

高炉スラグ微粉末を混入した高強度コンクリートの CaCl_2 溶液に対する劣化抵抗性

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
 新日鐵高炉セメント(株) 正会員 近田 孝夫 新日鐵高炉セメント(株) 正会員 前田 悦孝

1. はじめに

寒冷地において、凍結防止剤の散布による構造物の劣化が顕在化している。高炉スラグ微粉末は塩害対策に有用な混和材として広く知られており、近年では比表面積を高めた高炉スラグ微粉末 6000 のプレストレストコンクリートへの適用も図られている。そこで本研究では、蒸気養生を必要とする高強度コンクリートにおいて、高炉スラグ微粉末 6000 の混和が CaCl_2 溶液による化学的劣化および塩化物イオン（以下、 Cl^- ）の浸透に対する抵抗性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

2. 1 使用材料および配合

表-1 に使用材料を、表-2 に配合を示す。スラグ置換率は、十分な塩分浸透抵抗性及び十分な強度発現を得られるように 50% とした。コンクリートの配合は、目標スランブ $10 \pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量 $2.0 \pm 1.0\%$ を満たすように試験練りにより決定した。また、高炉スラグ微粉末 6000 を混和したコンクリートの水結合材比は早強ポルトランドセメントのみを使用したコンクリートと同一のもの、および 5% 低く設定したものの 2 要因とした。以下、本文中においては表-2 に示す記号を使用した。

2. 2 供試体の作製及び養生

質量変化測定用として $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体を、塩化物イオン濃度、粉末 X 線回折測定用として $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体を使用した。本研究では工場製品を対象としたため、供試体は表-3 に示す条件にて蒸気養生を行い、材齢 16 時間で脱型後、表-4 に示す養生を行った。角柱供試体は養生後、材齢 35~42 日の間に打設時の側面を除く 4 面をエポキシ樹脂により被覆し、試験に供した。

2. 3 試験方法

材齢 42 日から 30% CaCl_2 溶液に浸漬を開始した。その後、質量の経時変化を測定した。 Cl^- 濃度の分析は、JIS A 1154 に準じて、電位差滴定法により全 Cl^- 濃度を測定した。また、EPMA 測定により得られた Cl^- 濃度の分布を骨材分布で補正し、塩分浸透方向における Cl^- 濃度分布を推定した。粉末 X 線回折の測定は、表面から 0~5mm の位置より採取した約 5mm 角のモルタル試料をメノウ乳鉢の中でアセトンに浸して軽く摩砕し、懸濁液に浮遊するペースト分をろ過して試料とした。また、劣化が生じたものは、劣化層および劣化層を除去した面から 5mm の部分を試料とし、測定を行った。

3. 実験結果および考察

図-1 に供試体の質量変化を示す。H40 は浸漬期間 1 年の時点で表面の劣化が確認され、それに伴う質量の

キーワード 高炉スラグ微粉末, PC, 凍結防止剤, CaCl_2 , 塩分浸透, 化学的侵食

連絡先 福岡市東区箱崎 6-10-1, TEL : 092-641-3131 (内線 : 8654), FAX : 092-642-3271

表-1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度: 3.14g/cm^3
高炉スラグ微粉末	比表面積: $6030\text{cm}^2/\text{g}$ 密度: 2.91g/cm^3
化学混和剤	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
細骨材	福岡県西浦産海砂2:相ノ島海砂1 密度: 2.59g/cm^3
粗骨材	北九州市門司区産碎石2005 密度: 2.72g/cm^3

表-2 コンクリートの配合

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					SP
			W	C	BFS	S	G	
HB35	35	41	145	207	207	740	1119	2.48
HB40	40	42	145	181	181	777	1127	2.18
H40	40	42	145	363	-	782	1134	2.90

表-3 蒸気養生の条件

前置き温度と時間	$20^\circ\text{C}-3\text{hr}$
昇温, 降温	$15^\circ\text{C}/\text{hr}$
最高温度と時間	$55^\circ\text{C}-4\text{hr}$

表-4 脱型後の養生

記号	脱型後の養生
0d	気中
3d	材齢3日まで水中→気中
28d	材齢28日まで水中→気中
気中: 温度 20°C , 相対湿度 60%RH 水中: 温度 20°C	

減少が確認された。また、浸漬期間1年においては養生期間の短いものほど質量の減少率は大きくなったが、1年4ヶ月の時点ではその差は明確には認められなくなった。一方、HB35は質量の減少は見られず、劣化も確認されなかった。これより、高炉スラグ微粉末6000の混和は高濃度のCaCl₂溶液に対する抵抗性を向上させていることが確認できる。

図-2に浸漬1年における粉末X線回折測定結果を示す。HB35の表面0~5mm部分及びH40の劣化層を除去した面から0~5mm部分においては、水酸化カルシウムのピークが確認される。また、HB35はH40と比べて水酸化カルシウムの生成量は少ない。一方で、H40の劣化層においては水酸化カルシウムが消失している。高濃度のCaCl₂溶液による化学的劣化は、水酸化カルシウムの溶出による硬化体組織の多孔化や、複塩の生成、結晶成長によるものと考えられている¹⁾。本試験でHB35が劣化を生じなかった原因は、高炉スラグ微粉末の混和により水酸化カルシウムの生成量が減少したことが一因であると推察される。

