

[42] 安山岩およびチャート質骨材のアルカリ反応性

正会員 ○森野奎二 (愛知工業大学 工学部)  
柴田国久 (愛知工業大学 工学部)

1. まえがき

近年、安山岩砕石とチャート質骨材がアルカリ反応性骨材として、注目されている。これらの岩石は、反応性を検討するときに対象となるような微細レベルでは、岩質の変化が著しい。安山岩は、マグマの性質、噴出状態および風化の程度によって、クリストバライト、トリジマイトおよび火山ガラスの含有量が多様に変化し、反応性が異なる。チャートは、ほとんどシリカから成るので、堅く透明度が高い。岩色は透明～白色の他に、極微量含まれる鉄、マンガン、粘土鉱物、炭質物などの不純物によって、赤褐色、緑、黒色などに変化し、多様な外観を示す。これらのチャートは、その生成時の堆積環境によって、チャートを構成する石英の粒径および玉髄やオパール含有量が変化し、反応性が異なる。

一方、骨材の反応性を調べるには、通常ASTMC289化学方法およびASTMC227モルタルバー法による試験が実施される。目下、C227モルタルバー法の結果によって骨材の合否が決められる場合が多い。この試験に用いる試料は、上述のように多様で変動しやすいので、試験結果は、基本的に或る程度のばらつきを内蔵したものと云えよう。また、同一岩質の骨材であっても、それに作用するアルカリ量によって膨張量は大きく異なる。その他、安定な骨材を混合することによって膨張量が增大するベシマム現象なども、骨材の反応性の評価を難しくしている要因であろう。

本研究は、一定の地域内において、通常同一岩質とみなされている安山岩砕石とチャート質山砂利を用いて、いろいろな条件でアルカリ反応性試験を行い、試料の微妙な相違や試験条件によって、膨張率あるいは反応速度等がどのように変化するかについて検討したものである。

3. 実験方法

使用材料：使用した普通ポルトランドセメントのアルカリ量は  $\text{Na}_2\text{O}$ 換算0.81% ( $\text{Na}_2\text{O}, 0.36\%$ ,  $\text{K}_2\text{O}, 0.68\%$ )である。適宜、全アルカリ量が $\text{Na}_2\text{O}$ 換算で、1.2%~7.0%となるように、 $\text{NaOH}$ 、 $\text{NaCl}$ 等の試薬を添加した。安山岩およびチャートは、稼働している4砕石工場(A, B, C, D)および2山砂利採掘場(E, F)より採取した。それぞれの位置関係を図1に示す。同じ採石場内の異なる場所から採取した骨材は、たとえば、A1, A2, A3と添字で区別した。非反応性骨材としては珪砂( $\text{Sc}, 11.7\text{mmol/l}$ ,  $\text{Rc}, 27\text{mmol/l}$ )を用いた。

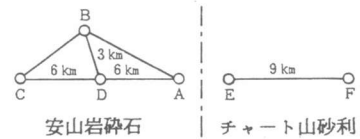


図1 試料採取地の位置関係

試験方法：ASTMC289化学方法およびASTMC227モルタルバー法による。ただし、供試体は、 $28 \times 28 \times 285\text{mm}$ とした。所定のフロー値を確保する水量は、 $W/C = 0.58 \sim 0.67$ となった。

3. 結果および考察

3.1 安山岩質骨材の反応性

使用した安山岩砕石のASTMC289化学試験結果を、表1に示す。大部分の骨材が潜在的有害骨材である。従って、C227モルタルバー法による試験は同規格に記載されている補足試験による手法で行わなければ、膨張挙動を正しく把握することは出来ないことになる。そこで、安山岩単独使用の他に珪砂を95~50%混合してモルタルバーを作成した。それらの膨張率測定結果を図2に示す。

図2のA1~A3は、A安山岩砕石工場の切羽内の3カ所から同時期に、またA4は数か月後に同工場の製品置場から、採取した骨材である。B1~D2は、3砕石工場の製品で、添字の違いは製品の採取時期の異なるもので、砕石原石が違うと解釈できるものである。

