

論文 富山県の反応性骨材と ASR 劣化構造物の特徴

大代 武志^{*1}・平野 貴宣^{*2}・鳥居 和之^{*3}

要旨：本研究では，富山県内における ASR 劣化橋梁の地域的な分布や実構造物での劣化状況を調べるとともに，代表的な河川水系（常願寺川および早月川）で産出する川砂および川砂利の岩石・鉱物学的特徴とそれらのアルカリシリカ反応性との関係について検討した。その結果，安山岩の含有率が高い河川産骨材を使用した構造物にて ASR の発生が顕著であること，同一の河川水系の砂と砂利は岩石構成率が類似しており，骨材のアルカリシリカ反応性もほぼ同様であること，などが明らかとなった。

キーワード：ASR 劣化橋梁，河川産骨材，岩石・鉱物学的試験，促進養生試験

1. はじめに

北陸地方では，アルカリシリカ反応（ASR）による劣化が発生している構造物が多く報告されている¹⁾。富山県内では，橋梁やボックスカルバート，トンネルなどの道路構造物に ASR が発生しており，約 15 年前から補修が実施されてきた。しかし，建設後 30 年以上が経過した現在では，補修後の再劣化や鉄筋破断などの重大な ASR 劣化が発生しているものが新たに確認されている²⁾。このため，ASR 劣化橋梁の地域的な分布と反応性骨材の岩石学的な特徴を把握することが橋梁の維持管理計画の策定において重要な課題となっている。

本研究は，富山県の ASR 劣化橋梁の地域的な分布を明らかにするとともに，富山県の代表的な河川水系（常願寺川（反応性）および早月川（非反応性））で産出する川砂および川砂利の岩石構成率とそれらのアルカリシリカ反応性について調べたものである。

2. ASR 劣化橋梁の分布

ASR 劣化橋梁の下部工では，雨水や路面排水の影響を受け易い箇所，すなわち橋台では縦壁前面や側面，橋脚では梁部に ASR が多く発生し

ている。富山県内における ASR 劣化橋梁の分布（平成 18 年度に作成）を図 - 1 に示す。県内全域の ASR 劣化橋梁の分布を把握するために，調査は主要な幹線道路（高速道路，国道，県道，市町村道（スーパー農道を含む））にある橋梁，跨線橋および跨道橋の下部工を対象とした。現地調査は，目視によりコンクリートのひび割れやはく離，ASR ゲルの滲み出しなどの変状を確認することとし，ASR の目視による判定は同一



図 - 1 富山県内の ASR 劣化橋梁分布状況

*1 金沢大学大学院 自然科学研究科環境科学専攻（正会員）

*2 金沢大学大学院 自然科学研究科社会基盤工学専攻

*3 金沢大学大学院 自然科学研究科社会基盤工学専攻 教授 工博（正会員）

の調査者が実施した。また，ASR 劣化に対する補修（表面防水塗装およびひび割れ注入）が実施されたものは，目視による判定が困難であるが，すべて ASR 劣化橋梁とした。橋梁の規模や ASR 劣化度とは無関係に ASR 劣化橋梁の分布状況のみをみると，ほぼ県内全域に分布している。その中でも，東部の富山地区（富山市）や西部の高岡地区（高岡市，射水市など）などに ASR 劣化橋梁が多く存在しているのが特徴である。それらの構造物の建設時期は昭和 40 年代から昭和 50 年代に集中している。図中で連続的に発生している箇所は，バイパスの供用区間であり，反応性骨材が流通した時期に建設されたために，区間全体に ASR 劣化橋梁が集中的に発生していることを示している。とくに，昭和 50 年に供用した高速道路や昭和 62 年に供用した大規模バイパスにて ASR が多く発生している。また，橋梁の建設ピーク時期である昭和 46 年前後のものに ASR の発生割合が高いことも判明した。橋梁の ASR 劣化度は，単径間のものは比較的軽微であるが，一級河川に架かる長大橋（6～8 径間）の下部工で大きな ASR 劣化が発生しているものが確認された。

