

論文 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

岩月 栄治^{*1}・森野 奎二^{*2}

要旨：チャート質骨材 3 種類を用いて ASTM C1260 及び JIS A5308 の両試験法でモルタルバーを作製し、膨張挙動と内部の微細構造について検討した。骨材の配合はペシマムを考慮して反応性骨材の混入率を 0, 20, 40, 60, 80, 100%とした。結果では、ASTM 法のペシマムはチャート混入率 20%であったが、JIS 法は 60～100%であり、相違がみられた。また、膨張率は ASTM が JIS 法よりも大きく、微細構造も ASTM は JIS に比べて骨材の溶解や反応生成物が多くみられた。

キーワード：アルカリシリカ反応, ASTM C1260, モルタルバー, チャート, 微細構造

1. はじめに

我国のアルカリシリカ反応（以下, ASR と称す）の試験法である JIS A5308 モルタルバー法は, 1988 年に ASTM C226 をもとに制定された。この試験方法は約 3～6 ヶ月の期間が必要である。近年, より迅速な試験結果が求められており, 国外ではカナダ法をもとにした ASTM C1260¹⁾が 1994 年に制定された。この試験法は 14～28 日程度で試験結果がでることから今後の利用が予想される。しかし, ASTM C1260 と JIS との比較検討を行った報告はまだ少なく, 今後データの蓄積が必要である。

本研究は, チャート骨材を用いて ASTM C1260 と JIS A5308 でモルタルバーを作製して試験方法の相違による膨張特性を検討した。また, 膨張したモルタルバー内部の微細構造の相違についても比較検討した。

の岩石の地層は中・古生層)であり, チャート Yo は岐阜県の中・古生層の岩盤から採取した砕石である。いずれも JIS A5308 化学法では「無害でない」に判定される。これらチャートの偏光顕微鏡観察では, 3 種類のチャートとも潜晶質石英をかなり多く含んでおり, その他に玉髄も多く含んでいる。特にチャート Yo には玉髄が多い²⁾。また, モルタルバーによる膨張のペシマムを調べるため無害骨材の珪砂をチャート骨材の質量比（内割）で 0, 20, 40, 60, 80, 100%混合した。

2.2 ASTM C1260 および JIS A5308 モルタルバーの作製と微細構造の観察

モルタルバーの作製方法と判定基準を表 - 2 に示す。モルタルバーの寸法は, ASTM は 25 × 25 × 285mm, JIS では 40 × 40 × 160mm なのでその寸法とした。使用セメントは, ASTM, JIS

2. 試験方法

2.1 使用した骨材

使用した骨材を表 - 1 に示す。チャート J とチャート Se は愛知県の第三紀層の地層から採取した山砂利（砂利になる前

表 - 1 使用骨材の化学法結果

骨 材	産 地	化学法の結果 (mmol/l)			
		Sc	Rc	Sc/Rc	判 定
チャートJ	愛知県	92	83	1.11	無害でない
チャートSe	愛知県	116	58	2.00	無害でない
チャートYo	岐阜県	391	88	4.44	無害でない
珪 砂	愛知県	12	27	0.43	無 害

*1 愛知工業大学講師 工学部土木工学科 工修（正会員）

*2 愛知工業大学教授 工学部土木工学科 理博（正会員）

表 - 2 モルタルバーの作製方法と判定基準

項 目		ASTM C1260	JIS A5308
供試体寸法、本数		25×25×285mm、3本	40×40×160mm、3本
配合	セメント	440g	セメント：骨材：水＝1：2.25：0.5（質量比）
	骨材	990g	
	水	W/C＝0.47	
セメントのアルカリ量		0.62%（Na ₂ O換算）	
添加アルカリ		—	供試体の全アルカリがNa ₂ O等量で1.2%となるようにNaOHを添加
細骨材の粒度		4.75-2.36mm＝10%、2.36-1.18mm＝25%、1.18-0.6mm＝25%、0.6-0.3mm＝25%、0.3-0.15mm＝15%	
チャート：珪砂の混入比率		チャート：珪砂＝100:0、80:20、60:40、40:60、20:80、0:100	
貯蔵状態		脱型後、24時間80℃の水に浸漬し、その後80℃ 1mol/l NaOH溶液に浸漬	脱型後、40℃湿潤貯蔵
判 定		材齢14日で0.1%以下は無害、0.1～0.2%は無害と有害を含む、0.2%以上は潜在的有害	材齢6ヶ月で0.1%以上は有害、3ヶ月で0.05%以上は有害

