

[36] 各種アルカリがアルカリ骨材反応に及ぼす影響

正会員 小林 茂敏 (建設省土木研究所)  
 正会員 小野 金造 (建設省土木研究所)  
 正会員 ○河野 広隆 (建設省土木研究所)  
 佐々木一郎 (土木研究センター)

1. まえがき

コンクリート中のアルカリ骨材反応(以下AARと略す)に影響する要因は種々あり、その反応機構、膨脹機構の解明が急がれている。このうちコンクリート中のアルカリイオンのAARに対する影響を把握することはAAR判別試験法、特にモルタルバー法を改良する上で、またAAR抑制手法を確立する上で重要である。このためアルカリイオンの種類、アルカリイオンの添加化合物の形態およびその量を変えて作成したモルタルバーを用いた膨脹量測定を行うことによりその影響を把握する実験を行った。ここにその結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 使用材料

表1に使用した骨材の種類を示す。A1~A4の骨材はいずれも反応性のある

表1. 骨材種類

骨材No.	A 1	A 2	A 3	A 4	A 5
骨材種	真珠岩	黒曜石	反応性輝石安山岩A	反応性輝石安山岩B	川砂

とされているものである。骨材は破碎後 ASTM C 227の細骨材粒度に合うように粒度調整した。表2に使用した普通ポルトランドセメントのアルカリ量を示す。 $K_2O$ の $Na_2O$ への等価換算係数は0.658としてアルカリ量を $Na_2Oeq$ で算出した。

表2. セメントのアルカリ量

セメントNo.	C 1	C 2	C 3	C 4	C 5
a) $Na_2O$	0.54	0.42	0.29	0.24	0.18
b) $K_2O$	0.74	0.73	0.72	0.47	0.22
c) $Na_2O eq= \%$	1.03	0.89	0.76	0.54	0.32
d) a)/b) %	52	47	38	44	56

2.2 供試体の作成

モルタルバーは4x4x16cmのものを用い、その両端に長さ変化測定用のチップを埋め込んだ(測定有効長=140mm)。フローの測定及び締固めは JIS R 5201 に準じて行い、各配合3本づつ供試体を作成した。

2.3 養生及び長さ変化測定方法

供試体は打設後24hrの脱型時までは $20 \pm 2^\circ C$ , RH>95%の湿気箱中で養生し、脱型後 $38 \pm 2^\circ C$ , RH>95%の湿気箱中で養生した。所定の材令で1/1000mmゲイヤーゲージにより長さ変化を測定した。

2.4 配合

配合は下記の要因の影響を調べるために表3のように変化させた。

シリーズI: A1~A5の骨材、C1~C5のセメントを用いセメント中のアルカリ量と各骨材を用いたモルタルの膨脹量との関係を調べる。

シリーズII: A3の骨材についてC1~C5のセメントを用い、細骨材に対して絶乾重量の0.3, 0.1, 0.04wt%のNaClを加えることによりNaイオン、Clイオンの影響を調べる。

シリーズIII: シリーズIで反応性の高いことが確認されたA1およびA3骨材についてNaCl, NaOH, CaCl<sub>2</sub>

表3 各シリーズ配合

	水量	フロー	S/C	変化要因
シリーズI	W/C 変化	一定	2.25	アルカリ量変化
シリーズII	W/C 変化	一定	2.25	NaCl添加
シリーズIII	W/C 一定	一定	2.25	NaCl, NaOH, CaCl <sub>2</sub> , KOH 添加、アルカリ量一定
シリーズIV	W/C 変化	変化	2.25	アルカリ量/m <sup>3</sup> 変化
	W/S 一定			
	W/C 一定			

フロー一定は 180 ~ 190mmの範囲

を添加し、各イオンの膨脹量への影響を調べる  
 シリーズIV：A1, A3, A4の骨材についてC1セメントを用いW/C, S/C等を変え、モルタルの単位体積あたりのアルカリ量を変化させることによりモルタルの膨脹量の変化を調べる。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 シリーズI