3．橋脚コンクリートの ASR 劣化状況

最近の調査では，河川内の橋脚での鉄筋破断やコンクリートの脆弱化をとまなう大きな劣化（写真 - 1 参照）が確認された²⁾。本橋脚のコンクリートのはつり殻を写真 - 2 に示す。コンクリート中の細・粗骨材中の安山岩粒子には反応環リムが観察され，コンクリート破断面には ASR ゲルが全面的に生じていた。このため，コンクリート殻は 5cm 角程度の碎石状となり，コンクリートが脆弱化しているのを示唆していた。このようなコンクリートの実態はコアによる強度結果とは大きく相違するものであった。細・粗骨材中の安山岩粒子の偏光顕微鏡観察（単二コル）を写真 - 3 および写真 - 4 に示す。粗骨材中の安山岩粒子は骨材自身にひび割れが生じており，ひび割れは ASR ゲルで充填されていた。ま



写真 - 1 橋脚コンクリートの ASR 劣化



写真 - 2 碎石状に破砕されたコンクリート殻

た，細骨材中の安山岩粒子にも骨材を貫通するひび割れが発生しており，粗骨材と同様な ASR が細骨材にも発生していることが特徴であった。蛍光顕微鏡による薄片の観察結果を写真 - 5 に示す。細・粗骨材を貫通または界面に沿って発生しているひび割れは繋がっており，モルタル部に連続的なひび割れ網が形成されたことがコンクリートの脆弱化をもたらしたものと推察された。

4．河川水系と反応性岩体の分布

富山県の主要な河川と反応性岩体の分布状況を図 - 2 に示す。富山県の反応性骨材の起源は，第三紀中新世の火山活動により海底で噴出し，熱水作用による変質を受けた火山岩から構成される地層（グリーンタフ）である³⁾。図 - 2 に示



写真 - 3 細骨材周囲のひび割れ状況(単二コル)

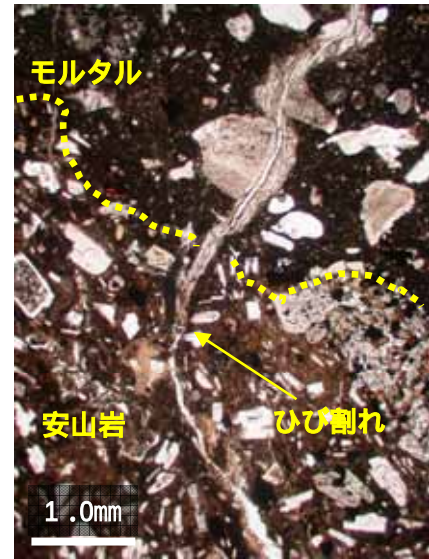


写真 - 4 粗骨材周囲のひび割れ状況(単二コル)

すように，富山平野の東部から南西部の丘陵地や山地には，安山岩の岩体が細長い帯状に連なって分布しており，この岩体は安山岩質溶岩と安山岩質凝灰角礫岩に区別される。また，南西部の県境付近には流紋岩の岩体が分布している。これらの岩体は，いずれも主要な河川水系の上流部に位置していることから，県内の河川流域で産出する川砂や川砂利には，火山岩系の反応性骨材(安山岩および流紋岩)が混入している。また，岐阜県北部を源流とする神通川や庄川には，飛騨山地の火山岩も混入している。富山県内の ASR は川砂および川砂利に混入した，高い反応性を持つ安山岩粒子によるものであることが明らかになっている⁴⁾。代表的な 2 河川水系の川砂利の岩石構成率を図 - 3 に示す⁵⁾。常願寺川産の川砂利は安山岩を 37% 含有しているが，早月川産のものは安山岩を含有しておらず，両河川水系では岩種構成率が大きく相違している。ASR 劣化橋梁の分布(図 - 1 参照)より，東部では常願寺川や神通川，西部では庄川の河川流域で ASR が多く確認されており，安山岩の含有率が高い河川水系ほど ASR の発生が顕著であった。それに対して，東部の早月川では，深成岩(花崗岩や閃緑岩など)を含有し，安山岩を含有しないために，早月川流域の橋梁では ASR が 3 件しか確認されていない。なお，この 3 件は昭

