

発泡スチロール廃材を骨材に用いた超軽量モルタルの圧縮疲労特性

山口大学大学院
(株)宇部三菱セメント研究所

学生会員 ○保井 渉
正会員 玉滝浩司

山口大学工学部 正会員 松尾栄治
山口大学工学部 正会員 浜田純夫

1. はじめに

近年、産業廃棄物の有効利用に関する研究が幅広く実施されており、発泡スチロールも処分に困窮している産廃の一つである。特に山口県は漁業が盛んであり、大量の発泡スチロールが消費・廃棄されている。筆者らは発泡スチロールを遠赤外線照射により減容化した廃材（以下、EPS 廃材）の低密度、低吸水性に着目し、超軽量モルタル用骨材としての開発を目的としている。EPS 廃材は普通骨材に比べて低弾性であり、疲労荷重に対するクッション効果に期待し、本研究ではその圧縮疲労特性を明らかにした。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント（密度：3.16g/cm³，比表面積：3290cm²/g）を使用し，細骨材は体積が約 1/20 に減容される遠赤外線減容処理を施した EPS 廃材（密度：0.53g/cm³，実積率：64.8%，粗粒率：3.95，吸水率はほぼ 0%）を使用した。

配合はセメントの強さ試験の配合を基本とし，細骨材部分を全て EPS 廃材で体積置換した。モルタル全体積のうち、EPS 廃材が占める割合を EPS 混入率 V_a と定義した。配合を表-1 に示す。それぞれの W/C についてワーカビリティを保持する V_a の最大値を用いた。密度が比較的大きい配合の代表として配合 A（圧縮強度 6.4N/mm²），密度が小さい配合の代表として配合 B（圧縮強度 4.6N/mm²）を選択した。供試体はφ5×10cm の円柱とし，28 日間標準養生を施した後，質量変化がなくなるまで自然乾燥させて試験に供した。疲労試験の応力波形は，周波数 5Hz の正弦曲線変化とした。上限荷重は静的強度の 70～90%，下限荷重は 10%で一定とした。また，供試体が破壊しない場合の途中打ち切り回数は 200 万回とした。

3. 実験結果

表-2 に疲労試験結果を示すが，各応力振幅のデータは疲労特有のばらつきを示しているので，順序統計量の理論を用いて解析を行った。表中の生存確率 $P(N)$ は式 (1) より求めた。なお，200 万回での途中打ち切りデータが含まれる場合には，式 (2) を適用し $P(N)$ を求めた。

$$P(N) = 1 - r / (n + 1) \quad (1) \qquad P(N) = 1 - r / (n + 2) \quad (2)$$

r ：破壊時の繰返し回数の小さいものからの順位
 n ：同一条件で試験を行った供試体数

表-1 疲労試験用配合

配合名	W/C (%)	V_a (%)	単位量 (kg/m ³)			密度 (g/cm ³)
			W	C	EPS	
配合A	30	40	292	972	212	1.48
配合B	40	50	279	697	265	1.24

表-2 疲労試験結果

S	配合A			配合B		
	r	N	P(N)	r	N	P(N)
0.8	1	3,768	0.909	1	2,367	0.909
	2	3,967	0.818	2	3,263	0.818
	3	4,005	0.727	3	5,969	0.727
	4	5,323	0.636	4	6,972	0.636
	5	5,911	0.545	5	7,305	0.545
	6	7,393	0.455	6	7,581	0.455
	7	8,219	0.364	7	8,327	0.364
	8	8,230	0.273	8	9,487	0.273
	9	23,505	0.182	9	21,638	0.182
	10	34,586	0.091	10	25,213	0.091
0.75	1	15,268	0.909	1	4,870	0.909
	2	15,563	0.818	2	9,661	0.818
	3	18,449	0.727	3	11,446	0.727
	4	21,651	0.636	4	12,183	0.636
	5	23,511	0.545	5	19,593	0.545
	6	30,840	0.455	6	38,848	0.455
	7	32,754	0.364	7	45,330	0.364
	8	33,548	0.273	8	51,975	0.273
	9	42,240	0.182	9	54,283	0.182
	10	140,351	0.091	10	69,946	0.091
0.7	1	42,191	0.909	1	22,042	0.909
	2	70,020	0.818	2	22,238	0.818
	3	123,977	0.727	3	30,648	0.727
	4	133,446	0.636	4	48,406	0.636
	5	196,973	0.545	5	54,709	0.545
	6	212,302	0.455	6	59,432	0.455
	7	272,294	0.364	7	73,589	0.364
	8	346,414	0.273	8	94,520	0.273
	9	364,296	0.182	9	110,646	0.182
	10	553,473	0.091	10	123,887	0.091
0.65	1	958,528	0.917	1	158,668	0.917
	2	1,097,673	0.833	2	165,031	0.833
	3	1,298,672	0.750	3	308,998	0.750
	4	1,536,807	0.667	4	484,750	0.667
	5	1,573,006	0.583	5	785,400	0.583
	6	1,798,734	0.500	6	837,482	0.500
	7	1,806,252	0.417	7	906,240	0.417
	8	2,000,000	—	8	1,509,547	0.333
	9	2,000,000	—	9	1,829,855	0.250
	10	2,000,000	—	10	2,000,000	—
0.6	1	2,000,000	—	1	2,000,000	—
	2	2,000,000	—	2	2,000,000	—
	3	2,000,000	—			

