

北東北産碎石のアルカリ骨材反応試験とその考察

関本善則^{※)}
大塚尚寛^{※※)}
多田元彦^{※※※)}

1. はじめに

東北地方産碎石の使用に起因したと考えられるアルカリ骨材反応の被害例は、筆者らの知る限りでは、わずかに一例のみで、報告例だけからみると特別に問題ではない。しかし、近年、判定法とくに化学法による判定結果をめぐって、碎石業界ではアルカリ骨材反応は最大関心事の一つであったし、また、将来に向かって、ますます需要増加が見込まれる碎石のアルカリ反応性について何らの懸念もないとする状況でもない。したがって、各地産の碎石について、事前に調査を行い実態を正確に把握しておくことは、きわめて重要なことと思われる。

本研究では、以上の主旨に基づき、青森、岩手、秋田の北東北3県を対象として、これらの地域産碎石のアルカリ骨材反応性について調査するとともに、判定に用いられる試験法について、モルタルバー法の迅速化の可能性を中心に、若干の検討を行ったので、これらの結果を取りまとめて、以下に報告する。

2. 試験法および試験結果とその考察

2. 1. 試料および試験法

アルカリ骨材反応性試験に供した各試料碎石の産地と岩石名は第1表に示すように、青森県23試料、岩手県25試料、秋田県42試料の合計90試料である。岩種別にみると、安山岩が64試料を占め、その他、輝緑岩9試料、砂岩5試料、粘板岩3試料、流紋岩、玄武岩、輝緑凝灰岩各2試料、角閃岩、橄欖岩、花崗岩各1試料である。各県とも安山岩を稼行対象とする事業所が圧倒的に多く、

第1表 試験に供した碎石試料の産地および岩石名

岩石名	青森県	岩手県	秋田県	計
安山岩	17	10	37	64
輝緑岩	2	6	1	9
砂岩	2	3	0	5
粘板岩	0	3	0	3
流紋岩	1	0	1	2
玄武岩	0	0	2	2
輝緑凝灰岩	1	1	0	2
角閃岩	0	1	0	1
橄欖岩	0	1	0	1
花崗岩	0	0	1	1
合計	23	25	42	90

生産量に占める割合は、青森県が全体の66%、秋田県では87%に達している。

骨材の試験法は、JIS A 5308 (骨材のアルカリシロカ反応性試験方法) の化学法およびモルタルバー法に拠った。ただし、JISのモルタルバー法は、セメント中のアルカリ量を、水酸化ナトリウムの添加により、等価酸化ナトリウム(Na₂O)当量で1.2%とすることとなっている。しかし本研究では、セメント中のアルカリ量を多くし(2.0%)、反応を促進させることによって、通常3ヶ月から6ヶ月を要する試験期間を短縮、迅速化を図ることを試みた。

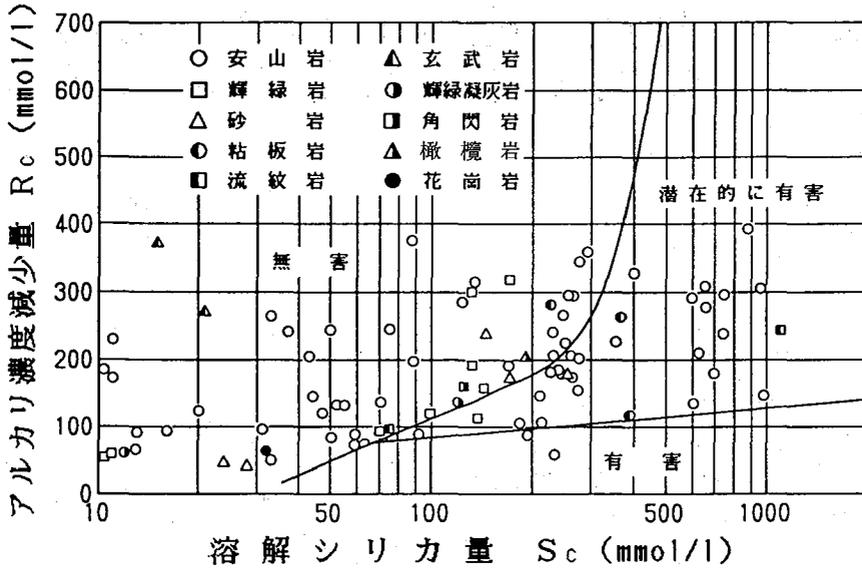
また、岩石・鉱物学的試験として、粉末X線回折法によって骨材中のアルカリ反応性鉱物の同定を行った。さらに、化学法で有害あるいは潜在的に有害(なお、JIS A 5308は1989年12月に改正され、有害あるいは潜在的に有害という表現は用いられなくなり、現在は「無害

※) 正会員 理事 岩手大学工学部 資源開発工学科 教授

※※) 岩手大学工学部 資源開発工学科 助教授

※※※) 同上 同上 同上

(2)



第1図 アルカリ骨材反応性有害度の判定図

でない」の分類だけとなっている。しかし、本研究は旧JISの方法に準じて実験を行ったので、以下、本論文においては、有害あるいは潜在的に有害という表現を用いた。)と判定された試料については、薄片を作成して、偏光顕微鏡により岩石・鉱物学的な観察を行って、構成鉱物による反応性への影響の推論を試みた。

