

# 砕石切羽におけるアルカリ反応性岩石の性状

PROPERTIES OF ALKALI REACTIVE ROCKS IN CRUSHED STONE QUARRIES

森野奎二\*・岩月栄治\*\*・平林文明\*\*\*

by Keiji MORINO, Eiji IWATSUKI and Takeaki HIRABAYASHI

## 1. はじめに

アルカリシリカ反応 (ASR) は 1983 年 9 月にわが国で顕在化して以来、各地で多数の被害構造物が発見され、補修がなされてきたが、最近でも、再補修、再々補修あるいは新たに補修を必要とする構造物も少なくない。

特に 2003 年 4 月には、ASR によるコンクリートの膨張によってコンクリート構造物中の鉄筋が破断している事例が報道され、それまで注目されていなかった鉄筋に対してもその安全性が問題視されるようになった。これを受けて土木学会では、アルカリ骨材反応対策小委員会を設け「鉄筋破断と新たな対応」の報告を 2005 年 8 月に行い、今後の ASR による劣化防止・抑制、鉄筋破断に伴って低下した構造物の性能の回復、補修・補強工法の選定などについて提言を行っている。

このように最近では、1980 年代の ASR のメカニズムや防止対策から、劣化構造物の維持管理、補修・補強、モニタリングなどへと移ってきている。

しかし、ASR には種々の要因が複雑かつ複合的に影響を及ぼすため、その反応挙動や劣化進行は様ではなく、引き続き基礎的研究をすることは重要である。特に岩石・鉱物学的知見を含めたデータの蓄積は重要である。

## 2. ASR 反応性骨材と骨材採取場の実態

ASR 骨材の反応性の証明書や実験・研究結果においては、ばらつきが著しい。このことは、骨材を生産している砕石工場の切羽での岩石の分布は複雑であるから、当然、ばらつきが生じる。しかし、使用者は、ほとんどの場合において切羽の状況を見たことがなく、その情報を得る機会も少ないので理解に乏しい。そこで、ばらつきに対する誤解が発生する。これを避けるには、切羽の状況を明らかにして周知させる必要がある。一方、ばらつきが原因で、データの取捨選別が発生し、使用者側には

不信感が生じる。

このことを背景に、ASR 抑制対策が 2002 年に抜本的に改正され、土木構造物には反応性骨材であっても抑制対策 (アルカリ総量規制、混合セメント、高炉水砕スラグ粉末などの混和材) で対処できるようになった。しかし、生コン製造や建設現場では対応の煩雑さから十分に解決したとは言えない。また、建築物では無害骨材の使用を対策の一つとして残しているため、ASR の対応では依然として無害骨材の要求があり、課題は残っている。

骨材生産者側においては、使用者側以上に反応性骨材の分布状態を把握する必要があるが、正確に把握している工場は少ない。一方、要望としては、化学法で「無害でない」となった場合には、「モルタルバー法」で「無害」となる場合も多いので、後者の対応を希望している。モルタルバー法は結果が出るのに 6 ヶ月を要する。この点からも、切羽を分類して事前に反応性を把握しておくことが重要な課題になっている。併せて、両試験法の不一致について、原因を解明する必要がある。

多様な品質の骨材を多様な用途のコンクリートに効率良く適応させるには、切羽の岩石・鉱物の分布状態と骨材製品との関係を明らかにする必要がある。

## 3. 調査岩種と調査地域

対象岩種は火山岩系と堆積岩系に大別でき、両岩種ともわが国全土に分布している。本報告では、既往<sup>1)~7)</sup>にデータを加えたもので、火山岩系として安山岩 (香川県豊島産)、堆積岩系として砂岩、頁岩・粘板岩 (岐阜県及び愛知県) について記述している。

## 4. 安山岩砕石場切羽の地質と ASR 反応性

調査対象とした安山岩砕石場は、香川県豊島である。そこでは 1980 年頃、当時の最新設備で大量にコンクリート用砕石を生産しており、関西・中国地方で ASR 被害を起こした反応性の高い砕石が混在していた。現在は廃業状態になっているが、切羽は残っている。なお、同島には、産業廃棄物の不法投棄とその後の産廃処理でも知られ、2008 年でもまだ約半分の処理であり現在継続中である。この問題と砕石場とは全く無関係であり、場所も異なる。

\* 愛知工業大学工学部都市環境学科特任教授  
(〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247)

\*\* 愛知工業大学工学部都市環境学科准教授

\*\*\* 愛知工業大学大学院工学研究科博士前期課程

この地域は、瀬戸内火山岩帯に属するもので、切羽の岩石は斜方輝石安山岩である。偏光顕微鏡観察によると斑晶は、斜方輝石（古銅輝石、紫蘇輝石）とアルカリ長石（曹長石 ハリ長石）で、石基は、これらの両鉱物の微結晶と火山ガラス、クリストバライト、トリディマイト、スメクタイト及び雲母粘土鉱物である。その他、岩石中には方解石、緑泥石などを含む場合もある<sup>8)~11)</sup>。

