

# 報告 富山県における ASR 劣化橋梁の実態調査とその地域特性

大代 武志\*1・野村 昌弘\*2・参納 千夏男\*3・鳥居 和之\*4

**要旨:** 本研究では、富山市周辺の常願寺川流域における橋梁での ASR 劣化の実態を調べるとともに、コンクリートに使用された川砂や川砂利の岩石・鉱物学的特徴とその反応性をコア調査により検討した。その結果、この地域の安山岩には、クリストバライト、オパールなどの反応性鉱物を含有することに起因した構造物の鉄筋破断が安山岩の含有率 25%以上の条件で発生していること、川砂利と川砂はほぼ同様な反応性を有すること、が確認された。さらに、近年、非反応性とされていた片麻岩や花崗岩でも ASR 発生が確認され、それらの反応性鉱物は微晶質石英または隠微晶質石英であった。

**キーワード:** ASR, 地域特性, 安山岩, 岩種構成率, 骨材の ASR 試験法, 偏光顕微鏡観察

## 1. はじめに

富山県では河川産骨材がコンクリート用骨材として長年にわたり使用されており、一部の構造物では鉄筋破断やコンクリートの脆弱化などの深刻な ASR による劣化が報告されている<sup>1)</sup>。このため、富山県内の ASR 劣化橋梁の維持管理では、地域ごとに使用された川砂、川砂利の岩石・鉱物学的特徴を特定することが課題となり、富山市周辺の常願寺川や神通川の流域では、ASR 劣化橋梁の維持管理のための詳細調査に基づき、補修・補強・打替えが適宜実施されてきた経緯があった。さらに、富山県内では、現在でも川砂や陸砂による ASR 発生が北陸新幹線の高架橋などの重要構造物で確認されており、JIS A5308 のアルカリ総量規制に頼らない、新たな ASR 抑制対策が必要とされている<sup>2)</sup>。

そこで本研究では、まず富山県管理の道路橋を対象に ASR の発生分布を調査し、富山市周辺の 19 橋の ASR 橋から採取したコアによる力学試験や岩種判定を実施して、

経過年数による ASR の劣化過程を検証した。次に、富山県内の河川産骨材の化学法やコアの分析のデータを再検証することにより、河川産骨材の反応性（組成ペシマム現象）と岩石・鉱物学的特徴との関係について 2, 3 の考察を行った。

## 2. 県管理橋の ASR 劣化橋梁の分布状況と調査項目

### 2.1 ASR 劣化橋梁の分布状況

富山県が平成 18 年より実施した橋梁点検結果による県管理道路（橋長 15m 以上）における ASR 発生橋梁の分布状況を図-1 に示す。全橋梁 804 橋のうち、下部工に ASR が確認された橋梁数は 164 橋で発生率は 20.4%であった。ただし、このデータは県職員の簡易点検によるものであり、今後、5 年に一度の近接目視点検が実施されるとさらに ASR の発生率が增大すると予想される。ASR 発生橋梁の建設年別の分布を図-2 に示す。これらの橋梁は昭和 40~昭和 50 年代の高度経済成長期に建設され



図-1 富山県の地質と ASR 橋の分布状況

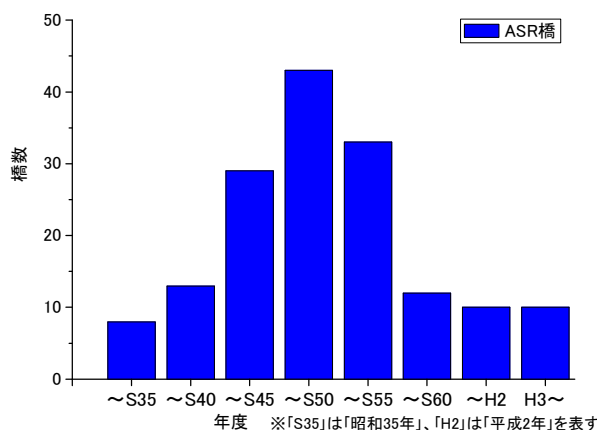


図-2 県管理橋における ASR 橋の建設年の分布

\*1 富山県高岡土木センター 施設管理課道路維持班 博 (工) (正会員)

