

堆積岩系骨材のアルカリシリカ反応性の評価

金沢大学大学院 学生員 尾花 祥隆

金沢大学 正会員 山戸 博晃

金沢大学大学院 非会員 Andrade Osvaldo Camacho

金沢大学大学院 正会員 鳥居 和之

1. はじめに

近年、良質な河川産骨材の枯渇化により、地域で産出される火成岩や堆積岩、変成岩を砕石として使用する機会が増加している。とくに、堆積岩の切羽では、砂岩や泥岩、チャートなどの岩種がさまざまに混在しており、このため堆積岩系の骨材の岩石名が必ずしも正確に表示されていないことがあると指摘されている。一方、堆積岩系の骨材によるアルカリシリカ反応 (ASR) としてはチャートや珪質粘板岩による ASR の事例が東海地方などで報告されている¹⁾。堆積岩系の骨材は、反応性鉱物が微晶質石英であり、遅延型膨張を示す骨材として火山岩系の骨材 (安山岩、流紋岩など) とは区別されている。このため、それらの骨材のアルカリシリカ反応性の判定には、骨材の岩石・鉱物学的試験と組み合わせ、適切な ASR 試験法を選定することも重要である^{2), 3)}。

本研究は、関西地方で産出される、堆積岩系の骨材のアルカリシリカ反応性を評価するために、現行の化学法 (JIS A 1145) と 3 種類のモルタルバー法 (JIS A 1146, ASTM C 1260 およびデンマーク法) を実施し、得られた試験結果の整合性について検討したものである。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究では、関西地方にある、同一の岩石採取地より採取した堆積岩系の骨材を使用した。使用した骨材は、砂岩 (骨材 A) とその風化・変質したもの (骨材 B)、粘板岩 (骨材 C) とその風化・変質したもの (骨材 D) の 4 種類である。また、使用セメントは普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm^3 , 等価アルカリ量: 0.68%) である。

2.2 試験方法

4 種類の骨材の粉末試料を使用して、蛍光 X 線分析により化学成分を測定するとともに、X 線回折分析により含有する鉱物を同定した。

また、骨材のアルカリシリカ反応性は、現行の化学法 (JIS A1145-2001) およびモルタルバー法 (JIS A1146-2001) とともに、外部より常にアルカリが供給される、より厳しい養生条件である促進モルタルバー法 (ASTM C1260 (温度 80°C の $1\text{N} \cdot \text{NaOH}$ 溶液への浸せき) およびデンマーク法 (温度 50°C の飽和 NaCl 溶液浸せき)) を実施した。

3. 実験結果および考察

3.1 骨材の岩石・鉱物学的特徴

粘板岩系の骨材 (C, D) の X 線回折分析の結果を図-1 に示す。全ての骨材 (A, B, C, D) で、石英、長石、雲母および緑泥石が同定され、骨材 D のみさらに石灰石 (Calcite) が同定された。これらの骨材の反応性鉱物としては、微晶質石英が存在する可能性が高いが、X 線回折分析では明確に同定できなかった。このため、薄片の偏光顕微鏡観察を今後実施する予定である。4 種類の骨材の化学成分を表-1 に示す。堆積岩の主要な化学成分はシリカ分およびアルミナ分であり、砂岩 (A, B) では風化の有無による化学成分の相違はみられなかった。それに対して、粘板岩 (C, D) ではシリカ分およびカルシウム分で風化の有無による相違が明確にみられた。

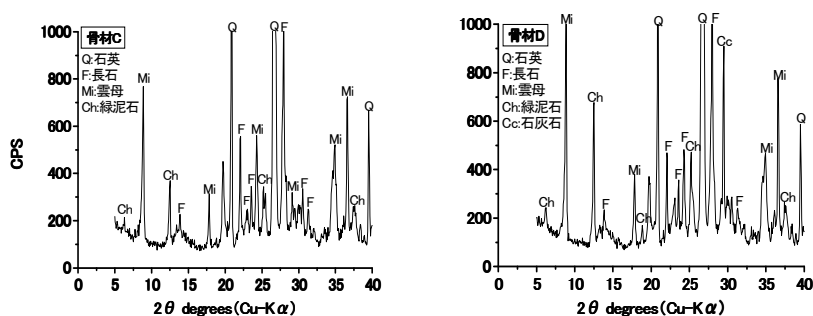


図-1 骨材 (C, D) の X 線回折分析の結果

表-1 4 種類の骨材の化学成分 (%)

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Others	Total
砂岩 A	73.39	17.05	3.37	2.04	1.94	0.96	0.80	0.45	100
砂岩 B	76.63	16.69	0.00	2.17	2.58	0.47	0.91	0.55	100
粘板岩 C	70.12	19.52	0.00	3.81	3.63	0.78	1.30	0.81	100
粘板岩 D	65.18	20.59	1.16	4.20	3.98	2.33	1.56	1.00	100

3.2 骨材のアルカリシリカ反応性の評価

(1) 化学法 (JIS A1145) による判定

化学法 (JIS A1145) による判定結果を図-2 に示す。堆積岩系の骨材は、 Sc/Rc の値が1を超えており、「無害でない」と判定された。粘土鉱物は緑泥石のみが同定されており、 Rc の値が全体に小さいのが特徴であった。また、粘板岩 (C, D) は砂岩と比較して風化の有無により Sc の値が大きく相違した。この結果は蛍光 X 線回折による化学成分の値とも一致している。

