

各種浸漬溶液がアルカリシリカ反応に及ぼす影響

愛知工業大学大学院 学生員 皿井 剛典
 愛知工業大学 正会員 岩月 栄治
 愛知工業大学 正会員 不破 昭
 愛知工業大学 正会員 森野 奎二

1. はじめに

コンクリートのアルカリ骨材反応は我が国で 1983 年に問題視されて以来、15 年を経た今日でも新たに発見されている。また、最近では一般的な構造物とは別に寒冷地などでは道路の凍結防止剤として CaCl_2 に替わって NaCl が散布されるようになり、外部からアルカリイオンが供給される機会が増している。その他に、海岸付近の構造物では海水や海水飛沫の供給により、AAR の被害がいっそう大きくなっている例などもある。

本研究では、反応性骨材としてチャート碎石を用いたコンクリート角柱供試体を、 NaCl 、 CaCl_2 、 NaOH 、 KOH 、 Na_2SO_4 、 MgSO_4 、人工海水溶液および水道水に浸漬し、膨張率測定、超音波伝播速度測定および表面観察を行い、各種浸漬溶液が ASR に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント(アルカリ量、 Na_2O 換算 0.60%)を用いた。添加アルカリは NaOH (顆粒状、純度 99.8%)を用い、練り混ぜ水に溶かして使用した。コンクリート中の全アルカリ量は、

Na_2O 換算で 3、6、9 kg/m^3 とした。使用骨材の JIS A 5308 化学法の試験結果を表 1 に示す。反応性骨材として、岐阜県養老産のチャート碎石(Yo チャート)を用い、非反応性骨材として愛知県瀬戸産の珪砂(Se 珪砂)を用いた。コンクリートの配合を表 2 に示す。粗骨材は Yo チャートのみを用い、

細骨材には Se 珪砂を用いた。供試体寸法は $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ とした。供試体の貯蔵は 7 日まではすべて湿潤状態で、7 日以後は湿潤状態の他に、 NaCl 溶液、 CaCl_2 溶液、 NaOH 溶液、 KOH 溶液、 Na_2SO_4 溶液、 MgSO_4 溶液(すべて濃度は $1\text{mol}/\text{l}$)、人工海水(表 3)および水道水中の浸漬貯蔵とした。貯蔵容器はすべて 40°C 恒温室内に設置した。膨張率測定と同時に供試体表面の観察を行い、貯蔵 7 日から超音波伝播速度測定を行った。

膨張率測定と同時に供試体表面の観察を行い、貯蔵 7 日から超音波伝播速度測定を行った。

3. 結果及び考察

3-1 コンクリート角柱供試体の膨張挙動と超音波伝播速度の関係

全アルカリ量 9 kg/m^3 のコンクリート角柱供試体の膨張挙動と超音波伝播速度の相対速度変化率を図 1 に示す。膨張は、 NaCl 、水道水、 NaOH および KOH で貯蔵 40 日付近、その他の浸漬溶液は貯蔵 50 日付近から開始しており、 NaCl 溶液、水道水、 NaOH 溶液および KOH 溶液による影響が早くから現れている。膨張率は Na_2SO_4 、 NaCl が高く、貯蔵約 370 日では Na_2SO_4 で 0.684%、 NaCl で 0.462%となっており、 Na_2SO_4 溶液、 NaCl 溶液による影響が他の浸漬溶液に比べ大きい。また、 Na_2SO_4 、 MgSO_4 、 NaOH 、 KOH の各浸漬溶液は貯蔵約 370 日の時点においても膨張傾向を示しており、膨張への影響が長期にわたり継続している。図 1 の下段に示すように、超音波伝播速度の相対速度変化率は、膨張率の増加から約 40 日遅れて減少傾向を示し、膨張が収束傾向を示すと超音波伝播速度も変化しなくなる。全アルカリ量 6 kg/m^3 のコンクリート角柱供試体の膨張挙動と超音波伝播速度の相対速度変化率を図 2 に示す。 NaCl 、水道水および NaOH は貯蔵 50 日付近、 KOH は貯蔵 70 日付近、他の浸漬溶液は貯蔵 110 日付近から膨張を開始しており、全アルカリ量 9 kg/m^3 と同様に NaCl 溶液、水道水

表 1 使用骨材の化学法の結果

使用骨材	形状	産地	化学法の結果(mmol/l)			備考
			Rc	Sc	Sc/Rc	
Yoチャート	碎石	岐阜	196	309	1.6	無害でない
Se珪砂	砂	愛知	43	36	0.8	非反応性

表 2 コンクリートの配合

骨材の種類	粗骨材の最大寸法(mm)	スラフの範囲(cm)	空気量の範囲(%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				混和剤 (g/m^3)
						水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	
Yoチャート	25	8.0	4.5	51.3	41.0	154	300	761	1091	4500

表 3 人工海水の成分

人工海水10kgを作製するのに使用した各成分(g)							
水	NaCl	MgCl_2	Na_2SO_4	CaCl_2	KCl	NaHCO_3	KBr
9656	235	50	39	10	7	2	1