\*2 野村昌弘の研究所 博 (工) (正会員)

\*3 北陸電力 (株) 土木部土木技術チーム 博 (工) (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 (正会員)

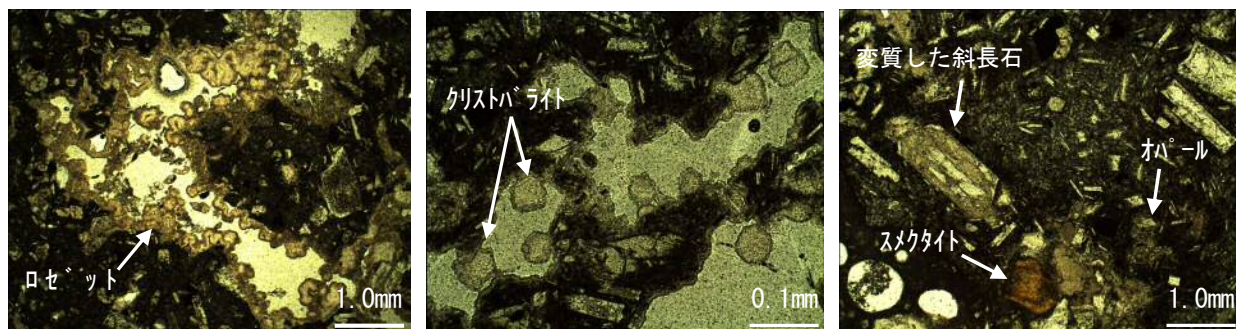


写真-1 偏光顕微鏡によるコア薄片の観察結果 (単ニコル)



写真-2 偏光顕微鏡によるコア薄片の観察結果 (左, 中央: 単ニコル, 右: 直交ニコル)

たものが全体の半分程度を占めていた。また、橋梁の分布を河川水系別で分類すると、常願寺川や神通川、庄川の流域エリアで ASR 発生が多くみられる傾向であった。これまで県内で発生している ASR は常願寺川産(安山岩系)および庄川産(流紋岩系)によるものが主たるものであることが確認されている<sup>1)</sup>。富山県では、生コン工場は主要な河川の近隣に立地されており、河川水系毎に各工場での使用骨材が決まっていることや、コンクリートの流通は運搬距離により範囲が限定されるために、ASR の発生とその劣化度が地域的に特定できる傾向があった。すなわち、富山市周辺では常願寺川産の骨材による ASR が多く発生しており、これまでの調査で鉄筋破断にまで至るような重大な損傷が確認されている。その一方で、高岡市周辺では庄川産の骨材による ASR が発生しているが、常願寺川産の骨材と比べて ASR の劣化度は比較的軽微なものが多かった。しかし、この地域にも常願寺川産の骨材が使用された生コン工場があったので、実際に構造物での鉄筋破断が発生しているものが確認されている。このため、点検要項の中で建設年代と骨材の流通経路との地域的情報の整理が必要であった。

## 2.2 調査対象橋梁と測定項目

富山市および高岡市周辺における ASR 劣化のとくに顕著な、富山県管理の 19 橋の下部工(橋台および橋脚)を調査橋梁として選定した。これらの調査橋梁の建設時期は昭和 38 年から昭和 56 年であり、いずれも ASR 抑制対策実施以前(昭和 61 年)のものであり、平成 17 年から平成 25 年に行った調査時点にて建設後 28 年から 48 年が経過したものである。橋梁はいずれも海岸から離れ

ているため、飛来塩分の影響は少ないが、冬期間は凍結防止剤が散布される使用・環境条件にあった。調査測定項目は、構造物から採取したコア(直径φ100mm、長さ200mm)の工学的性質(圧縮強度、静弾性係数)と、コアによる促進膨張量、塩分含有量、使用骨材(粗骨材)の岩種構成率や偏光顕微鏡観察による岩石・鉱物学的特徴など、であった。

