

# [35] 各種骨材のアルカリ反応性(化学法)に関する実験的検討

蒔田 実 (建設省土木研究所)  
 正会員 片脇 清士 (建設省土木研究所)  
 正会員 ○守屋 進 (建設省土木研究所)

## 1. まえがき

ここ数年来、アルカリ骨材反応によると思われるコンクリート構造物の異常な劣化が西日本を中心として各地で散見されている。この原因はある種の骨材がセメント中のアルカリと反応するためであるといわれている。このため、コンクリート構造物の新設に際しては使用する骨材のアルカリに対する反応性の有無を調べる必要が生じてきた。

骨材のアルカリに対する反応性を判断する試験法としてASTM C227 (モルタルバー法)と同じくC289 (化学法)が広く行われている。しかしながら、これらASTMの試験法が我が国の骨材のアルカリに対する反応性を判断する方法として必ずしも最適な方法であるとは限らない。すなわち、ASTM化学法においては骨材の粒度調整、反応時間、反応温度などの反応条件が骨材のアルカリ反応性とどのような関係にあるのか必ずしも明確になっていないのが現状である。

このような観点から、本報告はASTM化学法における各反応条件と骨材のアルカリ反応性の関係を調べるための実験的検討を加えたものの中間報告である。

## 2. 実験方法

骨材のアルカリ反応性実験はASTM化学法に準拠して行った。

### 2.1 骨材

本実験に使用した骨材は、瀬戸内産のサヌカイト質安山岩(骨材A)と九州産輝石安山岩(骨材B)及び愛知県鳳来寺産真珠岩と北海道十勝産黒曜岩の4種類である。これらの骨材のX線回折チャートを図-1に、またASTM化学法の試験結果を図-2に示す。

### 2.2 アルカリ反応性実験

#### (1) 粒度

20mm程度の碎石を粉砕して作った砂をモルタルバー法で指定されている各粒度(5mm~2.5mm, 2.5mm~1.2mm, 1.2mm~0.6mm, 0.6mm~0.3mm, 0.3mm~0.15mm)とそれ以下の粒度(0.15mm以下)に粒度調整を行った各粒度のもの(1次調整砂),及び前記骨材の0.3mm以上の各粒度の砂を再粉砕してそれぞれ0.3mm~0.15mmに調整したもの(2次調整砂)について、80℃で24時間1規定の水酸化ナトリウム

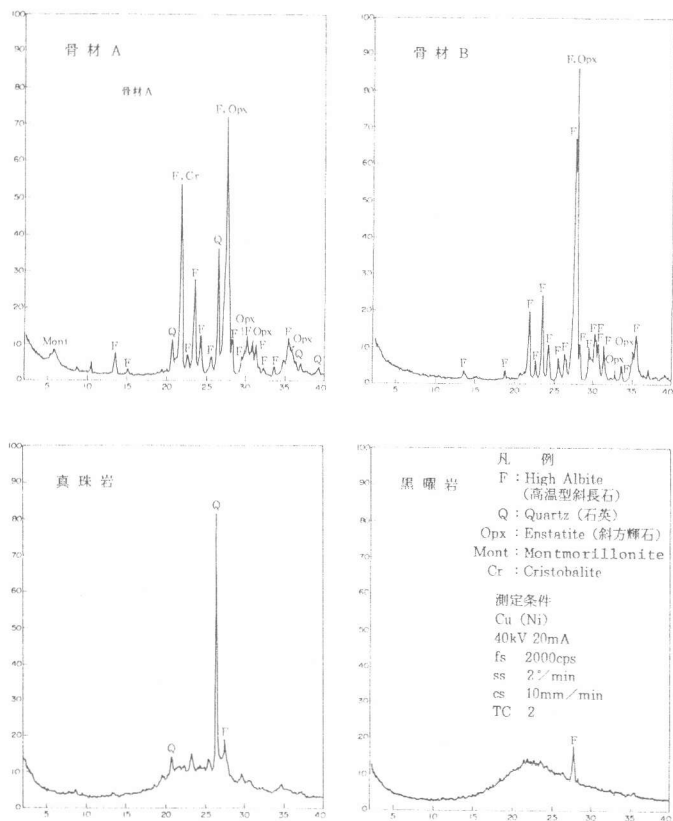


図-1 骨材のX線回折チャート

と反応させて、骨材の粒度とアルカリ反応性との関係を調べた。(骨材Aで実施)

(2)反応時間

化学法で指定されている粒度(0.3mm~0.15mm)に調整した骨材を80℃で1規定の水酸化ナトリウムと1~96時間反応させ骨材のアルカリ反応性と反応時間の関係を調べた。(4種類の骨材で実施)

(3)反応温度

化学法で指定されている粒度に調整した骨材を反応温度40, 60, 80, 100, 120℃で24時間1規定の水酸化ナトリウムと反応させ骨材のアルカリ反応性と反応温度の関係を調べた。(骨材A, Bで実施)

