

## [1179] アルカリ種別とアルカリ量による反応性骨材を用いたモルタルの特性について

松井 祐一\*1・長瀬道雄\*2・小柳 洽\*3・浅野幸夫\*4

## 1. はじめに

アルカリ骨材反応（以下A S Rと略）によってひびわれ損傷を生じた鉄筋コンクリート部材の力学的特性については従来から種々の検討がなされてきている<sup>1)</sup>が、損傷構造物の安全性評価の必要性からは、さらに多くの検討が必要とされている。

骨材のA S R反応性の試験方法として、JIS A 5308（レディーミクストコンクリート）の付属書8に規定があり、全アルカリ量（ $R_2O$ ）を水酸化ナトリウム（NaOH）を用いてセメント量の1.2%とすることが定められている。しかしながら、コンクリートにNaOHを添加すると、強度特性や凝結特性が変化するため、付属書8のアルカリ添加の方法は、骨材の反応性を求める方法として適切であっても、A S Rによるひびわれを生じたコンクリート部材の力学特性の試験法としての適用性には問題があると考えられる。

本研究は、種々のレベルのひびわれ損傷を生じた構造部材の特性を検討するため、基準となる種々の膨張量を持つA S Rコンクリートを設定する目的を兼ねて、岐阜県産の反応性骨材を用いて添加アルカリ種別を3種類、アルカリ添加量を8種類に変化させて、モルタルバーの膨張試験に加えて、セメントペーストの凝結特性ならびにモルタルの諸特性について実験的に検討した結果を示すものである。

## 2. 実験概要

## 2.1 実験計画

対象とする骨材は反応性の大きな角閃安山岩を含むものである。添加アルカリには、予備実験の結果<sup>2)</sup>をもとに、NaOHのほか、亜硫酸ソーダ（ $Na_2SO_3$ ）、塩化ナトリウム（NaCl）の計3種類を用いた。それらの添加量は、全アルカリ量としてセメントの0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 1.8%の5段階とした。なお、アルカリ無添加のものについても試験を行った。

試験は、化学法による骨材のアルカリシリカ反応性試験、モルタルバー法による材令1年に至るまでの膨張量の経時変化、ならびに材令7日および28日の曲げおよび圧縮強さに加えて、セメントペーストによる凝結時間（全アルカリ量 0.8, 1.2, 1.8%のみ）を求めて、アルカリ種別ならびにその添加量の影響について検討した。

## 2.2 使用材料

(1) 骨材 岐阜県吉城郡上宝村地内の高原川産から採取した砂、砂利および角閃安山岩砕石であり、それらの物理的性質を表-1に示す。ここで、角閃安山岩は粒径が100~500mm程度のも

\*1 岐阜大学大学院 工学研究科土木工学専攻（正会員）

\*2 岐阜市役所

\*3 岐阜大学教授 工学部土木工学科、工博（正会員）

\*4 岐阜県生コンクリート工業組合技術センター所長

表-1 骨材の物理的性質

種 別	粗粒率	表乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (Kg/l)	実積率 (%)	閃安山岩の混入率 (%)
砂	2.78	2.63	1.21	1.78	68.5	—
砂利 5~25mm	6.90	2.68(2.66)	0.78(1.35)	1.59	59.8	5.2
角閃安山岩	6.12	2.48(2.54)	3.64(2.92)	—	—	—

( )内はモルタルバー法の粒度に調整した試料の値を示す。

表-2 セメントの物理的性質

比重	粉末度 比表面積 (cm <sup>2</sup> /g)	凝 結			安定性	フロー値	強 さ (kgf/cm <sup>2</sup> )					
		水量 (%)	始発 (h-m)	終結 (h-m)			圧 縮			曲 げ		
							3日	7日	28日	3日	7日	28日
3.14	3560	27.1	2-13	2-54	良	240	154	261	422	39	55	72

のをジョークラッシャーで破碎して、5~20mmの粒径に調整した碎石の値である。

(2) セメント セメント協会研究所によるアルカリシリカ反応性試験用普通ポルトランドセメントを用いた。物理的性質およびアルカリ含有量をそれぞれ表-2および3に示す。

表-3 セメントのアルカリ含有量

アルカリの種類	アルカリ含有量
Na <sub>2</sub> O	0.29 %
K <sub>2</sub> O	0.59 %
全アルカリ (Na <sub>2</sub> O換算)	0.68 %
Na <sub>2</sub> O(%) / K <sub>2</sub> O(%)	1.0 / 2.0