どの骨材も100%の使用では膨張率が小さく、あまり相違はみられ

表1 安山岩のC289化学試験結果

岩種	化学方法試験結果			判定
	Sc (mmol/l)	Rc (mmol/l)	Sc/Rc	
安山岩 A1	6.77	7.8	8.68	有害
安山岩 A2	6.93	1.29	5.37	潜在
安山岩 A3	5.19	1.34	3.87	潜在
安山岩 A4	4.93	2.03	2.43	潜在
安山岩 B1	6.78	2.35	2.89	潜在
安山岩 B2	5.44	1.77	3.07	潜在
安山岩 C1	6.65	9.1	7.31	有害
安山岩 C2	5.02	1.69	2.97	潜在
安山岩 D1	4.54	2.49	1.82	潜在
安山岩 D2	4.31	2.68	1.61	潜在

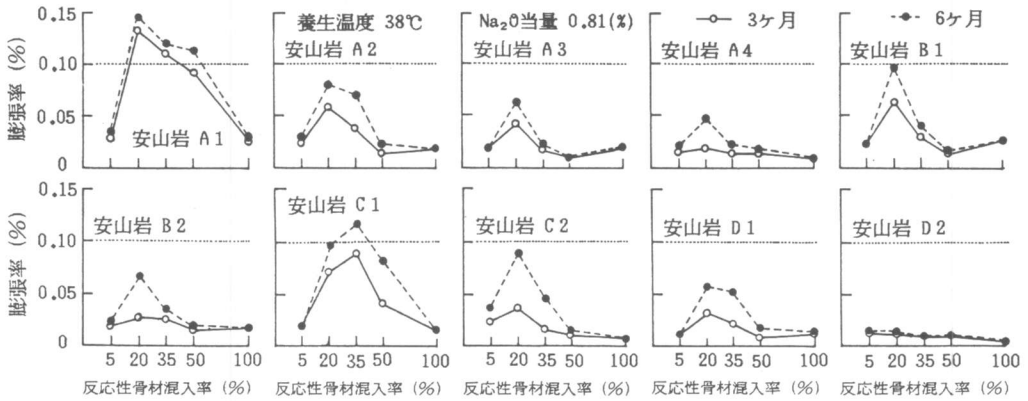


図2 安山岩に非反応性骨材を混入したモルタルバーの膨張率

ない。不活性骨材(本研究では珪砂)を混合すると、D2以外の骨材で大きな膨張を示すようになる。10個の内8個が、安山岩20:珪砂80の比率での膨張が大きい。C1骨材は、同比率35:65にピークが見られる。このようなペシマム条件で判定すると3カ月で、A1、A2、B1、C1の4個が0.05%を越え、6カ月でA1、C1が0.1%を越えて、2個不合格が現れる。B1は、辛うじて合格しているが、図4に示すように、更に膨張が継続しているので、内容では合格とは判定できない。図3、4、5にA、B、C骨材のペシマム条件近くのものを選んで、材令と膨張率の関係を示した。骨材単独使用では膨張曲線に違いが見られなかったものが、ペシマム条件においては膨張量が增大して、膨張速度の違いが見られる。このことを図6に整理すると、膨張の早く起こるタイプ(A1)、ゆっくり起こるタイプ(A4)その中間のタイプ(A2)および膨張しないタイプ(D2)に分類することができる。膨張のゆっくり起こるタイプは、一年位経ってから0.1%を越えるものが現れそうである。

### 3.2 膨張率と反応性鉱物との関係

このような反応挙動の違いは、骨材に含まれる反応性鉱物の含有量に関わっているはずであるから、それをX線回折図から求めてみた。結果を概略図で図7に示し、そこから読み取った各鉱物の相対量を表2に示した。図7に示したクリストバライト(Cr)、トリジマイト(Tr)の回折ピークの高さは、長石の回折ピークを差し引いているので、骨材中に含まれる反応性鉱物の含有量の相対的な違いを示している。モンモリロナイト(M)は火山ガ