2.2. 試験結果

(1) 化学法による試験結果

第1図は、化学法におけるアルカリ骨材反応性有害度の判定図である。図から明らかなように、今回試験を行った90試料中、58試料が無害、30試料が潜在的に有害、2試料が有害と判定された。潜在的に有害と判定された30試料の内訳は、安山岩25試料、粘板岩2試料、輝緑岩、砂岩、流紋岩各1試料であり、有害と判定された2試料はともに安山岩である。

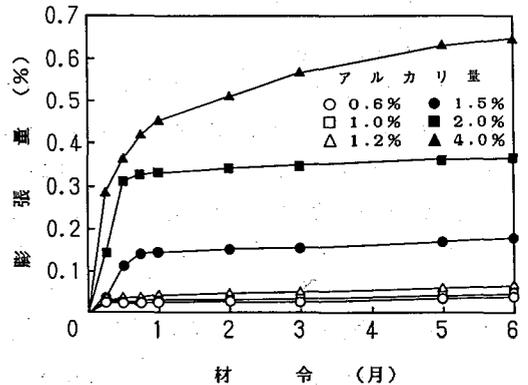
(2) モルタルバー法による試験結果

化学法は、骨材のアルカリ反応性を迅速に判定する試験法として有用であるが、有害あるいは潜在的に有害と判定された骨材をコンクリートに使用した場合、直ちに有害な膨張を示すものと断定することはできず、これらの骨材については、モルタルバー法による試験を行うこ

ととなっている。

モルタルバー法の迅速化を検討するにあたり、まず、セメント中のアルカリ量がモルタルバー膨張量に及ぼす影響について調べた。ここでは、セメント中のアルカリ量を、水酸化ナトリウム水溶液の添加により、等価Na₂O当量で、無添加の0.6%から、1.0、1.2、1.5、2.0、4.0%の6段階に調整したモルタルバーを作製し、膨張量の測定を行った。

第2図は、測定結果の一例として、化学法で潜在的に



第2図 アルカリ量別のモルタルバー膨張量の経時変化

有害と判定された安山岩試料 ($Sc = 700\text{mmol/l}$, $Rc = 179\text{mmol/l}$) を用いて作製したモルタルバーの膨張量の経時変化を示したものである。

アルカリ量が1.2%以下の場合には、膨張量の増加は緩やかで、その量もわずかである。アルカリ量が1.5%以上の場合、膨張量は早い時期から急激に増加し、その量もかなり大きくなる傾向がみとめられる。ただし、1.5%の場合には試料により膨張を示さないものもあった。また、2.0%以下では、材令3ヶ月を過ぎると膨張量の増加は殆どみられず、膨張が収束する傾向がみとめられる。一方、4.0%の場合には6ヶ月の時点でも膨張が進行している傾向がみとめられたが、実際のコンクリート中にこのような高濃度のアルカリが含まれていることは考えられない。

そこで本研究では、反応が早期に進行し、骨材の潜在的な反応性も顕在化し易いようにアルカリ量を2.0%とする方法 (以後、促進法と呼ぶ) を採用することとした。なお、有害な膨張を示す試料については、NaOHを無添加 (以後、無添加法と呼ぶ) で再度試験する方法を採った。

本研究では、先の化学法で有害と判定された2試料、潜在的に有害と判定された30試料、および参考のため無

害と判定されたもののうち22試料の計54試料について、アルカリ量を2.0%としたモルタルバー促進法による試験を行った。

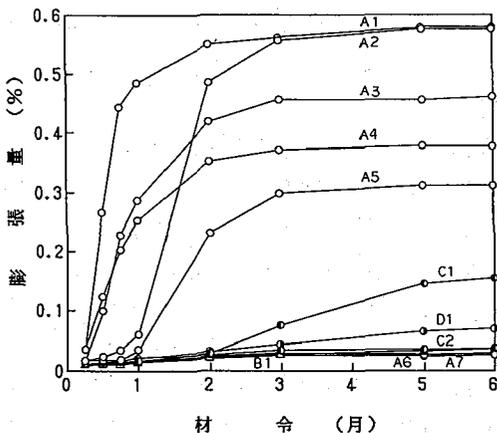
第3図は、モルタルバー促進法による膨張量の経時変化の一例を示したものである。

図中、A1~7は安山岩試料で、A2、A3が化学法で有害と判定されたもの、その他は潜在的に有害と判定されたものである。安山岩試料では、A1、A3、A4のように初期より膨張が始まり、材令2週ですでに膨張量が0.1%を越え、材令3ヶ月ではJISの規格をはるかに上回るもの (TYPE I)、A2、A5のように材令初期には顕著な膨張は示さないが、1~2ヶ月目に急激な膨張を示し、材令3ヶ月ではJIS規格をはるかに上回るもの (TYPE II)。A6、A7のように膨張量の増加は緩やかで、材令6ヶ月での膨張量も0.1%未満で無害と判定されるもの (TYPE III) の3タイプに分類される。

今回、促進法による試験を行った安山岩37試料のうち、化学法で無害と判定された10試料はすべてTYPE IIIに、また、潜在的に有害と判定された25試料のうち8試料がTYPE I、4試料がTYPE II、13試料がTYPE IIIに、そして有害と判定された2試料はそれぞれTYPE IとIIに分類された。なお、いずれのタイプも、材令3ヶ月を過ぎると膨張量の増加はほとんどみとめられない。

