

亜鉛スラグを細骨材に用いたコンクリートの フライアッシュ併用による硬化・フレッシュ性状改善効果

九州大学大学院 学生会員 酒井 俊男 九州大学大学院 正会員 佐川 康貴
三池製錬（株） 秋元 洋一郎 （株）麻生 正会員 近田 孝夫

1. はじめに

コンクリート用の天然骨材の枯渇や、環境への意識の高まりから、天然骨材の代替材料の開発が求められている。本研究では、産業副産物から粗酸化亜鉛を製錬する際に副産されるスラグ（以下、亜鉛スラグと呼ぶ）に着目した。亜鉛スラグを高置換率で使用することで、ブリーディング量の増大、初期強度の低下などの影響が確認されたため、本研究では、フライアッシュを併用し、フレッシュ性状および圧縮強度の改善を試みた。

2. 実験概要

写真-1 に本研究で用いた亜鉛スラグの形状を、表-1、表-2 に使用材料を示す。コンクリートの作製は、目標スランプ $8.0 \pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量 $4.5 \pm 1.5\%$ とし、最適細骨材率となる配合を決定した。水セメント比 W/C は 55% とし、細骨材の一部もしくは全量を亜鉛スラグで置換した。亜鉛スラグ置換率 R は、体積比で $0, 30, 50, 100\%$ とした。また、亜鉛スラグ置換率 $50, 100\%$ の配合では、亜鉛スラグの 20% （体積比）をフライアッシュで置換した配合も作製した。決定した配合を表-3 に示す。

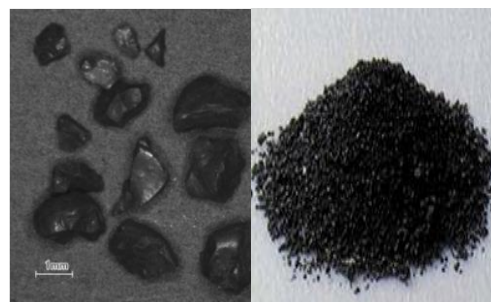


写真-1 亜鉛スラグ

表-1 使用材料

使用材料	記号	詳細
セメント	C	普通ポルトランドセメント(密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$)
スラグ細骨材	ZS	亜鉛スラグ(表乾密度 $3.71\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率 0.52%)
普通細骨材	SS	海砂(表乾密度 $2.58\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率 1.72%)
普通粗骨材	G	砕石2005(表乾密度 $2.85\text{g}/\text{cm}^3$, 吸水率 0.72%)
フライアッシュ	FA	フライアッシュII種 (密度 $2.26\text{g}/\text{cm}^3$, 比表面積 $3970\text{cm}^2/\text{g}$)
AE減水剤	Ad	リグニンスルホン酸化合物と ポリオールとの複合体
AE剤	AE	アルキルエーテル系陰イオン界面活性剤
FA用AE剤	FAE	高アルキルカルボン酸系陰イオン界面活性剤 と非イオン界面活性剤の複合体

ブリーディング試験は、JIS A 1123 に準拠し、表-3 の配合について行った。圧縮強度試験は、セメント水比と圧縮強度の関係を得るために水セメント比 $45, 65\%$ のコンクリートについても行った。各水セメント比について単位水量を一定としたまま、細骨材率 s/a を変化させ、所定のスランプおよび空気量を満足する配合を決定した。圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準拠し、 $\phi 100 \times 200\text{mm}$ の円柱供試体を作製し、 20°C 水中養生後、材齢 $3, 7, 28$ 日で試験を行った。同時にコン

表-2 フライアッシュの性質

試験項目	SiO_2 (%)	湿分 (%)	強熱減量 (%)	密度 (g/cm^3)	粉末度		フロー値 比(%)	活性度指数		メチレンブルー 吸着量 (mg/g)
					45μ ふるい 残分(%)	比表面積 (cm^2/g)		材齢28日	材齢91日	
測定値	60.6	0.1	2.4	2.26	3.6	3970	104	83	100	0.36

表-3 示方配合

配合名 (W/C-R)	W/C (%)	R(%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)						AE減水剤	AE剤	スラン プ (cm)	空気 量 (%)
				水 W	セメント C	細骨材S		FA	粗骨材 G				
						海砂SS	亜鉛スラグZS						
55-0	55	0	47	170	309	833	0	0	1038	C*0.25%	C*0.003%	9.5	4.9
55-30		30	48	170	309	593	376	0	1014	C*0.25%	C*0.001%	8.5	4.8
55-50		50	47	170	309	417	597	0	1038	C*0.25%	C*0.001%	9.5	5.1
55-100		100	47	175	318	0	1177	0	1030	C*0.25%	0	9.5	5.4
55-50F		50	47	170	309	417	479	73	1038	C*0.25%	C*0.002%	9.0	5.5
55-100F		100	46	175	318	0	927	141	1045	0	C*0.004%	9.0	3.6

