

異なる粒径における反応性骨材の化学反応特性に関する基礎的研究

関西大学 学生会員 ○岸本 拓也

関西大学 正会員 上田 尚史, 鶴田 浩章

1. はじめに

コンクリートの劣化現象の1つであるアルカリシリカ反応（以下、ASR）は、反応性骨材とアルカリの化学反応と、それにより生成されるASRゲルの吸水膨張が要因となって生じ、コンクリートに多数のひび割れを起こすことで、構造物の使用性や安全性の低下に影響を及ぼす。したがって、ASRを抑制するために様々な方策がとられているが、必ずしも効果的な方法は確立されていないのが現状である。従来の実験的研究では、骨材の潜在的な膨張特性に対する検討は行われているものの、コンクリート中における骨材の反応過程や、それがコンクリートの膨張に及ぼす影響については検討されていない。近年では、数値解析を用いることでASR膨張の予測が試みられており、骨材の化学反応特性を明らかにすることができれば、数値解析的にASRをシミュレートできる可能性がある。

そこで本研究では、粒径の異なる反応性骨材に対して、反応時間ごとのアルカリ濃度減少量 R_c や溶解シリカ量 S_c を実験により明らかにすることで、粒径の違いが反応性骨材の化学反応特性に及ぼす影響について検討した。

2. 実験概要

本研究では、反応性骨材とアルカリの化学反応特性を把握するために、粒径の異なる骨材の反応性について実験的に検討した。骨材の反応性の評価は、JIS A 1145 化学法を参考にして行い、反応性骨材に1.0mol/L 水酸化ナトリウム標準液を25mL 添加した密閉容器を80°Cの恒温水槽に静置することで化学反応を促進させ、アルカリ濃度減少量 R_c と溶解シリカ量 S_c の時間変化を測定した。なお、溶解シリカ量 S_c の測定には、吸光光度法を用いた。

実験に使用した反応性骨材は、北海道産の安山岩であり、化学法で「無害でない」（ $S_c=302\text{mmol/L}$, $R_c=186\text{mmol/L}$ ）と判定されたものである。実験には、粒径0.15~0.30mm、2.5~5.0mm および10~20mmの骨材を使用した。粒径0.15~0.30mmの骨材では、 $25.00 \pm 0.05\text{g}$ を試料とし、粒径2.5~5.0mm および10~20mmの骨材では1粒を試料とした。平均質量はそれぞれ0.10g および5.50gであった。なお、粒径2.5~5.0mm、10~20mmの骨材に関しては、コンクリート打設時の状態を考慮し表乾状態とした。

それぞれの試料に対して、反応時間10、30分、1、3、6、12、24、48時間におけるアルカリ濃度減少量 R_c と溶解シリカ量 S_c を測定した。このとき、粒径0.15~0.30mmの骨材に対しては、それぞれの時間ごとに試料を用意し、粒径2.5~5.0mm、10~20mmの骨材に対しては、全ての時間に対して同一の骨材を用いることとし、各時間において新たな1.0mol/L 水酸化ナトリウム標準液を25mL と反応させた。

3. 実験結果および考察

3.1 アルカリ濃度減少量 R_c と溶解シリカ量 S_c の時間変化

図-1に、それぞれの粒径におけるアルカリ濃度減少量 R_c と反応時間 t との関係を示す。図よりいずれの粒径においても、反応時間初期に急激なアルカリ濃度の減少が見られる。一方、反応時間12時間以降には、アルカリ濃度減少量の変化は小さくなっていることが確認できる。既往の研究¹⁾において、反応初期にアルカリが急激に消費されることが指摘されており、本実験でも同様な結果が得られた。また、反応時間48時間におけるアルカリ濃度減少量は、粒径の大きさに係らず150~250mmol/L程度であった。アルカリの消費が骨材とアルカリの化学反応により生じるとすると、アルカリ濃度減少量は、試料の総表面積に依存すると考えられる。本実験では、粒径0.15~0.30mmと10~20mmでは総表面積は約40倍程度と異なることから、上記の考えには反した結果となっている。このような結果となった理由は必ずしも明らかではないため、今後さらに検討が必要であると考えられる。