ともに全アルカリ量 0.62% (Na₂O 換算)の普通ポルトランドセメントを用いた。表 - 3 に使用したセメントの化学成分を示す。貯蔵方法は、ASTM は供試体脱型後に基準

を測定し、その後 80 の水中養生を 24 時間行った後に、80 の NaOH1mol/l 溶液（特級試薬を使用）に浸漬貯蔵した。JIS は供試体作製後に 40 湿潤貯蔵(RH95%以上)を行った。図 - 1 に ASTM の貯蔵方法を示す。測定は、ASTM、JIS とも貯蔵容器を 21 の測定室に移し、供試体温度が 21 になってから測定を行った。

微細構造の観察試料は、モルタルバー作製時に余ったモルタル片をモルタルバーと同様に貯蔵したものをを用い、観察には走査型電子顕微鏡を用いた。

3. 結果及び考察

3.1 ASTM C1260 及び JIS A5308 モルタルバーの膨張挙動

図 - 2 に ASTM C1260 及び JIS A5308 によるチャート J、Se、Yo のモルタルバー膨張挙動を示す。ASTM 法の試験期間は規格では 28 日であるが、膨張挙動を把握するために 28 日以後も測定を継続した。ASTM（図の左列）では 80 の NaOH 溶液浸漬直後から急激な膨張を開始し、

表 - 3 使用セメントの化学成分

化学成分 (%)							アルカリ(%)
ig.ioss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ Oeq
0.59	0.1	21.65	4.85	2.98	65.02	1.41	0.62
Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl	SO ₃	K ₂ O/Na ₂ O
0.28	0.52	0.3	0.16	0.13	0.002	1.8	1.9

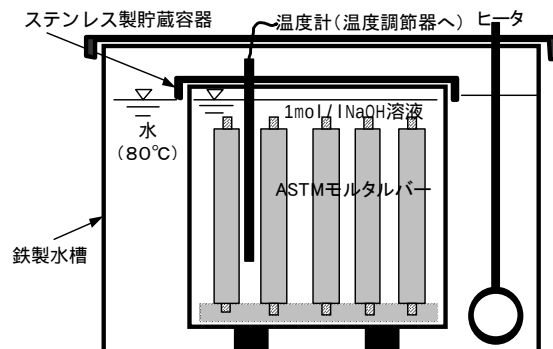


図 - 1 ASTM C1260 モルタルバーの貯蔵状況

貯蔵 113 日で一旦膨張の増加は収束しているが、127 日以降から再度膨張を開始している。いずれのチャートも同様な膨張挙動であり、最大膨張率を示したチャート 20%混入の膨張率は 0.59～0.64%でほとんど差がみられない。実験に使用したチャートは、化学法の Sc/Rc は J=1.1、Se=2.0、Yo=4.4 と差がある。また、偏光顕微鏡観察では Yo は J、Se よりも玉髄が多く含まれていることや、既往の X 線回折分析から求められる石英の結晶性指標²⁾では Yo、Se、J の順

