論文　新潟県産骨材のアルカリシリカ反応性と試験法の適合性

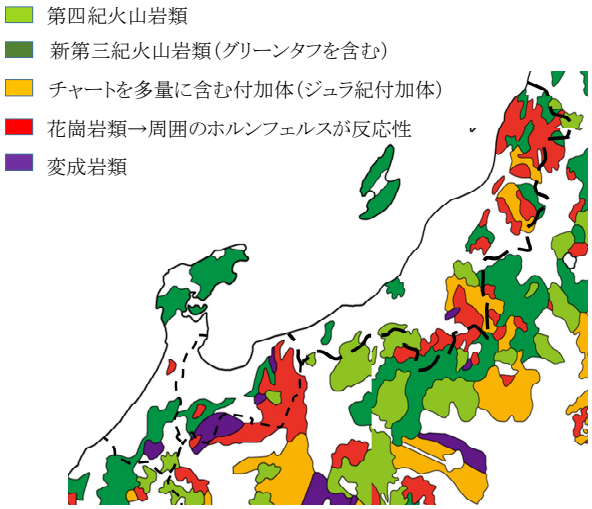
広野　真一[*1]・野村　昌弘[*2]・安藤　陽子[*3]・鳥居　和之[*4]

要旨：新潟県には火山岩類を含む新しい年代の地質が広く分布し，これらを流域にもつ川砂利が骨材に広く活用されている。本研究では新潟県の骨材事情と ASR の実態を調査するとともに，生コンプラントなどから採取した骨材の岩石学的分析と，化学法，モルタルバー法および促進モルタルバー法の ASR 試験を行った。その結果，阿賀野川産，信濃川産，濁川産，姫川産などの砂利資源には反応性の高い火山岩類が含まれる場合があり，構造物にも ASR が生じていることが確認された。化学法またはモルタルバー法の判定結果と構造物での ASR 実績で整合性がとれるものは少ないが，促進モルタルバー法は潜在反応性を全て検出していた。

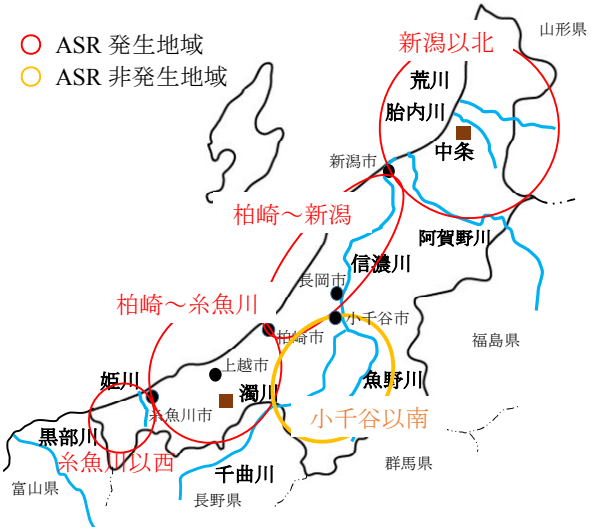
キーワード：アルカリシリカ反応，新潟県，化学法，モルタルバー法，促進モルタルバー法，火山岩類

1. はじめに

新潟県は，南北に長く西は日本海，他方県境は朝日山地，飯豊山地，越後山脈および飛騨山脈の山々に囲まれ，また糸魚川―静岡構造線を西縁とするフォッサマグナを含む領域に位置する。これはグリーンタフ地域であり，また現在も火山帯の一部である。**図－1** はアルカリシリカ反応（以下 ASR）性骨材に関連の特に大きい岩石などの分布である [1)]。著者らは，北陸 3 県（富山・石川・福井）の ASR について精力的に調査してきた経緯があるが，同様な反応性骨材の分布が新潟県の県境付近の山々にもある。また，新潟県では信濃川をはじめ，日本海へ注ぐ荒川，阿賀野川，関川，姫川，三面川，加治川など多くの河川が骨材資源を育み，北陸 3 県と同様にコンクリート用骨材として川砂利の恩恵を受けている。一方，反応性岩石が流域に分布する場合の川砂利には，ASR が生じる可能性があると考えられる。そこで本論文では，新潟県の ASR の実態を調査するとともに，地質学的な所見と生コンクリートプラントから採取した骨材や現地で採取したコンクリートをもとに行った水系ごとの岩種構成結果とともに，さらに化学法，モルタルバー法および促進モルタルバー法での判定結果の適合性について述べる。



