

北陸地方の川砂の岩石学的特徴とアルカリシリカ反応性の評価

金沢大学大学院 学生員 ○本田貴子 金沢大学工学部 学生員 谷本 祥
 金沢大学工学部 正会員 山戸博晃 金沢大学工学部 正会員 鳥居和之

1. はじめに

わが国では、骨材のアルカリシリカ反応性の試験法として化学法 (JIS A 1145-2001) およびモルタルバー法 (JIS A 1146-2001) が規定されている。しかし、多種多様な岩種の粒子が混在する川砂・川砂利では両試験法の一律の規準により適切に判定できない場合があることが指摘されている。本研究は、北陸地方(新潟県、富山県、石川県、福井県)を代表する河川から採取した6種類の川砂に対して、岩石・鉱物学的な検討を行うとともに、4種類のアルカリシリカ反応性試験 (JIS A 1145-2001、JIS A 1146-2001、ASTM C 1260 (80℃, 1N-NaOH 溶液浸せき)、デンマーク法 (50℃, 飽和 NaCl 溶液浸せき)) を実施し、川砂の反応性鉱物の特徴とアルカリシリカ反応性の判定結果の適合性について2、3の考察を行ったものである。

2. 岩石・鉱物学的特徴

川砂の岩石・鉱物的特徴を明らかにするために、X線回折分析、示差熱分析およびSEM-EDXを実施した。川砂には、堆積岩(砂岩、チャート)、深成岩(花崗岩、閃緑岩)、火山岩(安山岩、流紋岩、溶結凝灰岩)が混在しており、それらの混合比率は河川水系毎に大きく相違した。実構造物にてASR損傷が確認されている富山県および新潟県の川砂には、いずれも安山岩粒子が含まれており、川砂中の安山岩粒子の混入率とその反応性が骨材のアルカリシリカ反応性に関与して

表-1 川砂中の安山岩粒子の化学組成 (%)

	川砂A 黒色	川砂B 黒色	川砂B 茶色	川砂D 黒色	川砂D 茶色	川砂F 黒色	川砂F 茶色
SiO ₂	70.4	39.9	73.4	44.0	69.3	86.9	57.8
Al ₂ O ₃	13.6	25.7	12.4	24.7	14.1	5.2	20.5
Fe ₂ O ₃	2.3	0.4	0.0	0.1	0.0	0.2	0.1
SO ₃	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0
MgO	3.0	10.5	3.8	8.8	4.3	1.6	3.1
MnO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CaO	0.0	6.7	0.0	4.1	0.0	0.1	0.5
Na ₂ O	6.5	13.2	6.1	15.0	7.4	3.1	14.5
K ₂ O	1.7	0.9	0.1	0.6	0.1	0.0	1.5
total	97.5	97.3	95.8	97.2	95.3	97.3	97.9

いと推察された。一方、安山岩粒子の主要な反応性鉱物はクリストバライトと火山ガラスであり、岩石の風化過程で生成したモンモリロナイトや緑泥岩などの粘土鉱物を含有するものも存在した。川砂中の安山岩粒子(黒色又は茶色)の化学組成を表-1に示す。安山岩粒子の主要な化学成分は、シリカ分およびアルミナ分であり、それらの合計は65~90%の範囲で変動した。とくに、川砂B(黒色)、川砂D(黒色)、川砂F(茶色)はシリカ分が少なくアルミナ分が多い化学組成であり、アルカリ分であるナトリウム(Na₂O)を13~15%と多く含有しているのが特徴であった。アルカリ分は火山ガラスや長石に由来するものであり、ASRの進行に及ぼすこれらの鉱物からのアルカリ溶出の影響についての検討が必要であると考えられた。

3. モルタルバーの促進膨張試験

化学法の試験結果を図-1に示す。化学法の試験結果より川砂Eおよび川砂Fが「無害」、川砂A、川砂B、川砂C、および川砂Dが「無害でない」と判定された。しかし、川砂の場合、判定図の境界線付近にプロットされているものが多くあるのが特徴である。また、川砂Fのように構造物でのASR損傷が報告されているものもあるため、化学法の結果のみで川砂のアルカリシリカ反応性の判定を実施する際には、注意が必要であると考えられた。

