

骨材の岩石・鉱物学的評価の有用性について

——特に、骨材中の空隙・細孔径分布と反応性について——

Utility of Petrographycal and Mineralogical Estimation for Aggregate

—Relation between Alkali Reactivity and Porosity・Pore size Distribution in Aggregate—

石田 良二

by Ryoji ISHIDA

1. まえがき

骨材のアルカリ反応性の評価(判定)は、化学法とモルタルバー法の組み合わせにより行われているのが現状であり、岩石・鉱物学的試験は骨材の鉱物組成や有害鉱物の確認程度、または、全く行われないことが多い。しかし、骨材の岩種やそれに含まれる反応性シリカ鉱物の種類や量によって、反応速度・反応の程度などは大きく異なる。ところが、化学法・モルタルバー法の試験方法や判定規準は骨材の岩種によらず一律であり、骨材によっては、現行の判定法では反応性を誤って判定している場合が非常に多く認められる。このようなことから、骨材の反応性は、反応性試験の結果のみで判断するだけでなく、骨材の岩石・鉱物学的な特徴も明らかにし、総合的に評価することが望ましい。

また、化学法・モルタルバー法の結果は「有害・無害」という骨材の良否をふるい分けだけの「判定」にすぎない。そして、現状では、どちらかの試験で「有害」と判定されると事前評価の段階で排除される場合が多い。ところがそれらの骨材の多くは使用実績があり、実際に構造物が被害をうけているものはごく僅かである。良質な骨材の枯渇という昨今の骨材事情を考えると、これらの「有害」骨材も貴重な骨材資源であり、それらを排除することは、骨材の利用者や生産者に与える損害が大きいだけでなく、今後、コンクリート用骨材の不足という社会的な大問題に発展するのは必至の情勢である。したがって、我々は現在のふるい分け的な判定法ではなく、積極的な利用を目的とした評価法、換言すれば、どうすれば使えるのかを示唆できるような評価法を考えていく必要がある。

そのような考え方に基づく骨材の新しい評価法として、立松ら(1989)¹⁾の改良化学法がある。これは、化学法を改良した溶液試験によって得られるRc⁰を活用することによって、コンクリートに対する限界アルカリ量を推定しようとする評価法である。改良化学法では、まず、岩石・鉱物学的試験を行い、反応性シリカ鉱物の種類によって試験条件を変えており、従来の方法にはない岩石・鉱物学的な特徴をも重視した理想的な評価法であるといえる。

* 前田建設工業(株) 技術研究所 地盤研究室
(〒179 東京都練馬区旭町1-39-16)

今回、資源・素材学会、建設用原材料部門委員会アルカリ骨材反応ワーキンググループの活動として、改良化学法を用いて限界アルカリ量を評価する目的で実施した化学法・モルタルバー法試験結果と岩石・鉱物学的試験結果とを比較検討した。本文では、特に、骨材中の空隙あるいは細孔径分布に注目し、それらの測定値とモルタルバーの膨張量などについて検討した結果を報告する。

2. 岩石・鉱物学的評価法

骨材の岩石・鉱物学的な試験方法については、ASTM C-295, CSA A-23.2-15Aなど国外で規格化されている試験法がある。わが国では、日本コンクリート工学協会の耐久性診断研究委員会報告として、コンクリート構造物の耐久性診断・評価手法に関する規準案(1988)²⁾において骨材に含まれる有害鉱物の判別(同定)方法(案)及び有害鉱物の定量方法(案)が提案されている。ASTM C-295は、骨材全般について記載されており、試験項目の1つとして、アルカリ・シリカ反応、アルカリ炭酸塩岩反応の反応性鉱物の判定や定量方法が述べられている。これに対し、コンクリート工学協会の規準案は、我が国におけるアルカリ骨材反応や塩害などによるコンクリート構造物の早期劣化を契機に検討された方法であり、方法が詳細に記載されている。規準案による、有害鉱物の判別(同定)方法として、

- (1) 肉眼観察(ルーペ観察)
- (2) 偏光顕微鏡観察
- (3) 粉末X線回折試験

を併用するものとし、また定量方法として、

- (1) 偏光顕微鏡、(2) 粉末X線回折

の2つの方法の適用について記述されている。

図-1に筆者が実際に骨材調査等で実施している岩石

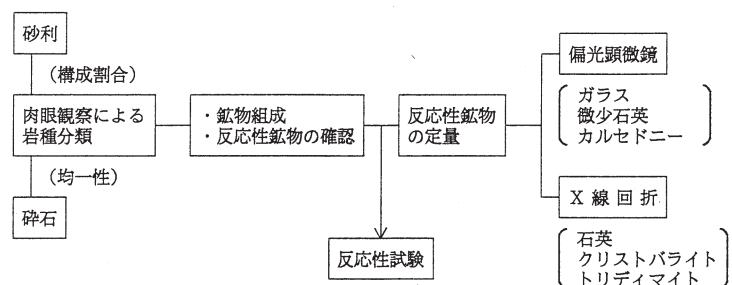


図-1 岩石・鉱物学的試験フロー図

・鉱物学的試験のフロー図を示す。まず、砂利であれば、肉眼観察により岩種分類と構成割合を求める。碎石の場合は、原石が複数の岩種からなる場合は、勿論であるが、一種類の場合でも、採取位置・時期により品質（岩質）が変化するので、品質（岩質）が一定かどうかチェックするために肉眼観察を行う必要がある。