一方、B1の砂岩、C1、C2の粘板岩、D1の輝緑凝灰岩などの堆積岩系の骨材では、膨張量に差はあるものの増加傾向はいずれも緩やかで、材令6ヶ月の膨張量も、C1の粘板岩試料を除いて、0.1%未満である。しかし、安山岩試料と異なり材令3ヶ月以降も膨張量が増加する傾向がみられる。今回の結果からもみられるように、堆積岩系の骨材では膨張速度は小さいが、長期にわたって膨張が継続するため、長期的には有害な膨張を生じる可能性もある。わが国の最近の調査では、火山岩系骨材よりもむしろ堆積岩系骨材に多くの被害がみとめられていることなどから、堆積岩系骨材に関しては、判定期間などについてさらに検討する必要があると思われる。

JIS規格では、材令3ヶ月で0.05%以上の膨張を示した場合は有害としてもよいが、3ヶ月で0.05%未満のものは6ヶ月まで試験を続け、0.1%未満の場合は無害、それ以上の場合には有害と判定することとなっている。この規格に照らして反応性を判定すると、今回試験を行った



A1~7 : 安山岩
B1 : 砂岩
C1~2 : 粘板岩
D1 : 輝緑凝灰岩

第3図 モルタルバー促進法による膨張量の経時変化

(4)

54試料のうち、32試料が無害、22試料が有害という結果となる。しかし、本研究は、アルカリ量を2.0%に調整した促進法であるので、JISの規格によって有害の判定を下すことはできない。これらの有害な膨張を示した試料について無添加法で再度試験したところ、安山岩1試料を除いて他の試料はすべて材令6ヶ月の膨張量が0.1%未満であった。

いずれにしても、モルタルバー法は反応性骨材を用いたモルタル供試体の膨張量を計る試験法であり、比較的信頼性は高いが、判定結果を得るのに長期間を要するという問題がある。例えば、JIS規格では、無害と判定するまでに6ヶ月もの時間を要してしまう。しかし、今回実施した促進法においては、安山岩に関しては、膨張は早い時期に進行し、時間の経過とともに膨張量の増加速度は減少して、材令3ヶ月以降では膨張量の増加はほとんどみられなくなる傾向がみとめられた。また、輝緑岩に関しても、膨張量そのものは小さいながらも、安山岩と同様の傾向がみとめられた。

そこで、これらの試料の材令3ヶ月の膨張量と6ヶ月の膨張量とを比較したものが第4図である。図のように、材令3ヶ月の膨張量と6ヶ月の膨張量は良い相関を示し、その関係は次式で表される。

$$E_6 = 1.005E_3 + 0.0033$$
$$(r = 0.999 : n = 30)$$

ここで、

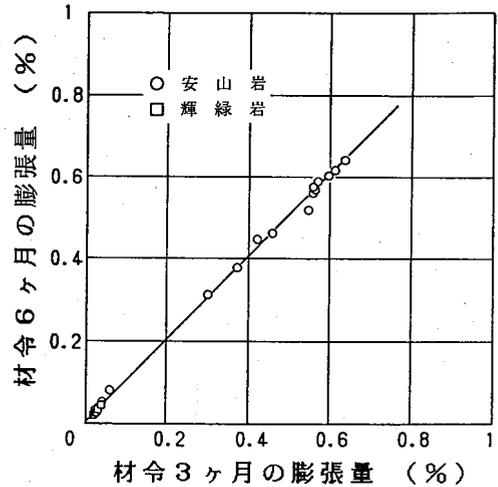
E_6 : 材令6ヶ月の膨張量 (%)

E_3 : 材令3ヶ月の膨張量 (%)

すなわち、これらの骨材については、促進法を用いれば反応が早期に進展し、材令3ヶ月で膨張はほぼ収束するものと思われる。したがって、今回試験した安山岩および輝緑岩試料に関しては、化学法で有害または潜在的に有害と判定された骨材でも、材令3ヶ月における膨張量が0.05%未満であれば、この時点で無害と判定して良いものと考えられる。このことから、無害の判定結果を得るまでの期間を、現行の6ヶ月から3ヶ月に短縮できる可能性が示唆されたといえる。

(3) 岩石・鉱物学的試験結果

岩石・鉱物学的試験として、粉末X線回折法と偏光顕微鏡観察により、アルカリ反応性鉱物の同定を行った。



第4図 材令3ヶ月と6ヶ月の膨張量の比較

粉末X線回折法は、試料粉末にX線を照射してその回折ピークから鉱物組成を調べる方法である。現状ではこの試験方法のみで骨材のアルカリ反応性を判定することは難しいとされている。しかし、少量の試料で比較的短時間で実施可能であり、しかも費用が少なく済むので、化学法やモルタルバー法の補足試験として行われることも多い。

本研究では、アルカリ骨材反応性に関して重要であるシリカ鉱物(石英、グリストバライト、トリジマイト)の同定を行った。

第2表は、化学法で有害あるいは潜在的に有害と判定された試料について、化学法、モルタルバー法および粉末X線回折の結果を示したものである。なお、表中のモルタルバー法の膨張量は、材令3ヶ月における値である。また、促進法の材令3ヶ月における膨張量が0.05%以上のものは、ここでは潜在的に有害と判定した。