図1にシリーズIの代表例としてA4骨材とC1~C5のセメントの組み合わせで製作したモルタルの各材令での膨脹量を示す。他の骨材でもほぼこれと同様に若材令では収縮を生じ、その後膨脹に転じている。20週経過後では低アルカリ量のセメントでの膨脹速度は低下の傾向にあるが高アルカリ量のセメントでは低下の傾向は顕著でない。初期の収縮は硬化収縮と乾燥収縮によって生じているものと考えられる。養生方法によっては初期収縮が生じない場合もあるが、このことについては別の発表にゆずる<sup>9)</sup>。図2にA1~A4の骨材、C1~C5のセメントを用いたモルタルの  $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$  と20週における膨脹量の関係を示す。全体的にはアルカリ量の増大とともに膨脹量は大きくなる傾向にある。黒曜石ではアルカリ量が変化しても膨脹量に大きな変化はみられないが、真珠岩と輝石安山岩系のA4ではアルカリ量の変化に対して比較的敏感なようであり、セメント中のアルカリ量が1%を越えると著しい膨脹量の増大がみられる。

#### 3.2 シリーズII

図3にシリーズIIの一例としてA3骨材を用い、NaClを添加したモルタルの材令8週での実験結果を示す。NaClの添加量の増大とともに膨脹量が増しており、この傾向はアルカリ量の多いセメントを用いた場合に著しくなっている。この結果からだけではNaの増加による効果かClの促進効果かは見極めることはできないが、海砂等からの塩分の混入はその量が

