

[1128] チャート質骨材の微細構造とモルタルバー膨張挙動

正会員 ○森野奎二 (愛知工業大学 工学部)
 正会員 岩月栄治 (愛知工業大学 大学院)
 後藤敏蔵 (愛知工業大学 工学部)

1. まえがき

アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張挙動は、アルカリ量と水分が同じ場合には、骨材に含まれる反応性鉱物の種類と含有量に支配される。通常、骨材として使用している岩石には岩種毎に一定の鉱物組合せの系列がみられる。例えば安山岩では、火山ガラス-クリストバライト-トリジマイトの鉱物、チャートでは、潜晶質石英-玉髓質石英-歪んだ石英-非晶質シリカ(オパール)の鉱物が、それぞれの系列で2種以上の組合せで観察される。これら各反応性鉱物の含有量は、同じ岩種であっても産出地や採取位置によって異なっている。従って、モルタルおよびコンクリートの膨張挙動を正確に把握するためには、骨材岩種別・産出地域別に検討する必要がある。しかし、骨材の産出状態は多様であるから、一岩種に限っても試験数は膨大となり、全体を把握するのは容易でない。わが国で、被害事例が多く、最もよく調べられている安山岩においても、研究に使われた岩石の産出地域は限られている。安山岩よりも被害の発見が遅れたチャートについては、外国では多くの研究がなされている[1]が、わが国では少ない。そこで筆者らはチャートについて検討し、膨張速度が早くペシマム現象もみられる反応性の高い碎石チャートやコンクリート骨材として使われている山砂利チャートを選び、岩石内部の微視的性質、化学法による溶解シリカ量、種々のアルカリ条件下でのモルタルバー膨張率などを調べ、チャートの反応性も造岩鉱物種の多い岩石と同じように多様であることを示した。

チャートは、地質の中・古生層を構成する代表的な岩石であるため、わが国の各地に広く分布しており、砂利や砂にはしばしば含まれている。チャートは、造岩鉱物としては石英だけであり、石英の結晶粒度は粗粒から細粒までであるが、大部分が細粒の微小石英からなり、岩石全体が反応性鉱物で出来ていると言えるものである。このように本質的に反応性が高く、また混入する機会も多いチャートに関しては、劣化構造物の調査などにおいても注目すべきであると思われる。

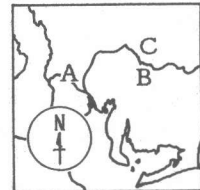


図1 チャートの採取地

2. 実験方法

2.1 使用材料

セメント：アルカリ量、 Na_2O 換算0.65% (Na_2O , 0.19, K_2O , 0.70%)の普通ポルトランドセメント。NaOH試薬を添加して全アルカリ量を Na_2O 換算で、0.8~1.5%とした。

骨材：碎石チャート(記号：A)と山砂利チャート(同：B, C)を用いた。それぞれの採取地は岐阜県と愛知県(図1)である。チャートA1は、種々の色を呈した碎石製品で、チャートA2~A5は同採石場の岩盤から色別に原石を採取して破碎したものである。同じ切羽でも少し採取位置が異なると反応性がどの程度異なるかを知るための目安に色の違いを用いた。岩石の異なるチャートは堆積環境が異なると推定され、例えば、黒色チャートは

表1 比重・吸水率試験結果

チャート	比重	吸水率(%)
A 1 (混合)	2.62	0.72
A 2 (白)	2.61	2.21
A 3 (黒)	2.63	0.20
A 4 (赤)	2.64	0.33
A 5 (緑)	2.64	0.23
B 1 (混合)	2.61	0.76
B 2 (白)	2.60	0.91
B 3 (黒)	2.62	0.47
B 4 (赤)	2.63	0.85
B 5 (緑)	2.61	0.95
C 1 (混合)	2.62	1.00

還元状態で、赤色チャートは酸化状態で生成したと考えられ、当然内部の反応性鉱物の状態も異なると考えられる。チャート

Bも同じ目的で使用したが、これは岩盤の風化により生成したチャート粒子が、種々雑多に混ざった状態で二次的に堆積した山砂利である。各チャートの比重、吸水率を表1に、その他の特徴は結果の表2、表3に示す。非反応性骨材としては珪砂 (Sc, 11.7mmol/l, Rc, 27mmol/l) を用いた。