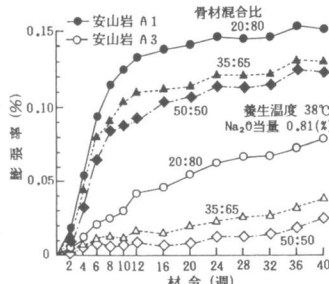


図3 安山岩 A1, A3 の膨張率

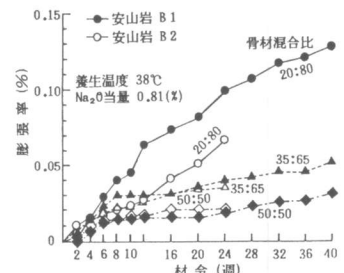


図4 安山岩 B1, B2 の膨張率

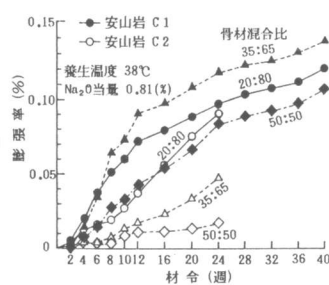


図5 安山岩 C1, C2 の膨張率

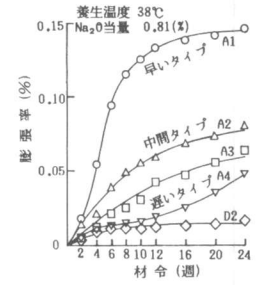


図6 ペシマム条件下での膨張曲線の分類

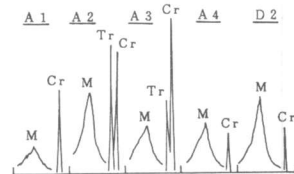


図7 安山岩砕石のX線回折図の一部

表2 アルカリ反応性鉱物の含有状況

含有物質	種類	記号	安山岩骨材の種類				
			A1	A2	A3	A4	D2
クリストバライト	Cr	中	多	多	少	少	
トリジマイト	Tr	無	多	中	無	無	
モンモリロナイト*	M	少	多	中	中	多	
火山ガラス**			多	少	中	少	

\* 反応性鉱物ではないが火山ガラスを求めるために記す。  
\*\* モンモリロナイトより推定し偏光顕微鏡観察で確認。

ラスを求めるために記したものである。まず、モンモリロナイトの回折ピークの高低から、その含有量の多少を記し、その逆を火山ガラスの相対量とした。モンモリロナイトの多いものほど風化の進んだ安山岩である。一方、火山ガラスは、風化が進むとモンモリロナイトやゼオライト等の二次鉱物に変質して、減少する。従って、モンモリロナイトの多いものほど、火山ガラス量は少ないと解釈できる。なお、ガラスが多くなると回折図のバックグラウンドが上昇したり全回折線が低くなる等の特徴が現れるので、この面からもチェックし、また偏光顕微鏡観察でも確認した。

表2の結果と図6あるいは図2の該当する骨材の膨張率とを対比すると次のような傾向が見られる。即ち、(1) 多くの火山ガラスと或る程度のクリストパライトを含む骨材は、ペシマム条件付近において膨張が早く起こり、大きくなる、(2) クリストパライト、トリジマイトを含む骨材は、ペシマム条件で中程度の膨張を示す、(3) 或る程度の火山ガラスを含む骨材は、ペシマム条件で、ゆっくりと膨張が起こる、(4) 反応性鉱物を含まない骨材は膨張しない、などである。

### 3.3 80℃養生での膨張状態

38℃養生では反応のゆっくり起こるA4骨材でも、80℃養生(オートクレーブ中に養生箱を置く)を行うと、図8に示すようにペシマム条件付近では膨張が早く起こるようになる。ただし、80℃養生でも12日頃から主膨張段階に入り、2ヵ月位まで続き、更にその後も膨張は続く。A4骨材100%の使用では、80℃養生でもあまり膨張はしない。

図9、10に、80℃養生でペシマム条件が変化した骨材(B2)と変化しない骨材(C2)を示す。B2骨材は材令と共にペシマム条件が安山岩50:珪砂50の方へ移動していくが、C2骨材は、同比20:80のまま膨張だけが增大している。図10の14日の結果をみると、不活性骨材として用いた珪砂も、高温では活性になる傾向がうかがえるので、高温養生では不活性骨材の選択に注意が必要である。なお、全く膨張を示さないD2骨材は、80℃養生でも、膨張を示さなかった。

### 3.4 アルカリ化合物添加の影響

セメントのアルカリの他に、NaOHあるいはNaClを添加すると、膨張率が大きくなることはよく知られている。本実験でも同様で、その一例を図11に示す。図11のC2骨材は単独で使用する時には膨張を示さなかったが、上記薬品を1.2%および1.5%添加することによって大きな膨張を示すようになった。この種の安山岩には、NaClの影響が顕著であるとする論文が多いが、本実験でも同様の傾向が見られた。ただし、1.2%では、NaOH添加の膨張率が高くなっており、常に、NaClが上回るとは限らない。図12に、B1骨材の結果を例に挙げて、両薬品の膨張に及ぼす特徴を示す。NaOHの使用ではNa<sub>2</sub>O換算で全アルカリ量が4%をこえると、添加率が多いほど膨張率は小さくなるが、NaClでは上限が無く、添加するだけ膨張率が大きくなっている。この図においても、1.2%付近では膨張傾向に変動がみられる。