## 3. 反応性骨材の岩石・鉱物学的調査

ASR劣化橋梁から採取したコアの偏光顕微鏡による観察結果を写真-1および写真-2に示す。写真-1は高岡市内で建設後38年が経過したもので、安山岩粒子中のひび割れ内にはロゼット状に結晶化したASRゲルが生成していた。これらのASRゲルはガラスなどから溶出したカリウム分を取り込んで結晶化したものであった。また、細骨材粒子中の安山岩粒子にはクリストバライトとともにオパールが観察された。写真-2は富山市内で建設後42年が経過したもので、安山岩粒子が激しく反応した痕跡があり、反応リムやASRゲルの滲出とともに、骨材粒子からの膨張ひび割れが進展していた。このコンクリートでは微細なひび割れ網の形成により組織の脆弱化が生じていた。同様に、安山岩粒子には斜長石の変質によりオパールとスメクタイト(粘土鉱物の一種)が観察された。さらに、石基は斜長石、輝石、不透明鉱物およびそれらの粒間を充填する微細なクリストバライトからなっていた。わが国で最も反応性が高い常願寺川産骨材の岩石・鉱物学的特徴を同定できた。

#### 4. 骨材の岩種構成率とコンクリートの工学的性質

##### 4.1 骨材の岩種構成率

富山市内および高岡市内の県管理橋梁を対象に実施したコンクリートの岩種構成率の結果を図-3に示す。富山市内に位置するA~M橋は安山岩の含有量が多いため、常願寺川産の骨材が使用されたものと判断された。このうち、A~E橋は安山岩の含有率が27~41%であり、いずれも鉄筋破断が発生していた。これは常願寺川産の骨材のペシマム混合率（安山岩類と深成岩類との組成）が20~40%の範囲にあることと良く一致していた。この結果より、富山県内の河川産骨材に関しては安山岩の含有率が25%程度を超えると鉄筋破断が発生するような深刻な劣化が発生することが確認できた。その一方で、高岡市内に位置するR橋は安山岩の含有率が少なく、流紋岩の含有率が63%と高いため、庄川産の骨材が使用されたものと特定できた。県管理の橋梁台帳には、当時の施工記録や配合報告書が保管されていないことから使用された骨材を特定することができない。このため、地域毎の代表的な橋梁での使用骨材の岩種構成率から骨材産地を特定し、そのデータを共有して今後の維持管理に役立てることが必要とされた。

##### 4.2 コンクリートの塩化物イオン含有量

コアによる塩化物イオン含有量の測定結果を図-4に

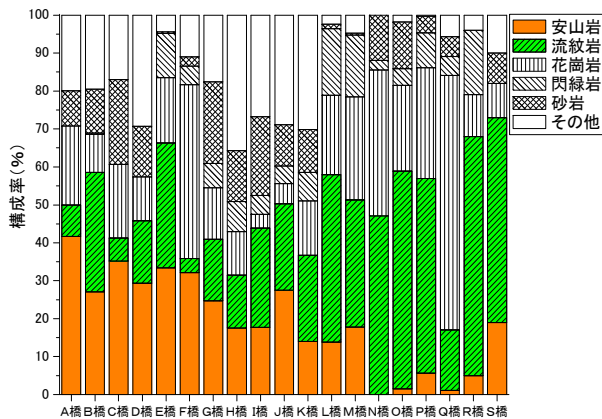


図-3 コアの岩種構成率

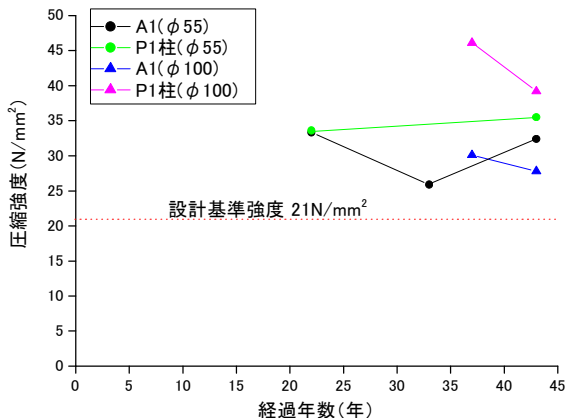


図-5 コアの圧縮強度の経年比較

示す。富山県では冬期間に路面に凍結防止剤が散布されるため、塩化物イオン浸透のASRへの影響が懸念された。調査結果より、表面からの深さが90mmの鉄筋位置で腐食発生限界の $1.2\text{kg/m}^3$ を超えたものは1橋のみであり、それ以外のものでは鉄筋位置ですべて基準値以下であった。この結果から、富山県内では海砂や河口部での浚渫砂が使用された実績がないとの報告が裏付けられた。

