

# 亜鉛スラグを細骨材に用いたコンクリートの強度に関する基礎的研究

九州大学 学生会員 酒井 俊男 九州大学大学院 学生会員 鳥田 慎也

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

## 1. はじめに

コンクリート用の天然骨材の枯渇問題や、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。コンクリート用細骨材として利用した場合の強度を明らかにすることを目的とし、普通細骨材に対する置換率を変化させた場合のモルタルおよびコンクリートの圧縮強度について調べた。

## 2. 亜鉛スラグの化学的及び物理的性質

本研究で使用した亜鉛スラグの平均的な化学成分を、表-1 に示す。Fe を約 34%含有しており、後述の通り粒子の密度は、普通骨材に比べて大きい。また、全体の約 40%を  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  が占めている。溶出量試験および含有量試験を JIS A 0058（スラグ類の化学物質試験方法）に基づき行った結果、Cd, Cr(VI), Hg, Se, Pb, As, F, B について基準値以下もしくは定量下限値以下であり、環境安全性は確保されていると判断された。

亜鉛スラグの外観は、黒色で角張った形状であった。亜鉛スラグのコンクリート用細骨材としての適用性を調べるため、ふるい分け、実積率、密度および吸水率試験を行った。図-1 にふるい分け試験の結果を示す。本研究で使用した亜鉛スラグは、0.6mm 以上の粒子が多く、単体では標準粒度から外れた。また、表乾密度  $3.70\text{g/cm}^3$ , 吸水率 0.81%, 実積率 59.1%であった。

表-1 亜鉛スラグの化学組成 (%)

$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	Fe	Zn	Mg	Mn	Na	K	S	P
19.24	6.82	16.33	34.38	1.57	2.38	2.85	0.97	0.15	2.58	0.60

## 3. モルタル試験

### 3.1 実験方法

亜鉛スラグがモルタルのフレッシュ性状及び硬化性状に与える影響を検討するため、亜鉛スラグを用いたモルタルを作製し、フロー値、空気量、強度を求めた。セメントには普通ポルトランドセメントを、普通骨材には海砂（表乾密度  $2.58\text{g/cm}^3$ , 吸水率 1.72%）を使用した。モルタルの水セメント比 W/C は 55%とし、フロー値が 200 となるときの配合を基準とし、水、セメント、細骨材の容積比を固定したまま細骨材の一部または全量を亜鉛スラグで置換した。亜鉛スラグの置換率 R は R=0, 30, 50, 100%（容積比）とした。ただし、フロー値、空気量については、置換率 70%の試験も行った。

### 3.2 実験結果

図-2～図-4 に作製したモルタルのフロー値、空気量、圧縮強度、曲げ強度を示す。図に示すように、スラグ置換率 R が大きいほど、空気量が増大した。これは、スラグの微粒分が少ないこと、スラグの形状が角張っていることが原因であると考えられる。強度については、スラグ置換率を大きくするにつれ、圧縮、曲げ強度ともに低下した。

## 4. コンクリート試験

### 4.1 実験方法

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

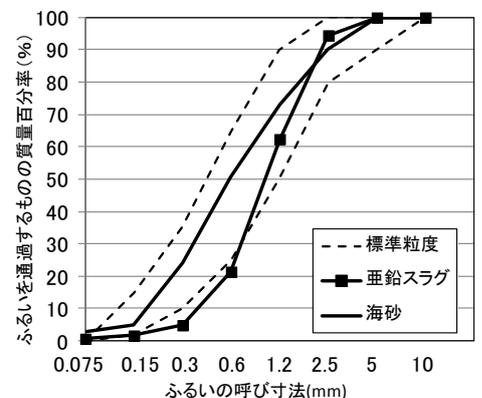


図-1 ふるい分け試験結果

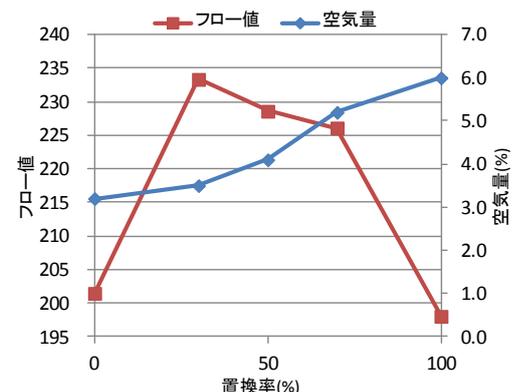


図-2 フロー値および空気量

率となる配合を決定した。水セメント比 W/C は 45, 55, 65% とし、亜鉛スラグ置換率は R=0, 30, 50, 100% とした。加えて、骨材試験、モルタル試験の結果から、亜鉛スラグは微粒分が少なく、置換率が大きい場合、材料分離が懸念されたため、R=50, 100%の配合では亜鉛スラグの 20%をフライアッシュ II 種 (FA) で体積置換した配合も作製した。20°C水中養生後、材齢 3, 7, 28 日で圧縮強度試験を行った。

