

# 論文 NaOH 溶液に浸漬したチャート質骨材使用供試体の ASR 膨張挙動に関する研究

岩月 栄治\*<sup>1</sup>・森野 奎二\*<sup>2</sup>

**要旨**：チャート質骨材 3 種類を用いたモルタルバーを、80, 60, 40 及び 20°C の NaOH 溶液に浸漬して膨張率測定を行った。また、同様のチャートを用いたコンクリート供試体からコアを採取し、80 及び 40°C の NaOH 溶液に浸漬して膨張率を測定した。その結果、モルタルバーは 40°C の NaOH 1mol/l 溶液に浸漬すると、貯蔵 3 ヶ月で JIS A1146 モルタルバーの 6 ヶ月の結果が得られた。また、コア供試体は、80°C NaOH 1mol/l 溶液浸漬では膨張しないが、コア表面のチャート骨材が軟化・溶解している状態が見られた。

**キーワード**：アルカリシリカ反応，チャート，膨張率，NaOH，貯蔵温度

## 1. はじめに

アルカリシリカ反応（以下 ASR と称す）のモルタル膨張試験は、これまで JIS A1146 が行われてきた。しかし、この試験法は結果が得られるまでに 3～6 ヶ月の期間が必要であることから、近年、14～28 日で試験結果を得られる ASTM C1260<sup>1)</sup> が我が国でも実施されるようになってきた。しかし、この試験方法は日本のチャート質骨材では反応性の程度やペシマムによって適応できない場合が指摘されており<sup>2, 3)</sup>、日本の骨材に合わせた試験法の改良等が必要と思われる。また、構造物の劣化診断時に採取したコンクリートコアにおいても、短期間で結果を得られるように ASTM C1260 と同様な貯蔵環境で促進膨張試験を実施する場合もあり、一層充実させる必要があると思われる。

本研究は ASTM C1260 の貯蔵方法で NaOH の濃度や貯蔵温度を変化させて、JIS A1146 の 6 ヶ月の膨張率と同じような結果が短期間で得られる条件を求め、実験はモルタルバーとコンクリートコアの 2 種類を用いて行った。

## 2. 試験方法

### 2.1 使用骨材

使用した骨材を表 1 に示す。チャート Yo は中・古生層の岩盤から採取した砕石であり、Se と Sa は洪積層の堆積地盤から採取した山砂利中のチャートである。これらの化学法結果は「無害でない」に判定され、反応性は Yo, Se, Sa の順に高い。また、ペシマムを検討するために無害の川砂を使用した。

### 2.2 モルタルバーの作製と貯蔵方法

モルタルバーの作製及び貯蔵方法を表 2 に示す。骨材は反応性のチャートと無害の川砂を質量比で 100:0, 80:20, 60:40, 40:60, 20:80, 0:100 のように混合して用いた。セメントは普通ポルトランドセメント (Na<sub>2</sub>O 等量で 0.51%, 化学成分は表 3) を用いた。供試体全体の A

表 1 使用骨材の化学法結果

骨材	産地	試験結果(mmol/l)		Sc/Rc	判定
		Sc	Rc		
チャートYo	岐阜県	329	130	2.53	無害でない
チャートSe	愛知県	316	128	2.47	無害でない
チャートSa	愛知県	338	175	1.93	無害でない
川砂	愛知県	44	102	0.43	無害

\*1 愛知工業大学 工学部都市環境学科土木工学専攻講師 工修 (正会員)

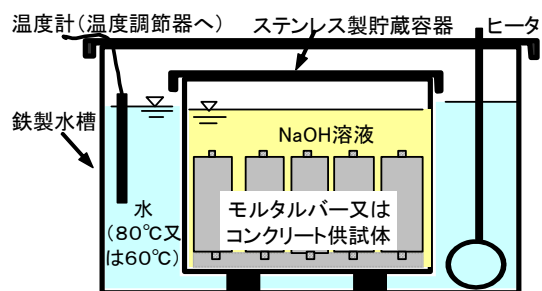
\*2 愛知工業大学 工学部都市環境学科土木工学専攻教授 理博 (正会員)