2.2 試験方法

偏光顕微鏡観察、走査電子顕微鏡観察、X線回折分析、JISA5308化学法、ASTMC27およびJISA5308モルタルバー法に準拠した。

3. 結果および考察

3.1 チャートの化学試験と偏光顕微鏡観察

使用した3種のチャートの化学法の結果を表2と図2に示す。その規格による評価では、いずれ

表2 化学法試験結果

チャート	Rc (mmol/l)	Sc (mmol/l)	Sc/Rc	判定
A1 (混合)	8.8	3.91	4.44	有害
A2 (白)	1.72	4.21	2.45	潜在有害
A3 (黒)	8.5	5.12	6.02	有害
A4 (赤)	8.3	1.49	1.80	有害
A5 (緑)	1.39	3.07	2.21	潜在有害
B1 (混合)	5.8	1.16	2.00	有害
B2 (白)	4.2	1.10	2.62	有害
B3 (黒)	3.7	1.10	2.97	有害
B4 (赤)	5.2	1.13	2.17	有害
B5 (緑)	9.2	1.43	1.55	有害
C (混合)	9.5	1.07	1.13	潜在

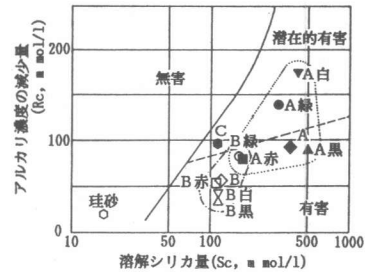


図2 有害度判定図

表3 偏光顕微鏡観察結果

チャート	玉 ず い		潜晶質石英	歪んだ石英	石 英 脈		備 考
	球顆状	脈 状			細粒石英	粗粒石英	
A1 (混合)	+++	+++	+++	±	+	±	
A2 (白)	+	+	++	+	++	+++	不純物有り
A3 (黒)	+++	+++	+++	±	±	±	炭質物, 粘土鉱物
A4 (赤)	+++	++	+++	±	+	±	酸化鉄
A5 (緑)	+++	+	+++	±	++	±	緑泥石
B1 (混合)	++	+	+++	+	+	++	
B2 (白)	+	+	++	+++	+	+++	不純物無し
B3 (黒)	++	+	+++	+	±	+++	炭質物, 粘土鉱物
B4 (赤)	+++	+	+++	+	++	+	酸化鉄
B5 (緑)	+++	+	+++	+	+	+	緑泥石
C1 (混合)	++	+	+++	+	+	++	

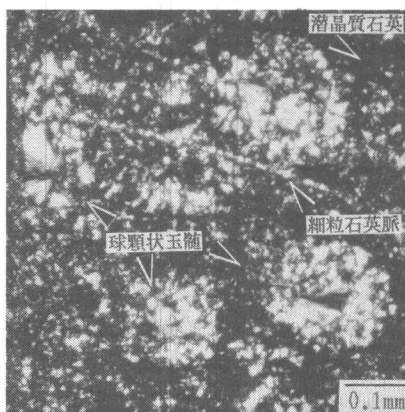


写真1 偏光顕微鏡写真。チャート中の玉髓と潜晶質石英



写真2 偏光顕微鏡写真。チャート中の玉髓と粗粒石英脈

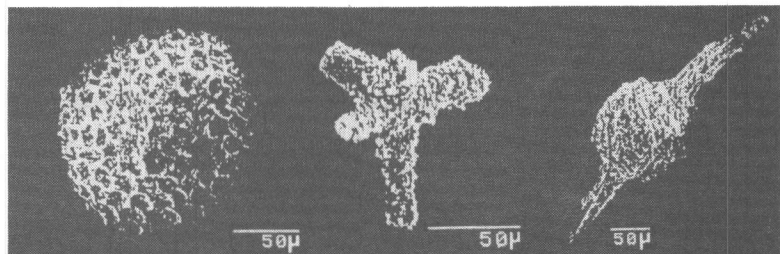


写真3 走査電子顕微鏡写真。稀沸化水素酸溶液処理で取り出したチャート中の放散虫化石

のチャートも潜在的有害骨材および有害骨材と分類される。チャートAは、B、Cに比べ溶解シリカ量が多い。このことは、前述の岩盤から直接採取した新鮮な岩石と風化過程を経た砂利との相違点や次に述べる反応性鉱物の種類や含有量の相違に基づいていると考えられる。偏光顕微鏡観察結果を表3に示し、代表的な偏光顕微鏡写真を、写真1、写真2に示す。チャートAには非常に玉髄が多い。玉髄は玉髄質石英の間に非晶質シリカを含むこと [2]

