

論文 長期間貯蔵した反応性骨材混入コンクリートの膨張と強度性状

岩月栄治*1・森野奎二*2

要旨: アルカリシリカ反応性骨材のチャート 4 種類と安山岩 2 種類を用いた貯蔵約 11 年間のコンクリートとモルタルバーの膨張率において、明瞭な相関関係がみられた。また、添加アルカリ量の異なるコンクリートの 11~14 年間貯蔵後の膨張率、強度、超音波速度を調べた結果、アルカリ量・反応性骨材量のベシマム条件下では、膨張の増大と強度・速度低下との関係において、チャートと安山岩で顕著な相違が認められた。

キーワード: アルカリシリカ反応, チャート, 安山岩, 膨張率, 曲げ強度, 超音波速度

1. はじめに

アルカリシリカ反応(以下 ASR と称す)性骨材を用いたモルタルバーは、長期間にわたって膨張が継続することが確認されている^{1,2)}。そのため、実構造物の ASR による劣化を検討する上では、コンクリートの長期膨張特性の把握や、モルタルバー膨張率との相互関係について検討が必要である。しかし、アルカリ量別、岩種別に長期間測定した研究報告は少ない。

本研究は、岩種の異なる反応性骨材を用いたコンクリート角柱供試体とモルタルバーの長期の膨張特性を調べ、両者の関係について検討した。また、長期間貯蔵(11~14 年)後のコンクリート角柱供試体の強度及び超音波速度の測定を行い、膨張率との関係についても検討した。

2. 実験方法

2.1 使用した骨材

コンクリート角柱供試体及びモルタルバーに使用した骨材を表-1 に示す。チャート Yo は岐阜県の中・古生層の岩盤から採取した砕石である。チャート Se とチャート J は愛知県、チャート T は岐阜県の第三紀層の地層から採取した山砂利であり、岩石の起源は中・古生層のチャートよりなる。また、安山岩 M 及び安山岩 Y は、

瀬戸内火山岩区に属する斜方輝石安山岩であり、いずれも砕石工場の製品置場から採取したものである。これらの JIS A5308 化学法の結果では「無害でない」に判定される。石灰岩 A、砂岩 Y 及び珪砂は化学法では「無害」であり比較用に用いた。

2.2 長期間貯蔵したコンクリート角柱供試体

コンクリート角柱供試体の作製及び貯蔵状況を表-2 に、配合を表-3 に示す。作製年は 1985 年と 1988 年で、貯蔵期間は 11~14 年である。1985 年作製の供試体の粗骨材は、反応性骨材のチャート Yo, Se, T, J と安山岩 M, Y の 6 種類、非反応性骨材の砂岩 Y, 石灰岩 A の 2 種類を使用し、細骨材には珪砂を用いた。セメントは Na20 等量 0.81% の普通ポルトランドセメントを使用し、NaOH を添加して 0.81 及び 1.0% に調整した。

表-1 使用骨材の産地と化学法結果

骨材	産地	化学法の結果 (mmol/l)			
		Sc	Rc	Sc/Rc	判定
チャートYo	岐阜県	391	88	4.44	無害でない
チャートSe	愛知県	116	58	2.00	無害でない
チャートJ	岐阜県	92	83	1.11	無害でない
チャートT	岐阜県	108	57	1.89	無害でない
安山岩M	香川県	502	169	2.97	無害でない
安山岩Y	香川県	268	173	1.55	無害でない
石灰岩A	岐阜県	9	190	0.05	無害
砂岩Y	徳島県	48	243	0.20	無害
珪砂	愛知県	12	27	0.43	無害

*1 愛知工業大学講師 工学部土木工学科 工修 (正会員)

*2 愛知工業大学教授 工学部土木工学科 理博 (正会員)