表－2 モルタルバーの作製及び貯蔵方法

項目	NaOH溶液浸漬法		JIS A1146(モルタルバー法)
供試体	寸法	40×40×160mm	
	本数	3本	
配合	セメント:骨材:水=1:2.25:0.5		
使用セメントのアルカリ量	0.51% (Na <sub>2</sub> O)		
添加アルカリ	添加しない	供試体の全アルカリNaOH等量で1.2%となるようにNaOHを添加	
細骨材の粒度による配合比率	4.75-2.38mm=10%、2.36-1.18mm=25%、1.18-0.6mm=25%、0.6-0.3mm=15%、0.3-0.15mm=15%		
チャート:川砂の混合比率	チャート:川砂=100:0, 80:20, 60:40, 20:80, 0:100		
貯蔵方法	脱型後24時間20℃の水に浸漬して、膨張率測定を行う		脱型後、40℃湿潤貯蔵
	NaOH 0.5mol/l溶液浸漬 貯蔵温度は 20℃, 40℃, 80℃	NaOH 1mol/l溶液浸漬 貯蔵温度は 40℃, 60℃, 80℃	
判定	JIS A1146の判定基準を用いる		材齢6ヶ月で0.1%以上は「有害」、3ヶ月で0.05%以上は「有害」

表－3 使用セメントの化学成分

化学成分 (%)					アルカリ (%)
ig.loss	insol	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
1.4	0.01	20.35	5.19	2.56	Na <sub>2</sub> Oeq 0.51
Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O	
0.24	0.41	65.32	1.17	1.71	



図－1 80及び60℃の溶液浸漬貯蔵方法

表－4 コンクリート円柱供試体とコア供試体の作製及び貯蔵方法

供試体の種類	円柱供試体		コア供試体
骨材	粗骨材:チャートYo,Se,Sa 細骨材:川砂		
使用セメント	普通ポルトランドセメント (Na <sub>2</sub> Oeq 0.51%)		
形状	Φ100×200mm		
作製方法	Φ100mmの円柱型枠で供試体を作製する。		150×150×200mmの供試体を作製し、材齢28日まで20℃水中養生を行い、その後、Φ100mmでコアを採取する。
添加アルカリ	添加無し	添加無しとNaOHを添加して3.9kg/m <sup>3</sup> に調整	添加無し
浸漬溶液	1mol/lのNaOH溶液に浸漬	浸漬なし	1mol/lのNaOH溶液に浸漬
貯蔵温度	80℃、40℃	40℃湿潤貯蔵	80℃、40℃

表－5 コンクリートの配合

粗骨材	細骨材	粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
					水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
チャート	川砂	20	51.3	41.0	154	300	741~761	1025~1137	—

ルカリ量は、JIS A1146の供試体はNaOH特級試薬を添加して全体で1.2% (Na<sub>2</sub>O等量) になるように調整し、NaOH溶液に浸漬する供試体はセメントのみのアルカリ量 (Na<sub>2</sub>O等量で0.51%) とした。供試体の形状はいずれも40×40×160mmとし、膨張率測定用のステンレスプラグを両端に埋め込んだ。

膨張率の基準測定と貯蔵方法は、JIS A1146は供試体脱型後に20℃で基準を測定し、

その後、40℃湿潤貯蔵を行った。NaOH溶液に浸漬する供試体は、脱型後、20℃の水中に24時間浸漬してから膨張率の基準を測定した後、80、60及び40℃のNaOH1mol/l溶液浸漬と、80、40及び20℃のNaOH0.5mol/l溶液浸漬貯蔵を行った。図－1に80及び60℃の温度調整方法を示す。また、40℃と20℃は貯蔵容器を40℃と20℃の恒温室に設置した。膨張率の測定はいずれも貯蔵容器を16時間前に20℃の測定室に移し、供試体

