

塩化カルシウム溶液による高強度コンクリートの劣化に関する検討

九州大学大学院 学生会員 本城 玲 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 鶴田浩章 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、道路等に散布される凍結防止剤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、最近では比表面積を高めた高炉スラグ微粉末 6000(以下 BFS6)のプレストレストコンクリート(以下 PC)への適用も図られている。そこで本研究では PC 構造物を想定した高強度コンクリートの、塩化カルシウム溶液(以下 CaCl_2 溶液)による劣化に対して、BFS6 の混和が及ぼす影響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、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を確保でき、かつ十分な強度発現を得られるように 50%とした¹⁾。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 $2.0 \pm 1.0\%$ を満たすように試験練りによって決定した。また、プレストレス導入時に必要とされる圧縮強度を満足するために、BFS6 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のコンクリートより 5%低く設定した²⁾。以下本文中においては表-2 に示す記号を使用した。

2.2 供試体寸法

質量変化は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ の円柱供試体により測定し、細孔径分布、粉末 X 線回折については $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ の角柱供試体から試料を採取し、測定を行った。

2.3 養生方法

本研究では工場製品を対象として表-3 に示す条件にて蒸気養生を行った。材齢 16 時間で脱型し、脱型後は表-4 に示す養生を行った。また角柱供試体は、その後材齢 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た。

2.4 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調査し、浸漬期間 1 年にて細孔径分布および粉末 X 線回折を測定した。

細孔径分布測定は、供試体の浸透表面から 0~5mm および 45~50mm の位置より約 5mm 角のモルタル試料を採取し、水銀圧入式ポロシメータにより測定した。ただし、表面に劣化が確認された供試体の「表面 0~5mm」については、劣化層を除去して比較的健全な面を露出させ、そこから 5mm の部分を試料とした。

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測定した。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。

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 配合

記号	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)					
			W	C	BFS	S	G	SP
HB35	35	41	145	207	207	740	1119	2.484
H40	40	42	145	363	-	782	1134	2.904

表-3 蒸気養生条件

前置き時間	3hr
昇温、降温	15°C/hr
最高温度	$55^\circ\text{C} (\times 4\text{hr})$

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

表-5 脱型時および浸漬前の圧縮強度

記号	圧縮強度 (N/mm^2)			
	脱型時	試験前 (材齢 42 日)		
		0d	3d	28d
HB35	46.7	59.9	70.3	80.0
H40	44.3	55.7	67.2	68.3

3. 実験結果および考察

表-5 に脱型時および浸漬前の圧縮強度を示す。HB35の脱型時の強度はH40と同程度となっており、プレストレス導入時に必要とされる圧縮強度 35N/mm^2 を十分に満足している。また、材齢 42-日における強度は HB35 の方が H40 よりも高くなった。

図-1 に質量変化率の経時変化を示す。H40 は浸漬期間 1 年において表面の劣化が確認され、質量も大幅に減少した。また、湿潤養生期間の短いものほど激しく劣化を生じた。一方 HB35 には質量の減少は見られず、劣化は確認されなかった。これより、BFS6 の混和が CaCl_2 溶液の侵食に対する抵抗性を向上させることが分かる。

図-2 に浸漬 1 年における細孔径分布の測定結果を示す。H40 は、劣化層を除去して比較的健全な部分を測定したにも関わらず、表層の方が内部より細孔容積が増加している。これに対して HB35 は、表層と内部の細孔容積に殆ど差は見られず、全く水中養生を行わなかったものでも表層における空隙の粗大化は認められなかった。

図-3 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 および H40 の劣化層を除去した面から 0~5mm の部分では水酸化カルシウムが同定されているのに対して、H40 の劣化層では水酸化カルシウムが消失している。

高濃度 CaCl_2 溶液によるコンクリートの侵食は、水酸化カルシウムの溶解による硬化体の多孔化や複塩の結晶成長による微細組織の崩壊が劣化原因と考えられてきた³⁾。本実験の結果も劣化が水酸化カルシウムの溶解による組織の多孔化に起因することを示唆するものであり、HB35 が劣化を生じなかったのは水酸化カルシウムの生成量が少ないことおよび細孔構造の緻密化に起因するものと考えられる。

4. 結論

- 1) プレストレス導入時に必要とされる圧縮強度を満足できる配合であれば、BFS6 を混和することにより、湿潤養生期間が短い場合においても CaCl_2 溶液の侵食に対する抵抗性が向上する。
- 2) CaCl_2 溶液による劣化は水酸化カルシウムの溶解による組織の多孔化に起因し、BFS6 を混和したコンクリートは水酸化カルシウムの生成量が少なく、細孔構造が緻密になるため劣化を生じないものと考えられる。

参考文献

- 1) 日本材料学会；高炉スラグ微粉末を使用した高耐久性プレストレストコンクリート構造物の開発，1998.3
- 2) 尾上幸造ら；高炉スラグ微粉末を混和した高強度コンクリートの圧縮強度に及ぼす養生条件の影響，第 12 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp173-176，2003.10
- 3) 鳥居和之ら； NaCl および CaCl_2 溶液中におけるモルタルの劣化，セメント・コンクリート論文集，No.46，pp.504-509，1992

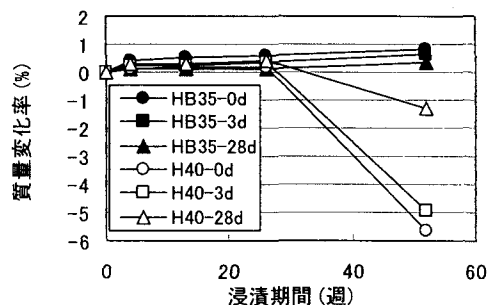


図-1 質量変化率の経時変化

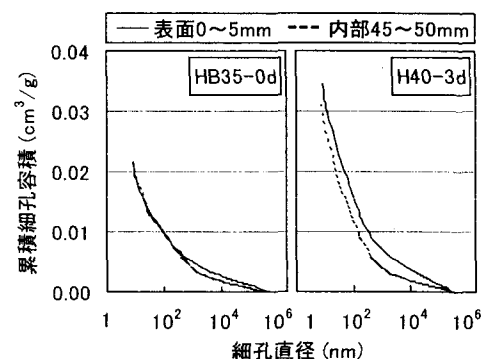


図-2 浸漬 1 年における細孔径分布測定結果

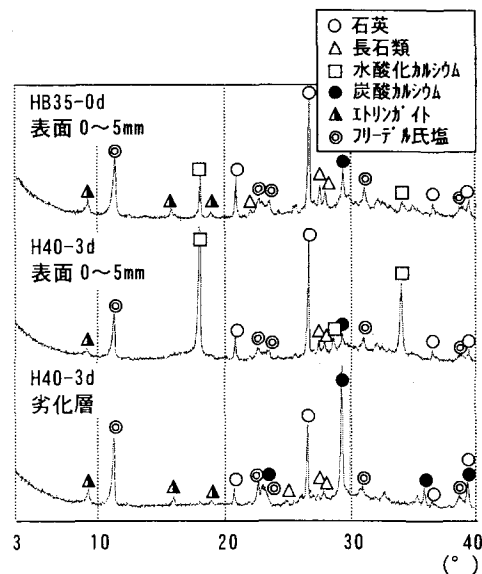


図-3 浸漬 1 年における X 線回折測定結果