外観は黒色～灰白色で火山ガラスが多いほど黒色になる傾向がある。

写真1に切羽の状態を示す。写真の黒色箇所（E1）と灰白色箇所（E2）は入り乱れており、このような場合では、E1、E2 原石の選別は不可能である。両原石の混合割合によって骨材製品の品質は変動することになる。

#### 4. 1 安山岩碎石場切羽の原石の品質性状

碎石原石の物理的性質として、JIS A 5003「石材」の見掛比重（供試体：10×10×20cm角柱）及び同供試体による吸水率、強度、ヤング係数測定結果<sup>12)</sup>を表1に示す。この結果では比重（絶乾密度）がやや小さいが、吸水率は1%以下、強度は平均値で155N/mm<sup>2</sup>（96～203N/mm<sup>2</sup>）、ヤング係数は平均値44.4kN/mm<sup>2</sup>（32.7～54.1kN/mm<sup>2</sup>）であり遜色はない。比較のために他地域の安山岩（原石・標本）の密度及び吸水率を表2に示す。表では同地域でも密度が2.6g/m<sup>3</sup>程度を示すものもあり、また、他地域を含めた値では、2.24～2.74であり、安山岩の密度は広範な値を示す。吸水率、その他の性質も同様である。

#### 4. 2 碎石工場切羽内の ASR 反応性の相違

1983年採取の反応性の異なる黒色安山岩（E1）と灰白色安山岩（E2）の試験結果の数例について述べる。両安山岩の化学組成を表3に示す。いずれの試料もSiO<sub>2</sub>が多いがE1の方がやや多い。ASR反応性試験方法は、化学法（ASTMC289、JIS A1145）とモルタルバー法（ASTMC227、JIS A1146）によった。化学法の結果を表4に示す。

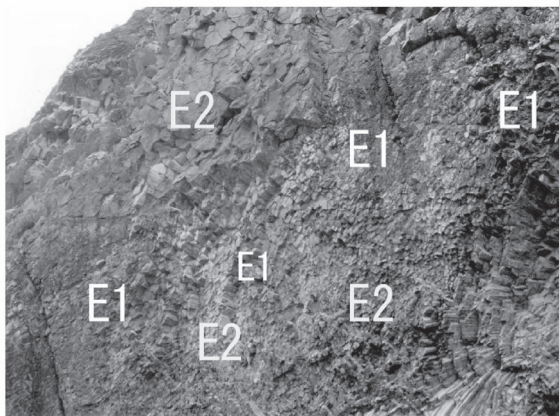


写真1 安山岩碎石場切羽の状態の一例

表1 原石の物理的性質及び反応性鉱物

碎石工場報告書<sup>6)</sup>より抜粋（単位改変）：K試験所試験実施

試料 No.	見掛比重 ※1	吸水率 (%) ※2	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>	ヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	反応性鉱物・物質 ※3			粘土 ※3
					Vg	Cr	Tr	
1	2.48	0.59	150	50.6	5	-	-	-
2	2.49	0.48	161	49.6				
3	2.49	0.56	131	43.6	-	1	1	26
4	2.47	0.56	118	32.7				
5	2.49	0.54	189	50.0	10	-	-	-
6	2.47	0.52	203	49.1				
7	2.40	0.70	169	45.7	1	4	-	-
8	2.40	0.70	172	37.2				
9	2.46	0.83	124	36.0	1	7	-	2
10	2.47	0.68	154	40.3				
11	2.46	0.87	201	39.2	5	-	-	-
12	2.49	0.93	178	53.5				
13	2.50	0.51	111	54.1	1	-	-	-
14	2.51	0.66	96	37.7				
15	2.51	0.66	170	43.9	9	3	-	1
16	2.48	0.69	155	44.7				
17	2.43	0.77	173	40.8	13	1	-	-
18	2.43	0.75	139	50.1				

※1：10\*10\*20cm JISA5003 石材供試体：絶乾密度（g/cm<sup>3</sup>）

※2：※1と同供試体、※3：偏光顕微鏡観察結果

表2 各地の安山岩の密度及び吸水率

試料 No.	産地 県	岩石名	絶乾密度 g/cm <sup>3</sup>	吸水率 %
E1	香川	輝石安山岩	2.54	0.25
E2	香川	輝石安山岩	2.53	0.87
5	香川	輝石安山岩	2.53	1.55
172	静岡	安山岩(外来晶含)	2.50	1.75
176	神奈川	複輝石安山岩	2.54	1.84
179	長野	輝石安山岩	2.53	1.64
180	長野	輝石角閃石安山	2.15	4.09
181	神奈川	輝石安山岩	2.61	1.55
182	長野	紫蘇輝石安山岩	2.68	1.26
183	山梨	両輝石安山岩	2.74	0.87
184	宮城	両輝石安山岩	2.70	1.28
185	香川	古銅輝石安山岩	2.63	1.14
186	香川	讃岐岩	2.60	0.13