の温度を20℃にしてから行った。

### 2.3 コンクリート供試体の作製と貯蔵方法

コンクリート供試体の作製及び貯蔵方法を表-4に、コンクリートの配合を表-5に示す。コンクリート供試体はφ100×200mmの円柱供試体と、コア供試体の2種類とし、長さ方向の両端に膨張率測定用のステンレスプラグを埋め込んだ。コア供試体は150×150×200mmの供試体を作製後、28日間水中養生した後にコアを採取したものである。

アルカリ量は、円柱供試体はNaOHを添加して3及び9kg/m<sup>3</sup>に調整したものと、セメントのアルカリのみ(1.5kg/m<sup>3</sup>)の3種類とした。コア供試体はセメントのアルカリのみ(1.5kg/m<sup>3</sup>)とした。貯蔵方法は、円柱供試体は40℃湿潤貯蔵を行い、セメントのアルカリのみの円柱供試体とコア供試体は、80及び40℃のNaOH1mol/l溶液に浸漬した。膨張率測定時の温度はモルタルバーと同様に20℃で行った。

## 3. 結果及び考察

### 3.1 チャート質骨材を用いたJIS A1146

#### モルタルバーの膨張挙動

チャート質骨材を用いたJIS A1146モルタルバーの膨張挙動を図-2に示す。膨張の大きな順はYo, Se, Saである。貯蔵180日の膨張率は、いずれのチャートも混入率100%が最大膨張を示していてペシマムはみられない。さらに貯蔵を継続するとペシマムが現れ、貯蔵500日ではチャートYoは60%混入、Seは80%、Saは60%がペシマムになる。チャートYoの反応性がSe, Saよりも高い理由は、カルセドニーと潜晶質石

英を多く含んでおり、石英の結晶性指標も低いことがあげられる。

### 3.2 各種温度のNaOH溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動

80, 60及び40℃のNaOH1mol/l溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動を図-3に示す。80℃貯蔵は浸漬直後から膨張し始めるが、60日以降は膨張の増加は緩やかになる。191日の膨張率は、Yoは0.40%, Seは0.39%, Saは0.52%であり、化学法結果や岩石学的な反応性と一致していない。また、このときのペシマムはいずれのチャートも混入率が20%であり、JIS A1146と一致していない。

60℃貯蔵は、貯蔵25日から膨張し始め、161日の膨張率は、Yoは0.53%, Seは0.55%, Saは0.67%である。80℃と較べて貯蔵温度が低いにもかかわらず、膨張率は高い。ペシマムは80℃と同様にチャート混入率20%である。

40℃貯蔵は、貯蔵50日以後から急激に膨張している。191日の膨張率は、Yoは0.95%, Seは0.69%, Saは0.73%であり80℃, 60℃よりも高い。ペシマムはいずれもチャート混入率100%であり、JIS A1146の結果と一致している。また、3種類のチャートの内、Yoの膨張が高く、無害の川砂がほとんど膨張していないことから、化学法結果や岩石学的な反応の特徴とも一致している。

図-4に80, 40及び20℃のNaOH0.5mol/l溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動を示す。80℃はチャートSaの20%と40%が40日以後に膨張率0.1%以上となるが、YoとSeは0.1%以下である。また、40℃と20℃は191日時点ではほと