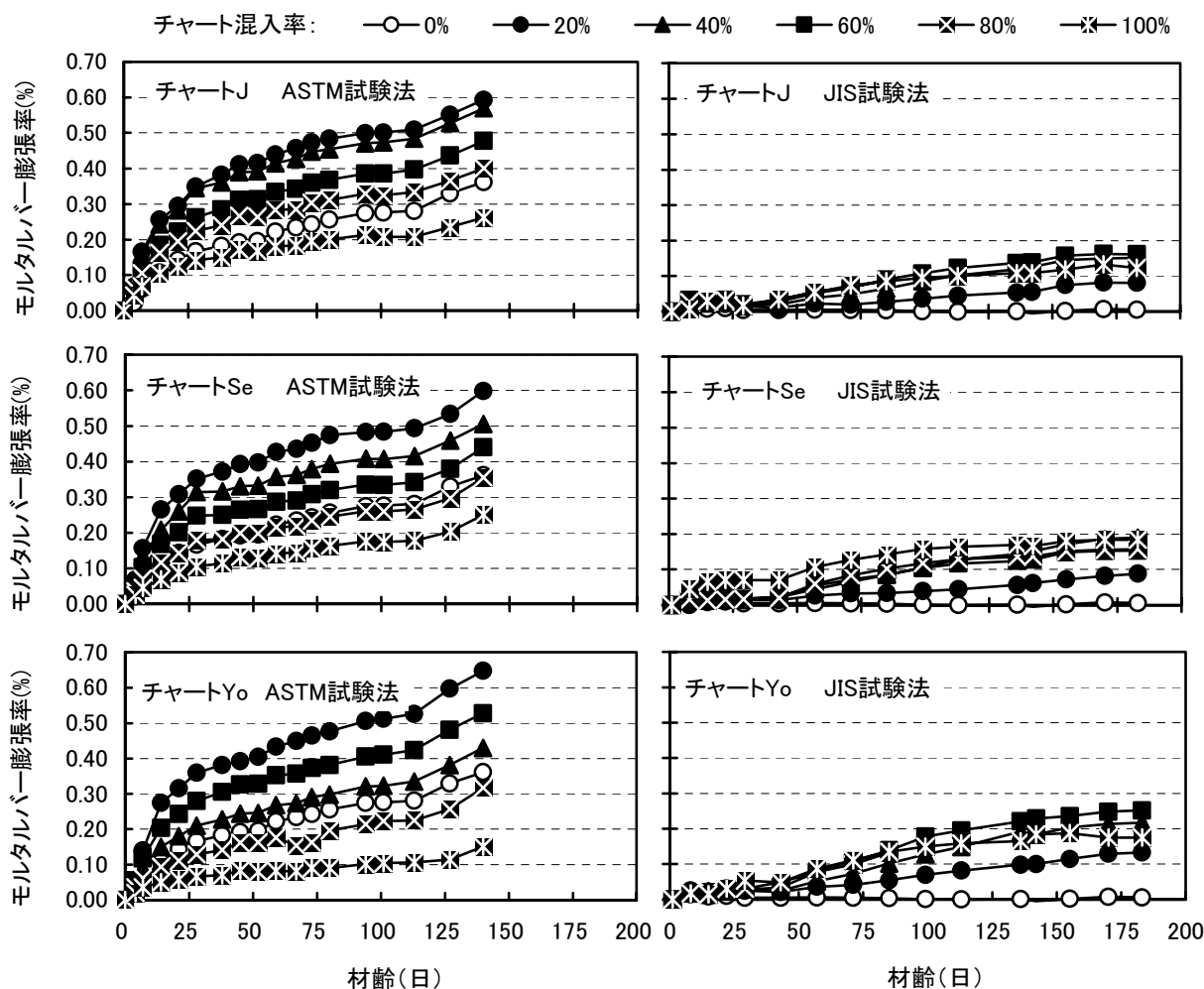


図 - 2 ASTM C1260 及び JIS A5308 によるモルタルバーの膨脹挙動

に反応性が高いという岩石・鉱物学的な特徴がみられるが、ASTM のモルタルバー膨張にはこれらの特徴が現れていない。

JIS の膨脹挙動（図の右列）は、貯蔵 40 日まで膨張は緩やかであるが、40 日以後から再度膨張し始め、155 日で収束している。膨張率は ASTM と較べて 1/2 ～ 1/3 と低いが、貯蔵 183 日（6 ヶ月）の膨張率は Yo, Se, J の順で高く、前述の化学法や岩石学的な特徴と相関がみられる。これらから、両試験法の膨脹挙動を比較すると、ASTM よりも JIS のほうがチャート骨材の反応特性をよく表しているといえる。