図－1　新潟県の ASR に関連の深い代表的な岩石 [1)]



図－2　骨材供給に基づいた新潟県の区分

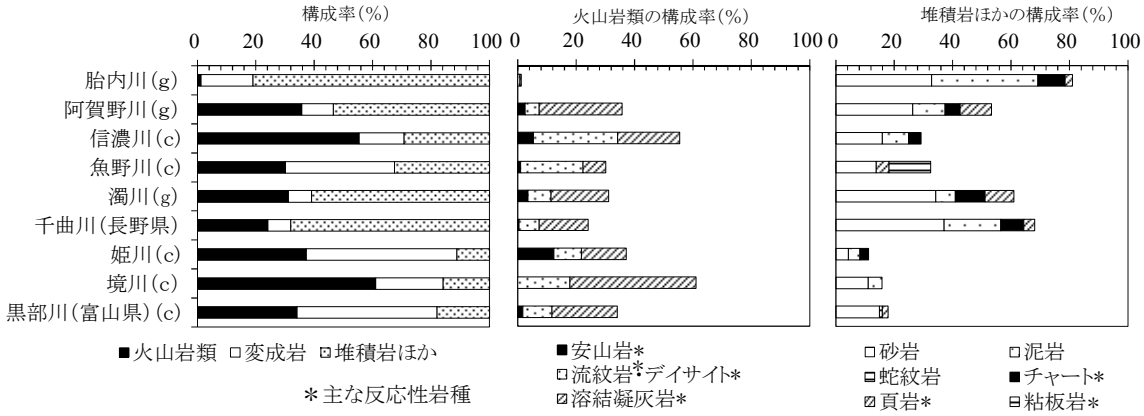
2. ASR マップと骨材産地における岩石学的所見

新潟県の ASR は，新潟市内の道路構造物，上越新幹線および高速道路で散見される。また，糸魚川市内の国道 8 号線の洞門や姫川沿いに南下する国道 147 号線の構造物および電力施設でも発生している（**写真－1** 参照）。使用骨材の水系や産地を考慮して，新潟県を**図－2** のとおり区分した。また，水系ごとにプラントから採取した粗骨材（約 5kg 程度）の岩種の重量比率（g）または現地で採取したコンクリートコア側面に現れた粗骨材の岩種のポイントカウンティング法による面積比率（c）の代表例を**図－3** に示した。岩種の識別は肉眼とルーペによる。

*1　（株）太平洋コンサルタント　解析技術部　博(工)　(正会員)
*2　（株）野村昌弘の研究所　代表取締役，　（株）フルテック　取締役　博(工)　(正会員)
*3　（株）太平洋コンサルタント　解析技術部　(正会員)
*4　金沢大学　理工研究域　環境デザイン学系　教授　工博　(フェロー会員)

道路橋橋脚（新潟市内）　上越新幹線橋脚（新潟市内）　トンネル坑口（糸魚川市内）

写真－1　新潟県における ASR の事例



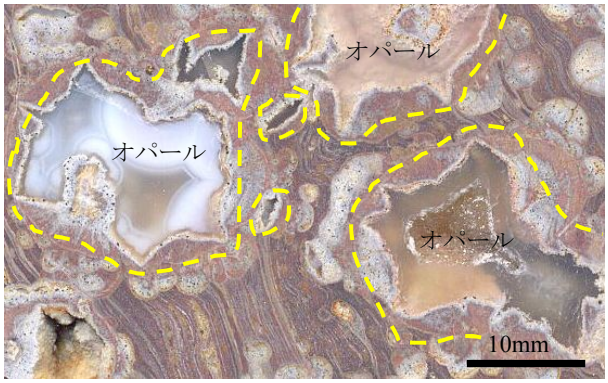
図－3　粗骨材の岩種構成

2.1 新潟以北

新潟以北で使用されている骨材は，主に荒川産，胎内川産および阿賀野川産のものである。荒川および胎内川の流域には，花崗岩類や砂岩，頁岩，チャートなどが広く分布している。荒川産および胎内川産の主な岩種構成の測定結果は，堆積岩の砂岩および泥岩が主体であり，火山岩類をほとんど含まないものであった。ASR 反応性の岩種としては堆積岩のチャートおよび頁岩がわずかに含まれていた。これらに含有する反応性鉱物は遅延膨張性の隠微晶質石英である。

