

論文 再生骨材のアルカリシリカ反応性に関する研究

黒田 泰弘^{*1}

要旨：ASR 特性の異なる原骨材を使用し、アルカリ量の異なるモルタルやコンクリートを練り混ぜ、促進養生を行った後、再生骨材を製造し、新たに添加するアルカリ量を変えて、モルタルバーおよびコンクリートバーによる促進試験を実施した。その結果、再生骨材の ASR には、原骨材の ASR 特性に加え、新たに添加するアルカリのほか、付着セメントやそれに含まれるまだ消費されていないアルカリ、再生骨材として使用されるまでの ASR の進行状況などが影響することを示した。

キーワード：アルカリシリカ反応, 再生骨材, 含有アルカリ, 安山岩, チャート

1. はじめに

再生骨材コンクリートの ASR には、原骨材の ASR 特性に加え、付着セメントやそれに含まれるアルカリ、再生骨材として使用されるまでの ASR の進行状況などが影響すると考えられる。そこで、これらの影響を調べるための実験を実施した。

モルタル実験では、ASR 特性の異なる原細骨材を用いたモルタルから、付着セメント量や含有アルカリ量の異なる再生細骨材を製造し、それらが再生細骨材の ASR 特性に及ぼす影響について検討した。また、コンクリート実験では、ASR の進行状況が異なるコンクリートから再生粗骨材を製造し、再生粗骨材コンクリートの ASR の進行に及ぼす影響について検討した。

2. モルタルを用いた実験

2.1 試験概要

(1) 原細骨材に関する試験

反応性の異なる 6 種類の細骨材 (S, ML, MM, CL, CM, CH) について化学法 (JIS A 1245) およびモルタルバー法 (JIS A 1246) による試験を実施した。ただし、モルタルバー法の試験では、市販セメント ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$) を使用し、S (標準砂) は粒度調整せずに試験した。また、セメントに対し、 $\text{Na}_2\text{Oeq}=0.6\%$ としたものも練り混ぜ、 $\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$ とした場合と比較検討した。

(2) 再生細骨材の製造

(a) 含有アルカリ量の少ない再生細骨材の製造

$\text{W/C}=0.5$, $\text{S/C}=3.0$ としてモルタルを練り混ぜ、 40°C 温水中で 1 ヶ月間養生した後、屋内で自然乾燥し、ジョークラッシャで 5mm 程度以下に破碎した。さらに、破碎物を 300°C で 2 時間加熱した後、ポットミルで 30 分間および 120 分間磨砕処理し、水洗いして乾燥した後、JIS A 1246 の粒度分布に粒度調整し、再生細骨材とした。

(b) 含有アルカリ量の多い再生細骨材

原細骨材のモルタルバー法試験に合わせ、同時に採取し、密封容器内 (40°C , $95\%\text{RH}$ 以上) に 6 ヶ月間養生していたモルタル試験体 (セメントに対してアルカリ量を $\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$ に調整) を使用し、(a) と同様に加熱磨砕処理を行い、水洗いせず JIS A 1246 の粒度分布に粒度調整を行って、再生細骨材とした。ただし、磨砕処理は 30 分間のみとした。

(3) 再生細骨材およびセメント硬化体の試験

再生細骨材の密度・吸水率を調べるとともに、骨材分を推定するため、不溶残分試験 (JCAS F-18 法「硬化コンクリートの配合推定」に規定される方法に準拠) を実施した。また、ASR 特性を調べるために、化学法とモルタルバー法による試験を実施した。ただし、含有アルカリ量の多いモルタルから得た再生細骨材に関するモルタルバー法の試験では、使用するセメントに対するアルカリ量を $\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$ ではなく、 $\text{Na}_2\text{Oeq}=0.6\%$ とした。また、比較用としてセメント硬化体 ($\text{W/C}=0.5$) の破碎物に関しても化学法による試験を実施した。