次に、偏光顕微鏡及び、X線回折法によって骨材の組成鉱物の同定を行い、反応性鉱物の有無を調べる。有害鉱物が存在する場合、その鉱物種によって、偏光顕微鏡またはX線回折法により定量を行う。定量方法は、偏光顕微鏡については、コンクリート工学協会(1988)²⁾、X線回折法については石田・中永・堤(1988)³⁾の方法に従って実施している。

3. 骨材の岩石・鉱物学的特徴

実験に用いた骨材は8種類であり、火山岩系骨材5種、堆積岩系骨材3種に分けられる。表-1に骨材の岩石・鉱物学的特徴の一覧表を、口絵写真2に代表骨材の偏光顕微鏡写真を示す。安山岩は全て、斑状組織を示す第三紀の輝石安山岩であり、反応性シリカ鉱物として、クリストバライト・トリディマイト・ガラスのいずれかを含んでいる。反応性シリカ鉱物の含有に注目すると、クリストバライト主体のものが2種（AA, AO）、クリストバライト、トリディマイトを両方とも多く含むものが1種（AN）、トリディマイト主体のものが1種（AF）、石英を多く含み、クリストバライト、トリディマイトを少量含むものが1種（AI）である。

堆積岩は、砂岩・ホルンフェルス・チャートであり、砂岩は中生代白亜紀の硬質砂岩で、粒子径1mm以下の比較的細粒な砂岩であり、部分的に頁岩に近い細粒部が存在する。反応性シリカ鉱物としては、φ5μm以下の微小石英を含む。ホルンフェルスは、中-古生層が接触変成をうけた黒雲母ホルンフェルスであり、

結晶径10~30μm以上の細粒な石英と、数μmの黒雲母を主体とする。チャートは岐阜県産の砂利を砕いたもので、微小石英、カルセドニーを多く含んでいる。

表-2に骨材の反応性シリカ鉱物含有率と反応性試験結果一覧表を示す。反応性シリカ鉱物の定量は、クリストバライ

ト、トリディマイト（石英）については、リン酸処理+X線回折法³⁾により、微小石英（カルセドニー）・ガラスについては偏光顕微鏡を用いて線積分法²⁾にて測定した。反応性試験結果は、佐々木・石田(1991)⁴⁾の結果を用いた。

表-2により、クリストバライト主体のAA, AOを比較すると、反応性シリカ鉱物含有量は同程度であるが反応性試験結果が異なる。AAはSc, Rcとも大きいですが、膨張率は小さく、AOはSc, RcともAAに比べ小さいが膨張率は大きい。AAが、Scが大きいのに膨張率が少ないのは、Rc^oが大きいとめと考えられ、鉱物組成・反応性シリカ鉱物含有量が類似した2つの骨材で膨張特性が異なるのは、Rc^oの大小による影響が大きいものと推定される。

AIは、石英を多く含みトリディマイトを少量含んでいるが、Scが50と低い。膨張率はアルカリ量1.2%で0.021と低いが、1.4%では0.093と高い値を示している。

AFは、トリディマイトを20%含み、Scが764と高いにもかかわらず膨張がほとんど認められない。これは、Rc^oが70と高いことが影響しているものと思われるが、アルカリ量1.4%, 1.6%のモルタルバーもほとんど膨張していないことから、Rc^oだけでなく、他の要因による影響も考慮する必要がある。

ANは、クリストバライト11%, トリディマイト5%, ガラスを含み、Scが916と大きく、Rc^oが15と非常に低い。ところが、モルタルバー膨張率は0に近く、アルカリ量1.4%, 1.6%でもほとんど膨張していない。本骨材は、Scが916と非常に大きく、また、モルタルバー表面に反応生成物であるゲルが認められるので、反応が起きていることは確実であり、AFと同様、モルタルバーの膨張特性にはRc^o以外の要因が大きく影響しているものと考えられる。