一方，阿賀野川の流域は支流も合わせて福島県から新潟県にかけて広く，そこには反応性の非常に高い新第三紀～第四紀（新期）の火山岩類（安山岩・デイサイト・流紋岩の溶岩・火山砕屑岩）ならびにチャート・頁岩などを多量に含むジュラ紀付加体が広く分布している。主な ASR 反応性岩種としては，火山岩類として安山岩，流紋岩，デイサイトの溶岩や溶結凝灰岩，また堆積岩としてはチャートや頁岩が認められた。特に火山岩類は，ASR 反応性の非常に高いオパールやクリストバライト，トリディマイトを含有していた（**写真－2** 参照）。

当該地区の一般道の構造物には，ASR によるひび割れが発生しているものが見受けられる。おそらく，多くは阿賀野川産の川砂，川砂利が原因と推察される。なお，平成 14 年に供用した高速道である日本海沿岸東北自動車道では，阿賀野川産の川砂，川砂利を使用しているが，建設時期が昭和 61 年の ASR 抑制対策実施後でもあり，ASR による劣化は顕在化していない。



写真－2　オパール含有流紋岩（阿賀野川産砂利）

2.2 柏崎～新潟

柏崎～新潟で使用されている骨材は，阿賀野川産および信濃川産のものが主である。なお，信濃川の上流は長野県の千曲川まで及んでいるが，それを含む信濃川の流域には安山岩などの火山岩類，チャートや頁岩を多量に含むジュラ紀付加体，変成岩類，などが分布し，多様な反応性の岩石が存在する。

千曲川産の主な岩種構成の測定結果では，堆積岩の砂岩および泥岩，火山岩類では溶結凝灰岩が多く含まれていた。主な反応性岩種としては，火山岩類では安山岩，流紋岩，デイサイト，それらの溶結凝灰岩，堆積岩では

チャートが含まれていた。安山岩にはASR反応性の高いクリストバライトやトリディマイトが認められた。千曲川の下流である信濃川の岩種構成の測定結果では，火山岩類の安山岩，流紋岩，それらの溶結凝灰岩，堆積岩ではチャート，頁岩および砂岩が多く含まれていた。火山岩類には，ASR反応性の特に高いクリストバライトやトリディマイトが認められた。

当該区間では上越新幹線（昭和57年供用），高速道では北陸自動車道（昭和54年（1979年）供用）・関越自動車道 長岡JCT～越後川口IC（昭和57年（1982年）供用）および一般道の構造物で顕著な ASR 劣化を示すものも認められる。なお，平成6年から供用開始してきた高速道である磐越自動車道の構造物では主に阿賀野川産の骨材を使用しているが，建設時期がASR抑制対策実施後であることもあり，顕著なASRは発生していない。

2.3 柏崎～糸魚川

柏崎～糸魚川では，妙高市の濁川地区で採取される山砂，山砂利が骨材に使用されるケースが多い。また，上越以西では姫川産の骨材を使用するケースもある。さらに長野県との県境では千曲川産の骨材が使用されるケースもある。濁川地区の周囲，千曲川および姫川の流域ともに新期の火山岩類が分布することから，これらのASR反応性の高い岩種が砂利資源にも混入しているものと推察される。特に濁川地区の周囲には安山岩や安山岩質火砕岩が広く分布しているが，山砂利資源としても採取されている砂礫の礫種については，安山岩を主として，花崗岩質岩，チャート，頁岩，流紋岩などを伴うことが報告されている [2)]。濁川地区のコアでの岩種構成測定結果では，反応性岩種に火山岩類の安山岩，流紋岩，それらの溶結凝灰岩，堆積岩ではチャートや頁岩が認められた。チャートの反応性鉱物は遅延膨張性の隠微晶質石英，火山岩類には急速膨張性のクリストバライトやトリディマイトが認められた。姫川産の主な反応性岩種は，火山岩類の安山岩および流紋岩溶結凝灰岩であり，安山岩には反応性の高いクリストバライトが認められた。一方，流紋岩溶結凝灰岩の多くは，古期のものであるため高反応性の鉱物はなく，隠微晶質石英が主体であった。