から、玉髄の多いAは非晶質シリカも多く反応性の高いことが窺える。また、チャートの反応性の概略を知るX線回折による簡便法 [3] (X線回折面の石英の5重線から求める結晶性指標

(CI=1~10で1に近いほど反応性が高い)と、石英の最強線と非晶質シリカ量との関係を示した検量線から求める非晶質シリカ量)による結果では、各チャートのCIと非晶質シリカ量は、Aが5.01と30.8%、Bが7.22と11.5%、Cが6.81と25.2%であり、反応性はA>C>Bという順番である。どのチャートも稀沸化水素酸溶液の処理で中生層の放散虫化石(写真3)が採取されるもので、放散虫チャート(Radiolarian Chert)に分類される。放散虫のほとんどは球顆状玉髄で置換されている。その他脈状の玉髄も多く含まれ、玉髄で特徴づけられるチャートである。3地域ともルーペや偏光顕微鏡で放散虫化石の球形が明瞭にわかるのは赤色チャートである。

3.2 チャート骨材を用いたモルタルバーの膨張挙動

チャートAとチャートBのモルタルバー膨張率を図3に示す。A、Bとも

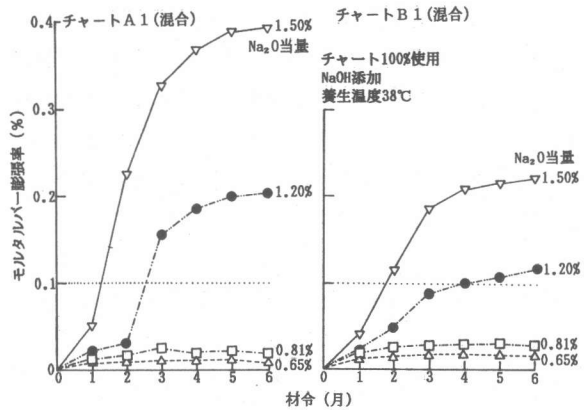


図3 チャートのモルタルバー膨張率

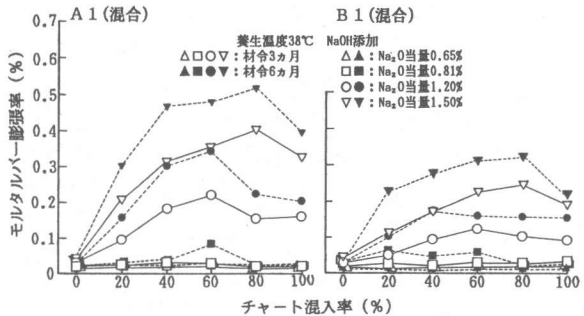


図4 チャートの混入量とモルタルバー膨張率との関係

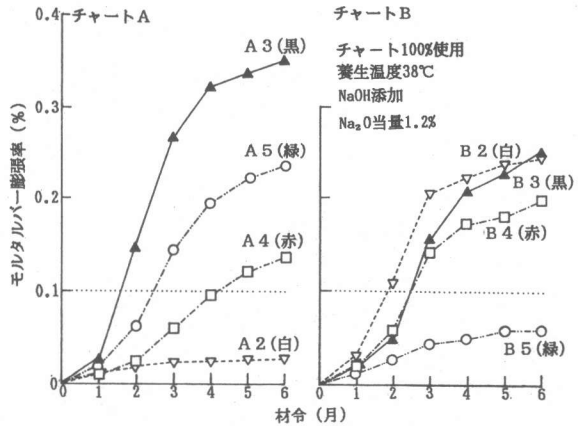


図5 色別チャートのモルタルバー膨張率

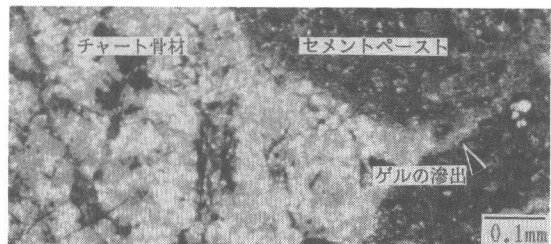


写真4 偏光顕微鏡写真。モルタルバーの薄片観察