表-2 コンクリート角柱供試体とモルタルバーの作製年，作製状況及び貯蔵状態

供試体	作製年	形状(mm)	配合等	使用骨材		使用セメントのアルカリ量	供試体のアルカリ	貯蔵状態	
コンクリート角柱	1985年	100×100×390	単位セメント量: 300kg/m ³ 水セメント比: 58.1%	粗骨材	反応性	チャートYo	0.81%	0.81%(無添加) 1.0%(NaOH添加)	断熱密閉容器にて湿潤貯蔵(温度は季節によって10~25°Cに変動する)
						チャートSe			
						チャートJ			
					チャートT				
					安山岩M				
					安山岩Y				
	非反応性	石灰岩A							
		砂岩Y							
		細骨材	非反応性	珪砂					
1988年				粗骨材	反応性	チャートYo	0.72%	1.2%(NaOH添加) 2.0%(NaOH添加)	
						チャートSe			
				細骨材	非反応性	珪砂			
モルタルバー	1987年	28×28×180	セメント:骨材重量比=1:2.25 水セメント比: 50%	反応性	チャートYo	0.65%	0.81%(NaOH添加) 1.2%(NaOH添加)	金属製密閉容器にて湿潤貯蔵(貯蔵2年までは38°C高温室内に、以後は実験室内(10~25°C)に設置)	
									チャートSe
									安山岩M
				非反応性	珪砂				
					反応性:非反応性の重量比率=0:100,20:80,40:60,60:40,80:20,100:0				

表-3 コンクリート角柱供試体の配合

コンクリート角柱に使用した細・粗骨材	粗骨材の最大寸法(mm)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
粗骨材	15	58.4	42.0	181	310	745	1053	-
チャートYo	珪砂							
チャートSe								
チャートJ								
チャートT								
安山岩Y								
安山岩M								
石灰岩A								
砂岩Y								

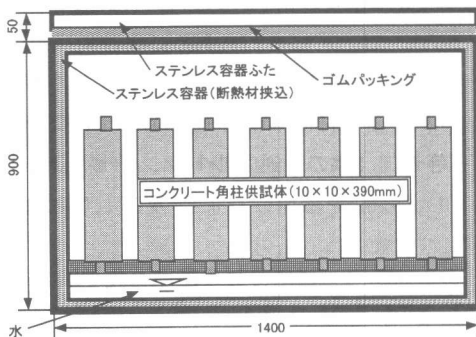


図-1 コンクリート角柱供試体貯蔵容器の概要

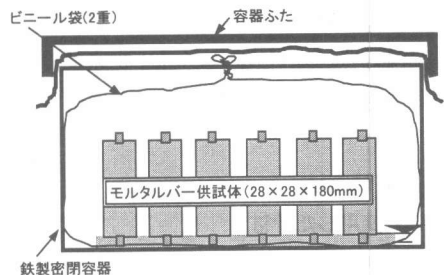


図-2 モルタルバー貯蔵容器の概要

また、1988年に作製した供試体は、粗骨材にチャート Yo とチャート Se を使用した。セメントは Na₂O 等量 0.72% の普通ポルトランドセメントを使用し、アルカリ量は 0.81 及び 1.2% に調整した。供試体の貯蔵には実験室内(気温約 10~30°C)に設置したステンレス製の密閉貯蔵器を用い、貯蔵器の底部に水を入れて供試体を湿潤

状態に保った。図-1 にステンレス製貯蔵器の概要を示す。

2.3 長期間貯蔵したモルタルバー供試体

モルタルバーの作製及び貯蔵状況を表-2 の下段に示す。使用骨材は、反応性骨材にチャート Yo, チャート Se 及び安山岩 M, 非反応性骨材に珪砂を使用した。反応性骨材の混合比は、

20, 40, 60, 80 及び 100%とした。使用セメントは普通ポルトランドセメント(Na_2O 等量0.65%)で、添加アルカリ(NaOH)を使用し、0.81 及び 1.2%に調整した。供試体は金属製の密閉容器内に2重にしたビニール袋を入れて、その底部に水を入れ、その上部に貯蔵した。密閉容器の貯蔵場所は2年まで38℃の恒温室内に、以後は実験室内(約10~30℃)とした。図-2にモルタルバー貯蔵容器の概要を示す。

2.4 長期間貯蔵したコンクリート角柱供試体の強度試験及び超音波速度測定

コンクリート角柱供試体の膨張率測定後に超音波伝播速度(縦波)の測定を行った。測定にはデジタル式測定器(振動子周波数:50kHz)を使用し、供試体1本について4カ所測定した。そ

の後、曲げ強度試験(三等分点載荷)を行い、その折片で圧縮強度試験を行った。

3. 結果及び考察

3.1 長期間貯蔵したコンクリート角柱供試体の膨張挙動

図-3にチャートYo, Se, J及びTを用いたコンクリート角柱供試体の膨張挙動を示す。チャートYoの貯蔵10~11年の膨張率は、アルカリ量2.0%では0.36%であり、アルカリ量0.81, 1.0及び1.2%では0.1~0.3%程度である。チャートSeでは、アルカリ量2.0%は膨張率0.15%であり、チャートYoと較べて膨張率は低い。また、貯蔵14年においても膨張を示している。チャートJ及びTは、貯蔵10年までは膨張を