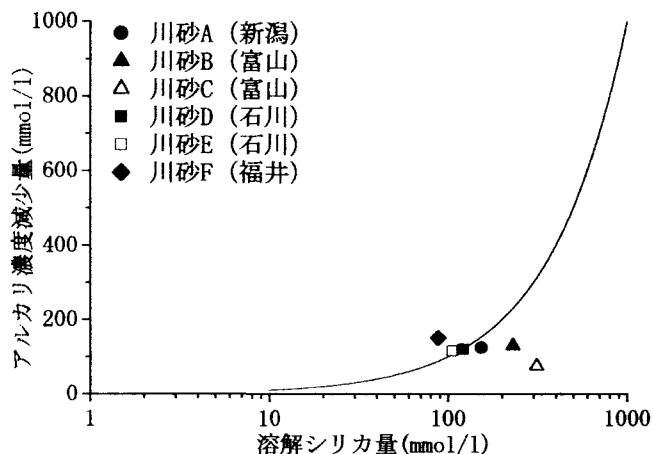


図-1 化学法の判定結果

3種類のモルタルバー法の試験結果を図-2、図-3および図-4に示す。JIS A 1146 法では反応性の高い川砂Bおよび川砂Cは比較的早期に膨張が開始し、3カ月材齢にて「無害でない」と判定された。それら以外の川砂は膨張量が全体に小さくなり、骨材間の膨張挙動に明確な相違が認められなかった。JIS A 1146 法では、アルカリが添加時のものに限られていることや、促進養生中に試験体からアルカリが多量に漏出することによって、モルタル中に反応性鉱物が存在していたとしても、膨張が収束する可能性があった。それに対して、ASTM C 1260 法及びデンマーク法では、アルカリが外部から供給される条件下で促進養生されていることから、モルタルの膨張が早期に始まり、最終的な膨張量がかなり大きくなる傾向があった。ASTM C 1260 (材齢14日) とデンマーク法 (材齢91日) の膨張量の比較を図-5に示す。両試験法では川砂中の反応性鉱物の量 (安山岩の含有率) に比例してモルタルの膨張量が增大する傾向があり、ASTM C 1260 (材齢14日) とデンマーク法 (材齢91日) との膨張量には相関関係が存在する。しかし、ASTM C 1260 法では、使用実績から非反応性骨材と判断される川砂Eも「有害」と判定された。これらの結果より、川砂のアルカリシリカ反応性の判定にはASTM C 1260 法よりもデンマーク法が適していることが判明した。

4. ASR ゲルの化学組成

促進膨張試験終了後のモルタルバーの破断面を SEM-EDX により調べた。ASTM C 1260 法では非反応性である川砂Eを含めてすべてのもので ASR ゲルの生成が確認された。また、1N-NaOH 溶液との反応により骨材の溶解の痕跡が多数観察され、通常の条件下では反応しない岩種のものも反応に携わっていることが確認された。ASR ゲルの化学組成を図-6に示す。膨張量大きい川砂ほど、アルカリ分が大きくカルシウム分およびシリカ分が少なくなる傾向がみられた。一般に、このような化学組成をもつゲルは流動性が高いことが知られている。