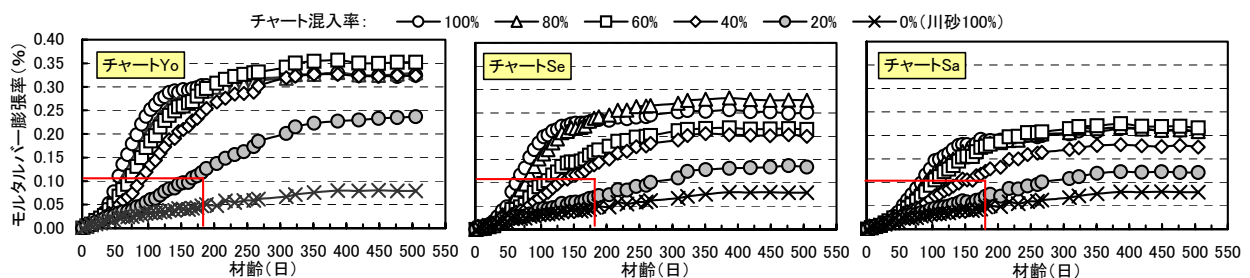


図-2 チャート質骨材を用いたJIS A1146モルタルバーの膨張挙動

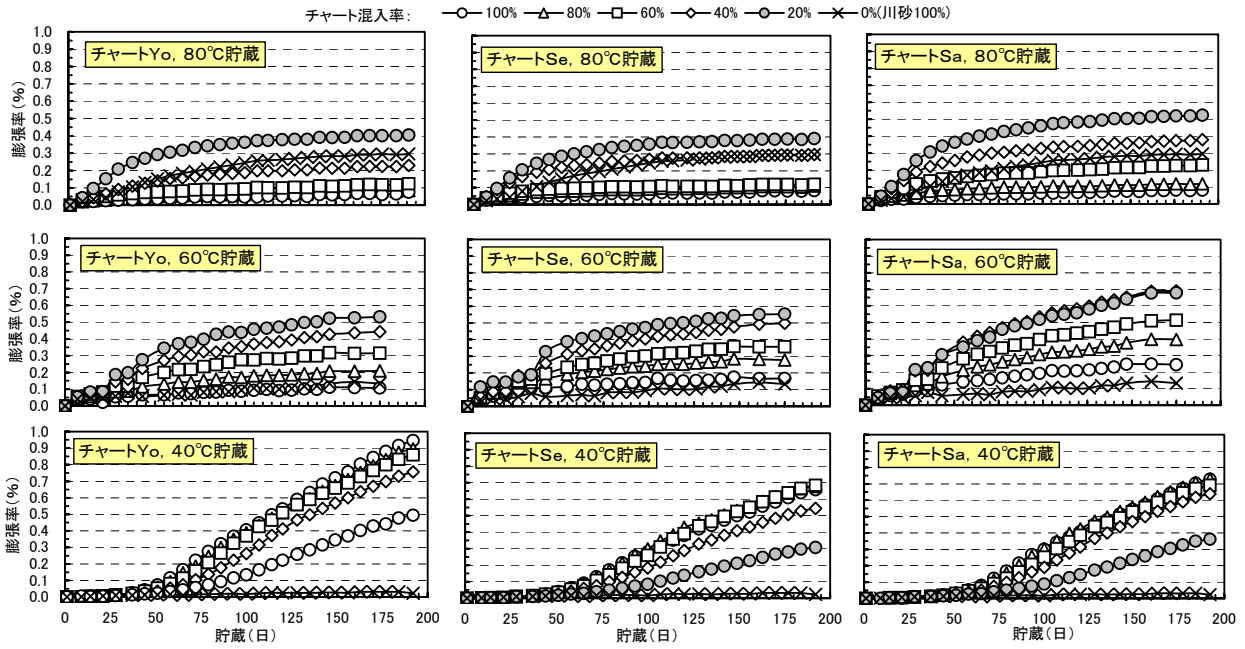


図-3 80、60及び40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動

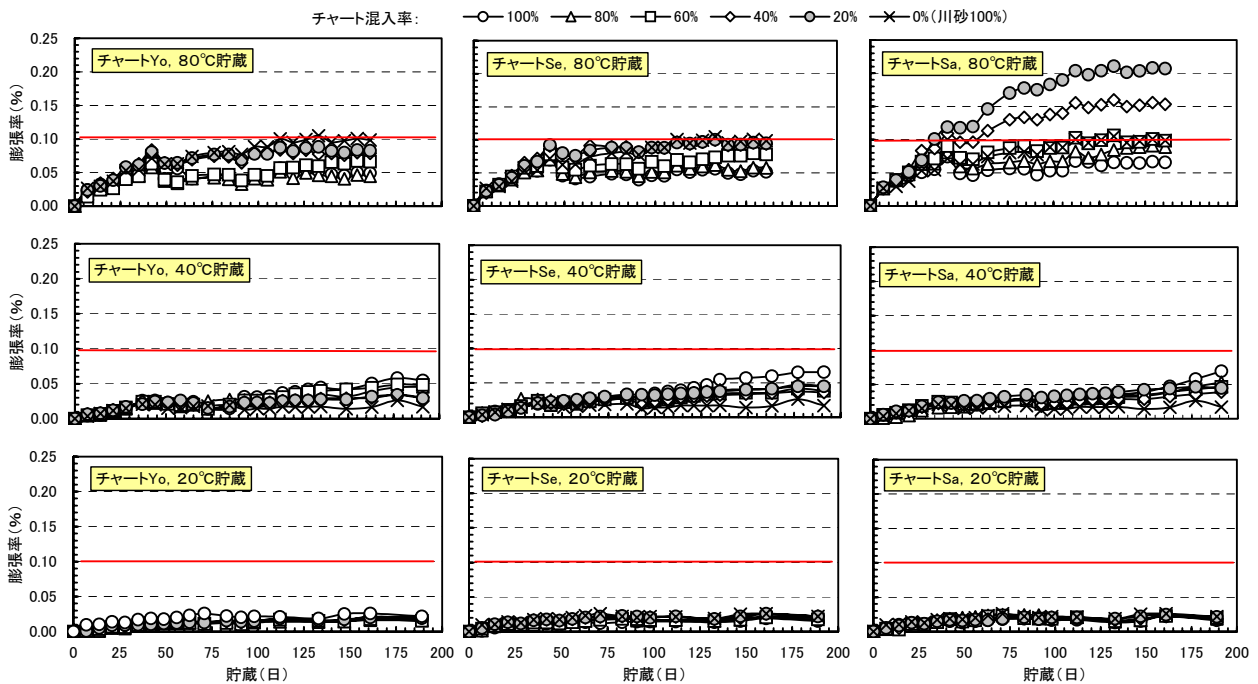


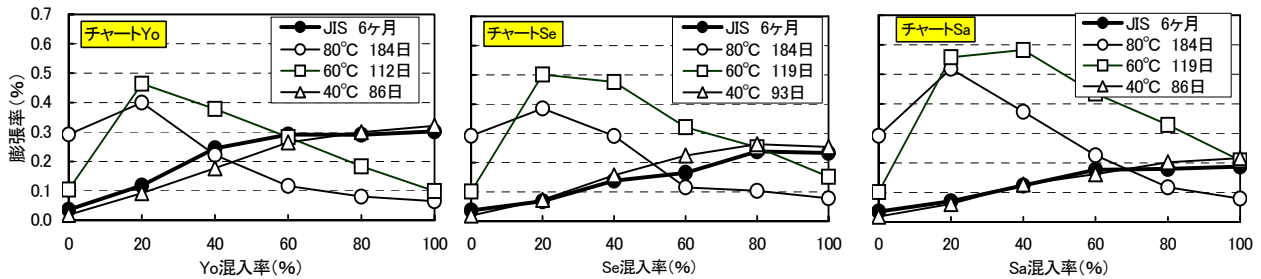