化学法で有害と判定された2試料および潜在的に有害と判定された30試料のうち23試料には、いずれもアルカリと反応して溶解し易い、不安定なシリカといわれているグリストバライトやトリジマイトの存在が確認された。また、モルタルバー促進法で材令3ヶ月の膨張量が0.05%以上であった22試料のうち20試料についても、グリストバライトやトリジマイトの存在が確認された。

したがって、従来からいわれているように、これらの

第2表 アルカリ骨材反応性試験結果

岩石名	化学法			モルタルバー法				粉末X線回折 (シリカ鉱物)
	Sc (mmol/l)	Rc (mmol/l)	判定	促進法		無添加法		
				膨張量(%)	判定	膨張量(%)	判定	
安山岩	625	209	△	0.409	△	0.019	○	Q、Cr、Tr
安山岩	745	296	△	0.080	△	0.031	○	Q、Cr
安山岩	601	134	△	0.379	△	0.043	○	Q、Tr、Cr
安山岩	398	327	△	0.203	△	0.041	○	Q、Cr
流紋岩	1103	240	△	0.088	△	0.046	○	Cr、Tr
安山岩	653	308	△	0.093	△	0.058	×	Q、Cr
安山岩	593	291	△	0.084	△	0.043	○	Q、Cr、Tr
安山岩	973	146	△	0.085	△			Q、Cr、Tr
安山岩	661	277	△	0.032	○			Q、Cr
安山岩	700	179	△	0.371	△	0.023	○	Q、Cr、Tr
安山岩	962	305	△	0.299	△			Q、Cr、Tr
安山岩	357	226	△	0.029	○			Q
安山岩	880	392	△	0.026	○			Q、Cr
安山岩	746	238	△	0.025	○			Q、Cr
粘板岩	389	114	△	0.075	△			Q
粘板岩	366	262	△	0.034	○			Q
安山岩	278	201	△	0.028	○			Q
砂	254	177	△	0.031	○			Q
安山岩	91	84	△	0.034	○			Q
安山岩	76	81	△	0.031	○			Q、Cr、Tr
安山岩	182	103	△	0.420	△	0.017	○	Q、Cr
安山岩	272	154	△	0.597	△	0.020	○	Q、Cr
安山岩	238	182	△	0.557	△	0.020	○	Q、Cr
安山岩	225	180	△	0.635	△	0.018	○	Q、Cr
安山岩	232	57	×	0.458	△	0.023	○	Q、Cr
安山岩	244	177	△	0.570	△	0.025	○	Q、Cr、Tr
安山岩	191	94	×	0.558	△	0.019	○	Cr
安山岩	212	103	△	0.612	△	0.027	○	Cr、Tr
安山岩	209	145	△	0.549	△	0.020	○	Q、Cr、Tr
安山岩	260	205	△	0.059	△			Q、Cr、Tr
安山岩	262	173	△	0.563	△	0.026	○	Q、Cr
輝緑岩	105	91	△	0.041	○			Q

(注) ○:無害、△:潜在的に有害、×:有害

Q:石英、Cr:クリストバライト、Tr:トリジマイト

シリカ鉱物が骨材のアルカリ反応性に関して重要であることは確実なようである。しかし、化学法やモルタルバー促進法で潜在的に有害と判定された試料の中にも、クリストバライトやトリジマイトを含まないものがあったり、逆に、化学法やモルタルバー促進法で無害と判定された安山岩試料の中にもクリストバライトやトリジマイトの存在が確認されたものがあった。また、クリストバライトやトリジマイトを含まない堆積岩系の試料でも、化学法やモルタルバー促進法で潜在的に有害と判定されるものもあった。それゆえ、今後はシリカ鉱物ばかりで

なく、他の鉱物のアルカリ反応性についても調べるとともに、各鉱物の定量も行うなどして、アルカリ反応性との関連性を明らかにする必要があると思われる。

次に本研究では、アルカリ骨材反応試験の化学法で有害・潜在的に有害と判定された試料のうち、青森県7試料、岩手県6試料、秋田県10試料の計23試料について、偏光顕微鏡により鉱物組成を鑑定し、岩石の命名規約により岩石名を決定した。

その結果、普通輝石紫蘇輝石安山岩7試料、含角閃石普通輝石紫蘇輝石安山岩6試料、含橄欖石普通輝石紫蘇

(6)

輝石安山岩1試料、普通輝石安山岩2試料、紫蘇輝石安山岩2試料、紫蘇輝石玄武岩1試料、角閃安山岩1試料、含角閃石普通輝石紫蘇輝石石英安山岩1試料、斜長流紋岩1試料、チャート1試料となった。また、上記の23試料についてX線回折装置で解析チャートを作成し、ASTMカードによりコンクリート忌避鉱物の石英クリストバライト、トリジマイトおよびコンクリートに有害と考えられる粘土鉱物、さらに灰長石成分の変質により放出される方解石についても鑑定記載した。

その結果、コンクリートの忌避鉱物であるシリカ鉱物、石英、クリストバライト、トリジマイトを含まない骨材が3試料あることが判明した。すなわち、普通輝石紫蘇輝石安山岩中の1試料、含角閃石普通輝石紫蘇輝石安山岩中の1試料、および含角閃石普通輝石紫蘇輝石石英安山岩においては、アルカリ・シリカ反応に関係していると考えられているシリカ鉱物は鑑定されず、含角閃石普通輝石紫蘇輝石安山岩では新鮮で、変質作用を受けておらず、アルカリ・シリカ反応に関係すると考えられている低温晶出シリカも方解石も確認されなかった。

