

スラグおよび石炭灰を用いた硬化体の凍結融解抵抗性に関する研究

ハザマ 正会員・福留和人

エネルギー・エコ・マテリア 正会員 斉藤 直 安野孝生

1. はじめに： 著者らは、石炭灰および金属スラグを多量に用いたコンクリート（以下、N A クリートと呼称）を開発し、消波ブロック等への適用を検討している¹⁾。これまでの検討から、消波ブロックへ適用可能な性能を有していること、また、室内試験による耐摩耗性試験および実海域における暴露実験から、優れた耐久性を有していることが確認されている。本研究では、寒冷地への適用拡大の観点から、凍結融解抵抗性の改善を試みた。

表-1 スラグの品質

スラグの種類	メーカー	密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
転炉スラグ	新日鐵八幡製鉄所	2.96	1.36
銅スラグ	日鉱金属佐賀関	3.56	0.11

2. 使用材料 : 表-1 にスラグの品質を示す。転炉スラグは、蒸気エージング処理を行ったものとした。セメントは、普通ポルトランドセメントを、フライアッシュは、新小野田発電所産（JIS 種、密度：2.22g/cm³、ig.loss：3.4%、比表面積：4,100cm²/g、SiO₂：63.8%）を用い、硬化促進剤として NaCl を用いた。

表-2 N A クリートの品質および配合条件

配合要因	水	準
スラグ種類	転炉スラグ、銅スラグ	
スランブ	2.5cm	7cm 12cm
空気量	Non-AE	6% 9%
硬化促進剤	無添加	3.3%（海水濃度）
圧縮強度	配合強度 25.1N/mm ²	
単位容積質量	2.3 kg/L 以上	

2. 配合条件 : コンクリートの品質および配合条件を表-2 に示す。予備試験により、A E 剤添加量の検討、空気量が圧縮強度に及ぼす影響の評価を行い、表-2 の品質および配合条件を満足する N A クリートの配合を選定した。表-3 に選定した N A クリートの配合を示す。フライアッシュを多量に使用しているため、所要の空気量を得るための A E 剤添加量は、通常のコン

表-3 N A クリートの品質および配合条件

スラグ種類	スランブ (cm)	空気量 (%)	水粉体比 W/(C+F) (%)	セメント添加率 C/(C+F) (%)	A E 剤添加率 (%) × (C+F)	単位量 (kg/m ³)			
						水 W	セメント C	フライアッシュ F	スラグ S
転炉	12	NonAE	39.0	35.5	-	241	219	399	1421
		6	41.0	51.5	0.16	228	286	270	1480
		9	44.0	66.0	0.24	198	297	153	1628
	2.5	6	36.0	45.0	0.20	211	264	322	1480
		6	38.5	48.0	0.18	220	274	297	1480
		9	41.5	62.0	0.24	191	285	175	1628
銅	12	6	38.0	39.0	0.16	244	250	392	1566
		9	40.0	50.0	0.14	225	281	281	1673

クリートに比べて大きくなる。また、空気量増に伴って圧縮強度は低下するため、所要強度を得るためのセメント添加率は増加する。

3. 試験項目・試験方法

凍結融解試験は、JIS A 1148 A 法に準じて実施した。

試験開始材齢は、28 日（標準水中養生）とした。ASTM C 457 リニアトラバース法により気泡組織の測定を行った。

4. 試験結果 (1) 凍結融解試験結果 : 図-1 に凍結融解試験結果を示す。Non-AE では、凍結融解抵抗性は劣るが、空気量を増大させることによって改善することができる。ただし、空気量 6 % では十分な凍結融解抵抗性は得られておらず、良好な凍結融解抵抗性を得るためには、空気量を 9 % 程度とすることが必要である。また、スランブが小さいほど凍結融解抵抗性が劣る傾向が見られる。硬化促進剤の影響は、空気量 9 % では見られないが、空気量 6 % では、硬化促進剤無添加の方が凍結融解抵抗性に劣る結果であった。ス