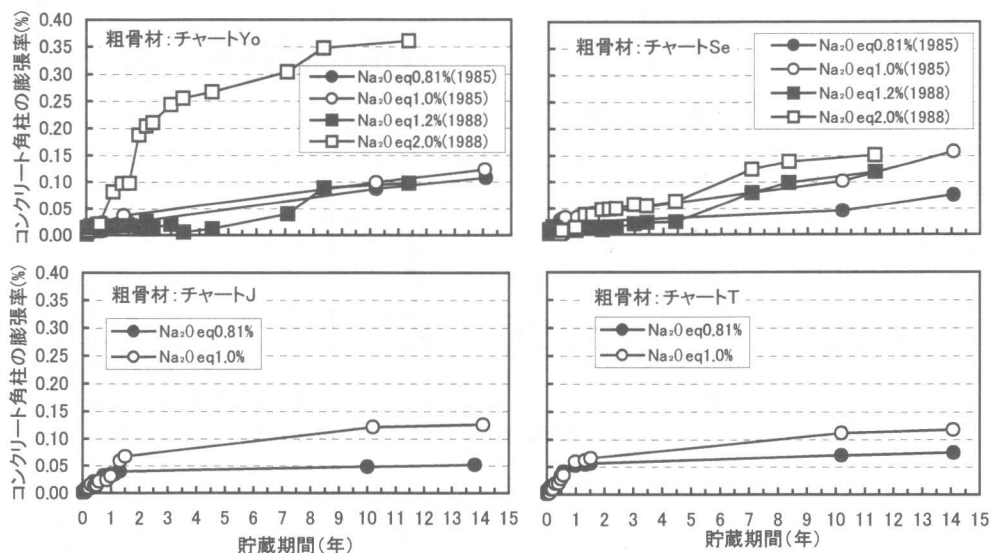


図-3 チャートYo, Se, J, Tを用いたコンクリート角柱供試体の貯蔵14年の膨張挙動

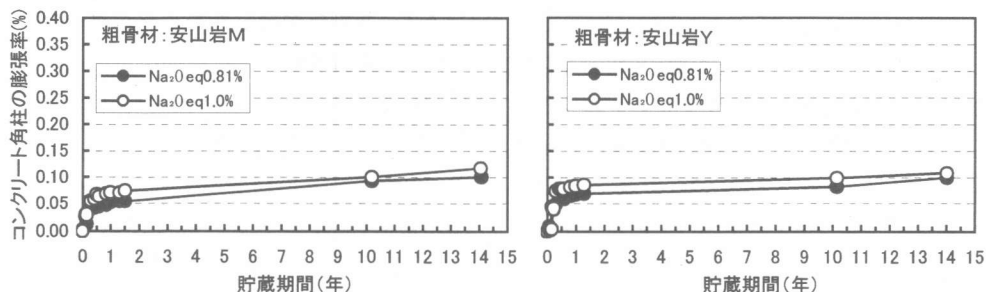


図-4 安山岩M, Yを用いたコンクリート角柱供試体の貯蔵14年の膨張挙動

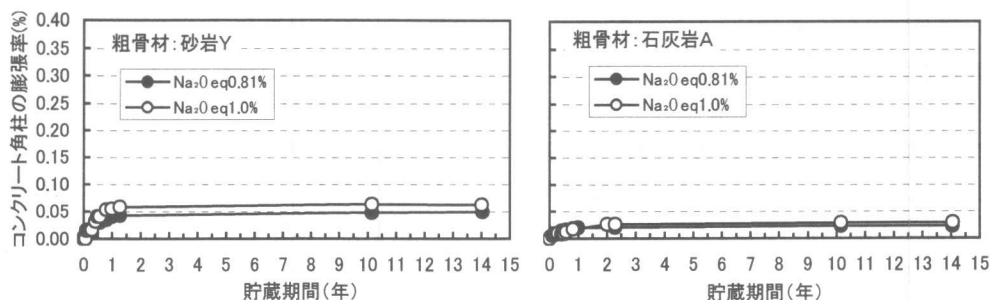


図-5 砂岩 Y, 石灰岩 A を用いたコンクリート角柱供試体の貯蔵 14 年の膨張挙動

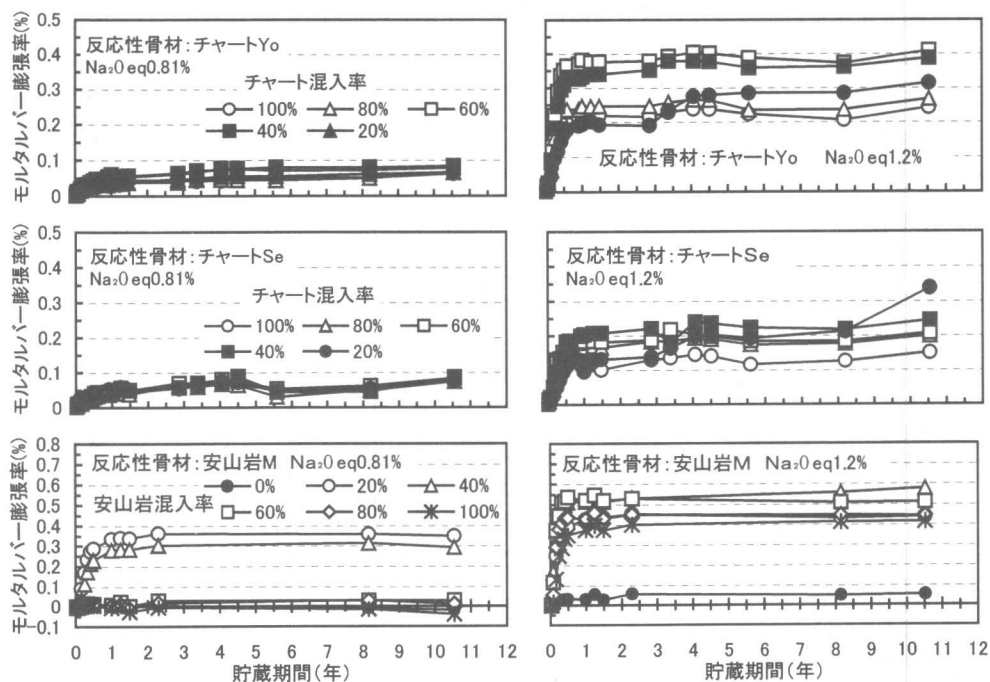


図-6 チャート Yo, Se 及び安山岩 M を用いたモルタルバーの膨張挙動

示しているが、貯蔵 14 年までの間はチャート Yo, Se と較べて膨張の増加は小さい。これらのことから、チャート骨材を用いたコンクリートの膨張率は、アルカリ量が 0.81% や 1.0% においては長期間にわたって膨張が継続している。図-4 に安山岩 M 及び安山岩 Y を用いたコンクリートの膨張挙動を示す。いずれも貯蔵 10 年の時点で膨張率 0.10% 以上である。貯蔵 14 年においても若干の膨張を示しており、前述のチャートと同様に長期にわたって膨張が継続している。図-5 の砂岩 Y と石灰岩 A を用いたコンクリ-

トでは砂岩は 1.5 年まで 0.05% の膨張を示したが、それ以降はほとんど膨張していない。また石灰岩はほとんど当初から膨張していない。

3.2 長期間貯蔵したモルタルバーの膨張挙動

図-6 にチャート Yo, Se 及び安山岩 M を用いたモルタルバーの膨張挙動を示す。アルカリ量 0.81% のチャート Yo 及びチャート Se の貯蔵期間 10.5 年の膨張率は 0.1% 以下であるが、アルカリ量 1.2% では膨張率 0.1% 以上となり、膨張が継続している。チャートの種類別では、アルカ

り量 1.2%では Yo は Se よりも膨張が大きいが、アルカリ量 0.81%ではほとんど差がない。ペシマムは、チャート Yo ではアルカリ量 1.2% で混入率 60% であり、同様に 0.81% では混入率 40% である。また、チャート Se は貯蔵 8.5 年ではアルカリ量 1.2%, 0.81% とも混入率 40% でペシマムとなっている。しかし、貯蔵 10.5 年ではアルカリ量 1.2% のみがペシマム 20% に変化している。