当該地区では顕著な ASR を生じた構造物が散見される。なお，北陸自動車道 上越IC～米山IC（昭和58年供用）では濁川地区の山砂，山砂利を使用しているがASRはほとんど発生していない。一方，上越 IC～糸魚川 IC（昭和62年～昭和63年供用）ではASR抑制対策が始まった時期の供用であるが，軽微なASRが発生してきており，今後さらに進行する恐れもある。また，上信越自動車道（平成9年以降供用）ではASR抑制対策以後の建設でもあり，ASRは発生していない。

2.4 糸魚川以西

糸魚川以西で使用されている骨材は姫川産の川砂，川砂利が主体であるが，富山県黒部川産および富山県と新潟県との境に位置する境川産の川砂，川砂利も使用されるケースがある。境川の流域には，主に古期の火山岩類ならびに砂岩などの堆積岩の地層が分布する。また，黒部川の流域には花崗岩質岩が主に分布する。

境川産の岩種構成の測定結果では，主な反応性岩種は火山岩類の流紋岩・デイサイトおよびそれらの溶結凝灰岩であった。しかし，これらは古い地質年代の岩石であるため，高反応性を示すクリストバライトやトリディマイトはほとんど認められず，反応性鉱物は遅延膨張性の隠微晶質石英が主体であった。一方，黒部川産の主な反応性岩種も，火山岩類の流紋岩および流紋岩溶結凝灰岩であった。しかし，これらも古期のものであるため，反応性の高いクリストバライトやトリディマイトを含有しておらず，反応性鉱物は隠微晶質石英が主体であった。また，深成岩や変成岩でも，マイロナイト化またはカタクレーサイト化した花崗岩，ならびに片麻岩でのASRの発生が確認されている [3)]。これらの花崗岩質岩での反応性鉱物は微晶質～隠微晶質石英であった。

当該区間では主に姫川産の川砂，川砂利を使用した構造物にASRによる顕著なひび割れが発生している。また，北陸自動車道（昭和63年供用）のASR抑制対策実施後に黒部川産の川砂，川砂利を使用した構造物でもASRによる軽微なひび割れが発生しているものが散見される。

2.5 小千谷以南

小千谷以南で使用されている骨材は，信濃川の支流でもある魚野川産の川砂，川砂利が主体であるが，細骨材には一部で信濃川の川砂が使用されるケースもあるようである。魚野川の流域には非反応性の花崗岩質岩が広く分布するが，一部に新期の火山岩類やチャートなども分布する。岩種構成の測定結果では，ASR反応性の岩種として安山岩，流紋岩，デイサイトおよびそれらの溶結凝灰岩が含まれていた。一方で，当該地区ではほとんどASR によるひび割れが発生した構造物は見受けられない。実際のケースでは，ASR反応性の高い岩種の混入は非常に少量である場合が多い可能性もある。

