

高炉スラグ微粉末を混和した低水セメント比コンクリートの塩害に関する検討

○九州大学大学院 学生会員 祝井 健志 九州大学大学院 フェロー 松下 博通
九州大学大学院 正会員 佐川 康貴 新日鐵高炉セメント(株) 正会員 前田 悦孝
新日鐵高炉セメント(株) 正会員 近田 孝夫

1. はじめに

近年、プレストレストコンクリート(以下、PC)の塩害による劣化が問題とされており、耐久性向上の対策の一つとして高炉スラグ微粉末の適用が検討されている。比表面積 $6000\text{cm}^2/\text{g}$ の高炉スラグ微粉末は比表面積 $4000\text{cm}^2/\text{g}$ のものと比べて早期強度発現が改善されることが既往の研究により明らかとなっており、PCへの適用が可能であると考えられる。高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートは湿潤養生の影響を受けやすいが、実施工においては十分な湿潤養生を行うことは難しい。そこで本研究では、高炉スラグ微粉末 6000(以下、スラグ 6000)を混和したコンクリートおよび早強ポルトランドセメント(以下、早強セメント)のみを使用したコンクリートの水中養生期間が短い場合における塩分浸透抵抗性および凍結防止剤による劣化に対する抵抗性についての検討を行った。

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。コンクリートの配合は目標スランプ $10\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量 $4.5\pm 1.5\%$ を満たすよう試験練りを行い決定した(表-2)。養生条件を表-3に示す。打設は室温 20°C 、湿度 60%の恒温恒湿室にて行った。打設後 24 時間で脱型を行い、所定の材齢まで水中養生(20°C)を行った後、試験開始まで気中養生を行った。以下、本文中では表-2中の記号を用いた。

2.2 試験方法

塩分浸透試験は、材齢 35 日より表-4に示す条件で塩水乾湿繰返し試験、および凍結防止剤として使用されている塩化カルシウム溶液浸漬試験を行い、塩化物浸透状況の分析および重量変化の測定を行った。

塩化物浸透状況の分析として、(社)日本コンクリート工学協会の JCI-SC-4 の塩化物イオン選択性電極を用いた電位差滴定法により全塩分を測定した。また、EPMA 測定により得られた塩化物量(Cl^-)の分布を骨材分布で補正し、塩分浸透方向における塩化物量分布を推定した。

塩化カルシウム溶液に浸漬した供試体については浸漬前、浸漬後 13 週、26 週における重量を測定した。表面が劣化した供試体は劣化層をワイヤブラシで剥ぎ取って重量を測定した。

3. 試験結果および考察

図-1に塩水乾湿繰返し 26 週における塩化物量を示す。水結合材比 40%のもので比較すると、表面から 0-30mm 部分に浸透した塩化物量の総量の違いは小さいが、10-20mm 部分においてはスラグ 6000 を混和した

キーワード：高炉スラグ微粉末 PC 塩分浸透 凍結防止剤
連絡先：福岡市東区箱崎 6-10-1, TEL: 092-641-3131 (内(8654), FAX: 092-642-3271)

表-1 使用材料

材料	記号	種類
早強ポルトランドセメント	H	密度 $3.14\text{g}/\text{cm}^3$
高炉スラグ微粉末	BFS	高炉スラグ微粉末 6000, 密度 $2.91\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材	S	海砂, 密度 $2.58\text{g}/\text{cm}^3$
粗骨材	G	碎石, 密度 $2.90\text{g}/\text{cm}^3$
高性能AE減水剤	SP	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
AE剤	AE	樹脂酸塩系陰イオン界面活性剤

表-2 コンクリートの配合

記号	W/B (%)	スラグ置換率 (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					
				W	C	BFS	S	G	混和剤
H40	40	0	44	145	363	-	788	1128	2900
H40B50-6		50		145	181	181	783	1121	1994
H35B50-6	35	50		145	207	207	764	1093	2277
									1656

表-3 養生の条件

記号	養生条件
なし	脱型 → 材齢3日まで水中 → 気中
(28d)	脱型 → 材齢28日まで水中 → 気中
	水中: 温度 20°C 気中: 温度 20°C , 湿度 60%

表-4 塩分浸透試験の試験条件

試験	試験環境
塩水乾湿繰返し	水温: 30°C 乾燥温度: 30°C 塩水浸漬時間: 12時間 乾燥時間: 12時間 NaCl濃度: 3.5%
CaCl ₂ 溶液浸漬	水温: 20°C CaCl ₂ 濃度: 30%

H40B50-6の方が早強セメントのみ H40 に比べて塩化物量が小さくなっており、スラグ 6000 を混和することで内部への塩分浸透が抑制されていることが考えられる。また、水結合材比を 35% とした H35B50-6 は水結合材比 40% のものに比べ塩化物の浸透量が小さいことがわかる。