2.2 試験結果

(1) 原細骨材に関する試験結果

原細骨材の ASR 特性に関する試験結果の一覧を表 1 に示す。

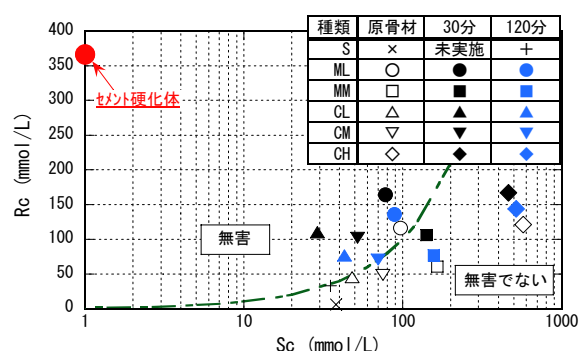
表 1 原細骨材の ASR 特性

種類	化学法		モルタルバー法による長さ変化率 (%)	
	Rc (mmol/L)	Sc (mmol/L)	$\text{Na}_2\text{Oeq}=0.6\%$	$\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$
S 標準砂	6	38	0.002	-0.009
ML 山砂	116	97	-0.003	0.133
MM チャート系山砂	61	165	0.001	0.391
CL 硬質砂岩砕砂	45	48	-0.004	0.179
CM チャート砕砂	49	75	0.005	0.227
CH 安山岩砕砂	121	572	0.019	0.473

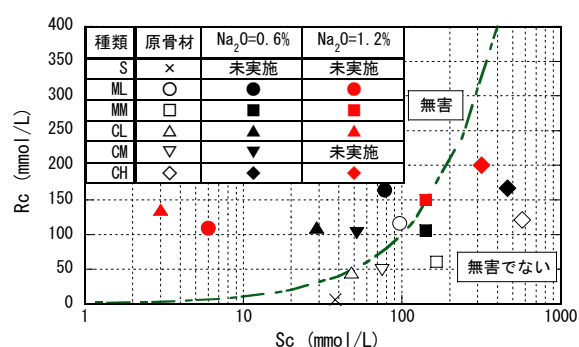
*1 清水建設 (株) 技術研究所生産技術センター 主任研究員 工修(正会員)

表－２ 密度・吸水率および不溶残分

種類	絶乾密度 (g/cm^3)	吸水率 (%)	不溶残分 (%)
標準砂S	2.63	0.40	98.9
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕120分)	—	—	60.3
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$, 磨砕30分)	—	—	52.8
山砂ML	2.58	1.42	80.8
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕120分)	2.50	2.62	76.0
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕30分)	2.32	5.51	65.2
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$, 磨砕30分)	2.29	6.08	57.0
チャート系山砂MM	2.55	1.16	97.2
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕120分)	2.42	3.06	92.9
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕30分)	2.25	5.67	82.9
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$, 磨砕30分)	2.22	6.35	60.5
硬質砂岩砕砂CL	2.61	0.70	96.3
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕120分)	2.43	3.08	86.4
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕30分)	2.31	5.00	76.0
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$, 磨砕30分)	2.28	5.57	61.2
チャート砕砂CM	2.55	1.42	98.7
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕120分)	2.40	3.66	92.0
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$, 磨砕30分)	2.25	6.05	81.0
安山岩砕砂CH	2.62	1.92	97.5
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕120分)	2.45	4.30	88.5
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.43\%$, 磨砕30分)	2.33	6.06	76.7
再生 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$, 磨砕30分)	2.29	6.47	67.0



図－１ 化学法の結果（磨砕処理時間の比較）



図－２ 化学法の結果（含有アルカリ量の比較）

化学法で無害判定 ($\text{Sc}/\text{Rc} < 1.0$) だったのは ML であり、モルタルバー法 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$) で無害判定（長さ変化率 $< 0.1\%$ ）だったのは S であり、ML と S で試験方法により判定が異なる結果となった。また、 $\text{Na}_2\text{Oeq}=0.6\%$ として実施したモルタルバーの場合、CH を除けば、長さ変化はほとんどなく、CH を含む全ての細骨材でモルタルバー法の長さ変化率はほとんど認められなかった。

なお、 $\text{Na}_2\text{Oeq}=1.2\%$ のモルタルバー法の試験結果より、原細骨材の ASR 特性は、①反応性がないと考えられる標準砂 S、②反応性が比較的低いと考えられる山砂 ML と硬質砂岩砕砂 CL、③反応性が高いものの、進行は穏やかと考えられるチャート系山砂 MM とチャート砕砂 CM および④反応性が極めて高いと考えられる安山岩砕砂 CH に分類できると考えられる。