一方、今回偏光顕微鏡観察を行った安山岩には、いずれも多く火山ガラスの存在が確認された。アルカリ骨材反応を起こす安山岩には、クリストバライトやトリジ

マイト以上に反応性が高く、量的にも多い火山ガラスが深く関与しているといわれている³⁾ので、シリカ鉱物との関連も含めて、反応性に対する定量的な判定基準を定めることなどが、今後の究明課題と思われる。

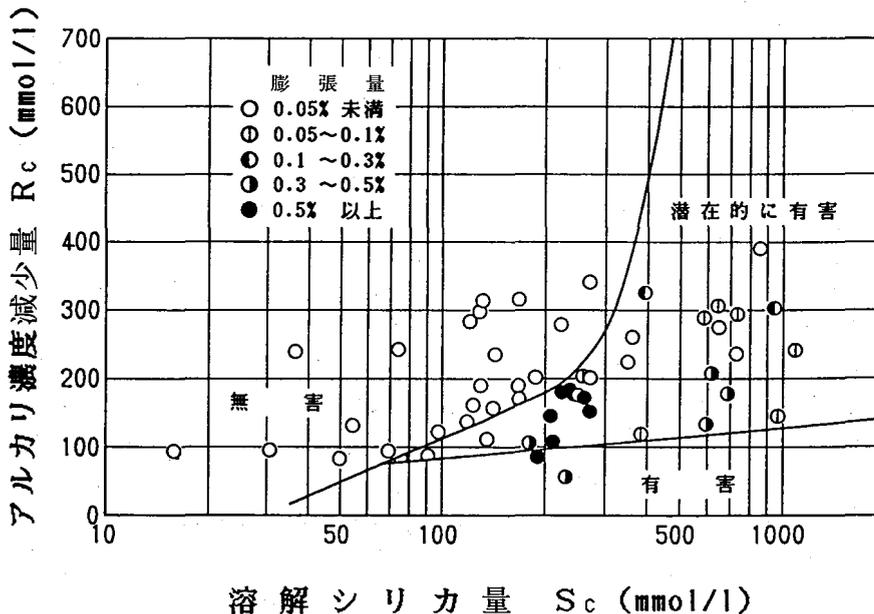
3. アルカリ骨材反応判定法の検討

3.1. 化学法とモルタルバー法との判定結果の比較

JISの化学法の判定基準線は、1952年に米国で制定されたASTM C 289の規格を準用したもので、この判定基準線がわが国の骨材にそのまま適用できるか否かについては、しばしば疑問が持たれているところである^{4),5)}。しかし、この問題に関しては未だ結論が得られていない。そこで、現行の判定基準線の適合性について調べるために、本研究で得られた化学法とモルタルバー法との判定結果について比較検討した。

第5図は、モルタルバー促進法による材令3ヶ月の膨張量を、0.05%未満、0.05~0.1%、0.1~0.3%、0.3~0.5%、0.5%以上の5段階に区分して、化学法の判定図にプロットしたものである。

高アルカリ条件にある促進法においても、化学法で無害と判定された試料は、材令3ヶ月の膨張量はすべて



第5図 促進法による材令3ヶ月の膨張量

0.05%未満である。また、潜在的に有害と判定された試料のうちでも10試料が、0.05%未満である。これらの骨材はアルカリ量が相当高いセメントと組み合わせて使用しても安全と考えられる。

一方、安山岩20試料、粘板岩、流紋岩各1試料の計22試料が、材令3ヶ月で0.05%以上の膨張を示した。これらはすべて化学法で有害または潜在的に有害と判定されたものである。これらの試料の膨張量をみると、有害と判定された試料や、溶解シリカ量の大きい試料が必ずしも、より大きな膨張量を示していない。したがって、溶解シリカ量、あるいはアルカリ濃度減少量の数値そのものが、モルタル膨張量の大きさを示すものではないことがわかる。

今回行った促進法は、アルカリ量が2.0%と高いので、3ヶ月で0.05%以上の膨張を示したからといって、直ちにこれらの骨材を有害と判定できない。そこで、これらの有害な膨張を示した試料について無添加法で再度試験した結果を、化学法の判定図にプロットしたものが第6図である。化学法で潜在的に有害と判定された安山岩1試料が材令3ヶ月で0.05%以上の膨張量を示し有害と判定されたが、他の試料はすべて材令6ヶ月の膨張量が0.1%未満であった。