表4ではE2の溶解シリカ量Scが882 mmol/lと多いが、アルカリ濃度減少量Rcも202 mmol/lと多いので、判定値Sc/RcではE1の方が高くなっている。このことは表5に示すように、E2にはスメクタイトが多量に含まれているから、この粘土鉱物がアルカリを吸着するためであると考えられる。また、反応性物質の火山ガラス量はE1の方がE2よりも5倍近く多い。クリストバライト、トリディマイト及び火山ガラスを合算した比較でもE1はE2の約3倍である。

また、図のモルタルバー膨張においてもセメントのアルカリ量 (Na<sub>2</sub>O 等量) が0.65%と低いにも関わらずE1とE2において、膨張率やペシマム現象で顕著な相違がみられる。この原因は反応性鉱物量と粘土鉱物含有量の相違によるものと考えられる。

図1では、E1安山岩ではペシマムを示す値が、3ヶ月貯蔵では80%、6ヶ月では60%、1年では40%にピークがあり、8年以降では20-100%はほぼ同じ膨張である。時間の経過とともにペシマム値は変化する。また、いずれも高い膨張を示す。

一方、E2安山岩ではペシマム値は、材齢に関わらず20%であり、60%以上の混合率では殆んど膨張を示さない。両者で顕著に異なる。

アルカリ量を1.2% (セメントのNa<sub>2</sub>Oeq) に増やしたモルタルバー試験結果を表6に示す。表にはE2とよく似た膨張挙動を示す骨材(安山岩A)もある。

また、その他の骨材も、それぞれの膨張率は大きく異なるが、いずれもペシマム現象がみられる。表7の黒曜石は殆んど火山ガラスからなる骨材であるが、高い膨張率を示していない。一方、パイレックスガラスは極めて高い膨張を示しており、ガラス量と膨張の関係は単純ではない。

表3 安山岩の化学組成の一例 (%)

骨材	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
安山岩E1	72.3	0.1	16.1	0.3
安山岩E2	69.0	1.2	15.3	2.9
	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	
安山岩E1	0.9	8.9	1.5	
安山岩E2	2.3	4.0	2.4	

表4 安山岩の化学法試験結果の一例

安山岩骨材	試験結果 (mmol/l)			判定
	Sc	Rc	Sc/Rc	
E1	592	89	6.65	無害でない
E2	882	202	4.37	無害でない

表5 安山岩中の反応性鉱物含有量の一例

骨材	反応性鉱物の含有量 (%)		
	クリストバライト (Cr) + トリディマイト (Tr)	火山ガラス (Vg)	Cr+ Tr+ Vg
E1	7.3	51.9	59.2
E2	11.4	9.0	20.4
骨材	りん酸処理後のCrとTrの回折強度の概略比率		粘土鉱物の有無
	Cr	Tr	
E1	++	+	+ (雲母粘土鉱物)
E2	+++	未検出	++ (スメクタイト)

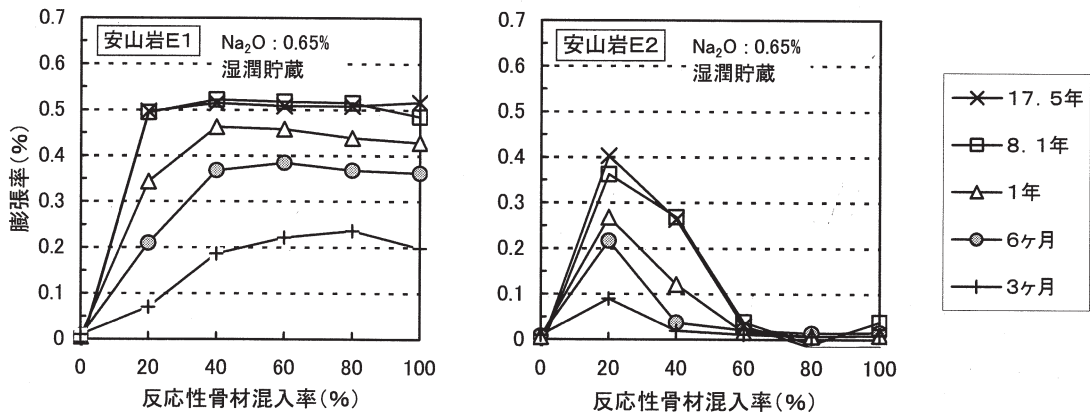


図1 安山岩碎石使用モルタルバーの膨張例



表 6 火山岩系骨材使用モルタルバーの膨張率

骨材種類	モルタルバー膨張率 (%) 6ヶ月				
	20 ※1	40	60	80	100
安山岩 E1	0.708	0.816	0.815	0.781	0.706
安山岩 E2	0.589	0.565	0.491	0.361	0.109
安山岩 A	0.403	0.497	0.443	0.297	0.106
安山岩 B	0.464	0.503	0.448	0.408	0.288
安山岩 C	0.391	0.512	0.538	0.436	0.349
黒曜石	0.065	0.084	0.081	0.074	0.065
パイレックスガラス	0.968	0.953	0.836	0.671	0.584