#### 4.2 実験結果

試し練りによって決定した配合を表-3 に、強度試験結果を図-5 に示す。各水セメント比で亜鉛スラグの置換率が 30%では普通コンクリートと強度が同等であるが、それ以上の置換率では圧縮強度が低下する傾向となったが、W/C=45%では材齢の経過とともに強度の差は小さくなった。また、FA を用いたコンクリートの 28 日圧縮強度は、亜鉛スラグ置換率 50%では 33.4 N/mm<sup>2</sup>から 47.3 N/mm<sup>2</sup>に増大し、亜鉛スラグ置換率 100%では 31.1 N/mm<sup>2</sup>から 54.5N/mm<sup>2</sup>に増大した。

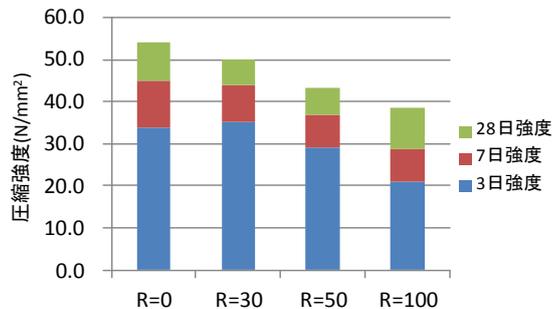


図-3 モルタルの圧縮強度結果

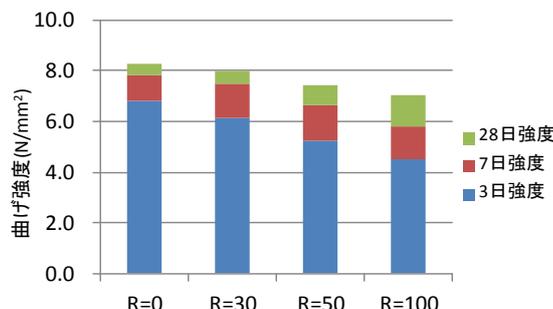


図-4 モルタルの曲げ強度結果

表-2 コンクリートの配合およびスランプ、空気量

配合名	W/C (%)	R (%)	s/a (%)	単位量(kg/m³)								スランプ (cm)	空気量 (%)
				W	C	細骨材S		FA	粗骨材 G	AE 減水剤	AE剤		
						海砂	亜鉛スラグ						
45-0	45	0	46	170	378	790	0	0	1024	C*0.25%	C*0.003%	7.5	4.1
45-30		30	46	170	378	552	340	0	1024	C*0.25%	C*0.001%	7.0	4.1
45-50		50	47	170	378	403	579	0	1005	C*0.25%	C*0.001%	7.0	4.6
45-100		100	47	175	389	0	1142	0	992	C*0.25%	0	7.5	4.8
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
55-50-F	65	50	47	170	309	417	479	73	1038	C*0.25%	C*0.002%	9.0	5.5
55-100-F		100	46	175	318	0	927	141	1045	C*0.25%	C*0.004%	9.0	3.6
65-0		0	49	170	262	888	0	0	1020	C*0.25%	C*0.003%	6.5	5.0
65-30	65	30	50	170	262	634	390	0	1000	C*0.25%	C*0.001%	6.5	4.5
65-50		50	49	170	262	444	637	0	1020	C*0.25%	C*0.001%	6.5	5.5
65-100		100	49	175	269	0	1260	0	1010	C*0.25%	0	6.5	5.5

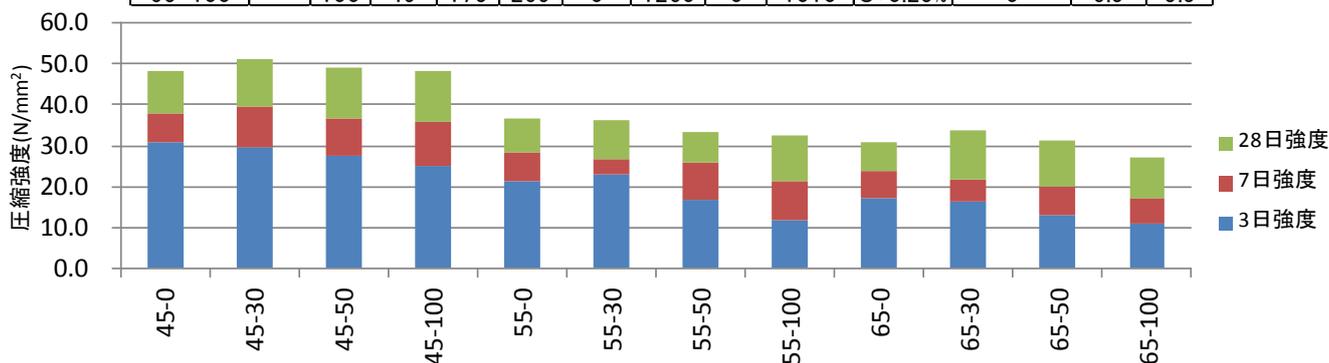


図-5 圧縮強度結果

#### 5. まとめ

本研究で用いた亜鉛スラグは、普通骨材に比べ密度が大きく、コンクリート用細骨材としての標準粒度からやや外れるものであった。亜鉛スラグの置換率が大きいほど、モルタルおよびコンクリートの空気量は大きくなった。強度は置換率 30%の場合、置換率 0%と同等であり、置換率 50 および 100%では低下する傾向が認められた。また、亜鉛スラグの一部をフライアッシュで置換することにより分離抵抗性および強度が増大した。

謝辞：本研究は、(財)福岡県環境保全公社リサイクル総合センターの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。