安山岩 M を用いたモルタルバーの膨張は、アルカリ量 0.81, 1.2% とも、貯蔵 2.3 年までに主要な膨張は終えている。以後貯蔵 10.5 年まではアルカリの低い方の 0.81% はまったく膨張をせず、1.2% ではわずかに膨張している。なお、アルカリ量 0.81% での反応性骨材混入率は 20% でペシマムを示し、アルカリ量 1.2% では混入率 40% にペシマムが移動している。このことは、アルカリ量と反応性骨材量(シリカ量)の反応を考えれば当然の帰結であると思われる。

3.3 長期間貯蔵したコンクリート角柱供試体とモルタルバーの膨張率の関係

図-7 にチャート Yo, Se 及び安山岩 M を用いたコンクリートとモルタルバーの膨張率の関係を示す。この図に用いたアルカリ量は、チャート Yo, Se は 0.81 と 1.2% であり、安山岩 M はアルカリ量 0.81% のみである。また膨張率は 6 ヶ月、約 1.4 年及び約 10 年後の結果である。なお、モルタルの膨張率はペシマムを考慮して、チャート、安山岩ともにその混入率は 40% を用いた。

図-7 は膨張率を各骨材岩種及びアルカリ量別に整理したものである。この結果ではいずれ

6ヶ月	○ チャートSe 0.81%	△ チャートSe 1.2%	□ チャートYo 0.81%	◇ チャートYo 1.2%	✱ 安山岩M 0.81%
1.4年	● チャートSe 0.81%	▲ チャートSe 1.2%	■ チャートYo 0.81%	◆ チャートYo 1.2%	✱ 安山岩M 0.81%
10年	○ チャートSe 0.81%	△ チャートSe 1.2%	□ チャートYo 0.81%	◇ チャートYo 1.2%	✱ 安山岩M 0.81%

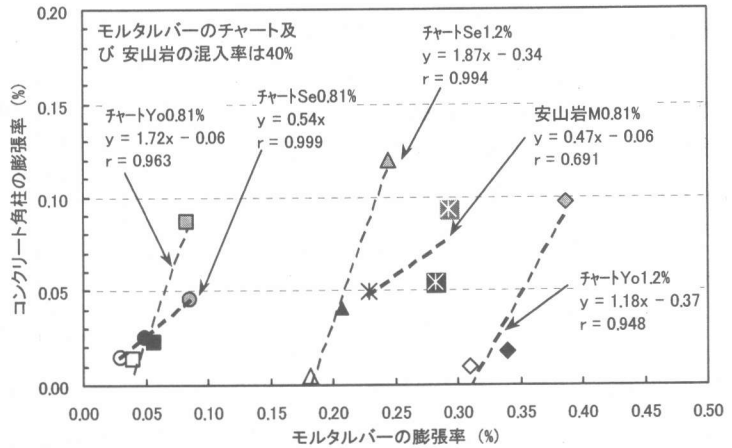


図-7 骨材岩種及びアルカリ量別のコンクリート角柱供試体とモルタルバーの膨張率の相関関係

Na ₂ O eq 1.0%	▲ チャートYo	◆ チャートSe	✱ 安山岩Y
	■ チャートJ	● チャートT	✱ 安山岩M
Na ₂ O eq 0.81%	△ チャートYo	◇ チャートSe	✱ 安山岩Y
	□ チャートJ	○ チャートT	✱ 安山岩M

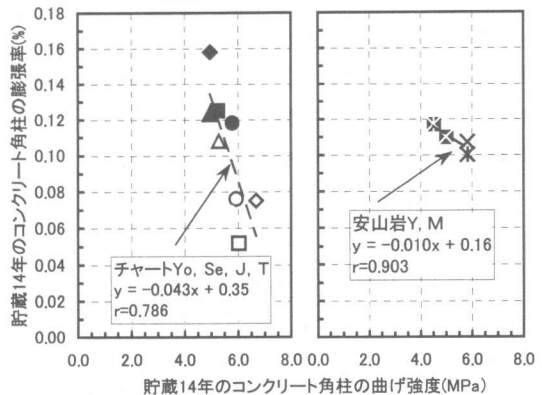


図-8 貯蔵 14 年のコンクリート角柱供試体の膨張率と曲げ強度の関係

の相関係数も高く、コンクリートとモルタルとの間には明瞭な関係がみられている。なお、モルタルバーのペシマムを考慮せずに反応性骨材 100% 使用の結果では相関関係はみられなかった。これらのことから、骨材岩種とアルカリ量が同じであるコンクリートとモルタルの膨張率には、ペシマム条件下において明瞭な関係があることが改めて確認された。