図-3に、EPMA測定を基に推定した浸漬1年4ヶ月におけるCl⁻濃度分布を示す。図-3より、H40-3dと比べて高炉スラグ微粉末6000を混和したHB40-3dはCl⁻の浸透が抑制されている。また、劣化の生じなかったHB40-3dには確認されなかったが、劣化の生じたH40-3dは表面から1~4mmにCl⁻の濃縮が確認され、劣化部において塩分浸透が促進されているものと考えられる。

図-4に図-3に示したCl⁻濃度分布から算出した表面から1cmごとのCl⁻濃度、および表面から1cmごとに供試体をスライスし、電位差滴定法により測定したCl⁻濃度のプロットを示す。図より、多少ばらつきはあるものの、両者は良く一致しており、本試験の範囲内では、EPMAを用いたCl⁻濃度の推定結果の妥当性が確認された。

4. 結論

- (1) 高炉スラグ微粉末6000の混和によりCaCl₂による劣化に対する抵抗性は向上する。また、劣化抵抗性の向上は水酸化カルシウムの生成量が少ないことに起因するものと考えられる。
- (2) 高炉スラグ微粉末6000の混和によりCaCl₂溶液より供給されるCl⁻の浸透に対する抵抗性は向上する。

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) 笹谷輝彦ほか：塩化カルシウム溶液によるコンクリートの化学的腐食，セメント・コンクリート論文集，No.49，pp.720-725,1995

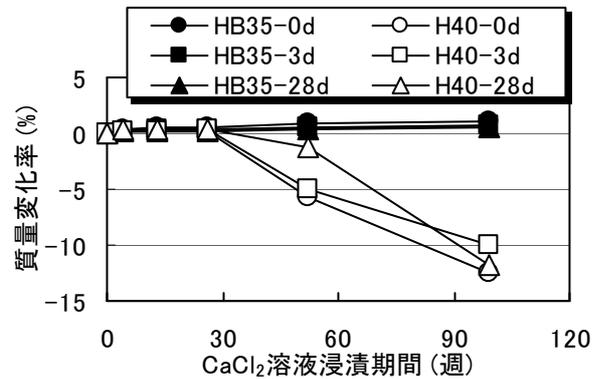


図-1 CaCl₂浸漬供試体の質量変化

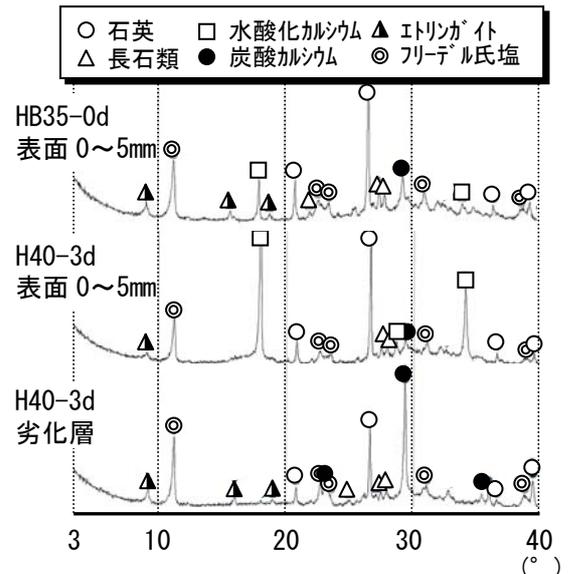


図-2 浸漬1年におけるX線回折測定結果

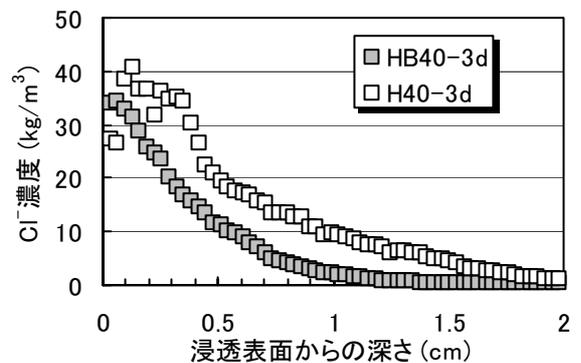


図-3 浸漬1年4ヶ月におけるCl⁻濃度分布

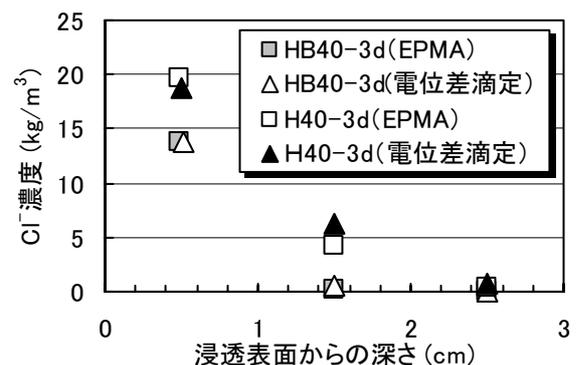


図-4 浸漬1年4ヶ月におけるCl⁻濃度