

## 高炉スラグ微粉末を用いた改質ビーライト系セメントコンクリートの凍結融解抵抗性

北海道開発土木研究所 正会員 ○吉田 行 正会員 田口 史雄  
 北海道大学大学院工学研究科 正会員 名和 豊春  
 日鐵セメント株式会社 正会員 渡辺 宏

## 1. はじめに

著者らはこれまで、長期耐久性を有するコンクリートの開発を目的として、粒度等を改質したビーライト系セメントを用いたコンクリートの耐凍害性<sup>1)</sup>や耐塩分浸透性<sup>2)</sup>等の検討を行い、塩分浸透性能については、粉末度を高めたビーライト系セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換することにより、塩分拡散係数を極めて小さくできることが明らかとなった。本研究では、改質ビーライト系セメントの一部を高炉スラグ微粉末で置換したコンクリートの耐凍害性について検討を行った。

## 2. 実験概要

## 2.1 使用材料および配合

表-1に使用材料を示す。セメントは、一般的なビーライト系セメント（以下 B3 と略記）と粉砕器を用いて粉末度を高めたビーライト系セメント（以下 B6 と略記）の2種類を用いた。高炉スラグ微粉末は、粉末度が 8000cm<sup>2</sup>/g のもの（以下 S8 と略記）を用い、置換率は 60%とした。高性能 AE 減水剤は、セメントの分散性に応じて3種類用いた。併せて、空気量を調節するため AE 助剤を用いた。

コンクリートの配合を表-2に示す。コンクリートの目標スランプは 8±1cm とし、空気量は耐凍害性への影響を調べるため 1.5~4.5±1%とした。養生は、供試体作製後 1 日湿気養生し、脱型後所定の材齢まで水中養生を行った。

## 2.2 実験項目および実験方法

凍結融解試験は、JIS A 1148 に準拠して行った。試験開始材齢は 28 日を基本としたが、一部の配合では材齢 14 日についても検討を行った。圧縮強度試験は、JIS A 1108 に準拠

し、試験材齢は凍結融解試験の試験開始材齢に合わせて行った。コンクリートの細孔径分布測定は、水銀圧入法により行った。測定に用いた試料は、供試体内部のコンクリートをコンクリートカッターで 5mm 角の立方体になるように切断したものをを用いた。細孔容積は、試料容積から骨材容積を除いた硬化セメントペースト容積あたりの空隙率で表記した。また、本研究ではこれらの試験に加えて、コンクリート組織の劣化状況を把握するため、凍結融解試験終了後の供試体から薄片を作製し、透過法による顕微鏡観察を行った。

## 3. 実験結果および考察

図-1(a)~(d)に凍結融解試験結果を示す。図(a)は B6+S8 の W/B=40%の材齢 14 日における結果であるが、耐久性指数は空気量が少ないほど低下した。この傾向は材齢 28 日においても同様であったが（図(b)）、空気量が最も少ない W/B=40%の空気量 2.5%は材齢 14 日より耐久性指数が低下する結果となった。これに対して、同じ空気量 2.5%でも W/B を 30%と小さくすることにより耐凍害性は改善されたが、W/B=25%の空気量 1.5%では耐久性指数が急激に低下する結果となった。図(c)は過去に行った B6 単体の凍結融解試験結果<sup>1)</sup>を示しているが、B6 単体の場

キーワード ビーライト系セメント、高炉スラグ微粉末、凍結融解抵抗性、細孔容積、圧縮強度

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1-3 4 北海道開発土木研究所 材料研究室 TEL : 011-841-1719

表-1 使用材料

結 合 材	ビーライトセメント (B3) 3170 <sup>*</sup> , (B6) 6410 <sup>*</sup> 高炉スラグ微粉末 (S8) 7200 <sup>*</sup>
細 骨 材	登別産陸砂 密度 2.68g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.35%
粗 骨 材	白老産碎石 密度 2.68g/cm <sup>3</sup> , 吸水率 1.84%
高性能 AE 減水剤	末端スルホン基を有するポリカルボン酸系
A E 助 剤	樹脂酸塩系

※ブレン比表面積 (cm<sup>2</sup>/g)

表-2 配合

セメントの種類	W/B (%)	空 気 量 (%)	スラ グ置換率 (%)	SP※の種類	S P 添加量 (C*) (%)	s/a (%)	コンクリート単位量 (Kg/m <sup>3</sup> )				
							W	B	S	G	AE剤 (C*)
B6	25	1.5	60	A	2.8	43	106	424	835	1123	0.0022
	30	2.5		B	1.9	44	106	353	869	1123	0.0020
	40	2.5		B	0.9	46	109	273	913	1089	0.0000
		3.5		B	0.9	46	109	273	913	1089	0.0010
		4.5		B	0.9	46	109	273	913	1089	0.0045
B3	25	2.5	B	0.9	43	109	436	815	1097	0.0080	
	30	3.5	B	0.8	44	106	353	859	1109	0.0080	
	40		C	0.9	46	107	268	918	1094	0.0045	
			C	0.9	46	107	268	918	1094	0.0060	

※SP:高性能AE減水剤(分散性大A→C小)