3.2 ASTM C1260 と JIS A5308 のペシマムの相違

ASTM の貯蔵 14 日及び 28 日の膨張率を図 - 3 に、JIS の貯蔵 3 ヶ月及び 6 ヶ月の膨張率を

図 - 4 に示す。ASTM のペシマムはいずれもチャート混入率 20% であるが、JIS では貯蔵 3 ヶ月ではペシマムはみられなく、貯蔵 6 ヶ月ではチャート Yo のペシマムが 60% となっている。このように、ASTM と JIS とではペシマムが異なっており、ASTM で試験を行う場合はペシマムを考慮する必要がある。ペシマムが異なる原因は、ASTM はアルカリが常時外部から供給されていることや、貯蔵温度が高温であることから $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ の比率が変化してペシマムに差が現れたためと考えられる³⁾。

3.3 ASTM C1260 と JIS A5308 の判定結果の相違

表 - 3 に ASTM C1260 と JIS A5308 の判定結果の相違を示す。ASTM の貯蔵 14 日時点で「無

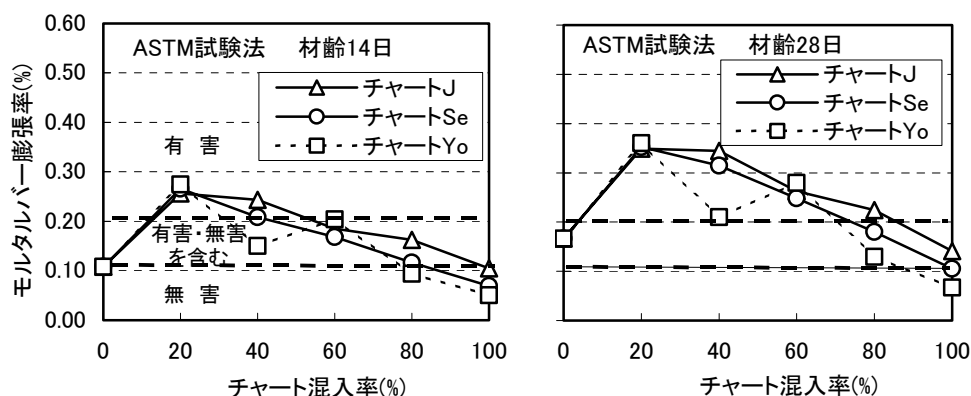


図 - 3 ASTM C1260 によるモルタルバーの材齢 14 日及び 28 日の膨張率

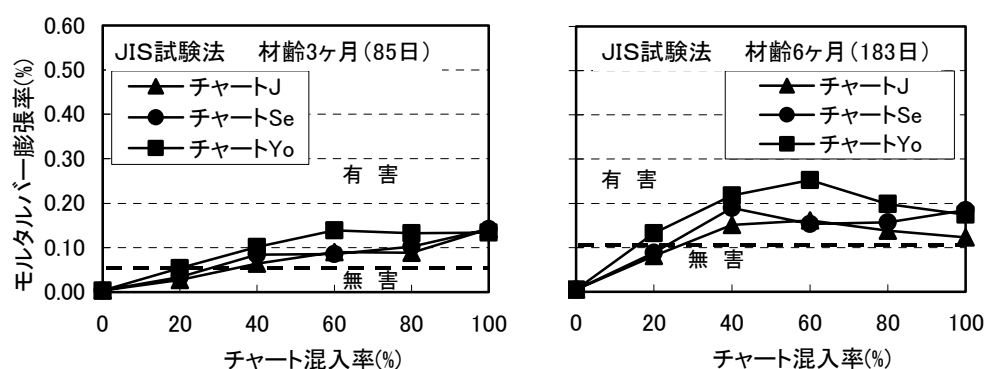


図 - 4 JIS A5308 によるモルタルバーの材齢 3 ヶ月及び 6 ヶ月の膨張率

表 - 3 ASTM C1260 と JIS A5308 の判定結果の相違

骨 材	チャート混入率 (%)	ASTM C1260			JIS A5308	
		浸漬14日での判定	浸漬28日での判定	浸漬94日での判定(28日の判定基準を代用)	モルタルバー法 材齢3ヶ月の判定	モルタルバー法 材齢6ヶ月の判定
チャートJ	100	有害・無害を含む	有害・無害を含む	有 害	有 害	有 害
	80	有害・無害を含む	有 害	有 害	有 害	有 害
	60	有害・無害を含む	有 害	有 害	有 害	有 害
	40	有 害	有 害	有 害	有 害	有 害
	20	有 害	有 害	有 害	無 害	無 害
チャートSe	100	無 害	有害・無害を含む	有害・無害を含む	有 害	有 害
	80	有害・無害を含む	有害・無害を含む	有 害	有 害	有 害
	60	有害・無害を含む	有 害	有 害	有 害	有 害
