

フライアッシュコンクリート舗装から試製したリサイクルセメントの物性評価

山口大学大学院 学生会員○牛尾祐大
山口大学大学院 正会員 吉武 勇
宇部興産株式会社 正会員 石田剛朗
中国電力株式会社 正会員 福本 直

1. はじめに

コンクリート性状を改善できることが広く知られているフライアッシュ（以下、FA と記す）は、セメントの代替材として用いることで、ポゾラン反応によって長期にわたり強度増進するため、コンクリート舗装へ大量使用することが期待される¹⁾。しかし、FA をセメント代替材として用いることで、早期交通解放が求められる道路舗装への適用が困難となる。本研究では、初期強度発現に寄与できる石灰石微粉末（以下、LP と記す）を FA とともに混和し、さらに石灰石起源の骨材のみを用いることで、次世代のセメント原料²⁾としてリサイクル可能な FA コンクリート舗装の開発をすすめてきた³⁾。本研究では、この FA コンクリート舗装を原料としたセメントを試製し、その化学成分と物理性状を調べ、リサイクル性について検討した。

2. リサイクルセメントの試製

2. 1 使用材料および配合

本研究の FA コンクリートには、普通ポルトランドセメント（密度 3.15g/cm³，比表面積

3340cm²/g）を使用した。また、使用した FA（密度 2.18g/cm³，比表面積 3440cm²/g）は JIS A 6201 に規定される II 種相当であり、石灰石微粉末（密度 2.70g/cm³，比表面積 4500cm²/g）は 200 メッシュの一般市販品である。FA コンクリート塊をセメント原料にリサイクルできるように、細骨材（密度 2.60g/cm³，F.M. 2.90，微粒分 2.4%）および粗骨材（密度 2.68g/cm³，F.M. 6.60，微粒分 0.53%）はいずれも石灰石起源のものとした。セメント試製は表-1 に示す配合のコンクリート塊を用いて行った。

2. 2 クリンカーおよびセメントの試製

セメント試製に先立ち、調べた FA コンクリートの化学成分を表-2 に示す。FA コンクリートの Ca 成分が石灰石の Ca 成分と同程度含まれていることを確認した。コンクリート塊を 105℃で 24 時間程度の炉乾燥を行った後、ボールミルを用いて 90μm ふり目の残分が 25~30%程度になるよう粉砕した。セメント協会の示す普通ポルトランドの化学成分を参考に、Bogue 式を用いて鉱物組成の目標値を設定し、成分調整を行った。調合した原料を、乾燥後、ペレット状に成形し、電気炉で焼成してクリンカーを作製した。その後、クリンカーに石こうと粉砕助剤を添加してボールミルによって粉砕することにより、セメントを試製した。そして試製したセメントについて JIS 法等に基づく化学試験、物理試験を行った。

2. 3 試製セメントの化学成分分析

セメントに対して強熱減量および塩素 (Cl) を含む 14 項目について化学成分分析を実施した。この強熱減量は、酸化雰囲気（空気中）で 950±25℃で恒量になるまで強熱したときの減量である。950±25℃に調節し

表-1 配合表

		単位量 (kg/m ³)							
FA/cm	w/cm	W	C	FA	LP	S	G	SP	AE
0.40	0.33	110	200	134	50	820	1033	4.01	1.20

SP：高性能 AE 減水剤，AE：AE 助剤

表-2 コンクリートの化学成分 (%)

ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
38.43	3.25	1.05	0.55	50.28	0.47	0.20
Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Cl
0.04	0.07	0.086	0.07	0.02	0.06	0.005

キーワード セメント，リサイクル，舗装コンクリート，フライアッシュ，石灰石

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 TEL 0836-85-9306

た電気炉中に試料を静置し、15 分間ずつ強熱を繰り返し、強熱前後の質量差が 0.0005g 未満になったときを恒量とした。JIS R 5202 に準拠して、強熱減量の測定および Cl に関しては湿式分析、それ以外の化学分析に関しては蛍光 X 線分析によって測定を行った。

