

風化した安山岩骨材のアルカリシリカ反応性とその判定に関する考察

(独)港湾空港技術研究所 正会員 ○川端 雄一郎 太平洋セメント(株) 正会員 山田 一夫
九州大学大学院 フェロー 松下 博通 九州大学大学院 正会員 濱田 秀則
九州大学大学院 学生員 池田 隆徳

1. 目的

砕石工場では風化した骨材が不定期に混入する場合があります、ペシマム現象によるアルカリシリカ反応(ASR)等が懸念され¹⁾、その検出法等に関する検討が必要である。本研究では、風化によるアルカリシリカ反応性の変化、特にペシマム現象に着目し、その機構と検出法について考察した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

表-1 に本研究で使用した、同一砕石鉱山から採取した 6 種類の安山岩骨材(An)の鉱物組み合わせを示す。全てのサンプルがクリストバライト(cr)およびトリディマイト(tr)を含んでおり、ASR を生じる可能性がある。風化は An5, An2, An1 の順に進行しており、これらには粘土鉱物が認められた。この粘土鉱物はハロイサイト(7Å)(hal)と同定された。セメントには JIS A 1146 に規定される普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³, 比表面積 3280cm²/g)を用いた。モルタルの配合は水セメント比 50%, 砂セメント比 2.25 とし、40×40×160mm の角柱供試体を 3 体作製した。なお、細骨材粒度は試料量の都合上、JIS A 1146 の規定粒度のうち、0.15~0.30mm を除いたものを使用した。

2.2 試験方法

安山岩の反応性評価として、JIS A 1145 に準拠して反応溶液の濃度を変化させた化学法を行った。膨張量の評価には、JIS A 1146 に準拠した促進試験(JIS 法)を行った。また、材齢 91 日まで湿布養生したφ50×100mm の円柱供試体から空隙水の圧搾抽出・分析を行った。

3. 実験結果および考察

図-1 に化学法の結果を示す。なお、図中には ASTM C 289 の「潜在的有害」領域の区分線も示している。An5 を除く全ての安山岩骨材は「無害でない」もしくは「潜在的有害」と判定された。アルカリ濃度減少量(Rc)に着目すると、An5, An2, An1 の順に大きく、その他のサンプルはほぼ同じ領域に位置した。この傾向は安山岩骨材の風化度の傾向と一致した。風化度が大きくなると、風化の過程で生成した hal の陽イオン交換反応によって Rc が大きくなったと考えられる。また、反応溶液の pH の低下によって溶解シリカ量(Sc)が小さくなる傾向を示した。すなわち、化学法では風化の進行によって Rc が大きく、Sc が小さい領域にシフトする。

図-2 に JIS 法におけるモルタルの膨張率の経時変化を示す。化学法においては An5 を除いて全ての安山岩骨材が「無害でない」もしくは「潜在的有害」と判定されたのに対して、JIS 法では風化の影響を受けた An1, An2, An5 使用モルタルが膨張しなかった。風化した安山岩骨材が膨張を示さなかった原因として、ペシマムの影響が考えられた。

キーワード 安山岩, アルカリシリカ反応性, 風化, ペシマム, 促進試験, 潜在的有害

連絡先 〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1 (独)港湾空港技術研究所 地盤・構造部 TEL:046-844-5059

表-1 安山岩の鉱物組合せ

sample	qz	cr	tr	pl	pyx	cl	gl
An1	◎	△	△	◎	△	+	+
An2	○	○	△	◎	△	+	+
An3	△	○	△	◎	△	-	+
An4	○	+	△	◎	△	-	+
An5	+	○	◎	◎	△	○	+
An6	+	-	△	◎	△	-	+