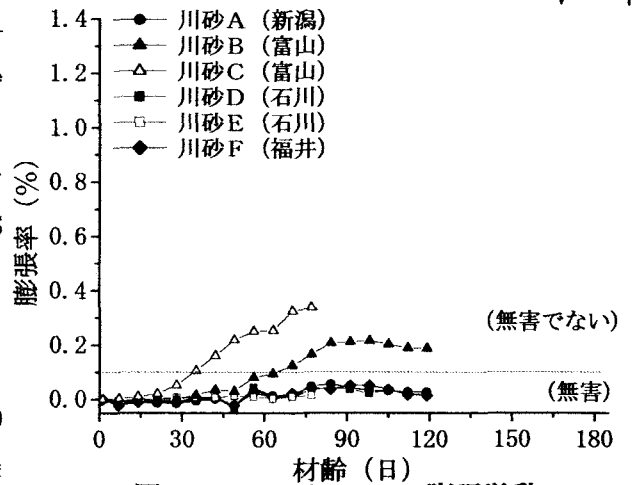


図-2 JIS A 1146 の膨張挙動

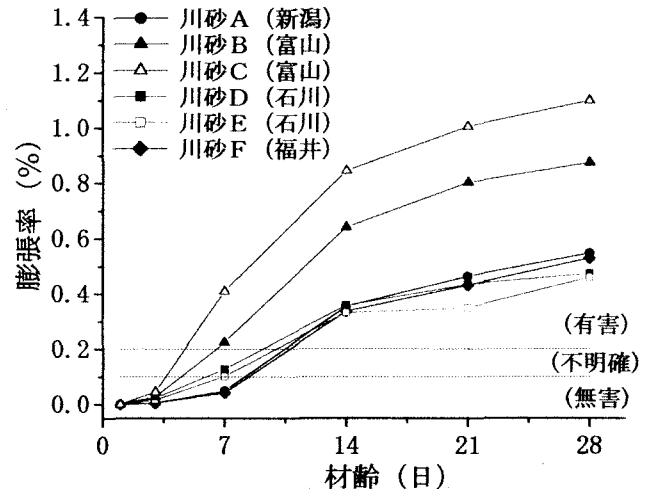


図-3 ASTM C 1260 の膨張挙動

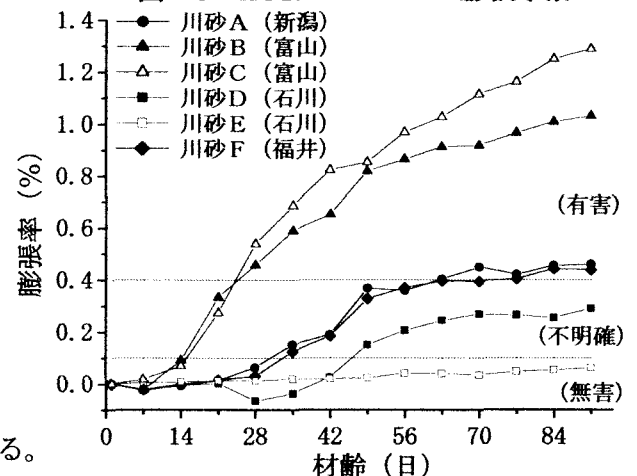


図-4 デンマーク法の膨張挙動

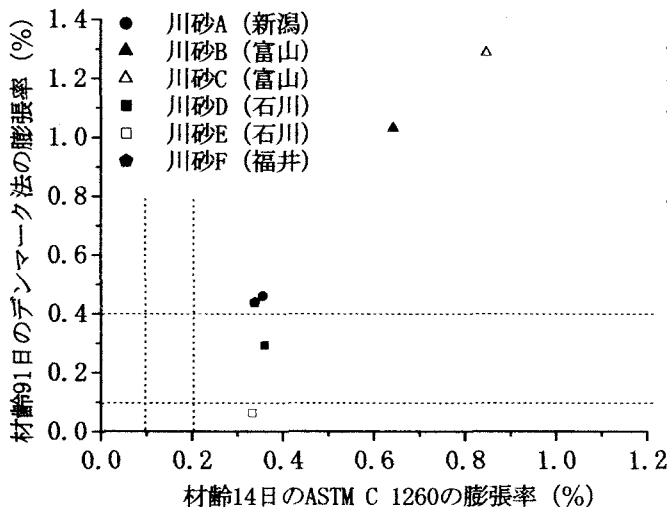


図-5 ASTM 法と DEN 法の比較

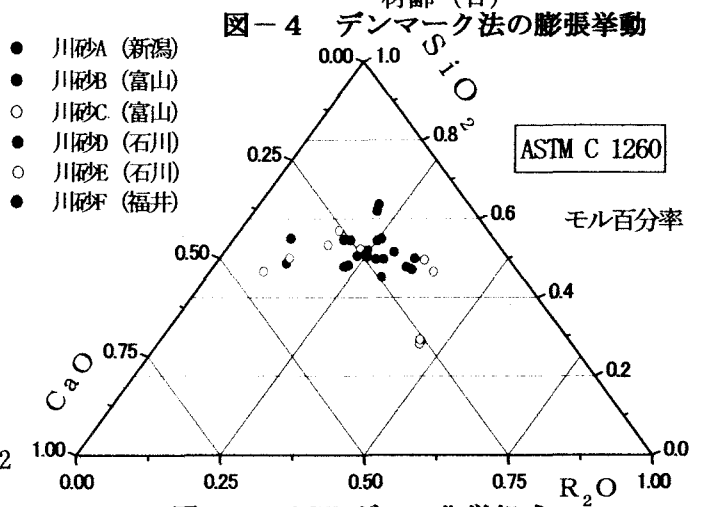


図-6 ASR ゲルの化学組成