

論文 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

岩月 栄治^{*1}・森野 奎二^{*2}

要旨：11～14 年間にわたってアルカリシリカ反応の劣化状況を観察してきたコンクリート供試体（チャート 4 種類，安山岩 1 種類を使用）を破碎・摩砕して，吸水率 3%以下の再生粗骨材を作製した。それらの化学法試験結果では，反応速度が早いチャートや安山岩は溶解シリカ量が原骨材と較べて低くなった。また，再生粗骨材を用いたコンクリートの膨張率は，元のコンクリートの膨張率が高いほど低くなる傾向を示し，反応性が残存している状況がみられた。

キーワード：アルカリシリカ反応，再生骨材，チャート，安山岩，膨張率，化学法

1. はじめに

コンクリート再生骨材は各種の構造物を解体・破碎して製造されている。その中で，アルカリシリカ反応（以下，ASRと称す）によって劣化した構造物も対象となる場合がある。再生骨材を使用するときは，解体されたコンクリートのASRの有無を考慮することは難しく，再生骨材を使用する上で何らかの対策が必要と考えられる。

再生骨材に関する規格は，旧建設省の吸水率をもとにした品質基準案¹⁾があり，再生骨材を用いた再生コンクリートは平成12年11月にTR A0006²⁾が公表されている。TRでは再生コンクリートの一般的な用途の範囲として，高い強度や高い耐久性を必要としない部材や部位に使用することを標準としている。今後，再生骨材の利用範囲を拡大していくためにも，再生骨材のASRの反応性状を明らかにする必要がある。しかし，再生骨材のASRに関する研究は少なく，今後データを蓄積していく必要がある。

本研究は，11～14年間貯蔵して観察してきたASRコンクリート供試体を再生骨材の原料（以下，原コンクリートと称す）に用

い，破碎・摩砕して吸水率3%以下の再生粗骨材（1種）を作製した。試験は，再生粗骨材の化学法やコンクリート供試体による膨張率測定を行い，再生粗骨材のASRについて調べた。

2. 実験方法

2.1 原コンクリートに使用した骨材

再生骨材の原コンクリート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る。いずれも，岩石の起源は中・古生層のチャートよりなる。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。なお，X線回

表－1 原コンクリート供試体に使用した骨材の化学法結果

骨 材	使用種別	産 地	化学法の結果 (mmol/l)			
			Sc	Rc	Sc/Rc	判 定
チャートYo	粗骨材	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		愛知県	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
石灰岩A		岐阜県	9	190	0.05	無 害
珪 砂	細骨材	愛知県	12	27	0.43	無 害
川 砂		愛知県	19	103	0.18	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 原コンクリート供試体の作製および貯蔵状況

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	供試体の アルカリ	貯蔵状態
原コンクリート供試体	1985年	100×100 ×390	単位セメント 量:300kg/m ³	粗骨材	反応性	チャートYo	0.81%	2.4kg/m ³ (無添加) 3.0kg/m ³ (NaOH添加)	貯蔵容器に て湿潤貯蔵 (温度は季節によっ て10～30℃に 変動する)
						チャートSe			
						チャートJ			
						チャートT			
						安山岩M			
				非反応性	石灰岩A				
	細骨材	非反応性	珪砂及び川砂						
	1988年		水セメント比: 58.1%	粗骨材	反応性	チャートYo	0.72%	3.6kg/m ³ (NaOH添加) 6.0kg/m ³ (NaOH添加)	
チャートSe									
細骨材				非反応性	珪砂及び川砂				

折の $2\theta = 68^\circ$ ($\text{CuK}\alpha_1$) 付近の石英の5重線から算出する結晶性指標は、Yoは5.01, Seは7.22, Jは7.14, Tは6.81であり、岩石学的にYoの反応性が高いといえる³⁾。安山岩Mは瀬戸内火山岩区に属する斜方輝石安山岩であり、碎石で「無害でない」骨材である。火山ガラスの含有量は偏光顕微鏡観察やX線回折から6%程度である。石灰岩Aは化学法では「無害」であり非反応性骨材として用いた。細骨材には珪砂および川砂を用いた。