3. 骨材試験の適合性

3.1 調査方法

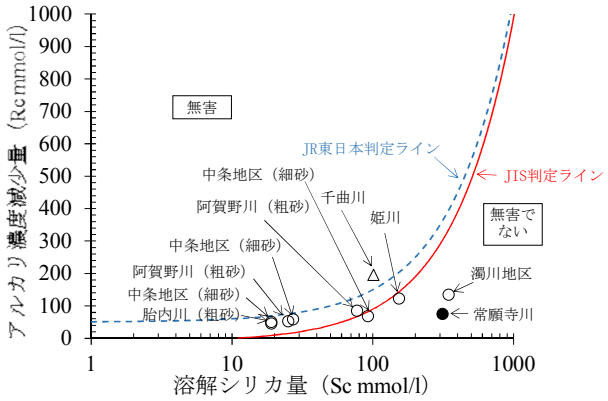
新潟県および長野県の生コンプラントに出向き，工場の骨材瓶から任意に採取した骨材について，骨材のアルカリシリカ反応性試験として，化学法（JIS A 1145）およびモルタルバー法（JIS A1146）を行った。さらに，いくつかの骨材に対して促進モルタルバー法（ASTM C 1260）を実施した。これらの結果には比較対象として北陸地方

で ASR による鉄筋破断が確認された反応性の高い富山県常願寺川産の川砂，川砂利，能登産の安山岩砕石（石川県門前剱地産）も示した。

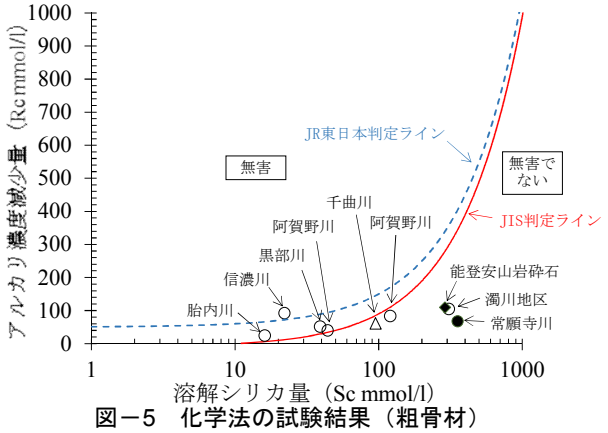
3.2 調査結果と考察

(1) 化学法（JIS A 1145）

化学法の試験結果を**図－4** と**図－5** に示す。濁川地区産と千曲川産（細骨材）を除き，細骨材，粗骨材とも JIS 判定ライン付近にプロットされた。これらの骨材は，化学法のみによる判定が困難であると考えられた。参考に JR 東日本による化学法の新しい判定ラインを付加したが，新潟県の骨材のほとんどが同社基準による「準有害」または「E 有害」と判定された。この基準は Rc=Sc+50 の判定ラインを加え，このラインより上（Rc>(Sc+50)）にあれば「E 無害」，この判定ラインと JIS 判定ラインが挟む領域を「準有害」，JIS 判定ラインから下を「E 有害」とする。また，濁川地区産の骨材は溶解シリカ量が多く，深刻な ASR が生じた常願寺川産の川砂，川砂利，能登産の安山岩砕石とほぼ同様な試験結果であった。ASR 反応性が潜在的に非常に高い骨材であることが推定された。