(2) 再生細骨材の密度・吸水率と不溶残分

再生細骨材の密度・吸水率および不溶残分の試験結果を、原骨材の試験結果とともに、表－２に示す。

磨砕処理 120 分でも、再生細骨材の品質は ML のケースを除き、JIS A 5021 の H クラスまで届かなかった。また、含有アルカリ量の多い再生細骨材の方が、不溶残分は小さくなった。原因の一つとして、水洗いしていないことに起因する微粒分量の影響が考えられる。

(3) 再生細骨材およびセメント硬化体の Sc と Rc

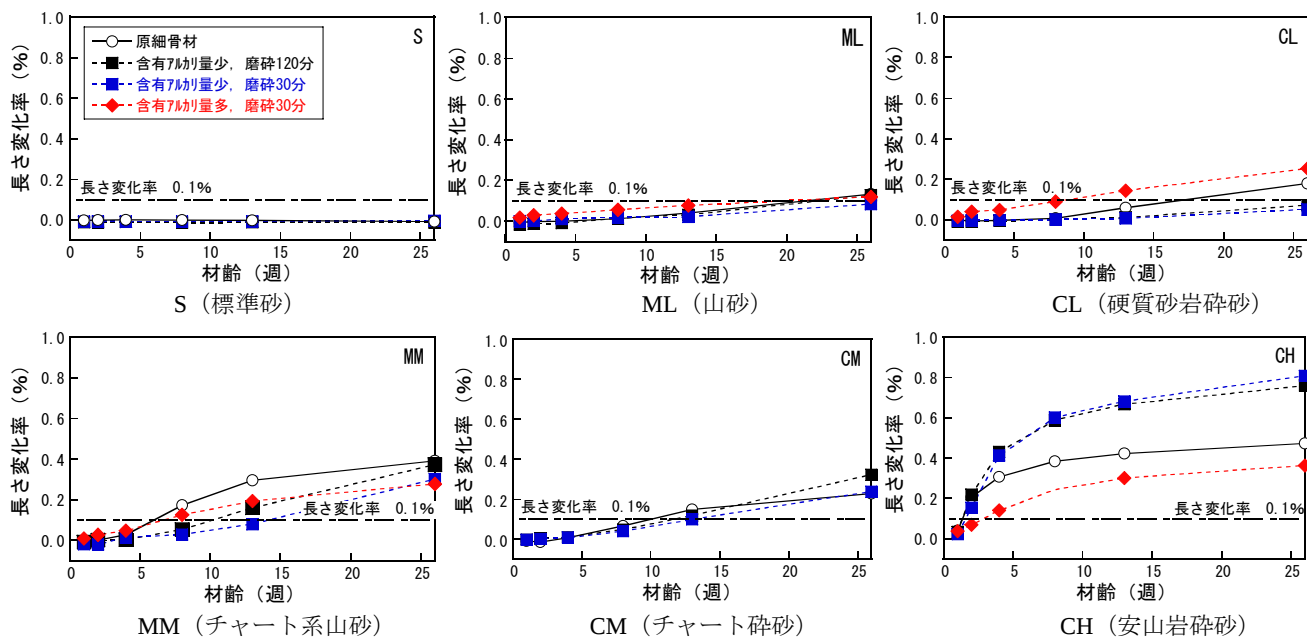
原細骨材と含有アルカリ量の少ない再生細骨材（磨砕処理時間 30 分、120 分）および比較用のセメント硬化体の化学法の試験結果を、図－１に示す。再生細骨材の Rc は原細骨材に比べて増加し、Sc は低下する傾向を示した。また、磨砕処理時間の長い再生細骨材の結果の方が、原骨材に近い値を示した。セメント硬化体自体の Rc は 367mmol/L 、Sc は 0mmol/L であったことから、付着セメントは Rc の増加に寄与し、相対的に Sc が減少しているのではないと思われる。付着セメント量が増えると、化学法としての評価が、「無害でない」から「無害」に変わるものがあり、注意が必要と考えられる。なお、塩酸処理を行って付着セメント分を除去すると、逆に溶解シリカ量が増加する傾向にあり、「無害」の骨材を「無害でない」と判定しまう可能性があることが指摘されている^{1), 2)}。

