

論 文

[1143] モルタルバーの貯蔵方法がアルカリシリカ反応の膨張に及ぼす影響

正会員○森野奎二（愛知工業大学工学部）

1.はじめに

アルカリシリカ反応は、反応性鉱物—アルカリ—水の相互の関係に支配されるが、前の2種類に比べ、水分の影響に対する検討は少ない。それは、反応が起こり更に膨張するためには、十分な水分が必要であることが周知のことだからであろう。この十分な水分を確保することについて、1989年12月に改正されたJIS A 5308レデーミクストコンクリートの「骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）」では、「湿度95%以上を確保するための手段として、供試体の表面を、流れない程度に水分が常に保たれている吸収紙で覆うのが望ましい」とされている。この記述は、極めて妥当なように思われる。しかし、この方法が規格のモルタルバーの膨張を最大にするとは限らないこと、及び、イオンやゲルが出しやすい状態で貯蔵した場合にはひびわれが発生しやすいうことなど、やや普通の考えとは異なる結果が得られたので、ここに報告する。

2.実験方法

(1) 使用材料：セメントは、普通ポルトランドセメントを使用し、実験シリーズ1とシリーズ2はセメント協会研究用セメントで、そのアルカリ量は、 Na_2O 等価量0.70% ($\text{Na}_2\text{O}:0.26$, $\text{K}_2\text{O}:0.7\%$)である。シリーズ3は市販のセメントで、 Na_2O 等価量0.65% ($\text{Na}_2\text{O}:0.19$, $\text{K}_2\text{O}:0.7\%$)である。いずれも NaOH を添加してモルタルの全アルカリ量を Na_2O 等価量0.8~2.0%とした。骨材は、岐阜県産チャート砕石（反応性骨材）と岐阜及び愛知県産チャート質山砂利（反応性骨材）、愛知県産珪砂（非反応性骨材、 $\text{Rc}:27 \text{ mmol/l}$, $\text{Sc}:12 \text{ mmol/l}$ ）を用いた。反応性骨材と非反応性骨材の混合比を100:0、80:20、60:40などとした。反応性骨材の性質を表1に示す。

(2) 試験方法：試験方法は、JIS A 5308-1986 レデーミクストコンクリート 附属書8の骨材のアルカリシリカ反応性試験方法（モルタルバー法）に準拠した。骨材粒度は4.75~0.15mm、5段階の所定粒度、配合はセメント:骨材:水=1.0:2.25:0.5の重量比、供試体寸法は40×40×160mmである。

(3) モルタルバーの貯蔵方法：モルタルバーの貯蔵方法は、表2と表3に示すように、湿空貯蔵（ろ紙巻、2mm空間など）、水中貯蔵（全面浸漬、半分浸漬）、溶液中貯蔵（ NaOH 及び NaCl 溶液全面及び半分浸漬）、乾燥湿潤繰返し貯蔵など10通りである。それぞれの貯蔵に対して表4に示すように温度、アルカリ量、骨材などを替えて、計3シリーズ、342種類の組合せとした。貯蔵容器は $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 、 $20^\circ\text{C} \pm 3^\circ\text{C}$ の恒温室及び実験室内（室温）に置き、膨張率測定は $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の測定室に

16時間以上保つた後に行つた。

表1 反応性骨材の性質

骨材の種類	産地	化学法 (mmol/l)			偏光顕微鏡観察				X線回折分析 石英の五重線の特徴
		県	Rc	Sc	Sc/Rc	潜晶質石英	玉髓	歪んだ石英	石英脈
チャート 砕石	岐阜	8.5	3.67	4.3	+++	+++	±	+	非晶質が多い $\text{C I} = 5 \pm$
チャート 質山砂利	岐阜及び愛知	5.2	1.48	2.8	+++	++	+	++	非晶質がやや多い $\text{C I} = 7 \pm$

鉱物量: +++>++>+>±

 C I :結晶度指標

3. 実験結果および考察

3.1 ろ紙巻供試体と巻かない供試体との膨張量の比較 (実験シリーズ1)

(1) 膨張挙動

湿らせたろ紙を巻いた供試体と巻かない供試体および水中全面浸漬での膨張量を比較すると、図1に示すように材令6ヶ月の膨張量では、湿空2mm、ろ紙巻、水中全面の順になっている。