##### 4.3 コンクリートの強度特性と残存膨張性

コンクリートの圧縮強度および静弾性係数の経年比較の一例を図-5および図-6に示す。建設から22年と43年経過の時点での圧縮強度と静弾性係数の変化を比較した。圧縮強度はいずれも設計基準強度以上であり、経年変化による大きな強度低下は認められなかった。一方、静弾性係数は橋台および橋脚ともに大きな低下が認められ、コンクリートのASR劣化度がより敏感に数値に反映されていた。

富山市周辺の36橋で実施したデンマーク法（50℃、飽和NaCl溶液浸漬）およびASTM C1260法（80℃、1N・NaOH溶液浸漬）によるコアの残存膨張量試験の結果と経過年数の関係を図-7および図-8に示す。いずれの試験結果においても、30年以上経過したもので「無害」と判定されるものが一部みられるが、「不明確」や「有害」と判定されるものがほとんどであった。促進膨張量試験

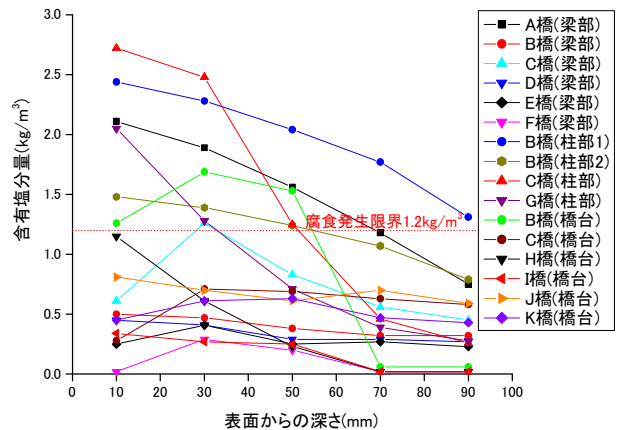


図-4 コンクリート中の塩化物イオン含有量

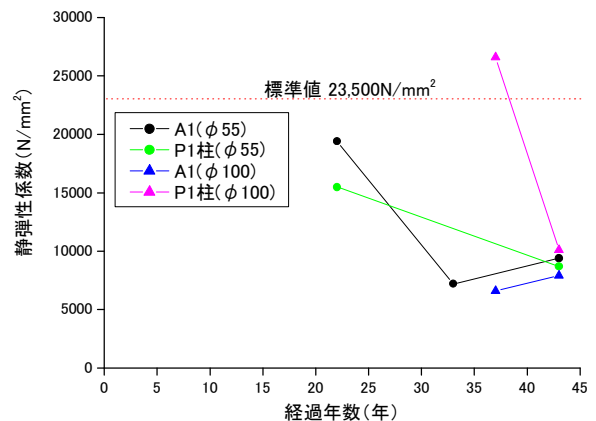


図-6 コアの静弾性係数の経年比較

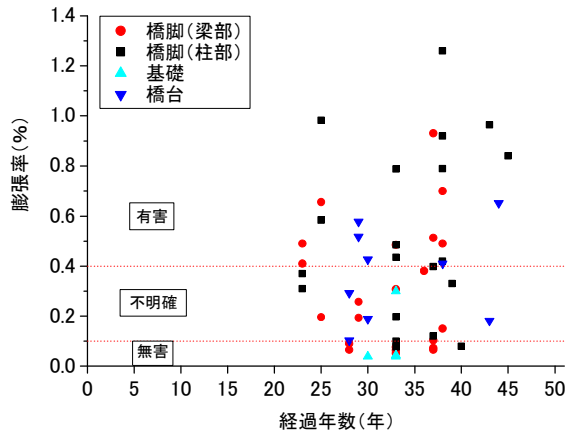


図-7 残存膨張率（デンマーク法）と経過年数の関係

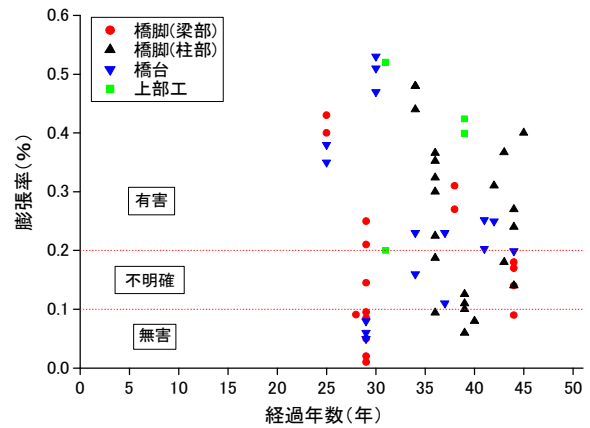


図-8 残存膨張率（ASTM C1260法）と経過年数の関係

