

HVF Aコンクリートの曲げ疲労強度に関する研究

山口大学大学院 学生会員 ○山下智義
 前田道路(株) 正会員 加藤康弘
 大鉄工業(株) 善山久徳
 山口大学大学院 正会員 浜田純夫

1. はじめに

近年、石炭火力発電所の増加に伴い、副産物であるフライアッシュ(以下、FA と記す)も増加している。本研究では、規定量以上の FA をセメントに対して内割置換したコンクリートをハイボリュームフライアッシュ(以下、HVFA と記す)コンクリートと位置づけ、その用途として舗装コンクリートに着目した。我が国のコンクリート舗装版の設計法は、曲げ疲労特性が重要な役割を担っているため、HVFA コンクリートの曲げ疲労特性を調べた。さらに、得られた疲労特性を用いてコンクリート舗装版の設計も行った。

2. 実験方法

コンクリートの配合を表 1 に示す。配合は一般に用いられる舗装コンクリート(スランプ値: 2.5cm, 空気量 4.5%)の要求性能に対して決定した。目標強度は 4.5N/mm^2 (材齢 91 日)とした。FA は JIS 規格Ⅱ種のものを使用し、セメントに対して 50%内割置換とした。供試体は寸法 $15 \times 15 \times 53\text{cm}$ とし、材齢 2 日で脱型後、標準養生を行った。また、供試体作製時に環境・人的要因などによる品質のばらつきを抑えるため、生コンプラントの大容量ミキサを使用し、少ないバッチ数で作製した。

静的曲げ試験および曲げ疲労試験の载荷方法は、どちらもスパン 45cm の 3 等分点载荷とした。曲げ疲労試験の応力波形は周波数 5Hz の正弦曲線変化とした。上限応力比は 0.90~0.65 の範囲で 6 段階とし、下限応力比はすべての供試体について 0.10 とした。なお、繰返し回数 200 万回で供試体が破壊しない場合は、試験を途中で打ち切りとした。

表 1 コンクリートの配合

FA	単位量 (kg/m^3)				
C+FA	C	FA	W	S	G
50%	175	175	132	532	1,305

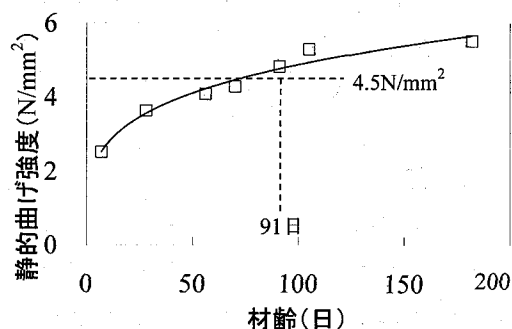


図 1 材齢と静的曲げ強度の関係

3. 実験結果および考察

a) 静的曲げ強度

材齢と静的曲げ強度の関係を図 1 に示す。一般に、普通コンクリートの静的曲げ強度は材齢 28 日程度で強度の増加がほとんどみられなくなるが、HVFA コンクリートの静的曲げ強度は、材齢 28 日以降の長期材齢でも強度の増加がみられた。これは、FA のポゾラン反応による強度発現効果によるものと考えられる。また、材齢 91 日時点で目標強度 4.5N/mm^2 を満足した。

b) S-N 曲線

疲労試験結果を表 2 に示す。表中の S は応力振幅, r は供試体番号, N は破壊に至る繰返し回数, $P(N)$ は生存確率である。なお、疲労試験は現在も継続中であるため、2006 年 1 月 31 日時点の試験結果を用いて解析を行った。疲労試験結果は下限応力に影響することが知られている。そこで実験条件を等しくするために修正 Goodman 線図を用いて下限応力比を 0 に修正した。表中の S は修正後の値である。各応力振幅のデータは疲労特有のばらつき

表 2 疲労試験結果

S	r	N	$P(N)$	S	r	N	$P(N)$
0.89	1	249	0.800	0.72	1	33,642	0.833
	2	1,189	0.600		2	77,262	0.667
	3	1,929	0.400		3	177,768	0.500
	4	4,368	0.200		4	685,623	0.429
0.83	1	1,981	0.857	0.67	5	769,784	0.286
	2	2,661	0.714		1	586,061	0.857
	3	4,321	0.571		2	1,616,858	0.714
	4	8,213	0.429		3	2,000,000	0.571
	5	11,025	0.286		4	2,000,000	-
	6	12,022	0.143		5	2,000,000	-
0.78	1	16,775	0.857	0.61	1	2,000,000	-
	2	19,468	0.714		2	2,000,000	-
	3	29,903	0.571				
	4	31,901	0.429				
	5	35,118	0.286				
	6	114,705	0.143				