湿空2mmとろ紙巻については、表2、表3に示したように貯蔵容器の湿度および温度の環境は同じであり、ろ紙は常に湿っており、1重巻で6ヶ月間替えずに同じものを用い、外側をプラスチック製フィルムで覆って補湿と補強をしている。このような条件での膨張量の差は、その原因が湿度と温度以外にあるといえる。この考察は後にして、6ヶ月以前の膨張挙動をみてみると、図2に示すように、アルカリ量1.2%では常にろ紙巻が低く、アルカリ量1.5%では材令3ヶ月までろ紙巻が高い。ただし、図3のように反応性鉱物の含有量の多い砕石チャートでは、ろ紙巻と湿空2mmの逆転する材令が2ヶ月と早くなっている。

(2) ろ紙巻貯蔵の膨張の少ない理由

ろ紙巻の膨張が低い原因を調べるために、6ヶ月後にろ紙を剥がし、供試体表面を観察した。その結果を図4に示

表2 モルタルバーの貯蔵方法

貯蔵の種類	貯蔵温度	貯蔵状態及び貯蔵容器の内部構造
湿空貯蔵	40°C、 20°C、 及び 室温	鉄製容器の中に2枚のビニル袋をいれ、その中に水をはり、その上に供試体が直接水と接しないように、1切本づつ立て置く、更に供試体間に間仕切りを置き、上に供試体に直接接しないように、濡らせたウエスを置きビニル袋を別々に閉じ、最上部に鉄製のふたをする。
水中貯蔵	40°C	容器中に供試体を立て、上面を越えるまで水をはる。この状態の貯蔵を水中全面と称す。また、供試体の長さ（高さ）の半分まで水をはる。これを水中半分と称す。いずれも供試体間には、プラスチック製の間仕切りを置く。
NaOH 溶液中貯蔵	40°C	同上、水の替わりにNaOH 1% 溶液を用いる。上記と同様にNaOH 全面、NaOH 半分と称す。
NaCl 溶液中貯蔵	40°C	同上、水の替わりにNaCl 3% 溶液を用いる。上記と同様にNaCl 全面、NaCl 半分と称す。
乾燥・湿潤 40°C 繰返し貯蔵及び 室温		湿空貯蔵容器のふた及びビニル袋を開けて、恒温室内で乾燥させる。所定期間経過後に再度充分湿らせて、湿空貯蔵する。これを繰り返す。乾湿貯蔵と称す。

表3 モルタルバー（供試体）の貯蔵状態

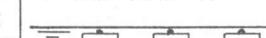
貯蔵の種類	供試体の貯蔵状態		
	湿空貯蔵	水中貯蔵、 NaOH 溶液中貯蔵	NaCl 溶液中貯蔵
湿空貯蔵	供試体に湿らせたろ紙を巻きサランラップで覆い、湿空貯蔵容器内に立てて、空間を2mm間隔とする。湿空ろ紙巻と称す。	供試体には何も巻かず、供試体と間仕切り壁と、供試体と間仕切り壁との空間を2mm間隔とする。湿空2mmと称す。	供試体には何も巻かず、供試体と間仕切り壁と、供試体と間仕切り壁との空間を10mm間隔とする。湿空10mmと称す。
水中貯蔵、 NaOH 溶液中貯蔵	水、溶液を供試体上面まではる。	水、溶液を供試体半分まではる。	
NaCl 溶液中貯蔵			
乾燥・湿潤	2.4時間の規準値の測定後、1週間貯蔵返し貯蔵容器を開放し、その後充分湿らせ、1週間の湿潤状態と1週間の乾燥状態を繰り返し、材令13週目からは、このサイクルを2週間とする。		

表4 モルタルバーの種類と貯蔵状態

実験シリーズ	貯蔵状態		アルカリ量 Na ₂ O等価量 %	反応性骨材	
	貯蔵方法	温度 °C		種類	混合率 %
1	湿空ろ紙巻	40,	1.2,	碎石,	100,
	湿空2mm	20	1.5	山砂利	80,
	湿空10mm				60
	水中全面				
2	湿空2mm	40	0.7, 1.2, 2.0	碎石, 山砂利	100, 80, 60
	水中全面				
	水中半分				
	NaOH 全面				
	NaOH 半分				
	NaCl 全面				
	NaCl 半分				
3	湿空2mm	40,	0.65, 0.8, 1.2	碎石, 山砂利	100, 80, 60, 40, 20
	乾湿貯蔵	室温			

