

水ガラスカレットを用いた ASR のメカニズムに関する検討

愛知工業大学 正会員 ○岩月 栄治
愛知工業大学 正会員 森野 奎二

1. はじめに

アルカリシリカ反応 (ASR) の膨張は反応生成物の粘性や流動性が影響している。これは生成物の SiO_2 と Na_2O の比率によって異なり、天然骨材を用いた実験では把握することは難しい。そこで本研究は、アルカリシリカ反応の反応性生成物と同様な反応をする水ガラスカレットを用いてモデル実験を行った。実験では既往の研究をもとに、モルタルの膨張と内部の微細な反応性状及び生成物の化学成分との比較・検討を行った。また、アルカリ溶液に浸漬したカレットから生成した生成物の分析を行い、 SiO_2 と Na_2O の比率と膨張との比較の他、アルミイオンによる膨張抑制について検討した。

2. 実験方法

2.1 使用材料

使用した水ガラスカレットの化学成分を表 1 に示す。カレットは SiO_2 と Na_2O の比率 (MR) が 2.6～6.0 の 8 種類を用い、粒径は 0.3～0.15mm に調整した。また、モルタルに使用する細骨材は、化学法とモルタルバー法ともに無害に判定される粒径 0.15mm～0.075mm の光学用珪砂を用いた。セメントは研究用の普通ポルトランドセメント (Na_2O 等量 0.55%) を用いた。

2.2 モルタルバーの作製方法

モルタルバーの配合は、セメント:(カレット+珪砂)=1:2.25 とし、W/C は 70% とした。カレットの混入量はセメント質量の 5% を内割りで混入した。モルタル全体のアルカリ量は、セメントのみと、NaOH 試薬を添加して 0.70% の 2 種類とした。供試体の形状は 28×28×140mm とし、両端には膨張率測定用のゲージプラグを埋め込んだ。供試体の貯蔵は、温度 40℃、湿度 RH95% 以上とした。

2.3 セメント中の水ガラスカレットの観察とアルカリ溶液に浸漬した水ガラスカレットの反応状況の観察

セメントに水ガラスカレットを混入したモルタルを作製して、モルタルバーと同様の環境で貯蔵した。貯蔵 60 日で走査電子顕微鏡によるカレットの反応状況の観察と生成物の EDS 分析を行った。また、カレット (5g) を 40℃ の NaOH 1mol/l 溶液 (25ml) に浸漬して反応状況を観察するとともに、生成したゲル状物質を ICP 発光分析装置で分析した。

3. 結果及び考察

3.1 水ガラスカレットを混入したモルタルバーの膨張挙動

カレットを混入したアルカリ量 0.55% のモルタルバーの膨張挙動を図 1 に示す。図では、MR2.6、2.9 及び 3.6 は貯蔵 14 日から膨張し始めている。その後、2.6 と 2.9 とは 150 日で収束しているが、3.6 は 400 日においても膨張が継続している。また、MR4.5、4.6、4.7、6.0 は 60 日頃から膨張し、400 日以降も膨張を継続している。さらに MR3.4 はほとんど膨張していない。これら 8 種類のカレットで MR3.4 と 4.7 が膨張率が低い理由は既往の研究から化学成分のアルミが影響している可能性が高い。

3.2 水ガラスカレットの反応状況の観察

セメントにカレットのみを加えて作製したモルタ

表 1 使用した水ガラスカレットの化学成分

反応性物質		水ガラスカレット							
		A	B	C	D	E	F	G	H
MR($\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率)		2.6	2.9	3.4	3.6	4.5	4.6	4.7	6.0
蛍光X線による分析結果	SiO_2 (%)	65.2	68.9	68.9	74.4	78.3	78.5	79.3	83.2
	Na_2O (%)	25.5	24	20.1	20.6	17.4	17	16.8	13.9
	Al_2O_3 (%)	0.3	0.3	7.8	0.4	0.4	1.7	0.3	0.4
	CaO (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	MgO (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	K_2O (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	BaO (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Sb_2O_3 (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	P_2O_5 (%)	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	Cl (%)	0.4	0.8	0.3	0.3	0.4	0.3	0.3	0.3
	1000℃加熱減量 (%)	8.4	5.6	2.7	4.2	3.2	2.3	3.1	2

キーワード アルカリシリカ反応、モルタルバー、水ガラスカレット

連絡先 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草 1247 愛知工業大学 土木工学専攻 TEL 0565-48-8121

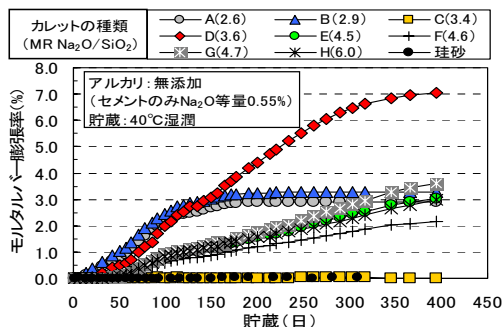
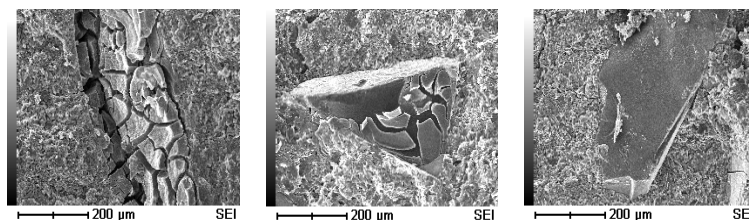