2.2 原コンクリート供試体の作製および貯蔵状況

原コンクリート供試体の作製および貯蔵状況を表－２に、配合を表－３に示す。供試体作製は1985年～1988年であり、貯蔵期間は11～14年である。1985年作製供試体の粗骨材は、反応性骨材のチャートYo, Se, T, Jと安山岩Mの5種類、非反応性骨材は石灰岩Aである。細骨材には珪砂及び川砂を用いた。セメントはNa₂O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2.4および3.0kg/m³に調整した。また、1988年に作製した供試体は、粗骨材にチャートYo, Seを使用している。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3.6および6.0kg/m³に調整したものである。供試体の貯蔵には実験室内(気温約10～30℃)に設置したステンレス製の貯蔵器を用い、貯蔵器の底部に水を入れて供試体

表－３ 原コンクリート供試体の配合

原コンクリート供試体に 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 (%)
粗骨材	細骨材			
チャート:4種類	珪 砂	20 (チャート Yoのみ15mm)	58.4	42.0
安山岩:1種類				
石灰岩:1種類				
単 位 量 (kg/m ³)				
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
181	300	745	1053	—

を湿潤状態に保った。

2.3 再生骨材の作製

原コンクリート供試体の強度試験片をブレーキジョークラッシャー(350kg/h)を用いて最大粒径20mm程度に破砕した。その後、粗骨材と細骨材にふるい分け、粗骨材のみをロサンゼルスすりへり試験機に投入して付着しているモルタル分を摩砕した。摩砕時間は既往の実験結果⁴⁾から3時間とし、吸水率が3%以下にならなかったものは再度1時間摩砕した。

2.4 硝酸溶液浸漬による再生粗骨材のモルタル付着率の測定

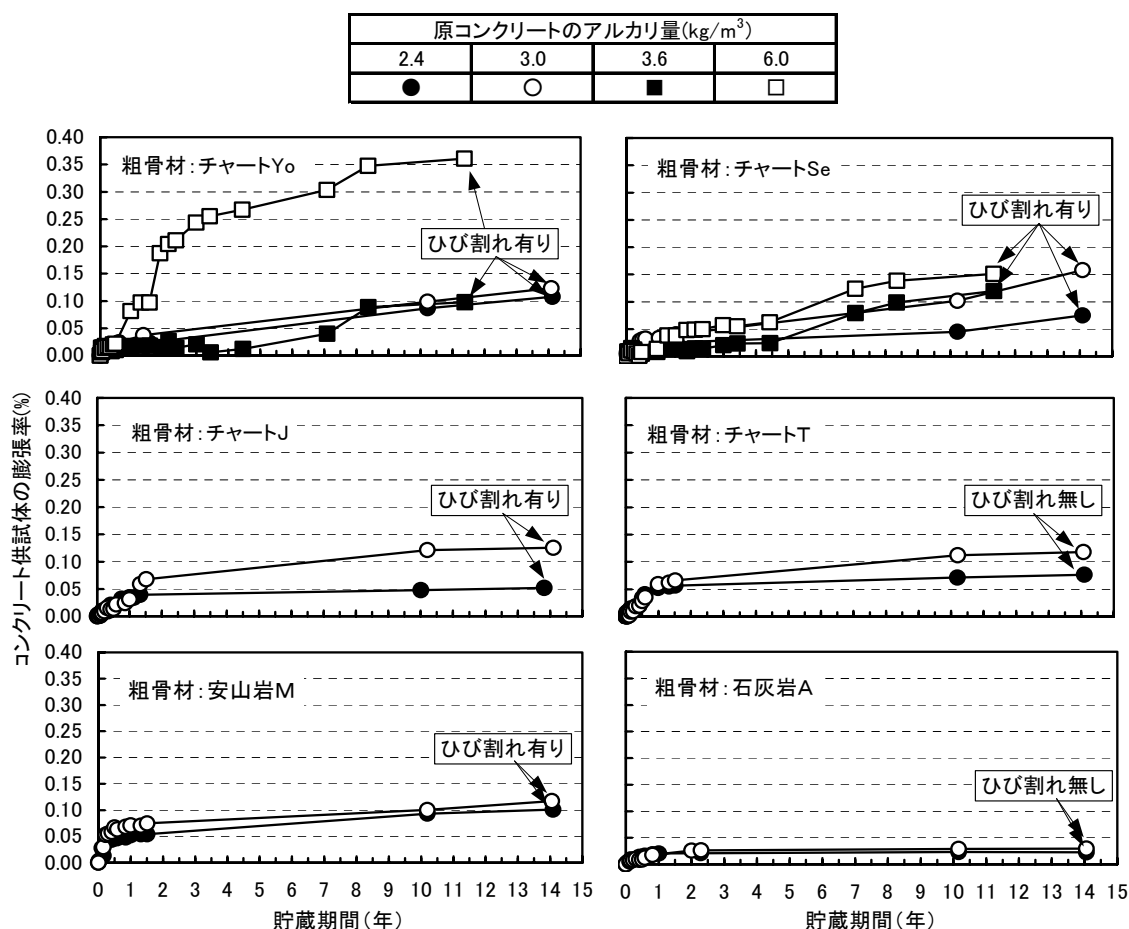
ロサンゼルスすりへり試験機で摩砕した再生粗骨材に付着しているモルタル分を測定するために、再生粗骨材を工業用硝酸溶液(HNO₃, 濃度67.5%)に浸漬した⁵⁾。試験は摩砕後の再生粗骨材300gを1リットルの硝酸溶液に48時間浸漬し、その後5mmふるいでウェットスクリー