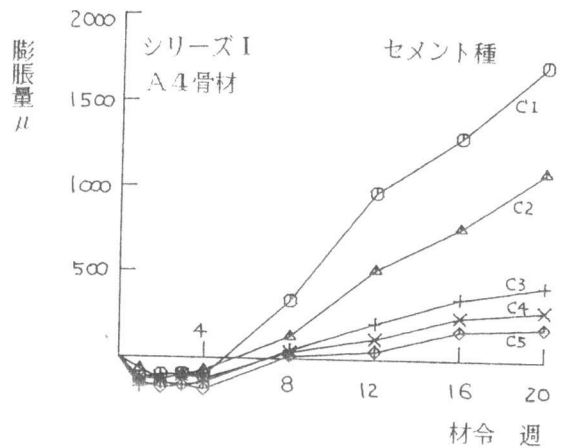


図1 材令と膨脹量

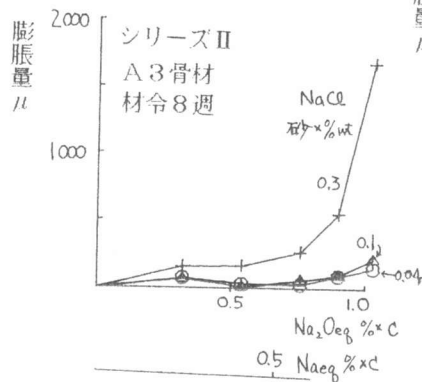


図3 NaCl添加の影響

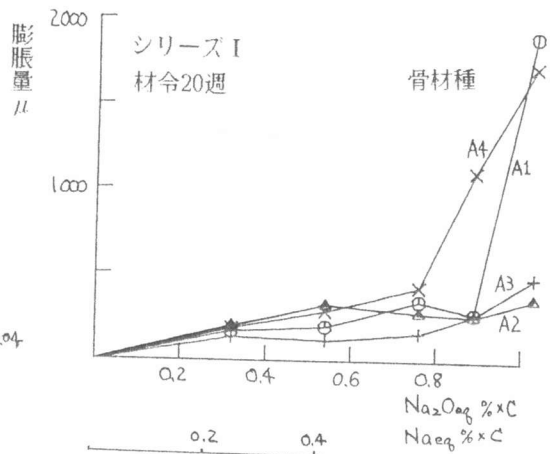


図2 セメント中のアルカリ量と膨脹量

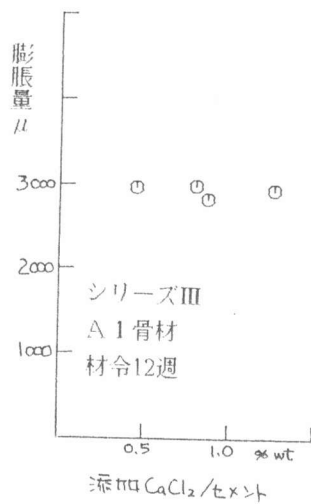


図4  $\text{CaCl}_2$  添加の影響

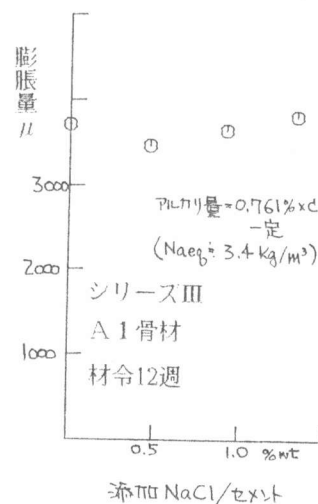


図5 NaCl 添加の影響

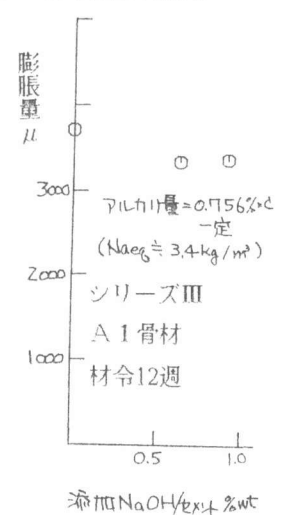
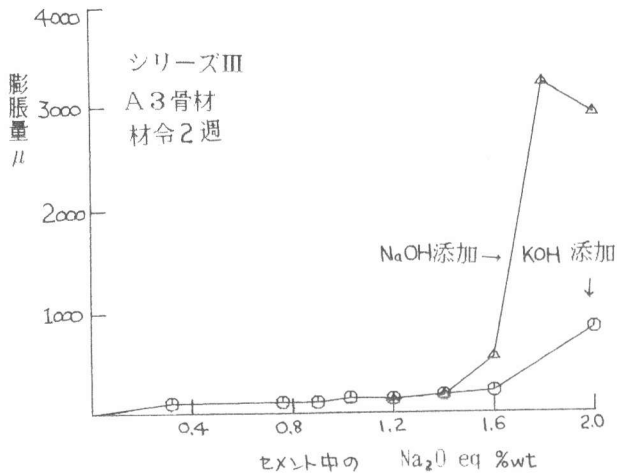


図6 NaOH 添加の影響



$$\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{K}_2\text{O}} = 0.658 \text{ として計算}$$

図7 NaとK 添加の影響

多くなるとAARに大きな影響を及ぼす可能性があると考えられる。

### 3.3 シリーズIII

図4はA1骨材、C1セメントを用いた一定配合のモルタルにCaCl<sub>2</sub>を添加した場合のCaCl<sub>2</sub>の添加量と12週における膨脹量の関係を示したものである。Caはセメントペースト中に飽和しているものであり、アルカリ骨材反応にはほとんど関係しないと考えられるため、この図からはClイオンのアルカリ骨材反応への影響をみることができるが、この図からはClイオンにはアルカリ骨材反応促進効果はないといえる。

図5はNaClを添加しアルカリ量がNa<sub>2</sub>Oeq=0.761%(xC)の一定量となるよう調整したA1骨材モルタルの12週における膨脹量とClイオンの量との関係を示す。この図からもこのアルカリ量ではClイオンはアルカリ骨材反応を促進する効果はなく、しかもセメント中のNaと後から添加した塩分のNaとはほぼ同等の影響を有するといえるようである。図6はNaOHを添加しアルカリ量がNa<sub>2</sub>Oeq=0.756%(xC)となるよう調整したA1骨材モルタルの12週における膨脹量と添加したNaOH量との関係を示す。この図からもアルカリ量を一定とした場合にはセメント中のアルカリと後から添加したアルカリの効果にはあまり差がないといえる。