含有アルカリ量の異なる再生細骨材 ($\text{Na}_2\text{Oeq}=0.6\%$, 1.2%) の化学法の試験結果を、原細骨材の結果とともに図－２に示す。図－１と概ね同様の傾向であったが、CL と ML ではアルカリ含有量が多いケースで溶解シリカ量が極端に小さくなった。アルカリ含有量が多いケースでは、再生細骨材とした時点までにシリカ量が消費されている可能性が示唆される。

(4) 再生細骨材モルタルの長さ変化

モルタルバー法による長さ変化率の測定試験結果を、原細骨材の種類別に図－３に示す。試験結果は以下のように整理できる。

- 反応性がないと考えられる標準砂 S とその再生細骨材の場合、いずれのケースにおいても、長さ変化はほとんど認められなかった。
- 反応性が比較的低いと考えられる山砂 ML と硬質砂岩砕砂 CL では、含有アルカリ量の少ない再生骨材を用

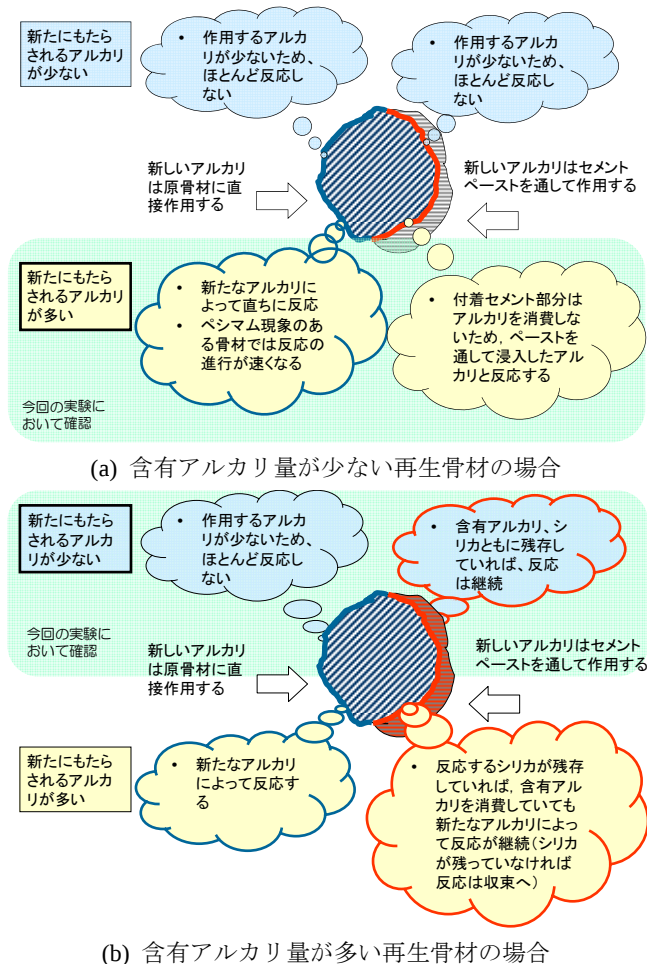


図－3 モルタルバー法の試験結果（含有アルカリ量の影響）

いたモルタルの膨張率は、原骨材と同等か、幾分小さくなった。また、付着セメント量の影響はほとんどなかった。一方、含有アルカリ量の多い再生細骨材を用いたモルタルの膨張率は、新しいモルタル中のセメントに対する $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ が 0.6%と少ないにもかかわらず、原細骨材よりも幾分大きなものとなった。後者のケースでは、膨張が大きくなり始めた段階で、再生処理しており、付着セメントに含有されるアルカリの影響で ASR が継続し、膨張率が大きくなったものと考えられる。

(c) 反応性が高いが、進行は穏やかと考えられるチャート系山砂 MM とチャート砕砂 CM の場合、含有アルカリ量の少ない再生細骨材を用いたモルタルの膨張率は、材齢 6 ヶ月では原細骨材と概ね同等あるいは小さかったものの、材齢の進行に伴って大きくなる傾向が認められた。また、付着セメント量が少ないものの方が幾分長さ変化率は大きかった。一方、MM の場合、含有アルカリ量の多い再生細骨材を用いたモルタルの膨張率は、初期には幾分大きかったが、新たなアルカリの供給が少ないため、早く収束する傾向を示し、材齢 6 ヶ月では原細骨材を用いた場合より小さくなった。