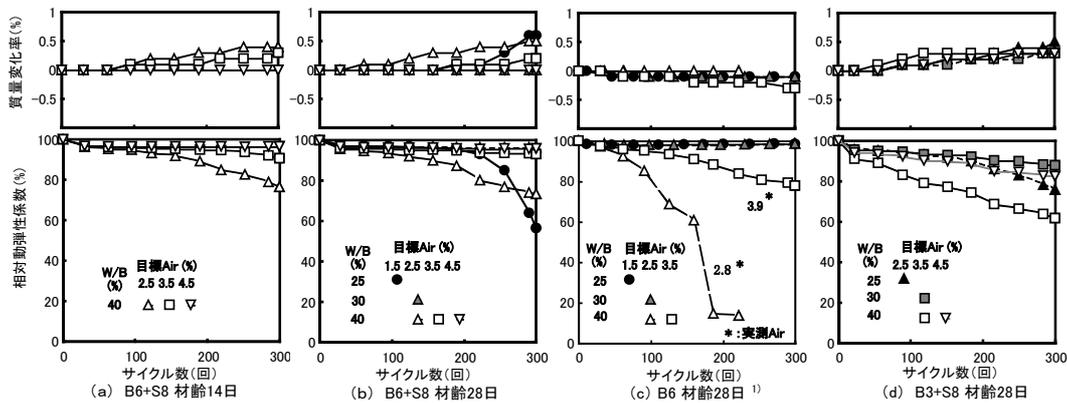


図-1 凍結融解試験結果

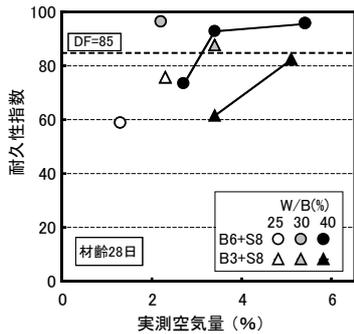


図-2 耐久性指数と空気量

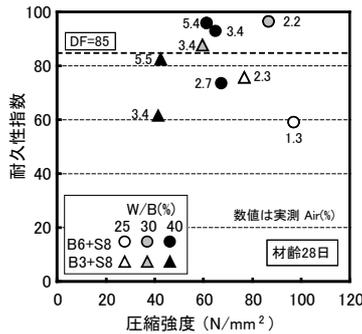


図-3 耐久性指数と圧縮強度

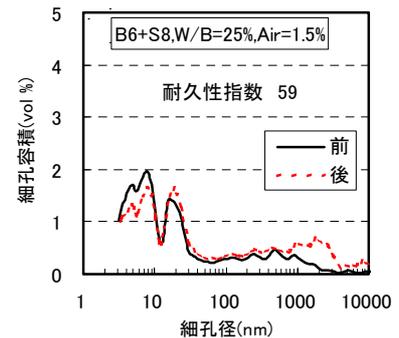


図-4 細孔径分布

合と比較すると、W/B=40%ではB6の一部をスラグで置換することにより耐久性指数が向上する結果となった。しかしながら、W/B=25%では、B6単体の耐久性指数が98と良好だったのに対し、前述したとおりB6+S8では60以下と低下した。一方、セメントの粉末度の違いについては、図(d)に示すように、B3+S8はB6+S8よりも全体に相対動弾性係数が低下する傾向がみられた。

図-2に耐久性指数と空気量の関係を示す。全体として、空気量が多いほど耐久性指数は向上する傾向がみられるが、耐久性指数85を確保するのに必要な空気量はW/Bおよびセメント粉末度によって異なることがわかる。

図-3に耐久性指数と圧縮強度の関係を示す。W/B=25%の場合を除くと、凍結融解試験開始時の圧縮強度が高いほど耐久性指数は大きくなる傾向がみられ、圧縮強度が低いほど耐久性指数85を確保するのに空気量を多くする必要があることがわかる。

図-4に凍結融解試験前後の細孔径分布の一例を示す。耐久性指数が80を下回るケースの全てで、試験後、細孔径1~10 $\mu$ mに新たなピークが現れており、凍結融解により細孔組織が粗大化していることがわかる。また、凍結融解試験終了後の供試体からコンクリート薄片を作製し、顕微鏡観察を行った結果、耐久性指数80以上のコンクリートでは、内部にクラックはほとんど観察されなかったが、耐久性指数が80以下では、いずれも骨材界面にクラックが観察された。これらのクラック発生は、前述の細孔の粗大化を裏付けるものであり、本試験における劣化は、骨材界面を中心に発生していることが明らかとなった。

以上の結果を総合的に考慮すると、高微粉末化したビーライト系セメントと高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートは、材齢の進行やW/Bの低減により細孔組織が緻密化し、凍結時の発生内圧力が増加するため、耐凍害性を向上させるには、圧力を吸収する空気量や圧力に対する強度を適切に組み合わせる必要があることが明らかとなった。

参考文献

- 1)吉田行, 堺孝司, 熊谷守晃: 改質ビーライト系セメントを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.79-84, 2000
- 2)吉田行, 田口史雄, 渡辺宏: 高炉スラグ微粉末を用いた改質ビーライト系セメントコンクリートの塩分浸透性, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.639-644, 2002