表-1 骨材の岩石・鉱物学的特徴

記号	岩石名	産地	組成鉱物										特徴
			Qz	CR	TR	F	Px	Mi	Gl	Opi	その他		
AA	両輝石安山岩	佐賀県	-	++	-	++	++	-	+	+	Mo	斑状組織 半晶質	
AO	両輝石安山岩	大分県	+	++	+	+++	++	tr	+	+	Mo	斑状組織 変質	
AI	両輝石安山岩	静岡県	++	tr	+	+++	++	tr	-	+	ch	斑状組織 変質	
AF	普通輝石安山岩	静岡県	-	-	++	+++	+	-	-	+	-	斑状組織	
AN	紫蘇輝石安山岩	長野県	-	+	++	+++	tr	-	tr	+	ch	斑状組織	
SH	堆砂岩	東京都	+++	-	-	++	tr	+	-	+	ch ca	微小石英 (隠微晶質)	
SI	積ホルンフェルス (砂岩)	茨城県	+++	-	-	+	-	++	-	tr	-	微晶質石英 微細雲母	
SY	岩チャート	岐阜県	+++	-	-	-	-	tr	-	-	ch Mo	微小雲母 カルセドニー	

(相対的な含有量の目安)

+++ : 多い + : 少ない
++ : 中位 tr : 僅か

(凡 例)

Q -- Quartz Opi --- Opaque mineral
CR -- Cristobalite Mo --- Montmorillonite
TR -- Tridymite Mi --- Mica
F -- Feldspar Ch --- Chlorite
Px -- Pyroxene Ca --- Calcite
Gl -- Glass

堆積岩については、SHは、結晶粒径5μm程度以下の微小石英を6~13%含み、Scは70、1.2%での膨張率は0.012%と低い。しかし、アルカリ量1.6%12ヶ月では、0.124%の膨張率を示す。

SIは、微小石英はほとんど含まないが、それより少し大きい10~30μmの細粒（微晶質）石英を多く含む。Scは、50と低いが、膨張率はアルカリ量1.2%、6ヶ月で0.031%とSHに比べて大きく、1.6%12ヶ月で0.111%の膨張率を示す。SIには、結晶粒径5μm以下の微小石英やカルセドニーなどのいわゆる反応性シリカ鉱物は含まれていないが、それに近い粒径の石英が徐々に反応し、モルタルバーを膨張させていると考えられる。また、SHとSIを比較すると、SHの方がScが大きくかつ反応性シリカ鉱物を多く含むが、アルカリ量1.2%における膨張率は、SIの方が大きい。これは、Rc°がSHで75、SIで35あり、安山岩のAAとAOの関係と同様に、Rc°の大小が膨張特性に影響していると考えられる。

SYは、微小石英・カルセドニーを50%以上含み、Scも450と高く、膨張率も他に比べるとかなり高い。また膨張速度が他の堆積岩と比べて速く、6ヶ月でほぼ収束し、安山岩に似た膨張特性を示す。

以上に、反応性シリカ鉱物含有率と反応性試験結果について簡単に検討したが、それらをまとめる。

- ① 反応性シリカ鉱物含有率と溶解シリカ量（Sc）は、比較的良好な相関性がある。
- ② 安山岩の場合、Scと膨張率は、ほとんど相関性がなく、Scおよびアルカリ量と膨張率の関係がRc°の大小により説明できる骨材（AA, AO）と、Scが大でRc°が小さくても膨張しない骨材など、Rc°を導入しても膨張性が説明できない骨材（AN, AF）に分けられる。特に、ANはScが916と大きく、Rc°が15と非常に小さいにもかかわらず、ほとんど膨張しない。
- ③ AN, AFという、反応性シリカ鉱物含有率が高く、Scも大きいのに膨張しない骨材は、トリディマイトを多く含んでいる。石田・中永・堤(1988)³⁾、石田(1990)⁵⁾によると、トリディマイトとクリストバライトはアルカリに対する溶解性には大きな差がないが、膨張性が異なり、クリストバライトを多く含む骨材の方が大きな膨張性を有するとしている。その違いは両者の産状の違い（例えば、トリディマイトは、岩石の空隙率にガスなどにより生成することが多い）によるものであり、岩石の空隙率や比表面積等、岩石の組織的な性質（物理的性質）に起因するものと考えられる。
- ④ 堆積岩の場合は、試料数が少ないため、十分な検討はできなかったが、安山岩の場合と同様にScと膨張率の関係が、Rc°の大小によって説明でき

表-2 反応性シリカ鉱物含有率と反応性試験結果

骨材	反応性シリカ鉱物	化学法			モルタルバー法	
		Sc	Rc	Ro°	R ₂ O _{1.2%} 6ヶ月	R ₂ O 最大膨張率 材令
安山岩	AA CR 11% TR 1% Gl 少	790	170	70±5	0.015	0.074 (8ヶ月)
	AO CR 7% TR 1% GL 10%	330	70	25±5	0.315	0.441 (12ヶ月)
堆積岩	AI CR 1% TR 5% (Qz 10%)	50	98	40±5	0.021	0.093 (6ヶ月)
	AF TR 20%	764	122	70±5	-0.001	0.012 (6ヶ月)
	AN CR 11% TR 5% Gl 5%以下	916	98	15±5	0.005	0.014 (5ヶ月)
堆積岩	SH MQ 6~13%	70	85	75±5	0.012	0.124 (12ヶ月)
	SI —	50	40	35±5	0.031	0.111 (12ヶ月)
	SY MQ, Chal 57~72%	450	65	40±5	0.050	0.256 (6ヶ月)

