

V-317 添加剤によるアルカリ骨材反応抑制に関する基礎的研究

大阪市立大学大学院 学生員 中川 裕司

大阪市立大学工学部 正会員 本多 淳裕 山田 優

1. まえがき

最近我が国においても、アルカリ骨材反応による被害が報告されている。この問題は今後さらに続く可能性がある。それゆえ、アルカリ骨材反応に対する抜本的な対策、特に予防策が必要である。本研究はコンクリート製造時に何らかの添加剤を用いることにより、アルカリ骨材反応を抑制できるのではないかと考え、その添加剤の発見と抑制効果のメカニズムを究明する目的で行なったものである。

2. 実験概要

本研究では、アルカリ骨材反応抑制の基礎的研究として、まず純試薬を用いることにした。また、骨材のアルカリとの反応性をアルカリ溶液中における骨材からの溶解シリカ量(以下Scとする)で評価することにした。

実験1 骨材試料として無水珪酸を用いてアルカリ溶液中におけるScを抑制する添加剤を見付け出す。

実験2 実験1で見付け出した添加剤について、添加率を変化させて添加効果を比較する。

実験3 添加剤による、アルカリ濃度及びpHとScとの関係に及ぼす影響を調べる。

実験4 添加剤がセメントの凝結時間や強度に及ぼす影響を調べる。

実験1-3はASTM C289 化学法に準拠して行ない、実験4はJIS R-5201に準拠して行なった。

3. 実験結果と考察

3.1 各種添加剤のSc抑制効果の比較

添加剤の選択に当って、コンクリートの細孔溶液の(i)アルカリ濃度やpHを減少させる可能性のある物質として緩衝剤に、また(ii)可溶性珪酸アルカリの量を減少させる可能性のある物質として両性化合物に注目した。使用添加剤と実験結果を表-2に示す。それらの中でSc抑制効果の大きい添加剤は、硫酸アルミニウム(以下Aとする)、塩化アルミニウム(B)、ポリ塩化アルミニウム(C)、硫酸亜鉛(D)、水酸化アルミニウム(E)、塩化亜鉛(F)、塩化バリウム(G)であった。

これらの添加によりScは無添加時の25%以下に減少した。その他の添加剤では60%以上であった。

3.2 Sc抑制効果の大きい添加剤の添加効果

3.1で見付け出したA-Gの添加剤からA、B、C、E、Gの5種を選び実験した。図-1は水酸化ナトリウム溶液に添加剤のみを加えたときのアルカリ濃度と添加率の関係を示したものであり、その時の反応後のアルカリ濃度を添加剤添加直後のアルカリ濃度と呼ぶ。E以外の添加剤は添加率の増加とともにアルカリ濃度を減少させている。pHについても同様な結果となった。図-2と図-3より各種添加剤とも添加率の増加とともにScはほぼ直線的に減少している。添加剤添加直後のアルカリ濃度を大きく減少させ

表-1 使用骨材

区 分	骨 種	化 学 法		比 重	吸水率(%)
		Sc(mol/l)	Rc(mol/l)		
無水けい酸	—	203.8	63.5		
砕 石 A	—	77.8	74.9	2.57	0.22
砕 石 B	吉岡産石炭山岩	799.8	252.5	2.59	1.31
砕 石 C	吉岡産石炭山岩	764.8	218.9	2.44	2.81

Sc: 溶解シリカ量 Rc: アルカリ濃度の減少量

表-2 各添加剤添加時の溶解シリカ量

添 加 剤	分 類	Sc(mol/l)	添 加 剤	分 類	Sc(mol/l)
無 水 珪 酸	a	203.8	K ₂ HPO ₄	c	156.0
Al ₂ (SO ₄) ₃ ・18H ₂ O	a	37.7	FeSO ₄ ・7H ₂ O	b	189.3
AlCl ₃ ・6H ₂ O	a	29.0	MgSO ₄ ・7H ₂ O	b	205.3
ポリ塩化745-74	a	23.5	Fe ₂ O ₃	c	195.6
Al ₂ O ₃	a	212.6	MgCl ₂ ・6H ₂ O	c	209.5
Al ₂ O ₃ ・3SiO ₂	a	148.8	CaCl ₂ ・2H ₂ O	c	218.4
ZnSO ₄ ・7H ₂ O	a	42.4	BaCl ₂ ・2H ₂ O	c	18.1
CuSO ₄ ・5H ₂ O	a	187.0	Ba(OH) ₂ ・8H ₂ O	c	168.4
Al(OH) ₃	a	7.3	KNO ₃	c	185.8
ZnCl ₂	a	45.7	NaCl	c	189.8
SnCl ₂ ・2H ₂ O	a	131.4	CH ₃ COONa	d	139.4
MnO ₂	a	184.5	PIONIN-C C-159A	d	201.7
MnCl ₂ ・4H ₂ O	a	194.9	PIONIN-C C-159ES	d	128.6
Pb(CH ₃ COO) ₂ ・3H ₂ O	a	167.7	PIONIN-C D146	d	227.5
KH ₂ PO ₄	b	141.3	PIONIN-C D147	d	184.2

a: 両性化合物 Sc: 溶解シリカ量 b: 緩衝剤 c: その他の金属塩 d: 有機物

(添加率1%)

る添加剤ほどScを大きく減少させるという傾向がある。図-4と図-5よりアルカリ濃度の減少量(以下Rcとする)については、A、B、Cでは添加率とともにほぼ直線的に増加するが、EとGではそのような傾向は見られなかった。