ところで前述のように、化学法の判定基準線は米国で

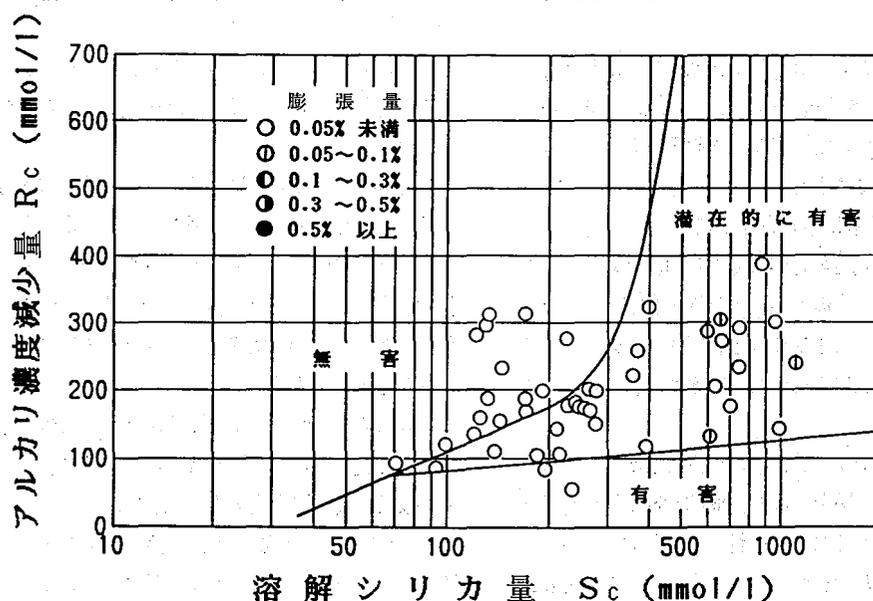
規格されたもので、日本の骨材にそのまま適用できるかどうか指摘する声がある。本研究で行った促進法との対比では、比較的良好な相関がみられるが、通常のアルカリ量で行った無添加法との対比では、今回の試験結果でみる限り、その判定基準線は厳しいもので、安全側に判定し過ぎるといえる。ゆえに、必然的に「有害」あるいは「潜在的に有害」と判定される試料が増え、これらの試料については、最終的な判定をモルタルバー法に託さなければならず、結果的に非常に時間を要してしまうことになる。

したがって、化学法の判定基準線について、あるいは反応溶液濃度や反応処理時間など、試験方法そのものについても検討する必要があると思われる。そこで、化学法の試験条件について検討した。

3. 2. 化学法についての検討

化学法は、骨材のアルカリ反応性を迅速に判定できる方法として有用なものである。しかし、判定基準線がわが国の骨材には必ずしも合致しない、反応速度の異なる骨材を同一レベルで判定してしまうなどの問題点も指摘されている。

そこで本研究では、現行の化学法における反応溶液濃度や反応処理時間が適切なものであるかを検討するために、反応溶液濃度および反応処理時間を段階的に変えた



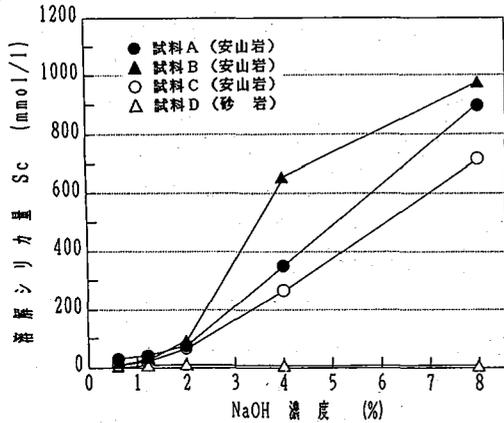
第6図 無添加法による材令6ヶ月の膨張量

(8)

第3表 供試骨材の鉱物組成

試料	岩石名	長石	石英	クリストバライト	トリジマイト	火山ガラス	その他
A	安山岩	++	+	+++	++	++	粘土鉱物
B	安山岩	++	+	+++		+++	粘土鉱物
C	安山岩	+	+	++		++	輝石
D	砂岩	+	++				

(注) 含有量の目安として、+++>++>+



第7図 溶解シリカ量とNaOH溶液濃度との関係

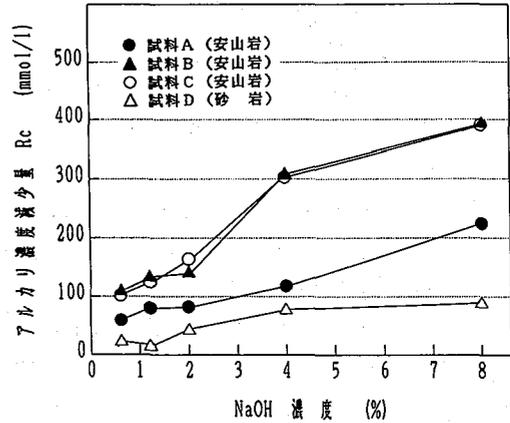
試験を行なった。

(1) 反応溶液濃度を変化させた試験結果

現行の化学法においては、反応溶液としては1規定、すなわち、4.0%の水酸化ナトリウム(NaOH)溶液を用いることとなっている。ここでは、試験条件を反応溶液の濃度以外は現行のままとし、濃度のみを0.6、1.2、2.0、4.0、8.0%の5段階に変化させた試験を行った。

試料としては、現行の化学法で潜在的に有害と判定された安山岩2試料(試料A、B)、無害と判定された安山岩1試料(試料C)、および無害と判定された砂岩1試料(試料D)の計4試料を用いた。第3表に、供試骨材の鉱物組成を示す。

第7図は、溶解シリカ量とNaOH溶液濃度との関係を示したものである。図をみると、NaOH溶液濃度が2.0%以下では溶解シリカ量は4試料とも少なく、その差もほとんどみとめられないが、4.0%以上になると溶解シリカ量が増加し、その差も大きくなっている。ただし、砂岩については濃度に伴う溶解シリカ量の増加はほとんど