(4)振とう

化学法で指定されている粒度に調整した骨材を80℃で24時間1規定の水酸化ナトリウムと反応させる際に、反応容器を0, 100及び140rpmで振とうさせ骨材のアルカリ反応性と振とうとの関係を調べた。(骨材A, Bで実施)

(5)アルカリの種類

化学法で指定されている粒度に調整した骨材を80℃で24時間1規定の水酸化ナトリウム及び水酸化カリウムと反応させ、骨材のアルカリ反応性とアルカリの種類との関係を調べた。(4種類の骨材で実施)

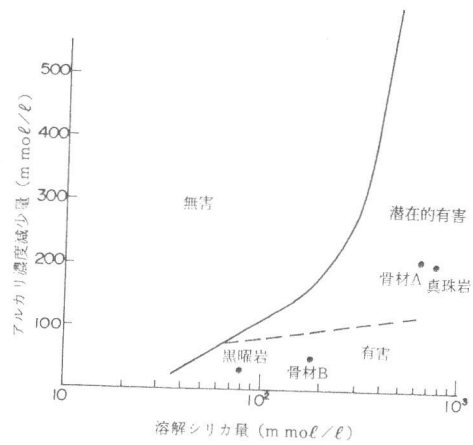


図-2 ASTM化学法による判定

3. 実験結果及び考察

3.1 粒度

実験結果を表-1に示す。1次調整砂は粒度が細くなるに従ってアルカリ濃度減少量及び溶解シリカ量は共に増大している。一方、1次調整砂を粒度ごとに再粉碎して0.3mm~0.15mmに粒度調整した2次調整砂では、いずれの粒度も、アルカリ濃度減少量及び溶解シリカ量は共にほぼ同じ値を示している。これらのことから、骨材Aにおいては1次調整砂はいずれの粒度でも質的にはそのアルカリ反応性に差はなく、ただ、粒径による反応表面積の影響があるだけと考えられる。すなわち、骨材Aでは粉碎時に反応性物質が特定の粒度に集中することはないと考えられる

3.2 反応時間

96時間までのアルカリ濃度減少量の結果を図-3に、溶解シリカ量の結果を図-4に示す。アルカリ濃度減少量は100時間までの範囲では増加の傾向がある。一方、溶解シリカ量は100時間までの範囲では4種類の骨材はいずれも増加の傾向にあるが、増加傾向にはそれぞれ特徴がある。すなわち、骨材Aは24時間で、骨材Bは72時間で、真珠岩は48時間でほぼシリカの溶出反応は平衡に達しているように思われるが、黒曜岩だけはまだ平衡に達しておらず、なお増加する傾向を示している。これらのことから、骨材Aを除いた他の3種類の骨材ではシリカの溶出反応は24時間ではまだ平衡に達しておらず変化の途中にある。従って、骨材のアルカリ反

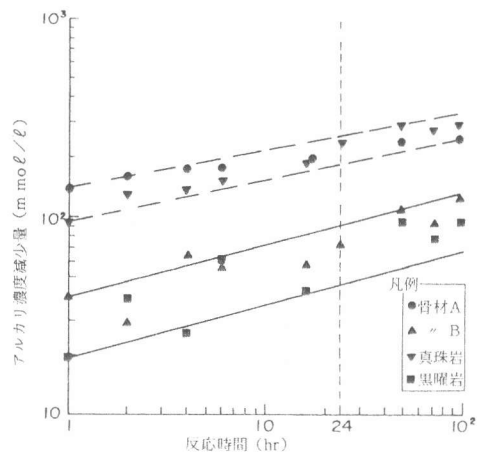
表-1 粒度ごとのアルカリ反応性(骨材A)

粒 度	アルカリ濃度減少量 (mmol/l)		溶解シリカ量 (mmol/l)	
	1次調整砂	2次調整砂	1次調整砂	2次調整砂
5mm ~ 2.5mm	198	242	539	771
2.5mm ~ 1.2mm	212	210	696	783
1.2mm ~ 0.6mm	187	257	714	759
0.6mm ~ 0.3mm	252	277	777	704
0.3mm ~ 0.15mm	241		748	
0.15mm以下	303		767	

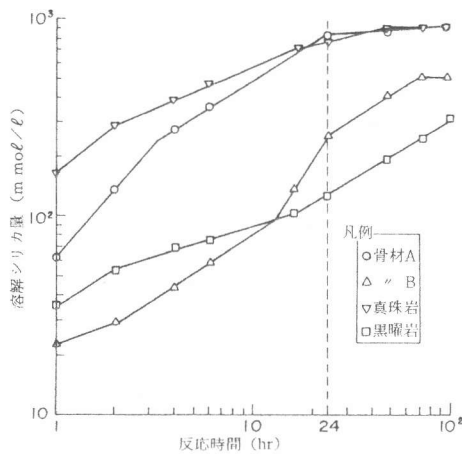
応性は骨材ごとに著しく異なり反応時間を一律に24時間とすることは必ずしも適当ではないと思われる。