および NaOH 溶液による影響が早くから現れている。膨張率は NaCl、 Na_2SO_4 が高く、また、貯蔵 370 日を越えても膨張傾向がみられ、膨張への影響が長期にわたり継続しており、超音波伝播速度の相対速度変化率も、全アルカリ量 $9\text{kg}/\text{m}^3$ と同様に膨張率の増加から約 40 日遅れて減少している。既往の実験結果では、湿潤状態で貯蔵した供試体の膨張挙動と超音波伝播速度の相対速度変化率の関係は、膨張率が増加する時期と相対速度変化率が減少する時期が一致しているが、本実験結果では膨張率の増加から遅れて相対速度変化率が減少している。このことは、溶液浸漬によって生成する反応生成物は、超音波伝播速度を低下させないような剛性をもっており、それがコンクリート内部の初期のひび割れを満たしたために伝播速度に影響が現れなかったのではないと思われる。

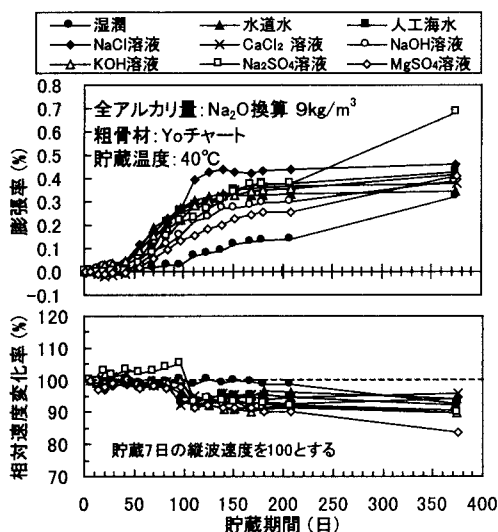


図1 コンクリート角柱の膨張率と超音波伝播速度の相対速度変化率

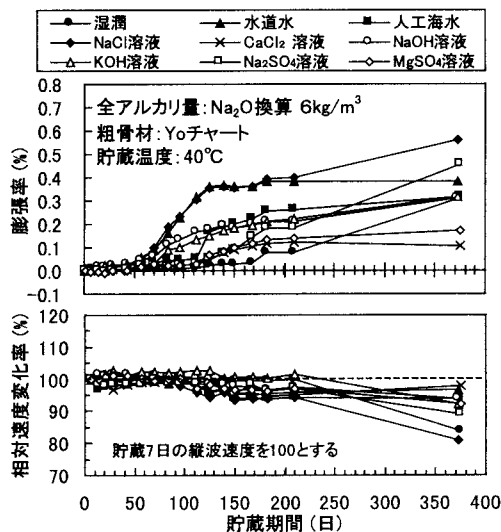


図2 コンクリート角柱の膨張率と超音波伝播速度の相対速度変化率

3-2 コンクリート角柱供試体の表面観察

貯蔵 370 日の供試体表面観察結果と膨張率を表 4 に示す。ひび割れは NaCl 溶液、水道水浸漬供試体に多くみられた。人工海水浸漬では、供試体表面に広範囲にわたって白色の生成物がみられたが、ひび割れは少なかった。その他の溶液浸漬では、供試体表面に付着している反応生成物は少なかったが、ひび割れは多く発生していた。これは、浸漬溶液の違いによって反応生成物の粘性や剛性が異なり、膨張やひび割れ発生に程度に影響していると考えられる。

4. まとめ

各種溶液に浸漬したコンクリート角柱供試体の膨張率測定、超音波伝播速度測定、供試体の表面観察から得られた結果をまとめると次のようである。①NaCl 溶液、水道水、NaOH 溶液、KOH 溶液の膨張への影響は早い時期から現れた。②浸漬溶液の違いにより供試体表面に付着する反応生成物の量に相違がみられ、反応生成物が表面に浸出しているものはひび割れが少なかった。③溶液浸漬供試体の超音波伝播速度は、膨張率の変化よりも 40～50 日遅れて現れた。

・本研究の一部分は(財)日東学術振興財団(The Nitto Foundation)の助成金で行ったものである。

表 4 貯蔵370日の供試体表面観察結果と膨張率

貯蔵状態	全アルカリ量 (Na_2O 換算)			
	$6\text{kg}/\text{m}^3$		$9\text{kg}/\text{m}^3$	
湿潤状態	+	-	+	-
	0.310		0.320	
水道水浸漬	+++	+	+++	++
	0.383		0.346	
人工海水浸漬	++	++	+	+++
	0.317		0.429	
1M NaCl 溶液浸漬	+++	+	+++	+
	0.559		0.462	
1M CaCl_2 溶液浸漬	+	-	++	+
	0.107		0.375	
1M NaOH 溶液浸漬	+	-	+++	+
	0.309		0.391	
1M KOH 溶液浸漬	-	-	++	-
	0.318		0.419	
1M Na_2SO_4 溶液浸漬	+	+	+	+
	0.456		0.684	
1M MgSO_4 溶液浸漬	-	-	-	-
	0.174		0.409	

・上段左:ひび割れ、上段右:反応生成物、下段:膨張率(%)

・ひび割れ、反応生成物の程度:

多い>中>少ない=+++>++>+