表－４ 再生粗骨材を用いたコンクリート配合

再生骨材コンクリート に使用した再生骨材		再生粗骨材 の最大寸法 (mm)	水セメント 比 W/C(%)	細骨材 率 s/a(%)
粗骨材	細骨材			
チャート:4種類	珪 砂	20	51.3	41.0
安山岩:1種類				
石灰岩:1種類				
単 位 量 (kg/m ³)				
水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
154	300	761	1025~ 1091	0.3

表－５ 再生骨材コンクリートに使用したセメントの化学成分

化学成分 (%)							アルカリ (%)
ig.ioss	insol	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ Oeq
0.59	0.1	21.65	4.85	2.98	65.02	1.41	0.62
Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	Cl	SO ₃	K ₂ O/Na ₂ O
0.28	0.52	0.3	0.16	0.13	0.002	1.8	1.9



図－１ 貯蔵 11～14 年の原コンクリート供試体の膨脹挙動

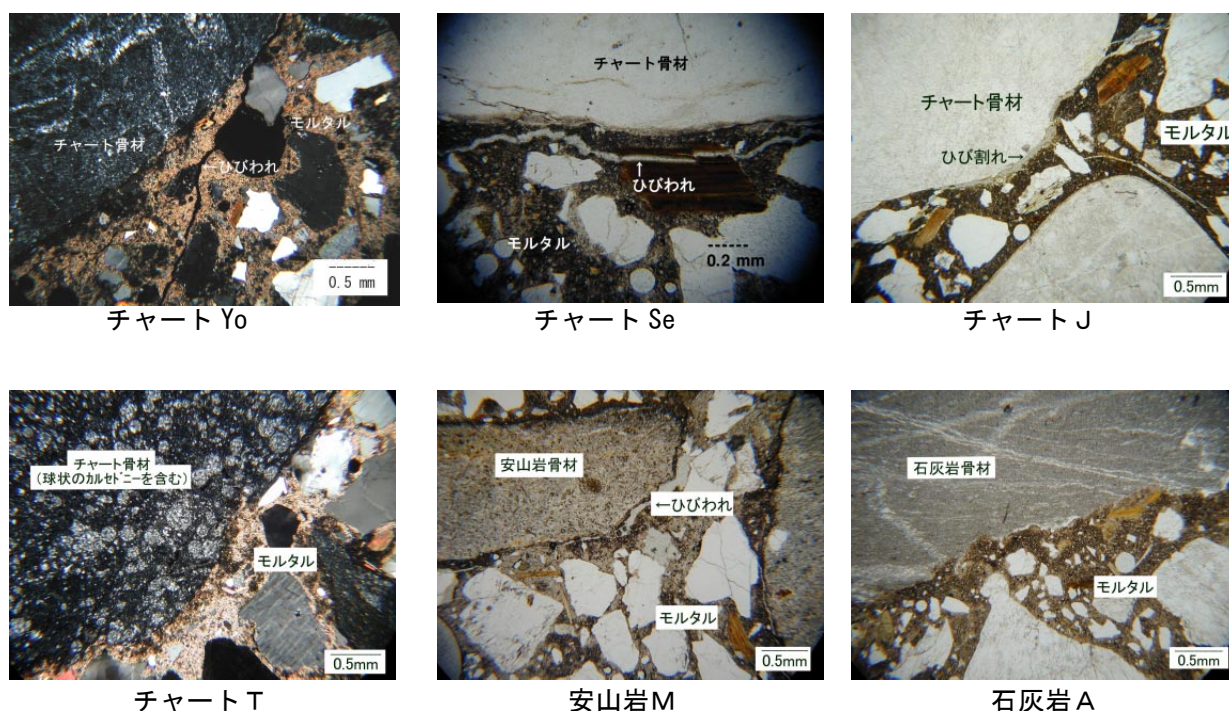
ニングして乾燥後の質量変化を測定した。

2.5 再生粗骨材の化学法とコンクリート供試体の膨脹率測定

再生粗骨材の化学法は、原コンクリートの破砕直後のものとロサンゼルスすりへり試験機で摩砕した後のものの2種類で行った。

膨脹を測定するためのコンクリート供試体には、摩砕した再生粗骨材と非反応性の珪砂を用いた。使用セメントは全アルカリ量0.62%

(Na₂O換算)の普通ポルトランドセメントを用い、練混ぜ時にNaOHを添加して全体のアルカリ量を3.0と9.0kg/m³に調整した。供試体の形状は試料量の都合で6×6×15cmとした。コンクリート打設後24時間で脱型し、膨脹率の基準を測定してからただちに40℃湿潤貯蔵(RH95%以上)を行った。再生粗骨材を使用したコンクリートの配合を表－４に、使用したセメントの化学成分を表－５示す。



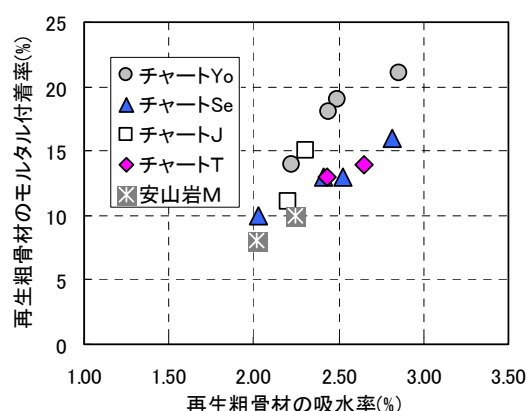
写真－１ 原コンクリート供試体の貯蔵 11～14 年の偏光顕微鏡写真（アルカリ量 3.0kg/m^3 ）