コンクリートの疲労寿命の分布形に関しては、本研究では最も一般的な対数正規分布関数を適用した。対数正規分布関数を用いた場合の $P(N)$ と N の関係は式(3)で回帰することができる。またその場合に、 $P(N)=0.5(t=0)$ に相応する平均疲労寿命 $m(\log N)$ および標準偏差 $\sigma(\log N)$ は、それぞれ式(4)と式(5)で表すことができる。

$$t = A \log N + B \quad (3)$$

$$m(\log N) = -B/A \quad (4)$$

$$\sigma(\log N) = 1/A \quad (5)$$

A, B : 実験より求まる定数

t : 正規分布関数の対称軸からの距離で、任意

の $P(N)$ に対して標準正規積分表より求まる

図-1, 2 は、 $P(N)$ と N の関係を対数確率紙上にプロットしたものである。各応力振幅のデータは概ね一直線上に並んでおり、それぞれ対数正規分布の母集団に属しているとみなすことができる。表-3 は、各応力振幅の t と N の関係を N 軸方向の最小二乗法で求めた回帰式と、式(4)と式(5)より求めた平均疲労寿命 $m(\log N)$ および標準偏差 $\sigma(\log N)$ を示したものである。表中の $m(\log N)$ と S の関係を N 軸方向の最小二乗法で求めることにより、 $P(N)=0.5$ の場合の S-N 曲線が式(6)、(7)のように得られる。

$$S = -0.064 \log N + 1.044 \quad (\text{配合 A}) \quad (6)$$

$$S = -0.079 \log N + 1.096 \quad (\text{配合 B}) \quad (7)$$

図-3 に、既往の研究¹⁾ および本研究で得られた $P(N)=0.5$ における S-N 曲線を示す。EPS モルタルの S-N 曲線を、人工軽量骨材を用いた高強度および普通強度軽量コンクリートと比較すると、配合 A の S-N 曲線の傾きは高強度軽量コンクリートとほぼ同程度であり、配合 B の S-N 曲線の傾きは普通強度軽量コンクリートとほぼ同程度である。また 200 万回疲労強度も同様の類似傾向を示した。配合 A と B を比較すると、より軽量である配合 B の方が S-N 曲線の傾きが大きく、疲労耐久性能はやや劣る結果となった。

4. まとめ

- ① 配合 A の EPS モルタルの 200 万回疲労強度は高強度軽量コンクリートとほぼ同程度であり、配合 B の EPS モルタルの 200 万回疲労強度は普通強度軽量コンクリートとほぼ同程度である。
- ② EPS モルタルの 200 万回疲労強度は、EPS 混入率が高いと低下傾向にある。

【参考文献】

- 1) 早川, 岡部, 高木, 児島: 高品質軽量骨材コンクリートの圧縮疲労強度, 土木学会第 58 回年次学術講演会概要集, pp.737~738, 2003.

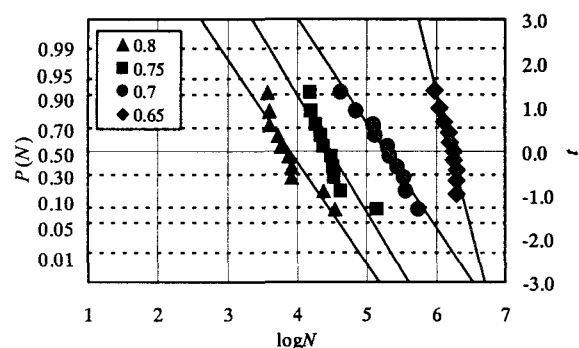


図-1 対数確率紙における $P(N)$ - N 曲線 (配合 A)

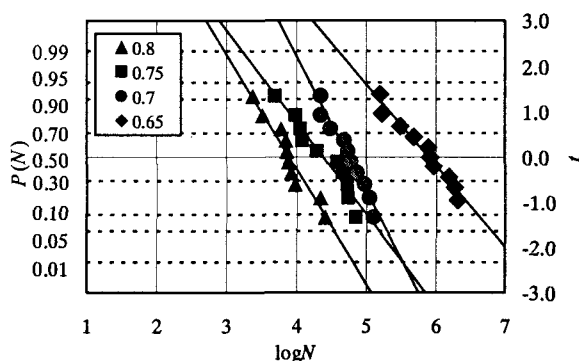


図-2 対数確率紙における $P(N)$ - N 曲線 (配合 B)

表-3 各応力振幅と t と N の回帰式

配合A			
S	回帰式	$m(\log N)$	$\sigma(\log N)$
0.80	$t = -2.759 \log N + 10.73$	3.89	0.363
0.75	$t = -3.249 \log N + 14.51$	4.47	0.308
0.70	$t = -2.462 \log N + 12.95$	5.26	0.406
0.65	$t = -6.766 \log N + 42.04$	6.21	0.148
配合B			
S	回帰式	$m(\log N)$	$\sigma(\log N)$
0.80	$t = -2.740 \log N + 10.66$	3.89	0.365
0.75	$t = -2.176 \log N + 9.50$	4.37	0.460
0.70	$t = -3.112 \log N + 14.74$	4.74	0.321
0.65	$t = -1.880 \log N + 11.07$	5.89	0.532

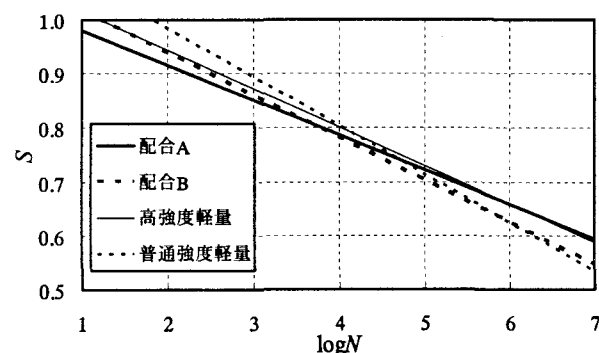


図-3 本研究および他研究者の S-N 曲線