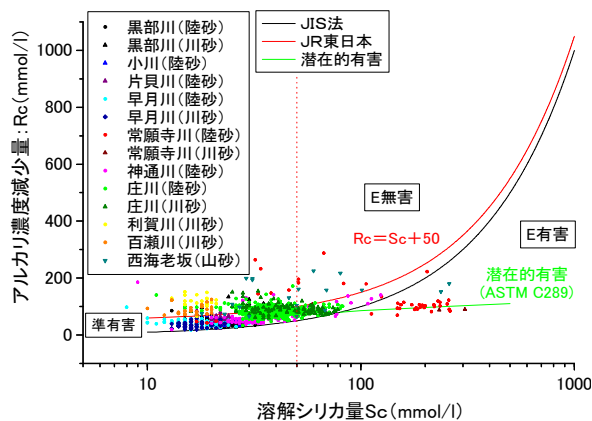


図-9 富山県産の川砂・陸砂の化学法の結果

の結果からは ASR が収束しているものは少なく、40 年以上が経過しても ASR が進行する可能性のあるものが多いことが判明した。このため、本地域では ASR が収束していないことを前提とした補修および補強対策の工法を選定する必要があった。しかし、いずれの試験方法も外部からのアルカリの供給によりコアに潜在する ASR を強制的に発生させるため、実際の構造物の使用・環境条件とは異なることに留意する必要があった。

## 5. 富山県産骨材の ASR 試験結果の検証

### 5.1 JIS A5308（化学法）の判定結果

富山県内のコンクリート用骨材の化学法の判定結果（富山県生コンクリート工業組合が平成 6 年～平成 27 年に実施）を図-9 および図-10 に示す。調査対象の骨材は、主要な河川水系の産地毎に、川砂利と川砂、陸砂利と陸砂、山砂の 5 種類に分類した。現行化学法（JIS A1145）の判定基準によると、ほとんどの骨材は「無害」と判定されるが、常願寺川産の川砂と川砂利は、溶解シリカ量  $Sc$  が 120～260mmol/l であり、ペシマム現象が現れるとされる潜在的有害（ASTM C289）のライン付近にあり、いずれも「無害でない」と判定された。また、常願寺川産の川砂と川砂利にはほぼ同様な高い反応性を認められた。また、高岡市内の山砂の一部でも  $Sc$  が