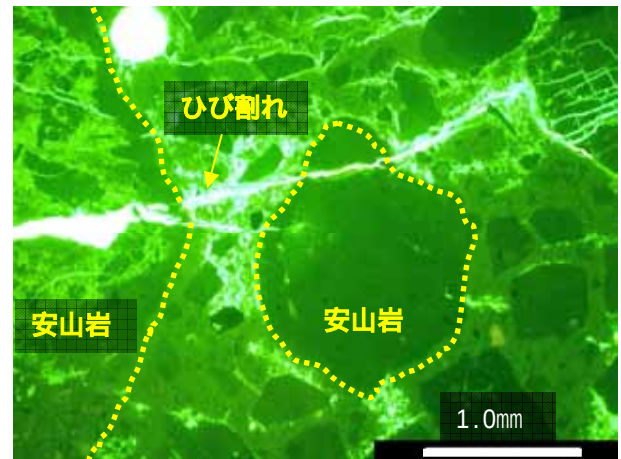


写真 - 5 蛍光顕微鏡によるひび割れ状況

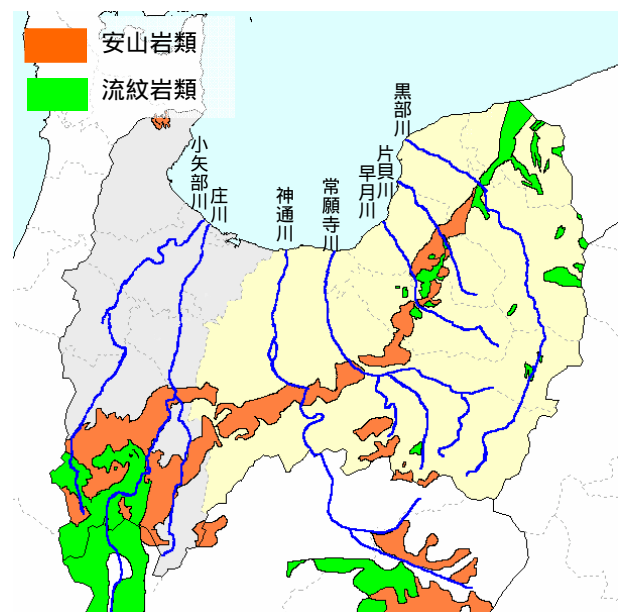


図 - 2 富山県の河川水系と岩体の分布

和 40 年代 ,50 年代に骨材需要の急速な拡大により , 常願寺川産の骨材が早月川流域をはじめ , 県内全域に供給されたことによるものであった。

5 . 骨材のアルカリシリカ反応性

5.1 化学法による判定

代表的な河川水系（常願寺川および早月川）の川砂および川砂利の物理的性質および化学法の結果（JIS A 1145）を表 - 1 に示す。常願寺川の川砂利中の安山岩粒子（図 - 4 参照）は反応性鉱物としてクリストバライトを含有していた。常願寺川の川砂および川砂利では安山岩の含有率がペシマム混合率（20～40％）⁶⁾ とほぼ一致していることが ASR 劣化が発生していること的主要原因である。常願寺川産の川砂および川砂利は , 溶解シリカ量が 230～350mmol/l であり , いずれも「無害でない」と判定された。また , 川砂と川砂利とがほぼ同様な反応性を示すことが特徴である。一方 , 早月川産の川砂および川砂利は , 溶解シリカ量およびアルカリ濃度減少量がともに 50mmol/l 以下であり , 「無害」と判定された。北陸地方の河川産骨材に関しては , 溶解シリカ量およびアルカリ濃度減少量がともに 50mmol/l 以下であるものは ASR による劣化がこれまでに確認されていない。また , 川砂および川砂利の中に安山岩粒子が混入し , それが顕著なペシマム混合率をもつ場合には , 化学法で「無害」と判定されても ASR が発生する場合があることにも注意が必要である。