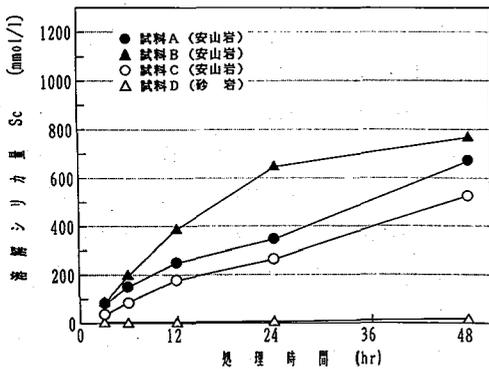


第8図 アルカリ濃度減少量とNaOH溶液濃度との関係

みとめられない。これらのことから、4.0%以上になると、骨材の潜在的な反応性が顕在化してくるものと考えられる。

第8図は、アルカリ濃度減少量とNaOH溶液濃度との関係を示したものである。図をみると、NaOH溶液濃度が高くなるにつれて、アルカリ濃度減少量が大きくなる傾向がみられる。また、溶解シリカ量に比べてアルカリ濃度減少量の方が、低濃度のうちから試料間の差が明らかにみとめられる。

これらのことから、NaOH溶液濃度の増加とともに溶解シリカ量、アルカリ濃度減少量とも増加し、骨材の潜在的な反応性が顕在化するものと思われる。しかし、例えば、8.0%という濃度は、実際のコンクリート中に含まれるアルカリ量とはかけ離れた濃度である。したがって、現行の化学法の4.0%という濃度は、骨材の潜在的な反応性が顕在化し始める濃度として、妥当であると



第9図 溶解シリカ量と反応処理時間との関係

判断される。

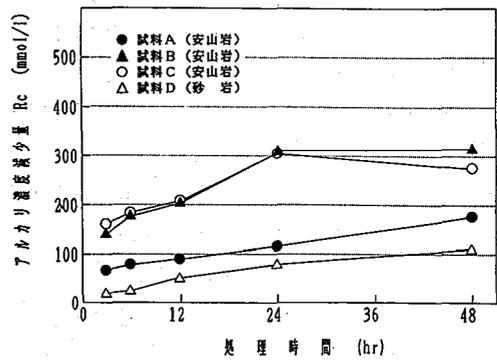
(2) 反応処理時間を変化させた試験結果

現行の化学法では、反応処理時間は24時間と規定されているが、ここでは試験条件を反応処理時間以外は現行のままとし、時間のみを3、6、12、24、48時間と変化した試験を実施した。なお、試料は前節と同様のものを用いた。

第9図は、溶解シリカ量と反応処理時間との関係を示したものである。図をみると、試料Bでは24~48時間で溶解シリカ量が飽和に近い状態になっているが、試料A、Cでは48時間でもなお増加する傾向がみとめられる。試料Dの砂岩についても、溶解シリカ量は小さいものの、48時間でもまだ増加する傾向がみられる。

第10図は、アルカリ濃度減少量と反応処理時間との関係を示したものである。図をみると、試料A、Dではアルカリ濃度減少量は48時間でもなお増加する傾向がみられる。

これらの試料では第9図にみられたように、溶解シリカ量は反応処理時間が24時間以降も増加し続けていることから、反応の進行に伴いアルカリが消費されるものと考えられ、観点を変えればアルカリの供給がなければ反応は進行しないものと思われる。これに対して、試料B、Cではアルカリ濃度減少量は24時間で飽和しているのがわかる。試料Bでは、24時間で溶解シリカ量が飽和に近い状態になっていることから、反応は24時間でほぼ収束したものとみなせる。一方、試料Cでは、溶解シリカ量が24時間以降も増加し続けていることから、一定量のア

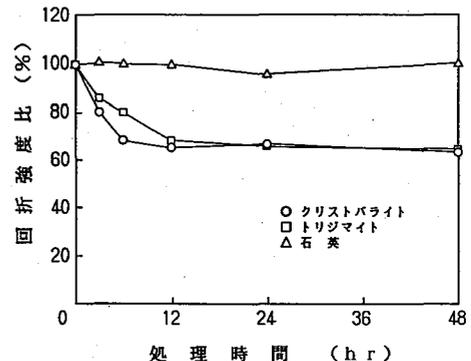


第10図 アルカリ濃度減少量と反応処理時間との関係

ルカリが存在すれば、それ以上のアルカリを消費することなく時間の経過とともに反応が進行して行くものと考えられる。このような反応進行の相違は、クリストバライトなどの反応性鉱物の含有量差が影響しているものと考えられる。

いずれにせよ現行の化学法の24時間という反応処理時間では、溶解シリカ量やアルカリ濃度減少量は未だ増加している段階であり、1規定のNaOH溶液で溶解し得る量を示すものではないことが明らかとなった。これらのことから、現行の化学法は骨材に含まれるシリカ鉱物の種類による反応速度の違いというものを考慮せず、24時間という画一的な判定時間で骨材の反応性を判定しているところに問題があるものと思われる。

そこでシリカ鉱物の種類による反応速度の違いについ



第11図 回折強度比と反応処理時間との関係

(10)

て調べるために、次のような試験を行った。すなわち、反応処理時間を段階的に変化させて実施した試験において得られる反応処理後の骨材試料残滓を、水洗・乾燥ののち、粉末X線回折を行い、各シリカ鉱物の回折強度を測定した。