(凡 例)
CR --- Cristobalite Gl --- Glass (Sc, Rc, Rc° 単位 mmol/l)
TR --- Tridymite MQ --- Micro Quartz
Qz --- Quartz Chal --- chalcodony

るものもある（SHとSI）。

4. 骨材の空隙・細孔径分布

前章で述べたように、今回実験に用いた骨材の内、ANとAFはScが大きく、Rc°が小さいにもかかわらずほとんど膨張せず、アルカリ量が高い場合にも膨張量はかなり低かった。このような骨材の膨張特性は、ScとRc°で説明することができず、空隙率や空隙の大小など岩石・鉱物学的特徴のうちでも岩石の組織と大きな関連性があるものと考えられる。

以上のようなことから、骨材の反応性と岩石組織（物理的性質）の関係を明らかにする目的で、各骨材の空隙率・細孔径分布を測定した。

4-1 試験方法

測定は、(株)島津製作所製水銀圧入型ポロシメーター「オートポア9200」を用いた。本装置は、細孔直径約30Å(0.003μm)~約300μm(0.3mm)の細孔を測定することができる。細孔径分布以外にも全細孔体積・全細孔表面積(比表面積)・平均細孔径などを算出した。

試料は、表-1に示した8種類の骨材である。測定では、骨材の粒度をモルタルバー試験の粒度分布のうち、4.75~2.36mm, 2.36~1.18mmの2段階の粒度のものを約50%ずつ混合し、表面の微粉等を除去するために十分水洗し、炉乾燥し、測定直前まで室温にてデシケーター内で乾燥させた。その後、試料を測定用セルに充填し、所定の真空度になるまで脱気を行い、測定を開始する。

水銀圧入による細孔径分布の測定原理を簡単に示す⁶⁾。水銀は、表面張力が大きく、ほとんどの固体に対して接

接触角が90°以上を示し、固体表面を濡らさずに、逆に固体によってはじかれる性質を有している。このことは、水銀は強制的に圧入されない限り細孔へ入っていかないことを意味し、言い換えれば、水銀に加えられる圧力と細孔の寸法により、水銀は細孔中にある一定の関係で挿入される。細孔径と水銀の圧力との関係は、Washburn式により次のように示される。

$$PD = -4\sigma \cos\theta$$

ここでP：加えられる圧力 D：細孔の直径

σ ：水銀の表面張力

θ ：水銀と測定しようとする試料との間の接触角であり、この式から、加えられる圧力、水銀の表面張力、接触角がわかれば細孔直径が求まる。また、圧入された水銀の体積は、細孔体積を表す。なお、上式による細孔径の計算には、 $\theta = 130^\circ$ 、 $\sigma = 485 \text{ dyn/cm}$ を用いた。

また、ポロシメーターによって測定される細孔は、外部と連続している孔（開孔）のみであり、物質内部に外部とつながらずに存在する孔（閉孔）は測定されず、空隙といっても開孔だけを測定していることに留意する必要がある。

4-2 試験結果

表-3に、ポロシメーターによる空隙率・細孔径分布測定結果を示す。また、図-5に全骨材の細孔径分布図（細孔直径と一定の細孔直径区間にある細孔体積の割合）を示す。

表-3によると、空隙率は安山岩で5.6~13.8%とやや幅のある値を示し、堆積岩は全て4%台である。全細孔体積は空隙率にほぼ比例した値を示している。この2つの項目で注目すべきことは、安山岩が大きく2つに分けられることである。すなわち、AA, AO, AIは空隙率が5.6~6.9%、全細孔体積が0.0210~0.0274cc/gであるのに対し、AF, ANは11.2~13.8%、0.0472~0.0579cc/gと他の3試料に比べかなり大きな空隙（細孔）を有している。

全細孔表面積（以下、比表面積とする）は安山岩で、2~7 m^2/g 、堆積岩で2~3 m^2/g を示す。比表面積は、細孔体積が同じ場合、微細な細孔が多いほど大きくなり、それとは逆に大きい細孔径が多いほど比表面積は小さくなる。安山岩の場合、AA, AO, AIは同じ程度の値を示すのに対し、AFは、7.5 m^2/g と大きく、ANは2.6 m^2/g とかなり小さな値を示している。ANの比表面積が小さいのは、平均細孔直径が大きいためであり、細孔体積が大きいと直径も大きいため比表面積が小さいものと考えられる。堆積岩の場合は、

SY（チャート）の比表面積が他に比べ大きい。細孔体積は3試料とも同じ程度であり、SYは平均細孔径が他より小さい。

図-5によると、安山岩のAA, AO, AIはよく似た細孔径分布形状を示し、細孔径0.01 μm 付近に多くの細孔があり、さらに、100~300 μm 付近にも細孔が集中し、その間はわずかに存在する程度である（ただし、AIは、0.1~1 μm のものもかなり存在する）。これに対し、AFは0.003~0.01 μm 付近にわずかなピークがあるものの、100 μm 程度まですべての大きさにわたり細孔が存在している。さらに、ANは、他の骨材とは細孔径分布が明らかに異なり、1 μm 付近にピークが存在する正規分布に似た分布を示す。