	40	有 害	有 害	有 害	有 害	有 害
	20	有 害	有 害	有 害	無 害	無 害
チャートYo	100	無 害	無 害	有害・無害を含む	有 害	有 害
	80	無 害	有害・無害を含む	有 害	有 害	有 害
	60	有 害	有 害	有 害	有 害	有 害
	40	有害・無害を含む	有 害	有 害	有 害	有 害
	20	有 害	有 害	有 害	有 害	有 害
珪 砂	100	有害・無害を含む	有害・無害を含む	有 害	無 害	無 害

害」と判定されたものは、チャート Se の 100% とチャート Yo の 100%及び 80%であり、貯蔵 28 日ではチャート Yo の 100%のみが「無害」であった。さらに貯蔵を継続して 94 日では全て「有害」もしくは「有害・無害を含む」に判定

されている。JIS では、貯蔵 3 ヶ月でチャート Se 及び J の混入率 20%で「無害」である以外は「有害」に判定された。実際の試験ではペシマムを考慮してモルタルバーを作製するのは難しいことを考慮すると、反応性の高いチャート Se

や Y_o の 100% 使用では ASTM の判定は JIS のモルタルバーや化学法の判定と一致しなく、反応性を低く見積もることになる。この原因としては、前述したように ASTM と JIS とでは生成されるゲルの SiO₂/Na₂O の比率が異なり、ゲルの剛性や粘性の差が膨脹量に現れたためと考えられる。これらから、チャート骨材に ASTM C1260 を適用するには、今後さらにデータを蓄積して検討する必要がある。また、JIS で無害な珪砂（100% 使用）であっても、ASTM では「有害・無害を含む」に判定され、適用に問題があり、ペシマムを考慮して試験を行う場合は無害骨材の選定にも検討が必要である。

3.4 ASTM C1260 及び JISA5308 モルタルバーの微細構造

写真 - 1 ~ 写真 - 6 に JIS 及び ASTM モルタルバーと同様に貯蔵したモルタル内部の走査電子顕微鏡写真を示す。観察にはチャート混入率 100% のモルタルを用い、深さ 5 ~ 10mm 付近から試料を採取した。モルタルバーの目視観察では JIS、ASTM とともにひび割れはみられなかったが、ASTM はモルタル自体が脆弱化していた。

JIS モルタル（写真 - 1、3、5）は、いずれも骨材とセメントペーストの界面に微細な間隙がみられ、骨材の界面が若干溶解していた。また、ASTM（写真 - 2、4、6）は JIS と較

