

改質ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの凍結融解抵抗性

Freeze-thaw Resistance of High Fluidity Concrete using Modified Belite-Based Cement and Blast-Furnace Slag

北海道開発土木研究所 ○正員 吉田 行 (Susumu YOSHIDA)
 北海道開発土木研究所 正員 田口 史雄 (Fumio TAGUCHI)
 北海道大学大学院 正員 名和 豊春 (Toyoharu NAWA)
 日鐵セメント(株) 正員 渡辺 宏 (Hiroshi WATANABE)

1. はじめに

コンクリート構造物の早期劣化が問題となっていて以来、コンクリートの耐久性に対する関心が高まっている。また、長期耐久性の確保は、ライフサイクルコスト削減の観点からも極めて重要な課題である。これらのことから、著者らはこれまで、長期耐久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やその一部を高炉スラグ微粉末で置換したコンクリートの諸特性に関する検討を行い、強度・発熱特性や耐久性を向上できることを明らかにし、特に、改質ビーライト系セメントを用いたコンクリートは、水結合材比30%以下の領域で性能の向上が著しいことを明らかにしてきた。^{1,2)}

本研究では、これらの結合材を用いた高耐久コンクリートの低水結合材比における実用化を考慮し、改質ビーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末で置換したコンクリートの高流動化、および高流動化に伴う耐久性への影響として、寒冷地で適用する上で重要となる凍結融解抵抗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)と粉砕器を用いて高微粉末化したビーライト系セメント(以下B6と略記)、および普通ポルトランドセメント(以下OPCと略記)の3種類を用いた。高炉スラグ微粉末は、粉末度4000、6000、8000クラスのものを用いた(以下それぞれS4、S6、S8と略記)。高性能AE減水剤は、結合材の分散性に依じて4種類用い、空気量を調節するためAE助剤あるいは消泡剤を併せて用いた。

コンクリートの配合を表-2に示す。配合はセメント単味のケースと、B6の一部を高炉スラグ微粉末で置換したケースの合計8ケースで検討を行った。水結合材比(W/B)は、上述したようにこれまでの試験で性能の向上が著しい30%とした。また、高炉スラグ微粉末の置換率は、セメント内割りで40および60%の2水準とした。コンクリートの目標スランプフローは60±5cmとし、目標空気量は4.5±1%とした。

2.2 実験項目および実験方法

本研究で行った各実験概要を以下に示す。なお、供試体の養生は、作製後1日湿気養生し、脱型後所定の材齢まで20℃水中養生を行った。

(1) 圧縮強度試験

表-1 使用材料

結合材	ビーライト系セメント (B3) 3340*、(B6) 6400*
	普通ポルトランドセメント (OPC) 3270*
	高炉スラグ微粉末 (S4) 4110*、(S6) 6020* (S8) 7200*
細骨材	登別産陸砂 密度 2.71g/cm ³ 、吸水率 1.46%
粗骨材	白老産碎石 密度 2.67g/cm ³ 、吸水率 1.74%
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
AE助剤	樹脂酸塩系
消泡剤	ポリエーテル系

※粉末度 (cm²/g)

表-2 コンクリートの配合

配合名	セメントの種類	スラグの種類	スラグ置換率 (%)	W/B (%)	空気量 (%)	s/a (%)	SP※の種類	SP添加量 (C%)	コンクリート単位量 (kg/m ³)						
									W	C	S	G	SP	AE剤 (C%)	消泡剤 (C%)
B6	B6	-	-	30	4.5	52	C	0.78	150	500	911	831	3.75	-	0.0006
B3	B3	-	-	30	4.5	52	D	0.70	157	523	891	813	3.66	-	0.0005
OPC	OPC	-	-	30	4.5	52	D	0.60	160	533	876	799	3.20	-	0.0006
S4-60	B6	S4	60	30	4.5	52	D	0.60	145	483	906	827	2.90	-	0.0005
S6-40		S6	40	30	4.5	52	C	0.70	148	493	899	821	3.45	-	0.0005
S6-60		S6	60	30	4.5	52	C	0.70	145	483	906	827	3.38	-	0.0005
S8-40		S8	40	30	4.5	52	B	0.80	145	483	903	830	3.86	-	0.0006
S8-60		S8	60	30	4.5	52	A	1.20	140	467	920	840	5.60	0.003	-