第11図は、前述の試料Aについての、各シリカ鉱物の回折強度比と反応処理時間との関係を示したものである。

なお、回折強度比とは、未処理の試料の回折強度に対して、所定時間反応処理した試料の回折強度の比を百分率で示したものである。図をみると、アルカリに溶解し易い不安定なシリカといわれるクリストバライトやトリジマイトの回折強度比は、反応処理時間が3時間ですでに80%程度に低下し、クリストバライトについては6時間、トリジマイトについても12時間で回折強度比の低下は収束する傾向がみられる。これに対して、石英は小さなばらつきはあるものの回折強度に低下はみとめられない。これらのことから、溶解シリカ量にはクリストバライトとトリジマイトが大きく関与していることがわかる。しかし、これらの鉱物は反応が短時間に進行し、24時間では回折強度比の低下はほとんど収束していることから、24時間以降の溶解シリカ量の増加にはこれら以外の鉱物が関与しているものと思われる。

以上のことから、現行の化学法では鉱物の種類によらず、一定の時間でNaOH溶液に溶解するものはすべて溶解シリカ量として、またこれに消費されたアルカリはすべてアルカリ濃度減少量として測定し、これらの値により反応性を判定するところに、実際のもルタルバー膨張量との相関性がみられない原因があるものと考えられる。つまり、溶解シリカ量が多い骨材でも、これがもルタルバーの膨張反応に関与しない鉱物に由来するものであれば、化学法で仮に有害あるいは潜在的に有害と判定されても、もルタルバーは実際には膨張を示さないことになる。

したがって、アルカリ骨材反応に関与する鉱物を特定し、これらを選択的に定量することができる試験方法を考案することが今後の課題と思われる。

4. ま と め

本研究において、アルカリ骨材反応に関連した基本的な課題と、北東北地域で産出されている骨材の反応性に

ついて試験を行った結果、今後これらの課題を進展させる上で有益と思われるいくつかの知見を得た。これらを要約すれば、次のようになる。

- (1) 北東北産砕石90試料について、アルカリ骨材反応性を調べたところ、化学法では58試料が無害、30試料が潜在的に有害、2種類が有害と判定された。また、判定法のうち信頼性の高いもルタルバー法によれば、安山岩1試料が最終的に有害と判定されたが、他の試料は無害と判定された。したがって、対象とした地域では、アルカリ骨材反応性を有する砕石は僅少であるといえる。
- (2) もルタルバー法において、アルカリ量を通常より多い2.0%として反応を促進させ、早期に判定できる方法(促進法)について検討したところ、安山岩および輝緑岩試料に関しては、無害の判定結果を得るまでの期間を、現行の規格の6ヶ月から半分の3ヶ月に短縮できるとの結論を得た。
- (3) 岩石・鉱物学的試験では、化学法で有害または潜在的に有害と判定された試料あるいはもルタルバー促進法で潜在的に有害と判定された試料の多くに、クリストバライトやトリジマイト等のアルカリ骨材反応を引き起こす不安定シリカの存在が確認された。しかし、これらのシリカ鉱物を含まない試料にも反応性を示すものがあり、不安定シリカ以外にも火山ガラスなど、アルカリ骨材反応に関連する鉱物が存在する可能性を否定できない。
- (4) 化学法の判定結果と、もルタルバー促進法および無添加法の結果を比較検討したところ、促進法との対比では比較的良い相関がみられるが、無添加法との対比では化学法の判定基準線は安全側に判定し過ぎるものと判断された。
- (5) 現行の化学法における反応処理濃度や反応処理時間が適切なものであるかを検討したところ、反応処理濃度については、現行の4.0%が骨材の潜在的な反応性が顕在化し始める濃度として妥当であると判断された。しかし、反応処理時間については現行の24時間では溶解シリカ量やアルカリ濃度減少量は未だ増加している段階にあり、1規定のNaOH溶液で溶解し得る量を示すものではないことが明らかとなった。
- (6) シリカ鉱物の種類による反応速度の違いについて調

べたところ、アルカリ骨材反応を引き起こすとされる不安定なシリカであるクリストバライトやトリジマイトは反応が短時間に進行するが、これらの鉱物以外にも反応速度は遅いが溶解シリカ量の増加等アルカリ骨材反応に関与する鉱物が存在することが確認された。

参 考 文 献

- 1) 近藤泰夫・北川欣一：アルカリ骨材反応に関する研究、セメント技術年報5、1951、pp. 379～399
- 2) 立松英信：アルカリ骨材反応と骨材の評価、資源・素材学会関係学協会合同秋季大会講演要旨集、1988、10、0-9、pp. 33～34
- 3) 森野奎二：骨材の岩石的特徴と判定法、資源・素材学会関係学協会合同秋季大会講演要旨集、1988、10、0-10、pp. 35～38
- 4) 森野奎二：アルカリ反応性骨材の判定試験実施時の注意と問題点、骨材資源、1985、No. 67、pp. 123～132
- 5) 池崎浩三・山田優・真嶋光保：骨材のアルカリ反応試験におけるモルタルパー法と化学法の関係、骨材資源、1988、No. 77、pp. 10～17
- 6) 佐々木孝彦・水野清：化学法における判定と問題点、資源・素材学会関係学協会合同秋季大会講演要旨集、1988、10、0-11、pp. 39～42