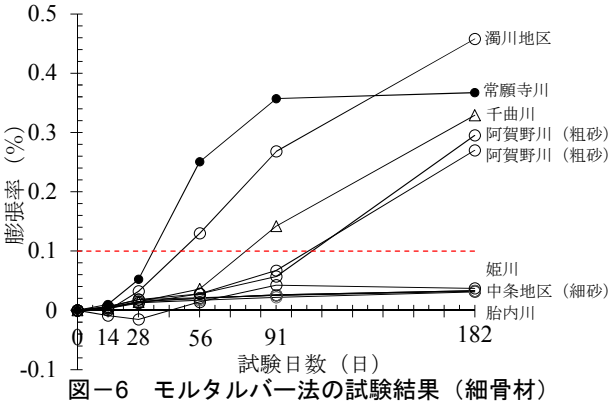
図－4　化学法の試験結果（細骨材）



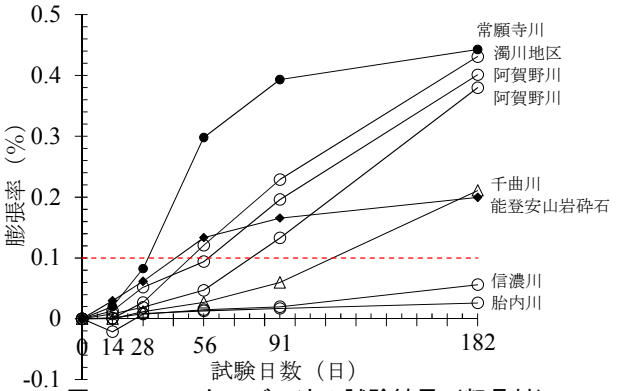
図－5　化学法の試験結果（粗骨材）

(2) モルタルバー法（JIS A 1146）

モルタルバー法の結果を**図－6** および**図－7** に示す。阿賀野川産，千曲川産および濁川地区産の細骨材・粗骨材は，いずれも右肩上がりのかなり大きな膨張率を示した。特に細骨材に関して，濁川地区産は常願寺川産を上回る膨張率を示した。また，粗骨材では阿賀野川産および濁川地区産は常願寺川産，千曲川産は能登産安山岩砕石とほぼ同様な膨張率となり，「無害でない」と判定された。一方，細骨材では胎内川産，中条地区産（胎内川下流部付近）および姫川産，粗骨材では胎内川産および信濃川産では膨張率が低く，「無害」と判定された。



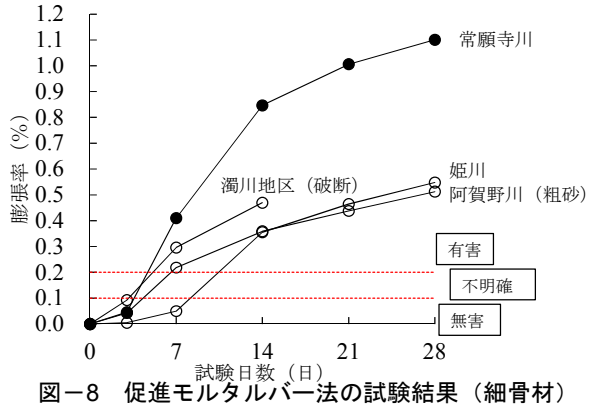
図－6　モルタルバー法の試験結果（細骨材）



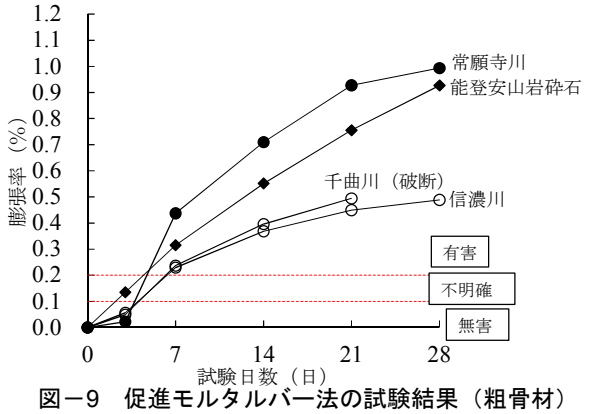
図－7　モルタルバー法の試験結果（粗骨材）

(3) 促進モルタルバー法（ASTM C 1260）

モルタルバー法（JIS A 1146）は養生温度 40℃，セメントの等価アルカリ量（$Na_2Oeq.$）を 1.2%に調整した促進条件下での試験であるのに対し，促進モルタルバー法（ASTM C 1260）は，モルタルバーを養生温度 80℃，1 N・NaOH 溶液に浸漬するものであり，外部から多量のアルカリを供給する試験法である。促進モルタルバー法（ASTM C 1260）の試験結果を**図－8** および**図－9** に示す。細骨材の濁川地区産および粗骨材の千曲川産のモルタルバーはひび割れが顕著に発生し破断したため，試験を途中で中断している。試験結果は同試験の判定基準によればすべてが「有害」（促進養生日数 14 日で膨張率 0.2%以上）と判断された。なお，促進モルタルバー法の膨張率は，富山県常願寺川産や石川県能登産の安山岩に比較して新潟県産および長野県産の骨材は全体的に低い傾向を示した。これについては，新潟県産および長野県産の骨材はチャートや珪質頁岩を含有していることから，アルカリ溶液に浸漬された際，一部の骨材粒子が溶解し，モルタルバーの膨張率が低下した可能性もある。