(d) 反応性が極めて高いと考えられる安山岩砕砂 CH とその再生細骨材の場合、含有アルカリ量の少ない再生細骨材を用いたモルタルの膨張率は原細骨材より著しく大きくなり、反応性が低い場合と逆の傾向を示した。反応性骨材の量が付着セメントペースト分だけ減ったため、その割合がペシマム条件に近づき、著しい膨張を示したのではないかと考えられる。一方、含有アルカリ量の多い再生細骨材のケースでは、原細骨材を用いた場合よりモルタルの膨張率は小さくなった。含有アルカリの消費が既に進んでおり、その後の ASR の進行に寄与する



図－4 再生骨材の ASR の概念

アルカリの量が減っていた影響と推察される。さらに、化学法の結果で溶解シリカ量が減っていることから、反応に寄与するシリカの減少の影響も考えられる。

2.3 再生細骨材の ASR に関する考察

再生細骨材は、原骨材、原骨材+セメントペーストセメント、セメントペーストによって構成されと考えられるが、図-4は原骨材+セメントペーストよりなる再生細骨材の断面の概念図である。図は、再生骨材に生じる ASR を、付着セメントペーストに含まれるアルカリ量が少ない場合と多い場合に分け、さらに新たにもたらされるアルカリ量の違いで分けてあり、原骨材が露出している部分とセメントペーストが付着している部分を対象に、それらの影響を推察したものであり、次のように整理される。

1) 含有アルカリ量が少ない再生骨材の場合

原骨材が反応性であっても、旧モルタル中のアルカリ量が少なければ ASR は進行しておらず、再生後に新たにもたらされるアルカリ量も少なければ、その後も ASR は進行しないと考えられる。

一方、新たにもたらされるアルカリ量が多ければ、ASR が進行する可能性がある。特にペシマム条件を有する反応性骨材の場合には、再生骨材に含まれるセメントペーストは、反応性のない骨材を混合した場合と同様に、膨張量を大きくする可能性があるため、注意が必要である。

なお、再生骨材の化学法による試験結果では、付着セメント量が多くなるほど、アルカリ濃度減少量が増加し、溶解シリカ量が減少したが、今回のモルタルバーの試験結果より、付着セメントペーストによる ASR 抑制効果は少ないと考えられる。

2) 含有アルカリ量が多い再生骨材の場合

再生後に新たにもたらされるアルカリ量が少ない場合であっても、含有アルカリ量が多ければ、ASR は進行する可能性がある。ただし、再生後の ASR 進行に寄与するのは、まだ消費されずに残存しているアルカリであり、主に、セメントペーストが付着している部分で、反応が継続すると考えられる。したがって、新たにもたらされるアルカリ量が少ない場合、原骨材が露出している部分が多いほど、再生後の ASR の進行は抑制されるものと思われる。

なお、新たにもたらされるアルカリ量の多寡にかかわらず、再生骨材として使用されるまでの ASR の進行状況が、再生後の ASR 進行に大きく影響すると考えられる。岩月らが長期間測定した ASR コンクリート供試体から再生骨材を製造して行った研究³⁾によれば、反応速度が速い原骨材を用いたコンクリートから製造した再生骨材は、溶解シリカが多く消費されているため、無害の傾向を示し、反応速度の遅い原骨材を用いたコンクリートから製造した再生骨材は、再度アルカリが供給されることによって ASR 反応による膨張を生じたことが示されている。

3. コンクリートによる実験

3.1 試験概要

(1) 原コンクリートの概要

使用材料の一覧を表-3に、原骨材の ASR 試験結果を表-4に、原コンクリートの調合を表-5に示す。粗骨材には反応性の高い安山岩碎石を用いた。また、調合 A は、ASR による膨張促進を目的として、アルカリ量が 2.4kg/m^3 となるように NaOH を添加したものである。原コンクリートの性質を表-6に示す。フレッシュ性状、標準養生強度（材齢 28 日）だけでなく、湿気槽養生（温度 40°C 、湿度 100%）6 ヶ月後の長さ変化率についても、調合による差は認められなかった。