図-4 80、40及び20°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したモルタルバーの膨張挙動

んど膨張していない。

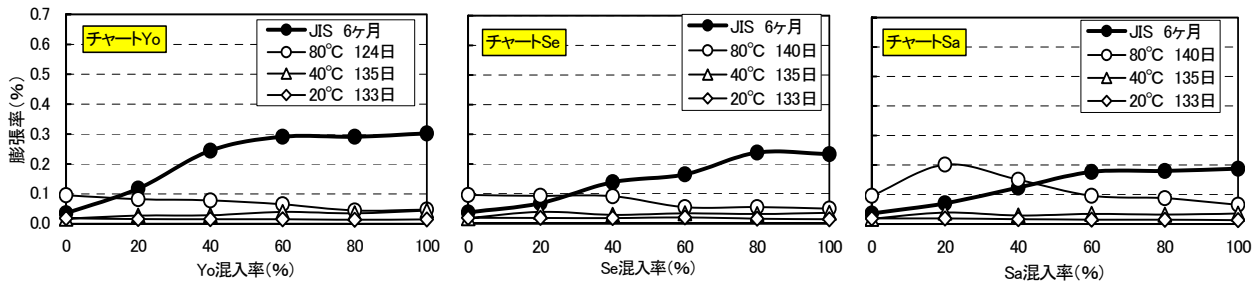
### 3.3 NaOH溶液浸漬とJIS A1146モルタルバーの膨張率の比較

80、60及び40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したモルタルバーとJIS A1146の6ヶ月の膨張率の比較を図-5に示す。80及び60°Cはチャート混入率20~40%にペシマムがあるが、40°CはJIS