図－8　促進モルタルバー法の試験結果（細骨材）



図－9　促進モルタルバー法の試験結果（粗骨材）

3.3 骨材の反応性試験結果と野外の構造物との整合性

わが国では，化学法で「無害でない」と判定された場合，さらにモルタルバー法を行い「無害」となれば「無害」な骨材として扱える。結果的には，化学法またはモルタルバー法のいずれか一つで判定が可能であり，両試験の結果がそろっているものは少ない。これまでの試験の判定結果と現場での ASR の発生との関係を**表－1** に示す。着目したいのは以下の点である。

1）阿賀野川産の粗砂は，化学法（JIS A 1145）で「無害」と判定されるが，モルタルバー法（JIS A 1146）では「無害でない」と判定されるものがあること。

2）千曲川産の細骨材は化学法（JIS A 1145）で「無害」と判定されるが，モルタルバー法（JIS A 1146）では「無害でない」と判定されること。

3）姫川産の細骨材では化学法（JIS A 1145）で「無害でない」と判定され，確認のためにモルタルバー法（JIS A 1146）を行うと「無害」と判定される場合があること。

4）化学法（JIS A 1145）やモルタルバー法（JIS A 1146）による判定結果と野外の構造物での ASR の発生の有無の関係については整合性がとれるものが少ないが，促進モルタルバー法（ASTM C 1260）は，野外で ASR が発生したもの全てにおいて，その潜在反応性を検出していた。

特に 1）および 2）について，化学法の結果より非反応性骨材と評価し，十分な ASR 抑制対策を実施せず使用される恐れが考えられた。3）についても，昭和 61 年以後も ASR 抑制対策が実施されず使用された可能性があった。4）について，たとえば河川産骨材のように多くの岩種が混在し，反応性岩種が少量であっても，反応性鉱

表－1　骨材の反応性試験結果と野外の構造物の ASR

区分	産地	試料名	化学法（JIS A 1145）	モルタルバー法（JIS A 1146）	促進モルタルバー法（ASTM C 1260）	構造物の ASR
細骨材	新潟	胎内川（粗砂）	無害	無害	－	不明
		中条（細砂）	無害でない	無害でない	－	不明
		中条（細砂）	無害	無害	－	不明
		中条（細砂）	無害	無害	－	不明
		阿賀野川（粗砂）	無害	無害	有害	有
		阿賀野川（粗砂）	無害	無害でない	有害	有
		濁川	無害でない	無害でない	有害	有
		姫川	無害でない	無害	有害	有
	長野	千曲川	無害	無害でない	－	不明
	富山	常願寺川	無害でない	無害でない	有害	有
粗骨材	新潟	胎内川	無害	無害	―	不明
		阿賀野川	無害でない	無害でない	有害	有
		阿賀野川	無害でない	無害でない	―	有
		信濃川	無害	無害	有害	有※
		濁川	無害でない	無害でない	―	有
	長野	千曲川	無害	無害でない	有害	不明
	富山	黒部川	無害	―	―	有※
		常願寺川	無害でない	無害でない	有害	有
	石川	能登産安山岩砕石	無害でない	無害でない	有害	有

－：試験を実施していないもの　　※：地区によっては発生していない。

物としてクリストバライト，トリディマイトまたはオパールを含有する場合，ペシマム配合となり得る。非常に反応性が高く，または粘土鉱物を含有するような場合でも，JIS の化学法およびモルタルバー法では十分にスクーニングできない。一方，促進モルタルバー法では十分なアルカリが供給されることから，反応性の見逃しが少ないものと考えられた。なお，ASTM C 1260 は米国の規格であるが，同様の試験を導入しているカナダ（試験日数 14 日，膨張率≧0.15%：有害）やオーストラリア（試験日数 21 日，膨張率≧0.1%：有害）では独自の判定基準を定めており，新潟県のようにチャートなどを含有する場合, さらには反応性を過大に評価する可能性を含め, 本試験の導入に際しては地域の事情も考慮した十分な検討が今後必要である。

