

銅スラグ細骨材コンクリートの凍結融解抵抗性

八戸工業大学 学員 ○ 大北 泰生

正員 庄谷 政美

正員 杉田 修一

1. はじめに

銅スラグ細骨材は、比重が3.5前後と重く、組成がガラス質で角ばりのある形状を有することなどから、コンクリートの品質に解決を必要とする問題点が存在すると考えられる。その一つとして、ブリーディングが多くなり、コンクリートの耐凍害性が低下する等の懸念が指摘される。本研究は、銅スラグ細骨材を用いたコンクリートの配合、及びフレッシュコンクリートの品質との関連で、硬化コンクリートの耐凍害性に視点をあて基礎的な検討を実施したものである。

2. 実験概要

2-1 使用材料：セメントは普通ポルトランドセメントを用いた。細骨材は4種類の銅スラグ細骨材と混合用及びコントロール用の川砂であり、表-1に物理的試験結果を示す。用いたスラグ細骨材は粉碎加工処理を施したもので、粒度分布はFNS 2.5の粒度範囲に適合するものであった。粗骨材は、硬砂岩碎石（粒径 20mm、比重2.71）を用いた。混和剤はヒドロキシ系複合体天然樹脂酸塩系のAE減水剤を使用した。

2-2 配合及び各種試験：試験は表-2に示すように、水セメント比55, 60, 65%で2種類の銅

スラグ細骨材混合率（それぞれ50%及び100%）と空気量（7%及び5%）の組み合わせで実施した。コンクリートの練混ぜは強制練りミキサーを用い、締固めはすべて棒突き法で行った。スランブはすべて8cmを目標としたが、最適 s/a を求めて単位水量を試的に定めた。凍結融解試験は、ASTM C666 A（水中凍結・水中融解法）により10×10×40cm供試体を用い材令14日より実施した。なお気泡組織の測定もASTM C457-82aに従って実施した。銅スラグ細骨材自体の凍結融解抵抗性を調べるため、φ10×20cm円筒内に750gの試料を水浸させ、ブライン槽内に容器を固定して凍結融解150サイクルでの損失量を求めた。なお、円筒内の中心温度は-22℃～+10℃であった。他の試験は基本的にJISの方法に従った。

表-3 150サイクル経過後の銅スラグ細骨材の凍結融解損失量

3. 実験結果

3-1 配合特性及びフレッシュコンクリートの品質：銅スラグ細骨材を使用した場合、最適 s/a 値は川砂使用と大きな差は認められなかった。銅スラグ細骨材単味使用の場合、単位水量は6～11%増加したが、エントラップトエアは最大2%程度増加する傾向にあるため、所要空気量を得る空気量調整剤は減少した。表-4に見られるように川砂コンクリートのブリーディング量に比べて銅スラグ細骨材コンクリートのブリー

表-1 使用細骨材の種類と物理的性質

細骨材種類	記号	比重	吸水率(%)	F.M.	実収率(%)	備考
川砂	G	2.61	1.10	2.75	86.5	大井川産(100%使用)
銅スラグ細骨材	A	3.56	0.55	2.44	84.4	三賢マテリアル・産集(100%、50%使用)
	B	3.55	0.45	2.33	85.6	小名浜産、小名浜(100%、50%使用)
	C	3.61	0.50	2.41	87.3	日産産、産製園(100%、50%使用)
	D	3.63	0.52	2.21	86.1	小名浜産、小名浜(100%、50%使用)
	E	3.66	0.50	2.59	86.8	日比良産、五野(100%、50%使用)
	F	3.45	0.40	2.24	86.1	住友金属鉱山・洲子(100%、50%使用)

表-2 凍結融解試験条件

細骨材種類	W/C=55%												W/C=60%												W/C=65%											
	NON AE (ブレーン)						AE (空気量5%)						AE (空気量5%)						AE (空気量5%)																	
	銅スラグ細骨材混合率						銅スラグ細骨材混合率						銅スラグ細骨材混合率						銅スラグ細骨材混合率																	
	5%	10%	15%	20%	25%	30%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	5%	10%	15%	20%	25%	30%	5%	10%	15%	20%	25%	30%						
G	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
A	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
B	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
C	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
D	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
E	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					
F	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					