堆積岩は、3試料とも同様な細孔径分布を示し、0.005 μm （50Å）付近と200~300 μm にピークをもち、その間の細孔径は、わずかに分布が認められる程度である。3種類の試料のうちでは、SYの0.001 μm 以下（0.005 μm 付近）の細孔がSH, SIに比べ約2倍多い。

図-5では、全骨材とも、細孔直径100~300 μm にピークがある。100~300 μm （0.1~0.3mm）の細孔というのはかなり大きな孔であり、その存在をチェックする目的で走査型電子顕微鏡により骨材表面を観察した。その結果、全ての骨材でこのように大きな細孔は存在せず、データとして得られたこの100~300 μm の細孔は、骨材内部のものではないと推定される。実験では、 $\phi 1.2\sim 5\text{mm}$ 程度に粒度調整した複数の試料を測定用セルに詰めるため、粒子と粒子の境界部が測定されることがあり、それがこのような大きな細孔径としてカウントされたものと考えられる。その他の原因としては、粉碎による試料表面の凹凸も考えられるが、今後検討する必要がある。なお、巻末に代表試料の電子顕微鏡写真を示す。

また、実験に用いたポロシメーターの測定下限は約30

表-3 空隙率・細孔径分布測定結果

骨材	空隙率 (気孔率) (%)	全細孔 体積 (cc/g)	全細孔 表面積 (m^2/g)	平均 細孔直径 (μm)	反応性 シリカ鉱物 含有率	SC (mmol/ℓ)	膨張率 1.2% 6ヶ月(%)	最大膨張率 (R_{20} , 材令)	
安山岩	AA	6.9	0.0274	6.7510	0.0162	CR 11 TR 1 GI 少	790	0.015	0.074 (1.4, 8M)
	AO	5.6	0.0210	5.4180	0.0155	CR 7 TR 1 GI 10以下	330	0.315	0.041 (1.0, 12M)
山岩	AI	6.7	0.0251	5.3810	0.0186	CR 1 TR 5 (Qz 10)	50	0.021	0.093 (1.4, 6M)
	AF	11.2	0.0472	7.5150	0.0251	TR 20	764	-0.001	0.012 (1.4, 6M)
	AN	13.8	0.0579	2.6333	0.0879	CR 11 TR 5 GI 5以下	916	0.005	0.014 (1.4, 5M)
堆積岩	SH	4.4	0.0169	2.254	0.0302	MQ 6~13	70	0.012	0.124 (1.6, 12M)
	SI	4.3	0.0167	2.167	0.0308	—	50	0.031	0.111 (1.6, 12M)
	SY	4.4	0.0172	3.541	0.0194	MQ 57~ chal 72	450	0.050	0.256 (1.6, 6M)

Å (0.003 μm) であるが、図-5 によるとほとんどの骨材でそれ以下の径の細孔が存在することが、その分布形状から推定される。

4-3 結果の検討

4-2では、各骨材の細孔径分布測定結果を述べたが、ここでは、それらの結果と反応性試験結果との関係について検討する。

(1) 図-6 に空隙率と S c (溶解シリカ量) の関係を、図-7 に比表面積と S c の関係を示す。S c については反応性シリカ鉱物含有量との相関が大きいため、単なる比較はできないが、空隙率や比表面積の大きいものの方が、S c も大きい傾向を示している。安山岩の A A と A O は、反応性シリカ鉱物の種類と含有率はほぼ同じであるが、S c は A A の方がかなり大きい。こ

れは、A A の方が A O より、空隙率・比表面積とも大きいためであると考えられる。また、安山岩の A I と A A、堆積岩の S I・S H と S Y は、空隙率や比表面積はほとんど同じであるにもかかわらず S c がかなり異なるが、これは、反応性シリカ鉱物含有量の差によるものと考えられる。