(3) 添加アルカリ 添加アルカリの試薬は NaOH、Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>・7H<sub>2</sub>O、NaClであり、いずれも特級を用いた。なお、NaOHおよび全アルカリ量1.8%の凝結試験の場合は2Nの水溶液、その他は1Nの水溶液を用いた。

(4) 水 上水道水を用いた。

### 2.3 実験方法

(1) 骨材試料の作成 実験に用いた骨材試料の種類を表-4に示す。これらの骨材試料は表-1の砂利ならびに角閃安山岩の碎石をさらに粉碎したものである。すなわち、モルタルバー法および強さ試験用の試料は、表中の試料の種類ごとにJIS A 5308の付属書8に規定のモルタルバー法の粒度に調整した後、それぞれを秤量合成して所定の混合比としたものを用いた。なお、試

表-4 骨材試料の種類

記号	試 料 の 種 別 内 容	混合比(%)		
		S	G	D
S	使用状態の砂で、モルタルバー法の粒度にしたもの	100		
G	砂利を粉碎、粒度調整して砂としたもの		100	
D	角閃安山岩を粉碎、粒度調整して砂としたもの			100
B	粒度調整後のGとDを混合したもの		85	15
M	SとBを混合したもの	50	42.5	7.5

表-5 添加アルカリの種類、全アルカリ量による試験の組み合わせ

試料	添加アルカリの種類	全アルカリ量 (Na <sub>2</sub> O, %)	実験区
S	NaOH	1.2	モルタルバー法のみ
G			
D			
B			
M	無	0.68	モルタルバー法 および 強さ試験
	NaOH	0.8, 1.0, 1.2, 1.5, 1.8	
	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>		
	NaCl		

料Bの混合比は、別途に行った試験<sup>3)</sup>によりこの角閃安山岩のペシマムが約20%であることと、砂利(試料G)中の角閃安山岩の含有量とを考慮して定めたものであり、試料Mは粗・細骨材比を50:50としたものである。参考文献3)中のペシマム量に関する試験結果を図-1に示す。

化学法のための試料は、それぞれのモルタルバー法の試料を微粉碎して調整した。

#### (2) アルカリシリカ反応性試験

化学法はJIS A 5308の付属書7によった。なお、溶解シリカ量の定量法は重量法と原子吸光法によった。

モルタルバー法および強さ試験用のモルタルの配合および作成は前記付属書8によった。添加アルカリの種類、全アルカリ量による試験の組み合わせを表-5に示す。供試体寸法は4×4×16 cmであり、供試体の作成数は1試験当たり3本とした。

供試体の養生は、強さ試験の場合は温度20℃、RH90%の室内で試験時材令まで気中養生を行い、モルタルバー法では、前記室内で1週間養生の後、ステンレス製の密閉容器(9本収納、容器の底部に水を張ったもの)に供試体を移し、温度40℃、RH95%以上に制御した恒温槽内で行った。

(3) 凝結試験 セメントペーストによる始発および終結時間を測定した。練り混ぜ水量は、添加アルカリの無い場合の標準軟度から決定した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 アルカリシリカ反応性試験

化学法の試験結果は表-6のとおりである。いずれもScがRcより大きく、JIS A 5308の付属書7によれば、これらの骨材は無害ではないと判定される。また、ASTM C 289によれば、図-2に示すようにこれらの骨材はすべてdeleteriousの領域にある。

モルタルバー法による試験結果をまとめて図-3に示す。各種試料の試験では、角閃安山岩単味の試料Dの膨張がむしろ少なく180日の膨張量がちょうど0.1%であり、他はいずれも180日ですでに0.1%を超えている。膨張特性は試料S, B, Mの場合はほぼ同じであり、試料Dがやや