※1: 反応性骨材混合率 20%、以下 40-100 も同じ

注: 灰色網掛箇所は、最大膨張率(%)を示すペシマム混合率(%)

表 7 火山岩系岩石の反応性鉱物・物質の含有量

骨材	クリストバライト (Cr) + トリディマイト (Tr) (%)	火山ガラス (Vg) (%)	Cr+Tr+Vg (%)
安山岩 A	10.0	3.2	13.2
安山岩 B	7.4	12.7	20.1
安山岩 C	10.4	7.0	17.4
黒曜石	0	80.0	80.0

参考: 文献<sup>9)</sup>より、一部抜粋

表 8 豊島安山岩砕石製品の化学法試験結果

製品骨材	入手年	Sc mmol/l	Rc mmol/l	Sc/Rc	判定
黒色粒製品	2008 ※1	321	170	1.89	無害でない
灰白色粒製品	附表参照	321	313	1.02	無害でない
川砂	2007 ※2	34	85	0.4	無害

※1 付表 豊島砕石製品の絶乾密度及び吸水率

黒色粒製品 2.50 g/cm<sup>3</sup>、0.72%

灰白色粒製品 2.41 g/cm<sup>3</sup>、3.07%

※2 愛知県産、非反応性骨材 (ペシマム実験に使用)

### 4.3 2008年入手の豊島安山岩製品

豊島の砕石工場は廃業状態になっていたが、切羽は残されていた。また、砕石製品も管理・保有している会社があり、入手することができた。その製品の品質状況を表8及び附表に示す。なお、表では、黒色、灰白色としているが、入手製品は混在したものであり、粒子1個ずつを目視で識別して黒色粒と灰白色粒に分けたものである。製品での混合率は黒色2：灰白色8程度であった。

表8では、化学法測定結果や密度・吸水率で両者に差

がみられる。化学法の溶解シリカ量は、偶然同じ値であるが、アルカリ濃度減少量に差がみられ、判定の Sc/Rc には差が生じている。灰白色製品には粘土鉱物 (偏光顕微鏡観察やX線回折分析による) が含まれていて、それにアルカリが吸着されたものと考えられる。また表8の附表から、この灰白色製品の密度が低く、吸水率が高いことから整合性がみられる。

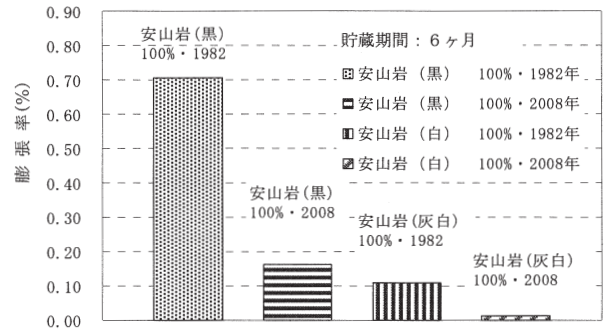


図 2 安山岩砕石の採取時期及び原石の相違によるモルタル膨張率の変化

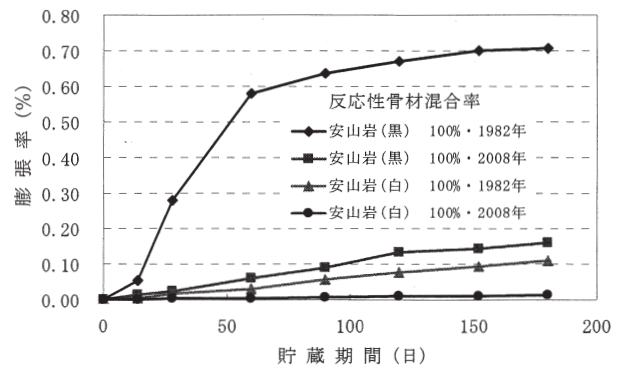


図 3 原石の異なる安山岩モルタルの膨張挙動

図2及び図3は、前述のE1及びE2安山岩と2008年入手製品のモルタル膨張率 (Na<sub>2</sub>O<sub>eq</sub> 1.2%、6ヶ月) を比較したものである。同一砕石工場、黒色を示す安山岩でも切羽の採取箇所・入手時期が異なればモルタル膨張率に大きな差異が生じることが分かる。

図2での2008年入手の黒色粒製品の6ヶ月モルタル膨張率は、1983年の灰白色E2安山岩モルタルの膨張率に近い値である。しかし、図4に示すモルタルの膨張挙動をみると、ペシマム現象や6ヶ月以降のモルタル膨張率において両者はまったく異なっている。例えば、6ヶ月のペシマムとその膨張率は図1の60%、0.38%に比べ、図4では、80%、0.19%である。

