒率:3.92 吸水率:3.49% 表乾密度:3.22g/cm ³
	粗骨材	粒度:5～20mm 粗粒率:6.45 吸水率:3.15% 表乾密度:3.23g/cm ³

表-2 硫黄固化体の配合

単位量(kg/m ³)			
石炭灰	改質硫黄	細骨材	粗骨材
211	423	1059	1342

表-3 疲労試験結果

繰返し 応力比 (%)		疲労寿命 N	$\log N$	生存確率 の期待値 $P(N_r)$
10～65	1	3767	3.58	0.83
	2	136641	5.14	0.67
	3	477071	5.68	0.50
	4	700472	5.85	0.33
	5	1957540	6.29	0.17
10～75	1	1755	3.24	0.80
	2	7217	3.86	0.60
	3	71897	4.86	0.40
	4	98598	4.99	0.20
10～82	1	551	2.74	0.80
	2	690	2.84	0.60
	3	940	2.97	0.40
	4	11723	4.07	0.20

キーワード：硫黄固化体、製鋼スラグ、石炭灰、繰返し荷重、疲労強度

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 TEL 092-871-6631

のうち疲労寿命の小さい方から r 番目の供試体の生存確率の期待値 $P(N_r)$ は式 (1) で与えられる.

$$P(N_r) = 1 - \frac{r}{n+1} \quad (1)$$

本研究では, 全ての繰返し応力比において供試体が繰返し 200 万回以内で破壊したため, 上式により $P(N_r)$ を算出した.

図-1 に生存確率の期待値 $P(N_r)$ と疲労寿命の対数 $\log N$ をプロットした $P-N$ 線図を示す. ほぼ直線で近似できており, 硫黄固化体の疲労寿命は普通コンクリートのそれと同様に対数正規分布すると考えられる.

生存確率の期待値 $P(N_r)$ が 50% のときの疲労寿命である平均疲労寿命 $\overline{\log N}$ と上限応力比 $S_{\max}$ の関係をプロットした $S-N$ 線図を図-2 に示す. 同図中には, 既往の研究における普通コンクリート⁴⁾の気中および水中における $S-N$ 線図と硫黄固化体の水中²⁾における $S-N$ 線図を併せて示した. 同一の平均疲労寿命で比較すると, 本研究で使用した硫黄固化体の水中疲労強度は, 普通コンクリートの気中疲労強度よりも小さいが, 普通コンクリートの水中疲労強度よりも大幅に大きい. これは, 硫黄固化体自体の吸水率が普通コンクリートと比較して非常に小さいことに起因すると思われる. また, 市川ら²⁾による硫黄固化体の水中疲労強度と比較すると, 平均疲労寿命が大きい領域で若干の差異が認められるが, ほぼ同等であると考えられる. 本研究により得られた硫黄固化体の水中における疲労寿命推定式を式 (2) に示す.

$$S_{\max}(\%) = -7.91 \overline{\log N} + 107.47 \quad (2)$$

これより, 200 万回疲労強度を求めると, 57.6% となる.

4. 結論

- (1) 製鋼スラグを骨材に用いた硫黄固化体の水中における疲労寿命は, 普通コンクリートと同様に対数正規分布する.
- (2) 製鋼スラグを骨材に用いた硫黄固化体の水中における疲労強度は, 同一の疲労寿命で比較した場合, 普通コンクリートの気中疲労強度よりも小さいが, 普通コンクリートの水中疲労強度よりも大幅に大きい. これは, 硫黄固化体自体の吸水率が普通コンクリートと比較して非常に小さいことによると考えられる.

謝辞: 本研究で使用した材料は, 新日本石油(株)より提供していただきました. ここに御礼申し上げます.

【参考文献】

- 1) 堀井秀之, 島津潤一, 中野裕一: 産業副産物を骨材に用いた硫黄固化体の港湾構造物への適用に関する取り組み, コンクリート工学, Vol.44, No.6, pp.9-15, 2006.6
- 2) 市川武志, 大島義信, 中野裕一: 硫黄固化体の疲労特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.2093-2098, 2006.7
- 3) Gumbel, E. J. (河田竜夫ら訳): 極値統計学, pp.45-51, 廣川書店, 1963
- 4) 松下博通: 水中におけるコンクリートの圧縮疲労強度に関する研究, 土木学会論文報告集, No.296, pp.87-95, 1980.4

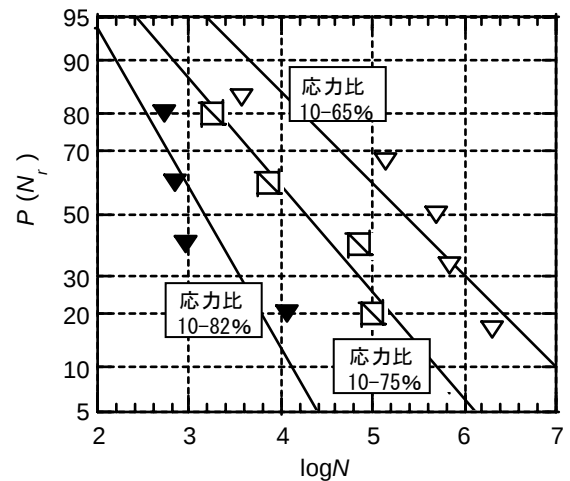


図-1 $P-N$ 線図

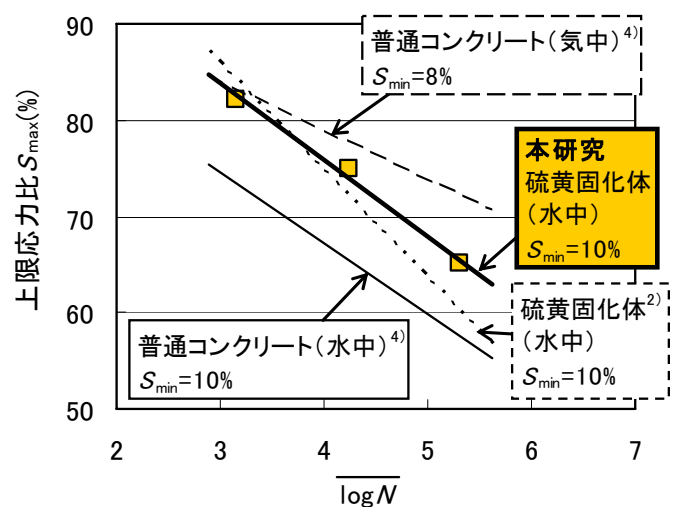


図-2 本研究および既往の研究における硫黄固化体および普通コンクリートの $S-N$ 線図