図7はKOHとNaOHを添加してアルカリ量を増した場合の膨脹量を示す。アルカリ量1.03%以下はセメントのアルカリだけで、NaとKが混在している。1.2%以上ではKOHとNaOHをそれぞれ単独で添加している。この図から1.4%までのアルカリ量ではNaとKに効果の差はないが、1.6%以上では著しい差がでていことがわかる。

### 3.4 シリーズIV

図8, 9, 11にA1, A3, A4骨材を用いたモルタルの単位体積あたりのアルカリ量(以下単位アルカリ量と略す)と膨脹量の関係を示す。このシリーズではW/C, S/C等を変化させることによって単位ア

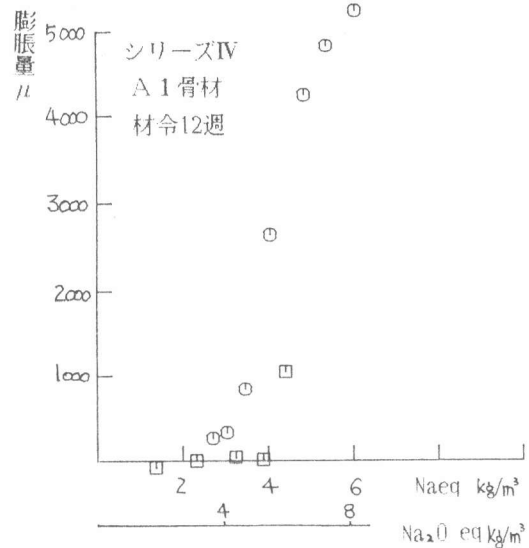


図8 モルタル中の単位アルカリ量と膨脹量

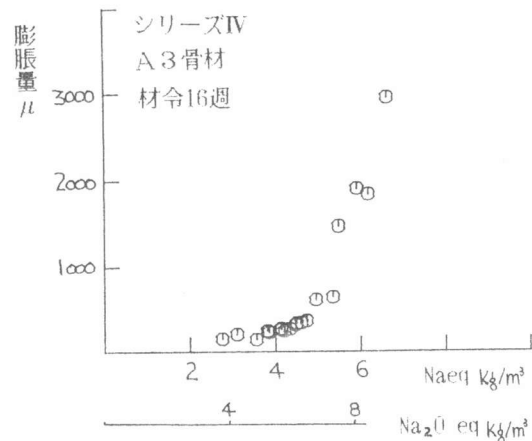


図9 モルタル中の単位アルカリ量と膨脹量

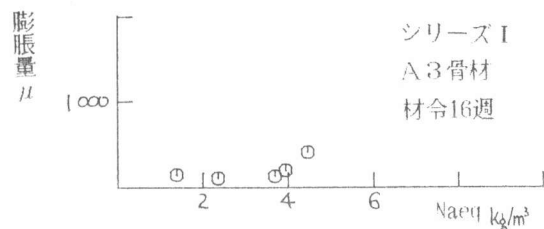


図10 モルタル中の単位アルカリ量と膨脹量

ルカリ量を変化させているが、これらを見るとW/C,S/C等と膨脹量とは直接的な相関はなく、膨脹量は単位アルカリ量によって一義的に決まるようである。これまでの報告では現場でのアルカリ骨材反応によるコンクリートの膨脹はW/C等の配合によってかなり影響を受けるとされているものもあるが、本実験で行ったモルタルバー法ではこうした影響はみられないようである。また、A1, A3, A4の骨材によらず、ある単位アルカリ量を越えると著しく膨脹量が大きくなる傾向にあり、材令が異なるので一概にはいえないがこの値はA1, A4, A3の順で小さく、この値は骨材特有のアルカリに対する敏感度のようなものを示すものと考えられる。シリーズIとシリーズIVとを同じ条件で比較してみると図10のようになりセメントが異なっても図9とほぼ同様の線にのり、単位アルカリ量で膨脹量がきまるようである。