試験計画（進行中）

空気量	水セメント比55, 60, 65%				銅スラグ細骨材混合率			
	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
5%	○	○	○	○	○	○	○	○
10%	○	○	○	○	○	○	○	○
15%	○	○	○	○	○	○	○	○

上記の条件でB銘柄

細骨材種類	5-1.2mm サイズ	1.2-0.3mm サイズ
	0.6mmより大きい過剰(%) (損失量)	0.15mmより大きい過剰(%) (損失量)
G	8.8	0.85
A	0.21	0.19
B	0.23	0.21
C	0.19	0.17
D	0.18	0.16
E	0.08	0.05
F	0.17	0.18

ーディング量は2～3倍に増加した。

3-2 凍結融解抵抗性(1)銅スラグ細骨材自体の凍結融解抵抗性：

表-3に見られるように、5～1.2mmサイズ、0.6～0.3mmサイズともに、凍結融解作用による骨材粒の崩壊による損失量は、コントロール用川砂の1/100～1/4程度と極めて少なく、耐久性に優れていることが認められた。

(2)銅スラグ細骨材コンクリートの凍結融解抵抗性と気泡組織：図-1～4に凍結融解試験における相対動弾性係数～サイクル数の関係例を示した。NON AEコンクリートの場合では、川砂コンクリートに比べ銅スラグ細骨材コンクリートの耐凍害性は、 $W/C=55$ 、60%のとき顕著な低下傾向を示した。しかし、空気量を5%まで高めた場合には、銅スラグ細骨材単味使用の場合でも、300サイクルでの相対動弾性係数は60以上の値となり、エントラップトエアーの増加による影響を考慮しなくとも、耐久性を確保できることが示された。また、全般的に銅スラグ細骨材混合率50%のケースは、耐久性に優れた結果となったが、銘柄Eでは、 $W/C=65\%$ の時、相対動弾性係数が60%を下回る結果を示した。

表-4に気泡組織の観察結果も含め、耐久性指数D.F.値、質量変化率等の一覧を示した。銅スラグ細骨材コンクリートでは、空気量5%の条件でのCの値は川砂使用コンクリートに比べ若干大きくなり、D.F.値の傾向はこのCの大きさだけで説明できない場合があった。

エントラップトエアーが多かった銅スラグ細骨材Aのケースは、川砂使用

コンクリートと類似の分布となったが、その他のスラグ種別では50 μ m以下のサイズが少なく、フラットな分布となっており、骨材粒の形状、表面特性や粒度などによる空気量調整剤の起泡能力への影響や、500 μ m以上のサイズに占める気泡量の増加が顕著であることから、ブリーディングの増大が関連している疑いがある。