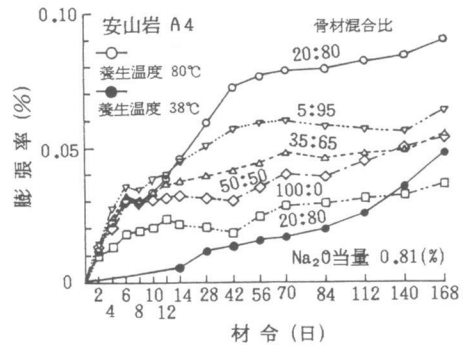


図8 安山岩A4の膨張率の38℃と80℃養生の比較

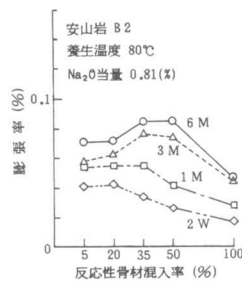


図9 安山岩B2の80℃養生の膨張率

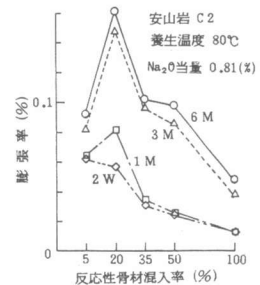


図10 安山岩C2の80℃養生の膨張率

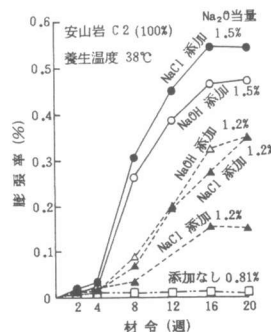


図11 アルカリを添加した安山岩C2の膨張率

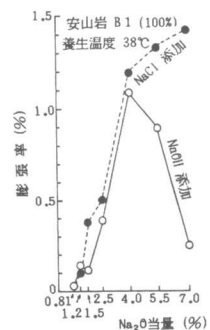


図12 安山岩B1のアルカリ濃度と膨張率の関係

### 3.5 チャート質骨材の反応性

チャートのアルカリ骨材反応によるコンクリートの被害が、わが国でも見られる<sup>1) 2)</sup> が、川砂利や山砂利中に含まれ大量に使われてきた割には被害が少ない。そこでどのようなチャートがどのような条件の時に、有害になるかについて検討してみた。

使用したチャートのC289化学試験結果を表3に示す。2種類とも有害骨材と評価されるものである。このチャートに珪砂を混合したモルタルバー試験結果を表4に示す。表4によるとアルカリ量がNa<sub>2</sub>O当量0.81%では、どの比率でも膨張は少なく、安山岩骨材のようなペシマム現象はみられない。ところがNaOHを添加して同1.2%にすると、ペシマムが現れ、チャート30~35:珪砂70~65の比率において有害と判定される膨張が現れる。また、E1骨材とF1骨材の膨張率に差が生じ、少しF1の膨張率が大きくなる。更にアルカリを1.5%にすると、両骨材とも多くの混合比において6ヶ月の膨張が0.1%をこえるようになる。また、F1骨材に比べE1骨材の膨張率がより大きくなると同時にE1骨材のペシマムが、同50:50に移動する。このように狭い範囲から採取したチャートにおいても、膨張挙動に相違が認められる。

### 3.6 C289化学方法とC227モルタルバー方法との関係

安山岩骨材とチャート骨材のC289化学試験結果とC227モルタルバー試験結果を化学方法の判定区分図に併せてプロットすると、図13のようになる。安山岩骨材は、Na<sub>2</sub>O当量0.81%で、安山岩100%使用では膨張しないが、ペシマム条件では有害骨材域にプロットされるものは、6ヶ月で0.1%以上の膨張を示し、化学方法の結果と一致する。一方、チャート骨材は化学方法で有害域に入っても、モルタルバー試験では、種々の混合比においても、極めて膨張は小さく有害とは判断出来ない。ただし、アルカリ量がNa<sub>2</sub>O当量1.2%になるとペシマム条件で0.1%を越える膨張が現れ、区分図の結果と一致するようになる。ただし、ペシマム条件にしないとNa<sub>2</sub>O当量1.5%までアルカリを増しても無害骨材と評価することになる。なお、6ヶ月で0.1%をこえる膨張を示す骨材は、実際の構造物に被害を発生させるかどうかという規準値の妥当性についての検討は今後の課題である。