A1146の6ヶ月の結果と同様にペシマムがみられない。40°C貯蔵がJIS A1146の貯蔵6ヶ月の膨張率と一致する貯蔵期間は、チャートYoは86日、Seは93日、Saは86日であり、JIS A1146の6ヶ月の結果が3ヶ月で得られることになる。図-6に80、40及び20°CのNaOH0.5mol/l溶液に浸漬したモルタルバーとJIS A1146の6ヶ月



図一5 80、60及び40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したモルタルバーとJIS A1146の6ヶ月の膨張率の比較



図一6 80、40及び20°CのNaOH0.5mol/l溶液に浸漬したモルタルバーとJIS A1146の6ヶ月の膨張率の比較

月の膨張率の比較を示す。チャートSaの80°C貯蔵では20~40%混入が膨張しているが、その他は貯蔵133日を過ぎてもほとんど膨張していない。

表一6にNaOH溶液に浸漬したモルタルバーが膨張率0.1%に達したときの貯蔵期間を示す。JIS A1146の判定基準をNaOH溶液浸漬に適応すると、40°CのNaOH1mol/l溶液浸漬ではペシマムの影響を受けずに約2ヶ月(58~72日)で判定ができることになる。

### 3.3 NaOH溶液に浸漬したコンクリートの膨張挙動

チャートを用いたコンクリートの40°C湿潤貯蔵での膨張挙動を図一7に示す。アルカリ量  $9\text{kg/m}^3$  は貯蔵50日から急激に膨張し、Yo, Sa, Seの順で膨張率が高い。 $3\text{kg/m}^3$  とセメントのみのアルカリは250日以後からわずかに膨張傾向にある。

図一8に80及び40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したアルカリ無添加の円柱供試体の膨張挙動を示す。貯蔵150日以後から膨張を開始している。40°C貯蔵は80°Cよりも膨張率が高く、前

表一6 NaOH溶液に浸漬したモルタルバーの膨張率が0.1%に達したときの貯蔵期間

骨材	チャート混入率 (%)	NaOH浸漬で膨張率が0.1%を超えた貯蔵日数					
		1mol/l			0.5mol/l		
		80°C	60°C	40°C	80°C	40°C	20°C
Yo	100	191日以下	133	58	161日以下		
	80	0.1%以下	43	65			
	60	106	28	72			
	40	36		93			
	20	21					
Se	100	191日以下	35	72	191日以下	189日以下	
	80	141	28	79			
	60	71					
	40	21	7	107			
	20						
Sa	100	191日以下	43	72	161日以下		
	80	78	28	79			
	60	28					
	40	21	86	64			
	20	14	107	35			
川砂	100	36	105	192日以下	112		

述のモルタルバーと同じ傾向を示している。

図一9に80及び40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したアルカリ無添加のコア供試体の膨張挙動を示す。40°C貯蔵のSaは貯蔵150日の膨張率0.03%であるが、80°Cは120日で0.016%であり



