炭酸化コンクリートのCa溶出特性に関する研究

日本大学 正会員 伊藤 義也
 日本大学 フェロー 越川 茂雄
 ㈱内山アドバンス 齋藤 丈士
 日本大学 学生員 山口 晋

1.はじめに

コンクリート表層部を高濃度CO₂ガスにより促進炭酸化したコンクリートを静水中に浸漬した場合のCa溶出特性についてすでに報告をし、その結果、各種セメントを用いたコンクリートは炭酸化により溶出Ca量が低減することが認められた。本研究は促進炭酸化したコンクリートの加圧透過水中のCa成分の溶出特性について実験検討を行った。

2.使用材料及びコンクリートの配合

セメントはT社製普通ポルトランドセメント（密度：3.16 g/cm³、比表面積：3260cm²/g）及び高炉スラグセメントB種（密度：3.04g/cm³、比表面積 3780cm²/g）の2種類を使用した。粗骨材は栃木県産砕石 2005（密度：2.67g/cm³、吸水率 0.91%、F.M6.70）細骨材は千葉県君津産山砂（密度：2.59g/cm³、吸水率 2.33%、F.M2.35）と中国福建省産川砂（密度 2.60g/cm³、吸水率 1.07%、F.M3.41）を混合し、F.M2.67 で使用した。混和剤はリグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体を主成分とする空気調整剤としてアルキルスルホン酸化合物系のAE剤を使用した。コンクリートの配合は表-1に示す。

3.透水試験用供試体の作成及び炭酸化供試体の作成

供試体は 150×150mm の円柱形で、直径 3cm の小孔をあけた中空円筒供試体である。この供試体を用いて透水試験を行い、流出水のCa溶出量をS社製の高周波プラズマ分光分析装置によって測定するとともに透水係数を算出した。Ca溶出量の測定は流出水が約20mlに達するごとに行った。供試体の作成手順は、材齢14日まで湿空養生を行った後に、温度20℃、湿度65%の室内にて28日間乾燥させた。乾燥後にエポキシ樹脂で供試体の上下端面を被覆し、温度20℃、湿度65%の炭酸ガス濃度5%及び10%としたチャンバーに入れ、外側面および内側面表面部からの炭酸化深さが5mm、10mmおよび15mmとなるよう中性化し、透水試験に供した。各供試体の中性化深さに対応する日数を表-2に示す。なお、中性化しない供試体は乾燥後、エポキシ樹脂で供試体の上下端面を被覆し、透水試験に供した。なお、透水試験は水圧を外周面に加えるアウトプット法の外圧式で2.5MPaの水圧を作用させ行った。

表-1 コンクリートの配合及び圧縮強度試験結果

セメントの種類	最大寸法 (mm)	目標スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)			混和剤		圧縮強度 (N/mm ²)					
						水	セメント	細骨材	粗骨材	AE減水剤	補助AE剤	水中養生			湿空養生	
												7日	14日	28日	7日	14日
普通	20	12 ± 1	5 ± 0.5	50	44.1	150	300	806	1052	C × 0.25%	1.5A	32.7	40.6	45.8	32.9	39.2
高炉B種								802	1046			3.4A	19.7	27.4	36.5	19.5

キーワード：炭酸化、溶出、Ca、透水係数

〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木工学科 047-474-2470

表 - 2 炭酸化速度の関係

セメントの種類	W / C (%)	炭酸ガス濃度 (%)	目標炭酸化深さ (mm) に至る日数 (日)		
			5 mm	10 mm	15 mm
普通	50	5%	24日	87日	157日
			5.45 mm	10.46 mm	15.03 mm
		10%	11日	36日	87日
			5.03 mm	10.39 mm	15.24 mm
高炉B種	50	5%	8日	23日	47日
			6.40 mm	10.41 mm	15.79 mm
		10%	5日	14日	26日
			6.86 mm	11.11 mm	15.09 mm