3. 結果および考察

3.1 原コンクリート供試体の ASR 劣化状況^{3,6)}

図－１に貯蔵 11～14 年の原コンクリート供試体の膨張挙動を示す。チャート Yo, Se, J, T と安山岩 M はアルカリ量 3.0kg/m^3 であっても貯蔵 10 年では 0.1%以上の有害な膨張を示している。この中でも、チャート Yo と安山岩 M は 2.4kg/m^3 であっても貯蔵 14 年では 0.1%以上の膨張を示しており、アルカリが低くても長期にわたって反応が継続していることから反応性が高いといえる。また、チャート Se の 2.4 および 3.0kg/m^3 は貯蔵 10 年以後から膨張が増加しはじめており、貯蔵 14 年の 3.0kg/m^3 は Yo の同アルカリよりも膨張率が高くなっている。これらのことから、アルカリ量が低い場合であっても長期間では Se は Yo よりも劣化が著しいといえる。このことは、実構造物において ASR の劣化が数年なかったものが 10 年以降に劣化し始めることと一致している。

供試体表面のひび割れはチャート T 以外で確認され、そのひび割れ幅は $0.05\sim0.40\text{mm}$ であった。また、偏光顕微鏡による内部の劣化状

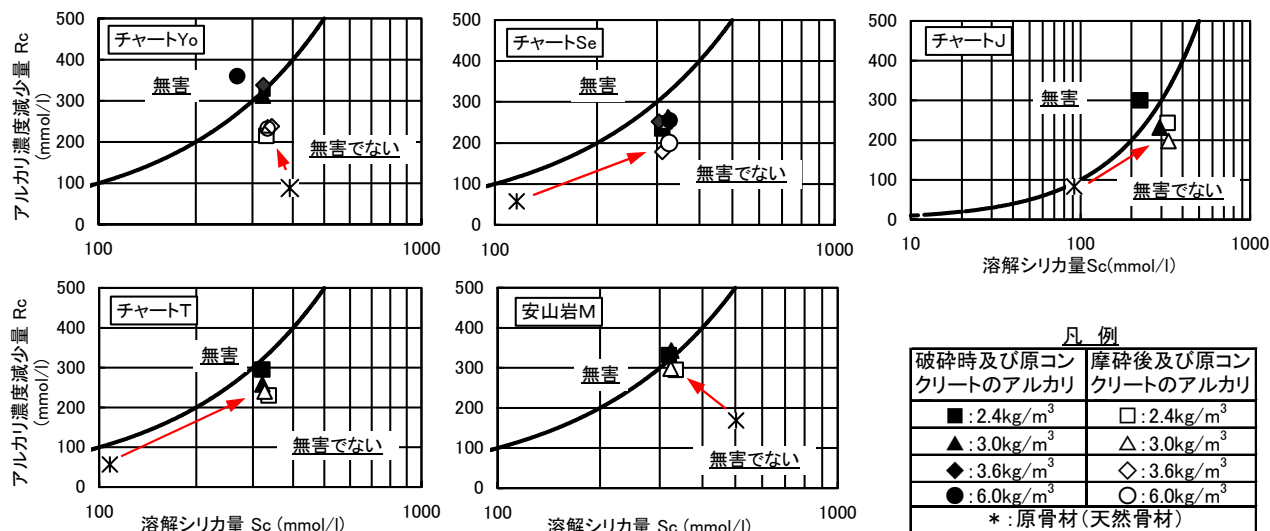


図－２ 摩砕後の再生粗骨材のモルタル付着率と吸水率の関係

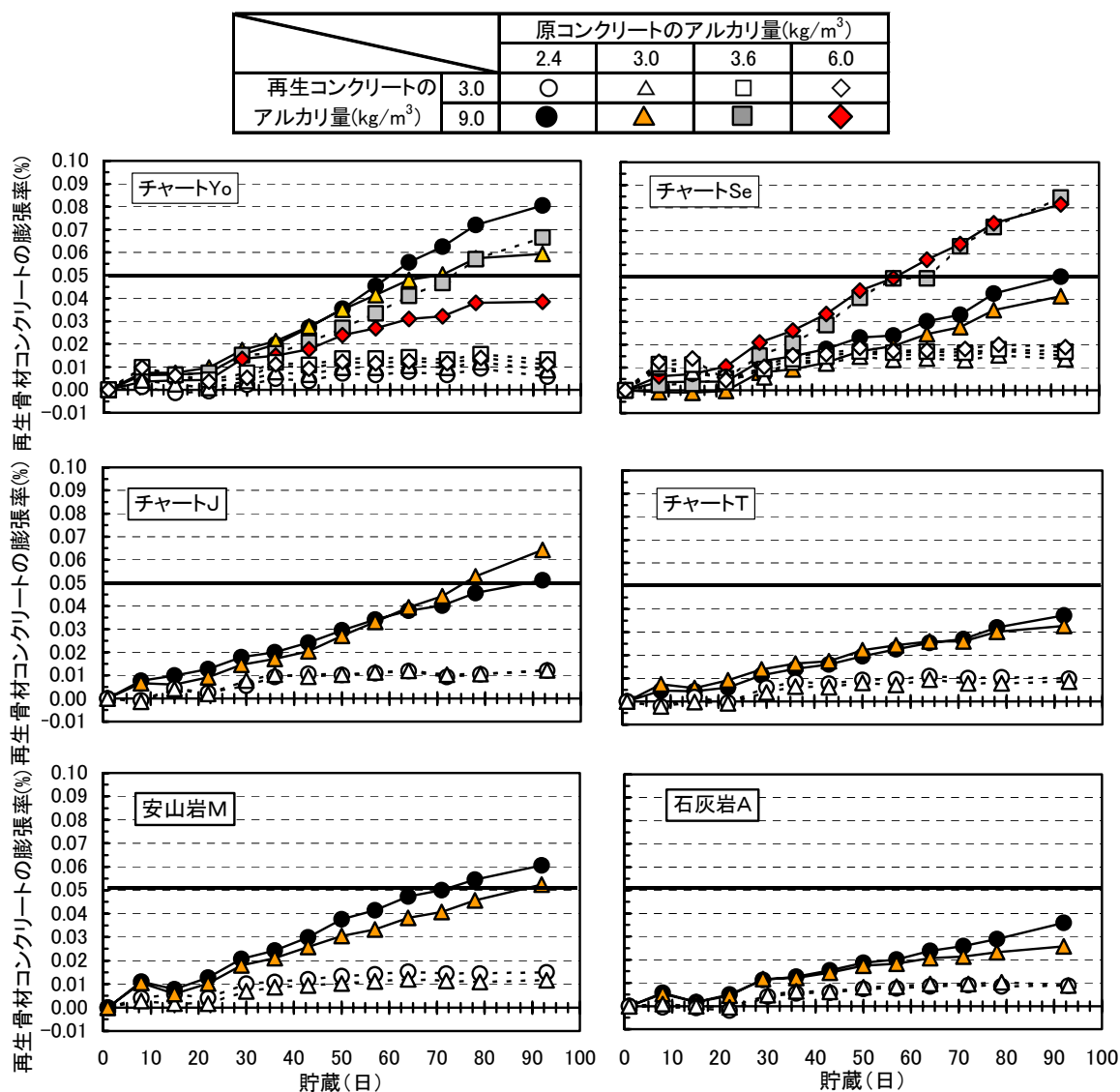
況も同様に、チャート T 以外の供試体で観察された。写真－１にアルカリ量 3.0kg/m^3 の各供試体の偏光顕微鏡写真を示す。

3.2 再生粗骨材の吸水率とモルタル付着状況

図－２にロサンゼルスすりへり試験機で 3 時間摩砕した再生粗骨材のモルタル付着率と吸水率の関係を示す。摩砕後の再生粗骨材の吸水率は $2.02\sim2.86\%$ であり、そのときのモルタルの付着率は $8\sim24\%$ であった。摩砕前の吸水率は $3.71\sim5.47\%$ であったことから、摩砕によってかなりのモルタル分が削除されている。