5.2 モルタルバー法による判定

3 種類のモルタルバー法(JIS A 1146(温度 40 , 相対湿度 100%) , ASTM C 1260(温度 80 , 1N・

NaOH 溶液に浸せき) およびデンマーク法(温度 50 , 飽和 NaCl 溶液への浸せき)) の結果を図 - 5 , 図 - 6 および図 - 7 に示す。常願寺川産および早月川産の川砂および川砂利の JIS A 1146 による判定結果は化学法の判定結果とも一致していた。一方 , 早月川産の川砂および川砂利は , より厳しい促進養生条件である ASTM C 1260 およびデンマーク法でも「無害」と判定された。それに対して , 常願寺川産の川砂および川砂利は , 初期材齢より大きな膨張が発生しており , 両試験法では「有害」と判定された。3 種類のモルタルバー法に関して , 川砂および川砂利ともに材齢の増加にともなう膨張挙動に相違がないことから判断すると , 川砂および川砂利の反応性骨材の岩種およびその含有量は同一であることが判明した。富山県のコンクリートには , 同一河川産の川砂および川砂利が使用されることが多く , 川砂利だけでなく川砂にも ASR が発生していることがコンクリートの ASR 劣化を大きくしている原因であると考えられた。

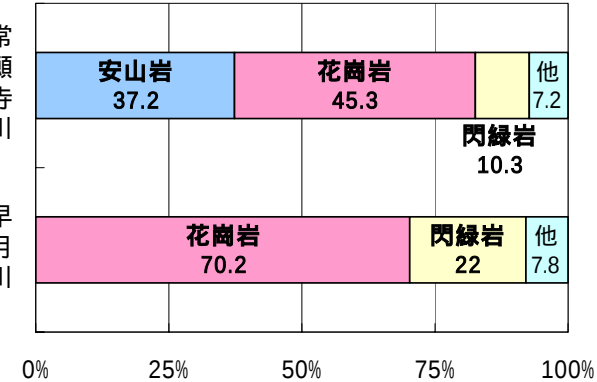


図 - 3 河川水系別の岩種構成率

表 - 1 骨材の物理的性質および化学法の結果

		常願寺川水系		早月川水系	
		細骨材	粗骨材	細骨材	粗骨材
		川砂	川砂利	川砂	川砂利
表乾密度 (g/cm ³)		2.62	2.63	2.64	2.68
吸水率 (%)		1.6	1.6	0.9	0.7
化学法 (JIS A 1145)	S c (mmol / l)	230	353	16	21
	R c (mmol / l)	129	68	21	53
	S c / R c	1.78	5.19	0.76	0.40
	判定	無害でない		無害	