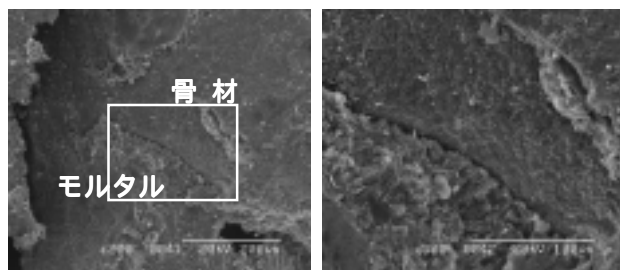


写真 - 1 チャート J 混入率 100% の JIS 貯蔵モルタル内部の SEM 写真
（左：200 倍，右：500 倍）

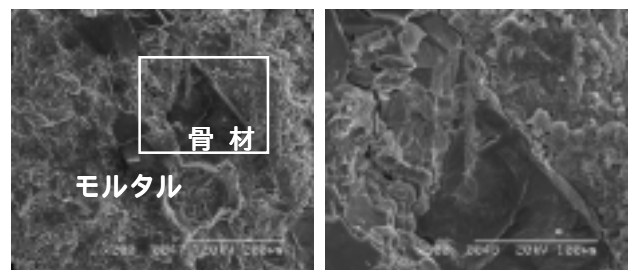


写真 - 2 チャート J 混入率 100% の ASTM 貯蔵モルタル内部の SEM 写真
（左：200 倍，右：500 倍）

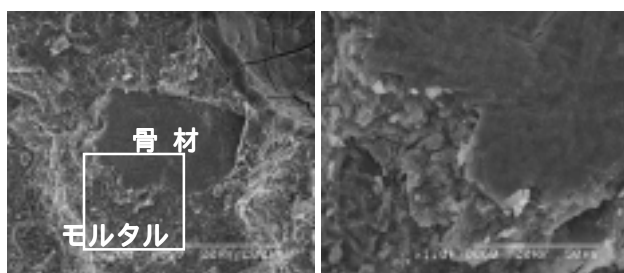


写真 - 3 チャート Se 混入率 100% の JIS 貯蔵モルタル内部の SEM 写真
（左：200 倍，右：1000 倍）

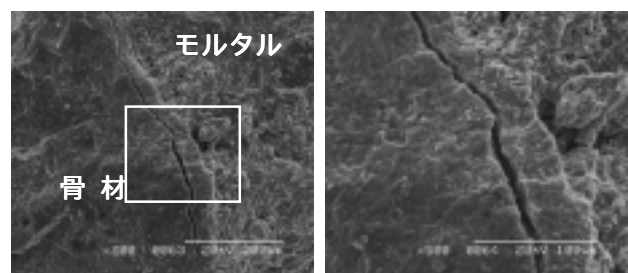


写真 - 4 チャート Se 混入率 100% の ASTM 貯蔵モルタル内部の SEM 写真
（左：200 倍，右：1000 倍）

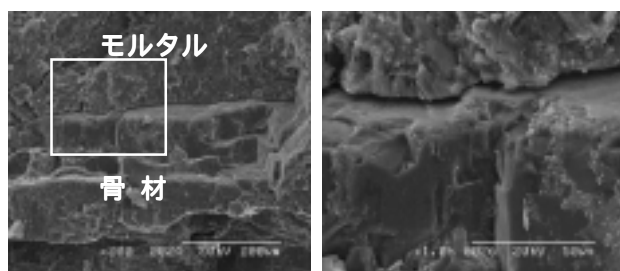


写真 - 5 チャート Y_o 混入率 100% の JIS 貯蔵モルタル内部の SEM 写真
（左：200 倍，右：1000 倍）

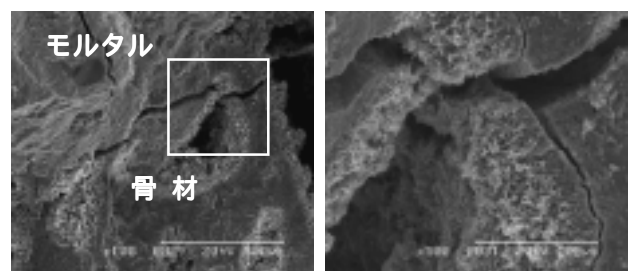


写真 - 6 チャート Y_o 混入率 100% の ASTM 貯蔵モルタル内部の SEM 写真
（左：200 倍，右：500 倍）

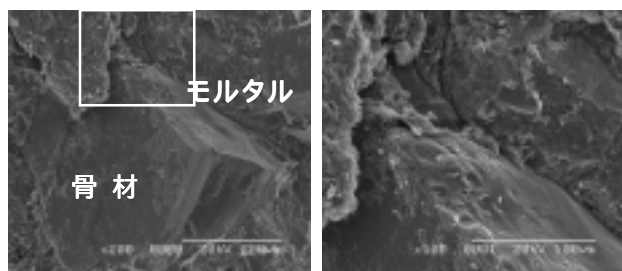


写真 - 7 珪砂混入率 100%の JIS 貯蔵
モルタル内部の SEM 写真
(左：200 倍，右：1000 倍)