3.3 Scとアルカリ濃度、pHとの関係

図-6の無添加時の曲線が示すようにScは反応前のアルカリ濃度に大きく影響を受けることがわかる。このことより反応前のアルカリ濃度を下げることがScを減少させる有効な手段の一つであると考えられる。また、無添加時の曲線と添加時の曲線が一致していないことより、添加剤によるSc抑制の要因がアルカリ濃度の減少以外にもあることを示している。たとえば、可溶性珪酸アルカリが添加剤によって不溶性の珪酸塩に変化させられたのではないかと考えられる。なお、pHについても同様な結果となった。

3.4 添加剤のセメントへの影響

表-3と表-4より、セメントの規格値外となっているものはCの3%添加時の圧縮強度だけであるが、添加剤の影響がほとんどないと考えられるのはEだけという結果になった。凝結時間の減少と強度低下は添加剤そのものがセメントに影響を及ぼしているため、あるいは添加剤添加時も水量を一定として配合を変えなかったために生じたと考えられる。

4. まとめ

以上、かなりScの抑制効果をもつ添加剤が存在することが分かったが今後それらのセメントの凝結、水和後の強度に及ぼす影響についてのさらに詳しい検討、またコンクリートやモルタルの膨張試験を行なう必要がある。

最後に御協力頂いた大阪市立大学真嶋光保先生並びに大阪市立環境科学研究所の井上善介、福永勲両先生に謝意を表します。

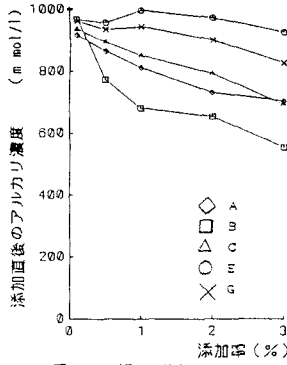


図-1 添加剤添加直後のアルカリ濃度と添加率

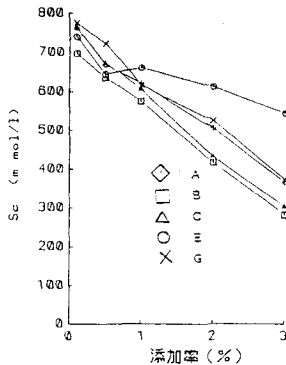


図-2 Scと添加率(砕石B)

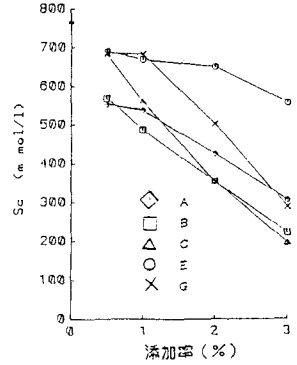


図-3 Scと添加率(砕石C)

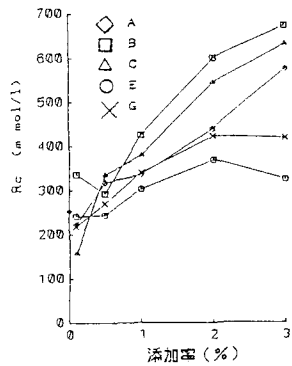


図-4 Rcと添加率(砕石B)

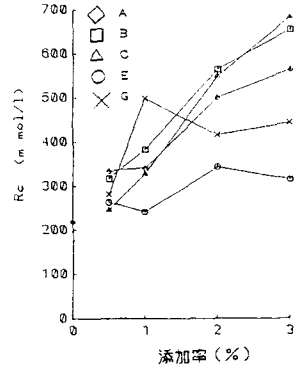


図-5 Rcと添加率(砕石C)

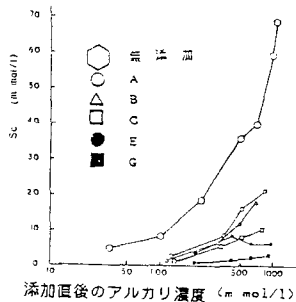


図-6 Scと添加剤添加直後のアルカリ濃度(砕石A)

表-3 凝結試験結果		
添加剤	凝結時間(h:min)	凝結時間(h:min)
無添加	3-39	4-50
(A) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	2-35	3-53
(B) $AlCl_3 \cdot 6H_2O$	1-51	3-46
(C) 27%塩化Al ₂ O ₃	1-39	3-39
(E) $Al(OH)_3$	3-06	4-46
(G) $3BaCl_2 \cdot 2H_2O$	2-20	4-00

(添加率1%)

表-4 強度試験結果		
添加剤	添加率1%時強度(MPa)	圧縮強度(MPa)
無添加	7.0 (100)	42.0 (100)
(A) $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	1 5.8 (87)	38.3 (92)
	3 5.7 (81)	36.2 (86)
(B) $AlCl_3 \cdot 6H_2O$	1 5.5 (80)	43.2 (103)
	3 5.1 (77)	34.0 (81)
(C) 27%塩化Al ₂ O ₃	1 5.8 (83)	34.2 (81)
	3 4.9 (70)	26.3 (64)
(E) $Al(OH)_3$	1 7.0 (100)	39.3 (94)
	3 5.9 (89)	37.0 (88)
(G) $3BaCl_2 \cdot 2H_2O$	1 6.9 (99)	37.5 (89)
	3 5.8 (83)	32.5 (77)

ただし()内の数字は無添加の強度を100とした時の値である