

アルカリシリカ反応性骨材の岩石・鉱物学的判定方法に関する考察

愛知工業大学 正会員 ○岩月 栄治

1. はじめに

コンクリートの劣化は様々な要因によって起こる。この劣化現象のなかでも、アルカリシリカ反応 (ASR: Alkali Aggregate Reaction) は骨材中に含まれる反応性物質 (不安定なシリカ Si)、セメントや外部から供給されるアルカリ金属イオン (Na⁺, K⁺) および水との化学反応によってケイ酸塩生成物がコンクリート内部で生成され、それが吸水する過程における膨張圧によってコンクリートにひび割れを発生させる現象である。そのため、骨材に反応性物質が含まれてなければ発生しなく、近年はシリカをほとんど含まない石灰岩砕石の使用が増えている。

骨材の ASR 反応性の有無は、劣化したコンクリート構造物によって検討することが望ましい。さらに骨材自体の反応性を評価する JIS 等の試験もこれまでに実施されてきたが、試験に時間が必要とされることや、試験結果と実構造物の劣化との整合性が一定ではないため、現在においても骨材の反応性に関して学会等で議論され、NMR を用いた研究も行われている¹⁾。骨材生産現場では迅速な判定試験方法の確立が望まれている。

本研究は、これまでに検討してきた岩石・鉱物学的な ASR 反応性骨材の特徴と、ASR の反応性物質の膨張の特徴について新たに考察した。

2. 実験方法

2.1 ASR 反応性骨材の岩石・鉱物学的検討

実験に使用した骨材の岩種は堆積岩のチャートとし、産地は愛知県～岐阜県産の山砂利と砕石を使用した。岩石・鉱物学的検討としては X 線回折分析を使用して石英の結晶性指標 (CI: Crystallinity index) と非晶質シリカの含有量を測定した。またモルタル供試体による膨張試験はモルタル全体のアルカリ量を変化させた供試体を作製した。

2.2 モデル材料を用いた ASR 膨張試験

ASR の反応膨張性物質のモデル材料として水ガラスカレットを用い、モルタルの細骨材質量の 0.5% を打ち割りで混入した。このカレットの成分は、SiO₂

と Na₂O のモル比を変化させて合成したものである。

3. 結果及び考察

3.1 チャートに含まれる反応性物質含有量と結晶性指標

図 1 に X 線回折分析で求めたチャートの結晶性指標と非晶質シリカの含有量の関係を示す。結晶性指標が小さいと非晶質シリカの含有量は多くなる関係が得られ、相関係数 r は 0.927 と高い。また図 2 は結晶性指標と化学法 (JIS A1145) の Sc/Rc との関係であり、同様に負の相関関係が認められており、化学法で無害と判定される Sc/Rc が 1 以上となるには結晶性指標は 7.5 以上となり、さらに非晶質シリカの含有量は 13% 以下で無害となることが考えられる。図 1 のチャートの Se や J はサンプリングや化学法の試験を数回実施すると「無害」と「無害でない」の両方の結果が得られることがあり、ASR 反応を起こす境界にある骨材であることが裏付けられる。