2. 4 試製したセメントの物理試験

物理試験では JIS R 5201 に準拠して、密度試験、粉末度試験、凝結試験、安定性試験、強さ試験、フロー試験を行った。セメントの安定性試験に関しては、セメントペーストで作製したパットについて、24 時間の湿空養生後および 90 分間沸騰させ自然に冷却させた後の膨張性のひび割れ、または反りの有無を検査し、膨張性のひび割れまたは反りを認めないものを「良」とした。セメントの強さ試験については、モルタルの配合は質量比でセメント：標準砂＝1：3、水セメント比 $w/c=0.50$ とし、試験を行った。

3. 試験結果および考察

3. 1 クリンカーの鉱物組成およびセメントの化学成分分析結果

Bogue の式によって算出した鉱物組成の値と本研究で試製したクリンカーの鉱物組成を表-3 に示す。結果は概ね目標値と近い値を示しており、一般的な鉱物組成となった。また、試製したセメントの化学成分分析結果を表-4 に示す。各化学成分は普通ポルトランドセメントの JIS 規格値を満足していることを確認した。

3. 2 セメントの物理試験結果

物理試験結果を表-5 に示す。比表面積試験、凝結試験において普通ポルトランドセメントの JIS 規格値を満足し、圧縮試験に関しても規格値の強度を超過している。各材齢における圧縮強さ試験では普通ポルトランドセメントの JIS 規格値を十分に満足しており、セメントの安定性試験に関しても膨張のひび割れおよび反りは生じなかった。両試験の結果より、FA 舗装コンクリート塊から試製したセメントの化学成分・物理性は JIS 規格値を十分に満足でき、同コンクリートをセメント原料としてリサイクル可能と考えられる。

4. おわりに

- (1) すべて石灰石起源の骨材を用いた FA 舗装コンクリート塊を用いてセメントを試製した。試製したセメントの化学成分・物理性は、普通ポルトランドセメントの JIS 規格値を十分に満足した。
- (2) この FA 舗装コンクリートは、次世代のセメント原料としてリサイクルできることを確認した。

参考文献

- 1) 加藤康弘ほか：フライアッシュを大量使用した舗装コンクリートの長期強度と版厚設計に対する提案，土木学会論文集 F, Vol.63, No.1, pp.66-71, 2007.
- 2) 友澤史紀ほか：完全リサイクルコンクリートの実用化に関する研究，日本建築学会大会学術論文集, pp.393-400, 1996.
- 3) 時國裕也ほか：石灰石微粉末を用いて初期強度を改善した FA 置換率 40%の舗装コンクリートの曲げ強度特性，材料, Vol.63, No.10, pp.710-715, 2014.

表-3 クリンカーの鉱物組成

	成分 (%)			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
クリンカー	55.1	23.1	9.4	9.0
目標値	56.8	17.7	8.9	8.5

表-4 試製したセメントの化学成分分析結果

	ig.loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
試験値	1.21	21.45	5.16	2.93	64.41	0.79	2.57
JIS	≤5.0	-	-	-	-	≤5.0	≤3.5
	Na ₂ O	K ₂ O	R ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	Cl
試験値	0.31	0.52	0.652	0.27	0.05	0.15	0.000
JIS	-	-	≤0.75	-	-	-	≤0.035

表-5 試製したセメントの物理試験結果

	密度 g/cm ³	比表面積 cm ² /g	90μm 残分 %	凝結			安定性 パッド 法
				水量 %	始発 h-m	終結 h-m	
No.1	3.12	3320	0.6	27.80	1-53	2-53	良
JIS	-	≥2500	-	-	≥60m	≤10h	良
	曲げ強さ N/mm ²			圧縮強さ N/mm ²			フロー mm
	3d	7d	28d	3d	7d	28d	
No.1	6.7	8.0	9.0	32.5	47.5	61.5	208
JIS	-	-	-	≥12.5	≥22.5	≥42.5	-