含有量: ◎ > ○ > △ > + > -

qz:石英, cr:クリストバライト, tr:トリディマイト, pl:斜長石, pyx:輝石, cl:粘土鉱物, gl:火山ガラス

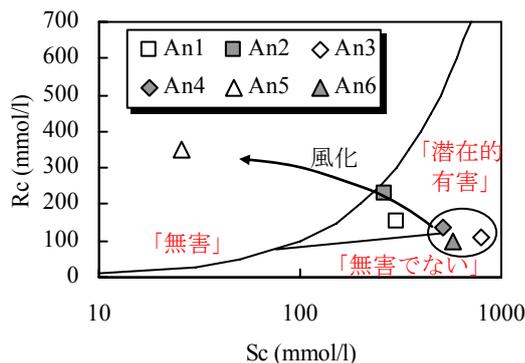


図-1 化学法の結果

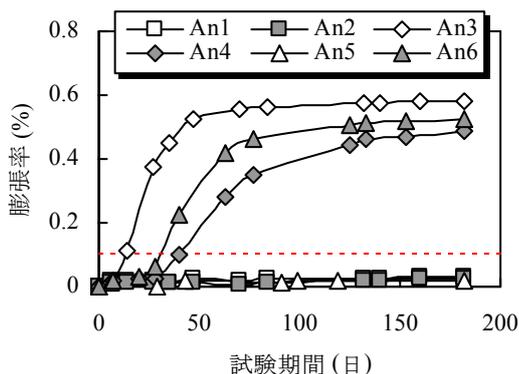


図-2 JIS 法における膨張挙動

Sc, Rc の大きな骨材を使用した場合、ペシマムによって反応性骨材全量を使用したモルタルでは膨張挙動を示さない場合がある²⁾。そこで、ペシマムを確認するため、非反応性骨材の石灰石と混合し、促進膨張試験を行った。図-3 に An2 混合率を変化させたモルタルの膨張挙動を示す。混合率 20%では、材齢 80 日程度から膨張を開始し、膨張率が基準値以上となり、現在も膨張は進行中である。以上から、現行の JIS 法はペシマムを生じる骨材を適切に判定できない恐れがあり、今後検討すべき課題といえる。なお、ペシマムを生じる骨材について 50℃の飽和 NaCl 溶液に浸漬する促進試験(デンマーク法), ASTM C 1260 に準拠した促進試験(ASTM 法)で検出できる¹⁾。

ここで、化学法の結果と JIS 法の膨張率の関係について整理する。図-4 に Sc/Rc と膨張率の関係を示す。あわせて過去のデータ^{2),3)}も示した。図より、Sc/Rc と膨張率には相関が認められ、Sc, Rc ともに大きな骨材はペシマムを生じ易いという既往の研究²⁾と一致した。

ペシマム現象についてより現象を理解するためには、より一般性のある空隙水組成とシリカの溶解挙動の関係を解明する必要がある。図-5 に材齢 91 日における各骨材を使用したモルタルの空隙水の OH⁻濃度を示す。既往の研究³⁾と比較して OH⁻濃度が低いのは、湿布へのアルカリ溶脱と推察されるが、それぞれの要因の比較は可能である。Rc の大きな骨材を使用すると、空隙水のアルカリが多く固定され、空隙水の OH⁻濃度が低下する。この影響により骨材の反応率が低下し、JIS 法では膨張には至らない。しかしながら、反応性骨材量が減少するに従い骨材に初期に固定されるアルカリは少なくなり、骨材の反応率が高まる。図-6 に化学法における反応溶液の OH⁻濃度と Sc の関係を示す。Sc は OH⁻濃度に対する依存性が高く、わずかな OH⁻濃度の差で Sc は大きく変化することが分かる。このことから、アルカリ総量規制により空隙水をある程度低い OH⁻濃度としても適量の反応性シリカ鉱物が存在したペシマム条件では、反応性シリカ鉱物が徐々に溶解し、長期的な膨張を示す可能性があると考えられる。

また、ペシマムを生じる骨材の検出法について考察すると、JIS 法は初期添加するアルカリのみで ASR を生じさせるため、骨材の判定に対しペシマムの影響を顕著に受け、判定を誤る可能性がある。一方、デンマーク法や ASTM 法は外部からのアルカリ供給によって空隙水のアルカリ濃度をある程度補償できることから、ペシマムを生じる骨材に対しても有効な試験法であると考えられる。