図-2 に EPMA 測定結果から推定した塩水乾湿繰返し 26 週の塩分浸透方向における塩化物量分布を示す。水結合材比 40% のものではスラグ 6000 を混入した H40B50-6 に比べて早強セメントのみの H40 の方がより内部へと塩分が浸透していることがわかる。H40B50-6 は H40 に比べて表層における塩化物量が多くなっているが、これは材齢の経過により緻密化が進むことによる内部への浸透の抑制、およびスラグ混和による塩分の固定化による表層部分での濃縮などによるものと考えられる。また、水結合材比を 5% 下げた H35B50-6 では表層での塩化物量が小さくなっており、コンクリート表面の塩分浸透抵抗性が向上していることが考えられる。また、今回の実験結果においては、H35B50-6 の水中養生期間が 3 日のものと 28 日のものとは顕著な差はみられなかった。

図-3 に塩化カルシウム溶液浸漬 26 週における塩化物量を示す。水中養生期間が 3 日のものでは 0-10mm における差は小さいが、早強セメントのみを使用した H40 では、10-20mm 部分における塩化物量がスラグを混入したものに比べ大きいことがわかる。このことから、塩化カルシウム溶液浸漬した場合も塩水乾湿繰返しと同様に、スラグ混和により内部への塩分浸透が抑制されていることが考えられる。

図-4 に塩化カルシウム溶液に浸漬した供試体の重量変化について示す。塩化カルシウム溶液浸漬では、水酸化カルシウムの溶脱や針状の複塩の結晶成長によって起こる劣化により、コンクリート表面におけるモルタル部分の剥落が生じると考えられている¹⁾。本実験でこのような劣化による重量の減少がみられたのは早強セメントのみを使用した H40 のみであり、スラグを混入したものは劣化による重量の減少はみられず、目視によっても浸漬 26 週の段階では劣化は確認されなかった。

4. まとめ

- (1) 高炉スラグ微粉末 6000 を早強ポルトランドセメントに混和することで、混和しない場合と比べて塩分浸透に対する抵抗性が向上することが確認された。
- (2) 高炉スラグ微粉末 6000 を混和することで、凍結防止剤として使用されている塩化カルシウム溶液による劣化に対しての抵抗性が向上することが確認された。

本研究は、科学研究費補助金基盤研究(B)(研究代表者；九州大学 松下博通 No.14350235)の一環として行ったものである。

【参考文献】 1) 檀康弘, 吉富泰一, 小林和夫；高炉スラグ微粉末を用いた高強度コンクリートの融氷剤に対する抵抗性, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.73-78, 2000

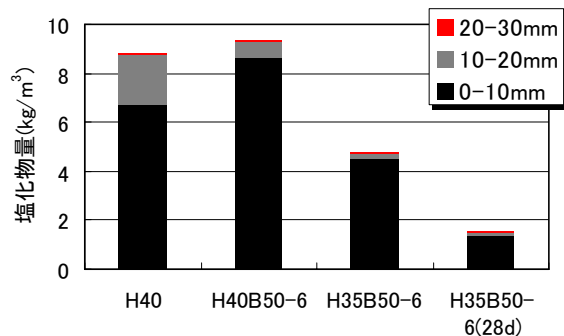


図-1 塩水乾湿繰返し 26 週における塩化物量

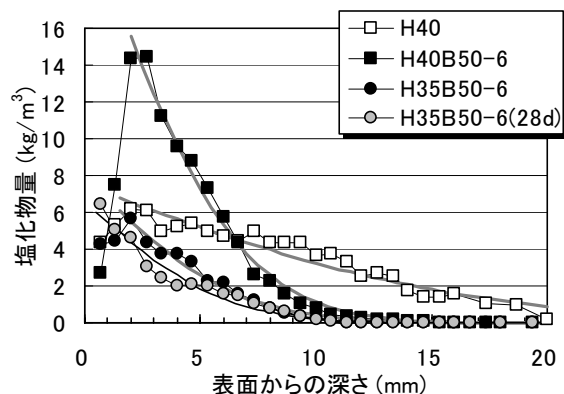


図-2 塩水乾湿繰返し 26 週における塩化物量分布

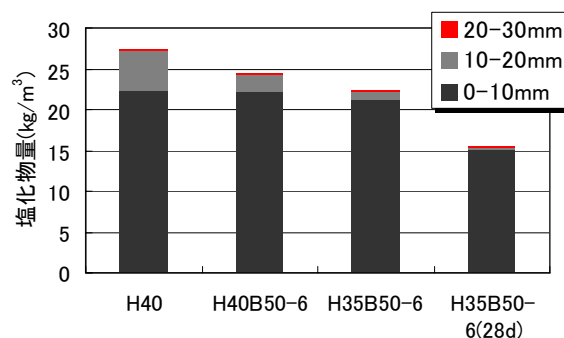


図-3 塩化カルシウム溶液浸漬 26 週における塩化物量

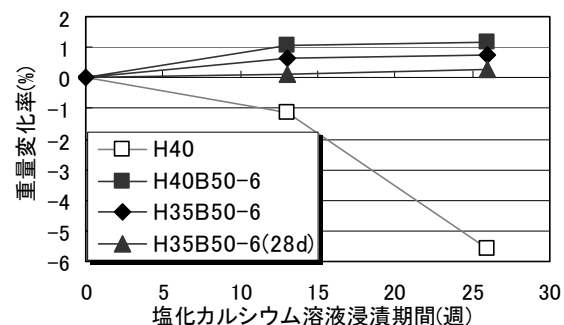


図-4 塩化カルシウム浸漬供試体の重量変化