を有しているため、順序統計量を用いて解析を行い、対数正規分布関数で近似することにより $S-N$ 曲線を求めた。本研究結果とともに他研究者の疲労試験結果に対しても同様の解析を行い、 $P(N)=0.5$ の時の $S-N$ 曲線および 200 万回疲労強度を求めた。

HVFA コンクリートおよび普通コンクリートの $S-N$ 曲線を図 2 に示す。普通コンクリートであっても、 $S-N$ 曲線は研究者により切片や傾きが異なっており、HVFA コンクリートの $S-N$ 曲線は、小梁川らの結果より小さく McCall および Gomez の結果よりも大きい。

コンクリートの疲労限とされている 200 万回疲労強度を用いて疲労特性を比較したものを表 3 に示す。HVFA コンクリートの 200 万回疲労強度は、小梁川らの結果より低く、McCall および Gomez の結果よりも高い。以上のことから、HVFA コンクリートは普通コンクリートと同程度の疲労強度を有しているといえる。また、 $S-N$ 曲線からの試験結果のばらつきを表す σ は HVFA コンクリートである本研究が最も小さい。これは、練混ぜバッチ数を少なくしたことや、他研究者よりも供試体数が少ないことによるものと考えられる。

4. コンクリート舗装版の設計

HVFA コンクリートおよび普通コンクリート舗装版(以下、それぞれ HVFA 舗装版、普通舗装版と記す)の版厚設計を行った。設計期間は普通舗装版の一般的な設計期間である 20 年、および長寿命化舗装を期待して 40 年とした。疲労抵抗を求めるための $S-N$ 曲線は、HVFA 舗装版には本研究のものを、普通舗装版には小梁川らのものを用いた。なお、どちらの $S-N$ 曲線も $P(N)=0.5$ から $-2\sigma(S-N)$ 移行した曲線 ($P(N)=0.97$ の $S-N$ 曲線)を用いた。交通条件は表 4 に示すものを用いた。その他の条件については、舗装設計施工指針の設計例に準拠した。

設計結果を表 5 に示す。HVFA 舗装版と普通舗装版を比較すると、同一設計期間における必要な版厚は HVFA 舗装版のほうが薄い。これは、HVFA コンクリートの σ が普通コンクリートよりも小さいため、 -2σ 移行することにより HVFA コンクリートの $S-N$ 曲線が普通コンクリートの $S-N$ 曲線よりも大きくなったためと考えられる。また、設計期間 20 年と 40 年の版厚の差は、HVFA 舗装版および普通舗装版ともに 1cm 程度と小さく、コンクリート舗装版の設計期間を長くしても版厚の変化は小さいことが分かった。以上のことから、長寿命化舗装として HVFA コンクリートの適用が期待できる。

5. まとめ

- 1) HVFA コンクリートの静的曲げ強度は、材齢 28 日以降の長期材齢でも強度の増加がみられた。
- 2) HVFA コンクリートの疲労強度は、普通コンクリートと同程度である。
- 3) HVFA 舗装版は、普通舗装版に比べて同一設計期間に必要な版厚は薄い。
- 4) コンクリート舗装版の設計期間を長くしても、版厚の変化は小さい。
- 5) 長寿命化舗装として HVFA コンクリートの適用が期待できる。

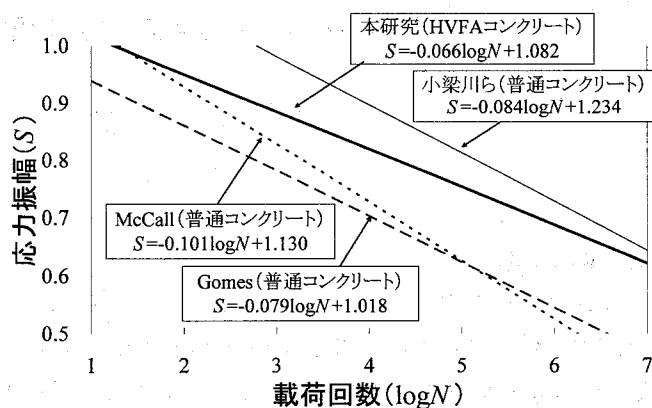


図 2 $S-N$ 曲線

表 3 各コンクリートの疲労特性

コンクリートの種類	試験者	200万回 疲労強度	σ
HVFAコンクリート	本研究	0.67	0.412
普通コンクリート	小梁川	0.70	0.943
	McCall	0.50	2.686
	Gomez	0.60	0.600

表 4 交通条件

輪荷重 (kN)	頻度 (台/日)
9.8	19995
19.6	4836
29.4	3603
39.2	1959
49.0	1009
58.8	657
68.6	365
78.4	162
88.2	72
98.0	37
疲労破壊輪数	19,369,723回/10年

表 5 設計結果

コンクリート 舗装版の種類	版厚 (cm)		版厚差 (cm)
	20年	40年	
普通舗装版	27.9	29.3	1.4
HVFA舗装版	26.6	27.4	0.8