表-4 凍結融解試験結果一覧

骨材種類 骨材 割合	試験片 番号 配合率 (%)	エンゲル 粗度 (mm)	W/C (%)	フレッシュコンクリート					硬化コンクリート				
				W (kg/m ³)	α/α_0 (%)	ブリーディング 量 (ml/cm ³)	Air ①	Air ②	気泡組織 観察 (μ m)	α	D.F.	質量 変化率 (%)	
G	0	P.L	55	183	46.3	0.36	1.2	0.9	8.67	12.3	20.4	3.2	
	0	A-5	55	157	45.8	0.24	4.7	4.3	2.40	21.5	88.3	5.0	
A	100	P.L	55	157	45.8	0.24	5.4	5.1	2.75	14.3	14.6	0.3	
	100	A-5	55	157	45.8	0.23	4.7	4.7	2.86	16.4	75.6	6.6	
	50	P.L	55	188	44.9	0.69	3.2	2.1	7.58	9.7	14.6	0.2	
	50	A-5	55	170	43.8	0.46	5.2	4.4	2.56	20.6	75.6	3.6	
	50	P.L	55	182	45.4	0.67	1.8	1.6	9.77	8.3	17.6	0.9	
	50	A-5	55	184	44.2	0.43	5.3	3.8	3.09	17.9	80.8	1.9	
B	100	P.L	60	170	44.8	0.66	5.1	4.1	2.85	18.2	85.4	4.7	
	100	A-5	65	184	45.2	0.65	4.9	4.4	3.59	15.8	82.4	5.2	
	50	P.L	55	195	44.9	0.65	1.8	1.8	14.88	5.4	13.2	0.6	
	50	A-5	55	176	43.8	0.62	5.3	4.7	3.87	12.6	70.8	5.0	
	50	P.L	55	185	45.4	0.59	1.4	1.3	10.80	4.1	10.2	0.8	
	50	A-5	55	167	44.2	0.52	6.4	4.8	2.90	17.2	92.7	3.8	
C	100	P.L	60	176	44.8	0.61	4.8	4.5	3.51	15.6	89.8	4.3	
	100	A-5	65	167	45.2	0.62	5.0	4.6	2.95	17.2	70.2	5.4	
	50	P.L	55	192	44.9	0.72	3.0	1.8	11.33	8.7	16.0	0.7	
	50	A-5	55	167	43.8	0.64	4.8	4.6	2.87	16.1	76.5	3.8	
	50	P.L	55	187	45.4	0.70	2.0	1.9	18.42	5.1	11.8	0.7	
	50	A-5	55	164	44.2	0.41	5.1	4.6	2.71	16.7	85.0	5.7	
D	100	P.L	60	167	44.8	0.68	5.1	5.2	2.67	16.5	86.7	4.6	
	100	A-5	65	184	45.2	0.64	5.4	4.7	2.71	16.8	85.8	4.7	
	50	P.L	55	190	44.9	0.71	1.8	1.7	11.33	8.9	17.8	0.6	
	50	A-5	55	169	43.8	0.64	5.2	4.9	2.55	15.8	74.3	5.7	
	50	P.L	55	188	45.4	0.68	2.2	1.8	18.36	4.5	17.8	0.9	
	50	A-5	55	163	44.2	0.48	4.7	5.1	2.36	17.6	84.1	5.8	
E	100	P.L	60	169	44.8	0.69	5.3	5.0	3.03	16.7	85.0	5.0	
	100	A-5	65	163	45.2	0.65	4.7	5.1	2.99	16.9	84.7	5.1	
	50	P.L	55	185	44.9	0.71	1.8	0.9	11.32	8.5	10.8	0.1	
	50	A-5	55	168	43.8	0.69	5.3	5.2	2.91	15.5	67.4	2.9	
	50	P.L	55	180	45.4	0.49	1.7	1.5	10.46	4.2	11.9	0.3	
	50	A-5	55	163	44.2	0.47	5.4	5.0	2.77	16.8	88.2	3.8	
F	100	P.L	60	168	44.8	0.65	4.8	4.8	2.68	16.0	61.0	5.1	
	100	A-5	65	163	45.2	0.62	5.2	5.0	3.13	15.4	58.7	5.3	
	50	P.L	55	188	44.9	0.62	2.1	1.7	12.05	6.6	10.5	0.2	
	50	A-5	55	188	43.8	0.58	5.3	4.4	3.19	16.1	71.4	4.9	
	50	P.L	55	181	45.4	0.58	1.5	1.7	17.40	4.4	11.5	0.3	
	50	A-5	55	183	44.2	0.58	4.8	4.1	3.19	16.2	87.5	4.7	
F	100	P.L	60	168	44.8	0.54	5.0	4.8	2.75	16.3	67.9	3.8	
	50	A-5	65	163	45.2	0.56	5.1	4.8	2.86	16.3	65.2	5.4	

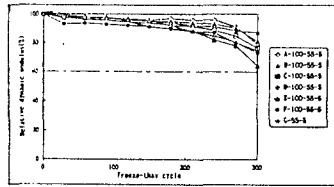


図-1 相対動弾性係数～サイクル数

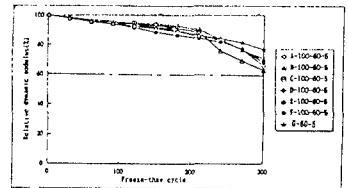


図-3 相対動弾性係数～サイクル数

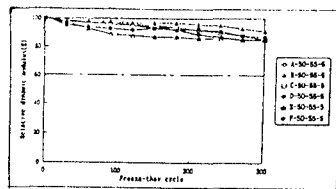


図-2 相対動弾性係数～サイクル数

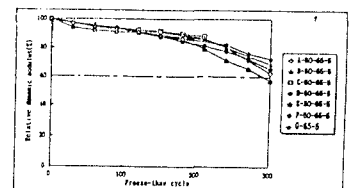


図-4 相対動弾性係数～サイクル数