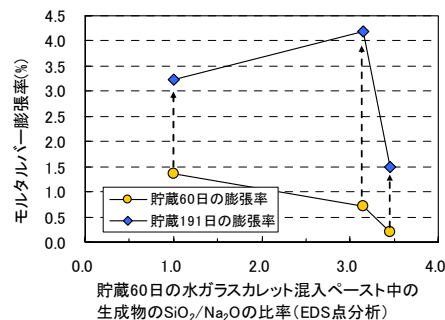
図1 水ガラスカレット混入モルタルの膨張挙動

写真1 カレットを混入したモルタル ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} 0.55\%$) の SEM 写真
(左: $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, 2.9、中: $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, 3.6、右: $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$, 4.5)表2 ペースト混入カレットの
分析値

水ガラスカレット (図1の記号)		B (▲)	D (◆)	E (●)
$\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率		2.9	3.6	4.5
SEMのEDS 点分析結果	SiO_2 (%)	40.2	64.4	75.5
	Na_2O (%)	38.6	10.4	21.5
	K_2O (%)	2.4	15.3	0.5
	Al_2O_3 (%)	10.5	0.2	0.8
	CaO (%)	8.5	9.8	1.8
EDS分析値からの $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$		1.0	3.1	3.5

表3 NaOH 溶液浸漬カレットの
生成物の分析値

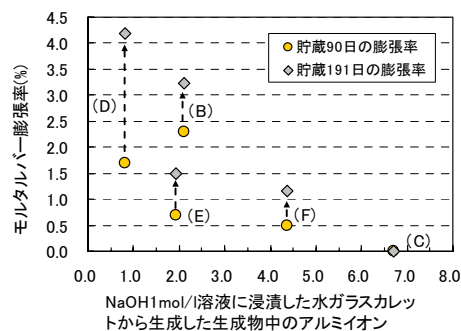
水ガラスカレット (図1の記号)		B (▲)	C (□)	D (◆)	E (●)	F (+)
MR $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率		2.9	3.4	3.6	4.5	4.6
ICPによる分 析結果	Si (ppm)	10.80	19.74	24.10	15.33	15.31
	Na (ppm)	2.26	4.80	4.48	3.22	2.21
	K (ppm)	0.06	0.17	0.13	0.14	0.05
	Al (ppm)	2.12	6.70	0.82	1.93	4.36
	Ca (ppm)	1.14	0.53	2.65	6.70	0.35
	Mg (ppm)	0.18	0.10	0.45	0.30	0.06
ICP分析値からの $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$		4.8	4.1	5.4	4.8	6.9

図3 モルタルバー膨張率とカレット
の $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の関係

ル内部の走査電子顕微鏡観察結果を写真1に示す。貯蔵60日では、MR2.9はカレットのほとんどが反応しており、MR3.6は表面が反応して界面には生成物が充填されていた。またMR4.5はカレットの一部しか反応していなかった。生成物のEDS分析結果を表2に、モルタルバーとの膨張の関係を図2に示す。膨張率が高く、長期に継続するのは生成物の $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率が3.1 (MR3.6のカレット)であり、膨張の性質が生成物の $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率に影響していることが判った。

3.3 アルカリ溶液に浸漬した水ガラスカレットから生成した生成物の分析

カレットを 40°C の $\text{NaOH} 1\text{mol/l}$ 溶液に浸漬して反応させ、生成したゲル状物質を ICP 発光分析装置で分析した結果を表3に示す。モルタルを模擬した NaOH 溶液によっても生成物が生成しており、その $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率は4.1~6.9であり、このうち、シリカの濃度が高いMR3.6はモルタルの膨張率も高く、長期にわたって膨張が継続している。図3にモルタルバーの膨張率とカレットから生成したアルミイオンとの関係を示す。アルミイオンの濃度が高いほど膨張率は低く、さらに長期わたっても膨張しない傾向がある。このことから、アルミはASRを抑制する性質があることが判った。

図4 モルタルバー膨張率とアルミイ
オンの関係

4. まとめ

- (1) 水ガラスカレットを混入したモルタルバーにおいて、膨張率が高く長期にわたって継続するのはモルタル内部の反応生成物の $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率が3.1あった。
- (2) アルミイオンはASRを抑制する性質がある。

参考文献

- 1) 森野奎二, 春名淳介: 種々のアルカリ反応性物質を使用したモルタルの膨張とひび割れ, コンクリート工学年次論文報告集, pp.735-740, Vol.13, No.1, 1990
- 2) 関口達也, 岩月栄治, 森野奎二: 水ガラスカレットを用いたASR膨張の検討, 土木学会第63回年次学術講演会, 第V部, pp.155-156, 2008