NaOH を添加した調合 A についても、湿気槽養生による膨張が認められなかったため、調合 A の原コンクリートについては 50°C の飽和 NaCl 溶液による養生を実施した。飽和 NaCl 溶液に浸漬後の調合 A の長さ変化率を、比較用に試験した調合 N の結果とともに図-5に示す。初期のアルカリ含有量の違いによらず、いずれも 11 週養生後より、明らかに膨張に転じた。13 週後の長さ変化率は、調合 N で 0.266%、調合 A で 0.277% となり、ひび割

表-3 使用材料の一覧

項目	種類	主な性質等
セメント	普通ポルトランドセメント	密度 3.16g/cm^3 、比表面積 $3,240\text{cm}^2/\text{g}$ $\text{Na}_2\text{Oeq}=0.48\%$
細骨材	山砂	表乾密度 2.62g/cm^3 、絶乾密度 2.57g/cm^3 吸水率 1.78% 、FM2.62
粗骨材	安山岩碎石	表乾密度 2.66g/cm^3 、絶乾密度 2.64g/cm^3 吸水率 0.68% 、実積率 61.8% 、FM6.57
混和剤	AE減水剤	標準タイプ

表-4 原骨材の種類と ASR 試験結果

種類	化学法 (JIS A 1145)		モルタルバー法 (JIS A 1146)
	Sc	Rc	
山砂	90mmol/L	50mmol/L	0.06%
安山岩碎石	78mmol/L	688mmol/L	0.31%

表-5 再生骨材コンクリートの調合

調合	W/C (%)	単位量 (kg/m^3)				AE減水剤 (C×%)	NaOH添加
		W	C	S	G		
N	55.0	172	313	849	965	0.25	無
A							有

表-6 原コンクリートの性質

調合	スランブ (cm)	空気量 (%)	28日強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (kN/mm^2)	湿気養生6ヶ月後の長さ変化率(%)
N	20.0	5.5	39.5	33.1	-0.005
A	20.0	5.4	37.3	31.7	0.006

れが顕著になった。

(2) 再生粗骨材の概要

再生粗骨材を得るための原コンクリートとして、調査Nに関しては湿気槽養生6ヶ月後に6ヶ月程度20℃封かん養生したものを、調査Aに関しては湿気槽養生6ヶ月後に3ヶ月程度20℃封かん養生し、さらに50℃の飽和NaCl溶液への浸漬を13週行ったものを用いた。

再生粗骨材の製造は、著者がこれまで行った研究^{4), 5)}と同様とし、JIS A 5022のMクラスに相当する中品質再生粗骨材NMとAM、JIS A 5023のHクラスに相当する高品質再生粗骨材NHとAHを得た。再生粗骨材の品質を表-7に示す。

(3) コンクリートバー法の概要

再生粗骨材コンクリートの調査を表-8に示す。普通ポルトランドセメントは $\text{Na}_2\text{Oeq}=0.52\%$ のものを用い、練り上がり後に、アルカリ添加量が $\text{Na}_2\text{Oeq}=0.6, 1.2, 2.4, 3.6\text{kg/m}^3$ となるようにNaOHの粉末を添加し、脱型直後より湿気槽養生(温度40℃, 湿度100%)を実施して、促進養生1年後までの長さ変化率を測定した。

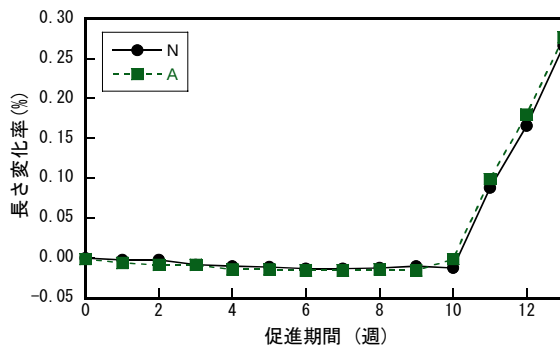


図-5 飽和NaCl溶液浸漬法による測定結果

表-7 再生粗骨材の品質

記号	原コンクリート	主な性質等
NM	調査N (湿気槽養生6ヶ月+20℃封かん養生約6ヶ月)	表乾密度 2.51g/cm^3 , 絶乾密度 2.42g/cm^3 , 吸水率 3.64%
NH		表乾密度 2.59g/cm^3 , 絶乾密度 2.52g/cm^3 , 吸水率 2.62%
AM	調査A (湿気槽養生6ヶ月+20℃封かん養生約3ヶ月+50℃飽和NaCl溶液浸漬13週)	表乾密度 2.51g/cm^3 , 絶乾密度 2.42g/cm^3 , 吸水率 3.82%
AH		表乾密度 2.59g/cm^3 , 絶乾密度 2.52g/cm^3 , 吸水率 2.78%