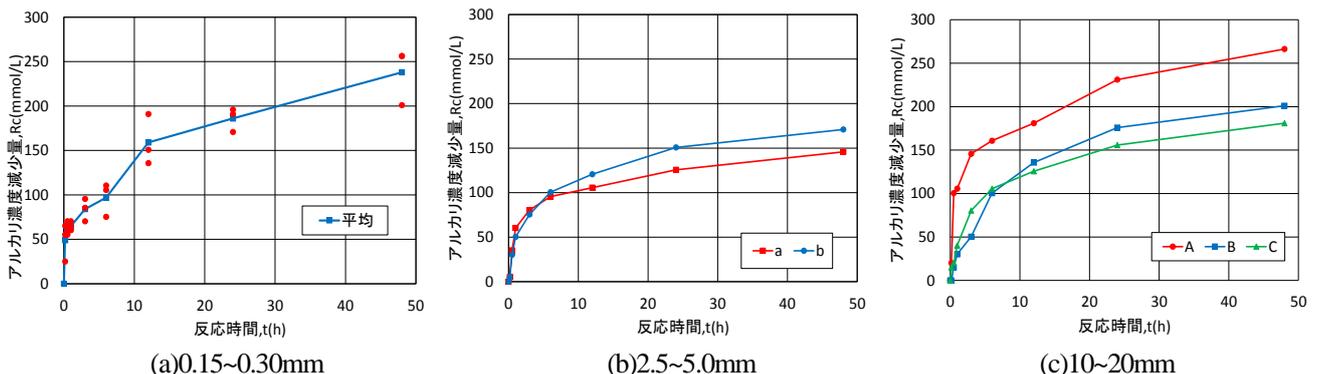


図-1 アルカリ濃度減少量 R_c と反応時間 t の関係

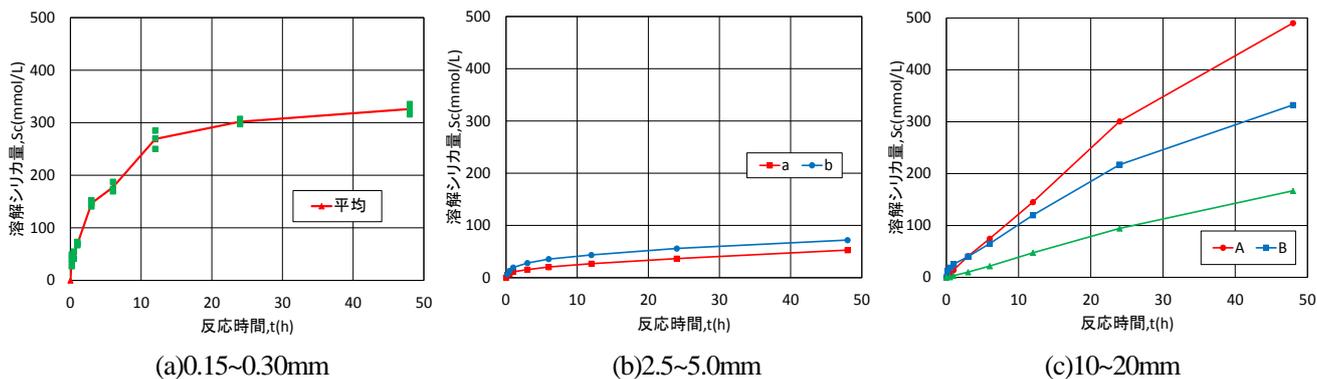


図-2 溶解シリカ量 S_c と反応時間 t の関係

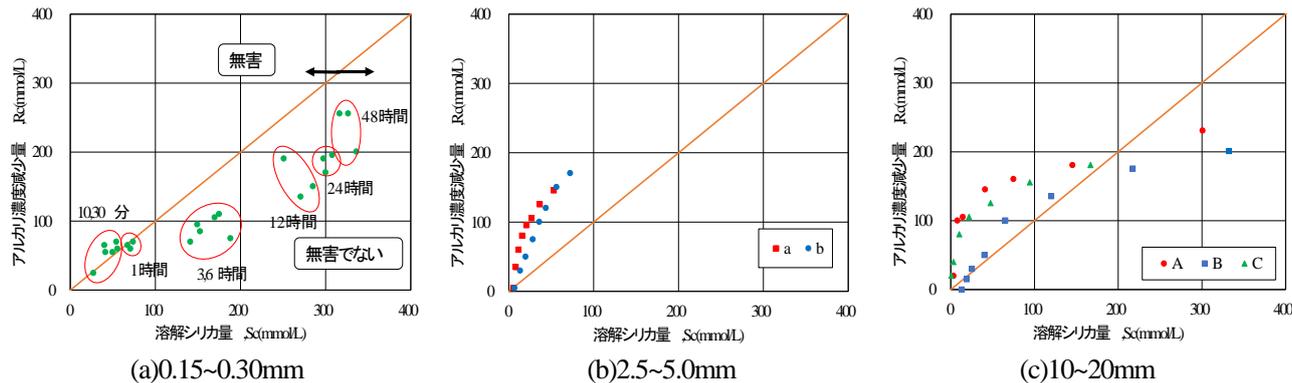


図-3 アルカリ濃度減少量 R_c と溶解シリカ量 S_c の関係

図-2に、それぞれの粒径における溶解シリカ量 S_c と反応時間 t との関係を示す。図より粒径0.15~0.30mmの骨材では、反応時間12時間までの間にシリカの溶解は大きく進み、12時間以降では溶解シリカ量の変化は小さいことがわかる。一方、粒径2.5~5.0mmおよび10~20mmの骨材では、溶解シリカ量の大きさに違いはあるものの反応時間48時間においてもシリカが溶出し続ける傾向が見られた。このことから、粒径0.15~0.30mmの骨材においては、反応時間12時間程度でシリカの溶出が限界に達したものと考えられる。また、粒径2.5~5.0mmおよび10~20mmの骨材においては、骨材内部からのシリカの溶出が継続的に生じているものと推察される。

3.2 アルカリ濃度減少量 R_c と溶解シリカ量 S_c の時間変化

図-3にアルカリ濃度減少量 R_c と溶解シリカ量 S_c の関係を示す。図中には、 $R_c=S_c$ の直線も併せて示す。ここで、化学法においては $R_c < S_c$ で無害でないと判断される。図より、粒径0.15~0.30mmの骨材では、反応時間1時間以降において、 $R_c < S_c$ となっていることがわかる。また、 R_c と S_c は概ね線形関係にあると判断できる。