※SP:高性能AE減水剤(分散性:大A→C小)

基本物性試験として、圧縮強度試験をJIS A 1108に準拠して材齢3、7、28および91日で行った。

(2) 凍結融解試験および気泡分布測定

凍結融解試験は、JIS A 1148に準拠して、材齢28日より試験を開始した。また、凍結融解抵抗性に及ぼす気泡組織の影響を検討するために、気泡分布の測定を、ASTM C 457のリニアトラバース法に準拠して行った。

(3) 細孔径分布測定

細孔径分布の測定は、材齢28日でも水銀圧入法により行い、試料は供試体内部のコンクリートを5mm立方体に切断し、アセトン中で洗浄した後、D-dry (5×10⁻⁴mmHg)で7日間乾燥させたものを用いた。なお、細孔容積は硬化セメントペースト体積あたりの空隙率で表記した。

3. 試験結果および考察

3.1 圧縮強度

図-1に各材齢における圧縮強度試験結果を示す。材齢7日までの強度は、OPCが最大となり、高微粉のB6は一般的なB3よりも強度は大きく向上したが、OPCよりも小さかった。B6の一部をスラグで置換した場合、スラグの粉末度が大きいほど初期強度は増加する傾向が

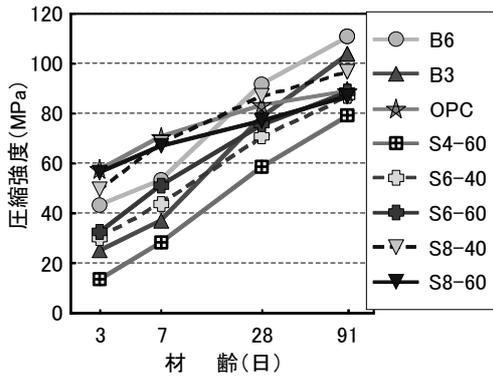


図-1 圧縮強度試験結果

あり、S8はOPCとほぼ同程度となった。一方、材齢28日以降の強度は、B6の強度増加が著しく、B3も材齢91日で強度が大きく増加したが、OPCは頭打ち傾向がみられた。これに対し、スラグを混入した場合は、初期強度が高い粉末度が大きいものほど長期的な強度の増加はみられなかった。なお、スラグ置換率の違いによる有意な差は殆どみられなかった。

3.2 凍結融解試験結果

図-2に凍結融解試験結果を示す。セメント単味の場合、一般的なピーライト系セメントであるB3が試験開始後より急激に相対動弾性係数が低下し、100サイクル前に相対動弾性係数60%を下回る結果となった。しかし、高微粉末化したB6では、最終的な相対動弾性係数が95%以上であり極めて高い凍結融解抵抗性を示した。一方、スラグを混入した場合は、S4で相対動弾性係数がわずかに減少したが、それでも最終的な相対動弾性係数は90%程度であり、スラグの混入した場合でも高い耐久性が確保できることが確認された。

3.3 気泡間隔係数および細孔容積と凍結融解抵抗性

図-3に気泡分布測定より得られた各コンクリートの気泡間隔係数と耐久性指数の関係を示す。スラグを混入した場合、全体としては、気泡間隔係数が350 μm 以下と比較的小さかったが、相対動弾性係数がわずかに低下したS4-60は440 μm 程度と大きかった。一方、セメント単味の場合、全体に450 μm 程度以上と大きかったが、耐久性指数が急激に低下していたのはB3のみであった。