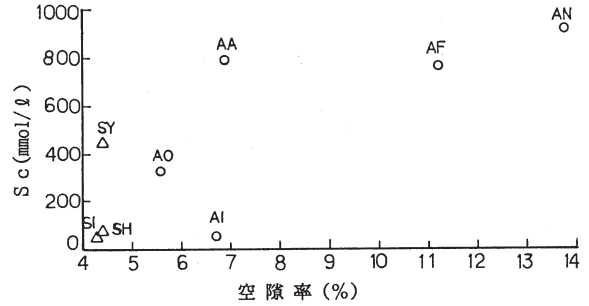


図-6 S c (溶解シリカ量) と空隙率の関係

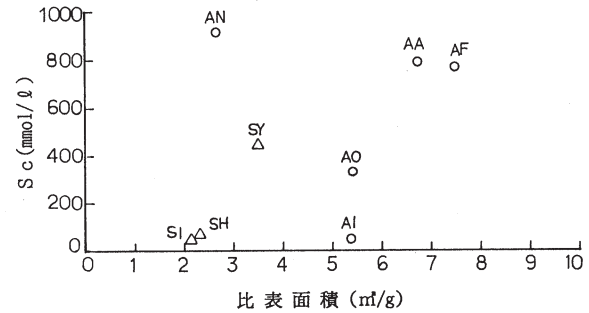


図-7 S c (溶解シリカ量) と比表面積の関係

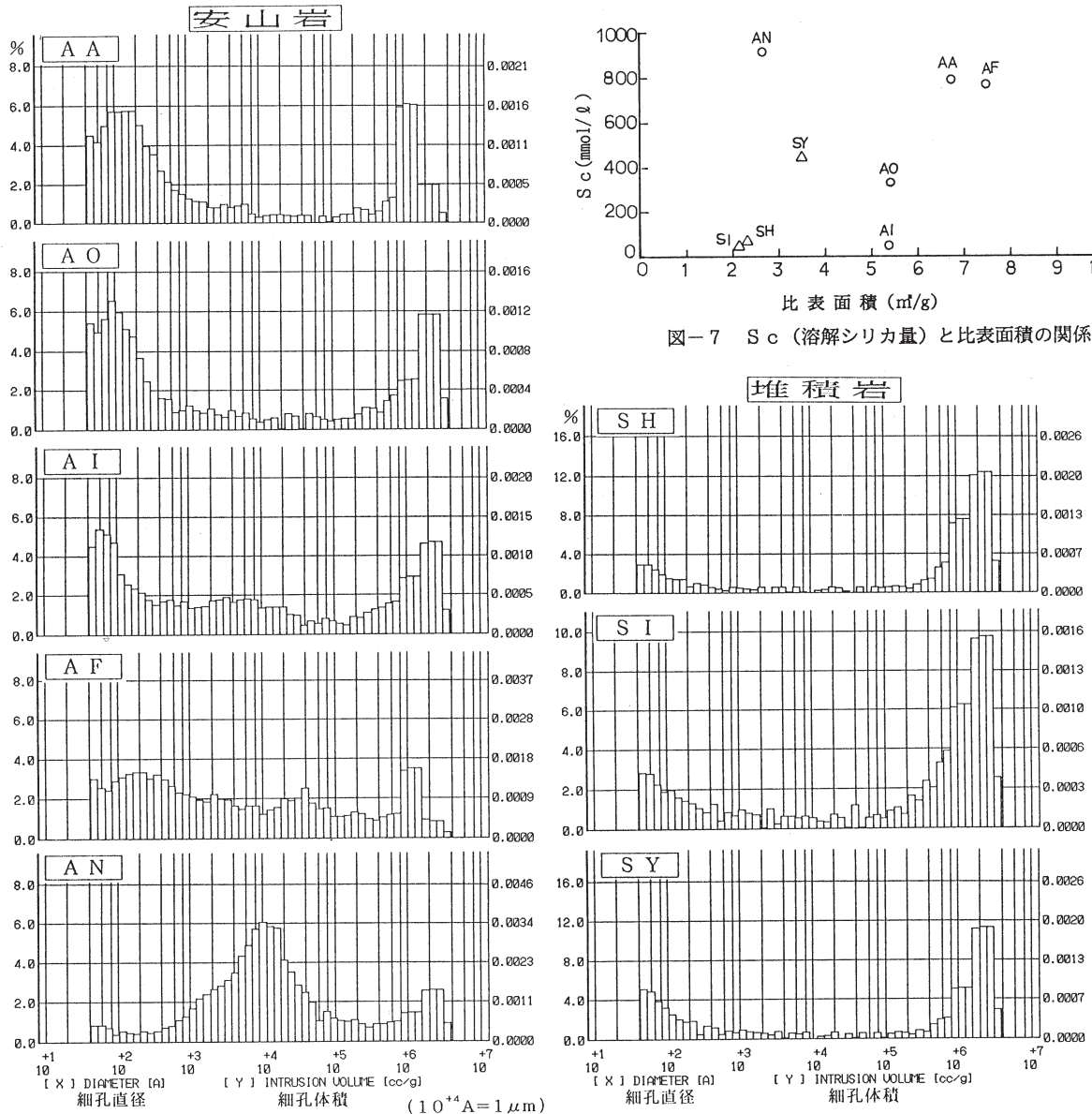


図-5 骨材の細孔径分布図

(2) 図-8に空隙率と膨張率との関係を、図-9に比表面積と膨張率の関係を示す。図-8によると、安山岩では、空隙率が少ないほど膨張率は大きく、空隙率の大きなAF、ANはアルカリ量が高い場合でも、ほとんど膨張しない。堆積岩の場合は、3試料とも同程度の空隙率であるが、SYのみ反応性シリカ鉱物を多く含むため膨張率が大きいと考えられる。しかし、SH・SIという反応性シリカ鉱物の少ない骨材でも、アルカリ量が高いと0.1%以上の膨張を示しており、空隙の大きい安山岩に比べ膨張率が大きく、空隙の大小が膨張に何らかの影響を与えているものと考えられる。また、図-9によると比表面積と膨張率の間には、顕著な傾向は認められない。