また、図5に示すモルタル膨張挙動においても、よく似た色の安山岩である灰白色粒製品のモルタル膨張率は前述の図1の灰白色E2安山岩モルタルと比べ、膨張率やペシマム現象は異なっている。例えば、6ヶ月のペシ

マムとその膨張率は図1の20%、0.22%に比べ、図5では、40%、0.12%である。同一砕石場のほぼ似た色彩の安山岩であっても膨張挙動は異なるので、色彩による品質の選別は難しいといえる。すなわち、化学法やモルタルバー法はいずれも、岩石に含まれる反応性鉱物・物質や粘土鉱物によって変動するので、その把握が重要である。

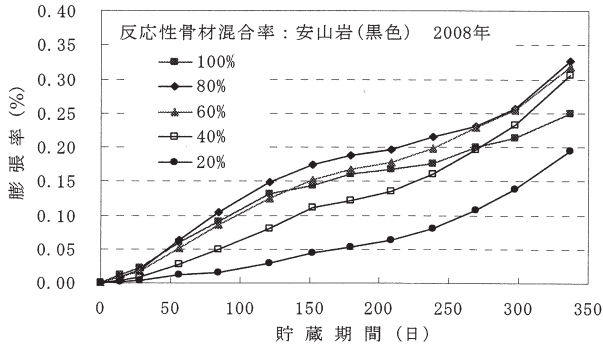


図4 黒色粒安山岩・川砂混合モルタルの膨張挙動

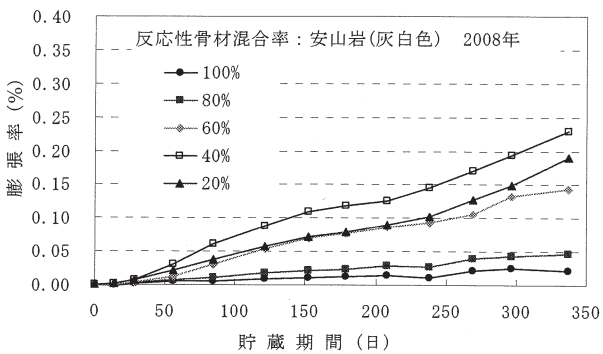


図5 灰白色粒安山岩・川砂混合モルタルの膨張挙動

5. 堆積岩砕石場の切羽の地質状態と ASR 反応性

骨材生産や生コンクリート製造では反応性の有無を証明する試験結果が必要であり、JIS A1145 化学法と JIS A1146 モルタルバー法が多用される。いずれの試験方法においても、結果のばらつきは避けられない。また、判定結果が、両試験方法で一致しない場合がしばしばみられるなど、問題点が多い。前述の安山岩よりも堆積岩において、より多く一致しない傾向が一般的に認められている。ここでは、堆積岩における ASR 試験結果の変動や両試験法の結果が一致しない実態を明らかにしている。

5.1 砕石場切羽の地質と ASR 試験結果

調査対象地域は、岐阜県と愛知県の砕石2工場である。両工場とも砕石・砕砂製品は中・古生層の砂岩、頁岩・粘板岩を主とする堆積岩を砕石原石としている<sup>1), 他)</sup>。

なお、愛知県産山砂利(チャート粒子からなる反応性骨材)と岐阜県産珪質粘板岩砕石の併用でコンクリート

橋梁基礎に ASR によるひび割れの発生した事例<sup>1)</sup>を写真2に示す。



写真2 ASR によって劣化したコンクリート構造物

岐阜県内の砕石工場切羽の状態の2例を写真3及び写真4に示す。

写真3は、砂岩・粘板岩互層であり、走向・傾斜は大略N85W、傾斜85Sである。しかし、当地の地質は複雑にもめており、小さな褶曲もあり、局所的にはかなり変動する。写真の中央付近の粘板岩層は、砂岩・粘板岩互層中で、極めてシリカ成分の多い硬質の珪質粘板岩である。この互層中の珪質粘板岩の偏光顕微鏡観察結果を表9、化学法及びモルタルバー法の結果を表10のそれぞれ最上段に示す。

この粘板岩の偏光顕微鏡観察では、チャートと見間違ふほど微細な石英(潜晶質石英)からなる。微量の硫化鉄(黄鉄鉱)、炭質物(石墨)、粘土鉱物などが含まれていることからチャートではないと判定した。

この地域のチャートにはしばしば放散虫化石を置換したシリカ成分が球顆状玉髓になっている状態がみられる。この岩石にも球顆状が随所にみられたが、その内部には玉髓はなく石英の集合になっていた。しかもそれらの集合石英中の個々の石英には波動消光を示すものが多数みられた。化学法試験結果では、Sc/Rc>1であり、「無害でない」と判定される。しかし、モルタルバー法では6ヶ月の膨張率が、0.1%を僅かに下回っているので、形式的には「無害」と判定される。しかし、膨張挙動や偏光顕微鏡観察結果も含めて総合判断すると、実質は反応性岩石であると評価した方が正しいように思われる。