す。供試体には、ゲルやひびわれが見られ、ろ紙にもゲルが付着していた。特に、アルカリ 1.5 % には、ひびわれが著しくゲルの量も多かった。湿空 2 mm にもゲルやひびわれは見られたが、遙かにろ紙卷の方が多い状態であった。ろ紙を巻くことによって、供試体とろ紙の間やろ紙中にゲルやイオンの逃げ場ができるうことになり、供試体の膨張が少なくなったと考えられる。図 5 の材令 3 カ月（アルカリ 1.2 %）や 4 カ月（同 1.5 %）にみられるような膨張の停滞とその後の鈍化は、ゲルの流出の開始と継続を象徴的に示しているようである。水中全面の膨張量が少ないのも、アル

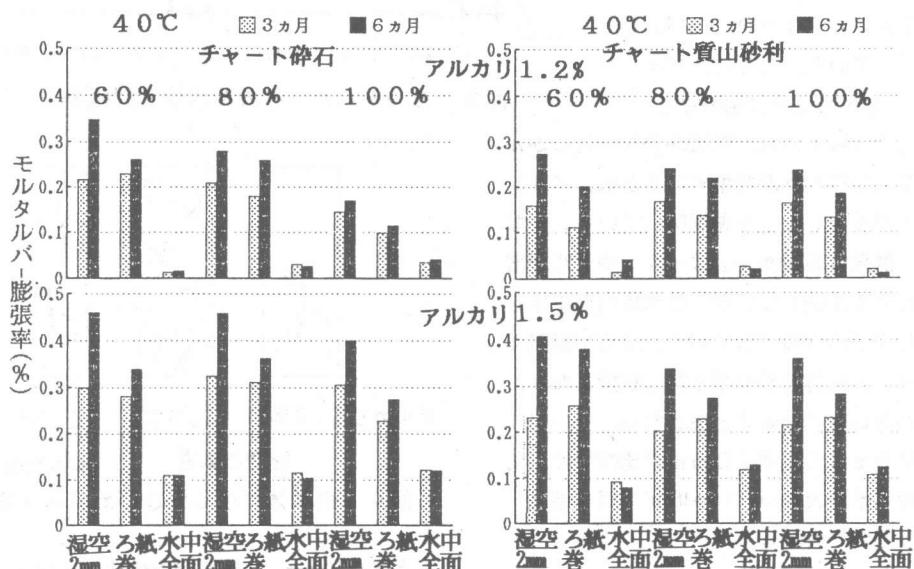


図 1 モルタルバーの貯蔵状態と膨張率の関係

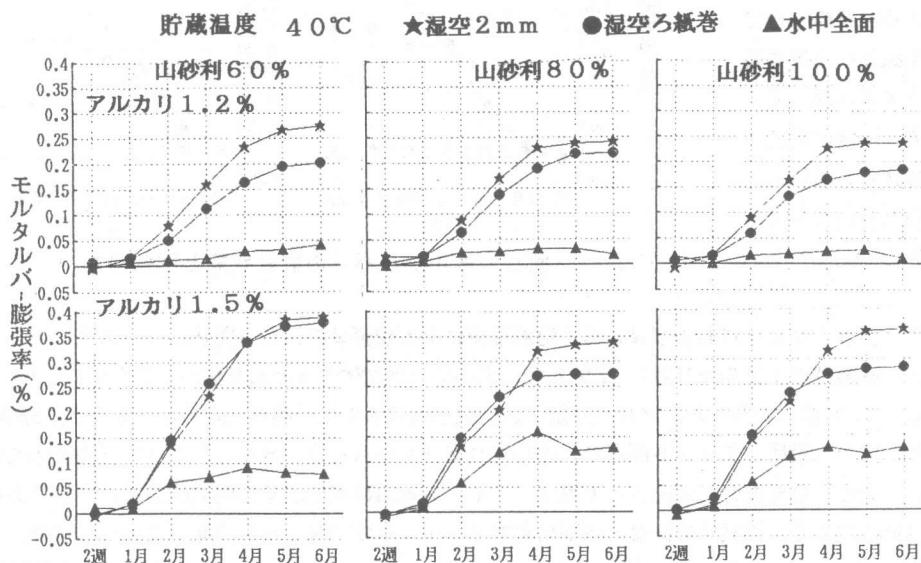


図 2 モルタルバーの貯蔵状態と膨張挙動

カリイオンが水中に溶出したからで、またアルカリ1.5%では、図3のような現象がみられ、生成したゲルが水中へ流出した傾向が窺われる。なお、貯蔵水は6カ月間同じものを用いた。