(3) 細孔径分布と膨張性に注目すると、安山岩のAN、AF以外の骨材は、すべて $0.01\mu\text{m}$ 付近の細孔径に分布のピークがあり、 $0.01\mu\text{m}$ 付近の細孔が膨張性に大きく関わっているものと考えられる。

(4) 安山岩のAN、AFは他の骨材と異なった反応性を示している。細孔径分布測定の結果、それらの安山岩は他の骨材に比べ空隙率が大きく、かつ、細孔径分布も大きく異なり、ANは $1\mu\text{m}$ 付近の細孔が卓越し、平均細孔直径も $0.08\mu\text{m}$ と他の骨材の約5倍であった。また、AFは、卓越した細孔径がなく、細かい孔～大きな孔まで広く均一に分布するような細孔径分布を示している。これらの安山岩の反応性の特異性は、細孔径分布に起因するものと考えられ、空隙率が大きく、細孔直径も他の骨材に比べ大きいため、反応生成物ができて空隙中に吸収されてしまい膨張が小さくなったものと考えられる。

(5) 以上のようなことより、岩石の空隙率や細孔径分布は、反応性シリカ鉱物含有量や R_c° などととともに、骨材のアルカリ反応性に大きく関わっており、空隙率や大きな径の細孔の割合が多いほど、反応生成物が空隙に吸収され膨張性は小さくなり、それとは逆に、空隙が少なく細かい細孔が多い骨材ほど反応生成物が空隙中に充填されるため、その後生成された反応生成物やそれらの吸水による体積膨張が直接圧力として作用するために膨張が大きくなるものと考えられる。

5. あとがき

アルカリ骨材反応に関する岩石・鉱物学的評価法として、安山岩5種類、堆積岩3種類を用いて偏光顕微鏡やX線回折による岩石・鉱物学的試験に加え、水銀圧入型ポロシメータにより骨材中の空隙率や細孔径分布を測定し、反応性試験結果と比較検討した。

その結果、骨材の空隙率や細孔径分布は、反応性と大きく関わっており、空隙率や細孔径の大きな骨材は、反応性シリカ鉱物を多く含有したり、 R_c° が低いにもかかわらず

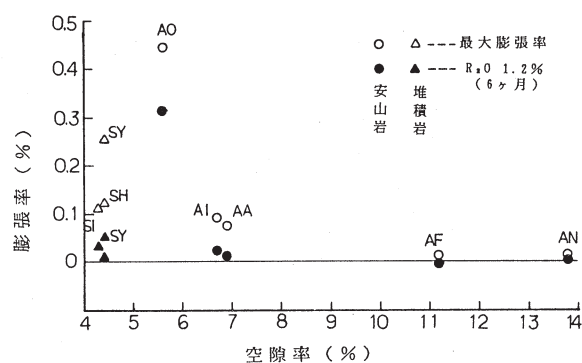


図-8 膨張率と空隙率の関係

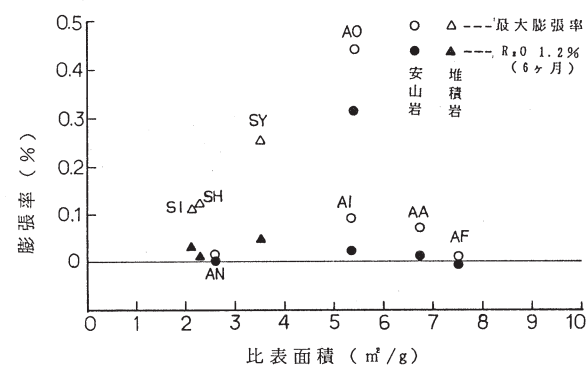


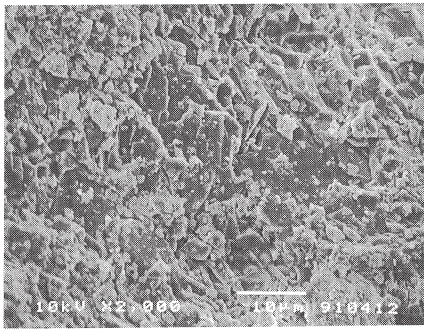
図-9 膨張率と比表面積の関係

ならず膨張性は小さく、それとは反対に、空隙率や細孔径が小さい方が膨張しやすい傾向があるという結果が得られた。

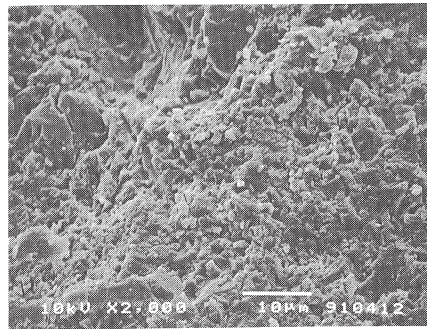
現状で最も多く行われている化学法・モルタルバー法や改良化学法によって求められる R_c° などの試験結果に反応性シリカ鉱物の種類・含有量、空隙率・細孔径分布などの岩石・鉱物学的試験結果を加えた総合的な検討を行うことにより、従来の方法による骨材の良否の判定ではなく、骨材の反応性(膨張性)をかなり正確に評価することができる。それにより、従来の判定で「有害」とされる骨材でも、それに適した使用法や対策を示唆することができ、「有限な資源」であるコンクリート用骨材を有効に利用することができるものとする。