写真4中央の石英質岩の破断面は、目視では白色～灰色のチャート状あるいは石英の集合状態をなすものである。その化学法の結果では1.42であり、「無害でない」と判定される。しかし、モルタルバー法の6ヶ月の結果では、0.025%であり、全く膨張してなく、明らかに無





写真3 砂岩・粘板岩互層：岐阜県



写真4 石英からなる珪質砂岩：岐阜県

左右の層状チャート層に見えるのは珪質粘板岩

表9 偏光顕微鏡観察による骨材のASR判定結果

骨材原石岩種 (産地：岐阜県)	潜晶質石英	カルセドニー	非晶質シリカ	結晶格子に歪を有する石英	反応性の推定
珪質粘板岩	+++	無	有無の観察困難	++	高い
石英質岩	+	無	同上	+	中程度
頁岩	—	有無の観察困難	同上	無	低い
砂岩	—	同上	同上	無	低い

+++ 多い, ++ 中程度, + 少量有り, — 有無の判別困難, +印の多い岩石ほどASR反応性が高い

表10 化学法及びモルタルバー法の結果と判定

産地	岩種	化学法 (JIS A 1145)				モルタルバー法 (JIS A 1146)			両試験結果の比較
		Sc	Rc	Sc/Rc	判定	3ヶ月	6ヶ月	判定	
		(mmol/l)				(% )			
岐阜県	珪質粘板岩	207	77	2.69	無害でない	0.045	0.093	無害	不一致
	石英質岩	104	73	1.42	無害でない	0.011	0.025	無害	不一致
	頁岩	172	85	2.02	無害でない	0.003	0.004	無害	不一致
	砂岩	63	43	1.47	無害でない	0.002	0.004	無害	不一致
愛知県	珪質細粒砂岩	111	45	2.47	無害でない	0.005	0.006	無害	不一致
	石英質岩	165	45	3.67	無害でない	0.003	0.003	無害	不一致
	砕砂製品	86	48	1.79	無害でない	0.006	0.006	無害	不一致

害岩石である。化学法とモルタルバー法の結果が一致しない典型例といえる。

表9の頁岩(岩種を粘板岩と称してもよい)は、切羽から直接採取したものではなく、同切羽から採取した岩塊が工場広場に集積されていたもので、それから試料を得たものである。この岩石でも上述と同様に両試験結果が一致しない。また同表中の砂岩は、一般的に硬質砂岩と称されているものもある。その化学法の結果は「無害でない」であり、モルタルバー法で「無害」となる。当地方の砂岩にはこのような傾向を示す場合が多い。

## 5.2 化学法とモルタルバー法の不一致についての考察

化学法で「無害でない」を示すものは、80℃の1mol/l NaOH溶液に溶解するシリカ量(Sc)がアルカリ濃度減少量(Rc)に対して多いことを意味する。モルタルバー法では40℃のNa<sub>2</sub>Oeq 1.2% (7.2kg/m<sup>3</sup>)、湿潤貯蔵6ヶ月の膨張率が0.1%以上の場合を「無害でない」としており、両試験の反応条件が異なる。いずれの判定基準も、経験的・統計的なものであり理論的に導き出されたものではない。前述のように、地質は複雑であり、同一地域であっても、骨材原石のSc、Rcや膨張率は異なる。

採取岩石ごとに反応性鉱物の種類、含有量も多様に変化し、また、反応生成物の  $SiO_2/Na_2O$  の比によっても膨張は異なるものである。したがって、できるだけ早く実構造物の被害と一致する試験方法や判定基準をみつける必要がある。

### 5.3 堆積岩モルタルバーの長期膨張挙動

前述では、JIS A 1145 化学法と JIS A 1146 モルタルバー法の試験結果が一致しない実態を明らかにしたが、その一致しない理由を解明するために、6ヶ月を超えた後の膨張率を継続して測定した。その結果を図6、図7に示す。両図には安山岩同様にペシマム現象を調べるために非反応性骨材の川砂を混合したモルタルの膨張率をも併記した。

図6の岐阜県産珪質粘板岩では6ヶ月を超えた後に急激な膨張を示している。表10に示したように、珪質粘板岩混合率100%の化学法試験結果では、 $S_c/R_c > 1$ であり、「無害でない」と判定され、モルタルバー法の6ヶ月の膨張率では、0.1%を下回っているので、「無害」の判定である。しかし、モルタルバー法による膨張率が6ヶ月で判定基準(0.1%)近くの0.093%である。そこで、6ヶ月以降の膨張率に着目すると、その後、しばらく横ばい状態が続き、250日位から急激な膨張を起こす。