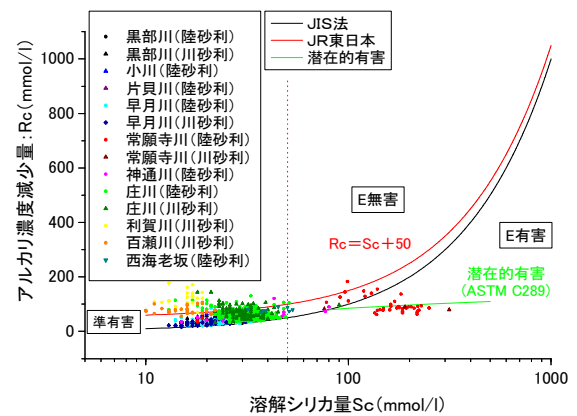


図-10 富山県産の川砂利・陸砂利の化学法の結果

250mmol/l 程度（潜在的有害の領域）で、「無害でない」と判定された。一方、JR 東日本の新しい判定基準（平成 23 年 2 月運用）は、 $Rc$  が  $Sc$  以下の場合には「E 有害」、 $Rc$  が  $Sc$  に 50 を加えた値を上回れば「E 無害」、従来の判定線との中間領域を「準有害」としている。この判定基準で再度検証すると、「E 無害」と判定されるものは、利賀川産と百瀬川産の川砂、川砂利の 2 種類のみであり、これまで「無害」と判定された境界線（ $Sc/Rc=1$ ）の近傍付近にあるほとんどの骨材が「準有害」となった。上述したように、富山県産の川砂や陸砂に関しては現在でも ASR が発生している。これまでの調査結果より、 $Sc$  および  $Rc$  ともに 50mmol/l 以下である骨材には ASR が確認されていない。これを踏まえて再度検証すると、早月川産や黒部川産などの細・粗骨材は「無害」と判断され、神通川産および庄川産の川砂が「準有害」と判定された。従って、このように地域的な実績を ASR 判定に取り込むことが今後の課題とされた。

### 5.2 ASTM C1260（促進モルタルバー法）の判定結果

富山県の代表的な河川産骨材（川砂利および川砂）の促進モルタルバー法（ASTM C1260）の膨張挙動を図-11 および図-12 に示す。常願寺川産や庄川産の川砂および川砂利は、膨張率が直線的に増大しており、いずれも「有害」と判定された。また、常願寺川産の骨材の膨張

率は庄川産の骨材の3倍以上となるとともに、細・粗骨材はほぼ同一の膨張挙動を示した。ASTM C1260の測定結果より、河川産骨材のASR反応性は、黒部川・早月川産<庄川産<神通川産<常願寺川産の順番で高くなった。この結果は、骨材の岩種構成率（安山岩と流紋岩、また火山岩系と深成岩系の比率）を良く反映しており、化学法よりも促進モルタルバー法がより精度の高い判定であることを示唆している。さらに、現在でも、ASRの発生が疑われる庄川産や神通川産の川砂や陸砂は、化学法ではすべて「無害」と判定されたことから判断すると、今後、これらの地域では促進モルタルバー法の採用が推奨された。

### 6. 橋梁上部工のASRの分布状況

富山県内の上部工におけるASR橋の分布状況を図-13に示す。現地調査は主なPC橋の構造形式を対象として、外観の目視観察によりASRによるひび割れの発生状況（位置、幅）やゲルの滲出を確認した。ASRが確認されたPC橋の形式と建設年の関係を図-14に示す。ポステンション桁橋（以下、ポステン桁）では昭和42年から昭和57年に竣工した橋でASRが確認されたが、プレテンション桁橋（以下、プレテン桁）では昭和50年に竣工した橋が多く確認されており、ASRの発生時期がこの前後に集

中していた。これは生コン工場で使用した骨材の反応性によってASRが発生するかが決まってくるため、現場打設するポステン桁及び工場制作するプレテン桁においても反応性骨材が使用された時期とASRの発生が密接に関係することを示している。今回、ASRが確認されたプレテン桁は石川県七尾市のPC工場で作られたものが多いが、この工場では富山県の庄川産を使用しており、ASRが発生した昭和50年頃に反応性骨材が使用されたと推定された。プレテン桁のASRによるひび割れ状況を写真-3に示す。ひび割れは橋軸方向に卓越しており、雨水の影響を受ける外桁端部にみられ、ひび割れ幅は最大0.4mm程度以下であった。石川県のPC工場で作られたプレテン桁から採取したコアの薄片試料の偏光顕微鏡による観察結果を写真-4に示す。細骨材の流紋岩質溶結凝灰岩からセメントペーストへと連続してASRゲルに充填されたひび割れが発生しており、ひび割れや気泡中にはエトリングaitが確認された。使用された骨材は、川砂利の流紋岩質溶結凝灰岩に反応がみられることから、庄川産が使用されたと推定された。