表-8 再生粗骨材コンクリートの調査

再生粗骨材の種類	W/C (%)	単位量 (kg/m^3)				AE減水剤 (C×%)
		W	C	S	G	
NM, AM	55.0	170	309	844	916	0.25
NH, AH		170	309	844	945	

3.2 試験結果および考察

湿気槽養生法による長さ変化率の測定結果を調査別に図-6に示す。

含有アルカリ量が少ないNM, NHを用いた再生粗骨材コンクリートの場合、アルカリ添加量が 2.4kg/m^3 以下で

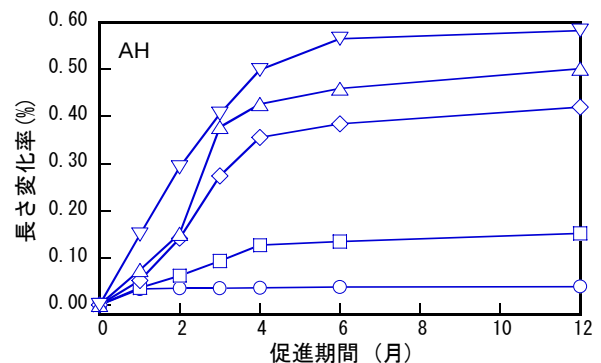
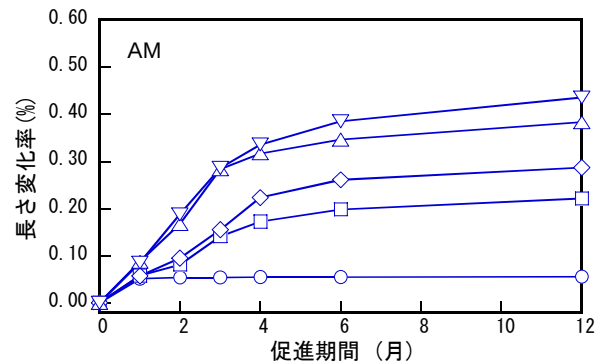
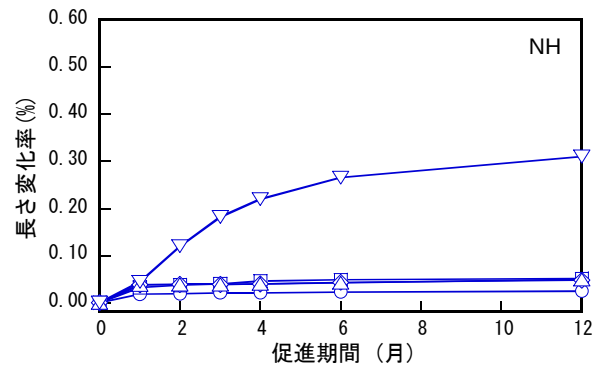
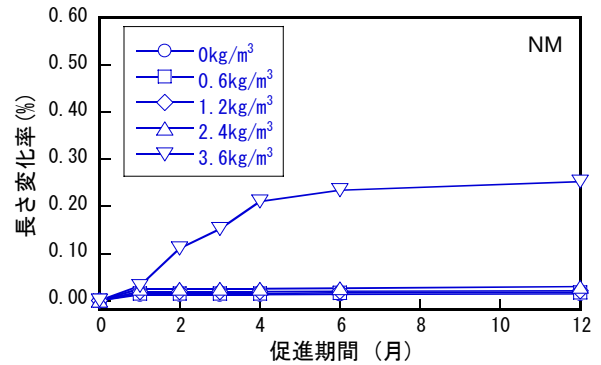