アルカリ量0.8%以下では、殆ど膨張しないが、1.2%以上では膨張量が多くなりA, Bでかなりの違いがみられる。両チャートに珪砂（非反応性骨材）を混合したモルタルの膨張率を図4に示す。両チャートともペシマム現象がみられる。色別のチャートモルタルの膨張率（アルカリ量1.2%）を図5に示す。図は、色（位置）によって膨張率に違いがみられるが、A, Bで色の対応はみられなく、チャートを染色する物質自体は膨張に影響を及ぼすものではないことを示している。図5で膨張率の最も高いA3黒のアルカリ量1.2%、材令6ヶ月のモルタルの偏光顕微鏡写真を写真4に示す。明瞭なひびわれはまだ生じていないがセメントペーストに接している玉髓から反応生成物がペースト中に染みだしている状態がみられる。アルカリ量0.65~1.5%の、各色別チャート・珪砂混合モルタルの膨張率を図

6に示す。図中には、明瞭なペシマム現象を示すもの（A2白）や不鮮明なもの（B3黒）があり、その現象はアルカリ量、材令などによって異なる。図にはA, Bを細分して色別で示しているが同じ採石場内での採取地の異なる場合の膨張挙動の相違と読み替えることができる。各チャートのペシマム量は、アルカリ量の増加と共に反応性骨材量の多い方に移動する傾向を示すものが多いが、なかには例外（4A赤）もあり、常に同じ傾向を示すとは限らない。いずれにしても、アルカリ量が0.8%以下では、材令6ヶ月で1%を越える膨張を示すものはない。しかし、0.8%でA3（黒、60%、数値はチャート混合率）、A5（緑、40%）、B3（黒、40%）、B5（緑、20%）、B2（白、60%）などにペシマムの兆しがみられる。

以上の結果を取りまとめて、アルカリ量とモルタルパー膨張率との関係を図7に示す。1.2%あるいは1.5%のアルカリ量でも、チャート100%のモルタルでは膨張しなく、ペシマム配合にすれば膨張するものがかなりあることが分かる。チャートの有害性の判定にもペシマムを考慮する必要がある。また、アルカリ量と膨張量との関係においても