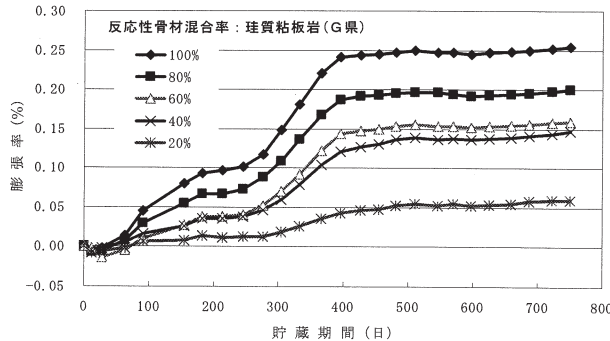


図6 珪質粘板岩(岐阜県産)に非反応性川砂(愛知県産)を混合したモルタルの膨張挙動

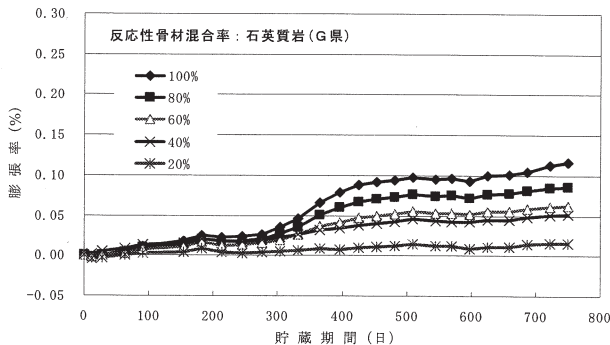


図7 石英質岩(岐阜県産)に非反応性川砂(愛知県産)を混合したモルタルの膨張挙動

この膨張傾向はいずれの混合比率でもみられる。そして、安山岩のようなペシマム現象はみられず、反応性岩石の混合比率の多いほど膨張率が高くなることが明瞭に示されている。また、図7の石英質岩・川砂混合モルタルにおいても、膨張率は低いながらも同様の傾向がみられる。

図8に示すように、同一砕石場の切羽から採取した岩石でも、モルタル膨張率にはかなりの違いがある。

したがって、切羽での岩種が多いほど、製品にはいろいろな膨張の岩石が混合され、製品のASR反応性の変動が大きくなるといえる。

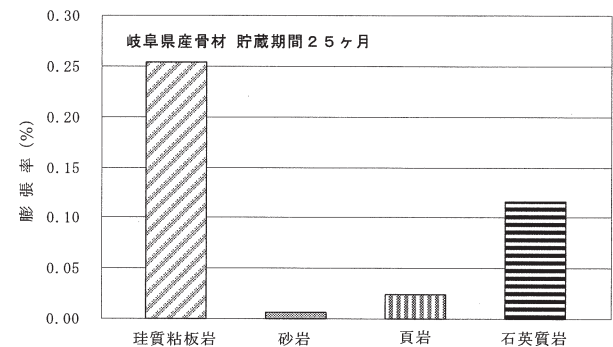


図8 岐阜県産骨材使用モルタルの膨張率の比較

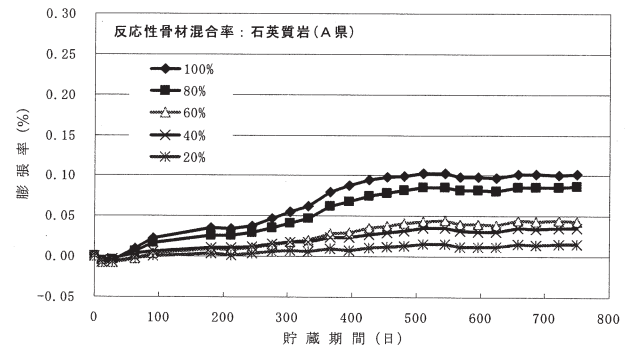


図9 石英質岩(愛知県産①-1)に非反応性川砂(愛知県産)を混合したモルタルの膨張挙動

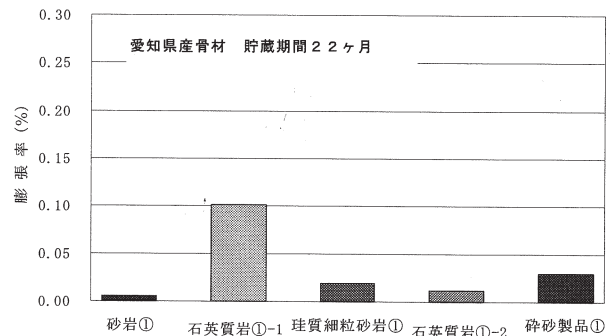


図10 愛知県産骨材使用モルタルの膨張率の比較



岐阜県と隣接する愛知県の北部の砕石工場の切羽から採取した岩石を使用したモルタルの膨張状態を図9及び図10に示す。

この工場の切羽の地質は上述の岐阜県の砕石工場と同様の中・古生層であり、砂岩と頁岩・粘板岩の互層で、走向・傾斜は大略N85W、傾斜85Sであり、地質図上では同じ地層に属する。ここでの地質も複雑にもめており、砕石工場内の切羽には花崗岩も貫入しており、珪質粘板岩、チャート類似の珪質岩層、硫化鉄の浸み込みで褐色になった岩石が随所にみられる状態である。いずれの岩石も、化学法で「無害でない」、モルタルバー法で「無害」となり一致しないものである。このモルタルバー法での無害の状態を確認するために、前述と同様、約750日まで測定したモルタルの膨張率の一例が図9である。