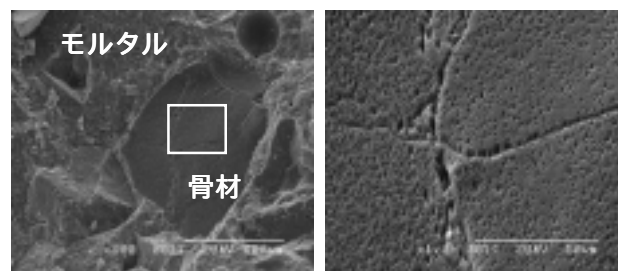


写真 - 8 珪砂混入率 100%の ASTM 貯蔵
モルタル内部の SEM 写真
(左：200 倍，右：1000 倍)

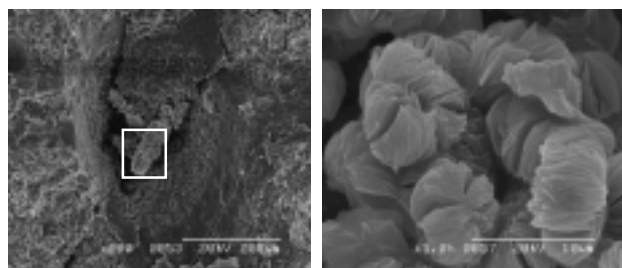


写真 - 9 チャート J 混入率 100%の ASTM
貯蔵モルタル内の反応生成物
(左：200 倍，右：5000 倍)

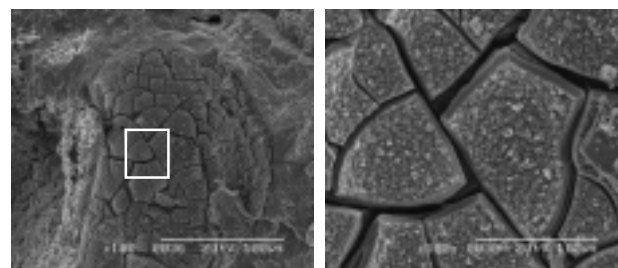


写真 - 10 チャート Yo 混入率 100%の ASTM
貯蔵モルタル内の反応生成物
(左：100 倍，右：500 倍)

べて骨材界面の溶解が著しく，さらにチャート Se では骨材自体にひび割れが発生しており，チャート Yo は骨材の内部が溶解している状態が観察された。これらから，ASTM は JIS よりも反応が著しいことがわかる。また，珪砂は写真 - 7，8 に示したように，JIS では骨材の表面やモルタルとの界面には変化がみられないが，ASTM では骨材界面の溶解が著しくモルタルバーの膨張率が高いこととも一致する。

ASR 反応生成物は JIS よりも ASTM 貯蔵のほうが多く観察された。ASTM のチャート J では写真 - 9 のように空隙に典型的な形態の生成物がみられた。また，チャート Yo は写真 - 10 のように観察面全体にゲルがみられ，他のチャートよりもゲルが多量に生成していた。チャート Yo は他と較べて膨張率が低いことから，このゲルは粘性や剛性が低かったと考えられる。

4．まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

- (1) 反応性の高いチャート Yo は，JIS モルタルバー法及び化学法で「有害」に判定されるが，

ASTM C1260 では「無害」に判定され一致しなかった。このことから，チャート骨材の ASTM C1260 の適用には今後データの蓄積と検討が必要である。

- (2) JIS モルタルバー法及び化学法で「無害」に判定される珪砂であっても ASTM では「有害・無害を含む」に判定されることから，珪砂のような無害骨材は ASTM C1260 には適用できないことが問題である。

謝辞：本研究は平成 13 年度愛知工業大学教育・研究特別助成の助成金で行ったものである。ここに謝意を表します。

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) 森野奎二，岩月栄治：偏光顕微鏡観察と X 線回折分析によるコンクリートの劣化診断，コンクリート構造物の耐久性診断に関するシンポジウム，pp.13-18，1988.5
- 3) 森野奎二，春名淳介：数々のアルカリ反応性物質を使用したモルタルの膨脹とひび割れ，コンクリート工学年次論文集，Vol.13，No.1，pp.735-740，1991.6