一方、粒径2.5~5.0mmおよび10~20mmの骨材では、反応初期アルカリ消費に対してシリカの溶出は生じないことが確認できる。また、アルカリ濃度減少量が100mmol/Lあたりを境に溶解シリカ量が増加しており、既往の研究²⁾と同様の傾向が得られた。ただし、既往の研究では粒径10~20mmにおいても R_c と S_c は線形関係であるとされているが、本実験では上に凸の曲線関係となった。以上のことから、アルカリ濃度減少量 R_c と溶解シリカ量 S_c の関係は骨材の粒径により異なる可能性があることが示された。今後、より長期間反応が継続した際の状態等について、詳細に検討する必要があると考えられる。

4. まとめ

本研究の結果、アルカリ濃度減少量は、粒径の違いによらず反応時間初期に急激に増加し、反応時間が経過するとその変化は小さくなる傾向が得られた。また、アルカリ濃度減少量は粒径に関わらず同程度の値であった。一方、反応時間に対する溶解シリカ量やその絶対量は、粒径の違いにより異なることが確認された。ただしアルカリ濃度減少量 R_c と溶解シリカ量 S_c の関係については、粒径の違いによらず反応初期にアルカリが減少し、その後シリカが溶出する傾向が見られた。

今後は、反応温度の違いや長期の反応性についてより詳細な検討を行っていく予定である。

参考文献

- 古沢靖彦, 魚本健人; アルカリ・シリカ反応の進行を定量的に予測する新しい判定システム, コンクリート工学年次論文集, Vol.3, No.2, pp.15-25, 1992
- 村中誠, 田中泰司; 反応機構に立脚した ASR 膨張挙動に関する物理-化学モデルの構築, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.69, No.1, pp.1-15, 2013