図12はA3骨材を例にとってシリーズI、シリーズIIとシリーズIVのモルタルバーの12週の膨脹量をセメント中のアルカリ量と後からNaClとして添加したアルカリ量の総量と対比させて示す。Naeqが $2.5\text{kg/m}^3$ 以下の低濃度ではNaの形態にかかわらずNaの総量によって膨脹量が決まるようであるが、単位アルカリ量が大きくなるとセメント中のアルカリの効果とNaClとして添加したアルカリの効果が変わってくるようである。これはシリーズIIIで述べたKの効果の換算係数の過大な見積りが影響していると考えられる。

以上、図7-12を総括すると、低アルカリ量ではNaとKに効果の差はないが、高アルカリ量では著しい差が生じており、アルカリ量によってKの換算係数を別に定めなければならないと考えられる。

#### 4. まとめ

上記の結果は比較的短期のモルタルバーによる膨脹量試験から得られたもので、条件としては限られたものであるが、本研究から得られた知見としては次のものがあげられる。

- 1) アルカリ骨材反応に対しセメント中のアルカリだけでなく、外部からのアルカリイオンも影響する。
- 2) Clイオンにはアルカリ骨材反応への影響はない。
- 3) 比較的低いアルカリ量では膨脹量は単位体積モルタルあたりのアルカリ量でほぼ一義的に決まる。
- 4) KイオンとNaイオンの影響は総アルカリ量によって異なり、低アルカリ量ではほぼ同程度の影響があるが、高いアルカリ量ではNaの影響のほうが著しく大きくなる。

以上の結果を踏まえて、今後、長期材令における膨脹量の把握、アルカリ量の算出方法、特にNaとKの効果の算定法、コンクリートの膨脹量推定への応用等の検討を行っていく必要があると考えられる。

参考文献) 1: アルカリ骨材反応試験(モルタルバー法)における各種の問題点: 小林他  
第7回日本コンクリート工学年次講演会論文集、昭和60年6月

2: 例えば French, W. J., Q. J. eng. Geol., 13, 231(1980)

Vivian, H. E., Bull. Common. Scientific ind. Res. Orgn. Aust., 254(1950)

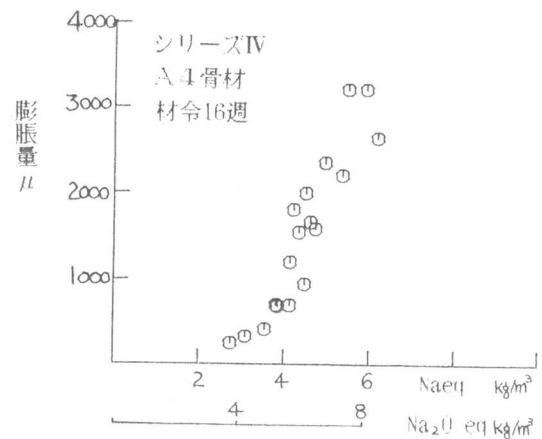


図11 モルタル中の単位アルカリ量と膨脹量

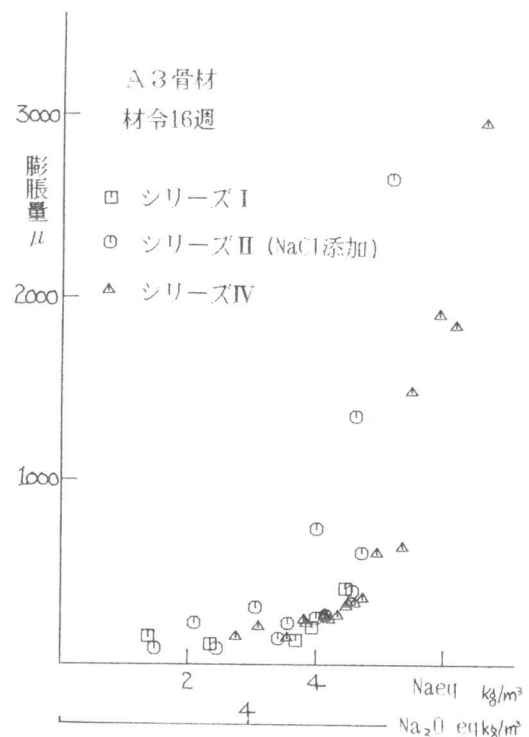


図12 モルタル中の単位アルカリ量と膨脹量