図9では、100%混合の場合が500日付近で0.1%になり、その後は横ばいである。混合率が少なくなるほど膨張率が低くなりペシマム現象はみられない。

図10は、その他の岩石の約1年貯蔵後の膨張を比較したものである。図では、すべての岩種の膨張が、0.1%以下であり、この砕石工場の岩石は膨張しないといえる。化学法で「無害でない」と判定されるのは、溶解シリカの量が多いことによるが、膨張の起こりにくい溶解シリカがあるのかも知れない。今後の検討課題である。なお、モルタルバー法の試験は、骨材の反応性を早期に判定するためのものであるから、一般のコンクリート構造物には使用しないような多量のアルカリ量(7.2kg/m<sup>3</sup>)であり、また、常時、湿潤状態で貯蔵するので、ASRが起こりやすい環境である。それでも長期間に膨張を起こさないのは膨張物質が少ないからであるといえる。また、この砕石場の骨材による実構造物での被害の発生も聞いていない。当面の課題は、1mmol/lNaOH、80℃溶液に溶解するが、反応生成物になると膨張を起こさないシリカを見つけることである。

一般に偏光顕微鏡観察が反応性鉱物の検出に有効である。その場合、反応性鉱物の検出は安山岩、チャート、珪岩、熔結凝灰岩などでは容易であるが、砂岩や頁岩の場合は難しい。ただし、劣化構造物から採取した岩石の場合ではゲルの発生している箇所を追跡すればよいので、すべての岩種において容易に反応性鉱物・物質を見つけることができる。これを応用して、砂岩、頁岩に存在する反応性シリカを捉えたい。それにはPM、SEM、MMRなどの使用が有効であろう。

## 6. 結論

調査した地域の安山岩及び砂岩・粘板岩層の切羽の岩石のASR特性は、以下のとおりである。

- (1) 切羽の反応性岩石の分布は複雑・多様であり、また、岩種によって反応性が異なる。したがって、砕石製

品のASR反応性は変動しやすい。

- (2) ペシマム現象は、安山岩にはみられ、砂岩・粘板岩にはみられない傾向がある。
- (3) 堆積岩には化学法とモルタルバー法の結果が一致しない場合が多い。
- (4) 反応性岩石には膨張が長期に継続するものと短期に収束するものがある。

**謝辞**：本研究は平成19年度及び20年度科学研究費補助金「砕石切羽のアルカリシリカ反応性骨材の分布実態調査」(研究課題番号19560466)によった。また、多数の材料研究室卒業研究生の協力を得た。ここに謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 森野奎二・岩月栄治・澤口啓希：骨材採取地の反応性骨材と実構造物のASR劣化状況，資源・素材2007(名古屋)講演資料，pp.177-178(2007)
- 2) 岩月栄治・森野奎二：各種骨材のASR膨張と化学法結果に関する研究，資源・素材2007(名古屋)講演資料，pp.185-186(2007)
- 3) 森野奎二・岩月栄治：砕石切羽内のアルカリシリカ反応性岩石の特徴，資源・素材2008春季大会講演集(1)，pp.53-54(2008)
- 4) 森野奎二・岩月栄治：砕石切羽における骨材岩石の品質性状，資源・素材2008(仙台)講演資料，pp.177-178(2008)
- 5) 岩月栄治・森野奎二：珪質堆積岩のアルカリシリカ反応の特徴，材料，Vol.57，No.10，pp.967-972(2008)
- 6) 森野奎二・岩月栄治：各地の砕石切羽の性状変化，資源・素材2009春季大会講演集(1)，pp.47-48(2009)
- 7) 森野奎二・岩月栄治：採取時期が異なるASR反応性骨材のモルタルバー膨張挙動，土木学会中部支部平成20年度研究発表会講演概要集，第5部，pp.467-468(2009)
- 8) 森野奎二：アルカリ反応性骨材の岩石学的考察第6回JCI年次講演会論文集，pp.241-244(1984)
- 9) K.Morino：The Petrological Study of Alkali Reactive Aggregate，Transactions of the Japan Concrete Institute，pp.207-214(1984)
- 10) 森野奎二・柴田国久・岩月栄治：スメクタイトを含む安山岩のアルカリ骨材反応性，粘土科学，Vol.27，pp.170-179(1987)
- 11) K.Morino，E.Iwatsuki and Y.Sarai：ASR Expansion and Microstructure of concrete with Cherty Aggregate，East Asia Alkali-Aggregate Reaction Seminar，Tottori，Japan，pp.113-124(1997)
- 12) K企業所有：品質試験報告書(1981-1983)  
(2009年9月25日受付 2010年1月15日受理)