### 3.3 反応温度

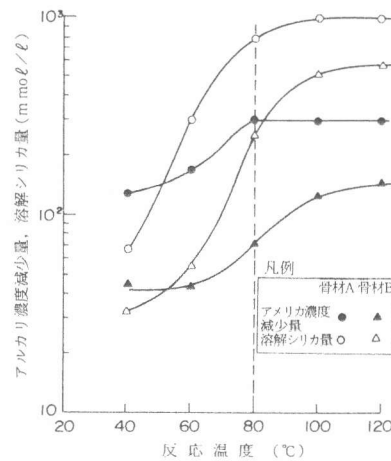
実験結果を図一5に示す。アルカリ濃度減少量及び溶解シリカ量は温度と共に増加の傾向にあるが、アルカリ濃度減少量は骨材Aでは80℃でほぼ一定となっているが、骨材Bでは100℃でもまだいくぶん増加の傾向にある。一方、溶解シリカ量は骨材Aでは100℃でほぼ一定となっているが、骨材Bでは100℃でもまだいくぶん増加の傾向にある。これらのことから、モルタルバー法の養生温度に近い40℃に比べると80℃は非常に大きな促進条件となっているが、80℃でもまだ十分に反応が終っていないので120℃で骨材のアルカリ反応性を調べることが望ましいと思われるが、120℃の試験ではオイルバスの使用や高温に対する実験上の注意が必要となるなどあまり実用的な試験ではなくなってしまうので反応温度は80℃で行い、その他の条件で反応を十分に起させる方が良くと思われる。



図一3 アルカリ濃度減少量の時間変化



図一4 溶解シリカ量の時間変化



図一5 アルカリ反応性と反応温度

### 3.4 振とう

実験結果を表一2に示す。アルカリ濃度減少量は骨材A, B共に振とうの影響はまったく受けていない。一方、溶解シリカ量は骨材A, B共に振とう数の増加と共に大きく増加している。すなわち、振とうしないものに比べ振とう数140 rpmでは骨材Aで約20%, 骨材Bで約40%増加している。これらのことから、振とうはシリカの溶出反応を促進させる効果が大きいことが明らかとなった。

### 3.5 アルカリの種類

実験結果を表一3に示す。水酸化ナトリウムに比べ水酸化カリウムではアルカリ濃度減少量は骨材Aで約40%, 骨材Bで約25%減少しているが、真珠岩では約15%, 黒曜岩で約120%の増加を示している。一方、溶解シリカ量は真珠岩がほとんど変わっていないのを除けば、骨材Aで約65%, 骨材Bで約85%, 黒曜岩で約65%

減少している。これら  
 のことから、骨材ごと  
 に水酸化ナトリウムと  
 水酸化カリウムに対す  
 る反応性は著しく異な  
 っていることが明らか  
 となった。すなわち、  
 セメント中のアルカリ  
 量を評価する際カリウ  
 ムは単にモル比 ( $\text{Na}_2\text{O}$

表-2 アルカリ反応性と振とう

	振とう数 r.p.m.	骨材A	骨材B
アルカリ 濃度減少量 (mmol/l)	0	301	71.3
	100	301	67.3
	140	303	75.8
溶解 シリカ量 (mmol/l)	0	780	257
	100	923	316
	140	949	358

表-3 アルカリ反応性とアルカリの種類

項目 アルカリ 試料	アルカリ濃度減少量 (mmol/l)		溶解シリカ量 (mmol/l)	
	NaOH	KOH	NaOH	KOH
骨材A	301	182	780	284
骨材B	71.3	54.5	257	38.5
真珠岩	241	277	701	697
黒曜岩	30.4	67.5	116	42.2

／ $\text{K}_2\text{O}$ ) 0.658 を掛けているが、骨材ごとにナトリウムとカリウムの反応性が著しく異なっているため、セメント中のアルカリ量を評価する上でカリウムをこのように扱うことは必ずしも適当ではないと思われる。

#### 4. まとめ

骨材とアルカリとの反応条件に関する一連の実験より以下のことが明らかとなった。

(1)骨材Aは粉砕の過程で骨材中にある反応性物質が特定の粒度に分配されることはなく粒度によるアルカリ反応性に質的な差はない。

(2)骨材のアルカリ反応性は骨材ごとに反応時間による違いが著しいので24時間という反応時間は必ずしも適当ではない。

(3)骨材のアルカリ反応性は温度による影響を大きく受け、温度が高いほど反応はより一層促進されるが、実験操作上は80℃が実用的である。

(4)反応容器を振とうすることは骨材とアルカリとの反応を非常に促進させる。

(5)骨材ごとに水酸化ナトリウムと水酸化カリウムに対する反応性はまったく異なっているため、セメント中のアルカリ量を評価する際にはナトリウム等価量に換算する次式は再検討を要すると思われる。



以上のことから、ASTM化学法はモルタルバー法に比べて短い時間で骨材のアルカリ反応性を知ることができるという点ですぐれた試験法ではあるが、今回の一連の反応条件に関する実験結果より、化学法にはいくつかの問題点のあることが明らかとなった。