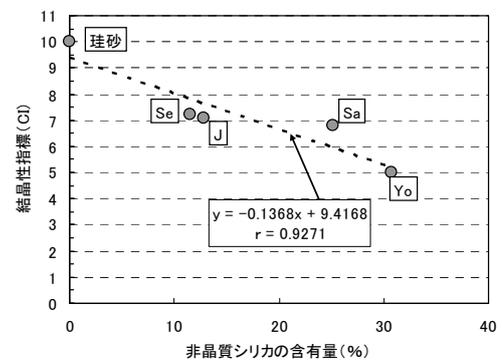


図 1 チャートの結晶性指標と非晶質シリカ含有量の関係

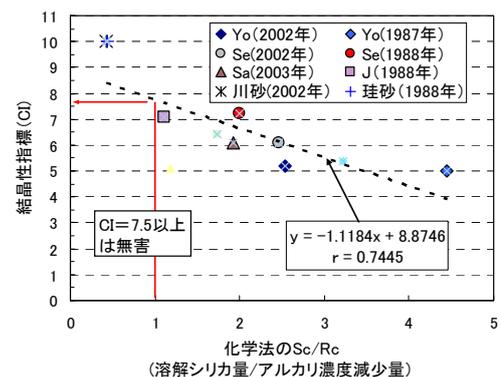


図 2 結晶性指標と化学法の Sc/Rc との関係

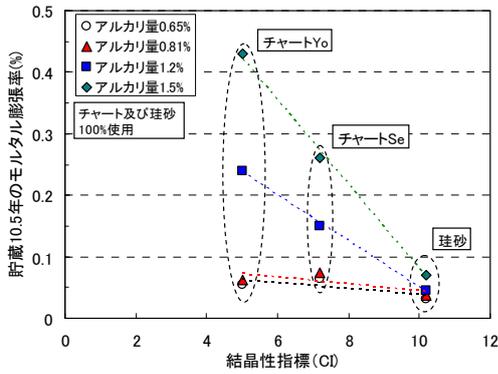


図3 モルタルの膨張率と結晶性指標の関係

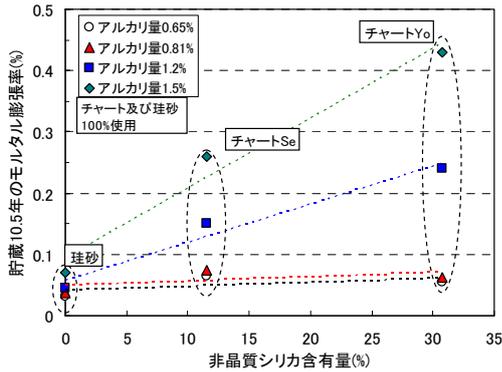


図4 モルタルの膨張率と非晶質シリカの含有量との関係

図3にモルタルの膨張率と結晶性指標の関係を、図4にモルタルの膨張率と非晶質シリカの含有量との関係を示す。結晶性指標が大きいほどモルタルは膨張せず、非晶質シリカの含有量が多いほどモルタルの膨張率が大きい。これらのことからチャート骨材の結晶性指標や非晶質シリカの含有量といった岩石・鉱物学的な数値を得ることによってASRの反応の程度が把握できることがわかる。

3.2 ASR 反応生成物の化学組成による ASR の特徴

SiO₂とNa₂Oのモル比を変化させた水ガラスカレットを混入したモルタルの膨張挙動を図5に示す。この中でB、D、Eの供試体内部の反応生成物のEDS分析の結果を表1示す。EDS分析から得られた反応生成物のSiO₂とNa₂Oのモル比は、B:1.0、D:3.1、E:3.5であり、この値とモルタルの膨張率の関係は図6のようで、生成物のSiO₂とNa₂Oのモル比が3.1で大きな膨張を示している。ASRの膨張は生成物の量やそれ自体の粘性・剛性に支配され、これらがある条件のときに最大の膨張を示すといわれており既往の研究ではシリカとアルカリのモル比が5程度であり、シリカとアルカリのモル比が3.2~1.5程度の範囲では大きいほど膨張が大きいという成果がある。

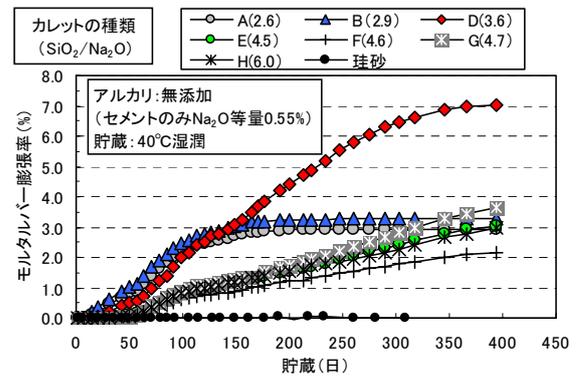


図5 水ガラスカレットを混入したモルタルの膨張挙動

表1 モルタル供試体内部の反応生成物のEDS分析結果

水ガラスカレット	B (▲)	D (◆)	E (●)	
SiO ₂ /Na ₂ Oの比率	2.9	3.6	4.5	
SEMのEDS点分析結果	SiO ₂ (%)	40.2	64.4	75.5
	Na ₂ O (%)	38.6	10.4	21.5
	K ₂ O (%)	2.4	15.3	0.5
	Al ₂ O ₃ (%)	10.5	0.2	0.8
CaO (%)	8.5	9.8	1.8	
EDS分析値からのSiO ₂ /Na ₂ O	1.0	3.1	3.5	

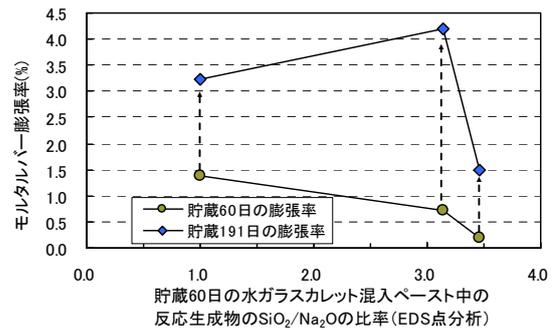


図6 モルタルの膨張率と反応生成物のSiO₂とNa₂Oのモル比の関係

これらから反応に関わる骨材中のシリカを把握することでコンクリートの反応が推定できそうである。

4. まとめ

本考察から、①骨材の結晶性指標や反応性物質の定量によってASRの推定ができそうであり、②反応生成物の化学成分と骨材に含まれる反応に関わる成分の関係を明確にすることによってコンクリートにおける反応が推定できそうである。今後、それら相互の関係を整理して岩石・鉱物学的な手法による骨材の迅速なASR判定方法の確立を検討したい。

謝辞: 本研究の一部は平成24年度文部科学省私立大学等研究設備整備費等補助金による。また平成26年度愛知工業大学 教育・研究特別助成による。

参考文献

1) 名和豊春, 栗村友貴, 岩月栄治, 「NMRを用いた骨材のアルカリシリカ反応性に関する研究」, 資源・素材学会, 企画発表・一般発表講演資料 (A2 建設用原材料の評価・利用技術およびその周辺技術), pp. 41-42, 2013. 9