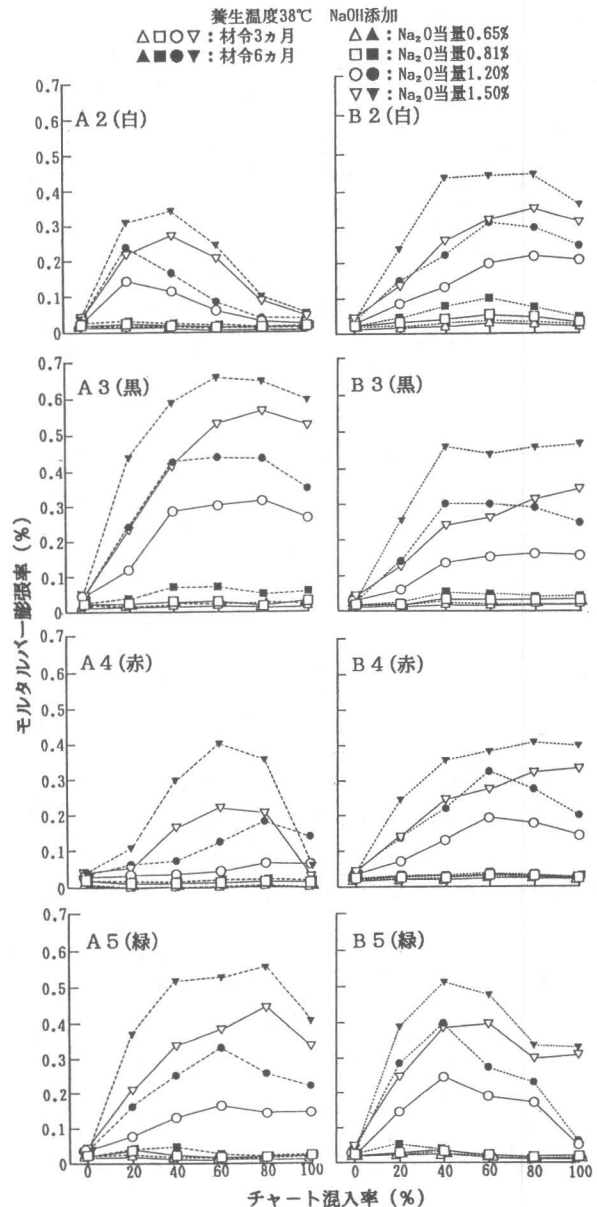


図6 種々のアルカリ条件下における色別チャート・珪砂混合モルタルの膨張率

ペシマム配合の方が明瞭な比例関係がみられる。

3.3 溶解シリカ量と膨張量との関係

化学法により求めた溶解シリカ量 (S_c) とモルタルパー膨張率との関係を図8に示す。チャートAの溶解シリカ量はかなり多く、膨張率と比較的高い相関関係がみられる。チャートBでは溶解シリカ量に差がなく、殆ど相関関係はみられない。安山岩においても関係のある場合[4]とない場合[5]が示されている。アルカリ濃度減少量

(R_c) を考慮して S_c/R_c 比で整理すると、図9のようになり、前図よりは明瞭な関係が得られる。図から、少ないアルカリの消費で大量のシリカを溶出するようなチャートが、大きな膨張を示すと言える。また、図9の結果は、 R_c を増大させるような物質、例えば粘土鉱物がアルカリを吸着[6]してシリカに作用するアルカリを減少させるために、モルタルパー膨張が R_c に反比例することを現しているとも解釈できる。なお、チャートには微量ではあるが粘土、炭質物、鉄分などが含まれることが多い。

3.4 屋外温度養生を行ったモルタルパーの膨張挙動

チャートA1およびC1により作製したモルタルパーを透明のビニールに入れ、下に水を入れて密封し、6階建の建物の屋上の直射日光下に置き膨張状態(長さ測定は20℃の規格による)を調べた。供試体の内部温度は、60℃(夏季)から1℃(冬季)である。膨張率測定結果を図10に示し、珪砂を混合したモルタルの同養生の結果を図11に示す。図には収縮がみられるが、セメントの水和反応によるもの他に脱水による収縮も加わっているようである。つまり、この養生では直射日光が直接供試体を温めるので、ビニール内部の温度よりも供試体温度が高温になるために、完全に密閉して湿度を保っていても供試体から脱水することがあるからである。しかし、アルカリ量1.2%ではゲルの生成量が多いので、2ヵ月位から膨張に転じている。材令の経過と共にA1, C1で膨張率の顕著な違い