図-4に凍結融解抵抗性との相関が高いとされている細孔径17.8nm \sim 1 μm の範囲の細孔容積を示す³⁾。図より、B3は突出しており、気泡間隔係数が大きいことに加え、この範囲の細孔容積が多いことが凍結融解抵抗性が低下した要因と考えられる。また、スラグを混入した場合、全体としてこの範囲の細孔容積が多くなる傾向がみられるが、前述のとおり気泡間隔係数が比較的小さいことが凍結融解抵抗性を向上させたものと考えられる。

4. まとめ

以上のことから、ピーライト系セメントおよび高炉スラグ微粉末を用いた高流動コンクリートの凍結融解抵抗性は、一般的なコンクリートと同様、気泡や細孔組織の

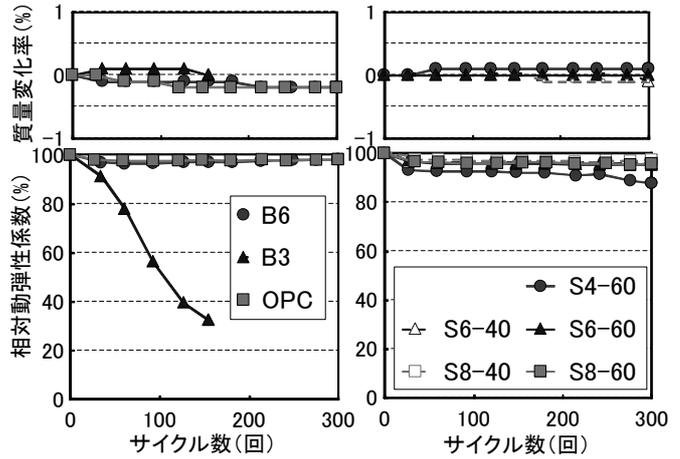


図-2 凍結融解試験結果

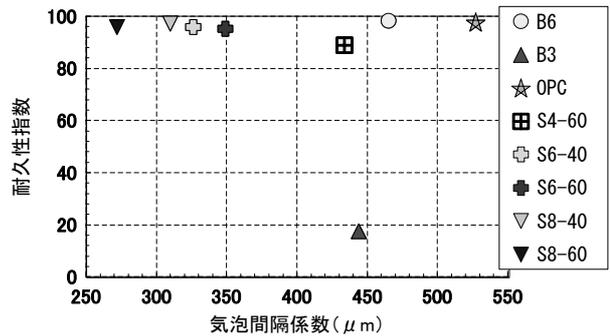


図-3 耐久性指数と気泡間隔係数

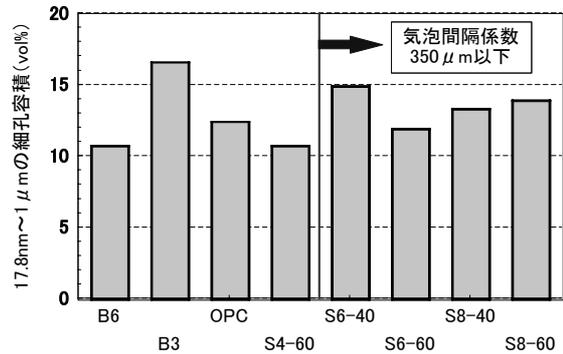


図-4 細孔径17.8nm \sim 1 μm の範囲の細孔容積

影響を受けること、および高流動化した場合でも十分な耐久性を確保できることが明らかとなった。これにより、本結合材を用いた高耐久コンクリートの実用化の一端が示された。

参考文献

- 1) 吉田行、田口史雄、嶋田久俊：改質ピーライト系セメントを用いたコンクリートの強度・発熱特性および凍結融解抵抗性、北海道開発土木研究所月報、No.578、pp.4-13、2001.8
- 2) 吉田行、田口史雄、名和豊春、渡辺宏：高炉スラグ微粉末を用いた改質ピーライト系セメントコンクリートの塩分浸透に及ぼす諸要因の影響、コンクリート工学年次論文集、Vol.26、No.1、pp.777-782、2004
- 3) 鎌田英治：硬化コンクリートの水分凍結、コンクリート工学 vol.32 No.9、pp43-48、1994.9