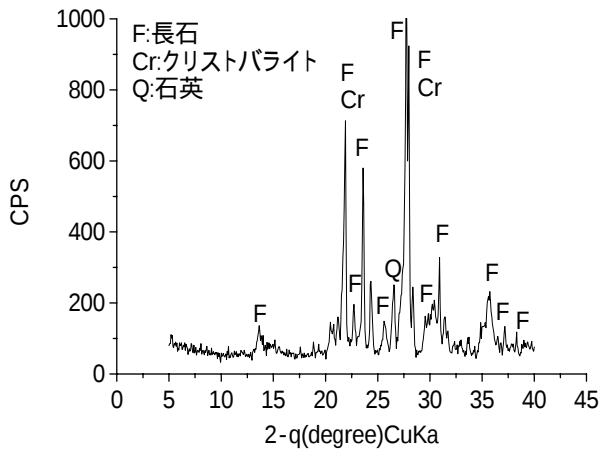


図 - 4 安山岩粒子（常願寺川産）のX線回折

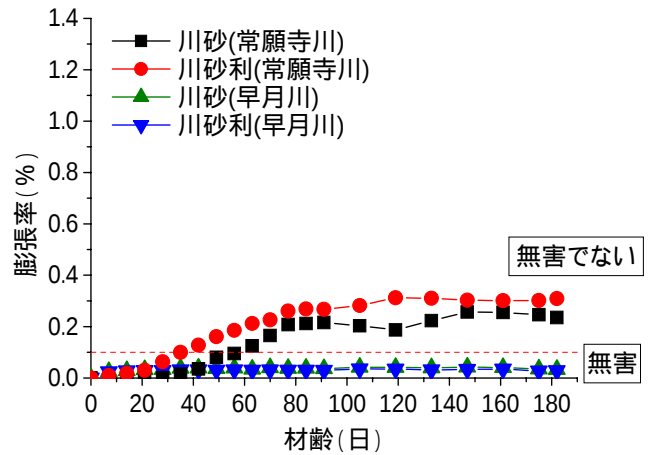


図 - 5 JIS A 1146 による判定結果

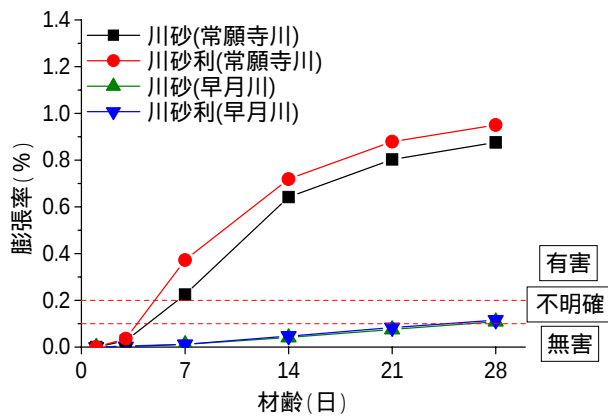


図 - 6 ASTM C 1260 による判定結果

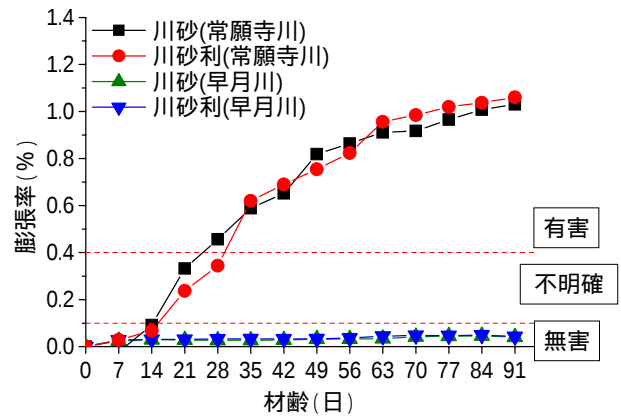


図 - 7 デンマーク法による判定結果

表 - 2 コンクリートの配合

養生方法	骨材の種類 (川砂, 川砂利)	Gmax (mm)	Air (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
						W	C	S	G	NaCl
湿気槽養生	常願寺川産	25	2	50	46	160	320	873	1012	18.9
	早月川産							879	1032	18.9
飽和 NaCl 溶液 浸せき養生	常願寺川産							873	1012	-
	早月川産							879	1032	-

6. コンクリートのアルカリシリカ反応性

コンクリートの配合を表 - 2 に示す。養生条件は湿気槽養生法（温度 40℃，相対湿度 100%）および飽和 NaCl 溶液浸せき養生法（温度 50℃，飽和 NaCl 溶液浸せき）の 2 種類とした。湿気槽養生法では，富山県の代表的な反応性骨材である常願寺川産の川砂および川砂利の ASR が発生する閾値が 5kg/m³ 程度であることから，短期間に ASR による膨脹を促進させる目的で，アルカリ (NaCl) を等価 Na₂O 量で閾値の 2 倍の 10kg/m³

添加した。

コンクリートの膨脹率を図 - 8 に示す。湿気槽養生法では，常願寺川産の川砂および川砂利を用いたコンクリートは材齢とともに膨脹率が大きくなり，材齢 3 カ月では試験体に多数のひび割れが発生した。一方，飽和 NaCl 溶液浸せき養生法では，膨脹が始まる以前に表面にポップアウト（数ミリ程度）が発生し，それ以後材齢の経過により塩分が内部に浸透するとともに，急速に膨脹率が增大した。凍結防止剤や海水の影