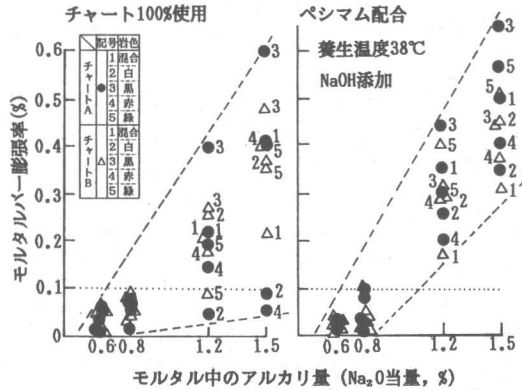


図7 アルカリ量と膨張率との関係

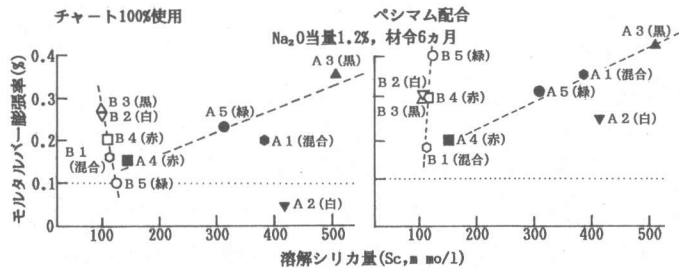


図8 溶解シリカ量と膨張率との関係

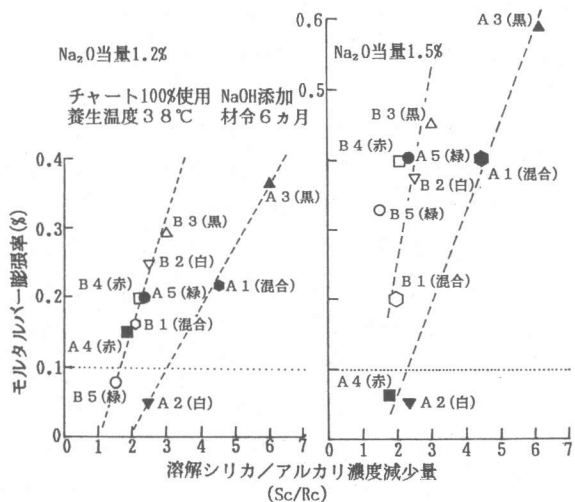


図9 S_c/R_c と膨張率との関係

がみられ、A1では、材令6カ月で0.1%を越える膨張を示している。一般にチャートの反応速度は遅いと言われているが、すべてが遅い訳ではなさそうである。

4. まとめ

3箇所から採取した砕石および砂利チャートのアルカリ反応性を偏光顕微鏡、化学法、モルタルバー法などによって調べた結果は次のようである。

1. 使用したチャートは、すべて色彩の豊富な放射状チャートであり、化石のほとんどが球顆状玉髓で置換されている。その他脈状の玉髓も多く含む。潜晶質石英や石英脈を当然含むが玉髓で特徴づけられるチャートである。玉髓は偏光顕微鏡下で繊維状に波動消光を示す。

2. チャートの造岩鉱物は石英だけであるが、種々の微小石英や不純物が含まれその微細構造は単純ではなく、アルカリ反応性は多様である。

3. チャートに非反応性骨材を混合したモルタルの膨張率が混合しないものより大きくなるペシマム現象が見られる。その混合比は、材令、アルカリ量、温度によって変化し、一定の数値には定まらない。

4. 採石場内のチャートについて、その色を目安にして細分し、上記の各種試験を行った結果、色別で違いが見られた。採取地域が異なると色の対応は見られないので、色そのものに意味がある訳ではないが、同一地域内の採取位置の相違による反応性の変化の程度が明らかになった。

参考文献

- [1] Idorn, G.M.: Durability of Concrete Structures in Denmark, 1967, pp.1-208
- [2] 森野奎二、柴田国久、岩月栄治: チャート質岩のアルカリ骨材反応性、粘土科学、第27巻、第4号、1987、pp.199~210
- [3] 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、1988
- [4] 洪悦郎、鎌田英治、一戸康生: アルカリ反応性骨材の各種試験による特性評価、第7回コンクリート工学年次講演会論文集、1985、pp.153~156
- [5] 中野錦一、小林茂広、長岡誠一、有本義晴: 反応性骨材とアルカリ化合物がアルカリシリカ反応の膨張におよぼす影響、大阪セメント技報、第51号、1984、pp.10~14
- [6] 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、第27巻、第3号、1987、pp.170~179

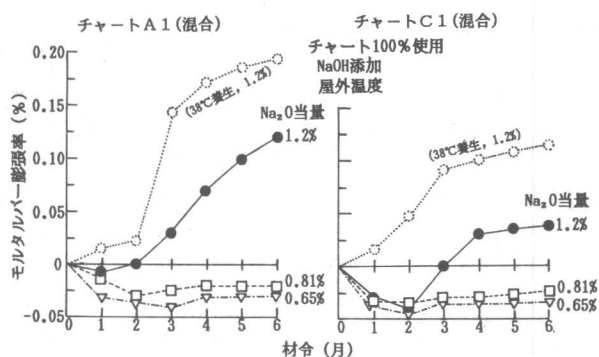


図10 常温におけるモルタルバー膨張率

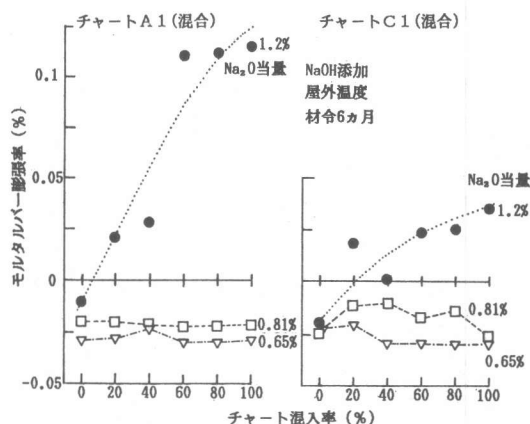


図11 常温におけるチャート・珪砂混合モルタルの膨張率