この水中浸漬の供試体には、図4の左に示すような、ひびわれが生じていた。とくに、アルカリ1.5%の場合に明瞭なひびわれが入っていた。膨張が少ないにもかかわらず、ひびわれが発生することは、イオンやゲルが流出したことを意味している。すなわち、供試体の表面付近はイオンやゲルが溶出するので膨張しないが、供試体内部ではアルカリやゲルが残留しており、反応や膨張が起り、表面付近が引張られる状態となり、ひびわれが生じたものと思われる。

湿空2mmと湿空10mmの比較では、前者の膨張率が大きいという昨年と同じ結果¹⁾を示したので省略し、

他の貯蔵状態との比較にはすべて湿空2mmの結果を用いた。なお、湿空10mmの場合でも、供試体の上部に置いたウエスは湿っていたので、所定の湿度（相対湿度95%以上）は保たれていたものと思われる。

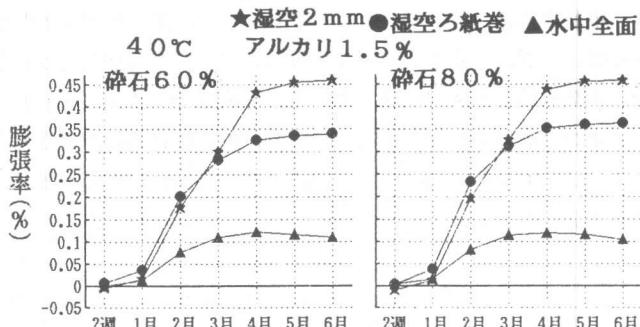
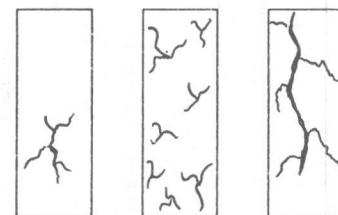


図3 モルタルバーの貯蔵状態と膨張挙動



アルカリ 1.2% 湿空ろ紙巻 水中全面
図4 供試体に生じたひびわれの状態

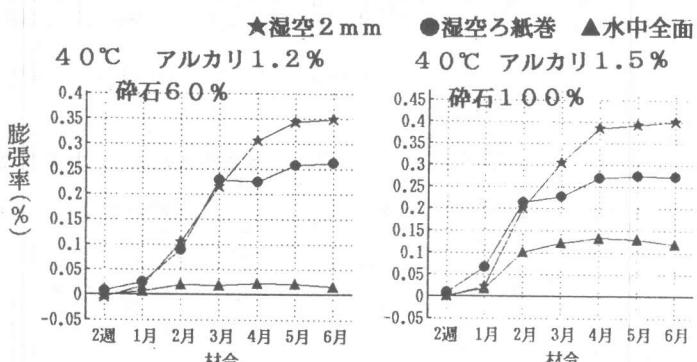


図5 モルタルバーの貯蔵状態と膨張挙動

3.2 真水、NaOHおよびNaCl溶液浸漬による膨張量の比較（実験シリーズ2）

(1) 膨張挙動：アルカリ量0.7%では、すべての供試体がほとんど膨張を示さず材令6カ月間で0.01%以下であった。アルカリ量1.2%と2.0%では、図6に示すような大きな膨張を示した。図の上段は、チャート碎石で、その混合率が左から60、80、100%（非反応性骨材を40、20、0%混合）である。下段は、チャート質山砂利で、その配列は碎石と同じである。また、図の左から、供試体の貯蔵方法別に湿空2mm、水中半分、水中全面、NaOH半分、NaOH全面、NaCl半分、NaCl全面の順番に並べている。図によると、材令6カ月の膨張はアルカリ量1.2%では、湿空2mmの膨張が最大で、次いで、水中半分あるいは溶液半分であり、