プレスメーターを用いてひずみの測定を行い、静弾性係数を算出した。

3. 実験結果および考察

3.1 ブリーディング試験

図-1 にブリーディング試験結果を示す。図より、亜鉛スラグ置換率の増加に伴い、ブリーディング率が著しく増加していることが分かる。この原因の一つとして、亜鉛スラグの微粒分量が少ないことが挙げられる。一方、FA を併用した場合（図-2）、スラグ置換率 50%では約 4 割、スラグ置換率 100%では 1〜2 割程度、ブリーディング率が低減された。スラグ置換率 50%では、フライアッシュを用いることで、普通コンクリート（スラグ置換率 0%）のブリーディング率以下の値が得られたことから、十分な抑制効果が得られていると考えられる。一方、スラグ置換率 100%の配合については微粒分を補うことでは十分な抑制効果があまり表れなかった。微粒分の少なさ以外の原因として、亜鉛スラグの表面が滑らかで、保水性がないことや、亜鉛スラグの密度が大きいことなどが挙げられるため、表面性状や密度とブリーディング率の関係を検討することが必要と考える。

3.2 圧縮強度試験

圧縮強度試験結果を図-3 に示す。図から、スラグ置換率 30%では普通コンクリートとほぼ同等の強度が得られるが、スラグ置換率 50, 100%の配合については普通コンクリートに比べ強度はやや低下する傾向が見られた。この原因の一つとして、ブリーディングの増加によるコンクリート内部に水みちや空隙の形成が発生したことが考えられる。また、フライアッシュを用いたコンクリートの圧縮強度はスラグ置換率 50%では 33.4N/mm^2 から 47.3N/mm^2 に増大し、スラグ置換率 100%では 31.1N/mm^2 から 54.5N/mm^2 と、大幅に増大した。

また、図-4 にスラグ置換率 50, 100%の配合におけるセメント水比 C/W と 28 日圧縮強度の関係を示す。一般に、セメント水比と圧縮強度は比例関係にあることが知られている。図から、亜鉛スラグを高置換率で用いたコンクリートにも概ね比例関係があることが確認できた。さらに、図-5 に圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図の黒実線は、土木学会コンクリート標準示方書「設計編」による一般的な圧縮強度と静弾性係数の関係を示す。図から、普通コンクリートおよび亜鉛スラグを用いたコンクリートはほぼ黒実線に沿った関係を示したが、亜鉛スラグを用いたコンクリートは同一圧縮強度における静弾性係数が大きくなる傾向が認められた。

4. まとめ

亜鉛スラグを高置換率で用いると、ブリーディングが著しく増大するが、スラグ置換率 50%であれば FA を用いることにより、抑制可能であったが、スラグ置換率 100%の配合では FA の抑制効果はあまり期待できなかった。一方、圧縮強度については FA を併用することで、強度は大幅に増大し、使用セメント量を低減できる可能性があることが確認できた。亜鉛スラグの使用により、同圧縮強度における静弾性係数が大きくなる傾向が確認できた。

謝辞：本研究は、平成 25 年度（公財）福岡県リサイクル総合研究事業化センター研究開発事業の助成を受けて行ったものである。関係者各位に謝意を表する。

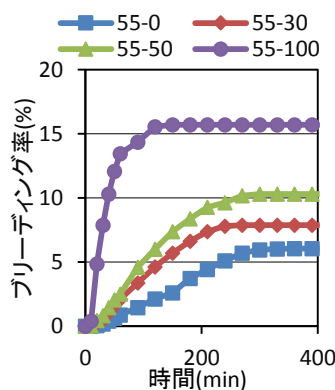


図-1 ブリーディング率

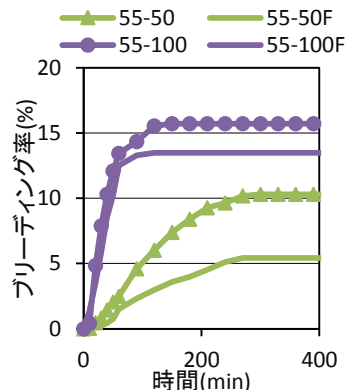


図-2 FA 使用効果

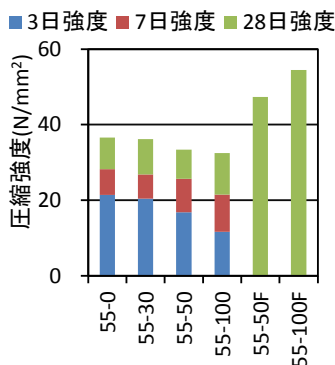


図-3 圧縮強度

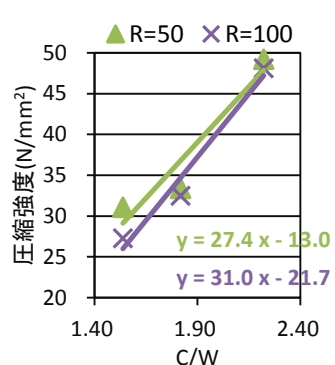


図-4 C/W と圧縮強度の関係

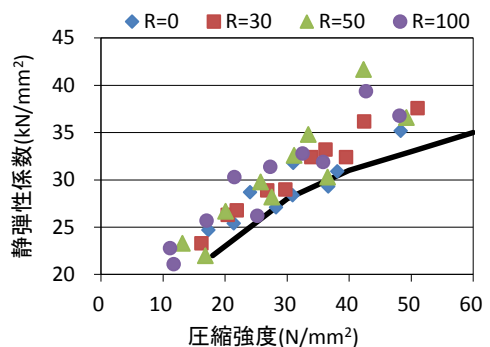


図-5 圧縮強度と静弾性係数の関係