[参考文献]

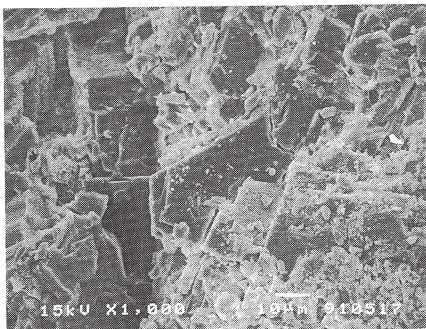
- 立松英信・佐々木孝彦・水野清：コンクリート用骨材の新しい評価法—改良化学法—、鉄道総研報告, Vol. 3, No. 2, 1989
- 日本コンクリート工学協会：コンクリート構造物の耐久性診断・評価手法に関する規準案, 1988
- 石田良二・中永彦彦・堤貞夫：反応性シリカ鉱物の定量に関する一研究、コンクリート構造物の耐久性診断に関するシンポジウム論文集, 1988
- 佐々木孝彦・石田良二：建設用原材料, Vol. 1, No. 2, 1991
- 石田良二：アルカリ骨材反応に関する岩石・鉱物学的研究(その3)、前田技術研究所報, Vol. 31, 1990
- 竹内和・鷲尾一裕：水銀ポロシメトリー、耐火物, 41-298, No. 6, 1989



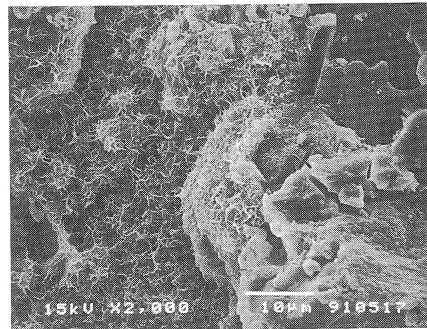
AA (両輝石安山岩)



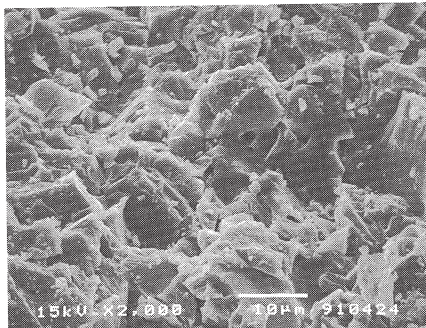
AO (両輝石安山岩)



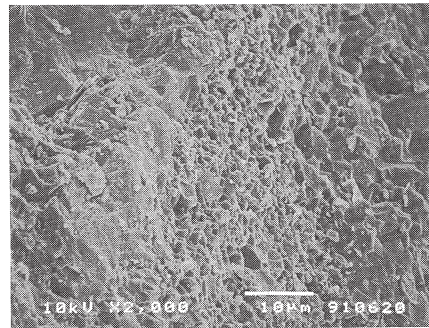
AF (普通輝石安山岩)



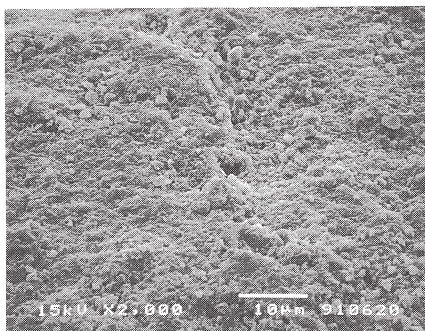
AF (普通輝石安山岩)
空隙中に晶出したトリディマイトの結晶



AN (紫蘇輝石安山岩)

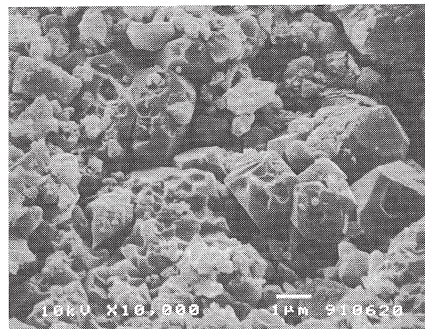


SH (砂 岩)



SY (チャート)

中央にやや粗粒な石英脈があり、周囲は結晶径の小さい微小石英である。



SY (チャート)

比較的結晶度の良い微小石英の拡大図