### 4. 結論

狭い地域から採取した数種の安山岩とチャートの反応性について検討した結果、次のような結論が得られた。

1. 或る種の安山岩は、アルカリ量がNa<sub>2</sub>O当量0.8%程度では、骨材単独使用では、ほとんど膨張を示さないが、不活性な骨材を80%程度混合すると著しく膨張するようになる。
2. 安山岩骨材のペシマム条件下では、膨張が早く起こるタイプ、ゆっくり起こるタイプおよび中間のタイプに分類することができる。このような膨張挙動は、安山岩中に含まれる反応性鉱物の種類とその含有量に支配され、特に火山ガラスの影響が著しいようである。従って風化した安山岩の膨張は少ないように思われた。
3. 使用したチャートは、C289化学方法によると有害骨材であるが、モルタルバー試験では、アルカリがNa<sub>2</sub>O当量0.8%程度で、全く膨張せずペシマム現象も現れない。アルカリ量を1.2%に増加し、不活性骨材を30~50%混ぜると、大きく膨張するようになる。

#### 参考文献

- 1) 森野奎二: わが国のチャート質骨材によるアルカリ骨材反応, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 330~331, 1960年3月
- 2) 森野奎二, 柴田国久: チャート質骨材のアルカリ骨材反応性, 土木学会中部支部研究発表会講演概要集, pp. 408~409, 1961年3月

表3 チャートのC289化学試験結果

岩種	化学方法試験結果			
	Sc (m mol/l)	Rc (m mol/l)	Sc/Rc	判定
チャートE1	108	57	1.89	有害
チャートF1	92	83	1.11	有害

表4 チャートのモルタルバー試験結果

岩種	混合比	モルタルバー法による膨張率 (%)									
		アルカリ添加物なし		NaOH添加		NaOH添加					
		Na <sub>2</sub> O当量=0.81%		Na <sub>2</sub> O当量=1.2%		Na <sub>2</sub> O当量=1.5%					
種	反:無	3ヶ月	6ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	3ヶ月	6ヶ月	判定			
チャート	100:0	0.002	0.002	○	0.017	0.019	○	0.028	0.064	○	
	50:50	0.004	0.004	○	0.022	0.034	○	0.117	0.282	×	
	35:65	0.004	0.005	○	0.019	0.025	○	0.086	0.256	×	
	30:70	0.007	0.008	○	0.059	0.137	×	0.051	0.157	×	
	25:75	0.006	0.006	○	0.036	0.083	○	0.041	0.115	×	
	20:80	0.008	0.008	○	0.023	0.028	○	0.060	0.151	×	
	E1	15:85	0.007	0.008	○	0.015	0.017	○	0.029	0.093	○
	10:90	0.006	0.006	○	0.012	0.018	○	0.033	0.075	○	
	5:95	0.009	0.011	○	0.006	0.008	○	0.018	0.034	○	
チャート	100:0	0.003	0.004	○	0.039	0.045	○	0.047	0.091	○	
	50:50	0.004	0.008	○	0.035	0.035	○	0.074	0.175	×	
	35:65	0.003	0.008	○	0.072	0.151	×	0.085	0.210	×	
	30:70	0.006	0.011	○	0.038	0.058	○	0.092	0.223	×	
	25:75	0.007	0.012	○	0.026	0.035	○	0.072	0.166	×	
	20:80	0.007	0.013	○	0.027	0.030	○	0.040	0.073	○	
	F1	15:85	0.009	0.014	○	0.023	0.026	○	0.037	0.054	○
	10:90	0.009	0.015	○	0.020	0.024	○	0.046	0.080	○	
	5:95	0.009	0.013	○	0.015	0.016	○	0.033	0.044	○	

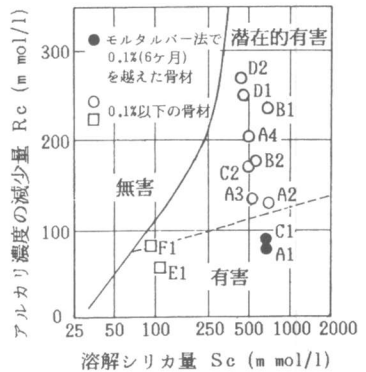


図13 化学方法とモルタルバー法との関係