(2) 3 種類のモルタルバー法による判定

モルタルバー法 (JIS A1146) の膨張挙動を図-3 に示す。各骨材間で膨張挙動は大きく相違するが、いずれの骨材も材齢とともに膨張率が増加しており、膨張が収束する傾向はみられなかった。とくに、化学法にて最大の溶解シリカ量を示した骨材Cは、28日材齢以後に膨張を開始し、3ヶ月で0.1%以上の膨張率となり、「無害でない」と判定された。このような膨張挙動は遅延型膨張を示す骨材に特有のものである。

モルタルバー法 (ASTM C1260) の膨張挙動を図-4 に示す。ASTM C1260 は元来遅延型膨張を示す骨材の判定に開発された試験法である。すべての骨材において、材齢14日で膨張率が0.2%を超えており、「有害」と判定された。本試験法は、外部から常に高温のアルカリ (NaOH) が供給される養生条件のために、材齢とともに膨張率が直線的に増大した。しかし、1N・NaOH 溶液による厳しい条件下での試験法であり、JIS A1146 で「無害」と判定された骨材でも含有鉱物の一部が反応することにより、「有害」と判定された。堆積岩系骨材では、微晶質石英以外のケイ酸塩化合物や雲母類などが反応している可能性があった。

モルタルバー法 (デンマーク法) の膨張挙動を図-5 に示す。すべての骨材において材齢3ヶ月の膨張率が0.1%以下となり、「無害」と判定された。デンマーク法は元来フリント (クリストバル石) を判定するために開発された試験法である。このため、クリストバライトや火山ガラスを反応性鉱物とする、火山岩系の骨材の判定に有効であることが報告されている^{2), 3)}。本研究で用いた堆積岩系の骨材はクリストバライトや火山ガラスを含有していないために、デンマーク法ではモルタルの膨張が発生しなかったものと考えられる。

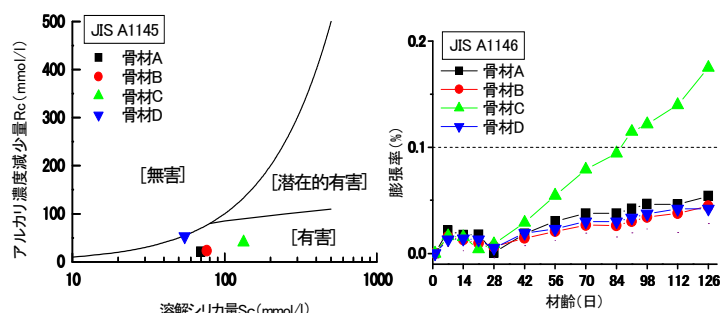


図-2 化学法による判定結果

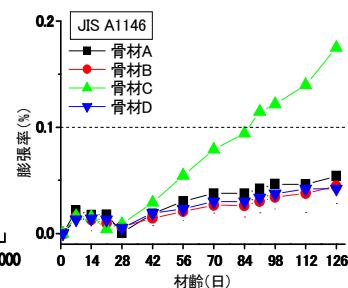


図-3 JIS A1146 による判定結果

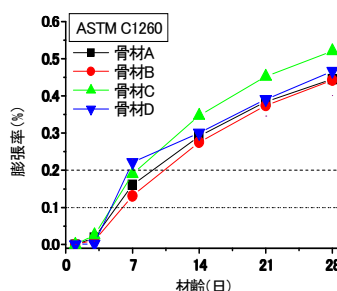


図-4 ASTM C1260 による判定結果

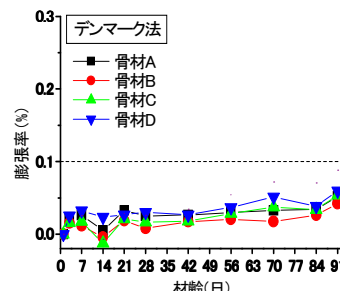


図-5 デンマーク法による判定結果

4. 結論

本研究で得られた結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 化学法 (JIS A1145) では、関西地方の堆積岩系の、4種類の骨材は風化・変質の有無に係わらずすべて「無害でない」と判定された。
- (2) 堆積岩系の骨材のモルタルバー法の判定結果は、3種類の促進養生試験法により相違した。すなわち、ASTM C1260 では4種類すべてが「有害」、JIS A1146 では骨材Cのみが「無害でない」、デンマーク法ではすべて「無害」となった。
- (3) 骨材のアルカリシリカ反応性試験の判定結果の解釈には、骨材の反応性鉱物が何であるかの情報が必要であり、岩石・鉱物学的試験を併用して実施することが望ましい。

参考文献

- 1) 森野奎二, 柴田国久, 岩月栄治: チャート質岩のアルカリ骨材反応性, 粘土科学 Vol.27, No.4, pp.199-210, 1987.
- 2) 鳥居和之, 野村昌弘, 本田貴子: 北陸地方の反応性骨材の岩石学的特徴と骨材のアルカリシリカ反応性試験の適合性, 土木学会論文集, No.767, pp.185-197, 2004.
- 3) 川端雄一郎, 山田一夫, 松下博通, 濱田秀則: 安山岩骨材の岩石学的評価と ASR 膨張挙動の解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.1, pp.1221-1226, 2007.