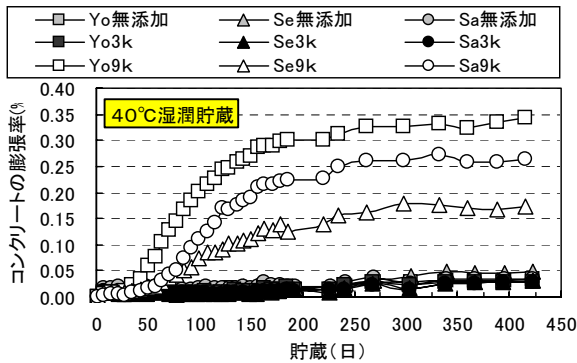


図-7 チャートを用いたコンクリートの40°C湿潤貯蔵での膨張挙動

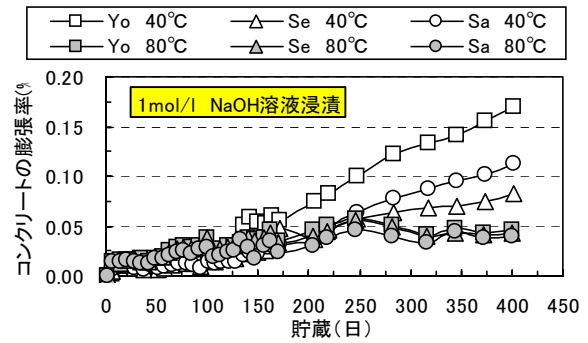


図-8 80及び40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したコンクリートの膨張挙動

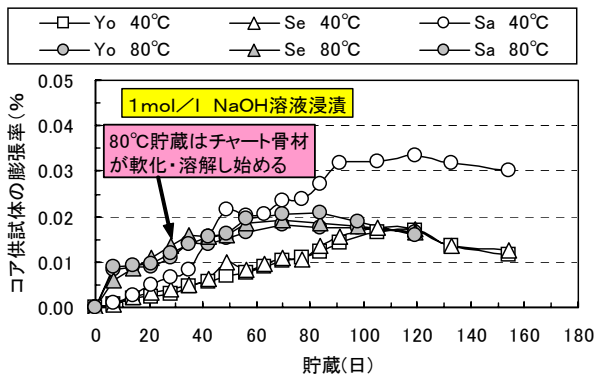


図-9 80及び40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したコア供試体の膨張挙動

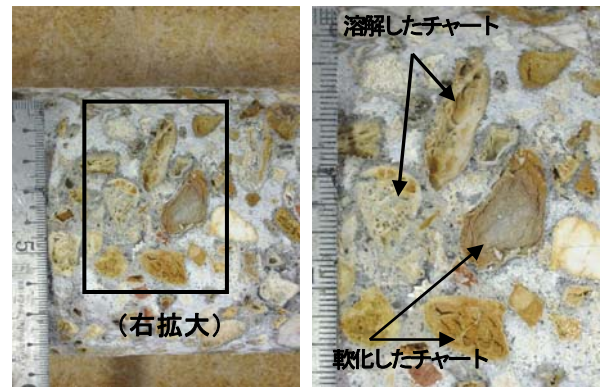


写真-1 80°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したチャートSaコア供試体の骨材の軟化・溶解状態(貯蔵110日)

収束している。このコア供試体の表面に見られるチャート骨材は、40°C貯蔵では変化は見られなかったが、80°Cは浸漬後14日で白濁し、28日には軟化・溶解しており、モルタルバーと同様の現象<sup>2)</sup>が確認された。写真-1にチャート骨材が溶解している状態を示す。これから、80°CのNaOH1mol/l溶液浸漬はチャート骨材が溶解するほど反応が著しく、反応生成物が生成しても剛性がほとんど無いために膨張しないと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

- (1) 40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したチャート骨材を用いたモルタルバーの貯蔵3ヶ月の膨張率は、JIS A1146の6ヶ月の膨張率とほぼ同じであった。
- (2) 40°CのNaOH1mol/l溶液に浸漬したチャー

ト骨材100%使用モルタルバーが0.1%の膨張を示す期間は58~72日であった。この試験方法では2ヶ月間でASRの判定が可能である。

#### 参考文献

- 1) ASTM C1260-94: Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), Vol.04.02, pp.676-679, 2001
- 2) 岩月栄治, 森野奎二: ASTM C1260及びJIS A5308によるASRモルタルバーの膨張挙動と微細構造, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.687-692, 2002.6
- 3) 鳥居和之, 友竹博一: アルカリシリカ反応によるモルタルの膨張挙動に及ぼすセメントと反応性骨材の組合せの影響, 土木学会論文集, No.739, V-60, pp.251-263, 2003.8