図-6 湿気槽養生法による長さ変化率の測定結果

あれば、膨張は進行しなかった。これは、原骨材の場合と同様である。また、再生粗骨材の品質の影響は、ほとんど認められなかった。

一方、含有アルカリ量が多い AM, AH を用いた再生粗骨材コンクリートの場合、アルカリを添加していない場合を除き、膨張が認められ、アルカリ添加量が多いほど、膨張量は大きくなった。今回のケースでは、練混ぜ時に添加したアルカリと飽和 NaCl 溶液からのアルカリの浸透の影響で、原骨材の ASR は既に膨張段階に入っており、新たなアルカリが供給される状況となれば、そのまま膨張が継続するのは当然のことといえ、アルカリ添加量が $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}=0.6\text{kg/m}^3$ と比較的少ない場合でも、膨張を生じたものと考えられる。原コンクリートが ASR が生じていない状況であれば、再生コンクリートとした際のアルカリ総量を規定値以下とすることで、ASR を抑制できる可能性がある。

また、再生粗骨材の品質の影響については、アルカリ添加量が 1.2kg/m^3 以上の場合と、 0.6kg/m^3 以下の場合で異なり、前者では AH を用いたケースの方が、後者では AM を用いたケースの方が膨張量は大きくなった。後者のように、新たにもたらされるアルカリ量が少ない場合、再生後の ASR 進行に寄与するのは、付着セメントペースト中にまだ消費されずに残存しているアルカリであると考えられるため、品質が高い再生粗骨材の方が、膨張量が小さかったものと推察される。

今回の試験結果より、再生後に新たにもたらされるアルカリ量が比較的少ない場合であっても、含有アルカリ量が極めて多く（使用材料や飽和 NaCl 溶液への浸漬に起因するアルカリを加えると、 4kg/m^3 を大きく上回ると考えられる）、ASR による劣化が進行中の原コンクリートから再生骨材を製造したケースでは、ASR は進行する可能性があることがわかった。しかし、アルカリを添加しなかったケースでは、膨張は抑制されていることから、現実的には、外からのアルカリの供給を遮断できる条件下であれば、再生骨材コンクリートの ASR はほとんど問題とならないのではないかと考えられる。

4. まとめ

今回の実験の範囲で得られた主な試験結果は以下のとおりである。

- (1) 再生細骨材の Rc は原細骨材に比べて増加し、Sc は低下する傾向を示した。再生細骨材に付着するセメントペーストは Rc の増加に寄与し、相対的に Sc が減

少しているのではないと思われる。

- (2) 再生後にもたらされるアルカリ量が少ないケースであっても、ASR による膨張が大きくなり始めた段階で製造した再生細骨材を用いると、付着セメントペーストに含有されるアルカリの影響で ASR が継続するため、再生骨材モルタルは膨張する傾向を示した。
- (3) 再生後にもたらされるアルカリ量が多いケースでは、付着セメントペーストの影響は概ね小さかったが、ペシマム条件を有する反応性骨材の場合には、再生骨材モルタルの膨張量が原骨材よりも大きくなる傾向が認められた。
- (4) 含有アルカリ量が少ない再生粗骨材を用いたコンクリートの場合、再生後にもたらされるアルカリ量が、原骨材の ASR を引き起こす量を超えなければ、膨張は進行しなかった。
- (5) 含有アルカリ量が極めて多く、ASR による劣化が進行中の原コンクリートから再生粗骨材を製造したケースでは、比較的少量のアルカリの添加でも、膨張が認められた。しかし、アルカリを添加しなかったケースでは、膨張は抑制された。なお、再生粗骨材コンクリートへの添加アルカリ量が少ない場合には、品質が高い再生粗骨材の方が、膨張量を低く抑えることができた。

参考文献

- 1) 守屋進ほか：実構造物より採取した骨材のアルカリシリカ反応性試験（化学法）に関する一考察，セメント技術年報 41，pp.427-430，1987
- 2) 矢埤和彦：硬化コンクリート中のアルカリシリカ反応性（化学法）試験に関する予備実験－骨材の取り出し時の酸処理による試験結果への影響等－，建材試験情報 3，pp.12-18，2001.03
- 3) 岩月栄治・森野奎二：再生骨材コンクリートのアルカリシリカ反応に関する研究，コンクリート工学年次論文集 25-1，pp.1229-1234，2003
- 4) 黒田泰弘：反応性骨材を用いたコンクリートからの高品質再生骨材の製造，コンクリート工学年次論文報告集 29-2，pp.421-426，2007.07
- 5) 黒田泰弘：反応性を有する再生骨材を用いたコンクリートの諸性状，コンクリート工学年次論文報告集 30-2，pp.379-384，2008.07