表-3 実験結果一覧

セメントの種類	CO ₂ 濃度 (%)	炭酸化深さ (mm)	経時変化									透水係数 K × 10 ⁻¹² (cm/s)			
			Ca溶出量測定までの加圧時間 (h:m)	単位時間当たりのCa溶出量 × 10 ⁻⁵ (ppm/s)	溶出量測定時点の透水係数 (cm/s)	Ca溶出量測定までの加圧時間 (h:m)	単位時間当たりのCa溶出量 × 10 ⁻⁵ (ppm/s)	溶出量測定時点の透水係数 (cm/s)	Ca溶出量測定までの加圧時間 (h:m)	単位時間当たりのCa溶出量 × 10 ⁻⁵ (ppm/s)	溶出量測定時点の透水係数 (cm/s)				
普通	0	0	6:00	(4030)	7.17E-09	12:20	(344)	1.032E-08	18:40	(288)	7.44E-09	10702	0	(1.00)	
			4:05	(2673)	2.77E-09	19:22	(443)	4.741E-09	18:40	(489)	3.27E-09	4387			
			21:07	14.3	4.85E-10	25:17	71.3	3.643E-09	21:07	6.78	3.70E-10	221			
	5	5	5:00	1.797	7.12E-12	10:06	0.325	2.638E-13	-	-	-	2.90	2.90	(0.0006)	
			10	6:00	0.637	6.33E-12	11:76	0.161	4.217E-12	-	-	-	2.37	2.37	(0.0005)
			15	24:00	0.17	1.19E-12	-	-	-	-	-	-	2.87	2.87	(0.0006)
		10	5	4:24	1.745	3.16E-12	8:88	0.059	1.582E-12	-	-	-	1.58	1.58	(0.0003)
			10	7:60	0.43	1.12E-12	-	-	-	-	-	-	1.12	1.12	(0.0002)
			15	12:40	0.128	1.15E-12	-	-	-	-	-	-	1.15	1.15	(0.0002)
高炉B種	0	0	19:00	12.5	8.49E-10	19:00	3.89	4.605E-10	19:50	0.583	3.64E-10	426	0	(1.00)	
			21:55	0.47	1.47E-10	-	-	-	-	-	-	62.9			
			-	検出限界以下	-	-	検出限界以下	-	-	-	-	22.6			
	5	5	24:50	0.33	1.46E-10	-	-	-	-	-	-	44.1	0.0	(0.2)	
			5:25	0.25	1.55E-11	-	-	-	-	-	-	15.5			
			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

(流出無し)

*){ } ; 普通CO₂濃度0%、中性化深さ0mmとの比

4. 試験結果および考察

表 - 3 に実験結果の一覧を示す。これらの結果によれば 2 種のセメントの配合とも炭酸化することにより、Ca溶出量および透水性は極めて減少することが認められた。Ca溶出量は炭酸化深さが大となるほど減少し、炭酸化ガス濃度が濃いほど減少することを示した。これらの結果は透水係数により、次のように論じられる。すなわち、普通セメントの炭酸化コンクリートの透水性は炭酸化ガス濃度 5% 及び 10% で炭酸化した場合、炭酸化していないものの約 1/1700 及び約 1/5000 と大きく低減する。また、高炉セメントB種の炭酸ガス 5% の場合は約 1/5 に減少するとともに炭酸化ガス濃度 10% の場合は加圧時間内の流出水は認められなかった。すなわち、炭酸化した透水用試験体は炭酸化前に 28 日間 20 65% RH で乾燥している。このため乾燥による蒸発水分のコンクリート中の移動が起こる。この場合特に可溶性の、Ca(OH)₂ がコンクリート表面に移動し、凝縮固定する。したがって、炭酸化の反応度はCO₂ガスが高濃度程、また、高炉セメントB種よりも生成するCa(OH)₂の多い普通セメントの場合のほうがより大きく緻密化し透水係数が大きく減少するものと考えられる。

5. 本研究の主な結果を取りまとめれば以下の通りである。

- (1) 炭酸化コンクリートの Ca 溶出量はセメントの種類に関わらず炭酸化により大きく減少する。
- (2) (1)の減少効果は炭酸化による緻密化によることを透水係数の低減により検討した。高炉B種の場合、約 1/5 に対し、普通セメントの場合は約 1/1700 ~ 1/5000 と極めて大きく減少する。また、CO₂ガスが高濃度程大きく低減する

謝辞：Ca 溶出特性に関する研究は平成 14 年度大学院生 山口和宏君のご協力を得た。ここに記して謝意を表します。