### 7. 花崗岩類によるASR事例

近年、富山県内では片麻岩や花崗岩の深成岩の一部でASRが生じているものが確認されており、偏光顕微鏡に

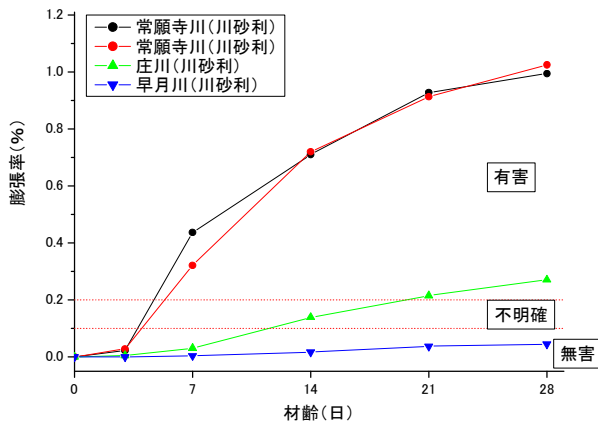


図-11 富山県産（川砂利）の ASTM C1260 の結果

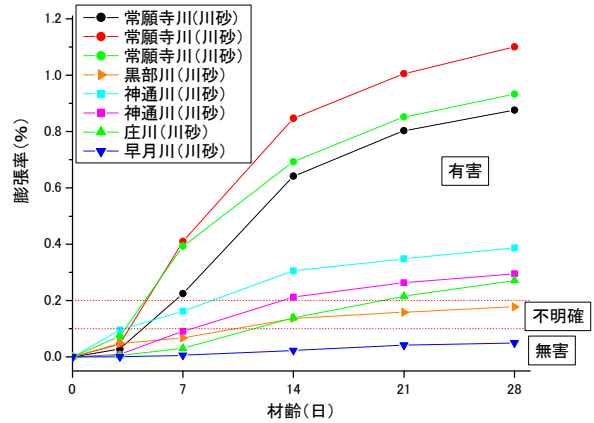


図-12 富山県産（川砂）の ASTM C1260 の結果

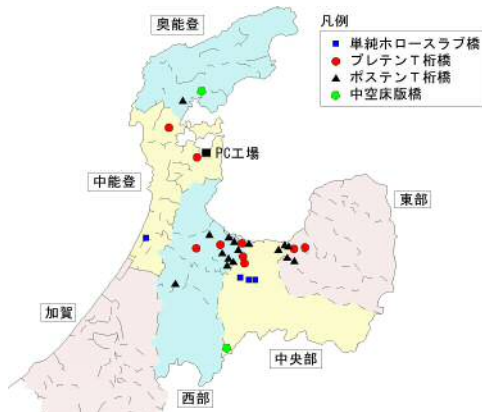


図-13 ASR が発生した PC 橋の分布状況

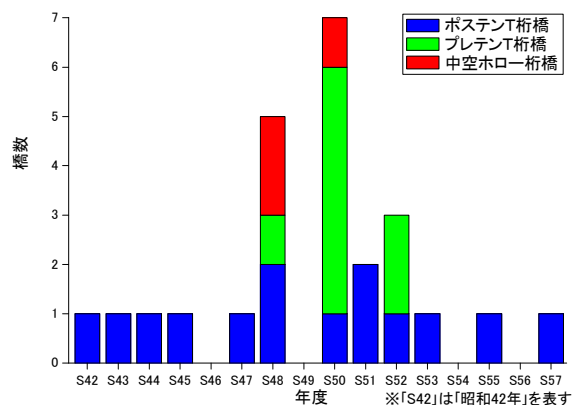


図-14 ASR が生じた PC 橋の形式と建設年



写真-3 プレテン桁の ASR によるひび割れ

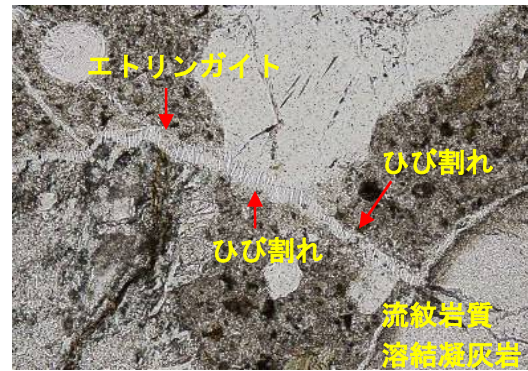


写真-4 コアによる偏光顕微鏡の観察結果

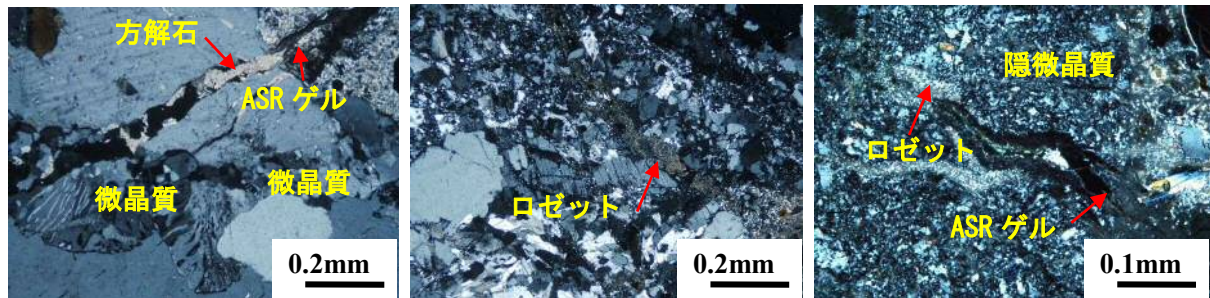


写真-5 偏光顕微鏡によるコア薄片の観察結果 (左:A橋, 中央:B橋, 右:Cトンネル)

よる観察結果を写真-5に示す。A橋では、溶結流紋岩が顕著にASRを生じていたが、片麻岩からもセメントペーストへ延びる膨張性のひび割れが観察された。B橋では、同様に溶結凝灰岩が顕著にASRを生じていたが、カタクレートサイト化した花崗岩粒子内にASRゲルの充填した膨張ひび割れの生成が観察された。また、Cトンネルでは、マイロナイト化した花崗岩粒子に膨張性のひび割れが観察された。これらの片麻岩や花崗岩の反応性鉱物である微晶質石英または隠微晶質石英は、従来ASRへの関与がないものと考えられていた。しかし、これらの岩種の反応の程度は全体的に小さく、これまでのASR劣化に及ぼす影響は比較的軽微であると考えている。

## 8. まとめ

富山県におけるASR劣化橋梁の実態調査とその地域特性に関する主な結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 富山県が管理する橋梁（橋長15m以上）における下部工のASR発生率は全体の20.4%であり、常願寺川や神通川および庄川の流域エリアで多く確認された。