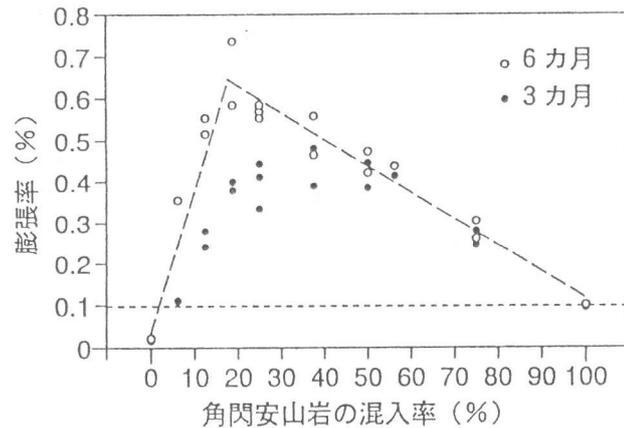


図-1 ペシマム量に関する試験結果

表-6 化学法の試験結果

試料	アルカリ濃度減少量 R c (mmol/l)	溶解シリカ量 S c (mmol/l)		S c / R c	
		重量法	原子吸光法	重量法	原子吸光法
S	40	248	234	6.2	5.9
G	46	121	122	2.6	2.7
D	106	335	344	3.2	3.2
B	59	225	231	3.8	3.9
M	58	252	252	4.3	4.3

小さい。このことは、試料S中の反応性物質の割合がBと同程度であったと推測される。アルカリ無添加の場合は、90日では膨張量が0.05%以下であるが、90日以降の膨張が大きく、120日ではほぼ0.1%、180日では0.2%となった。

アルカリを添加した場合には、いずれもアルカリ添加量の増加につれて材令の進行と共に膨張量が大きくなる。全般的に、アルカリ添加量が大きくなると28日から90日の間の膨張量が大きくなっている。また、アルカリ種別で比較すると、アルカリ添加量が1.2%以下ではNaOH添加の場合とNaCl添加の場合の膨張特性はほぼ同様であるが、1.5%を超える大量添加ではNaCl添加の膨張量が大きくなった。Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>添加では、

1.0%以下の場合の膨張量は他の2者の場合に比べて膨張量が小さいが、1.2%以上では大きくなり、NaOHの場合を超えてNaClとほぼ同等になり、1年での膨張量はNa<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>、NaClともにほぼ1%となった。

これらの結果より、ここで対象とした骨材においては、アルカリ添加量を増加させて膨張量を大きくする上では、NaOHよりむしろNa<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>やNaClの使用が適当だと考えられる。

### 3.2 強さ試験結果

材令7日および28日の曲げおよび圧縮強さ試験の結果をまとめて図-4に示す。Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>およびNaClの場合は大量に添加しても強度特性はほとんど変わらず、NaCl添加ではむしろ大きくなる傾向も見られるが、NaOHの場合は添加量が大きくなるほど強度低下がみられ、特に圧縮強さの低下は線形的に著しく、1.8%の添加では無添加に比べて圧縮強さがほぼ60%となった。これより、アルカリとしてのNaOHの大量添加は、コンクリートの強度特性を変化させることが問題点として挙げられる。