水中全面及び溶液全面では激減しており、湿空>半分>全面という傾向がみられる。また、溶液種別では、 $\text{NaOH} > \text{NaCl} >$ 水の順番である。 NaCl の方が高濃度で使用したが、膨張に及ぼす影響は少なく現れている。モルタル内部へ添加する場合では、 NaCl 添加の膨張が高くなるのに較べ、反対の挙動を示した。アルカリ量が2.0%では、膨張量が著しく増加すると共に、1.2%とは、異なる傾向を示す。顕著な特徴は、 NaOH 全面や NaCl 全面の膨張が湿空2mmの膨張よりも大きくなることである。また、骨材種別でも膨張傾向に違いがみられる。例えば、山砂利では NaOH 溶液へ浸漬した場合の膨張が際立ち、砕石では NaCl 溶液への浸漬でも膨張が大きくなることなどである。砕石と山砂利では、表1に示したように反応性鉱物（玉髓や非晶質シリカなど）の量が異なっているので、その影響が図示のような違いをもたらしたものと思われる。

(2) 膨張とひびわれとの関係：図6の材令3ヵ月の膨張量をみると、水中や溶液貯蔵において6ヵ月の膨張よりも高い例がかなりみられる。これは3ヵ月以降に膨張が減少しているからである。この原因は、やはり前述と同様に供試体からイオンやゲルが流出したからで、図7に示すようなひ

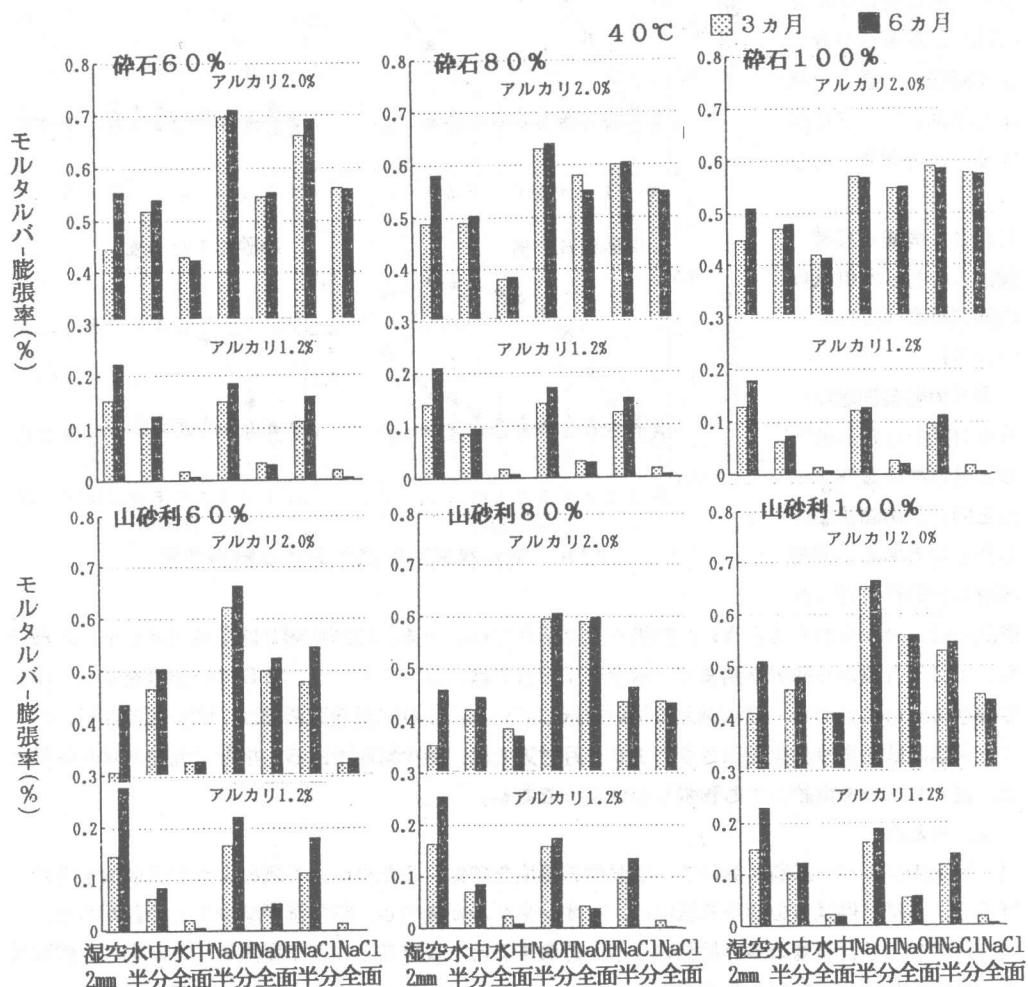


図6 各種貯蔵方法による膨張率の比較

ひびわれが観察された。水中半分や溶液半分には供試体の液に浸かっている部分のみにひびわれが生じ、また、全面浸漬には全面に生じ、いずれのひびわれ部分にもゲルが付着していた。