- (2) 岩種構成率の結果から、鉄筋破断が発生している橋の安山岩の含有率は27~41%であり、これは常願寺川産の骨材のペシマム混合率と一致していた。このことから、安山岩の含有率が25%を超えると鉄筋破断が発生する深刻な劣化が発生することが判明した。
- (3) JR東日本による化学法の判定結果に基づくと、従来の化学法（JIS A1145）の判定で「無害」であった富山県内の骨材のほとんどが「準有害」となった。現在ま

でのASR発生状況から検証すると、神通川産や庄川産の川砂を「準有害」として扱う必要があった。

- (4) 富山県の各水系別の河川産骨材の川砂利と川砂は、ほぼ同様な反応性を有していた。
- (5) 富山県の河川産骨材のASR反応性の判定には、促進モルタルバー法（ASTM C1260）が有効に活用できた。
- (6) 富山県内の上部工では、ポステン桁では昭和42年から昭和57年に建設されたものに、プレテン桁では昭和50年頃に建設されたものにASRが発生しており、この時期の生コン工場やPC工場で使用された骨材が反応性骨材であると推定された。
- (7) 偏光顕微鏡観察の結果から、片麻岩、花崗岩カタクレートサイト、花崗岩マイロナイトなどの花崗岩類でASRが生じており、反応性鉱物は微晶質石英および隠微晶質石英であった。

謝辞：本研究は、金沢大学SIP WG2 (ASR分科会)の研究活動の一環として取りまとめたものであり、関係者各位に深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 大代武志, 平野貴宣, 鳥居和之: 富山県の反応性骨材とASR劣化構造物の特徴, コンクリート工学年次論文集, Vol. 29, No. 1, pp. 1251-1256, 2007
- 2) 鳥居和之, 広野真一, 津田誠: わが国の反応性骨材の岩石学的特徴とコンクリートのASR劣化の問題解決策, コンクリートテクノ, Vol. 34, No. 12, Dec. 2015