響を受ける環境下では，高炉セメントでも表面部のポップアウトは防止できないことが判明している⁷⁾。常願寺川産の川砂には反応性の高いクリストバライトやオパールが含有されており，高濃度のアルカリ溶液と接触する表面でこれらの鉱物を含む粒子が選択的に反応したためであった。一方，早月川産の川砂および川砂利を用いたコンクリートは，いずれの養生条件でも膨張はまったく認められなかった。

7. 結論

本研究で得られた主要な結果をまとめると，以下のようである。

- (1) 富山県の川砂，川砂利は，火山岩系（安山岩，流紋岩）の反応性骨材を含有しており，とくに安山岩粒子の含有率が大きい河川水系の骨材を使用した構造物にて ASR が多く発生していた。
- (2) ASR 劣化橋脚のコンクリートの偏光顕微鏡による観察より，細・粗骨材中の安山岩粒子には，貫通または界面に沿ったひび割れが形成されており，モルタル部における連続的なひび割れ網の形成がコンクリートの脆弱化をもたらした。
- (3) 常願寺川産の川砂，川砂利の安山岩の混合率はペシマム値付近にあるため，ASR 劣化が顕著になった。
- (4) 化学法およびモルタルバー法の結果より，常願寺川産の川砂，川砂利のアルカリシリカ反応性はほぼ同一であった。
- (5) 常願寺川産の川砂，川砂利を使用したコンクリートは，湿気槽養生および飽和 NaCl 溶液浸せき養生ともに大きな膨張が発生した。とくに，飽和 NaCl 溶液浸せき養生では，ポップアウトが早期に発生するという特徴があった。

参考文献

- 1) 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

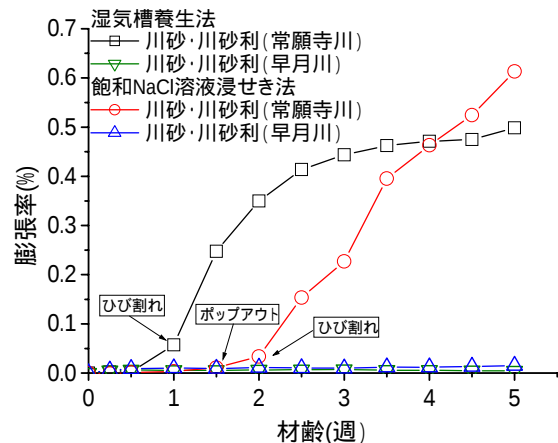


図 - 8 コンクリート試験体の膨張挙動

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.

- 2) 大代武志，原田政彦，中野政信，中狭靖：コンクリート橋脚の ASR による再劣化と対策工法の選定，コンクリート工学，Vol.44，No.12，pp.31-38，2006.
- 3) 野村昌弘：北陸地方におけるコンクリート用骨材のアルカリシリカ反応性の評価に関する研究，金沢大学学位請求論文，pp.39-55，2007.
- 4) 野村昌弘，青山實伸，平俊勝，鳥居和之：北陸地方における道路構造物の ASR による損傷事例とその評価手法，コンクリート工学年次論文集，Vol.13，No.3，pp.105-114，2002.
- 5) 富山県生コンクリート工業組合・コンクリート耐久性向上委員会：富山県内反応性骨材調査報告書，pp.16-24，1993.
- 6) 富山県生コンクリート工業組合・コンクリート耐久性向上委員会：富山県内における反応性岩石（輝石安山岩）のペシマムについて，第 8 回生コン技術大会研究発表論文集，pp.13-18，1995.
- 7) 松村将充，蓑田理希，蔡云峰，鳥居和之：高炉スラグ微粉末を含有したプレストレスコンクリートのアルカリシリカ反応性の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，No.1，pp.803-808，2002.