キーワード：石炭灰、金属スラグ、消波ブロック、凍結融解抵抗性、気泡組織

連絡先：ハザマ技術研究所、〒305-0822 茨城県つくば市苅間 515-1 tel: 029-858-8814, fax: 029-858-8819

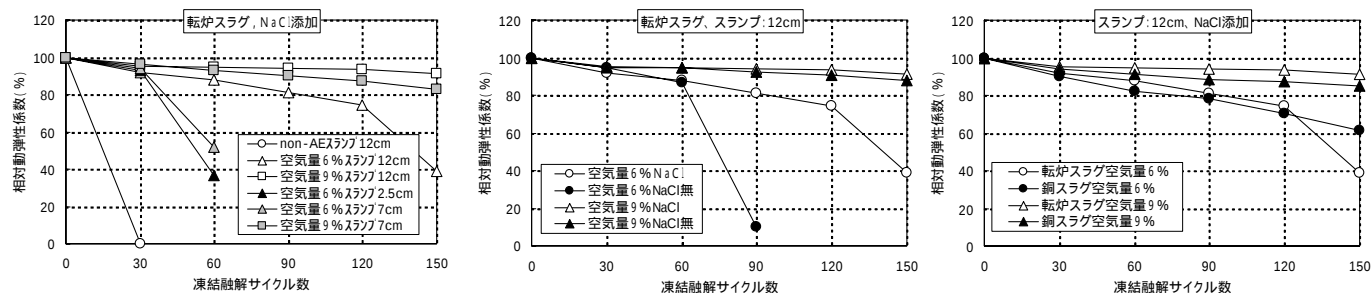


図-1 凍結融解試験結果

ラグ種類の影響は、ほとんど見られない。

(2) 気泡組織測定結果：図-2 に気泡径分布を、図-3 にフレッシュ時と硬化後の空気量の関係を、図-4 にフレッシュ時空気量と気泡間隔係数の関係を示す。スランプの気泡分布に及ぼす影響が見られ、スランプが小さいほど 0.1mm 以下の微細な空気泡が少なく、また、硬化後の空気量は少なくなっている。これは、低スランプほど粘性が高く、微細な空気泡が連行されにくく、過大な空気泡を巻き込みやすくなるためと考えられる。銅スラグは、転炉スラグに比べて過大な空気泡が多く、微細な空気泡が少なくなっている。スラグ表面の性状、粒径等の差異によると考えられる。以上のように、使用材料・配合によって気泡分布が異なることから、気泡間隔係数と空気量の関係も使用材料・配合による影響が見られる。

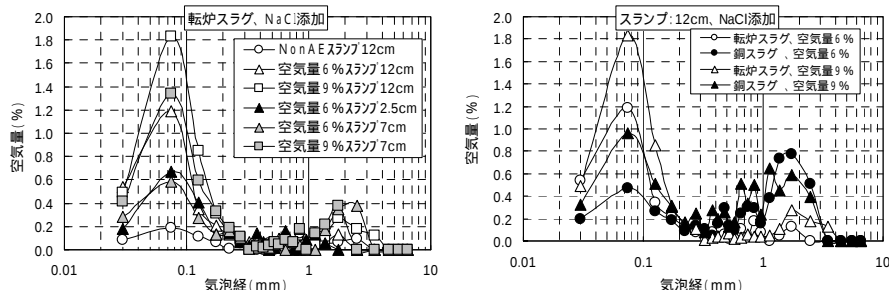


図-2 細孔容積と圧縮強度の関係

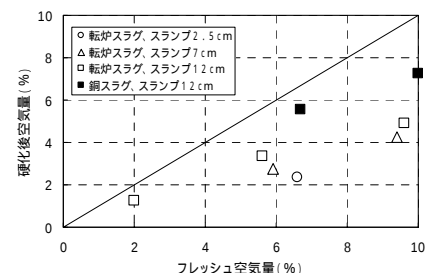


図-3 フレッシュ時と硬化後の空気量の関係

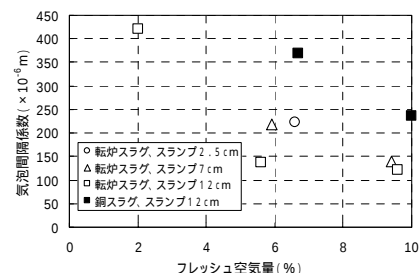


図-4 空気量と気泡間隔係数の関係

図-5 は、気泡間隔係数と 1 サイクル当たりの相対動弾性係数の低下割合の関係を示したものである。良好な凍結融解抵抗とされる低下速度(図中破線:300 サイクルで相対動弾性係数 60% 以上 = 0.133% / サイクル以下)を満足するためには、転炉スラグの場合、気泡間隔係数 $150 \times 10^{-6} \text{m}$ 程度以下、銅スラグの場合 $250 \times 10^{-6} \text{m}$ 程度とする必要がある。

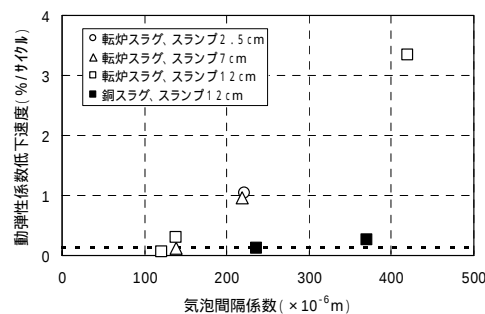


図-5 気泡間隔係数と動弾性係数低下速度の関係

5. まとめ

- (1) 空気量の増大とともに凍結融解抵抗性は改善されるが、良好な凍結融解抵抗性を得るためには、空気量を 9% 程度とする必要がある。
- (2) スランプが小さくなるほど微細な空気泡が少なくなる傾向が見られ、凍結融解抵抗性は劣る。
- (3) スラグの種類が凍結融解抵抗性及ぼす影響は小さい。
- (4) 良好な凍結融解抵抗性を得るためには、転炉スラグを使用する場合、気泡間隔係数を $150 \times 10^{-6} \text{m}$ 程度以下とする必要がある。

【参考文献】1) 斉藤直他：金属スラグを骨材とした石炭灰コンクリート：日本コンクリート工学協会中国四国支部，産廃資源のコンクリート材料への有効利用に関するシンポジウム，2001.11