ひびわれ発生と膨張のメカニズムを次のように考察してみた。
①溶液中では、表層部のアルカリは溶出するが内部にはアルカリがあり、内部の膨張によって表層部が引張られ表層部にひびわれが発生する。ひびわれ発生後は、アルカリやゲルが溶出し、膨張が減少する。供試体中にアルカリが過剰にある場合（2%の例）では、②シリカ

の SiO_4 四面体の結合が大量に緩み、溶液中のアルカリイオンも受け入れて更にゲルを生成し、豊富な水分でよく膨張し、激しい反応で早期にピークに達する、との考えである。

3.3 乾燥・湿潤の繰返しを行った供試体の膨張挙動（実験シリーズ3）

図8の乾湿繰返は、6ヵ月間行ったもので、6ヵ月以降は湿空2mmと同じ、湿潤状態にしたものである。乾湿繰返しの貯蔵を行った

供試体は、図からわかるように、膨張を全く示さない。一方、湿潤状態では室温（20±）貯蔵でも、12ヵ月頃から膨張が始まり、材令27ヵ月では、0.15~0.28%の膨張を示し、40°C湿空2mmに近づき、更に越える勢いを示している。40°C湿空貯蔵では、膨張速度は早いが、6ヵ月以降はあまり膨張を示さず、18ヵ月付近では、減少傾向である。早期に乾燥させた供試体は、後から水分を供給しても膨張しないようである。

4.まとめ

- (1) モルタルバー試験において、供試体の湿度を確保するために、ろ紙のような吸収紙を巻きつけると、ろ紙と供試体の間やろ紙中に、イオンやゲルが流出し、膨張量が減少する場合がある。
- (2) アルカリ含有量の多い供試体を水中貯蔵すると、表層部と内部で膨張量に差が生じ、膨張量が少ないと係らずひびわれが発生する。

参考文献 1) 森野奎二、後藤鉱蔵、吉本明史：モルタルバー試験における膨張率の変動に関する検討、コンクリート工学年次論文報告集 11-1、1989、pp.123~128

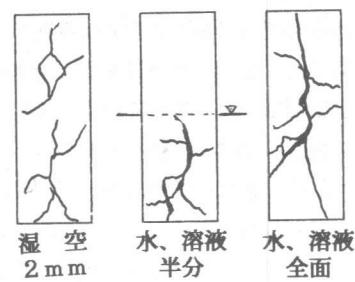


図7 ひびわれの状態

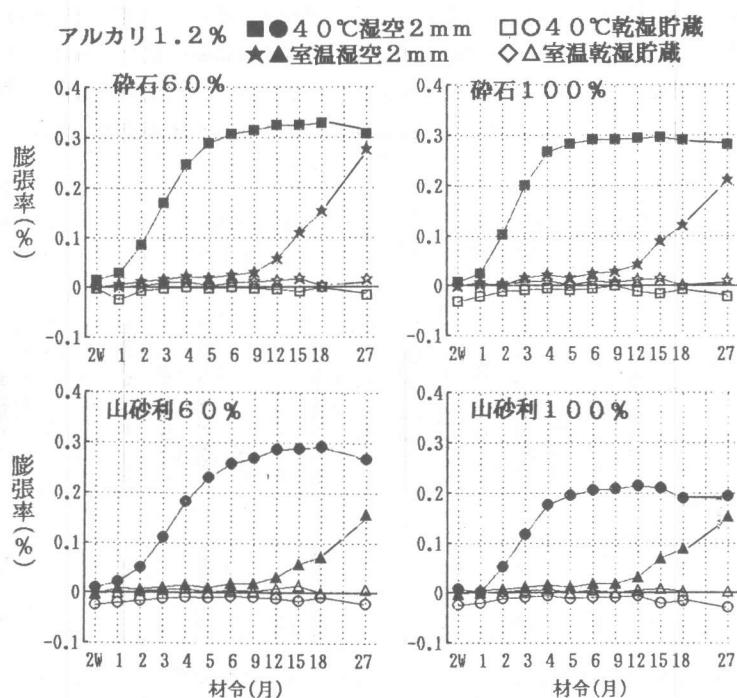


図8 乾湿繰返し貯蔵における膨張挙動