

銅スラグ細骨材コンクリートの凍結融解抵抗性に関する一検討

八戸工業大学 正員 ○庄谷 征美

八戸工業大学 正員 杉田 修一

日本鉱業協会 梶原 敏孝

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、およ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砕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（最大寸法 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%で2種類の銅スラグ細骨材混合率（容積比50%及び100%）と空気量（ブレンおよび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、 $\phi 10 \times 20$ cm円筒容器内に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。

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調整剤量は減少した。表-4にみられるように、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にみられるように、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

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.H.	実積率 (%)	備考
川砂	G	2.61	1.1	2.75	66.5	大井川産 (100%使用)
銅スラグ細骨材	A	3.56	0.55	2.44	64.4	三菱マテリア・直島 (100%、50%使用)
	B	3.55	0.45	2.33	65.6	小名浜精練・小名浜 (100%、50%使用)
	E	3.66	0.50	2.59	66.8	日比共同精練・玉野 (100%、50%使用)
	F	3.45	0.40	2.24	66.1	住友金属鉱山・別子 (100%、50%使用)

表-2 凍結融解試験条件

細骨材種類	W/C=55%					
	NON AE (ブレン)			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		
	0%	50%	100%	0%	50%	100%
G	○	—	—	—	—	—
A	—	○	○	—	○	○
B	—	○	○	—	○	○
E	—	○	○	—	○	○
F	—	○	○	—	○	○

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

細骨材種類	5～1.2mm サイズ	1.2～0.3mm サイズ
	0.6mmふるい通過 (%) (損失量)	0.15mmふるい通過 (%) (損失量)
G	8.88	0.85
A	0.21	0.19
B	0.23	0.21
E	0.08	0.05
F	0.17	0.16

表-4 凍結融解試験結果一覧

細骨材 種類	銅スラグ 細骨材 混合率 (%)	コンクリート 種類	フレッシュコンクリート					硬化コンクリート					
			W (kg/m ³)	S/a (%)	フロー 値 (ml/cm ²)	Air ①	Air ②	気泡間隔 係数L (μm)	α (1/mm)	D.F. (%)	質量* 変化率 (%)	Γ'c (14days) (kgf/cm ²)	
G	---	P.L.	175	46.3	0.37	1.1	0.9	867	12.3	22.8	2.9	347	
		A-5	158	44.8	0.22	4.8	3.9	240	21.5	88.7	4.7	329	
A	100	P.L.	188	44.8	0.69	3.2	2.1	758	9.7	14.6	0.2	350	
		A-5	170	43.6	0.46	5.2	4.4	258	20.6	75.6	3.6	285	
	50	P.L.	182	45.4	0.67	1.9	1.6	977	8.3	17.8	0.9	363	
		A-5	164	44.2	0.43	5.3	3.8	309	17.9	89.8	1.9	372	
B	100	P.L.	195	47.0	0.65	1.6	1.8	1486	5.4	13.2	0.6	330	
		A-5	176	45.5	0.62	5.3	4.7	387	12.8	79.8	6.0	270	
	50	P.L.	185	46.7	0.59	1.4	1.3	1960	4.1	10.2	0.8	327	
		A-5	167	45.2	0.52	5.4	4.8	290	17.2	92.7	3.8	331	
E	100	P.L.	185	45.4	0.71	1.6	0.9	1132	8.5	10.8	0.1	367	
		A-5	168	43.8	0.69	5.3	5.2	291	15.5	67.4	2.9	300	
	50	P.L.	180	45.9	0.49	1.7	1.5	1946	4.2	11.9	0.3	335	
		A-5	163	44.3	0.47	5.4	5.0	277	16.8	88.2	3.8	294	
F	100	P.L.	186	45.9	0.62	2.1	1.7	1205	6.6	10.5	0.2	338	
		A-5	168	44.4	0.58	5.3	4.4	319	16.1	71.4	4.9	252	
	50	P.L.	181	46.1	0.58	1.5	1.7	1740	4.4	11.5	0.3	359	
		A-5	163	44.6	0.56	4.8	4.1	319	16.2	87.5	4.7	335	

* NON AEコンクリート：60サイクルの値 AEコンクリート：300サイクルの値

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-1～3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、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、銅スラグ細骨材混合率50%のケースはすべて80%以上と耐久性に優れる結果となり、天然砂との混合は耐久性向上に有効であることが認められた。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Γ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Γの大きさだけで説明ができない場合があった。図-4はリニアトラバース方式で観察した気泡個数と気泡サイズの関係を示した。エントラップトエア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50μm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調整剤の起泡能力への影響や、500μm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。この点は今後の実験でさらに明確にする必要がある。

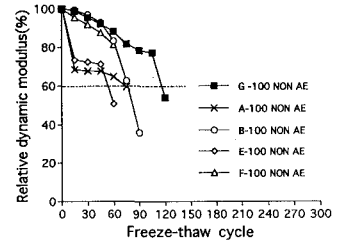


図-1 相対動弾性係数～サイクル数

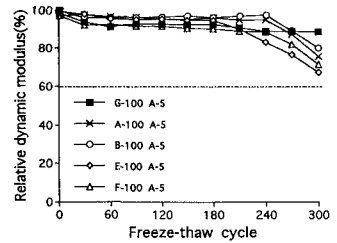


図-2 相対動弾性係数～サイクル数

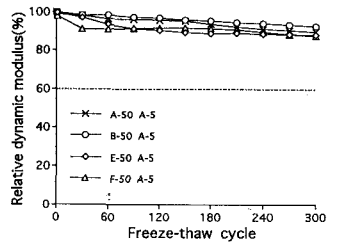


図-3 相対動弾性係数～サイクル数

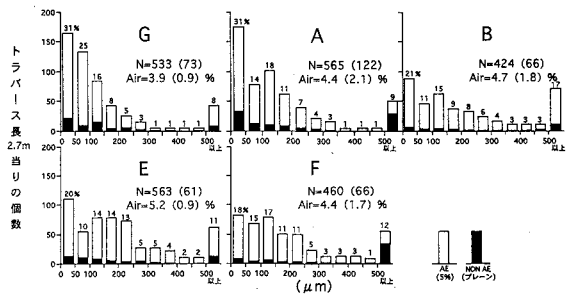


図-4 銅スラグ細骨材混合率100%の硬化コンクリート気泡分布

と気泡サイズの関係を示した。エントラップトエア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50μm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調整剤の起泡能力への影響や、500μm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。この点は今後の実験でさらに明確にする必要がある。