図－3 再生粗骨材の化学法試験結果



図－4 再生粗骨材を用いたコンクリート供試体の膨張挙動

硝酸溶液浸漬による付着モルタルの除去状況は、チャート Se, J, T は砂利で表面が平滑であることからモルタル分はほとんど剥がれていたが、チャート Yo と安山岩Mは碎石であり、モルタル分若干が残っていた。

3.3 再生粗骨材の化学法試験結果

図－3に再生粗骨材の化学法試験結果を示す。いずれの再生骨材も、破砕時では「無害」から「無害でない」の境界付近に分布している。摩砕後は「無害でない」の領域に移動していることから、モルタルの付着量が試験結果に影響している。

原骨材と摩砕後の再生骨材を比較すると、いずれの再生骨材もアルカリ濃度減少量(Rc)は増加している。しかし、溶解シリカ量(Sc)は、チャート Yo と安山岩Mでは原骨材よりも小さくなっているのに対し、チャート Se, J, Tは大きくなっている。これはチャート Yo や安山岩Mは反応が速く、原コンクリートの ASR によって反応性シリカが消費されたと考えられる。反対に、チャート Se, J, T は反応が遅いため反応性シリカが残っていて、再生骨材製造の 11～14 年後ではさらに反応しやすい状態になっていると考えられる。

3.4 再生粗骨材を用いたコンクリートの膨張挙動

図－4に摩砕後の再生粗骨材を用いたコンクリート供試体の膨張挙動を示す。膨張を早期に確認する目的でアルカリ量を極端に多くした 9kg/m^3 では、貯蔵 91 日であってもチャート Yo, Se, J および安山岩Mは膨張率 0.05%を越えているものもある。その中で、チャート Yo は原コンクリートのアルカリ量が低く膨張率が小さいほど再生骨材では膨張しており、原コンクリートで反応が進んでいれば再生骨材の反応性は低くなることを示している。

また、チャート Se は原コンクリートでの膨張は Yo より小さいが、再生骨材では Yo と同等の膨張を示している。これは、反応が遅いため原コンクリートの貯蔵時にチャートが反応

しやすい状態になっているところに、再生骨材コンクリートとして新たにセメントからアルカリが供給されることによって早い時期から膨張するようになったと考えられる。これらは、前述の溶解シリカ量の関係とも一致しており、原コンクリートの反応履歴と反応性骨材に含まれる反応性鉱物の特徴なども関与していると思われる。なお、アルカリ量 3kg/m^3 はいずれも現時点でほとんど膨張していないが、化学法の結果や長期の膨張率測定では、今後、膨張が増加する可能性がある。

4. まとめ

本研究の ASR 試験結果を以下にまとめる。

- (1) 反応性が高く反応速度の速い骨材では、再生骨材とした時点で溶解シリカがかなり消費されており無害の傾向を示す。
- (2) 反応性は高いが反応速度の遅い骨材を使用し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 反応による膨張が生じる。

謝辞：本研究は平成 13 年度愛知工業大学教育・研究特別助成の助成金で行ったものである。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 建設省技調発第 88 号建設大臣官房技術調査室長通達：コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案), 1994.4
- 2) TR A 0006:再生骨材を用いたコンクリート, 土木学会コンクリート標準仕方書基準編, pp.423-429, 2002
- 3) 岩月栄治, 森野奎二: 長期間貯蔵した ASR コンクリート供試体の微細構造, コンクリート工学年次論文報告集 Vol.23, No.2, pp.37-42, 2001.6
- 4) 森野奎二, 岩月栄治: 再生骨材のコンクリートへの適用のための品質改善, 建設用原材料, Vol.9, No.1, pp.26-33, 1999.10
- 5) 飯島亨, 鶴田孝司, 立松英信: 再生骨材の物理的性質に及ぼす原コンクリートの品質の影響, 資源・素材学会秋季大会企画発表・一般発表(D)資料, pp.99-100, 1997.9
- 6) 岩月栄治, 森野奎二: 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, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.22, No.2, pp.277-282, 2000.6