4. 結論

- 1) 化学法において、安山岩は風化の進行に伴って Rc が大きく、Sc が小さくなる。また、JIS 法において Sc, Rc ともに大きい安山岩はペシマム現象を示し、現行規格では適切に判定できなかった。
- 2) ペシマム現象についてモルタルの空隙水の OH⁻濃度とシリカの溶解挙動の関係から考察し、ペシマムを生じる安山岩骨材に対する各種促進試験の適用性について考察した。

【参考文献】1)川端雄一郎ほか：風化度の異なる安山岩骨材の膨張挙動の評価，コンクリート工学年次論文集，2008(投稿中)，2)岩月栄治ほか：長期間貯蔵した ASR モルタルパーの膨張に及ぼす反応性鉱物の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.20, pp.943-948, 1998, 3)川端雄一郎ほか：岩石学的分析に基づいた安山岩の ASR 反応性評価および膨張挙動解析，土木学会論文集 E, Vol.63, No.4, pp.689-703, 2007

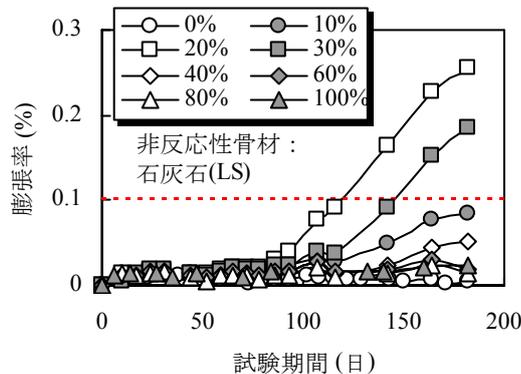


図-3 An2 混合変化モルタルの膨張挙動

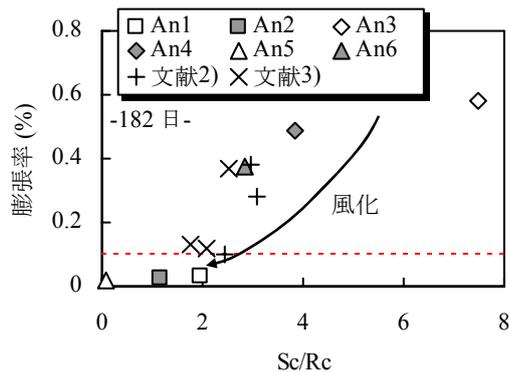


図-4 Sc/Rc と膨張率の関係

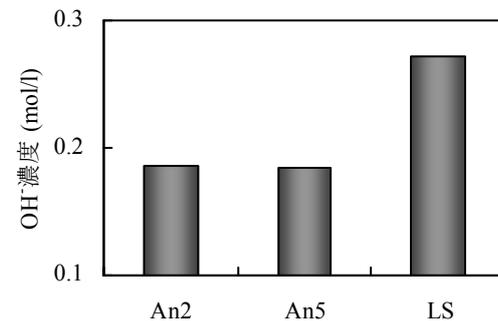


図-5 モルタルの空隙水の OH⁻濃度

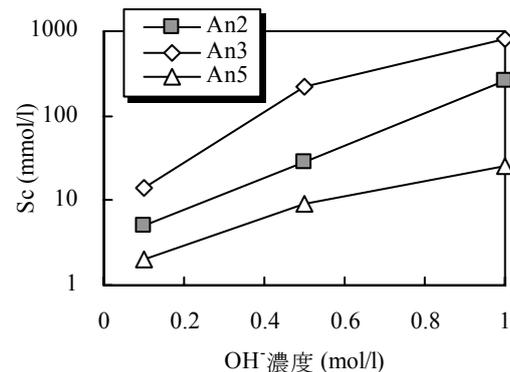


図-6 反応溶液の OH⁻濃度と Sc の関係