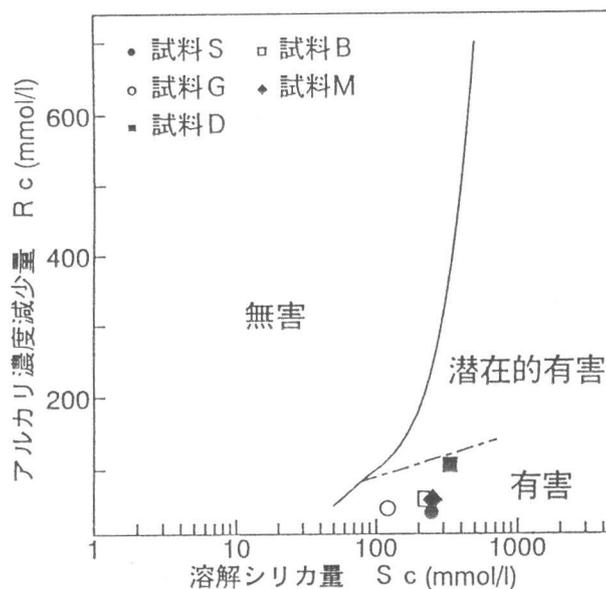


図-2 ASTMの判定区分

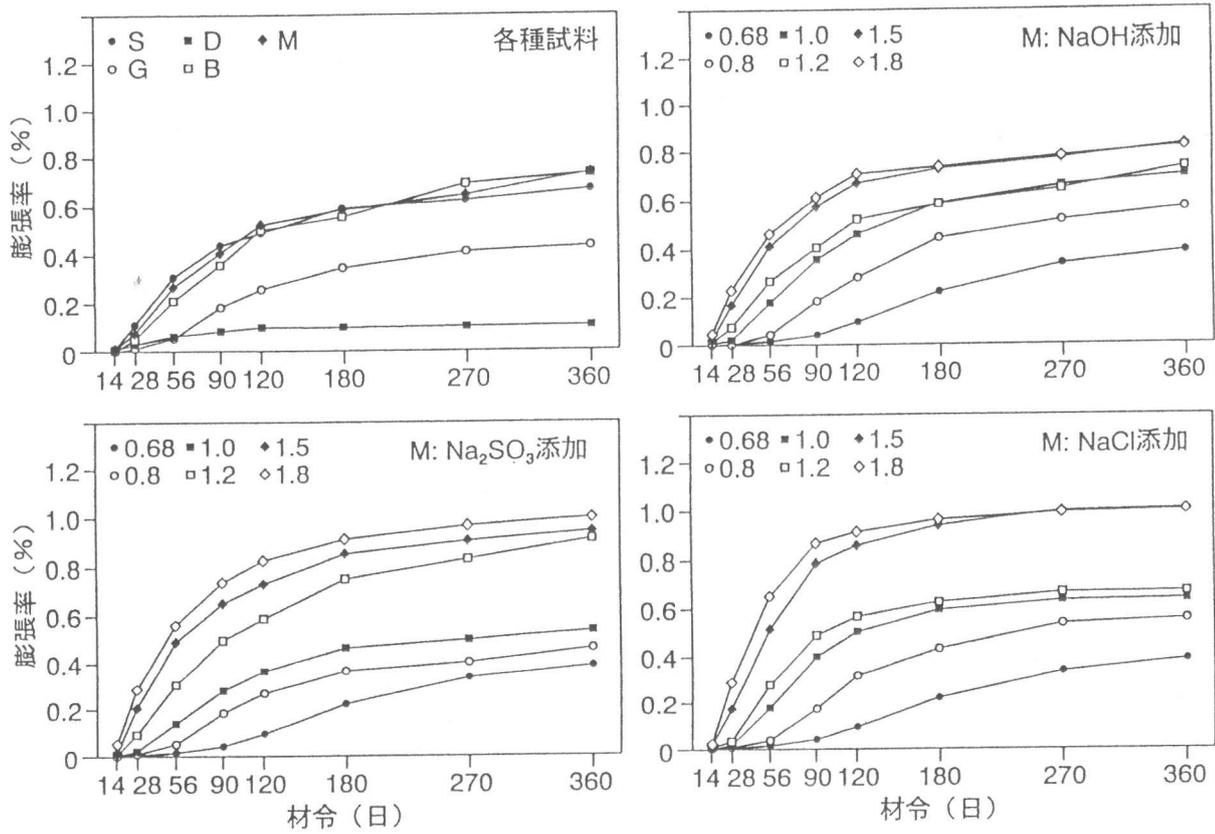


図-3 モルタルバー法による試験結果

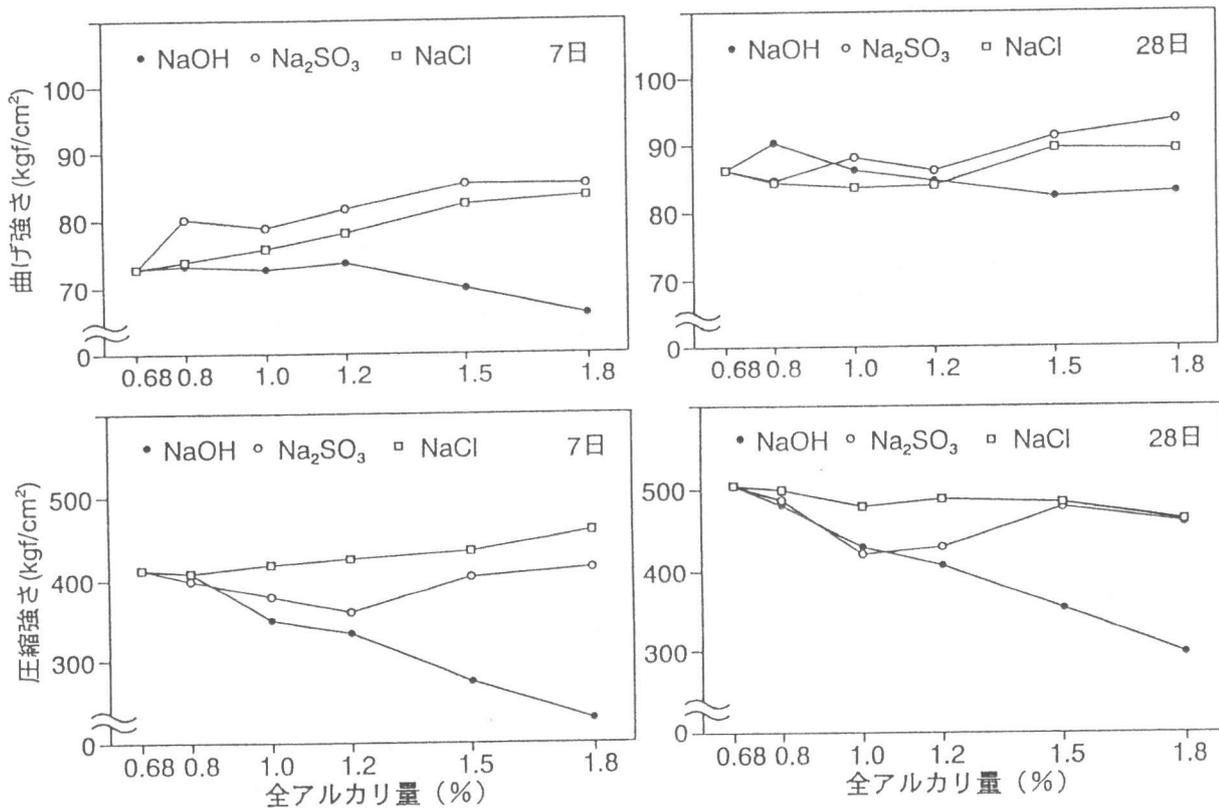


図-4 曲げおよび圧縮強さ試験の結果

アルカリ		凝 結 時 間 (h)							
種 類	量(%)	1	2	3	4	5	6	7	8
	0.68	始発 ————— 終結							
NaOH	0.8	—————							
	1.2	—————							
	1.8	—————							
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	0.8	—————							
	1.2	—————							
	1.8	—————							
NaCl	0.8	—————							
	1.2	—————							
	1.8	—————							

図-5 セメントペーストによる凝結試験結果

### 3.3 凝結試験結果

セメントペーストによる凝結試験結果を図-5に示す。NaOHの場合は、添加量が1.2%では影響がないが、1.8%と多くなると凝結が1時間以上早くなっている。Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>では大量添加によってむしろ凝結が3時間以上遅延した。NaClでは従来から知られているように、やや凝結が早くなる傾向にあった。

### 4. おわりに

ASRによるひびわれ損傷を生じた構造部材の特性を検討するため、基準となる種々の膨張量を持つASRコンクリートを設定する目的から、角閃安山岩を含む反応性骨材を用いて3種類のアルカリ種別(NaOH、Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>、NaCl)の最大1.8%までの等価アルカリ量におけるモルタルバーの膨張試験を中心にして、凝結特性やモルタルの強度特性について検討した。