4. まとめ

新潟県内には，非常に反応性の高い火山岩類を含む骨材が存在する。地域ごとの骨材事情と ASR の発生をまとめると以下のとおりである。

(1) 新潟以北では主に，荒川産，胎内川産および阿賀野川産の砂利・砂が使用されている。前二者はチャートなどの遅延膨張性の岩石をわずかに含むことがある。一方で，阿賀野川産は反応性の特に高い新期の火山岩類を含み，急速膨張性を示す場合がある。当該地区では，一般道の構造物に，ASR によるひび割れが発生しているものが見られる。

(2) 柏崎～新潟では主に，阿賀野川産および信濃川産の砂利・砂が使用されている。信濃川の流域には急速膨張性の火山岩類や遅延膨張性のチャート，など多様な反応性を示す岩石の分布が認められ，これらが砂利・砂に混入する場合がある。当該地区では上越新幹線，北陸自動車道，関越自動車道，および一般道の構造物に顕著な ASR が生じたものも見られる。

(3) 柏崎～糸魚川では，濁川地区で採取される山砂利・山砂が使用されることが多い。これは急速膨張性の安山岩礫を主とする。姫川産または千曲川産の砂利・砂が使用される地域もあるが，いずれも流域には反応性の高い新期火山岩類も分布する。当該地区では顕著な ASR を生じた構造物が散見される。

(4) 糸魚川以西で使用されている骨材は，姫川産の砂利・砂が主である。黒部川産または境川産も一部で使用されているが，これらの流域には主に花崗岩類または砂岩などのほか，反応性の低下した古期の火山岩類が分布し，遅延膨張性を示す場合もある。当該地区では主に，姫川産を使用した構造物に顕著なひび割れが発生している。黒部川産を使用した北陸自動車道の構造物でも軽微なひび割れが一部に見られ，花崗岩マイロナイト・カタクレーサイト，片麻岩の ASR も確認されている。

(5) 小千谷以南では主に，信濃川水系魚野川産の砂利・砂が使用されているが，一部で信濃川産の砂も使用されている。魚野川の流域には非反応性の花崗岩類が広く分布するが，一部にチャートや新期の火山岩類もある。当該地区では ASR 劣化構造物は，ほとんど見られない。

一方，新潟県産および近隣産骨材の反応性試験結果ならびに野外の実構造物の ASR との関連について, 以下が明らかになった。

(6) 化学法(JIS A 1145)では，ほとんどの骨材で判定ライン付近にプロットされ，化学法のみの判定には無理があると考えられた。一方，濁川地区産は常願寺川産や能登産安山岩砕石に匹敵する高反応性を示した。

(7) モルタルバー法(JIS A 1146)では，阿賀野川産，千曲川産および濁川地区産が粗骨材，細骨材ともに大きな膨張を示した。特に濁川地区産細骨材は常願寺川産を上回る大きな膨張を示した。また粗骨材では，阿賀野川産と濁川地区産は常願寺川産，千曲川産は能登産安山岩砕石に匹敵する大きな膨張を示した。

(8) 促進モルタルバー法(ASTM C 1260)では，ひび割れが顕著に発生して途中で破断したものも含め，試験対象は全てが「有害」となった。

(9) 化学法とモルタルバー法では判定が異なる場合があり，また判定結果と野外の構造物での ASR の関係については整合性がとれるものが少ない。一方，促進モルタルバー法は，野外で ASR が発生したもの全ての潜在反応性を検出していた。

謝辞

本研究は，内閣府・JST による SIP 「コンクリート橋の早期劣化機構の解明と材料・構造性能評価に基づくトータルマネジメントシステムの開発（WG2 ASR）」の研究開発の一環として実施したものである。

参考文献

1) 広野真一，山田一夫，佐藤友美，鳥居和之：わが国の代表的な反応性骨材と ASR の発生に関するデータ整理, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1035-1040，2016.7

2) 柳澤幸夫ほか：飯山地域の地質．地域地質報告書（5 万分の 1 地質図幅），地質調査所，2001

3) 野村昌弘，広野真一，大代武志：富山県内における花崗岩質岩石のアルカリシリカ反応，土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集，V-485，pp.969-970，2014.9