3.4 長期間貯蔵したコンクリート角柱試体の膨張率と強度・超音波速度との関係

図-8に貯蔵14年のコンクリートの膨張率と曲げ強度の関係を示す。曲げ強度は図左のチャートでは5~7MPa, 図右の安山岩では4~6MPaである。また図-9の圧縮強度では, チャート, 安山岩ともに膨張との関係はみられない。図-10の超音波速度は, チャートでは4250~4550 m/s, 安山岩は4100~4450m/sが測定されており, 正常なコンクリートの範囲である。これらコンクリートの膨張率は, チャートは0.05~0.16%, 安山岩は0.1~1.2%であり, いずれも膨張率が大きいほど曲げ強度の低下が小さい傾向がみられる。特に, チャートの膨張率は安山岩に較べて大きく変動しているが, 曲げ強度の低下は小さく, 安山岩と顕著な相違が認められる。

4. まとめ

貯蔵11~14年のチャート及び安山岩を用いたコンクリート角柱について, その膨張挙動, モルタルパー膨張率との相関関係及び強度性状について調べた結果をまとめると以下のようなものである。

- (1)チャート及び安山岩を用いたコンクリートはアルカリ量が0.81, 1.0%の場合では貯蔵11年後においても膨張がみられた。
- (2)チャート, 安山岩ともにアルカリ量が同一の場合での膨張率においては, モルタルパーのペシマム条件下においてのみ, モルタルとコンクリートに明瞭な相関関係がみられた。
- (3)長期間貯蔵したコンクリート供試体において, チャートは膨張率が0.05%と小さくとも, 強度の低下がみられた。一方, 安山岩はすべて0.1%以上の膨張を示したが, 両値の低下はほぼチャートと同様であり, 膨張と強度低下との相関関係においては, 両岩種で顕著な相違が認められた。

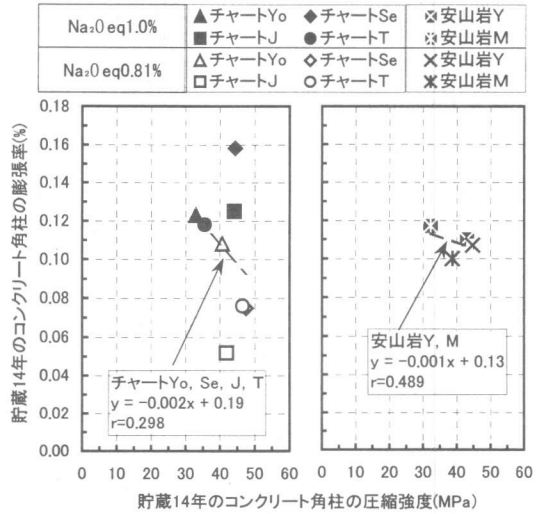


図-9 貯蔵14年のコンクリート角柱供試体の膨張率と圧縮強度の関係

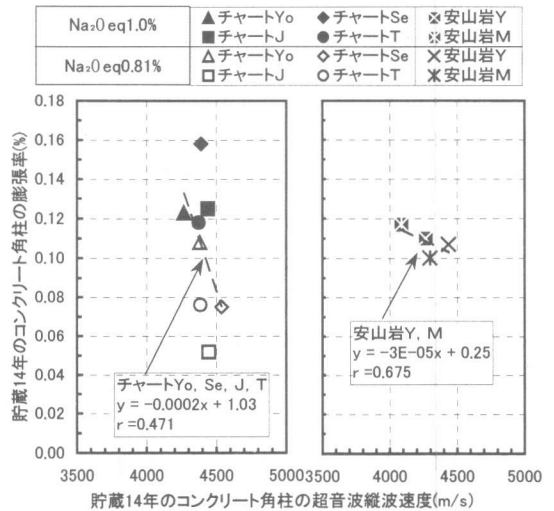


図-10 貯蔵14年のコンクリート角柱供試体の膨張率と超音波速度の関係

参考文献

- 1) 岩月栄治, 森野奎二, 皿井剛典: 長期間貯蔵したASRモルタルパーの膨張に及ぼす反応性鈦物の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.943-948, 1998.6
- 2) 岩月栄治, 森野奎二: 長期間貯蔵したアルカリ骨材反応供試体の膨張, 微細構造及び強度性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.849-854, 1996.6