モルタルバーによる膨張試験では、アルカリの大量添加における膨張量の大きいものはNa<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>およびNaClであり、添加量1.8%において1年の膨張量は約1%であった。

モルタルの強度試験より、NaOHの添加は強度低下をもたらすことが問題点として挙げられた。

セメントペーストの凝結試験結果より、NaOHの大量添加はやや瞬結の傾向にあり、一方Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>の大量添加は始発・終結ともに著しく遅延することが認められた。

ここで行った試験結果より、大量添加によって膨張量が大きく、強度特性ならびに凝結特性には大きな影響を与えないアルカリ種別としてNaClが最適であることとなった。しかしながら、鉄筋コンクリートの部材特性の検討を対象とした場合には、NaClによる鉄筋の発錆が問題となるため、この点についての考慮が必要であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 例えば、小柳、六郷、内田、長瀬；著しいAAR損傷を生じたRCはりの挙動、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 15 No. 1 pp. 947~952, 1993
- 2) 山本、松本、小柳；アルカリ種別とコンクリートの諸物性について、土木学会第45回年次学術講演会講演概要集、第5部 pp. 514~515, 1990
- 3) 「アルカリ量による膨張抑制効果の確認について」実験結果報告書、岐阜県生コンクリート工業組合技術センター、(1991.2.22)